

航空材料 焊接性能手册

国防工业出版社

航空材料焊接性能手册

六二一所、红旗机械厂、红安公司等编

国防工业出版社

内 容 简 介

本手册是依据有关工厂、研究所和院校多年来的焊接生产实践和科研成果汇编而成。共计介绍了八十多种航空金属材料的焊接工艺和接头的机械性能数据,以及产生冶金缺陷的倾向及其防止措施等。并适当编入了一些正在研究、试验推广的新材料的焊接性能及工艺数据。

全书共分八章。前六章为常用航空材料的焊接,第七章为焊接材料,第八章为焊接性能试验方法。可供从事航空焊接生产、设计和科研的工人、技术人员使用,也可供焊接专业师生参考。

航空材料焊接性能手册

六二一所、红旗机械厂、红安公司等编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

上海商务印刷厂排版 国防工业出版社印刷厂印装

内 部 发 行

*

850×1168 1/32 印张 14 插页 2 369 千字

1978 年 7 月第一版 1978 年 7 月第一次印刷 印数: 0,001—3,000 册

统一书号: N15034·1669 定价: 2.20 元

出版说明

遵照伟大领袖毛主席“独立自主、自力更生”、“要认真总结经验”的教导，为适应我国航空工业发展需要，由有关厂、所、院校的工人、干部和技术人员组成三结合编写组，在各单位的大力支持下经共同努力编写出这本《航空材料焊接性能手册》，供有关单位参考使用。

手册共分八章，内容主要是航空产品常用金属材料的焊接性能数据，并适当搜集了一些我国自行研制的航空新材料的焊接性能数据。手册是根据航空生产、科研中多年积累的经验加以收集、整理汇编而成的。

手册中所提焊接性能术语包括焊接工艺性能、产生焊接冶金缺陷的倾向和接头的机械性能等三个方面。

参加本书编写工作的单位还有伟建机械厂、松陵机械厂、洪都机械厂、西北工业大学、庆安公司、黎明机械厂、红湘江机械厂、红湖机械厂、新都机械厂、秦岭公司、平原公司、曙光电机厂、燎原机械厂等。

符 号 表

σ_b ——基体材料的抗拉强度

接头 σ_b ——焊接接头的抗拉强度, 试样如第八章第六节图 1、2、3、4、6 所示

焊缝 σ_b ——焊缝的抗拉强度, 试样如第八章第六节图 5 所示

钎 σ_τ ——钎缝的抗剪强度, 又称拉伸-抗剪强度, 试样如第八章第六节图 7 所示

η ——强度系数, 为接头 σ_b (或焊缝 σ_b) 的平均值与 σ_b 的平均值之比

焊缝 a_k ——焊缝的冲击韧性, 试样的缺口位于焊缝中心线上

接头 a_k ——接头的冲击韧性, 试样的缺口位于熔合线上。缺口位于其它部位的应注明

接头 α ——接头弯曲角, 试样如第八章第八节图 1、2 所示

P_τ ——焊点抗剪强度, 点焊搭接单点试样的抗剪总负荷, 试样如第八章第七节图 1 所示

P_b ——焊点正拉强度, 点焊十字形单点试样的抗拉总负荷, 试样如第八章第七节图 3 所示

d ——点焊和缝焊的焊点核心直径 (或核心宽)

