

77.7055
526
3

目 录

1. 防止氢裂的焊接工艺措施——利用图表选择工艺规范、附含氢量的测定法.....	1
2. 预热及焊后加热对低合金钢防止焊接裂纹的效果.....	81
3. 防止焊接结构发生脆性断裂的措施.....	93
4. 防止管道破裂的材料选择及安全预应力技术——附裂纹张口位移(COD)试验法 实施要领的建议.....	101
5. 在COD测试中监测裂纹扩展的方法.....	116
6. 声发射在焊接抗裂试验中的应用.....	128
7. [焊接技术参考数据及图表]: 脆性断裂简明图介.....	137
8. [焊接技术外文术语浅释]: 英、德文焊接检测名词术语.....	146



防止氢裂的焊接工艺措施——

利用图表选择工艺规范，附含氢量的测定法

〔译注〕 本文译自英国焊接研究所 (The Welding Institute, Abington, Cambridge) 1973 年出版的 “Welding Steels Without Hydrogen Cracking” 一书。除 “前言” 对原文作了部分删节外，其余章节均按原文全部译出。

前 言

钢材在加工、焊接和使用过程中发生的某些类型的破裂现象往往可能是由氢气造成的。这个问题引起重大注意而成为探讨的课题已有三十多年之久了。氢气引起的开裂现象 (下文称为 “氢裂” hydrogen-induced cracking) 不仅发生在焊缝金属中，而且随着结构物的制造采用焊接方法的增长，就更加成为一个很重要的问题。现在人们对于氢裂的认识已经进展到可以大幅度避免这种裂纹形式产生的境地。

1956 年英国焊接研究学会 (British Welding Research Association) 发表了一本题为 “Arc welding low alloy steels” (低合金钢的电弧焊) 的小册子，综述了在该学会的一个委员会的主持下进行十多年研究的实用结果。这本小册子特别为使用涂料焊条焊接低合金钢选择焊接规范提供了基础。1957 年予以重印、1960 年又出了第二版。从那时以后，虽然研究在继续、各种焊接方法在发展，而且出现了不少的新钢种，但没有再出版过类似的说明工艺的文献。

本书是应本研究所研究理事会的要求而筹划编订的，目的是提供一本把后来十年本所的研究和发展成果利用起来的实用参考书。这些研究和发展成果有些曾以各个工作人员的名义在几种出版物上分别发表过 (见本书后面的 “文献表”)，但本书还包括不少迄今尚未发表过的资料，尤其包括了这些研究成果在生产应用中所取得的验证经验。

本书的目的是要向碳素钢和低合金钢用户提供实用的资料、介绍一些有用的技术，使他们能够正确选择焊接工艺，从而避免产生 “氢裂”。这些技术是本研究所和其他单位逐渐建立起来的研究成果，现在已获得广泛的应用。在本所的指导下工业上采用这些技术所获得的经验又将 “反馈” 回来对它们进行不断的验证。无疑今后还将出现更多更多的经过进一步改进的实用资料。虽然本书中还存在着现阶段的某些知识空白，但它提供的资料还是可以充分的信心而加以使用的。

我们希望，本书对于冶金工作者、工程技术人员和设计者了解钢铁工业、制造厂以及一般工程所使用的各种碳素钢和低合金钢的冶金问题会有所帮助。在从事这个领域和其他有关领域工作的教师和其他研究工作者也将发现本书对于他们的工作是有帮助的。

第一章 问题所在

人们估计,单在英国,工业上每年就得花费二亿六千万英镑的巨额资金来解决直接由焊接所造成的各种制造问题,而其中至少有四千万英镑是花费在修补产生在焊缝邻近区的氢裂纹。

由于焊接部件受到疲劳和脆性断裂所产生的运行事故,工业上每年还得花费一亿四千万英镑。有不少这类的花费巨大的、有时甚至是悲剧性的事故是起源于焊缝附近母材热影响区内的早已存在的细小裂纹。而大多数这种常见的热影响区缺陷又都是由于焊缝中有氢气存在而造成的。压力容器在水压试验中的破裂以及钢结构在使用中的崩溃都有实例表明氢裂是它们的成因。

这种类型的开裂往往可能发生在焊接完成以后的某段时间内,而且,虽然发生得很频繁但却很难发觉。因此,制造厂就负有重大的责任,要把焊接工艺与每一种使用情况下的材料匹配得好,使之不发生裂纹。然而许多破断事故表明,这种措施并不经常是成功的。本书现在提供的数据和技术则具有巩固的基础,可供参考选用。

氢裂,作为一个研究的主题,也许比任何一种其他的现象更多地受到了人们的重视,然而人们对于氢脆的精确机理仍然没有充分的了解。迄今为止,要籍助于直接实验可以证实的化学和冶金反应方式来做出满意的机理解说还不可能。虽然氢脆的机理还未发现,但对造成氢裂的条件则已能正确地掌握,并可用如下的简单言词来概括它们:“氢裂产生的条件是在低于约 150°C 的温度下硬的微观组织含有足够多的氢和受有足够大的应力”。

要在正在冷却中的焊缝内避免产生会促成氢裂的应力和温度是不可能的,因此避免氢裂可采取的措施就只得依赖于控制含氢量,或控制微观组织,或同时控制二者。一旦认识到了这个道理,人们就有可能从某些指示能达到这种控制的条件匹配的图表中预计安全焊接工艺步骤。然而,可惜的是,目前还没有可以通用的理想焊接图表,在本书中也只得提供一系列的专用于几组不同钢种的焊接工艺图表。在本书的前三章,将讨论促成氢裂的各种因素以及怎样从这些因素的控制途径找到预测技术,第四章将详细介绍几种不同钢种的专用焊接工艺图表,第六章说明脱除氢气的热处理法。本书的〔附录 A〕综述有关各种焊接方法和各种焊接填充材料所可能产生的含氢量水平的现阶段资料。〔附录 B〕推荐几种含氢量测定法,这个附录很重要,因为过去发表了的文献,由于它们不能认识到任何测得的含氢量是取决于测试方法的,以致于失去了它们的意义。

