

航空工业用电焊条

耿志起 编著

HANGKONG GONGYE

YONG

DIAN HAN TIAO



国防工业出版社



航空工业用电焊条

耿志起 编著



30321778



国防工业出版社

384440

内 容 简 介

本书较系统地总结了二十多年来航空工业用电焊条生产的经验，阐述了航空工业电焊条分类及性能；原材料及其冶金作用；制造工艺以及技术经验等问题。

我国航空工业生产和试制的机种，凡采用手工电弧焊的焊接件均使用专用的航空工业用电焊条，因此有关的设计和工艺人员均有了解和掌握这种电焊条的必要。

本书还可供从事电焊条生产的技术人员阅读参考。

航空工业用电焊条

耿志起 编著

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张3³/₁₆ 66千字

1980年4月第一版 1980年4月第一次印刷 印数：0,001—1,800册

统一书号：15034·1938 定价：0.27元

(限国内发行)

前 言

随着我国航空工业的发展，航空工业用电焊条从建国初期依赖进口到仿制，从仿制到自行研制，经过二十多年，从品种、规格到数量，都得到不断的发展。特别是近几年以来，逐渐形成了比较完整的生产体系。

目前，尽管在航空工业中广泛应用先进焊接技术，但作为最基本的焊接方法——手工电弧焊来说，在航空工业焊接技术领域中仍占有很大的比重。因此，提供各类优质电焊条，对于提高航空产品焊接件的质量，保证生产的需要，有着重要作用。

本书从生产实际出发，简明扼要地阐述了航空工业用电焊条的分类及性能，原材料及冶金作用，电焊条制造工艺，电焊条生产中的技术检验等有关问题。

由于航空工业用电焊条生产是一项综合性技术，涉及的技术比较广泛，加之作者水平有限，经验不足，书中可能会有不妥和错误之处，请同志们批评、指正。

在编写过程中，曾得到刘兴义、魏祚伟、陆厚德、万仁安、李树之、刘永兴等同志大力协助，在此表示感谢。

目 次

第一章 航空工业用电焊条的分类及性能	1
第一节 分类	1
第二节 性能	2
第二章 原材料及其冶金作用	10
第一节 焊芯	10
第二节 焊条药皮的冶金作用	12
第三章 电焊条制造工艺	34
第一节 电焊条制造工艺过程	34
第二节 焊芯的校直切断及表面清理	35
第三节 焊芯的防锈处理	41
第四节 原材料的粉碎及过筛	45
第五节 铁合金的钝化处理	47
第六节 焊条药皮涂料的制备	50
第七节 焊条药皮的压涂	55
第八节 焊条的干燥、烘焙和包装	65
第四章 焊条生产中的技术检验	72
第一节 原材料的“标准试验”	72
第二节 工艺过程检验	75
第三节 焊条成品的质量检验	77
附录一 焊条的检验贮存及运输	93
附录二 使用焊条时的注意事项	94
附录三 焊条的保管条件	95
参考资料	95
后记	97

第一章 航空工业用电焊条的分类及性能

航空工业用电焊条，简称“航条”，用汉语拼音字头“HT”表示。

航空工业用电焊条种类较多，并各具有一定的冶金性能和工艺性能。现就其分类及性能叙述如下。

第一节 分 类

航空工业用电焊条，按用途可分为如下几类：

一、结构钢焊条

1. 低强度钢焊条：如 HT-1/H08A，HT-1/H18CrMoA，HT-3/H08A 均属于这类焊条。

2. 高强度钢焊条：如 HT-2/H18CrMoA，HT-3/H18CrMoA，以及 HT-6/H18Mn2CrMoBA 贝氏体高强度钢焊条均属于这类焊条。

3. 超高强度钢焊条：如 HT-7/H30CrMnSiNiMoA，HT-8/H708V 均属于这类焊条。

二、不锈钢焊条

1. 奥氏体不锈钢焊条：如 HT-4/H0Cr18Ni9，HT-4/H1Cr18Ni9Ti，HT-4a/H1Cr18Ni9Ti，HT-9/HCr18Ni13Mo3MnSi 均属于这类焊条。

