

УДК 678.5

КОРРЕКТИРОВКА УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА КООРДИНАТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МАШИНЕ

© 2016 М.А. Архангельская, В.Д. Вермель, Ю.Ю. Евдокимов, П.М. Николаев

ФГУП «ЦАГИ», г. Жуковский

Статья поступила в редакцию 23.03.2016

Предложен способ модификации управляющих программ обработки формообразующих элементов технологической оснастки на станках с ЧПУ для их доработки, обеспечивающей требуемую точность соответствия исходной математической модели. Рассматривается алгоритм модификации и пример его использования для обеспечения точности изготовления панели носового обтекателя крупноразмерной аэродинамической модели, изготавливаемой из полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: композиционный материал, оснастка, координатно-измерительная машина

При формировании деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) возможны определенные отклонения от задания в виде математической модели. Формообразующие поверхности для изготовления деталей (матрицы, пуансоны, мастер-модели) изготавливаются, как правило, фрезерованием на станках с ЧПУ. Управляющие программы соответствуют заданию поверхности детали в математической модели непосредственно или с определенными корректировками, характерными для технологического процесса. Тем не менее, в зависимости от структуры детали из ПКМ при проведении полимеризации возможно возникновение внутренних напряжений, которые приведут к ее короблению после извлечения из формы и искажению геометрической формы. Одним из возможных способов обеспечения точности формирования может стать целенаправленная модификация поверхности формообразующих элементов путем их повторного фрезерования, такая, что при извлечении деталей они будут соответствовать требованиям по точности воспроизведения математической модели. Реализация данного способа потребует решения двух задач. Во-первых, конструкция технологической оснастки должна допускать неоднократное фрезерование формообразующих элементов. Во-вторых, необходимо получение расчетных соотношений для корректировки управляющих программ обработки в соответствии с искажением формы детали, устанавливаемым по результатам измерений на координатно-измерительной машине (КИМ). Решение данной задачи рассматривается в настоящей работе.

Постановка задачи корректировки узловых точек траектории обработки формообразующих элементов оснастки. Имеется математическая модель формообразующей матрицы для формирования панели носового обтекателя аэродинамической модели из ПКМ (рис. 1). Типовая траектория фрезы при

финишной обработке матрицы на станке с ЧПУ показана на рис. 2.

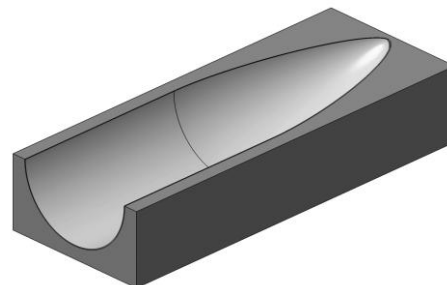


Рис. 1. Математическая модель матрицы для формирования панели носового обтекателя аэродинамической модели из ПКМ

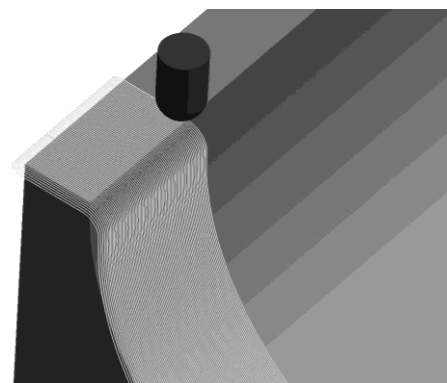


Рис. 2. Фрагмент траектории движения фрезы при финишной обработке матрицы на станке с ЧПУ

Управляющая программа задается в виде последовательности точек перемещения полюса (нижней точки) режущего инструмента $\mathbf{r}_k$, $k = 1, 2, \dots, N$, где N – число узловых точек в траектории движения фрезы (рис. 3). Имеется ряд замеров координат точек изготовленной детали $\mathbf{p}_l^j$ в заданных контрольных сечениях (рис. 4). Индекс j соответствует номеру контрольного сечения, l – номер точки в сечении.

