

$$\alpha_{zm} = \frac{1,74(1 + nt)}{1 + nt + \sqrt{1 + t^2}} - 1; \quad (22)$$

$$k_{zm}^2 = 3,16 \frac{1 + 0,33 \frac{(1 + nt)^2}{1 + t^2}}{\left(1 + \frac{1 + nt}{\sqrt{1 + t^2}}\right)^2}; \quad (23)$$

$$k_{zm}^2 = 0,21 \frac{1 + 9 \frac{(1 + nt)^2}{1 + t^2}}{\left(1 + \frac{1 + nt}{\sqrt{1 + t^2}}\right)^2}. \quad (24)$$

Из (22), (23) и (24) следует, что коэффициенты α_{zm} , k_{zm} и k_{zn} не зависят от конкретных значений диаметров валов и отверстий.

Это позволяет заранее вычислить значения этих коэффициентов для наиболее употребительных стандартных посадок (см. табл.).

Полученные значения коэффициентов относительной асимметрии и относительно го рассеяния применимы для расчетов смещений в поле зазоров на всех этапах процесса увязки оснастки по базовым отверстиям, задаваемым в стенках деталей и узлов силового набора крыла.

Таблица

Посадка	n	$t = \frac{a_n}{a_d}$	α_{zm}	k_{zm}	k_{zn}
A/D	2	0,62	0,15	0,90	0,92
A/C	1	0,62	0,02	0,95	0,82
A/X	3	0,91	0,28	0,88	1,02
A _{2a} /C _{2a}	1	0,64	0,02	0,95	0,82
A/C ₃	1	1,88	0	0,95	0,82
A ₃ /C ₃	1	1,0	0,02	0,95	0,83
A ₃ /X ₃	2	1,33	0,17	0,89	0,95
A ₄ /C ₄	1	1,0	0,02	0,95	0,83
A ₅ /C ₅	1	1,0	0,02	0,95	0,83

ЛИТЕРАТУРА

1. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. М., «Наука», 1965.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М., «Наука», 1969.
3. Бородачев И. А. Анализ качества и точности производства. М., Машгиз, 1964.
4. Ананин Г. А., Городецкий И. Е. Допуски и технические измерения. М., Машгиз, 1956.
5. Машиностроение. Энциклопедический справочник. Т. 5, М., Машгиз, 1947.

А. Н. Рогинко, М. И. Разумихин

РАСЧЕТ ДОПУСКОВ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОСНАСТКИ И ДЕТАЛЕЙ ПО ЗАДАННОМУ ДОПУСКУ НА ОБВОДЫ КРЫЛА

При увязке оснастки для изготовления агрегатов, образованных линейчатыми поверхностями, на основе технологического на

турного станда* применяется единая система технологического базирования в виде отверстий (БО), задаваемых в стенках деталей и узлов силового набора. При этом в направлении оси БО базирование осуществляется по опорной плоскости стенки. Контроль увязки осуществляется по базовым шаблонам технологического натурального станда (ТНС) в точках равных процентов хорды.

Изготовление оснастки для деталей, конструкций, исключаяющей применение компенсаторов при сборке, производится по схеме: базовый шаблон ТНС — эталон детали — контрольно-доводочное приспособление (КДП) — деталь. Методы обработки оснастки и деталей могут быть различными, но во всех случаях большое практическое значение имеет возможность расчета допусков на каждый из доводочных этапов образования обводов ТНС, эталона, КДП и детали с таким расчетом, чтобы обеспечить получение заданной точности обводов агрегата.

Такая задача вследствие многозначности размерных цепей процесса увязки не решается однозначно. Поэтому возникает вопрос о способе решения этой задачи.

Рассмотрим структуру процесса воспроизведения размера обвода крыла в какой-либо точке. Пусть поле погрешности контура базового шаблона ТНС — $\omega_{ш}'$, а поле погрешности перехода от теоретических осей сечения к осям БО — $\omega_{баз}'''$. Тогда поле погрешности контура шаблона относительно БО

$$\omega_{ш} = \omega_{ш}' + \omega_{баз}''' \quad (1)$$

Анализируя процесс воспроизведения обводов ТНС, можно установить, что поле погрешности обводов ТНС

$$\omega_{тнс} = \omega_{тнс}' + \omega_{ш} + 2\omega_{БО}, \quad (2)$$

где $\omega_{тнс}'$ — поле погрешности положения БО в ТНС, а $2\omega_{БО}$ означает двойную погрешность увязки БО — зазоры между болтом и отверстиями в каждой из двух сопрягаемых деталей ТНС.