2. 双相不锈钢焊条：如 HT-5/HGX-2 属于这类焊条。

三、高温合金焊条

如 HT-4/HGH30, HT-4/HGH41 均属于这类焊条。

第二节 性 能

航空工业电焊条按药皮的厚度又可分为薄药皮和厚药皮两种。HT-1 属于薄药皮焊条, HT-2 以上牌号都属于厚药皮焊条。下面分述它们的冶金性能和工艺性能。

HT-1 薄药皮焊条, 其药皮的主要作用是提高电弧燃烧的稳定性。药皮成分由二氧化钛(TiO_2)、碳酸钡(BaCO_3)、碳酸钙(CaCO_3)、二氧化锰(MnO_2)等低电离电势材料所组成。药皮重量系数(K)为 2~3%。这种药皮对焊接的冶金过程几乎不发生影响。它不能保证熔化金属不受空气的侵入, 因此焊缝金属吸收大量的氧和氮。并由于焊接后覆盖于焊缝上熔渣极少, 所以焊缝熔化金属迅速凝固, 这就容易产生气孔和非金属夹杂的缺陷。故薄药皮焊条焊缝金属的塑性和抗裂性较差。薄药皮焊条虽然有这些缺点, 但根据产品的特点, 在焊接可达性不好和强度要求不高的薄壁构件时, 仍需要这种焊条。当采用 H18CrMoA 或 H18CrMnSiA 低合金钢焊芯时, 由于焊芯合金成分的作用可得到较高的机械性能, 同时焊缝内部的气泡和非金属夹杂也可相应地减少。

薄药皮焊条的焊接工艺性能低劣, 工人操作困难。为改善其焊接工艺性能, 提高电弧燃烧的稳定性, 在药皮成分中需增加低电离电势物质。因为凡能降低电弧电压的易电离物质, 都具有稳弧作用。一般电离剂(亦称稳弧剂)多采用碱金属及碱土金属的化合物, 但这些物质不应含有使电弧增添负离子的元素。某些元素的电离电势(以伏特计)如下:

K-4.33; Na-5.11; Ba-5.19; Ca-6.10; Ti-6.80; Fe-7.83; Mn-7.40。

而从 HT-1 药皮原配方和现配方成分比较来看 (见表 1-1)。

表1-1 HT-1焊条药皮配方成分比较

药皮成分 %	大理石 (CaCO ₃)	二氧化钛 (TiO ₂)	碳酸钡 (BaCO ₃)	二氧化锰 (MnO ₂)
原配方	16	46	30	8
现配方	18	37	36	9

可知现配方药皮成分中增加了低电离电势物质的数量, 改善了电弧空间气体电离的条件, 使焊接电弧易于通过电弧空间, 因而提高了电弧燃烧的稳定性, 改善了焊接工艺性能。

HT-2以上牌号的焊条, 均为厚药皮焊条。除 HT-4a 为钛钙型焊条以外, 其他都是以大理石 (CaCO₃)、萤石 (CaF₂) 为主的碱性低氢型焊条。药皮重量系数 (K) 为 25~45%。这类焊条的焊接熔渣氧化性极低, 渣保护的效果很好。配方中的大理石 (CaCO₃) 不仅是造渣剂, 同时还是造气剂。所生成保护气体成分主要是二氧化碳和一氧化碳等, 二氧化碳在温

表1-2 HT-1、HT-2、HT-3焊条对母材金属熔深的比较

焊条牌号	试 验 条 件				试 验 结 果	
	焊条直径 (毫米)	母材牌号	焊接电流 (安培)	焊接位置	母材金属的熔深 (毫米)	平均值 (毫米)
HT-1/ H18CrMoA	3.0	30CrMnSiA	90	平焊	1.0, 1.0, 1.1, 1.2, 1.2, 1.4	1.15
HT-2/ H18CrMoA	3.0	30CrMnSiA	90	平焊	0.8, 1.0, 1.1, 1.2, 1.2, 1.3	1.1
HT-3/ H18CrMoA	3.0	30CrMnSiA	90	平焊	1.7, 1.8, 1.9, 1.95, 2.0	1.87

(续)

