

Усовершенствование технологии фрезерования деталей с неравномерной жесткостью

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

Проведен обзор технологий фрезерования деталей с неравномерной жёсткостью. Предложен метод на базе переменной коррекции с выполнением инженерного анализа в САЕ-системе. Обработаны результаты расчетов нежелательных отклонений нежестких тонкостенных элементов под действием направленной нагрузки.

Ключевые слова: неравномерная жесткость, САЕ-системы, САМ-системы, точность обработки, высокоскоростная обработка, отклонение, отжимающая сила.

Введение

Современная машиностроительная отрасль характеризуется повышенным требованием к качеству изготовления деталей с элементами неравномерной жёсткости. В большей степени это свойственно таким деталям, как турбины, центробежные колеса, импеллеры и др. Эти детали относятся к ответственным элементам механизмов, их применяют в авиа-, двигателестроении, в узлах гидро-, пневмоприводов.

Формирование поверхностей в процессе изготовления нежестких деталей может вызвать определенные трудности, которые обусловлены сложностью геометрической формы указанных деталей (рис. 1), а также наличием тонкостенных элементов разной толщины в каждом сечении. Такими тонкостенными элементом являются лопатки. Качество обработки этих лопаток влияет на параметры функционирования системы, в которой применяют детали такого типа.

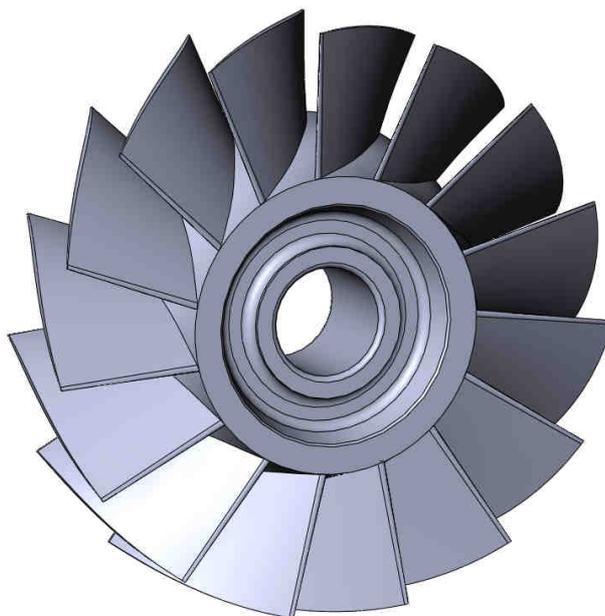


Рис. 1. Крыльчатка нагнетающего аппарата

Анализ последних исследований и литературы

Из обзора работ, связанных с обработкой нежестких тонкостенных деталей можно проследить стремление снизить влияние разного рода негативных факторов на процесс формирования поверхностей. Один из эффективных методов – высокоскоростное фрезерование (ВСФ) на 5-координатных станках с ЧПУ [1,2,3]. Преимуществом является не только снижение температуры в зоне обработки, но и существенное снижение силы резания, а следовательно, уменьшение нежелательного отжимающего эффекта на тонкостенные элементы деталей.

Для повышения производительности выполнения операций ВСФ на этапе черновой обработки актуален вопрос применения плунжерного фрезерования [4–5]. Кроме того, этот вид обработки следует рассматривать при нестабильных условиях процесса резания, когда необходимо избавиться от большой доли радиальных усилий и преобразовать их в осевые.

Как инновационный способ снижения вибраций может быть применен виброгаситель [6], с помощью которого можно оперативно устранить вибрацию и обеспечить дополнительное повышение жесткости детали.

Перспективным методом обработки нежестких деталей является стратегия обработки лопаток моноколёс на обрабатывающих центрах с ЧПУ с переменной 3d-коррекцией [7], призванной компенсировать влияние нежесткой конструкции лопаток, случайных, технологических и других факторов на точностные характеристики обработанных лопаток моноколёс. Значение коррекции вводится как переменная величина в зависимости от местоположения точки контакта инструмента с деталью по высоте лопатки.

Интерес представляет метод на основе переменной 3d-коррекции, а также возможности компенсации нежелательных отклонений размеров путем включения в программу обработки дополнительных параметров. При этом следует осуществить выполнение поставленной задачи с применением современных средств инженерного анализа в виде CAE-системы.

Целью данной работы является усовершенствование технологии фрезерования деталей с неравномерной жёсткостью с помощью инженерного анализа на базе конечно-элементной CAE системы ANSYS.

