

РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОВ ПРИПУСКОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Расчет размеров деталей с учетом эксцентриситетов припусков можно рассмотреть на примере комплексной детали «Чашка дифференциала».

Проанализировав деталь «Чашка», можно сказать, что эта деталь образована сочетанием различных поверхностей.

В процессе размерного анализа технологического процесса (РАТП), особенно на начальном этапе, одним из важнейших факторов является правильность построения дерева эксцентриситетов заготовки и обрабатываемой детали. Дело в том, что при наличии нескольких цилиндрических поверхностей диаметр не может полностью описать геометрию детали. Необходимо еще знать взаимное расположение поверхностей. Геометрически это может быть определено через эксцентриситеты. С этой целью для наиболее ответственных поверхностей (в первую очередь для конструкторских баз) на чертежах деталей задается величина радиального биения, равная удвоенному эксцентриситету.

Технологический процесс механической обработки детали «Чашка» состоит из следующих операций: трех автоматного-токарных, круглошлифовальной, токарной с ЧПУ, агрегатной, вертикально-сверлильной, шлиценакатной, зубозакругляющей.

При выполнении РАТП, по приведенному маршруту механической обработки детали «Чашка», построим схему обработки, рис. 1. При построении схемы обработки, выполняя каждый новый переход механической обработки поверхностей, необходимо указывать новую ось и рассчитывать ее смещение относительно прежнего положения, т.е. необходимо определять эксцентриситет припуска. Смещение осей необходимо удваивать, так как каждое смещение может располагаться в любую сторону от номинала. Следовательно, расстояние между двумя предельными положениями оси равно удвоенной величине смещения, а номинальная величина смещения всегда равна нулю.

Воспользуемся следующими обозначениями: $2e_i$ – смещение оси в результате механической обработки соответствующей цилиндрической поверхности; $2e_{zi}$ – эксцентриситет припуска; 1-8 – обрабатываемые поверхности.

После построения схемы обработки необходимо построить граф размерных цепей эксцентриситетов детали (рис. 2).

В процессе построения вершины графа нумеруем следующим образом: первая цифра обозначает номер оси в соответствии со схемой обработки (см. рис. 1), а в скобках указывается первой цифрой номер операции, буквой – очередность перехода, второй – номер поверхности в соответствии со схемой обработки, заданные чертежом радиальные биения $2TE_i$.

Далее выявляют размерные цепи и составляют расчетные уравнения размерных цепей. При составлении уравнений пользуются правилом "обхода". Оно заключается в том, что замыкающему звену присваивается знак минус, и, начиная с этого звена, обходят замкнутый контур в определенном направлении. Обход начинают с вершины с меньшим порядковым номером. Если в порядке обхода следующее звено будет соединять вершину меньшего порядкового номера с вершиной большего порядкового номера, то такому ребру присваивается знак плюс и наоборот.

