

DOI: 10.12737/25049

Дуганов В.Я., канд. техн. наук, доц.,
Сумской А.М. аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЦЕНТРА КОЛЬЦА ПРИ БЕСЦЕНТРОВОЙ ОБРАБОТКЕ

Sumskoiam@yandex.ru

В данной работе приводятся исследования зависимости факторов упругих деформации изделия и смещения его оси вращения в пространстве, на точность бесцентровой обработки крупногабаритных изделий. Это позволяет повысить качество опорных узлов крупногабаритных вращающихся агрегатов, за счет повышения точности механической обработки функциональных поверхностей. Что является весьма актуальным при монтаже и ремонтной обработке переносными станочными модулями на предприятиях горнорудной и строительной индустрии.

Ключевые слова: упругие деформации, нестационарная ось вращения, бесцентровая обработка крупногабаритных изделий.

Введение. Формообразование при бесцентровой обработке деталей зависит от нескольких факторов, основными из которых являются геометрические параметры наладки станка. Влияние этих факторов исследовано и описано достаточно хорошо в работах [1–5]. В основе объяснения этого влияния лежит предпосылка, что мгновенная глубина резания определяется текущими значениями погрешности формы обрабатываемой детали в точках её контакта с режущим инструментом и базирующими элементами. Перемещение мгновенного центра вращения детали непосредственно влияет на изменение глубины резания по углу поворота кольца, и, следовательно, к искажению геометрической формы обрабатываемой поверхности.

Задача повышения точности формообразования усложняется тем, что требуется снять минимальный припуск для получения требуемого размера.

Если при обработке на бесцентровошлифовальных станках мы говорим о геометрических параметрах настройки станка, как об основных факторах, влияющих на точность обработки, то при обработке крупногабаритных колец на наземном передвижном станке, речь чаще всего приходится вести о влиянии отдельных параметров базовых элементов конструкции: диаметре опорных роликов, центральном угле установки роликов, углах расположения режущего инструмента.

Кроме вышеперечисленных факторов при бесцентровой обработке крупногабаритных деталей - типа колец, значительное влияние оказывают и масштабные факторы, например, упругие деформации кольца и мгновенные колебания центра вращения в пространстве.

Таким образом, на точность обработки детали кроме таких известных факторов, как геометрические параметры настройки, будут влиять деформация обрабатываемой детали δ , угол поворота оси симметрии деформированного кольца при его вращении ε и возникающие колебания обрабатываемой детали.

Методология. Исследование факторов, оказывающих существенное влияние на точность бесцентровой обработки крупногабаритных изделий с целью установления связей этих факторов с обеспечением точности формы и повышением производительности труда.

Основная часть. Закон движения центра математического эталона вписанной в контур обрабатываемого кольца прилегающей окружности, являющейся и измерительной базой при бесцентровом точении, характеризует точность обработки и необходим для управления инструментом. С учетом первоначальной эллиптической формы бандажей цементных печей и дополнительных искажений формы наружной цилиндрической поверхности.

На практике такое базирование имеет место в случае выверочной прокрутки кольца или обечайки на роликах небольшого размера (соотношение диаметров кольца и роликов более 20:1), или при обмерах крупногабаритного кольца с помощью прибора, имеющего небольшие опорные ролики или острозаточенные опоры.

В качестве исходных параметров заданы полуоси эллипса и опорный угол $\alpha=60^\circ$. На рис. 1.а показано положение кольца на острозаточенных опорах с подвижной системой координат

