

УДК 621.9

## КАЧЕСТВО ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ В ПОВОДКОВЫХ ЦЕНТРАХ

Ерохин В.В.

Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)

В статье проведены исследования по определению влияния конструктивных параметров поводковых устройств на точность и производительность обработки. При этом под точностью обработки понимается отклонение формы цилиндрической поверхности от круглости, которая по ГОСТ 24643-81 может быть приведена к качеству точности. Представлены экспериментальные исследования по анализу геометрических форм обработанных цилиндрических поверхностей заготовок.

**Ключевые слова:** качество обработки, станочные приспособления, токарная обработка, технологическое оборудование.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2018-04-01-09-13

Высокая производительность обработки валов достигается за счет использования поводковых устройств, передающих крутящий момент по торцу заготовки. Наиболее широкое применение получили поводковые устройства на базе плавающего центра, обеспечивающие передачу крутящего момента за счет внедрения в торец заготовки поводковых элементов различного конструктивного исполнения. Такие конструкции поводковых центров могут быть использованы только на черновых и получистовых операциях из-за следующих недостатков:

1) наличие зазоров в сопряжениях плавающего переднего и вращающегося заднего центров снижают жесткость и виброустойчивость технологической системы, что отрицательно влияет не только на точность и производительность обработки диаметральных размеров, но и на качество обрабатываемой поверхности заготовки;

2) большие осевые усилия, необходимые для внедрения поводковых элементов в торец заготовки, исключают применение таких конструкций поводковых центров на шлифовальных станках, снижают точность выполнения диаметральных размеров нежестких валов, увеличивают деформации и износ шпиндельного узла и вращающегося заднего центра, что приводит к уменьшению их межремонтного периода, и, как следствие, увеличивается стоимость изготовления деталей;

3) значительное количество (от трех и более) нежестких связей между элементами поводкового центра уменьшают коэффициенты сил сопротивления упругим колебаниям технологической системы, что снижает

качество обрабатываемой поверхности особенно в области нелинейных резонансных колебаний переднего центра;

4) постоянное затупление и износ внедряемых поводковых элементов требует их периодической переточки, что также повышает себестоимость обработки заготовки [1, 2].

Большинство из этих недостатков устраняются применением поводковых устройств на базе жесткого центра, передающих крутящий момент за счет внедрения в торец заготовки самоустанавливающихся плавающих поводковых элементов, либо за счет автоматического западания поводкового элемента в предварительно созданную поводковую поверхность в торце заготовки. При этом по критериям технологичности получения предварительных поводковых поверхностей в торце заготовки и минимальных контактных напряжений между поводком и поводковой поверхностью наиболее предпочтительной является поводковая поверхность в форме кольцевой эксцентрично расположенной выточки. Предварительное же создание поводковых поверхностей не снижает эффекта повышения производительности обработки, вследствие выполнения их на совмещенных операциях по получению центровых отверстий:

- на заготовительных операциях штамповки и прессования;
- способом холодного выдавливания;
- обработкой резанием на фрезерно-центровальном станке с применением специально разработанной комбинированной головки.

Проведя экспериментальные исследования по анализу геометрических форм обра-

ботанных цилиндрических поверхностей заготовок, можно утверждать, что эти поверхности в первом приближении имеют конфигурации в виде эллипса, кардиоиды и соче-

тания двух названных кривых (рис.1). Коэффициент корреляции аппроксимирующих кривых с реальным профилем цилиндрической поверхности составляет 0,75...0,92.

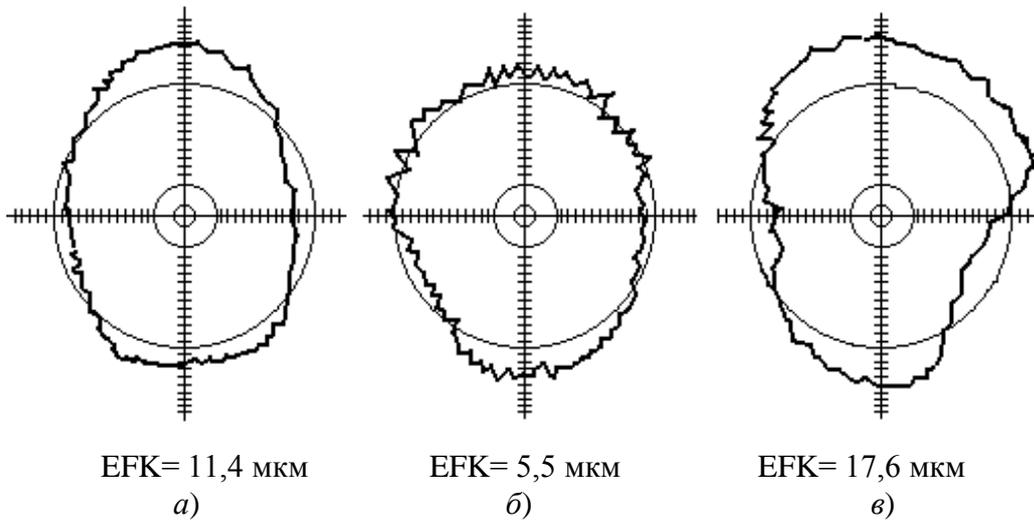


Рис. 1. Круглограммы обработанных поверхностей валов [2]:

- а – крутящий момент передается за счет автоматического западания поводкового элемента в предварительно подготовленную кольцевую эксцентрическую выточку;
- б – крутящий момент передается за счет автоматического западания поводкового элемента в предварительно подготовленные поводковые поверхности в форме 4-х лунок;
- в – крутящий момент передается за счет внедрения в торец заготовки трех самоустанавливающихся плавающих поводковых элементов.

В общем случае, когда кривая цилиндрической поверхности заготовки имеет форму сочетания эллипса и кардиоиды, уравнения отклонения формы обработанной поверхности от образующей идеального цилиндра в полярной системе координат записываются в виде [3, 4]:

- чистовое и тонкое точение
 
$$R_{\phi} = a - 0,5\Delta(1 + \cos 2\omega t) + \Delta_1 \sin \omega t,$$

$$y = -0,5\Delta \cos 2\omega t + \Delta_1 \sin \omega t;$$
- получистовая обработка
 
$$R_{\phi} = a - 0,5\Delta_1(1 + \cos 2\omega t) + \Delta \sin \omega t,$$

$$y = -0,5\Delta_1 \cos 2\omega t + \Delta \sin \omega t,$$

где  $R_{\phi}$  – координата точки цилиндрической обрабатываемой поверхности заготовки;  $a$  – наибольший радиус цилиндрической поверхности (наибольшая полуось эллипса);  $\Delta$  – отклонение от круглости формы обработанной цилиндрической поверхности заготовки;  $\Delta_1$  – составляющая отклонения от круглости формы обработанной цилиндрической поверхности заготовки ( $\Delta_1 \leq \Delta$ );  $y$  – колебания формы обрабатываемой поверхности заготовки.

Принимая форму предварительной поверхности в виде сочетания двух кривых – эллипса и кардиоиды, можно записать уравнения отклонения формы образующей цилиндра рассматриваемой поверхности:

- тонкая и чистовая предварительная обработка

$$y_1 = -0,5\Delta_{\delta} \cos 2\omega t + \Delta_{1\delta} \sin \omega t ;$$

- получистовая предварительная обработка

$$y_1 = -0,5\Delta_{1\delta} \cos 2\omega t + \Delta_{\delta} \sin \omega t ,$$

где  $\Delta_{\delta}$  – отклонение от круглости формы предварительно обработанной цилиндрической поверхности заготовки;  $\Delta_{1\delta}$  – составляющая отклонения от круглости формы предварительно обработанной цилиндрической поверхности заготовки ( $\Delta_{1\delta} \leq \Delta$ ).

Чистовая и тонкая обработка удовлетворяет следующим допущениям:

- обработка ведется в зоне устойчивых колебаний, что позволяет исключить влияние диссипативных сил на амплитуды колебаний технологических баз;
- из-за малой глубины резания изменением массы и моментом инерции в ходе обра-

ботки заготовки можно пренебречь;

- вследствие малых радиальных и тангенциальных усилий (до 100...110 Н для токарных станков нормальной точности по ГОСТ 18097-72) не учитываются упругие деформации заготовки, а также изменения радиальной и тангенциальной составляющих силы резания из-за колебаний припуска на обработку.

Учитывая внешние силы и зависимость силы резания от колебаний глубины резания,

вызванных колебаниями оси вращения обрабатываемой заготовки и формы предварительно обработанной цилиндрической поверхности (учет технологической наследственности), определяем величину отклонения от круглости формы обрабатываемой цилиндрической поверхности:

$$\Delta = \frac{X_2 d_2 - X_1 d_4}{d_3 d_2 - d_1 d_4}, \quad \Delta_1 = \frac{X_2 d_1 - X_1 d_3}{d_4 d_1 - d_2 d_3},$$

