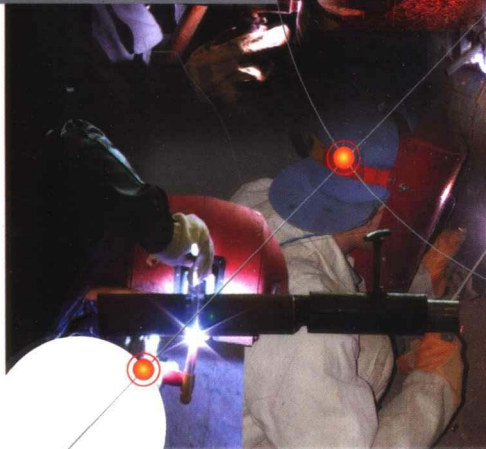
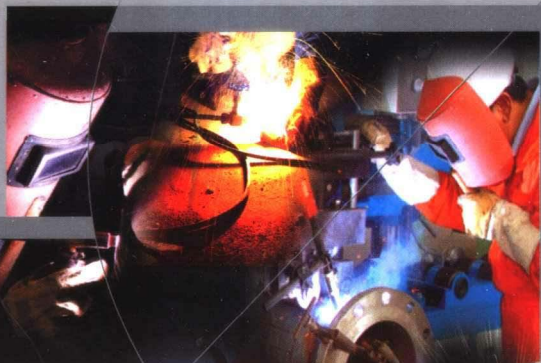