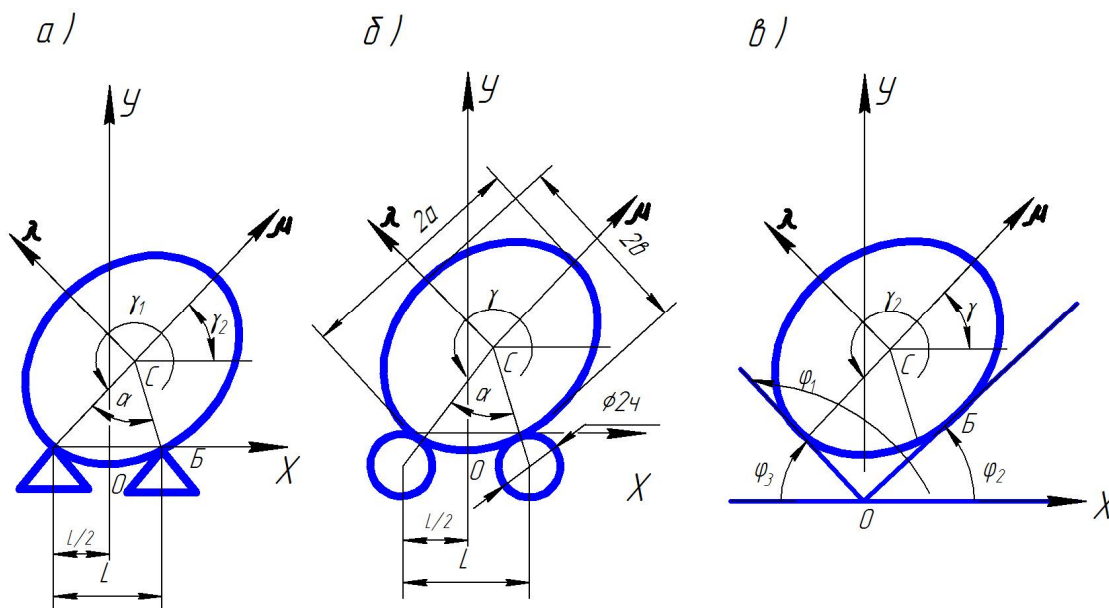


Рис. 1. Виды базирования при бесцентровой обработке колец

Решая систему уравнений для фиксированного угла μ , определяем $\mu_A; \lambda_A$ и $\mu_B; \lambda_B$

$$\mu_{A,B} = \pm \frac{a \cdot b}{\sqrt{b^2 - a^2 \cdot k_{1,2}^2}} ; \lambda_{A,B} = \pm \frac{k_{1,2} \cdot a \cdot b}{\sqrt{b^2 - a^2 \cdot k_{1,2}^2}} \quad (1)$$

где: $K_2 = \text{tg}(\gamma + \alpha)$ $K_1 = \text{tg}\gamma$

Находим длину l_1 и l_2 радиусов-векторов СА и СВ

$$l_1 = \sqrt{\mu_A^2 + \lambda_A^2} ; l_2 = \sqrt{\mu_B^2 + \lambda_B^2} \quad (2)$$

$$l_1 = \sqrt{(x_c - x_a)^2 + (y_c - y_a)^2} ; l_2 = \sqrt{(x_c - x_b)^2 + (y_c - y_b)^2} \quad (3)$$

Из рис. видно, что действительная длина радиус-векторов l'_1 и l'_2 будет меньше и равна:

$$l'_1 = \sqrt{(x_c - x_a)^2 + (y_c - \delta - y_a)^2} ; l'_2 = \sqrt{(x_c - x_b)^2 + (y_c - \delta - y_b)^2} \quad (4)$$

где: δ – смещение оси кольца при деформации под действием гравитационных сил.

Решая систему уравнений (4) относительно координат центра кольца x_c и y_c построим траекторию движения центра кольца.

Рассмотрим вращение кольца с базированием на призматическую опору. Такое базирование детали осуществляется при обработке приставным станком, имеющим плавающий суппорт, который позволяет получить обработанную деталь с большой точностью формы. Расчетная схема изображена на рис. 1, в.

Аналогично с предыдущей задачей нам заданы полуоси кольца а и b, а также углы φ_1 , φ_2 и φ_3 . Начальное положение подвижной системы

координат выбрано так, что направление осей и совпадает с полуосями кольца.

Для исследования вращения деформированного кольца воспользуемся математической моделью, разработанной профессором Пелипенко Н.А.[6] с корректировкой координат расположения точек А, Б и С на величины соответствующих деформаций, тогда:

$$x_a = \frac{L_1}{K_A \sqrt{r}} - \delta_{xa} \quad (5)$$

$$y_a = \frac{L_1}{\sqrt{r}} - \delta_{ya} \quad (6)$$

$$x_b = \frac{L_2}{K_B \sqrt{r}} - \delta_{xb} \tag{7}$$

$$y_b = \frac{L_2}{\sqrt{r}} - \delta_{yb} \tag{8}$$

где: K_A и K_B – угловые коэффициенты касательных прямых; δ_x и δ_y – величины деформаций соответствующих точек контура.

