



立即扫码下载

找材料、接订单 看案例

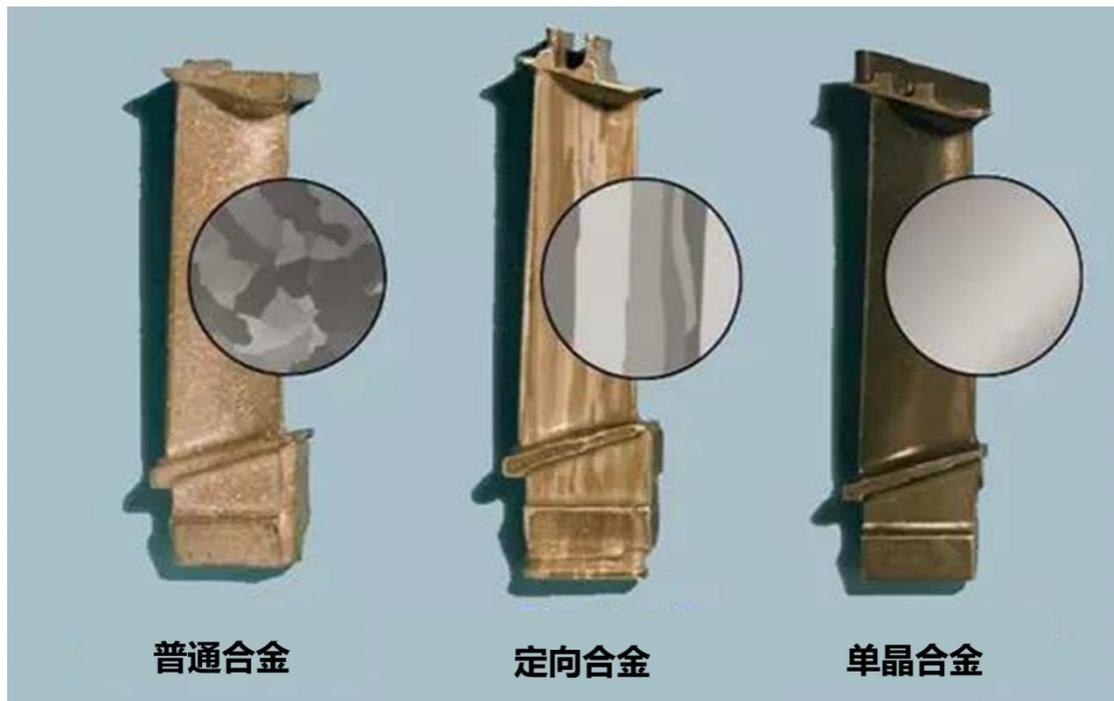
一亿材料人和制造人都在用寻材问料APP

飞机的“心脏主动脉” ---单晶空心叶片

航空发动机是飞机的心脏，那么涡轮叶片就是心脏的“主动脉”。涡轮叶片的材质可以分为等轴晶、定向柱晶以及单晶，今天本文介绍的就是单晶空心叶片，也是制造航空发动机和燃气轮机的关键材料，其铸造工艺直接决定了航空发动机的性能，是一个国家航空工业水平的显著标志之一。



图片来源: doncasters



图片来源: makezine

目前, 先进的燃气涡轮发动机涡轮部位几乎都采用单晶空心叶片。单晶空心叶片作为航空发动机热端关键部件, 长期服役于温度最高、应力最复杂、环境恶劣的条件下, 要承受超过其金属融化温度 700 度的高温、大约 1000 千克的离心拉伸应力, 每个叶片承受的作用力相当于一辆 F1 赛车的产生的马力, 成为工况条件最为恶劣的航空零件, 被誉为“王冠上的明珠”。