Переходя к характеристике поля погрешности детали, получим

$$\omega_{дет} = \omega_{тнс} + \omega_{тнс}' + \omega_{дов} + \omega_{уст} + 6\omega_{БО}, \quad (3)$$

где $\omega_{дов}$ — сумма полей погрешностей обработки эталона, КДП и детали, $\omega_{уст}$ — поле погрешности положения базовой плоскости детали, а коэффициент 6 при $\omega_{БО}$ учитывает трехкратную фиксацию по БО при последовательной обработке эталона, КДП и детали.

При монтаже станда также происходит трехкратное накопление поля погрешности $3\omega_{БО}$: при изготовлении носителя БО,

* Авторское свидетельство № 264920.

** Здесь и далее принято, что поля погрешностей $\omega_{БО}$ во всей оснастке равны, т. е., диаметр и класс точности всех сочленений А/В одинаковы.

монтаже фиксатора ступени и установке переходной втулки вследствие разных диаметров БО в ТНС и в детали

$$\omega'_{\text{стап}} = \omega'_{\text{ТНС}} + 6\omega_{\text{БО}}. \quad (4)$$

Учитывая также поля погрешностей фиксации детали в ступене ($2\omega_{\text{БО}}$), толщины обшивки ($\omega_{\text{общ}}$), неплотностей соединений деталей ($\omega_{\text{сб}}$), можно записать окончательно для обвода собранного крыла

$$\omega_{\text{агр}} = \omega_{\text{ТНС}} + \omega'_{\text{ТНС}} + \omega_{\text{дов}} + \omega_{\text{уст}} + 14\omega_{\text{БО}} + \omega_{\text{общ}} + \omega_{\text{сб}}. \quad (5)$$

Структурное уравнение (5) можно положить в основу решения проектной задачи. Перепишем (5) с учетом (1) и (2)

$$\omega_{\text{агр}} = (3\omega'_{\text{ТНС}} + \omega_{\text{баз}}^{\text{III}} + \omega_{\text{уст}}) + (\omega_{\text{дов}} + \omega'_{\text{III}}) + 16\omega_{\text{БО}} + \omega_{\text{общ}} + \omega_{\text{сб}}. \quad (6)$$

Обозначив дисперсию погрешностей, поля которых заключены в первую скобку, через $\sigma_{\text{баз}}^2$, а во вторую — $\sigma_{\text{дов}}^2$ и переходя к суммированию дисперсий, можно записать

$$\sigma_{\text{агр}}^2 = \sigma_{\text{баз}}^2 + \sigma_{\text{дов}}^2 + \sigma_{\text{общ}}^2 + \omega_{\text{сб}}^2 + 16\sigma_{\text{сб}}^2. \quad (7)$$

Очевидно, расчет производят с целью получения характеристик точности доводочных этанов ($\sigma_{\text{дов}}^2$).

Величина $\sigma_{\text{баз}}^2$ характеризует точность положения БО в ТНС. Все погрешности ТНС целесообразно определить в проекциях на три оси координат: ОМ—вертикальную; ОN, направленную вдоль хорды в плоскости нервюры; ОL, направленную вдоль размаха крыла. Поскольку точность монтажа ТНС целиком определяется достигнутым уровнем точности выполнения плазово-шаблонных работ, то величины погрешностей положения БО ТНС будут практически постоянными для любых агрегатов и могут быть определены на основе расчета размерных цепей ТНС для всех случаев. Таким образом, дисперсии $\sigma_{\text{баз}}^2$, $\sigma_{\text{М баз}}^2$, $\sigma_{\text{N баз}}^2$ следует считать заданными.

Для величин $\sigma_{\text{бо м}}^2$ и $\sigma_{\text{бо n}}^2$, представляющих собой дисперсии проекций векторных зазоров в сопряжениях по БО на оси ОМ и ОN, получены формулы: *

$$\sigma_{\text{бо м}}^2 = 0,088\delta_z^2 \left[1 + 0,33 \left(\frac{\Delta_z}{\delta_z} \right)^2 \right], \quad (8)$$

$$\sigma_{\text{бо n}}^2 = 0,23\delta_z^2 \left[1 + 9 \left(\frac{\Delta_z}{\delta_z} \right)^2 \right], \quad (9)$$

где δ_z и Δ_z —соответственно половина и координата середины поля радиального зазора, определяемые по известным формулам [1]:

* Формулы (8) и (9) легко получаются из формул (9), (10) (11) и (19), приводимых в работе тех же авторов «Вероятностные характеристики смещения деталей в поле зазоров при увязке оснастки по базовым отверстиям, помещенной в настоящее собрание».

$$\Delta_z = \frac{1}{2} \left[(\Delta_a - \Delta_b) + (x_a \delta_a - \alpha_b \delta_b) \right] - \alpha_z \delta_z, \quad (10)$$

$$\delta_z = \frac{1}{2k_z} \sqrt{k_a^2 \delta_a^2 + k_b^2 \delta_b^2}. \quad (11)$$

В рассматриваемом случае можно принять [2]

$$x_a = x_b = \alpha_z = 0; \quad k_a = k_b = k_z = 1.$$

Целесообразно, учитывая применение посадок различных классов точности в эталонной и в рабочей оснастке, разделить $16\sigma_{\text{БО}}^2$ на две части

$$16\sigma_{\text{БО}}^2 = 8\sigma_{\text{БО ув}}^2 + 8\sigma_{\text{ЛО риф}}^2. \quad (12)$$

Задавшись классом точности и видом посадок, можно определить по (10), (11), (12) значение $16\sigma_{\text{БО}}^2$.

Величины $\sigma_{\text{общ}}^2$ и $\sigma_{\text{сб}}^2$ определяются соответственно способом получения обшивок (прокат, фрезерование, травление и т. д.) и техническими условиями на допустимые зазоры в соединенных деталях по обводу.

Таким образом, располагая рассмотренными величинами, можно из (7) вычислить $\sigma_{\text{дов}}^2$, характеризующую суммарную дисперсию погрешностей обводов шаблона ГНС, эталона, КДП, детали. При этом необходимо перейти от направлений осей ОМ, ОN и ОL, в которых заданы величины $\sigma_{\text{баз}}^2$ и $\sigma_{\text{ЛО}}^2$, на направление нормали к поверхности крыла. Этот переход осуществляется через угол α между касательной к контуру сечения в данной точке и хордой и угол μ — малку в той же точке. Уравнение для $\sigma_{\text{дов}}^2$ примет вид

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{дов}}^2 = & \sigma_{\text{агр}}^2 - \sigma_{\text{сб}}^2 - \sigma_{\text{общ}}^2 - (\sigma_{\text{Лбаз}}^2 + 16\sigma_{\text{БОл}}^2) \text{tg}^2 \mu - \\ & - (\sigma_{\text{Мбаз}}^2 + 16\sigma_{\text{БОн}}^2) \cos^2 \alpha - (\sigma_{\text{Nбаз}}^2 + 16\sigma_{\text{БОн}}^2) \sin^2 \alpha. \end{aligned} \quad (13)$$

Задавшись далее соотношениями между величинами допусков доводочных этапов

$$\delta_{\text{дов. эт}} = a \cdot \delta_{\text{ГНС}}; \quad \delta_{\text{дов. КДП}} = b \cdot \delta_{\text{ГНС}}; \quad \delta_{\text{дов. дет}} = c \cdot \delta_{\text{ГНС}},$$

где $1 \leq a \leq b \leq c$, получим

$$\sigma_{\text{дов}}^2 = \sigma_{\text{ГНС}}^2 + \sigma_{\text{дов. эт}}^2 + \sigma_{\text{дов. КДП}}^2 + \sigma_{\text{дов. дет}}^2 = \frac{1}{9} k^2 \delta_{\text{ГНС}}^2 (1 + a^2 + b^2 + c^2),$$

откуда

$$\delta_{\text{ГНС}} = \frac{3}{k} \sqrt{\frac{\sigma_{\text{дов}}^2}{1 + a^2 + b^2 + c^2}}. \quad (14)$$

Координаты средних полей допусков отдельных этапов увязки распределяются на основе соотношения

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{агр}} = & \Delta_{\text{баз}} + \Delta_{\text{общ}} + \Delta_{\text{сб}} + 16\Delta_{\text{БО}} + \Delta_{\text{ГНС}} + \Delta_{\text{дов эт}} + \Delta_{\text{дов КДП}} + \\ & + \Delta_{\text{дов дет}}. \end{aligned} \quad (15)$$

Величины $\Delta_{\text{общ}}$ и $\Delta_{\text{сб}}$ известны, а для проекций на координатные оси величины $\Delta_{\text{БО}}$ получены значения*.

