

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ЗАГОТОВКИ ПРИ ТОЧЕНИИ

*Могилевский государственный технический университет  
Могилев, Беларусь*

Выполнено большое количество научно-исследовательских теоретических и экспериментальных работ по изучению жесткости и качества технологической системы с целью повышения точности механической обработки. Многообразие работ, посвященных данной тематике, дает предпосылки к созданию автоматизированной системы, которая могла бы прогнозировать точность механической обработки, исходя из задаваемых исходных данных.

На кафедре «Технология машиностроения» Могилевского государственного технического университета проводятся работы по подготовке информационного обеспечения и созданию таких автоматизированных систем [1]. Ниже рассмотрена одна из созданных и опробованных систем по прогнозированию точности размеров поверхностей детали при наружном точении, учитывающая податливость заготовки, неточность изготовления центровых гнезд и погрешность закрепления заготовки при обработке в патроне.

Система включает определение действительного радиуса детали или расстояния между действительной осью заготовки и вершиной резца на основе задаваемых ей исходных данных о геометрии инструмента, режимах резания, свойств обрабатываемого материала, условий зажима и погрешности базирования заготовки.

Возможны три варианта модели, когда:

- обработка производится в патроне;
- обработка производится в патроне с поджимом задним центром;
- обработка производится в центрах.

Во всех трех случаях на основе исходных данных программа выдает величину действительного радиуса детали в каждой точке ее поверхности с задаваемым шагом. При этом определяющим фактором влияющим на изменение радиуса обработки или величины отжатия заготовки, является глубина резания  $T_{\text{REZ}}$ , в свою очередь зависящая от степени деформации заготовки, неточности изготовления центровых гнезд и погрешности закрепления. Для упрощения расчетов в модели сделаны некоторые допущения:

- податливость шпинделя и задней бабки равны нулю;
- поверхность заготовки – идеальная и однородная;

- отсутствуют отжата инструмента.

Такая методика определения действительного радиуса детали показана на примере обработки заготовки в патроне с поджимом заднего центра. Два других случая обработки являются частными и получаются путем исключения нерассматриваемых параметров.

Формула для расчета действительной глубины резания  $T_{\text{REZ}}^{\Delta}$ , учитывающая погрешность зажима заготовки в патроне  $\Delta_{\text{П}}$ , смещение центрального гнезда  $\Delta_{\text{Ц}}$  и отжим заготовки  $\Delta_{\text{Z}}$  под действием сил резания, имеет вид [2]:

$$T_{\text{REZ}}^{\Delta} = T_{\text{REZ}} + \Delta_{\text{П}} + \Delta_{\text{Ц}} - \Delta_{\text{Z}}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{REZ}}$  – средняя задаваемая глубина резания,  $T_{\text{REZ}} = R_{\text{Z}} - R_{\text{Д}}$ ;  $R_{\text{Z}}$ ,  $R_{\text{Д}}$  – соответственно радиус заготовки и радиус детали, задаваемые в начальных условиях;  $\Delta_{\text{П}}$  – смещение заготовки при зажиме в патроне;  $\Delta_{\text{Ц}}$  – смещение центровочного отверстия;  $\Delta_{\text{Z}}$  – величина деформации заготовки под действием сил резания.

Смещение заготовки  $\Delta_{\text{П}}$ , вызываемое погрешностью зажима заготовки в патроне станка за один ее оборот (рис. 1), можно найти воспользовавшись уравнением смещенной окружности, так как смещение заднего центра равно нулю, выражение для его определения имеет вид:

$$\Delta_{\text{П}} = \sqrt{R_{\text{Z}}^2 - (L_0/L_{\text{Z}} \cdot \Delta_{\text{П}})^2 \cdot \sin^2(\varphi + \psi)} + L_0/L_{\text{Z}} \cdot \Delta_{\text{П}} \cdot \cos(\varphi + \psi) - R_{\text{Z}}, \quad (2)$$

где  $L_0$  – расстояние от торца шпинделя до рассматриваемого участка заготовки;  $L_{\text{Z}}$  – вылет заготовки;  $\varphi$  – угол поворота заготовки, для которого производится расчет;  $\psi$  – угол несовпадения расположения смещений  $\Delta_{\text{П}}$  и  $\Delta_{\text{Ц}}$ .

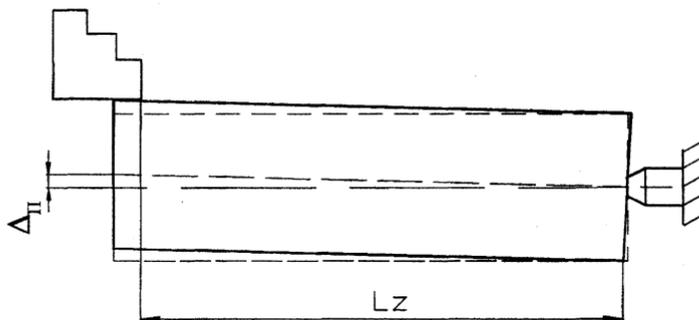


Рис.1. Смещение заготовки в результате зажима в патроне станка

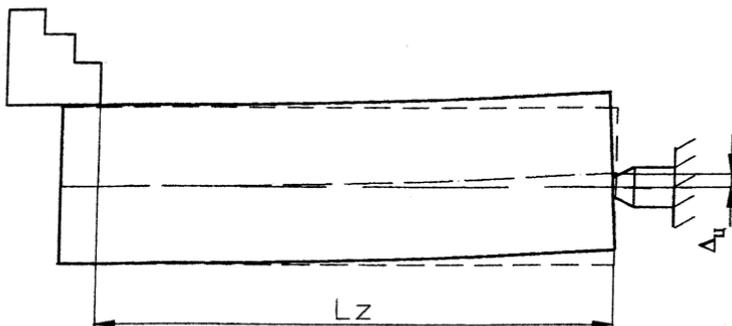


Рис.2. Смещение заготовки в результате неточности изготовления центрального гнезда