有许多英国标准和其他标准都对焊接预热、接头加工(开坡口及清理等)、和其他要求做出指导性的规定,其中比较重要的有:

BS 1856:1964——软钢涂料焊条电弧焊的一般要求

BS 2633:1966——输送流体的铁素体钢管道一级电弧焊

BS 2642:1965——碳锰钢电弧焊的一般要求

BS 4570:1970——钢铸件的熔化焊第一部分——生产、和修补

ASME Code——Section VIII: ASME 锅炉及压力容器法规

ASA B31-3——精炼石油用管道。

一般说来,这些标准和法规的指导性规定事项还没有本书提供的那么详细,而且有时候对于它们的应用要谨慎小心。因此本书提供的资料可视为是这些现行标准的补充和进一步扩展的建议。

焊 接 件 的 氢 裂

“氢裂”又有“冷裂”(cold cracking)、“延迟开裂”(delayed cracking)或“焊层下开裂”(underbead cracking*^①)等名称。它也常发生在钢材的制造、加工和使用过程中,因此氢裂不只是焊接中的问题,但是当它是由于焊接而造成的结果时,这种裂纹就常发生在母材的热影响区内,或者发生在焊缝金属中。下面我们将简要地讨论一下促成氢裂的各种因素以及控制这些因素的途径。

热影响区内的氢裂。

当下列1~4个条件同时存在时,热影响区内就会发生氢裂:

1. 有氢的存在:

氢的存在是不可避免的,它产生于焊剂的水份和其他来源。它受到焊接熔池的吸收,通过扩散作用而进入热影响区。

2. 有张应力作用于焊缝上:

在冷却过程中热收缩不可避免地会在焊缝上形成张应力,被焊部件的刚度还可能对焊缝产生其他形式的应力。

3. 有易裂的热影响区微观组织存在:

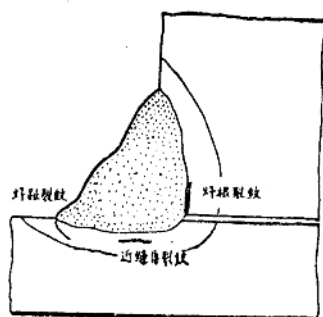
热影响区经受过足以使母材快速地从铁素体转变为奥氏体、再又快速地从奥氏体转变为铁素体的高温的部分往往会产生某些比热影响区其他部分更易发生氢脆的微观组织。如果出现氢裂纹,它们必然是发生在这些相变区域中的。

4. 达到了一个低温:

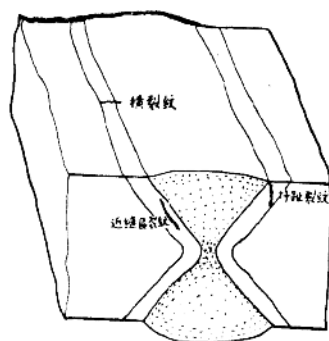
当温度达到接近于环境温度时,是氢裂的最大危急发生的时刻,因此,在焊接工作完成后数小时之后才发生裂纹是常见的现象(即延迟开裂)。各种结构钢在高于 $\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的温度下是不大可能产生裂纹的,其他任何钢种在高于 $\sim 250^{\circ}\text{C}$ 的温度下也是不大可能产生氢裂的。

热影响区内的氢裂纹通常发生在焊趾、焊根、或在焊道层下(近缝区)的母材位置上(它们分别称为“焊趾裂纹”、“焊根裂纹”和“近缝区裂纹或焊道层下裂纹”。图1a)和b)分别示意出角接焊缝及对接焊缝的这些裂纹的位置。在角接焊缝的情况下,裂纹的方位通常是沿着焊缝金属边缘的,而在对接焊缝情况下,表面层下裂纹则有时可能横贯焊缝。把焊缝截面用微观显微镜观察可以看出氢裂纹有些是晶间裂纹、有些是穿晶裂纹,还有的是二者的混合形式,要看这些裂纹位置所在的转变微观组织而定。裂纹的长度从几微米至几毫米不等。图1—2a)和b)示出几条典型的热影响区氢裂纹。

• ①又可译作“近缝区开裂”



