

Микротвердость нанесенного слоя латуни в первую очередь зависит от создаваемого в зоне обработки удельного давления. 2. Шероховатость поверхности после фрикционной обработки мало отличается от исходной. 3. Состав рабочей среды позволяет увеличить скорость нанесения латунного покрытия при сохранении его качества.

Список литературы: 1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М.: Машиностроение, 1985, – 424 с. 2. Елизветин М.А. Повышение надежности машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 430 с. 3. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1982. – 207 с. 4. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. – Кн.2. – М.: Машиностроение, 1970. – 400 с. 5. Пат.23343 Україна, МПК⁷ В23Р 9/00. Приспособления для фрикційно-механічного нанесення покриттів / В.Б. Богуцький, Л.Б.Шрон, В.В. Малигіна. – № u2006 11891. – Заявл. 13.11.2006; Опубл. 25.05.2007. Бюл.№7.

Поступила в редколлегию 11.12.08

УДК 621.92

О.И. СЕРХОВЕЦ, А.Н.УШАКОВ, А.В. ФЕСЕНКО, А.В.КОТЛЯР

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЦИКЛЕ КРУГЛОГО НАРУЖНОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Виконано розрахунок жорсткості колінчатого вала методом початкових параметрів. Розглянуто вплив жорсткості колінчатого вала на параметри перехідних процесів у циклі круглого зовнішнього врізного шліфування.

The account of rigidity of the shaft by a method of final elements is executed. The influence of rigidity of the shaft on parameters transitive in a cycle of round outside grinding is considered.

Создание современных технологий, в том числе CALS-технологий ориентировано на значительное повышение точности и качества изделий. Это в частности касается технологии обработки на круглошлифовальных станках. В настоящее время для повышения качества и производительности обработки широкое применение находят круглошлифовальные станки с ЧПУ, в которых могут использоваться адаптивные системы управления.

Важным направлением по совершенствованию адаптивных систем управления является реализация многоступенчатых циклов обработки с учетом переходных процессов. Данное совершенствование позволит обеспечить высокие требования к точности размеров, формы и качеству поверхностного слоя деталей, обрабатываемых на круглошлифовальных станках.

Для эффективного управления процессом шлифования на станках с адаптивными системами необходимо иметь алгоритм управления станком в виде математических моделей.

Известно, что рабочий цикл процесса круглого наружного врезного шлифования может существенно меняться в зависимости от требований технологического процесса. Как следствие, при этом изменяется структура переходных процессов. Основной задачей при определении структуры цикла является обеспечение стабильных показателей по качеству шлифуемой поверхности при максимальной производительности и минимальных затратах времени на техническое обслуживание рассматриваемой операции. Для точного моделирования цикла обработки необходимо учитывать конкретную жесткость технологической системы круглошлифовального станка. Одной из составляющих данной жесткости является жесткость детали.

Исследования в этой области отражены в работах как отечественных, так и зарубежных ученых, таких как: Корчак С.Н., Лурье Г.Б., Эльянов В.Д., Филимонов Л.Н., Ящерицын П.И., Якимов А.В. и др.

Анализ применяемых на практике циклов позволил сделать вывод, что их структура в основном определяется четырьмя вариантами (таблица 1).

Таблица 1 Набор структур рабочих циклов

Этапы цикла							
N	форсированная подача	черновая подача	выхаживание с доводочной подачей	чистовая подача	выхаживание с доводочной подачей	доводочная подача	параметр, определяющий Ra
1	S_{M1}	S_{M2}	-	-	-	-	S_{M2}
2	S_{M1}	S_{M2}	есть	-	-	-	$S_{Mдов1}$
3	S_{M1}	S_{M2}	-	S_{M3}	-	-	S_{M3}
4	S_{M1}	S_{M2}	есть	S_{M3}	-	-	S_{M3}
5	S_{M1}	S_{M2}	-	S_{M3}	есть	-	$S_{Mдов2}$
6	S_{M1}	S_{M2}	есть	S_{M3}	есть	-	$S_{Mдов2}$
7	S_{M1}	S_{M2}	-	S_{M3}	-	S_{M4}	S_{M4}
8	S_{M1}	S_{M2}	есть	S_{M3}	-	S_{M4}	S_{M4}

Рассмотрим процесс круглого врезного шлифования как систему управления с обратной связью рисунок 1.