Постановка проблемы

В работе рассмотрена обработка детали «крыльчатка нагнетающего аппарата». Трудности обработки обусловлены неравномерным распределением жёсткости в каждом сечении лопаток этой детали. Чаще всего поверхности формируются концевым фрезерованием. После контакта фрезы с тонкостенным элементом могут возникнуть нежелательные отклонения в результате отжимающего эффекта давления фрезы на поверхность.

Материалы исследований. Для решения задачи определения степени нежелательных отклонений в процессе высокоскоростного фрезерования предложено использовать компьютерное проектирование и моделирование образов исследуемых технологических объектов на базе вычислительных логических алгоритмов с применением метода конечных элементов в среде CAE-модуля ANSYS.

На основе предварительно созданной модели детали «крыльчатка нагнетающего аппарата» выделяется лопатка, которая импортируется в CAE-систему.

Грань лопатки необходимо лишить степени свободы в том месте, где она соединена с остальной деталью.

Для получения представления, какое влияние оказывает фреза на тонкостенную поверхность, рассмотрим шесть точек на лопатке (рис. 2), пять из которых можно считать критическими, так как они находятся на краях лопатки, максимально удаленно от места фиксации. Следовательно, в этих точках предположительно будет наблюдаться максимальное отклонение от изначального состояния.

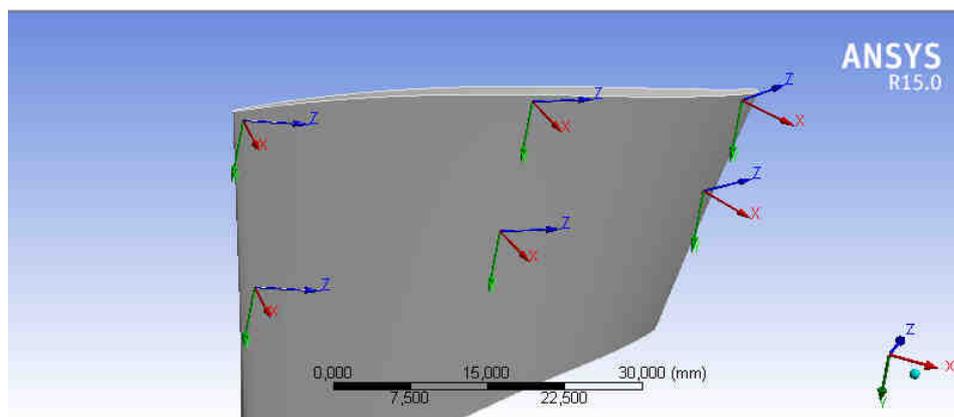


Рис. 2. Локальные системы координат в критических точках

Чтобы оценить величину отклонений, необходимо нагрузить критические точки силами. Направление действия сил задано вдоль осей x локальных систем координат. Ось x перпендикулярна поверхности лопатки. Для расчета используют формулу силы резания

$$P_x = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \quad (1)$$

где C_p – коэффициент, который учитывает физико-механические свойства материала;

x, y, u, w, q – показатели степени, которые зависят от характера обработки, материала детали и материала режущей части инструмента;

t – глубина резания, мм;

s_z – подача, мм/об;

B – ширина резания, мм;

z – число зубьев фрезы;

D – диаметр фрезы, мм;

n – частота вращения фрезы, мин^{-1} ;

K_{MP} – общий поправочный коэффициент, который учитывает качество обрабатываемого материала.

В результате расчета получены значения силы, которыми нагружаются критические точки в системе ANSYS, как силы направленной нагрузки.

Существует прямая зависимость параметров – величины снимаемого материала, силы направленной нагрузки и, как следствие, величины отклонения. Та-

ким образом, чем больше значение припуска – глубина, ширина резания в формуле (1), тем больше сила резания, тем более выражен отжимающий эффект тонкостенной лопатки.

Учитывая неравномерную жёсткость в каждом сечении лопатки, можно предположить, что, меняя значение припуска на разных участках лопатки, можно добиться уменьшения нежелательных отклонений.

Результаты исследования, полученные с помощью расчета в системе ANSYS, позволяют наглядно оценить степень максимальных значений отклонений лопатки в разных критических точках (рис. 3–8). Кроме того, получен график распределения отклонений в зависимости от направленной нагрузки. Проведено моделирование двух вариантов направленной нагрузки 80Н и 55Н соответственно, результаты значений занесены в таблицу.

