

УДК 621.95.08:51-74

Кинематические возмущения стационарных траекторий формообразующих движений в динамической системе резания

В. Л. Заковоротный, В. Ф. Лукьянов, Фам Динь Тунг, Фам Тху Хыонг

(Донской государственный технический университет)

Рассматривается математическое моделирование влияния кинематических возмущений траекторий формообразующих движений инструмента относительно заготовки. Они определяют один из важных факторов, от которого зависят параметры точности изготовления деталей. Приводятся данные о влиянии на возмущённые движения не только параметров взаимодействующих динамических подсистем, но и геометрических параметров режущего инструмента.

Ключевые слова: динамическая система резания, стационарная траектория, кинематическое возмущение, точность обработки.

Введение. Ранее показано, что траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки образуются на основе преобразования управления (программы ЧПУ) в траектории движения исполнительных элементов станка, и, наконец, траектории движения исполнительных элементов преобразуются в траектории формообразующих движений. Показано, что наиболее перспективным способом обеспечения требуемых по точности траекторий является системный синергетический синтез управления [1, 2]. В указанных работах предлагается методика определения управления для сложных пространственных нелинейных моделей управляемого процесса резания с учётом эволюционных изменений параметров формируемой процессом резания динамической связи. Таким образом, точность обработки в этом случае определяется, с одной стороны, управлением и действием внутренних регуляторов, с другой — эволюционной перестройкой динамической системы резания. Однако в реальной динамической системе резания управляемые от УЭВМ траектории формообразующих движений являются возмущёнными. Эти возмущения зависят от точности станка, например: параметров радиальных биений шпинделя, вариации припуска и физико-механических свойств обрабатываемого материала, тепловых деформаций элементов станка и пр. Однако все эти возмущения можно привести к вариациям текущих значений величин подачи на оборот S_p и припуска t_p . В статье ставится задача и приводятся результаты исследования влияния кинематических возмущений в динамической системе резания на параметры точности изготовления деталей.

Математическое моделирование преобразования кинематических возмущений в параметры точности. Для изучения динамики процесса резания используются следующие обобщённые уравнения [1—6]:

$$m(X) \frac{d^2 X}{dt^2} + h(X) \frac{dX}{dt} + c(X) = F(S_p, t_p), \quad (1)$$

где $F(S_p, t_p) = \{F_1(S_p, t_p), \dots, F_6(S_p, t_p)\}^T$ — вектор-функции динамической характеристики процесса резания, раскрывающие зависимость сил резания от текущих технологических режимов S_p и t_p при заданной скорости резания V_p ; $X = \{X_1, \dots, X_6\}^T$ — вектор упругих деформационных смещений вершины режущего инструмента (первые три координаты) и заготовки в точке контакта с ней режущего инструмента (последние три координаты) по отношению к траектории движения вершины инструмента при отсутствии сил резания; $m(X) = [m_{s,k}(X)]$,

$h(X) = [h_{s,k}(X)]$, $c(X) = [c_{s,k}(X)]$, $s, k = 1, 2, \dots, 6$ — соответственно функциональные матрицы инерционных и диссипативных коэффициентов, а также функциональная матрица формирования упругой составляющей сил в зависимости от вектора деформационных смещений, которые, в свою очередь, зависят от внешних сил.

Вопрос о математическом моделировании и идентификации функциональных матриц $m(X) = [m_{s,k}(X)]$, $h(X) = [h_{s,k}(X)]$, $c(X) = [c_{s,k}(X)]$, а также динамической характеристики процесса резания рассмотрен нами ранее [5, 6]. Здесь проанализируем влияние кинематических возмущений на траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки. В свою очередь, траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки однозначно определяют геометрию формируемой поверхности. Температурными деформациями детали после обработки будем пренебрегать.

