

**R. N. Shaduro, P. A. Shackii, V. E. Pankratov**  
**Prediction and precision control**  
**by the ultrasonic mandrelling of holes**  
 Belarusian-Russian University

In this work by means of calculating analytical method a relationship for precision calculation by ultrasonic mandrelling has been obtained. The reliability of this relationship has been verified by experiments.

УДК 621.97

**Г. Ф. Шатуров, д-р техн. наук, В. А. Лукашенко, канд. техн. наук, доц.,**  
**Д. Г. Шатуров**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗНАШИВАНИЯ ТОКАРНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Рассмотрены вопросы закономерности изнашивания токарных резцов и выведены зависимости для определения погрешности при точении валов.

При обработке валов на токарных станках величина диаметральных размеров по мере перемещения резца вдоль обрабатываемой заготовки во многом зависит от упругой податливости элементов технологической системы и износа инструмента. Износ инструмента оказывает значительное влияние на формирование погрешности, особенно при обработке длинномерных валов. Из поверхностей резца, образующих лезвие, преимущественно изнашивается его задняя поверхность, имеющая наибольшую скорость перемещения относительно поверхности резания (рис. 1). Кривые износа задней поверхности инструмента от времени обработки могут иметь выпуклую или вогнутую относительно оси абсцисс форму (рис. 2) [1].

В общем случае кривая износа может быть аппроксимирована степенной функцией следующего вида [2]:

$$h_3 = \delta_o \left( \frac{\tau}{T_o} \right)^{n_o}, \quad (1)$$

где  $h_3$ ,  $\delta_o$  – текущий и оптимальный износы задней поверхности резца, мкм;  $T_o$  –

период стойкости инструмента, мин;  $\tau$  – время резания, мин;  $n_o$  – показатель степени при аналитическом определении величины линейного износа задней поверхности резца.

Максимальная величина износа задней поверхности резца  $h_3 = \delta_o$ .

Кривая износа задней поверхности резца состоит из двух отчетливо выраженных участков OA и AB (см. рис. 2). После точки A кривой износа происходит уменьшение ( $n_o < 1,0$ ) либо увеличение ( $n_o > 1,0$ ) интенсивности нарастания ширины площадки износа и наступает период нормального (замедленного) или ускоренного изнашивания инструмента в зависимости от величины показателя  $n_o$ .

Величина размерного износа инструмента меньше износа задней поверхности (см. рис. 1) и равна

$$\delta_p = h_3 \cdot K_p, \quad (2)$$

где

$$K_p = tq\alpha_s \frac{\sin \varphi_1}{\sin(\varphi + \varphi_1)}; \quad (3)$$

$\delta_p$  – величина размерного износа резца;  $\alpha_3$  – задний угол заточки резца;  $\varphi, \varphi_1$  – главный и вспомогательный углы в плане резца соответственно.

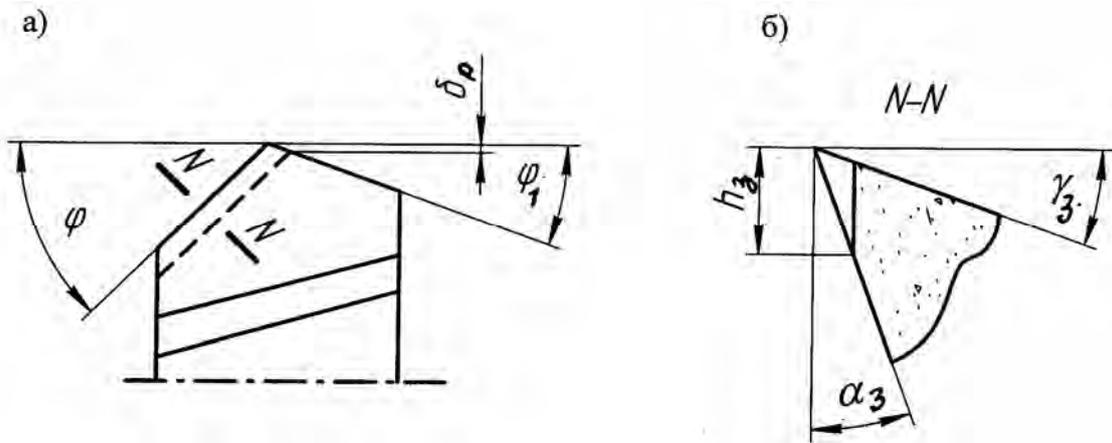


Рис. 1. Размерный износ (а) и вид износа задней поверхности (б) резца:  $\varphi, \varphi_1$  – главный и вспомогательный углы в плане резца;  $\alpha_3, \gamma_3$  – задний и передний углы заточки резца