На схеме обозначены: $\Pi(\tau)$ - общая толщина срезаемого слоя металла на сторону от начала шлифования до времени τ ; $S(\tau)$ - мгновенная номинальная величина задаваемого перемещения шлифовального круга относительно обрабатываемого изделия; $y(\tau)$ - деформация упругой системы; τ - текущее время; $a(\tau)$ - мгновенная толщина срезаемого металла; τ_{II} - время одного оборота изделия; $P_y(\tau)$ - мгновенная радиальная сила шлифования;

На переходных процессах (врезание, выхаживание) меняющееся P_y приводит к изменению величины срезаемого припуска. В систему введен учет величины снятого припуска на предыдущем обороте, так называемая "наследственность по изделию".

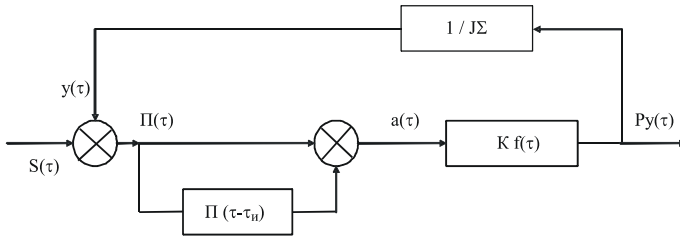


Рисунок 1 Схема процесса круглого наружного врезного шлифования

$J\Sigma$ - суммарная жесткость системы СПЗИ; K - статический коэффициент резания; $f(\tau)$ - переходная функция радиальной силы, которая изменяется по переходной функции инерционного звена первого порядка.

Для графического отображения элементов переходных процессов (рис.2) рассмотрим рабочий цикл обработки N_4 , как один из наиболее полных по элементам цикла из рассматриваемых в данной работе, где изображены следующие этапы переходных процессов: **1** - врезание, **2** - черновой этап, **3** - переходной процесс, имеющий место при переходе от черновой к чистовой подаче, **4** - чистовой этап, **5** - окончательное выхаживание; соответственно $\tau_{вр}$ - время врезания, $\tau_{чер}$ - время чернового этапа, $\tau_{пер}$ - время переходного процесса, $\tau_{чист}$ - время чистового этапа, $\tau_{вых}$ - время выхаживания.

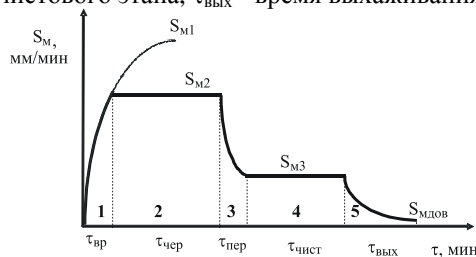


Рисунок 2 Структура рабочего цикла

Математическая модель переходных процессов в цикле круглого наружного врезного шлифования представлена в работах [1,2,3].

Типичным примером врезного шлифования является обработка коренных шеек коленчатого вала двигателей. Один из вариантов такого вала представлен на рис. 3.

Определим жесткость коленчатого вала.

При приложении нагрузки, для определения деформаций в ступенчатых деталях можно применять видоизмененный метод начальных параметров [4]. Суть последнего заключается в замене ступенчатой детали эквивалентной деталью постоянной жесткости.