Координаты центра кольца также могут быть определены с учетом смещения его при

деформировании на величины δ_x и δ_y .

Для оптимизации процесса обработки колец разработаем математическую модель движения центра кольца. Перед построением модели процесса необходимо описать исходный контур кольца и определить оптимальный контур после обточки. Исходный контур удобнее задать в форме эллипса, поскольку при сборке полуколец эта форма ближе всего к реальной. За оптимальный контур целесообразно принять окружность, вписанную в эллипс, радиуса равного малой полуоси эллипса.

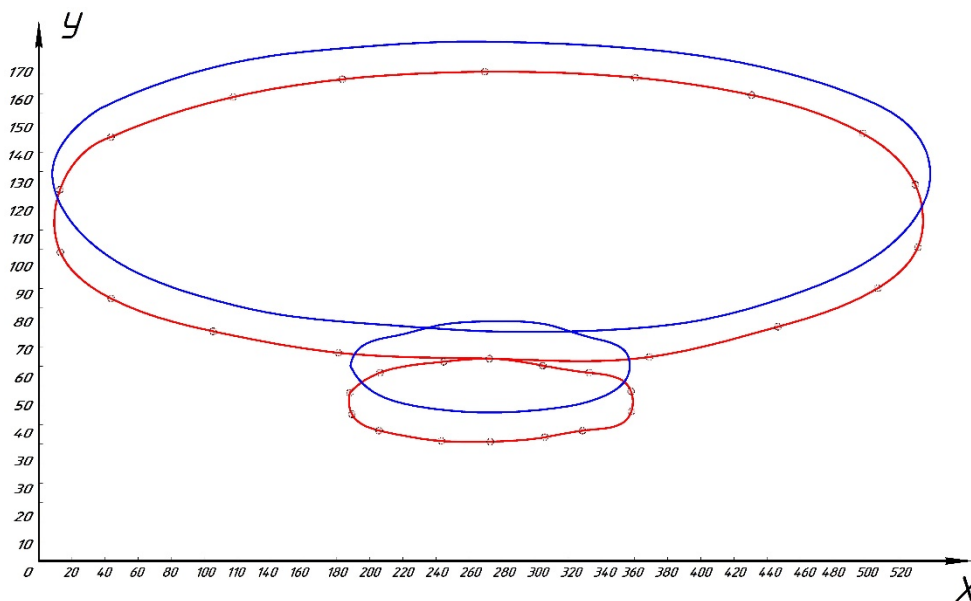


Рис. 2. Траектория перемещения геометрического центра деформируемого кольца

Запишем уравнение эллипса в полярных координатах с центром в точке С (рис. 1)

$$R^2(\tilde{\varphi}) = \frac{b^2}{1 - \varepsilon^2 \cdot \cos \varphi} \tag{9}$$

где: $\varepsilon = 1 - b^2/a^2$ - эксцентриситет эллипса; a – большая полуось эллипса; b – малая полуось эллипса; φ – полярный угол

С учетом деформаций эллипса под действием гравитационных сил уравнение примет вид:

$$R^2(\varphi) = \frac{b^2}{1 - \varepsilon^2 \cdot \cos^2 \varphi} \pm \delta_\varphi \tag{10}$$

где: δ_φ - деформация под действием гравитационных сил текущей точки кольца.

Для определения координат центра кольца ($x_c; y_c$) составляем исходные уравнения:

$$x_c = r \cdot \cos \alpha + \rho_1 \cdot \cos \varphi_1 \tag{11}$$

$$y_c = r \cdot \sin \alpha + \rho_1 \cdot \sin \varphi_1 - \delta / \cos \varphi_1 \tag{12}$$

$$r \cdot \sin \alpha + \rho_1 \cdot \sin \varphi_1 = r \cdot \sin \beta + \rho_2 \cdot \sin \varphi_2 \tag{13}$$

$$r \cdot \cos \alpha + \rho_1 \cdot \cos \varphi_1 + r \cdot \cos \beta + \rho_2 \cdot \cos \varphi_2 = l \tag{14}$$