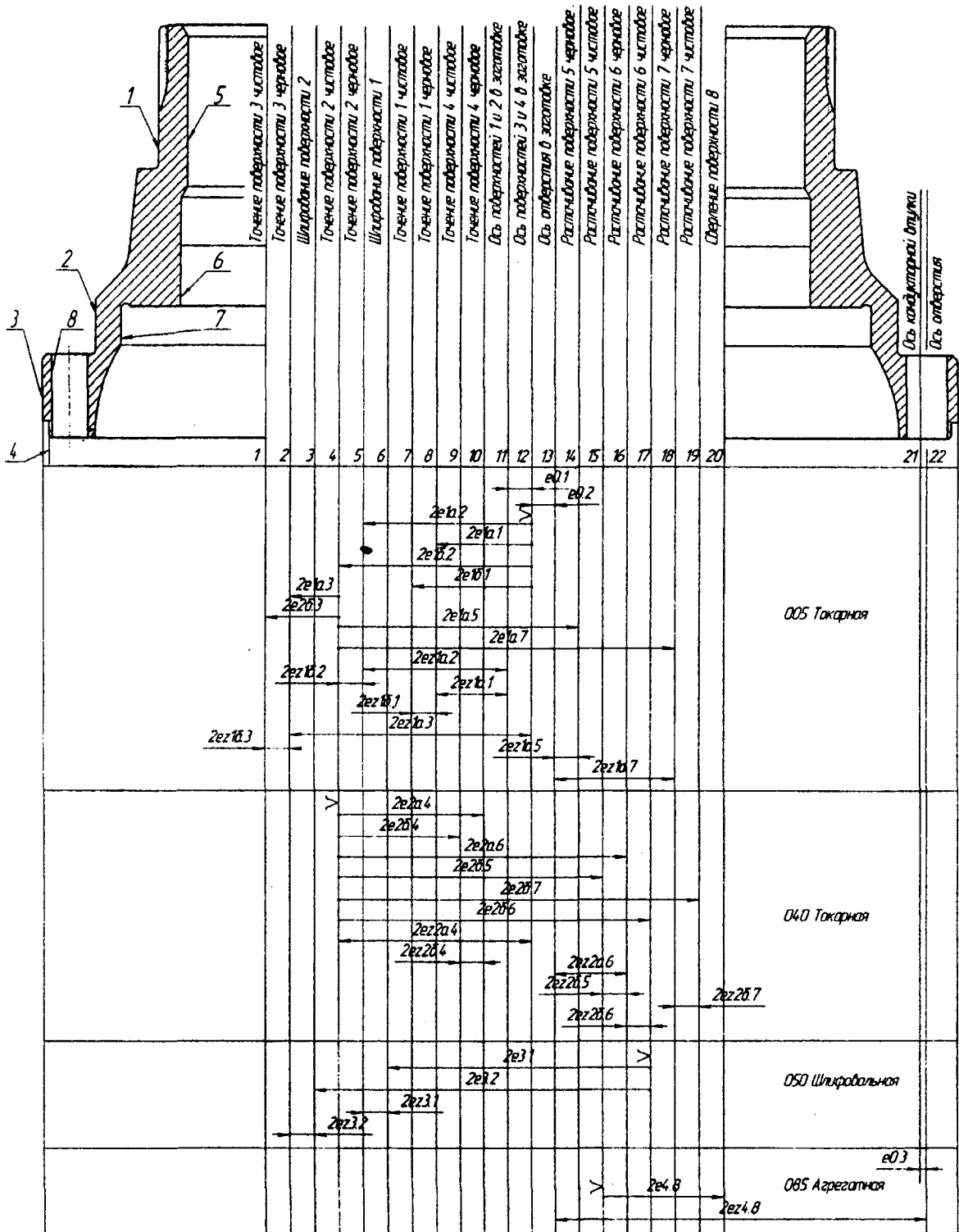


Рис. 1. Размерная схема техпроцесса обработки детали «Чашка»

В выявленных размерных цепях составляющими звеньями являются смещение осей обрабатываемых поверхностей (эксцентриситеты) e_i , замыкающими – эксцентриситеты припусков e_{zi} , расчетные T_e и заданные чертежом T_E технические условия. По такому графу можно выявить любую размерную цепь и произвести суммирование составляющих звеньев для определения ожидаемой погрешности любого замыкающего звена. Размерные цепи и соответствующие им расчетные уравнения технологического процесса обработки детали «Чашка» представлены на рис. 4.

Далее рассчитаем ожидаемую погрешность (эксцентриситет) припусков и определим допустимые значения радиальных биений. Для этого необходимо знать значения погрешностей установки детали в приспособление и погрешностей формы, возникающих в процессе выполнения операций механической обработки.

Расчеты, выполняемые по размерным цепям, для удобства сведем в табл. 1

Для расчета величин эксцентриситетов припусков e_{zi} необходимо знать эксцентриситеты e_i ; входящие в размерные цепи искомых величин (см. табл. 1) Например, для припуска $2e_{z1a.1}$ в размерную цепь войдут эксцентриситеты $2e_{1a.1}$ и $2e_{0.1}$.

Значения погрешности установки принимаем по [3 с. 520 табл. 1]. Δ_u – величина деформации системы СПИД из-за нестабильности сил резания.

