

ниженной коррозионной стойкостью. Развитие интенсивной коррозии во влажной среде наблюдалось уже через 100 часов. С другой стороны, для условий свободной усадки наличие преимущественно сжимающих напряжений обусловило высокую коррозионную стойкость таких соединений. При выдержке во влажной среде в течение 4000 часов коррозии не наблюдалось.

ВЫВОДЫ

1. Установлена возможность рентгенографического изучения остаточных напряжений кольцевых сварных соединений из стали Х18Н10Т методом одной наклонной съемки. Полученные данные хорошо согласуются с расчетными и результатами коррозионных испытаний.

2. Установлено, что вследствие воздействия термического цикла сварки наблюдается непостоянство параметров кристаллической решетки аустенита в различных зонах сварного шва, которое необходимо учитывать при рентгенографическом определении остаточных напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Медовар Б. И. Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов. М., «Машиностроение», 1966.
2. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения. М., «Машиностроение», 1968.
3. Гипльс А. Рентгенография кристаллов. М., Физматгиз, 1961.
4. Ратнер А. В., Березина Т. Г. Остаточные напряжения в сварных стыках аустенитных паропроводов. «Теплоэнергетика», № 7, 1964.
5. Уманский Я. С. Рентгенография металлов и полупроводников. М., «Металлургия», 1970.

А. Н. Рогинко, М. И. Разумихин

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СМЕЩЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ В ПОЛЕ ЗАЗОРОВ ПРИ УВЯЗКЕ ОСНАСТКИ ПО БАЗОВЫМ ОТВЕРСТИЯМ

При расчете точности процесса увязки оснастки по базовым отверстиям на основе технологического натурального станда * необходимо суммировать линейные и векторные погрешности с проекциями зазоров в сопряжениях по базовым отверстиям (БО) на заданные направления. В процессе изготовления оснастки в последовательности: базовый шаблон технологического натурального станда (ТНС) — эталон — приспособление — деталь и кронштейн ТНС — вилка монтажного эталона — переходная втулка — фиксатор стапеля происходит накопление смещений элементов оснастки

* Авторское свидетельство № 264920.

в поле векторных зазоров, приводящее к заметному увеличению результирующей погрешности — обвода крыла.

Поскольку БО задаются в стенках элементов силового набора крыла, а все работы по изготовлению оснастки в ТИС проводятся в положении, когда оси БО горизонтальны, то выборка зазоров в сопряжениях по БО происходит под действием веса конструкции.

Пусть OM — вертикальная ось координат, а ON — горизонтальная, принадлежащая плоскости стенки первюры (лонжерона), т. е. перпендикулярная оси БО. Поставим задачу определения характеристик проекций зазоров на оси OM и ON .

Выборка зазоров происходит главным образом в направлении оси OM . Но суммирование полного значения зазора с погрешностями вдоль оси OM не будет достаточно точным. Каждый элемент оснастки (шаблон, эталон, деталь и т. п.) фиксируется по меньшей мере на два БО, причем в каждом случае имеется какая-то погрешность межцентрового расстояния между двумя БО. Это приведет к тому, что болт в каждом из БО будет смещаться в отверстии не строго вертикально, так как оси двух БО в сопрягаемых деталях в общем случае не совпадут и, следовательно, выборка зазоров в вертикальном направлении будет нецелесообразной (рис. 1). В таком случае задача определения характеристик смещения деталей в поле зазоров сводится к установлению связи между характеристиками проекций зазоров на оси OM и ON и характеристиками зазоров, полностью выбирающихся в фиксированном направлении, значения которых хорошо известны.

