

苏联机器制造的 先进工艺

焊 接 部 分



机械工业出版社

128466

苏联机器制造的先进工艺

焊接部分

苏联科学院机器学研究所机器制造工艺委员会编

沈 辉 译



机械工业出版社

1958

出版者的話

1954年12月苏联科学院召开了有关机器制造先进工艺的第一届全国生产革新者和科学工作者會議。苏联科学院出版社把在这次會議上發表的論文匯編起来成一本「机器制造的先进工艺」,包括鑄造、焊接、压力加工、切削加工等方面的論文数十篇。无疑的,这些理論联系实际的先进經驗是我們必須學習的。

这是焊接部分,介紹了焊接接头中出現裂縫的条件、焊接接头的无损檢驗法、焊接管道接头的新方法、利用焊接延長犁头及拖拉机等农业机械零件的使用期、水力机器制造中使用焊接的經驗、薄金屬的电容器焊接及其在仪器制造中的应用。

本書的讀者对象是以焊接为專業的工人和工程技術人員。

苏联Академия наук СССР, институт машиноведения, комиссия по технологии машиностроения著 'Передовая технология машиностроения' (Издательство академии наук СССР 1955年第一版)

* * *

NO. 2350

1958年12月第一版

1958年12月第一版第一次印刷

787×1092 1/18 字数 67 千字 印張 3 1/9 0,001— 5,300 册

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业营业許可証出字第 008 号

定价 (11) 0.51 元

目 次

焊接接头中出現裂縫的条件.....	5
关于焊接接头的无损檢驗法.....	15
焊接管道接头的新方法.....	25
利用焊接法延長犁头及拖拉机等农业机器零件的使用期.....	28
水力机器制造中使用焊接的經驗.....	36
薄金屬的电容器焊接及其在仪器制造中的应用.....	42

技术科学博士 尼古拉也夫教授 (Г.А. Николаев)

焊接接头中出現裂縫的条件

尽管在發展先进的焊接工艺过程方面已經取得了巨大的成就，可是焊接結構有时仍然要發生破坏。

事故性的徹底破坏畢竟是少有的現象：据所知，实际發生过的：在比利时有三座焊接桥梁崩塌，在美国有 24 艘[自由]型焊接船舶完全断裂，在苏联曾有几个貯油罐發生破坏的事故。而裂縫形式的焊接接头局部破坏現象則比較容易出現。

焊接結構中之所以出現裂縫与很多因素有关，在低温条件下承受交变及冲击負載的結構中裂縫比較常見。

在铁路桥梁的桥架上，車輛結構上（特別是在車架上）以及在溫度極低的情况下使用的貯罐上最易發現裂縫。

在沒有任何、甚至極小的缺陷的優質焊縫中很少發生裂縫。

采用合理的結構設計方法以避免应力集中，正确地选择焊件的基本金屬，以及应用可以保証焊縫机械性能高的焊接工艺規程，对消除焊接結構內出現裂縫的可能性起着非常重大的影响。

在科学研究机关和高等学校的實驗室以及工业中使用的熔剂層下自动焊接、保护气流中焊接和接触电焊可以得出机械性能很高的焊接接头。

在很多情况下特別是焊接不經過热处理的金屬时，焊縫的机械性能在結構承受任何类型的負載时都不比基本金屬逊色。

現在研究結構中最易發生裂縫的条件及其形成的原因。

进行焊接工作的过程中發生的裂縫

以巴烏曼命名的莫斯科工业学院的焊接實驗室所进行的科学研究工作的結果，确定在焊接接头区域受热及冷却时出現彈塑性（Упругопластический）变形，同时随之形成所謂固有应力。固有应力是焊接时焊縫及其邻近区由于溫度分布不均而發生的彈塑性变形的后果。

下面叙述的是为了确定在板边上熔焊焊縫时所形成的上述彈塑性变形所用的方

法之一。

在焊縫附近距焊着金屬 2~3 公厘处与焊道平行地装置一个特殊的应变仪,加以絕緣使其不受电弧热效应的影响。在应变仪旁边放置热电偶高溫計以測量在所研究处的随电弧位置而变化的溫度。

根据研究金屬的热脹系数的原理利用仪器(膨脹計)可以决定符合于所研究的加热情况下的受热变形 δ_T 。

应变仪能够測量出金屬的总共变形 δ , 包括受热变形 δ_T 及彈塑性变形 δ_0 两个組成部分。

因此焊接时的彈塑性变形可以利用計算求出:

$$\delta_0 = \delta - \delta_T.$$

圖 1 中列举了某些牌号的鋼材在邻近焊縫区所量出的彈塑性变形的大小, 圖 2 是在焊接过程中焊縫邻近区随溫度而变化的应力数值。

應該指出, 奥氏体鋼的彈塑性变形在冷却时期不断增长。焊縫附近的殘留应力在冷却时也不断上升并且达到屈服点。

和奥氏体鋼相似, 低碳鋼的彈塑性变形在冷却时一直上升直到溫度相当于奥氏体开始分解时为止, 这时金屬的組織分裂。所以拉伸彈塑性变形轉变为压縮彈塑性变形。奥氏体分解完畢后低碳鋼的焊縫邻近区内重新出現拉伸彈塑性变形, 并且在以后的冷却过程中不断增长。在完全冷却后低碳鋼的焊縫邻近区内出現达到屈服点的殘留拉伸应力。

