

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ КОНТАКТНОЙ ЖЕСТКОСТИ СОЕДИНЕНИЙ С ДВОЙНЫМ БАЗИРОВАНИЕМ ТИПА КОНУС–ПЛОСКОСТЬ

Приведены методы расчета жесткости конусных и плоских торцевых соединений, а также соединений инструментальной системы в целом. Соединения с двойным базированием предполагают работу каждой из контактирующих поверхностей в условиях нормальных и касательных контактных перемещений. Дана оценка каждой базирующей поверхности в зависимости от нагрузки при условии работы поверхности в зоне упругих касательных деформаций.

Соединения с элементами двойного базирования, используемые преимущественно для вспомогательного инструмента, предполагают наличие двух одновременно контактируемых поверхностей, расположенных под углом друг к другу, в большинстве случаев этот угол составляет 90° . Поэтому обе плоскости работают в разных условиях контактных деформаций, одна в нормальных условиях, другая — в касательных условиях.

Жесткости двух базирующих поверхностей (рис. 1), торцевой 1 и конической 2, соединены в соответствии с теорией приведения параллельно. Следовательно, суммарная или общая жесткость j_Σ торцевой j_T и конусной j_K поверхностей определяется по формуле $j_\Sigma = j_T + j_K$, а ее обратная величина — суммарная податливость — определяется как сумма обратных значений податливостей торца δ_T и конуса δ_K , т.е.

$$\delta_\Sigma = \frac{\delta_T \delta_K}{\delta_T + \delta_K}.$$

Согласно представленным далее зависимостям по определению податливостей отдельных элементов соединения двойного базирования можно записать

$$j_T = \frac{P}{y_T}; \quad j_K = \frac{P}{y_K},$$

тогда

$$j_\Sigma = P \left(\frac{1}{\varphi L} + \frac{1}{\delta_0 + \theta_0 L} \right),$$

где y_T и y_K , мм — упругие контактные перемещения в торцевом и коническом стыках в плоскости приложения нагрузки P , $y_T = \varphi L$ и $y_K = \delta_0 + \theta_0 L$ соответственно, δ_0 , φ и θ_0 — начальный прогиб, углы поворота в торцевом и конусном сопряжениях; L — длина оправки, к которой приложена сила P .

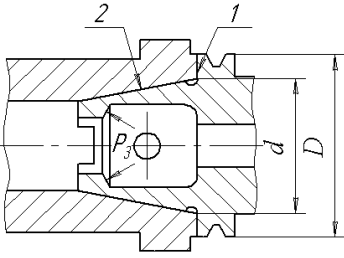


Рис. 1. Схема соединения с двойным базированием типа “HSK”

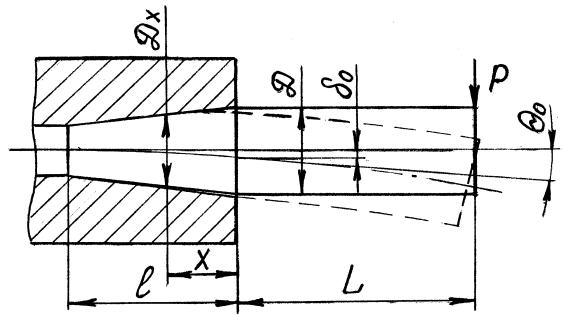


Рис. 2. Схема соединения с базированием по конусу

Начальный прогиб δ_0 и угол поворота θ_0 в конусном сопряжении можно определить из дифференциального уравнения упругой линии изгиба консольной балки со сплошной заделкой и упругим основанием, которым служат поверхностные слои оправки и внутренней поверхности сопрягаемого модуля [1]:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI_x \frac{d^2 y}{dx^2} \right) + \frac{B_x}{k} y = 0, \quad (1)$$

где y – прогиб в сечении x .

