

М.Э. Иткин, Г.С. Лазарев, И.Ф. Пименова

ТЕОРЕТИКО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ РОТОРНЫХ АВТОМАТОВ ОБТОЧКИ

Жесткость металлорежущего оборудования влияет на показатели его работы (производительность, качество и себестоимость обработки) через критерии прочности и долговечности, виброустойчивости и точности. Поэтому исследование жесткости узлов металлорежущих станков имеет важное значение для их рациональной эксплуатации.

На кафедре "Резание, станки и режущие инструменты" Казанского авиационного института были проведены исследования жесткости рабочих блоков двух моделей шпиндельных роторных автоматов обточка. Исследовались шпиндельный (упругая система "деталь-опора", в дальнейшем обозначена Д-0) и инструментальный (упругая система - "резец-кулачковый механизм подачи", в дальнейшем Р-К) узлы. Вследствие подвижности рабочего блока в процессе обработки детали непосредственное определение жесткости его узлов при резании не представляется возможным. Поэтому жесткость в процессе резания определялась через статическую жесткость путем ее корректировки с помощью некоторого коэффициента μ .

Достаточно полное представление о жесткости любой упругой системы дает ее рассмотрение в виде модели с сосредоточенной массой при двух степенях свободы [1],[2]. Значения жесткости по главным осям жесткости и ориентация этих осей могут быть определены по экспериментально полученным полярным диаграммам коэффициентов радиальной и ортогональной податливости исследуемых упругих систем.

Для построения полярных диаграмм исследуемые упругие системы нагружались силой $P=0-200\text{кгс}$, направление действия которой изменялось в некотором угловом секторе, определяемом конструкцией и размерами роторных автоматов. При исследовании системы Д-0 сила P прикладывалась к детали, консольно закрепленной в канте шпинделя блока, при исследовании системы Р-К - к вершине дискового фасонного резца через приваренный к нему цилиндрический валик (рис.1). Одновременно с помощью индикаторов измерялись получаемые упругими системами перемещения в направлении действия силы P (радиальные δ_{ρ}) и во взаимно пер-

пендикулярном направлении - (ортогональные δ_{ji}). Коэффициенты податливости определялись по формулам

$$\alpha_{ii} = \frac{\delta_{ii}}{P} \quad \text{мм/кгс} \quad \text{и} \quad \alpha_{ji} = \frac{\delta_{ji}}{P} \quad \text{мм/кгс} .$$

В результате были получены экспериментальные полярные диаграммы коэффициентов радиальной и ортогональной податливости упругих систем Р-К (рис.2) и Д-0 (рис.3) рабочих блоков исследованных роторных автоматов.

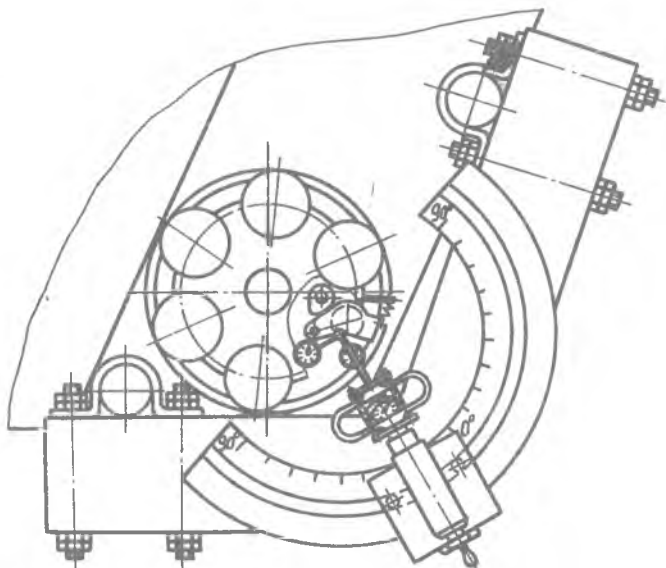


Рис.1. Схема экспериментальной установки для определения параметров жесткости упругой системы Р-К рабочего блока роторного автомата обточка

Экстремальные значения коэффициентов радиальной податливости α_{ii} дают возможность определить значения жесткости, а коэффициенты ортогональной податливости α_{ji} - направление главных осей жесткости, поскольку последние являются границами изменения знака коэффициента α_{ji} [3] .