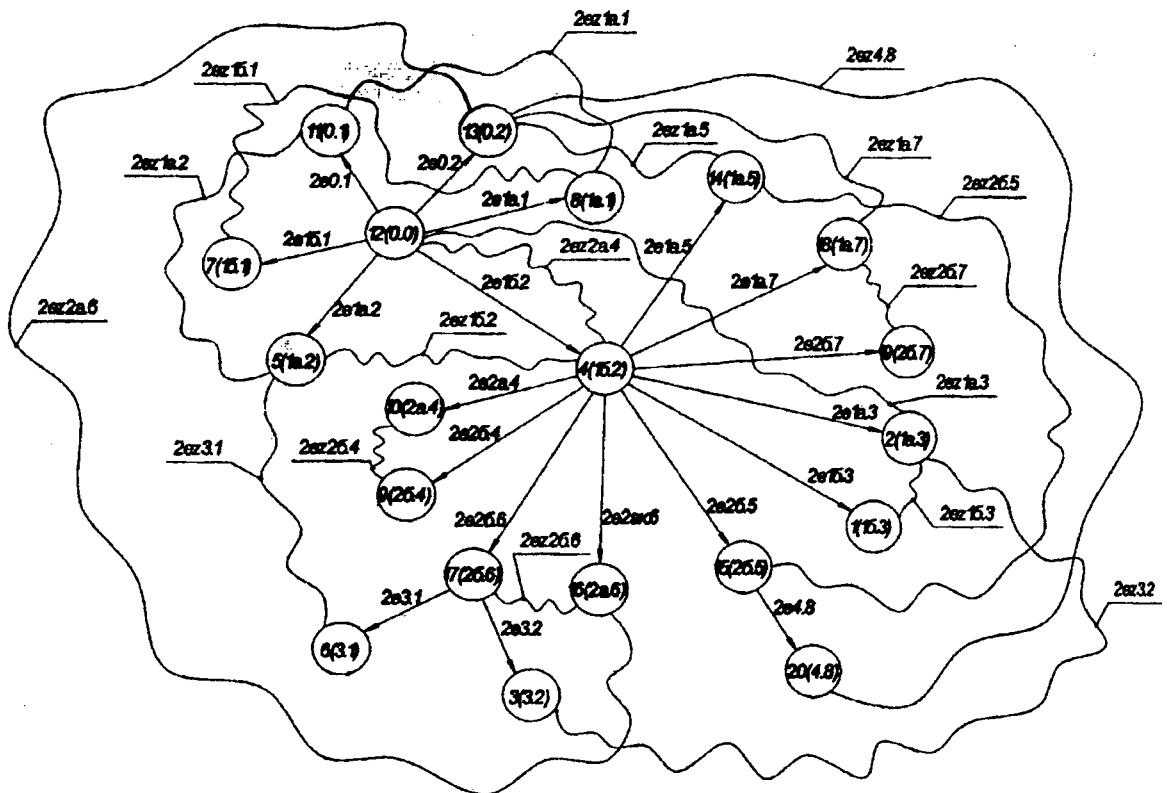


Рис. 2. Граф размерных цепей эксцентриситетов детали

В формулах используются следующие обозначения: Δ_k – удельная кривизна; принимается в зависимости от диаметра поверхности и способа получения заготовки; удельная кривизна Δ_k , будет равна 0,5 мкм/мм. [2, с. 102, табл. 4.29]; ϵ – коэффициент уменьшения погрешности; для чернового точения 0,06; для сверления отверстий 0,05; для чистового точения штампованных заготовок 0,04; для растачивания 0,05; для шлифования 0,002; [2, с. 104].

Таблица 1 – Размерные расчеты для детали «Чашка»

| Обозначение | Номер цепи | Расчетные уравнения | Исходное уравнение |
|-------------|------------|--|-------------------------------------|
| 2ez2a.4 | 1 | $-2ez2a.4+2el6.2=0$ | $2ez2a.4=2el6.2$ |
| 2ezla.1 | 2 | $-2ezla.1+2ela.1-2e0.1=0$ | $2ezla.1=2ela.1-2e0.1$ |
| 2ezla.2 | 3 | $-2ezla.2+2e0.1-2ela.2=0$ | $2ezla.2=2e0.1-2ela.2$ |
| 2ezl6.1 | 4 | $-2ezl6.1+2ela.1-2el6.1=0$ | $2ezl6.1=2ela.1-2el6.1$ |
| 2ez3.1 | 5 | $-2ez3.1+2ela.2-2el6.2+2e26.6-2e3.1=0$ | $2ez3.1=2ela.2-2el6.2+2e26.6-2e3.1$ |
| 2ez2a.6 | 6 | $-2ez2a.6-2e0.2-2el6.2+2e2a.6=0$ | $2ez2a.6=2e2a.6-2e0.2-2el6.2$ |
| 2ezla.3 | 7 | $-2ezla.3+2ela.3+2el6.2=0$ | $2ezla.3=2ela.3+2el6.2$ |
| 2ezla.1 | 8 | $-2ezla.7-2ela.7+2el6.2+2e0.2=0$ | $2ezla.7=2el6.2+2e0.2-2ela.7$ |
| 2ezla.5 | 9 | $-2ezla.5-2ela.5+2el6.2+2e0.2=0$ | $2ezla.5=2el6.2+2e0.2-2ela.5$ |
| 2ez4.8 | 10 | $-2ez4.8-2e4.8-2e26.5+2el6.2+2e0.2=0$ | $2ez4.8=2el6.2+2e0.2-2e4.8-2e26.5$ |
| 2ez26.4 | 11 | $-2ez26.4-2e2a.4+2e26.4=0$ | $2ez26.4=2e26.4-2e2a.4$ |
| 2ez26.6 | 12 | $-2ez26.6-2e26.6+2e2a.6=0$ | $2ez26.6=2e2a.6-2e26.6$ |
| 2ez3.2 | 13 | $-2ez3.2+2e3.2-2e26.6-2ela.3=0$ | $2ez3.2=2e3.2-2e26.6-2ela.3$ |
| 2ez26.5 | 14 | $-2ez26.5-2e26.5+2ela.5=0$ | $2ez26.5=2ela.5-2e26.5$ |
| 2ezl6.3 | 15 | $-2ezl6.3+2el6.3-2ela.3=0$ | $2ezl6.3=2el6.3-2ela.3$ |
| 2ezl6.2 | 16 | $-2ezl6.2+2ela.2-2el6.2=0$ | $2ezl6.2=2ela.2-2el6.2$ |
| 2ez26.7 | 17 | $-2ez26.7-2e26.7+2ela.7=0$ | $2ez26.7=2ela.7-2e26.7$ |

