

民航飞机刹车装置选材研究

Study on the Materials Selection of Aircraft Wheel Brake Assemblies

北京航空材料研究所 张连荣 李东生 叶菊兰

Zhang Lianrong Li Dongsheng Ye Julian (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

[摘要] 通过对90年代国外民航飞机刹车装置选材分析,论述了飞机国产刹车装置选材的依据原则。根据刹车装置零部件选材的试验研究及多年的生产应用实践证明,国产刹车装置的设计选材达到了中国民用航空局CCAR CTSO-C26c《航空机轮和机轮刹车装置》技术标准规定,符合美国联邦航空局FAA TSO-C26c Aircraft Wheels and Wheel Brake Assemblies技术标准规定。

关键词: 刹车装置 扭力筒 选材

[Abstract] In this paper, materials selection for abroad aircraft wheel brake assemblies in recent years is analyzed and principle of materials selection for domestic brakes is discussed. Through tests and materials service for many years, it was found that the design and selection is qualified as the requirements of CCAR CTSO-C26c and FAA TSO-C26c.

Keywords: wheels brake assemblies torque tube materials selection

1 引言

刹车装置是飞机的重要系统之一,其功能直接关系到飞机的安全和设计使用技术水平。随着现代航空技术的迅速发展,飞机的起飞和着陆速度和重量在不断地增加,对其刹车装置功能和技术要求越来越高。因此,现代先进的民航飞机对刹车装置的使用性能要求是刹车效率高、工作安全可靠、使用寿命长、结构合理、重量轻和体积小等。飞机多盘式刹车装置主要由活塞房、扭力筒、动盘组件、静盘组件、压紧盘组件及其铆钉等多达几百种零部件组成。

根据设计和使用性能要求,飞机刹车装置所用材料主要有功能和结构两类材料。功能性材料主要指摩擦材料和对磨材料,组成摩擦副,体现刹车装置的摩擦磨损性能,如金属陶瓷片。结构材料主要用于结构件,如刹车盘骨架及扭力筒等。对民航飞机的国产化研制工作包括选材、产品设计、工艺研究、产品试制、地面试车、装机试飞、领先和扩大使用等全过程。20多年来,对波音707、737、767、麦道-82、TV-154M(KT141E)、三叉戟、SD-360及伊尔-86等飞机,成功地选用国产材料制造了飞机刹车装置产品。从80年代至今已有几百架装有国产刹车装置的飞机在民航各航空公司的航线上使用。外场使用情况良好,满足民航飞机刹车装置的设计使用要求。

飞机刹车装置国产化选材的性能和使用寿命达到或超过了国外同类产品的技术水平。

2 飞机刹车装置国产化选材的依据和原则

由于飞机的着陆速度和动能不断地提高,一架飞机一次着陆刹车其单轮刹车装置需要吸收几千万焦耳以上的动能,刹车盘件表面瞬时温度高达1000℃以上,在刹车过程中的剧烈热冲击效应和复杂应力状态,使刹车装置处于苛刻的工作条件。因此,对摩擦副材料要求具有足够的摩擦系数,摩擦系数随温度、速度和压力等条件的变化要小,具有良好的耐磨性,足够的强度、韧性和抗疲劳性能,良好的热物理性能和良好的抗粘结、抗卡滞性能,以便确保飞机的使用安全可靠。

2.1 选材的依据

我国的民航飞机,尤其是高性能大型客机基本上都是进口的,这些飞机在使用维修过程中消耗大量的刹车零部件。这些零部件若全靠进口,不仅花费大量外汇,同时会受到国外种种技术刁难。由此可见,飞机刹车装置零部件必须立足国内解决,这无疑具有重要的技术和社会经济意义。

国家计委有关文件批转了民航总局《关于民航进口飞机刹车装置立足于国内解决》的报告。这个报告是我们搞国产化刹车装置的重要依据。由于航空材料和航空

产品的设计制造关系十分密切,选材必须符合适航标准规定。因此选材要符合中国民航局 CCAR-25 和美国联邦航空局 FAR-25 部的适航标准要求。国产化的选材首先应对国外刹车装置进行材料分析研究工作,确保国产的材料和性能与国外的材料技术性能相当。

2.2 选材的原则

选用的材料及标准应满足相应的适航要求和设计要求。优先选用我国按国外先进标准制定的并经有关当局认可的国军标、国标、航标和部分企标的材料。对新研制或需要补充数据的国产材料均应以国外先进标准为参照基准。尽量压缩标准和材料的品种规格,以降低成本,便于生产管理。