η_t ——点焊和缝焊的焊点核心的焊透率

N_p ——周期、疲劳试验至破断时的总循环次数

K ——加载系数, 为周期、疲劳试验时破断强度与一次拉断强度之比

n ——频率, 周期、疲劳试验时每分钟加载次数

T ——试验温度, 为测试机械性能时, 试样工作部位的温度

I ——焊接电流

$I_{\text{二次}}$ ——二次脉冲电流, 指二次脉冲点焊时通过的第二次

电流

V ——电弧电压

v ——焊接速度

v_s ——送丝速度

Q ——气体流量,为通过焊枪的保护气体之流量

Q_b ——背面气体流量,为焊缝背面的保护气体流量

Q_i ——离子气流量,等离子焊时,通入焊枪用以产生等离子体的气体流量

D_z ——焊嘴直径

d_w ——钨极直径

h ——钨极至工件距离

l_s ——焊丝伸出长度,为焊丝伸出导电嘴的长度

l_n ——钨极内缩长度

I_m ——脉冲电流

I_w ——维弧电流

F ——脉冲幅比,为 I_m 与 I_w 的比

t_m ——脉冲电流时间

t_w ——维弧电流时间

K_b ——脉冲宽比,为 t_w 与 t_m 的比, K_b 的倒数为通断比

f ——脉冲频率, $f = \frac{1}{t_m + t_w}$ (赫芝)

V_m ——脉冲电流的电压

V_w ——维弧电流的电压

P_j ——电极压力

P_d ——锻压压力

t_h ——通电时间,为点焊和缝焊时焊接电流持续的时间

t_s ——休止时间,为连续点焊和缝焊时通电时间之间的间隔时间

t_d ——锻压时间,为施加锻压力的持续时间

$t_{\text{二次}}$ ——二次脉冲时间

说 明

1. 手册中焊接性能数据,一般在分子中列出上下值,分母中列出平均值;一个数值未注明大于或小于者为平均值。
2. 对接接头型式一般多用于薄板,为两板平口对接,不开坡口;开坡口者均加以注明。
3. 冲击韧性试样未注明者,为 U 型缺口(梅氏)试样。
4. 以下各表中未列出基体金属牌号者为相同牌号材料的组合焊接。

目 录

符号表及说明

第一章 结构钢的焊接	1
概 述	1
第一节 碳素钢的焊接	4
第二节 30CrMnSiA 钢的焊接	9
第三节 18CrMn2MoBA 钢的焊接	30
第四节 30CrMnSiNi2A 钢的焊接	42
第五节 40CrMnSiMoVA 钢的焊接	53
第六节 ZG22CrMnMo 铸钢的焊接	61
第二章 不锈钢的焊接	67
概 述	67
第一节 1Cr13 不锈钢的焊接	69
第二节 Cr17Ni2 不锈钢的焊接	74
第三节 1Cr11Ni2W2MoVA 不锈钢的焊接	81
第四节 15Cr12Ni2WMoVNB 不锈钢的焊接	90
第五节 1Cr18Ni9Ti 不锈钢的焊接	93
第六节 1Cr18Mn8Ni5 不锈钢的焊接	103
第七节 1Cr21Ni5Ti 不锈钢的焊接	110
第八节 1Cr19Ni11Si4AlTi 不锈钢的焊接	115
第九节 1Cr12Ni4Mn5Mo3A 不锈钢的焊接	121
第十节 铸造不锈钢的焊接	126
第三章 高温合金的焊接	129
概 述	129
第一节 GH15、GH16 合金的焊接	131
第二节 GH30 合金的焊接	144
第三节 GH35 合金的焊接	150
第四节 GH39 合金的焊接	154

第五节	GH44 合金的焊接	160
第六节	GH132 合金的焊接	167
第七节	GH140 合金的焊接	177
第八节	GH128 合金的焊接	195
第九节	SG-5 合金的焊接	198
第十节	铸造高温合金的焊接	201
第四章	铝合金及镁合金的焊接	211
概 述		211
第一节	LF2 铝合金的焊接	215
第二节	LF3 铝合金的焊接	223
第三节	LF6 铝合金的焊接	229
第四节	LF21 铝合金的焊接	234
第五节	LY11 铝合金的焊接	239
第六节	LY12 铝合金的焊接	241
第七节	LY16 铝合金的焊接	246
第八节	LC4 铝合金的焊接	250
第九节	MB8 镁合金的焊接	252
第十节	铸造铝合金的补焊	255
第十一节	铸造镁合金的补焊	259
第五章	钛及钛合金的焊接	265
概 述		265
第一节	TA3 工业纯钛的焊接	267
第二节	TA7 钛合金的焊接	270
第三节	TC1 钛合金的焊接	275
第四节	TC3 钛合金的焊接	280
第五节	TC10 钛合金的焊接	286
第六章	其它材料的焊接	288
概 述		288
第一节	铜及铜合金的焊接	288
第二节	磁性材料的焊接	301
第三节	过滤器丝网材料的焊接	309
第四节	电接触点的焊接	312
第五节	金属与非金属的焊接	318