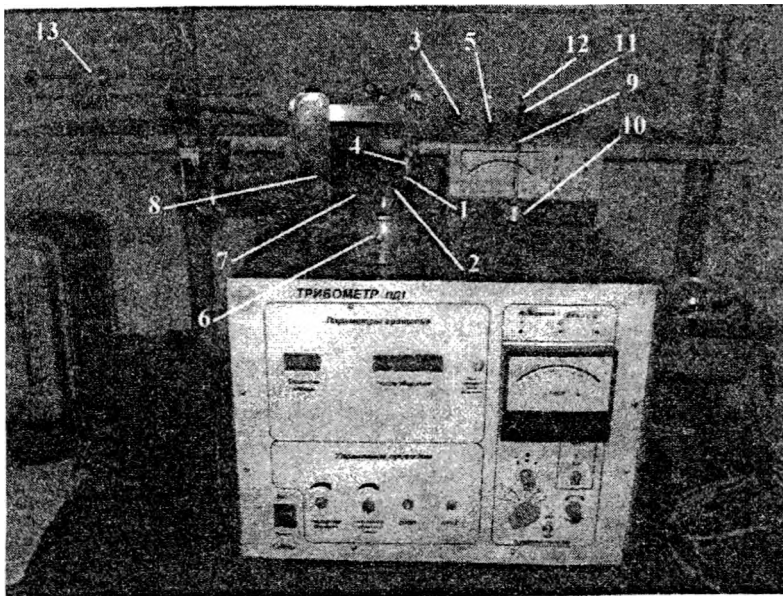


Рис. 3. Внешний вид трибометра ПД – 1:

- 1 – держатель верхнего образца; 2 – держатель нижнего образца; 3 – каретка; 4 – гайка;
 5 – траверса; 6 – корпус; 7 – опорный цилиндр; 8 – поворотная стойка; 9 – демпфер,
 10 – чашка; 11 – грузовая каретка; 12 – винт; 13 – противовес

