

Y7 飞机铁基刹车材料的研制

滕映淮* 吕秉义

(华兴航空机轮公司, 陕西兴平 713106)

摘要 本文依据各种组元对摩擦材料摩擦磨损性能的不同影响, 通过对加入 Cu、Ni、Mn、Mo、C 基体组元; MoS₂、BaSO₄、Sn、Pb 润滑组元; SiC、Al₂O₃、SiO₂ 摩擦组元材料的摩擦磨损性能、抗卡滞性能等方面的研究试验, 研制成功 Y7 铁基刹车材料。经地面模拟试验、飞行试验和长时间的航线使用证明, 该材料摩擦磨损性能优良, 比原用铜基摩擦材料使用寿命提高 3 倍以上。

主题词 烧结摩擦材料 摩擦性能

1 前言

Y7 飞机原用铜基刹车材料, 在使用中产生严重剥落掉块, 使用寿命短。为解决这个问题, 几年来投入多方力量进行研制, 但均因存在不同问题而失败, 本文通过大量的试验研究, 研制成新型铁基刹车材料, 满足了 Y7 飞机刹车条件和适航标准 TSO-C26C 的要求。经试飞和长时间的航线使用。各种性能优良, 从根本上解决了原用铜基刹车材料剥落掉块问题。

2 试验研究

分析 Y7 飞机机轮刹车条件和 TSO-C26C 适航标准规定(见表 1), 研制出满足该机性能要求的铁基烧结材料-钢摩擦副, 难度比铜基材料大。因铜基材料-钢摩擦副容易满足 Y7 机低中速、中能载、大刹车比压的刹车特性, 但耐磨性差。而具备上述特性的铁基材料-钢摩擦副, 尚无参考资料, 因此, 必须从材料的组元、成分、工艺等基础工作做起。

2.1 材料组元与成分的确定

表 1 主要性能要求

Table 1 Main requirements for properties

项 目	正常刹车	中止起飞*	大动能粘结
开始刹车速度 $V_s, \text{m/s}$	44.4	51.4	50.0
平均比压 \bar{P}_B, MPa	≤ 0.97	0.97	0.97
刹车距离 L_s, m	≤ 324	≤ 722	≤ 410
减速率 $a_s, \text{m/s}^2$	≥ 3.05	≥ 1.83	≥ 3.05
单位重量能载 $U_g, \text{J/g}$	133.14	222.34	173.08
单位面积能载 $U_F, \text{J/cm}^2$	1475	2463	1918
最大摩擦系数 $\mu_{s\max}$	≤ 0.5		
静摩擦系数 μ_j	≥ 0.22		
单位摩擦功率 $q_T, \text{J/cm}^2 \cdot \text{s}$	30	50	39
峰值比 $\mu_{s\max}/\mu_{s\min}$	≤ 2		

* 飞机即将起飞时因出现故障而采取的停(中)止起飞所进行的紧急刹车

* 滕映淮, 高级工程师, 从事粉末冶金摩擦材料工艺技术及材料研制工作。

收稿日期, 1993. 5. 14

2. 1. 1 基体组元的选择

作为重能载飞机刹车材料的基体，必须具有高的热稳定性和高温强度。大量试验证明，Fe-C 和 Fe-Cu-C 系的基体材料，用于 Y7 飞机的刹车时，其性能提高的潜力不大，表 2 中 F1、F2 等材料按 Y7 飞机工况条件的试验结果，说明了这一点。由于基体强度低，高温

抗氧化性能差，因而磨损大，静摩擦系数低。要提高铁基材料基体强度和高温抗氧化能力，需加入难熔合金元素或采用后处理工艺^[1]。采用后者使工艺复杂化，而适当添加合金元素效果良好。本文根据 Y7 机刹车的性能特点和要求，重点选择 Cu、Mn、Ni、Mo 等元素进行试验研究。

表 2 不同成分的材料惯性台模拟试验结果
Table 2 Results of simulating test on inertial stand for materials with different compositions

编 号	材料成分, wt%							试验结果						存在 问题
	C	Sn	Pb	SiO ₂	MoS ₂	Fe	其他	μ _{smax}	μ _{smin}	Ls m	a _s m/s ²	μ _{smax} μ _{smin}	△ mm/面·次	
F1	10~12	4	3	4	3	70	Al ₂ O ₃ ; 3~5	0.234	0.154	262	3.77	1.52	0.015	磨损大
F2	10~12	3~5	3	4	3	70	Al ₂ O ₃ ; 3~5 BaSO ₄ ; 2~5	0.230	0.171	334	2.96	1.33	0.008	静摩系 擦数低
F3	10~12	—	3	3~5	3	60	Cu; 10~15 Mn; 5 SiC; 4	0.354	0.159	320	3.09	2.23	0.0014	表面接 触不良 峰比大
F4	10~12	—	2	2	2	55~60	Cu; 15 Mn; 4 SiC; 5	0.296	0.193	239	4.13	1.53	0.0019	掉块严重