Введем следующие граничные условия:

$$\text{при } x = 0 \quad \frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{EI_x} \text{ и } \frac{d^3 y}{dx^3} = \frac{P}{EI_x};$$

$$\text{при } x = l \quad \frac{d^2 y}{dx^2} = 0 \text{ и } \frac{d^3 y}{dx^3} = 0,$$

где $M = PL$ и P – момент и перерезывающая сила в начале стыка.

В связи с тем, что соединение модулей оправки происходит с помощью конусных поверхностей (рис. 2), у которых диаметр меняется по длине, поэтому жесткость EI_x оправки и приведенная ширина B_x упругого основания также переменны по длине:

$$D_x = D \left(1 - \frac{2\alpha x}{D} \right); \quad EI_x = \frac{E\pi D^4}{64}; \quad B_x = \frac{\pi D_x}{2},$$

где 2α – угол конусности; D – больший диаметр соединения; D_x – диаметр в сечении на расстоянии x от кромки стыка.

Решаем уравнение (1), т.е. относительно координаты $x = 0$ определим упругое перемещение $y = \delta_0$ и угол наклона θ_0 в начале стыка:

$$\delta_0 = \frac{2M\beta^2 k}{B} C_1 + \frac{2P\beta k}{B} C_2 = \frac{2P\beta k}{B} (\beta LC_1 + C_2), \quad \text{мкм}; \quad (2)$$

$$\theta_0 = \frac{4M\beta^2 k}{B} C_3 + \frac{2P\beta^2 k}{B} C_4 = \frac{2P\beta^2 k}{B} (\beta LC_3 + C_4), \quad \text{мкм/мм}. \quad (3)$$

Общее решение по определению упругого перемещения для конусной оправки можно представить как

$$\delta_{\Sigma} = \frac{2P\beta k}{B} [C_2 + \beta L(C_1 + C_2) + 2\beta^2 L^2 C_3],$$

где P — сила, Н; L — расстояние от кромки стыка до сечения приложения нагрузки, мм; k — коэффициент контактной податливости стыка, мкм/Н·мм⁻²; β — показатель жесткости стыка, $\beta = \sqrt[4]{\frac{B \cdot 10^3}{4EI k}}$, 1/мм; E — модуль упругости (для стали $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа); I — момент инерции хвостовика в начале стыка, $I = \frac{\pi D^4}{64}$, мм⁴; B — приведенная ширина стыка, $B = 0,5\pi D$, мм; C_1, C_2, C_3, C_4 — поправочные коэффициенты, учитывающие влияние переменного диаметра, причем $C_1 = C_4$. Значения этих коэффициентов зависят от показателя жесткости $\lambda = \beta l$ и угла конуса α .

Данные коэффициенты получены путем двойной аппроксимации табличных данных [1] для различных длин и углов методом наименьших квадратов. Цель проведенной аппроксимации — создать единые аналитические зависимости для определения коэффициентов C_1, C_2, C_3 применительно к более широкому диапазону изменения как показателя жесткости λ , так и углов конусов анализируемых инструментов (табл. 1).

Таблица 1

λ		Конусы											
		Морзе, $\alpha/2 = 1^\circ 30'$			1/10, $\alpha/2 = 2^\circ 51'$			1/5, $\alpha/2 = 5^\circ 42'$			7/24, $\alpha/2 = 8^\circ 17'$		
		C_T											
C_1, C_4	C_2	C_3	C_1, C_4	C_2	C_3	C_1, C_4	C_2	C_3	C_1, C_4	C_2	C_3		
1,5	1,3	1,27	1,03	1,5	1,4	1,2	1,9	1,75	1,4	2,34	2,06	1,7	
2	1,23	1,2	1,02	1,43	1,34	1,13	1,78	1,63	1,30	2,16	2,06	1,7	
2,5	1,15	1,13	1,02	1,35	1,28	1,1	1,62	1,5	1,23	1,65	1,64	1,17	
3	1,10	1,08	1,01	1,28	1,23	1,08	1,47	1,41	1,15	1,45	1,48	1,07	
3,5	1,08	1,06	1,01	1,23	1,19	1,06	1,36	1,34	1,1	1,34	1,36	1,05	
4	1,06	1,04	1,01	1,19	1,15	1,04	1,28	1,27	1,05	1,30	1,34	1,04	
5	1,05	1,03	1,0	1,12	1,11	1,02	1,15	1,18	0,98	1,27	1,32	1,03	
6	1,04	1,03	1,0	1,07	1,06	0,99	1,06	1,11	0,93	1,25	1,30	1,02	
7	1,03	1,02	1,0	1,03	1,03	0,98	0,98	1,05	0,88	1,23	1,28	1,01	
8	1,02	1,01	1,0	0,99	1,0	0,96	0,93	1,0	0,85	1,2	1,26	1,01	
9	1,01	1,01	1,0	0,97	0,97	0,95	0,87	0,96	0,82	1,7	1,24	1,0	
10	1,0	1,0	1,0	0,94	0,95	0,94	0,83	0,92	0,79	1,3	1,2	1,0	

