

焊接中的热裂縫

潘际鑾編



机械工业出版社

141.3

焊接中的热裂縫

潘际奎編譯



机械工业出版社

1958

出 版 者 的 話

本書闡述熱裂縫在焊接結構中的危害性、焊縫在焊接過程中的性質、焊縫所承受的應力及其變形，並且系統地研討了熱裂縫產生的原因、各種因素對產生熱裂縫的影響和測定熱裂縫的方法，以及避免產生熱裂縫的措施等。

本書可供焊接工程技術人員、高等學校和中等技術學校焊接專業學生參考。

№ 2011

1958年11月第一版 1958年11月第一版第一次印刷

850×1168¹/₃₂ 字數 102 千字 印張 4¹/₈ 0,001—6,500冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價 (10) 0.80元

目 次

序言	5
第一章 引論	9
1. 問題的存在	9
2. 裂縫对結構强度及断裂情况的影响	15
3. 裂縫的种类	21
第二章 焊接过程中焊縫区域内的变形及内部应力	23
1. 研究的方法	23
(1) 变形测量法的原理 (23)。(2) 实际变形 $e_{\phi}(t)$ 的測量法 (25)。(3) 自由变形 $e_{ca}(t)$ 的測量法 (26)。(4) 真正变形的两个组成部分和焊縫区域内的应力状态 (27)。	
2. 焊縫区域内的真正变形	31
(1) 在平板侧边加焊焊波时 (见图14), 焊波附近区域的真正变形 (31)。(2) 在焊接过程中鋼鉄的化学成分对焊縫附近金屬的变形及内部应力的影响 (34)。(3) 焊件刚度、預热及外力等因素对焊縫附近区域内真正变形的影响 (41)。(4) 对焊时焊縫附近区域内之真正变形 (43)。	
3. 变形集中現象	44
(1) 变形集中現象及其原因 (44)。(2) 变形集中对金屬断裂的影响 (47)。(3) 焊接中的变形集中現象 (49)。(4) 金屬内化学成分分布不均对变形集中的影响 (55)。(5) 焊件形状对变形集中的影响 (56)。	
第三章 焊接过程中金屬的性質	58
1. 金屬在高温下的强度及塑性	58
2. 金屬变形及断裂的理論基础	61
3. 金屬在脆性温度阶段内的性質及强度	67
第四章 热裂縫产生的原因和产生可能性的測定法	83
1. 热裂縫产生的原因	83
2. 金屬在焊接中产生热裂縫可能性的測定	89

第五章 各种因素对产生热裂纹的影响	103
1. 焊药的影响	103
(1) 焊药的成分 (103)。(2) 熔渣中酸性氧化物与硷性 氧化物对制造强度的影响 (105)。	
2. 焊丝化学成分对制造强度的影响	113
3. 基本金属化学成分对制造强度的影响	114
4. 焊缝金属化学成分对制造强度的影响	114
5. 掺合金提高制造强度的方法	122
6. 焊接接头型式对热裂纹的影响	129
参考文献	131

序 言

焊接方法是俄罗斯科学家的重大贡献之一。早在1802年科学家彼得罗夫 (В.В. Петров) 便发现了电弧的现象, 并且进一步研究了它的性质, 指出了它在工业中的应用的前途。八十年以后天才的发明家别那尔多斯 (Н.Н. Бенардос) 及斯拉汶诺夫 (Н.Г. Славянов) 便应用了这种电弧现象, 发明了电弧焊接的方法。在那时他们不但深入地研究了焊接方法的原理和设备, 而且曾致力于推广它们到工业上去的工作。然而焊接在沙皇时代, 并没有得到应有的推广, 焊接真正的蓬勃发展, 还只是苏维埃政权成立以后的事。焊接蓬勃的发展也是与苏联科学家们的努力分不开的, 他们曾在焊接的各个方面都进行了深入的研究和改善。

