

锅炉角焊缝强度计算方法

JB/T 6734—1993

锅炉角焊缝强度计算方法

1 主题内容与适用范围

本标准规定了锅炉角焊缝强度计算方法。

本标准适用于额定蒸汽压力大于 2.5MPa 固定式蒸汽锅炉锅筒、集箱和管道上各种管接头连接焊缝和焊接到锅炉受压元件上受力构件的连接焊缝以及在制造、安装与运输过程中所用受力构件的连接焊缝。

2 名词术语及符号说明

2.1 名词术语

2.1.1 对接接头

两焊件端面相对平行的接头。

2.1.2 角接接头

两焊件端面间构成大于 30° 、小于 135° 夹角的接头。

2.1.3 T 形接头

一焊件之端面与另一焊件表面构成直角或近似直角的接头。

2.1.4 搭接接头

两焊件部分重叠构成的接头。

2.1.5 圆钢连接接头

两圆形焊件表面连接或一圆形焊件与一非圆形焊件连接的接头。

2.1.6 对接焊缝

在焊件的坡口面间或一焊件的坡口面与另一焊件表面间焊接的焊缝。

2.1.7 角焊缝

沿两直交或近直交焊件的交线所焊接的焊缝。

2.1.8 正面角焊缝

焊缝轴线与焊件受力方向相垂直的角焊缝，见图 2-1。

2.1.9 侧面角焊缝

焊缝轴线与焊件受力方向相平行的角焊缝，见图 2-2。

2.1.10 纵向焊缝

沿焊件长度方向分布的焊缝。

2.1.11 横向焊缝

垂直于焊件长度方向的焊缝。

2.1.12 环形焊缝

沿筒形焊件分布的头尾相接的封闭焊缝。

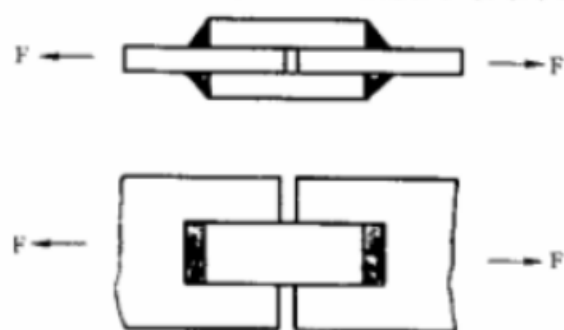


图 2-1 正面角焊缝

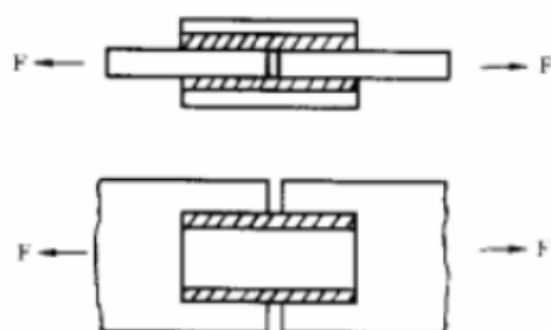


图 2-2 侧面角焊缝

2.1.13 承载焊缝

焊件上用作承受荷载的焊缝。

2.1.14 非承载焊缝

焊件上不直接承受荷载，只起连接作用的焊缝，习惯上称联系焊缝。

2.1.15 坡口深度

焊件开坡口时，焊件端部沿焊件厚度方向加工掉的尺寸。

2.1.16 焊脚尺寸

在角焊缝横截面中画出的最大直角三角形中直角边的长度。

2.1.17 焊缝计算厚度

设计焊缝时使用的焊缝厚度。

2.1.18 焊缝计算长度

计算焊缝强度时使用的焊缝长度。封闭焊缝的计算长度取实际长度；不封闭焊缝的计算长度，对每条焊缝取其实长减去 10mm。

2.1.19 焊缝计算厚度截面积

焊缝计算厚度与焊缝计算长度的乘积。

2.1.20 全焊透型焊缝

焊缝在其连接部位的全厚度上，用熔敷金属充分连接，无未焊透的部位，见图 2-3。必要时，全焊透型焊缝可用角焊缝进行加强。

2.1.21 部分焊透型焊缝

焊件在其连接部位的部分厚度上用熔敷金属连接，尚有未焊透的部位，见图 2-4。必要时，部分焊透焊缝可用角焊缝进行加强。

2.2 符号说明

a ——焊缝计算厚度，mm；

A ——焊缝计算厚度截面积， mm^2 ；

b ——耳板宽度，mm；

b_1 ——搭接焊横向焊缝长度，mm；

b_2 ——搭接焊纵向焊接长度、圆钢与钢板连接焊焊缝长度，mm；

b_3 、 b_4 ——弯头耳板尺寸，mm；

B 、 B_1 、 B_2 ——T形接头焊缝长度，mm；

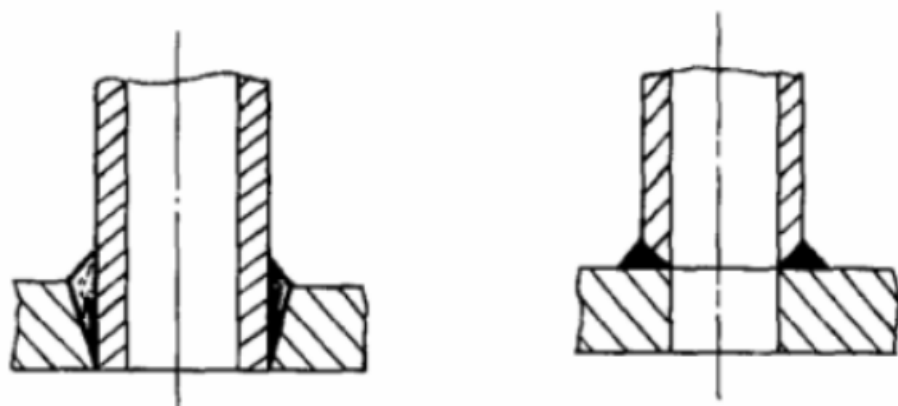


图 2-3 全焊透型焊缝

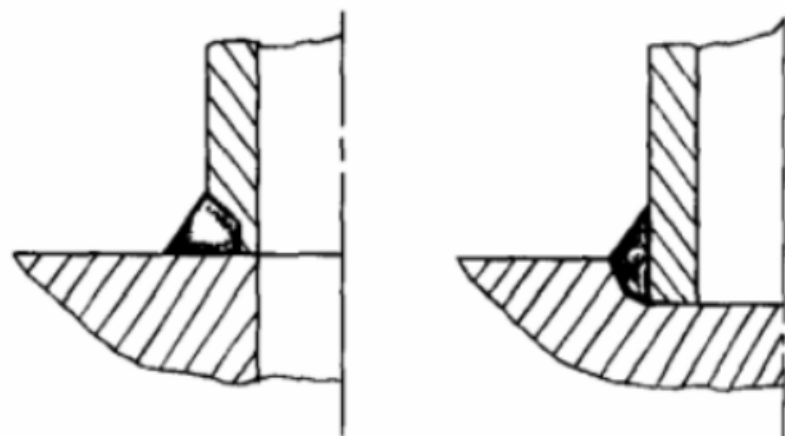


图 2-4 部分焊透型焊缝

- c ——横向耳板与集箱及耳板与弯头连接焊缝圆弧部分的弦长, mm;
 d ——管接头装配前筒体上的开孔直径, mm;
 d_0 ——管接头外径, mm;
 d_i ——管接头内径, mm;
 d_1 、 d_2 ——大、小圆钢直径, mm;
 D_i ——筒体内径, mm;
 e ——耳板与弯头连接焊缝直段部分的长度, mm;
 f ——管接头、T形接头坡口深度, mm;
 F ——集中力, N;
 F_x 、 F_y 、 F_z —— x 、 y 、 z 方向上的集中力, N;
 h ——耳板孔中心沿耳板高度方向到连接焊缝的距离, mm;
 h_1 、 h_2 ——耳板孔中心沿耳板高度方向至连接焊缝的最大和最小距离, mm;
 H ——对接接头坡口深度, mm;
 k ——壳体常数, 1/mm;
 K ——等脚角焊缝的焊脚尺寸, mm;
 K_1 、 K_2 ——不等脚角焊缝的焊脚尺寸, mm;
 l_1 ——焊缝计算长度, mm;
 M ——力矩, N·m;
 M_0 ——端盖与筒体连接处单位圆周长度的弯矩, N·m/m;
 M_x 、 M_y 、 M_z ——绕 x 、 y 、 z 轴旋转的力矩, N·m;

N ——端盖与筒体连接处单位圆周长度的纵向力, N/m ;
 P ——计算压力, MPa ;
 Q ——端盖与筒体连接处单位圆周长度的横向力, N/m ;
 R_0 ——筒体的外半径, 弯头外圆弧曲率半径, mm ;
 R_m ——筒体平均半径, mm ;
 s ——锅筒起吊耳板孔中心至锅筒重心的纵向距离, mm ;
 t ——筒体有效壁厚, mm ;
 t_1 ——无孔筒体理论计算壁厚, mm ;
 t_n ——管接头壁厚, mm ;
 W ——焊缝的抗弯截面系数, mm^3 ;
 W_x 、 W_y ——焊缝对 x 、 y 轴的抗弯截面系数, mm^3 ;
 W_k ——焊缝的抗扭截面系数, mm^3 ;
 x ——筒体开孔有效加强宽度, mm ;
 α ——对接接头 V 形坡口的坡口角度, 度;
 β ——焊缝计算厚度截面与焊脚尺寸 K_2 的夹角, 度;
 γ ——力的作用方向与耳板高度方向的夹角, 反时针方向为正, 度;
 δ ——板件厚度, mm ;
 δ_1 、 δ_2 ——较厚和较薄板件的厚度, mm ;
 Δ ——钢板厚度方向未焊尺寸, mm ;
 ϵ ——两圆钢公切线至连接焊缝表面的距离, mm ;
 η ——许用应力修正系数;
 θ ——耳板连接焊缝圆弧部分所对圆心角的二分之一, 度;
 μ ——泊松比;
 σ ——正应力, N/mm^2 ;
 σ_1 ——垂直于焊缝计算厚度截面的正应力, N/mm^2 ;
 σ_F ——集中力所引起的正应力, N/mm^2 ;
 σ_M ——弯矩所引起的正应力, N/mm^2 ;
 σ_{Mu} ——均布弯矩所引起的正应力, N/mm^2 ;
 σ_Q ——横向均布力所引起的正应力, N/mm^2 ;
 σ_N ——纵向均布力所引起的正应力, N/mm^2 ;
 σ_e ——按第三强度理论计算的当量应力, N/mm^2 ;
 σ_s ——焊件在室温下的屈服点, N/mm^2 ;
 $[\sigma]$ ——焊件在计算温度下的许用应力, 按相应的强度计算标准规定选用, N/mm^2 ;
 τ ——切应力, N/mm^2 ;
 τ_1 ——在焊缝计算厚度截面内且垂直于焊缝走向的切应力, N/mm^2 ;
 τ_2 ——在焊缝计算厚度截面内且平行于焊缝走向的切应力, N/mm^2 ;
 τ_F ——集中力所引起的切应力, N/mm^2 ;
 τ_M ——力矩所引起的切应力, N/mm^2 ;

