

我国航空焊接材料概述

国营燎原机械厂 耿志起

我国航空焊接材料主要是指电焊条、焊粉和钎剂。本文概括地介绍了其发展简况,较详细地阐述了其种类、性能和用途,反映了我国航空焊接材料研制、生产的最新成果。

An Outline of Aero-Welding Materials in China

Geng Zhiqi

(State-owned Liaoyuan Machinery Factory)

Aero-welding material means the materials of welding electrodes, powder and fluxes. This paper briefly introduces their developing history, sorts, property and usage in details. It demonstrates the up-to-date achievements gained in the research and production of aero welding materials in China.

航空焊接材料对航空焊接件的质量关系极大。苏联和西方航空公司对航空焊接材料都有严格的质量保证体系。苏联是由 ВИАМ (全苏航空材料研究院) 和 НИИТ (航空工艺科学研究院) 研制并制订生产说明书自行生产。西方航空公司的航空焊接材料 (包括焊条、焊丝、电极、气体) 都是由符合国家或宇航军标的厂家定点生产供应的。

我国航空焊接材料主要是指电焊条、焊粉和钎剂。从建国初期依赖进口到仿制、自行研制,经过了近四十年,其品种、规格不断发展,技术标准、制造工艺更加系列化,逐步形成了比较完整的生产技术和质量保证体系。航空部 1965 年将电焊条纳入航标,1984 年又对标准作了修订,颁发了 HB459.1—84、HB459.2—84、HB460—84、HB461.1—84、HB461.2—84、HB462.1—84、HB462.2—84、HB462.3—84、HB462.4—84、HB463—84 等《焊条技术条件》和 HB458—84《航空工业用焊条的质量检验》等新的标准。为了适应科研生产、对外贸易和科技交流的需要,现就我国航空工业用主要焊接材料作一概述。

一、电焊条的性能及其选用

航空工业用电焊条已形成系列,根据航标 (HB) 的分类,按用途可分为结构钢焊条、不锈钢焊条、高温合金焊条。

焊条牌号由汉语拼音字头“HT”与变动拼音字头和编号组成。如 HTJ-3, 其中:“HT”—表示航空工业用电焊条,“J”—表示结构钢,“3”—表示编号,简称“航条 3”或“结航 3”。“B”—表示不锈钢。“G”—表示高温合金。如 HTB-1, 简称“航条不 1”或“不航 1”。HTG-1, 简称“航条高 1”或“高航 1”。

电焊条按药皮厚度又可分为薄药皮和厚药皮两种。

薄药皮焊条,其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) 等低电离电势材料组成。药皮重量系数 (k) 为 2~3%。这种焊条药皮只起稳弧作用,焊缝金属的塑性及抗裂性较差,只适用于产品的焊接可达性不好的薄壁构件。

厚药皮焊条,其药皮是以大理石 (CaCO_3)、萤石 (CaF_2) 为主的碱性低氢型焊条。药皮重量系数 (k) 为 25~45%。药皮具有良好的焊接工艺性能,电弧燃烧稳定,飞溅小,容易脱渣,焊缝成型美观。适用于焊接低碳钢和低合金高强度钢。

为了改善不锈钢焊条的焊接工艺性能,还研究采用了钛钙型药皮,由于该药皮含有大量的二氧化钛,所以焊接熔渣的熔点较低,粘度小,流动性好,熔渣复盖均匀并易脱落。航空工业用电焊条系列焊缝力学性能如附表。

对于某种焊接件 (包括补焊),通常要根据焊接件的化学成分、力学性能、特种要求、工作条件、结构特点、工艺因素和经济性等进行综合考虑,选择适用的焊条。由于航空工业焊接件的被焊材料与焊条具有相应性较强的特点,有时需要进行一系列试验,符合要求后方可正式用于生产。