a) 角接焊缝



b) 对接焊缝

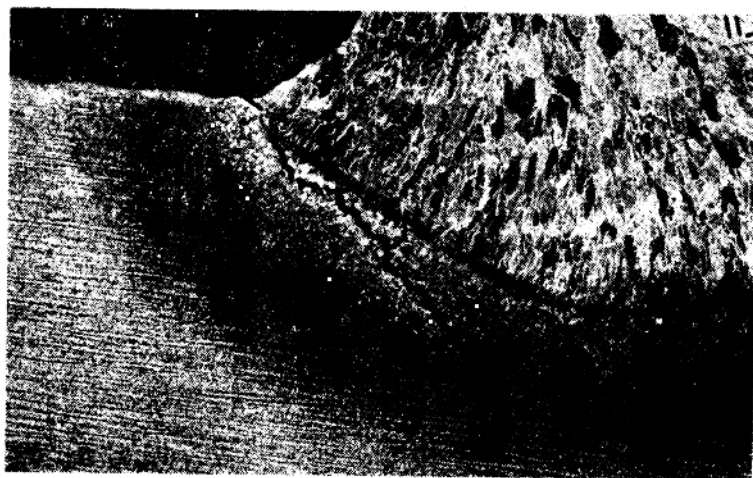
图1-1 热影响区内的氢裂纹



(左) 单道角焊缝

(下) 多道角焊缝焊趾裂纹

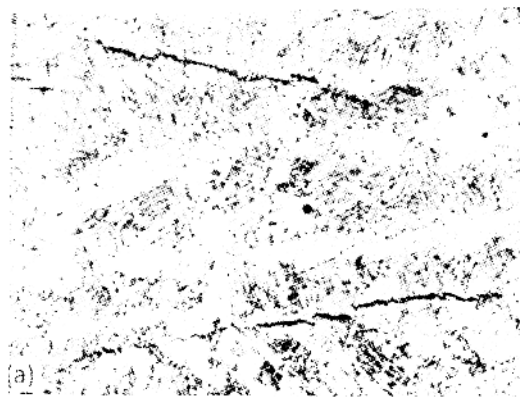
图1-2 C-Mn钢热影响区氢裂纹



焊缝金属内的氢裂

在某些情况下氢裂还可能发生在焊缝金属内。当母材钢板和焊缝金属的合金成份含量都增大时，氢裂的主要问题就可能不在热影响区上，而是在焊缝金属上。前述的导致热影响区氢裂的条件同样也适用于焊缝金属的氢裂，这些条件是：应力、氢、易裂微观组织和温度。

焊缝金属氢裂纹可能隐藏在焊缝金属内部，也可能裂出焊缝金属表面上来。如果它们起源于焊根，它们常常就纵穿焊缝。如果它们是隐藏在焊缝金属内或露出焊缝金属表面，它们就可能是横贯焊缝的。在显微镜观察下，它们绝大多数是以穿晶形式出现的。图1—3a)和b)示出典型的焊缝金属氢裂纹。



a) 低合金钢角接单道手工电弧焊



b) Y形坡口焊接试验打底焊道

图1—3 焊缝金属氢裂纹

促成氢裂的因素及其控制

下面我们将讨论各种促成氢裂的因素及其可以做到的控制和克服的方法。

含氢量

在焊接过程中，焊接熔池会从电弧气氛中吸收它所含有的氢（参见图1—4）。在冷却过程中，这些被吸收的氢会有大部分通过扩散作用从凝固的焊道内逸出，但其中还有一些则会渗入热影响区和母材金属，其渗入之量取决于许多因素，例如原来吸收的氢量、焊缝金属尺寸大小、减小的溶解度、以及冷却的“温度—时间”条件等（参见图1—5）。

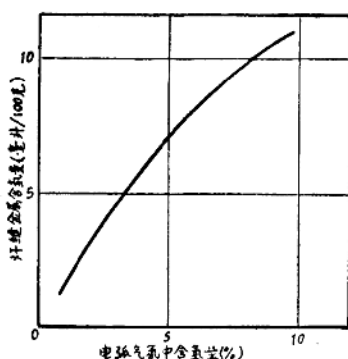


图1—4 电弧气氛含氢量与焊缝金属含氢量的关系。在1900° C时的溶解度。

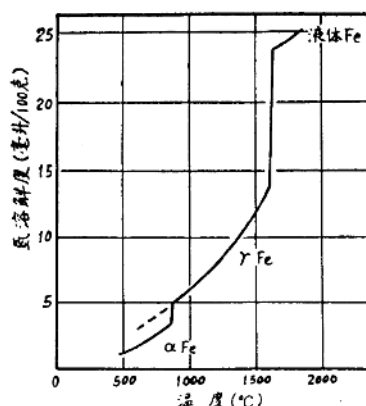


图1—5 氢在焊缝金属中的溶解度与温度的关系。

一般而言，存在于金属中的氢愈多，开裂的危险性也愈大。金属中存在的含氢量可以通过减小焊缝金属原来的吸收氢量，或通过保证在焊缝金属冷凝前能有足够多的氢扩散逸出而获得控制。把这两种措施结合起来就更能获得一个最佳的实际解决办法。焊接材料含氢量的主要来源有下列各方面：

1. 手工电弧涂料焊条药皮的水份，埋弧焊焊剂的水份，药芯焊丝药芯物质的水份，
2. 药皮、焊剂和药芯物质的任何其他含氢化合物成份，
3. 焊丝及焊芯丝表面上的或陷入表面层内的油污和油脂，
4. 水合氧化物，例如焊丝表面上的铁锈，

待焊母材含氢量的主要来源有下列各方面：

1. 母材表面上的及焊缝坡口邻近区的油污、油脂、油漆及铁锈等受电弧加热分解为氢，浸入电弧气氛中去。
2. 在施焊前用来清洗工件或焊丝表面的残留去油清洗剂也可能受电弧加热而分解产生氢。

各种焊剂中的水份可能是以吸收的潮湿、松弛结合的结晶水等形式而存在的，在硅酸盐结构中则以比较牢固结合的水分子形式而存在。所有这些形式都能受热分解而产生氢，而且不同的材料和制造方法也会产生不同的水份含量。不清洁的焊丝和钢板所产生的氢都是来源于它们先前的轧、拔成形加工工序所遗留下来的润滑剂、皂类、酸洗液、电镀液、以及水合氧化物（例如铁锈等）等。

在实验室中对任何焊接材料直接测得的水份含量或氢含量的结果数据称为它的加工过程的“氢势量” (potential hydrogen lever of the process)。我们之所以采用这个名词，是因为如同大家所知道的那样，并不是所有这些测定的氢量都会全部被焊接熔池所吸收，而是一种潜在的可能被焊缝金属所吸收的含量，而且，一般而言，“氢势量”愈高，焊缝金属实际的氢