Ограничимся рассмотрением процесса продольного точения на токарном станке. В качестве кинематических возмущений рассматриваются вариации скорости подачи в направлении подвижности суппорта продольных перемещений. Таким образом, будем считать заданными по методике, изложенной в [3], траектории движения суппорта продольных перемещений $V_1[I(t)]$, которым соответствуют требуемые по параметрам качества траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки. Система координат, в которой отсчитываются траектории, приведена на рис. 1. Кроме этого будем считать заданными приведённые кинематические возмущения в виде вариации скорости продольных перемещений $v_1[I(t)]$ и смещения $\Delta X_1[I(t), \alpha(t)]$ инструмента относительно заготовки в направлении оси её вращения. Последние определяются приведёнными к зоне резания радиальными биениями шпинделя. Они для данной точки являются периодическими функциями угла поворота $\alpha(t) = \alpha(t - kT)$, $k = 1, 2, 3, \dots$. Причём $d\alpha(t)/dt = \Omega = \text{const}$. Таким образом, $\Delta X_1[t] = \Delta X_1[t - kT]$ и $T = \text{const}$. Так как при построении системы управления приводами подачи имеется обратная связь по скорости и перемещению суппорта (программируется и стабилизируется фазовая траектория скорости по перемещению), то справедливо $\int_0^{T_0} v_1[I(t)] dt \Rightarrow 0$, где T_0 — время импульсной реакции системы управления траекторией движения исполнительного элемента. Приведённые выше особенности, вытекающие из свойств управляемых траекторий формообразующих движений и периодических функций радиальных биений шпинделя, являются справедливыми и при рассмотрении влияния вариаций пуска в течение периода вращения заготовки, а также других типичных возмущений.

Представим текущие значения глубины резания t_p и величины подачи S_p в траекториях исполнительных элементов станка с учётом кинематических возмущений:

$$\begin{cases} t_p(t) = R[I(t)] - X_{0,1} - X_1[I(t)] - X_4[I(t)] + \Delta X_1(t) = t_p^{(0)}(t) + \Delta X_1(t) = t_p^{(0)}(t) + t_p^{(k)}(t); \\ S_p(t) = \int_{t-T}^t [V_1(t) + v_1(t)] dt = S_p^{(0)}(t) + S_p^{(k)}(t), \end{cases} \quad (2)$$

где $t_p^{(k)}(t)$, $S_p^{(k)}(t)$ — кинематические возмущения, приведённые к технологическим режимам.

В (2) $t_p^{(0)}(t)$, $S_p^{(0)}(t)$ — изменения технологических режимов во времени, вычисленные по методике [2] для обеспечения требуемых траекторий формообразующих движений инструмента относительно заготовки. Они определяют многообразие траекторий формообразующих движений, обеспечивающих требуемое качество изготовления деталей при минимизации приве-

дѐнных затрат с учётом эволюционных преобразований параметров динамической связи, формируемой процессом резания.