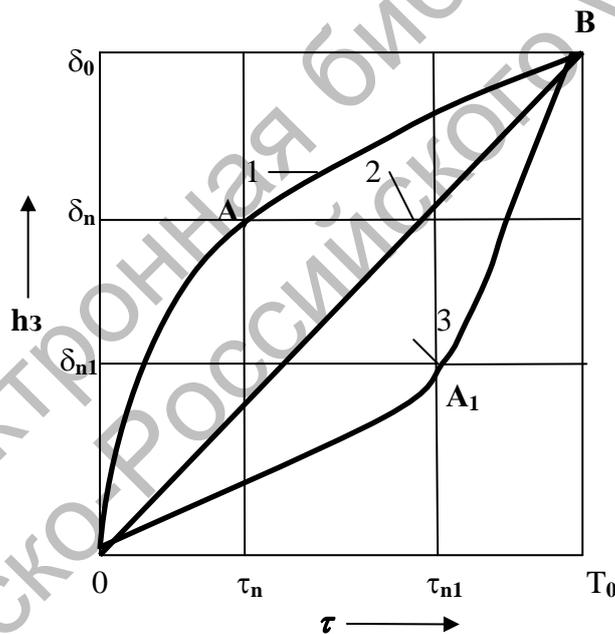


Рис. 2. Кривые износа твердосплавного резца: 1 – при  $p_0 < 1,0$ ; 2 – при  $p_0 = 1,0$ ; 3 – при  $p_0 > 1,0$

Диаметральная погрешность обработки вала от износа инструмента равна

$$\Delta D = 2\delta_p \cdot \quad (4)$$

Определение величины показателя  $p_0$ , влияющего на интенсивность нарастания

износа, очень трудоёмко и требует больших материальных и энергетических затрат. Поэтому для его определения воспользуемся данными, приведенными в [3]. Оптимальная величина износа при чистовом точении

равна  $\delta_0 = 400 \dots 500$  мкм; относительный радиальный износ для резца марки Т15К6 составляет  $u_0 = 5 \dots 7$  мкм/км и  $T_0$  – период стойкости инструмента, определяемый из следующей зависимости [3]:

$$V = \frac{C_v}{T_0^m t^x S^y} \cdot K_v, \quad (5)$$

где  $V$  – скорость резания, м/мин;  $t$  – глубина резания, мм;  $S$  – подача, мм/об;  $K_v$  – коэффициент, учитывающий особенность обработки,  $K_v = 1,0$ ;  $C_v, m, x, y$  – коэффициенты, которые приведены в [3].

Кривая износа от времени обработки имеет перегиб в точке А (см. рис. 2), координаты которой равны

$$\tau_n = T_0 \cdot K_\tau; \quad (6)$$

$$\delta_n = \delta_0 \cdot K_\delta, \quad (7)$$

где

$$K_\tau = n_0^{\frac{1}{1-n_0}}; \quad (8)$$

$$K_\delta = K_\tau^{n_0}. \quad (9)$$

Коэффициенты  $K_\tau$  и  $K_\delta$  от показателя  $n_0$  имеют противоположное изменение (рис. 3). При этом для режимов обработки, обеспечивающих  $n_0 < 1,0$ , за время приработки износ задней поверхности может достигать 50 % от оптимальной величины  $\delta_0$ . Если  $n_0 > 1,0$ , то за время приработки имеем значительное уменьшение износа задней поверхности по сравнению с тем, когда  $n_0 < 1,0$ .