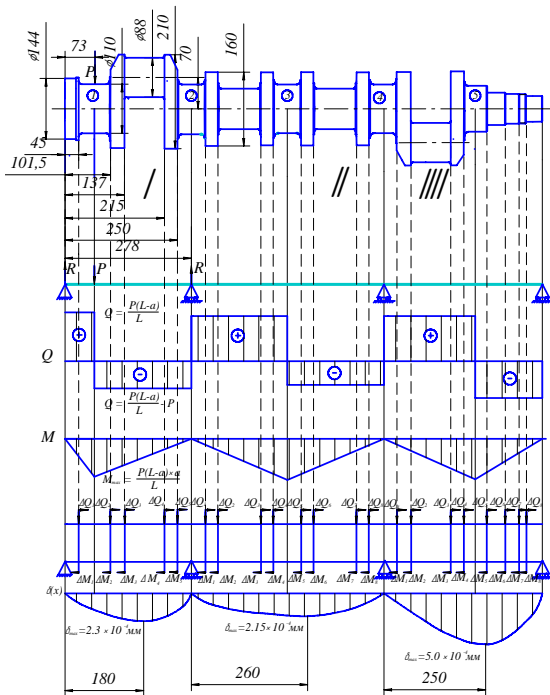


Рисунок 3 Схема нагружения коленчатого вала

Рассмотрим расчет коленчатого вала рис.3. Особенностью коленчатых валов является то, что шатунные шейки, а также перемычки, которые их соединяют с коренными шейками имеют эксцентриситет по отношению к оси коренных шеек и вала в целом. При этом их неуравновешенные массы будут вызывать существенные динамические нагрузки при шлифовании. Учитывая высокие требования к качеству поверхности ($Ra=0.63$ мкм, допуск на диаметр 0.01 мм), такие динамические нагрузки будут на них влиять существенным образом. Нагрузка от силы резания в виде равнодействующей силы P будет прикладываться к середине шеек.

Расчленим вал на части постоянного сечения, приложив в местах разрезов соответствующие силовые факторы Q (поперечная сила) и M (изгибающий момент), которые в нашем случае будут равны:

$$\begin{aligned} \text{если } x < a, \text{ то} \quad Q_i &= \frac{P(L-a)}{L}, & M_i &= \frac{P(L-a) \cdot l_i}{L}, \\ \text{если } x > a, \text{ то} \quad Q_i &= \frac{P(L-a)}{L} - P, & M_i &= \frac{P \cdot a}{L(L-l_i)} \end{aligned}$$

где a - координата приложения силы; l_i - координата соответствующего сечения

После чего необходимо их умножить на свои коэффициенты приведения, которые определяются по формуле:

$$\beta_i = I_0 / I_i,$$

где I_0 – приведенный момент инерции, который равняется моменту инерции одного из сечений к которому происходит приведение (в нашем случае это будут перемычки, которые соединяют между собой коренные и шатунные шейки).

I_i - моменты инерции соответствующих участков, которые находятся согласно [4] по формулам:

Для цилиндрических участков

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (\text{мм}^4)$$

для $d=110$ мм $I=0.71 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=144$ мм $I=2.1 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=72$ мм $I=0.13 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=70$ мм $I=0.11 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=64$ мм $I=0.1 \cdot 10^7$ мм⁴ $d=52$ мм $I=0.035 \cdot 10^7$ мм⁴.

Для эксцентричных поверхностей шатунных шеек определяется как:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} + e^2 \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 88^4}{64} + 70^2 \frac{3.14 \cdot 88^2}{4} = 3.26 \cdot 10^7 \text{ мм}^4,$$

где e - величина эксцентриситета между осью коренных и шатунных шеек, d - диаметр вала.

Для перемычек, которые соединяют между собой коренные и шатунные шейки:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot \cos^2 \alpha + \frac{h \cdot b^3}{12} \cdot \sin^2 \alpha + e^2 \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

где b - ширина перемычки, h - высота перемычки, e - величина эксцентриситета между осью коренных шеек и перемычек, α - соответствующий угол поворота вала.

Таким образом, из формулы видно, что момент инерции для соединяющих перемычек изменяется в зависимости от угла поворота вала и его значения представлены в таб.2.

Таблица 2. Значение момента инерции соединяющих шеек вала в зависимости от угла поворота.

$\alpha,^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$I \cdot 10^7, \text{мм}^4$	13.5	13.34	12.94	12.15	11.71	10.46	9.53	8.92	8.48	8.32

Соединяем разрезанные части и получаем балку постоянного сечения, которая нагружена приведенными внешними нагрузками и в местах соединения еще и дополнительными силами ΔQ и моментами ΔM , величины которых определяем по формулам:

$$\Delta M_i = M_i (\beta_i - \beta_{i-1}) \quad \Delta Q_i = Q_i (\beta_i - \beta_{i-1})$$

Для определения перемещений в полученной эквивалентной балке воспользуемся универсальным уравнением упругой линии [5].

$$\delta(x) = w_0 + \Theta_0 x + \frac{1}{EI} \left[\sum_1^i M \frac{(x-l_i)^2}{2} + \sum_1^i P \frac{(x-l_i)^3}{6} + R \frac{x^3}{6} \right],$$

где x -текущая координата, $w(x)$ -прогиб в текущей координате, w_0 - начальный прогиб в левой опоре, Θ_0 - начальный угол поворота в левой опоре, M - изгибающий момент на соответствующем участке, P - поперечная сила на соответствующем участке, R - реакция в левой опоре, l - координата соответствующего участка.

