

斜对接焊缝强度计算问题*

——钢结构设计规范讨论

张正国

(郑州工学院应力分析及抗震研究室)

摘 要: 本文针对钢结构设计规范中关于“斜对接焊缝强度计算”的规定, 分析了它的来源。通过分析斜对接焊缝的实际受力情况, 提出了规范规定的错误和纠正方法。

关键词: 钢结构, 焊缝强度, 结构设计, 设计规范

中国图书分类号: TU202:TU201.1

新的钢结构设计规范 (GBJ17-88) 已于 1989 年 7 月 1 日起正式颁布试行。经过深入学习新规范, 本人获益非浅, 但同时也发现新规范仍存在一些可疑之处, 现分专题提出, 与土木工程界的同仁们讨论, 不当之处, 敬请批评指正。本文讨论斜对接焊缝的强度计算问题。

1 斜对接焊缝计算之规范规定的来源

规范第 7.7.1 条注①规定: “当承受轴心力的板件用斜对接焊缝对接, 焊缝与作用力间的夹角 θ 符合 $\lg \theta < 1.5$ 时, 其强度可不计算。”此规定的依据如下。

理论分析和实验研究结果表明, 对接连接中, 由于焊接技术问题, 焊缝往往存在有各种缺陷。但焊接缺陷对受压的对接焊缝承载能力没有显著影响, 因此当焊条或焊丝的强度级别与焊件金属相适应时, 焊缝抗压强度 f_c^w 与焊件抗压强度 f 相等。然而, 受拉的对接焊缝对焊接缺陷很敏感, 它们不但严重降低连接的疲劳强度, 而且降低连接的静力强度。规范根据焊缝中存在缺陷的严重程度, 规定了焊缝的质量检验标准, 确定了三个质量等级, 并认为通过一、二级质量检验的焊缝的焊接缺陷很小, 其抗拉设计强度 f_t^w 仍能达到与其强度级别相同的主体金属的设计强度 f ; 通过三级质量检验的焊缝的焊接缺陷较大, 其抗拉强度低于焊件的抗拉设计强度。因此设计中只需对“通过三级质量检验的受拉对接焊缝”进行计算, 其它情况均为等强连接。

对于满足三级质量检验标准的对接焊缝, 其抗拉设计强度 f_t^w 和焊件的抗拉设计强度 f

* 收稿日期: 1990.07.08

列表于下;表中同时给出二者的比值。由该表可以发现,各种钢号第3组主体钢材上的对接焊缝抗拉强度最低: $f_t^w = 0.84f$ 。

构件钢号	A_3			16Mn 或 16Mnq			15MnV 或 15MnVq		
	第1组	第2组	第3组	第1组	第2组	第3组	第1组	第2组	第3组
f	215	200	190	315	300	290	350	335	320
f_t^w	185	170	160	270	255	245	300	285	270
f_t^w / f	0.86	0.85	0.84	0.86	0.85	0.84	0.86	0.85	0.84

如果轴心受力板件的强度满足设计要求,而通过三级质量检验的受拉正对接焊缝的强度不满足设计要求,即当受拉板件截面上的拉应力在 $0.84f$ 和 f 之间时,要求增大焊缝计算面积,以满足其强度要求。对于对接焊缝,增大计算面积的唯一方法是采用斜对接焊缝(增大焊缝的计算长度 l_w)。如图1所示的轴心受拉板件,截面宽度为 a ,厚度为 t 。该斜对接焊缝的轴线与内力 N 之间的夹角为 θ ,则焊缝计算面积为:

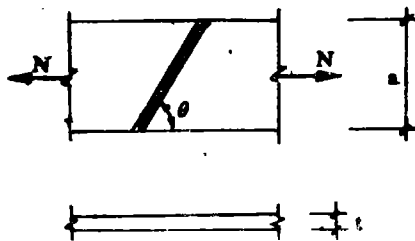


图 1

$$A_w = l_w t = \frac{at}{\sin\theta} \quad (1)$$

焊缝承载能力不低于板件承载能力的条件是:

$$\frac{at}{\sin\theta} f_t^w \geq atf$$

$$\text{即: } f_t^w \geq f \sin\theta \quad (2)$$

用 θ 的正切值表达上式:

$$\tan\theta \leq \frac{\sin\theta}{\sqrt{1-\sin^2\theta}} \leq \frac{f_t}{\sqrt{f^2 - f_t^2}} \quad (3)$$

将最不利情况 $f_t^w = 0.84f$ 代入上式,即得到规范规定的不计算对接焊缝强度的条件:

$$\tan\theta = \frac{0.84}{\sqrt{1-0.84^2}} = 1.548 \approx 1.5 \quad (4)$$

2 规范规定的存在问题

粗略地看上述讨论,似乎规范的规定是顺理成章的,然而它忽略了一个关键问题:轴心受力板件处于单向应力状态,任意点只有一个非零主应力,该主应力值即为轴力与正截面面积之比。如果我们以斜对接焊缝所在的斜截面为对象来分析,那么应该看到该斜截面上的任意点所受的应力分量将不是一个,而存在三个应力分量。规范的规定仅考虑了垂直于斜截面的正应力分量,并假设该分量等于轴力与斜截面面积之商,所得结果必然是错误

