

受动力荷载的焊接结构的制造

Л. И. 納夫罗茨基 著

建 筑 工 程 出 版 社

內容提要 本書敘述焊接接頭的強度、強度試驗、構造、計算法以及製造焊接結構的幾點建議。經驗證明，焊接結構有很高的工作能力，因而可用于任何工程構築物中。本書作者除提出許多詳細的有價值的資料外，並對某些錯誤概念作了批判。本書可供從事鋼結構製造和設計的技术人員以及中等、高等建筑工程院校學生閱讀。

原本說明

書 名 ИЗГОТОВЛЕНИЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ,
ВОСПРИНИМАЮЩИХ ДИНАМИЧЕСКУЮ-
НАГРУЗКУ

著 者 Д.И. Навроцкий

出版者 Ленинградский дом научно-технической про-
паганды

出版地点 及 年份 Ленинград—1955

受动力荷载的焊接结构的制造

叶 韶 先 譯

★

1959年7月第1版 1959年7月第1次印刷 3,065册

787×1092 1/32 • 24千字 • 印張1 1/8 • 定价(10) 0.20元

建筑工程出版社印刷厂印刷 • 新华书店发行 • 統一書号: 15040·1144

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版业营业許可証出字第052号)

序 言

許多重要焊接結構使用的成功經驗證明，焊接結構具有高度工作能力，它可以毫無限制地用于所有工程結構中。

根據現有的焊接結構設計、製造和使用的經驗及這方面的專門研究資料可以確信，所有最重要的結構皆可採用焊接。焊接結構在使用時要比鉚接結構更可靠些。

焊接結構的整體性使我們有可能在接頭和節點處用平滑過渡的辦法減少應力集中，這就可以大大提高強度。因此，在焊接結構中就能保證節點或接頭斷面的強度與被聯接構件的斷面的強度相等。對於鉚接結構，這種情況是不能達到的，因為由於搭接、孔眼及內力經鉚釘杆的集中傳遞就不可能製造沒有很大的應力集中的接頭及節點。

這樣，在應力集中的條件下（如結構受動力荷載作用時，就是這種情況），焊接結構的工作能力要高於鉚接的。鉚接結構強度的降低不僅因為其中有較大的應力集中，而且還由於鉚釘孔的存在而使斷面削弱。焊接結構除了有上述的優點外，同時還能大大降低金屬的消耗。

但是，採用焊接的可能性並未經常得到充分的利用。在某些部的結構設計技術規範中仍然還保留着降低焊縫金屬中允許應力標準這一陳舊的概念。在某些焊接結構製造規程中還保留着用退火去除焊接應力的陳腐的要求。還會遇到用蓋板來“加強”焊縫的建議等等。

采用这些陈旧建議的根源是由于对焊接接头强度作了不正确的了解。实际上，这些建議不仅不能提高焊接接头的工作能力，反而是降低工作能力的原因。此外，这样做会过多地消耗鋼材，增加制造的劳动量。

必須指出：只有在結構材料、焊接接头形状及制造工艺选择方面遵守一系列原則的条件下，焊接結構才能保証有高度的工作能力。

，因此，本文的任务在于使大家熟悉焊接結構設計与制造的主要原則。

目 录

序 言

1. 焊接結構材料的選擇..... (1)
2. 焊接接头的构造与計算..... (3)
3. 焊接接头的强度試驗..... (15)
4. 焊接結構制造方面的建議..... (28)