1. 等强度是选用结构钢焊条的基本方法。选用结构钢焊条,应按照焊接件的强度等级来选用,以满足焊缝接头和焊接材料的强度要求 (虽有软接头之说,但按选择使用焊条的惯例,仍应按强度等级来选用)。一般焊接接头的强度不可过分高于被焊材料的强度,否则会引起 a_k 值下降,甚至产生裂纹等缺陷,这一点对于航空焊接件承受动载荷的情况下,更有其重要意义。只需焊接接头稍高于被焊材料符合安全系数即可。选择使焊缝接头和被焊材料相同的化学成分是保证等强度的重要条件,只有化学成分相同,选择合理的热处理规范,得到相应的金相组织,才能达到等强度的要求。

1991年第3期

航空工业用电焊条系列焊缝力学性能

焊条 牌号	焊 芯	药皮 类型	焊接 电流和 极性	规格 Φ (mm)	焊条 端头 标记	被焊钢板		热处理 状态	力学性能 (不小于)			用 途
						材料 牌号	厚度 (mm)		σ_b (kgf/mm ²)	a_k (kgf·m/cm ²)	α (度)	
HTJ-1	H18CrMoA				蓝色				80	1.0	—	焊缝金属塑性及抗裂性较差, 用于焊接可达性不好的薄壁构件。可焊接 10A、20A、10Mn2A、12Mn2A、25CrMnSiA、30CrMnSiA 等材料
HTJ-4	H08A	薄药皮 钛型	直流 正接	1.6~ 4.0	红色	30CrMnSiA	<4.0	焊后淬火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 120 \pm 10$ kgf/mm ²	60	1.5	—	
HTJ-2	H18CrMoA	低氢型	直流 反接	1.6~ 6.0	天蓝色	30CrMnSiA	>2.0	焊后淬火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 120 \pm 10$ kgf/mm ²	110	6.0	—	焊接工艺性能 好, 电弧燃烧 稳定, 熔深 小, 用于焊接 10A、20A、 30CrMnSiA、 30CrMnSiNi 2A、40CrMn SiMoVA 等材 料
						40CrMnSiMoVA	<20.0	焊后淬火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 190 \pm 10$ kgf/mm ²	120	5.0	—	
						30CrMnSiNi2A	<4.5	焊后淬火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 170 \pm 10$ kgf/mm ²	120	5.0	—	
							4.5~ 10.0		100	6.0	—	
							>10.0		90	6.0	—	
HTJ-3	H18CrMoA	低氢型	直流 反接	1.6~ 6.0	蓝色	30CrMnSiA	>2.0	焊后淬火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 120 \pm 10$ kgf/mm ²	100	5.0	—	焊接工艺性能 好, 电弧燃烧 稳定, 飞溅小, 容易脱渣, 焊缝成型美观, 用于焊接 10A、20A、 10Mn2A、 12Mn2A、 25CrMnSiA、 30CrMnSiA、 30CrMnSiNi 2A、40Cr- MnSiMoVA、 ZG22CrMn Mo 等材料
						30CrMnSiNi2A	<4.5	焊后淬火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 170 \pm 10$ kgf/mm ²	120	5.0	—	
							4.5~ 10.0		100	6.0	—	
							>10.0		90	6.0	—	
						40CrMnSiMoVA	<15.0	焊后淬火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 190 \pm 10$ kgf/mm ²	120	5.0	—	
							15~20		110	5.0	—	
HTJ-5	H08A	低氢型	直流 反接	1.6~ 6.0	红色	30CrMnSiA	<4.5	焊后淬火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 120 \pm 10$ kgf/mm ²	80	5.0	—	焊接工艺性能 好, 电弧燃烧 稳定, 飞溅小, 容易脱渣, 焊缝成型美观, 用于焊接 10A、20A、 10Mn2A、 12Mn2A、 25CrMnSiA、 30CrMnSiA 等材料
							>4.5		65	6.0	—	

