

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ
ДЕФОРМАЦИОННЫХ СМЕЩЕНИЙ В ПОДСИСТЕМАХ РЕЖУЩЕГО
ИНСТРУМЕНТА И ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ЗАГОТОВКИ**

Рыжкин М.Н. (каф. «АПП», ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

При динамических исследованиях процесса обработки резанием большое значение имеют матрицы жёсткости деформационных смещений подсистем обрабатываемой детали и режущего инструмента. Причём, эти матрицы определяются в точке контакта инструмента с заготовкой [1 - 3]. Деформационные смещения, например, режущего инструмента определяются сложным механизмом контактных взаимодействий элементов суппорта: инструмента с механизмами его зажима; поперечного суппорта с направляющими, расположенными в продольном суппорте; наконец, продольного суппорта в направляющих станка, которые определяют его несущую способность. Все эти преобразования, дополненные возможными вращениями конструктивных элементов, формируют общие деформационные смещения, вычислить которые практически не представляется возможным, так как на деформационные смещения влияют свойства не полностью затянутых сопряжений в конструктивных элементах. В связи с этим для определения матриц жёсткости принципиальное значение имеют экспериментальные методы.

В настоящем докладе рассматривается методика экспериментального определения элементов матриц жёсткости подсистем режущего инструмента и обрабатываемой заготовки. Здесь ограничимся случаем определения элементов матриц, например, в плоскости, нормальной к оси вращения шпинделя, так как именно в этой плоскости формируются формообразующие движения инструмента относительно заготовки, влияющие на параметры точности изготовления деталей. Существо экспериментального определения элементов матрицы жесткости заключается в следующем.

Пусть измеримы силы, например, действующие на вершину режущего инструмента $F = \{F_1, F_2\}^T$, а также упругие деформационные смещения вершины инструмента относительно несущей системы станка $X_\Sigma = \{X_{\Sigma,1}, X_{\Sigma,2}\}^T$. Деформационные смещения $X_\Sigma = \{X_{\Sigma,1}, X_{\Sigma,2}\}^T$ определяются с помощью измерительных микрометров, база которых находится на направляющих станка. Направляющие станка считаются недеформируемыми. Кроме этого, с помощью тензодатчиков, установленных на режущем инструменте, определяются деформационные смещения инструмента относительно корпуса суппорта $X = \{X_1, X_2\}^T$. Очевидно, что суммарные деформационные смещения $X_\Sigma = \{X_{\Sigma,1}, X_{\Sigma,2}\}^T$ включают в себя деформационные смещения $X = \{X_1, X_2\}^T$ и деформационные смещения всего суппорта относительно несущей системы. Проиллюстрируем методику на примере определения суммарной матрицы жёсткости.

Рассмотрим деформационные смещения, обусловленные действием двух сил $F^{(1)} = \{F_1^{(1)}, 0\}^T$ и $F^{(2)} = \{0, F_2^{(2)}\}^T$. Им соответствуют измеренные деформационные смещения $X_\Sigma^{(1)} = \{X_{\Sigma,1}^{(1)}, X_{\Sigma,2}^{(1)}\}^T$ и $X_\Sigma^{(2)} = \{X_{\Sigma,1}^{(2)}, X_{\Sigma,2}^{(2)}\}^T$. Тогда справедливо

$$X_\Sigma c = F \quad (1)$$

где $X_\Sigma = \begin{bmatrix} X_{\Sigma,1}^{(1)} & 0 & X_{\Sigma,2}^{(1)} & 0 \\ 0 & X_{\Sigma,1}^{(1)} & 0 & X_{\Sigma,2}^{(1)} \\ X_{\Sigma,1}^{(2)} & 0 & X_{\Sigma,2}^{(2)} & 0 \\ 0 & X_{\Sigma,1}^{(2)} & 0 & X_{\Sigma,2}^{(2)} \end{bmatrix}$ - матрица экспериментально определённых деформационных смещений; $F = \{F_1^{(1)}, 0, 0, F_2^{(2)}\}^T$ - вектор измеренных внешних