焊条牌号	药皮 类型	焊接 电流 和 极性	规格 ϕ (毫米)	焊条 端头 标记	被 焊 钢 板			机械性能 (不小于)			用 途
					牌 号	厚 度 (毫米)	热 处 理 状 态	σ_b (公斤/厘米 ²)	σ_K (公斤/厘米 ²)	α (度)	
HT-5/ HGX-2	低氢型	直流 反接	2.0~5.0	棕色	30CrMn SiA	—	焊前淬火并 回火到 $\sigma_b =$ 120 $\pm$ 10 公 斤/毫米 ²	50	4.0	—	该焊条的焊接工艺性能一般。由于焊缝中含有较高的铁素体，故具有较好的抗裂性能。适用于焊接 GX-2 及已淬火的 30CrMnSiA 钢
HT-6/ H18Mn2 CrMoBA	低氢型	直流 反接	1.6~5.0	黄 套 红	GC-11	—	焊后正火并 回火到 $\sigma_b =$ 120 $\pm$ 10 公 斤/毫米 ²	100	—	60	该焊条具有良好的焊接工艺性能。焊后焊缝金属空冷即可获得贝氏体。勿须热处理即可得到高强度焊缝。适用于焊接 GC-11 等牌号高强度贝氏体

HT-7/ H30CrMn SiNiMoA	低氢型	直流 反接	3.0~5.0 紫色	30CrMn SiNi2A	≥3.0	焊后淬火并 回火到 $\sigma_b =$ 170 ± 10公 斤/毫米 ²	140	5.0	— (试生产)	该焊条具有良好的焊接工 艺性能。适用于焊接30CrMn SiNi2A和GC-4 等牌号超高 强度钢
HT-8/ H708V	低氢型	直流 反接	3.0~5.0 黑色	GC-4	≤5.0 5.0 ~10 11~15	焊后正火并 回火到 $\sigma_b =$ 190 ± 10公 斤/毫米 ²	160 150 140	5.0 5.0 5.0	— (试生产)	该焊条具有良好的焊接工 艺性能。适用于焊接30CrMn SiNi2A 和GC-4等牌号超高 强度钢
HT-9/ HCr18Ni13 Mo3MnSi	低氢型	直流 反接	1.6~3.0 灰色	1Cr21Ni 5Ti	≤4.5	焊后 950 ±10°C, 保 温10~15分 钟空冷	60	5.0	8 ₅ % 15 (试生产)	该焊条具有较好的焊接工 艺性能和抗裂性能。适用于 焊接Cr17Ni2、Cr18Mn8Ni5、 Cr21Ni5Ti等奥氏体-铁素 体、马氏体-铁素体耐热不 锈钢

度升高 (约 700°C)时会被脱氧剂还原成一氧化碳,但这种还原是不完全的,所形成的保护气氛仍略带氧化性。

这类焊条药皮中,因不含有有机物造气剂,不会析出氢,所以生成的保护气体中含氢量极低。这极低的氢气也是因清理不慎从焊件上的油、锈、氧化皮等脏物或焊条受潮时带入的。在一般情况下,药皮中的萤石(CaF_2)高温时能分解出氟(F),氟能夺取氢生成氟化氢(HF),从而排除氢的有害影响。经实际测得:HT-2/H18CrMoA 焊条焊缝金属的含氢量为1.41毫升/100克,HT-3/H18CrMoA 焊条焊缝金属的含氢量为1.23毫升/100克。

这类焊条因其保护气氛中含氢量极低,所以均采用强脱氧剂如铝(Al)、钛(Ti)、硅(Si)等进行脱氧,因而其焊缝金属脱氧完全,焊缝金属的含氧量很低。所以这类焊条适宜焊接合金钢,能保证合金元素的顺利过渡,合金元素的损失小,焊缝金属的强度高、塑性好。

但是必须指出,这类焊条对水、锈、油、氧化皮等脏物的敏感性很强,如不注意,会引起焊接区保护气氛中含氢量增加,导致焊缝金属产生氢气孔等缺陷。因此在焊前,焊条一定要烘干,被焊件焊接处要用吹砂等方法清理干净。

这类碱性低氢型焊条,一般都具有良好的焊接工艺性能。如HT-2 焊条,它的药皮厚度较 HT-3 焊条 药皮厚度稍薄一些,药皮重量系数(K)为25~37%。这种焊条在焊接过程中电弧燃烧稳定,熔渣均匀分布、覆盖,与其他厚药皮焊条相比具有熔深小的特点,和薄药皮焊条的熔深相似(见表1-2)。因此,这种焊条在工艺上适合焊接 30CrMnSiA (1~3毫米)的薄壁构件。