На первом этапе аппроксимации были получены степенные зависимости $C_i = f(\lambda)$ для двух углов:

для конуса 7/24 с углом $\alpha/2 = 8^\circ 17'$:

$$C_1 = 3,165\lambda^{-0,666}, \quad C_2 = 2,573\lambda^{-0,484}, \quad C_3 = 2,048\lambda^{-0,546};$$

для конуса Морзе с углом $\alpha/2 = 1^\circ 30'$:

$$C_1 = 1,342\lambda^{-0,155}, \quad C_2 = 1,299\lambda^{-0,144}, \quad C_3 = 1,035\lambda^{-0,019}.$$

В результате получили три выражения для конусов 7/24 и три выражения для конусов Морзе, адекватно отражающих реальную зависимость коэффициентов C_1, C_2 и C_3 от переменного параметра λ , а следовательно, и длины l для углов $\alpha/2 = 8^\circ 17'$ и $\alpha/2 = 1^\circ 30'$. Задачу решали с помощью специально разработанной программы APROKSIM-1.

На втором этапе аппроксимации были получены единые зависимости для определения коэффициентов C_i в следующем виде:

$$C_i = k_i \lambda^{x_i},$$

где $k_i = f\left(\frac{\alpha}{2}\right) = a_i + a_{i+1} \sin \frac{\alpha}{2}$; $x_i = f\left(\frac{\alpha}{2}\right) = b_i + b_{i+1} \sin \frac{\alpha}{2}$.

Численные значения переменных параметров a_i, a_{i+1} и b_i, b_{i+1} определялись по указанной программе и приведены ниже. Коэффициенты C_1, C_2, C_3 определяли по зависимостям:

$$C_1 = k_1 \lambda^{x_1}, \tag{4}$$

где $k_1 = 0,937 + 15,465 \sin \frac{\alpha}{2}$, $x_1 = -0,041 - 4,340 \sin \frac{\alpha}{2}$;

$$C_2 = k_2 \lambda^{x_2}, \tag{5}$$

где $k_2 = 1,017 + 10,801 \sin \frac{\alpha}{2}$, $x_2 = -0,068 - 2,882 \sin \frac{\alpha}{2}$;

$$C_3 = k_3 \lambda^{x_3}, \tag{6}$$

где $k_3 = 0,827 + 7,951 \sin \frac{\alpha}{2}$, $x_3 = -0,084 - 3,972 \sin \frac{\alpha}{2}$.

Исходные данные для проведения второго этапа аппроксимации — коэффициенты k_i и x_i при расчете коэффициентов C_i (приведены в табл. 2).