Пусть имеются отверстие и вал с номинально равными диаметрами, принимающими случайные значения с определенными характеристиками распределения. Вследствие погрешностей межцентрового расстояния центр вала займет под действием веса любое положение на нижней полуокружности радиуса r , равного значению радиального зазора (рис. 1). Проекция вектора r на ось OM

$$r_m = r \cdot \cos \varphi. \quad (1)$$

Величины r и $\cos \varphi$ — случайные и независимые. Тогда математическое ожидание и дисперсия величины r_m , согласно известным положениям теории вероятностей [1],

$$Mr_m = Mr \cdot M \cos \varphi; \quad (2)$$

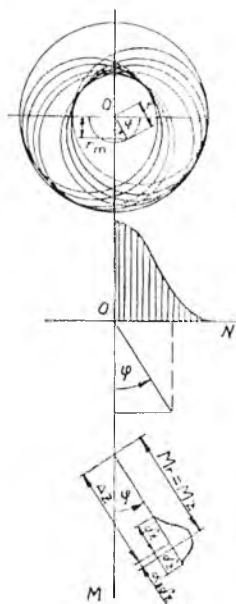


Рис. 1. Возможные положения болта в отверстии

$$\vec{D}r_m = \vec{D}r \cdot D \cos \varphi + \vec{D}r (M \cos \varphi)^2 + D \cos \varphi (\vec{M}r)^2. \quad (3)$$

Значения угла φ могут находиться в пределах от $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$. Направление вектора \vec{r} зависит от погрешностей размеров L_1 и L_2 , диаметров отверстий d'_{a_1} , d'_{a_2} , d''_{a_1} , d''_{a_2} , диаметров болтов d'_b , d''_b (рис. 2), т. е. по меньшей мере от восьми случайных величин, не считая влияния погрешностей формы отверстий

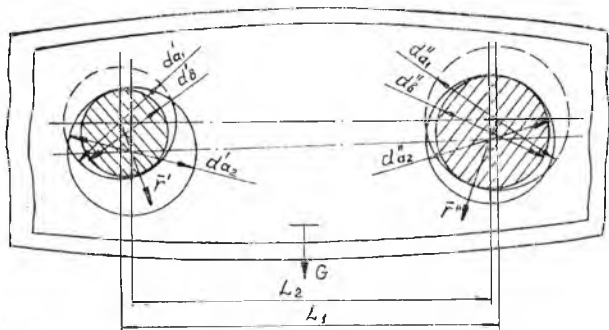


Рис. 2. Погрешности, влияющие на направление вектора

и валов, температурных и упругих деформаций и т. п. При этих условиях, учитывая также симметрию, можно принять нормальный закон распределения вектора по углу φ в интервале от $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$. Из условия задачи очевидно, что $M\varphi = 0$. Величины $M \cos \varphi$ и $D \cos \varphi$ определяются [1] выражениями:

$$M \cos \varphi = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \varphi \cdot e^{-\frac{\varphi^2}{2\sigma^2}} d\varphi; \quad (4)$$

$$D \cos \varphi = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (\cos \varphi - M \cos \varphi)^2 e^{-\frac{\varphi^2}{2\sigma^2}} d\varphi. \quad (5)$$

Интегралы (4) и (5) можно вычислить методом разложения искомой функции в ряд Тэйлора [2] с сохранением в правой части разложения достаточно большого числа членов, так как функция $\cos \varphi$ не близка к линейной, т. е.

$$M \cos \varphi = \cos(M\varphi) + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{M^k (\varphi)^k}{k!} \left[\frac{d^k (\cos \varphi)}{d\varphi^k} \right]_{\varphi=M\varphi, \varphi=0}. \quad (6)$$

Здесь $\mu_k(\varphi)$ — центральный момент k -го порядка случайной величины φ , а $\frac{d^k(\cos \varphi)}{d\varphi^k}$ — производная k -го порядка от $\cos \varphi$ по φ . Центральные моменты величины φ , распределенной по нормальному закону [1].

$$\mu^{(2n)}(\varphi) = 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1) \sigma^{2n}.$$

$$\mu^{(2n-1)}(\varphi) = 0; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

то есть для нечетных k

$$\mu_1 = \mu_3 = \mu_5 = \dots = 0,$$

и для четных k

$$\mu_2 = \sigma^2; \quad \mu_4 = 3\sigma^4; \quad \mu_6 = 15\sigma^6; \quad \mu_8 = 105\sigma^8.$$

С вероятностью 0,9973 можно принять $\sigma = \frac{\pi}{6}$.

