

обеспечивающему прерывистость и кратковременность работы каждого его участка, хорошими условиями охлаждения лезвия за время холостого пробега и меньшей истинной скорости резания по сравнению со скоростью главного движения температура в зоне резания при обработке ротационным инструментом по сравнению с традиционным инструментом снижается до 40%.

Кинематические и конструктивные особенности ротационных режущих инструментов, обеспечивают высокое качество и хорошие эксплуатационные показатели обработанной поверхности, что позволяет исключить из технологических процессов последующие трудоемкие операции шлифования, шабрения и особенно сухого шлифования.

Для подрезки торцев деталей применение обычных ротационных резцов затруднено из-за изменения скорости при резании от наружного диаметра к внутреннему. Ввиду разности скоростей сложно подобрать такую установку инструмента, которая обеспечила бы необходимое качество обрабатываемой поверхности. В связи с этим нами поставлена задача провести исследования обработки торцев труб ротационным резцом.

### Литература

1. Работоспособность самовращающихся резцов при резании труднообрабатываемых материалов / Chen Piung, Hoshi Tetsutaro // Int. J. Jap. Soc. Precis. Eng.- 1991.-25, N°4.-С.267-270.
2. Температура и силы резания при точении амовращающимся ротационным резцом /Chen Piung // JSME. Int.J. Ser.3.-1992.-35, N°1.-С.180-185.-Англ.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОЧНОСТИ СБОРНОГО ИНСТРУМЕНТА

*Михайлов М.И.*

*Гомельский политехнический институт им. П.О.Сухого*

Динамическая точность сборного инструмента является интегральной величиной геометрической погрешности входящих в него элементов, и статической обусловленной силами трения, силами дисбаланса, массами, инерционностью элементов и т.д. Запишем эту зависимость в виде

$$Y_{\text{ит.}} = Y_1 + Y_2 + Y_3 \quad (1)$$

где  $Y_1$  - величина податливости в направлении оси  $Y$  инструмента,

$$Y_1 = f(P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (2)$$

$Y_2$  - погрешность инструмента от точности геометрических параметров его элементов

$$Y_2 = f(d_1, d_2, \dots, d_n) \quad (3)$$

$Y_3$  - погрешность сборного инструмента от действия сил зажима режущего элемента

$$Y_3 = f(F_1, F_2, \dots, F_n) \quad (4)$$

При проектировании сборного инструмента выбирают такую схему базирования режущих, направляющих и крепежных элементов, которая упрощает функциональную зависимость (3).

Погрешность инструмента (1) следует разложить в ряд Тейлора для того, чтобы получить удобные для вычисления функции и придать наглядность и физический смысл членам этого ряда.

$$\Delta Y_{инт} = \sum_{i=1}^n (\partial Y / \partial p_i)_0 \Delta p_i, \quad (5)$$

где нулевой индекс означает, что частная производная вычисляется для номинального значения параметров. Второе приближение получается, если при разложении сохранить вторые и смешанные производные

$$\Delta Y_{инт} = \sum_{i=1}^n (\partial Y / \partial p_i)_0 \Delta p_i + 1/2 \sum_{i=1}^n (\partial^2 Y / \partial^2 p_i)_0 \Delta p_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\partial^2 Y / \partial^2 p_{ij}) \Delta p_i^2 \Delta p_j \quad (6)$$

При разложении часть членов  $j(m+1, \dots, n)$  образует степенной ряд Маклорена. Выбор допустимых степеней приближения и оценка погрешностей связанных с отбрасыванием остаточных членов ряда Тейлора, производится по известным правилам. На инструмент большое значение оказывают внешние возмущения ( $z_1, \dots, z_k$ ), характеризующие условия его эксплуатации (усилия резания, силы зажима элементов, точки приложения этих сил и создаваемых ими моментов, удары при зажиме, непостоянство сил зажима в партии пластин, температура среды и станка и т.д.). Поэтому в общем случае первичная погрешность состоит из двух слагаемых

$$\Delta q_i = \Delta q_i' + \Delta q_i'' \quad (7),$$

где  $\Delta q_i'$  - основная первичная погрешность, зависящая от внутренних параметров системы;  $\Delta q_i''$  - дополнительная первичная погрешность, вызванная влиянием внешних факторов и изменением условий эксплуатации.