Коэффициенты		Угол $\alpha/2$			
C_i	k_i, x_i	$\sin 1^\circ 30' =$ $= 0,02618$	$\sin 2^\circ 51' =$ $= 0,04972$	$\sin 5^\circ 42' =$ $= 0,09932$	$\sin 8^\circ 17' =$ $= 0,14407$
C_1	k_1	1,342615	1,706720	2,473811	3,165739
	x_1	-0,15543	-0,257321	-0,472589	-0,666766
C_2	k_2	1,29995	1,554245	2,089991	2,573244
	x_2	-0,144385	-0,212243	-0,355206	-0,484161
C_3	k_3	1,035493	1,222708	1,617127	2,048302
	x_3	-0,019714	-0,281770	-0,478796	-0,546557

Приведенные аппроксимационные зависимости $k, x = f\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ получены с помощью той же прикладной программы АПРОКСИМ-1 по двум точкам при условии прямолинейной графической зависимости вида $y = a + bx$ между переменными параметрами (рис. 3, а и б). Используя аппроксимационные зависимости второго уровня (4), (5), (6), представляется возможным провести не табличное, а расчетное определение искомых коэффициентов C_1, C_2 и C_3 , учитывая произвольные значения переменных параметров λ и угла $\frac{\alpha}{2}$.

Для автоматизированного расчета этих коэффициентов по указанным уравнениям была разработана прикладная программа RAS SIC. PAS [2].

Угол поворота φ в торцевом стыке (рис. 4) можно определить по известным зависимостям:

$$\varphi = \frac{k(1 - \chi)M}{I}, \quad \text{мкм/мм}, \quad (7)$$

где k — коэффициент контактной податливости, $k = C m \sigma_0^{m-1}$, мкм/Н·мм⁻²; C — коэффициент, зависящий от геометрии поверхности и физических свойств материалов сопрягаемых деталей. Для стальных

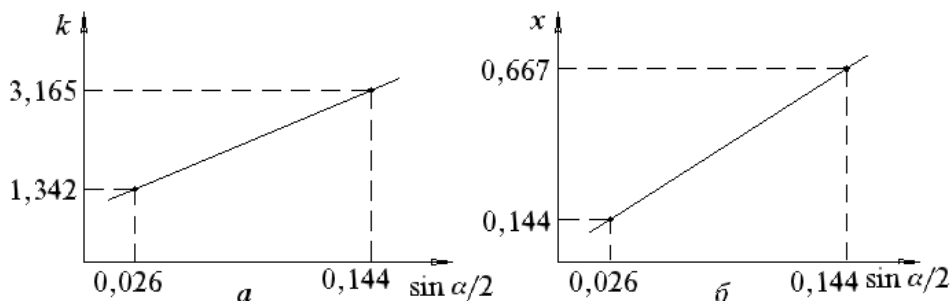


Рис. 3. Графики аппроксимационных зависимостей:
а — $k = f(\alpha/2)$; б — $x = f(\alpha/2)$

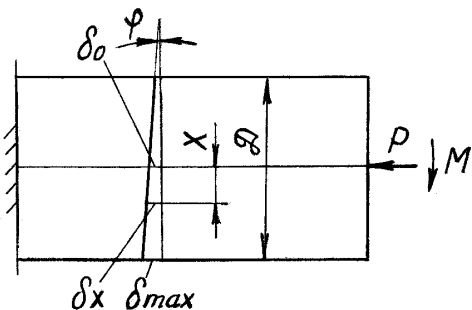


Рис. 4. Схема соединения с базированием по торцу

ных нагружениях $m \approx 0,5$; σ_0 — давление в стыке, $\sigma_0 = \frac{P_3}{F}$, Па; P_3 — сила затягивания стыка, Н; F — площадь стыка, м².

Для $m \approx 0,5$ коэффициент контактной податливости $k = \frac{0,5C}{\sqrt{\sigma_0}}$.

Одним из важнейших условий работы соединений с двойным базированием является работа всех базирующих поверхностей в диапазоне упругих деформаций. Особенно это важно для касательных деформаций, так как в некотором диапазоне нагрузок они носят упругий характер, и после снятия нагрузки система возвращается в исходное положение. После превышения определенного значения нагрузки начинаются необратимые смещения, а затем может произойти “срыв”. Чтобы исключить это, стыки, удерживаемые силой трения, необходимо рассчитывать таким образом, чтобы касательные смещения в них не переходили в область пластических, т.е. контактирующие детали машин при приложении сдвигающей силы, которая меньше силы трения покоя, имеют касательные контактные перемещения.

