

Беляев Г.Я., Шкинъ Н.В., Крутев Р.И.

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ФЛАНЦА ПО ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Основным геометрическим параметром цилиндрической поверхности является ее диаметр. Однако при наличии нескольких цилиндрических поверхностей он не может полностью описать геометрию детали. Необходимо знать взаимное расположение поверхностей. Геометрически это может быть выражено через эксцентриситеты. Определение расчетных значений эксцентриситетов цилиндрических поверхностей представляет собой достаточно сложную задачу. В данной работе рассмотрены основные особенности расчета эксцентриситетов поверхностей детали типа фланца графоаналитическим методом.

Одной из наиболее трудоемких и сложных задач при проведении технической подготовки производства является определение операционных размеров, припусков, допусков и пространственных отклонений обрабатываемых поверхностей. При расчете диаметральных размеров задача усложняется необходимостью учета возникающих в процессе получения заготовки и механической обработки эксцентриситетов цилиндрических поверхностей.

Эксцентриситеты в заготовках возникают в результате применения той или иной технологии ее получения. При штамповке эксцентриситеты возникают вследствие смещения частей штампа ($\rho_{см}$), смещения пуансона при прошивке отверстия ($\rho_{экс.}$). В отливках имеют место аналогичные смещения стержней, частей кокиля или опок. Величины смещений и эксцентриситетов для заготовок приводятся в ГОСТ 7505-89 и ГОСТ 26645-85, в другой справочно-информационной литературе [1, 2].

При механической обработке эксцентриситеты в основном возникают в связи с появлением погрешности установки заготовки в приспособлении ε_y и погрешности Δ_u , возникающей при деформации системы станок - приспособление – инструмент – заготовка (СПИЗ) под воздействием нестабильных сил резания.

Погрешность установки возникает всякий раз, когда установочная база не совпадает с измерительной. При обработке цилиндрических поверхностей это чаще всего приводит к смещению оси технологической базы относительно оси вращения шпинделя. При этом погрешность установки не влияет на взаимное положение осей поверхностей, обрабатываемых за одну установку на одной операции.

Погрешности от деформации системы СПИЗ возникают в связи с отжимом реза от детали под воздействием нестабильных сил резания. Если припуск снимается равномерно со всех сторон, то силы резания и деформации постоянны и эксцентриситетов не возникает. Чаще же всего припуск неравномерен по величине. В результате за один оборот детали инструмент с одной стороны обрабатываемой поверхности будет снимать припуск больше, с другой – меньше. Силы резания и деформации будут также различны, в итоге ось обработанной поверхности сместится в сторону, где был больший припуск. В соответствии с теорией технологической наследственности при всех видах последующей обработки эта погрешность сохраняется в уменьшенном масштабе. Считается, что оставшаяся после обработки погрешность связана с первоначальной через уточнение ε . Последнее показывает, какая доля первоначальной

погрешности осталась после обработки. Таким образом, если припуск снимается с эксцентриситетом e_{zi} , то ось обработанной поверхности сместится под воздействием деформации на величину

$$\Delta y = \varepsilon e_{zi}.$$

Величина e_{zi} определяется по дереву эксцентриситетов, величина ε обычно принимается равной 0,05.

Размерный анализ технологических процессов по диаметральным размерам в принципе мало чем отличается от размерного анализа по продольным размерам, если не учитывать возникающих эксцентриситетов припусков.

Эксцентриситеты e_{ij} , возникающие в заготовке и детали в результате действия погрешностей системы СПИЗ, являются составляющими звеньями технологических размерных цепей эксцентриситетов. Замыкающими звеньями этих цепей являются допустимые эксцентриситеты TE_i и Te_i , задаваемые в конструкторской и технологической документации, а также эксцентриситеты припусков e_{zij} .

Для построения графа размерных цепей эксцентриситетов на дереве эксцентриситетов необходимо провести ребра замыкающих звеньев: TE_i – утолщенными линиями; Te_i – пунктирными линиями; e_{zij} – волнистыми.

Заданные конструктором эксцентриситеты TE_i проводятся между осями соответствующих поверхностей детали. Чтобы обозначить технологически допустимые эксцентриситеты Te_i , необходимо выявить размерные связи TE_i . Для этого на дереве ищется путь (ребра) между вершинами, смежным ребру TE_i . По индексам эксцентриситетов определяются операции, на которых они возникают. После этого на дереве для каждой из этих операций записывается технологически допустимый эксцентриситет – один на операцию, таким образом, чтобы эксцентриситеты Te_i вместе с заданным эксцентриситетом TE_i составляли замкнутый контур.