科学院院士尼基金 (В.П. Никитин) 和他的学生们设计了性能优良、价值经济的电焊机, 这种电焊机的生产使焊接的应用进入了新的阶段。

乌克兰科学院院士巴顿 (Е.О. Патон) 和他所领导的电焊研究院发明了焊药层下的自动焊接, 这种焊接方法大大地提高了焊接的质量和生产率。

乌克兰科学院院士赫列诺夫 (К.К. Хренов) 成功地解决了焊接工艺中许多重要的问题。

当焊接在金属结构中被广泛的采用后, 焊接接头的强度问题变得特别重要了。焊接结构有着自己的特点, 以往对于金属结构强度的许多观点已经不适用了, 因此必须深入地研究金属的性质, 重新订立允许应力的大小和结构设计的方法。对于这个问题尼古拉也夫 (Г.А. Николаев) 教授的研究工作是最系统而完整的。此外, 奥凯尔勃洛姆 (Н.О. Окерблом) 教授等也曾有过不少的贡献。由于这些科学家们的成就现在几乎在所有的工业部门

6

中都可以应用焊接結構了。

焊接結構中目前发展的趋向是采用高度生产率的焊接方法，焊接高强度的鋼鉄。在这个发展方向的过程中，出现了另外一个問題，那便是金屬在焊接过程中的强度問題——結構的金屬在焊接过程中时常因强度不够产生裂縫。这个問題は焊接技术中最复杂的問題之一，多年来它一直是焊接研究工作的一个中心对象。苏联科学家們在这一方面的成就尤为卓越。尼古拉也夫及奥凯尔勃洛姆教授創造了測量焊縫区域内在焊接过程中之应力及变形的方方法；雷卡林(Н. Н. Рыкалин)教授創造了計算焊接过程中热循环的理論。此外，还有許多其他科学家們在焊接过程中的金属性質、冶金过程等方面的問題也都曾得到寶貴的研究結果。

普洛霍洛夫(Н. Н. Прохоров)教授关于焊接过程中金屬强度問題的研究工作是苏联在焊接科学技术上新的重大貢獻之一〔20〕。普洛霍洛夫教授繼承了尼古拉也夫、奥凯尔勃洛姆、留巴夫斯基(К. В. Любавский)及沙施柯夫(А. Н. Шашков)等人的研究成果，并进一步加以发展，解决了焊接中一系列的重要問題。在他的工作里詳細地研究了金屬在焊接过程中断裂的原因，創造了測定金屬抵抗断裂能力的方法，指出了防止断裂的途徑。