Расчетные полярные диаграммы коэффициентов податливости были построены на основе зависимостей (1) и (2) и приведены на рис. 2 и 3.

$$\alpha_{ii} = \frac{\cos^2 \gamma}{C_1} + \frac{\sin^2 \gamma}{C_2} \quad \text{мм/кгс}; \quad (1)$$

$$\alpha_{ji} = \frac{(C_2 - C_1) \sin 2\gamma}{2C_1 C_2} \quad \text{мм/кгс}, \quad (2)$$

где $C_1(C_2)$ - минимальная (максимальная) жесткость упругой системы, кгс/мм;

γ - угол между нагружающей силой и осью минимальной жесткости, град.

Сравнение экспериментальных и расчетных полярных диаграмм показывает их достаточно хорошее совпадение. Исследования упругой системы Д-0, произведенные для ряда ее угловых положений с общим углом поворота шпинделя 180° , показали, что ориентация главных осей жесткости этой системы не остается постоянной и зависит от угла поворота шпинделя.

В табл. I представлены экспериментально полученные в статике параметры жесткости упругих систем Р-К и Д-0 рабочих блоков исследованных роторных автоматов обточка.

Т а б л и ц а I

Модель РА	Система Р-К			Система Д-0		
	$C_1, \text{кгс/мм}$	$C_2, \text{кгс/мм}$	β°	$C_1, \text{кгс/мм}$	$C_2, \text{кгс/мм}$	β°
РА-I	845	1925	0°	1695	2439	320° 340°
РА-II	785	3075	3°	5594	7692	355° 15°

Следует отметить, что жесткость упругой системы в процессе обточка отлична от статической и зависит от режима обработки и динамического состояния процесса резания [4,5]. Величина коэффициента μ , учитывающего это изменение, может быть определена путем комплексного исследования упругой системы станка, процесса резания и погрешности обработки при чистовом поперечном точении.

Исследования показывают, что максимальное влияние на погрешность формы поперечного сечения детали, обработанной чистовым поперечным точением, оказывает нестабильность параметров жест-

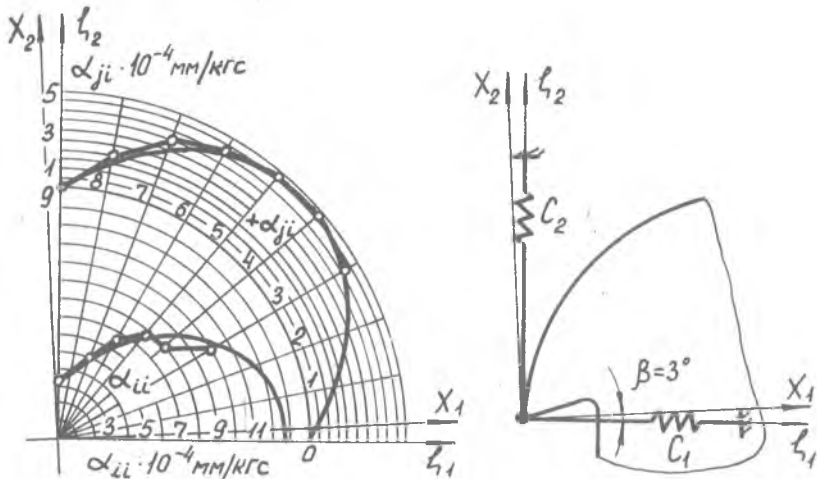


Рис. 2. Полярные диаграммы коэффициентов радиальной и ортогональной податливости и ориентация главных осей жесткости упругой системы Р-К рабочего блока роторного автомата РА-II

кости технологической системы СПИД, вызванная вращением шпинделя. Этот фактор является неизменным и постоянно действующим в процессе всей обработки и выражается в непостоянстве ориентации главных осей жесткости системы СПИД и в возможном изменении значений жесткости по этим осям. Следовательно, некруглость поперечного сечения детали, обработанной чистовым поперечным точением, будет характеризовать действительную жесткость системы СПИД в процессе резания в отличие от жесткости статической.

Как показали исследования [3], углы ориентации главных осей жесткости упругой системы в статике и в процессе резания близки друг к другу. Процесс же резания в основном оказывает влияние на величину минимальной жесткости упругой системы. Поскольку ориентация главных осей жесткости системы "резец-суппорт" в отличие от ориентации главных осей жесткости системы "деталь-опоры" не зависит от угла поворота шпинделя, то, как показали