При построении дерева эксцентриситетов для одной операции все поверхности, обрабатываемые за одну установку, соединяются между собой ребрами-эксцентриситетами. Положение осей таких поверхностей не зависит от погрешности базирования, поэтому величину эксцентриситетов между ними принимают равной погрешности от деформации, вызываемой нестабильными силами резания:

$$\varepsilon = \Delta y.$$

Одна из таких поверхностей (конструкторская база или технологическая база для последующей операции) связывается ребром-эксцентриситетом с технологической базой данной операции. Величина эксцентриситета в этом случае определяется по формуле:

$$e_{ij} = \varepsilon_y + \Delta y.$$

Для построения дерева эксцентриситетов всей механической обработки дерева отдельных операций соединяются вместе с помощью общих для них вершин.

Для расчета величины эксцентриситета припуска e_{zij} необходимо на графе выявить его размерную цепь. Например, для e_{z11} в размерную цепь войдут эксцентриситеты $e_{0.1}$ и $e_{1.1}$. Так как погрешность формы обрабатываемой поверхности также приводит к увеличению неравномерности припуска, то она должна быть учтена при расчете e_{z11} . Таким образом, для e_{z11} необходимо учесть погрешность формы поверхности 0.1 $\rho_{\phi 0.1}$. Тогда ожидаемая погрешность припуска определится из формулы:

$$e_{zi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n Te_i^2 + p_{i-1}^2}.$$

Для данного случая

$$e_{z1.1} = \sqrt{e_{0.1}^2 + e_{1.1}^2 + p_{\phi 0.1}^2}.$$

Допустимые радиальные биения обрабатываемых поверхностей должны быть указаны на операционных картах. Для этого по графу эксцентриситетов определяют их размерные цепи. Из рисунка 2 видно, что размерная цепь заданного на чертеже эксцентриситета включает в себя и составляющее звено – эксцентриситет $e_{6.0}$. Это самый простой случай, когда заданный эксцентриситет непосредственно обеспечивается на одной операции. Если же в размерной цепи имеются эксцентриситеты нескольких операций, то необходимо рассчитать и записать в операционных картах столько же технологически допустимых эксцентриситетов. В этом случае на величину радиальных биений будут оказывать и погрешности формы. Просуммировать составляющие звенья размерной цепи с погрешностями формы обрабатываемых поверхностей, определив тем самым величину допустимого радиального биения, меньше которого оно быть не может (ограничивает точность системы СПИЗ). Допустимый эксцентриситет должен быть определен по формуле:

$$Te_i e_{zi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 + p_{\phi i}^2 + p_{\phi i-1}^2}.$$

После выполнения расчетов по определению технологически допустимых эксцентриситетов проверяют, будет ли обеспечено заданное чертежом техническое условие TE_i . Для этого определяют ожидаемую расчетную погрешность

$$p_E = \sum_{i=1}^n Te_i.$$

Должно получиться $p_e \leq TE$.

Размерный анализ технологического процесса с учетом эксцентриситетов поверхностей рассмотрим на примере обработки фланца КТМ 2.35.

Технологический процесс механической обработки фланца состоит из шести операций: фрезерование наружного контура за две операции; черновое растачивание центрального отверстия; черновая обработка всех наружных поверхностей; протягивание центрального отверстия; чистовая обработка $\phi 70h6$ и канавки 7Н12.

Заготовка получена штамповкой в закрытых штампах, все наружные поверхности получены в одной половине штампа, поэтому погрешность смещения их друг относительно друга равна нулю. Отверстие $\phi 55H7$ прошивается в заготовке.

Ниже представлены схемы получения заготовки, обработки на отдельных операциях и соответствующие графы эксцентриситетов, рисунок 2.