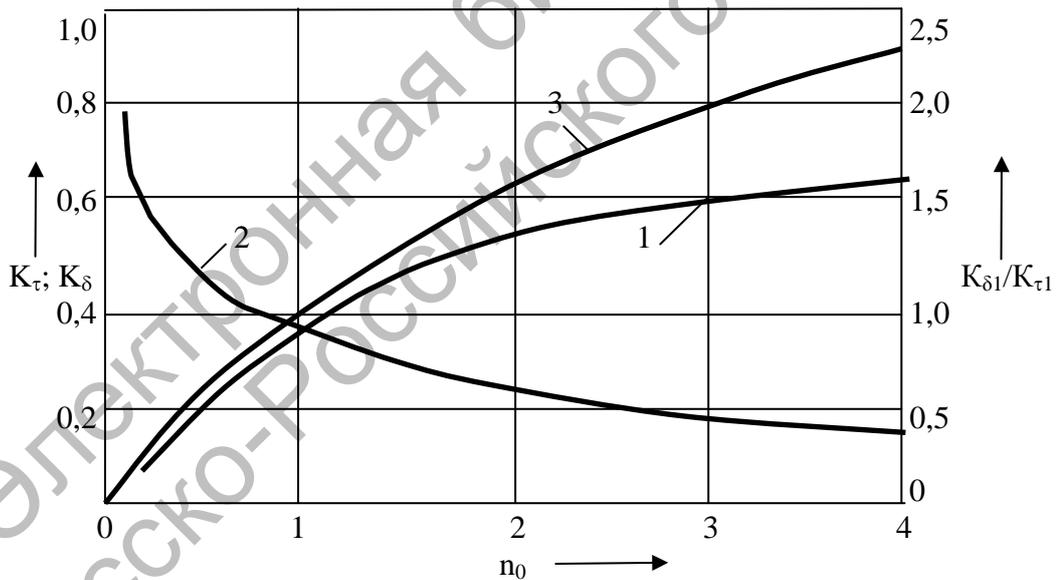


Рис. 3. Изменение коэффициентов  $K_\tau$  (1),  $K_\delta$  (2) и отношения  $K_{\delta 1}/K_{\tau 1}$  (3) от показателя степени  $n_0$

Заменим участок АВ кривой износа (см. рис. 2) прямой с углом наклона  $\gamma$  к оси абсцисс, что является верным [4].

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\delta_0}{T_{np}}, \quad (10)$$

где  $T_{np}$  – приведенный максимальный период стойкости инструмента,

$$T_{np} = \frac{1000 \cdot \delta_0 \cdot K_p}{u_0 \cdot V}, \quad (11)$$

где  $u_o$  – относительный износ инструмента, мкм/км [3].

Из рис. 2 находим

$$T_o = \tau_n + \frac{\delta_o - \delta_n}{\text{tg}\gamma}. \quad (12)$$

После подстановки (6), (7) в (12) и преобразований получим

$$\frac{T_o \cdot u_o \cdot V}{1000 \cdot \delta_o \cdot K_p} = \frac{K_{\delta_i}}{K_{\tau_i}}, \quad (13)$$

где  $K_{\delta_i} = 1 - K_{\delta}$ ;  $K_{\tau_i} = 1 - K_{\tau}$ .

Отношение  $\frac{K_{\delta_i}}{K_{\tau_i}}$  зависит только от величины  $n_o$ . Математическая обработка кривой  $\frac{K_{\delta_i}}{K_{\tau_i}} = f(n_o)$  (см. рис. 3) позволила получить следующую зависимость, адекватно определяющую указанную функцию:

$$\frac{K_{\delta_i}}{K_{\tau_i}} = (n_o)^{0,6}. \quad (14)$$

Тогда показатель степени  $n_o$  равен

$$n_o = \left( \frac{T_o \cdot u_o \cdot V}{1000 \cdot \delta_o \cdot K_p} \right)^{\frac{1}{0,6}}. \quad (15)$$

Таким же образом получены зависимости для определения коэффициентов  $K_{\tau}$  и  $K_{\delta}$ :

– при  $n_o < 1,0$ :

$$\begin{aligned} K_{\tau} &= 0,3676 \cdot n_o^{0,6}; \\ K_{\delta} &= 0,3676/n_o^{0,4}; \end{aligned} \quad (16)$$

– при  $n_o \geq 1,0$ :

$$\begin{aligned} K_{\tau} &= 0,3676 \cdot n_o^{0,4}; \\ K_{\delta} &= 0,3676/n_o^{0,6}. \end{aligned} \quad (17)$$

Отметим, что износ задней поверхности, когда  $\tau \geq \tau_n$  (участок АВ,  $n_o < 1,0$ ) характеризуется нормальным износом инструмента, прямо пропорциональным пути резания [4], что свидетельствует о самоорганизации новых структур на разделяющих друг от друга изнашиваемых по-

верхностях инструмента и заготовки в виде образующихся на них оксидных ( $\text{C}_2\text{O}$ ,  $\text{WO}_3$  и  $\text{T}_i\text{O}_2$ ) и окисных ( $\text{F}_2\text{O}_3$ ,  $\text{F}_3\text{O}_4$ ) плёнок и адсорбированного слоя [4, 5]. Это предотвращает непосредственный контакт поверхностей, уменьшает коэффициент трения и интенсивность изнашивания. Система трения поверхностей стремится к стационарному состоянию с минимальным потреблением энергии для своего существования. В этом случае имеет преимущество окислительно-абразивное изнашивание.

