

УДК 621.923

Ф.В. Новиков, проф., д-р техн. наук,

Харьковский национальный экономический университет

пр. Ленина 9а, г. Харьков, Украина, 61001

novikov.fv@mail.ru

И.Е. Иванов, канд. техн. наук

ГВУЗ “Приазовский государственный технический университет”

ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500

Ivanov-IE@yandex.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИ РАСТАЧИВАНИИ И РАССВЕРЛИВАНИИ ОТВЕРСТИЙ

Введение и постановка проблемы. Изготовление отверстий методами механической обработки является наиболее трудоемкими операциями в технологии машиностроения. Несмотря на большой практический опыт в этом направлении, проблема механической обработки высокоточных отверстий по-прежнему остается актуальной, требующей новых технологических решений. В особой мере это относится к обработке деталей гидравлических систем, где трудоемкость изготовления высокоточных отверстий составляет 50% и более от общей трудоемкости изготовления деталей. Проблема усугубляется еще и тем, что детали гидравлических систем изготавливаются, как правило, из материалов с повышенными физико-механическими свойствами, характеризующимися относительно низкой обрабатываемостью резанием. Поэтому обеспечение высокой точности обработки отверстий требует снижения режимов резания и соответственно производительности обработки, что неэффективно. В связи с этим в работе решается актуальная задача выбора наиболее эффективных методов и условий механической обработки высокоточных отверстий на основе анализа закономерностей формирования погрешностей обработки отверстий и путей их уменьшения при растачивании и рассверливании. Исследования проводились в рамках тематического плана работ ГП Харьковский машиностроительный завод “ФЭД”.

Анализ последних достижений и публикаций. В научно-технической литературе [1, 2] приведены теоретические решения о закономерностях образования погрешностей обработки отверстий. Однако они в основном базируются на эмпирических зависимостях, справедливых для частных условий обработки, что ограничивает возможности поиска новых более эффективных решений. Поэтому настоящая статья посвящена установлению общих аналитических решений на основе описания погрешностей обработки отверстий при их растачивании и рассверливании, что позволит научно обоснованно подойти к выбору эффективных методов и условий механической обработки высокоточных отверстий.

Цель работы. Теоретическое определение условий повышения точности механической обработки отверстий на основе аналитического описания погрешностей обработки отверстий при их растачивании и рассверливании.

Результаты исследований. Как известно [3], основным фактором, влияющим на погрешности обработки отверстий, является образование упругих перемещений в технологической системе. Поэтому произведем анализ возможностей уменьшения погрешности обработки отверстия при растачивании за счет регулирования упругими перемещениями, возникающими в технологической системе. В общем виде величина упругого перемещения y определяется по известной зависимости [4]:

$$y = \frac{P_y}{c} = \frac{P_z}{c \cdot K_{рез}} = \frac{\sigma \cdot S_{срез}}{c \cdot K_{рез}} = \frac{\sigma \cdot S \cdot (t - y)}{c \cdot K_{рез}}, \quad (1)$$

где P_y , P_z – соответственно радиальная и тангенциальная составляющие силы резания, Н; $K_{рез} = P_z / P_y$; c – жесткость технологической системы, Н/м; σ – условное напряжение резания (энергоемкость обработки), Н/м²; $S_{срез} = S \cdot (t - y)$ – площадь поперечного сечения среза, м²; S – подача, м/об.; t – глубина резания, м.

Разрешая уравнение (1) относительно неизвестной величины y , имеем

$$y = \frac{t}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{рез}}{\sigma \cdot S}\right)}. \quad (2)$$

Как видно, уменьшить величину y можно уменьшением параметров σ , S , t и увеличением c и $K_{рез}$. Очевидно, уменьшение подачи S и глубины резания t ведет к снижению производительности обработки, что неэффективно. Поэтому целесообразно уменьшать отношение $\sigma / K_{рез}$ (определяющее, по сути, энергоемкость обработки) и увеличивать жесткость технологической системы c . Уменьшить отношение $\sigma / K_{рез}$ можно повышением режущей способности инструмента (применением более твердых и износостойких инструментальных материалов, а также износостойких покрытий инструментов) и снижением интенсивности трения в зоне резания.

При условии $\frac{c \cdot K_{рез}}{\sigma \cdot S} > 1$ зависимость (2) примет упрощенный вид

$$y = \frac{\sigma \cdot Q}{c \cdot K_{рез} \cdot V}, \quad (3)$$

где $Q = S \cdot t \cdot V$ – производительность обработки, м³/с; V – скорость резания, м/с.