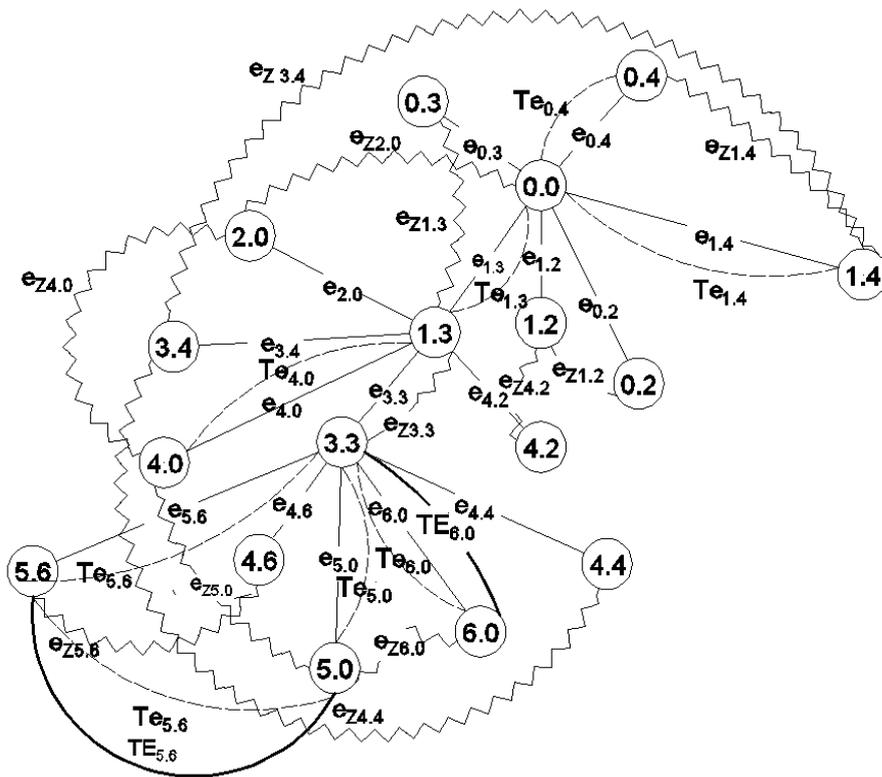
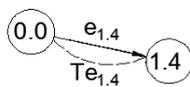


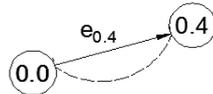
Рис. 3. Совмещенный граф эксцентриситетов припусков

По совмещенному графу эксцентриситетов припусков выявляются и строятся размерные цепи отдельных эксцентриситетов припусков, записываются их уравнения.

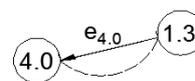
Цепь №1



Цепь №2



Цепь №3

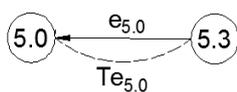


$$Te_{1.4} = \sqrt{e_{1.4}^2 + \rho\Phi_{0.0}^2 + \rho\Phi_{1.4}^2}$$

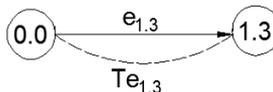
$$Te_{0.4} = \sqrt{e_{0.4}^2 + \rho\Phi_{0.0}^2 + \rho\Phi_{0.4}^2}$$

$$Te_{4.0} = \sqrt{e_{4.0}^2 + \rho\Phi_{4.0}^2 + \rho\Phi_{1.3}^2}$$

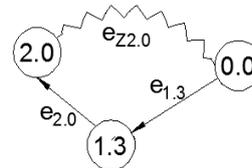
Цепь №4



Цепь №5



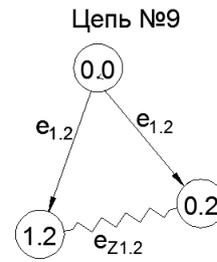
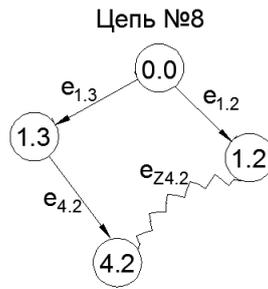
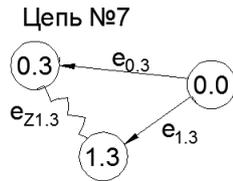
Цепь №6



