

第七届学术年会论文集



航空部 第六二一研究所
工业部

第七届学术年会论文集

(详细摘要)

航空工业部 第六二一研究所

一九八六年五月

第七届学术年会论文集

编委会

主	任	颜鸣皋					
副	主	任	李成功				
编	委	黄恢元	周瑞发	张延生	邓日红	沈嗣唐	
		刘才穆	何晋瑞	王鸿熙	胡少枝	葛志明	
编	辑	甘长茂	洪时藏	朱慕霞			

前 言

正当胜利完成“六五”规划并进入执行“七五”规划之时，我们迎来了六二一所建所卅周年纪念日。我们汇编了这本论文集特向这个纪念日献礼，并向领导和同志们汇报我所近年来部分科学研究的成果。

三十年来，在党的科技政策的指引下，在国防科工委和航空工业部的领导下，我所全体职工团结奋斗，从无到有，从小到大已建成为一个专业齐全，设备配套，具有较高水平的科技队伍的综合性航空材料研究所。特别是党的十一届三中全会以来，我所在科技体制改革的高潮中，在建立军民结合体制的过程中，在打基础，上水平，两个文明建设一起抓等方面做了大量的工作，已成为我部航空材料、热工艺、测试技术的研究与发展中心，学术思想也异常活跃。这本论文集主要收集了近几年来未公开发表或虽发表过但有代表性的论文报告，从学术方面来反映我所科技工作的部分情况。本论文集共收论文摘要计117篇，其中材料应用44篇，热工艺29篇，测试34篇和其他有关科技管理、人才培训和政治思想工作等10篇。

我们相信，随着科技体制改革的深入发展，面向四个现代化，我国科研事业将会迎来又一春天，各种学术思想将象百花争艳一样，竞相吐芳，而学术活动将会更蓬勃地开展起来，六二一所自然也会呈现一派更加兴旺发达的景象。

这本论文集的出版，得到所各级领导，科技工作者，工人同志们的大力支持，几位编辑更付出了辛勤劳动。对此我们深表谢意。由于准备时间比较仓促，篇幅有限，在编写、制图等方面，难免存在不少问题，请领导和同志们指正。

六二一所科学技术委员会

一九八六年五月

目 录

一、材料与应用

无铅高强度定向凝固高温合金DZ-4.....	DZ-4 合金 题目组 (1)
DZ-22 合金薄壁性能研究.....	王罗宝等 (3)
DD3单晶合金的成分计算和实验研究.....	吴仲棠等 (3)
DD3单晶合金的蠕变行为.....	陈德厚等 (6)
定向凝固高温壳型研究.....	夏明仁等 (8)
控制单晶零件横向晶体取向的可能性研究.....	钟振纲等 (10)
凝固速度对 DZ-22 合金组织与性能的影响.....	殷克勤等 (11)
GH710 合金的初生 γ' 相对组织、性能的影响.....	杜丽卿 王家正 (13)
GH710 合金的超塑性研究.....	杜丽卿 王家正 (15)
高强度 GH118 镍基合金的高温长期应力时效.....	杨玉荣 徐石斌 (17)
铸造镍基高温合金枝晶形貌观测.....	郑运荣 阮中慈 (19)
钢的氢脆.....	袁新泉 (22)
含硅超高强度钢中的下贝茵体.....	钟炳文 (24)
工艺参数对 2Cr13Mn9Ni4 不锈钢组织与性能的影响.....	钟培道 (26)
激光热处理对 1Cr11Ni2W2MoV 钢性能的影响.....	王红涛 (27)
多向模锻工艺研究.....	古奇 任鸿斌 (28)
圆盘类型锻件主要设计参数计算.....	李训悌 刘建宇 (30)
某型发动机涡轮内轴模锻件质量分析.....	吴雪鲁等 (33)
叶片精锻过程的刚粘塑性有限元法模拟.....	连建民等 (35)
重复淬火工艺对 GC-1 钢过热组织的影响.....	白富贞等 (37)
4140 钢氮基气氛保护热处理.....	张喜源等 (39)
GH99 镍基合金焊接热裂纹行为的高温金相观察研究.....	张延生等 (41)
某机起落架焊接工艺的改进.....	魏祚伟等 (43)
不锈钢板式机油冷却器钎焊工艺研究.....	卢寿平 刘昌星 (46)
超高强度钢的摩擦焊.....	侯玉年等 (47)
点焊质量电极位移法控制模型的设计.....	刘效方等 (51)
甲醇裂化气保护淬火氢脆及改进研究.....	王广生 (54)
钛合金 TC11 的工艺塑性研究.....	吴雪鲁等 (56)
两相钛合金超塑性和变形机理的研究.....	马济民 (58)
用 α 片厚度控制 TC6 钛合金盘件的机械性能.....	张志方 王庆如 (61)
Ti-1023 近 β 型钛合金的热处理研究.....	付作义等 (64)
HZL-205 高强度铸造铝合金及其应用.....	刘伯操等 (66)
水上飞机蒙皮材料 LB733 耐蚀铝合金的研究.....	刘存玉等 (68)