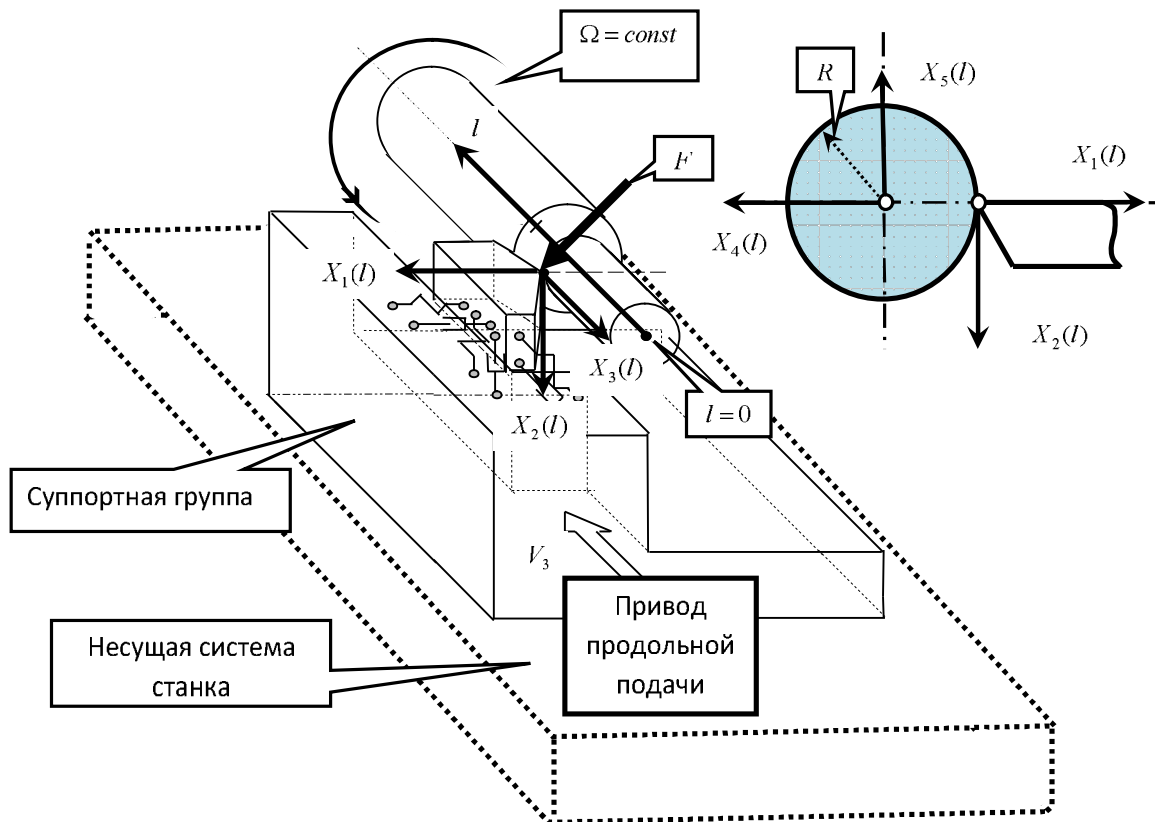


Рис. 1. Схема обработки и система координат, в которой отсчитываются траектории движения исполнительных элементов станка и траектории формообразующих движений инструмента относительно заготовки

В частности, если $t_p^{(0)} = \text{const}$ и $S_p^{(0)} = \text{const}$ (обрабатывается заготовка неизменного диаметра с постоянными режимами), то справедливо линейризованное представление о динамической системе резания в окрестности стационарной траектории, определяемой постоянными или медленно изменяющимися технологическими режимами. Тогда матрицы инерции, диссипации и упругости подсистем в (1) имеют постоянные параметры. Более того, они являются симметричными и положительно определёнными. В процессе обработки величина кинематических возмущений является соизмеримой с упругими деформационными смещениями инструмента относительно заготовки. Кроме этого, величины как кинематических возмущений, так и деформационных смещений на порядок меньше величин подачи и глубины резания, рассматриваемых без реакции со стороны процесса резания. Тогда уравнение в вариациях относительно стационарной траектории формообразующих движений представляется в виде:

$$m_0 \frac{d^2 X}{dt^2} + h_0 \frac{dX}{dt} + c_{0,\Sigma} X = F_0 + F_s^{(k)} + F_t^{(k)}, \quad (3)$$

$$\text{где } m_0 = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & m_{1,3} & 0 & 0 & 0 \\ m_{2,1} & m_{2,2} & m_{2,3} & 0 & 0 & 0 \\ m_{3,1} & m_{3,2} & m_{3,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{4,4} & m_{4,5} & m_{4,6} \\ 0 & 0 & 0 & m_{5,4} & m_{5,5} & m_{5,6} \\ 0 & 0 & 0 & m_{6,4} & m_{6,5} & m_{6,6} \end{bmatrix}, \quad h_0 = \begin{bmatrix} h_{1,1} & h_{1,2} & h_{1,3} & 0 & 0 & 0 \\ h_{2,1} & h_{2,2} & h_{2,3} & 0 & 0 & 0 \\ h_{3,1} & h_{3,2} & h_{3,3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_{4,4} & h_{4,5} & h_{4,6} \\ 0 & 0 & 0 & h_{5,4} & h_{5,5} & h_{5,6} \\ 0 & 0 & 0 & h_{6,4} & h_{6,5} & h_{6,6} \end{bmatrix},$$

$$c_{0,\Sigma} = \begin{bmatrix} c_{1,1} + \chi_1 \rho S_p^{(0)} & c_{1,2} & c_{1,3} + \chi_1 \rho t_p^{(0)} & \chi_1 \rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_1 \rho t_p^{(0)} \\ c_{2,1} + \chi_2 \rho S_p^{(0)} & c_{2,2} & c_{2,3} + \chi_2 \rho t_p^{(0)} & \chi_2 \rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_2 \rho t_p^{(0)} \\ c_{3,1} + \chi_3 \rho S_p^{(0)} & c_{3,2} & c_{3,3} + \chi_3 \rho t_p^{(0)} & \chi_3 \rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_3 \rho t_p^{(0)} \\ \chi_1 \rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_1 \rho t_p^{(0)} & c_{4,4} + \chi_1 \rho S_p^{(0)} & c_{4,5} & c_{4,6} + \chi_1 \rho t_p^{(0)} \\ \chi_2 \rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_2 \rho t_p^{(0)} & c_{5,4} + \chi_2 \rho S_p^{(0)} & c_{5,5} & c_{5,6} + \chi_2 \rho t_p^{(0)} \\ \chi_3 \rho S_p^{(0)} & 0 & \chi_3 \rho t_p^{(0)} & c_{6,4} + \chi_3 \rho S_p^{(0)} & c_{6,5} & c_{6,6} + \chi_3 \rho t_p^{(0)} \end{bmatrix} \quad \text{— соответственно}$$