В каждой точке замера $\mathbf{p}_l^j$ определено отклонение от математической модели Δ_l^j (рис. 5). Необходимо определить величины смещений для каждой точки

Архангельская Мария Александровна, младший научный сотрудник. E-mail: marhang1@gmail.com

Вермель Владимир Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, начальник научно-технического центра научно-производственного комплекса. E-mail: vermel@tsagi.ru

Евдокимов Юрий Юрьевич, начальник отдела. E-mail: yuriy.evdokimov@tsagi.ru

Николаев Прокопий Михайлович, кандидат технических наук, начальник отдела. E-mail: prokopi@gemta.ru

траектории движения фрезы $\mathbf{D}_k$, $k=1,2,\dots,N$, обеспечивающие корректировку формы оснастки, ведущую к устранению отличия готового изделия от его математической модели.

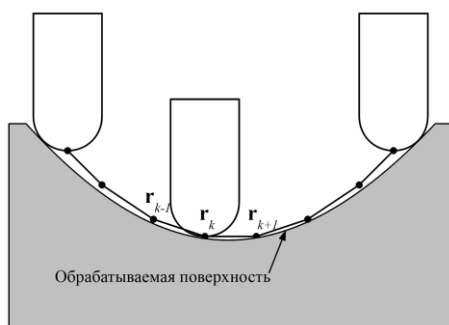


Рис. 3. Последовательность точек центра фрезы при ее движении вдоль обрабатываемой поверхности

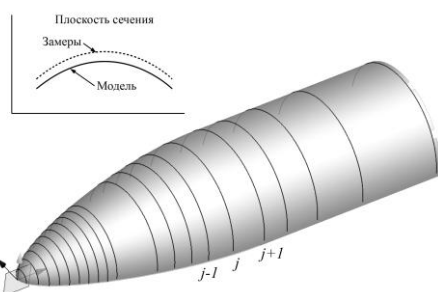


Рис. 4. Измеренные контрольные сечения обтекателя из ПКМ

В каждой точке замера $\mathbf{P}_i^j$ определено отклонение от математической модели Δ_i^j (рис. 5). Необходимо определить величины смещений для каждой точки траектории движения фрезы $\mathbf{D}_k$, $k=1,2,\dots,N$, обеспечивающие корректировку формы оснастки, ведущую к устранению отличия готового изделия от его математической модели.

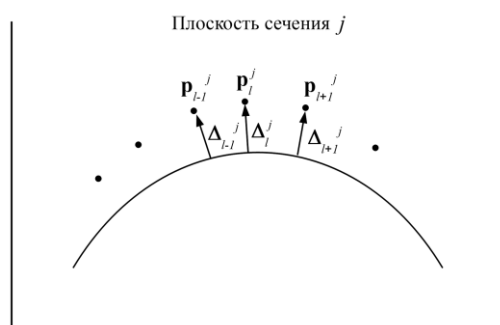


Рис. 5. Отклонение точек замеров от математической модели в плоскости контрольного сечения

Интерполяция замеров отклонений координат точек поверхности детали и коррекции узловых точек траектории движения фрезы. Исходные данные для интерполяции составляют измеренные по контрольным сечениям точки поверхности детали. Для распространения измеренных отклонений от математической модели в отдельных точках изделия на всю поверхность формообразующей оснастки, используем

метод Кунса с билинейной интерполяцией. Предварительно проведем согласование измеренных точек по сечениям для получения равномерной фасетной разбивки по полосам между сечениями (показана для сечений j и $j+1$, рис. 6). Интерполяция выполняется для сегментов поверхности, определяемых четырьмя соответствующими точками смежных сечений (показаны на рис. 6), по формуле для билинейной поверхности Кунса [1]:

$$\mathbf{F}_i^j(s, t) = [1-s, s] \begin{bmatrix} \mathbf{R}_i^j & \mathbf{R}_{i+1}^j \\ \mathbf{R}_{i+1}^j & \mathbf{R}_{i+1}^{j+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-t \\ t \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\mathbf{R}_i^j$ – угловые точки фасеты, на которой определяется билинейная поверхность Кунса; s и t – параметрические координаты для определяемого на фасете сегмента поверхности, $0 \leq s \leq 1$, $0 \leq t \leq 1$, ноль соответствует левому нижнему углу.