$$\varphi + \tilde{\varphi}_1 + \frac{\pi}{2} - \varphi_1 = 2\pi \tag{15}$$

$$\varphi + \tilde{\varphi}_2 + \varphi_2 = \frac{\pi}{2} \tag{16}$$

$$\lambda_1 + \frac{\pi}{2} - \alpha + \varphi_1 = \pi \tag{17}$$

$$\lambda_2 + \frac{\pi}{2} + \beta - \varphi_2 = \pi \tag{18}$$

где: r – радиус опорного ролика; α и β – углы между осью OX и радиусом опорных роликов с контуром роликов; φ – угол между вертикалью и полярной осью; $\rho_1 = CA$ – полярный радиус, проведенный в точку A ; $\rho_2 = CB$ – полярный радиус, проведенный в точку B ; δ – смещение

центра кольца при деформации; λ_1 и λ_2 – углы между общей касательной в точках А и В и полярными радиусами ρ_1 и ρ_2 .

Преобразовывая уравнения определим предварительно углы $\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2$ и их тригонометрические функции

$$\cos \tilde{\varphi}_1 = \cos \left[\frac{3\pi}{2} - (\varphi - \varphi_1) \right] = -\sin(\varphi - \varphi_1) \quad (19)$$

$$\cos \tilde{\varphi}_2 = \cos \left[\frac{\pi}{2} - (\varphi + \varphi_2) \right] = \sin(\varphi + \varphi_2) \quad (20)$$

$$\operatorname{ctg} \lambda_1 = \operatorname{ctg} \left[\frac{\pi}{2} + (\alpha - \varphi_1) \right] = -\operatorname{tg}(\alpha - \varphi_1) \quad (21)$$

$$\operatorname{ctg} \lambda_2 = \operatorname{ctg} \left[\frac{\pi}{2} + (\varphi_2 - \beta) \right] = \operatorname{tg}(\beta - \varphi_2) \quad (22)$$

Теперь с учетом (19) и (20) можем рассчитать

$$\rho_1^2 = \frac{b^2}{1 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2(\varphi - \varphi_1)} - \delta_\varphi \quad (23)$$

$$\rho_2^2 = \frac{b^2}{1 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2(\varphi + \varphi_2)} - \delta_\varphi \quad (24)$$

Дифференцируя уравнения также учитывая, что

$$\sin 2\tilde{\varphi}_1 = \sin 2(\varphi - \varphi_1) \quad (25)$$

$$\sin 2\tilde{\varphi}_2 = \sin 2(\varphi + \varphi_2) \quad (26)$$

$$\operatorname{ctg} \lambda_1 = -\operatorname{tg}(\alpha - \varphi_1) \quad (27)$$

$$\operatorname{ctg} \lambda_2 = \operatorname{tg}(\beta - \varphi_2) \quad (28)$$

получим:

$$\frac{\rho_1^2 \cdot \varepsilon^2}{2 \cdot b^2} \cdot \sin 2(\varphi - \varphi_1) - \delta_\varphi = -\operatorname{tg}(\alpha - \varphi_1) \quad (29)$$

$$-\frac{\rho_1^2 \cdot \varepsilon^2}{2 \cdot b^2} \cdot \sin 2(\varphi + \varphi_2) - \delta_\varphi = \operatorname{tg}(\beta - \varphi_2) \quad (30)$$

откуда:

$$\alpha = \varphi_1 - \operatorname{arctg} \left[\frac{\varepsilon^2 \cdot \sin^2 \cdot (\varphi_1 - \varphi)}{2 \cdot (1 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2 \cdot (\varphi_1 - \varphi))} - \delta_\varphi \right] \quad (31)$$

$$\beta = \varphi_2 - \operatorname{arctg} \left[\frac{\varepsilon^2 \cdot \sin^2 \cdot (\varphi_2 + \varphi)}{2 \cdot (1 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2 \cdot (\varphi_1 - \varphi))} - \delta_\varphi \right] \quad (32)$$

Таким образом, уравнения (1-7) сведены к двум нелинейным трансцендентным уравнениям

(31 – 32). После решения этих уравнений определение координат центра кольца и биений контура не представляет особой сложности.

Однако, решение уравнений (31–32) обычными методами весьма трудоемко. Практическая их реализация возможна только на ЭВМ.