матрицы инерционных и диссипативных коэффициентов, а также суммарная матрица упругости подсистем с учётом линеаризованной матрицы динамической жёсткости процесса резания; $F_s^{(k)} = \{\chi_1 \rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_2 \rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_3 \rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_1 \rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_2 \rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}, \chi_3 \rho t_p^{(0)} S_p^{(k)}\}^T$ — кинематические возмущения со стороны скорости подачи, приведённые к силам;

$F_t^{(k)} = \{\chi_1 \rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_2 \rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_3 \rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_1 \rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_2 \rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}, \chi_3 \rho t_p^{(k)} S_p^{(0)}\}^T$ — кинематические возмущения со стороны радиальных биений шпинделя, приведённые к силам;

$$F_0 = \{\chi_1 \rho [S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)], \chi_2 \rho [S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)], \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \chi_3 \rho [S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)], \chi_1 \rho [S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)], \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \chi_2 \rho [S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)], \chi_3 \rho [S_p^{(0)} t_p^{(0)} + t_p^{(0)} X_3(t-T) + t_p^{(0)} X_6(t-T)]\}^T$$

вектор сил резания (здесь $X_3(t-T)$ и $X_6(t-T)$ — упругие деформационные смещения на предыдущем обороте заготовки). Кроме этого в (3) обозначено: ρ — давление стружки на переднюю поверхность инструмента; $\chi_i, i = 1, 2, 3$ — коэффициент ориентации силы резания в пространстве. Очевидно, что для этих коэффициентов справедливо условие нормировки $\sum_{i=1}^3 (\chi_i)^2 = 1$. К тому же полагается, что силы, действующие на инструмент и заготовку в точке контакта с ней инструмента, имеют противоположные направления.

Главные особенности системы (3) заключаются в следующем. Во-первых, матрица $c_{0,\Sigma}$ за счёт влияния динамической жёсткости процесса резания не является симметричной. Поэтому кососимметричные её составляющие формируют циркуляционные силы, которые могут влиять на устойчивость равновесия системы. Мы ограничимся случаями, когда точка равновесия системы является асимптотически устойчивой. Во-вторых, для определения влияния кинематических возмущений на параметры точности изготовления деталей необходимо вычислить из (3) сумму $X_1 + X_4$. На неё оказывают влияние все элементы матриц m_0 , h_0 и $c_{0,\Sigma}$, причём влияние $c_{0,\Sigma}$ наиболее значимо. В свою очередь, элементы матрицы $c_{0,\Sigma}$ зависят не только от упругих свойств взаимодействующих подсистем, но и от технологических режимов и коэффициентов ориентации

сил. Коэффициенты ориентации сил, со своей стороны, зависят от геометрии режущего инструмента и его износа. В связи с этим возникает проблема выбора технологических режимов и параметров геометрии инструмента, при которых влияние кинематических возмущений на точность обработки минимальна. Проиллюстрируем эти особенности преобразования кинематических возмущений на точность обработки на конкретном примере.

Пример влияния кинематических возмущений на параметры точности обработки. Приведём пример влияния на формируемую поверхность детали кинематических возмущений при управлении процессом обработки по критерию постоянства отклонения радиуса $\Delta R = \text{const}$. На рис. 2 приведён пример реализации суммарных кинематических возмущений в направлении, нормальном к оси вращения заготовки, а на рис. 3 — по направлению скорости подачи при продольном точении. Рассматривается продольное точение вала из стали 20Х диаметром $d = 20,0$ мм и длиной 430 мм. Вариации величины подачи в окрестности заданных управляемых движений определяются на основе интегрального преобразования случайных вариаций скорости в величину подачи на оборот.

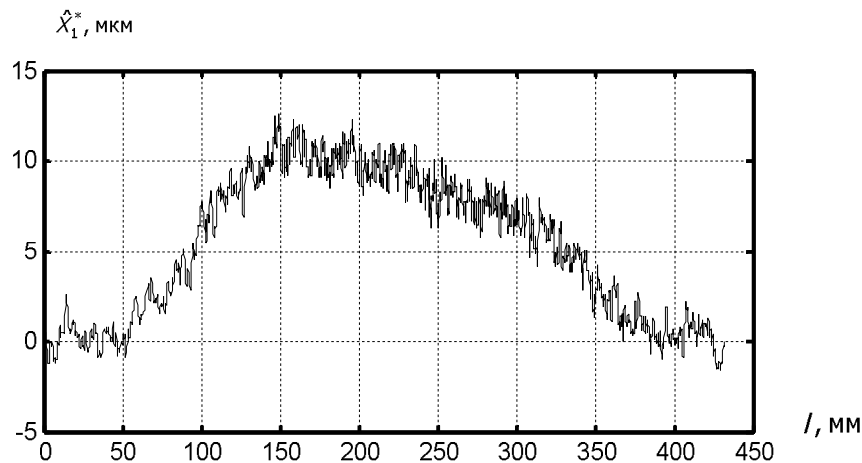


Рис. 2. Пример реализации кинематических возмущений в направлении, нормальном к оси вращения заготовки