После дифференцирования и подсчетов по формуле (6) получим

$$M \cos \varphi = 0,872. \quad (7)$$

Дисперсию $\cos \varphi$ определим по известной формуле теории вероятностей

$$D \cos \varphi = M(\cos^2 \varphi) - (M \cos \varphi)^2,$$

где $M(\cos^2 \varphi)$ определяется по формуле, аналогичной (6). После подсчетов получим

$$M \cos^2 \varphi = 0,789;$$

$$D \cos \varphi = 0,789 - (0,872)^2 = 0,029.$$

Уравнения (2) и (3) запишутся в виде

$$Mr_m = 0,872Mr; \quad (8)$$

$$Dr_m = 0,789Dr + 0,029(Mr)^2. \quad (9)$$

Наибольшее расстояние между осями отверстия и вала

$$\rho = \Delta_z + \delta_z,$$

где Δ_z — координата середины, а δ_z — половина поля рассеяния радиального зазора.

Математическое ожидание модуля вектора

$$Mr = Mz = \Delta_z + \alpha_z \delta_z, \quad (10)$$

и дисперсия

$$Dr = Dz = D(\Delta_z + \delta_z) = D\delta_z = \frac{1}{9} k_z^2 \delta_z^2, \quad (11)$$

так как дисперсия постоянной величины Δ_z равна нулю.

Из (8) и (10) получим

$$Mr_m = 0,872(\Delta_z + \alpha_z \delta_z), \quad (12)$$

Необходимо определить характеристики проекций зазоров на оси ОМ ($\Delta_{zm}, \delta_{zm}, k_{zm}, \alpha_{zm}$) и ОН ($\Delta_{zn}, \delta_{zn}, k_{zn}, \alpha_{zn}$) через известные характеристики сопряжения при полной выборке зазоров в фиксированном направлении ($\Delta_z, \delta_z, \alpha_z$).

Очевидно, максимальное расстояние между проекциями осей отверстия и вала на ось ОМ равно $(\Delta_z + \delta_z)$. При этом оси находятся в одной вертикальной плоскости ($\varphi=0$). Минимальное расстояние между проекциями осей равно нулю ($\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$). Следовательно, полное поле допуска проекции зазора

$$2\delta_{zm} = (\Delta_z + \delta_z) - 0,$$

и, очевидно,

$$\Delta_{zm} = \delta_{zm} = \frac{\Delta_z + \delta_z}{2}. \quad (13)$$

Коэффициент относительной асимметрии α_{zm} [3] определяется из соотношения

$$\alpha_{zm} = \frac{Mr_m - \Delta_{zm}}{\delta_{zm}} = \frac{Mr_m - \delta_{zm}}{\delta_{zm}} = \frac{Mr_m}{\delta_{zm}} - 1.$$

С учетом (12) и (13) получим

$$\alpha_{zm} = \frac{1,74 (\Delta_z + \delta_z)}{\Delta_z + \delta_z} - 1. \quad (14)$$

Коэффициент относительного рассеяния κ_{zm} определяется из равенства

$$\frac{1}{9} k_{zm}^2 \cdot \delta_{zm}^2 = Dr_m.$$

Используя (9) и (13), можно получить

$$k_{zm}^2 = \frac{3,16 \left[k_m^2 + 0,33 \left(\frac{\Delta_z}{\delta_z} + z_r \right)^2 \right]}{\left(1 + \frac{\Delta_z}{\delta_z} \right)^2}. \quad (15)$$

Аналогично определяются характеристики проекции вектора на ось ON:

$$r_n = r \cdot \sin \alpha;$$

$$Mr_n = Mr \cdot M \sin \alpha; \quad (16)$$

$$Dr_n = Dr \cdot D \sin \varphi + Dr \cdot (M \sin \varphi)^2 + D \sin \varphi \cdot (Mr)^2. \quad (17)$$

Подсчет числовых характеристик $M \sin \varphi$ и $D \sin \varphi$ разложением в ряд даст $M \sin \varphi = 0$; $D \sin \varphi = 0,21$.