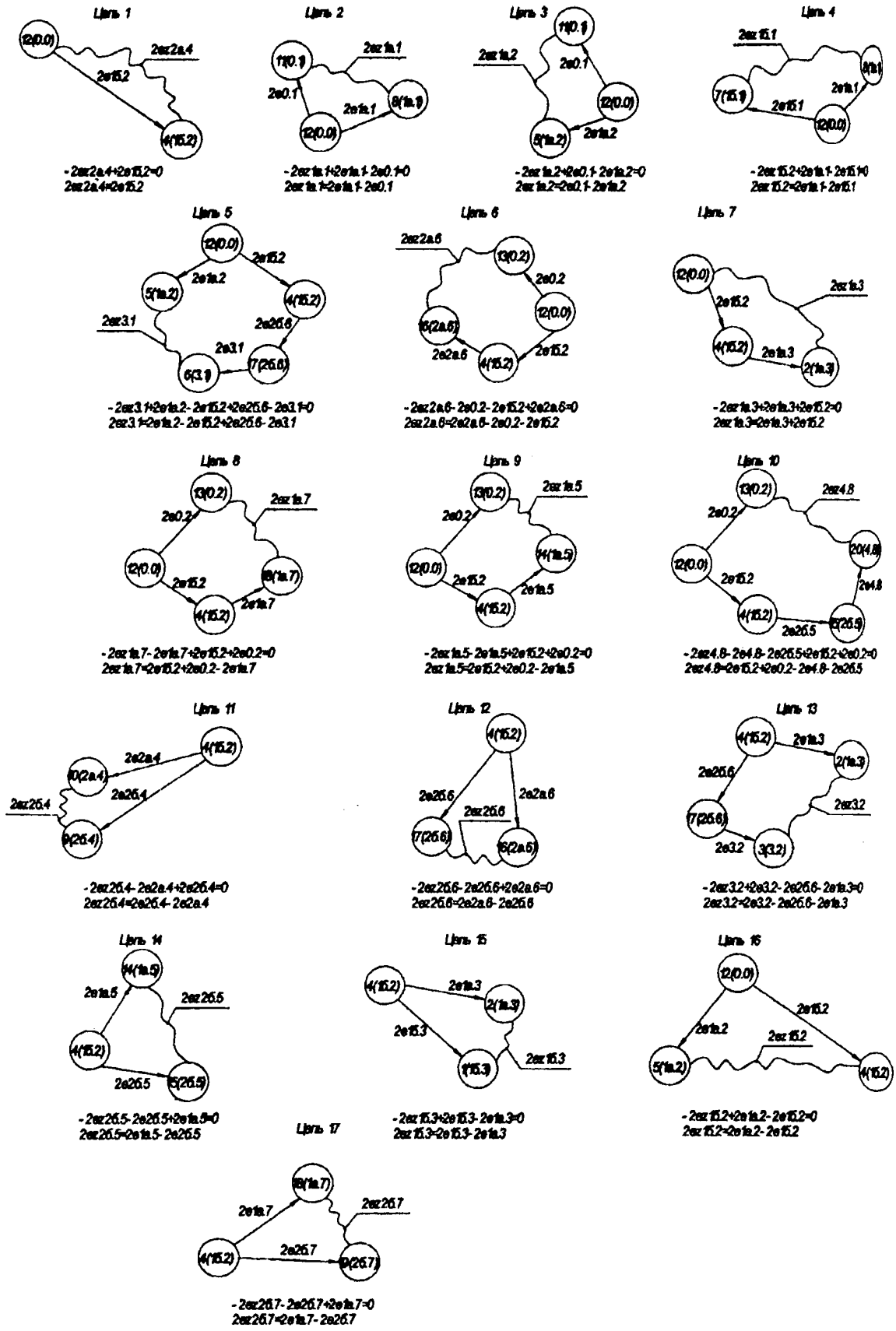


Рис. 4. Размерные цепи технологического процесса обработки

Расчет эксцентриситетов приведем в таблице 2

Таблица 2 – Расчет эксцентриситетов для детали

| Обозначение | Формула | Значение, мм | Переход операции, установ, на которых возникает эксцентриситет |
|-------------|----------------------------|--------------|--|
| 2e1a.2 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0165 | Точение поверхности 2 черновое |
| 2e1a.1 | Δy | 0.0065 | Точение поверхности 1 черновое |
| 2e1б.2 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0165 | Точение поверхности 2 чистовое |
| 2e1б.1 | Δy | 0.0065 | Точение поверхности 1 чистовое |
| 2e1a.3 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0165 | Точение поверхности 3 черновое |
| 2e1б.3 | Δy | 0.0065 | Точение поверхности 3 чистовое |
| 2e1a.5 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0185 | Растачивание поверхности 5 черновое |
| 2e1a.7 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0185 | Растачивание поверхности 7 черновое |
| 2e2a.4 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0165 | Точение поверхности 4 черновое |
| 2e2б.4 | Δy | 0.0065 | Точение поверхности 4 чистовое |
| 2e2a.6 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0185 | Растачивание поверхности 6 черновое |
| 2e2б.5 | Δy | 0.0035 | Растачивание поверхности 5 чистовое |
| 2e2б.7 | Δy | 0.0035 | Растачивание поверхности 7 чистовое |
| 2e2б.6 | Δy | 0.0035 | Растачивание поверхности 6 чистовое |
| 2e3.1 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0555 | Шлифование поверхности 1 |
| 2e3.2 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0055 | Шлифование поверхности 2 |
| 2e4.8 | $\varepsilon y + \Delta y$ | 0.0185 | Сверление поверхности 8 |

Таблица 3 – Расчеты погрешностей формы детали «Чашка»

| Наименование перехода | Формула | Расчет | Значение, мм |
|---|---|---|--------------|
| Заготовки | | | |
| Между осями поверхностей, получаемых в разных частях штампа | $\rho_{см}$ | | 0 |
| Между осями цилиндрической поверхности и отверстием | $\rho_{эксц}$ | | 0,8 |
| Механическая обработка | | | |
| Точение черновое поверхности 1 | $\rho_{черн} = \sqrt{\rho_{см}^2 + (\Delta_k \cdot B)^2}$ | $\rho_{черн} = \sqrt{0 + (0,0005 \cdot 95)^2}$ | 0,0475 |
| Точение чистовое поверхности 1 | $\rho_{чист} = \varepsilon \cdot \rho_{черн}$ | $\rho_{чист} = 0,04 \cdot 0,0475$ | 0,0019 |
| Шлифование поверхности 1 | $\rho_{шлиф} = \varepsilon \cdot \rho_{чист}$ | $\rho_{шлиф} = 0,002 \cdot 0,0019$ | 0,000038 |
| Точение черновое поверхности 2 | $\rho_{черн} = \sqrt{\rho_{см}^2 + (\Delta_k \cdot B)^2}$ | $\rho_{черн} = \sqrt{0 + (0,0005 \cdot 150)^2}$ | 0,075 |
| Точение чистовое поверхности 2 | $\rho_{чист} = \varepsilon \cdot \rho_{черн}$ | $\rho_{чист} = 0,04 \cdot 0,075$ | 0,003 |
| Шлифование поверхности 2 | $\rho_{шлиф} = \varepsilon \cdot \rho_{чист}$ | $\rho_{шлиф} = 0,002 \cdot 0,003$ | 0,000006 |
| Точение черновое поверхности 3 | $\rho_{черн} = \sqrt{\rho_{см}^2 + (\Delta_k \cdot B)^2}$ | $\rho_{черн} = \sqrt{0 + (0,0005 \cdot 192)^2}$ | 0,096 |
| Точение чистовое поверхности 3 | $\rho_{чист} = \varepsilon \cdot \rho_{черн}$ | $\rho_{чист} = 0,04 \cdot 0,096$ | 0,00384 |
| Точение черновое поверхности 4 | $\rho_{черн} = \sqrt{\rho_{см}^2 + (\Delta_k \cdot B)^2}$ | $\rho_{черн} = \sqrt{0 + (0,0005 \cdot 188)^2}$ | 0,094 |
| Точение чистовое поверхности 4 | $\rho_{чист} = \varepsilon \cdot \rho_{черн}$ | $\rho_{чист} = 0,04 \cdot 0,094$ | 0,00376 |

