

# DZ38G抗热腐蚀定向凝固叶片合金的组织与力学性能

中国科学院金属研究所 唐亚俊 张静华 于 洋 胡壮麒  
国营西安发动机公司 廖华清

## 摘 要

本文利用“铸型移动法”定向结晶工艺研究了DZ38G抗热腐蚀定向凝固涡轮叶片合金的组织 and 力学性能。该合金含铬量为16wt%，对有害微量元素控制严格。研究结果表明：铸型温度为1500°C，移动速度在6~7mm/min条件下，可以获得按〔001〕平行方向排列的致密挺拔的柱状晶组织。采用1190°C，2h AC+1090°C，2h AC+850°C，24h AC热处理时，可以得到满意的综合性能。在与K38合金具有同样优良的抗热腐蚀条件下，使用温度比K38合金提高40~45°C。

## 前 言

DZ38G合金，是为热腐蚀条件下使用的燃气轮机叶片材料。作为海洋和工业条件下应用的叶片，由于使用的燃油含硫量高，加上在海洋环境下运行，叶片会发生严重的热腐蚀破坏。因此，叶片材料既要满足燃气轮机高温强度的要求，还应具有优越的抗热腐蚀性能。

目前世界各国燃气轮机用的叶片材料总是以In-738合金为代表（与国内的K38合金相当）<sup>〔1〕</sup>，该合金具有优良的高温强度、良好的抗热腐蚀性能和好的组织稳定性。K38合金是以原K38合金为基础，对铝、钛等元素含量进行了调整，发展成为一种与K38合金具有相同抗热腐蚀性能的高温合金，使用温度比K38合金高20~25°C。利用定向结晶工艺研制的化学成分与之相仿的DZ38G合金，使用温度又可比K38合金高25°C。该合金可用于900°C左右工作的涡轮叶片和950°C以下工作的导向叶片。

## 一、合金成分

海洋和工业条件下使用的燃气轮机叶片材

表1 DZ38G合金成分（wt%）

合金元素	C	Cr	Co	W	Mo	Ta	Nb	Al	Ti	B	Al+Ti	Ni
成分范围	0.08 ~0.14	15.5 ~16.4	8.0 ~9.0	2.4 ~2.8	1.5 ~2.0	1.5 ~2.0	0.4 ~1.0	3.5 ~4.3	3.5 ~4.3	0.005 ~0.015	不小于 7.3	基

料，其成分设计必须从抗热腐蚀、高温强度、长期组织稳定性以及工艺性能多方面考虑。综合上述因素和定向结晶条件，以原K38G合金成分为基础，降低碳含量，研制成命名为DZ38G定向凝固叶片合金，成分列于表1。

合金成分具有如下特点：

### 1. 含铬量高

Cr元素抑制碱性熔融，促进保护性Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜的形成，以利于提高抗酸性熔融的能力。DZ38G合金中含有16wt%的Cr，因而具有优良的抗热腐蚀性能。表2为热腐蚀试验结果。

表2 DZ38G和K38合金热腐蚀比较  
(mg/cm<sup>2</sup>)<sup>\*</sup>

合金牌号	800°C			900°C		
	h					
	50	150	300	50	150	300
DZ38G	0.32	0.92	2.33	6.35	28.82	60.82
K38	0.28	1.08	3.10	8.57	29.52	66.41

<sup>\*</sup> 单管器试验，零号轻柴油，空气与燃油比为41:1，5ppm盐氛。

As07 60307-20/0703

## 2. 适宜的碳含量

含碳过高, 形成各类碳化物数量也较多, 对抗热腐蚀是不利的<sup>[1]</sup>。但柱状晶合金仍然存在纵向晶界, 仍需一定的晶界强化元素, 为此加入了表1所列的碳元素。

## 3. 合金的纯度高

有害微量元素的存在, 直接影响镍基高温合金的高温特性。该合金比较严格地控制了合金中的有害微量元素, 因而减少了合金的树枝状和共晶反应偏析。合金组织稳定, 经850℃、4000h长期时效未发现 $\sigma$ 相析出。合金中不含Hf, 原料可回收, 价格比含Hf合金便宜。

## 二、合金的组织特点

叶片的低倍和枝晶组织如图1所示, 枝晶

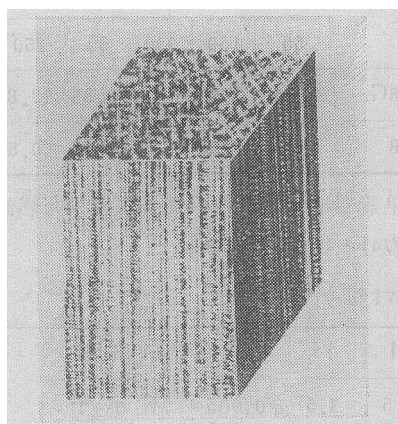
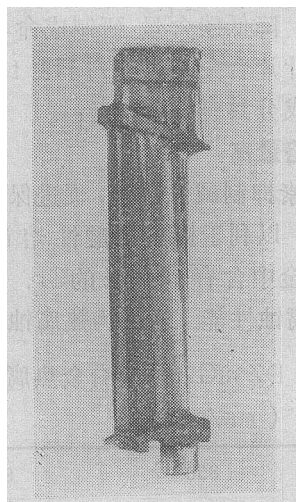