$$\Delta_{\text{БО}_m} = 0,872\Delta_z; \quad \Delta_{\text{БО}_n} = \text{БО}_l = 0.$$

Положив

$$\Delta_{\text{дов.эт}} = a \cdot \Delta_{\text{тис}}; \quad \Delta_{\text{дов.КДП}} = b \cdot \Delta_{\text{тис}}; \quad \Delta_{\text{дов.дет}} = c \cdot \Delta_{\text{тис}}.$$

и учитывая, что $\Delta_{L \text{ баз}} = \Delta_{N \text{ баз}} = 0$, получим

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{дов}} &= \Delta_{\text{агр}} - \Delta_{\text{общ}} - \Delta_{\text{сб}} - (\Delta_{M_{\text{баз}}} + 16\Delta_{\text{БО}_m}) \cos \alpha = \\ &= \Delta_{\text{тис}}(1 + a + b + c); \end{aligned}$$

$$\Delta_{\text{тис}} = \frac{\Delta_{\text{дов}}}{1 + a + b + c}. \quad (16)$$

Изложенная методика позволяет определить допуски на оснастку и детали при разработке директивной технологии.

Пример проектного расчета.

1. Пусть задан допуск на обвод крыла $2\delta = \frac{+0,4}{-0,8} = 1,2$ мм.

Тогда для нормального распределения замыкающего звена

$$\sigma_{\text{агр}}^2 = \frac{1}{9} k_{\text{агр}}^2 \delta_{\text{агр}}^2 = 0,04.$$

2. В результате расчета размерных цепей ТНС получены для поля погрешности $\omega_{\text{тис}}$ следующие характеристики $\delta_{\text{баз}}$ в проекциях на выбранные координатные оси:

$$\delta_l = \delta_n = 0,29 \text{ мм}, \quad \delta_m = 0,066 \text{ мм},$$

$$k_l = k_n = 1; \quad k_m = 1,35.$$

Значения $\delta_{\text{баз}}^2$ составят:

$$\sigma_{N_{\text{баз}}}^2 = \sigma_{L_{\text{баз}}}^2 = 3 \cdot \frac{1}{9} \cdot 1^2 \cdot 0,29^2 = 0,028.$$

$$\sigma_{M_{\text{баз}}}^2 = 3 \cdot \frac{1}{9} \cdot 1,35^2 \cdot 0,066^2 = 0,0026.$$

3. Пусть в эталонной оснастке сочленения по БО выполнены по посадке A/C , а в рабочей — A_3/X_3 . Принимая наиболее употребительные диаметры БО в промежутке свыше 10 до 18 мм, получим по (8) — (12):

$$\delta_z^{yb} = 0,0056; \quad \Delta_z^{yb} = 0,00775; \quad \varepsilon_z^{раб} = 0,0153; \quad \Delta_z^{раб} = 0,0312.$$

$$16\sigma_{\text{БО}_m}^2 = 8 \cdot 0,088 \cdot 0,0056^2 \left[1 + 0,33 \left(\frac{0,00775}{0,0056} \right)^2 \right] +$$

$$+ 8 \cdot 0,088 \cdot 0,0153^2 \left[1 + 0,33 \left(\frac{0,0312}{0,0153} \right)^2 \right] = 0,0002.$$

$$16\sigma_{\text{БО}_n}^2 = 16\sigma_{\text{БО}_l}^2 = 8 \cdot 0,023 \cdot 0,0056^2 \left[1 + 9 \left(\frac{0,00775}{0,0056} \right)^2 \right] +$$

* См. формулу (12) в той же работе.

$$\pm 8 \cdot 0,023 \cdot 0,0153^2 \left[1 + 9 \left(\frac{0,0312}{0,0153} \right)^2 \right] = 0,0018.$$

4. Если известно $\delta_{\text{общ}} = 0,2$ мм и $\delta_{\text{сб}} = 0,1$ мм, то

$$\sigma_{\text{общ}}^2 = 0,0044; \quad \sigma_{\text{сб}}^2 = 0,0011.$$

5. Пусть в рассматриваемой точке контура крыла значения углов α и μ составляют соответственно $12^\circ 15'$ и $0^\circ 34'$. Согласно уравнению (13) получим

$$\sigma_{\text{дов}}^2 = 0,04 - 0,0044 - 0,0011 - (0,028 + 0,0018) \cdot 0,0001 - \\ - (0,00264 + 0,0002) \cdot 0,9549 - (0,028 + 0,0018) \cdot 0,045 = 0,0303.$$