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

постоянных значений сил, действующих на режущий инструмент; $c = \{c_{1,1}, c_{1,2}, c_{2,1}, c_{2,2}\}^T$ - вектор подлежащих оцениванию параметров матрицы жесткости упругих деформационных смещей. Тогда после несложных преобразований получаем

$$\left\{ \begin{array}{l} c_{1,1} = F_1^{(1)} \frac{X_{\Sigma,2}^{(2)}}{X_{\Sigma,1}^{(1)} X_{\Sigma,2}^{(2)} - X_{\Sigma,1}^{(2)} X_{\Sigma,2}^{(1)}}; \\ c_{2,2} = F_2^{(2)} \frac{X_{\Sigma,1}^{(1)}}{X_{\Sigma,1}^{(1)} X_{\Sigma,2}^{(2)} - X_{\Sigma,1}^{(2)} X_{\Sigma,2}^{(1)}}; \\ c_{1,2} = c_{2,1} = -F_1^{(1)} \frac{X_{\Sigma,1}^{(2)}}{X_{\Sigma,1}^{(1)} X_{\Sigma,2}^{(2)} - X_{\Sigma,1}^{(2)} X_{\Sigma,2}^{(1)}} = -F_2^{(2)} \frac{X_{\Sigma,2}^{(1)}}{X_{\Sigma,1}^{(1)} X_{\Sigma,2}^{(2)} - X_{\Sigma,1}^{(2)} X_{\Sigma,2}^{(1)}}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Многочисленные числовые примеры показывают правильность приведённых зависимостей (2). В частности из (2) ясно, что при условии, что эллипсы жёсткости совпадают с выбранной системой координат $X_{\Sigma,1}^{(2)} = X_{\Sigma,2}^{(1)} = 0$, то $c_{1,2} = c_{2,1} = 0$. Для фиксированного значения модуля внешней силы из (2) получаем массив значений $c_{1,1}, c_{2,2}, c_{1,2} = c_{2,1}$, по которым получаем оценки параметров жёсткости по математическому ожиданию и значения их дисперсии.

Выполненные исследования показали, что линейное приближение представления упругих деформационных смещений справедливо далеко не при всех внешних силах, действующих на подсистему инструмента и заготовки. Так при малых силах, которым соответствуют малые деформационные смещения, имеют место нелинейные изменения элементов матриц жёсткости. Для станка 1К62 это диапазон изменения сил в пределах (0-50,0 кГ). При дальнейшем увеличении сил элементы матриц жёсткости стабилизируются и остаются неизменными. Принципиально аналогичными свойствами обладают и элементы матриц жёсткости подсистемы заготовки. Однако для условий, когда заготовка в шпинделе зажимается в трёх кулачковом патроне дополнительно обнаружено периодическое изменение элементов матрицы жёсткости по периоду вращения заготовки. Период этих изменений равен $T_{ш} = 1/3T$ (T - период вращения заготовки). Причём, периодические вариации матриц жёсткости возрастают по мере приближения точки контакта инструмента с заготовкой к шпинделю.

Не останавливаясь на деталях, можно сделать следующие выводы.

1. Матрицы жёсткости подсистем режущего инструмента и заготовки зависят от внешних сил. При этом их изменения особенно заметны на начальном этапе увеличения сил. Это связано с тем, что на упругие деформационные смещения рассматриваемых конструктивных элементов принципиальное влияние оказывают свойства фрикционных соединений отдельных элементов. Это не полностью затянутые соединения, на которые было обращено внимание выше.

2. В технологических исследованиях традиционно рассматриваются скалярные представления о жёсткости как отношения силы, действующей в направлении, нормальном к оси вращения заготовки, к соответствующему деформационному смещению в этом же направлении. Причём такая жёсткость считается неизменной. Приведённые исследования показали, что деформационные смещения, например, в отжимающем направлении зависят не только от сил этого направления, но и от силы ортогонального направления. Это важно при прогнозировании влияния упругих деформаций на точность обработки, а также в системах управления точностью.

Список литературы: 1. Кудинов В.А. Динамика станков. – М.: Машиностроение. 1976. - 359 с. 2. Глухой И. Автоколебания в металлорежущих станках. – М.: Машгиз, 1965 -395 с. 3. Остафьев В.А. и др. Физические основы процесса резания металлов. – Киев: изд-во «Вища школа», 1976. – 136 с.