Для приведённых временных последовательностей, полученных экспериментально, вычислены вариации упругих деформационных смещений (рис. 4) для двух значений обобщённого параметра ρ , определяющего силовую реакцию со стороны процесса обработки на упругие деформационные смещения. Вычислены соответствующие кинематическим возмущениям значения вариаций выходного параметра $R_d(l_i)$ (рис. 3). Если сравнить функции отклонения радиуса для двух значений ρ , то необходимо отметить, что, несмотря на существенные отличия этого параметра для двух графиков, максимальные отклонения радиуса детали отличаются не столь существенно. Это связано с тем, что параметр ρ влияет, в основном, на величину деформационных смещений, а функция изменения радиуса зависит не только от деформационных смещений, но и от самой траектории движения суппорта.

Приведём для сравнения реальные значения вариаций диаметра обработки партии из десяти деталей (рис. 5). Диаметр детали $d = (22,0 \pm 0,1)$ мм, величина припуска $t_p^{(0)} = (2,0 \pm 0,1)$ мм; скорость резания $V_p = 60,0$ м/мин. Вариации скорости подачи и, соответственно, подачи на оборот осуществляются по программе, исходя из критерия $\Delta R = \text{const}$. Обратим внимание на два обстоятельства. Во-первых, кинематические возмущения вызывают разброс текущих значений деформационных смещений и в конечном счёте определяют один из основных факторов, харак-

теризующих предельно достижимую точность на данном оборудовании. Во-вторых, вариации величины подачи сложным образом переносятся на параметры точности. В нашем случае вариации подачи в пределах 0,03 мм вызывают изменения диаметра, соответствующего 0,01 мм. Этот разброс можно уменьшить, если подобрать соответствующие геометрические параметры инструмента или изменить конструктивные особенности станка, влияющие на угол ориентации эллипсоида жёсткости в подсистеме инструмента.

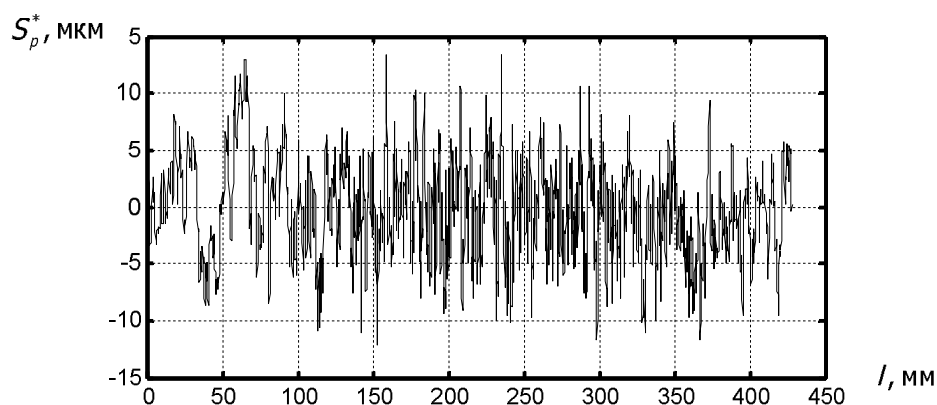


Рис. 3. Пример реализации кинематических возмущений в направлении скорости продольного перемещения суппорта