Для участка ОА<sub>1</sub> (см. рис. 2) кривой износа задней поверхности, когда  $n_o \geq 1,0$  и  $\tau \leq \tau_n$ , имеет место окислительно-абразивное изнашивание.

Тогда для этого участка кривой износа:

$$\text{tg}\gamma = \frac{\delta_{n1}}{\tau_{n1}} = \frac{\delta_o}{T_o} \cdot \frac{K_{\delta}}{K_{\tau}} = \frac{\delta_o}{T_o} \cdot n_o. \quad (18)$$

С учётом (10) и (11) для  $n_o \geq 1,0$  имеем

$$n_o = \frac{T_o \cdot V \cdot u_o}{1000 \cdot \delta_o \cdot K_p}. \quad (19)$$

Как следует из зависимостей, представленных на рис. 4, с увеличением режимов обработки величина показателя степени  $n_o$  уменьшается, что свидетельствует об уменьшении времени  $\tau_n$  приработки и увеличении величины  $\delta_n$  износа задней поверхности резца за это время.

Знание величины  $n_o$  позволяет в любой момент времени, используя зависимости (1) и (2), определить размерный износ резца и погрешность обработки и осуществить поднастройку технологической системы на необходимый диаметральный размер обработанной поверхности, и тем самым уменьшить поле рассеяния его размеров и исключить возникновение брака. При обработке на станке с ЧПУ в программе продольного перемещения инструмента необходимо предусмотреть

величину его радиального перемещения с учётом размерного износа резца.

Погрешность обработки, связанная с износом резца и заключающаяся в увеличении диаметра обрабатываемой поверхности заготовки вала, обычно определяют из следующей зависимости [4]:

$$\Delta D_1 = 2 \frac{u_o}{1000} \cdot l, \quad (20)$$

где  $l$  – путь резания,  $l = V \cdot t$ .

Формула (20) адекватна процессу изнашивания резца только при  $n_0 = 1,0$  и получается из (2), если в (1)  $n_0 = 1,0$ .

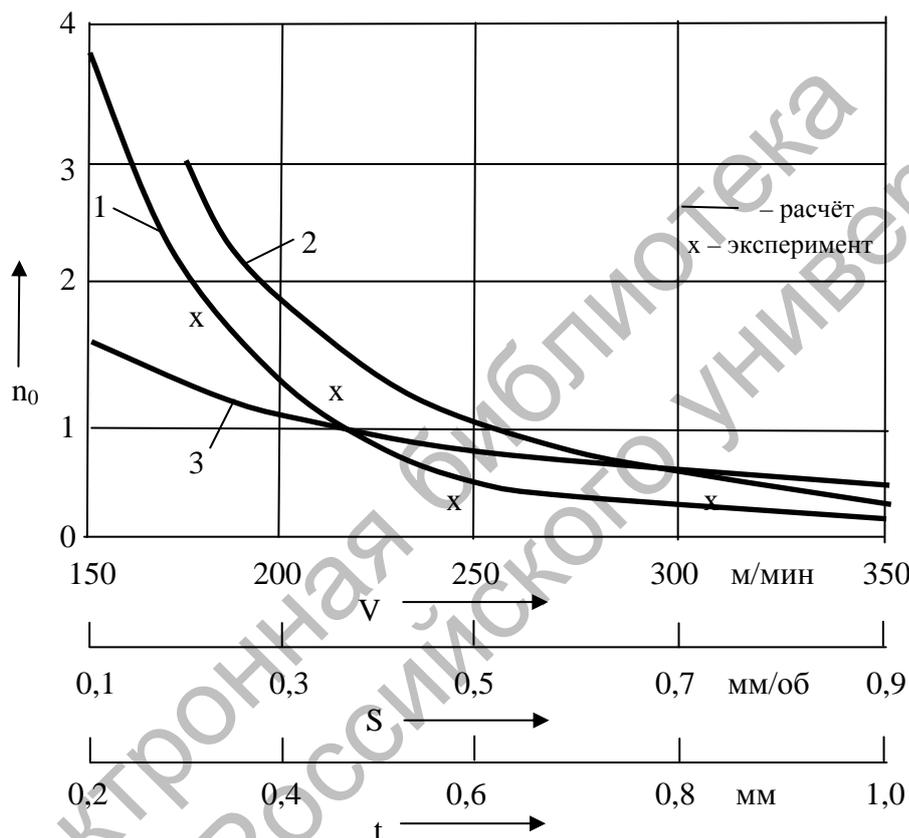


Рис. 4. Изменение показателя  $n_0$  в зависимости от скорости резания  $V$  (1), подачи  $S$  (2) и глубины резания  $t$  (3):  $V = 220$  м/мин;  $S = 0,5$  мм/об;  $t = 0,5$  мм; материал заготовки – сталь 45, резца – Т15К6