图1 DZ38G合金柱状晶叶片及其枝晶组织

为按 $[001]$ 平行方向排列的“十字形”, 平均枝晶臂距约0.25mm。组成相主要为 $\gamma$ 、 $\gamma'$ 、 $\gamma-\gamma'$ 共晶及MC碳化物,  $\gamma'$ 是该合金最基本的沉淀强化相, 约占合金重量的52%,  $\gamma'$ 有二种形态即凝固后期形成的粗大 $\gamma'$ 和在固溶后冷却及时效过程中析出的细小 $\gamma'$ , 均匀弥散分布于基体中。一般认为, 当 $\gamma'$ 总量一定时, 这种细小 $\gamma'$ 相的析出和合理匹配能提高合金的性能。

## 三、合金的力学性能

测定力学性能的试样取自定向凝固的板坯, 试样加工前都经如下规范的热处理:

1190℃, 2h AC+1090℃, 2h AC+850℃, 24h AC。

作为工业燃气轮机叶片材料, 热腐蚀是材料的主要破坏形式之一, 热腐蚀性能主要取决于合金成分。经试验, DZ38G合金抗热腐蚀性优于K38合金, 结果如表2所示。

### 1. 瞬时拉伸性能

室温至1000℃的纵向和横向瞬时拉伸性能数据列于表3和图2。拉伸强度较等轴晶的K38G合金稍有提高, 塑性明显改善。

### 2. 持久性能

表4、图3为合金不同温度等温线外推3000

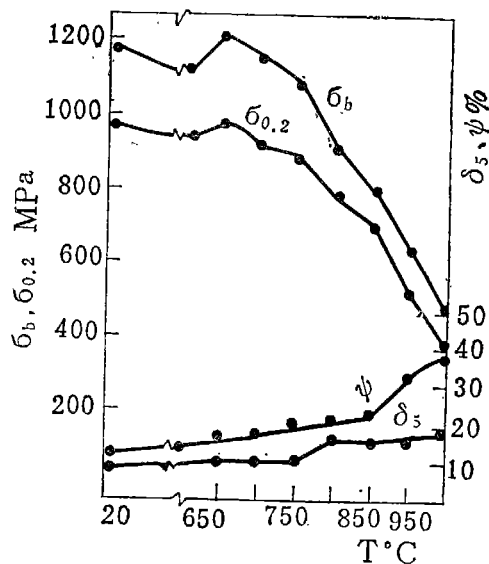


图2 DZ38G合金瞬时拉伸性能

表3 DZ38G合金的拉伸性能  
(除注明者外均为纵向数据)

$\theta, ^\circ\text{C}$	$\sigma_b$ MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	$\delta_5$ %	$\psi$ %	$a_k$ $\times 10^5 \text{ J/m}^2$
室温	1180	989	8.7	13.5	2.16
650	1134	956	8.9	14.5	
横向	976	762	12.5	8.8	
700	1224	1000	10.4	16.0	
横向	924	807	8.2	9.7	
750	1145	915	10.6	17.7	
横向	974	778	5.3	4.3	
800	1102	902	10.5	17.3	
横向	900	797	6.9	13.2	
850	918	793	15.2	20.7	1.30
横向	820	762	11.0	7.5	
900	807	724	16.0	22.8	
横向	732	574	11.2	15.7	
950	628	547	16.9	33.2	
1000	479	413	18.0	41.0	

表4 DZ38G合金的持久强度极限

$\theta$ $^\circ\text{C}$	$\sigma_{100}$	$\sigma_{300}$	$\sigma_{500}$	$\sigma_{1000}$	$\sigma_{3000}$
	MPa				
650	1010	971	951	922	873
700	863	814	794	765	726
750	706	667	647	618	596
800	569	530	505	481	432
850	456	402	373	343	284
900	334	289	275	245	201
950	235	186	167	132	78
1000	142	93	78	—	—

小时以内的持久寿命,表5为典型的持久性能,图4为持久延伸率与温度的关系,塑性较低的

区间在700~750℃之间,所以定向凝固合金同样存在中温低塑性区。

从上述图表可见,持久强度和塑性比等轴晶K38G合金高得多,650~700℃的中温持久寿命比K38G合金高4~6倍,寿命越长;持久强度极限提高越多,这对长寿命燃气轮机的实

