

Шрубченко И. В., д-р техн. наук, проф.,
Черняев А. С., аспирант,
Мурыгина Л. В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗАКРЫЛКА ПРИ ОБРАБОТКЕ БАНДАЖА

shrubens@yandex.ru

Предложена вычислительная модель для описания процесса формирования поверхностей закрылка при обработке, на основе которой разработана программа для моделирования процесса обработки торцевой поверхности бандажа и формирования закрылка. Представлены результаты моделирования обработки поверхностей закрылка. Получены диаграммы позволяющие оценить ожидаемую погрешность обработки и определить оптимальные параметры угловых положений обрабатывающего инструмента и опорных роликов.

Ключевые слова: бандаж, фасонная канавка, формирование поверхности закрылка, компьютерное моделирование, мобильные технологии.

В Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова разработана технология, позволяющая реконструировать бандаж плавающего типа «П» во вварной тип «В» [1]. Основной особенностью такого бандажа является выполнение на его торцевых поверхностях закрылков для последующей сварки с корпусом технологического барабана (ТБ) и специальной фасонной канавки, которая должна обеспечивать условия равномерного распределения напряжений, возникающих от действия массы ТБ при его эксплуатации.

При реконструкции бандажа типа «П» в тип «В», необходимо обеспечить точность формы образуемого закрылка. Учитывая то, что имеет место бесцентровая схема обработки, для раскрытия связей, оказывающих влияние на процесс формирования поверхностей [2], требуется проведение компьютерного моделирования. Для этого разработана вычислительная модель, описывающая процесс формирования поверхностей закрылка при обработке. Точность формы поверхности в вычислительной модели удобнее всего задать как разницу толщины закрылка по его длине окружности – Δ . Исходная схема обработки

торцевой поверхности бандажа при формировании канавки представлена на рис.1. Бандаж типа «П» с радиусом R_e базируется на двух опорных роликах, имеющих радиус R_o и расположенных под углом f_o друг относительно друга. На схеме приведен также межосевой размер L первого и второго опорных роликов. Угловое положение резца задаем значением f_{pe} и радиусом его расположения R_{pe} . Все вышеперечисленные исходные параметры зависят от типоразмера опоры ТБ. Например, для опоры вращающейся печи 5×185 м с несущей способностью 6600кН: $R_{po} = 850$ мм; $R_e = 3050$ мм; $f_o = 60^\circ$; $R'_e = 2650$ мм.

Контур поверхностей бандажа в вычислительной модели удобнее всего задать в виде точек (рис.2) с определенными значениями радиус-векторов в системе координат бандажа.

$$R_{\delta i} = R_{\delta in} + \Delta R_{\delta i} \cdot \sin(i/N)^2;$$

$$R_i = R_{in} + \Delta R_i \cdot \sin(i/N)^2,$$

где $R_{\delta in}$ и R_{in} – номинальные значения радиусов поверхностей основной и вспомогательной баз соответственно; $\Delta R_{\delta i}$ и ΔR_i – задаваемая погрешность формы основной и вспомогательной баз.

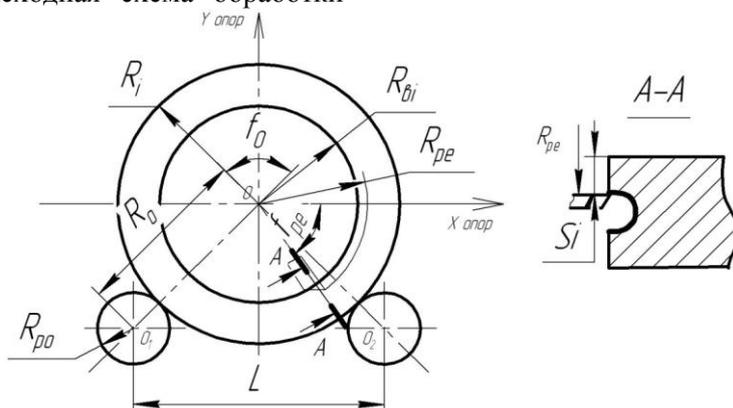


Рис. 1. Схема обработки канавки на торцевой поверхности бандажа

Первым этапом вычислений является формирование массива значений эквидистанты опорных роликов. Для каждой точки контура базовой поверхностью формируются две точки эквидистанты опорных роликов. Вычисление радиусов и угловых положений точек эквидистанты осуществляем по следующим зависимостям:

$$R_{eki} = \sqrt{x_{eki}^2 + y_{eki}^2};$$

$$f_{eki} = \arctg\left(\frac{y_{eki}}{x_{eki}}\right),$$

где x_{eki} и y_{eki} – координаты точек эквидистанты.