$$Te_{5.0} = \sqrt{e_{5.0}^2 + \rho\Phi_{3.3}^2 + \rho\Phi_{5.0}^2}$$

$$Te_{1.3} = \sqrt{e_{1.3}^2 + \rho\Phi_{0.0}^2 + \rho\Phi_{1.3}^2}$$

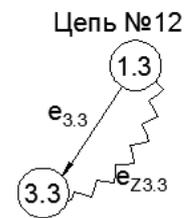
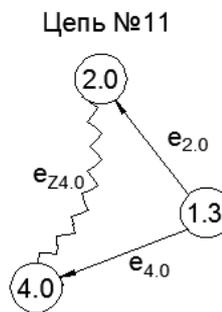
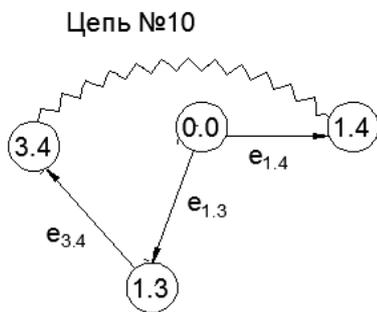
$$e_{z2.0} = \sqrt{e_{2.0}^2 + e_{1.3}^2 + \rho\Phi_{0.0}^2}$$



$$e_{z1,3} = \sqrt{e_{0,3}^2 + e_{1,3}^2 + \rho\Phi_{0,3}^2}$$

$$e_{z4,2} = \sqrt{e_{4,2}^2 + e_{1,3}^2 + e_{1,2}^2 + \rho\Phi_{1,2}^2}$$

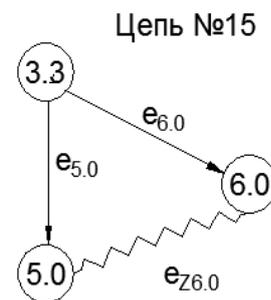
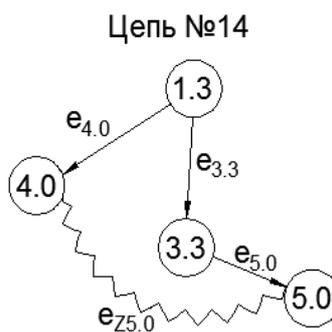
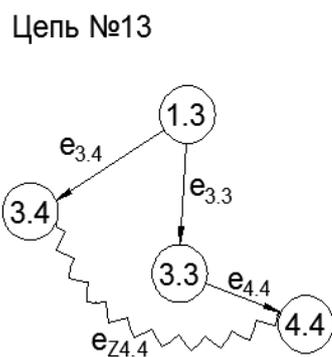
$$e_{z1,2} = \sqrt{e_{0,2}^2 + e_{1,2}^2 + \rho\Phi_{0,2}^2}$$



$$e_{z3,4} = \sqrt{e_{3,4}^2 + e_{1,3}^2 + e_{3,4}^2 + \rho\Phi_{1,3}^2}$$

$$e_{z4,0} = \sqrt{e_{4,0}^2 + e_{2,0}^2 + \rho\Phi_{2,0}^2}$$

$$e_{z3,3} = \sqrt{e_{3,3}^2 + \rho\Phi_{1,3}^2 + \rho\Phi_{3,3}^2}$$

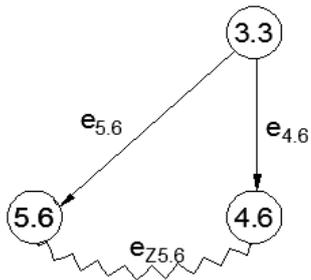


$$e_{z4,4} = \sqrt{e_{3,4}^2 + e_{3,3}^2 + e_{4,4}^2 + \rho\Phi_{3,4}^2}$$

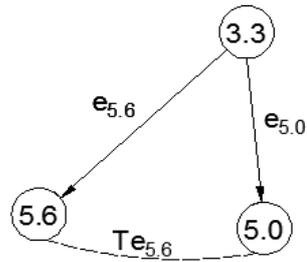
$$e_{z5,0} = \sqrt{e_{4,0}^2 + e_{3,3}^2 + e_{5,0}^2 + \rho\Phi_{4,0}^2}$$

$$e_{z6,0} = \sqrt{e_{5,0}^2 + e_{6,0}^2 + \rho\Phi_{5,0}^2}$$

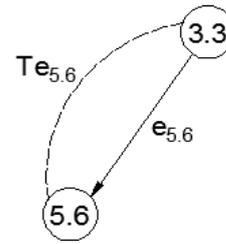
Цепь №16



Цепь №17



Цепь №18



$$e_{z5.6} = \sqrt{e_{5.6}^2 + e_{4.6}^2 + \rho\phi_{4.6}^2}$$

$$Te_{5.6} = \sqrt{e_{5.6}^2 + e_{5.0}^2 + \rho\phi_{5.6}^2 + \rho\phi_{5.0}^2}$$