第七章 焊接材料	329
第一节 焊条	329
第二节 焊丝	333
第三节 钎料	343
第四节 钎焊用钎剂	352
第五节 熔焊用焊剂	359
第六节 焊接用气体	362
第七节 其它焊接用材料	363
第八章 焊接性能试验方法	366
概 述	366
第一节 航空材料焊接性能试验总则(Q/6SZ56-76 代替 HCS50-62)	366
第二节 结构钢熔焊裂纹倾向性试验方法(Q/6SZ57-76 代替 HCS47-62)	370
第三节 不锈钢和高温合金熔焊裂纹倾向性试验方法 (Q/6SZ58-76 代替 HCS47-62)	373
第四节 铝合金和镁合金熔焊裂纹倾向性试验方法 (Q/6SZ59-76 代替 HCS48-62)	375
第五节 钎焊工艺性能试验方法(Q/6SZ60-76)	378
第六节 焊接接头室温、高温拉伸试验方法(Q/6SZ61-76)	381
第七节 点焊接头室温、高温抗剪和正拉试验方法 (Q/6SZ62-76)	386
第八节 焊接接头室温弯曲角试验方法(Q/6SZ63-76)	389
第九节 焊接接头高温持久试验方法(Q/6SZ64-76)	391
附录一 焊条、焊剂和钎剂用原材料的化学成分及特性	395
(一)铁合金	395
(二)矿石	402
(三)化学制品	410
附录二 材料牌号对照	427
(一)基体材料	427
(二)焊接材料	436

第一章 结构钢的焊接

概 述

目前,航空工业除采用碳素结构钢和合金结构钢外,还逐渐采用了我国自己研制的合金结构钢 18CrMn2MoBA (GC-11)、40CrMnSiMoVA (GC-4)、铸钢 ZG22CrMnMo (ZG-8)等新钢种。

金属材料焊接性能的优劣可从三个方面评定:焊接工艺性能;焊接接头产生热裂纹、冷裂纹、气孔等冶金缺陷的倾向;焊接接头的机械性能和使用性能。

焊接过程中,在选定的工艺条件下,焊缝金属的化学成分和金相组织决定焊缝产生缺陷的倾向和使用性能;基体金属受到焊接热循环作用而引起的组织转变,决定着热影响区产生缺陷的倾向和使用性能。因此分析金属材料的焊接性能必须从焊接过程的冶金作用和热作用着手。

结构钢的化学成分不同,焊接性能就各有差异。通常随含碳量和一些合金元素含量的增加,奥氏体的稳定性提高,钢的淬透性增大,在焊接热应力和组织应力的综合作用下,可能出现冷裂纹。当熔池脱氧不完善,或基体金属冶炼质量差,以及含氢量过高等,也将促使产生冷裂纹。冷裂纹大都产生在热影响区,有时在焊后延续一定时间才出现。

由于碳、硅、硫、磷等元素易于偏析,而形成低熔点的共晶组织,使有效结晶区间扩大,在应力作用下,可能引起热裂纹。热裂纹一般产生于焊缝金属中,但也有产生于热影响区的,随焊缝金属的化学成分、焊接方法和工艺规范的不同而定。

如果,基体金属熔化时向熔池过渡的碳量过多,同时熔池脱氧又不够完善,结晶过程中氧化铁和碳反应生成的一氧化碳来不及

从熔池排出,则将在焊缝中形成一氧化碳气孔。当焊条的药皮、埋弧焊用的焊剂或保护气体焊用的气体含有过多的水分,以及焊件表面清理不够洁净时,可能引起氢气孔。焊接规范选择不当或焊接地点风速较大,使空气侵入熔池,则可能导致氮气孔的产生。