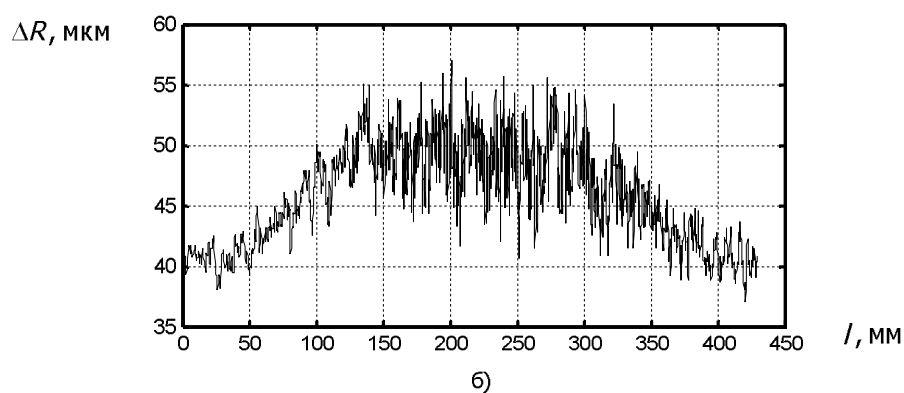
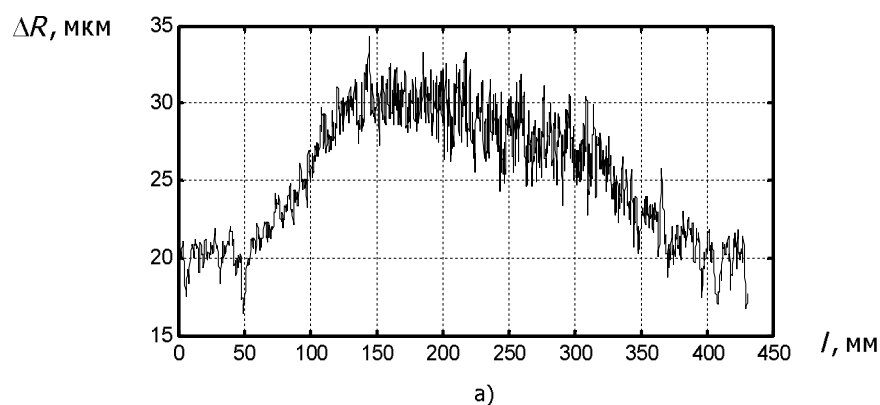


Рис. 4. Изменение геометрической погрешности обработанной детали: а — для $\rho = 290 \text{ кг/мм}^2$; б — для $\rho = 600 \text{ кг/мм}^2$

На рис. 6 показано влияние коэффициента преобразования кинематических возмущений $\tilde{S}_p(t)$ со стороны привода продольной подачи на вариации радиуса детали после обработки $dR(l)$. В данном случае коэффициент преобразования равен:

$$K^{(T)} = \frac{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M [d\hat{R} - dR(l_i)]^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{S}_p - \tilde{S}_p(t_i)]^2}, \quad (4)$$

где $dR(l_i) = \{dR(l_1), dR(l_2), \dots, dR(l_M)\}^T$ — вектор отклонения радиуса от математического ожидания $d\hat{R}$ на длине обработки l вдоль оси вращения заготовки; $\tilde{S}_p(t_i) = \{\tilde{S}_p(t_1), \tilde{S}_p(t_2), \tilde{S}_p(t_3), \dots, \tilde{S}_p(t_N)\}^T$ — вектор отклонения текущего значения величины подачи от её математического ожидания $\hat{S}_p$ для временной последовательности вариаций величины подачи.

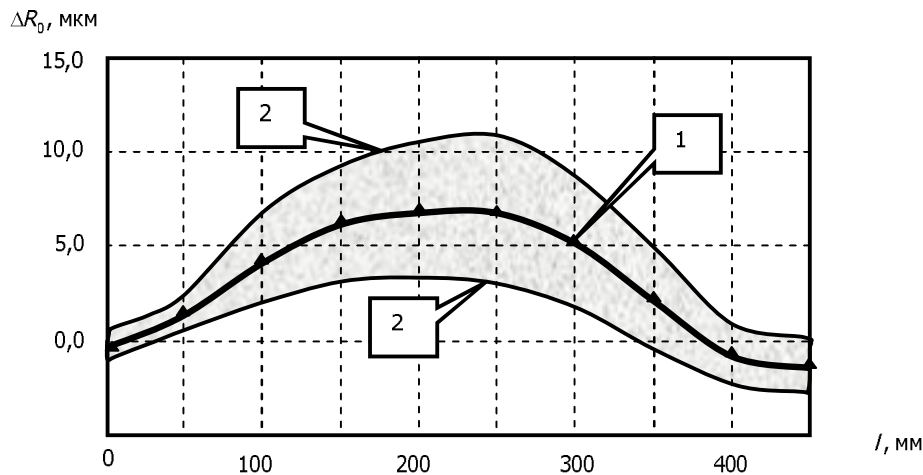


Рис. 5. Экспериментально полученные вариации текущего значения радиуса детали при обработке партии из десяти деталей: 1 — математическое ожидание; 2 — поле разброса

