

УДК 621.951.025

Т.Г. Джугурян, д-р техн. наук, проф.,
 В.М. Тонконогий, канд. техн. наук, доц.,
 Л.М. Перпери, магистр,
 Одес. нац. политехн. ун-т

ПРЕЦИЗИОННАЯ ОБРАБОТКА СТУПЕНЧАТЫХ ОТВЕРСТИЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ ОДНОСТОРОННЕГО РЕЗАНИЯ

Т.Г. Джугурян, В.М. Тонконогий, Л.М. Перпери. **Прецизійна обробка ступінчастих отворів комбінованим інструментом одностороннього різання.** Розглянуто спосіб обробки ступінчастих отворів комбінованим інструментом одностороннього різання.

T.G. Dzhuguryan, V.M. Tonkonogy, L.M. Perperi. **Precision machining of step holes by a combined unilateral cutting tool.** The way of machining step holes by a combined unilateral cutting tool is considered.

В машиностроении широко используются детали, содержащие прецизионные ступенчатые отверстия с квалитетами точности IT 4...5 [1]. Заданная точность отверстий, предварительно обработанных расточным инструментом одностороннего резания с получением квалитета точности IT 6...7, достигается окончательной их обработкой комбинированными абразивными инструментами одностороннего резания, которые позволяют одновременно осуществлять процесс резания абразивной обработки и выглаживания. Технологические схемы и конструкции инструментов для обработки ступенчатых отверстий зависят от геометрических параметров ступеней последних.

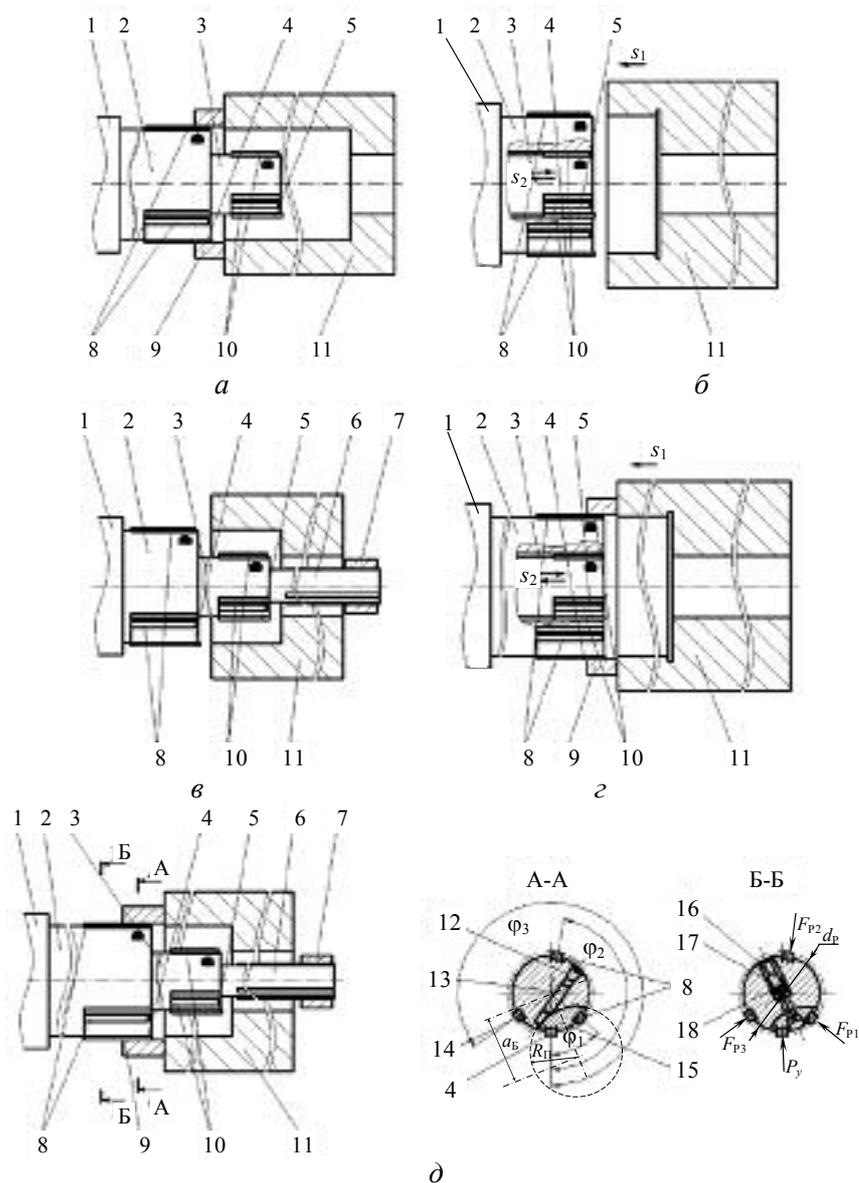
Для определения условий эффективной работы комбинированного инструмента одностороннего резания при обработке ступенчатых отверстий деталей потребовалось решить следующие задачи:

