

Новиков Ф.В.

Харьковский национальный экономический университет (Украина)

Иванов И.Е.

*ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”
(Мариуполь, Украина)*

Условия уменьшения погрешностей механической обработки

Теоретически определены погрешности обработки отверстия при рассверливании и основное время его обработки

В работе [1] приведено важное 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:

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

де 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.

Входящая в зависимость разность глубин резания $\Delta t = t_1 - t_2$ определяется с учетом следующих соотношений: $t_1 = 0,5 \cdot (D - d) + \Delta_0$; $t_2 = 0,5 \cdot (D - d) - \Delta_0$, где D – диаметр сверла, м; d – диаметр рассверливаемого отверстия, м; Δ_0 – величина отклонения между осями рассверливаемого отверстия и сверла, м. Тогда $\Delta t = 2 \cdot \Delta_0$.

Как видно величина Δ не зависит от диаметра начального отверстия, а определяется лишь величиной Δ_0 . Если окажется, что величина Δ превышает допустимое значение, то для ее уменьшения можно осуществить повторный проход тем же инструментом с тем

же режимом резания. Для выполнения расчетов величину Δ обозначим как Δ_2 . Она, по сути, определяется зависимостью (1) с тем отличием, что вместо значения Δ_0 необходимо рассматривать значение Δ_1 , определяемое по зависимости (1) для первого прохода сверла. Это обусловлено тем, что $\Delta t = t_1 - t_2 = \left(\frac{D}{2} + \Delta_1\right) - \left(\frac{D}{2} - \Delta_1\right) = 2 \cdot \Delta_1$. 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 необходимости может быть осуществлен третий проход сверла. В этом случае величина Δ_3 опишется зависимостью (2) с учетом того, что в ней вместо Δ_1 необходимо рассматривать величину Δ_2 . В результате получим:

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

Очевидно, справедливо неравенство $\Delta_3 < \Delta_2$. Следовательно, в процессе рассверливания отверстия будет иметь место исправление погрешности обработки отверстия по мере увеличения количества проходов сверла. После n -го прохода сверла величина Δ_n опишется:

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

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]:

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

Как видно, по мере увеличения количества проходов сверла n суммарное уточнение $\varepsilon_{сум}$ увеличивается. При этом уточнение на каждом проходе сверла $\varepsilon = \sqrt[n]{\varepsilon_{сум}}$ остается одинаковым, равным

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

Из зависимости (6) следует, что уточнение ε тем больше, чем больше жесткость технологической системы C , угол $\varphi \rightarrow 90^0$ и меньше отношение $\sigma / K_{рез}$ и подача S . По физической сути, зависимости (4) и (5) описывают процесс выхаживания, когда съем металла происходит в результате действия упруго-восстанавливающей 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 отношение $\sigma / K_{рез}$ будет увеличиваться по мере увеличения количества проходов сверла n , что приведет к преждевременному съему металла. Чтобы исключить данное явление и обеспечить съем металла, 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 фактическому увеличению диаметра обрабатываемого отверстия на величину Δ_n . Иными словами, с одной стороны, будет уменьшаться величина Δ_n с увеличением количества проходов сверла n , а с другой стороны, будет увеличиваться диаметр обрабатываемого отверстия на величину Δ_n , что не позволит устранить начальную погрешность обработки. Поэтому, очевидно, устранить погрешность обработки можно на основе применения сверл разных диаметров. В этом случае с каждым проходом сверла будет формироваться новое отверстие со смещением его оси относительно номинального положения на величину Δ_n . С увеличением количества проходов сверла величина $\Delta_n \rightarrow 0$ и таким образом будет обеспечена требуемая точность обрабатываемого отверстия.

В данном случае приведенные выше аналитические зависимости останутся справедливыми, поскольку диаметр сверла не влияет на величину смещения оси обрабатываемого отверстия относительно ее номинального положения.

Из зависимости (4) следует, что величина Δ_n определяется в первую очередь 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

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

В итоге получена аналитическая зависимость для определения основного времени обработки τ . 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 $\varepsilon_{сум}$: чем оно больше, тем больше n .

Установлено, что вторая производная в точке экстремума функции τ всегда положительна. Поэтому имеет место минимум функции τ . Это указывает на то, что количество проходов сверла n , определяемое зависимостью $n = \ln \varepsilon_{сум}$, является оптимальным, обеспечивающим наименьшее основное время обработки τ_{min} .

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

В табл. 1 приведены расчетные значения суммарного уточнения $\varepsilon_{сум}$ для различного количества проходов сверла n . Нетрудно видеть, 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, до-

статочно произвести 3–4 прохода сверла, что согласуется с известными экспериментальными данными, а также с опытом применения механической обработки.

Представим зависимость $n = \ln \varepsilon_{\text{сум}}$ в виде $\varepsilon_{\text{сум}} = e^n$. Суммарное уточнение $\varepsilon_{\text{сум}}$ выразим зависимостью $\varepsilon_{\text{сум}} = \varepsilon^n$. Тогда справедливо условие: $\varepsilon = e$. Следовательно, оптимальное значение уточнения на проходе сверла ε равно числу $e \approx 2,72$. Поэтому достичь наименьшего значения основного времени обработки τ_{min} можно установлением уточнения на проходе сверла ε , равным числу $e \approx 2,72$. Данное условие можно выполнить на основе установления параметров обработки в соответствии с зависимостью (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} . Таким образом, получено общее теоретическое решение определения оптимальных условий по уменьшению погрешностей обработки отверстия при рассверливании. Доказано, что существует оптимальное количество проходов сверла n , при котором заданную погрешность обработки отверстия Δ_n можно достичь за минимальное основное время обработки τ_{min} . Установлено, что в этом случае уточнение на проходе сверла ε должно быть равно числу $e \approx 2,72$. Это достигается установлением соответствующей подачи S .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов И.Е. Технологическое обеспечение точности и стабильности изготовления резьбовых отверстий в баллонах в условиях массового производства: автореф. дис. на соискание научн. степени 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.