6. Задавшись

$$a = 1,5; \quad b = 2; \quad c = 3; \quad k_{\text{дов}} = 1,2,$$

получим по (14):

$$\delta_{\text{тис}} = \frac{3}{1,2} \sqrt{\frac{0,0303}{1 + 1,5^2 + 2^2 + 3^2}} = 0,108 \text{ мм},$$

$$\delta_{\text{дов} \cdot \text{эт}} = 1,5 \cdot 0,108 = 0,16 \text{ мм},$$

$$\delta_{\text{дов} \cdot \text{КДП}} = 2 \cdot 0,108 = 0,22 \text{ мм},$$

$$\delta_{\text{дов} \cdot \text{дет}} = 3 \cdot 0,108 = 0,32 \text{ мм}.$$

7. Определив далее

$\Delta_{\text{агр}} = 0,05$ мм; $\Delta_{\text{М баз}} = -0,007$ мм (согласно расчету точностных характеристик ТНС) и по (16)

$$16\Delta_{\text{БЮ}_m} = 8 \cdot 0,0872 (0,00775 + 1,0312) = 0,272 \text{ мм},$$

получим

$$\Delta_{\text{дов}} = \Delta_{\text{тис}} + \Delta_{\text{дов} \cdot \text{эт}} + \Delta_{\text{дов} \cdot \text{КДП}} + \Delta_{\text{дов} \cdot \text{дет}} = -0,2 - 0,05 - (0,272 - \\ - 0,007) \cdot 0,9772 = -0,509 \text{ мм}.$$

8. Согласно (17)

$$\Delta_{\text{тис}} = \frac{-0,509}{1 + 1,5 + 2 + 3} = -0,068 \text{ мм},$$

$$\Delta_{\text{дов} \cdot \text{эт}} = 1,5(-0,068) = -0,1 \text{ мм},$$

$$\Delta_{\text{дов} \cdot \text{КДП}} = 2(-0,068) = -0,14 \text{ мм},$$

$$\Delta_{\text{дов} \cdot \text{дет}} = 3(-0,068) = -0,2 \text{ мм}.$$

Для обеспечения гарантированного выполнения требований ТУ следует несколько уменьшить полученные величины. Таким образом, в результате расчета можно установить следующие допуски на обработку шаблонов ТНС, эталонов, приспособлений и деталей:

$$\text{шаблоны ТНС} \quad - \quad +0 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad -0,2$$

эталон	—	+0,05 —0,25
приспособление	—	+0,1 —0,3
деталь	—	+0,1 —0,5

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунаев П. Ф. Размерные цепи. М., Машгиз, 1953.
2. Беродачев П. А. Анализ качества и точности производства. М., Машгиз, 1946.

А. С. Горячев, Г. С. Железнов, В. В. Жунин

РАЗДЕЛКА КЛАССНЫХ ОТВЕРСТИЙ РУЧНЫМИ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РАЗВЕРТКАМИ

В современных конструкциях самолетов широкое распространение получило болтовое соединение узлов, состоящих из нескольких деталей из однородных и разнородных материалов. Как правило, это ответственные силовые узлы, работающие при больших знакопеременных нагрузках. В связи с этим качество отверстий соединяемых деталей, а именно точность и чистота поверхности, должно быть высоким (точность в пределах A и A_3 , чистота $\nabla 7$ и $\nabla 6$).

Часто соединяемые узлы и детали при сборке агрегатов расположены в труднодоступных местах, что исключает применение механизации при разделке. Поэтому их обработку производят вручную. Как правило, при разделке узлов, включающих в себя детали из закаленных сталей 30ХГСА и 30ХГСА, применяются развертки из быстрорежущих сталей. Быстрорежущие инструменты Р9, Р18, Р9К5 и др. имеют невысокую стойкость и не обеспечивают зачастую требуемого качества обработки. Это объясняется тем, что при изготовлении инструмента не гарантируется высокое качество режущих кромок, вследствие обезуглероживания поверхностных слоев и прижогов при заточке. Кроме того, на заводах резко сокращаются лимиты на фонды быстрореза.

Опыт некоторых заводов свидетельствует о целесообразности применения ручных инструментов, оснащенных пластинками из твердых сплавов для разделки классных отверстий в высокопрочных закаленных сталях. Если процессы скоростной обработки с помощью твердосплавных инструментов довольно широко исследовались, то развертывание при ограниченных (малых) скоростях резания требует изучения.