焊接难题解析问答

HANJIE NANTI JIEXI WENDA

孙景荣 主编

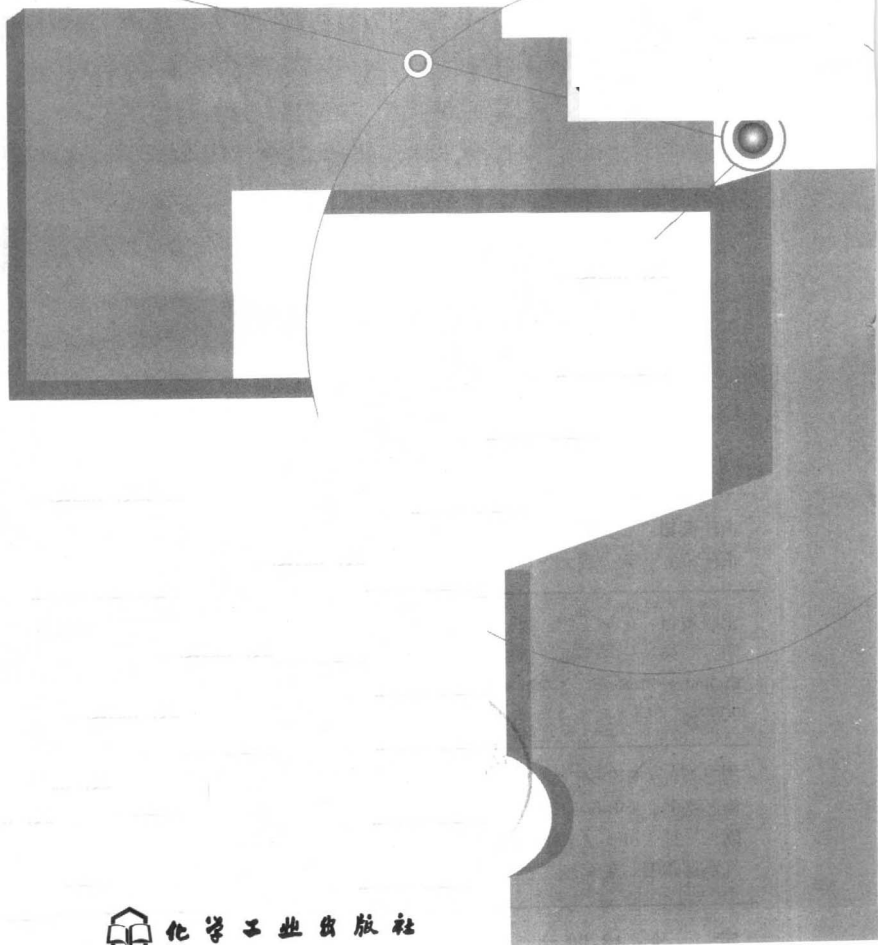


化学工业出版社

焊接难题解析·问答

HANJIE NANTI JIEXI WENDA

孙景荣 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

焊接难题解析问答/孙景荣主编. —北京: 化学工业出版社, 2007.7
ISBN 978-7-122-00334-8

I. 焊… II. 孙… III. 焊接-问答 IV. TG4-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 059257 号

责任编辑: 周 红

装帧设计: 于 兵

责任校对: 宋 夏

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

850mm × 1168mm 1/32 印张 7 字数 143 千字

2007 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 18.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着我国机械制造业的迅速发展，大量焊接结构都需要焊接工作者来完成。

从 20 世纪 80 年代以来，为配合企业“压力制造许可证”的验收取证工作，笔者一直从事压力容器制造过程中的焊接管理和焊接技术工作，接触到较多的焊接技术难题。这些多年积累的素材虽然比较零乱，但具有共性的焊接知识。现将这些素材加以整理编辑出版，希望对填补相关技术人员的焊接专业知识和提高焊工自身技术素质起到促进作用。书中特别对如何处理一些高难度典型设备的焊接和修补、堆焊、喷焊等技术，进行了综合的分析和阐述。书中内容以问答的形式解析了各种实用性的焊接方法，力求体现焊接工艺过程的完整性，以便于读者学习和借鉴。

本书既有针对性强的焊接疑难题解，又给了读者思索、分析和判断的空间，因此，具有很强的实用价值。

本书在编写过程中，得到中国机械工程学会吉林分会、吉化集团公司和吉林技术监督局等单位的支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，不妥之处在所难免，希望读者批评指正。

编 者
2007 年 2 月

目 录

第 1 章 焊接工艺常识	1
1-1 什么是焊接工艺	1
1-2 什么叫焊接热输入, 如何计算	1
1-3 浅谈焊缝成形系数、熔合比, 以及焊接参数对焊缝成形系数、熔 合比及焊接质量的影响	2
1-4 焊前预热温度如何选择	3
1-5 焊前预热的作用是什么	4
1-6 如何确定后热规范	5
1-7 对于焊后热处理, 国内、国外标准有何规定	6
1-8 简述 C-Mn 系列低合金钢的焊后热处理	8
1-9 什么叫“后热”, 有何作用	9
1-10 简述 Mn-V 系列低合金钢的焊接方法和焊材选用	10
1-11 举例说明再热裂纹的产生现象	11
1-12 防止再热裂纹的措施有哪些	13
1-13 简述冷裂纹的产生原因及预防措施, 举例说明其危害性	14
1-14 简述热裂纹的产生原因及预防措施, 举例说明其危害性	16
1-15 简述层状撕裂的产生原因及防止措施	18
1-16 试述焊材的高匹配与低匹配	20
1-17 CO ₂ 气体保护焊机操作有哪些注意事项	22
1-18 CO ₂ 气体保护焊有哪些操作手法及优缺点	26
1-19 CO ₂ 气体保护焊各种位置的操作技巧	27
1-20 简述焊后热处理的种类及其作用	33

1-21	JB 4708—2000 标准与 1992 版标准有哪些变动	35
1-22	JB 4744—2000 与 GB 150 附录 E 的产品焊接试板规定有何差别	38
1-23	冲击试验应注意哪些事项	40
1-24	焊接工艺评定与产品试板有何区别	41
1-25	GB 150 对压力容器的焊接接头(焊缝)怎样分类	42
1-26	GB 150 为何不采纳《锅炉压力容器安全技术监察规程》对容器的分类	44
1-27	我国压力容器标准化体系及内容有哪些	45