用于飞机的铁基刹车材料一般都加铜，加入铜能提高基体的强度和导热性，但影响铁、化合碳和溶解硅的关系，降低化合碳的含量，使组织中的铁素体增多，导致材料磨损的加大，基体组织的塑性提高，促进了粘结过程的发展。试验证明，只加铜，形成 Fe-Cu-C 系基体材料，难以提高 Y7 机刹车材料的使用性能与寿命。

锰与 γ-Fe 完全互溶，加入后增强基体，明显提高材料的耐磨性，但使加工难度大大增加。

加入铜和锰，形成 Fe-Cu-Mn-C 系列基体的刹车材料，前苏联在高速重载飞机上应用取得了巨大的成功。在 Y7 飞机铁基摩擦材料的研制中，对该类材料进行了多次改进与试验，结果(表 2 中 F3、F4 试验结果)仍无法满足该机的使用要求。

添加钼，形成钼在铁中的固溶体，阻止 Fe₂O₃ 的形成，可减少刹车时的噪声和振动。钼的加入还可强化基体，减少刹车中摩擦副的粘结性。钼与铁、锰相比，形成的碳化物的熔点较高，而显微硬度却低，与铁的相近。

镍是铁中强韧化效果良好的元素，加入后可提高材料的强韧性和耐磨性。在加热过程中镍阻止奥氏体晶粒长大，锰则促进奥氏体晶粒的长大。在低温回火或刹车后的自回火中，镍可提高冲击韧性(a_k 值)，锰则相反。因此从提高材料综合性能的效果来看，镍优于锰。

加入镍与钼，使材料形成 Fe-Ni-Mo-C 系合金基体，大大提高基体的强韧性、耐热强度和高温抗氧化能力，减少剥落、碎裂，对提高材料摩擦磨损性能的效果良好。如表 3 所示。

表 3 在 J02 试验机上的试验结果(按 Y7 飞机模拟条件)

Table 3 Testing results obtained on J02 testing machine

(according to simulating conditions for Y7 aircraft)

材料代号	最小摩擦系数	最大摩擦系数	平均摩擦系数	静摩擦系数	制动时间 t	磨损量 Δ
	μ_{smin}	μ_{smax}	μ_{pj}	μ_j	s	mm/面·次
FA	0.23	0.406	0.289	0.33	8.7	0.014
FA+1%(Ni+Mo)	0.29	0.466	0.357	0.46	6.9	0.008

2.1.2 润滑组元的选择

飞机刹车材料一般在干摩擦下工作,其润滑组元均以固体加入,其主要作用在于降低磨损,改善抗卡滞性能,延长刹车副的使用寿命。它与摩擦组元的共同作用决定了材料的摩擦磨损性能。

本文选用石墨、易熔金属铅、锡,MoS₂、BaSO₄ 等组元进行试验。试验表明,石墨是铁基材料重要和关键的组元,加入适量适当粒度的天然片状石墨,在摩擦表面能形成光亮的摩擦层,起到良好的润滑作用,但含量超过一定比例时,使材料强度、硬度降低,摩擦磨损性能变坏,刹车中产生剥落掉块现象。金属铅与锡随刹车温度的升高熔化或软化,形成润滑表面的膜层,防止摩擦副粘结与卡滞,提高材料的耐磨性。

MoS₂ 是铁、石墨材料中理想的固体润滑剂,可调整摩擦系数。BaSO₄ 在烧结中被碳还原成 BaS,提高摩擦性能及其稳定程度。本试验对加入适量 BaSO₄ 和未加 BaSO₄ 的材料进行了对比试验,结果表明,含有少量的 BaSO₄ 的材料磨损较小,摩擦性能稳定。

2.1.3 摩擦组元的选择

润滑组元的加入提高摩擦材料的耐磨性和摩擦副工作的稳定性,但降低材料的摩擦系数,故还要加入较基体更硬的物质作为摩擦组元,其作用除保证提高摩擦系数外,还有消除材料中低熔点金属粘附到对偶表面和保证摩擦副工作表面有适当啮合及良好的表面状态的作用。本文选用 SiO₂、Al₂O₃、SiC 等作为摩擦组元。试验表明,加入单一摩擦组元是

