

УДК 621.941



**А.А. Оргиян,**  
д.т.н., професор,  
Одеський національний  
політехнічний  
університет  
e-mail:  
alexorgiyani@gmail.com



**А.В. Баланюк,**  
аспірант,  
Одеський національний  
політехнічний  
університет  
e-mail:  
anna.balanyuk@mail.ru



**И.М. Творищук,**  
аспірант,  
Заведующий отделением,  
Одеський технічний  
коледж  
e-mail: tvorischuk@mail.ru

## ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ ПРИПУСКА НА ПАРАМЕТРИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОЦЕССА ТОНКОГО РАСТАЧИВАНИЯ

*А.А. Оргиян, А.В. Баланюк, И.М. Творищук. Влияние переменности припуска на параметрическую устойчивость процесса тонкого растачивания.* Переменность припуска при тонком растачивании приводит к изменениям параметров процесса резания. Установлено, что изменения припуска с частотой вращения не влияют на параметрическую устойчивость, а проявляются как внешнее воздействие на процесс резания.

*A.A. Orgiyani, A.V. Balanyuk, I.M. Tvorischuk. The impact of variability allowance parametric stability of the process of fine boring.* Variability allowance for fine boring leads to changes in the parameters of the cutting process. It is established that the allowance changes with the rotation speed does not affect the stability of parametric and external-proyavlyayutsya as of impact on the process of cutting.

**Введение.** Исследования процесса тонкого растачивания отверстий выявили основные факторы, влияющие на точность формы поперечного сечения:

1. неравномерность жесткости подсистемы шпиндель-борштанга;
2. погрешности положения и формы отверстия в заготовке;
3. погрешности установки заготовки;
4. геометрические неточности вращения шпинделя.

В процессе обработки резанием названные факторы вызывают дополнительные непредусмотренные процессом обработки перемещения резца относительно заготовки. По временным характеристикам эти пере-

мещения можно условно разделить на статические, частота которых значительно меньше низшей собственной частоты системы, и динамические – колебания. Статические возмущения технологической системы вызываются всеми четырьмя названными факторами. Погрешности положения отверстия в заготовке и установки заготовки, а также неравномерность радиальной жесткости шпиндельного узла не вызывает динамических возмущений, так как они изменяются, в основном, с периодичностью вращения. Погрешности формы отверстия и геометрическая неточность вращения шпинделя вызывают как статические, так и динамические возмущения.

**Материалы и результаты исследований.** Расчеты колебаний вызванных динамическими возмущениями от этих двух источников отличаются по своей методике, так как погрешности формы отверстия в заготовке обуславливают внешние воздействия на процесс резания, а геометрическая неточность вращения шпинделя приводит к возникновению внешних силовых воздействий на упругую систему.

При исследовании влияния на динамическую систему станка статических внешних воздействий, вызванных погрешностями положения отверстия в заготовке относительно оси вращения шпинделя, а также овальностью отверстия заготовки (рис. 1), возникает задача установления характера этих воздействий.

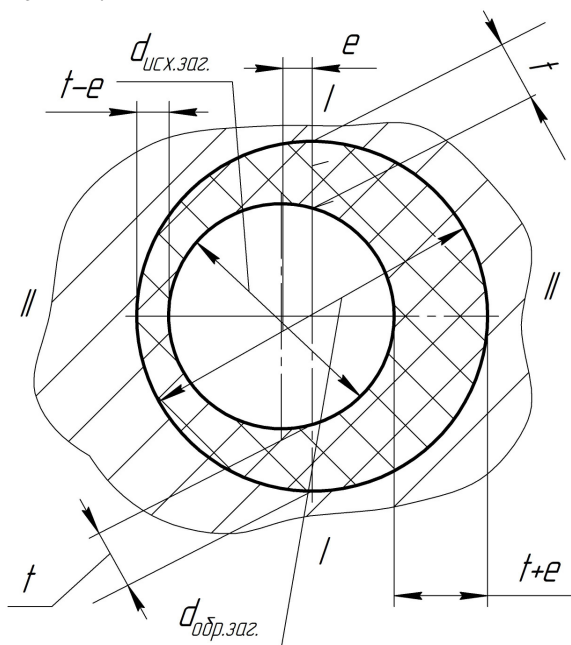


Рис.1. Схема образования неравномерного припуска  
 от смещения оси заготовки:  $e$  – эксцентриситет;  
 $t$  – заданная глубина резания.