但是，碱性低氢型不锈钢焊条的焊接工艺性能一般。如 HT-4 不锈钢焊条，焊接熔渣覆盖不够均匀，特别是角焊缝熔渣脱落困难。为改进这类焊条的焊接工艺性能，研究采用了钛钙型药皮，如 HT-4a 就是这类型的焊条。它是以金红石或二氧化钛为主，附加萤石(CaF_2)为造渣剂和稀渣剂，菱镁矿(MgCO_3)等碳酸盐为造渣剂和造气剂，并以硅铁为脱氧剂，铝粉为合金剂。由于钛钙型药皮中含有大量的二氧化钛，所以其焊接熔渣的熔点较低，粘度小，流动性好，熔渣覆盖均匀并易脱落。故使用 HT-4a 的不锈钢焊条具有良好的焊接工艺性能。

航空工业用电焊条的牌号、规格、性能及用途见表1-3。

第二章 原材料及其冶金作用

航空工业用电焊条生产所用之原材料，必须有严格的技术要求，这是保证获得优质电焊条的基础。电焊条主要是由焊芯和药皮所组成，而药皮又是由矿石类、铁合金类、化工产品类等原材料所组成。所用之原材料比较复杂，焊条的质量主要取决于这些原材料的选择。因此，了解这些原材料的性质及其在焊接过程中的冶金作用是很有必要的。

第一节 焊 芯

焊芯在焊接过程中形成焊缝金属。表 2-1 列出来的这些焊芯都是由国内钢厂专门冶炼的。焊芯的化学元素在焊接过程中起着重要的冶金作用(详见本章第二节)。

焊芯的物理状态对焊条的质量和焊条制造工艺也有影响。因为焊芯就是一个导体，在焊接时传导焊接电流，产生电弧，同时焊芯本身熔化形成焊缝中的填充金属。当焊芯的电阻系数越大，它的熔化也就越快。

焊芯的电阻系数除了与其化学成分有关外（例如奥氏体不锈钢和高温合金成分的焊芯电阻就大），尚与冷作硬化的程度有关。在拉丝过程中采用的拉丝、热处理等工艺，都影响着焊芯的冷作硬化。一般来说，冷作硬化会提高焊芯的电阻，而退火能降低它的电阻，这就会影响到焊接过程中焊芯的熔化速度。同时，焊芯过软或过硬，都会给焊条制造工艺

表2-1 电焊条用钢丝(焊芯)化学成分

[illegible]

中的校直切断工序带来困难。因此，对焊芯一般都有供应状态的要求。

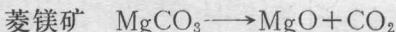
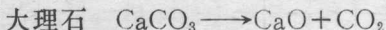
第二节 焊条药皮的冶金作用

焊条药皮是构成焊条的重要组成部分。焊条药皮的冶金作用是比较复杂的，在焊接过程中进行一系列物理化学作用。现就主要方面讨论如下：

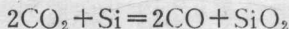
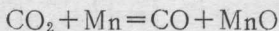
一、气体保护作用

主要是由焊条药皮中的造气剂物质所组成。航空工业用电焊条的造气剂为碳酸盐类矿物质。如大理石或石灰石(CaCO_3)、白云石($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$)以及菱镁矿(MgCO_3)、碳酸钡(BaCO_3)等。

这类物质在焊接时，受电弧高温作用而分解



分解后产生大量的二氧化碳(CO_2)保护气体。由于药皮中含有脱氧剂，故随后还要发生部分二氧化碳的还原



以上二氧化碳的还原反应式在温度升高时(700°C)实际上是不可逆的。

因此在焊接区内充斥着大量的一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO_2)和极少量的氢气(H_2)、水蒸汽(H_2O)……等保护气体。这些气氛能够有效地排挤掉焊接区周围的空气，以限制空气中有害气体与高温金属的作用。

在保护气氛中，一氧化碳(CO)是还原性气体，它几乎不