在选材技术论证时,结合国内外材料和标准现状,吸取国外先进材料标准的技术实质性内容,使国内材料

标准系列化,完善材料及标准的质量控制体系,使国产的材料技术性能达到国外同类材料技术水平,满足飞机的设计使用要求。

3 飞机刹车装置零部件的选材

3.1 飞机刹车盘件的选材

飞机刹车盘副按其使用功能可分为动盘、静盘、压紧盘和承压盘。根据国外民航飞机刹车装置零部件选材分析可知,刹车盘件主要采用中碳低合金结构钢制造(表1)。从表1分析结果可知,美国的刹车盘件主要是采用宇航材料规范(AMS) 17-22A(S) 钢制造,英国是选用 En19 钢,俄罗斯是选用 25X2MΦA 或 30XГCA 钢,中国是采用 30CrSiMoVA 钢。

表1 国内外民航飞机刹车盘件的选材

国家	零件名称	材料牌号	化学成分(%)						
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V
美国	波音 707、737、767、MD-82 飞机刹车盘件	17-22A(S)	0.28~	0.55~	0.45~	1.00~	—	0.40~	0.20~
			0.33	0.75	0.65	1.50		0.60	0.30
英国	三叉戟、SD-360 飞机刹车盘件	En19	0.25~	0.10~	0.40~	0.80~	≤0.50	0.15~	—
			0.45	0.35	0.80	1.20		0.25	
俄罗斯	TY-154M、A24 飞机刹车盘件	30XГCA	0.28~	0.90~	0.80~	0.80~	≤0.30	—	—
			0.34	1.20	1.10	1.10			
中国	国产化选材刹车盘件	30CrSiMoVA	0.27~	0.50~	0.50~	1.00~	≤0.30	0.40~	0.30~
			0.35	0.80	0.80	1.30		0.50	0.40

17-22A(S) 钢是美国民航飞机刹车盘件选用的主体结构材料和摩擦偶材料。此类钢具有良好的综合力学性能,推荐用于 550℃ 长期工作的零部件。钢具有良好的耐热裂纹性能,因此也用于表面温度达 900℃ 甚至更高温度的飞机刹车圆片和轴筒件及各类喷气发动机的外部燃烧室和压气机盘及压气机叶片。

国产刹车盘件选用的材料为 30CrSiMoVA 钢。此钢与 17-22A(S) 钢的成分基本相当。钢中加入 Cr、Mo 合金元素可显著提高钢的淬透性和抗回火稳定性,添加 V 元素,主要形成稳定的 VC,提高钢的耐磨性及细化奥氏体晶粒。国内外民航飞机刹车盘件选材的力学性能分析结果列于表 2。通过热处理工艺试验研究结果,30CrSiMoVA 钢的性能达到了 17-22A(S) 钢的水平。从金相组织分析可知,此类钢在退火状态下为珠光体+铁素体组织,在空冷状态为贝氏体组织;在调质状态为回火索氏体组织(图 1 和图 2)。国产的 30CrSiMoVA 钢与美国的 17-22A(S) 钢均具有优异的综合性能。选用国

产材料制造的各种类型飞机刹车盘件,完全满足设计和使用要求,其使用性能及产品使用寿命达到或超过了国外同类产品技术水平。

表2 国内外民航飞机刹车盘件选材的力学性能

国家	零件名称	材料牌号	热处理制度	力学性能(不小于)		
				σ_b , MPa	σ_s , MPa	δ_5 , %
美国	民航飞机刹车装置盘、片件	17-22A(S)	调质	930	790	12
英国		En19	调质	1003	849	15
俄罗斯		30XГCA	调质	1080	833	18
中国		30CrSiMoVA	调质	1080	833	10

3.2 飞机刹车扭力筒的选材

扭力筒是飞机刹车装置中的关键结构部件,承受弯、拉、扭和剪力等载荷作用。它联接活塞房、压紧盘并配装刹车静盘。在刹车制动受热状态下,通过扭力筒将飞机的巨大刹车力矩传递到起落架,实现飞机刹车功