为了防止焊接接头产生热裂纹、冷裂纹和气孔等冶金缺陷,通常选用碳、硅含量较低的焊丝(焊芯);严格限制基体金属和焊接材料中硫、磷的含量;手工电弧焊采用低氢型药皮的焊条;选择能量比较集中的焊接方法和适宜的规范;必要时可采用焊前预热、焊后缓冷或焊后及时回火处理等措施。

焊接含碳量和合金元素含量较高的结构钢时,由于加热温度高,停留时间较长而引起的热影响区的过热、及奥氏体晶粒的显著长大(但长大的比较均匀,且稳定性提高),快速冷却时可能产生马氏体,增加接头的脆性。对于淬火回火状态的基体金属,当热影响区的加热温度超过原始回火温度,达到完全重结晶温度时,基体金属变软,使强度降低。基体的原始回火温度越低,软化越为严重,强度降低的就越多。

为了保证焊接接头的使用性能,应该选择适宜的焊接方法、焊接规范和焊接材料,还要合理选择基体金属的焊前状态和焊后热处理规范。

一般认为 20 钢在各种条件下都是一种焊接性好的材料,无需采取特殊的工艺措施。但当基体金属或焊条成分不合格(如含碳量偏高、含硫量过高等)时,或在低温条件下焊接刚性较大的结构时,也可能出现裂纹。20 钢在航空工业中多用于制造薄壁(一般不超过 2 毫米)零件。如上所述,一般采用电弧焊和二氧化碳气体保护焊等焊接方法,且无需采用特殊措施。20 钢点焊时,单点抗剪强度高,缝焊时接头具有接近于基体金属的接头强度和塑性。

和 20 钢相比,30CrMnSiA 钢的合金元素含量较高,有产生冷裂纹的倾向,这是因为组织的改变引起金属的体积变化和产生马氏体的缘故。为了避免产生裂纹,在熔焊刚性较大的厚壁零件时,应采用焊前预热和焊后回火。电阻焊接 30CrMnSiA 钢最好在交

流焊机采用二次脉冲点焊,以避免核心产生裂纹。

18CrMn2MoBA 钢中含碳量为 0.16~0.21%, 并加入了钼、硼、铬、锰等元素, 正火处理后能得到贝氏体组织。焊接热影响区的过热组织为贝氏体和低碳马氏体, 脆化和形成冷裂纹的倾向都比 30CrMnSiA 钢小。因碳和硅的含量比 30CrMnSiA 钢少, 则形成热裂纹的倾向也较小。焊接接头的机械性能则和 30CrMnSiA 钢相近。由于 18CrMn2MoBA 钢是低碳贝氏体钢, 所以焊接性能有显著改善。

30CrMnSiNi2A 钢具有较大的焊接裂纹倾向。并且随金属厚度的增加, 体积变化的影响增大。与 30CrMnSiA 钢相比, 产生焊接裂纹的可能性增大。减少焊接裂纹的有效办法之一, 是采用焊前预热和焊后回火, 以降低冷却速度, 减少高温区的塑性变形速度从而减小内应力。这样在焊缝和过渡区均可减少产生裂纹的倾向。实践证明, 只要采取适当的焊接方法和工艺措施可以获得良好的焊接接头。

40CrMnSiMoVA 钢的焊接性能与 30CrMnSiNi2A 钢相近, 因含碳量高, 且不含镍元素, 故冷裂纹倾向性虽与 30CrMnSiNi2A 属于同一级, 但比它要严重些。只要在工艺措施上加以注意, 同样可以获得良好的焊接接头。

ZG22CrMnMo 铸钢的焊接性能与 30CrMnSiA 钢相近, 可以采用相同的焊接工艺。但应考虑到具有铸造组织和某些冶金缺陷(如疏松、夹渣)的基体金属会给焊接性能带来不利影响。