在許多低合金鋼中, 如 30XГCА、5XBC、35CГ 等牌号的鋼, 奥氏体的分解在較低的溫度下开始發生。这样就使得彈塑性变形出現的条件有程度相当大的改变。

这种情况下焊縫邻近区在完全冷却后發生的拉伸彈塑性变形比奥氏体鋼及低碳鋼的数值小。某些情况下(当出現馬丁体时)焊縫内还会产生殘留压縮应力。

实验証明, 焊縫及其邻近区在焊接过程中及冷却时所不断产生的数值甚大的彈塑性变形决定于接头的形式, 冷却的条件, 鋼的物理机械性能, 金相組織的轉化等因素。在其他一些不利因素的配合下拉伸彈塑性变形能够引起脆性破坏——在焊接过程中形成裂縫。

我們知道, 金屬的机械性能由于溫度的不同而改变甚大: 溫度升高时鋼的塑性提高。但是在某些溫度下却發生所謂塑性[下降]。在固相綫溫度範圍內發現塑性急剧恶化。

当金屬的晶粒被数量不大的液体層所包圍时, 它的塑性急剧下降。这时就可能出現脆性破坏, 即永远具有結晶間性質的所謂[热裂縫]。

焊縫出現热裂縫决定于冶金的因素, 即焊接熔池的性質, 以及机械的因素——冷却时所形成的彈塑性变形数值。后者又决定于工艺参数与結構的形式。

根据冶金及机械的因素确定焊縫在抵抗热裂縫方面的数值特性是非常重要的。在文献中記載有許多方法可以衡量对热裂縫的抵抗力。按照苏联中央机器制造

工艺科学研究院的方法是以裂缝的长度与焊缝总长的比率来衡量焊缝对热裂缝的抵抗能力的；以巴頓（Е.О.Патон）院士命名的电焊研究院所用的方法是以冲击試驗为根据。

莫斯科高等工业学院研究了根据特殊形状試件的靜变形确定焊缝抵抗热裂缝能力的方法和試驗机的結構。根据基本金屬及填焊金屬、塗料、熔剂等来研究热裂缝的形成。

圖 3 中所示的試件在熔焊焊缝的过程中發生变形。試驗机夹头移动的速度（ A 公厘/分）能决定在結晶过程中的塑性变形数值和变形速度，所以可以采用作焊缝金屬抵抗裂缝能力的指标。变形的速度越高而焊缝又不出現裂缝，則焊缝对产生裂缝的抵抗力也就更好。这样，系数 A 就成为在接近固相綫温度时抵抗裂缝能力的可靠指标之一。

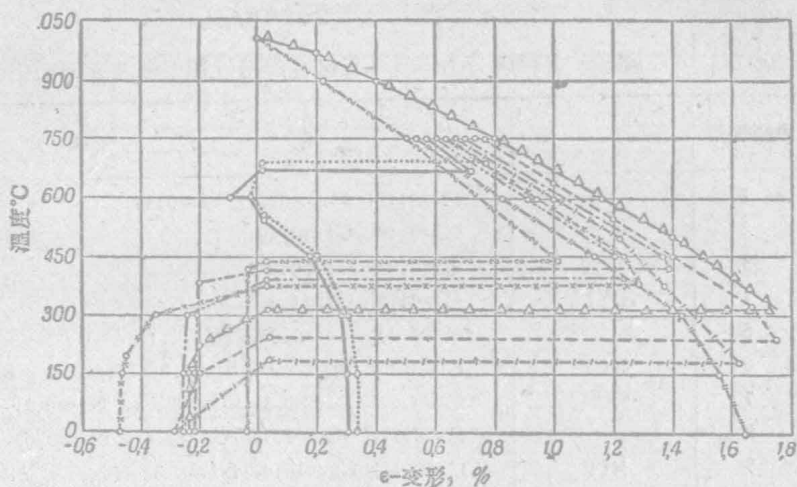


圖 1 不同牌号的鋼制成的試样中焊缝邻近区在焊接时的彈塑性变形：

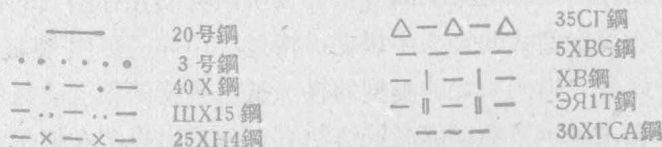


圖 4 列举了利用 OMM5、УОНИ 13/45 及工业中使用的其他焊条所焊成的焊缝对形成热裂缝的抵抗力大小的一些例子。

應該強調指出，焊缝在固相綫温度时焊着金屬的塑性不一定和在可能形成剪变形的温度条件下的塑性相符。奥氏体鋼在一切温度（包括在 1000° 以上）时都具有非常好的塑性。但是在固相綫温度范围内所具有的塑性却很低。