能。可见扭力筒部件是重要的受力件。因此对扭力筒的

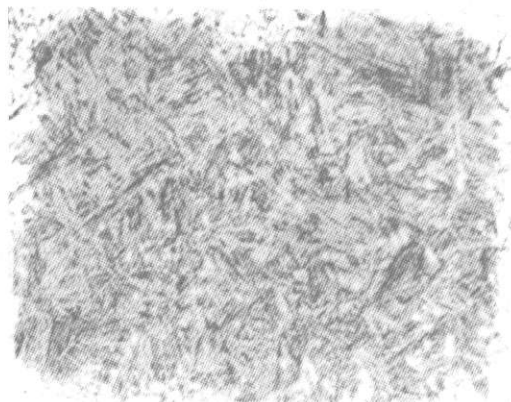


图1 30CrNiMoVA 钢金相组织 ×500
腐蚀剂: 3%硝酸酒精溶液

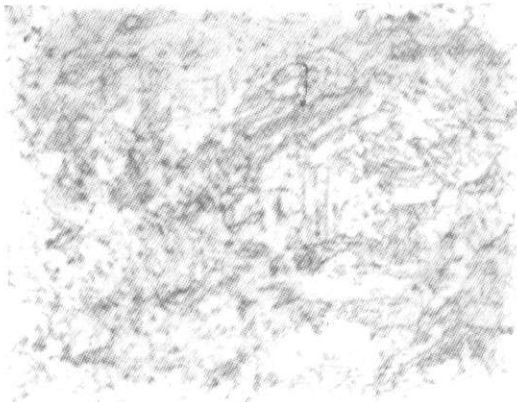


图2 17-22A (S) 钢金相组织 ×500
腐蚀剂: 3%硝酸酒精溶液

设计选材更引起人们的极大重视。飞机刹车扭力筒的

形貌示于图3。

从国内外民航飞机刹车扭力筒选材分析结果可知(见表3),美国是采用 AISI4140 或 AISI4340 钢制造扭力筒,英国是采用 En24 钢,俄罗斯选用 30X1CA 或 40XHMA 钢,这几种钢是这几个国家及其相关国家宇航工业上广泛使用的中碳低合金高强度钢。4140 钢具有较好的淬透性和高的强度,通常采用油淬加回火后获得最佳使用性能。4340 钢具有较高强度和高的淬透性,在调质状态下具有良好的成形性能,可以锻制或铸造成形。由于此类钢具有较高的强韧性及良好的抗疲劳性能,因此美国的波音系列飞机选用它制造扭力筒及其它重要受力结构件。

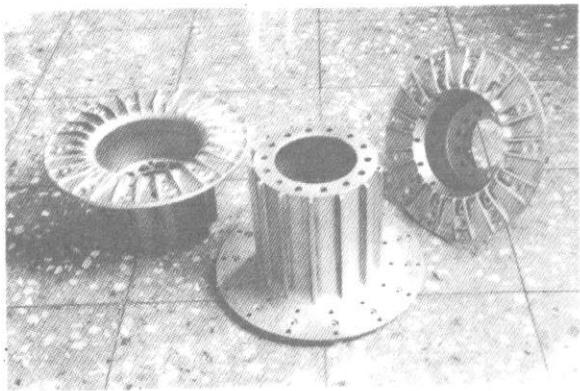


图3 波音737、767飞机刹车扭力筒形貌

我国的 40CrNiMoA 钢与美国的 4340 钢和俄罗斯的 40XHMA 钢相当,国产扭力筒就是选用此类钢制造。国内外飞机扭力筒选材的力学性能分析结果列于表4。

表3 国内外民航飞机刹车扭力筒选材

国家	零件名称	材料牌号	化学成分 (%)					
			C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
美国	波音707、737、MD-82等飞机扭力筒	AISI4140	0.38~0.43	0.20~0.35	0.75~1.00	0.80~1.00	≤0.25	0.15~0.25
		AISI4340	0.38~0.43	0.20~0.35	0.65~0.85	0.70~0.90	1.65~2.00	0.20~0.30
英国	三叉戟, SD-360 飞机扭力筒	En24	0.35~0.45	≤0.35	0.40~0.80	0.75~1.50	1.10~2.00	0.20~0.40
俄罗斯	AN-24 飞机扭力筒	30X1CA	0.28~0.34	0.90~1.20	0.80~1.10	0.80~1.10	≤0.30	—
中国	波音707、三叉戟、AN-24飞机扭力筒	40CrNiMoA	0.36~0.44	0.17~0.37	0.50~0.80	0.60~0.90	1.25~1.75	0.15~0.25