第 2 章 特殊材料的焊接..... 47

2-1	工业纯钛焊接采用哪种方法和保护措施	47
2-2	概述磷脱氧铜的焊接	51
2-3	BHW35 钢的焊接裂纹分析及对策	55
2-4	浅谈双丝窄间隙埋弧焊技术的应用	58
2-5	常用耐热钢的焊接特点有哪些	62
2-6	简述常用耐热钢的焊接方法和焊接材料	64
2-7	简述常用耐热钢的预热温度控制和后热处理	66
2-8	10CrMo910 耐热钢的焊接工艺解析	67
2-9	简述 20MnMo 钢的焊接工艺过程	73
2-10	简述不锈钢的焊接特点	78
2-11	什么是高硅不锈钢,有何焊接特点	79
2-12	尿素级不锈钢有哪些焊接特点及工艺要求	81
2-13	简述双相不锈钢设备的制造和焊接工艺	84
2-14	简述 000Cr26Mo1 超纯铁素体不锈钢的性能及焊接工艺	86
2-15	简述铁素体不锈钢的焊接	89
2-16	简述石油化工工业常用奥氏体不锈钢的性能及应用	91
2-17	简述 HK-40 工业炉管的焊接工艺措施	93
2-18	简述镍系低温钢的焊接工艺	95
2-19	怎样实现埋弧自动横焊	97
2-20	如何进行大跨度钢箱梁全焊锚箱制造及变形控制	102

2-21	高温耐热合金 HP-40Nb 如何焊接	107
2-22	浅谈镍合金的焊接特点	110
2-23	浅谈我国 CO ₂ 气体保护焊碳钢焊丝的生产应用	113
2-24	简述常用耐热钢焊接的预热和后热处理	115
2-25	简述近年对耐热钢采用的焊接新技术	117
第 3 章 结构修复及补焊		118
3-1	汽车齿轮磨损能否补焊修复	118
3-2	轴上如何进行铝青铜的堆焊	119
3-3	轴面上怎样进行埋弧自动堆焊	122
3-4	浅谈金属芯堆焊焊丝的特性	129
3-5	如何对辊轧机的辊面磨损进行堆焊修复	133
3-6	如何应用堆焊技术修复涡轮	137
3-7	简述冲裁模堆焊合金的方法及可行性	138
3-8	怎样进行活塞裂纹的焊接修复	145
3-9	如何选择不锈钢丝极堆焊的工艺措施	147
3-10	简述 SP 侧框架上的堆焊技术	150
3-11	发电机转子心环如何堆焊修复	153
3-12	空气锤的砧座开裂, 如何焊接修复	155
3-13	高碳 (ZUB160CrNiMo) 半钢轧辊如何进行堆焊	157
3-14	中板轧辊的堆焊材料应如何优化	162
3-15	试述大型轧钢开卷机齿轮焊接修复的可行性	164
3-16	锅筒接管焊缝氢致裂纹如何返修	167
3-17	新型 JX-YD58 (Q) 药芯焊丝的堆焊应用	170
第 4 章 喷焊、喷涂及其他特殊焊接方法应用		173
4-1	大型轧卷机卷辊表面能进行硬度层喷熔吗	173
4-2	浅谈超声速电弧喷涂技术	175
4-3	浅谈大直径阀杆喷焊技术的应用	179
4-4	粗轧助卷辊如何进行表面喷焊	181

4-5	什么是金属熔融填补技术	184
4-6	怎样防止钎剂对焊点的腐蚀	189
4-7	钎焊有哪些特点	192
4-8	什么是炉中钎焊	193
4-9	压力容器及管道如何带压补漏	195
4-10	Y形件怎样进行螺柱焊	197
4-11	电弧螺柱焊有哪些工艺参数, 如何选择	200
4-12	用于电弧螺柱焊的电源应具有哪些要求	202
4-13	我国螺柱焊接技术的现状分析	204
4-14	浅谈 MIG 电弧钎焊工艺的应用	206
4-15	等离子喷焊技术的应用	208