Упругие касательные контактные перемещения, наблюдаемые при упругом характере нормальных контактных деформаций и в начальный период упруго-пластических касательных перемещений, можно определить по данным работы [3]:

$$\delta_{\tau\kappa} = \frac{\pi S_m}{16R_P^2} \left[1 - \left(1 - \frac{P_\kappa}{fP} \right)^{2/3} \right] (y_{\text{ск}}^2 - y_{\text{ст}}^2),$$

при $P_{\kappa i} = fP_i$ получим $\delta_{\tau\text{max}}$:

$$\delta_{\tau\text{max}} = \frac{\pi S_m (y_{\text{ск}}^2 - y_{\text{ст}}^2)}{16R_P^2}. \quad (8)$$

Это так называемое состояние предварительного смещения упругого контакта или начало процесса проскальзывания.

и чугунных деталей с шероховатостью по ГОСТ 2789-73 значения усредненного коэффициента C следующие: $C = 0,4 \dots 0,5$; $0,35$; $0,25$; $0,15$ и $0,07$ для 7; 8; 9; 10 и 11-го классов шероховатости соответственно; m — показатель степени, для стальных закаленных деталей с шероховатостью сопрягаемых поверхностей 8, 9-го класса при повтор-

Здесь P_i и P_{ki} — нормальная и касательная нагрузки ($P_i = P/m$, $P_{ki} = P_k/m$, где m — вероятное число контактов); S_m — средний шаг между масляными карманами; R_p — высота сглаживания масляных карманов; $y_{ск}$ — нормальное сближение контактируемых деталей при скольжении, $y_{ск} = (2\sqrt{1 + f^2} - 1)y_{ст}$; f — коэффициент трения по- коя сопрягаемых материалов; $y_{ст}$ — контактное сближение деталей в статике,

$$y_{ст} = (y_{пл1} + y_{пл2}) + (y_{уп1} + y_{уп2}),$$

$y_{пл1}$ и $y_{пл2}$ — пластические контактные деформации поверхностных слоев под действием силы P соответственно первой и второй контактирующих деталей; $y_{уп1}$ и $y_{уп2}$ — упругие перемещения нижележащих слоев тех же деталей.

Величина пластических деформаций контактирующих деталей определяется формированием фактической площади контакта с учетом ее шероховатости, волнистости, макроотклонения и физико-механических свойств и согласно работе [3]:

$$y_{пл1} = \pi \left(\frac{2\pi P R_{a1} W_{z1} H_{max1}}{A k'_1 \sigma_{T1}} \right)^{1/3}, \text{ мкм.} \quad (9)$$

Упругие перемещения нижележащих слоев под действием приложенной нагрузки могут быть определены по формуле

$$y_{уп1} = 2\pi \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} k'_1 \sigma_{T1} S_m \frac{y_{пл1}}{R_a}, \text{ мкм,} \quad (10)$$

где A — геометрическая площадь контакта, $A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$, м²; σ_{T1} — напряжения текучести первой детали, для стали 40X $\sigma_T = 360$ МПа; μ — коэффициент Пуассона, для металлов $\mu = 0,25 \dots 0,35$; E — модуль упругости, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа.

Аналогичный вид имеют уравнения, используемые для расчета пластической и упругой составляющих контактных перемещений второй детали. Численные значения параметров поверхностного слоя приведены в табл. 3.