- разработать схемы обработки различных типов отверстий комбинированными абразивными инструментами одностороннего резания;
- определить условия эффективной работы инструмента с механизмом компенсации износа;
- получить зависимости для расчета силового поля, действующего на комбинированный инструмент одностороннего резания при обработке ступенчатых отверстий.

Точность обработки различных типов ступенчатых отверстий комбинированным инструментом одностороннего резания зависит от геометрических параметров отверстий и схем совмещенной обработки (см. таблицу, где l_1/l_2 — соотношение длин первой и второй ступеней отверстия; КИОР — комбинированный инструмент одностороннего резания; ШУ — шпиндельный узел; КВ — кондукторная втулка).

Точность обработки ступенчатых отверстий в зависимости от их геометрических параметров и схем совмещенной обработки

Диаметры отверстий, мм	l_1/l_2	IT [2]	Несоосность отверстий, мкм	Направление КИОР посредством технологической системы	Схема обработки (см. рисунок)
30...150	>1,5	4...5	$\geq 2,5$	ШУ — КИОР — КВ	<i>a</i>
	<0,5		≥ 5	ШУ — КИОР — КИОР — КВ ШУ	<i>b</i>
	<0,5		5...10	ШУ — КИОР — КВ после отверстия	<i>в</i>
	0,5...1,5		≥ 5	ШУ — КИОР — КВ — КИОР — КВ ШУ	<i>г</i>
	0,5...1,5		10...15	ШУ — КИОР — две КВ	<i>д</i>



Схемы совмещенной обработки ступенчатых отверстий с размерными соотношениями длин ступеней l_1/l_2 и несоосностью, соответственно $>1,5$ и $\geq 2,5$ мкм (а); $<0,5$ и ≥ 5 мкм (б); $<0,5$ и $5 \dots 10$ мкм (в); $0,5 \dots 1,5$ и ≥ 5 мкм (г), $0,5 \dots 1,5$ и ≥ 5 мкм (д) комбинированным инструментом: 1 — корпус инструмента; 2, 3 — первая и вторая рабочие ступени инструмента; 4, 5 — абразивные элементы первой и второй ступеней инструмента; 6 — направляющая ступень инструмента; 7 — кондукторная втулка; 8, 10 — опорные направляющие элементы первой и второй ступеней; 9 — кондукторная втулка; 11 — заготовка; 12 — винт; 13 — регулировочный штифт; 14 — боковой направляющий элемент; 15 — поворотный блок; 16 — винт; 17 — резьбовая втулка; 18 — пружина; s_1, s_2 — рабочие подачи заготовки и инструмента, соответственно

Предлагаются схемы совмещенной обработки ступенчатых отверстий, зависящие от соотношения длин их ступеней. Если $l_1/l_2 > 1,5$ и несоосность отверстий $\geq 2,5$ мкм — используется КИОР, состоящий из корпуса 1, рабочих ступеней 2 и 3. На рабочих ступенях 2 и 3 закреплены абразивные элементы 4, 5 и опорные направляющие элементы 8, 10, соответственно. Вначале ведется обработка первой ступени отверстия большего диаметра с использованием кондуктор-

ной втулки 9 на приспособлении (на рисунках не показаны) станка перед отверстием первой ступени, обработка второй ступени осуществляется без кондукторной втулки, а затем проводится одновременная обработка двух ступеней отверстия. Направление инструмента осуществляется технологической системой “ШУ — КИОР — КВ”. Абразивные элементы 4 и 5 осуществляют процесс размерной абразивной обработки, направляющие элементы 8 и 10 — процесс выглаживающей обработки. Процесс обработки осуществляется при вращательном движении инструмента и поступательном движении заготовки.