Были приняты следующие входные факторы:

– большая полуось эллипса, $a=3065, 3100, 3200$ мм;

– малая полуось эллипса, $b=3050$ мм;

– радиус опорного ролика, $r=900$ мм;

– расстояние между центрами роликов, $L=3950$ мм;

– шаг по углу поворота полярной оси, $\Delta\varphi=1^\circ-10^\circ$;

– угол установки резца, $Q=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 180^\circ$.

Траектории геометрического центра кольца, полученные в результате реализации этой программы, представлены на рис. 2. Овалы соответствуют различным значениям большой полуоси эллипса 3200, 3100, 3065 мм (малая полуось принята равной 3050 мм). Зная траекторию центра кольца можно определить биение точек, его контура при различных углах установки резца, а также построение управляющей функции при нестационарной обработке поверхности.

Для определения биений поступаем следующим образом. Строим угол установки резца, проводя из точки С луч под углом Q (рис.3) к вертикали. На этом луче и должен быть установлен резец. Для наглядности процесса биений резец удобнее установить в точке, соответствующей максимальному отклонению контура вписанной окружности на этом луче.

При таком расположении резца биения точек контура кольца будут меняться от 0 до некоторого максимального значения.

Обозначим: Rb= CB расстояние от точки С до точки контура кольца на луче СВ; BB=CO; RR=CR расстояние от точки С до резца, малая полуось эллипса, равная радиусу вписанной окружности.

Процесс резания заканчивается, когда кольцо примет форму окружности радиуса CO=BB.

Биение контура кольца относительно резца будем определять величиной

$$RE=RB-RR \quad (33)$$

При положительных значениях RE резец расположен внутри контура кольца (резание); при отрицательных - вне контура (отсутствие резания).

Введем:

$$PR = RB - BB \quad (34)$$

где: PR - превышение точек кольца над точками вписанной окружности (на луче СВ)

$$OS=RB-BB \quad (35)$$

где: OS – «остаток» – расстояние от резца до контура вписанной окружности.

При положительных значениях OS резец не достиг вписанной окружности, при OS=0 - резец на контуре окружности, при отрицательных – он внедрен в окружность. Последнее недопустимо.

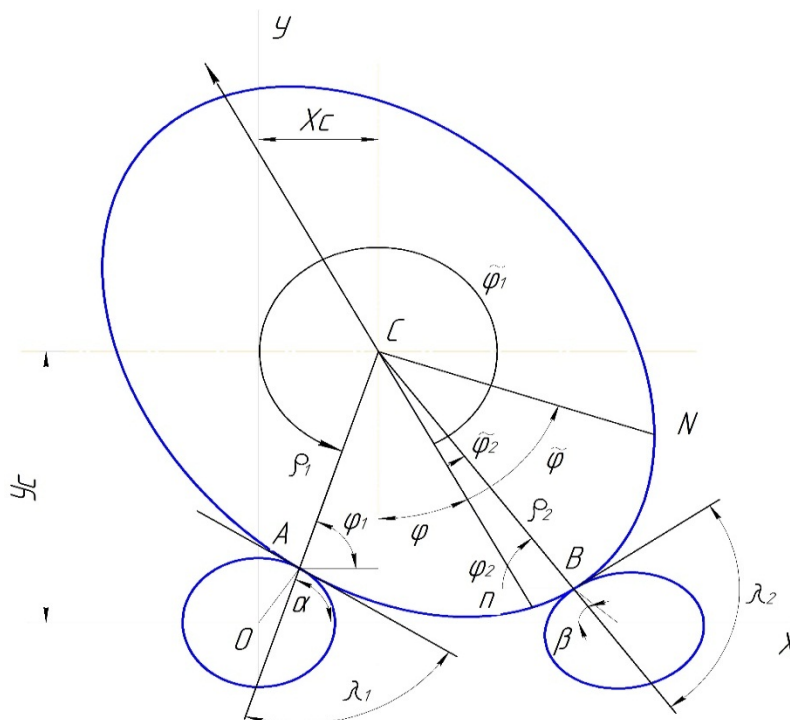


Рис. 3. Определение мгновенной глубины резания

Знание Re, PR, OS помогут оптимизировать процесс резания и установить управляющие параметры.

Необходимо решить две наиболее важные задачи:

1. Возможна ли обработка кольца при стационарном положении резца. И если возможна, то при каких значениях угла Q установки резца.