Приведённые иллюстрации наглядно показывают возможность существенной компенсации влияния вариаций скорости подачи, обусловленных кинематическими возмущениями, на точность изготовления детали. Однако необходимо учитывать, что угол ориентации силы резания, зависящий от геометрии инструмента, в пространстве не остаётся неизменным в ходе эволюционных преобразований динамической системы резания. Необходимо также учитывать, что при управлении точностью обработки путём варьирования скорости подачи обеспечение независимости деформационных смещений инструмента относительно заготовки исключает и возможность такого управления. Это особенно важно при изготовлении деталей сложной геометрической формы или деталей, у которых матрицы жёсткости изменяются вдоль траектории движения инструмента относительно детали. В этом случае требования к точности траекторий движения исполнительных элементов значительно повышаются. Таким образом, при обработке каждой конкретной детали необходимо учитывать механизмы преобразования кинематических возмущений в геометрические характеристики детали и на этой основе выбирать не только геометрические характеристики ин-

струмента, но и закон управления траекториями исполнительных элементов металлорежущего станка.

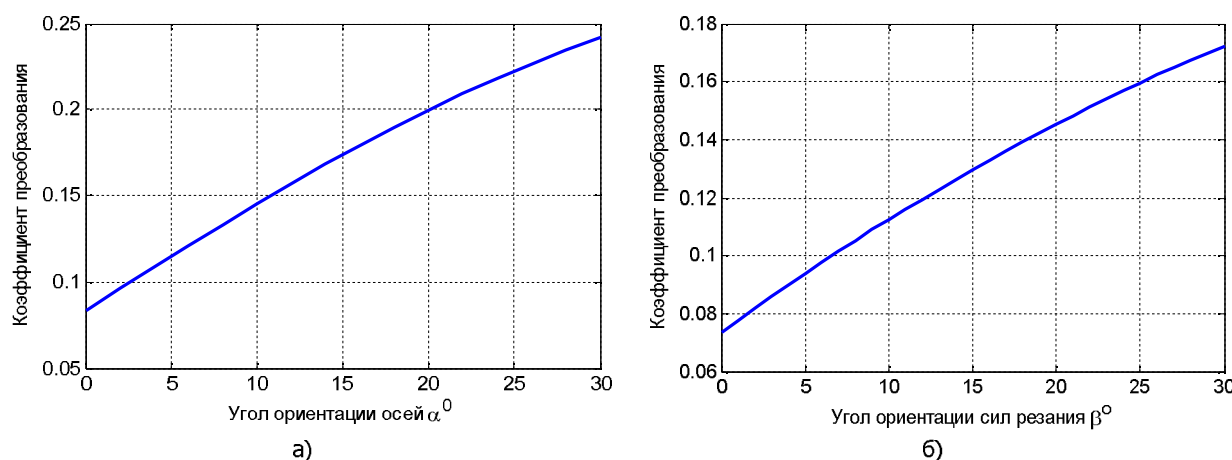


Рис. 6. Изменение коэффициента преобразования кинематических возмущений со стороны привода подачи в вариации текущего значения радиуса детали:

а — при угле ориентации осей эллипса жёсткости $\alpha = 10^\circ$; б — при угле ориентации силы резания $\beta = 20^\circ$

Выводы. 1. Кинематические возмущения, всегда существующие в металлорежущих станках и определяющие параметры их точности, оказывают влияние на геометрию формируемой в процессе резания поверхности. Кинематические возмущения связаны с вариациями скоростей подачи движения суппортов в направлениях их подвижности, а также с радиальными биениями шпинделя. В связи с этим при управлении точностью обработки, например за счёт учёта упругих деформационных смещений вершины инструмента относительно заготовки, существует предельно достижимая точность обработки.

2. В зависимости от параметров динамических подсистем со стороны режущего инструмента и заготовки, а также геометрии инструмента можно существенно снизить влияние кинематических возмущений на точность изготовления деталей.

3. Разработанная методика и математическое моделирование преобразования кинематических возмущений в параметры точности позволяют на стадии проектирования определять влияние варьируемых параметров динамической системы резания, например геометрии инструмента, на точность обработки.

Библиографический список

1. Заковоротный, В. Л. Динамика процесса резания. Синергетический подход / В. Л. Заковоротный, М. Б. Флек. — Ростов-на-Дону: Терра, 2006. — 876 с.
2. Синергетический системный синтез управляемой динамики металлорежущих станков с учётом эволюции связей / В. Л. Заковоротный [и др.]. — Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2008. — 314 с.
3. Кудинов, В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. — Москва: Машиностроение, 1967. — 360 с.
4. Городецкий, Ю. И. Функции чувствительности и динамика сложных механических систем / Ю. И. Городецкий. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского гос. ун-та им. Н. И. Лобачевского, 2006. — 236 с.
5. Заковоротный, В. Л. Моделирование деформационных смещений инструмента относительно заготовки при точении / В. Л. Заковоротный, Фам Динь Тунг, Нгуен Суан Тьем // Вестник ДГТУ. — 2010. — Т. 10. — № 7 (50). — С. 1005—1015.