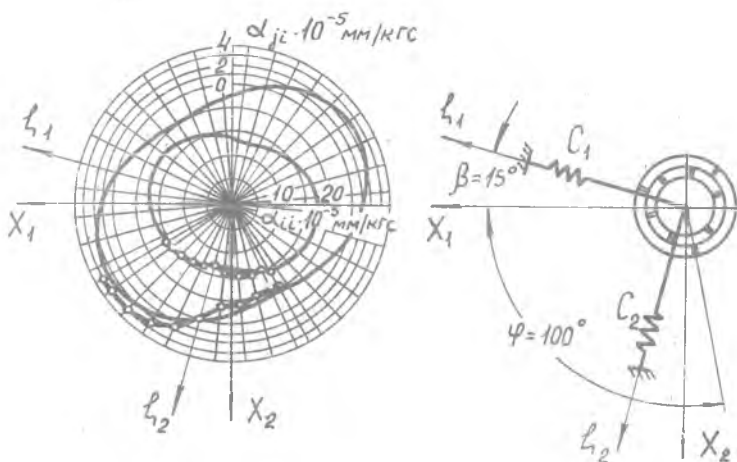


Рис.3. Полярные диаграммы коэффициентов радиальной и ортогональной податливости и ориентации главных осей жесткости упругой системы Д-О рабочего блока роторного автомата РА-II для угла поворота шпинделя $\psi = 100^\circ$

проведенные нами теоретические исследования, некруглость поперечного сечения деталей, обработанных чистовым поперечным точением, в основном определяется нестабильностью параметров жесткости системы "деталь-опоры". В этом случае коэффициент μ будет характеризовать изменение минимальной жесткости упругой системы Д-О в процессе резания в сравнении с ее статическим значением

$$\mu = \frac{\frac{\Delta d}{2} - \frac{1}{C_{2g.o}} \left\{ P_y \left[\left(\sin \beta_{g.o} \right)_{\psi=0}^2 - \left(\sin \beta_{g.o} \right)_{\psi=90^\circ}^2 \right] + \frac{P_z}{2} \left[\left(\sin 2\beta_{g.o} \right)_{\psi=0^\circ} - \left(\sin 2\beta_{g.o} \right)_{\psi=90^\circ} \right] \right\}}{\frac{1}{C_{1g.o}} \left\{ P_y \left[\left(\cos \beta_{g.o} \right)_{\psi=0^\circ}^2 - \left(\cos \beta_{g.o} \right)_{\psi=90^\circ}^2 \right] - \frac{P_z}{2} \left[\left(\sin 2\beta_{g.o} \right)_{\psi=0^\circ} - \left(\sin 2\beta_{g.o} \right)_{\psi=90^\circ} \right] \right\}} \quad (3)$$

где Δd - разность между максимальным и минимальным диаметрами поперечного сечения детали, мм;

$C_{1g.o}$ ($C_{2g.o}$) - минимальная (максимальная) жесткость системы "деталь-опоры" в статике, кгс/мм;

$\beta_{g.o}$ - угол ориентации оси минимальной жесткости системы "деталь-опоры", град;

P_y, P_z - составляющие силы резания, кгс;

ψ - угол поворота шпинделя, град.

Представленное выражение справедливо в том случае, когда при изменении ориентации главных осей жесткости системы "деталь - опоры" при вращении шпинделя значения $C_{1g.0}$ и $C_{2g.0}$ не меняют своей величины. Принимая $\mu_{g.0} = \mu_{ин}$ для упругих систем "деталь-опоры" и "резец-суппорт", в процессе резания получим

$$C_{1рез} = \frac{C_{1стат}}{\mu}; \quad C_{2рез} = C_{2стат}.$$

Предлагаемая методика использовалась для определения жесткости системы СПИД рабочего блока роторного автомата РА-П в процессе резания. На автомате производилась обточка дисковым фасонным резцом на следующих режимах резания: $V = 8 \text{ м/мин}$; $S = 0,021 - 0,064 \text{ мм/об}$; $\gamma = 17^{\circ}30' - 26^{\circ}$; $\alpha = 9^{\circ}30'$; $\Sigma t = 18 \text{ мм}$. Овальность поперечного сечения обработанных деталей определялась путем замера их диаметров через каждые 30° пассаметром с точностью до 1 мкм (рис.4). Для расчета коэффициента μ по выражению (3) был составлен алгоритм, описывающий фасонное точение как многопроходный процесс с учетом последовательного входа режущих кромок в работу, а затем была составлена и программа вычислений по этому алгоритму. Расчет производился методом итерации на ЭВМ М222. В результате для исследованных условий обработки были получены значения $\mu = 1,03 - 1,76$.

Следует отметить, что значения $\mu = 1,03 - 1,17$ соответствовали случаям безвибрационного резания. Здесь коэффициент μ идентичен коэффициенту установившегося режима работы, предложенному Д.Д. Медведевым [5]. В режиме автоколебаний (при малых значениях подачи) μ увеличивается до $1,27 - 1,76$.