参考文献	212
-------------------	------------

第1章 焊接工艺常识

1-1 什么是焊接工艺

制造金属焊接构件所采用的有关装配方法和焊接要求，包括焊前准备、焊接材料选用、焊接方法、焊工操作要求等，称为焊接工艺。

1-2 什么叫焊接热输入，如何计算

焊接热输入，通常用 q 表示，单位为 J/cm 或 kJ/cm，是焊接工艺中的重要参数。它是指熔焊时，焊接电弧供给单位长度焊缝的热能量。其计算公式为

$$q = \frac{IU}{v}$$

式中 I ——焊接电流，A；

U ——电弧电压，V；

v ——焊接速度，cm/s。

例如：进行斜 Y 坡口焊接裂纹试验时，采用 $\phi 4\text{mm}$ 焊条，其规范为 $I = 170\text{A}$ ， $U = 25\text{V}$ ， $v = 150\text{mm/min} = 15\text{cm/60s}$

$$q = \frac{170 \times 25}{(15/60)} = 17000\text{J/cm} = 17\text{kJ/cm}$$

又如：埋弧焊采用 $\phi 4\text{mm}$ 的焊丝，若采用 $I = 600\text{A}$ ，

$U=38\text{V}$, $v=0.8\text{cm/s}$ 的工艺规范。

$$q = \frac{600 \times 38}{0.8} = 28500\text{J/cm} = 28.5\text{kJ/cm}$$

结论：焊接电流大、电弧电压高或焊接速度慢，热输入量大。立焊时焊接速度慢，热输入高，冲击值低。为此，一般立焊时，热输入量限制在 40kJ/cm 以下。

1-3 浅谈焊缝成形系数、熔合比，以及焊接参数对焊缝成形系数、熔合比及焊接质量的影响

焊缝成形系数 焊接时，在单道焊缝横截面上焊缝宽度 (B) 与焊缝计算厚度 (H) 的比值称为焊缝成形系数 ($\Phi = B/H$)，如图 1-1 所示。

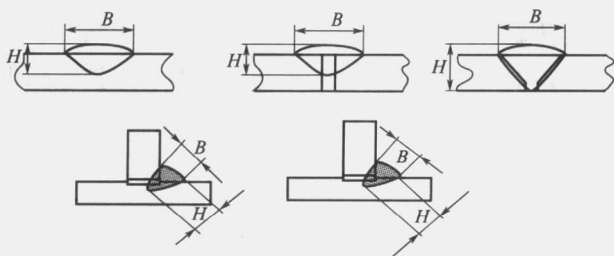


图 1-1 焊缝成形系数示意

熔合比 熔焊时，被熔化的母材在焊道金属中所占的百分比称为熔合比。如图 1-2 所示，母材熔化量为 F_B ，焊道填充金属量为 F_A ，熔合比 $= F_B / (F_A + F_B)$ 。

熔焊时，特别是埋弧焊时，焊缝成形系数和熔合比对焊缝质量有着重要的影响。焊缝成形系数 (Φ) 小，表示焊缝深而窄，焊缝结晶时，杂质或低熔点共晶偏析于焊缝中心，

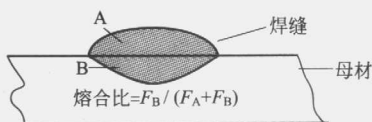


图 1-2 焊道熔合比示意

A—焊材熔敷部分；B—母材熔化部分

容易形成热裂纹。所以埋弧焊时，推荐焊缝成形系数 $\Phi = 1.3 \sim 2.0$ ，熔合比大，母材熔化量多。因为母材中的 C、S、P 以及杂质含量比焊材多些，为此，焊缝的熔合比不宜过高。