6. Заковоротный, В. Л. Моделирование и идентификация инерционных и диссипативных свойств подсистем режущего инструмента и заготовки при точении / В. Л. Заковоротный, Фам Динь Тунг, Нгуен Суан Тьем // Вестник ДГТУ. — 2010. — Т. 10. — № 8 (51). — С. 1165—1178.

7. Генкин, М. Д. Метод идентификации (определения параметров) механических колебательных систем по экспериментальным АЧХ / М. Д. Генкин, В. И. Сергеев, Л. В. Сухоруков // Применение теории нелинейных колебаний в механике. — Киев: Ин-т математики АН УССР, 1970. — С. 197—205.

8. Эйхгофф, П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / П. Эйхгофф; пер. с англ. В. А. Лотоцкого, А. С. Манделя; под ред. Н. С. Райбмана. — Москва: Мир, 1975. — 680 с.

Материал поступил в редакцию 25.12.2011.

References

1. Zakovorotny`j, V. L. Dinamika processa rezaniya. Sinergeticheskij podxod / V. L. Zakovorotny`j, M. B. Flek. — Rostov-na-Donu: Terra, 2006. — 876 s. — In Russian.

2. Sinergeticheskij sistemny`j sintez upravlyaemoj dinamiki metallovezhushhix stankov s uchytom e`volucii svyazej / V. L. Zakovorotny`j [i dr.]. — Rostov-na-Donu: Izd. centr DGTU, 2008. — 314 s. — In Russian.

3. Kudinov, V. A. Dinamika stankov / V. A. Kudinov. — Moskva: Mashinostroenie, 1967. — 360 s. — In Russian.

4. Gorodeczkij, Yu. I. Funkcii chuvstvitel`nosti i dinamika slozhny`x mexanicheskix sistem / Yu. I. Gorodeczkij. — Nizhnij Novgorod: Izd-vo Nizhegorodskogo gos. un-ta im. N. I. Lobachevskogo, 2006. — 236 s. — In Russian.

5. Zakovorotny`j, V. L. Modelirovanie deformacionny`x smeshhenij instrumenta otnositel`no zagotovki pri tochenii / V. L. Zakovorotny`j, Fam Din` Tung, Nguen Suan T`em // Vestnik DGTU. — 2010. — Т. 10. — # 7 (50). — С. 1005—1015. — In Russian.

6. Zakovorotny`j, V. L. Modelirovanie i identifikaciya inercionny`x i dissipativny`x svoystv podsystem rezhushhego instrumenta i zagotovki pri tochenii / V. L. Zakovorotny`j, Fam Din` Tung, Nguen Suan T`em // Vestnik DGTU. — 2010. — Т. 10. — # 8 (51). — С. 1165—1178. — In Russian.

7. Genkin, M. D. Metod identifikacii (opredeleniya parametrov) mexanicheskix kolebatel`ny`x sistem po e`ksperimental`ny`m AChX / M. D. Genkin, V. I. Sergeev, L. V. Suxorukov // Primenenie teorii nelinejny`x kolebanij v mexanike. — Kiev: In-t matematiki AN USSR, 1970. — С. 197—205. — In Russian.

8. E`jkhoff, P. Osnovy` identifikacii sistem upravleniya. Ocenivanie parametrov i sostoyaniya / P. E`jkhoff; per. s angl. V. A. Lotockogo, A. S. Mandelya; pod red. N. S. Rajbmana. — Moskva: Mir, 1975. — 680 s. — In Russian.

KINEMATIC PERTURBATIONS OF STATIONARY TRAJECTORIES OF SHAPE-GENERATING MOVEMENTS IN CUTTING DYNAMIC SYSTEM

V. L. Zakovorotniy, V. F. Lukyanov, Pham Dinh Tung, Pham Thu Huong
(Don State Technical University)

The mathematical simulation of the interaction of kinematic perturbations of the tool shape-generating movement trajectories and the workpiece is considered. They de-fine one of the key factors determining the parameters of part manufacturing accuracy. The data for the effect not only of the interacting dynamic subsystems parameters, but also of the geometrical parameters of the cutting tool on the perturbation movements is resulted.

Keywords: cutting dynamic system, stationary trajectory, kinematic perturbation, processing accuracy.