Таблица 3

Метод обработки	Направление измерения	Параметры					
		Шероховатость			Волнистость	Макроотклонение	Степень наклепа
		R_a , мкм	R_p , мкм	S_m , мм			
Шлифование	поперечное	0,22	0,38	0,016	0,52	2,6	1,0
	продольное	0,08	0,20	0,042	0,72	2,8	1,0

В соединении с двойным базированием при нагружении одна пара из сопрягаемых поверхностей работает в области касательных контактных перемещений, поэтому вначале необходимо определить максимально возможную величину $\delta_{\tau \max}$ этого перемещения по приведенным зависимостям, исходя из заданных режимов обработки. Затем по величине этого перемещения оценить по нагрузочной способности каждую из базирующих поверхностей.

Для конусного соединения нагрузку P_1 , приложенную на расстоянии L , определяют из формулы (2), приравнявая $\delta_0 = \delta_{\tau \max}$:

$$P_1 = \frac{\delta_{\tau \max} B}{2\beta k(\beta LC_1 + C_2)}.$$

Далее определяем угол наклона θ_0 оправки в начале стыка по формуле (3)

$$\theta_0 = \frac{2P_1\beta^2 k}{B}(2\beta LC_3 + C_4).$$

Затем по известным зависимостям (7) находим силу P_2 , вызывающую смещение θ_0 на торце; так как в данном случае $\varphi = \theta_0$, то

$$P_2 = \frac{\theta_0 I}{k(1 - \chi)L},$$

где $I = \frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64}$ — момент инерции кольцевого стыка, мм^4 , где D и d — диаметры (см. рис. 1).

Из сопоставления сил P_1 и P_2 видно, какую долю общей нагрузки $P = P_1 + P_2$ несет каждая из соединительных поверхностей. Жесткости конусного j_k и торцевого j_t соединений можно определить из выражений

$$j_k = \frac{P_1}{\delta_{\tau \max} + \theta L} \quad \text{и} \quad j_t = \frac{P_2}{\theta L}.$$

Соотношение этих жесткостей можно численно оценить после проведения расчета с конкретными и реальными исходными данными, в качестве которых для примера взяты $D = 50$ мм, $d = 30$ мм, $l = 25$ мм, $k = 0,1 \frac{\text{МкМ}}{\text{Н} \cdot \text{мм}^{-2}}$, $\chi = 0,2$, $L = 100$ мм. Причем все расчеты для более полной их достоверности необходимо проводить при оптимальных параметрах соединения по следующей схеме.

1. Определяем максимальное касательное упругое контактное перемещение:

$$\delta_{\tau \max} = \frac{\pi S_m (y_{\text{ск}}^2 - y_{\text{ст}}^2)}{16R_p^2} = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 0,08}{16 \cdot 0,38^2} = 1,7 \text{ мкМ},$$

где $y_{ст} = (y_{пл1} + y_{пл2}) + (y_{y,пл1} + y_{y,пл2}) = (0,58 + 0,58) + (0,42 + 0,42) \approx 2$ мкм.

Значения $y_{y,пл1} = y_{y,пл2}$ и $y_{пл1} = y_{пл2}$ определяем по формулам (10) и (11), предварительно рассчитав геометрическую площадь A контакта:

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4}(0,05^2 - 0,03^2) = 0,001256 \text{ м}^2 = 12,56 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

тогда для силы затягивания $P_3 = 1500$ Н, при которой коэффициент контактной податливости $k = 0,1 \frac{\text{мкм}}{\text{Н} \cdot \text{мм}^{-2}}$,

$$y_{пл1,2} = 3,14 \left(\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500 \cdot 0,22 \cdot 0,52 \cdot 2,6}{12,56 \cdot 10^{-4} \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 1} \right)^{1/3} = 0,58 \text{ мкм};$$

$$y_{y,пл1,2} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1 - 0,3^2}{2,1 \cdot 10^5} \cdot 1 \cdot 360 \cdot 16 \cdot \frac{0,58}{0,22} = 0,42 \text{ мкм};$$

$$y_{ск} = \left(2\sqrt{1 + f^2} - 1 \right) y_{ст} = \left(2\sqrt{1 + 0,15^2} - 1 \right) \cdot 2 = 2,02 \text{ мкм}.$$

Значения S_m и R_p приведены в табл. 4.