含量也愈高。然而，还有其他的因素可能影响“氢势量”成为“实际焊缝金属含氢量”的程度。例如焊剂中的各种碳酸盐成份所产生的 CO_2 具有抑制焊缝熔化金属吸收氢气的作用就是这样的因素中的一个很好的例子 *②。尽管这样，氢势量的测定仍能为对比不同焊接材料的质量提供一种便捷的尺度。

焊缝金属实际含氢量（以下简称“焊缝含氢量”）也可以在实验室中做出测定。这些测量数据有助于测知所使用的焊接材料会向焊接溶池输入的最小氢量。此外，“焊缝金属含氢量”的测定还是焊后脱除氢气处理中计算所需温度和时间依据起点（参见第5章）。

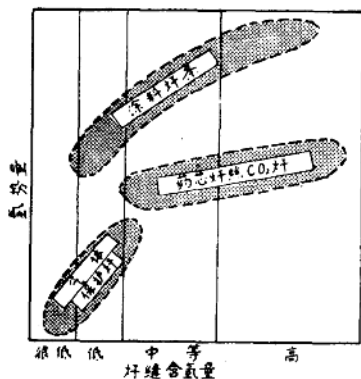


图1-6 从焊接材料的氢势量估计焊缝金属含氢量

图1-6示出几种不同的焊接方法（包括其焊接材料）用上述两种形式的测量测出的典型含氢量大致水平的对比。此图表明从焊接材料已测定的氢势量往往可以估计将来焊缝金属可能的含氢量。这个问题以及适合的测氢技术将在本文的附录A和B中详细讨论和介绍。

焊接材料从制造过程中必然会接受一定的氢势量，要使这种氢势量保持不变而不上升，将取决于它们的贮存和使用条件。因此贮存室应该是干燥和温暖的，以避免焊条和焊剂吸收潮湿；在焊接使用中要当心别让油、脂、和水份浸入焊条药皮和焊剂。

在许多情况下，焊条的药皮和其他焊剂的氢势量可以用烘干的办法而使之降低，但要经常注意焊接材料制造厂商的产品说明书，并遵从他们注明的建议，看是否需要进行高温烘干。在具有纤维素药皮的手工电弧焊涂料焊条中，例如BS 1719—1类 *③焊条，其药皮所含的水份对正常的焊接操作工艺性能有甚大的影响；除非把其他的因素做了充分的考虑，否则这种涂料焊条产生的氢可能会造成严重的后果。

内应力水平值

焊接件中的内应力是由于焊接接头在冷却过程中产生收缩而引起的。这些内应力必然会造成焊缝金属一定的应变值才能达到平衡状态而存在于焊接接头内。氢气的存在会降低引起开裂的内应力水平值。在刚性大的结构部件中，由于焊接接头的各个部分向焊缝金属施加很大的反应变力（restraint，又可译作“拘束力”，所以它的自然收缩应力会更增大。这些内应力往往集中在焊趾和焊根上，也集中在由夹杂或其他缺陷所形成的缺口上。对于某一

• ②可参阅本所编译《国外焊接技术资料》“焊接冶金及材料（四）”——外文术语名词——中的absorption of gases一词的解释——译注。

• ③可参阅一机部情报所出版《国外机械技术资料》“焊接冶金及材料（二）”中的（A）世界各国钢号及焊接填充材料代号识别图解——（二）英国部分——译注

微观组织硬度而言，由内应力造成的应变量愈大时，它产生的开裂危险性也愈高。即使在较低的微观组织硬度的工件上，上述的开裂危险倾向也是相同的（参见图1-7）。

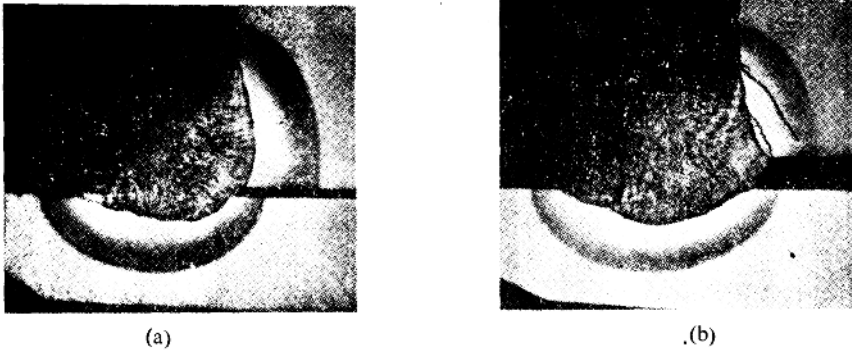


图1-7 把焊根间隙增大会增大焊接接头的内应力，因而容易引起开裂，(a)和(b)的含氢量和焊接规范都是相同的。

作用于焊接接头中的内应力取决于焊缝尺寸、接头几何形状、装配、外部反应变力（即夹持拘束力）以及母材板和焊缝金属屈服强度等因素。目前还没有多少资料对这些因素的效果做出过定量分析，其中只有“装配间隙一项因素人们发现当焊根间隙 ≤ 0.4 毫米时会显著增大开裂的危险性。因此，凡是在几何形状和材料都已确定了接头中，把装配做得很好、而且在设计允许的条件下采用最低强度的焊缝金属，就可以减小内应力。“氢脆性”是取决于应变速度的，当应变速度甚慢时，开裂的危险性最大。因为焊接接头冷却的最后阶段所形成的应变速度当然是较低的，所以在这个阶段时间内形成裂纹的敏感性也是较大的。（应当指出的是，氢脆性不能用高应变速度的试验法来检定，例如卡贝冲击试验是高应变速度试验法之一）。

