

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЯ

В работе [1] приведено теоретическое решение о величине смещения оси обрабатываемого отверстия относительно ее номинального положения Δ (равной величине упругого перемещения в технологической системе) вследствие нарушения условия равновесия радиальных составляющих сил резания, действующих на оба режущих лезвия сверла при рассверливании отверстия:

$$\Delta = \frac{\Delta P_y}{c} = \frac{\sigma \cdot S \cdot \Delta t \cdot \cos \varphi}{K_{рез} \cdot c}, \quad (1)$$

где ΔP_y – наибольшая разница радиальных составляющих сил резания, действующих на оба лезвия сверла, Н; $K_{рез} = P_z / P_0$ – 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; S – подача, м/об; $\Delta t = t_1 - t_2$ – наибольшая разница глубин резания, приходящихся на оба лезвия сверла, м; 2φ – двойной угол в плане сверла; c – жесткость технологической системы, Н/м.

С учетом: $t_1 = 0,5 \cdot (D - d) + \Delta_0$; $t_2 = 0,5 \cdot (D - d) - \Delta_0$ имеем $\Delta t = 2 \cdot \Delta_0$, где D – диаметр сверла, м; d – диаметр рассверливаемого отверстия, м; Δ_0 – отклонение между осями рассверливаемого отверстия и сверла, м.

При повторном проходе тем же инструментом величину Δ обозначают Δ_2 в зависимости (1). Вместо Δ_0 рассматривают Δ_1 в зависимости (1) для первого прохода сверла, т.к. $\Delta t = t_1 - t_2 = \left(\frac{D}{2} + \Delta_1\right) - \left(\frac{D}{2} - \Delta_1\right) = 2 \cdot \Delta_1$. Тогда

$$\Delta_2 = \frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi \cdot \Delta_1}{c \cdot K_{рез}} = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}}\right)^2 \cdot \Delta_0. \quad (2)$$

Поскольку $\left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}}\right) < 1$, то множитель $\left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}}\right)^2$ будет еще

меньше. Это приведет к уменьшению величины Δ_2 после второго прохода сверла. При третьем проходе сверла величина Δ_3 опишется зависимостью (2), рассматривая в ней вместо Δ_1 величину Δ_2 . В результате получено:

$$\Delta_3 = \frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi \cdot \Delta_2}{c \cdot K_{рез}} = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}}\right)^3 \cdot \Delta_0. \quad (3)$$

Справедливо неравенство $\Delta_3 < \Delta_2$. После n -го прохода сверла имеем:

$$\Delta_n = \frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi \cdot \Delta_{n-1}}{c \cdot K_{рез}} = \left(\frac{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}} \right)^n \cdot \Delta_0, \quad (4)$$

где Δ_{n-1} – смещение оси обрабатываемого отверстия относительно ее номинального положения после $n-1$ -го прохода сверла, м.

Отношение Δ_0 / Δ_n определяет суммарное уточнение [2]:

$$\varepsilon_{сум} = \frac{\Delta_0}{\Delta_n} = \left(\frac{c \cdot K_{рез}}{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi} \right)^n. \quad (5)$$

По мере увеличения n суммарное уточнение $\varepsilon_{сум}$ увеличивается, а уточнение на каждом проходе сверла $\varepsilon = \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}$ остается одинаковым:

$$\varepsilon = \frac{c \cdot K_{рез}}{2 \cdot \sigma \cdot S \cdot \cos \varphi}. \quad (6)$$

Уточнение ε тем больше, чем больше жесткость c , угол $\varphi \rightarrow 90^0$ и меньше отношение $\sigma / K_{рез}$ и подача S . Зависимости (4) и (5) описывают затухающий процесс выхаживания. При $n \rightarrow \infty$ справедливо условие $\Delta_n \rightarrow \Delta_{n-1}$.