空心叶片：歼-10所使用的“太行”发动机

图片来源：百色早报



Trent-XWB 的一个涡轮叶片，共有 68 个涡轮叶片

图片来源：R-R 公司



图片来源：virtualwallstreet

单晶空心叶片定义：

为了冷却、减少应力、调频等目的而制成的只有一个晶粒、具有内部空腔的铸造叶片，**整个叶片没有晶界**，不仅消除了叶片上所有晶界避免裂纹源的产生，而且对叶片采用有效的复合冷却方式，以降低涡轮叶片在工作过程中的表面温度，应对逐渐提高的涡轮进口温度，**大大提高了工作能力和自身寿命。**



图片来源：R-R 公司

之所以称之为单晶空心叶片，顾名思义，不仅表达出叶片构型为空心结构，铸造所选用的材料也必须是单晶高温合金。

单晶高温合金是什么：

目前的涡轮叶片材料以高温合金为主，Ni 是 Cr、CO、W、Mo、Al 等众多合金元素良好的基体，经过 20 多年的发展，出现了 20 多种单晶铸造高温合金。

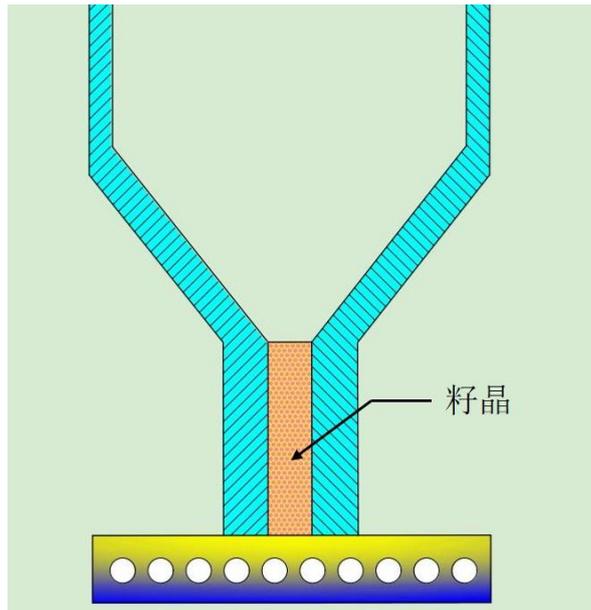


图片来源：makezine

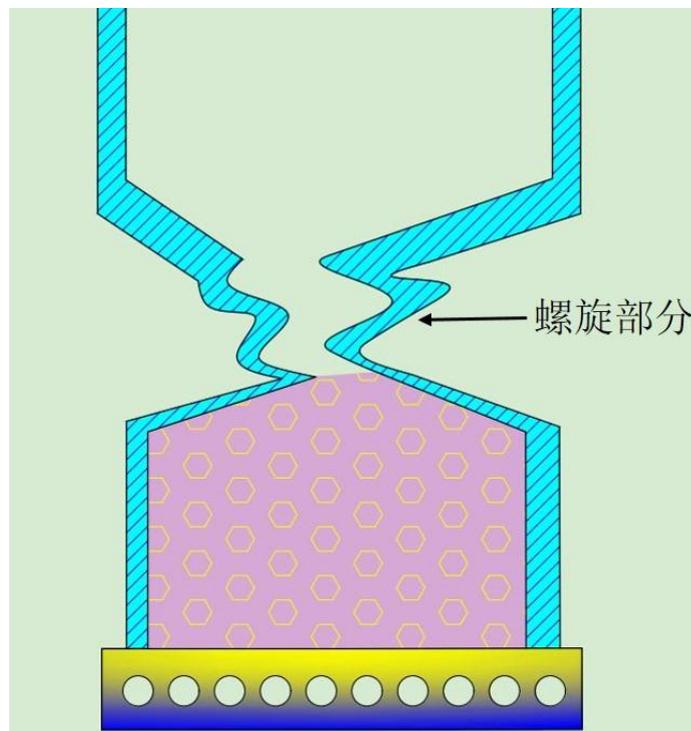
这些合金可以分为五代：第一代以镍基单晶高温合金 PWA1480、CMSX-2、RenéN4 和我国生产的 DD3 为代表,其承温能力比最好的定向凝固铸造高温合金 PWA1422 有 25°C 的优势;第二代以 PWA1484、CMSX-4、René N5 和 DD6 为代表,比第一代又提高了 30°C 左右;第三代单晶合金 René N6、CMRX-10 和 DD9 等,比第一代耐温提高 60°C.;目前正在研制的是以 MC-NG、TMS-138、TMS-162 等为代表的第四代和第五代单晶高温合金。