对焊缝必須提出各方面的要求。在低温、室温以及發生剪变形的高温下焊缝都应具备很好的塑性，同时在固相綫温度时也应具有令人滿意的塑性。否則在使用条件下情况良好的焊接接头也并不能保証其中沒有热裂缝。

焊接时抵抗裂缝出現的能力决定于工艺参数及接头的形式。

为了得出焊缝在抵抗热裂缝方面的数值特性与工艺参数的关系，莫斯科高等工业学院的焊接實驗室研究出如下所述的利用标准焊条的特殊方法。

用 МИП 机器制出标准系列的焊条。在焊条塗料中添加不同数量的填料成分就可以得出具备不同的热裂缝抵抗力的許多焊条。

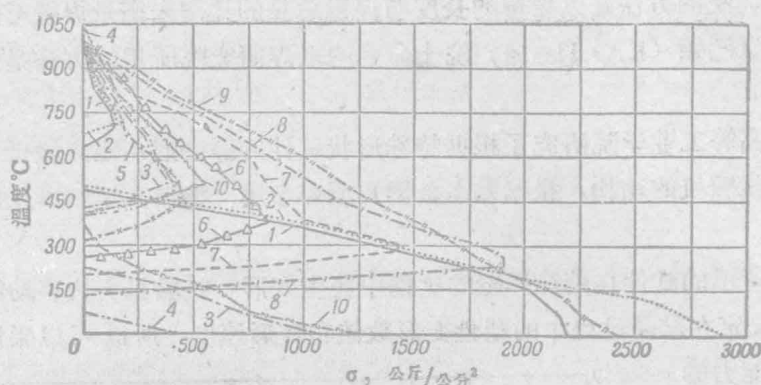


圖 2 各种牌号的焊缝邻近区在焊接过程中随温度而变化的应力:

曲线编号	鋼 号	化 学 成 份
1	20	C=0.15; Mn=0.35; Si=0.17
2	—	C=0.19; Cr=0.49
3	40X	C=0.38; Cr=0.9
4	ШХ15	C=0.95; Cr=1.2
5	25XH4	C=0.20; Cr=0.85; Ni=4.18
6	35Cr	C=0.36; Mn=0.9; Si=1.0; Ni=0.49; Mo=0.04
7	5XBC	C=0.52; Mn=0.31; Cr=7.33; Ni=0.3; W=2.14
8	—	C=0.51; Mn=0.13; Cr=7.45; Ni=0.05; W=2.49
9	Я1Т	C=0.13; Cr=16.9; Ni=8.3
10	30ХГСА	C=0.32; Mn=0.78; Si=1.0; Cr=0.93

利用不同的标准系列的焊条焊接所研究的几种型式的接头，这时按照规定的工艺规程在规定型式的接头中根据焊接过程中焊缝发生裂缝的情况定出焊条的序号。由这一序号得出所研究的类型的接头抵抗裂缝的相对的数值特性。

根据上述利用标准焊条的方法有可能得出焊缝在抵抗热裂缝方面的数值特性和焊接工艺过程、板边坡口切割方法、焊缝熔焊程序、焊接时的预热以及周围的外界温度等的关系。

实验证明，在一定的工艺规范情况下对形成热裂缝抵抗力最好的是在板边堆焊的焊缝。在平面上堆焊的焊缝以及对接焊缝也能很好地抵抗热裂缝的形成。

在具有双面填角焊缝的丁字及十字接头中焊缝对热裂缝的抵抗力较差。低碳钢的焊接构件在厚度由6~8公厘增加到25~30公厘时，丁字型接头的热裂缝抵抗力下降。厚度增加到30公厘以上时对热裂缝的抵抗力显然并不减低。板边为V型坡口及焊接熔池甚大时对热裂缝的抵抗力比板边坡口为其他型式时减小。

低碳钢的制件在焊前预热到150~200°可以增加对热裂缝的抵抗力。预热温度进一步提高时对热裂缝的抵抗力又重新开始下降。

利用标准焊条曾研究过几种焊缝熔焊程序并确定出其中对抵抗热裂缝最有利的情况。例如，圖5a所表示的焊缝熔焊方法是不合理的。这种情况下在焊接№3焊缝

时很易出現热裂縫。相反地，圖 5 6 所表示的焊縫熔焊方法是合理的。这种情况下热裂縫的出現比較稀少。

近年来在研究焊接时焊縫中形成热裂縫的过程及寻求防止方法上学者們的著作明确了很多問題。但是还可能誤認為在熔焊焊縫的过程中只有在固相綫溫度时才会出現裂縫。有很多鋼，特別是低合金結構鋼，在焊接中裂縫出現在冷却过程中的不同溫度情况下。这种裂縫可以有条件地称为热裂縫。通常，它們在焊縫中出現时是在相当于奥氏体分解的溫度下。

在文献中曾反复發表过这种观点，認為出現热裂縫的原因是完全溶解在奥氏体中的游离氢析出的結果。莫斯科高等工业学院的焊接實驗室曾进行过專門的實驗，証实奥氏体中氢的飽和以及奥氏体分解时氢的析出无疑地是促成热裂縫出現的因素之一，但并非唯一的因素。