- τ_{Mu} ——均布弯矩所引起的切应力, N/mm^2 ;
 τ_Q ——横向均布力所引起的切应力, N/mm^2 ;
 τ_N ——纵向均布力所引起的切应力, N/mm^2 ;
 ϕ ——耳板焊缝端点连线与耳板横截面的夹角, 度;
 ω ——弯头直段两端点与弯头外圆弧曲率中心连线的夹角, 度。

3 技术要求

3.1 工艺要求

- 3.1.1 焊接材料的强度不得低于焊件的较低强度。
 3.1.2 焊接及焊接工艺评定应符合有关标准的规定。
 3.1.3 按本标准计算的角接接头, 两焊脚边的夹角应不小于 60° 和不大干 120° 。

3.2 结构要求

3.2.1 角焊缝的焊脚尺寸应符合下列要求:

a. 对于板件, 当与焊脚接触的焊件厚度大于 $7mm$ 时, 其焊脚尺寸不得小于 $1.5\sqrt{\delta}$, δ 为与焊脚接触的焊件厚度。当焊接工艺有保证时, 可不受此限。

当与焊脚接触的焊件厚度不大于 $7mm$ 时, 其焊脚尺寸不得小于与焊脚接触的焊件厚度和 $4mm$ 的较小值。

b. 对于管接头, 角焊缝的最小焊脚尺寸不得小于管接头的壁厚和 $6mm$ 的较小值。

c. 加强板与筒体的外角焊缝焊脚尺寸不得小于较薄焊件厚度的 0.7 倍, 与管接头的外角焊缝焊脚尺寸不得小于较薄焊件的厚度与 $6mm$ 的较小值。

d. 对于板件, 角焊缝的焊脚尺寸不宜大于与焊脚接触焊件厚度的 1.2 倍。对于管接头角焊缝的焊脚尺寸不宜大于管接头壁厚的 2 倍。

3.2.2 侧面或正面角焊缝的计算长度不得小于两焊脚尺寸平均值的 8 倍和 $40mm$ 。

3.2.3 侧面角焊缝的计算长度不应大于两焊脚尺寸平均值的 60 倍。若大于上述数值时, 其超过部分在计算中不予考虑。若内力沿侧面角焊缝全长分布, 其计算长度不受此限。

3.2.4 当板件的端部仅采用两侧面角焊缝连接时 (图 3-1), 每条侧面角焊缝长度不宜小于两侧面角焊缝之间距离 b_1 ; 同时当 δ_2 大于 $12mm$ 时, b_1 不宜大于 $16\delta_2$, 当 δ_2 不大于 $12mm$ 时, b_1 不宜大于 $200mm$ 。

3.2.5 杆件与节点板的连接焊缝一般宜采用两面侧焊, 或其他不封闭焊缝。所有焊缝的转角处必须连续施焊。

3.2.6 在搭接连接中, 搭接焊缝长度不得小于较薄焊件厚度的 5 倍, 且不小于 $25mm$ 。

3.2.7 圆钢与圆钢、圆钢与钢板间的焊缝计算厚度, 不应小于 0.2 倍圆钢直径 (当焊接两圆钢直径不同时, 取平均直径), 且不小于 $3mm$, 并不大于 1.2 倍钢板厚度, 焊缝计算长度不应小于 $20mm$ 。

3.2.8 受压元件上的支承耳板焊缝, 当耳板厚度不大于 $12mm$ 时, 可采用无坡口的角焊缝; 当耳板厚度大于 $12mm$ 时, 必须开坡口。

3.2.9 受力耳板与壁厚不小于 $100mm$ 的受压元件焊接时, 应采取措施, 以防止母材的层状撕裂。

4 计算原则

4.1 基本假定



图 3-1 两侧面角焊缝连接尺寸示意图

4.1.1 本标准不考虑残余应力、应力集中、疲劳和蠕变的影响。

4.1.2 焊接接头的强度按作用在焊缝计算厚度截面上的应力进行验算。

4.1.3 集中力、均布力在焊缝计算厚度截面上所产生的应力按平均分布计算。力矩在焊缝计算厚度截面上所产生的应力，根据不同的情况按线性分布（图 4-1 (a)）或按平均分布（图 4-1 (b)）计算。

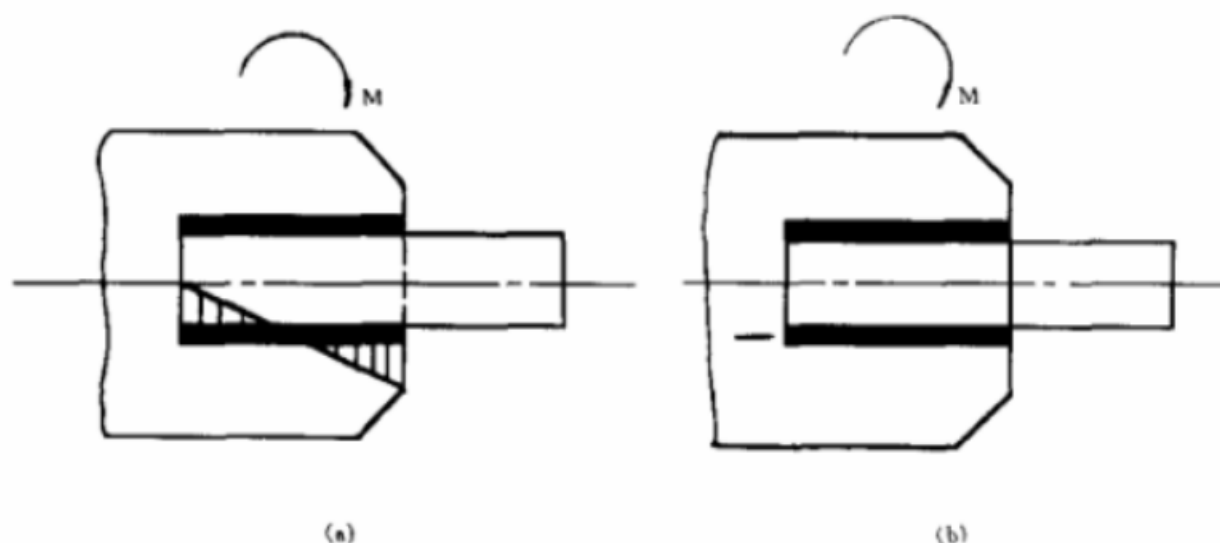


图 4-1 焊缝计算截面上应力分布示意图

4.2 焊缝尺寸

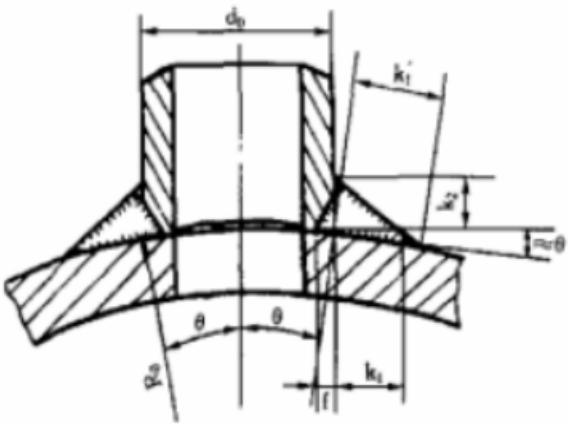
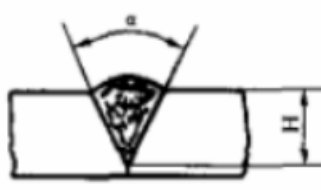

4.2.1 常用焊缝的计算厚度及焊缝尺寸参数按表 4-1 计算。

4.2.2 管接头焊缝的走向假定为圆形，焊缝的计算厚度取肩部和腹部两处数值的平均值腹部焊缝的计算厚度根据表 4-1 序号 9 计算。

表 4-1

序号	简 图	焊缝计算厚度	焊缝尺寸参数
1		$a = \delta$	
2		$a = \delta_2$	

序号	简 图	焊缝计算厚度	焊缝尺寸参数
3		$a = \delta_2$	
4		$a = \frac{k_1 k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$	$\sin \beta = \frac{k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$ $\cos \beta = \frac{k_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$
5		$a = \frac{k_1 k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$	$\sin \beta = \frac{k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$ $\cos \beta = \frac{k_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$
6		$a = \frac{k_1 k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$	$\sin \beta = \frac{k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$ $\cos \beta = \frac{k_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$
7		$a = \sqrt{f^2 + k_2^2}$	$\sin \beta = \frac{f}{\sqrt{f^2 + k_2^2}}$ $\cos \beta = \frac{k_2}{\sqrt{f^2 + k_2^2}}$
8		$a = (k_1 + f) \sin \beta$	$\sin \beta = \frac{k_2}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$ $\cos \beta = \frac{k_1}{\sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$

序号	简 图	焊缝计算厚度	焊缝尺寸参数
9	<p>筒体腹部焊缝 K_1 的计算</p>  $k_1 = \frac{k_2 k'_1 \sqrt{1 - \left(\frac{d_0}{2R_0}\right)^2}}{k'_1 \left(\frac{d_0}{2R_0}\right) + k_2}, k'_1 \text{ 为筒体上腹部的焊脚尺寸}$	<p>当 $k_2 \leq \sqrt{k_1 f}$ 时, 同序号 7;</p> <p>当 $k_2 > \sqrt{k_1 f}$ 时, 同序号 8。</p>	<p>当 $k_2 \leq \sqrt{k_1 f}$ 时, 同序号 7;</p> <p>当 $k_2 > \sqrt{k_1 f}$ 时, 同序号 8。</p>
10	<p>部分焊透对接接头 V 形坡口</p> 	<p>当 $\alpha \geq 60^\circ$ 时, $a = H$</p> <p>当 $\alpha < 60^\circ$ 时, $a = 0.75H$</p>	
11	<p>部分焊透对接接头 U 形坡口</p> 	$a = H$	

4.3 荷载计算

4.3.1 本标准所考虑的荷载有：重力、内压力、安全阀反冲力、风力、以及由面积补强原理所导出的当量力。

4.3.2 焊缝所承受的重力荷载、风荷载通过系统的静力分析确定。无条件进行系统的静力分析时，可根据经验进行估算。

4.4 强度准则

4.4.1 强度计算准则采用第三强度理论。

当量应力 σ_e 按下式计算：

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_1^2 + 4(\tau_1^2 + \tau_2^2)} \quad (4-1)$$

4.4.2 根据各个力的分量算出的同名应力分量应按代数值相加。为简化计算，同名应力分量也可保守地按绝对值相加。

4.4.3 计算应力分量的符号按下列规则确定：

正应力：与保留部分焊缝计算厚度截面的外法线一致者为正，称为拉应力；反之为负，称为压应力。

切应力：与坐标轴的方向一致者为正，反之为负。另外，以保留部分焊缝计算厚度截面为准，切应力的方向与焊缝计算厚度截面外法线顺时针旋转方向一致者为正，反之为负。

4.4.4 角接头焊缝，不论其焊缝形式如何，其强度一律按下列公式验算：

$$\sigma_c \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (4-2)$$

$$|\sigma| \leq 0.74[\sigma] \quad (4-3)$$

式中 η 值：

当标准值 $\sigma_s = 240\text{N/mm}^2$ 时， $\eta = 0.7$ ；当标准值 $\sigma_s = 363\text{N/mm}^2$ 时， $\eta = 0.85$ ；其他情况按下式确定：

$$\eta = 0.00122\sigma_s + 0.4073 \quad (4-4)$$

4.4.5 全焊透型对接接头的焊缝，其强度计算方法与焊件的计算方法相同。当焊缝不能保证与焊件等强度时，则应考虑小于 1 的焊缝减弱系数。

部分焊透型的对接接头的焊缝应作为角接头焊缝计算。

4.4.6 插入式管接头的全焊透型焊缝（图 4-2），当 t_n 不大于 $\frac{t}{2}$ 时，不需要加强角焊缝，也不需要进行焊缝的强度计算。当 t_n 大于 $\frac{t}{2}$ 时，在采用双面坡口焊，且双面具有对称的加强角焊缝的情况下，加强角焊缝的焊脚尺寸不小于 $\frac{t_n}{3.6}$ 和 8mm 的较大值；在采用单面坡口焊，且只有一面具有加强角焊缝的情况下，加强角焊缝的焊脚尺寸不小于 $\frac{t_n}{1.8}$ 和 8mm 的较大值，可不进行强度计算。

