

УСЛОВИЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

Изготовление высокоточных отверстий является актуальной задачей технологии машиностроения. В связи с этим разработана новая математическая модель определения погрешностей обработки отверстия (на примере рассверливания) и на ее основе обоснованы условия повышения точности и производительности обработки. Величина смещения оси обрабатываемого отверстия относительно ее номинального положения Δ_n (равная упругому перемещению в технологической системе) вследствие нарушения условия равновесия радиальных составляющих сил резания, действующих на оба режущих лезвия сверла при рассверливании отверстия, после n -го прохода сверла описывается:

$$\Delta_n = \frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi \cdot \Delta_{n-1}}{c \cdot K_{рез}} = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}} \right)^n \cdot \Delta_0, \quad (1)$$

где $K_{рез} = P_z/P_0$ – коэффициент резания; $P_0 = \sqrt{P_y^2 + P_x^2}$; P_z , P_y , P_x – тангенциальная, радиальная и осевая составляющие силы резания при сверлении, Н; c – приведенная жесткость технологической системы, Н/м; σ – условное напряжение резания, Н/м²; S – подача, м/об; 2φ – двойной угол в плане сверла; Δ_{n-1} – смещение оси обрабатываемого отверстия относительно ее номинального положения после $n-1$ -го прохода сверла, м; Δ_0 – величина отклонения между осями рассверливаемого отверстия и сверла, м.

Суммарное уточнение $\varepsilon_{сум}$ и уточнение на проходе сверла $\varepsilon = \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}$:

$$\varepsilon_{сум} = \frac{\Delta_0}{\Delta_n} = \left(\frac{C \cdot K_{рез}}{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi} \right)^n; \quad \varepsilon = \frac{C \cdot K_{рез}}{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}. \quad (2)$$

По физической сути, зависимости (2) описывают процесс выхаживания, когда съем металла происходит в результате действия упруговосстанавливающей силы. Данный процесс затухающий, т.к. интенсивность съема металла уменьшается по мере увеличения количества проходов сверла. В пределе при условии $n \rightarrow \infty$ справедливо условие $\Delta_n \rightarrow \Delta_{n-1}$. С точки зрения теории резания металлов осуществить съем металла в данных условиях весьма сложно в связи с небольшой толщиной среза. В результате $\sigma/K_{рез}$ будет увеличиваться по мере увеличения n , что приведет к преждевременному прекращению съема металла. Чтобы исключить данное явление и обеспечить съем металла при обработке, необходимо с каждым последующим проходом сверла увеличивать его диаметр.

Определим оптимальное количество проходов сверла n из условия наименьшего основного времени обработки τ , которое можно выразить зависимостью $\tau = n \cdot L / S$ (где L – длина обрабатываемого отверстия, м):

$$\tau = \frac{2 \cdot n \cdot L \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}} \cdot \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}} \quad (3)$$

Как видно, количество проходов сверла n неоднозначно влияет на τ , т.е. существует экстремум функции τ от n . Экстремальное значение n равно

$$n = \ln \varepsilon_{сум} \quad (4)$$

Таблица 1

Расчетные значения суммарного уточнения $\varepsilon_{сум}$

n	1	2	3	4	5	6
$\varepsilon_{сум}$	2,72	7,4	20,1	54,7	148,9	405

Из табл. 1 следует, что с увеличением n суммарное уточнение $\varepsilon_{сум}$ изменяется в широких пределах. Следовательно, для обеспечения заданного значения $\varepsilon_{сум}$ (даже достаточно большого, например, равного 150) необходимо произвести всего 5 проходов сверла. Для обеспечения значений $\varepsilon_{сум} = 20 \dots 150$, которые могут быть реально реализованы на практике, достаточно произвести 3–4 прохода сверла, что согласуется с известными экспериментальными данными, а также с опытом применения механической обработки. После преобразований получено

$$\varepsilon = e \quad (5)$$

Следовательно, оптимальное значение уточнения на проходе сверла ε равно числу $e \sim 2,72$. Данное условие можно выполнить путем выбора оптимальной подачи S для заданных значений c , φ и $\sigma/K_{рез}$. Минимальное основное время обработки τ_{min} определяется:

$$\tau_{min} = \frac{2 \cdot L \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}} \cdot e \cdot \ln \varepsilon_{сум} \quad (6)$$

Таблица 2

Расчетные значения τ для $\varepsilon_{сум} = 100$

n	1	2	3	4	5	6
$\tau, с$	100,0	20,0	13,95	12,6	12,6	12,9

В табл. 2 приведены рассчитанные по зависимости (3) значения основного времени обработки τ для различного количества проходов сверла n . Как видно, в широких пределах изменения величины n основное время обработки τ , начиная с $n = 2$ (для $\varepsilon_{сум} = 100$) изменяется незначительно. Следовательно, принимая количество проходов сверла n близким к оптимальному значению, можно достичь приблизительно одинакового результата по основному времени обработки τ . Этим, по-видимому, можно объяснить то, что на практике рекомендуется для реализации определенным диапазоном изменения количества проходов инструмента n , обеспечивающий требуемую точность обработки с учетом достижения наименьшего основного времени обработки τ . Таким образом, в работе предложено новое теоретическое решение о закономерностях формирования погрешностей обработки отверстия. Определено наименьшее основное время обработки с учетом ограничения по точности обрабатываемого отверстия.