

*Шрубченко И.В., д-р техн. наук, проф.,
Богданов В.С., д-р техн. наук, проф.,
Мурыгина Л.В., канд. техн. наук,
Щетинин Н.А., аспирант,
Гончаров М.С., студент*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАКРЫЛКА БАНДАЖА ПРИ ЕГО РЕКОНСТРУКЦИИ ВО ВВАРНОЙ ТИП

shrubens@yandex.ru

На кафедре технологии машиностроения БГТУ им. В.Г. Шухова разработана технология, предполагающая реконструкцию бандажей типа «П» – в тип «В» непосредственно на месте их эксплуатации. Проведение таких работ позволит существенно снизить затраты по замене бандажей.

Суть метода - выполнение на торцевых поверхностях бандажей специальных фасонных кольцевых проточек для последующего соединения с корпусом ТБ. Ранее были проведены исследования по определению оптимальной их формы.

Для возможности моделирования процесса изготовления фасонных кольцевых проточек заданной формы была разработана программа для ЭВМ.

Эта программа позволяет сформировать диаграмму зависимости погрешности закрылка от углового положения резца при обработке резанием.

Ключевые слова: бандаж, фасонные кольцевые проточки, закрылок, бесцентровая схема, моделирование обработки.

В настоящее время на опорах технологических барабанов (ТБ) применяют два вида бандажей: тип «П» - плавающие и тип «В» – сварные (рис. 1). Сварные бандажи более надежны в

работе, требуют меньше затрат на обслуживание и ремонт, поэтому многие из предприятий постепенно заменяют бандажи типа «П» на тип «В».



Рис. 1. Конструкции бандажей, применяемых на опорах вращающейся ТБ:
а) бандаж типа «П»; б) бандаж типа «В»

Однако сварные бандажи, которые выпускает промышленность не достаточно технологичны в изготовлении, так как имеют сложную конструкцию, поэтому оказываются на порядок дороже по сравнению с бандажами типа «П» [1-5]. На кафедре технологии машиностроения БГТУ им. В.Г.Шухова разработана технология, предполагающая не замену, а реконструкцию бандажей типа «П» – в тип «В» непосредственно на месте их эксплуатации. Проведение таких работ позволит существенно снизить затраты по замене бандажей, повысит надежность и ресурс

их работы. Предложено на торцевых поверхностях бандажей выполнять специальные фасонные кольцевые проточки и формировать закрылок для последующего соединения с корпусом ТБ. Проведенные ранее исследования [6-8] показывают, что оптимальной формой таких проточек является удлиненная форма в виде полукруга с наклонными нижней и верхней гранями. Форма, размеры и относительное положение формируемой кольцевой проточки представлены на рис. 2.

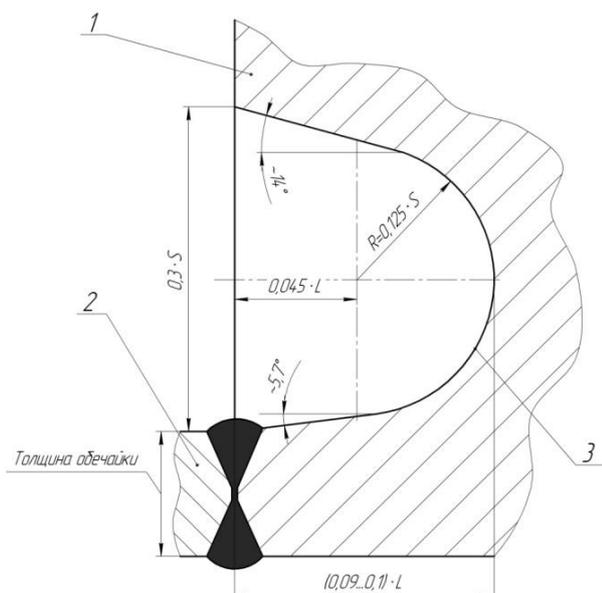


Рис. 2. Конфигурация кольцевых фасонных проточек, которые требуется сформировать на торцевых поверхностях бандажа при его реконструкции

Обработку торцевых поверхностей бандажей предполагается выполнять с использованием мобильных технологий и мобильного оборудования. Так как обработка предполагает бесцентровую схему, то при неправильно вводимых режимах, возможно получение значительной погрешности. Для возможности моделирования процесса обработки разработана программа для ЭВМ [9, 10]. Процедуру расчета основных параметров обработки предложено осуществлять в системе MATLAB, так как это позволяет представить результаты расчета в удобной форме. Алгоритм расчета погрешности закрылка при моделировании обработки включает:

- Задание исходных данных и формирование исходных поверхностей:

```

Исх. данные
Число точек на градус:      N := 1
Диаметр бандажа [мм]:      Db := 6100    db := 5300
Толщина закрывков:        f := 80
Радиус ролика [мм]:        Rpo := 850

Расчет формы бандажа:
a := 3050
Given
Rб > 0
Rб² = a² + Δ² - 2 · a · Δ · cos(β)
Rbr(Rб, Δ, β) := Find(a)
Rbr(3050, 5, 180 · deg) = 3.045 × 10³

i := 0..360 · N / 2 - 1
Ri := Rbr(Db / 2, 5, i / N · deg)
ri := Rbr(db / 2, 5, i / N · deg)

i := 360 · N / 2 .. 360 · N - 1
Ri := Db / 2    ri := db / 2

Точки для расчета:        i := 0..360 · N - 1
    
```

Исх. данные

Исходные данные включают: D_g – диаметр поверхности качения бандажа; d_g – диаметр посадочной поверхности бандажа; N – число точек, характеризующих поверхность, на один градус; f – толщина формируемого закрылка; R_{po} – радиус опорных роликов. Возможно задание различной исходной формы, как поверхности качения, так и посадочной поверхности (рис. 3).

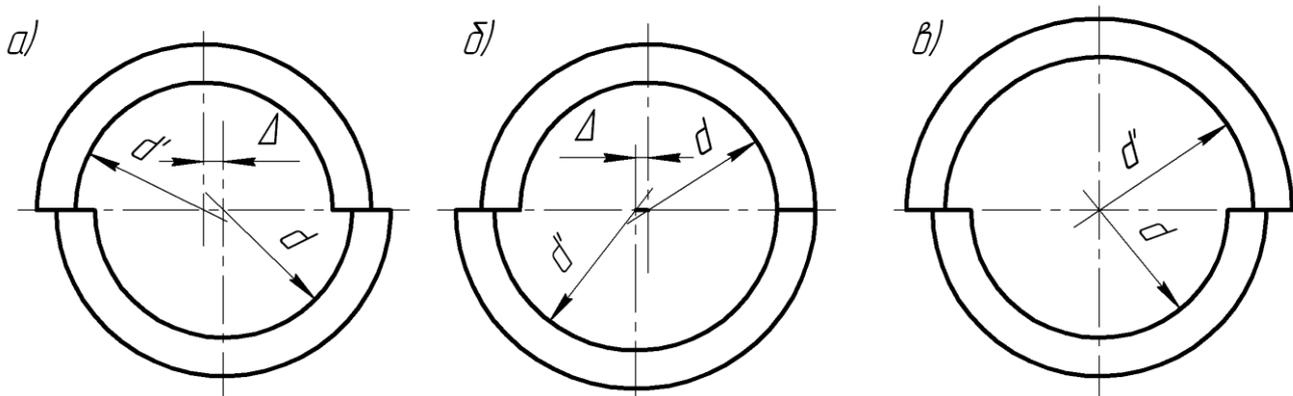


Рис. 3. Некоторые варианты формы базовых поверхностей бандажей, задаваемых при моделировании: а) со смещением полуколец одинакового диаметра; б) с полукольцами различного диаметра; в) с симметричным расположением полуколец различного диаметра

- Вычисление значений и построение эквидистанты к поверхности качения бандажа.

Расчет

Построение эквидистанты к поверхности бандажа:

```
Ekvid(R) :=
MATLAB®
(N R Rpo)
```

```
Ekv(R) := Ekvid(R)T
```