Важность этого вопроса очевидна. Обработка при стационарном положении резца не требует разработки станков с ЧПУ.

2. Если первая задача не решается, то по значениям RE, PR, OS необходимо установить параметры управления резцом при любых значениях угла.

Определим координаты резца, а также значения RR, RS (рис.1)

$$xR = xC - BB \cdot \sin Q \quad (36)$$

$$yR = yC + BB \cdot \cos Q \quad (37)$$

$$RB = \frac{BB}{\sqrt{1 - \varepsilon^2 \cdot \cos^2 \tilde{\varphi}}} \quad (38)$$

где: $\tilde{\varphi} = 180^\circ + Q - \varphi$

$$RR = \sqrt{(xC - xR)^2 + (yR - yC)^2} \quad (39)$$

Следует оговориться, что значение угла $\tilde{\varphi}$, вычисляемое как разность $(Q - \varphi)$ справедливо лишь тогда, когда точка C в системе отсчета XOY неподвижна.

В действительности при вращении кольца точка C описывает овал и поэтому $\tilde{\varphi} \neq Q - \varphi$. Но вследствие очень большой разницы между полуосями овала и кольца, точное значение угла $\tilde{\varphi}$ и вычисляемое как разность $Q - \varphi$ отличаются незначительно. Так, при b=3065 мм максимальная разница в углах составляет 0,3°, а при b=3200 мм она не достигает 3°. Учитывая также, что наше желание установить резец в положении, соответствующем максимальному отклонению вписанной окружности на луче СВ не является обязательным, разницей в значениях углов $\tilde{\varphi}$ пренебрегаем и будем считать, что $\tilde{\varphi} \neq Q - \varphi$. Последнее позволяет значительно упростить расчеты и программу на ЭВМ. В табл. 1 приведены положения луча СВ и соответствующее ему значение углов $\tilde{\varphi}; Q; \varphi$, а также координаты xR, yR, которые являются исходными для расчета на ЭВМ.

Таблица 1

Геометрические параметры перемещений точек кольца

№/№	1	2	3	4	5	6	7
a = 3065 мм							
1	0	0	0	1974,6	3551,0	1974,9	6601,0
2	30	20	10	1893,3	3540,5	368,3	6181,8
3	60	40	20	1846,9	3515,0	-794,4	5040,0
4	90	50	40	1845,6	3499,5	-1204,4	3499,5
5	120	60	60	1860,4	3484,6	-780,2	1959,6
6	180	90	90	1974,5	3462,0	1974,5	412,0
a = 3100 мм							
1	0	0	0	1975,4	3463,9	1975,4	6513,9
2	30	20	10	1947,5	3460,6	422,5	6101,9
3	60	40	20	1932,8	3451,9	-708,5	4976,9
4	90	50	40	1932,1	3447,2	-1117,9	3447,2
5	120	60	60	1937,3	3442,3	-704,0	1917,3
6	180	90	90	1974,5	3435,2	1974,5	385,2
a = 3200 мм							
1	0	0	0	1975,4	3433,9	1974,9	6483,9
2	30	20	10	1966,3	3433,0	441,3	6074,3
3	60	40	20	1961,8	3430,5	-679,5	4955,5
4	90	50	40	1962,2	3428,7	-1087,8	3428,7
5	120	60	60	1963,5	3427,4	-677,8	1902,4
6	180	90	90	1975,2	3425,0	1975,2	375,0

На основе данных расчета построены графики изменения PR и RE при различных значениях угла установки инструмента Q, и большой полуоси эллипса AB.

На рис. 4 представлены графики изменения PR и RE при различных значениях угла, соответствующих большой полуоси AB=3065 мм в зависимости от угла поворота кольца φ . Пределы изменения угла φ приняты равными 0 - 180°. Строить графики для $\varphi = 180 - 360^\circ$ нет необходимости, так как характер изменения PR и RE полностью повторяется через каждые 180°.

Анализ графиков (рис. 4) показывает, что при стационарном положении резца довести контур кольца до окружности даже в случае, если глубину резания увеличивать за пределы допустимых значений не удастся.