焊接参数对焊缝成形系数和熔合比，以及焊接质量影响较大。焊接电流增大（或减小），熔深和熔合比随之增加（或降低），焊缝成形系数相应地减小（或增大）；若电流过大，飞溅大，容易烧穿和咬边；电流过小，电弧不稳，且易形成未焊透或夹渣。

电弧电压随弧长而变化，电弧拉长（或压低），熔宽也随之增大（或减小），焊缝成形系数相应变化。但电弧拉长，会造成空气侵入，飞溅大，电弧燃烧不稳。一般，电弧长度控制在不超过焊条的直径。

若焊接电流、电弧电压不变，焊接速度提高，会使熔深、熔宽有所降低。焊速太快，会造成咬边、未熔合。因此，焊速要与焊接电流、电弧电压相配合，以保证焊缝的熔深和熔宽适中。

1-4 焊前预热温度如何选择

确定预热温度取决于被焊钢材的化学成分和强度、性

能、热处理状态、施焊方法及环境。

(1) 钢材的化学成分和强度

一般, 预热温度随钢材合金元素的增多、强度的提高、板厚(或刚性)的加大而增加。即使钢号相同, 若附加(或残留)元素不同, 预热也有差别。这要靠试验或经验判断。例如: 某厂对 18MnMoNbR 钢进行试验, 结果在不大于 170℃ 预热温度条件下, 即可防止产生冷裂纹; 而采用相同钢号、同厚度的 18MnMoNbR 钢(含有 Cu) 时, 其预热温度必须在 200℃ 以上。

(2) 钢材的热处理状态及焊接方法

同一钢号, 因热处理状态不同或者焊接方法不同, 预热的温度也不可能一样。例如: 采用焊条电弧焊焊接正火状态的钢材, 预热温度可以高些; 而采用埋弧自动焊焊接调质钢时, 既要防止焊接接头淬硬产生裂纹, 又要避免接头过热造成软化。因此, 预热温度不宜过高。

(3) 施焊环境

在冬季施工, 特别是我国的北方, 气温很低, 对于大厚度或刚性较大的构件, 必须采取焊前预热。某化建公司在乙烯球罐组焊时, 材料为 16MnR 钢, 厚度 50mm, 当时正是在较冷的冬季, 由于预热温度较低, 焊后发现有小裂纹。经调整, 改用天然气火焰整体加热, 并在焊后进行 600℃ 退火处理, 解决了裂纹倾向问题。

1-5 焊前预热的作用是什么

预热的主要作用是降低焊接接头的冷却速度, 延长奥氏体转变时间, 从而减少钢的淬硬倾向; 同时, 有利于焊缝金

属扩散氢的逸出；在一定程度上还可以调整或减少焊接残余应力。因此，预热被作为防止低合金高强钢、Cr-Mo 钢，特别是厚度较大的构件焊接裂纹的重要措施。

但是，预热和层间温度太高，必然恶化焊工的操作条件。对于要求保持高韧性的钢材（特别是低温钢和调质钢），若预热温度过高，焊接接头在高温停留时间过长，奥氏体转变在较高温度区发生，使焊缝晶粒粗大，最终导致焊缝的塑性和韧性下降。

某厂曾对 18MnMoNb 钢进行预热温度试验，预热温度高于 300℃ 时，焊缝和热影响区的组织粗大，有明显的方向性。此时的韧性和强度都会略有下降。

1-6 如何确定后热规范

确定钢材焊接的后热规范，应考虑钢的成分、强度及结构性等。施工实践表明：对强度较低的 C-Mn 钢（如 16MnR 等）若进行焊后热处理，可选用 150~200℃。对于不同的钢种，则采取如下措施。

(1) 18MnMoNb 钢，防止产生冷裂纹需预热 180℃ 以上，如防止再热裂纹，需预热 220℃。也可采用 180℃ 预热，焊后立即进行 180℃ × 2h 后热，就不会出现再热裂纹。