施焊完毕后由外部施加给焊接接头的应力，例如在管道焊接中最后的减速施焊操作往往会向接头产生某种应力，常常会与上述的内应力迭加起来，因而可能突然增大开裂的危险性。

微观组织的类型

靠近焊缝的母材区称为热影响区，它在经过磨光和浸蚀过的焊缝截面试件上可以清楚看出。热影响区在焊接过程中由于受到高温、接着又受到周围母材的导热而迅速冷却（淬火作用），结果造成了硬化。靠近熔合线的热影响区所受到的高温足以使它产生粗大的晶粒。这个高温区由于它的晶粒粗大，不仅更易硬化，而且它的塑性比那些远离熔合线的区域的塑性都低得多，因此它是产生开裂危险性最大的区域。就碳锰钢和低合金钢而言，一般的规律是微观组织愈硬，开裂的危险性也愈大。软质的微观组织可以比硬质的微观组织能容许许多的氢而不致开裂。

采用含碳量和合金元素（包括锰在内）含量低的钢材可以获得软质的微观组织，因而能减小热影响区的淬硬性。此外，使用大型焊道、薄板、和预热也能减小热影响区的淬火速

度。当一条焊道完成后，在它的上面再焊一道，或者进行焊后热处理（消除应力处理），都会产生回火作用而使热影响区软化。

人们可以定出某种“临界硬度水平值”来，也就是说，只要热影响区的硬度低于这个临界硬度水平值，开裂的危险性就可能较小。如果能把焊接工艺选择得使最后形成的热影响区硬度不超过这个临界硬度水平值，那么一个能预计安全焊接的工艺基础就存在于其中了。任何选定的临界硬度水平值都是取决于焊接方法可能产生的含氢量和内应力；确定临界硬度值虽然需要许多的数据，但现在已有足够多的资料可供应用来把这个概念建立为“焊接工艺选择图表”。对于某一给定的微观组织硬度而言，氢含量的允差还会随着钢材成份的不同而不同；图1-8就表明了这个事实。

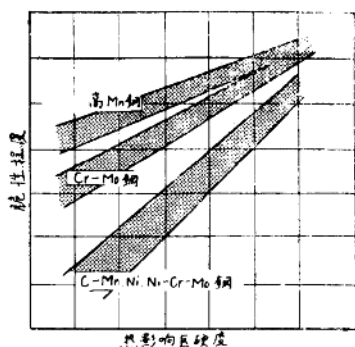


图1-8 热影响区硬度提高时虽然会增大氢脆性，但是不同的钢种，氢脆性增大的程度也不同。

任何钢种产生的微观组织取决于下列因素：

1. 通过该钢种相变温度范围的冷却速度；
2. 钢材的化学成份及可淬硬性。

冷却速度是受到焊接过程中输入热量、待焊工件的初始温度（例如预热温度）、工件的厚度和它的几何形状的控制的。在电弧焊接过程中，输入热量是取决于电弧能量的，在本书中我们把“电弧能量”定义为：

电弧能量（千焦耳/毫米）= 电弧电压（伏）
× 焊接电流/焊接速度（参见第2章）。

因此，在某一特定的施焊加工中，调节电弧能量和预热温度就能控制冷却速度。

钢材的可淬硬性是取決它的化学成份的，说明“淬硬性”的一个有用方式是把它所含有各种元素对它的淬硬性所起的作用评定出来。一个称之为“碳当量”（CE）的经验公式就是用来评定已知的主要元素对淬硬性的影响的。本书采用的碳当量公式如下：

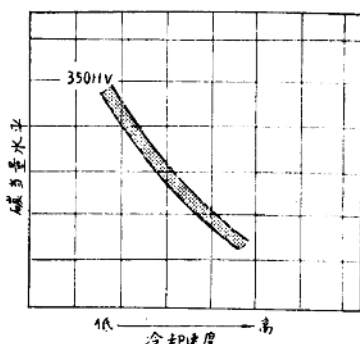


图1-9 用碳当量水平值表示每一种钢的化学成份。微观组织的硬度取决于焊接冷却速度

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad [1-1]$$

这个公式的计算和应用将在第3章中详细说明。本所（指英国焊接研究所）对每一种钢种进行了研究，建立了能产生不同硬度的不同微观组织的冷却速度数据，这些冷却速度数据可应用于实际的焊接工作中去。对于各种碳锰钢，本所还建立了化学成份（以碳当量CE表示之）、冷却速度和微观组织硬度值之间的关系数据图表。图1-9示出这种数据图表的格式，我们曾用这种关系数据来建立这些钢种的“焊接工艺选择图表”。

温 度

铁素体钢的氢脆性只发生在接近于环境温度的低温下,如图1—10所示。因此,把焊接工件保持足够高的温度,直到所含的氢都通过扩散而逸出为止,或者直到产生回火作用使微观组织软化为止,从而使微观组织对开裂不再那么敏感。多道焊和焊后热处理之所以能减小开裂现象,就是利用了这个原理。