显然，伴随着奥氏体的分解而出现的金相組織轉变，在焊縫及其邻近区引起初級及次級固有应力，使金屬轉变到立体受力状态。这会使塑性减低因而开始有可能出現脆性破坏——裂縫。

关于時間对焊接接头彈塑性变形数值的影响曾作出重要的結論。

莫斯科高等工业学院焊接實驗室所进行的試驗研究使我們能够明确低碳鋼及奥氏体鋼的接头并不随時間过程而改变本身的尺寸。

由低合金鋼如 30XГCA 及 23X2HBΦA 制成的接头，相反地在熔焊焊縫后要改变本身的尺寸，这在焊接后經過第一晝夜最为明显。在以后的期間焊接接头的彈塑性

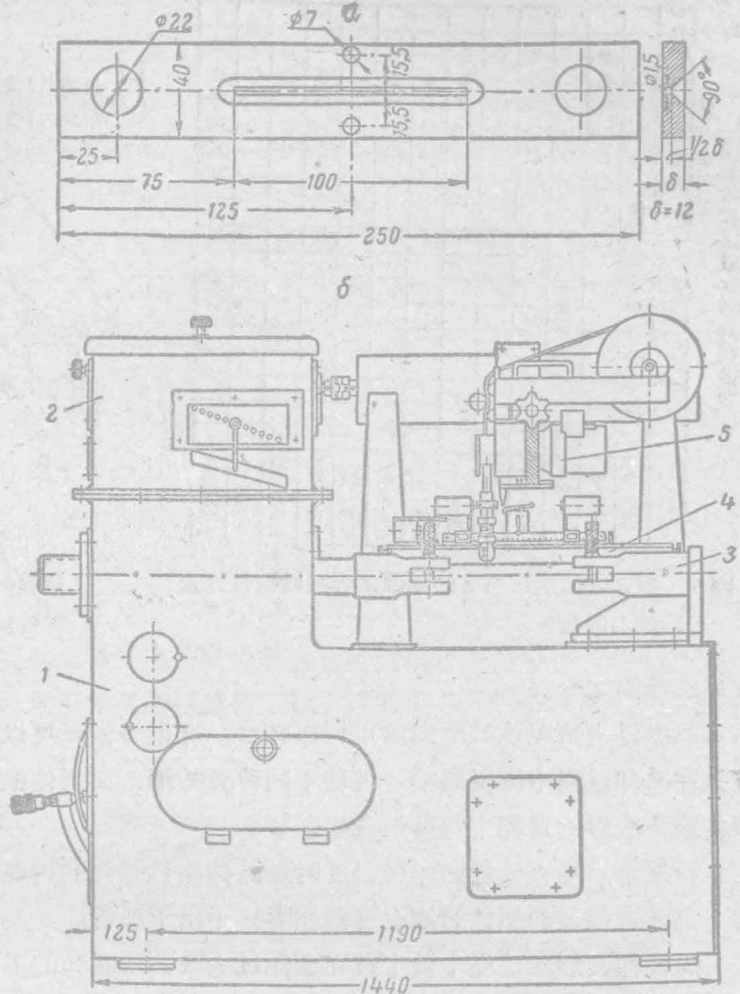


圖 3

a—用以确定焊縫的焊著金屬抵抗热裂縫能力的試驗片，b—用以确定焊縫的焊著金屬抵抗热裂縫能力的試驗机：1—拉力机构；2—焊接机头移动机构；3—后夹头；4—导向調整机构；5—焊接机头。

状态稳定下来同时焊件繼續保持其几何形状。

随時間过程而形成的彈塑性变形，显然并不和应力消除或时效现象有关。經過証实，彈塑性变形数值的改变是由于在焊件完全冷却后的相当長的时间过程中所完成的奥氏体分解所致。

如实验所証明，随同奥氏体的分解固有殘留应力分布区域同时改变。个别金屬纖維層中应力的增加及其轉变到脆性状态，显然也是焊接工作剛一結束后接头立即

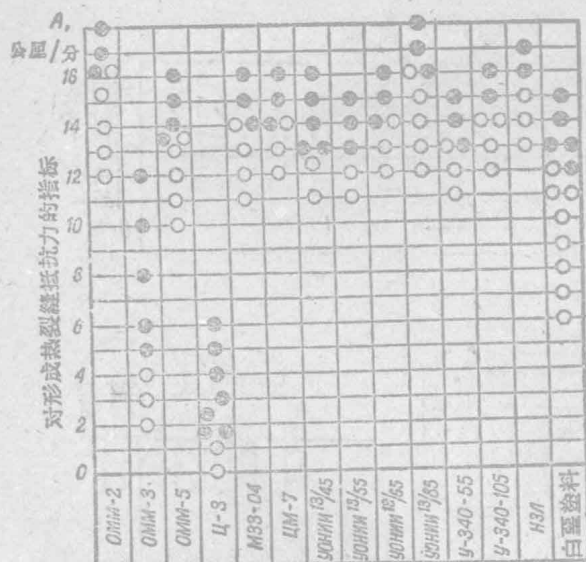


圖4 根据焊条成份确定的低碳鋼焊接时抵抗热裂縫能力的指标。

$$\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} \left. \begin{matrix} A_K=3.3 \text{ 公厘/分} \\ A_K=4.7 \text{ 公厘/分} \end{matrix} \right\} \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} \left. \begin{matrix} A_K=3.3 \text{ 公厘/分} \\ A_K=4.7 \text{ 公厘/分} \end{matrix} \right\}$$