焊接性能的优劣是相对的, 有条件的, 并不是固定不变的。它不仅取决于钢的化学成分, 而且和焊接工艺、焊接接头的刚性密切相关。随着新的焊接方法不断出现和生产经验的逐渐积累, 原来认为焊接性能较差的结构钢, 现在也能比较容易得到优质的接头了。例如气焊 30CrMnSiA 钢薄板容易产生热影响区裂纹, 如采用手工电弧焊、二氧化碳气体保护焊、等离子弧焊等就能有效地予以避免。

航空工业中常用的焊接性能鉴定方法主要是根据在一定焊接

工艺条件下,测试接头形成冶金缺陷的倾向和机械性能而拟订的。采用这些方法的同时,必须密切结合生产实践的经验,才能对各种金属材料的焊接性能作出比较确切的评价。

本章主要介绍碳素结构钢 20、合金结构钢 30CrMnSiA、18CrMn2MoBA、30CrMnSiNi2A、40CrMnSiMoVA 和铸钢 ZG22CrMnMo 的焊接性能有关数据,其焊接性能的对比列于表 1-1。

表 1-1 结构钢的焊接性能比较

材 料 牌 号	气 焊	手工电 弧焊	埋弧自 动焊	原子 氢焊	二氧 化碳 气体 保护 焊	钨极 氩弧 焊	熔化 极氩 弧脉 冲焊	等离 子弧 焊	真空 电子 束焊	点 焊
20	A	A	A	A	A	—	—	—	—	A
30CrMnSiA	C	A	A	A	A	B	A	A	A	B
18CrMn2MoBA	B	A	A	A	A	B	—	—	—	B
30CrMnSiNi2A	D	B	B	B	—	B	B	B	A	—
40CrMnSiMoVA	D	B	—	B	—	C	—	B	A	—
ZG22CrMnMo	C	A	—	A	—	B	—	—	—	—

注: A——优 B——良 C——中 D——劣

目前,结构钢的气焊、手工电弧焊和二氧化碳气体保护焊均使用一般的熔焊设备。点焊时采用单相交流点焊机,并应采用二次脉冲点焊、等离子弧焊、熔化极脉冲氩弧焊、真空电子束焊接时,一般均采用自行研制的设备,这些设备正不断完善发展之中。

第一节 碳素钢的焊接

碳素钢是航空工业应用很广泛的金属材料。碳素钢是以铁为基体,以碳为主要合金元素的铁碳合金。根据含碳量的高低可分为三类:高碳钢、中碳钢、低碳钢。

低碳钢的焊接性能优良。焊接时一般不需用特殊的工艺措施。中碳钢由于含碳量较高,热影响区容易产生低塑性的淬硬组织,含碳量愈高,这种淬硬倾向也愈大,应根据具体情况,采取适当

的工艺措施。

航空工业的焊接结构中应用较多的碳素钢有 08、10、20、20A，本节收集了 20 钢的焊接规范和焊接性能数据。

一、材料的基本性能

表 1-2 20 钢化学成分(%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	技术条件
0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.25	≤0.25	≤0.040	≤0.040	≤0.25	GB699-65

表 1-3 技术条件规定的板材室温机械性能

状 态			厚 度 (毫米)	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ_5 (%)	δ_{10} (%)	技术条件
					不 小 于		
退 火	冷轧	Z	0.2~4.0	36~50	—	26	GB710-65
		S		36~51		25	
正 火		P		36~51		24	
正火后回火	热轧	Z	0.35~4.0	36~50	—	25	
		S		36~51		24	
高 温 回 火		P		36~51		24	
退火，正火或高温回火			4~60	≥42	25	—	GB711-65