焊条 牌号	焊 芯	药皮 类型	焊接 电流 和 极性	规格 Φ(mm)	焊条 端头 标记	被焊钢板		热处理 状态	力学性能 (不小于)			用 途
						材料 牌号	厚度 (mm)		σ_b (kgf/ mm ²)	a_k (kgf·m/ cm ²)	α (度)	
HTB-1	H0Cr18Ni9	低氢型	直流 反接	1.6 ~ 6.0	绿色	1Cr18Ni9Ti	—	不热处理	50	—	—	焊接工艺性能一般, 用于焊接 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、Cr18Ni11Nb 等材料
HTB-2	H1Cr18Ni9Ti				黄色							
HTG-1	HGH3030	低氢型	直流 反接	1.6 ~ 6.0	草绿色	30CrMnSiA	<4.5	焊前基体金属 淬火并回火到 $\sigma_b = 120 \pm 10$ kgf/mm ²	60	8.0	—	焊接工艺性能一般, 用于焊接已淬火的 25CrMnSiA、30CrMnSiA、30CrMnSiNi2A、40CrMnSiMoVA 等材料
							>4.5		55	10.0	—	
HTG-2	HGH3041				白色	30CrMnSiNi2A	<4.5	焊前基体金属 淬火并回火到 $\sigma_b = 170 \pm 10$ kgf/mm ²	60	8.0	—	
							>4.5		55	10.0	—	
					40CrMnSiMoVA	4.5~15	焊前基体金属 淬火并回火到 $\sigma_b = 190 \pm 10$ kgf/mm ²	55	10.0	—		
HTB-3	H1Cr19Ni11Si4AlTi	低氢型	直流 反接	1.6 ~ 6.0	棕色	30CrMnSiA	>2.0	焊前基体金属 淬火并回火到 $\sigma_b = 120 \pm 10$ kgf/mm ²	50	4.0	—	焊接工艺性能一般, 用于焊接已淬火的 30CrMnSiA 钢
HT-4a	H1Cr18Ni9Ti	钛钙型	交直流	1.6 ~ 6.0	黄色	1Cr18Ni9Ti	—	不热处理	50	—	—	焊接工艺性能好, 用于焊接 0Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、Cr18Ni11Nb 等材料
HT-6	H18Mn2CrMoBA	低氢型	直流反 接	1.6 ~ 5.0	黄套红	GC-11	<2.0	焊后正火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 120 \pm 10$ kgf/mm ²	100	—	60	焊接工艺性能好, 焊后焊缝金属空冷可获得贝氏体, 不需热处理可得高强度焊缝, 可焊接 GC-11
							>2.0		100	5	—	
HT-7	H30CrMnSiNiMoA	低氢型	直流反 接	3.0 ~ 5.0	紫色	30CrMnSiNi2A	>3.0	焊后淬火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 170 \pm 10$ kgf/mm ²	140	5.0	—	焊接工艺性能好, 用于焊接 30CrMnSiNi2A 和 GC-4 等材料(试生产)
HT-8	H708V	低氢型	直流反 接	3.0 ~ 5.0	黑色	GC-4	<5.0	焊后正火并回 火到基体金属 $\sigma_b = 190 \pm 10$ kgf/mm ²	160	5.0	—	焊接工艺性能好, 用于焊接 30CrMnSiNi2A 和 GC-4 等材料(试生产)
							5.0 ~ 10.0		150	5.0	—	
							11.0 ~ 15.0		140	5.0	—	
HT-9	HCr18Ni13Mo3MnSi	低氢型	直流反 接	1.6 ~ 3.0	银灰色	1Cr21Ni5Ti	<4.5	焊后 950℃ ± 10 保温 10~15 分 钟空冷	60	5.0	$\delta_5\%$ 15	有较好的焊接工艺性能和抗裂性能, 用于焊接 Cr17Ni12、Cr18Mn8Ni15、Cr21Ni5Ti

注: 1kgf/mm² = 9.80665MPa

焊接接头相应稳定的化学成分又是通过焊条配方的稳定和焊接规范的稳定来达到的。

特别要说明一点, 航空电焊条根据试验条件通常提供的强度等级是指焊缝强度, 不是通常民用焊条所指的熔敷金属强度。例如: 30CrMnSiA 被焊材料, 焊后热处理至 $\sigma_b = 120 \pm 10 \text{ kgf/mm}^2$, 则通常应选用 HTJ-2 (HT-2/H18CrMoA) 或 HTJ-3 (HT-3/H18CrMoA) 的焊条, 焊后接头强度为 $\sigma_b > 120 \text{ kgf/mm}^2$ 。