Продолжение таблицы 3

| | | | |
|-------------------------------------|--|---|------|
| Растачивание поверхности 5 черновое | $\rho_{\text{черн}} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{экс}}^2}$ | $\rho_{\text{черн}} = \sqrt{0 + 0,8^2}$ | 0,8 |
| Растачивание поверхности 5 чистовое | $\rho_{\text{чист}} = \varepsilon \cdot \rho_{\text{черн}}$ | $\rho_{\text{чист}} = 0,05 \cdot 0,8$ | 0,04 |
| Растачивание поверхности 6 черновое | $\rho_{\text{черн}} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{экс}}^2}$ | $\rho_{\text{черн}} = \sqrt{0 + 0,8^2}$ | 0,8 |
| Растачивание поверхности 6 чистовое | $\rho_{\text{чист}} = \varepsilon \cdot \rho_{\text{черн}}$ | $\rho_{\text{чист}} = 0,05 \cdot 0,8$ | 0,04 |
| Растачивание поверхности 7 черновое | $\rho_{\text{черн}} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{экс}}^2}$ | $\rho_{\text{черн}} = \sqrt{0 + 0,8^2}$ | 0,8 |
| Растачивание поверхности 7 чистовое | $\rho_{\text{чист}} = \varepsilon \cdot \rho_{\text{черн}}$ | $\rho_{\text{чист}} = 0,05 \cdot 0,8$ | 0,04 |
| Сверление поверхности | $\rho_{\text{черн}} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{экс}}^2}$ | $\rho_{\text{черн}} = \sqrt{0 + 0,8^2}$ | 0,8 |

Теперь подсчитаем ожидаемую погрешность припуска по формуле:

$$e_{zi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 + \rho_{i-1}^2},$$

где e_i – смещение осей при механической обработке

Результаты расчетов сведем в таблицу 4

Таблица 4 – Расчет ожидаемой погрешности припуска

| Припуск | Формула | Расчет | Значение, мм |
|-------------|---|--|--------------|
| $e_{z1a.2}$ | $e_{z1a.2} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + e_{1a.2}^2}$ | $e_{z1a.2} = \sqrt{0 + 0,1065^2}$ | 0,1065 |
| $e_{z1a.1}$ | $e_{z1a.1} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + e_{1a.1}^2}$ | $e_{z1a.2} = \sqrt{0 + 0,0065^2}$ | 0,0065 |
| $e_{z1b.2}$ | $e_{z1b.2} = \sqrt{e_{1a.2}^2 + e_{1b.2}^2}$ | $e_{z1b.2} = \sqrt{0,1065^2 + 0,1065^2}$ | 0,1506 |
| $e_{z1b.1}$ | $e_{z1b.1} = \sqrt{e_{1a.1}^2 + e_{1b.1}^2}$ | $e_{z1b.1} = \sqrt{0,0065^2 + 0,0065^2}$ | 0,0092 |
| $e_{z1a.3}$ | $e_{z1a.3} = \sqrt{e_{1a.3}^2 + e_{1b.2}^2}$ | $e_{z1a.3} = \sqrt{0,1065^2 + 0,1065^2}$ | 0,1506 |
| $e_{z1b.3}$ | $e_{z1b.3} = \sqrt{e_{1b.3}^2 + e_{1a.3}^2}$ | $e_{z1b.1} = \sqrt{0,0065^2 + 0,1065^2}$ | 0,1067 |
| $e_{z1a.5}$ | $e_{z1a.5} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + e_{1b.2}^2 + e_{1a.5}^2}$ | $e_{z1a.5} = \sqrt{0^2 + 0,1065^2 + 0,1265^2}$ | 0,1654 |
| $e_{z1a.7}$ | $e_{z1a.7} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + e_{1b.2}^2 + e_{1a.7}^2}$ | $e_{z1a.7} = \sqrt{0^2 + 0,1065^2 + 0,1265^2}$ | 0,1654 |
| $e_{z2a.4}$ | $e_{z2a.4} = \sqrt{e_{1b.2}^2}$ | $e_{z2a.4} = \sqrt{0,1065^2}$ | 0,1065 |
| $e_{z2b.4}$ | $e_{z2b.4} = \sqrt{e_{2b.4}^2 + e_{2a.4}^2}$ | $e_{z2b.4} = \sqrt{0,0065^2 + 0,1065^2}$ | 0,1067 |
| $e_{z2a.6}$ | $e_{z2a.6} = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + e_{2a.6}^2 + e_{1b.2}^2}$ | $e_{z2a.6} = \sqrt{0^2 + 0,1265^2 + 0,1065^2}$ | 0,1654 |
| $e_{z2b.5}$ | $e_{z2b.5} = \sqrt{e_{1a.5}^2 + e_{2b.5}^2}$ | $e_{z2b.5} = \sqrt{0,1265^2 + 0,0315^2}$ | 0,1304 |
| $e_{z2b.7}$ | $e_{z2b.7} = \sqrt{e_{1a.7}^2 + e_{2b.7}^2}$ | $e_{z2b.7} = \sqrt{0,1265^2 + 0,0315^2}$ | 0,1304 |
| $e_{z2b.6}$ | $e_{z2b.6} = \sqrt{e_{2a.6}^2 + e_{2b.6}^2}$ | $e_{z2b.6} = \sqrt{0,1265^2 + 0,0315^2}$ | 0,1304 |