Поскольку распределение симметрично относительно оси ОМ, то

$$Mr_n = \Delta_{zn} = 0; \quad \alpha_{zn} = 0; \quad \delta_{zn} = \Delta_z + \delta_z. \quad (18)$$

Для дисперсии из выражения (17)

$$Dr_n = 0,21 Dr + 0,21 (Mr)^2, \quad \frac{1}{9} k_{zn}^2 \delta_{zn}^2. \quad (19)$$

откуда с использованием (10) и (11) получим

$$k_{zn}^2 = \frac{0,21 \left[k_z^2 + 9 \left(\frac{\Delta_z}{\delta_z} + z_r \right)^2 \right]}{\left(1 + \frac{\Delta_z}{\delta_z} \right)^2}. \quad (20)$$

В тех случаях, когда можно принять нормальный закон распределения для отверстия и вала ($k_a = k_b = 1$, ($\alpha_a = \alpha_b = 0$), $k_z = 1$, $\alpha_z = 0$), полученные выражения соответственно упрощаются.

В формулы (14), (15) и (20) входят величины, зависящие от выбора диаметров, класса точности и вида посадок. Для оценки влияния этих факторов воспользуемся представлением допусков в виде произведения единицы допуска i на коэффициент точности a : $\delta' = a \cdot i$. [4].

Так как отверстие и вал могут выполняться с разным числом единиц допуска, то выразим число единиц допуска вала через число единиц допуска отверстия

$$a_b = a_a \cdot t.$$

Поля допусков отверстия и вала соответственно равны $a_a \cdot i$ и $a_b \cdot i$, поэтому в системе отверстия

$$\Delta_a = \delta_a = \frac{a_a \cdot i}{2}; \quad \delta_b = \frac{a_b \cdot i}{2} = \frac{a_a \cdot i \cdot t}{2}. \quad (21)$$

Значения Δ_b для валов, выполненных с различными посадками, можно определить из анализа полей допусков стандартных посадок [5] и их расположения относительно номинала N_n . Очевидно,

$$\begin{aligned} \Delta_b &= -\left(N_b - \frac{BO + HO}{2}\right) = -\left[\left(N_b - BO\right) + \frac{BO - HO}{2}\right] = \\ &= -\left[\left(N_b - BO\right) + \frac{ai}{2}\right] = -\left[ai\left(\frac{N_b - BO}{ai} + \frac{1}{2}\right)\right]. \end{aligned}$$

Из таблиц допусков стандартных посадок легко видеть, что величина $\frac{N_n - BO}{ai}$ для диапазона диаметров свыше 6 до 80 мм, соответствующего применяемым диаметрам БО, составляет

1 — для посадки X;

$\frac{1}{2}$ — для посадок Д и X₃.

равна нулю для скользящих посадок всех классов точности.

Таким образом, величина Δ_b

для скользящих посадок $-\frac{a_b i}{2} = -\frac{a_a i t}{2}$;

для посадок Д и X₃ $-a_b i = -a_a i t$;

для посадки X $-\frac{3}{2} a_b i = -\frac{3}{2} a_a i t$.

Имея в виду, что значения a_a , i и t известны, можно записать

$$\delta_z = 0,25ai\sqrt{1+t^2};$$

$$\Delta_z = 0,25ai(1+nt),$$

где $n=1$ для посадок скольжения, $n=2$ для посадок X₁ и Д, $n=3$ для посадки X. Теперь формулы (14), (15) и (20) примут вид

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

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

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

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

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

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.

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