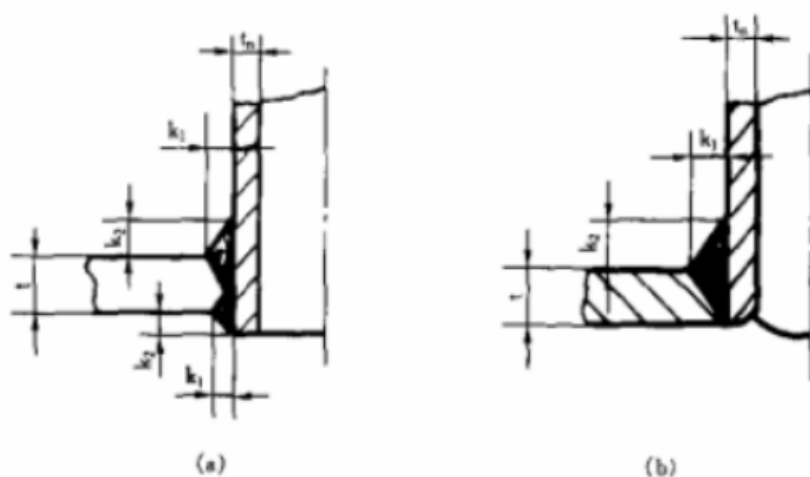


图 4-2 插入式管接头全焊透焊缝

4.4.7 鞍座式管接头的全焊透型焊缝（图 4-3），其加强角焊缝，筒体上的焊脚尺寸 K_1 不小于 $0.6t_n$ ，管接头上的焊脚尺寸 K_2 不小于 $1.2t_n$ ，可不进行强度计算。

5 管接头连接焊缝

5.1 荷载分析

5.1.1 管接头焊缝所承受的总荷载如图 5-1 所示：

5.1.2 按面积补强原理导出的当量力，由全部焊缝计算厚度截面积承受时，用下式确定：

$$F = 2[dt_r - (X - d)(t - t_r)][\sigma] \quad (5-1)$$

X 取 $2d_1$ 和 $d_1 + 2(t + t_n)$ 中的较大值, 对于孔桥, 不得大于两开孔中心之间的距离。当 F 为负值时, 取 $F = 0$ 。

式中: $t_i = \frac{PD_i}{2[\sigma] - P}$ (5-2)

由 (5-1) 式算得的数值按 5.1.5 与其他外力进行组合。

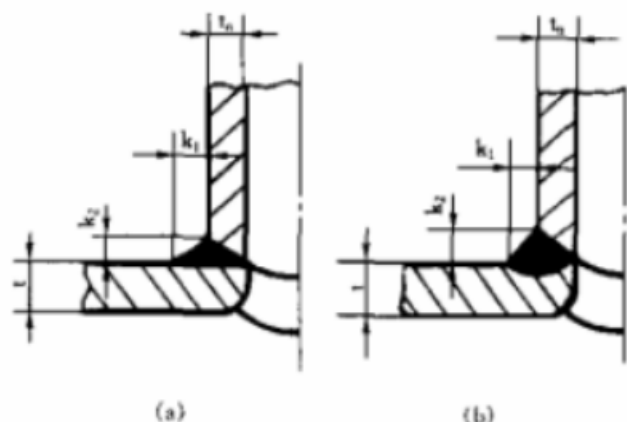


图 4-3 鞍座式管接头全焊透焊缝

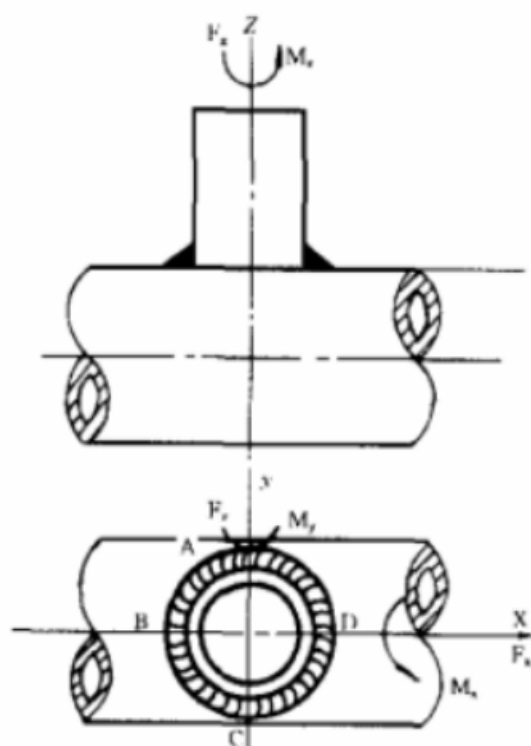


图 5-1 管接头焊缝所承受的总荷载示意图

5.1.3 在内压力作用下管接头对焊缝的作用力按下列公式确定:

鞍座式管接头:

$$F_{d1} = \frac{P\pi(d_0 - 2f)^2}{4} \quad (5-3)$$

插入式管接头:

$$F_{d1} = \frac{P\pi d_1^2}{4} \quad (5-4)$$

5.1.4 由管道系统作用于焊缝上的机械力分量在求荷载分量为: F_x 、 F_{y1} 、 F_{z2} 、 M_x 、 M_y 、 M_z 。在求荷载分量时可利用下列公式进行坐标变换:

$$F_x = F_{x0}\cos(x, x_0) + F_{y0}\cos(x, y_0) + F_{z0}\cos(x, z_0) \quad (5-5)$$

$$F_y = F_{y0}\cos(y, x_0) + F_{y0}\cos(y, y_0) + F_{z0}\cos(y, z_0) \quad (5-6)$$

$$F_z = F_{z0}\cos(z, x_0) + F_{y0}\cos(z, y_0) + F_{z0}\cos(z, z_0) \quad (5-7)$$

$$M_x = M_{x0}\cos(x, x_0) + M_{y0}\cos(x, y_0) + M_{z0}\cos(x, z_0) \quad (5-8)$$

$$M_y = M_{x0}\cos(y, x_0) + M_{y0}\cos(y, y_0) + M_{z0}\cos(y, z_0) \quad (5-9)$$

$$M_z = M_{x0}\cos(z, x_0) + M_{y0}\cos(z, y_0) + M_{z0}\cos(z, z_0) \quad (5-10)$$

式中: 括号代表夹角, F_{x0} 、 F_{y0} 、 F_{z0} 、 M_{x0} 、 M_{y0} 、 M_{z0} 分别为 x_0 、 y_0 、 z_0 轴的力的分量。

5.1.5 根据下列两种作用力系分别进行焊缝的强度验算:

a. $F_x, F_y = F + F_{y1}, F_z = F_{d1} + F_{z2}, M_x, M_y, M_z$ (5-11)

b. $F_x, F_y = F_{y1}, F_z = F + F_{d1} + F_{z2}, M_x, M_y, M_z$ (5-12)

其中, 在 (5-11) 式中, 取 F 与 F_{y1} 的方向相同, 在 (5-12) 式中, 取 F 与 $F_{d1} + F_{z2}$ 的方向相同。

F_x 、 F_y 、 F_z 、 M_x 、 M_y 、 M_z 与图 5-1 方向一致者为正。

5.2 鞍座式管接头

5.2.1 鞍座式管接头焊缝的一般形式如图 5-2 所示, 其中 a 按表 4-1 计算。

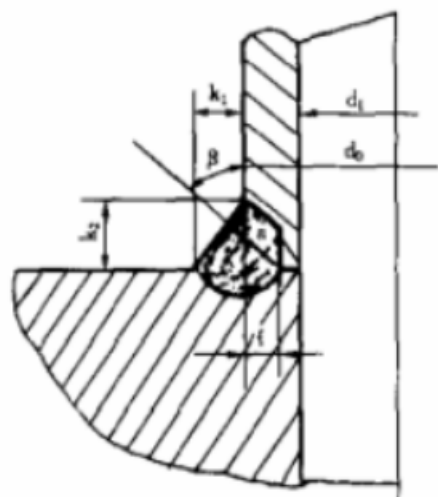


图 5-2 鞍座式管接头焊缝

5.2.2 焊缝的计算长度按下列公式计算:

$$l = \pi(d_o - 2f + 2a \sin \beta) \quad (5-13)$$

5.2.3 焊缝的计算厚度截面积按下列公式计算:

$$A = al \quad (5-14)$$

5.2.4 焊缝的抗弯截面系数按下列公式计算:

$$W = \frac{\pi[(d_o - 2f + 2a)^4 - (d_o - 2f)^4]}{32(d_o - 2f + 2a)} \quad (5-15)$$

5.2.5 焊缝的抗扭截面系数按下列公式计算:

$$W_k = \frac{\pi[(d_o - 2f + 2a)^4 - (d_o - 2f)^4]}{14(d_o - 2f + 2a)} \quad (5-16)$$

5.2.6 应力分量按下列公式计算:

a. A 点:

$$\tau_{Fx}^A = \frac{F_x}{A} \quad (5-17)$$

$$\sigma_{Fy}^A = \frac{F_y}{A} \cos \beta \quad (5-18)$$

$$\tau_{Fy}^A = \frac{F_y}{A} \sin \beta \quad (5-19)$$

$$\sigma_{Fx}^A = \frac{F_x}{A} \sin \beta \quad (5-20)$$

$$\tau_{Fx}^A = \frac{F_x}{A} \cos \beta \quad (5-21)$$

$$\sigma_{Mx}^A = \frac{M_x}{W} \sin \beta \quad (5-22)$$

$$\tau_{Mx}^A = \frac{M_x}{W} \cos \beta \quad (5-23)$$

$$\tau_{Mz}^A = \frac{M_z}{W_k} \quad (5-24)$$

b. B 点:

$$\sigma_{Fx}^B = \frac{F_x}{W} \cos \beta \quad (5-25)$$

$$\tau_{Fx}^B = \frac{F_x}{W} \sin \beta \quad (5-26)$$

$$\tau_{Fy}^B = \frac{F_y}{A} \quad (5-27)$$

$$\sigma_{Fx}^B = \frac{F_x}{A} \sin \beta \quad (5-28)$$

$$\tau_{Fx}^B = \frac{F_x}{A} \cos \beta \quad (5-29)$$

$$\sigma_{My}^B = \frac{M_y}{W} \sin \beta \quad (5-30)$$

$$\tau_{My}^B = \frac{M_y}{W} \cos \beta \quad (5-31)$$

$$\tau_{Mz}^B = \frac{M_z}{W_k} \quad (5-32)$$

5.2.7 焊缝强度按下列公式验算:

a. A 点:

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_{Mx}^A + \sigma_{Fx}^A + \sigma_{Fy}^A)^2 + 4[(\tau_{Mx}^A + \tau_{Fy}^A + \tau_{Fz}^A)^2 + (\tau_{Fx}^A + \tau_{Mz}^A)^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (5-33)$$

$$\sigma = |\sigma_{Mx}^A + \sigma_{Fx}^A - \sigma_{Fy}^A| \leq 0.74[\sigma] \quad (5-34)$$

b. B 点:

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_{My}^B + \sigma_{Fx}^B + \sigma_{Fy}^B)^2 + 4[(-\tau_{My}^B + \tau_{Fx}^B - \tau_{Fz}^B)^2 + (\tau_{Fy}^B - \tau_{Mz}^B)^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (5-35)$$

$$\sigma = |\sigma_{My}^B + \sigma_{Fx}^B + \sigma_{Fz}^B| \leq 0.74[\sigma] \quad (5-36)$$

5.3 插入式管接头

5.3.1 插入式管接头焊缝的一般形式如图 5-3 所示, 焊缝计算厚度按表 4-1 序号 10。

5.3.2 焊缝计算长度按下列公式计算:

$$L = \pi d_o \quad (5-37)$$

5.3.3 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算:

$$A = al \quad (5-38)$$

5.3.4 焊缝抗弯截面系数按下列公式计算:

$$W = \frac{\pi a d_o^2}{4} \quad (5-39)$$

5.3.5 焊缝抗扭截面系数按下列公式计算:

$$W_k = \frac{\pi a d_o^2}{2} \quad (5-40)$$

5.3.6 应力分量按下列公式计算:

a. A 点:

$$\tau_{Fx}^A = \frac{F_x}{A} \quad (5-41)$$

$$\sigma_{Fy}^A = \frac{F_y}{A} \quad (5-42)$$

$$\tau_{Fz}^A = \frac{F_z}{A} \quad (5-43)$$

$$\tau_{Mx}^A = \frac{M_x}{W} \quad (5-44)$$

$$\tau_{Mz}^A = \frac{M_z}{W_k} \quad (5-45)$$

b. B 点:

$$\sigma_{Fx}^B = \frac{F_x}{A} \quad (5-46)$$

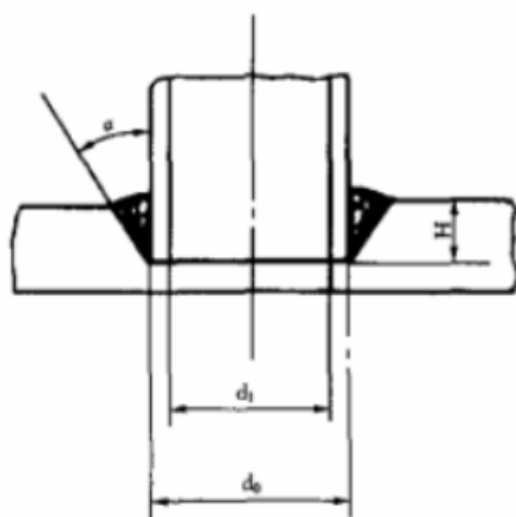


图 5-3 插入式管接头

$$\tau_{My}^B = \frac{F_y}{W} \quad (5-47)$$

$$\tau_{Fx}^B = \frac{F_x}{A} \quad (5-48)$$

$$\tau_{My}^B = \frac{M_y}{W} \quad (5-49)$$

$$\tau_{Mx}^B = \frac{M_x}{W_k} \quad (5-50)$$

5.3.7 焊缝强度按下列公式验算：

a. A点：

$$\sigma_e = \sqrt{(-\sigma_{Fy}^A)^2 + 4[(\tau_{Mx}^A + \tau_{Fx}^A)^2 + (\tau_{Fy}^A + \tau_{Mx}^A)^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (5-51)$$

$$\sigma = |\sigma_{Fy}^A| \leq 0.74[\sigma] \quad (5-52)$$

b. B点：

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{Fx}^B)^2 + 4[(\tau_{My}^B + \tau_{Fx}^B)^2 + (\tau_{Fy}^B + \tau_{Mx}^B)^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (5-53)$$

$$\sigma = |\sigma_{Fx}^B| \leq 0.74[\sigma] \quad (5-54)$$

6 耳板连接焊缝

6.1 集箱纵向耳板

6.1.1 集箱纵向耳板的焊缝形式及受力状态如图 6-1 所示：

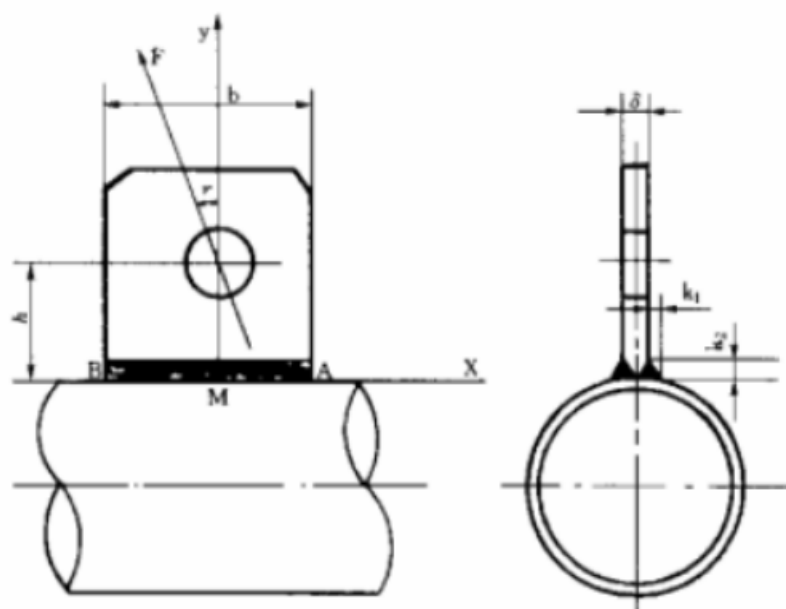


图 6-1 集箱纵向耳板焊缝

6.1.2 焊缝计算长度按下式计算：

$$l = 2b - 20 \quad (6-1)$$

6.1.3 焊缝计算厚度截面积按下式计算：

$$A = al \quad (6-2)$$

6.1.4 焊缝在耳板平面内的抗弯截面系数按下式计算：

$$W = \frac{a(b-10)^2}{3} \quad (6-3)$$

6.1.5 计算耳板焊缝的应力时,假定 M 是焊缝的形心,将力 F 往 M 点平移,并沿 x 和 y 轴方向分解。选取 x 轴与强度验算点焊缝走向的切线方向一致, y 轴与强度验算点耳板上焊脚尺寸的方向一致。力的分量按下列公式计算:

$$F_x = F \sin \gamma \quad (6-4)$$

$$F_y = F \cos \gamma \quad (6-5)$$

$$M = Fh \sin \gamma \quad (6-6)$$

6.1.6 应力分量按下列公式计算:

$$\tau_{Fx} = \frac{F_x}{A} \quad (6-7)$$

$$\sigma_{Fy} = \frac{F_y}{A} \sin \beta \quad (6-8)$$

$$\tau_{Fy} = \frac{F_y}{A} \cos \beta \quad (6-9)$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W} \sin \beta \quad (6-10)$$

$$\tau_M = \frac{M}{W} \cos \beta \quad (6-11)$$

6.1.7 焊缝强度按下列公式验算:

$$\sigma_c = \sqrt{(\sigma_{Fy} + \sigma_M)^2 + 4[(\tau_{Fy} + \tau_M)^2 + (\tau_{Fx})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (6-12)$$

$$\sigma = |\sigma_{Fy} + \sigma_M| \leq 0.74[\sigma] \quad (6-13)$$

6.2 集箱横向耳板与弯头耳板

6.2.1 集箱横向耳板的焊缝形式及受力状态给出图 5-1 和图 5-2 两种情况,弯头耳板焊缝的形式及受力状态给出图 6-4 一种情况,图 6-2 和图 6-3 都是图 6-4 的特殊情况。计算方法按图 6-4 给出,当 $b_4=0$, $e=0$ 时,图 6-4 就变成图 6-3,当 $b_4=0$, $e=0$, $\phi=0$ 时,图 6-4 就变成图 6-2。

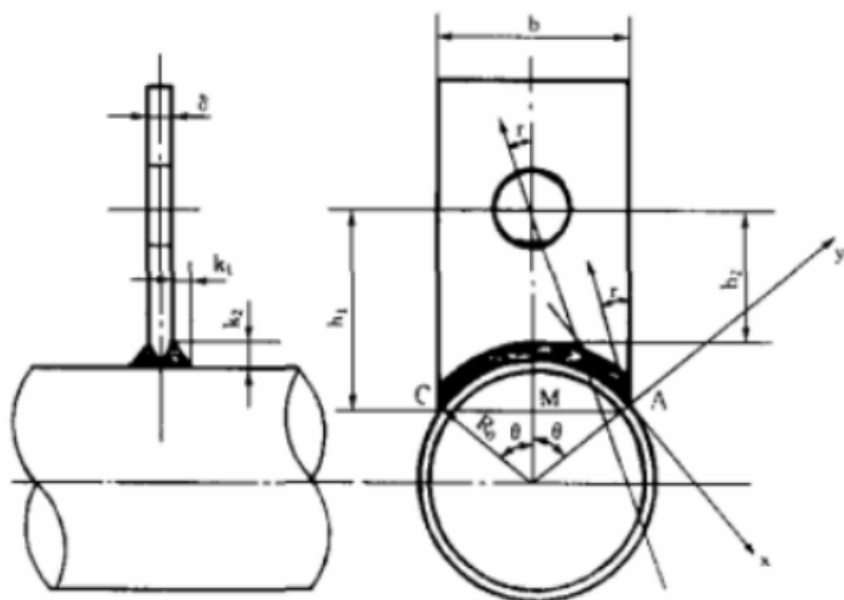


图 6-2 集箱横向耳板焊缝及受力状态示意图 (1)

6.2.2 与图 6-4 相对应的角参数按下列公式计算:

$$\theta = \arcsin \frac{C}{2R_0} \quad (6-15)$$

$$\phi = \arctg \frac{h_1 - h_2}{b - b_4} \quad (6-16)$$

$$\omega = \arctg \frac{e}{R_0} \quad (6-17)$$

6.2.3 焊缝计算长度按下式公式计算:

$$l = 2 \left(\frac{\pi R_0 \theta}{90} + e - 10 \right) \quad (6-18)$$

6.2.4 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算:

$$A = al \quad (6-19)$$

6.2.5 焊缝在耳板平面内的抗弯截面系数近似地按下列公式计算:

$$W = \frac{a[\sqrt{(h_1 - h_2)^2 + (b - b_4)^2} - 10]^2}{3} \quad (6-20)$$

6.2.6 计算耳板焊缝的应力时,假定 M 是焊缝的形心,将力 F 沿 M 点平移,并沿 X 和 Y 轴方向分解。选取 X 轴与强度验算点焊缝走向的切线方向一致, Y 轴与强度验算点耳板上焊脚尺寸的方向一致。力的分量按下列公式计算:

a. A 点:

$$F_x = -F \sin(\gamma + \theta + \frac{\omega}{2} - \phi) \quad (6-21)$$

$$F_y = F \cos(\gamma + \theta + \frac{\omega}{2} - \phi) \quad (6-22)$$

$$M = F \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \sin \gamma - \frac{B_2}{2} \cos \gamma \right) \quad (6-23)$$

b. C 点:

$$F'_x = -F \sin(\gamma - \theta + \frac{\omega}{2} - \phi) \quad (6-24)$$

$$F'_y = F \cos(\gamma - \theta + \frac{\omega}{2} - \phi) \quad (6-25)$$

$$M = F \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \sin \gamma - \frac{B_2}{2} \cos \gamma \right) \quad (6-26)$$