Как следует из зависимости (3), добиться увеличения производительности обработки Q при заданной погрешности обработки, определяемой величиной упругого перемещения y , можно в первую очередь за счет увеличения скорости резания V , т.е. перехода в область высокоскоростного резания. При этом также эффективно уменьшать отношение $\sigma / K_{рез}$ и увеличивать жесткость технологической системы c .

При условии $\frac{c \cdot K_{рез}}{\sigma \cdot S} < 1$ фактически справедливо соотношение $y \approx t$. В этом случае сьем металла практически отсутствует, а в технологической системе образуются упругие перемещения, близкие к глубине резания, что связано или с низкой жесткостью технологической системы c или со значительным затуплением инструмента и соответственно увеличением отношения $\sigma / K_{рез}$. В результате происходит своего рода копирование исходной погрешности обрабатываемой поверхности, т.е. исходная погрешность обработки отверстий не устраняется.

В данном случае величина упругого перемещения y определяет точность размера обрабатываемой поверхности: чем меньше y , тем выше точность обрабатываемого отверстия. Наряду с обеспечением точности размера обрабатываемой поверхности, при обработке отверстия важно выполнить требования по точности формы обрабатываемой поверхности. В связи с этим, представляет интерес аналитическое определение погрешности обработки отверстия в виде его несоосности, которая является одним из основных параметров точности обработки отверстия (рисунок 1).

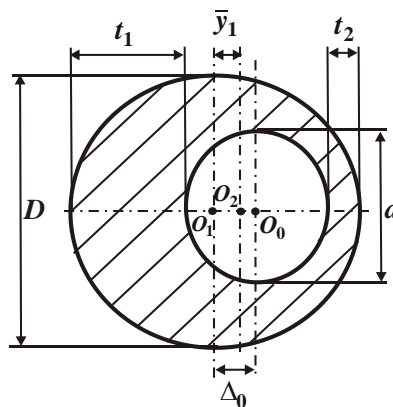


Рисунок 1 – Расчетная схема определения несоосности обрабатываемого отверстия при растачивании

Предположим, что исходная несоосность обрабатываемого отверстия равна величине Δ_0 (расстоянию между центром исходной окружности отверстия O_0 и положением оси инструмента до обработки O_1). Тогда величины упругих перемещений y_1 и y_2 , возникающих в технологической системе в моменты резания с наибольшей глубиной резания $(t + \Delta_0)$ и наименьшей глубиной резания $(t - \Delta_0)$, соответственно равны:

$$y_1 = \frac{(t + \Delta_0)}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{рез}}{\sigma \cdot S}\right)}; \quad (4)$$

$$y_2 = \frac{(t - \Delta_0)}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{рез}}{\sigma \cdot S}\right)}, \quad (5)$$

где $t = (D - d)/2$; D , d – соответственно диаметры обработанного и обрабатываемого отверстий, м.

Несоосность обрабатываемого отверстия, равная расстоянию между положениями оси инструмента до обработки O_1 и при первом проходе O_2 , определится

$$\bar{y}_1 = y_1 - y_2 = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)}. \quad (6)$$

Из зависимости (6) следует, что основным путем уменьшения величины \bar{y}_1 является уменьшение величины Δ_0 . Остальные параметры, входящие в зависимость (6), оказывают влияние на величину \bar{y}_1 такое же, как и на величина упругого перемещения y в зависимости (2). Следовательно, закономерности формирования величин y и \bar{y}_1 одни и те же. Отличие состоит лишь в количественных значениях глубины резания t и величины $2\Delta_0$, входящей в зависимости (2) и (6). При условии $t > 2\Delta_0$ точность обработки отверстия будет обусловлена точностью размера, а при условии $t < 2\Delta_0$, наоборот, точностью формы обрабатываемого отверстия.

Определим, на сколько уменьшится несоосность отверстия при втором проходе инструмента. В этом случае наибольшая и наименьшая глубины резания соответственно выразятся: $(t + y_1)$ и $(t + y_2)$, где y_1, y_2 – величины упругих перемещений, возникающих в технологической системе, определяемые зависимостями (4) и (5). Тогда несоосность обрабатываемого отверстия при втором проходе инструмента определится по зависимости, аналогичной зависимости (6):

$$\bar{y}_2 = \frac{(t + y_1)}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)} - \frac{(t + y_2)}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)} = \frac{\bar{y}_1}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)} = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)^2}. \quad (7)$$

Сравнивая зависимости (6) и (7) видно, что величина \bar{y}_2 всегда меньше величины \bar{y}_1 , поскольку знаменатель зависимости (7) больше знаменателя зависимости (6). Следовательно, увеличение количества проходов инструмента приводит к уменьшению несоосности обрабатываемого отверстия.