(2) 14MnMoNbB 钢，采用 200℃ 预热可避免冷裂纹，而防止再热裂纹，需预热 270℃。采用 180℃ 预热，焊后进行 250℃ × 2h 后热，也可避免产生再热裂纹。

(3) P406NL 钢，防止产生冷裂纹需经 150℃ 预热（焊后空冷）。若采取 180℃ × 2h 后热，则预热温度仅需 50℃

以上。

结论：后热能有效地防止冷裂纹和再热裂纹，但温度并非越高越好。对于某些钢种，后热温度太高，会引起脆化。例如，某厂对 14MnMoNbB 钢试验，发现在 350～500℃有脆化区，且从 300～350℃，钢的塑性开始下降（特别是 350℃时塑性大幅度下降）。若在此温度区间进行后热处理，试样经（310℃、330℃、370℃的后热）试验后，也出现再热裂纹。因此，此类钢的后热温度应在 270℃左右。

1-7 对于焊后热处理，国内、国外标准有何规定

焊后热处理包括退火、正火、稳定化处理和固溶处理等。对于压力容器的焊后热处理，主要是为消除焊接接头的残余应力、降低硬度、改善组织、恢复或提高韧性而进行的高温退火处理。

退火处理早期就作为提高压力容器产品质量的手段列入各种规范。虽然各国标准对各类钢材都有具体规定，但随着材质的改善、焊接技术的进步以及断裂力学的发展，人们对焊后热处理的目的、效果和利弊，也有了新的评价。早在 20 世纪 70 年代，国际标准化组织第 II 委员会的 ISO/TO II 及 ASME、HB、JIS 等标准制定的焊后热处理标准情况，如表 1-1 所示。

对于低温碳素钢和 $Ni \leq 3.5\%$ 钢，热处理温度大致与表 1-1 相同。但免作热处理的厚度范围另有规定，如表 1-2 所示。

表 1-1 碳钢和 C-Mn 钢退火处理的各种规范规定

规 范	ASME Ⅷ-1.2	英国 BS 5500	ISO/TO II - 2694	AD (DIN)	法国 CODAP	JISB 8270 附录 10	HPIS- E108
温度/℃	≥595	580~620	550~600	550~620	530~580	≥595	≥550
不作退火 厚度/mm	32	35	30	30	—	32	—
最大厚 度/mm ^①	38	40	38/50 ^②	38/50 ^②	40	38	38/50 ^②

① 预热温度超过 95℃ 时, 可省略热处理最大厚度。

② 免作热处理的有 38mm 和 50mm 两种厚度。欧洲标准对细晶粒钢推荐 50mm, 其余为 38mm。日本对强度低的钢 (SM53、SM58、SPV36、HW45、HW50 等系列) 推荐 50mm, 而强度较高的 (SB49、PMS35、HW53、HW70、SPV36、SPV46、SPV49D 等系列) 推荐为 38mm。

表 1-2 Ni 3.5% 钢热处理规定

规 范	ASME Ⅷ-1.2	英国 BS 5500	ISO/TO II - 2694	AD (DIN)	法国 CODAP	JISB 8270 附录 10	HPIS- E109-81
温度/℃	595~635	580~620	550~590	550~600	530~580	595~635	≥555
不作退火 厚度/mm	16	按协议		30	30	16	32

注: 按照日本“压力容器”(基本标准) JISB 8270—1993(取代 JISB 8243 和 JISB 8250) 附录 10“焊后热处理”的规定, 对 P-9B(Ni≤3.5%) 可免作 SB 处理的条件为: (1) 壳体厚度 $\delta \leq 16\text{mm}$ (采用与产品等厚度或更厚的钢材进行过焊接工艺评定试验); (2) 管材的名义外径 $\phi \leq 101.6\text{mm}$; 管壁厚 $\leq 12.7\text{mm}$; 管材 C≤0.15%, 且焊前经 120℃ 预热; (3) 在受压部件上安装非受压件, 其坡口焊缝或角接焊缝厚度 $\leq 12.7\text{mm}$, 经 95℃ 以上温度预热。