где

$$X_1 = - \frac{c_1 \left( \frac{K_z r}{E_n} \Delta_{1b} - K_1 K_z \Delta_b \right) + c_2 \left[ \frac{K_z r z_n}{E_n} \Delta_{1b} + K_z \Delta_b (K_1 (l_1 - z_n) - K_2 r) \right]}{c_3} + \left( \Delta_{n\bar{o}} + \frac{l_1}{L} (\Delta_{3\bar{o}} - \Delta_{n\bar{o}}) \right);$$

$$X_2 = - \frac{c_4 \left[ \frac{K_z r}{4E_n} (4h + \Delta_b) - K_1 K_z \Delta_{1b} + M\omega^2 e \right] + c_5 K_z \left[ \frac{r z_n}{4E_n} (4h + \Delta_b) + \Delta_{1b} (K_1 (l_1 - z_n) - K_2 r) \right]}{c_6};$$

$$d_1 = 1 - \frac{c_1}{c_3} K_1 K_z + \frac{c_2}{c_3} K_z (K_1 (l_1 - z_n) - K_2 r);$$

$$d_2 = \frac{K_z r (c_1 + c_2 z_n)}{c_3 E_n};$$

$$d_3 = \frac{K_z r (c_4 + c_5 z_n)}{4c_6 E_n};$$

$$d_4 = 1 - \frac{c_4}{c_6} K_1 K_z + \frac{c_5}{c_6} K_z (K_1 (l_1 - z_n) - K_2 r);$$

$$c_1 = 4A\omega^2 - C_{24}(l_1 - z_n) - C_{44};$$

$$c_2 = (l_1 - z_n)(C_{22} - 4M\omega^2) + C_{24};$$

$$c_3 = 16AM\omega^4 - 4\omega^2(MC_{44} + AC_{22}) + C_{22}C_{44} - C_{24}^2;$$

$$c_4 = A\omega^2 - C_{24}(l_1 - z_n) - C_{44};$$

$$c_5 = (l_1 - z_n)(C_{22} - M\omega^2) + C_{24};$$

$$c_6 = AM\omega^4 - \omega^2(MC_{44} + AC_{22}) + C_{22}C_{44} - C_{24}^2;$$

$$A = \frac{MR^2}{4} + \frac{ML^2}{12} - \text{главный центральный мо-}$$

мент инерции заготовки;  $R$  – приведенный радиус заготовки;  $M$  – масса обрабатываемой заготовки;  $C_{22} = j_{ny} + j_{zy}$ ,  $C_{24} = C_{42} = z_n j_{ny} - z_3 j_{zy}$ ,  $C_{44} = z_n^2 j_{ny} + z_3^2 j_{zy}$  – динамическая жесткость;  $j_{ny}$ ,  $j_{zy}$  – жесткость на уровне базирования заготовки на станочные приспособления, установленные соответственно на переднюю и заднюю бабки станка в направлении действия радиальной составляющей силы резания;  $z_n$ ,  $z_3$  – расстояния вдоль оси вращения за-

готовки от центра масс заготовки до точек базирования заготовки на приспособления, установленные соответственно на переднюю и заднюю бабки станка;  $l_1$  – расстояние вдоль оси вращения заготовки от уровня ее базирования на приспособление, установленное на переднюю бабку станка, до места обработки;  $L$  – расстояние вдоль оси вращения заготовки от уровня ее базирования на приспособление, установленное на переднюю бабку станка, до уровня ее базирования на приспособление, установленное на заднюю бабку станка;  $h$  – номинальная глубина резания;  $\omega$  – угловая скорость вращения заготовки;  $r$  – радиус обработки;  $t$  – время обработки;  $e$  – эксцентриситет расположения центра масс относительно оси вращения заготовки;  $E_n$  – не скомпенсированное эквивалентное плечо действия сил, передающих крутящий момент обрабатываемой заготовке;  $K_z$  – объединенный коэффициент при глубине резания в формулах для определения тангенциальной составляющей ( $P_z$ ) силы резания при точении;  $K_1$ ,  $K_2$  – коэффициенты пропорциональности соответственно между  $P_y$  и  $P_z$  ( $P_y = K_1 P_z$ ),  $P_x$  и  $P_z$  ( $P_x = K_2 P_z$ ).

Выполнены экспериментальные исследования рис. 2 по отклонению от круглости валов в зависимости от производительности обработки с использованием поводковых устройств на базе жесткого центра в следую-