但根据焊接构件的强度设计要求, 当焊缝强度比构件其它部位强度有富余或处于非受力部位时, 可以选用较低强度的焊条。

2. 根据结构特点选用焊条。焊接构件刚性大小, 几何形状的复杂程度, 焊缝的空间位置, 焊缝可达性的程度, 焊接坡口的具体情况等, 都应全面考虑。

对于几何形状复杂、刚性大、大厚度焊件, 焊后内应力大的, 要选用强度高、塑性好、抗裂性强的焊条, 如 HTJ-3 (HT-3/H18CrMoA) 焊条。对于几何形状复杂、刚性大的薄壁构件, 可选用高强度、抗裂性强、熔深较小、适用于焊接薄壁件焊条, 如 HTJ-2 (HT-2/H18CrMoA) 焊条。

对于几何形状复杂、焊接可达性不好、清渣又困难的非受力件, 可选用薄药皮焊条, 如 HTJ-1 (HT-1/H18CrMoA)、HTJ-4 (HT-1/H08A) 焊条。

对于大厚度开坡口、多层焊的焊件, 为减少内应力和内部焊接缺陷, 底层可采用低碳钢焊条, 如 HTJ-5 (HT-3/H08A) 焊条, 然后采用高强度焊条如 HTJ-3 (HT-3/H18CrMoA) 焊条。

3. 补焊焊条的选用。这里是指重要受力的焊接构件, 在焊接、热处理后或在使用修理过程中进行的补焊。补焊后不再进行热处理。通常, 30CrMnSiA 焊接构件, 出厂前热处理到 $\sigma_b = 170 \pm 10 \text{ kgf/mm}^2$, $a_k = 5 \text{ kgf} \cdot \text{m/cm}^2$ (490 kJ/m^2), 在补焊过程中易产生裂纹, 使原有的缺陷无法修复。为了克服补焊产生裂纹等冶金缺陷, 可选用 HTG-1 (HT-4/HGH3030)、HTG-2 (HT-4/HGH3041) 高温合金焊条进行补焊。这类焊条的特点是有适中的强度, 塑性好, 不易产生裂纹和气孔, 适用于焊接已淬火的高强度钢和超高强度钢构件。

4. 根据特种性能选用焊条。对在腐蚀、高温、低温等工作环境下使用的焊接构件, 应根据其特种性能的要求来选用焊条。通常要侧重考虑化学成分, 以保证其特种性能的要求。

对耐腐蚀条件下工作的焊接构件, 可选用不锈钢焊条, 如 HTB-2 (HT-4/H1Cr18Ni9Ti) 或 HT-4A/H1Cr18Ni9Ti 焊条。

要求耐腐蚀性, 同时又要求较好的抗裂性能的构件, 可选用低氢型双相不锈钢焊条, 如 HTB-3 (HT-5/H1Cr19Ni11Si4AlTi) 焊条。

对在高温、低温条件下工作的焊接构件, 可选用高温合金焊条, 如 HTG-1 (HT-4/HGH3030) 或 HTG-2 (HT-4/HGH3041) 焊条。

5. 考虑经济性选用焊条。在基本使用性能相同的情况下, 尽量选用价格低廉的焊条。一般, 高温合金焊条价格

昂贵, 其次是不锈钢焊条。在同种焊条中, 小规格比中等规格的焊条价格要贵得多。

二、焊粉、钎剂的性能及其用途

焊粉、钎剂主要用于气焊、手工电弧焊、埋弧焊和钎焊, 品种较多。其性能及用途主要有:

不锈钢焊粉: 熔点约 900°C 。焊时具有良好的保护作用, 能防止熔化金属被氧化, 焊后复盖在焊缝表面的熔渣容易去除。该焊粉用于不锈钢及高温合金气焊时的助溶剂。用比重 1.3~1.35 的水玻璃调成糊状, 焊接时涂于焊缝表面或焊丝上。

铸铁焊粉: 熔点约 650°C , 呈碱性反应, 能有效地驱除铸铁在气焊过程中产生的硅酸盐和氧化物, 有加速金属熔化的功能。该焊粉用于铸铁气焊时的助溶剂。

铜焊粉: 系硼基盐类, 熔点约 650°C , 呈碱性反应, 能有效地溶解氧化铜和氧化亚铜, 具有适宜的流动性, 焊后易清洗。适用于铜及铜合金气焊及炉中钎焊的助溶剂。