对于含 Ni 较高的 9%Ni 钢 (P-11A), 若进行热处理会有明显的回火脆性。ASME 和 JISB 8270 对厚度小于 50mm 的 9%Ni 钢, 一般不推荐热处理。

ASME Ⅷ-1(1998 版) 和 JISB 8270—1993 对于 P-5 组别

(包括 2.25Cr-1Mo) 的钢管, 满足以下条件时可免作热处理:

- ① 管材对接焊前经 150℃ 以上预热;
- ② 管材标准中 $\text{Cr} \leq 0.3\%$, $\text{C} \leq 0.15\%$;
- ③ 管材名义外径 $\phi \leq 101.6\text{mm}$; 壁厚 $\delta \leq 16\text{mm}$;
- ④ 管材与非受压元件的角焊缝焊角小于 12.7mm, 最低预热温度为 150℃。

1-8 简述 C-Mn 系列低合金钢的焊后热处理

国外规范推荐消除应力温度在 600℃ 左右 (有的下限为 550℃)。我国 JB 4709—2000 标准对 16MnR 钢规定为 600~640℃。

16MnR 钢的热处理温度提高 20~40℃, 一般对接头性能影响不大, 但对 16MnDR 等细晶粒钢, 采用高韧性焊材形成的焊接接头, 会造成不利影响。

(1) 高韧性 16MnR 钢的焊后热处理

有的单位对厚度 36mm 的 WH510 钢进行 560℃ × 2h ~ 600℃ × 2h 的消除应力热处理试验, 其强度与韧性均合格, 且在 -20℃ 低温下冲击功均在 100J 左右; 但经 600℃ 的消除应力热处理试验, 强度有所下降。当温度达 650℃ 时, 接头强度下降, 韧性有明显下降, 如表 1-3 所示。为此推荐消除应力热处理温度为 600℃ 左右。

(2) 16MnDR 钢的焊后热处理

某单位对 SA662C 钢进行埋弧焊接头试验, 经热处理 (570~670℃ × 1.5~2h), 接头强度随温度的升高而降低。当温度从 570℃ 提高到 670℃, 韧性却降低了一半以上, 如

表1-4所示。由此可见,对于16MnDR低温钢的热处理温度不宜过高,一般应在600℃左右。

表1-3 16MnR钢(厚度44mm)的消除应力热处理试验结果

消除应力热处理 温度×时间/℃×h	σ_b /MPa	-20℃时 A_{KV} /J	
		WM	HAZ
焊态	580,580	104,110,128/114	162,140,176/159
580×2	575,570	125,91,119/112	80,146,116/114
600×2	575,565	94,84,133/104	104,98,97/97
620×2	560,565	78,152,84/104	154,158,75/129
650×2	555,555	36,130,25/64	32,34,153/73

表1-4 16MnDR钢埋弧焊的焊后热处理试验结果

板厚/mm	消除应力热处理 温度×时间/℃×h	焊接接头 σ_b /MPa	焊缝金属 -46℃时 A_{KV} /J
	焊态		
26	570×2	588,608	61,43,62/55
	620×2	578,583	47,108,122/92
	670×2	529,529	53,50,77/60
	670×2	510,500	67,27,49/48
32	焊态	598,608	53,34,66/51
	570×2	598,598	58,99,112/90
	620×2	559,559	34,65,53/51
	670×2	529,529	41,34,49/41

1-9 什么叫“后热”,有何作用

“后热”是指焊接时,焊接坡口填满后,立即(必须立即)对焊接区域加热或保温缓冷的工艺措施。

“后热”的主要作用是降低焊缝结晶后的冷却速度,有利于焊缝金属中扩散氢的逸出,所以也叫消氢处理。这是防止高强钢出现延迟裂纹的有效措施。