$$Te_{5.6} = \sqrt{e_{5.6}^2 + \rho\phi_{5.6}^2 + \rho\phi_{3.3}^2}$$

Расчеты допустимых эксцентриситетов припусков цилиндрических поверхностей TE_i , Te_i , задаваемые в конструкторской и технологической документации, а также эксцентриситеты припусков e_{zij} , удобнее всего оформлять в виде таблицы 1. Причем погрешности формы определяются только для размеров заготовок. Расчетные значения e_i определяются в зависимости от условий обработки по таблицам экономической точности. Поверхности, обрабатываемые с одной установки можно считать концентричными ($e_i = 0$).

Расчет погрешностей формы и расположения поверхностей деталей «Фланец»

| Погрешность формы | | Эксцентриситеты | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------|--------------------------|----------|---|----------|--|
| 1 | формула | 3 величина | От погрешности установки новки | | Расчетная величина e_i | | Расчет e_{Zi}, T_{ei}, T_{Ei} | | От упругих деформаций системы СПИД, $\Delta y = K_{yt} \cdot e_{Zi}$ |
| | | | формула | величина | формула | величина | формула | величина | |
| 0.0 | $\sqrt{P_{см}^2 + P_{кор}^2}$ | $\sqrt{0 + 0.07^2} = 0.07$ | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 0.2 | $P_{кор}$ | 0.05 | - | - | - | - | - | - | - |
| 0.4 | $P_{кор}$ | 0.07 | - | - | - | - | - | - | - |
| 0.3 | $\sqrt{P_{см}^2 + P_{эк}^2}$ | $\sqrt{0.5^2 + 0.8^2} = 0.94$ | - | - | - | 0,94 | - | - | - |
| 2.0 | $K_{yt} \cdot p_{0,0}$ | $0,05 \cdot 0,2 = 0,1$ | $\varepsilon \approx 0$ | 0 | Δy | 0,02 | $e_{z2,0} = \sqrt{e_{2,0}^2 + e_{1,3}^2 + p\phi_{0,0}^2} = \sqrt{0.02^2 + 0.05^2 + 0.07^2}$ | 0,088 | 0,02 |
| 4.0 | $K_{yt} \cdot p_{2,0}$ | $0,05 \cdot 0,1 = 0,005$ | ε | 0,1 | $\varepsilon + \Delta y$ | 0,12 | $e_{z4,0} = \sqrt{e_{4,0}^2 + e_{2,0}^2 + p\phi_{2,0}^2} = \sqrt{0.12^2 + 0.02^2 + 0.1^2}$ | 0,016 | 0,0008 |
| 5.0 | $K_{yt} \cdot p_{4,0}$ | $0,05 \cdot 0,005 = 0,0003$ | ε | 0,04 | $\varepsilon + \Delta y$ | 0,06 | $e_{z5,0} = \sqrt{e_{4,0}^2 + e_{3,3}^2 + e_{5,0}^2 + p\phi_{4,0}^2} = \sqrt{0.12^2 + 0.02^2 + 0.06^2 + 0.005^2}$ | 0,019 | 0,0009 |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----|------------------------|-------------|---------------|------|--------------------------|------|---|-------|-------|
| 6.0 | $K_{yT} \cdot p_{4.0}$ | 0 | ε | 0 | Δy | 0,02 | $e_{z6.0} = \sqrt{e_{4.0}^2 + e_{6.0}^2 + p\phi_{5.0}^2} =$ $= \sqrt{0.12^2 + 0.02^2 + 0}$ | 0,122 | 0,006 |