Исходя из того, что коленчатый вал недостаточно жесткий, а требования к точности и шероховатости поверхности довольно высокие, то для обеспечения этих требований необходимо использовать две промежуточные опоры в виде люнетов, так как показано на рис.3. Таким образом, для нашего вала будем иметь три отдельных участка, для которых и необходимо записать уравнение упругих осей. Возьмем первый участок вала на его крайнем правом участке и запишем для него уравнение упругой линии, для которой $I_0 = I_3$:

$$\delta(x) = w_0 + \Theta_0 x + \frac{1}{EI_3} \left[\begin{aligned} & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_1}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_2} \cdot \frac{I_3}{I_1} \right) \frac{(x-l_1)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_2) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_5} \cdot \frac{I_3}{I_2} \right) \frac{(x-l_2)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_3) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_4} \cdot \frac{I_3}{I_5} \right) \frac{(x-l_3)^2}{2} + \\ & \left(\frac{P \cdot (L-l_4) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_5} \cdot \frac{I_3}{I_4} \right) \frac{(x-l_4)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_5) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_6} \cdot \frac{I_3}{I_5} \right) \frac{(x-l_5)^2}{2} + \frac{P \cdot (L-a) \cdot x^3}{L \cdot 6} \cdot \frac{I_3}{I_1} + \\ & + \frac{P \cdot (L-a) \cdot \left(\frac{I_3}{I_2} \cdot \frac{I_3}{I_1} \right) \cdot (x-l_1)^3}{L \cdot 6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_5} \cdot \frac{I_3}{I_2} \right) \frac{(x-l_2)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_4} \cdot \frac{I_3}{I_5} \right) \frac{(x-l_3)^3}{6} + \\ & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_5} \cdot \frac{I_3}{I_4} \right) \frac{(x-l_4)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_3}{I_6} \cdot \frac{I_3}{I_5} \right) \frac{(x-l_5)^3}{6} + p \cdot \frac{I_3 \cdot (x-a)^3}{I_2 \cdot 6} \end{aligned} \right]$$

Уравнение упругой линии для второго участка, для которой $I_0 = I_2$:

$$\delta(x) = w_0 + \Theta_0 x + \frac{1}{EI_2} \left[\begin{aligned} & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_1}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_2} \cdot \frac{I_2}{I_1} \right) \frac{(x-l_1)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_2}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_3} \cdot \frac{I_2}{I_2} \right) \frac{(x-l_2)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_3}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_4} \cdot \frac{I_2}{I_3} \right) \frac{(x-l_3)^2}{2} + \\ & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_4}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_5} \cdot \frac{I_2}{I_4} \right) \frac{(x-l_4)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_5) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_6} \cdot \frac{I_2}{I_5} \right) \frac{(x-l_5)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_6) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_7} \cdot \frac{I_2}{I_6} \right) \frac{(x-l_6)^2}{2} + \\ & + \left(\frac{P \cdot (L-l_7) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_8} \cdot \frac{I_2}{I_7} \right) \frac{(x-l_7)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_8) \cdot a}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_9} \cdot \frac{I_2}{I_8} \right) \frac{(x-l_8)^2}{2} + \frac{P \cdot (L-a) \cdot x^3}{L \cdot 6} \cdot \frac{I_2}{I_1} + \\ & + \frac{P \cdot (L-a) \cdot \left(\frac{I_2}{I_2} \cdot \frac{I_2}{I_1} \right) \cdot (x-l_1)^3}{L \cdot 6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_3} \cdot \frac{I_2}{I_2} \right) \frac{(x-l_2)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_4} \cdot \frac{I_2}{I_3} \right) \frac{(x-l_3)^3}{6} + \\ & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_5} \cdot \frac{I_2}{I_4} \right) \frac{(x-l_4)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_6} \cdot \frac{I_2}{I_5} \right) \frac{(x-l_5)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_7} \cdot \frac{I_2}{I_6} \right) \frac{(x-l_6)^3}{6} + \\ & + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_8} \cdot \frac{I_2}{I_7} \right) \frac{(x-l_7)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot p}{L} \right) \cdot \left(\frac{I_2}{I_9} \cdot \frac{I_2}{I_8} \right) \frac{(x-l_8)^3}{6} + p \cdot \frac{I_2 \cdot (x-a)^3}{I_5 \cdot 6} \end{aligned} \right]$$

Уравнение упругой линии для третьего участка, для которого тоже $I_0 = I_2$ будет аналогичным, как и для второго участка, отличие будет только в зна-

чениях моментов инерции и длин некоторых участков.