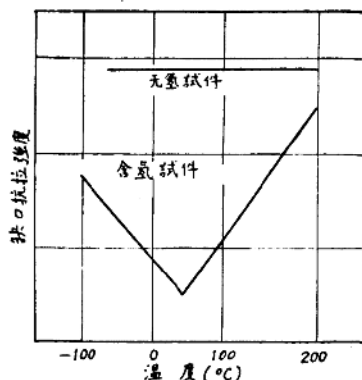


图1—10 含氢试件的缺口抗拉强度在接近于室温时达到最小值。

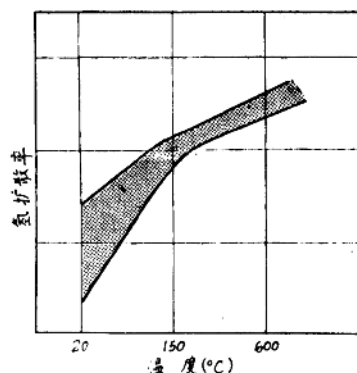


图1—11 当温度降低时,氢在铁素体钢中扩散的速率也减小

提高工件温度可以提高氢的扩散速度,因而也能加速氢从焊接接头中逸出,从图1—11可以看出,这种效应在20~150℃的温度范围内是特别明显的。因此,任何能够降低焊件冷却速度的措施都有助于减少它的含氢量;例如,预热具有降低焊件冷却速度的作用,不仅可以软化微观组织,而且能促进氢的逸出;其结果是比不曾使用预热的情况能允许较高的硬度水平值而不致产生裂纹。

有些钢种的可淬硬性是很高的,以致于根本不能产生软质的微观组织;还有一些情况是预热不能脱除足够多的氢;对于这两种情况而言,就必须把各焊道间温度(weld interpass temperature)*④或焊后热处理温度提到足够的高度,并且保持足够长的时间,才能使氢逸出,从而避免产生裂纹。在第5章中我们将详细介绍各种厚度的钢材脱除氢气所需的焊道间温度或焊后热处理温度和保温时间的问题。

如果焊后热处理不能实行,那么在原则上可以采用“回火焊道”的措施来软化最上层母材金属的热影响区。所谓“回火焊道”是一条额外的焊道,它被施焊在离熔合线一定距离(典型的距离是3毫米)的焊缝金属上,它的焊趾很小,因而能对附近的最上层母材金属热影响区起回火软化作用,而不致再形成新的热影响区。这个方法,除非能做到极仔细的控制(即回火焊道的大小和它距离熔合线的距离都需仔细控制),否则就不应使用。

*④焊道间温度——指焊完一条焊道后再在它的上面施焊第二条焊道前第一条焊道所具有温度——译注

第2章 利用图表预计安全焊接工艺

本章介绍利用“焊接工艺选择图表”(下文简称“焊接图表”)来预计安全焊接工艺的原理和原则。这种图表在本章中只做示意或示范的介绍,它们的详细内容将在第4章中介绍。这些图表是按如下的假定原则建立起来的,这就是即使在最坏的各种环境条件组合的情况下这些图表也要能给出安全的焊接工艺参数。因此这些图表就代表在最坏条件下选择安全焊接工艺参数的参考图表。由于这个原因,在实际中遇到的许多情况其环境条件并不是最坏的,那么采用严格程度低于这些图表所指示的焊接工艺参数也将是成功的。所使用的特定的焊接图表在很大程度上取决于待焊钢材的种类。在第4章中我们详细列出了这些不同的钢种,但基本上把它们划分为“低淬硬性”钢和“高淬硬性钢”两类。这两类钢的划分又是以0.60的碳当量作分界线的,也就是说,凡是碳当量(C E)小于0.60的钢种归为低淬硬性一类,大于0.60的则归入高淬硬性一类。

低淬硬性钢

对于低淬硬性钢预计其安全焊接工艺的目的在于避免产生硬化热影响区微观组织。这个目的是借助于选择正确的焊接规范来保证有足够低的焊件冷却速度。这个低冷却速度的数值大小取决于钢材的成份。取决于从焊缝金属扩散到热影响区内去的氢量以及待焊截面的厚度。所有这些参数在图2—1中都互相关联了起来。这就是一幅预选安全焊接工艺参数的示意说明图。在实际的完整图中会有许多线条代表各种不同的预热温度和结合厚度*⑤,为了清

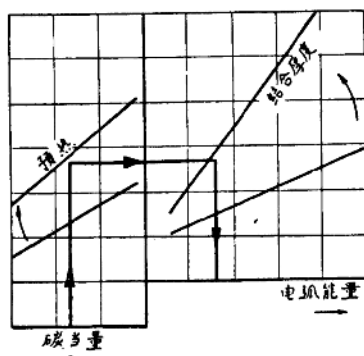


图2—1 焊接工艺预选图。

它把钢材成份(碳当量)、板厚和接头几何形式(合称为结合厚度)关联了起来,以便为成功满意的焊接选出正确的预热温度和电弧能量

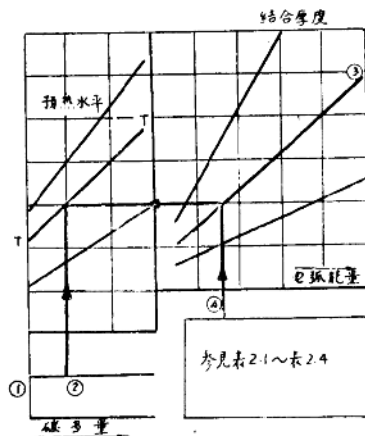


图2—2 是图2—1的使用说明图

• ⑤ 结合厚度(combined thickness)——指在焊接接头处相遇在一起的各项板厚的总和,见第3章“接头结合厚度”一节
——译注

楚起见，我们在图2—1中只各画了两条直线分别代表预热温度和结合厚度的范围。图2—1中的带有指示箭头的粗黑直线代表选择安全焊接工艺参数的程序。首先按待焊钢材的合金元素含量计算出它的碳当量值，然后在图2—1的左下方找到碳当量的该项数值，按粗黑箭头直线所指示的程序，对某一特定的“结合厚度”选出适当的预热温度和电弧能量。如果对焊道大小和预热温度有某些限制时，当然也可以按图2—1粗黑箭头线相反的方向、或从两边的方面向中间会合的方式来进行各项参数的选择。