的。请看下述分析。

取直角坐标系 xoy , x 轴与焊缝垂直, y 轴与焊缝平行, 如图 2 所示。在焊缝上取一微元体如图 3 所示, 其厚度为 t , 另两边分别与坐标轴平行。该微元体上作用有 σ_x 、 σ_y 和 $\tau_{xy} = \tau_{yx}$ 三个应力分量。

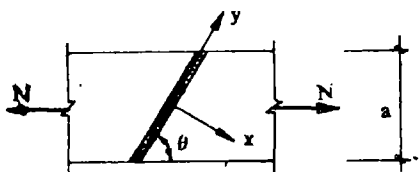


图 2

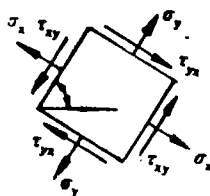


图 3

利用平行于 y 轴且通过焊缝的剖面取板件隔离体可求出:

$$\sigma_x = \frac{N \sin \theta}{t a / \sin \theta} = \frac{N}{at} \sin^2 \theta \quad (5)$$

$$\tau_{xy} = \frac{N \cos \theta}{t a / \sin \theta} = \frac{N}{at} \sin \theta \cos \theta \quad (6)$$

利用平行于 x 轴且与焊缝相交的剖面取板件隔离体可求出:

$$\sigma_y = \frac{N \cos \theta}{t a / \cos \theta} = \frac{N}{at} \cos^2 \theta \quad (7)$$

$$\tau_{xy} = \frac{N \sin \theta}{t a / \cos \theta} = \frac{N}{at} \sin \theta \cos \theta = \tau_{yx} \quad (8)$$

建筑钢材在复杂应力状态下, 适于用能量强度理论表达其破坏条件。图 3 所示的焊缝微元体的折算应力可表达为:

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \\ &= \frac{N}{at} \sqrt{\sin^4 \theta + \cos^4 \theta - \sin^2 \theta \cos^2 \theta + 3\sin^2 \theta \cos^2 \theta} \\ &= \frac{N}{at} \sqrt{(\sin^2 \theta + \cos^2 \theta)^2} = \frac{N}{at} \quad (9) \end{aligned}$$

上式表明, 无论斜对接焊缝与轴力间的夹角为何值, 焊缝的折算应力均与板件正截面应力相等。事实上板件为单向应力状态, 焊缝也必然是单向应力状态, 如果在焊缝上取两边分别与轴力垂直和平行的微元体来分析, 可直接得到第一主拉应力 $\sigma_1 = \frac{N}{at}$, 另两个主应力均为零, σ_1 也代表折算应力。

由上述分析知道, 采用斜对接焊缝并不能提高焊缝的承载能力。原因是斜对接焊缝上任意点的折算应力相等且等于板件正截面应力, 焊缝各点将同时达到破坏条件。对于通过三级质量检验的受拉焊缝, 在板件应力达到自身设计强度的 84% 时将全部达到焊缝的抗拉设计强度, 而与焊缝和轴力间的夹角大小无关。

试然, 几十年来并未发生斜对接焊缝强度破坏造成的工程事故 (TJ17-74 也存在本文

讨论的问题), 但这并不说明规范在此问题上的正确性, 原因有三:

- 1、实验工程中采用斜对接焊缝较少;
- 2、实际设计中安全系数取值普遍偏大;
- 3、焊缝钢材的极限强度 f_u 远大于设计强度 f_t^w , 强度储备很大。

3 教科书对斜对接焊缝强度计算的处理

对于钢结构设计规范对斜对接焊缝处理计算之规定, 国内现有的几本钢结构教科书作了一些牵强附会的解释。这些解释主要有两类。一是在强度计算中假设轴力与焊缝垂直, 因而在焊缝所在的斜截面上只存在正应力, 并且该正应力等于轴力 N 与斜截面面积之比, 其它应力分量均为零。此即为前文推导规范规定之来源的思路, 最终得出规范中出现的错误规定。二是在强度设计中忽略焊缝上平行于斜焊缝方向的正应力 σ_y , 仅考虑焊缝所在斜截面上的正应力 σ_x 和剪应力 τ_{xy} , 并认为 σ_x 和 τ_{xy} 互不影响, 分别验算焊缝的抗拉强度和抗剪强度。显然这仍然是一种错误的做法。

4 结 论

根据上述分析提出如下结论:

采用斜对接焊缝并不能提高焊缝的承载能力, 无论斜对接焊缝与轴力间的夹角为何值, 焊缝折算应力恒等于板件正截面应力, 因而斜对接焊缝的强度应按正截面进行计算。既然斜向焊缝对承载力不存在提高作用, 就没有必要继续使用, 因为它有害无益。斜对接焊缝不仅施工困难, 而且浪费焊条和钢材。建议规范取消此项规定。

注: 本文得到了寿楠椿教授的热情指导, 特表示衷心感谢。

The Problem about Strength Calculation of Leaned Butt Welding

Zhang Zhengguo

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: This paper analysed the foundation of calculation method of leaned butt welding which appears in steelwork code, and proved the method is wrong and put forward a proposal to solve the problem.

Keywords: steel structure, weld, intensity, structural design, codes