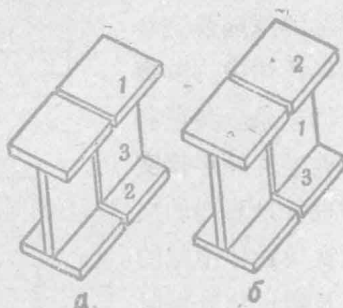


圖5 工字型焊制梁的对接接头焊接时焊縫熔焊程序和热裂縫抵抗力的关系。

破坏的原因之一。

根据以上研究过的原理可以得出結論，有很多因素可以使焊縫在熔焊过程中及接头在冷却过程中出現裂縫。各种不同种类的鋼：奥氏体鋼，低碳鋼，低合金結構鋼在接头成形的过程中都可能發生破裂。

如果不消除在接近固相綫溫度时結晶間脆性破坏的可能性，則即使在室溫及高溫下都具有很好的塑性的鋼也可能在焊接中出現裂縫。

焊縫在其形成过程中發生破坏要比过去人們所認為的多得多。在使用过程中所發現的裂縫往往是在固相綫溫度所形成的裂縫。

关于在焊接过程中所發生的裂縫对結構以后工作的影响問題不能認為已經解决。关于目前对这个問題所进行的研究下面还要談到。消除在焊接过程中出現裂縫的可能性是焊接結構以后使用时工作令人滿意的重要条件。

焊接結構在使用过程中發生的裂縫

多年来的經驗証明，焊接結構不仅在熔焊焊縫的过程中出現裂縫，而且也在承受負載的使用情況下發生裂縫。

焊接接头在使用情况下形成裂纹的条件决定于三个基本参数：结构在交变疲劳负载下受力时焊接接头的应力集中，焊接结构在特殊受力条件下的固有应力的影响以及焊缝中存在缺陷。

作者过去的著作中曾确定出各种不同类型的焊接接头的应力集中系数数值。曾经明确，应力集中最小的是电弧和接触焊接的对接接头。具有侧面焊缝的接头以及由端面及侧面焊缝组成的混合填角焊缝接头内，应力集中非常大。

承受交变负载时疲劳强度最高的是对接接头；其余各种具有填角焊缝的接头疲劳强度极小，这也是已经明确了的。

焊缝的几何形状及焊接工艺过程的质量对接头的疲劳强度大小有很大的影响。

最近四五年来以巴顿院士命名的电焊研究所、中央铁路设计及建造科学研究所以及其他机构曾进行了多次关于焊接接头强度的研究，证实了这项原则，即焊接结构的设计正确和焊缝的工艺加工合理是提高疲劳强度的决定性因素。

在这方面建议采用均匀变化的几何尺寸（不容许将板料突然截断及使用盖板，应用圆角改变尺寸），均匀改变构件厚度，广泛地利用对接接头，尽可能避免在垂直于构件受力线的方向使用填角焊缝，等等。

同时建议在所用的填角焊缝中高与底边的比应为 $1:2$ 及 $1:3$ ，填角焊缝的末端要加工以便焊着金属与基本金属的接合匀顺，尽量以自动焊接法代替手工焊接。

图6中列举了在承受交变负载时焊接接头中出现裂纹的例子。在未经热处理过的钢的接头中，裂纹出现在基本金属上、对接焊缝上及端面焊缝的危险截面上、侧面焊缝上及侧面焊缝之间、以及应力集中最大的区域等。热处理过的钢在大多情况下焊接接头因承受交变负载而发生的破坏都是在焊缝的焊着金属部分或回火区，因为这个区域内金属的屈服点和疲劳强度数值比没有受到电弧热效应的基本金属部分的低。

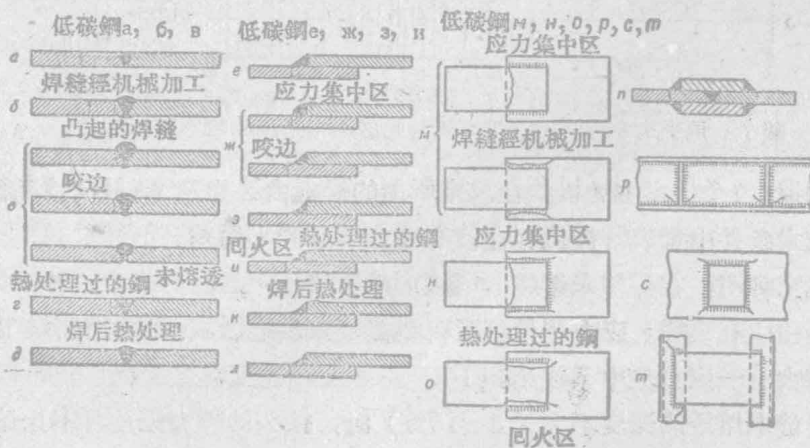


图6 承受交变负载时焊接接头的标准破坏情况图。

在铁路桥梁的焊接桥梁中经常发生焊接接头在交变负载的作用下出现裂纹的现象。经调查证明，大多数情况中裂纹的出现是由于存在基本强度计算所未曾考虑到

的極大的应力集中。

近年来中央交通科学研究所(ЦНИС)的論文大大明确了焊接接头的疲劳破坏問題,指出了过去所采用的焊接桥梁构件强度計算法应该改用以最近几年所进行的广泛試驗为基础的新計算法。