由于苏联科学家們頑强的工作，苏联在这一方面的水平已經大大地超过了任何資本主义国家的科学水平。

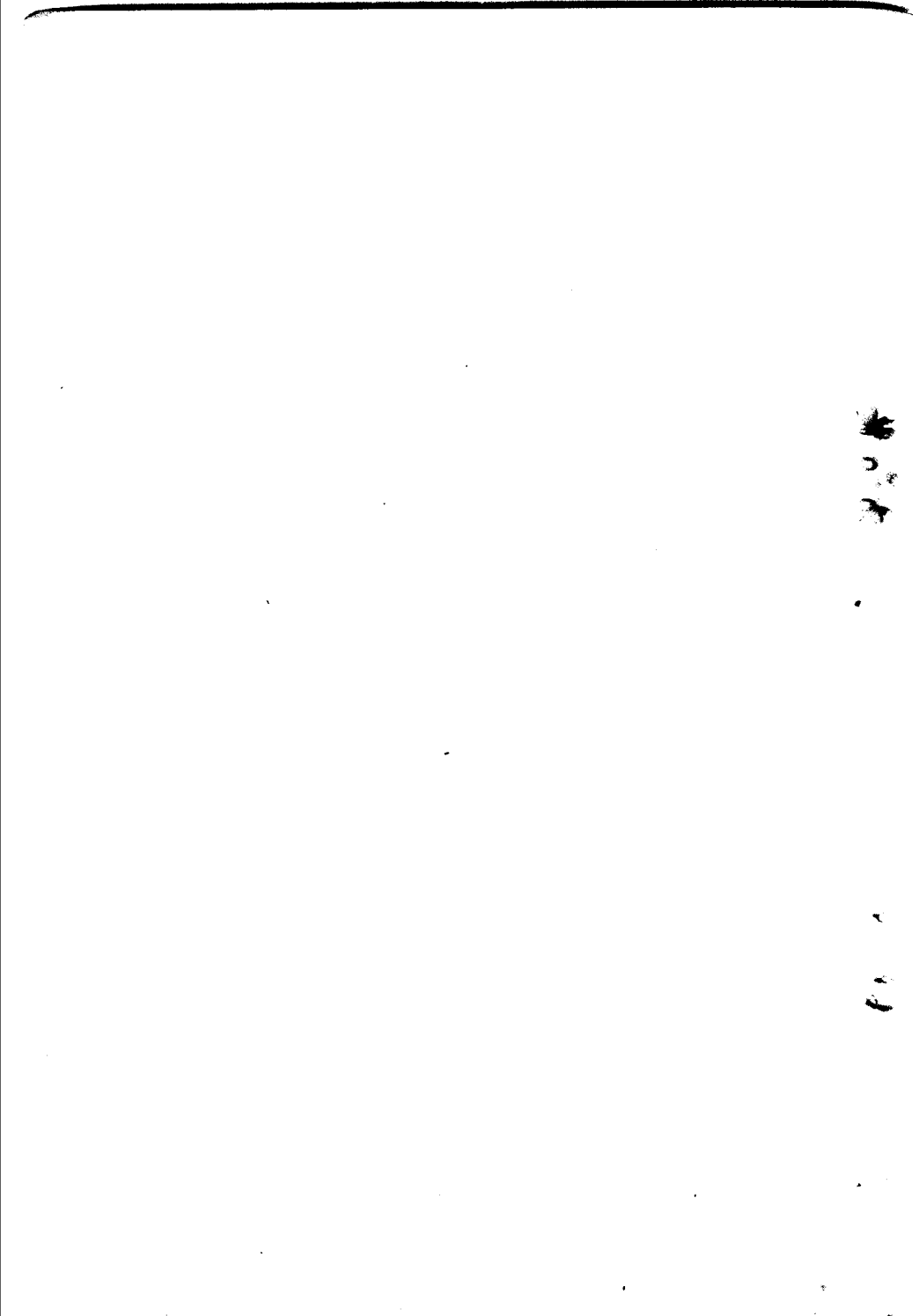
我国經濟建設开始不久，焊接的科学技术和应用范围都很薄弱，但是我們相信在不久的将来焊接事业必然能迅速的发展，因此学习苏联的这一先进的科学技术，对于我們祖国的經濟建設的发展将有莫大的帮助。

本書是根据技术科学博士普洛霍洛夫教授1952年所著“焊接中的热裂縫”一書編写而成〔1〕，其目的是簡單介紹普洛霍洛夫及其他苏联科学家在这一方面曾进行的工作和成就。

本書中第一章說明裂縫在焊接結構中的危害性，以及裂縫的種類。第二章說明焊縫附近区域在焊接过程中所承受的应力和变

形。在这里首先叙述了测量焊缝附近区域内应力及变形的办法，因为它们都是苏联科学家们首创的办法，有了这些办法以后，我们才第一次深入到焊缝附近区域内的問題。第三章叙述金属在焊接过程中的性质。金属在高温下的脆性断裂完全是一个新的問題，因此在这里作了比較詳細的討論。焊接工作者深入地了解这个問題，对他的研究方面将有重要的启示。第二章及第三章是理論基础的部分。第四章总结以上所得結果，叙述金属在焊接过程中发生热裂纹的原因及其測定办法。第五章叙述各种因素对金属发生热裂纹的影响，以及用调节焊缝金属化学成分来避免裂纹的办法。第四章及第五章对工厂的工作人员是具有参考价值的。

