

关键词：



清华大学

1. 纳米结构增韧

2. 新型热障涂层（温度？）

热障涂层简介

新材料 在线
xincailliao.com

所谓**热障涂层**（Thermal Barrier Coatings, TBCs）是指由金属缓冲层或者粘结层和耐热性好、隔热性好的陶瓷热保护功能层组成的“层合型”金属陶瓷复合涂层系统。主要用来降低基体的工作温度，免受高温氧化、腐蚀、磨损。



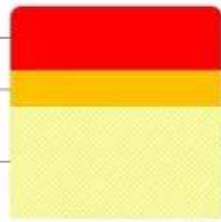
陶瓷层，隔热



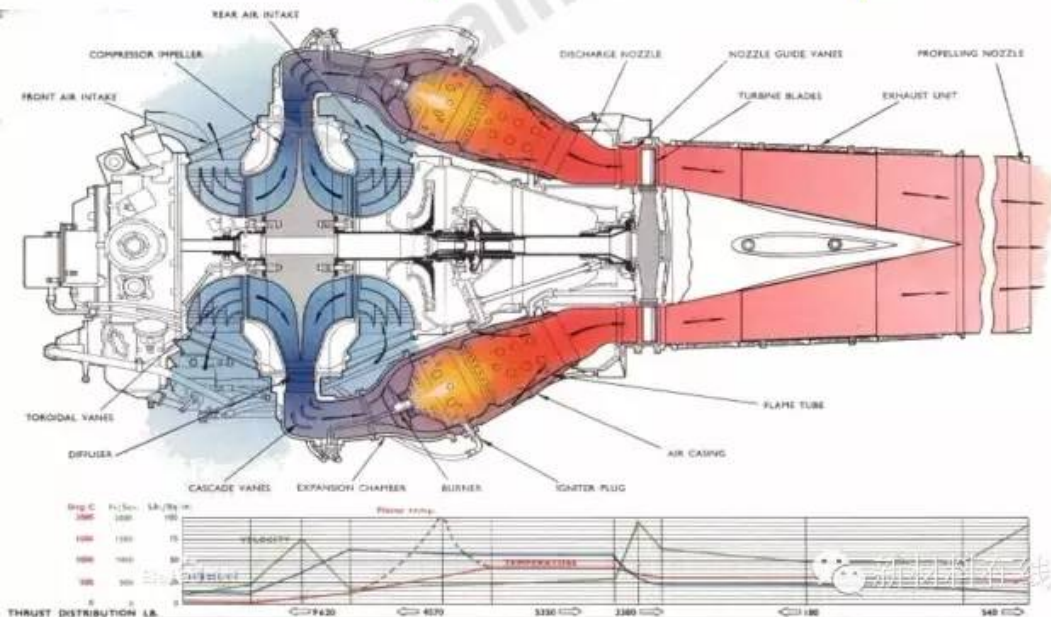
粘结层，起缓冲作用



基体，高温合金



TBC主要用于航空发动机的热端部件（红色区域）





热障涂层的发展

新材料在线
xincailliao.com



大规模使用:90年代以后

英国的RR公司在20世纪90年代以来也逐渐将TBC大量应用到军用和民用发动机上。Spey发动机有200多个零件使用了热障涂层。

技术飞跃: 20世纪90年代

美国的GEAE公司在20世纪90年代后期开发出新型热障涂层。其GE90发动机叶片采用单晶合金MX4和TBC-2热障涂层之后,与未采用该涂层的叶片比,性能大大提高。



重大贡献: 美国P&W公司

TBC	年代	粘结层	陶瓷层
早期燃烧器的涂层	1963	Ni-Al	APS 22 MSZ
	1973	Ni-Cr/Al	APS 22 MSZ
	1974	CoCrAlY	APS 22 MSZ
	1980	NiCoCrAlY	APS 22 MSZ
第一代	1984	NiCoCrAlY	APS 7YSZ
第二代	1982	NiCoCrAlY	APS 7YSZ
第三代	1987	NiCoCrAlY	EBPVD 7YSZ

1976年在美国NASA刘易斯研究中心,陶瓷热障涂层在J75涡喷发动机涡轮叶片上得到了成功的试验验证。

起源: 19世纪70年代





发动机用TBC制备工艺



航空发动机用热障涂层从开始研究到实际应用，其制备工艺不断地得到改进。目前最广泛采用的制备技术是**等离子喷涂**（PS）和**电子束物理气相沉积**（EB-PVD）

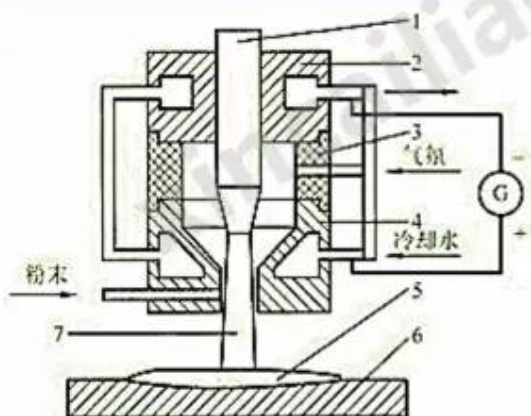
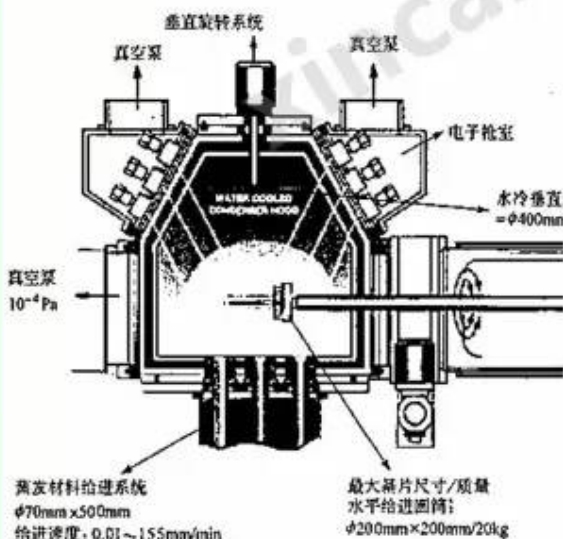