1. 焊接結構材料的選擇

焊接結構的特点是在施焊过程中金屬里会引起热影响。制造焊接結構时必须考虑到这点。

焊接过程的热影响可能使母体金屬的性質有很大的改变。此外，热影响是在結構中引起残留变形与应力的原因。

为了保证焊接接头的强度，正确选择結構材料有着很大的意义。

主要材料的选择不仅要保证結構基本构件的金屬有必要的性能，而且要保证直接位于焊缝区域内、且在焊接过程中受热影响的金屬有必要的性能。

在焊接过程的影响下，焊缝区域内的金屬性能可能会发生变化，这种变化不仅与結晶过程及可能的結構的变化有关，而且也与焊接变形及应力的发生及发展过程有关。

焊缝区内母体金屬的某些强化（图 1）及相应而造成的塑性的降低就是焊接接头机械强度改变的最典型的例子。

焊缝金屬的性能主要取决于焊接材料（焊条或焊絲及焊剂）

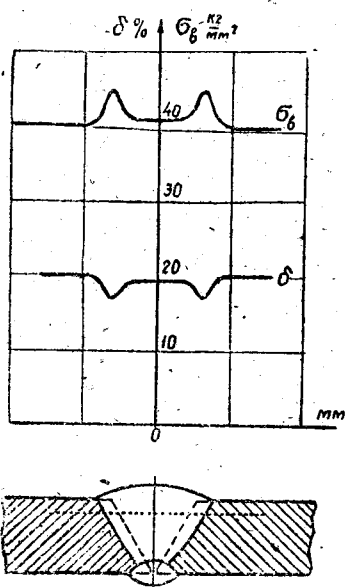


图 1 焊接接头中金屬强度特性的变化

的選擇。

現在已經有了足夠的各種不同的焊接材料，因而在焊接鋼結構中所採用的很多種鋼號均能保證焊縫金屬有需要的性能。

接頭的焊縫金屬的性能最好與母體金屬的性能相同。焊縫金屬的塑性最好不要低於母體金屬。因此，考慮到焊接過程中機械性能的某些變化，最好這樣來選擇焊接材料，使焊着金屬有較高的塑性。這時，焊接過程中所引起的塑性損失就可以得到補償。

焊縫區域內金屬性能改變的程度也取決於焊接過程的熱工制度。熱工制度隨工藝過程參數而定。

採用專門的方法，例如預熱，可以限制焊縫區內機械性能的變化，甚至在合金鋼的焊接時也是這樣。

在個別情況下，這些方法是必需的，並且在工業中它們已經得到了應用。但是，對於製造焊接結構時採用最為廣泛的普通低碳鋼及低合金鋼來說，這些專門方法就顯得過於複雜了。

因此，為了保證焊接接頭有所需要的性能，對於焊接結構，選擇這樣的材料是更加合理的，即在焊接過程中（在普通的制度下）其機械性能不會有很大的變化，這就防止了在焊縫區域內形成脆性區的可能，而這點正是我們所不希望的。

此外，焊接結構所用的鋼材也應保證工藝強度，即在製造結構的過程中不能出現裂縫。

所謂“熱”裂縫（在高於 1000°C 時形成）與“冷”裂縫（在焊縫冷卻過程中形成）的形成與焊接時所發生的冶金變化及熱處理有關。

為了防止焊接時產生裂縫，必須限制碳與硫的含量，並且稍稍提高錳的含量。此外，還必須減少拉伸溫度應力出現的危險性，消除焊接過程中出現剛性固定區段的可能及避免有很大集中應力的接頭。

考虑到上述各点，可以说，保证焊接接头有需要的性能的问题应当综合地解决，即用选择结构材料、连接形式及制造工艺的办法来解决。

某些现有的低碳钢及低合金钢Ст.3（钢3）、Ст.4（钢4）、НЛ-2*（2号低合金钢）、СХЛ-1（1号矽、铬合金钢）和СХЛ-4（4号矽、铬合金钢）等完全符合焊接结构材料的条件。

这时，除了通常对机械强度性能方面的要求外，在化学成分方面还须有比铆接结构更加严格的限制（钢中含碳量不应超过0.20%，含硫量不应超过0.004%）。

2. 焊接接头的构造与计算

焊接接头的各种构造形式可以分为下面三种基本类型：对接接头、对头拼接接头（或丁形接头）及搭接接头。有盖板的接头也属于搭接接头，实质上，它就是变相的搭接（图2）。

头二种接头对于焊接结构是最有代表性的。这二种接头只用于焊接结构。铆接结构中是没有这样的接头的。

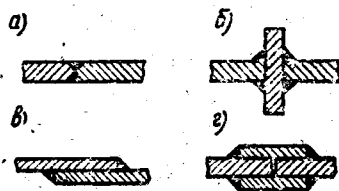


图2 焊接接头的种类

a—对接；б—对头拼接；в—搭接；
г—盖板接

* 合金钢的代号常用其所含化学成分表示。所用符号代表意义如下：Г（锰）、С（矽）、Х（铬）、Н（镍）、М（钼）、В（钨）、Ю（铝）、Т（钛）、К（钴）、Д（铜）、Ф（钒）各字母前之数字为钢中含C的百分数。在一切情况下，字母“A”均表示优质钢——译者。