铝焊粉: 系卤族元素的碱金属化合物, 熔点约 560°C , 呈碱性反应, 能有效地破坏氧化铝膜。因易潮解而引起腐蚀现象, 焊后需将残渣从金属表面洗刷干净。该焊粉用于铝及铝合金气焊的助溶剂, 并起精炼作用。焊接时以蒸馏水调制使用。

钢焊粉: 焊前在焊缝的正面和反面涂上该焊粉, 可减少热裂纹, 使焊缝致密, 成型美观。用于 30CrMnSiA 等高强度结构钢薄板气焊的助溶剂。用比重 1.3~1.35 的水玻璃调成糊状使用。

镁焊粉: 主要由氟化物组成, 极易除去焊接时产生的氧化膜。该焊粉用于镁合金气焊及补焊。焊接时用蒸馏水调制使用。

防溅涂料: 涂于焊口两边母材上, 防止焊接时飞溅金属烧伤母材表面, 且使之易于清除飞溅物。适用于各种材料手工电弧焊接。用比重 1.3~1.35 的水玻璃调制使用。

陶质焊剂: 该焊剂与焊剂 350 配合使用, 陶质焊剂占重量的 18~20%, 焊剂 350 占重量的 80~82%。它具有稳定电弧、改善焊缝成型等功用。焊后焊缝表面没有气孔、裂纹、脱节等缺陷, 焊缝冷却后熔渣易于清除。适用于 30CrMnSi2A 钢配合 H18CrMoA 焊丝进行埋弧自动焊时使用。

松香酒精钎剂: 松香在 $52\sim 83^\circ\text{C}$ 开始熔化, 125°C 时变为液态, 150°C 时溶解氧化物。松香的活性很小, 主要保护零件表面不受氧化。适用于铜及铜合金的软钎焊。

中性钎剂: 该钎剂对金属的腐蚀性很小, 适用于熔渣难以清除的零件钎焊。钎焊后的焊剂残渣可用丙酮或松节油擦洗。适用于铜、铜合金、碳钢、不锈钢等的软钎焊。

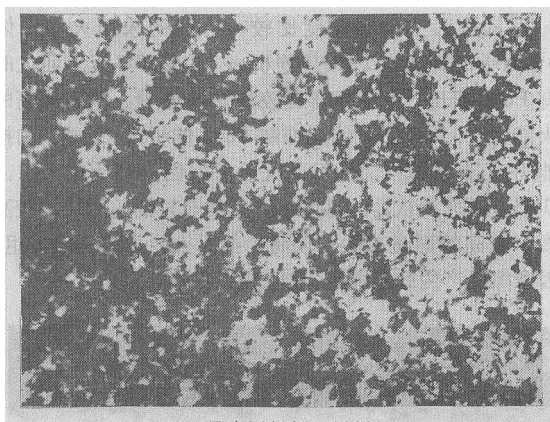
无酸钎剂: 该钎剂对金属腐蚀性小, 钎焊后可用 $70\sim 80^\circ\text{C}$ 热水清洗。适用于铜及铜合金的软钎焊。

无酸油膏: 该油膏能去除表面的氧化膜, 钎焊后易清洗。适用于铜及铜合金的钎焊。

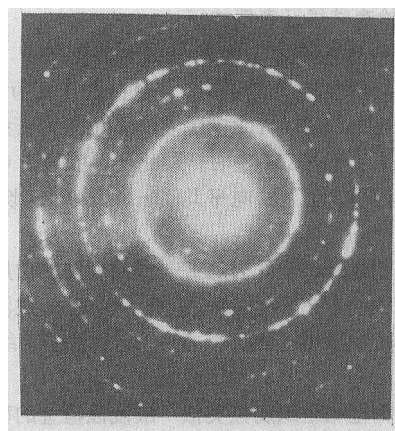
铜钎焊钎剂: 该钎剂由硼砂、硼酸、氧化钙组成, 呈酸性, 能有效地除去被焊金属氧化物。流动性好, 钎焊后