При обработке отверстий с соотношением $l_1/l_2 < 0,5$ и несоосностью отверстий ≥ 5 мкм используется одна кондукторная втулка на шпиндельном узле (на рисунках не показаны). Обработка осуществляется КИОР, состоящим из: корпуса 1; первой неподвижно закрепленной на шпиндельном узле рабочей ступени 2 с установленными на ней абразивным элементом 4 и опорными направляющими элементами 8, предназначенной для обработки первой ступени отверстия; второй подвижной рабочей ступени 3 с закрепленными абразивным элементом 5 и опорными направляющими элементами 10, предназначенной для обработки второй ступени отверстия меньшего диаметра. При обработке первой ступени отверстия направление первой рабочей ступени 2 инструмента осуществляется без использования кондукторной втулки, а рабочая подача s_1 заготовки 11 — подвижным столом станка (на рисунках не показаны). При обработке второй ступени отверстия направление второй подвижной ступени 3 инструмента выполняется системой “ШУ — КИОР — КВ ШУ”. Для осуществления перемещения s_2 рабочей ступени 3 инструмента может служить механизм пинольной подачи на шпиндельном узле (на рисунках не показаны). Направление инструмента выполняется технологической системой “ШУ — КИОР — КИОР — КВ ШУ”. Отличием данной схемы является то, что при соотношениях диаметров ступенчатых отверстий $> 1,3$ для обеспечения заданных параметров точности, возможна обработка с различной частотой вращения инструмента.

Обработка отверстий с соотношением $l_1/l_2 < 0,5$ и несоосностью отверстий $5 \dots 10$ мкм может выполняться и по упрощенной схеме, при отсутствии механизма пинольной подачи, с использованием одной кондукторной втулки 7, которая помещается за отверстием второй ступени, а конструкция КИОР отличается от конструкции инструмента (см. рисунок *a*) наличием направляющей ступени 6, обеспечивающей возможность базирования инструмента по кондукторной втулке 7. Сначала осуществляется абразивное растачивание второй ступени отверстия, а затем одновременная обработка первой и второй ступеней отверстия рабочими ступенями 2, 3 инструмента. Направление инструмента выполняется технологической системой “ШУ — КИОР — КВ после отверстия”.

Обработка отверстий с соотношением $l_1/l_2 = 0,5 \dots 1,5$ и несоосностью отверстий ≥ 5 мкм отличается от обработки отверстий с соотношением $l_1/l_2 < 0,5$ и такой же несоосностью необходимостью применения двух кондукторных втулок для обеспечения точности направления инструмента. Кондукторная втулка 9 для обработки первой ступени отверстия размещается на приспособлении станка, а для второй ступени — на шпиндельном узле. Обработка первой ступени заготовки 11 осуществляется первой рабочей ступенью 2 инструмента, неподвижно закрепленной на шпинделе, а рабочая подача s_1 заготовки 11 — подвижным столом станка. Обработка второй ступени отверстия выполняется второй подвижной рабочей ступенью 3 инструмента, имеющей возможность перемещения s_2 вдоль оси шпинделя и направляемой системой “ШУ — КИОР — КВ ШУ”. Направление инструмента выполняется технологической системой “ШУ — КИОР — КВ — КИОР — КВ ШУ”, а его рабочая подача s_2 — механизмом пинольной подачи.