搭接接头不是焊接結構所特有的。它是鉚接結構的基本接头，是由鉚接接头变来的。實質上，搭接接头是鉚接結構中部件連接的唯一方法，这种接头的某些变态，如所謂有盖板的对接接头及用輔助角鋼的丁形接头，如果不用搭接是不可能連接在一起的，按照工作条件來說，这些接头几乎与普通的搭接接头沒有差別。在焊接結構中，采用搭接接头較鉚接接头为少。这样，焊接結構优于鉚接結構的地方是：接头有多种多样形式，可以采用更合理的接头以使結構中的材料得到合理的利用。

焊接接头强度計算的原則基本上与鉚接接头强度計算一样。这是因为，焊接結構計算中所采用的条件与假定，比鉚接結構更符合結構的实际工作情况。

当傳遞軸向力时，对接正面焊縫的計算（图 3.）按下式进行。

$$\sigma = \frac{P}{\delta \delta} \leq [\sigma'] \quad (1)$$

式中：P——作用于接头上的軸向力；

δ ——焊縫厚度；

δ ——焊縫長度（在这种情况下即构件寬度）；

$[\sigma']$ ——焊縫金屬的允許应力。

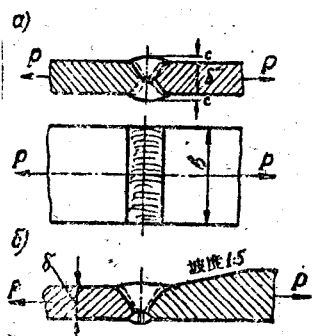


图 3 計算对接焊縫用示意图

a—等厚鋼板的接头；

b—不等厚鋼板的接头

当按公式（1）計算时，焊縫厚度采用被連接部分厚度中最小的一个。焊肉高度 c 只是工艺公差，强度計算时不加考虑。

焊縫的允許应力根据技术规范

采用，其值随结构之种类而异。在造船业、桥梁制造业及其他重要的工业领域中，在采用相应之材料与工艺以保证焊缝有所要求的質量的条件下，焊缝金属的允許应力可采用与母体金属相等的允許应力。

