

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТОЧНОСТИ ПРИ ЛИТЬЕ ЛОПАТОК ГТД

Д. Ю. Письмеров, А. С. Чёлушкин

Изучение причин несоответствия геометрических размеров отливок требуемым размерам, выявление закономерностей и взаимосвязей формообразования при литье, получение конкретных теоретических зависимостей и разработка на этой основе технологического процесса, способного гарантированно обеспечить заданную точность отливок, является одной из главных задач литья. Прежде всего, это относится к литью охлаждаемых лопаток ГТД.

Наибольшее искажение геометрии лопатки происходит в результате деформационных процессов элементов системы “стержень-оболочка-лопатка”. На технологических этапах сушки и проковки формы, а затем заливки и кристаллизации, элементы системы находятся под воздействием неравномерного, постоянно меняющегося температурного поля и механического влияния друг на друга. Возникает сложное напряженно-деформированное состояние, которое и определяет в конечном итоге пространственную точность отливки. Особенность указанной системы заключается в том, что размеры каждого элемента соизмеримы, а стержень и лопатка имеют, как правило, прогиб и закрутку в исходном состоянии, которые заданы конструктором. Такие конструкции характеризуются взаимосвязью деформаций растяжения-сжатия с деформациями кручения, поэтому необходимо рассматривать все элементы конструкции и все виды деформаций во взаимодействии.

На кафедре МитЛП УГАТУ была разработана математическая аналитическая модель, отражающая зависимость конечной пространственной точности пера лопатки от технологических факторов, параметров литья и особенностей конструкции. Модель состоит из весьма сложных уравнений прогиба и угла поворота сечения пера лопатки. Даже в упрощенном варианте (с учетом только осевой нагрузки и крутящего момента) уравнение для угла поворота имеет достаточно непростой вид:

$$\varphi_T = \left[\frac{N l_0 J_\rho}{l F G T_0} Z_6 + \frac{M_{\text{ед}}}{G T_0} Z_7 - \frac{\frac{f_0 N}{E J_x} Z_1 \cdot \frac{l_0 E J_{\rho x}}{l G T_0} Z_{11}}{1 - \frac{N}{E J_x} Z_9} \right] \cdot \frac{1 + \frac{E l_0^2 J_r^0}{l^2 G T_0} - \frac{l_0^2 E J_\rho^2}{l G T_0 F} - \frac{\frac{l_0 E J_{\rho x}}{l E J_x} Z_4 \cdot \frac{l_0 E J_{\rho x}}{l G T_0} Z_{11}}{1 - \frac{N}{E J_x} Z_9}}{1 - \frac{N}{E J_x} Z_9};$$

Аналогичную структуру имеет и уравнение для прогиба пера лопатки.

Данная модель учитывает следующие группы факторов:

- 1) характеристики материала лопатки – E, G ;
- 2) геометрические параметры лопатки – $l, l_0, f_0, J_{\rho x}, J_x, T_0, F, J_r^0, J_\rho$;
- 3) силовые факторы (крутящий момент и осевую силу) – $M_{\text{кр}}, N$;
- 4) условия закрепления пера лопатки – $Z_1, Z_4, Z_6, Z_7, Z_9, Z_{11}, Z_{14}$;

Эти уравнения, отражая почти все факторы процесса, позволяют вычислять конкретные величины деформации (прогиба и угла поворота), если все параметры известны; либо выбрать параметры, задавшись допустимой величиной коробления. Последнее можно достичь в результате компьютерного моделирования процесса. Однако, чтобы реализовать компьютерное моделирование, необходимо создать ИПС, содержащую базу данных по исследуемой проблеме. С этой целью разработана программа автоматизированного расчета геометрических характеристик на основе аналитического метода, предложенного И. А. Биргером для расчета четырех типичных профилей лопаток. Исходные данные для программирования представлены в виде:

- схемы сечения охлаждаемой лопатки с системой координат и условных обозначений;
- схемы графиков для определения типа профиля;
- таблицы коэффициентов типов профилей;
- набора формул для вычисления геометрических характеристик поперечных сечений лопатки.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ТОЧНОСТИ ПРИ ЛИТЬЕ ЛОПАТОК ГТД

Целью программирования являлось автоматизация выбора коэффициентов профиля из таблицы и вычисление геометрических характеристик по специальным формулам. Работа пользователя сокращается при этом до выбора типа профиля и ввода четырех основных параметров сечения: длины хорды, максимальной толщины профиля, максимальной толщины внутренней полости, максимального расстояния от хорды сечения до средней линии.

Для моделирования температурного поля в сечении лопатки создана база данных, позволяющая “сконструировать” различные температурные варианты, возникающие при

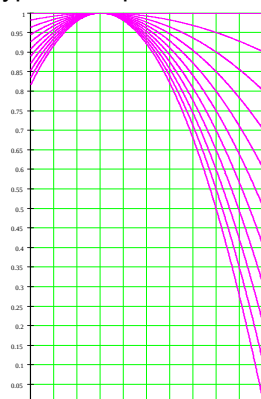


Рисунок 1

Комбинируя их расположение можно смоделировать практически любое температурное поле в сечении, которое, в свою оче-

литье лопаток. Принято, что температурное поле формируется методом суперпозиции распределения температуры вдоль хорды сечения (b) и по толщине сечения, причем распределение температуры описывается параболой. Получено семейство парабол, вершины которых находятся в различных точках оси сечения (рисунок 2) и семейство парабол с различным раствором для фиксированных положений термического центра сечения (рисунок 1). Параболы записаны как распределение температуры в относительной форме, T – температура в точке сечения, T_0 – температура в термическом центре сечения.

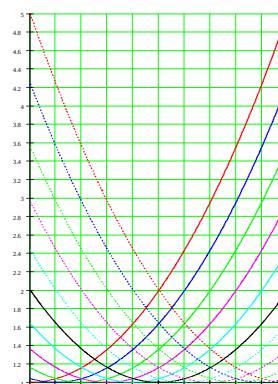


Рисунок 2

редь, позволяет высчитать термическую осевую силу и крутящий момент, а затем угол поворота и прогиб пера лопатки.