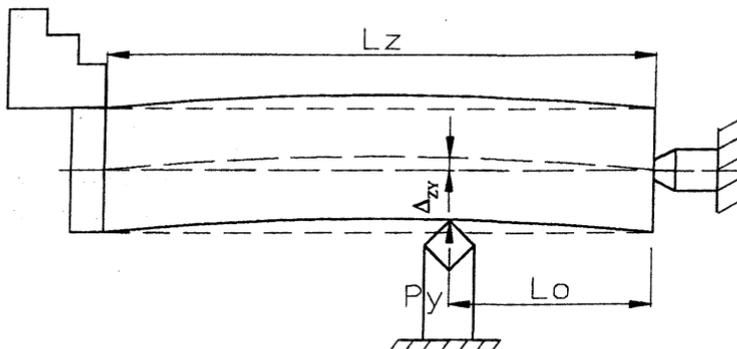


Рис.3. Смещение заготовки в результате действия силы резания  $P_y$

Аналогично определяется смещение заготовки  $\Delta_{ц}$  в результате неточности изготовления центрального гнезда (рис. 2), при этом не принимается во внимание смещение заготовки от неточности зажима ее в патроне станка:

$$\Delta_{ц} = \sqrt{R_z^2 - \left( \frac{L - L_0}{L} \cdot \Delta_{ц} \right)^2 \cdot \sin^2 \varphi} + \frac{L - L_0}{L} \cdot \Delta_{ц} \cdot \cos \varphi - R_z. \quad (3)$$

Прогиб заготовки  $\Delta_z$  от действия сил резания  $P_y, P_z$  в направлении осей Y и Z (рис. 3) вычисляется по формулам теории упругости для балки, установленной на двух опорах:

$$\Delta_{zy} = \frac{P_y \cdot L_o^2 (Lz - L_o)^2}{3 \cdot E \cdot J \cdot Lz}; \quad (4)$$

$$\Delta_{zz} = \frac{P_z \cdot L_o^2 (Lz - L_o)^2}{3 \cdot E \cdot J \cdot Lz}. \quad (5)$$

где E – модуль упругости материала заготовки; J – момент инерции сечения заготовки.

Зависимость для расчета действительной глубины резания при установке заготовки в патроне станка с поджимом задней бабкой получится в результате подстановки выражений (2) – (5) в формулу (1):

$$\begin{aligned} T_{\text{REZ}}^d = & \sqrt{R_z^2 - (L_o/Lz \cdot \Delta_{\text{II}})^2 \cdot \sin^2(\varphi + \psi)} + L_o/L \cdot \Delta_{\text{II}} \cdot \cos(\varphi + \psi) + \\ & + \sqrt{R_z^2 - \left(\frac{L - L_o}{L} \cdot \Delta_{\text{II}}\right)^2 \cdot \sin^2 \varphi} + \frac{L - L_o}{L} \cdot \Delta_{\text{II}} \cdot \cos \varphi - R_z - \\ & - \sqrt{(R_D + \Delta_{zy})^2 + \Delta_{zz}^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Как видно из формулы, возможны варианты, когда плоскости, в которых расположены смещения  $\Delta_{\text{II}}$  и  $\Delta_{\text{II}'}$ , не совпадают и, следовательно, эти смещения компенсируют или дополняют друг друга, меняя величину действительной глубины резания.

Задавая смещения  $\Delta_{\text{II}}$  и  $\Delta_{\text{II}'}$ , а затем рассчитывая деформацию заготовки под действием сил резания для заданной глубины  $T_{\text{REZ}}$ , определяют действительную глубину резания  $T_{\text{REZ}}^d$ . Подставляя ее величину в эмпирические формулы для расчета сил резания, определяют действительную силу резания, на основе которой находится и действительный отжим заготовки. Отжим приводит к изменению действительной глубины резания, а следовательно и к изменению сил резания, что приводит к дальнейшему изменению глубины резания. Такой цикл расчета, используемый в данной математической модели, позволяет определить величину действительного радиуса заготовки для каждой точки ее поверхности, учитывая при этом его предыдущие значения.

Предлагаемая методика прогнозирования точности поверхностей деталей при точении позволит уменьшить экспериментальную часть исследований, направленных на выяснение точности обработанной детали, произвести оптимизацию

геометрии инструмента и режимов резания с целью получения деталей более высокой точности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жолобов А.А., Будкевич А.М. Прогнозирование шероховатости поверхности при точении // *Машиностроение*. – Мн., 2002. – Вып. 18. – С. 18-22.
2. Маталин А.А. *Технология механической обработки*. – Л.: *Машиностроение*, 1977. – 464 с.

Рецензент – проф. Кочергин А. И.