6.2.7 应力分量按下列公式计算:

a. A 点:

$$\tau_{Fx} = \frac{F_x}{A} \quad (6-27)$$

$$\sigma_{Fy} = \frac{F_y}{A} \sin \beta \quad (6-28)$$

$$\tau_{Fy} = \frac{F_y}{A} \cos \beta \quad (6-29)$$

$$\sigma_{MA} = \frac{M}{W} \cos \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) \sin \beta \quad (6-30)$$

$$\tau'_{MA} = \frac{M}{W} \cos \left(\theta + \frac{\omega}{2} \right) \cos \beta \quad (6-31)$$

$$\tau''_{MA} = \frac{M}{W} \sin\left(\theta + \frac{\omega}{2}\right) \quad (6-32)$$

b. C点:

$$\tau'_{Fx} = \frac{F'_x}{A} \quad (6-33)$$

$$\sigma'_{Fy} = \frac{F'_y}{A} \sin\beta \quad (6-34)$$

$$\tau'_{Fy} = \frac{F'_y}{A} \cos\beta \quad (6-35)$$

$$\sigma_{Mx'} = \frac{M}{W} \cos\left(\theta - \frac{\omega}{2}\right) \sin\beta \quad (6-36)$$

$$\tau'_{Mx'} = \frac{M}{W} \cos\left(\theta - \frac{\omega}{2}\right) \cos\beta \quad (6-37)$$

$$\tau''_{Mx'} = \frac{M}{W} \sin\left(\theta - \frac{\omega}{2}\right) \quad (6-38)$$

6.2.8 焊缝强度按下列公式验算:

a. A点:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma'_{Fy} + \sigma_{MA})^2 + 4[(\tau'_{Fy} + \tau'_{MA})^2 + (\tau'_{Fx} + \tau''_{MA})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (6-39)$$

$$\sigma = |\sigma'_{Fy} + \sigma_{MA}| \leq 0.74[\sigma] \quad (6-40)$$

b. C点:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma'_{Fy} + \sigma_{Mx'})^2 + 4[(\tau'_{Fy} + \tau'_{Mx'})^2 + (\tau'_{Fx} + \tau''_{Mx'})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (6-41)$$

$$\sigma = |\sigma'_{Fy} + \sigma_{Mx'}| \leq 0.74[\sigma] \quad (6-42)$$

6.3 锅筒起吊耳板

6.3.1 锅筒起吊耳板一般采用纵向双耳板结构。为增加耳板平面外的抗弯刚度,应在耳板孔附近部位用对称布置的两个纵板将两耳板连接起来。纵板的横截面积应大于单个耳板净截面积的十分之一。耳板及焊缝形式与集箱纵向耳板相同。

6.3.2 锅筒起吊过程中的最危险状态如图 6-5 所示:

6.3.3 焊缝计算长度按下列公式计算:

$$l = 4(b - 10) \quad (6-43)$$

6.3.4 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算:

$$A = al \quad (6-44)$$

6.3.5 焊缝在耳板平面内的抗弯截面系数近似地按下列公式计算:

$$W = \frac{2a(b - 10)^2}{3} \quad (6-45)$$

6.3.6 耳板所受的外力按下列公式计算:

起吊时应考虑 1.1 倍的动载系数后的锅筒全部重量 F , 由图 6-5 求得:

$$F_1 = \frac{F}{2} \left[1 - \frac{1}{S} (R_0 + h) \tan \gamma \right] \quad (6-46)$$

$$F_2 = \frac{F}{2} \left[1 + \frac{1}{S} (R_0 + h) \tan \gamma \right] \quad (6-47)$$

当 F_2 大于 F_1 时, 只需校核 F_2 端的耳板焊缝。若考虑 1.2 的不均匀系数, 则 F_2 端所

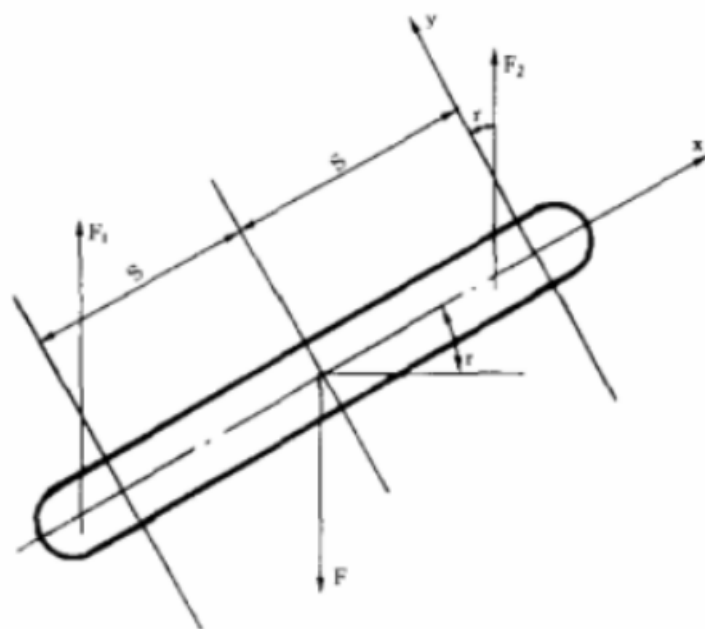


图 6-5 钢筒起吊过程中危险状态示意图

承受的荷载按下列公式计算：

$$F'_2 = 0.6F[1 + \frac{1}{S}(R_o + h)\text{tg}\gamma] \quad (6-48)$$

$$F_x = 0.6F[1 + \frac{1}{S}(R_o + h)\text{tg}\gamma]\sin\gamma \quad (6-49)$$

$$F_y = 0.6F[1 + \frac{1}{S}(R_o + h)\text{tg}\gamma]\cos\gamma \quad (6-50)$$

$$M = 0.6F[1 + \frac{1}{S}(R_o + h)\text{tg}\gamma]h\sin\gamma \quad (6-51)$$

6.3.7 应力分量按下列公式计算：

$$\tau_{Fx} = \frac{F_x}{A} \quad (6-52)$$

$$\sigma_{Fy} = \frac{F_y}{A}\sin\beta \quad (6-53)$$

$$\tau_{Fy} = \frac{F_y}{A}\cos\beta \quad (6-54)$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W}\sin\beta \quad (6-55)$$

$$\tau_M = \frac{M}{W}\cos\beta \quad (6-56)$$

6.3.8 焊缝强度按下列公式验算：

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{Fy} + \sigma_M)^2 + 4[(\tau_{Fy} + \tau_M)^2 + (\tau_{Fx})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (6-57)$$

$$\sigma = \sigma_{Fy} + \sigma_M \leq 0.74[\sigma] \quad (6-58)$$

7 水压试验端盖连接焊缝

7.1 焊缝类型与参数

7.1.1 常用的水压试验端盖焊缝类型与参数如图 7-1 所示，图 7-1 (a) 按对接焊缝计算，

图 7-1 (b) 按角焊缝计算。

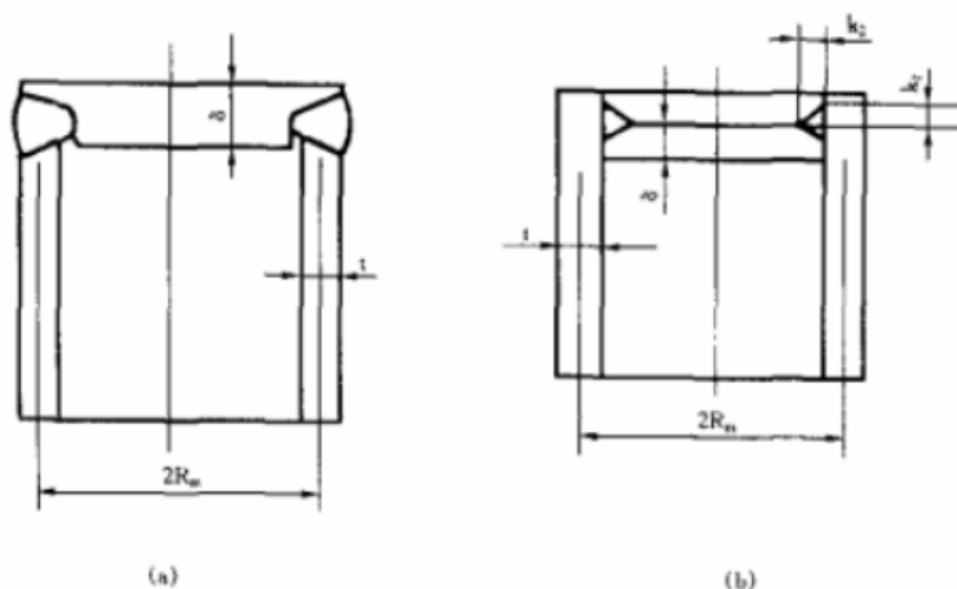


图 7-1 常用水压试验端盖焊缝形式

(a) 对接焊缝; (b) 角焊缝

7.1.2 对于焊缝计算厚度的抗弯截面系数按下列公式计算:

$$W = \frac{a^2}{6} \quad (7-1)$$

7.2 受力分析

7.2.1 根据筒体与平端盖的整体结构的理论分析, 解出如图 7-2 所示的水压试验端盖焊缝所受的力 N 、 M_u 、 Q 。

7.2.2 端盖与筒体连接处单位圆周长度的纵向力按下列公式计算:

$$N = \frac{1}{2} P (R_m - \frac{t}{2}) \quad (7-2)$$

7.2.3 端盖与筒体连接处单位圆周长度的弯矩按下列公式计算:

a. 对图 7-1 (a)

$$M_u = P (R_m - \frac{t}{2}) \frac{0.331 \sqrt{\frac{t}{R_m}} + [0.205 \sqrt{\frac{R_m}{t}} - 0.421 \sqrt{\frac{t}{R_m}}] (\frac{t}{\delta})^2 + K [1 + 2.182 \sqrt{\frac{t}{R_m}} \frac{t}{\delta} + 2.545 (\frac{t}{\delta})^2 + 0.317 \frac{R_m}{t} (\frac{t}{\delta})^3 + 0.086 \sqrt{\frac{R_m}{t}} (\frac{t}{\delta})^4 + 1.98 \sqrt{\frac{R_m}{t}} (\frac{t}{\delta})^3 + 0.542 (\frac{t}{\delta})^4]}{7-3}$$

b. 对图 7-1 (b)

$$M_u = P (R_m - \frac{t}{2}) \frac{\frac{0.331}{\zeta} \sqrt{\frac{t}{R_m}} - [0.205 \sqrt{\frac{R_m}{t}} \zeta - 0.421 \sqrt{\frac{t}{R_m}}] (\frac{t}{\delta})^2 + k [1 + 2.182 \sqrt{\frac{t}{R_m}} \frac{t}{\delta} - 2.545 (\frac{t}{\delta})^2 \delta]}{7-3}$$

$$\frac{0.317 \frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^3 + (0.346\zeta - 0.26\zeta^2) \sqrt{\frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^4} + 1.98 \sqrt{\frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^3 \zeta + 0.542 \left(\frac{t}{\delta}\right)^4 \zeta^2}}{(7-4)}$$