При повороте кольца на угол $\varphi = 0 - 180^\circ$ будет происходить местное резание: при $Q = 0^\circ$ - на участке $\varphi = 127 - 233^\circ$; при $Q = 30^\circ$ - на участке $\varphi = 20 - 107^\circ$; при $Q = 90^\circ$ на участке $\varphi = 40 - 83^\circ$ и т.д. С точки зрения протяженности обработки по периметру кольца и допустимой глубины резания наиболее целесообразны углы установки резца, равные 180° и 0° . Совершенно исключен вариант с $Q = 90^\circ$, при котором участок $\varphi = 40 - 83^\circ$ является наименьшим из всех, представленных на рисунке 4, а резание будет происходить там, где имеет относительно небольшие значения. В зоне же наибольших значений резания не будет.

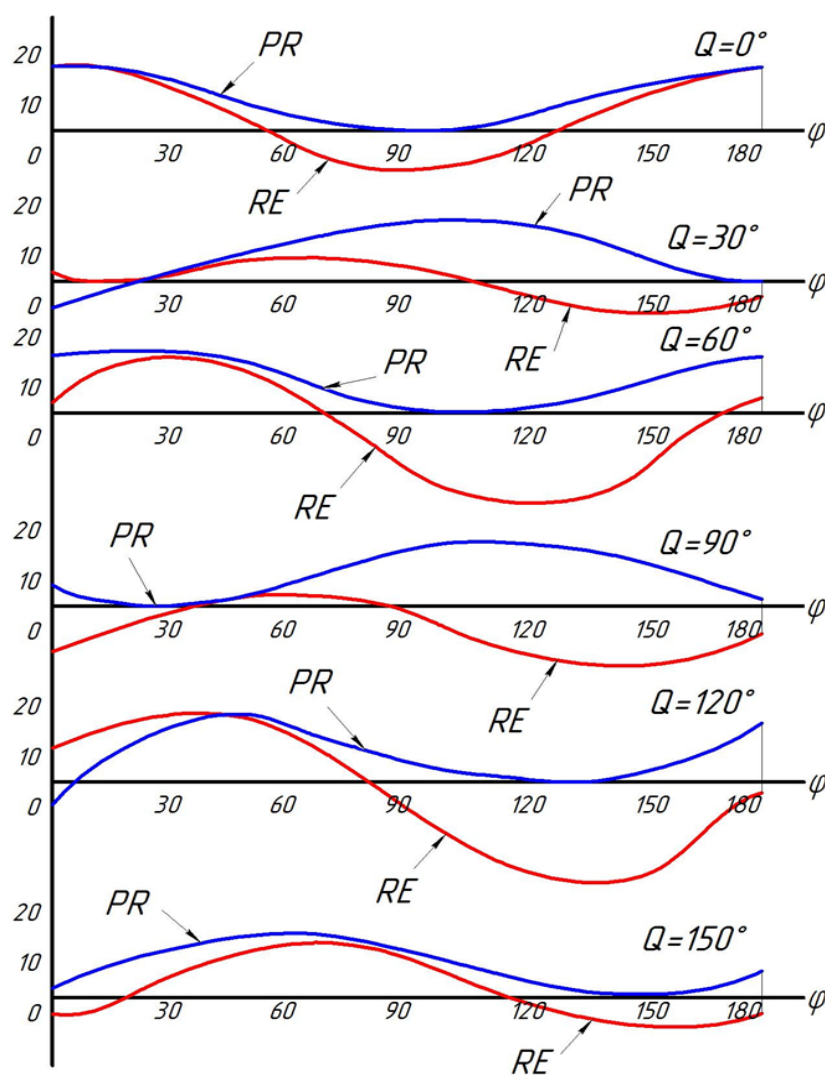


Рис. 4. Графики изменения глубины резания

С точки зрения технологических и конструктивных соображений привлекает внимание график с $Q = 120^\circ$, на котором зона резания совпадает с зоной максимальных значений PR, а протяженность обработки достаточно велика.

И тем не менее, как отмечалось выше, нет таких значений Q , при которых возможна обточка кольца без управления инструментом. Местные врезания резца в контур кольца будут увеличиваться с ростом большой полуоси эллипса. Таким образом, для доведения контура бандажа до окружности необходимо управлять инструментом. Те же графики позволяют выбрать управляющие параметры. Ординаты кривой PR - это и есть те значения радиальных перемещений, которые надо сообщить резцу для доведения контура до окружности. Зная радиальные перемещения легко получить перемещения резца вдоль координатных осей.