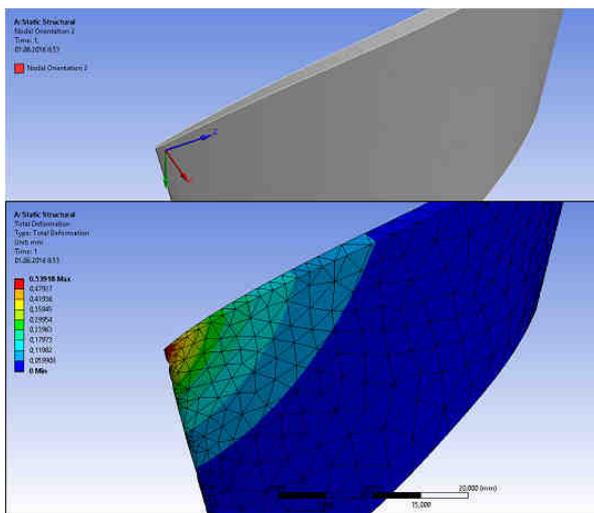


Рис. 3. Максимальное отклонение критической точки – 0,53 мм

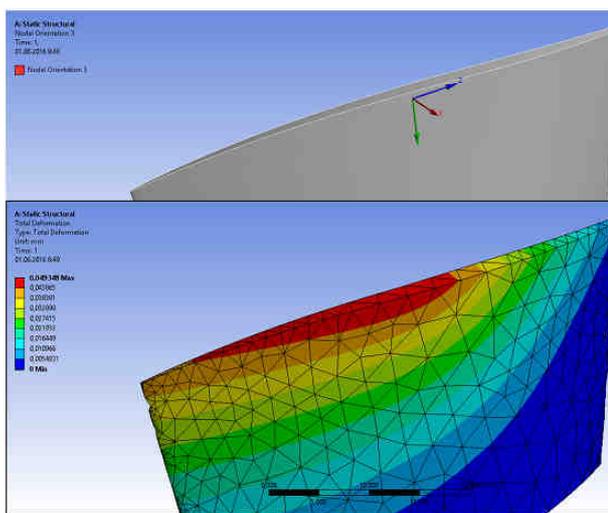


Рис. 4. Максимальное отклонение критической точки – 0,049 мм

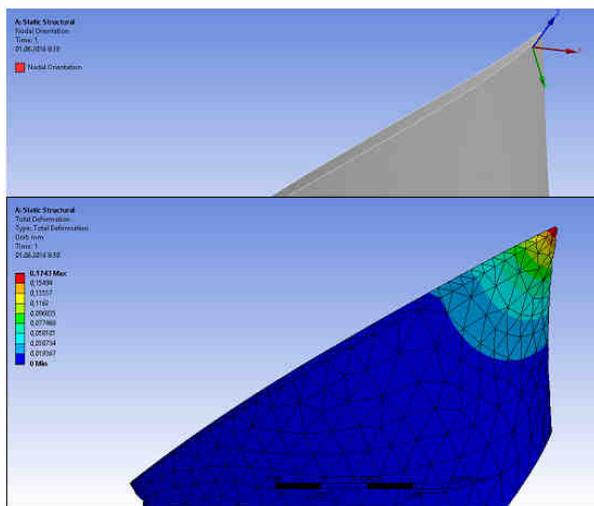


Рис. 5. Максимальное отклонение критической точки – 0,17 мм

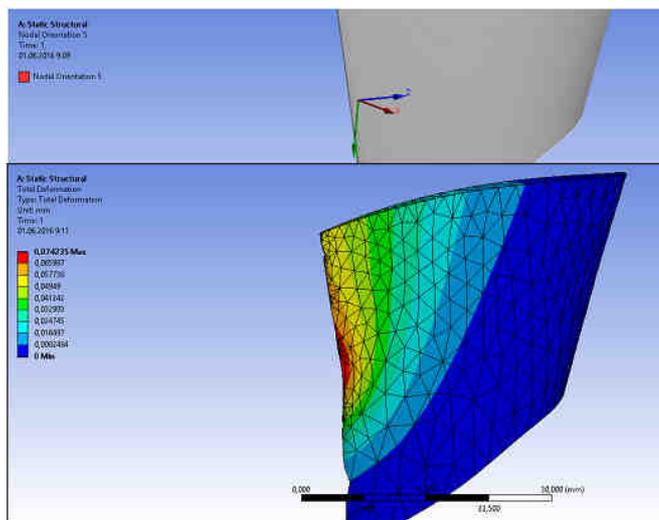


Рис. 6. Максимальное отклонение критической точки – 0,07 мм

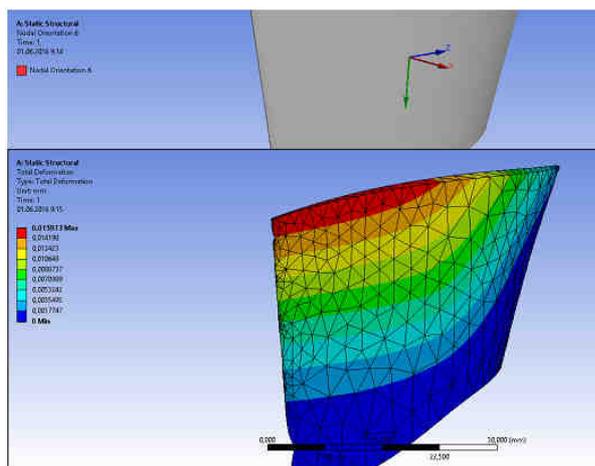


Рис. 7. Максимальное отклонение критической точки – 0,016 мм

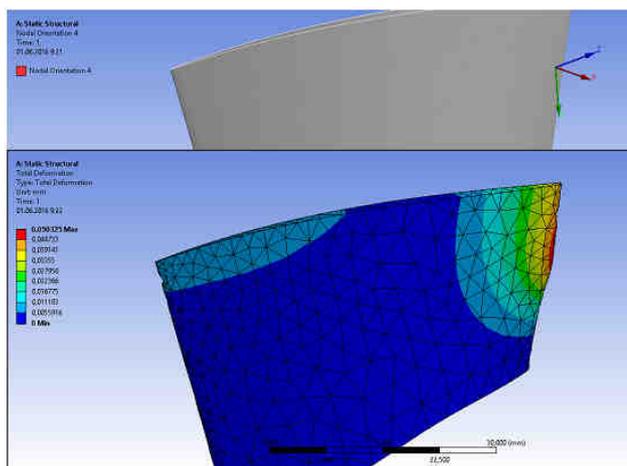


Рис. 8. Максимальное отклонение критической точки – 0,05 мм