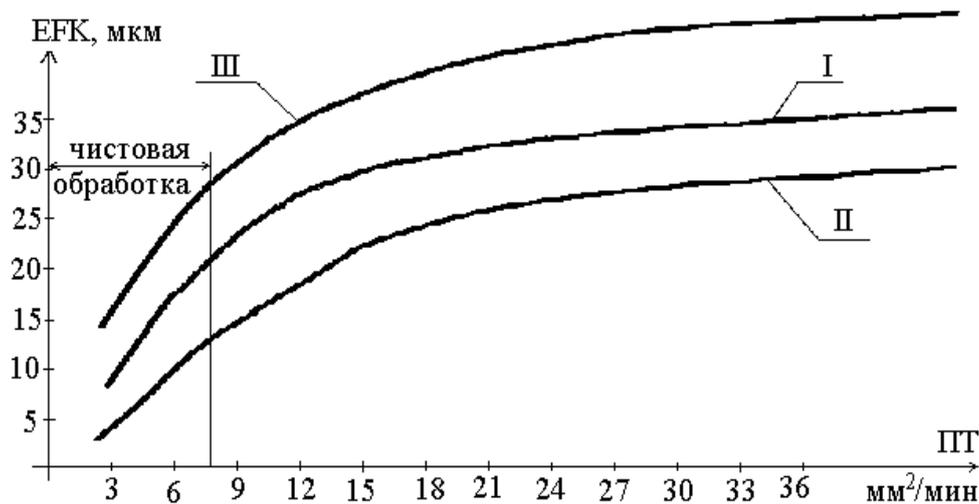


Рис. 2. Точность обработки валов в зависимости от производительности:

- ПТ - производительность обработки; ЕФК – отклонение от круглости по ГОСТ 24643-81;  
 I – поводковый центр, передающий крутящий момент по эксцентричной кольцевой выточке ( $E_p=8$  мм – эксцентриситет кольцевой выточки относительно оси вращения заготовки);  
 II – поводковый центр, передающий крутящий момент по поводковым поверхностям в форме 4-х лунок; III – поводковый центр, передающий крутящий момент за счет внедрения в торец заготовки трех поводковых элементов

щих технологических условиях: станок токарно-винторезный 1К62; однолезвийная обработка; деталь  $\varnothing 70$  мм,  $L=80$  мм, Сталь 45 ГОСТ 1050-85.

Расхождение теоретических и экспериментальных данных при чистовой обработке не превышает 10...15 %. Шероховатость и волнистость поверхности деталей, обработанных с использованием исследуемых поводковых устройств, отличается незначительно.

Для повышения точности обработки валов необходимо применять центровые отверстия и центры R-формы. При этом центры и центровые отверстия R-формы из-за небольшой площади контакта сферических поверхностей могут быть использованы только на чистовых операциях механической обработки резанием [4].

Использование результатов исследований позволяет выбрать рациональную схему передачи заготовке крутящего момента и конструктивное исполнение поводкового устройства, в том числе создавать новые эффективные конструкции, обеспечивающие требуемое отклонение от круглости.

#### Список литературы

1. Ильицкий, В.Б. Поводковая технологическая оснастка / В.Б. Ильицкий, Ю.А. Малахов, В.В. Ерохин. – Брянск: БГТУ, 1999. – 184 с.
2. Ерохин, В.В. Обеспечение качества станочных приспособлений. Дис. ... докт. техн. наук. – Брянск. 2007. – 412 с.
3. Ерохин, В.В. Основные аспекты проектирования станочных приспособлений / В.В. Ерохин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. - №1. – С. 11-17.
4. Ильицкий, В.Б. Проектирование технологической оснастки / В.Б. Ильицкий, В.В. Ерохин. – Брянск: БГТУ, 2006. – 123 с.

#### Сведения об авторе

Ерохин Виктор Викторович - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизированные информационные системы и технологии» ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», [erohinvv@mail.ru](mailto:erohinvv@mail.ru).

## QUALITY OF CYLINDRICAL SURFACES AT PROCESSING IN DRIVER MACHINE-TOOL ADAPTATIONS

Erokhin V.V.

Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russia)

In the article studies were conducted to determine the influence of the structural parameters of the drive devices on the accuracy and productivity of the treatment. At the same time, the accuracy of processing is understood as the deviation of the shape of a cylindrical surface from roundness, which, according to GOST 24643-81, can be reduced to accuracy. Experimental studies on the analysis of geometric shapes of machined cylindrical surfaces of blanks are presented.

**Keywords:** *machining quality, machine retaining device, turning, process equipment.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2018-04-01-09-13

### References

1. Ilitskiy V.B., Malakhov Yu.A., Erokhin V.V. *Machine-tool adaptations*. Bryansk, BSTU, 1999. – 184 p. (In Russian)

2. Erokhin V.V. Ensuring the quality machine tool adaptations. Doct. Diss. (Engineering). Bryansk, 2007. 412 p. (In Russian)

3. Erokhin V.V. Basic aspects design of machine-tool adaptations. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.1, pp. 11-17. (In Russian)

4. Ilitskiy V.B., Erokhin V.V. *Design of machining attachments*. Bryansk, BSTU, 2006. – 123 p. (In Russian)

### Author' information

Viktor V. Erokhin - Doctor of Technical Sciences, Professor at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, *erohinvv@mail.ru*.

Дата принятия к публикации  
(Date of acceptance for publication)  
22.01.2018

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2018