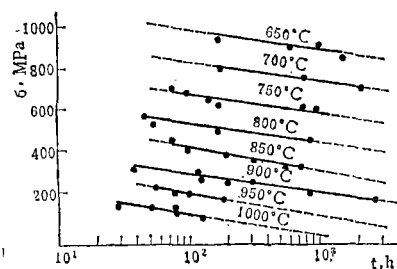


图3 DZ38G合金不同温度的时间寿命

表5 DZ38G合金典型的持久性能

$\theta, ^\circ\text{C}$	$\sigma_b$ MPa	取向	t, h	$\delta_5$ , %
650	883	纵向	1494.0	11.2
700	736	纵向	2095.0	6.8
750	637	纵向	918.0	10.8
	686	纵向	142.0	13.0
800	490	横向	64.0	6.0
		纵向	879.4	11.2
	539	纵向	185.0	6.2
850	363	纵向	164.0	8.4
		纵向	550.2	14.0
	422	纵向	199.0	11.5
900	206	纵向	97.5	5.8
		纵向	2650.0	16.5
	235	纵向	876.1	15.2
950	216	纵向	320.2	6.6
		纵向	182.8	6.8
	245	纵向	76.4	14.0
1000	127	纵向	125.8	17.3

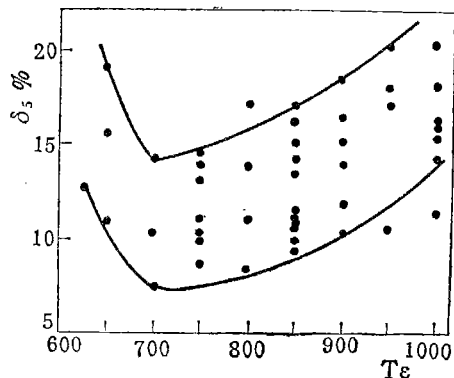


图 4 DZ38G合金延伸率与温度的关系

际运行越为有利。

关于定向凝固合金的横向性能，是设计和材料科学工作者极为关心的课题。过去有关横向性能的报道很少，Northwood 等人曾对 In-713C 定向凝固合金的纵、横向性能作过对比，除瞬时拉伸强度和塑性变化不大外，高温持久寿命要比纵向低得多，特别是750℃的横向持久寿命几乎是纵向的1/8<sup>[2]</sup>。国内也发表过 DZ3 等定向凝固合金的横向性能数据，其值相当于等轴晶材料的水平<sup>[3]</sup>。

通过对750、850℃横向持久性能测定得知，DZ38G合金的平均持久寿命达到纵向的40~50%。

### 3. 蠕变特性

图5所示为800℃、432MPa合金的纵向和横向的蠕变曲线，可以看出：DZ38G合金是属于高强度低蠕变量类型的定向凝固高温合金，蠕变的三个阶段明显，纵向第Ⅰ阶段蠕变速率高于等轴晶 K38<sup>[1]</sup>合金的蠕变量，10小时的蠕变量为0.92%。根据 E.R.Leverant 等人对定向凝固合金蠕变特性的研究<sup>[4]</sup>，认为是由于内禀-外禀堆垛层错对的长距离（数个 $\gamma'$ 粒子尺寸）粘滞滑动的结果。第Ⅱ阶段蠕变速率大幅度降低，导致中温持久寿命的延长。合金具有明显的第Ⅲ阶段蠕变，这是定向凝固技术的贡献，其意义在于用来预测零件的断裂寿命，防止使用中灾难性事故的发生。

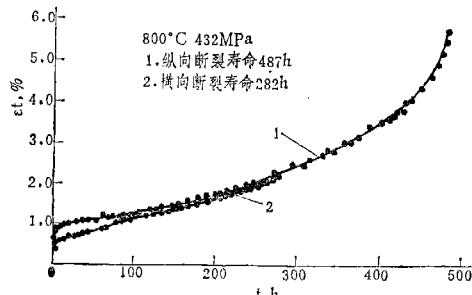


图 5 DZ38G合金的一种蠕变曲线

### 4. 机械疲劳性能

旋转弯曲疲劳试样直径为7.52mm。缺口试样的缺口半径为0.75mm，结果列于表6。合金在850℃的光滑机械疲劳比等轴晶合金提高78.5MPa，缺口提高约68.6MPa。

表 6 DZ38G合金旋转弯曲疲劳极限

试验温度 °C	循环数 $> 10^7$ 次的旋转疲劳 MPa	
	光滑	缺口
850	392	314
横 向	314	

### 5. 低周疲劳性能

在 ESH50E 低周疲劳试验机上测试了 DZ38G 合金在700℃的应变疲劳。每分钟循环15次，三角形波。试验表明，合金具有很好的低周强度，图6所示为 DZ38G 合金低周疲劳应变-寿命曲线。