Жесткость детали нами определяется без учета жесткости опор, которыми являются центры передней и задней бабок, а также люнеты, поэтому начальные параметры находим из опорных условий при $x=0$ и $w(0)=0$, т.к. $w_0 = 0$; при $x=L$ $w(L)=0$. Используем условие для определения второго начального параметра Θ_0 , воспользовавшись следующими исходными данными: модуль упругости $E=2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$; равнодействующая сил резания $P=232 \text{ Н}$:

Для первого участка

$$\delta(L) = \Theta_0 x + \frac{1}{EI_3} \left[\begin{aligned} & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_1}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_2 - I_1} \right) \frac{(x-l_1)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_2) \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_3 - I_2} \right) \frac{(x-l_2)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_3) \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_4 - I_3} \right) \frac{(x-l_3)^2}{2} + \right. \right. \\ & \left. \left(\frac{P \cdot (L-l_4) \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_5 - I_4} \right) \frac{(x-l_4)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_5) \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_6 - I_5} \right) \frac{(x-l_5)^2}{2} + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \frac{x^3}{6} \cdot \frac{I_3}{I_1} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_2 - I_1} \right) \frac{(x-l_1)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) - P}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_3 - I_2} \right) \frac{(x-l_2)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) - P}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_4 - I_3} \right) \frac{(x-l_3)^3}{6} + \right. \right. \\ & \left. \left. \left(\frac{P \cdot (L-a) - P}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_5 - I_4} \right) \frac{(x-l_4)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) - P}{L} \cdot \left(\frac{I_3 - I_3}{I_6 - I_5} \right) \frac{(x-l_5)^3}{6} + P \cdot \frac{I_3 (x-a)^3}{I_2 \cdot 6} \right) \right] = 0 \end{aligned} \right.$$

Для второго и третьего участков

$$\delta(L) = \Theta_0 x + \frac{1}{EI_2} \left[\begin{aligned} & \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_1}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_2 - I_1} \right) \frac{(x-l_1)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_2}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_3 - I_2} \right) \frac{(x-l_2)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_3}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_4 - I_3} \right) \frac{(x-l_3)^2}{2} + \right. \right. \\ & \left. \left(\frac{P \cdot (L-a) \cdot l_4}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_5 - I_4} \right) \frac{(x-l_4)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_5) \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_6 - I_5} \right) \frac{(x-l_5)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_6) \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_7 - I_6} \right) \frac{(x-l_6)^2}{2} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \left(\frac{P \cdot (L-l_7) \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_8 - I_7} \right) \frac{(x-l_7)^2}{2} + \left(\frac{P \cdot (L-l_8) \cdot a}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_9 - I_8} \right) \frac{(x-l_8)^2}{2} + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \frac{x^3}{6} \cdot \frac{I_2}{I_1} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_2 - I_1} \right) \frac{(x-l_1)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_3 - I_2} \right) \frac{(x-l_2)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_4 - I_3} \right) \frac{(x-l_3)^3}{6} + \right. \right. \\ & \left. \left. \left(\frac{P \cdot (L-a)}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_5 - I_4} \right) \frac{(x-l_4)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) - P}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_6 - I_5} \right) \frac{(x-l_5)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) - P}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_7 - I_6} \right) \frac{(x-l_6)^3}{6} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \left(\frac{P \cdot (L-a) - P}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_8 - I_7} \right) \frac{(x-l_7)^3}{6} + \left(\frac{P \cdot (L-a) - P}{L} \cdot \left(\frac{I_2 - I_2}{I_9 - I_8} \right) \frac{(x-l_8)^3}{6} + P \cdot \frac{I_2 (x-a)^3}{I_3 \cdot 6} \right) \right] = 0 \end{aligned} \right.$$

Откуда находим Θ_0 . После чего, можно определить прогиб вала в каком либо месте в продольном направлении, а также и в поперечном в зависимости от угла поворота вала. При расчетах воспользуемся пакетом прикладных программ "MatchCad" учитывая то, что для нахождения прогиба в каком либо сечении, в общем уравнении упругой линии необходимо брать только тот состав силовых факторов, которые находятся левее от необходимого сечения. После нахождения прогибов в соответствующих сечениях можно определить жесткость, воспользовавшись зависимостью $C = \frac{P}{\delta}$, где P

- приложенная сила, δ - прогиб вала от приложенной силы.