焊接桥梁結構强度的新計算法考虑到在焊接接头之外和在焊缝区域内的基本金屬随区域性質不同而变化的耐久强度。新的强度計算法考虑到結構的实际受力情况(随時間过程而逐漸增長的使用負載等)。

上述关于焊接結構在使用过程中出現裂縫的理由都是指的焊接中毫无缺陷的焊缝。

莫斯科高等工业学院的焊接實驗室曾經进行关于焊接接头質量对其承受負載的影响的專題研究。将生产中極常見的單面坡口对接焊缝的熔透程度作为研究的标准。

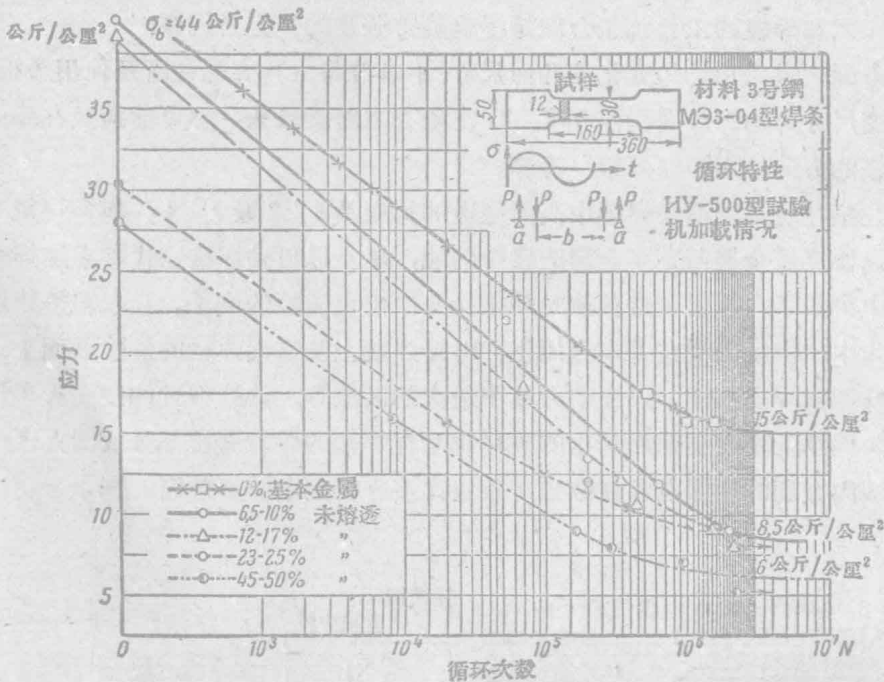


圖7 承受交变負載时对接焊缝的强度与未熔透的程度間的关系。

大家知道,各个技术主管机构在决定所用的焊缝由X光及γ-射綫按三級与二級評等时在技术条件中都容許焊缝存在沒有完全熔透的小偏差。

实验研究証明,在焊缝未熔透的区域形成数值極大的应力集中。对接焊缝未熔透处的末端往往有裂縫。应力測量証明,裂縫及未熔透区域在彈性变形范围内的应力集中非常大——应力集中系数达到10。

对接焊缝未熔透的深度不大(5~10%)时,接头的靜力强度并不比熔透情况良好的試样减低。在裂縫及未熔透区域接头的塑性显著降低,这点曾經利用刻压凹痕的方法試驗試样予以肯定。

由相对应变 Σ_{ex} 及 Σ_{ey} 之和决定的焊接接头未熔透区域的工作能力,經証明比

熔透良好的低碳鋼接头要降低6~8~10倍。这点說明即使未熔透的相对深度不大，焊接接头的脆性破坏傾向也要提高。

对接焊缝未熔透的現象对降低疲劳强度的影响非常大，例如，当所連接的板厚的25%未熔透时，低碳鋼焊接接头的疲劳强度比完全熔透的接头几乎减低一半。

試驗証明，当存在15%、10%甚至6%的未熔透时，疲劳强度的降低几乎和25%未熔透时一样(圖7)。进行过的实验証实了甚至尺寸極小的未熔透也具有显著降低疲劳强度的極大危害性。未熔透超过25%时疲劳强度的减低差不多和工作截面的减少成正比例。

簡而言之，应该指出形成脆性破坏——焊缝裂开——的主要原因之一是由于設計不合理以及焊接生产工作中工艺过程的缺陷，特别是后者，在焊接結構中所引起的应力集中所致。

莫斯科高等工业学院的研究著作和以巴頓命名的电焊研究所、中央鐵路科学研究院、中央机器制造工艺科学研究院的研究者的很多論著以及許多外国的著作早就証明了，焊接結構中由于焊接过程所引起的殘留应力达到極大的数值，在大多数情况下接近基本金屬的屈服点，有时还要超过。