由于本人学識所限，書中不可避免地会有一些錯誤和缺陷，請讀者及专家们指正。



第一章 引 論

1. 問題的存在

焊接是一种先进的制造方法，它的发展只是在最近数十年来的事，但是它的应用却很快地占领了各种工业的领域。焊接结构代替了，并且还将渐渐更多地代替各种铆接的结构。在第二次世界大战以后，苏联鋼结构中焊接结构已约占85%的比重。这是因为焊接比起铆接来有着很多的优点：焊接结构重量較輕，制造方便，使用的設備簡單，能完成铆接所不能完成的工作。目前焊接结构已在各种工业中，如桥梁、房屋、船舶、汽車、飞机、車輛、机械制造等方面广泛的被采用。过去的經驗証明，采用焊接结构是經濟可靠，質量优良的。

然而，由于焊接是一个新开始发展的技术，到目前为止，我們所有的知識，还不能充分地掌握运用它。因此在某些焊接的工程中，當我們遇到新的被焊金屬，新的结构，新的焊条、电源、规范等时，我們便会遇到很多的困难。这些困难往往是需要我們亲自試驗研究，个别地去解决。

过去几十年来，在应用焊接结构的經驗中，人們曾遭到很多失败。例如1938年三月間在比利时加塞城的阿尔別特运河上曾有一座74.52公尺长的焊接鋼桥在六分鐘內突然断裂，断裂时，桥梁上并无載荷，但曾发出巨响。断裂后桥梁的部件仍然保持原来的形状，并没有变形。在德国、南斯拉夫等国家中也都會发生类似的焊接桥梁断裂事件。

根据美国航海部一九四六年四月一日所公布的数据。在第二次世界大战的时期中，美国所制造的4694只焊接船中，曾經發現1442条裂縫，其中有970只船上裂縫很严重，127条裂縫使得船

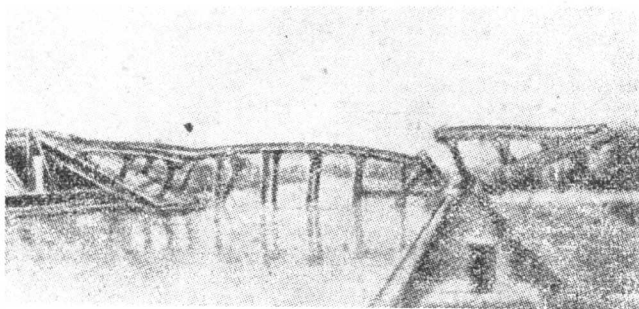


图 1 焊接桥梁断裂后的情形

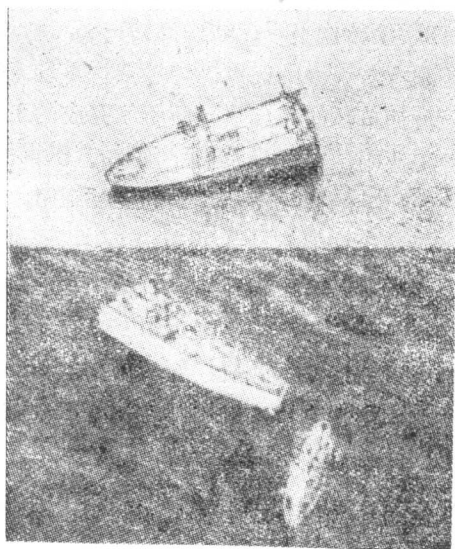


图 2 焊接輪船断裂后的情形

只不宜于航行，24只船发生全面整体的断裂，船只分裂为两半。这些船只的断裂有的是在船塢中，有的是在岸旁，有的是在海洋中航行时发生的。但是断裂时，船只并未經受特殊載荷或应力。断裂后的檢查証明，船只的损坏处及各部件都没有經受塑性变形。