单晶高温合金制备方法：

籽晶法：前者是在陶瓷型壳的底部预先安装一段与铸件材料及晶粒取向相同的籽晶，当熔融态的合金液进入型壳后，然后随型壳的移动，合金液沿籽晶的晶粒取向开始生长，以获取单晶材料。



选晶法：相当于千军万马过独木桥，利用螺旋选晶器的狭窄通道，使多个晶粒通过螺旋通道的竞相生长，仅选取一个优势晶粒进入型壳型腔，然后随固液界面的向前推进，该晶粒持续长大，而得到单晶材料。



单晶合金各系列介绍:

PWA 系列:

由美国普惠公司研发, 是最早发展起来的单晶合金, 在定向合金 PWA1422 基础上去除了低熔点元素 C、B、Zr 和 Hf 等, 增加 Ta 含量, 提高了合金的初熔温度和固溶处理温度。



CMSX 系列:

CMSX 系列单晶属于英国罗·罗公司, 在军民用航空发动机中的应用已较广泛和成熟, 且成功经历了系列化的发展。



Rolls-Royce®

R-R 公司商标

René 系列:

由美国通用公司开发，其中第二 René N5、三代 René N6 单晶含 B 和 C，因此适用于制作复杂结构的铸件，应用最广。



TMS 系列:

由日本国立材料研究所开发的 TMS 系列单晶成功进行了系列化的发展，特点在于热处理窗口非常宽，有助于大尺寸零件的热处理，且 Mo 含量高，有效提高了蠕变性能。



单晶高温合金在涡轮叶片上的应用:

	牌号	发动机型号	应用机型
第一代	PWA1480	JT9D	B747、A300
	CMSX-3	GMA2100	/
	DD3 (我国)	直升机小发动机	涡轮叶片
第二代	PWA1484	PW2000	B757
		PW4000	A300、A310、 A320、A330、 B757、B767、 B777、A319、 A320、A321
		V2500	A319、A320、 A321
	René N5	GE90	B777、A320
		CFM56-7	B737
	CMSX-4	Trent 800	B777
		RB211	B757
		F119	F22
	CMSX-4ULS (La+Y)	Trent 900	A380
	DD6 (我国)	太行发动机	J11B
第三代	CMSX-10K	Trent 1000	B787
	CMSX-10N	Trent XWB	A350
	DD9 (我国)	太行改进型发动机	/

长期以来，航空发动机一直都是我国航空工业中的一个短板，迄今为止，我国部分军用飞机依然使用国外发动机，商业航空领域，前不久刚下线的 C919 大型喷气式客机使用的发动机也来自于一家美法合资企业。

在发动机研制生产中，尤其耐高温的单晶涡轮叶片是研制生产中的难点中的难点，目前世界上只有美国、俄罗斯、英国、日本、中国等少数几个国家能够制造。

近年来，国内在单晶涡轮叶片制造中也取得了较大的进步，自 20 世纪 80 年代中期中国第一件以 DD3 为材料的单晶空心涡轮叶片诞生以来，中国的航空材料人已经为多种型号先进航空发动机提供了大批单晶叶片，将某些装配单晶涡轮叶片的发动机送上蓝天。可以说，中国航空发动机的每一次重大进步背后，都有高性能单晶叶片不可或缺的功劳。

更多材料应用案例，欢迎登陆新材料在线®APP，大数据板块查看。



新材料在线® APP

500万+材料人都在关注



长按识别
立即下载