焊接結構中的殘留应力差不多总是多向性的，即作用于空間的各个不同方向。但是殘留应力的一个分力往往比其他两个大得多。所以焊接結構及接头的殘留应力經常按單向考虑。

極大多数情况下焊接接头都具有很高的塑性而且并不次于基本金屬的塑性。

焊接过程所引起的固有应力具有特殊的性質——相互平衡，因而固有殘留应力的存在不会使焊接接头的强度恶化。

实验証明，在基本金屬及焊缝的塑性良好时固有应力并不影响焊接接头承受負載的强度。在这种条件下受靜負載时固有应力对焊接接头的强度根本沒有任何影响；受疲劳負載时固有应力对强度有不大的影响。在某些情况下它是有害的，而在另一些情况下，相反地，反而有利。

当接头的塑性低时，这种情况下焊接接头的使用条件就大大改变了。

焊接接头的塑性降低原因可以有好几种。某些情况下接头的塑性降低是由于焊接生产工作的工艺过程不能令人滿意，基本金屬的塑性低，焊絲、焊条塗料、熔剂的成份不良等。接头的塑性降低也可能是由于存在殘留立体应力，在焊接构件的厚度大，特别是供給的能量小的情况下有时会發生这种立体应力。某些不合理的焊接結構形式中分布于空間各个方向的焊缝在相交之处会产生立体应力。

在許多情况下殘留立体应力的出現能降低焊接接头的塑性，促进形成裂縫的条件。

在設計焊接結構及編制工艺規程时应该采取措施来消除可能出現的立体殘留应力。

如果存在应力集中的現象焊接接头中可能發生由外力而引起的立体应力。在未

熔透、裂縫、夾渣等缺陷附近区域最可能出现立体应力。这种情况下焊接接头处在脆性状态，而殘留应力和外在应力的相互作用开始危害到强度。

周围温度的降低是促使焊接接头的塑性降低和由塑性状态变为脆性状态的 因素。由于低温的作用处在脆性状态的接头中殘留应力的存在和集中是危险的，因为它们很易引起出现裂縫。

* * *

根据以上所述可以得出結論，初級固有殘留应力在大多数情况下对焊接结构的强度并没有有害的影响——这个結論是非常重要的，它証实了各种焊件中極大多数都没有必要进行高温回火同时在存在数值很大的殘留应力的情况下仍有可能使用。

高温回火在大多数情况下根本不能改善焊件的性能，反而提高生产工作的成本。在某些情况下回火工序是完全行不通的，例如对于大型的在安装中进行焊接的工作。

目前高温回火只用于特殊的情况；体积巨大的结构在没有消除殘留应力的情况下工作完全令人满意。在个别情况下焊接引起的殘留固有应力可能对强度有不良的影响。这是指在極低的温度下使用的结构（在严寒条件下工作的结构），以及焊接厚度很大的焊件，特别是焊件由碳素鋼及合金鋼制成时。

近代的焊接生产工作的工艺过程（熔剂層下自动焊接，优质焊条手工焊接，氩弧焊接，接触焊接等）使我们有可能得到机械性能很高的焊接接头。

焊接不必热处理的鋼时經常可以得到在高温及低温条件下承受静止、冲击及交变負載时强度都相当于基本金屬的接头。

因此，焊接工艺已经达到相当完善的地步，容許焊接很多类型的鋼并能保証接头和基本金屬等强度。

焊接接头最危险的缺陷是其中出现裂縫，在个别情况下裂縫的發生是由于某一种主要原因，而在許多情况下是若干因素同时作用的结果。

裂縫可以在熔焊焊縫的过程中出现——即焠热裂縫及热裂縫。消除这些裂縫的措施是改善焊縫的冶金性能，以及工艺参数；某些情况下改进焊件的設計形状可以达到消除焠热裂縫的目的。

有时焊接结构在疲劳負載的作用下出现裂縫。防止这类裂縫最好的方法是消除结构形式不合理所引起的应力集中，以及外在的和隱蔽的工艺缺陷。

即使不存在疲劳負載，在个别情况下由于下列綜合的原因也会出现裂縫，即：存在应力集中，以致使接头有条件轉变到脆性状态；以及应力集中和殘留应力的結合，以致在有缺陷和脆性状态的情况下危害到强度。

利用自动焊接，合理地編制工艺規程，正确地設計以及改善焊縫的冶金性能是防止出现裂縫及焊接结构發生破坏的最可靠的保証。

技术科学碩士 納扎洛夫 (С. Т. Назаров)

关于焊接接头的无损檢驗法

在拟定任何焊件的焊接工艺时通常同时要進行大量的各种試驗和研究工作。主要的几种試驗是：确定焊接接头的机械强度，焊缝組織的金相分析及其他研究，以便選擇能保証焊接結構工作能力的合理工艺。