| 1.2 | $K_{yT} \cdot p_{0.2}$ | 0,0025 | ε | 0,09 | $\varepsilon + \Delta y$ | 0,11 | $e_{z1.2} = \sqrt{e_{0.2}^2 + e_{1.2}^2 + p\phi_{0.2}^2} =$ $= \sqrt{0 + 0.11^2 + 0,05^2}$ | 0,121 | 0,006 |
| 1.2 | $K_{yT} \cdot p_{1.2}$ | ≈ 0 | ε | 0,04 | $\varepsilon + \Delta y$ | 0,06 | $e_{z4.2} = \sqrt{e_{4.2}^2 + e_{1.3}^2 + e_{1.2}^2 + p\phi_{1.2}^2} =$ $= \sqrt{0.06^2 + 0.05^2 + 0.11^2 + 0.0025^2}$ | 0,135 | 0,007 |
| 1.4 | $K_{yT} \cdot p_{0.4}$ | 0,0035 | ε | 0,08 | $\varepsilon + \Delta y$ | 0,1 | $e_{z1.4} = \sqrt{e_{0.4}^2 + e_{1.4}^2 + p\phi_{0.4}^2} =$ $= \sqrt{0.07^2 + 0.1^2 + 0}$ | 0,122 | 0,006 |
| 3.4 | $K_{yT} \cdot p_{1.4}$ | ≈ 0 | ε | 0,04 | $\varepsilon + \Delta y$ | 0,06 | $e_{z3.4} = \sqrt{e_{3.4}^2 + e_{1.3}^2 + e_{1.4}^2 + p\phi_{1.3}^2} =$ $= \sqrt{0.06^2 + 0.05^2 + 0.1^2 + 0}$ | 0,127 | 0,006 |
| 4.4 | $K_{yT} \cdot p_{3.4}$ | 0 | ε | 0,04 | Δy | 0,04 | $e_{z4.4} = \sqrt{e_{3.4}^2 + e_{3.3}^2 + e_{4.4}^2 + p\phi_{3.4}^2} =$ $= \sqrt{0.06^2 + 0.05^2 + 0.04^2 + 0}$ | 0,088 | 0,004 |
| 1.3 | $K_{yT} \cdot p_{0.3}$ | 0,047 | - | - | Δy | 0,08 | $e_{z1.3} = \sqrt{e_{0.3}^2 + e_{1.3}^2 + p\phi_{0.3}^2} =$ $= \sqrt{0.94^2 + 0.08^2 + 0.94^2}$ | 1,55 | 0,08 |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|---------------------------|-------|---|---|----------------------|------|---|-------|--------|
| 3.3 | $K_{yT} \cdot \rho_{1.3}$ | 0,002 | - | - | Δy | 0,02 | $e_{z_{3.3}} = \sqrt{e_{3.3}^2 + p\phi_{1.3}^2 + p\phi_{3.3}^2} =$ $= \sqrt{0.02^2 + 0.047^2 + 0.002^2}$ | 0,051 | 0,003 |
| 5.6 | $K_{yT} \cdot \rho_{4.6}$ | 0 | - | - | Δy | 0,02 | $e_{z_{5.6}} = \sqrt{e_{4.6}^2 + e_{5.6}^2 + p\phi_{4.6}^2} =$ $= \sqrt{0 + 0.02^2 + 0}$ | 0,02 | 0,001 |
| $Te_{0.4}$ | | | | | $\rho \leq Te_{0.4}$ | 0,2 | $Te_{0.4} = \sqrt{e_{0.4}^2 + p\phi_{0.4}^2 + p\phi_{0.0}^2} =$ $= \sqrt{0 + 0.07^2 + 0.07^2}$ | 0,097 | 0,0048 |
| $Te_{1.4}$ | | | | | $\rho \leq Te_{1.4}$ | 0,2 | $Te_{1.4} = \sqrt{e_{1.4}^2 + p\phi_{0.0}^2 + p\phi_{1.4}^2} =$ $= \sqrt{0.1^2 + 0.07^2 + 0.0035^2}$ | 0,122 | 0,006 |
| $Te_{1.3}$ | | | | | $\rho \leq Te_{1.3}$ | 0,12 | $Te_{1.3} = \sqrt{e_{1.3}^2 + p\phi_{0.0}^2 + p\phi_{1.3}^2} =$ $= \sqrt{0.08^2 + 0.07^2 + 0.047^2}$ | 0,106 | 0,005 |
| $Te_{3.3}$ | | | | | $\rho \leq Te_{3.3}$ | 0,05 | $Te_{3.3} = \sqrt{e_{3.3}^2 + p\phi_{1.3}^2 + p\phi_{3.3}^2} =$ $= \sqrt{0.02^2 + 0.047^2 + 0.002^2}$ | 0,051 | 0,0026 |
| $Te_{4.0}$ | | | | | $\rho \leq Te_{4.0}$ | 0,06 | $Te_{4.0} = \sqrt{e_{4.0}^2 + p\phi_{1.3}^2 + p\phi_{4.0}^2} =$ $= \sqrt{0.12^2 + 0.047^2 + 0.05^2}$ | 0,138 | 0,007 |