Текст процедуры на языке **MATLAB**:

```
deg=pi/180;
fpe=-90*deg;
fec(1:360*N*2)=0;
Rec(1:360*N*2)=0;
R(360*N+1)=R(1);

for j=1:360*N
    % нашли xec yec
    x1=R(j)*cos(j/N*deg);          y1=R(j)*sin(j/N*deg);
    x2=R(j+1)*cos((j+1)/N*deg);    y2=R(j+1)*sin((j+1)/N*deg);
    dx=x2-x1;                      dy=y2-y1;
    a=atan(dy/dx)-pi/2;             if dx<0;    a=pi+a;          end;

    xec=x1+Rpo*cos(a);              yec=y1+Rpo*sin(a);
    Rec(j*2-1)=sqrt(xec^2+yec^2);   fec(j*2-1)=atan(yec/xec)+2*pi;
    if xec<0; fec(j*2-1)=pi+fec(j*2-1); end;
    fec(j*2-1)=fec(j*2-1)/deg*N;

    xec=x2+Rpo*cos(a);              yec=y2+Rpo*sin(a);
    Rec(j*2)=sqrt(xec^2+yec^2);     fec(j*2)=atan(yec/xec)+2*pi;
    if xec<0; fec(j*2)=pi+fec(j*2); end;
    fec(j*2)=fec(j*2)/deg*N;

end;
f=fec;
R=Rec;
out(1:360*N)=0;
ftmp=[];    ftmp=f;
Rtmp=[];    Rtmp=R;

rows=size(Rtmp);
rows=rows(2);

Rtmp(rows+1)=Rtmp(1);
ftmp(rows+1)=ftmp(1);

for j=1:rows;
    %f1=mods(ftmp(j),360*N);

    f1=ftmp(j)-360*N*fix(ftmp(j)/(360*N));    if f1==0;    f1=360*N;    end;

    %f2=mods(ftmp(j+1),360*N)
    f2=ftmp(j+1)-360*N*fix(ftmp(j+1)/(360*N));    if f2==0;    f2=360*N;    end;

    if (f1>f2) & (f1-f2>180*N);        f2=f2+360*N;    end;
    if (f1<f2) & (f2-f1<180*N)
        delta = (Rtmp(j+1)-Rtmp(j))/((f2-f1));
        start = f1;
        f1=fix(f1+0.9);
        while f1<f2
            %i=mods(f1,360*N);
            i=f1-360*N*fix(f1/(360*N));
            if i==0; i=360*N; end;
            if out(i)<Rtmp(j)+delta*(f1-start);
                out(i)=Rtmp(j)+delta*(f1-start);    end;
            f1=f1+1;
        end;
    end;
end;
```

При выполнении расчета формируется матрица значений радиусов эквидистанты осей опорных роликов. Чтобы предварительно оценить результаты расчета на данной стадии моделирования и исключить вероятность появления

ошибок, может осуществляться визуализация процесса формирования эквидистанты осей опорных роликов. На экран выводятся контуры базовых поверхностей, а также контур эквидистанты (рис.4).