Для определения коррекции точки траектории обработки $\mathbf{r}_k$ необходимо найти ближайшую к ней фасету и параметрические координаты соответствующей точки $\mathbf{r}'_k$ билинейной поверхности. Соответствие определяется по нормали между точкой траектории и поверхности. Обозначим параметрические координаты соответствующей точки s_k, t_k (рис. 7).

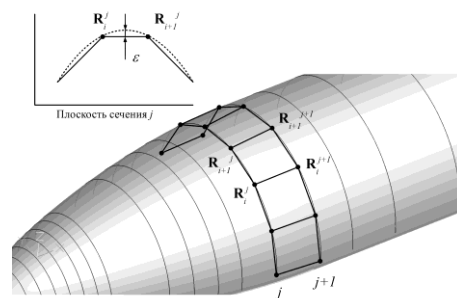


Рис. 6. Построение согласованного каркаса между двумя сечениями

Интерполируемое значение отклонения от математической модели в точке с параметрическими координатами s_k, t_k определяется на основе известных отклонений $\Delta_i^j, \Delta_i^{j+1}, \Delta_{i+1}^{j+1}, \Delta_{i+1}^j$ в точках $\mathbf{R}_i^j, \mathbf{R}_{i+1}^{j+1}, \mathbf{R}_{i+1}^j, \mathbf{R}_i^{j+1}$ по формуле, аналогичной формуле (1):

$$\mathbf{D}_i^j(s_k, t_k) = [1-s_k, s_k] \begin{bmatrix} \Delta_i^j & \Delta_i^{j+1} \\ \Delta_{i+1}^j & \Delta_{i+1}^{j+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-t_k \\ t_k \end{bmatrix}.$$

Искомое смещение для точки траектории фрезы $\mathbf{r}_k$: $\mathbf{D}_k = \mathbf{D}_i^j(s_k, t_k)$.

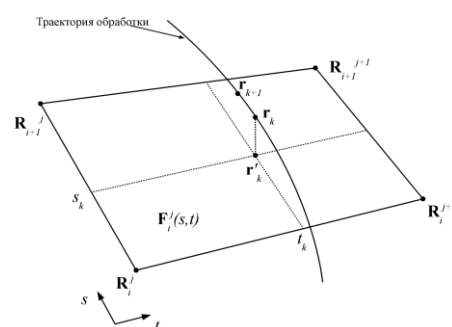


Рис. 7. Соответствие между точкой траектории фрезы и билинейной поверхностью

Описанная процедура выполняется для каждой точки траектории режущего инструмента управляющей программы, осуществляя, таким образом, требуемую корректировку. После проведения обработки по скорректированной траектории измерения детали могут быть проведены повторно и, в случае недопустимых отклонений, выполнена повторная корректировка.

Пример использования разработанной коррекции управляющих программ. Рассмотрим пример изготовления панели носового обтекателя аэродинамической модели из ПКМ (рис. 8). Матрица для формования детали изготавливается путем фрезерования на станке с ЧПУ. Основной объем материала снимается послойной черновой обработкой. После черновой обработки производится финишная чистовая обработка. Изготовленная матрица показана на рис. 9.