难以达到要求的。

SiO₂ 是常用的摩擦剂,在 Y7 飞机材料研制中,当含量≥5%时,才能满足摩擦系数的要求,但磨损增大,静摩擦系数降低。

Al₂O₃ 具有稳定的化学性能,烧结时无晶型转变,能提高材料的热稳定性。试验中发现在铁基材料中添加 2~5%Al₂O₃ 时,在惯性台上作出的刹车曲线的中间(t 约为 5s 时)摩擦系数增大,见图 1a。Al₂O₃ 与 SiO₂ 合用,刹车效率提高,但刹车终结时的摩擦系数和静摩擦系数降低。

SiC 熔点高,耐磨性好,比 Al₂O₃、SiO₂ 强度高,但加入单一较粗粒度的 SiC,虽可提高材料的高温摩擦系数和静摩擦系数,但烧结后材料难于加工,刹车时间延长,效率降低。

本文针对 Y7 机的刹车条件,同时选用了适量适当粒度的 SiO₂、Al₂O₃、SiC 组元,得到了良好的效果。图 1b 是加入这三种组元的典型刹车曲线。根据大量的试验结果,本试验确定的材料组元及成分见表 4。

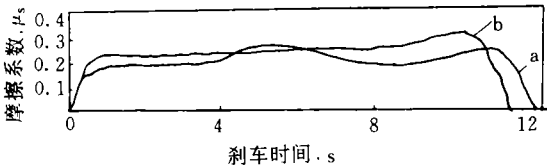


图 1 典型刹车曲线

a. 含 2%~5% Al₂O₃ 的材料 b. 含 Al₂O₃、SiO₂、SiC 材料

Fig 1 Typical braking curve

表 4 Y7 飞机铁基摩擦材料的化学成分 %

Table 4 Chemical compositions of iron base materials for Y7 aircrafts

Fe	Sn	Pb	C	MoS ₂	BaSO ₄	SiO ₂	Al ₂ O ₃ +SiC	Mo (Ni)	其 他
余	1~3	3~5	11~15	1~3	2~4	2~4	4~6	1~2	2~4

2.2 工艺

经多次试验,确定的主要工艺参数如下:

配料——将按组元配比配制成的混合料装入混料机混合 20h。成形——压制压力 400~500MPa,压坯密度 4.5~5.0g/cm³。烧结——1065±15℃ 烧结 2.5h,烧结压力 2~3MPa,出炉后水冷。

3 试验结果与分析

3.1 材料的组织结构

一般铁基材料以得到薄片或细粒状珠光体组织为好,铁素体+珠光体组织的材料性能最差^[1]。本材料的显微组织为贝氏体+少量珠光体(图 2)。这是加入镍、钼等元素,使过冷奥氏体转变曲线右移,珠光体转变速度



图 2 Y7 铁基摩擦材料的显微组织 ×200

Fig. 2 Microstructure of iron base friction materials

降低及特定工艺条件所致。

3.2 材料的物理力学性能

表 5 T7 机铁基与铜基摩擦材料的物理力学性能比较

Table 5 Comparison of physical and mechanical properties between iron and copper base friction materials for Y7 aircrafts

	硬度分布 HRF	密度 g/cm ³	抗压强度 MPa	抗拉强度 MPa	结合性
铁基	75~100	5.0	28.93	5.6	良好
铜基	45~65	5.9	15.70	5.1	一般

由表 5 可见,铁基材料的硬度、强度高于铜基材料,而密度低于铜基材料。

3.3 惯性模拟试验

飞机刹车材料研究与实验室工作的结束,是以通过整套机轮模拟飞机着陆性能的惯性台刹车试验为依据。按 Y7 飞机试验大纲 Y7,铁基材料-30CrSiMoVA 摩擦副的惯性模拟试验结果如下:

(1) 一般性能试验 一般性能试验结果列于表 6,结果表明,铁基材料的刹车性能完

全满足 Y7 机着陆刹车的要求,表面良好,无剥落掉块现象。

(2) 静刹车及磨损值对比 由表 7 可见,铁基材料的静摩擦系数达到了要求,并明显高于铜基材料。磨损小,仅为铜基材料的 77%。

(3) 粘结试验 按大动能条件,刹车后带刹车退出机轮保持 1min,卸去刹车压力能用手轻轻转动机轮,说明刹车副工作正常,无粘结现象。

表 6 一般性能试验结果
Table 6 Testing result of general properties

	试验结果						试验 次数	检查结果
	\bar{P}_B MPa	L_s m	a_s m/s ²	μ_{smax}	μ_{smin}	$\frac{\mu_{smax}}{\mu_{smin}}$		
正常刹车	0.82~0.97	258~324	3.05~3.83	0.23~0.32	0.19~0.24	1.13~1.57	100	表面良好,无掉块、剥落现象
大动能 粘结	0.97	371	3.37	0.28	0.21	1.32	1	工作正常,未发现刹车盘粘结
中止起飞	0.97	389	3.39	0.27	0.23	1.19	1	工作正常