图 1 是上述在比利时所断裂的鋼桥外貌。图 2 是美国“自由

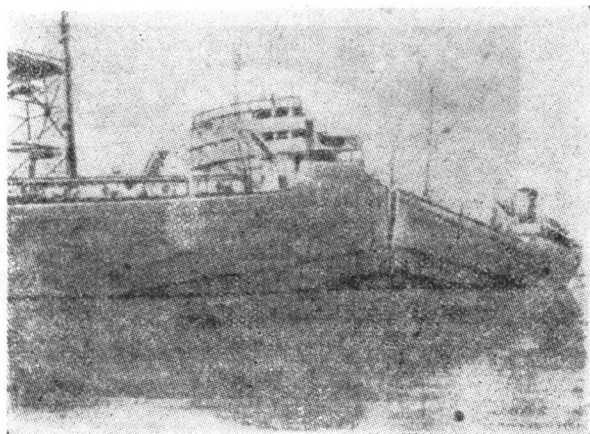


图 3 在岸旁断裂的“T-2”型油船

号”焊接输在海中断为两半后的情形。图 3 是美国 T-2 型油船在岸旁断裂的情况。

在其他焊接结构中，也曾发生类似的不幸事件。

我国焊接事业发展较迟，重要结构以前还很少采用焊接，因此类似上述的严重不幸事件还没有记载，但是一般焊接结构在某些情况下脆断的现象也是常常发生的，这也是使我国一般技术人员及技工对焊接质量抱不信任态度的原因之一。

以上情况曾经阻碍了焊接应有的发展。

关于这个问题科学家们曾经做过很多的调查研究工作，根据调查研究的結果，发现在这些损坏了的焊接结构中早就存在着或大或小的裂缝，这些裂缝便是使得焊接结构发生脆性断裂的重要原因之一。

裂缝的位置可能是在焊缝内，可能是在基本金属内，也可能是同时通过焊缝及基本金属。其大小也十分不一致，有的很大，长达数公分，有的则甚小，为一般肉眼所不能见。最恶劣的情况是：有些裂缝只是隐藏在金属的内部，不露出表面，这些裂缝只有借助于 X 光透视才能检验出来；当裂缝深度不够，或是透视方向

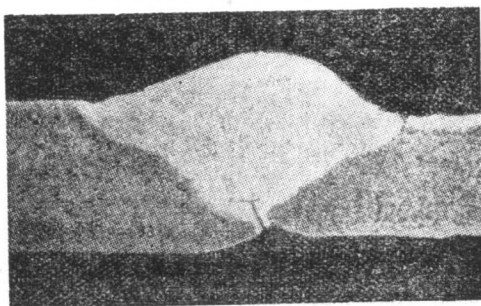
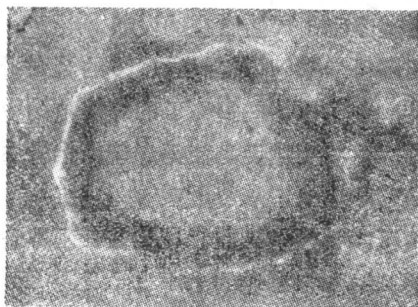