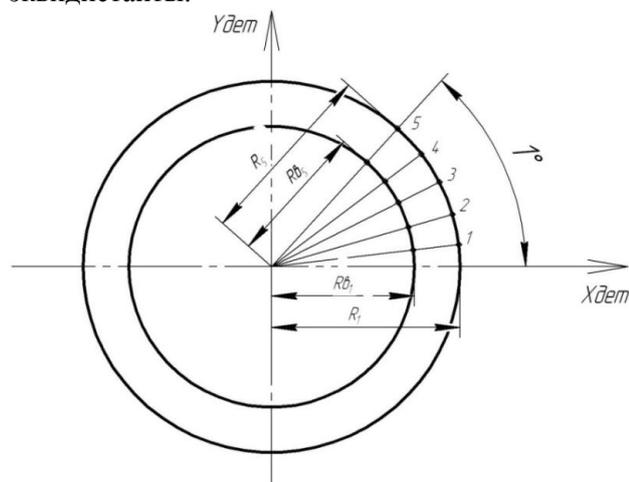


Рис. 2. Задание контура поверхностей бандажа

Осуществляя последовательный перебор точек эквидистанты с шагом

$$\Delta R / \Delta f = (R_{эк2}' - R_{эк1}') / (f_{эк2}' - f_{эк1}')$$

Находим точку на отрезке 1'-2', соответствующую угловому положению с целочисленным индексом (рис. 3), т.е. ближайший больший к $f_{эк1}'$ и вычисляем значение радиуса.

$$R_1' = R_{эк1}' + \Delta R / \Delta f (f_{эк1}' - f_{эк1}')$$

где $f_{эк1}'$ – угловое положение радиус-вектора точки эквидистанты, соответствующее целочисленному индексу.

Задаем угловое положение первого ролика – f_{p1} , последовательно перебирая точки эквидистанты 2', 3' и т.д. находим приближенное значение углового положения оси второго ролика. Из ΔOO_1O_2 :

$$O_1O_2^2 = O_1O^2 + O_2O^2 - 2O_1O \cdot O_2O \cdot \cos(f_{p1} - f_{p2}),$$

где $O_1O = R_{p1}$, а $O_2O = R_{p2}$ – радиус-векторы точек эквидистанты, соответствующие угловому

положению f_{p1} и f_{p2} первого и второго опорных роликов соответственно.

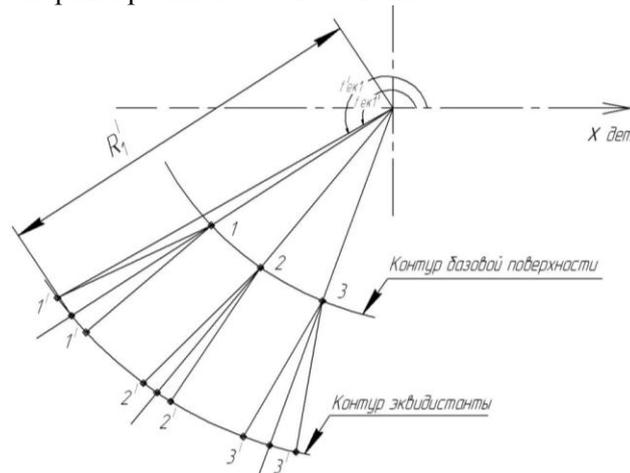


Рис. 3. Преобразование значений параметров эквидистанты

Точное угловое положение оси находится между точками R_i' и R_{i+1}' в точке R_2 (рис. 4), его можно найти, осуществляя постепенное «подшагивание».

$$OR_2 = \sqrt{R_i^2 + (R_2R_i)^2 - 2R_i \cdot (R_2R_i) \cdot \cos(\angle OR_iR_2)};$$

$$f_2 = f_i + \arcsin\left(\frac{R_2R_i \cdot \sin \angle OR_iR_2}{OR_2}\right),$$

где R_2R_i – задаваемая величина «подшагивания».