Практическое значение имеют величины прогибов и жесткостей под поверхностями, которые шлифуются, т.е. под коренными шейками. Результаты их расчетов заносим в таб.2. Значения угла α взята до 90° , поскольку они симметричны.

Таблица 2 – Значение жесткостей коленчатого вала в зависимости от угла поворота.

$\alpha, ^\circ$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Первый участок										
$\delta \cdot 10^4, \text{ мм}$	1.34	1.32	1.28	1.2	1.16	1.03	0.97	0.88	0.84	0.82
$C \cdot 10^5, \text{ Н/мм}$	9.7	9.81	10.1	10.73	11.1	12.5	13.7	14.6	15.4	15.7
Второй участок										
$\delta \cdot 10^4, \text{ мм}$	2.06	2.03	1.97	1.86	1.8	1.61	1.48	1.39	1.33	1.3
$C \cdot 10^5, \text{ Н/мм}$	6.3	6.38	6.56	6.97	7.22	8.03	8.76	9.32	9.77	9.95
Третий участок										
$\delta \cdot 10^4, \text{ мм}$	4.23	4.18	4.06	3.82	3.68	3.29	3.0	2.82	2.68	2.63
$C \cdot 10^5, \text{ Н/мм}$	3.06	3.1	3.19	3.4	3.52	3.94	4.32	4.61	4.84	4.93

По результатам таб.2 на рис.4 графически покажем изменение жесткости коленчатого вала в зависимости от угла поворота.

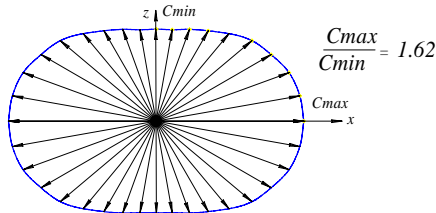


Рисунок 4 Годограф жесткости коленчатого вала

Согласно полученным результатам [3] строим графики зависимости элементов переходных процессов от жесткости детали:

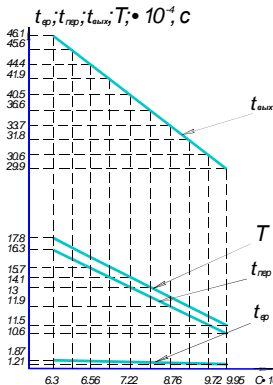


Рисунок 5 Влияние жесткости детали на продолжительность этапов переходных процессов

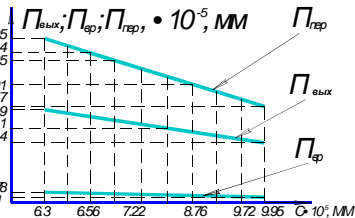


Рисунок 6 Влияние жесткости детали на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

Аналогично получены графики влияния других технологических параметров на переходные процессы среза врезного шлифования (рис. 6-9).

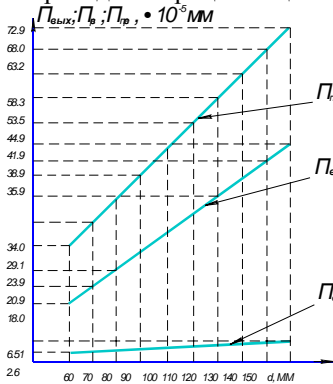


Рисунок 7 Влияние диаметра детали на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

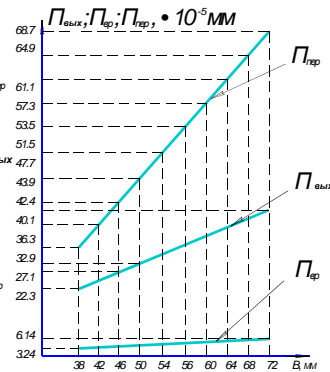


Рисунок 8 Влияние ширины шлифования на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