图2—2与图2—1相同。只是稍稍比较详细，用来说明图2—1所示的预选焊接工艺参数基本图的使用步骤：

第①步：根据所使用的焊接方法、接头形式等等可能产生的氢势量，决定适当的碳当量标度*⑥（参见第3章及表3—2）。

第②步：按待焊钢材的成份，算出碳当量值（见第3章），在图2—2中从该碳当量值引一垂直线（粗黑箭头线所示），伸入图中的“预热水平值”区。

第③步：算出待焊接头的“结合厚度”（见第3章）。

第④步：决定能使用的电弧能量，焊道尺寸大小，或焊条（焊丝）直径，的极限值（见第3章）。由于全位置焊接，或由于要求焊缝金属或热影响区需具有某一定的韧性，往往可能要决定这些极限值。

最后决定可以使用的预热温度和焊道间温度。譬如，在容器内部进行手工焊接时，就不能使用太高的预热温度。

在图2—2中，电弧能量极限已被决定，从该值④做一垂直线（粗黑箭头线所示）与已算出的特定“结合厚度”线③相交；从这个交点向左引一水平直线（粗黑箭头线所示），与从“碳当量”标度②引出的垂直线相交，这个交点所处的T—T线就是要求的最低预热温度数值。应当指出的是，在建立这种图表当中，“电弧能量”一项包括了焊条（或焊丝）直径及其施焊焊道长度的因素在内；表2—1至表2—4列出了几种手工涂料焊条不同直径和不同施焊焊道长度与电弧能量的关系，也就是说，根据已知的焊条直径和施焊焊道长度就可以从这些表中查出其相应的“电弧能量”。所谓“施焊焊道长度”（run length）是指某一定直径和一定长度的焊条（或焊丝）在某一定的焊接规范（焊接电流、电压、焊速及焊道大小）条件下可焊出的焊道长度；同一种直径和长度的焊条（或焊丝，采用不同的焊接规范可以得出不同的“施焊焊道长度”；如果焊条直径、长度及焊接电流、电压都相同，只改变焊接速度，也可以得出不同的施焊焊道长度，但在这种情况下，不同的施焊焊道就得出不同的焊道大小。表2—1至表2—4所列的各种“施焊焊道长度”数据是根据施焊时能获得“最大焊道大小”（包括焊道的厚度和宽度）为极限而记录出来的数值。如果在实际施焊工作中，焊道大小小于这个“最大焊道大小”，表2—1至表2—4仍然可以应用，但要根据实际情况适当地提高预热温度，以达到最佳的焊接效果（避免氢裂），这一点也可以在图2—2中获得校正。

如果在某项实际的焊接工作中，可用的预热温度和最大焊道大小都受到某种限制的话，也就是说，例如，不能使用从图2—2中所查出的那么高的预热温度，或不能让焊条（或焊

*⑥碳当量标度（CE scale）——本书把碳当量分为A, B, C, D四个标度，每个标度包括若干碳当量数值，它的意义及应用将在第3, 4章中说明——译注

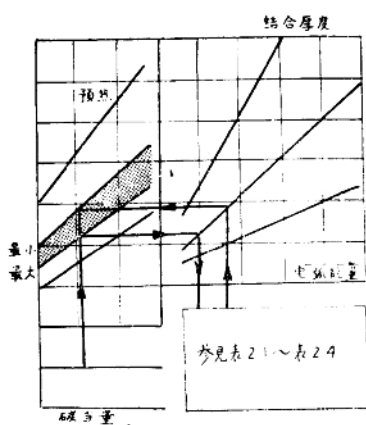


图2—3 对于某一给定的钢种和接头几何形式，预热温度与焊接规范的匹配可以有一个伸缩性的极限范围。

表2—4 角接焊缝单道焊的电弧能量值（本表所列的电弧能量值只有当角焊缝的最小焊脚长度要求为某一特定数值时才被采用。对于其他情况，电弧能量是由特定的焊条施焊焊道长度来控制的，可查阅表2-1至表2-3）

要求的最小角焊缝焊角长度（单道焊） (毫米)	BS 1719 规定的各种型号焊条的电弧能量（千焦耳/毫米）		
	E2 — — E3 — —	E6 — — E6 — — J	E2 — — K
4	1.0	1.3	—
5	1.4	1.7	0.8
6	2.0	2.2	1.1
8	2.8	3.4	1.6
10	3.8	5.0	2.3
12	5.5	6.5	3.1

高 淬 硬 性 钢

高淬硬性钢在焊接过程中即使冷却速度最低也会形成硬度大的热影响区微观组织。预计这类钢材的安全焊接工艺参数有下列三种方法：

1. 温度控制法
2. 等温相变法
3. 采用奥氏体焊缝金属法

表2-1 含少量铁粉或不含铁粉的手工涂料焊条(例如英国 BS 1719 规定的 E1--, E2--, E3--, 及 E6-- 级别的焊条) *
各种直径和施焊焊道长度所需要的电弧能量