冷变形对铝锻件组织性能影响的研究·····	魏久祥(70)
铝及其合金的电解着色·····	陈珠琳(71)
铝合金新时效制度的研究·····	王鸿渐等(73)
某机翼六肋镁铸件的应用研究·····	赵志远 陈深传(75)
无镉新型银——金属氧化物电接点材料研究及应用·····	龚家聪(77)
铝合金熔模精铸石膏造型材料研究·····	程家宁等(80)
试论硅酸乙酯 50 在熔模铸造中的使用前景·····	胡德元 刘彩英(81)
TC6钛合金不同组织的拉伸及低周疲劳性能关系的研究·····	陶春虎 张少卿(84)
钛铸件的设计·····	谢成木(86)
钛合金精密铸造的进展·····	周彦邦(87)
钛合金高低温交替锻造工艺的原理和实践·····	高 扬 曹春晓(89)
压气机钛盘等温模锻工艺特点·····	刘建宇等(92)
铸造钛合金的氢处理细化晶粒的研究·····	潘 峰等(94)
TA7 钛合金和压气机内环的连续点焊研究·····	李朝光等(96)
焊接参数对 TA7 钛合金点焊接头疲劳寿命影响的研究·····	廖衡真(98)
钛精铸用新型耐火材料的研究·····	戴介泉 王殿斌(100)
DK3定向高温合金料浆 Al-Si 涂层组织结构研究·····	杨炳光 杨忠林(102)
LC9 合金 CgS3 状态的微观组织·····	华明健 李春志(103)
高温合金粉末中非金属夹杂物的分析·····	俞克兰 龚章汉(106)
含碳和硅的沉积层对电接点粘结的影响·····	陶正炎(108)
飞机腐蚀与选材及工艺述评·····	杨大灼(110)
“Nomex”蜂窝的研制和应用·····	许潮华等(111)
高速飞机碳纤维复合材料垂尾壁板的研制·····	于德昌等(113)
连续预浸带设备和工艺研究·····	张凤翥等(116)
中温固化树脂体系的研究·····	张学忠 朱 红(118)
耐久铝蜂窝芯胶接体系的研究·····	郑瑞琪等(120)
SY-D3抑制腐蚀底胶的研究·····	聂清武 康桂瑛(123)
低粘度液状修补胶 SY-20·····	刘真航 石 芳(126)
PVB 夹层玻璃边缘脱胶问题研究·····	林敦仪等(129)
YB-4 有机玻璃的物理老化行为·····	吴选征等(131)
SY-14 胶膜中潮气形态及其对胶接性能的影响·····	唐发伦等(133)
XM-17 密封腻子耐腐蚀性能的改进·····	黄梅星 卢锦贵(134)
硫化橡胶除氧封存研究·····	张元宁(137)
某型导弹“隐身”试验用结构吸波材料的研制·····	刘俊能(138)
飞机雷达罩用防静电涂料·····	蔚 津(141)
飞机蒙皮用底漆——镉黄环氧聚酰胺底漆的研究·····	杨和争(143)
用润滑涂层防止磨损·····	陈润斋(146)
加合液体聚硫橡胶分子量分布和本体粘度的关系及其特征对密封剂加工性能和使 用性能的影响·····	曹寿德 李玉林(148)

航空液压油抗燃烧性能及评定方法的研究	李凤兰等(149)
液体硅橡胶浇注料在熔模铸造上的应用	胡少枝等(152)