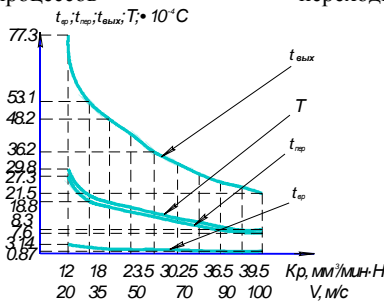


Рисунок 9 Влияние коэффициента режущей способности круга и соответственно скорости резания на продолжительность этапов переходных процессов

Таким образом, на основании вышеприведенных расчетов можно рассчитать действительную продолжительность рабочего цикла обработки одной шейки, т.е. машинное время, для цикла № 4 по формуле:

$$\tau_0 = \tau_{гр} + \tau_1 + \tau_{пер} + \tau_2 + \tau_{вых} + \tau_3,$$

где τ_1 - время на срезание черного припуска

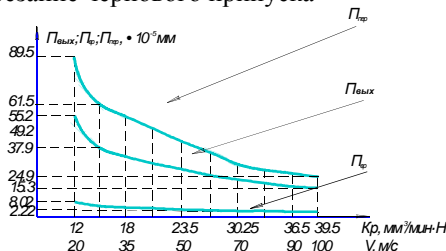


Рисунок 10 Влияние коэффициента режущей способности круга и скорости резания на припуски, снимаемые на этапах переходных процессов

$$\tau_1 = \frac{P_1 - P_{BP}}{S_{M2}} \quad \tau_2 = \frac{P_2 - P_{пер}}{S_{M3}} \quad \tau_3 = \frac{P_3 - P_{вых}}{S_{M3д}}$$

где P_1 - принятый припуск для черного перехода; S_{M2} - принятая подача для черного перехода; τ_2 - время на срезание чистового припуска; P_2 - принятый припуск для чистового перехода; S_{M3} - принятая подача для чистового перехода; τ_3 - время на срезание припуска на доводочном переходе; P_3 - принятый припуск для доводочного перехода; $S_{M3д}$ - принятая подача для доводочного перехода

Тогда при учете различной жесткости вала в зависимости от его угла поворота имеем:

1) для минимального значения жесткости детали

$$\tau_{\max} = 1.87 \cdot 10^{-4} + \frac{0.12 - 4.97 \cdot 10^{-5}}{0.5} + 1.63 \cdot 10^{-3} + \frac{0.026 - 5.62 \cdot 10^{-4}}{0.2} + 4.61 \cdot 10^{-3} + \frac{0.004 - 3.46 \cdot 10^{-4}}{0.015} = 0.61711 \text{ мин}$$

2) для максимального значения жесткости детали

$$\tau_{\min} = 1.21 \cdot 10^{-4} + \frac{0.12 - 4.97 \cdot 10^{-5}}{0.5} + 1.06 \cdot 10^{-3} + \frac{0.026 - 5.62 \cdot 10^{-4}}{0.2} + 2.99 \cdot 10^{-3} + \frac{0.004 - 3.46 \cdot 10^{-4}}{0.015} = 0.61486 \text{ мин}$$

Выводы: 1. Представленный расчетный метод разрешает определять прогибы и жесткость ступенчатых валов, в том числе со смещенными шейками в любом сечении, которые необходимы для определения оптимального по производительности цикла круглого наружного врезного шлифования. 2. Представленный метод позволяет более точно учитывать время переходных процессов при различной жесткости деталей.

Список литературы: 1. Ушаков А.Н., Серховец О.И., Фесенко А.В. Исследование переходных процессов в цикле круглого наружного врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні.- Харків: НТУ"ХП".-2006.-№18,- 130 с, С.41-45. 2. Ушаков А.Н., Серховец О.И., Фесенко А.В. Математическое моделирование переходных процессов в цикле круглого наружного врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні.- Харків: НТУ"ХП".-2007. №1,- 144с, С.26-32. 3. Ушаков А.Н., Серховец О.И., Фесенко А.В. Исследование структур рабочих циклов круглого наружного врезного шлифования // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. Харьков:НТУ «ХП».- 2008. №4,- 160с, С.75-81. 4. Сопротивление материалов/ Под общ. ред. Г.С.Писаренко.- 4-е изд.-К.Вища школа,1979.-696с. 5. Лурье Г.Б. Шлифование металов.-М.: Машиностроение, 1969.-175с.

Поступила в редколлегию 29.11.08