Продолжение таблицы 4

| | | | |
|------------|---|---|--------|
| $e_{z3.1}$ | $e_{z3.1} = \sqrt{e_{1a.2}^2 + e_{16.2}^2 + e_{26.6}^2 + e_{3.1}^2}$ | $e_{z3.1} = \sqrt{0,1065^2 + 0,1065^2 + 0,0315^2 + 0,0865^2}$ | 0,1765 |
| $e_{z3.2}$ | $e_{z3.2} = \sqrt{e_{1a.3}^2 + e_{26.6}^2 + e_{3.2}^2}$ | $e_{z3.2} = \sqrt{0,1065^2 + 0,0315^2 + 0,0865^2}$ | 0,1408 |
| $e_{z4.8}$ | $e_{z4.8} = \sqrt{\rho_{сш}^2 + e_{16.2}^2 + e_{26.5}^2 + e_{4.8}^2}$ | $e_{z4.8} = \sqrt{0^2 + 0,1065^2 + 0,0315^2 + 0,1265^2}$ | 0,1683 |

На графе разных цепей механической обработки проставляем указанные на чертеже радиальные биения ТЕ; ТЕ₁= 0,05 мм; ТЕ₂=0,06 мм; ТЕ₃=0,1 мм.

Просуммировав составляющие звенья размерной цепи с погрешностями формы, получим расчетные радиальные биения. Они находятся по формуле:

$$Te_i \geq \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 + \rho_i^2 + \rho_{i-1}^2},$$

Тогда

$$Te_1 \geq \sqrt{2e_{0.2}^2 + 2e_{16.2}^2 + \rho_{чист}^2} = \sqrt{2 \cdot 0,0165^2 + 0,0019^2} = 0,0234 \text{ мм};$$

$$Te_3 \geq \sqrt{2e_{26.6}^2 + 2e_{3.2}^2 + \rho_{чист}^2 + \rho_{шлиф}^2} = \sqrt{2 \cdot 0,0035^2 + 2 \cdot 0,0055^2 + 0,0019^2 + 0,0000038^2} = 0,0086 \text{ мм};$$

$$Te_3 \geq \sqrt{2e_{26.6}^2 + 2e_{3.2}^2 + \rho_{чист}^2 + \rho_{шлиф}^2} = \sqrt{2 \cdot 0,0035^2 + 2 \cdot 0,0055^2 + 0,0019^2 + 0,0000038^2} = 0,0086 \text{ мм};$$

$$TE_1 \geq Te_1 + Te_3;$$

$$0,05 > 0,0234 + 0,0086;$$

$$TE_2 \geq Te_1 + Te_2;$$

$$0,06 > 0,0234 + 0,0086;$$

$$TE_3 \geq 2e_{26.6} + 2e_{26.4};$$

$$TE_3 > 0,0065 + 0,0035;$$

Из приведенных расчетов видно, что расчетные радиальные биения не превышают заданные чертежом, т.е. технология обработки верна.

После определения допустимых радиальных биений рассчитаем диаметральные размеры обрабатываемых поверхностей. Особенность определения диаметральных размеров заключается в том, что в них будут учитываться смещения (эксцентриситеты) осей. Это необходимо для того, чтобы компенсировать величину радиального биения. В расчетах эксцентриситеты удваиваются. Расчет будет производиться по формулам:

$$d_{3i} = d_{di} + 2 \cdot (z_{min} + e_{zi}) + T_3 - \text{для наружных поверхностей};$$

$$d_{3i} = d_{di} + 2 \cdot (z_{min} - e_{zi}) - T_3 - \text{для отверстий};$$

где, d_{3i} – диаметр поверхности заготовки;

d_{di} – диаметр поверхности детали;

$2z_{min}$ – значение припуска;

$2e_i$ – величина смещения оси (эксцентриситет);

i – номер обрабатываемой поверхности.