Для определения зависимости  $\Delta q_i''$  от внешних факторов необходимо выразить параметры  $q_i$  в виде функции

$$q_i = \varphi(z_1, \dots, z_k) \quad (8).$$

За номинальное значение внешних факторов принимаем их значения  $z_{10}, z_{20}, \dots, z_{k0}$  отвечающие расчетным условиям работы инструмента, тогда для нормальных расчетных значений

$$\Delta q_i'' = \varphi(z_1, \dots, z_k) - \varphi(z_{10}, \dots, z_{k0}) \quad (12).$$

Разложив в ряд Тейлора и взяв линейное приближение, получим

$$\Delta q_i'' = \sum_{j=1}^k (\partial q_i / \partial z_j)_0 \Delta z_j \quad (13)$$

где  $\Delta z_j$  - отклонение  $j$ -го внешнего фактора от номинального значения (частная производная берется для значений  $z_j = z_{j0}$ , отвечающим нормальным условиям). Во втором приближении

$$\Delta q_i'' = \sum_{j=1}^k (\partial^2 Y / \partial z_j^2) \Delta z_j + 1/2 \sum_{j=1}^k (\partial^2 q_i / \partial z_j^2) \Delta z_j^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{\tau=1}^k (\partial^2 q_i / \partial z_j \partial z_\tau) \Delta z_j \Delta z_\tau \quad (14)$$

Суммируя все погрешности, получим полное линеаризованное уравнение статической погрешности инструмента

$$\Delta Y = [f(x, q_{10}, \dots, q_{m0}) - f(x)] + \sum_{i=1}^n (\partial Y / \partial q_i)_0 \Delta q_i + \sum_{i=1}^n \{ (\partial Y / \partial q_i)_0 \sum_{j=1}^k (\partial Y / \partial z_j) \Delta z_j \} \quad (15)$$

где  $[..]$  - погрешность базирования режущей пластины; 2-е слагаемое - геометрическая погрешность инструмента; 3-е слагаемое - погрешность закрепления пластины.

Общую погрешность  $\Delta Y$  можно представить в виде суммы основной и дополнительной

$$\Delta Y = \Delta Y_{\text{осн}} + \Delta Y_{\text{доп}} \quad (16),$$

т.е. разобьем общую погрешность на две составляющие по их функциональной роли в инструменте. Основная погрешность есть функция внутренних факторов при нормированных условиях эксплуатации, дополнительная погрешность добавляется при влиянии внешних факторов, связанных с измененными условиями эксплуатации. Тогда основная погрешность выразится

$$\Delta Y_{\text{осн}} = f(x, q_{10}, \dots, q_{m0}) - f(x) + \sum_{i=1}^n (\partial Y / \partial q_i)_0 \Delta q_i \quad (17)$$

Дополнительная погрешность

$$\Delta Y_{\text{доп}} = \sum_{i=1}^n \{ (\partial Y / \partial q_i) \sum_{j=0}^k [ (\partial q_i / \partial z_j) \Delta z_j ] \} \quad (18)$$

Выражение (15) представляет собой уравнение погрешности инструмента в размерной форме, а входящая частная производная является коэффициентом влияния  $i$ -го звена на общую погрешность инструмента. Для перехода к безразмерной форме преобразуем (5)

$$\Delta Y / Y = \sum_{i=1}^N (\partial Y / \partial Y_i) Y_i / Y \Delta Y_i / Y_i$$

где  $\Delta Y_i / Y_i$  - относительная погрешность  $i$ -го звена;  $\Delta Y / Y$  - относительная погрешность всего инструмента, или

$$\Delta Y / Y = \sum_{i=1}^N \Psi_i \Delta Y_i / Y_i \quad (19)$$

где  $\Psi_i = (\partial Y / \partial Y_i) Y_i / Y$  - безразмерный коэффициент влияния  $i$ -го элемента или части инструмента.