Предлагаемая методика позволяет определить жесткость технологической системы СПИД в процессе резания без использования специальной аппаратуры и с достаточной для практики степенью точности. Для роторных автоматов обточки вследствие подвижности системы рабочего блока в процессе резания предлагаемый метод является единственно возможным.

В табл.2 представлены параметры жесткости упругих систем Р-К и Д-0 рабочего блока роторного автомата обточки модели РА-П в процессе резания при $\mu = 1,17$. Здесь же даны параметры жесткости системы СПИД рабочего блока в целом, рассчитанные по методике, предложенной в [2].

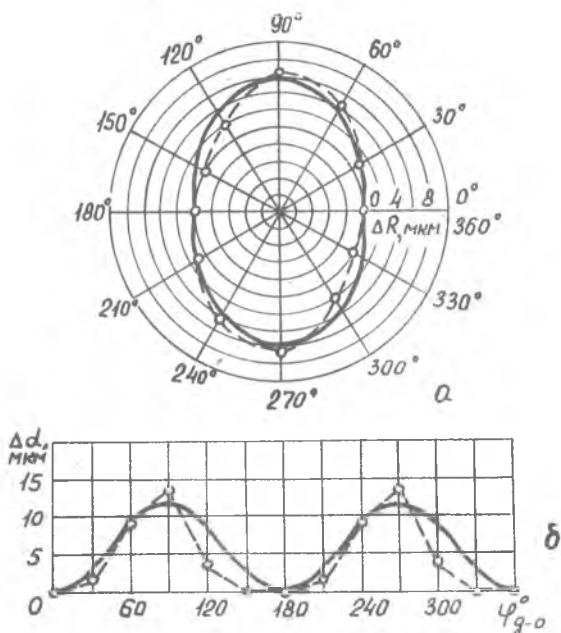


Рис.4.а- расчетная полярная диаграмма радиальных упругих отжатий системы СПИД рабочего блока роторного автомата (сплошная линия); полярная диаграмма величин $0,5 (a_i - a_{min})$ действительного поперечного сечения обработанной детали (пунктирная линия); б - развертка величин некрутости поперечного сечения обработанной детали (сплошная линия - расчетная; пунктирная - действительная); диаграммы получены для роторного автомата РА-П при $S=0,05$ мм/об; $\gamma=17^{\circ}30'$; $\alpha=9^{\circ}30'$; $\Sigma t=18$ мм; $\mu=1,11$

Полученные значения жесткости могут быть использованы для расчетов точности, виброустойчивости и производительности обработки.

Таблица 2

Упругая система	C_1 , кгс/мм	C_2 , кгс/мм	β°
Р-К	670,9	3075	3°
Д-О	4781,2	7692	$355^{\circ}-15^{\circ}$
СПИД	589,1	2190,9	$2^{\circ}26' - 3^{\circ}44'$

Л и т е р а т у р а

1. Кудряков В.А. Динамика станков. М, "Машиностроение", 1967.

2. Лазарев Г.С. Автоколебания при резании металлов. М., "Высшая школа", 1971.

3. Лазарев Г.С. Устойчивость процесса резания металлов. М., "Высшая школа", 1973.

4. Колеев К.С. Точность обработки и режимы резания. М., "Машиностроение", 1968.

5. Медведев Д.Д. Жесткостные характеристики технологических систем и пути их улучшения. "Известия вузов, Машиностроение", 1969, № 8.

Е.В. Бурмистров, Е.Н. Воронов,
А.В. Тарасов, Г.Т. Авдония

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДЛИНЫ ВЫЛЕТА СВЕРЛА

Сверление отверстий малых диаметров в деталях из жаропрочных и титановых сплавов сопровождается интенсивными крутильными колебаниями сверл. Математическое описание этих колебаний, как показано в работе [1], может быть выполнено в виде нелинейного дифференциально-разностного уравнения, учитывающего влияние упругих характеристик колебательной системы, волнообразного следа, оставляемого на поверхности резания режущими кромками сверла, и отставания изменения силы резания от изменения толщины среза.

Для сопоставления результатов расчетов с фактическими значениями амплитуд и частот колебаний в процессе сверления было разработано виброизмерительное устройство с малогабаритными токовихревыми датчиками. Принципиальная электрическая схема прибора представлена на рис.1.

В качестве датчика использовался токовихревой преобразователь [2]. Изменение зазора между датчиком и якорем вызывает изменение его параметров: индуктивности - L_d , добротности - Q_d и сопротивления - F_d . Датчик представляет собой малогабаритную катушку $\phi 4$ мм. В качестве ёмкости для резонансной настройки датчика используется ёмкость коаксиального кабеля типа РК-75 и разъёма ВР типа СР-50-74Ф. Высокочастотный генератор собран