上述公式可用以計算所有对接焊缝，而与其横断面形状（边上无坡口的；V形的；X形的；U形的等等）及焊接工艺（人工及自动焊接）无关。

对接焊缝完全保证了接头等强度的条件，由于它的接头形式最为简单，且金属的消耗也最小，所以它是焊接结构中采用最广的一种接头。

角焊缝传递轴向力时，与作用力方向倾斜的断面最为危险，因此该断面中切应力很大。

正面角焊缝（图4）强度根据允許切应力按下式計算：

$$\tau = \frac{P_1}{k' \cdot \delta} \leq [\tau'], \quad (2)$$

式中： P_1 ——经过一个角焊缝的力；

k' ——焊缝危险断面厚度；

δ ——焊缝长度（对于正面焊缝即为构件宽度）；

$[\tau']$ ——焊缝金属的允許切应力（通常： $[\tau'] = 0.8[\sigma']$ ）。

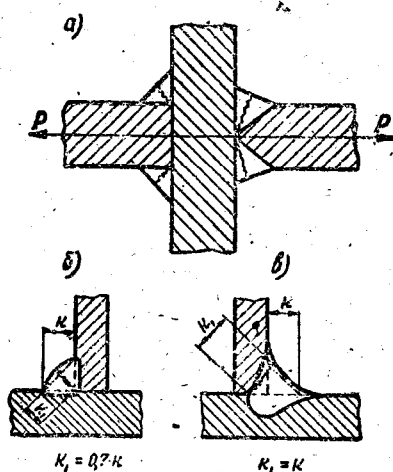


图4 正面角焊缝計算用的示意图

a—不同焊缝形状时計算断面的位置；
b—人工焊接的焊缝；b1—自动电焊机焊接的焊缝

按公式(2)計算时,对于人工焊接角焊缝危險断面的厚度采取焊缝断面中内接直角三角形直角等分綫之長度,不考虑焊透深度及(“加强”)焊肉高度: $k'=0.7k$, 式中 k 为内接三角形直角边長度。

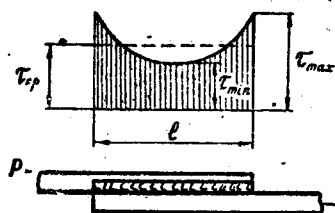
受軸向荷載之角焊缝在丁形接头中采用最广,用这种焊缝可以把結構彼此相交的构件相互連接起来。

这种接头的工作能力很高,特别是当保証被連接的构件沿全部厚度均連接起来的时候。在后一种情况下,丁形接头的强度計算按允許拉应力进行,由于这个原因,危險断面几乎与力作用方向垂直,因此其中的切应力是很小的。

搭接接头中也会碰到正面角焊缝。根据所采用的計算假定的特点。在这种情况下,其强度校核也按公式(2)进行。必須指出,在动力荷載下搭接接头的工作能力要比对接与丁形接头低得多。

此外,搭接接头比对接与丁形接头要多消耗鋼材。因此,搭接接头(包括有盖板的接头)只允許用于不大重要的連接中,这时,强度不是决定性的条件。在这些情况下,采用搭接接头是正确的,因为搭接对邊緣修整要求不高,并且装配更加簡單。

承受軸向力的側面焊缝的强度按剪切計算(图5)。这时,对于角焊缝(对接側面焊缝很少遇到)其計算公式有如下的形式:



式:

$$\tau = \frac{P}{0.7nkl} \leq [\tau'] \quad (3)$$

式中: l —— 焊缝長度;

k —— 焊缝直角边長;

n —— 接头中側面焊缝数

量。

图5 側面焊缝計算用的示意图

公式(3)是根据应力沿側面焊缝長度均匀分布的假定而得

来的。实际上，侧面焊缝中的应力分布不是均匀的，而且随着焊缝长度的增加这种不均匀性就激烈增加，焊缝端部区段是超载的，而这时焊缝中部几乎不参与工作。因此，采用很长的纵向焊缝是不合理的。经验指出，侧面焊缝的极限长度不应超过：

$$l_{max} = 50k。$$

在焊接结构中，广泛采用角焊缝，用来把组合断面构件的各个部分连接成一个整体（图6）。

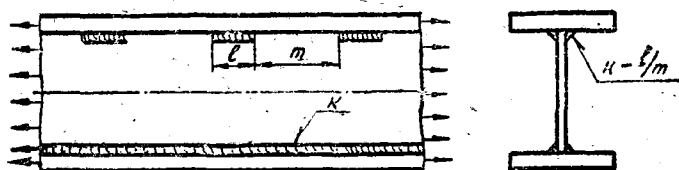


图6 翼缘焊缝：连续的（沿下翼缘）及间断的（沿上翼缘）

有切力时，受弯构件的翼缘焊缝承受切应力。其强度校核按下式进行：

$$\tau = \frac{QS'}{Ik'}, \quad (4)$$

式中：Q——所考虑断面中的切力；

I——断面惯性矩；

S'——翼缘对通过整个断面重心的轴线之静力矩；

k' ——焊缝的总计算厚度（对于双翼缘焊缝 $k' = 1.4k$ ，其中 k ——焊缝直角边长）。

在大多数情况下，翼缘焊缝受力较小，因此其焊缝尺寸可用最小者。有时也会遇到这样的情况，甚至当焊缝直角边长采用最小的尺寸时（根据工艺条件， $k_{min} = 4$ 毫米）连续焊缝所受力仍很小。在这种情况下，可以采用单边角焊缝或双边间断焊缝。