表 7 静摩擦系数及磨损值对比
Table 7 Comparison between static friction coefficients and wear value

平均静摩擦系数 $\bar{\mu}_s$		平均线性磨损,mm/次·面		
Y7 铁基 30CrSiMoVA	Y7 铜基-30CrSiMoVA	Y7 铁基	Y7 铜基	30CrSiMoVA
0.293	0.240	0.00530	0.00693	0.00210

3.4 材料的使用性能

完成地面模拟试验后的装机试飞是材料综合性能的体现,也是评价材料的重要标志。Y7 铁基材料刹车动盘与 30CrSiMoVA 钢静盘组成的刹车副,装于民航 B3494 飞机的 4 个主轮上,按试飞大纲进行了静刹车、地面试车滑行、假起飞、正常起落等飞行试验和领先航班使用,经分解检查,在刹车副磨合面<50%的情况下,该材料能在飞机最大起飞功率下刹住飞机。中止和正常起落的刹车效率

良好,刹车副表面光洁完好,图 3、表 8 是使用近一年、飞行 353 次起落后分解检查的情况。结果表明,刹车副表面始终光洁完好,有很好的耐磨层、无任何掉块及粘结现象,磨损小,静摩擦系数高,各种性能指标均能保证 Y7 飞机起落的安全。根据目前刹车盘的磨损及剩余厚度(单面粉末层>1.5mm),该材料可保证飞机 600 次以上安全起落,比原用材料提高使用寿命 3 倍以上。

表 8 Y7 铁基材料-30CrSiMoVA 刹车副使用情况
Table 8 Performance conditions of iron base materials-30CrSiMoVA broking matches

起落次数	平均线性磨损,mm/面·次			表面状况
	安装机轮位置	左外轮	右外轮	
41	粉末冶金动盘	0.00046	0.00048	光洁完好,无掉块剥落及 粘结现象
	静盘	0.00031	0.00039	
162	粉末冶金动盘	0.00098	0.00115	光洁完好,无掉块剥落及 粘结现象
	静盘	0.00022	0.00022	
200	粉末冶金动盘	0.0010	0.0011	光洁完好,无掉块剥落及 粘结现象
	静盘	0.0002	0.00029	
353	粉末冶金动盘	0.0011	0.0012	光洁完好,无掉块剥落及 粘结现象
	静盘	0.0002	0.00026	



图 3 航线使用 353 次起落后刹车副的表面状况

a. 粉末冶金动盘 b. 静盘

Fig. 3 Surface status of braking matches after landing and raising of 353 times used in airline

4 结论

(1) 通过添加少量镍、钼元素和工艺控制,形成 Fe-Ni-Mo-C 系合金基体,得到综合性能好的贝氏体组织,提高了材料的基体强度和高温耐磨性。

(2) 利用 SiO_2 、 SiC 、 Al_2O_3 三种摩擦组元的组合效果,获得了良好的摩擦磨损性能、高的刹车效率和刹车平稳性。

(3) Y7 飞机铁基摩擦材料解决了原铜

基材料在使用中的剥落掉块问题。静摩擦系数、线性磨损、最大与最小摩擦系数比等性能指标明显优于铜基材料,达到了 Y7 飞机技术条件和适航标准的要求,比原铜基材料使用寿命提高 3 倍以上。

(4) 该材料适应比压和吸收动能的范围较大,加工性能良好,产品质量易于控制,推广使用价值高。

5 参考文献

- [1] 苏 H. M. 费多尔钦科. 现代摩擦材料. 北京: 冶金工业出版社, 1983
- [2] 黄培云. 粉末冶金原理. 北京: 冶金工业出版社, 1985
- [3] 俞宝罗, 胡光立. 合金钢与高温合金. 北京: 国防工业出版社, 1981

DEVELOPMENT OF IRON BASE BRAKING MATERIALS FOR Y7 AIRCRAFTS

Teng Yinghual, Lu Bingyi

(Huaxing Aircraft Wheel Company, Xin ping, Shanxi 713106)

Abstract According to different influences of various friction components on the friction and wear properties of materials and via the investigation and testing of the properties including friction, wear, anti-clamping by adding Cu, Ni, Mn, Mo, and C as basic components, MoS_2 , BaSO_4 , Sn and Pb as lubricants and SiC , Al_2O_3 and SiO_2 as friction components, the iron base braking materials for Y7 aircrafts have been successfully developed. It has been proved by simulating test on land, trial flying and airline performance for a long time, that the materials have excellent friction and wear properties and their performance duration can be increased by more than 3 times in comparison with that of original copper base friction materials.

Key words sintered friction materials, friction properties