二、性能与测试

金属材料疲劳裂纹扩展和条纹形成机制的研究	欧阳杰 颜鸣皋(154)
30CrMnSiNi2A 钢 近门坎区和疲劳 裂纹扩展的断口特征	陈 英 姚子平(156)
疲劳门坎值及低速裂纹扩展速率的试验方法研究进展	丁传富等(159)
GH36高温高、低循环复合疲劳断裂特性 研究	涂柏林等(161)
镍基合金时间相关疲劳寿命预测方法研究	董照钦等(164)
断裂力学中求解应力强度因子的权函数法	吴学仁(167)
应变能区分法——一个改进的时间相关疲劳寿命预测方法及其应用	段作祥等(170)
测量裂纹扩展电位法的新进展	周洪范(172)
振动载荷对 GH36合金高温低循环疲劳行为的影响	欧阳杰等(173)
钛合金叶片振动的实验应力与有限元计算	黄新跃 侯静泳(176)
温度对 GH36合金断裂韧度的影响	张 志(178)
由断口形态反推当量初始质量 (a_0) 的研究	刘才穆 陈英(179)
两种铸造镍基高温合金蠕变三阶段曲线和微观观察	张行安 刘宜如(182)
海航某机压气机叶片的剩余疲劳强度及寿命估算	侯静泳(185)
影响氢脆断口形貌因素的研究	袁新泉 冷 松(187)
超高强度钢疲劳裂纹扩展行为的透射电镜观察	钟炳文 宋德玉(190)
GC-4 钢的氢浓度与临界应力的 关系	熊家锦等(192)
提高显微硬度测试准确性的方法	陆经德(195)
ZL-208 铝合金相分析	潘光华等(197)
电感耦合等离子体发射光谱在贵金属材料分析中的应用	黄兴灵等(199)
用脉冲极谱或示波极谱测定高温合金中杂质锡	戴兆琛 朱重庆(200)
K17合金中铬钴铝钼钛钒铁磷九元素 x 射线荧光分析方法	杨丽华等(202)
双层感应圈加热快速测定金属中的氢	张克顺 周静漪(204)
涂层辉光光谱分析及精确度统计	蔡华义等(206)
钛合金中氧最佳分析条件选择	张克顺等(208)
J750V 型真空直读光谱仪在 HZL-205 铝合金分析中的应用	刘建琳 钟载良(209)
不同环境条件下碳/环氧层压板性能的理论研究	王山根 邓 猛(211)
具有冲击损伤的石墨/环氧层板的疲劳行为	邵毓俊(214)
碳/环氧复合材料缺陷和力学性能的关系——缺陷对碳/环氧复合材料横向拉伸性能的影响	张登高 王山根(216)
无孔蜂窝胶接结构飞行效应模拟试验研究	赖士洪等(219)
飞机座舱骨架内有机玻璃的缺陷检查	黄正云 史伟琪(221)
4*有机玻璃座舱透明件去应力退火工艺参数的光弹性研究	王自明(225)
碳纤维复合材料垂尾壁板的超声喷水检验	刘于藩(227)
用声发射研究碳纤维的力学特性	魏 兴等(230)

三、思想政治工作与科学管理

研究所政工干部队伍结构浅议·····	龙鸿建、石生龙(232)
试论促进科技成果商品化与建设社会主义精神文明·····	朱荃芳等(234)
把思想政治工作渗透到管理工作中去的探讨·····	高会祯(237)
从一个应用研究所体制改革的实践初探经济管理的作用·····	竺培才等(240)
技术预测方法及其会话式计算机程序的编制·····	沈德官(242)
谈谈科技队伍的结构问题·····	王根位(244)
在继续工程教育中的重点问题·····	吴世德(246)

四、其他

SIP-422M 三坐标测量机的原理与故障分析·····	黄纪福 翁文英(247)
航空仪表电位器、电刷材料“金属瘤”问题的初探·····	汤道坤 何安莉(250)
某燃油泵轴承失效原因的分析·····	马宏海(253)