Отношение $\sigma / K_{рез}$ увеличивается по мере увеличения количества проходов сверла n , что приведет к прекращению съема металла. Чтобы исключить данное явление, необходимо с каждым последующим проходом сверла увеличивать его диаметр. О необходимости применения сверл разного диаметра указывает также тот факт, что уменьшение величины Δ_n (с увеличением n при обработке сверлом одного диаметра) будет приводить к увеличению диаметра отверстия на величину Δ_n . С одной стороны, будет уменьшаться величина Δ_n с увеличением количества проходов сверла n , а с другой – увеличиваться диаметр отверстия на величину Δ_n , что не позволит устранить начальную погрешность обработки. Поэтому устранить погрешность обработки можно применением сверл разных диаметров. С увеличением количества проходов сверла величина $\Delta_n \rightarrow 0$ и обеспечивается требуемая точность отверстия.

Из зависимости (4) следует, что величина Δ_n определяется количеством проходов сверла n . В связи с этим определим оптимальное количество проходов сверла n из условия обеспечения наименьшего основного времени обработки τ , которое можно выразить зависимостью: $\tau = n \cdot L / S$, где L – длина обрабатываемого отверстия, м. Подачу S определим из зависимости (5). Тогда

$$\tau = \frac{2 \cdot n \cdot L \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{рез}} \cdot \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}. \quad (7)$$

Как видно, количество проходов сверла n неоднозначно влияет на основное время обработки τ , т.е. существует экстремум функции τ от n . Для его определения подчиним функцию τ необходимому условию экстремума: $\tau'_n = 0$. После соответствующих преобразований получено $n = \ln \varepsilon_{сум}$. Таким образом

установлено, что экстремальное количество проходов сверла n вполне однозначно определяется суммарным уточнением $\varepsilon_{\text{сум}}$: чем оно больше, тем больше n . Установлено, что вторая производная в точке экстремума функции τ всегда положительна, т.е. имеет место минимум функции τ . Это указывает на то, что количество проходов сверла n , определяемое зависимостью $n = \ln \varepsilon_{\text{сум}}$, является оптимальным, обеспечивающим наименьшее основное время обработки τ_{min} .

Таблица 1

Расчетные значения суммарного уточнения $\varepsilon_{\text{сум}}$

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

В табл. 1 приведены расчетные значения суммарного уточнения $\varepsilon_{\text{сум}}$ для различного количества проходов сверла n . Нетрудно видеть, что с увеличением n суммарное уточнение $\varepsilon_{\text{сум}}$ изменяется в широких пределах. Следовательно, для обеспечения заданного значения $\varepsilon_{\text{сум}}$, даже достаточно большого, например, равного 150, необходимо произвести всего 5 проходов сверла. Для обеспечения значений $\varepsilon_{\text{сум}} = 20 \dots 150$, 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.

Представляя зависимость $n = \ln \varepsilon_{\text{сум}}$ в виде $\varepsilon_{\text{сум}} = e^n$, а $\varepsilon_{\text{сум}} = \varepsilon^n$, справедливо условие: $\varepsilon = e$. Следовательно, оптимальное значение уточнения на проходе сверла ε равно числу $e \approx 2,72$. Данное условие можно выполнить на основе установления параметров обработки по зависимости (6), например, путем выбора оптимальной подачи S для заданных значений c , φ и $\sigma / K_{\text{рез}}$. Минимальное основное время обработки τ_{min} определяется:

$$\tau_{\text{min}} = \frac{2 \cdot L \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{c \cdot K_{\text{рез}}} \cdot e \cdot \ln \varepsilon_{\text{сум}}. \quad (8)$$

В данном случае τ_{min} зависит от суммарного уточнения $\varepsilon_{\text{сум}}$: чем оно больше, тем больше τ_{min} . На основе приведенных зависимостей определяются оптимальные условия обработки отверстия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И.Е. Технологическое обеспечение точности и стабильности изготовления резьбовых отверстий в баллонах в условиях массового производства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.08 “Технология машиностроения” / И.Е. Иванов. – Мариуполь, 2008. – 21 с.
2. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.