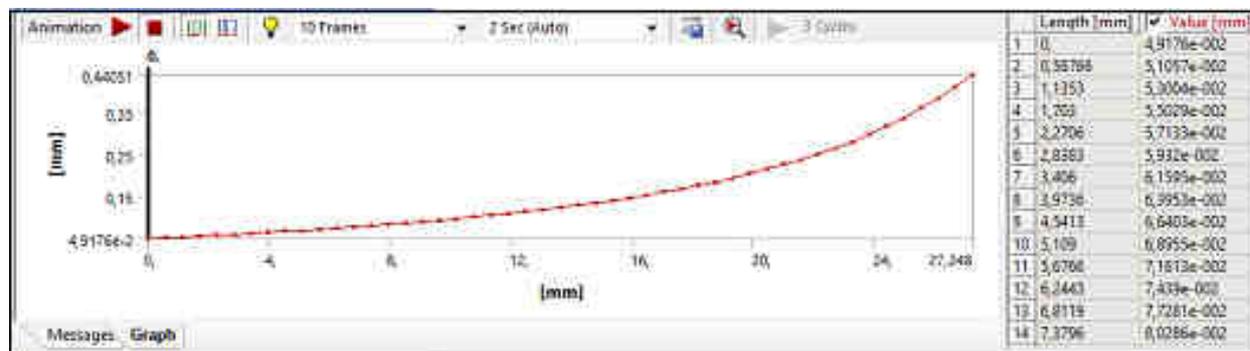


Рис. 9. График зависимости величин отклонений от направленной нагрузки

Значения отклонений критических точек для двух вариантов

Критические точки	Отклонения при изменении направленной нагрузки, мм	
	Вариант 1	Вариант 2
1	0,53	0,3
2	0,049	0,034
3	0,17	0,1
4	0,07	0,05
5	0,016	0,01
6	0,05	0,03

Перспективы дальнейших исследований

Дальнейшие исследования должны быть направлены на использование полученных значений отклонений для внесения коррекции в программу обработки.

Выводы

Результаты моделирования позволяют проследить изменение отклонений в зависимости от направленной нагрузки.