На рис. 5 представлены зависимости погрешностей  $\Delta D$ , определяемая из (4), и  $\Delta D_1$ , определяемая из (20), от времени резания и относительная ошибка  $\eta$  в процентах при использовании этих зависимостей.

$$\eta = \frac{\Delta D - \Delta D_1}{\Delta D} \cdot 100 \% . \quad (21)$$

Как видно, относительная ошибка по определению погрешности диамет-

ральных размеров вала по известной методике [4], по сравнению с предложенной, значительна и составляет от 22 до 50 % и более.

В заключении отметим, что предложенная и известная [6] методики по определению износа токарного режущего инструмента и погрешности обработки, связанной с его износом, могут быть использованы и для других инструментов в различных процессах механической обработки.

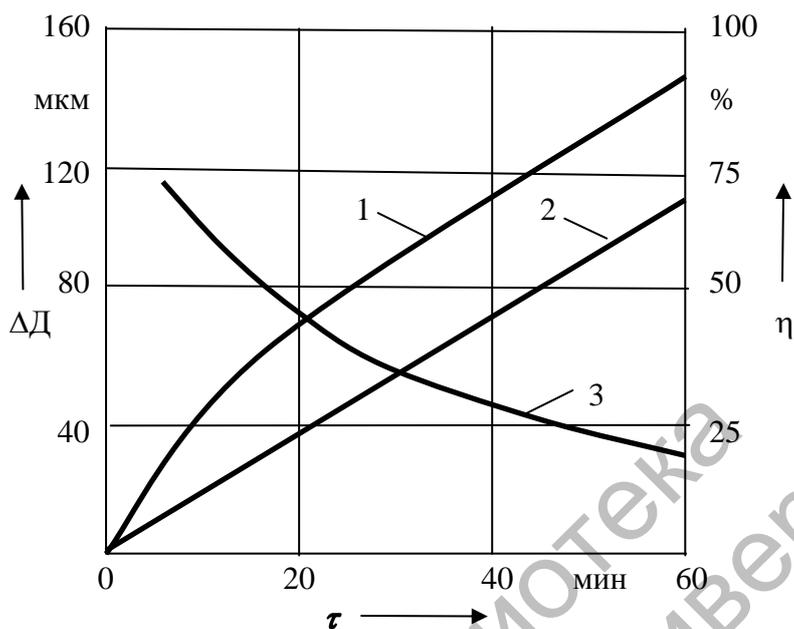


Рис. 5. Зависимость изменения погрешности  $\Delta D$  (1),  $\Delta D_1$  (2) в результате размерного износа резца и изменение относительной погрешности  $\eta$  (3) обработки вала от времени  $\tau$  работы: 1 – при  $n_0 = 0,654$ ; 2 – при  $n_0 = 1,0$ ;  $t = 1,0$  мм;  $S = 0,5$  мм/об;  $V = 197$  м/мин;  $T = 60$  мин;  $u_0 = 5$  мкм/км; материал заготовки – сталь 45; резца – T15K6

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров, В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.

2. Шатуров, Г. Ф. Прогрессивные процессы механической обработки поверхностей / Г. Ф. Шатуров, Ж. А. Мрочек. – Минск : Технопринт, 2001. – 460 с.

3. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985.

4. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

5. Крагельский, И. В. Основы расчётов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1979. – 526 с.

6. Шатуров, Г. Ф. Исследование закономерностей изнашивания токарных резцов / Г. Ф. Шатуров, Д. Г. Шатуров // Право. Политика. Экономика : науч. тр. Могилев. филиала БИП. – Могилев, 2006. – Вып. 1. – 127 с.

Белорусский институт правоведения  
Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 12.04.2006

G. F. Shaturov, V. A. Lukashenko,  
D. G. Shaturov  
Analysis of the wear and tear  
process of turning instrument  
Belarusian Institute of Law  
Belarusian-Russian University

After having examined problems of the naturally determined wear and tear of turning cutters were deduced dependences to determine errors when turning shafts.