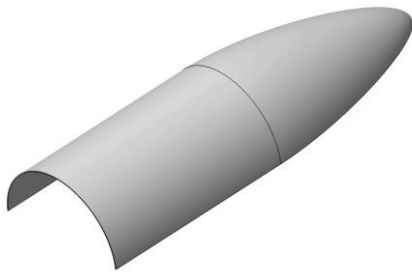


Рис. 8. Математическая модель обтекателя из ПКМ



Рис. 9. Матрица для формования панели обтекателя из ПКМ

После формования в матрице обтекателя были проведены его измерения по контрольным сечениям (рис. 4). По результатам измерений определены отклонения измеренных точек от исходной математической модели поверхности обтекателя. На рис. 10 показан эпюрный график отклонений для одного из контрольных сечений. Максимальные отклонения составили ~0,4 мм. Выполненная корректировка с повторным фрезерованием матрицы существенно снизила отклонения детали от формы, определяемой математиче-

ской моделью. На графике отклонений в том же контрольном сечении обтекателя (рис. 11) видно, что отклонения уменьшились и не превышают $\pm 0,1$ мм.

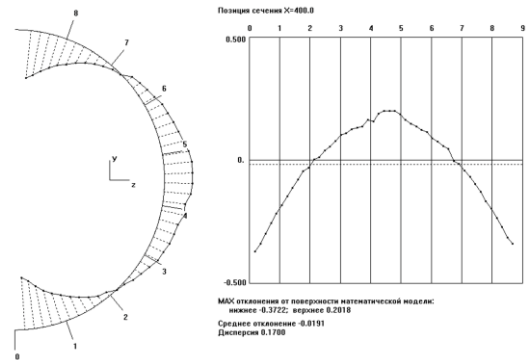


Рис. 10. Отклонения измеренных точек обтекателя от математической модели в сечении $X=400$ мм

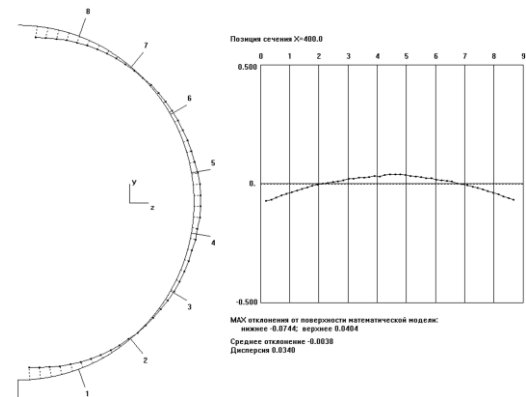


Рис. 11. Отклонения измеренных точек от математической модели в сечении $X=400$ мм для обтекателя, изготовленного в скорректированной оснастке

Выводы: разработан способ обеспечения точности изготовления детали из ПКМ за счет корректировки управляющих программ обработки формообразующих элементов технологической оснастки по результатам измерений отформованных деталей на КИМ. Выполнена программная реализация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фокс, А. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве: пер. с англ. / А. Фокс, М. Пратт. – М.: Мир, 1982. 304 с.

ADJUSTMENT THE CONTROL PROGRAM OF FORMING EQUIPMENT MACHINING TO ENSURE MANUFACTURING ACCURACY OF PARTS FROM POLYMER COMPOSITE MATERIALS BY MEASURING DATA FROM A COORDINATE-MEASURING MACHINE

© 2016 M.A. Arkhangelskaya, V.D. Vermel, Yu.Yu. Evdokimov, P.M. Nikolaev
Central Aerohydrodynamic Institute (TsAGI), Zhukovsky

A method to adjust control programs of NC machining of tooling forming elements in order to ensure required accuracy of conformity with given mathematical model is suggested. Modification procedure and its application for manufacturing accuracy ensuring of nose cone panel of a large-size wind tunnel model made of polymer composite materials (PCM) are considered.

Key words: composite materials, tooling, coordinate-measuring machine

Maria Arkhangelskaya, Minor Research Fellow. E-mail: marhang1@gmail.com; Vladimir Vermel, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Scientific and Technological Center at Scientific and Production Complex. E-mail: vermel@tsagi.ru; Yuriy Evdokimov, Head of the Department. E-mail: yuriy.evdokimov@tsagi.ru; Prokopy Nikolaev, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department. E-mail: prokopi@gemma.ru