Радиальное положение вершины резца относительно осей опорных роликов можно считать неизменным, тогда

$$x_{pe} = R_{pe} \cdot \cos f_{pe},$$

$$y_{pe} = R_{pe} \cdot \sin f_{pe}.$$

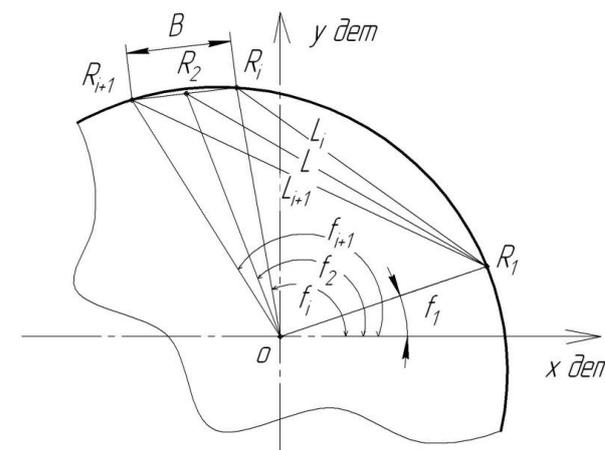


Рис. 4. Определение точного углового положения оси второго опорного ролика

Добиться условия, чтобы оси опорных роликов находились в расчетных значениях точек R_1 и R_2 , необходимо выполнить ряд преобразований (рис. 5).

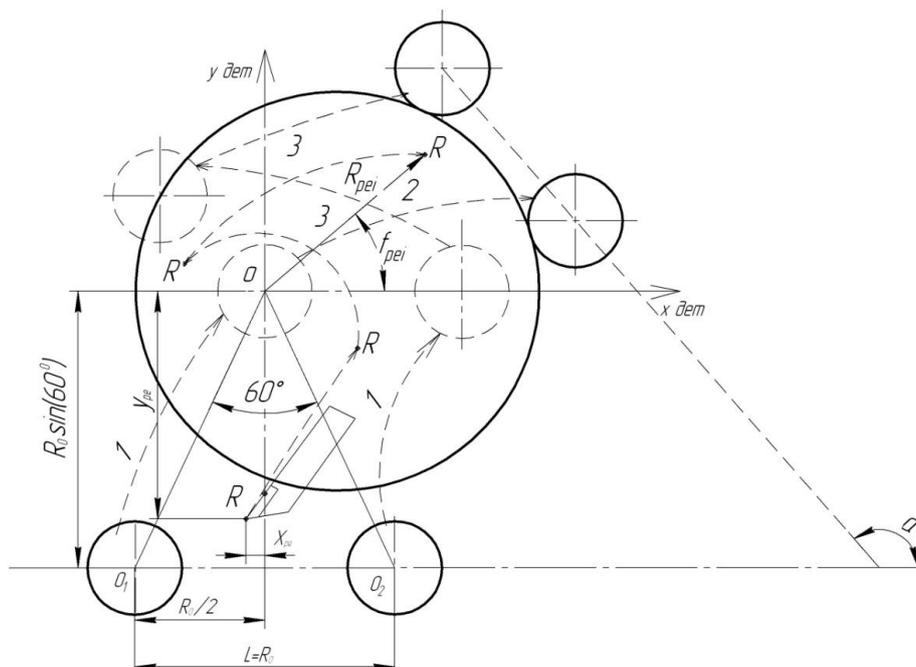


Рис. 5. Определение положения осей роликов и вершины резца при обработке

Первое преобразование – смещение осей опорных роликов таким образом, чтобы ось первого ролика совпала с осью базовой поверхности бандажа, т.е. осуществить сдвиг осей роликов на вектор $\left(\frac{R_0}{2}; R_0 \cdot \sin(60^\circ)\right)$.

