

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЯ ВЫПОЛНЯЕМЫХ РАЗМЕРОВ В ОДНОИНСТРУМЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ С ПОВОРОТНОГО СУППОРТА

*Юсубов Н.Д.¹, Богатенков С.А.², Сазонова Н.С.², Аббасова Х.М.¹,
Дадашов Р.Е.¹*

¹*Азербайджанский технический университет, Баку;*

²*Южно-Уральский государственный Университет, Челябинск*

Ключевые слова: токарные вертикальные многошпиндельные полуавтоматы, станки с ЧПУ, поворотный суппорт, контурная обработка конических поверхностей, проходной резец, модели искажения выполняемых размеров.

Аннотация. В настоящее время широко применяется контурная обработка конических поверхностей проходным резцом с помощью поворотного суппорта токарных вертикальных многошпиндельных полуавтоматов и современных станков с ЧПУ. Автоматизированное проектирование таких операций затруднено в связи с отсутствием соответствующих математических моделей. Построена матричная математическая модель, позволяющая прогнозировать величину упругих отжатию в направлении выполняемых размеров, предопределяемую нестабильностью упругих отжатию звеньев технологической системы, при обработке конической поверхности с поворотного (универсального) суппорта. Разработанная модель представляет собой зависимость точности выполняемого размера от режимов резания, угла наклона конуса и комплексной характеристики податливостей технологической системы. Применение данной модели расширяет возможности автоматизированного проектирования операций на токарных вертикальных многошпиндельных полуавтоматах и современных станках с ЧПУ.

MODELING OF DISTORTION OF PERFORMED DIMENSIONS IN SINGLE-TOOL MACHINING FROM ROTARY CARRIAGE

Yusubov N.D.¹, Bogatenkov S.A.², Sazonova N.S.², Abbasova H.M.¹, Dadashov R.E.¹

¹*Azerbaijan Technical University, Baku;*

²*South Ural State University, Chelyabinsk*

Keywords: Multi-spindle vertical semi-automatic lathes, CNC Machines, rotary carriage, contouring of conical surfaces, turning cutter, distortion models of performed dimensions.

Abstract. At present, contour machining of tapered surfaces with a turning-cutter using a rotary carriage on vertical multi-spindle semi-automatic lathes and modern CNC machines is widely used. Automated design of such operations is difficult due to the lack of appropriate mathematical models. The matrix mathematical model is constructed, which allows to predict the value of elastic deformations in the direction of the performed dimensions, predetermined by the instability of elastic deformations of the links of the technological system, when machining a conical surface from a rotary (universal) carriage. The developed model represents the dependence of the accuracy of the performed dimension on the cutting conditions, the angle of inclination of the cone and the complex characteristic of the flexibility of the technological system. The use of this model expands the possibilities of automated design of operations on vertical multi-spindle semi-automatic lathes and modern CNC machines.

Повышение производительности операций механической обработки – одна из первоочередных задач машиностроительного производства. Один из путей решения этой задачи – использование возможностей токарных полуавтоматов и станков с ЧПУ. Применение систем автоматизированного проектирования

технологических процессов позволяет уменьшить время и трудоемкость проектирования технологических операций. Однако автоматизированное проектирование ряда операций затруднено в связи с отсутствием соответствующих математических моделей [1].

На традиционных токарных вертикальных многошпиндельных полуавтоматах [2] и на ряде современных станков с ЧПУ [3] имеется поворотный суппорт, который позволяет производить контурную обработку конических поверхностей проходным резцом.

Направляющие суппорта разворачиваются на угол наклона образующей конуса и, следовательно, подача осуществляется вдоль обрабатываемого контура. Резец в такой наладке ориентирован по нормали к обрабатываемой поверхности и, следовательно, упругие перемещения резца вследствие силового взаимодействия элементов технологической системы также отсчитываются от этой нормали. В то же время выполняемый размер (диаметральный) отсчитывается по нормали от оси формируемой поверхности. Такая несогласованность направлений ориентации резца и выполняемого размера приводит к перераспределению степени влияния каждой составляющей силы резания на искажение выполняемого размера, по сравнению с наладкой, выполняемой с продольного или поперечного суппорта, т.е. ориентированного по осям обрабатываемой заготовки и направлений выполняемых размеров. Поэтому модель искажения размеров [3, 4], разработанная для обработки с суппорта, ориентированного по осям заготовки для этого случая не годится.

Положение усугубляется еще тем, что формулы для составляющих сил резания прописаны в системе координат резца: ось y направлена по нормали к вектору подачи, ось x – вдоль вектора подачи, ось z – по нормали к первым двум осям. В итоге при определении равнодействующей силы необходимо учитывать угол разворота системы координат резца относительно системы координат заготовки. В результате традиционная расчетная схема для координатной одноинструментной наладки [3, 4] преобразуется к виду, представленному на рисунке 1.

Очевидно, что рассматриваемая наладка допускает декомпозицию технологической системы на две подсистемы: O_0XYZ – система координат подсистемы «шпиндель-деталь» и $OX'Y'Z'$ – система координат подсистемы «суппорт-инструмент» [3, 4]. Поэтому задача об упругих перемещениях в технологической системе при этой наладке сводится к рассмотрению системы двух тел, для которой разработана матричная модель перемещений контактной точки [4, 5].

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: $O_D L$ – перемещение подсистемы «шпиндель-деталь» в направлении оси OY ; OL – перемещение подсистемы «шпиндель-деталь» в направлении оси OX ; OM – перемещение подсистемы «суппорт-инструмент» в направлении оси OY' ; $O_p M$ – перемещение подсистемы «суппорт-инструмент» в направлении оси OX' ; BO_p – величина искажения размера в диаметрально направлении; t_p – расчетная глубина резания; t_ϕ – фактическая глубина резания; S – контурная подача; e^0, e^1 – матрицы податливости подсистемы «шпиндель-деталь» и «суппорт-инструмент» соответственно; θ – угол наклона образующей конуса к оси заготовки.