表4 国内外飞机扭力筒选材的力学性能

国家	材料牌号	热处理制度	力学性能 (不小于)			
			σ_b , MPa	σ_s , MPa	δ_5 , %	ψ , %
美国	AISI4140	调质	965	760	18	50
	AISI4340	调质	1030	895	14	45
英国	En24	调质	1158	1030	14	—
俄罗斯	30XГСА	调质	1080	835	10	45
中国	40CrNiMoA	调质	1080	930	12	50

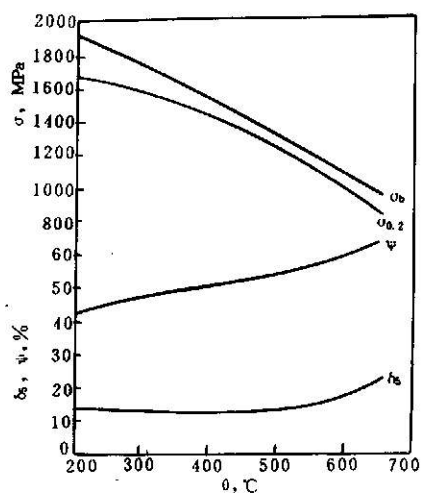


图4 40CrNiMoA 钢回火温度与拉伸性能的关系

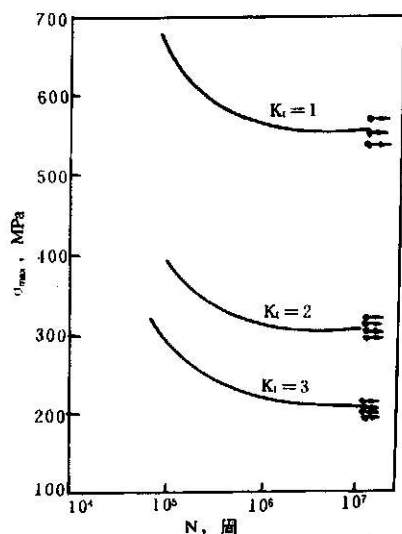


图5 40CrNiMoA 钢棒材中值 S-N 曲线

40CrNiMoA 钢是一种优良的调质钢,具有良好的强韧性和高的抗疲劳断裂性能。此钢适于制造轴类件及重要受

力联接件。40CrNiMoA 钢不同回火温度对性能影响曲线见图4, 钢的轴向疲劳性能曲线见图5, 采用此钢制造的波音707飞机刹车扭力筒的锻件高倍组织晶粒度见图6。多年来选用40CrNiMoA 钢制造的各种类型飞机刹车扭力筒均满足设计使用要求。

4 结论

民航进口飞机刹车装置国产零部件选用的材料的化学成分基本与国外原型机的选材相当。国产原材料的力学性能达到了国外同类材料的技术标准规定的性能水平。

选用国产原材料制造的各种类型飞机刹车装置零部件经地面试车及外场多年的飞行使用考验, 其性能稳定, 使用情况正常, 达到了CCAR、CTSO-C26c和FAA、TSO-C26c技术标准和有关适航标准的要求。多年的生产实践说明了对民航飞机刹车装置零部件国产化选材是合理的, 是可行的。民航进口飞机刹车装置国产化的研制工作具有明显的技术经济意义。

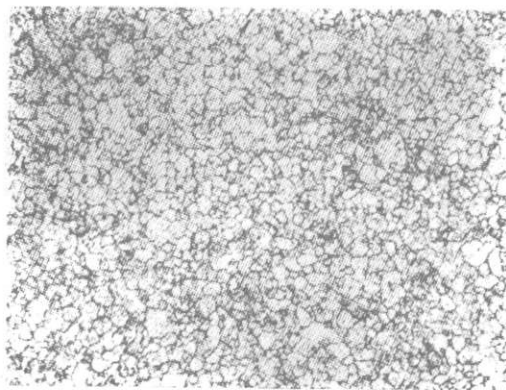


图6 40CrNiMoA 钢制波音707
飞机扭力筒锻件晶粒度 $\times 100$

参考文献

- 1 Aerospace Structural Metals Handbook, 1975. 5
- 2 中国航空材料手册, 1分册, 中国标准出版社, 1989. 9
- 3 民航进口飞机刹车装置选材国产化研究, 621所内部资料, 1990. 12
- 4 设计准则及强度计算报告, 621所内部资料, 1993. 3
- 5 国产刹车扭力筒研究报告, 621所内部资料, 1989. 8
- 6 FAA TSO-C26c 《Aircraft Wheels and Wheel Brake Assemblies》1984. 5