$$x_{pe} = R_{pe} \cdot \cos f_{pe} + R_0 / 2;$$

$$y_{pe} = R_{pe} \cdot \sin f_{pe} + R_0 \cdot \sin(60^\circ)$$

Второе преобразование – поворот опорных роликов на угол α относительно центра координат O . При этом координаты первого ролика остаются неизменными, а для оси второго ролика составят $[x_{i+1} - x_i; y_{i+1} - y_i]$. Используя формулы поворота, получим:

$$x_2 - x_1 = R_0 \cdot \cos \alpha - O \cdot \sin \alpha;$$

$$y_2 - y_1 = R_0 \cdot \sin \alpha - O \cdot \cos \alpha.$$

Отсюда можно определить значение угла поворота системы координат

$$\cos \alpha = (x_2 - x_1) / R_0;$$

$$\sin \alpha = (y_2 - y_1) / R_0.$$

Третье преобразование – смещение оси первого ролика в точку $[x_{R1}; y_{R1}]$, а второго ролика в точку $[x_{R2}; y_{R2}]$ на вектор $[x_{R1}; y_{R1}]$, который был вычислен ранее.

Получим координаты вершины резца.

$$x_{pe} = x'_{pe} \cdot \cos \alpha - y'_{pe} \cdot \sin \alpha + x_{R1};$$

$$y_{pe} = x'_{pe} \cdot \sin \alpha - y'_{pe} \cdot \cos \alpha + y_{R1}.$$

Полученные значения преобразуем в полярную систему координат и получаем радиус

и угловое положение точки обрабатываемой поверхности

$$R_{pe} = \sqrt{x_{pe}^2 + y_{pe}^2};$$

$$f_{pe} = \arctg\left(\frac{y_{pe}}{x_{pe}}\right).$$

Перемещаем ось первого ролика на один шаг и повторяем процедуру вычислений. Таким образом, формируем последовательно матрицу значений радиусов обрабатываемой поверхности.

Значения радиус-векторов базовой поверхности R_{ei} сравниваем со значением радиусов обрабатываемой поверхности R_{pei} в соответствующих угловых положениях (рис.6) и вычисляем размер по толщине S_i формируемого закрылка

$$S_i = R_{pei} - R_{ei}.$$

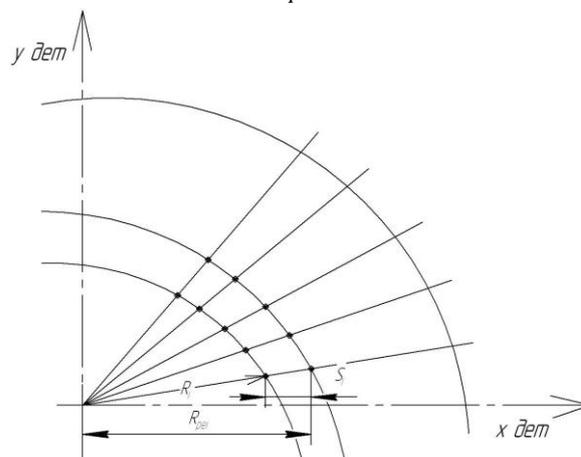


Рис.6. Определение размера формируемого закрылка

Разница между максимальным и минимальным значениями радиуса S_i позволяет определить его погрешность:

$$\Delta = S_i^{\max} - S_i^{\min}.$$

На основе вычислительной модели разработана программа для моделирования процесса обработки торцевой поверхности бандажа и формирования закрылка. Результаты моделирования для исходной базовой поверхности с четырьмя гармониками представлены на рис. 7, 8 и 9.