Речь идет о том, что переменность припуска, вызванная указанными воздействиями, приводит не только к появлению переменной составляющей силы резания, но также и к изменениям параметров процесса резания, определяющих его динамическую характеристику. Действительно, при тонком растачивании изменения глубины резания вызывают изменения ширины срезаемого слоя  $b_o$ , определяемой как длина криволинейного контура режущей кромки. Поэтому коэффициент резания  $K_p = 1,5 \cdot \sigma_s \cdot \xi_0 \cdot b_o$ , оказывается переменной величиной (здесь  $\xi_0$  – продольная усадка стружки,  $\sigma_s$  – предел прочности обрабатываемого материала,  $K_p = K_p(t)$ ). Известно, что периодические изменения коэффициентов связи упругой системы и процесса резания могут влиять на положение границы области устойчивости замкнутой динамической системы станка: такое влияние обнаружено, например, при периодических изменениях ориентации силы резания [1]. Важно установить, проявляется ли параметрическое воздействие на замкнутую динамическую систему станка при изменениях припуска с частотой вращения?

Уравнения движения замкнутой динамической системы представим в виде, учитывающем колебания упругой системы станка по основной форме (с низшей собственной частотой  $\omega_0$ ) и динамическую характеристику процесса резания:

$$\begin{cases} \ddot{y} + 2h\dot{y} + \omega_0^2 y = f(t)P_z \\ T_p \dot{P}_z + P_z = -K_p(t)y, \end{cases} \quad (1)$$

где  $y$  – упругие перемещения резца относительно заготовки;

$h_0 = \delta\omega_0 / \pi$  – коэффициент затухания,  $\delta$  – логарифмический декремент затухания колебаний;

$f(t), K_p(t)$  – коэффициенты связи (в рассматриваемой задаче

$$f(t) = 1 + \mu^{-2} \cos^2 \bar{\varphi} / m. [2]),$$

где  $m$  – приведенная масса упругой системы;

$\mu$  – коэффициент трения стружки о переднюю грань;

$\bar{\varphi}$  – эффективное значение главного угла в плане;

$P_z$  – переменная часть главной составляющей силы резания.

Система (1) приводиться к дифференциальному уравнению третьего порядка:

$$\left[ T_p \cdot \ddot{y} + (2 \cdot h \cdot T_p + 1) \cdot \ddot{y} + (\omega_0^2 \cdot T_p + 2 \cdot h) \cdot \dot{y} + \omega_0^2 (1 + \gamma) \right] \cdot f - \left( \ddot{y} + 2 \cdot h \cdot \dot{y} + \omega_0^2 \cdot y \right) \cdot T_p \cdot f = 0, \quad (2)$$

где безразмерная величина  $\gamma = f \cdot K_p \cdot \omega_0^{-2}$ , характеризует связанность замкнутой системы. Коэффициент  $K_p$  изменяется во времени с частотой вращения  $\Omega \ll \omega_0$

$$K_p = \bar{K}_p (1 + \varepsilon \sin \Omega t), \quad (3)$$

где  $\bar{K}_p$  – среднее значение коэффициента резания, а  $\varepsilon$  – зависит от амплитуды изменения припуска. Анализ данных эксперимента показывает, что можно полагать  $f = const, T_p = const$ . Тогда:

$$\gamma = \bar{\gamma} \cdot (1 + \varepsilon \sin \Omega t),$$

где введено обозначение среднего значения коэффициента связанности:

$$\bar{\gamma} = f \cdot \bar{K}_p \cdot \omega_0^{-2}.$$

Тогда уравнение (2) приводится к виду:

$$T_p \cdot \ddot{y} + (2 \cdot h \cdot T_p + 1) \cdot \ddot{y} + (\omega_0^2 \cdot T_p + 2 \cdot h) \cdot \dot{y} + \omega_0^2 (1 + \gamma) y = 0. \quad (4)$$

Решение уравнения (4) ищем в виде произведения

$$y = \rho(t) \cos(\omega_0 t + \psi), \quad (5)$$

содержащего медленно изменяющуюся амплитуду  $\rho(t)$ .

Подставляя (5) в (4) в силу допущения о медленно меняющейся амплитуде, получим:

$$\begin{aligned} \dot{y} &= \dot{\rho} \cos(\omega_0 t + \psi) - \rho \omega_0 \sin(\omega_0 t + \psi); \\ \ddot{y} &= -\rho \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \psi) - 2\dot{\rho} \omega_0 \sin(\omega_0 t + \psi) + \dots \\ \ddot{y} &= \rho \omega_0^3 \sin(\omega_0 t + \psi) - 3\dot{\rho} \omega_0^2 \cos(\omega_0 t + \psi) + \dots \end{aligned} \quad (6)$$