$$\text{Rekv} := \text{Ekv}(\text{R})$$

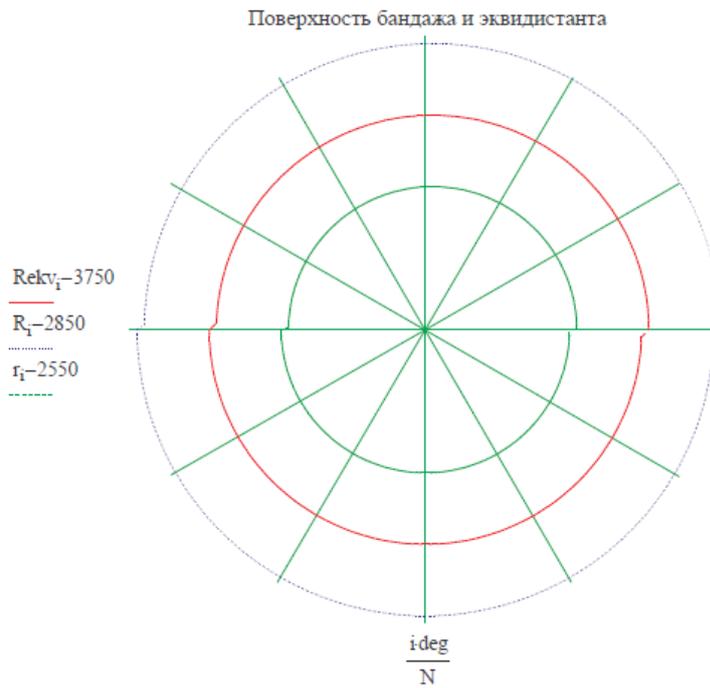


Рис.4. Визуализация формирования эквидистанты к поверхности качения бандажа

- Вычисление положения оси второго опорного ролика.
- Вычисление положения вершины реза в декартовой системе координат.

```
top0(R, it, L) :=
  x1 ← Rit · cos( $\frac{it}{N}$  · deg)
  y1 ← Rit · sin( $\frac{it}{N}$  · deg)
  isl ← it + 1
  isl ← | isl if isl ≤ 360 · N - 1
  | isl - (360 · N - 1) otherwise
  xs1 ← Risl · cos( $\frac{isl}{N}$  · deg)
  ys1 ← Risl · sin( $\frac{isl}{N}$  · deg)
  ΔL ← √((xs1 - x1)2 + (ys1 - y1)2)
  while ΔL < L
    isl ← isl + 1
    isl ← | isl if isl ≤ 360 · N - 1
    | isl - (360 · N - 1) otherwise
    xs1 ← Risl · cos( $\frac{isl}{N}$  · deg)
    ys1 ← Risl · sin( $\frac{isl}{N}$  · deg)
    ΔL ← √((xs1 - x1)2 + (ys1 - y1)2)
  isr ← | isl - 1 if isl - 1 ≥ 0
  | 360 · N + isl otherwise
  xpr ← Risr · cos( $\frac{isr}{N}$  · deg)
  ypr ← Risr · sin( $\frac{isr}{N}$  · deg)
  A ← √((xs1 - x1)2 + (ys1 - y1)2)
  B ← √((xs1 - xpr)2 + (ys1 - ypr)2)
  C ← √((xpr - x1)2 + (ypr - y1)2)
  φ ← acos( $\frac{B^2 + C^2 - A^2}{2 · B · C}$ )
  Δ ← max(polyroots( $\begin{pmatrix} c^2 - 1^2 \\ -2 · C · \cos(\phi) \\ 1 \end{pmatrix}$ )))
  (xpr + Δ ·  $\frac{xs1 - xpr}{B}$ )
  (ypr + Δ ·  $\frac{ys1 - ypr}{B}$ )
```

```
XYn(R, it, x2, y2, XY) :=
  x1 ← Rit · cos( $\frac{it}{N}$  · deg)
  y1 ← Rit · sin( $\frac{it}{N}$  · deg)
  γ ← γ(R, it, x2, y2, L)
  (x) ← (cos(γ) - sin(γ)) · (XY0)
  (y) ← (sin(γ) cos(γ)) · (XY1)
  (x + x1)
  (y + y1)
```

- Вычисление положения вершины реза в системе координат опоры станда.

```
L) :=
  x1 ← R0 · cos(0 · deg)
  y1 ← R0 · sin(0 · deg)
  isl ← 1
  xs1 ← Risl · cos( $\frac{isl}{N}$  · deg)
  ys1 ← Risl · sin( $\frac{isl}{N}$  · deg)
  ΔL ← √((xs1 - x1)2 + (ys1 - y1)2)
  while ΔL < L
    isl ← isl + 1
    isl ← | isl if isl ≤ 360 · N - 1
    | isl - (360 · N - 1) otherwise
    xs1 ← Risl · cos( $\frac{isl}{N}$  · deg)
    ys1 ← Risl · sin( $\frac{isl}{N}$  · deg)
    ΔL ← √((xs1 - x1)2 + (ys1 - y1)2)
  i0 ← round( $\frac{isl}{2}$ )
  ir ← i0 + α · N
```

```

ir ← | ir if ir ≤ N · 360 - 1
      | ir - (N · 360 - 1) otherwise
(x2
 y2) ← iop2(R, 0, L)
γ ← γs(R, 0, x2, y2, L)
xr ← (rir + f) · cos( $\frac{ir}{N} \cdot \text{deg}$ )
yr ← (rir + f) · sin( $\frac{ir}{N} \cdot \text{deg}$ )
xr ← xr - x1
yr ← yr - y1
(x
 y) ← (cos(-γ)  -sin(-γ)
        sin(-γ)  cos(-γ)) · (xr
                             yr)
(x
 y)
    
```

- Вычисление параметров траектории перемещения вершины резца.

Функция для расчета точек траектории инструмента:

```

Tr(R, L, α) := | Rekv ← Ekv(R)
                | A ← XYrs(Rekv, r, α, L)
                | i1 ← 0
                | (x2
                 y2) ← iop2(Rekv, i1, L)
                | XY ← XYr(Rekv, i1, x2, y2, A)
                | ir ← φr(XY)
                | ir ← ir - 1
                | for i ∈ 0..360 · N - 1
                | | i1 ← i
                | | (x2
                 | | y2) ← iop2(Rekv, i1, L)
                | | ir ← ir + 1
                | | ir ← | ir if ir ≤ 360 · N - 1
                | |       | ir - (360 · N) otherwise
                | | XY ← XYr(Rekv, i1, x2, y2, A)
                | | TRir ← √((XY0)2 - (XY1)2)
                | TR
    
```

- Расчет погрешности формируемого при обработке закрылка.

```

OTK(R, r, L, α) := | T ← Tr(R, L, α)
                   | A ← T - r
                   | max(A) - min(A)
k := 0,1..359
ααk := 1 - k + 90
OTk := OTK(R, r, 3900, ααk)
    
```