Приведенные значения перемещений точек кольца позволяет повысить точность обработки крупногабаритных колец с применением управляемого резания

Выводы. Приведенные исследования позволяют повысить качество опорных узлов крупногабаритных вращающихся агрегатов, за счет повышения точности механической обработки функциональных поверхностей с учетом таких факторов, как упругие деформации изделия и смещения в пространстве оси вращения. Задача повышения точности наружных цилиндрических поверхностей опорных узлов является особенно актуальной при монтаже и ремонтной обработке переносными станочными модулями на предприятиях горнорудной и строительной индустрии

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пелипенко Н.А. Технология безрамной обработки бандажей и роликов вращающихся печей. // Механизация и автоматизация технологических процессов в машиностроении и промышленности строительных материалов // Сб. науч. трудов Моск. инж.-стр. институт им. В.В. Куйбышева. 1982. С. 199–206.

2. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 591 с.
3. Прохоров А.Ф., Зайцев В.М. Чистовое шлифование на бесцентровых станках с широкими кругами. // Технология производства, научная организация труда и управления. 1974. №5. С. 39–42.
4. Прохоров А.Ф., Зайцев В.М., Чарный Р.И. Световые дефекты поверхности сквозного бесцентрового шлифования. // Технология производства, научная организация труда и управления. 1974. №7. С. 26–29.
5. Прохоров А.Ф., Константинов К.Н., Волков Л.П. Наладка и эксплуатация бесцентровых шлифовальных станков. М.: Машиностроение, 1970. 192 с.
6. Пелипенко Н.А. Научные основы безрамной технологии. МВССО СССР, МПСМ СССР, БТИСМ, Белгородский обком КПСС. Девятые научные чтения. Тезисы докладов. 1987. С. 108–109.
7. Сумской А.М., Дуганов В.Я. Способ выверки оси вращающейся печи // Электронный ресурс. Материалы Международной науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2016.
8. А.С. № 1630140. Способ бесцентровой обработки крупногабаритных колец / Пелипенко Н.А., Дуганов В.Я. / Оpubл. в 1990.
9. Дуганов В.Я. Станок для обработки вкладышей крупногабаритных подшипников скольжения: пат. 132012 Рос. федерация: МПК7 В23D 1/20, В23D 9/00 / Дуганов В.Я., Бешевли О.Б. и др; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Белгородский гос-й технологический ун-т им. В.Г. Шухова. - № 2013100863/02; заяв. 09.01.13; опубл. 10.09.2013 Бюл. №25
10. Дуганов В.Я., Бешевли О.Б. Определенные деформации кольца, установленного на опорных роликах под действием гравитационных сил // Ремонт восстановление и модернизация. 2012. №3. С. 25–27.
11. Shrubchenko I.V., Hurtasenko A.V., Voronkova M.N., Murygina L.V., Optimization of cutting conditions for the processing of bandages of rotary cement kilns at a special stand. World Applied Sciences Journal. 2014. Т. 31. № 9. С. 1593–1600.
12. Банит Ф.Г., Несвижский О.А. Механическое оборудование цементных заводов. М.: Машиностроение. 1975. 317 с.
13. Спиридонов. А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М.: Машиностроение, 1981. 184 с.
14. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 230 с.
15. Горский В.Г., Адлер Ю.П. Планирование промышленных экспериментов. М.: Металлургия. 1974. 264 с.

Duganov V.J., Sumskey A.M.

DETERMINATION PATH OF MOVEMENT CENTER OF THE RING DURING CENTERLESS MACHINING

In the given work, present the study of factors depending on elastic deformation of the products and the shift of its axis of rotation in the space, on the accuracy of centerless processing of large products. It allows increasing the quality of support assemblies of large rotating devices, by enhancing machining precision of the functional surfaces. What becomes very important during mounting and of the repairs machine by portable modules in the mining and construction industries.

Key words: *resilient deformation, nonstationary rotational axis, centerless machining of large products.*

Дуганов Владимир Яковлевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: dvybgtu@mail.ru

Сумской Александр Михайлович, аспирант кафедры технология машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.
E-mail: sumskoiAM@yandex.ru