图 4 在气管对接接头内所发现的裂缝



a



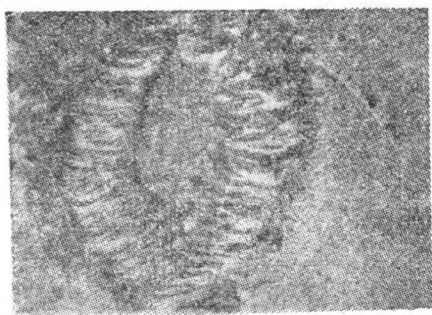
b

图 5 气罐焊缝内的裂缝

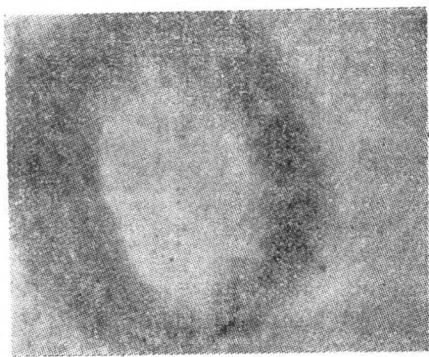
a—外貌；b— α 光照片。

不合适时，甚至連 x 光也不能发现它們，这就使得我們在制造焊接結構时必须从根本上預先防止它的發生。

图 4 是一个通气管损坏后，在接头处所发现的裂縫。图 5 及图 6 是在补焊气罐后，在焊縫內所产生的裂縫，它們都是隱藏在金屬內部，所以从外表观察，并不能发现它們，但用 x 光檢驗时可以很清楚地看見裂縫已經貫通了整個焊縫，图 6 中的气罐基本金屬內雜質較多，質量較坏，故裂縫由焊縫內延伸到基本金屬表面来了。图 7 是鍋爐罐焊縫橫断面的金相图，这些裂縫用 x 光檢查



a



b

图 6 自焊縫伸入基本金屬內的裂縫

a—外觀；b— x 光照片。

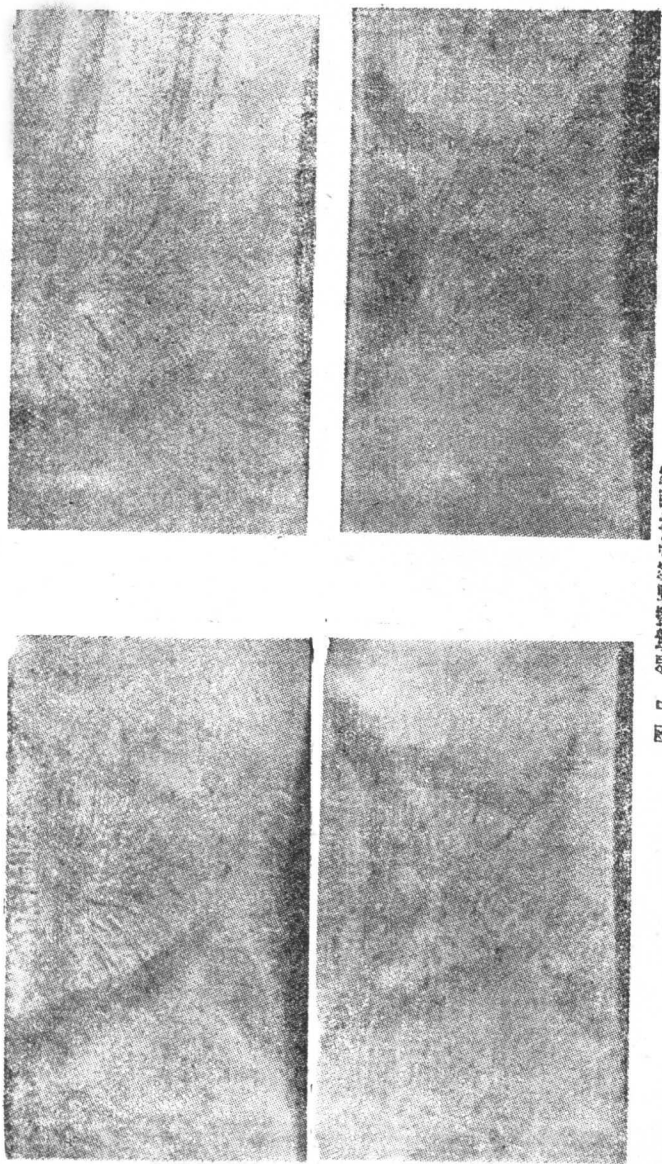


图 7 锡铅焊缝内的裂缝

时并没有发现，但是它們會使鍋爐在水压試驗时发生断裂。在多层焊时，第一道焊波中发生裂縫的可能性最大，这些裂縫被上层焊波复盖以后，就很难发现，所以是特別危險的（見图8）。