Аналогично зависимости (7), можно определить несоосность обрабатываемого отверстия (т.е. величину \bar{y}_n после n -го прохода инструмента):

$$\bar{y}_n = \frac{2 \cdot \Delta_0}{\left(1 + \frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S}\right)^n}. \quad (8)$$

Из зависимости (8) следует, что величина \bar{y}_n с увеличением количества проходов инструмента n уменьшается по закону геометрической прогрессии, т.е. достаточно интенсивно. Поэтому заданную величину \bar{y}_n можно достичь за относительно небольшое количество проходов инструмента. Однако это справедливо при условии $\frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S} > 1$. При условии $\frac{c \cdot K_{\text{pez}}}{\sigma \cdot S} < 1$ добиться снижения несоосности отверстия с увеличением количества проходов инструмента n значительно сложнее, т.к. сьем металла фактически отсутствует и исправление погрешности формы отверстия не происходит – имеет место копирование исходной погрешности обработки.

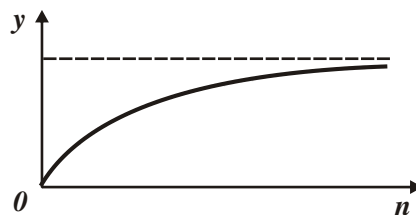


Рисунок 2 – Зависимость величины упругого перемещения y от количества проходов инструмента n

Необходимо отметить, что величина упругого перемещения y (определяющая точность размера обрабатываемого отверстия) с увеличением количества проходов инструмента n , как показано в работе [3], непрерывно увеличивается, асимптотически приближаясь к определенному значению (рисунок 2). Следовательно, с точки зрения повышения точности размера обрабатываемого отверстия целесообразно сьем припуска производить за один или несколько проходов инструмента, а с точки зрения повышения соосности отверстия, наоборот, необходимо увеличивать количество проходов инструмента n . Очевидно, существует оптимальное количество проходов инструмента n , при котором одновременно обеспечиваются требуемые показатели точности размера и формы обрабатываемого отверстия.

Рассмотрим закономерности образования погрешности обрабатываемого отверстия в виде несоосности при его рассверливании. Принципиально расчет величины \bar{y}_n остается прежним (рисунок 1) при условии, что с каждым последующим проходом радиус сверла необходимо увеличивать на величину глубины резания t . В

противном случае, т.е. при рассверливании отверстия сверлом одного размера, с каждым последующим его проходом (в связи с уменьшением величины \bar{y}_n) будет увеличиваться диаметр обрабатываемого отверстия и соответственно ухудшаться точность размера обрабатываемого отверстия. Из этого вытекает, что при рассверливании отверстия целесообразно съём припуска производить за один проход сверла или с использованием сверл различного диаметра – за несколько проходов. При растачивании отверстия, как показано выше, можно осуществить несколько проходов инструмента по схеме “выхаживания”, т.е. без поперечной подачи, и это положительно отразится на точности обработки отверстия.

Следовательно, процесс растачивания по сравнению с процессом рассверливания отверстия располагает большими возможностями в плане повышения точности обработки, т.е. обработка мерным инструментом (каким является сверло) может быть эффективно использована на предварительных операциях, где не требуется достижения высоких показателей точности обработки. С этой точки зрения процесс внутреннего шлифования, аналогично процессу растачивания отверстия, также располагает значительными технологическими возможностями в плане повышения точности обработки, что подтверждается многолетней практикой механической обработки.

Выводы. Аналитически описаны параметры точности размера и формы обрабатываемого отверстия при его растачивании и рассверливании. Обоснованы закономерности формирования погрешностей обработки отверстий при многопроходном съеме припуска для различных методов обработки. Установлено, что с увеличением количества проходов инструмента несоосность обрабатываемого отверстия уменьшается по геометрической прогрессии, погрешность размера обработки, наоборот, увеличивается. Исходя из этого, доказана целесообразность съема припуска при растачивании за несколько проходов инструмента. В работе также обоснованы условия повышения точности обработки отверстий. Выявлены отличительные особенности образования погрешностей обработки при растачивании и рассверливании отверстий и показана эффективность применения процесса растачивания для высокоточной обработки отверстий.

Библиографический список использованной литературы

1. Маталин А.А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов / А.А. Маталин. – М.: Машиностроение, 1970. – 390 с.
2. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения / Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 359 с.
3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с.
4. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.

Поступила в редакцию 15.03.2013г.