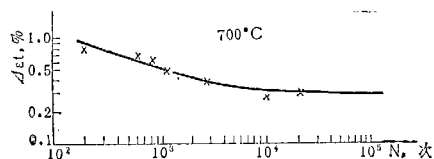


图 6 DZ38G合金的应变疲劳曲线

### 6. 叶片取样的持久寿命

从叶片上取样加工成标距直径为1.5mm的微型试样，测得850℃、422MPa的平均持久寿

# 常温固化耐高温的7号粘接剂

庄文媛

## 摘 要

7号胶粘剂是以聚氨酯胶为基础添加耐热助剂和填料配制而成的常温固化胶粘剂,可在 $-50\sim+250^{\circ}\text{C}$ 范围内使用。用于氟橡胶布和金属之间的粘接,经十多年使用,证明符合设计要求,并早已通过技术鉴定。本文就该胶粘剂的工艺、性能、应用范围以及评定方法进行了阐述。

## 一、前 言

新型飞机后机身高温区域中所有电缆都需装保护套管,以保证电缆连接的仪表正常工作。保护套管的材料为高温氟橡胶涂在玻璃布上制成的氟橡胶玻璃布,牌号是B501。将胶布成型为套管时,需要一种粘接剂。该粘接剂的技术要求是:可常温固化又必须耐高低温( $-50\sim+200^{\circ}\text{C}$ );和惰性的氟橡胶布粘接强度必须达到 $14.7\text{N}/2.5\text{cm}$ ,  $200^{\circ}\text{C}\times 50\text{h}$ 老化后达 $9.8\text{N}/2.5\text{cm}$ ;产品成型工艺上要求粘接剂具有高的初粘强度;此外还应具有耐油、耐水、耐湿热、耐老化、防腐等综合性能。

美国F-16飞机和苏联米格-23飞机所用包复管仍旧用缝纫的办法缝成套管,在缝制针眼处常常由于飞机震动引起开裂,失去保护电缆的作用,必须经常更换,而更换却是不容易的事。我国新机急需解决此种粘接剂,以保证仪表安全、可靠地工作,这就是本课题研究之目

✕      ✕      ✕      ✕      ✕

命为125小时。由于铸造材料的薄壁效应,从叶片上所测性能一般都比标准试样低,尤其直径仅为 $1.5\text{mm}$ 的微型试样更是如此。DZ38G合金定向凝固叶片所实测的持久寿命,仍可达到等轴晶合金标准试样平均值的2倍。

## 四、结 语

DZ38G合金性能在保留K38合金优良的抗热腐蚀性能条件下,具有较高的热强性能,优越的高、中温力学性能和塑性,良好的疲劳性能和蠕变特性,较好的横向力学性能,使用温

的。粘接剂的研究工作始于1973年。在选材方面,若用一般橡胶材料——天然、氯丁、丁腈的粘接剂(如市面上销售的XY401, FN305氯丁胶粘接剂, XY502丁腈胶粘接剂等)均难以胜任 $200^{\circ}\text{C}$ 的温度;而硅、氟胶虽耐高温,但粘接强度不好,常温固化困难。我国生产的聚氨酯胶来源丰富,价格比硅氟胶便宜。它具有常温固化、初粘性能好、耐低温( $-60^{\circ}\text{C}$ )、防腐、耐油、耐大气老化等优点。1969年我们首先采用聚氨酯胶研制了常温固化耐 $150^{\circ}\text{C}$ 的6号胶液,并成功地用于飞机座舱隔热系统的粘接。在这个基础上,又进一步对耐热问题进行研究,在配方中添加耐热助剂和填料,从而使材料耐温性提高到 $200^{\circ}\text{C}$ ,短时(24h)达到 $250^{\circ}\text{C}$ ,其它性能指标也符合要求,命名为7号胶液。该胶液性能良好,满足设计和使用要求,于1979年通过技术鉴定。1980年获得航空工业部重大科技成果三等奖,1981年获原国防科委四等奖。

✕      ✕      ✕      ✕      ✕

度比K38合金高 $40\sim 45^{\circ}\text{C}$ ,适于制造长寿命的海上和工业用燃气轮机的叶片材料。

该工作得到朱耀霄研究员的支持与指导,王素坤、张玉生同志做了部分工作。

## 参考文献

- [1] 金属研究所等,《机械工程材料》,1978.4.
- [2] Northwood, J.E. and Homewood, T.,《Metallurgia and Metal Forming》Sept, 1974, No.9.
- [3] 航空材料研究所、上海交通大学,《航空材料》,1981,5.
- [4] Leverant, E.R, et al, Metall. Trans. 2(1971).