Обработка ступенчатых отверстий с соотношением $l_1/l_2 = 0,5 \dots 1,5$ и несоосностью отверстий $10 \dots 15$ мкм может производиться и по упрощенной схеме при отсутствии механизма пинольной подачи инструмента. В этом случае используются две кондукторные втулки 7 и 9, располагаемые до и после обрабатываемого отверстия. Инструмент состоит из корпуса 1, двух рабочих ступеней 2, 3 и направляющей ступени 6. Направление инструмента выполняется технологической системой “ШУ — КИОР — две КВ”.

Эффективная работа инструмента определяется, с одной стороны, гарантированным отсутствием контакта абразивного элемента с поверхностью кондукторной втулки, а с другой

стороны, оптимальным давлением абразивного элемента на обрабатываемую поверхность. Указанное давление зависит от радиального усилия, действующего на абразивный элемент, и площади его контакта с обрабатываемой поверхностью.

Комбинированная обработка отверстий осуществляется при вращательном и возвратно-поступательном движениях инструмента. Процесс абразивного растачивания отверстия первой ступени большего диаметра начинается в результате взаимодействия вершин всех направляющих элементов 8 и 14 с обрабатываемой поверхностью. В результате этого поворотный блок 15, в котором установлены абразивный 4 и направляющий опорный 8 элементы, повернется против часовой стрелки и выдвинет абразивный элемент 4 до взаимодействия с обрабатываемой поверхностью [3]. Работа поворотного блока 15 второй ступени 3 инструмента осуществляется аналогично.

В процессе обработки диаметр отверстия уменьшается вследствие преимущественного износа абразивного элемента 4, в результате чего направляющие опорные 8 и боковой 14 элементы перемещаются в радиальном направлении. При этом поворотный блок 15 повернется, повысив радиальное давление на абразивный элемент 4, что приведет к увеличению диаметра обрабатываемого отверстия, обеспечивая компенсацию износа абразивного элемента 4 [2]. Компенсация износа абразивного элемента 5 второй рабочей ступени 3 осуществляется аналогично.

При расположении КИОР в кондукторной втулке 9 поворотный блок 15 повернут по часовой стрелке относительно корпуса 1 таким образом, чтобы вершина направляющего элемента 8, установленного в поворотном блоке 15, была выдвинута в радиальном направлении. В результате этого диаметр окружности, описанной вокруг направляющих элементов 8 и 14, превышает рабочий диаметр инструмента, определяющий диаметр обрабатываемого отверстия, что позволяет исключить контакт абразивного элемента 4 с поверхностью кондукторной втулки 9 и осуществляется при условии, что

$$M_{\text{Тр1}} < M_{\text{Тр2}} \quad ,$$

где $M_{\text{Тр1}} = R_{\text{П}} \mu_{\text{К}} \left(\sum_{i=1}^n P_y \sin 0,5\varphi_1 + \sum_{i=1}^n P_y \mu_{\text{Р}} \cos 0,5\varphi_1 + \sum_{i=1}^n F_{\text{П1}} + \sum_{i=1}^n F_{\text{Р1}} \cos 0,5\varphi_1 - \sum_{i=1}^n F_{\text{Р1}} \mu_{\text{В}} \sin 0,5\varphi_1 \right)$ — момент трения между корпусом инструмента 1, поворотным блоком 15 и регулировочным штифтом 13, Н·м;

$$M_{\text{Тр2}} = \sum_{i=1}^n F_{\text{П2}} (a_{\text{В}} - 0,5d_{\text{Р}}) \quad \text{— момент трения, создаваемый плоской пружиной винта 16,}$$

$R_{\text{П}}$ — радиус продольного паза корпуса 1 инструмента, м;

$\mu_{\text{К}}, \mu_{\text{Р}}, \mu_{\text{В}}$ — средние значения коэффициентов трения между: поворотным блоком 15 и корпусом 1 инструмента; абразивным элементом 4 и обрабатываемой поверхностью; направляющим элементом 8, установленным в поворотном блоке 15, и обрабатываемой поверхностью, соответственно;

P_y — радиальная составляющая силы резания, Н;

φ_1 — угол между абразивным 4 и направляющим элементом 8, установленным в поворотном блоке 15, град;

$F_{\text{П1}}, F_{\text{П2}}$ — рабочие усилия пружины 18 и плоской пружины винта 16, Н;

$F_{\text{Р1}}$ — радиальная составляющая силы, действующая на направляющий элемент 8, установленный в поворотном блоке 15, Н;

n — количество рабочих ступеней инструмента;

$a_{\text{В}}$ — расстояние между продольной осью корпуса 1 и осью поворота блока 15, м;

$d_{\text{Р}}$ — диаметр рабочей части инструмента, м.