Окончание табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------|---|---|---|---|---|------|--|------|------|
| $Te_{5,0}$ | | | | | $\rho \leq Te_{5,0}$ | 0,06 | $Te_{5,0} = \sqrt{e_{5,0}^2 + p\phi_{3,3}^2 + p\phi_{5,0}^2} =$ $= \sqrt{0.06^2 + 0.002^2 + 0.003^2}$ | 0,06 | 0,03 |
| $Te_{6,0}$ | | | | | $\rho \leq Te_{6,0}$ | 0,02 | $Te_{6,0} = \sqrt{e_{6,0}^2 + p\phi_{3,3}^2 + p\phi_{6,0}^2} =$ $= \sqrt{0.02^2 + 0.002^2 + 0}$ | 0,02 | 0,01 |
| $Te_{5,6}$ | | | | | $\rho \leq Te_{5,6}$ | 0,02 | $Te_{5,6} = \sqrt{e_{5,6}^2 + p\phi_{3,3}^2 + p\phi_{5,6}^2} =$ $= \sqrt{0.02^2 + 0.002^2 + 0}$ | 0,02 | 0,01 |
| $TE_{5,6}$ | | | | | $\rho \leq Te_{5,6} \leq$ $TE_{5,6}$ | 0,02 | $TE_{5,6}=0,06$ | | |
| $TE_{6,0}$ | | | | | $\rho \leq Te_{6,0} \leq$ $TE_{6,0}$ | 0,02 | $TE_{6,0}=0,05$ | | |

Как видно из расчетов, расчетные значения эксцентриситетов припусков значительно меньше заданных чертежом, что подтверждает правильность выбранного метода обработки фланца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мордвинов Б. С., Курганович В. О. Методические указания по расчету диаметральных технологических размеров при проектировании технологических процессов механической обработки. Омск: Изд. ОмПИ, 1988. Ч. 2. 31 с.

2. Размерный анализ технологических процессов: сборник практ. работ / учебное издание/ Беляев Г. Я., Беляева Г. И., Кисель О. И [и др.]. – Минск: БНТУ. – 2010. – С. 350.

УДК 621.923.74-233-025.13

Беляева Г.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ НА ШПИНДЕЛЕ СТАНКА ПРИ ДОВОДКЕ ПЛОСКОСТЕЙ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В работе рассматриваются особенности определения силы, действующей на шпиндель доводочного станка, в процессе финишной обработки плоскостей в зависимости от максимально допустимого удельного давления на притир, фактической площади контакта притира с обрабатываемой поверхностью и условий обработки.

Для получения деталей с высокой точностью размеров, формы, взаимного расположения поверхностей и малой шероховатостью применяют операцию доводки. Инструментом при этом служат притиры различной конфигурации, которая определяется формой и геометрическими параметрами обрабатываемой заготовки.

Целью данного исследования является определение крутящего момента $M_{кр.}$ на шпинделе станка и усилия прижима P к обрабатываемой детали по допустимому удельному давлению между трущимися поверхностями.

Как правило, материал притиров должен быть мягче, чем материал обрабатываемого изделия. Притиры изготовляют из чугуна, стали, цветных металлов и сплавов, пластмасс и стекла в зависимости от условий обработки. На рис. 1. приведена схема доводки плиты 1 притиром 2.

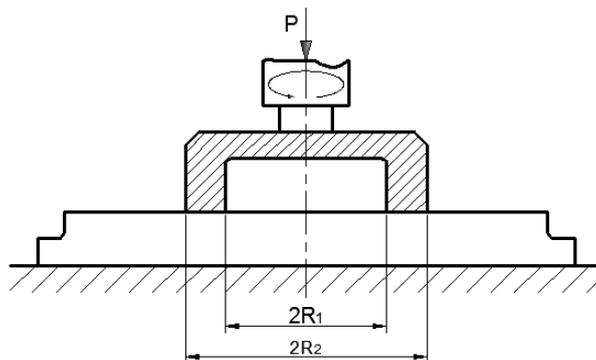


Рис. 1. Схема процесса доводки:
1 – шлифовальный круг, 2 – плита