Принимаем припуски на механическую обработку по ГОСТ 7505-89.

Полученные результаты расчетов сведем в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчета диаметральных размеров заготовки детали «Чашка»

| Размер цилиндрической поверхности детали, мм | Расчетная формула | Размер цилиндрической поверхности заготовки, мм |
|--|---|---|
| $d_{\partial 1} = 90^{+0,045}_{+0,023}$ | $d_{\gamma 1 \text{шлиф}} = 90 + 0,2 + 2 \cdot 0,0055 + 0,0034$ $d_{\gamma 1 \text{чист}} = 90,2144 + 1 + 2 \cdot 0,0065 + 0,14$ $d_{\gamma 1 \text{шлиф}} = 91,3674 + 2,5 + 2 \cdot 0,0065 + 1,4$ | 95,2804 ^{+1,6} _{+0,8} |
| $d_{\partial 2} = 142^{+0,040}_{+0,015}$ | $d_{\gamma 2 \text{шлиф}} = 142 + 0,2 + 2 \cdot 0,0055 + 0,0034$ $d_{\gamma 2 \text{чист}} = 142,2144 + 1 + 2 \cdot 0,0165 + 0,14$ $d_{\gamma 2 \text{шлиф}} = 143,3874 + 2,6 + 2 \cdot 0,0165 + 1,4$ | 147,4204 ^{+1,6} _{+0,8} |
| $d_{\partial 3} = 192$ | $d_{\gamma 3 \text{чист}} = 192 + 1,2 + 2 \cdot 0,0065 + 0,16$ $d_{\gamma 3 \text{шлиф}} = 193,373 + 2,8 + 2 \cdot 0,0165 + 3,6$ | 199,806 ^{+1,6} _{+0,8} |
| $d_{\partial 4} = 186_{-0,029}$ | $d_{\gamma 4 \text{чист}} = 186 + 1,2 + 2 \cdot 0,0065 + 0,16$ $d_{\gamma 4 \text{шлиф}} = 187,373 + 2,8 + 2 \cdot 0,0165 + 3,6$ | 193,806 ^{+1,6} _{+0,8} |
| $d_{\partial 5} = 65$ | $d_{\gamma 5 \text{чист}} = 65 - 1,2 - 2 \cdot 0,0035 - 0,22$ $d_{\gamma 5 \text{шлиф}} = 63,573 - 2 - 2 \cdot 0,0185 - 1,4$ | 60,136 ^{+1,6} _{+0,8} |
| $d_{\partial 6} = 70^{+0,12}$ | $d_{\gamma 6 \text{чист}} = 70 - 1,2 - 2 \cdot 0,0035 - 0,22$ $d_{\gamma 6 \text{шлиф}} = 68,573 - 2 - 2 \cdot 0,0185 - 1,4$ | 65,136 ^{+1,6} _{+0,8} |
| $d_{\partial 7} = 120$ | $d_{\gamma 7 \text{чист}} = 120 - 1,2 - 2 \cdot 0,0035 - 0,22$ $d_{\gamma 7 \text{шлиф}} = 118,573 - 2,4 - 2 \cdot 0,0185 - 1,4$ | 114,736 ^{+1,6} _{+0,8} |

Таким образом, произведя расчет эксцентриситетов припусков технологического процесса обработки детали «Чашка», проверили правильность представленных на чертеже радиальных биений и рассчитали диаметральные размеры заготовки с поправкой на ошибку, возникающую из-за смещения осей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Размерный анализ техпроцессов: курс лекций / Г.Я. Беляев. – Мн., изд. «Техническая книга», 2010. – 156с., ил. 2. Бабук В.В., Шкред В.А., Кривко Г.П. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении. – Минск.: Высшая школа, 1987. – 255 с. 3. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т. /Ред. совет; Б. Н. Вардашкин (пред.) и др. — М.: Машиностроение, 1984. — Т. 1 /Под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова, 1984. 592 с, ил.

УДК 621.923

Беляев Г.Я., Синькевич Ю.В., Янковский И.Н., Безлюдько А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОПОЛИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Электроимпульсное полирование (ЭИП) как процесс, связанный с изменением микропрофиля и физико-механического состояния поверхности, оказывает существенное влияние на фрикционные свойства металлов. В отличие от механических свойств, которые зависят от свойств основной массы металла, фрикционные свойства практически не имеют такой связи. С целью определения влияния ЭИП на фрикционные свойства поверхностей были проведены экспериментальные исследования.

Испытания проводили с помощью программно-аппаратного комплекса на базе трибометра ПД-1 (рис. 1), разработанного Физико-техническим институтом НАН Б и ИМПС НАН Б.