L E D		.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0
450毫米长焊条燃烧410磅 米所得的施焊长度(L)		2.5	220	165	130	110	95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
燃烧单位长度焊条所得 的施焊长度(L)	3.5	355	270	215	180	15	135	120	105	95	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	550	415	330	275	235	205	185	165	150	130	110	95	80	—	—	—	—	—	—	—
	5	870	650	520	435	370	325	290	260	235	205	175	150	130	115	105	95	—	—	—	—
	6	—	940	750	625	535	470	415	375	340	300	250	215	185	165	150	135	125	115	105	95
	6.3	—	1040	830	650	590	520	460	415	375	330	275	235	205	185	165	150	135	125	115	105
	8	—	—	—	1110	955	840	745	670	610	535	445	380	335	295	265	245	225	205	190	165
	10	—	—	—	—	—	—	1160	1040	950	835	695	595	520	465	415	380	350	320	300	260
	2.5	0.53	0.40	0.32	0.27	0.23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3.2	0.87	0.65	0.52	0.44	0.37	0.33	0.29	0.26	0.24	0.21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	1.35	1.01	0.81	0.67	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.32	0.27	0.23	0.20	—	—	—	—	—	—	—
	5	2.12	1.59	1.27	1.06	0.91	0.79	0.71	0.64	0.58	0.51	0.42	0.36	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	—	—	—
	6	—	2.40	1.84	1.53	1.31	1.14	10.2	0.92	0.83	0.73	0.61	0.52	0.46	0.41	0.37	0.33	0.31	0.28	0.26	0.23
	6.3	—	2.53	2.02	1.68	1.44	1.26	1.12	1.01	0.92	0.81	0.67	0.58	0.50	0.45	0.40	0.37	0.34	0.31	0.29	0.25
	8	—	—	—	2.72	2.34	2.05	1.82	1.64	1.49	1.31	1.09	0.94	0.82	0.73	0.65	0.59	0.54	0.50	0.47	0.41
	10	—	—	—	—	—	—	2.83	2.55	2.31	2.04	1.70	1.46	1.28	1.13	1.02	0.93	0.85	0.78	0.73	0.64

D = 焊条直径(毫米), L = 施焊焊道长度(毫米), E = 电弧能量(千焦耳/毫米)

* 关于英国标准焊条代号 E1--, E2--, E3--, 及 E6-- 的含义参见一机部情报所出版《国外机械技术资料》, “焊接冶金及材料(二)”——参考数据及图表——译注

表2-2 含有一些铁粉的手工涂料焊条 (例如英国 BS 1719 规定的 E2--J, E3--J, 及 E6--J) *
各种直径和施焊焊道长度所需要的电弧能量

	L E																					
	D																					
450毫米长焊条所得的 米所得的施焊长度(L)	2.5	250	150	150	125	150	95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	3.2	410	310	245	205	175	155	135	125	110	100	80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	640	480	385	320	275	240	215	190	175	155	125	110	95	85	—	—	—	—	—	—	—
	5	1000	750	600	500	430	375	335	300	275	240	200	170	150	135	120	110	100	90	85	—	—
	6	—	1050	875	730	620	545	485	435	395	350	290	250	220	195	175	160	145	135	125	105	—
	6.3	—	1220	980	820	700	610	545	490	445	390	325	280	245	215	195	175	160	150	140	120	—
	8	—	—	—	—	—	1100	565	860	775	705	620	515	440	385	345	310	280	260	240	220	195
	10	—	—	—	—	—	—	—	—	1210	1100	965	805	650	535	465	405	340	320	300	280	300
	施焊单位长度焊条所得的 施焊长度(L)	2.5	0.62	0.46	0.37	0.31	0.26	0.23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3.2		1.01	0.76	0.60	0.50	0.43	0.38	0.34	0.30	0.27	0.24	0.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4		1.57	1.18	0.94	0.79	0.67	0.59	0.52	0.47	0.43	0.38	0.31	0.27	0.24	0.21	—	—	—	—	—	—	—
5		2.46	1.84	1.48	1.23	1.05	0.92	0.82	0.74	0.67	0.58	0.49	0.42	0.37	0.33	0.29	0.27	0.25	0.23	0.21	—	—
6		—	2.66	2.13	1.78	1.52	1.33	1.18	1.06	0.97	0.85	0.71	0.61	0.53	0.47	0.43	0.39	0.36	0.33	0.30	0.27	
6.3		—	2.99	2.40	2.00	1.71	1.50	1.33	1.20	1.09	0.96	0.80	0.68	0.60	0.53	0.48	0.44	0.40	0.37	0.34	0.30	
8		—	—	—	—	—	2.70	2.36	2.10	1.89	1.72	1.51	1.26	1.08	0.94	0.84	0.76	0.69	0.63	0.58	0.54	0.47
10		—	—	—	—	—	—	—	—	2.95	2.69	2.36	1.96	1.68	1.47	1.31	1.18	1.07	0.98	0.91	0.84	0.74

D, L, E 及 • 与表2-2的脚注相同。

表2-3 含有高量铁粉的手工涂料焊条 (例如英国 BS 1719 规定的 E2--K, E3--K, 及 E6--K) *

各种直径和施焊焊道长度所需要的电弧能量

	$\frac{E}{D}$		0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0
	$\frac{E}{D}$		0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	8.0
450 毫米长焊条施焊 110 毫米焊道长度 (L)	2.5	3.2	325	395	495	620	780	975	1240	1600	2000	2500	3100	3800	4600	5500	6500	7600	8800	10000	11200	12500
米焊道长度 (L)	2.5	3.2	325	395	495	620	780	975	1240	1600	2000	2500	3100	3800	4600	5500	6500	7600	8800	10000	11200	12500
施焊单位长度焊条所需的热量	2.5	3.2	0.79	0.97	1.22	1.58	2.04	2.61	3.30	4.12	5.08	6.19	7.56	9.20	11.12	13.33	15.84	18.66	21.79	25.24	29.01	33.10
	3.2	4	1.30	1.52	1.95	2.50	3.18	3.99	4.94	6.04	7.39	8.99	10.84	12.94	15.29	17.89	20.74	23.84	27.19	30.79	34.64	38.84
	4	5	2.02	2.38	3.01	3.84	4.80	5.89	7.12	8.50	10.04	11.74	13.60	15.62	17.89	20.41	23.19	26.24	29.56	33.14	36.99	41.10
	5	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6	6.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6.3	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

D、L、E 及与表2-3的脚注相同。