Под действием сил резания деталь в результате упругих деформаций подсистемы «шпиндель-деталь» получает перемещение ($O_0^D O_D$) и под действием реакций на силы резания резец в результате упругих деформаций подсистемы «суппорт-инструмент» также получает перемещение ($O_0^P O_P$), но в противоположную сторону.

$$\overline{q^{01}} = e^{01} \overline{P}. \quad (1)$$

Матричное уравнение (1) задано в системе координат заготовки. Поэтому для его привязки к рассматриваемой наладке необходимо описать вектор $\bar{P}$ так же в этой системе координат. Используя известные зависимости преобразования координат, получим для вектора $\bar{P}$:

$$\bar{P} = \begin{pmatrix} P_x \cos \theta + P_y \sin \theta \\ P_y \cos \theta - P_x \sin \theta \\ P_z \end{pmatrix}. \quad (2)$$

В выражении (2) P_x , P_y и P_z – составляющие силы резания в системе координат инструмента. Для них справедливы известные из теории резания формулы [8]. Учитывая эти формулы и используя зависимость (2), матричную модель для одноинструментной обработки (1) в развернутом виде можно представить следующим образом:

$$\begin{pmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_{xx}^{01} & e_{xy}^{01} & e_{xz}^{01} \\ e_{yx}^{01} & e_{yy}^{01} & e_{yz}^{01} \\ e_{zx}^{01} & e_{zy}^{01} & e_{zz}^{01} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_x t^{x_x} s^{y_x} v^{z_x} \cos \theta + c_y t^{x_y} s^{y_y} v^{z_y} \sin \theta \\ c_y t^{x_y} s^{y_y} v^{z_y} \cos \theta - c_x t^{x_x} s^{y_x} v^{z_x} \sin \theta \\ c_z t^{x_z} s^{y_z} v^{z_z} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Рассматривая проекции вектора перемещений $\bar{g}$, искажения выполняемых размеров по интересующим направлениям: g_y – диаметральный размер (направление оси Y); g_x – линейный размер (направление оси X).

Величина искажения диаметрального размера g_y определится по элементным перемножением второй строки матрицы податливости технологической системы e^{01} и вектора сил. Из (3) видно, в полученной таким образом зависимости слагаемое от умножения податливости e_{yy}^{01} , стоящей на главной диагонали матрицы податливости и характеризующей податливость в направлении выполняемого размера, на вторую компоненту вектора сил, характеризующую силу в направлении выполняемого размера, совпадает с формулой искажения размера для рассматриваемой наладки, полученной Н.С. Сазоновой [2]. Остальные слагаемые, которые получаются в результате такого перемножения, характеризуют влияние всего остального комплекса условий (податливостей технологической системы по другим направлениям, остальные составляющие силы резания).

Таким образом, можно сделать заключение, что матричная модель перемещения контактной точки упруго деформируемой системы двух тел [3-7] позволяет описать искажение выполняемых размеров для одноинструментной наладки.

Полученные модели описывают искажения выполняемых размеров. Они описывают искажение формы получаемой поверхности. Их можно также использовать для расчета настроечных размеров. Они также служат базой для определения остальных показателей точности обработки.

Применение данных моделей расширяет возможности автоматизированного проектирования операций на токарных вертикальных многошпиндельных полуавтоматах и современных станках с ЧПУ.

Список литературы

1. Bogatenkov S.A., Sazonova N.S., Yusubov N.D., Abbasova H.M., Badalova B.B., Bazhenov R.I., Decision-making in the conditions of introduction of automated design systems of technological

- processes // SOCAR Proceedings. 2022, special iss. 1, pp. 006-010. doi.org/10.5510/OGP2022SI100691.
2. Сазонова Н.С. Повышение производительности и точности обработки на токарных многошпиндельных вертикальных полуавтоматах путем управления технологическими параметрами: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Челябинск: 1996. – 191 с.
 3. Юсубов Н.Д. Многоинструментная обработка на станках-автоматах токарной группы (Матричная теория точности многоинструментной обработки на современных станках с ЧПУ токарной группы). – Саарбрюккен, Германия: AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG / LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 256 с.
 4. Юсубов Н.Д. Повышение эффективности многоинструментной обработки на станках-автоматах токарной группы: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Баку: 2009. – 45 с.
 5. Юсубов Н.Д. Матричные модели точности обработки в одноинструментной токарной обработке // Технология машиностроения. – 2009. – № 1. – С. 41-45.
 6. Юсубов Н.Д. Обобщение теории точности многоинструментной токарной обработки. – Баку: Эльм, 2007. – 362 с.
 7. Кошин А.А., Юсубов Н.Д. Аналитические основы моделей силового взаимодействия подсистем технологической системы в процессах обработки резанием // Современные проблемы машиностроения и приборостроения. Доклады международной научно-технической конференции. – Баку: АзТУ, 2005. – С. 67-70.
 8. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сууслова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 944 с.

Сведения об авторах:

Юсубов Низами Дамир оглу – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения;

Богатенков Сергей Александрович – к.т.н., доцент кафедры информационно-измерительной техники;

Сазонова Наталья Стальевна – к.т.н., доцент кафедры технологии автоматизированного машиностроения;

Аббасова Хейран Муришуд гызы – доктор философии в области технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения;

Дадашов Рамил Енгибар оглу – старший преподаватель кафедры технологии машиностроения.