Коэффициенты влияния элементов могут быть вычислены путем анализа структурной схемы. Общая чувствительность структурной цепи является функцией чувствительности  $S_1, S_2, \dots, S_N$  элементов.

$$S = \varphi(S_1, \dots, S_N)^2 \quad (20)$$

Вид функции (20) определяется типом структурной цепи инструмента. Если чувствительности звеньев получают независимые приращения  $\Delta S_1, \dots, \Delta S_N$ , то приращение общей чувствительности в линейном приближении

$$\Delta S = \sum_{i=1}^N \partial S / \partial S_i \Delta S_i \quad (21)$$

В безразмерном виде

$$\Delta S / S = \sum_{i=1}^N \partial S / \partial S_i S_i / S \Delta S_i / S_i \quad (22)$$

Пусть требуемая характеристика  $i$ -го узла  $\varphi = S Y_i$ . Если при некотором фиксировании значений входной величины  $X$  выходная

величина отличается от требуемой, то возникает погрешность  $\Delta Y$ , которую можно трактовать как результат изменения чувствительности звена

$$Y_i + \Delta Y_i = (S_i + \Delta S_i) Y_{i-1} \quad (23)$$

Из уравнения (22) и (23) можно получить соотношение

$$\Delta S/S = \Delta Y/Y \quad (24)$$

Рассуждая таким образом можно получить аналогичное соотношение для всего инструмента

$$\Delta S/S = \Delta Y/Y \quad (25)$$

Подставляя (24) и (25) в (22) получим

$$\Delta Y/Y = \sum_{i=1}^N \partial S / \partial S_i S_i / S \Delta Y_i / Y_i \quad (26)$$

Сравнивая выражения получим формулу для определения безразмерных коэффициентов влияния  $i$ -го узла структурной схемы, состоящей из элементов с пропорциональными характеристиками

$$\varphi = \partial S / \partial S_i S_i / S \quad (27)$$

Уравнение (19) остается в силе и для приведенных относительных погрешностей. Действительно, если вместо  $Y$  и  $Y_i$  подставить абсолютные значения допусков изменения этих параметров  $Y$  и  $Y_i$ , то получим

$$\xi = \sum_{i=1}^N \psi_i \xi_i \quad (28)$$

где  $\xi = \Delta Y/Y$  - приведенная относительная погрешность инструмента;  
 $\xi_i = \Delta Y_i/Y_i$  - приведенная относительная погрешность  $i$ -го элемента.

В случае если элементы инструмента с пропорциональными характеристиками соединены между собой одним из трех типовых способов, то коэффициенты влияния вычисляются по стандартным формулам, которые следуют из (27). Например, при последовательном соединении узлов, чувствительность механической цепи

$$S = S_1 \cdot S_2 \cdot \dots \cdot S_N = \prod_{i=1}^N S_i \quad (29)$$

откуда

$$\frac{\partial S}{\partial S_i} = 1/S \prod_{i=1}^N S_i \quad (30)$$

При параллельном соединении узлов чувствительность цепи имеет вид

$$S = S_1 + S_2 + \dots + S_N = \sum_{i=1}^N S_i, \quad (31)$$

Т.о. предлагаемая методика позволяет производить анализ точности любого сборного инструмента.

## О ВЫБОРЕ ЗАКОНОВ ТРЕНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЯ В ПРОЦЕССЕ ВОЛОЧЕНИЯ

*Бельский А. Т.*

*Гомельский политехнический институт им. П. О. Сухого*

Разрабатывая технологический процесс нанесения на длинномерные изделия покрытий из металлических порошков и их сплавов, возникает необходимость в определении действующих напряжений как в сердечнике, так и в формируемом покрытии. При выводе аналитических зависимостей для определения действующих напряжений приходится задаваться законами трения между покрытием и волоочильным инструментом, а также между покрытием и сердечником.

При обработке металлов давлением силы трения зависят не только от физико-химического состояния контактных поверхностей, но и от факторов, определяющих механику деформации, а именно: формы очага деформации, упрочнения материала, наличия натяжения и так далее. Формулы, встречающиеся в литературе для определения сил трения в очаге деформации, можно разделить на три группы:

а) формулы, содержащие в качестве независимой переменной какой-либо физический фактор, например: нормальное давление, предел текучести деформируемого материала и так далее;

б) формулы, описывающие распределения сил трения по длине контакта. Одним из аргументов в этих формулах является чисто геометрический параметр, например: координата точки контактной поверхности;

в) формулы, по которым определяют среднюю удельную силу трения