无铅高强度定向凝固高温合金—DZ4

DZ4 合金题目组

DZ4 合金是专为定向凝固涡轮叶片和导向叶片设计研制的新材料,合金具有优异的持久蠕变性能,100 小时的持久强度极限:760℃为 804MPa,980℃为 206MPa,1040℃为 141MPa,与目前美国 PWA1422 合金相当(图 1),由于 DZ4 合金比重小,其比强度比 PWA1422 合金高,DZ4 合金比 In-100 和 K3 合金可提高使用温度 30~70℃(图 2),合金还兼有良好的综合性能,诸如拉伸性能、蠕变性能(图 3)、疲劳性能、横向性能、薄壁性能以及有较好的抗氧化和抗环境腐蚀性能。

众所周知,同材料的等轴晶比柱状晶有较高的晶界强度。因此,至今所有服役使用的定向合金都添加元素铪(Hf)来强化纵向晶界和横向性能,从而满足合金浇注零件时可铸性的要求;但铪的加入影响合金采用尽可能高的固溶热处理温度,同时将提高合金和返回料的成本。本文介绍了 DZ4 合金不添加铪而控制缩小有效凝固区间来获得满意的合金可铸性,这一结果已为浇注数以千计的带有复杂型芯的薄壁(0.5mm)定向涡轮叶片所证实。合金对壳型和型芯具有良好的相容性,表现出优异的抗晶界开裂性能,无铪可铸性良好定向合金的研究成功,为设计研制定向凝固高温合金开辟了一种新的途径。

合金的显微组织特征有力地支持了上述结论,本合金含有高的 γ' 相(61vol%),而无 $\gamma+\gamma'$ 共晶相,在一般的镍基高温合金中 $\gamma+\gamma'$ 共晶是常有的相,而 DZ4 合金的显微组织消除了 $\gamma+\gamma'$ 共晶,从而获得了小的有效凝固区间,同时由于消除了 $\gamma+\gamma'$ 共晶低熔点相,合金可以提高固溶温度到 1270℃而不过烧,使 γ' 最大限度地溶解并在 γ 基体上析出均匀弥散分布的约 0.4 μm 的 γ' 粒子。此外,合金组织中部分块状和部分骨架状 MC 初生碳化物比较不稳定,在热处理过程中 MC 分解为大量 M_{23}C_6 和 M_6C 相。合金在使用状态具有良好的组织稳定性,经 850 和 930℃、3000h 长时无应力时效,不出现有害的 TCP 相。