2. Определяем нагрузочную способность конического соединения, для чего рассчитываем силу P_1 , вызвавшую перемещение $\delta_{\tau \max}$:

$$P_1 = \frac{\delta_{\tau \max} B}{2\beta k (\beta LC_1 + C_2)} = \frac{1,7 \cdot 47,1}{2 \cdot 0,06 \cdot 0,1 \cdot (0,06 \cdot 100 \cdot 2,2 + 2)} = 439 \text{ Н}.$$

3. Определяем начальный угол наклона θ_0 , учитывая силу P_1 :

$$\begin{aligned} \theta_0 &= \frac{2P_1\beta^2k}{B} (2\beta LC_3 + C_4) = \\ &= \frac{2 \cdot 439 \cdot 0,06^2 \cdot 0,1}{47,1} (2 \cdot 0,06 \cdot 100 \cdot 1,7 + 2,34) = 0,15 \text{ мкм/мм}. \end{aligned}$$

4. Определяем нагрузочную способность торцевого соединения, для чего рассчитываем силу

$$P_2 = \frac{\theta_0 I}{k(1 - \chi)L} = \frac{0,15 \cdot 26,7 \cdot 10^4}{0,1 \cdot 0,8 \cdot 100} = 5006 \text{ Н}.$$

5. Определяем соотношение или кратность N нагрузочной способности торцевой и конусной поверхностей:

$$N = P_2/P_1 = 5006/439 = 11,4.$$

Из этого соотношения следует, что жесткость торца в N раз больше, чем конуса, без учета накладываемых на соединение ограничений.

6. Определяем коэффициент повышения жесткости η_k соединения, например от конусной поверхности:

$$\eta_k = \frac{j_k}{j_k + j_T} = \frac{P_1}{P_1 + P_2} = \frac{1}{1 + N}.$$

Согласно приведенным расчетам $\eta_k \approx 0,08 \dots 0,2$.

Зная упругое перемещение одной из базирующих поверхностей, например торцевой, y_T , можно определить общее перемещение y_Σ в соединении: $y_\Sigma = \frac{y_T}{1 + \eta_k}$.

Согласно данной методике, на стадии проектирования соединительных устройств можно определить и оценить жесткость каждой из базирующих поверхностей и системы в целом, что позволяет научно обоснованно сформулировать основные требования к их разработке, изготовлению и эксплуатации.

Выводы. 1. Наибольшую жесткость из инструментальных соединений имеют соединения с двумя базирующими поверхностями типа конус-торец.

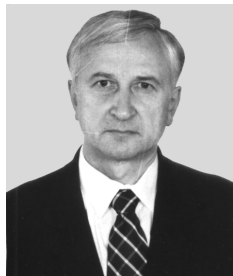
2. Соотношение жесткости между торцевой и конусной базирующими поверхностями составляет более 10 без накладываемых ограничений, при оптимальных геометрических и силовых параметрах соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л е в и н а З. М., Р е ш е т о в Д. Н. Контактная жесткость машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
2. А д л е р Ю. П., М а р к о в а Е. В., Г р а н о в с к и й Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
3. С у с л о в А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.

Статья поступила в редакцию 28.06.2005

Константин Адамович Украженко родился в 1952 г., окончил в 1973 г. Могилевский машиностроительный институт. Канд. техн. наук, заслуженный изобретатель РФ, технический директор НПФ “Динамика” (г. Ярославль). Автор более 125 научных работ в области станкоинструментальной промышленности, робототехники и специального технологического оборудования для производства микроразъемных приборов.



K.A. Ukrazhenko (b. 1952) graduated from the Mogilyov Mechanical Engineering Institute in 1973. Ph. D. (Eng.), Honoured Inventor of the Russian Federation, technical director of the Scientific and Industrial Firm “Dinamika” (city Yaroslavl). Author of over 125 publications in the field of machine-tool industry, robotics and special technological equipment for microelectronic device production.