图 5.3-34 等离子喷涂原理图

1—阴极；2—阴极夹头；3—绝缘体；4—喷嘴（阳极）；
5—喷涂层；6—工件；7—等离子弧焰流

·等离子喷涂

利用氮和氩等离子体提
4400℃~5500℃的粉末加热
区，高温等离子将陶瓷或金
属粉末粒子加热至熔融或半
塑性状态，并加速喷向工件，
粒子变形堆积，形成涂层。



·电子束物理气相沉积

在真空室内，电子枪开始发
射电子束，直接照射到水冷
坩埚中被蒸发的材料上，利
用电子束的能量加热并气化
材料，其蒸汽以原子或分子
形式沉积到基体上形成涂层。



存在问题及解决方案



Problems

- ◆ 由热应力失配引起的失效：陶瓷层和金属层的膨胀系数相差较大，在热载荷作用下产生很大的热应力，易在界面缺陷处形成应力集中，促进微裂纹产生。

- ◆ 由界面处缺陷和热生长氧化物引起的失效：在应力作用，界面处缺陷的产生会引起裂纹的萌生和扩展，以及热生长氧化物内部微裂纹的演变，直到融汇贯通形成网格状裂纹等



Solutions

- ◆ 抑制尖晶石类氧化物生成，减少应力集中：尖晶石类氧化物等的膨胀系数与其它层不同，他们的形成不仅削弱了陶瓷层和粘结层之间的韧性，还是热生长氧化物层的体积膨胀，产生应力集中。

- ◆ 加入单质Pt、Hf、Dy等物质，增强涂层力学性能：研究表明，热障涂层中添加Pt、Hf、Dy等物质，可以显著提高热障涂层得抗热冲击性能，从而提高涂层的服役寿命。



热障涂层未来发展趋势

新材料在线
xincailiao.com

航空发动机用热障涂层的研究和应用伴随着现代等离子喷涂技术向数控智能和精确喷涂发展的趋势，制备新一代**长寿命、高可靠性、大体积、复合/连续梯度功能**热障涂层，是今后一段时间发展的主要方向之一，有以下几个方面研究工作亟需开展：



900~1400℃热梯度、热循环温度、高温燃气的氧化、热腐蚀和高温冲刷磨损，喷涂和运行过程中的应力和热冲击力对TBC的稳定性的影响；



TBC对环境气体和腐蚀性介质的热遮蔽、热扩散障碍和热生长氧化物生长应力，以及在梯度、热循环应力场协同作用下的裂纹萌生、扩散的问题



多层复合/连续梯度结构与涂层系统的断裂韧性、相变增韧、微裂纹增韧、第二相增韧、纳米结构增韧和梯度缓冲效应对热障涂层性能的影响规律



新型热障涂层材料与复合结构热障涂层体的开发
莫来石，ABS ($\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 等新型热障涂层材料和高温稀土氧化物稳定剂的综合开发。





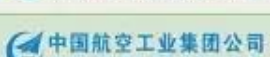
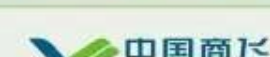

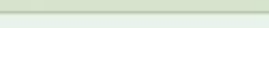
热障涂层关键技术企业

新材料在线
xincailliao.com











海外知名航空发动机用热障涂层相关企业

美国通用电气公司	
英国罗尔斯-罗伊斯公司	
美国普拉特-惠特尼公司	
美国普莱克斯表面技术公司	
瑞士苏舍寿美科公司	
美国联合技术公司	
阿尔斯通科技有限公司	
西门子能源公司	
斯奈克玛公司	
.....	

国内知名航空发动机用热障涂层相关企业

北京矿冶研究总院	
湖南益阳先导等离子粉末有限公司	
辽宁硅酸盐研究所	
沈阳黎明发动机有限公司	
沈阳航空发动机研究所	
西安航空发动机有限公司	
贵州黎阳航空发动机公司	
中航商用航空发动机有限公司	

国内航空发动机用热障涂层主要研究机构

北京航空材料研究院	 中航工业北京航空材料研究院 AERO-ENGINE MATERIALS RESEARCH INSTITUTE OF BEIJING
北京航空航天大学	 北京航空航天大学
中科院长春应用化学研究所	 中国科学院
广州有色金属研究院	 中国科学院
中科院沈阳金属研究所	 中国科学院
南京航空航天大学	 南京航空航天大学
清华大学	 清华大学
西安交通大学	 西安交通大学 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY
西北工业大学	 西北工业大学 NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY
.....	 新材料在线