Контроль окончания размерной обработки отверстия осуществляется на основе крутящего момента привода главного движения

$$M_P = \sum_{i=1}^n M_{XP} + 0,5d_P \left[\mu_P \sum_{i=1}^n P_y + \mu_B \sum_{i=1}^n (F_{P1} + F_{P2} + F_{P3}) \right],$$

где M_{XP} — момент холостого хода привода главного движения при размерной обработке, Н·м;
 F_{P2}, F_{P3} — радиальные составляющие сил, действующих на направляющие элементы: опорный 8 и боковой 14, установленные в корпусе 1 инструмента, в процессе обработки, Н;

Радиальные составляющие сил резания F_{P1}, F_{P2}, F_{P3} можно найти, решив систему из двух уравнений статического равновесия инструмента

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n F_{P3}(\sin \varphi_3 + \mu_B \cos \varphi_3) - \sum_{i=1}^n F_{P1}(\sin \varphi_1 + \mu_B \cos \varphi_1) - \sum_{i=1}^n F_{P2}(\sin \varphi_2 + \mu_B \cos \varphi_2) - \mu_P \sum_{i=1}^n P_y = 0, \\ \sum_{i=1}^n F_{P1}(\cos \varphi_1 - \mu_B \sin \varphi_1) + \sum_{i=1}^n F_{P2}(\cos \varphi_2 - \mu_B \sin \varphi_2) - \sum_{i=1}^n F_{P3}(\cos \varphi_3 - \mu_B \sin \varphi_3) + \sum_{i=1}^n P_y = 0, \end{cases}$$

и такого же уравнения поворотного блока

$$\left(\mu_P \sum_{i=1}^n P_y - \mu_B \sum_{i=1}^n F_{P1} \right) A + \left(\sum_{i=1}^n P_y - \sum_{i=1}^n F_{P1} \right) a_B \sin 0,5\varphi_1 + M_{Tp1} + M_{Tp2} = 0,$$

где $A = \sqrt{0,25d_P^2 + a_B^2 - d_P a_B \cos \varphi_1 - a_B^2 \sin^2 0,5\varphi_1}$;

φ_2, φ_3 — углы между абразивным элементом 4 и направляющими элементами: опорным 8 и боковым 14, установленными в корпусе 1 инструмента, соответственно, град.

Предложенные схемы совмещенной обработки ступенчатых прецизионных отверстий инструментом с абразивно-выглаживающими элементами позволяют получить их высокую точность взаимного расположения с помощью полученных зависимостей можно определить оптимальные условия обработки и силовое поле, действующее на инструмент. Применение инструментов с абразивно-выглаживающими элементами для комбинированной обработки способствует повышению точности отверстий, предварительно обработанных лезвийными расточными инструментами одностороннего резания, на 1...2 квалитета.

Литература

1. Линчевский П.А. Обработка деталей на отделочно-расточных станках / Линчевский П.А., Джугурян Т.Г., Оргиян А.А. Под общей ред. П.А. Линчевского. — К.: Техніка, 2001. — 300 с.
2. ДСТУ ISO 286-2: 2002. Допуски і посадки за системою ISO. Ч. 2: Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів (ISO 286-2: 1988, ITD) — К.: Держспоживстандарт України, 2004. — 43 с.
3. Джугурян Т.Г. Инструмент одностороннего резания с механизмом компенсации износа для абразивного растачивания / Джугурян Т.Г., Тонконогий В.М., Перпери Л.М. // Резание и инструмент в технологических системах. Междунар. научн.-техн. сб. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. — Вып. 65. — С. 57 — 60.

Поступила в редакцию 13 февраля 2004 г.