注：Z 最深拉延的；S 深拉延的；P 普通拉延的。

物理性能

线膨胀系数 $\alpha(1/^\circ\text{C})$ ：

$$11.16 \times 10^{-6} (20 \sim 100^\circ\text{C})；$$

$$12.12 \times 10^{-6} (20 \sim 200^\circ\text{C})；$$

$$12.78 \times 10^{-6} (20 \sim 300^\circ\text{C})；$$

$$13.38 \times 10^{-6} (20 \sim 400^\circ\text{C})。$$

导热系数 $\lambda(\text{卡/厘米} \cdot \text{秒} \cdot ^\circ\text{C})$ ：

$$0.12(100^\circ\text{C})； 0.11(200^\circ\text{C})；$$

$$0.10(300^\circ\text{C})； 0.098(400^\circ\text{C})。$$

二、气焊

表 1-4 气焊(对接)规范

厚 度 (毫米)	焊 丝		规 范 参 数		
	牌 号	直径(毫米)	D_z (毫米)	火焰性质	氧气压力(大气压)
1.5	H08A	1.6	0.9	中 性	2.0
2.5		2.0	1.0		2.5
3.0					3.0
4.0					3.0

表 1-5 气焊对接接头的室温机械性能

厚度 (毫米)	焊前状态	焊后处理	焊丝牌号	接 头 σ_b (公斤/毫米 ²)	焊 缝 a_k (公斤·米/厘米 ²)
1.5	退 火	880C 正火	H08A	$\frac{42.2 \sim 45.5}{44.1}$	$\frac{6.8 \sim 8.3}{7.3}$
2.5				$\frac{39.0 \sim 50.0}{44.9}$	$\frac{5.3 \sim 6.7}{5.8}$
3.0				$\frac{35.1 \sim 45.9}{41.2}$	$\frac{6.1 \sim 10.0}{8.3}$
4.0				$\frac{36.5 \sim 43.1}{40.2}$	$\frac{7.1 \sim 8.2}{7.8}$

三、手工电弧焊

表 1-6 手工电弧焊规范

厚 度 (毫米)	焊 前 状 态	焊 条		接 头 型 式	规 范 参 数			
		牌 号	直径(毫米)		极 性	V (伏)	I (安)	
1.5	退 火	HT-3 H08A	2.0	对 接	反 极	20~25	35~50	
2.5			2.5				60~90	
3.0			3.0				80~110	
3.5		HT-1 H08A	3.5		正 极		100~125	
4.0			4.0				125~155	

表 1-7 手工电弧焊对接接头的室温机械性能

厚度 (毫米)	焊前状态	焊后处理	焊条牌号	接头 σ_b (公斤/毫米 ²)	焊缝 a_k (公斤·米/厘米 ²)
1.5	退 火	880°C 正火	HT-3 H08A	$\frac{40.8 \sim 49.5}{44.2}$	—
2.5				$\frac{43.8 \sim 48.7}{45.8}$	—
3.0				$\frac{44.3 \sim 46.8}{45.2}$	—
1.5			HT-1 H08A	$\frac{33.4 \sim 34.3}{33.9}$	$\frac{2.9 \sim 6.4}{4.5}$
2.5				$\frac{33.4 \sim 36.7}{34.9}$	$\frac{2.4 \sim 3.9}{3.3}$
3.5				$\frac{37.9 \sim 38.6}{38.2}$	$\frac{2.1 \sim 4.1}{3.0}$
4.0				$\frac{38.2 \sim 41.0}{39.9}$	$\frac{1.6 \sim 4.1}{2.9}$

四、二氧化碳气体保护焊

表 1-8 二氧化碳气体保护焊规范

厚度 (毫米)	焊前状态	焊 丝		接头型式	规 范 参 数																
		牌号	直径 (毫米)		I (安)	V (伏)	v_s (米/分)	Q (升/分)	l_s (毫米)	D_s (毫米)											
1.5	退 火	H10MnSiA	0.8	对 接	70~90	19~21	2.0~2.5	7~8	5~8	14											
2.0					80~100																
2.5					90~110																
3.0					100~130		2.5~3.0														
3.5					H08Mn2SiA						120~150										
4.0																					