Исследование неравномерной жесткости тонкостенных элементов имеет практическую ценность, так как позволяет повысить точность фрезерной обработки, что положительным образом влияет на характеристики изделия в целом.

Список литературы

1. Повышение эффективности высокоскоростного фрезерования центробежных колёс [Текст] / Ю. В. Грачёв, Г. В. Пухальская, С. В. Критчин, Т. А. Панченко // Вестник двигателестроения. – 2011. – № 1. – С. 95-100.
2. Добротворский, С. С. Исследование оптимального угла наклона концевой сферической фрезы относительно обрабатываемых поверхностей деталей сложной формы с переменной жесткостью [Текст] / С. С. Добротворский, Е. В. Басова, М. И. Гасанов и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 69.– Х., 2015.– С. 108 – 112.
3. Басова, Е. В. Обеспечение точности изготовления сложнопрофильных поверхностей концевыми фрезами на обрабатывающих центрах [Текст] / Е. В. Басова // Проблемы проектирования и автоматизации в машиностроении – 2015: сб. науч. Тр. Закрытое акционерное общество «ОНИКС». – Ирбит: ЗАО «ОНИКС», 2015. –С. 153-162.
4. Повышение эффективности процесса ВСФ центробежных колёс за счёт оптимизации режимов резания и использования высокопроизводительных методов обработки [Текст] / Э. В. Кондратюк, Г. В. Пухальская, В. Г. Жарик и др. // Вестник двигателестроения. – 2012. – № 1. – С. 103-113.
5. Панасенко, В. А. Черновая обработка центробежных моноколёс ГТД с применением плунжерного фрезерования на обрабатывающих центрах с ЧПУ [Текст] / В. А. Панасенко, А. Я. Качан, В. Ф. Мозговой // Авиационно-космическая техника и технология. – 2011. – № 7. – С. 48-52.
6. Применение специальных гасителей вибраций при чистовом фрезеровании тонкостенных деталей. – Режим доступа: <http://www.sarj.ru/article.aspx?id=24606&iid=1135>. – Дата обращения: 15 мая 2016.
7. Мозговой, В.Ф. Стратегии обработки лопаток моноколёс на обрабатывающих центрах с ЧПУ с переменной 3D-коррекцией [Текст] / В. Ф. Мозговой, К. Б. Балуюк, И. И. Котов и др. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2013. - № 7. – С. 22–28.
8. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора: – ч. 1 [Текст]: моногр. / Ф.М. Муравченко, П.Д. Жеманюк и др. – Запорожье: Изд-во АО “Мотор Сич”, 2003. – 396 с.
9. Басова, Е.В. Технологическое обеспечение качества и точности поверхностей деталей из закаленных хромомолибденовых сталей методом высокоскоростного фрезерования: дис.... канд. техн. наук : 05.02.08 / Басова Евгения Владимировна. – Х., 2014. – 236 с.

Поступила в редакцию 21.06.2016

Удосконалення технології фрезерування деталей з нерівномірною жорсткістю

Виконано огляд технологій фрезерування деталей з нерівномірною жорсткістю. Запропоновано метод на базі змінної корекції з виконанням інженерного аналізу в CAE системі. Опрацьовано результати розрахунків небажаних відхилень нежорстких тонкостінних елементів під дією спрямованого навантаження.

Ключові слова: нерівномірна жорсткість, CAE-системи, CAM-системи, точність оброблення, високошвидкісна обробка, відхилення, відтискуюча сила.

Improving the Technology of Milling Parts with Uneven Hardness

The overview of milling technology parts with uneven hardness is made. The method that based on the variable compensation with the implementation in CAE engineering analysis system is proposed. Results of calculations of unwanted deviations non-rigid thin-walled elements under the influence of the load direction are processed.

Keywords: uneven stiffness, CAE system, CAM system, precision machining, high-speed processing, the deviation, the urging force.

Сведения об авторах:

Добротворский Сергей Семенович – д-р техн. наук, профессор кафедры Технологии машиностроения и металлорежущих станков, Национального технического ун-та «Харьковский политехнический институт», Украина.

Басова Евгения Владимировна – канд. техн. наук, доцент кафедры Технологии машиностроения и металлорежущих станков, Национального технического ун-та «Харьковский политехнический институт», Украина.

Кононенко Сергей Николаевич – магистр кафедры Технологии машиностроения и металлорежущих станков, Национального технического ун-та «Харьковский политехнический институт», Украина.