(下转第 24 页)

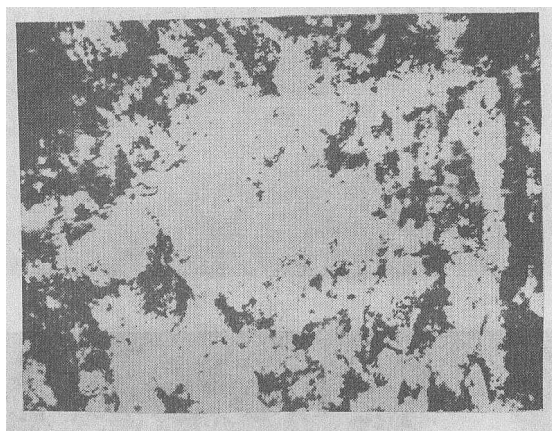
域, 是“白层”经历低于 550℃ 回火的产物。



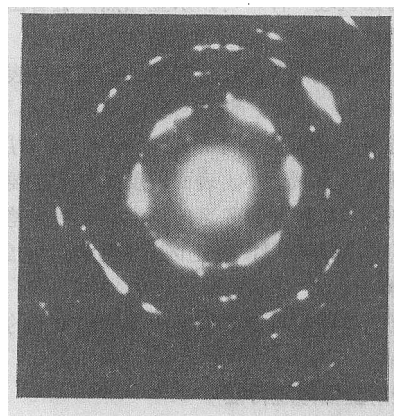
(a) 最表层组织 30000×



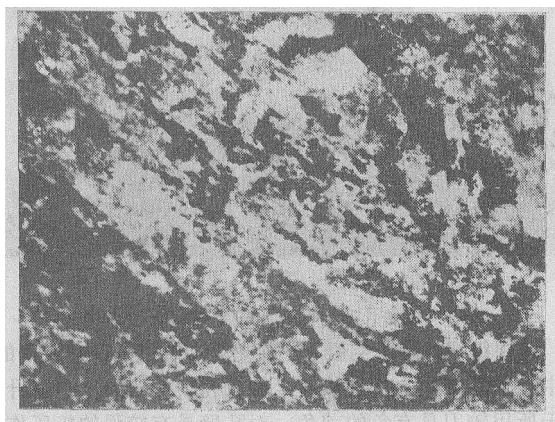
(b) 最表层组织的衍射象



(c) 次表层组织 30000×



(d) 次表层组织的衍射象



(e) 再次表层组织 30000×

图2 铰削孔表层透射电子金相

这层“白层”组织的高抗回火性主要是基于以下几个原因:①较大的残余微观压应力;②晶粒特别细,马氏体亚晶界面增大;③晶体缺陷密度大为增加,缺陷分布更加趋于弥散,晶体内相对的能量差减小。

宏观上观察到的表面黑色区域,是这层组织经历高温回火的产物。由于这层组织的高抗回火性,只有在较高的温度下才发生析出现象,又由于冷却较快,所以回火层很薄,这层黑色的回火层对硬度的贡献较小。宏观上观察到的浅色区

四、结 论

1. 新型国产钢零件铰孔酸浸检查时颜色的变化是由加工过程中组织变化造成的。

2. 铰孔表面可以形成高抗回火性,高耐腐蚀性,晶粒细化的马氏体层。这层马氏体具有高硬度的特点。

3. 铰孔表面的高温回火区是很薄的一层,硬度降低较小,对宏观硬度的贡献也较小,因此,整个表面显示出硬度升高的特点。

参考文献(略)

* * * * *

(上接第 49 页)

易清洗。适用于铜及铜合金、不锈钢、高温合金、结构钢、工具钢的铜钎焊。

由于我国航空工业采用多种焊接方法,因此焊接材料品种较多,如焊丝、焊剂、钎料、电极(惰性气体保护电弧焊用钨丝和电阻焊用铜合金、铍钴铜合金等)、气体(氧、氢、氩、氮及混合体)等,它们的标准尚不够配套,不够齐全,还有待进一步标准化及定点供应,以适应焊接技术发展之需要。