2. 裂縫对結構强度及断裂情况的影响

金屬中所存在着的裂縫会降低它的强度，在焊接結構中由于裂縫的存在，甚至会造成不幸的脆断事故。这个現象可简单地解釋如下：

(1) 当焊件承受外力时，在裂縫的尖端会发生应力集中現象。由于应力集中的原故，当整个部件所受平均应力并不大的时候，裂縫尖端处的应力便可能超过强度极限，而引起裂縫的伸張。裂縫伸張的結果，使得应力集中及下一步的伸張現象愈益增强，因而使結構很快地全部断裂。裂縫愈大，部件內应力集中現象愈严重，故其断裂可能性愈大。反之，裂縫很小时，由于应力集中現象所产生的最大应力可能低于强度极限，因此裂縫可能不繼續伸張，結構不致于断裂。理論上我們可以推算一个临界数值，裂縫长度大于此值时，則将导致金屬的断裂，小于此值时，裂縫可存在，而不致引起金屬的断裂。

严格地說，任何真正金屬內都是存在着无数的微小裂縫的。

因为真正金屬与理想金屬总是有一定的差别，例如：在真正金屬的結晶的过程中潛热不均匀的放出可能引起晶粒的表面張力；晶粒表面能的积蓄現象；金屬內不可避免的杂质等。这些現象使得金屬內原子不能按理想的情形整齐排列，因而在原子之間发生了一定的歪曲、錯动，形成微小的裂縫。然而这些裂縫是极

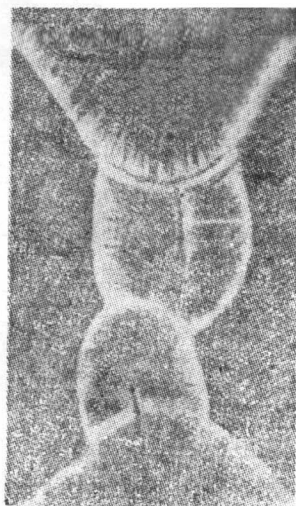


图8 第一道焊波內所隱藏的裂縫

裂縫微小的，它們可以用原子間的距离来衡量，同时由于这种裂縫分布很均匀，大小一致，所以它們所起的作用是一致的。它們是会降低金屬的強度的，例如：試驗中所得到的金屬強度是要比理論上用原子之間作用力而計算出來的強度低得多；但是由于它們的作用是一致的，所以真正金屬的強度能够保持为一定值，例如低碳鋼（鋼1）的极限強度恒为32~40公斤/公厘²之間。这些裂縫甚为微小，用显微鏡也不能发现，故名为超显微裂縫。超显微裂縫在工程技术中是完全可以不考虑的。

在焊接过程中所产生的裂縫則不然，它們尺寸一般是要大得多，有的可以用显微鏡发现，有的甚至可用肉眼来发现，故前者称为显微裂縫，后者称为肉眼裂縫。这些裂縫的大小及分布情况很不一致，有些可导致金屬結構的断裂，有些影响很小。一般說来，在大多数情况下，这些裂縫是超过临界尺寸的，所以它們是会导致結構断裂的。

(2) 焊件中如有裂縫存在时，則其四周媒介物可能进入裂縫，并附着在它的金屬表面上，附着的媒介物使裂縫受“劈”力作用，易于擴張。

(3) 焊件中如有裂縫存在时，則其四周媒介物可能侵入裂縫，与表面金屬化合形成低強度的化合物，因而降低金屬強度，助长裂縫的伸張。

(4) 裂縫改变应力状态，使焊件金屬最大正应力与最大切应力之比值 $\frac{\sigma_{\max}}{\tau_{\max}}$ 提高，增加变形的速度。这些因素都是使焊接結構易于发生脆断的。

裂縫造成結構的断裂时，主要是由于应力集中的現象，所以在結構断裂时，其金屬內所受平均应力并未超过彈性限度（只有在应力集中处超过），因而在断裂后，部件仍旧保持原来形状，沒有剩余的塑性变形。同时，裂縫的伸張現象相当于能量的轉变过程，結構部件內的彈性能在裂縫伸張时，轉变为“表面能”，形成新裂开的表面。由于断裂过程很快，能量轉变也很快，所以在