Выполняя вышеприведенную процедуру вычислений при различных угловых положениях резца относительно опорных роликов, формируется диаграмма зависимости погрешности закрылка от углового положения резца (рис.6)

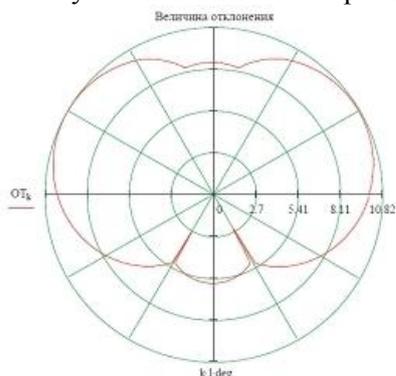


Рис.6. Диаграмма зависимости погрешности размера закрылка от углового положения обрабатываемого инструмента

- Построение диаграммы зависимости погрешности размера закрылка от углового положения обрабатываемого инструмента, а также от угла взаимного расположения опорных роликов.

Расчет величин отклонения для построения номограмм:

Размер матрицы: n1 := 45 n2 := 45

kk := 0..n1 kkk := 0..n2

ααα_{kk} := $\frac{180}{n1}$ · kk

$$L_{kkk} := 2 \cdot \sin(22.5 \cdot \text{deg}) \cdot \left(\frac{Db}{2} + Rpo \right) + \left[\frac{\left(\frac{Db}{2} + Rpo \right) - 2 \cdot \sin(22.5 \cdot \text{deg})}{n2} \right]$$

```

O := | for j ∈ 0..n1
      | for q ∈ 0..n2
      | | Ugol ← αααj
      | | Dlina ← Lq
      | | ABj,q ← OTK(R, r, Dlina, Ugol)
      | AB
    
```

В результате расчета формируется цветная диаграмма зависимости точности размера формируемого закрылка от углового положения резца – α и угла между осями опорных роликов – β (рис.7).

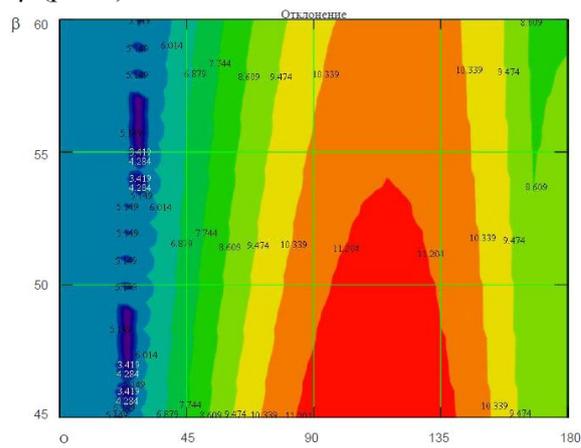


Рис.7. Диаграмма зависимости точности размера формируемого закрылка от углового положения резца и угла между опорными роликами

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колев К.С. Технология машиностроения. М.: Высшая школа, 1977. 256 с.
2. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Изд. Машгиз, 1961. 379 с.
3. Кузнецова И.И. Повышение технологичности обработки крупногабаритных составных бандажей за счет минимизации необходимого припуска: дис... канд. техн. наук. Белгород. 2010. С. 50-57.
4. Панов А.А. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. М.: Машиностроение, 1988. 736 с.

5. Платонов В.С. Скоростные методы ремонта вращающихся цементных печей М.: Литература по строительству, 1970. 127 с.

6. Шрубченко И.В. Технологические основы обеспечения формы и условий контакта поверхностей качения опор технологических барабанов при обработке мобильным оборудованием: дис... д-ра техн. наук. Белгород. 2007. С. 85-128.

7. Погонин А.А. Технологические основы восстановления точности крупногабаритных деталей машин без демонтажа в процессе эксплуатации: дис... докт. техн. наук. М. 2001. С. 27-49.

8. Калашников А.Т., Лебедев Л.В., Пелипенко Н.А., Зозулева Л.А. Проведение комплекса научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ, связанных с изготовле-

нием опытно-промышленной серии станков для обработки бандажей и опорных роликов цементных печей без их демонтажа: Отчет о НИР заключительный. БТИСМ; №ГР 02840008429. Белгород, 1983 129 с.

9. Хартман К., Лецки Э., Шефер В., Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977 522 с.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012661230. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю., Черняев А.С. Программа для моделирования обработки бандажа универсальным встраиваемым станком модели УВС-01 с установленным на нем динамическим самоустанавливающимся суппортом с плоскими опорами//Реестр программ для ЭВМ России №20126191592012. 2012.