壳体常数 k 按下列公式计算:

$$k = \frac{\sqrt[3]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R_m t}} \quad (7-5)$$

比值 ζ 按下列公式计算:

$$\zeta = \frac{R_m - \frac{t}{2}}{R_m} \quad (7-6)$$

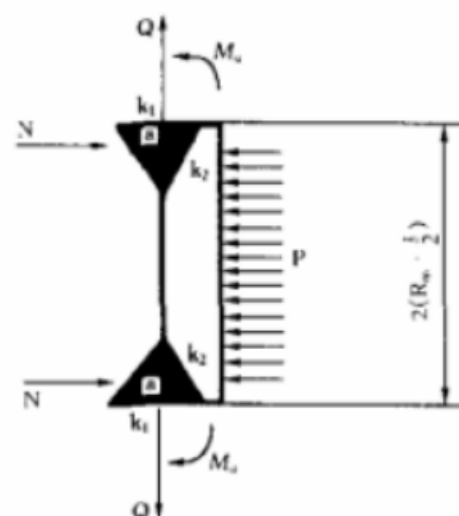


图 7-2 水压试验端盖焊缝的受力状态示意图

7.2.4 端盖与筒体连接处单位圆周长度的横向力按下列公式计算:

a. 对图 7-1 (a):

$$Q = P(R_m - \frac{t}{2}) \frac{0.661 \sqrt{\frac{t}{R_m}} + 0.408 \sqrt{\frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^2} + 0.318 \frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^3 + 0.655 \left(\frac{t}{\delta}\right)^3 + 1.98 \sqrt{\frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^3 \zeta + 0.542 \left(\frac{t}{\delta}\right)^4 \zeta^2}}{1 + 2.182 \sqrt{\frac{t}{R_m} \frac{t}{\delta}} + 2.545 \left(\frac{t}{\delta}\right)^2} \quad (7-7)$$

b. 对图 7-1 (b):

$$Q = P(R_m - \frac{t}{2}) \frac{\frac{0.661}{\zeta} \sqrt{\frac{t}{R_m}} - 0.408 \sqrt{\frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^2 \zeta^2} + 0.318 \frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^3 + 0.655 \left(\frac{t}{\delta}\right)^3 + 0.405 \frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^5 (\zeta - \zeta^3)}{k [1 + 2.182 \sqrt{\frac{t}{R_m} \frac{t}{\delta}} - 2.545 \left(\frac{t}{\delta}\right)^2 \zeta + 1.98 \sqrt{\frac{R_m}{t} \left(\frac{t}{\delta}\right)^3 \zeta + 0.542 \left(\frac{t}{\delta}\right)^4 \zeta^2}]} \quad (7-8)$$

7.3 应力分量的计算

7.3.1 对图 7-1 (a) 焊缝计算厚度截面上的应力分量按下列公式计算:

$$\sigma_N = \frac{N}{t} \quad (7-9)$$

$$\sigma_{Mu} = \frac{6M_u}{t^2} \quad (7-10)$$

$$\tau_s = \frac{Q}{t} \quad (7-11)$$

7.3.2 对图 7-1 (b) 焊缝计算厚度截面上的应力分量按下列公式计算:

$$\sigma_N = \frac{N}{a} \cos \beta \quad (7-12)$$

$$\tau_N = \frac{N}{a} \sin \beta \quad (7-13)$$

$$\sigma_Q = \frac{Q}{a} \sin \beta \quad (7-14)$$

$$\tau_a = \frac{Q}{a} \cos \beta \quad (7-15)$$

$$\sigma_{Mu} = \frac{6M_u}{a^2} \sin \beta \quad (7-16)$$

7.4 强度校核

7.4.1 对图 7-1 (a) 必须同时满足下列各项要求:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_N \pm \sigma_{Mu})^2 + 4(\tau_Q)^2} \leq 1.7[\sigma]/\eta \quad (7-17)$$

$$\sigma = |\sigma_N \pm \sigma_{Mu}| \leq 1.7[\sigma] \quad (7-18)$$

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_N)^2 + 4(\tau_Q)^2} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (7-19)$$

$$\sigma = \sigma_N \leq 0.74[\sigma] \quad (7-20)$$

端盖必须满足:

$$\delta \geq 0.8(R_m - \frac{t}{2})\sqrt{\frac{P}{[\sigma]}} \quad (7-21)$$

7.4.2 对图 7-1 (b) 必须同时满足下列各项要求:

$$\sigma_e = \sqrt{(-\sigma_N \pm \sigma_{Mu} + \sigma_Q)^2 + 4(\tau_N + \tau_Q)^2} \leq 1.7[\sigma]/\eta \quad (7-22)$$

$$\sigma = |-\sigma_N \pm \sigma_{Mu} + \sigma_Q| \leq 1.7[\sigma] \quad (7-23)$$

$$\sigma_e = \sqrt{(-\sigma_N + \sigma_Q)^2 + 4(\tau_N + \tau_Q)^2} \leq 0.74[\sigma] \quad (7-24)$$

$$\sigma = |-\sigma_N + \sigma_Q| \leq 0.74[\sigma] \quad (7-25)$$

端盖必须满足公式 (7-21) 的要求。

8 圆钢构件连接焊缝

8.1 圆钢与平板搭接

8.1.1 圆钢与平板的搭接如图 8-1 所示:

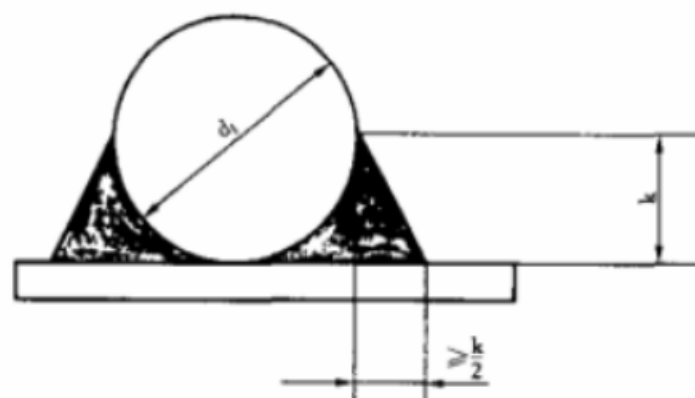


图 8-1 圆钢与平板搭接

8.1.2 焊缝计算厚度按下列公式计算:

$$a = 0.7K \quad (8-1)$$

8.1.3 焊缝计算长度按下列公式计算:

$$l = 2(b_2 - 10) \quad (8-2)$$

8.1.4 焊缝计算厚度按下列公式计算:

$$A = al \quad (8-3)$$

8.1.5 焊缝强度按下列公式验算:

$$\tau = \frac{F}{A} \leq 0.37[\sigma]/\eta \quad (8-4)$$

8.2 圆钢与圆钢的搭接

8.2.1 圆钢与圆钢的搭接, 如图 8-2 所示:

8.2.2 焊缝计算厚度按下列公式计算:

$$a = 0.1(d_1 + 2d_2) - e \quad (8-5)$$

8.2.3 焊缝计算长度按下列公式计算:

$$l = 2(b_2 - 10) \quad (8-6)$$

8.2.4 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算:

$$A = al \quad (8-7)$$

8.2.5 焊缝强度按下列公式验算:

$$\tau = \frac{F}{A} \leq 0.37[\sigma]/\eta \quad (8-8)$$

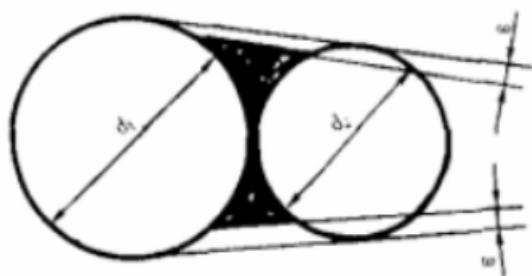


图 8-2 圆钢与圆钢搭接

8.3 圆钢与钢板的连接

8.3.1 圆钢与钢板的连接, 如图 8-3 所示:

8.3.2 焊缝计算厚度按下列公式计算:

a. 对图 8-3 (a):

$$a = \frac{\delta - \Delta}{2} \quad (8-9)$$

b. 对图 8-3 (b):

$$a = \delta - \Delta \quad (8-10)$$

8.3.3 焊缝计算长度按下列公式计算:

$$l = 4(b_2 - 10) \quad (8-11)$$

8.3.4 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算:

$$A = al \quad (8-12)$$

8.3.5 焊缝强度按下列公式验算:

$$\tau = \frac{F}{A} \leq 0.37[\sigma]/\eta \quad (8-13)$$

9 其他连接焊缝

9.1 单钢板两边焊的 T 形接头

9.1.1 单钢板两边焊的 T 形接头如图 9-1 所示:

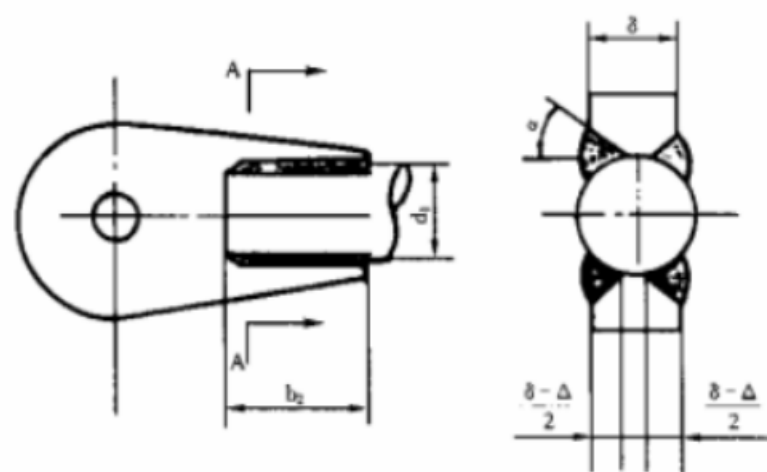
9.1.2 焊缝计算长度按下列公式计算:

$$l = 2(B - 10) \quad (9-1)$$

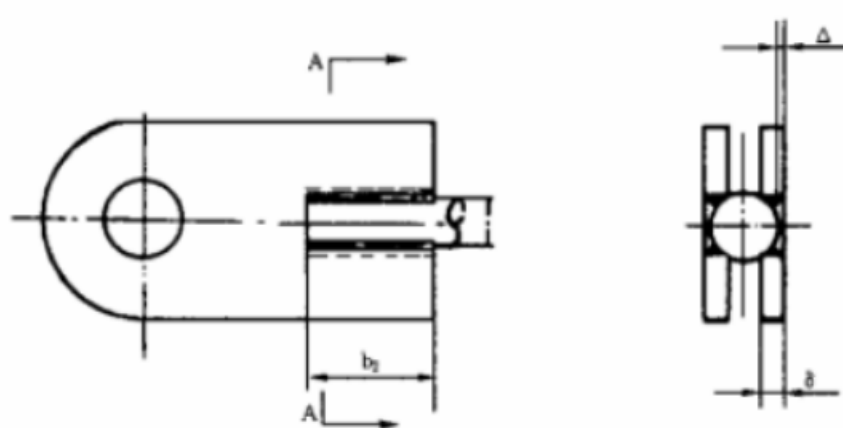
9.1.3 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算:

$$A = al \quad (9-2)$$

9.1.4 焊缝的抗弯截面系数按下列公式计算:



(a)圆钢与单钢板的连接



(b)圆钢与双钢板的连接

图 8.3 圆钢与钢板连接

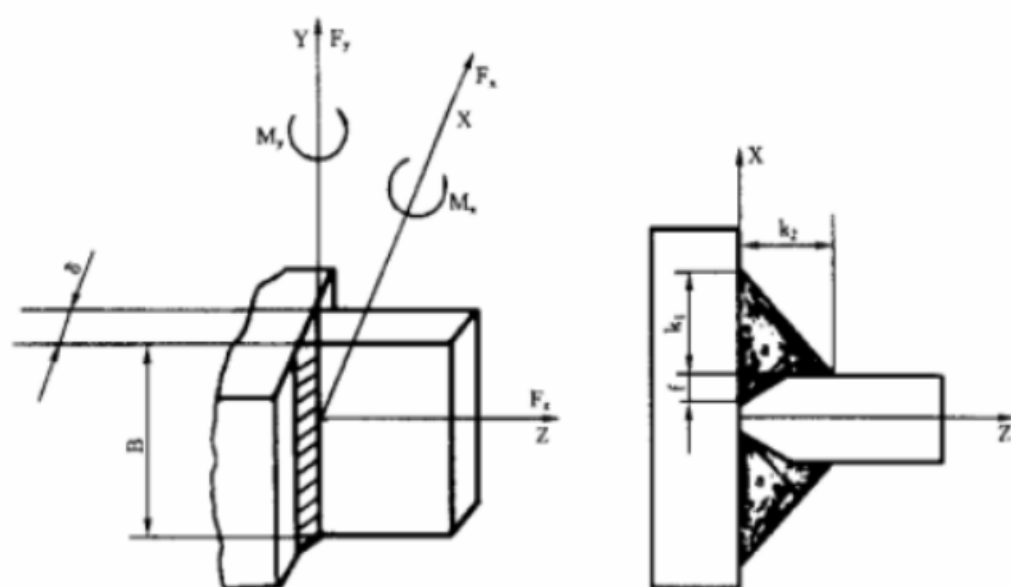


图 9.1 单钢板两边焊 T 形接头

$$W_x = \frac{a(B-10)^2}{3} \quad (9-3)$$

$$W_y = \frac{(B-10)}{6(2a+\delta-2f)}[(2a+\delta-2f)^3 - (\delta-2f)^3] \quad (9-4)$$

9.1.5 应力分量按下列公式计算:

$$\sigma_{Fx} = \frac{F_x}{A} \cos \beta \quad (9-5)$$

$$\tau_{Fx} = \frac{F_x}{A} \sin \beta \quad (9-6)$$

$$\tau_{Fy} = \frac{F_y}{A} \quad (9-7)$$

$$\sigma_{Fz} = \frac{F_z}{A} \sin \beta \quad (9-8)$$

$$\tau_{Fz} = \frac{F_z}{A} \cos \beta \quad (9-9)$$

$$\sigma_{Mx} = \frac{M_x}{W_x} \sin \beta \quad (9-10)$$

$$\tau_{Mx} = \frac{M_x}{W_x} \cos \beta \quad (9-11)$$

$$\sigma_{My} = \frac{M_y}{W_y} \sin \beta \quad (9-12)$$

$$\tau_{My} = \frac{M_y}{W_y} \cos \beta \quad (9-13)$$

9.1.6 焊缝强度按最大应力点 A 点的应力验算:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{Fx} + \sigma_{Fz} + \sigma_{Mx} + \sigma_{My})^2 + 4[(\tau_{Fx} + \tau_{Fz} + \tau_{Mx} + \tau_{My})^2 + (\tau_{Fy})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (9-14)$$

$$\sigma = |\sigma_{Fx} + \sigma_{Fz} + \sigma_{Mx} + \sigma_{My}| \leq 0.74[\sigma] \quad (9-15)$$

9.2 工字形封闭焊的 T 形接头

9.2.1 工字形封闭焊的 T 形接头如图 9-2 所示:

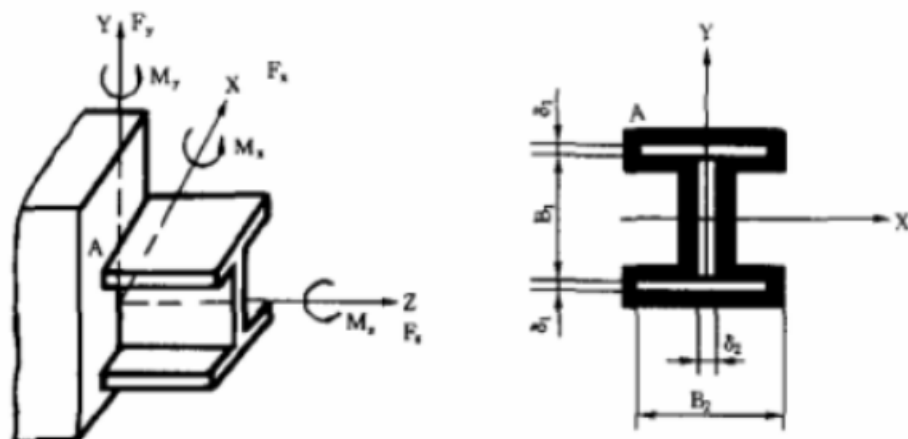


图 9-2 工字形封闭焊 T 形接头

9.2.2 焊缝计算长度按下列公式计算:

$$l = 2(2B_1 + B_1 - 2\delta_1 - \delta_2 + 2a) \quad (9-16)$$

9.2.3 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算:

$$A = al \quad (9-17)$$

9.2.4 焊缝的抗弯截面系数按下列公式计算:

$$W_x = \frac{(B_2 + 2a)(B_1 + 2\delta_1 + 2a)^3 - (B_2 - \delta_2)(B_1 - 2a)^3 - [B_2(B_1 + 2\delta_1)^3 - (B_2 - \delta_2)B_1^3]}{6(B_1 + 2\delta_1 + 2a)} \quad (9-18)$$

$$W_y = \frac{(B_1 - 2a)(\delta_2 + 2a)^3 + 2(\delta_1 + 2a)(B_2 + 2a)^3 - (B_1\delta_2^3 + 2\delta_1B_2^3)}{6(B_2 + 2a)} \quad (9-19)$$

9.2.5 焊缝的抗扭截面系数按下列公式计算:

$$W_k = 2a[2(\delta_1 + a)(B_2 + a) + (B_1 - a)(\delta_2 + a)] \quad (9-20)$$

9.2.6 应力分量按下列公式计算:

a. 在 B_1 边上: $\sigma_{Fx} = \frac{F_x}{A} \cos \beta \quad (9-21)$

$$\tau_{Fx} = \frac{F_x}{A} \sin \beta \quad (9-22)$$

$$\tau_{Fy} = \frac{F_y}{A} \quad (9-23)$$

$$\sigma_{Fz} = \frac{F_z}{A} \sin \beta \quad (9-24)$$

$$\tau_{Fz} = \frac{F_z}{A} \cos \beta \quad (9-25)$$

$$\sigma_{Mx} = \frac{M_x}{W_x} \sin \beta \quad (9-26)$$

$$\tau_{Mx} = \frac{M_x}{W_x} \cos \beta \quad (9-27)$$

$$\sigma_{My} = \frac{M_y}{W_y} \sin \beta \quad (9-28)$$

$$\tau_{My} = \frac{M_y}{W_y} \cos \beta \quad (9-29)$$

$$\tau_{Mz} = \frac{M_z}{W_k} \quad (9-30)$$

b. 在 B_2 边上:

$$\tau_{Fx} = \frac{F_x}{A} \quad (9-31)$$

$$\sigma_{Fy} = \frac{F_y}{A} \cos \beta \quad (9-32)$$

$$\tau_{Fy} = \frac{F_y}{A} \sin \beta \quad (9-33)$$

其他应力分量同 (9-24) ~ (9-30) 式。

9.2.7 焊缝强度按最大应力点 A 点的应力验算:

a. 在 B_1 边上:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{Fx} + \sigma_{Fz} + \sigma_{Mx} + \sigma_{My})^2 + 4[(-\tau_{Fx} + \tau_{Fz} + \tau_{Mx} + \tau_{My})^2 + (\tau_{Fy} - \tau_{Mz})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (9-34)$$

$$\sigma = |\sigma_{Fx} + \sigma_{Fz} + \sigma_{Mx} + \sigma_{My}| \leq 0.74[\sigma] \quad (9-35)$$

b. 在 B_2 边上:

$$\sigma_e = \sqrt{(-\sigma_{Fy} + \sigma_{Fz} + \sigma_{Mx} + \sigma_{My})^2 + 4[(\tau_{Fy} + \tau_{Fz} + \tau_{Mx} - \tau_{My})^2 + (\tau_{Fx} - \tau_{Mz})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (9-36)$$

$$\sigma = |-\sigma_{Fy} + \sigma_{Fz} + \sigma_{Mx} + \sigma_{My}| \leq 0.74[\sigma] \quad (9-37)$$

9.3 箱形封闭焊的 T 形接头

9.3.1 箱形封闭焊的 T 形接头如图 9-3 所示:

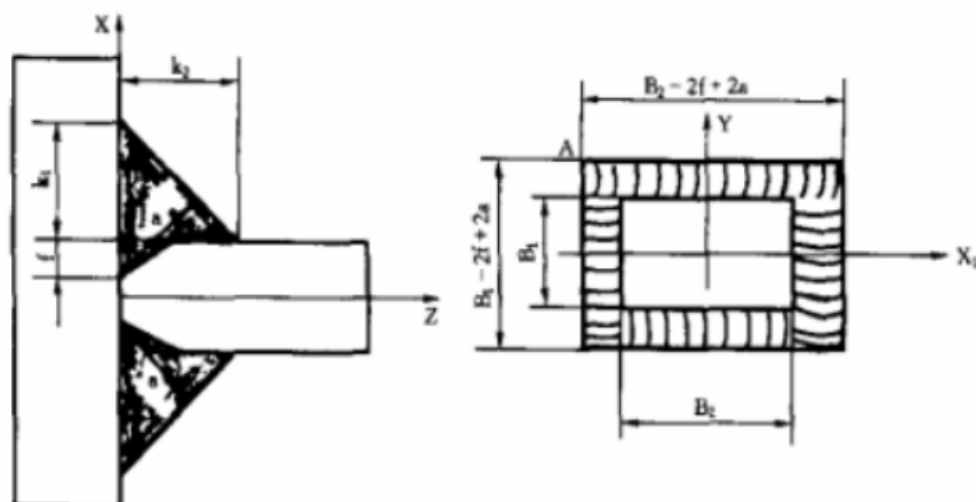


图 9-3 箱形封闭焊的 T 形接头

9.3.2 焊缝计算长度按下列公式计算:

$$l = 2(B_1 + B_2 - 2f + 2a) \quad (9-38)$$

9.3.3 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算:

$$A = al \quad (9-39)$$

9.3.4 焊缝的抗弯截面系数按下列公式计算:

$$W_x = \frac{(B_2 - 2f + 2a)(B_1 - 2f + 2a)^3 - (B_2 - 2f)(B_1 - 2f)^3}{6(B_1 - 2f + 2a)} \quad (9-40)$$

$$W_y = \frac{(B_1 - 2f + 2a)(B_2 - 2f + 2a)^3 - (B_1 - 2f)(B_2 - 2a)^3}{6(B_2 - 2f + 2a)} \quad (9-41)$$