Поверхность бандажа и траектория

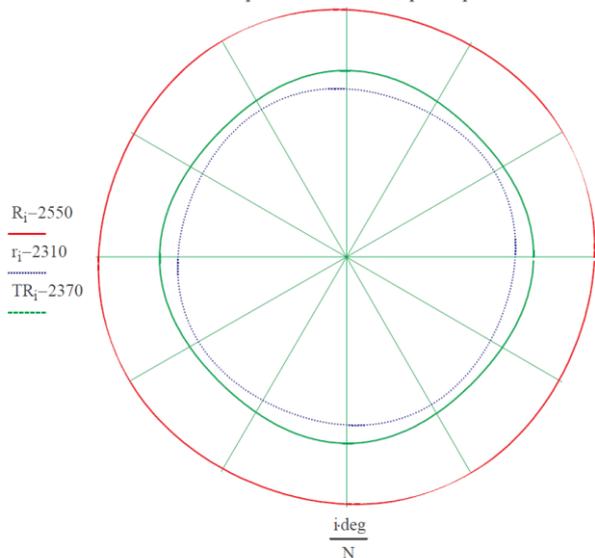


Рис. 7. Исходная форма базовых поверхностей бандажа и траектория формообразующего движения инструмента

Величина отклонения

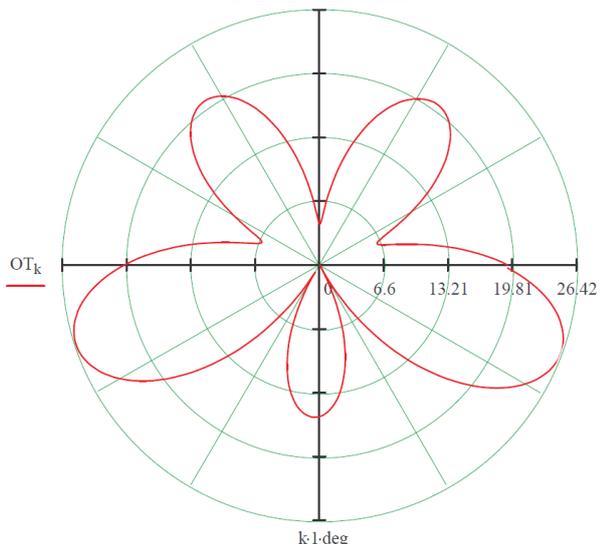


Рис. 8. Диаграмма зависимости погрешности обработки от углового положения режущего инструмента

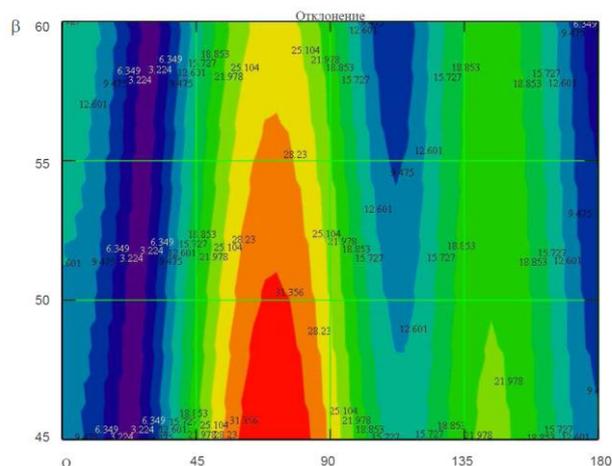


Рис. 9. Диаграмма зависимости точности обработки от углового положения опорных роликов и режущего инструмента

Анализ полученных диаграмм позволяет оценить ожидаемую погрешность обработки и определить оптимальные параметры угловых положений режущего инструмента и опорных роликов, необходимые для настройки специального стенда и специального переносного станка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 114763 Российская Федерация, МПК F 27 В 7/20. Бандаж вращающейся печи / Черняев А.С., Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Архипова Н.А., Рыбалко В.Ю.; заявитель и патентообладатель Белгород. гос. технол. ун-т. им. В.Г. Шухова – №2011140909/22; заявл. 07.10.11; опубл. 10.04.12, Бюл. №10. – 2 с.

2. Шрубченко, И.В. О необходимости обработки поверхностей бандажей технологических барабанов при их сборке / И.В. Шрубченко // Тяжелое машиностроение. – 2006. - № 10. – С. 27 – 29.