間断焊縫的尺寸可由下列关系确定:

$$k(l+m) = k_{np} l, \quad (5)$$

式中: k ——連續焊縫直角边長;

k_{np} ——間断焊縫直角边長;

l ——間断焊縫区段長度;

m ——間断焊縫各段間的距离。

間断焊縫会引起附加的应力集中, 因此只允許用于受靜力荷載的結構中。此外, 采用間断焊縫会增加金屬銹蝕的危險性。

对于承受振動荷載的結構, 当焊縫与主要荷載作用方向相垂直时, 最好不用單边翼緣焊縫。

組合构件的翼緣焊縫一般不承受切应力, 这时翼緣焊縫仅起連接作用, 且承受偶然的橫向荷載。由于荷載不大, 連接焊縫的强度不进行計算, 其尺寸采用最小者。

受弯焊接接头构造条件基本上也与受軸向力接头相同, 因为这种接头的个别区段是受軸向拉应力或軸向压应力的。

这时, 校核受弯焊接对接接头强度用的主要計算公式完全与校核主要結構构件强度所用之計算公式相同, 因为对接接头的断面形状仍完全与主要构件一样(如果象前面一样, 不考虑到焊縫不大的增厚)。

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (6)$$

式中: M ——作用于断面中的弯矩;

W ——被連接构件在連接处的慣性矩。

当保証沿构件全厚完全焊透时, 对头拼接(丁形接头)也可按同样公式計算。

用角焊縫連接起来的对头拼接接头(所連接的构件沿全厚沒有焊透时)的計算按允許切应力进行:

$$\tau = \frac{M}{W'} \leq (\tau') \quad (7)$$

式中: W' ——焊縫計算断面之慣性矩。

必須指出, 对于用角焊縫連接复杂断面的情形, 只有保証构件各部分厚度与連接这些构件的焊縫尺寸間成正比例时, 才可用公式(7.)來計算。

例如, 連接腹板厚度为 δ_{cm} 及翼緣厚度为 δ_n 之工字梁(图7)时, 必須保証有下列关系:

$$\frac{k_{cm}}{k_n} = \frac{\delta_{cm}}{\delta_n},$$

式中: k_{cm} 及 k_n ——相应于工字梁腹板与翼緣上的角焊縫直角边長。

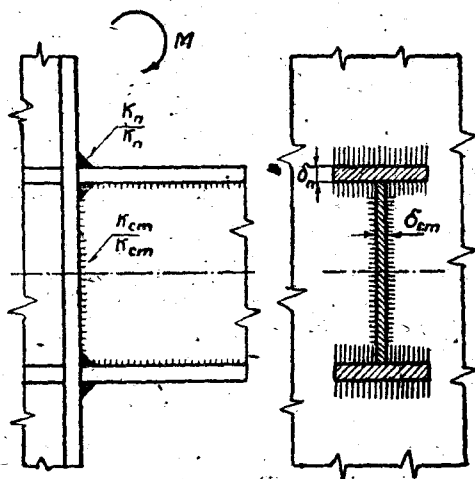


图 7 用角焊縫对头拼接的焊接接头計算用之示意图

所有上述計算均基于这样的假定, 即断面中的应力是均匀分

布的，与接头形状无关。因此，不能利用上述计算公式来比较不同形状的接头的强度。根据这些计算公式只能确定应力之某些平均值。

在个别情况下，当应力集中没有很大意义时，这种简化计算已经够了。例如，结构由塑性材料制成且受静力荷载作用时就是这种情况。

实际上，在接头中应力的分布是不均匀的。不仅焊接接头有这种情况，而且在不小的程度上铆接接头也有这种情况。

在铆接接头中，被孔削弱的断面处应力分布是不均匀的。在有孔的地方应力集中最大。根据实验所得资料（图8），受双剪

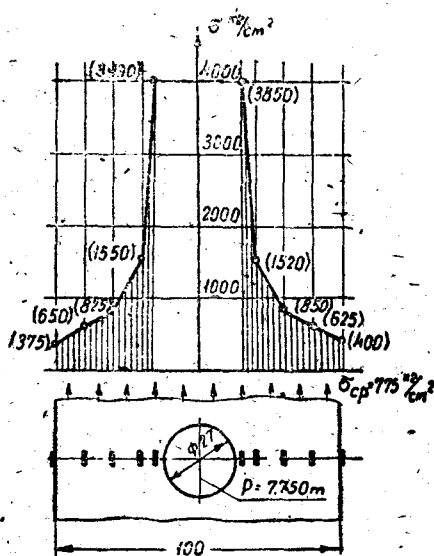


图8 铆接接头横断面中的应力分布

鉚釘接頭的應力集中系數為：

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{cp}} \approx 5。$$

在鉚釘為單剪時，由於應力沿鋼板厚度分布不均，應力集中系數還更大些。

在焊接對接接頭中，直接位於焊縫的區域內有應力集中現象。從母體金屬表面過渡到焊縫表面的點應力最高（圖9）。

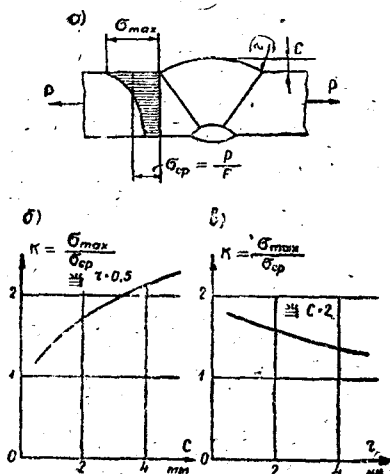


圖9 對接接頭中的應力分布

a—應力圖；b—應力集中系數隨焊肉高度的變化；c—應力集中系數隨過渡半徑的變化

已經證明，焊縫區域內之應力集中與焊縫過渡到母體金屬的光滑程度及焊縫焊肉高度（焊縫凸出高度）有關。

按彈性理論的方法作更精確的計算而得到的對接焊縫應力集中系數與焊縫過渡半徑及焊肉高度之間的關係見圖9, b及c。

如所周知，對接焊縫中的應力集中系數隨着焊肉高度 c 之增加而增長。經驗指出，這時，在振動荷載作用下之對接焊接接頭之強度會顯著降低。因此必須指出，

“加強焊縫的”這個術語有時仍被採用，而按實質說來，這是完全不正確的。

丁形接頭断面中也會發生很大的應力集中。

丁形接頭之最大應力區段有二：一為焊縫與母體金屬之外邊

处，另一为間隙处角焊縫之頂点，該間隙乃由于沿鋼板厚度未焊透所造成（图10）。当沿鋼板厚度完全焊透时，焊縫頂点之应力集中就会减少（图10,δ）。

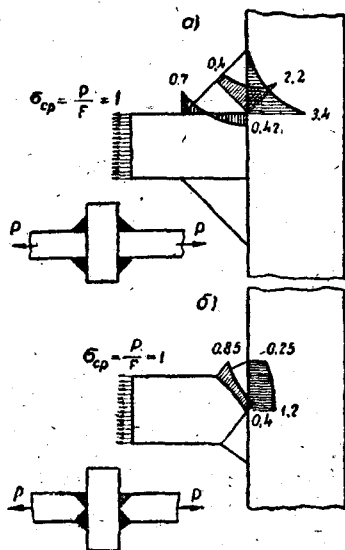


图 10. 丁形接头中应力的分布

α—无坡口；δ—有坡口

对于承受动力荷载的丁形接头强度来说，焊縫外边之应力集中最大。采用从焊縫至母体金属表面光滑过渡的办法可以降低应力集中。这就促使采用凹形表面之焊縫。如同对于对接焊縫所指出过的一样，凸起的（“加强的”）焊縫会提高应力集中，且会降低接头之强度。

有盖板接头的正面角焊縫中的应力分布也是不均匀的，在一般情况下，接头中的应力分布图与前面已经述过的丁形接头角焊