9.3.5 焊缝的抗扭截面系数按下列公式计算:

$$W_k = 2a(B_1 - 2f + a)(B_2 - 2f + a) \quad (9-42)$$

9.3.6 在与图 9-2 受力形式相同情况下的应力分量按下列公式计算:

a. 在 B_1 边上:

同式 (9-21) ~ 式 (9-30)

b. 在 B_2 边上:

同式 (9-24) ~ 式 (9-30) 和式 (9-31) ~ 式 (9-33)。

9.3.7 焊缝强度按最大应力点 A 点的应力验算:

a. 在 B_1 边上:

同式 (9-34) ~ 式 (9-35)。

b. 在 B_2 边上:

同式 (9-36) ~ 式 (9-37)。

9.4 仅有横向焊缝的搭接接头

9.4.1 仅有横向焊缝的搭接接头如图 9-4 所示：

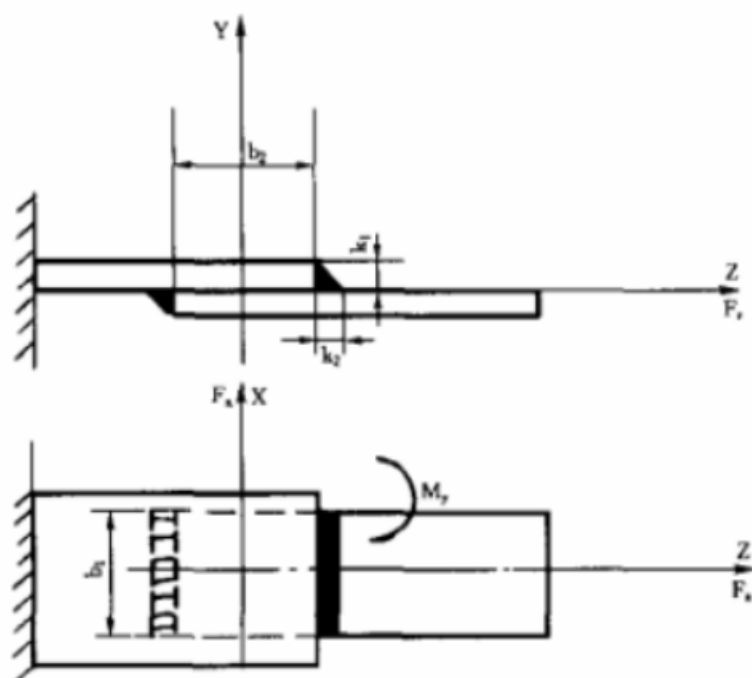


图 9-4 横向焊缝的搭接接头

9.4.2 焊缝计算长度按下列公式计算：

$$l = 2(B - 10) \quad (9-43)$$

9.4.3 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算：

$$A = al \quad (9-44)$$

9.4.4 焊缝抗弯截面系数按下列公式计算：

a. 按应力方向垂直于焊缝形成弯矩：

$$W_1 = \frac{a(b_1 - 10)^2}{3} \quad (9-45)$$

b. 按应力方向平行于焊缝形成弯矩：

$$W_2 = a(b_1 - 10)(b_2 + a) \quad (9-46)$$

9.4.5 应力分量按下列公式计算：

$$\tau_{Fx} = \frac{F_x}{A} \quad (9-47)$$

$$\sigma_{Fx} = \frac{F_x}{A} \cos \beta \quad (9-48)$$

$$\tau_{Fz} = \frac{F_z}{A} \sin \beta \quad (9-49)$$

$$\sigma_{My} = \frac{M_y}{W_1} \cos \beta \quad (9-50)$$

$$\tau'_{My} = \frac{F_y}{W_1} \sin \beta \quad (9-51)$$

$$\tau''_{My} = \frac{M_y}{W_2} \quad (9-52)$$

9.4.6 焊缝强度按下列公式验算：

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{Fz} + \sigma_{My})^2 + 4[(\tau_{Fz} + \tau'_{My})^2 + (\tau_{Fx})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (9-53)$$

$$\sigma = |\sigma_{Fz} + \sigma_{My}| \leq 0.74[\sigma] \quad (9-54)$$

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{Fz})^2 + 4[(\tau_{Fz})^2 + (\tau''_{My} + \tau_{Fx})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (9-55)$$

$$\sigma = \sigma_{Fz} \leq 0.74[\sigma] \quad (9-56)$$

9.5 仅有纵向焊缝的搭接接头

9.5.1 仅有纵向焊缝的搭接接头如图 9-5 所示：

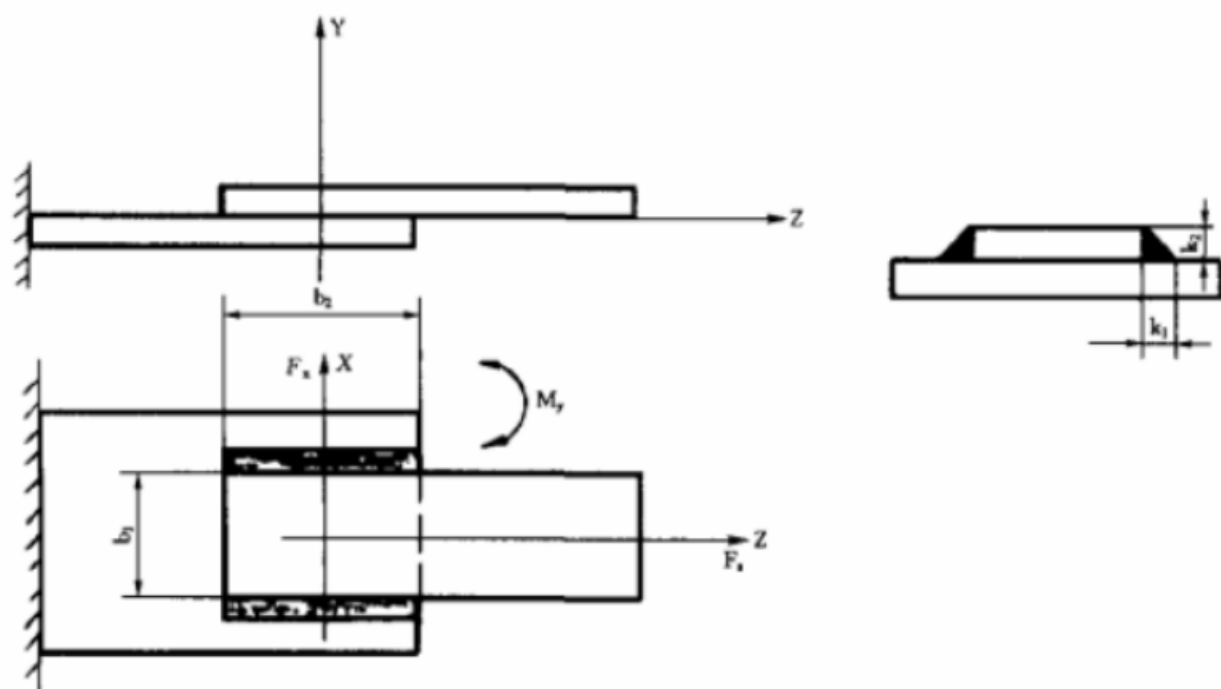


图 9-5 纵向焊缝的搭接接头

9.5.2 焊缝计算长度按下列公式计算：

$$l = 2(b_2 - 10) \quad (9-57)$$

9.5.3 焊缝计算厚度截面积按下列公式计算：

$$A = al \quad (9-58)$$

9.5.4 焊缝抗弯截面系数按下列公式计算：

a. 按应力方向垂直于焊缝形成弯矩：

$$W_1 = \frac{a(b_2 - 10)^2}{3} \quad (9-59)$$

b. 按应力方向平行于焊缝形成弯矩：

$$W_2 = a(b_2 - 10)(b_1 + a) \quad (9-60)$$

9.5.5 应力分量按下列公式计算：

$$\sigma_{Fx} = \frac{F_x}{A} \cos \beta \quad (9-61)$$

$$\tau_{Fx} = \frac{F_x}{A} \sin \beta \quad (9-62)$$

$$\tau_{Fz} = \frac{F_z}{A} \quad (9-63)$$

$$\sigma_{My} = \frac{M_y}{W_1} \cos \beta \quad (9-64)$$

$$\tau'_{My} = \frac{M}{W_1} \sin \beta \quad (9-65)$$

$$\tau''_{My} = \frac{M_y}{W_z} \quad (9-66)$$

9.5.6 焊缝强度按下列公式验算:

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{Fx} + \sigma_{My})^2 + 4[(\tau_{Fx} + \tau'_{My})^2 + (\tau_{Fz})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (9-67)$$

$$\sigma = \sigma_{Fx} + \sigma_{My} \leq 0.74[\sigma] \quad (9-68)$$

$$\sigma_e = \sqrt{(\sigma_{Fx})^2 + 4[(\tau_{Fx})^2 + (\tau''_{My} + \tau_{Fz})^2]} \leq 0.74[\sigma]/\eta \quad (9-69)$$

$$\sigma = \sigma_{Fx} \leq 0.74[\sigma] \quad (9-70)$$

参 考 文 献

1. GB 3375—1982《焊接名词术语》中国标准出版社 1983 年
2. GBJ 17—1988《钢结构设计规范》中国计划出版社 1989 年
3. AISC《建筑用结构钢设计、制造与安装规范》1976 年
4. ASME《锅炉及压力容器规范》第 I 卷《动力锅炉》
5. ASME《锅炉及压力容器规范》第 VIII 卷《压力容器》第一册
6. ASME《锅炉及压力容器规范》第 VIII 卷《核动力设备》
7. ASME《锅炉及压力容器规范》第 VIII 卷《压力容器》第二册另一规程
8. 李之光等编著《锅炉材料及强度与焊接》劳动人事出版社 1983 年
9. [日] 中山秀男《锅炉设计》劳动人事部《锅炉压力容器安全》杂志社 1983 年
10. [日] 佐藤邦彦向井喜彦丰田政男《焊接接头的强度与设计》机械工业出版社 1983 年
11. 《Design rules for arc-welded Connections in Steel submitted to static loads》Welding in the world Volume 14 No. 5 1976
12. 陆明万《分析设计的一般准则》广州压力容器规范宣讲班资料 1988 年
13. ASME《压力管道法规》《动力管道》
14. SDGJ6—1990《火力发电厂汽水管道应力计算技术规定》
15. BS5500—1985《非直接火压力容器》
16. GBJ 17—1988《钢结构设计规范》条文说明
17. 《机械工程手册》，第 26 篇，《焊接结构》机械工业出版社 1979 年
18. GB 9222—1988《水管锅炉受压元件强度计算》机械工业出版社 1991 年
19. 薛明德《圆柱形压力容器平封头的应力分析》《化工设备设计》1980 年第 3 期
20. 魏明钟编著《钢结构设计新规范应用讲评》中国建筑工业出版社 1991 年

附加说明:

本标准由机械工业部上海发电设备成套设计研究所提出并归口。

本标准负责起草单位哈尔滨锅炉厂、上海发电设备成套设计研究所。

本标准参加起草单位北京巴布科克·威尔科克斯公司、东方锅炉厂、上海锅炉厂、武汉锅炉厂、北京锅炉厂、杭州锅炉厂。

本标准起草人程丰渊、薛之年、韩肇俊、陈恭颐、肖忠华、王志文、吴如松、何本寿、毛韧、何振康、蒋菁、潘如、王春繁。