С учетом выражений (6) уравнение (4) примет вид:

$$\begin{aligned} & \left[ -4T_p h \dot{\rho} \omega_0 - 2\rho \omega_0 - 2h\rho \omega_0 \right] \sin(\omega_0 t + \psi) + \\ & + \left[ -3\dot{\rho} \omega_0^2 T_p - 2hT_p \omega_0^2 \rho + 2h\dot{\rho} + \omega_0^2 \rho \gamma \right] \cos(\omega_0 t + \psi) = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Далее введем обозначения:

$$\begin{aligned} \text{при } \rho \sin(\omega_0 t + \psi) & \quad 2h\omega_0 = N; \\ \text{при } \rho \cos(\omega_0 t + \psi) & \quad \omega_0^2 (\gamma - 2hT_p) = M; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{при } \dot{\rho} \sin(\omega_0 t + \psi) & \quad -4T_p \omega_0^2 h - 2\omega_0 = -L; & (8) \\ \text{при } \dot{\rho} \cos(\omega_0 t + \psi) & \quad -2T_p \omega_0^2 h + 2h = -K. \end{aligned}$$

С учетом этих обозначений запишем (7) в виде:

$$\begin{aligned} [\rho n \sin(\omega_0 t + \psi) + M \cos(\omega_0 t + \psi)] = & \\ = \dot{\rho} [L \sin(\omega_0 t + \psi) + K \cos(\omega_0 t + \psi)]. & \end{aligned} \quad (9)$$

Умножив это выражение последовательно на  $L \cdot [\sin(\omega_0 t + \psi)]$ , а затем на  $K \cdot \cos(\omega_0 t + \psi)$  и интегрируя в пределах от 0 до  $\frac{2\pi}{\omega} = T$ , получим:

$$\begin{aligned} \rho N L & = \dot{\rho} L^2; \\ \rho K M & = \dot{\rho} K^2, \end{aligned}$$

или

$$\rho(N \cdot L + K \cdot M) = \dot{\rho}(L^2 + K^2). \quad (10)$$

Отметим, что

$$\int_0^{T_b} \frac{d}{dt} \ln \rho dt = \int_0^{T_b} \frac{\dot{\rho}}{\rho} dt, \quad (11)$$

где  $T_b = \frac{2\pi}{\Omega}$ ,  $\Omega$  – частота вращения.

Подставляя (10) в (11) приходим к условию устойчивости решения  $y$ :

$$\int_0^{T_b} \frac{N \cdot L + K \cdot M}{L^2 + K^2} dt < 0, \quad (12)$$

обеспечивающему убывание медленно изменяющейся амплитуды  $\rho(t)$  за период изменения коэффициентов уравнения (4). Из (12), учитывая (8), находим:

$$\gamma(\omega_0^2 T_p - h) < 2h(\omega_0^2 T_p^2 + 2hT_p + 1). \quad (13)$$

Характеристики  $\xi$  и  $\Omega$  переменной части коэффициента связанности не входят в условия устойчивости (13). Это означает, что рассматриваемое параметрическое возмущение не влияет на положение границы устойчивости. Действительно, при реальных малых значениях  $h$  условие

(13) не отличается от точного условия устойчивости в случае  $\gamma = const$   
[3]: 
$$\bar{\gamma} \cdot \omega_0^2 \cdot T_p < 2h \cdot (\omega_0^2 T_p^2 + 2hT_p + 1).$$

Следовательно, при  $\Omega \ll \omega_0$  переменность припуска проявляется только как внешнее воздействие на процесс резания. Понятно, что с ростом  $\Omega$  влияние параметрического возмущения на устойчивость может стать существенным.

#### **Выводы.**

1. При тонком растачивании переменность припуска, вызванная овальностью отверстия в заготовке, а также несовпадением оси отверстия в заготовке и осью шпинделя, приводит к изменениям параметров процесса резания. Поэтому коэффициент резания становится переменной величиной.

2. Если частота изменения припуска ( $\Omega$ ) намного меньше собственной частоты технологической системы ( $\omega_0$ ), то переменность припуска проявляется только как внешнее воздействие на процесс резания. При  $\Omega \rightarrow \omega_0$  влияние параметрического возмущения становится существенным.

#### **Литература**

1. Кудинов В.А. Динамические расчеты станков // Станки и инструмент. 1995. – №8. – С. 3 – 13.
2. Кобелев В.М. Исследование влияния деформаций системы консольная борштанга приспособление алмазно – расточного станка на устойчивость при тонком растачивании: Дис... канд. техн. наук: 05.03.01. – Одесса, 1970. – 178 с.
3. Оргиян А.А. Исследования колебаний консольных борштанг при тонком растачивании прерывистых отверстий: Дис канд. техн. наук: 05.03.01. – Одесса, 1973. – 154 с.

*Надійшла до редакції 20.01.2015*