但是即使制定得最細致的焊接工艺也不能保証焊缝中沒有偶然出現的缺陷，特別是用手工焊接完成的焊缝。同样自动焊接时由于自动电焊机机动部分或电路的失常，焊缝也不能完全杜絕缺陷。焊缝中偶然的缺陷能降低結構的强度，而在某些情况下会引起事故。所以揭露已制成的焊件中的焊接缺陷即使在最細致完整的工艺中也是必要的。

为了檢驗已制成焊件中的焊接接头常用煤油、压缩空气、氨与空气混合气的試驗法和X光及 γ -射綫、磁力及超音波檢驗法。

利用煤油、压缩空气及其他类似的方法檢驗焊接接头的密合性，是在生产中广泛运用作为最后驗收試驗或与其他方法配合的补充檢驗。根据这类檢驗方式制定的方法和設備一般是适用于生产的。

至于在焊件中使用范围比密合性檢驗法更广的其他几种无损檢驗法，在使用时就要遇到方法方面的困难。

近年来在工业上广泛使用X光及 γ -射綫来檢驗焊缝并且开始利用超音波方法。

X光及 γ -射綫在实际檢驗中的运用已經达到这种程度，以致目前关于驗收焊缝的很多現行指示都不得不規定用这类檢驗法。

在战后的年代电业部的工厂出产了200仟伏的PYII-1及PYII-2型透視金屬的新型X光机，可以透視鋼材厚度达60公厘的焊缝；同时又制出400仟伏的X光設備，可以透視厚度达100公厘的鋼材。400仟伏的新型X光机可以在几分鐘短短的曝光時間內进行一般鋼焊缝厚度(25~50公厘)的透視。

某些生产部門已經利用 γ -射綫代替X光进行焊缝的透視。

由于利用这种方法透視焊缝，放射性同位素鈷目前已經获得广泛的运用。除了鈷还可以使用别的放射 γ -射綫的同位素，如鉍、鉍等。

金屬檢驗工作者已經能够選用具有足够的放射能的同位素，能滿足在揭露檢驗物的缺陷方面所要求的最大灵敏度。

电业工业部 (МЭП) 工厂出产了几种型式的利用鈷的 γ -射綫透視金屬設備：ГВП-1 型具备 0.5 居里的鈷，ГВП-5 及 ГВП-50 型分別具备 5 及 50 居里的鈷。利用这类設備可以檢驗厚度达 200~250 公厘的焊縫。

X 光及 γ -射綫可以揭露焊縫中的裂縫。未焊透、夾渣及气孔等类型的宏觀缺陷。

圖 1 中所示的曲綫是在不同的放射能量下 X 光及 γ -射綫照片对發現金屬中最小缺陷的灵敏度。照片的灵敏度决定于一系列因素，其中主要的是放射强度——放射的量子能量的大小。根据許多其他作者所得的关于 X 光及 γ -射綫照片的灵敏度实验資料以及作者本人的实验，作者認為可以利用以下的經驗公式确定 X 光及任何已知同位素的 γ -射綫透視法的灵敏度：

$$\Delta d_{\min} = \frac{0.005(2 + \delta)}{\mu},$$

式中 $\mu = e^{-\frac{Z^{0.8}}{1.35}}$ ——根据放射能量决定的吸收系数；其中 u ——放射能量；

0.005 及 2 ——与被透視材料密度有关的系数。此时使用 X 及 XX 胶片照相，焦距为 400~500 公厘；

δ ——透視金屬的厚度，公厘；

$\Delta d_{\min}$ ——能發現的最小缺陷，公厘。

上述公式的物理意义在于灵敏度百分比 (Δd) 决定于一些不变的系数——与材料厚度有关的物理因素，及在上式中根据放射能量决定的衰减系数。

圖 1 中虛綫是按上述經驗公式計算出来的計算曲綫，实綫是根据实验数据的曲綫。显然圖中計算的及实验的曲綫間分歧不大。

应用 X 光及 γ -射綫的焊接檢驗員利用圖表及公式就能選擇最适当的放射能量，以使照片有显示焊縫缺陷的最大灵敏度。

根据所示的圖表同样可以估計利用放射性同位素鈾及鈾的 γ -射綫照片的灵敏度；例如电压 300 仟伏的 X 光透視灵敏度曲綫和鈾的 γ -射綫照片的灵敏度是相符的。

鈾的灵敏度曲綫位于鈷的下層曲綫和最强的 X 光曲綫之間，与这些同位素的 γ -射綫特性相应。

当焊縫的缺陷，例如气孔及夾渣，位于朝向放射綫光源的一面时，除了要降低照片的灵敏度以外投影到照片平面上的缺陷尺寸也要被歪曲：反映到照片上的缺陷的尺寸会加大。这种情况下應該采取从焊縫的两面拍攝的方法。在焊縫的厚度大难以判断缺陷的埋深时可以采用射綫束移向与焊縫縱軸綫斜交的双重拍攝法及立体拍攝法。

在厚度大的焊縫中 γ -射綫所能發現的裂縫尺寸仅在拍攝法的灵敏度范围以內，且其方向需与拍攝时射綫方向一致。例如，焊縫中的橫向裂縫，如果它的位置在与