DZ4 合金已通过了 300~950℃模拟发动机的热冲击考核,经 600 循环次无裂纹,较 M17 合金提高至少六倍以上,较 8⁺ 合金至少提高十二倍以上。

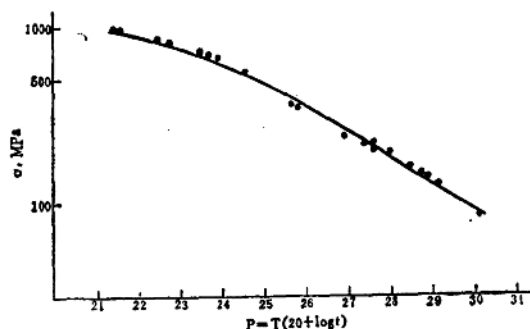


图1 DZ4 合金 L-M 曲线

DZ4 合金已被应用于先进性能的发动机(图4)的定向无余量 和定向空心无余量涡轮叶片。

本文首次公布了 DZ4 合金的成分,并报导了合金的主要力学性能和组织特征。

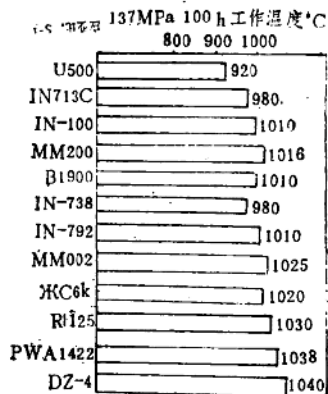


图2 DZ4 合金与几个典型合金使用温度的比较

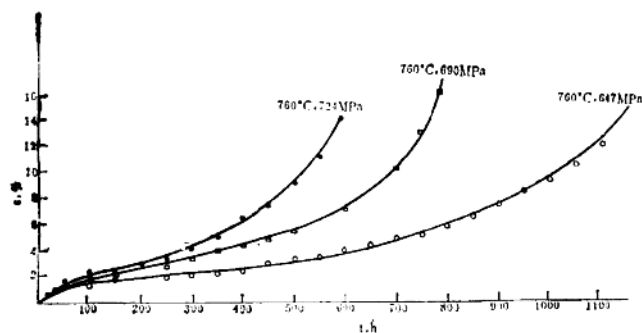


图3 DZ4 合金 760°C 下不同应力的蠕变曲线

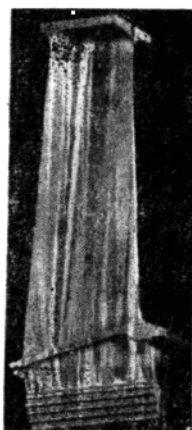


图4 某型发动机 DZ4 合金一级定向空心涡轮叶片

DZ22 合金薄壁性能研究

王罗宝 陈荣章 王玉屏 殷克勤

铸造高温合金的组织与性能强烈地受到铸造工艺和凝固条件所影响,当然也与铸件的壁厚有密切的关系。近年来,材料工作者和设计工作者越来越重视零件(叶片)取样性能与标准试样性能的差异。在一些技术标准中规定必须从零件取样测试力学性能。DZ22合金是我国性能水平较高的高合金化的定向凝固高温合金,主要用于制作具有复杂内腔的薄壁空心涡轮叶片,所制叶片的最小壁厚有时达到0.5mm。因此,有必要研究合金的薄壁性能,了解合金制成薄壁零件后的实际性能水平,以保证合金安全可靠地使用。

本文采用微型板状试样测试合金的中、高温持久性能,其中一部分试样取自特制的定向薄板,另一部分试样取自制成的实心叶片和空心叶片。试样均加工成所需厚度的板状试样。试样机加工前,经过热处理:1210℃/2h, AC+870℃/32hAC。测试持久性能是在大气中进行的。测试了760、980、1040℃的纵向持久性能,760、980℃横向持久性能以及室温拉伸性能。研究了在760℃下不同应力(689, 723, 764, 804MPa)和不同厚度试样($\delta=1, 1.5, 2.0, 3.0\text{mm}$)对持久性能的影响。用常规金相方法和电子显微镜研究了薄板试样的组织状态,并用电子探针分析了合金元素的枝晶偏析情况。试验结果表明:薄板试样的室温拉伸性能与标准试样相当;随着试样厚度的减小,中、高温持久寿命均有所降低,与标准试样相比,约降低三分之一。但对持久延伸率降低不多。用薄板试样测试的各项性能指标(包括室温拉伸、760和980℃持久强度)都能满足技术条件要求。本文还研究了薄板试样的组织状态,讨论了持久寿命随厚度减小而降低的原因,认为环境的影响可能是一个重要因素。

DD3 单晶合金的成分计算和实验研究

吴仲棠 温仲元 陈德厚

本文根据试验的单晶合金必须满足的下列要求:

- (1) 好的高温强度,能满足涡轮叶片在最高工作温度为1000℃下长期工作的强度要求;
- (2) 具有优越的热疲劳性能;
- (3) 具有一定的抗氧化抗热腐蚀性能;
- (4) 少含或不含稀缺元素Co、Ta、Re等,使原材料充分立足于国内。

在大量分析了合金元素的作用和在单晶合金中的影响的基础上,选择W、Mo复合固溶强化和Al、Ti沉淀强化的Ni-Cr-Co-W-Mo-Al-Ti作为本研究的合金系统。

采用渡边的方法计算 γ' 量, α_r 、 α_r' 和LM、 δ 。采用R.F.Decker的方法计算 $\bar{N}_v^r$ 、 $\bar{N}_v^{r'}$ 。在Ni-Cr-Co-W-Mo-Al-Ti系合金中,因子个数为b,故选取正交表 $L_{25}(5^6)$ 和 $L_{16}(4^5)$ 分别计算各合金元素及Al+Ti, W+Mo的影响,通过作图分析可以看出它们对 γ' 量, $\bar{N}_v^r$, $\bar{N}_v^{r'}$, 点阵常数及错配度的影响规律。从而预测,当W+Mo $\geq 9\text{wt}\%$, Al+Ti

在7.5~8.5wt%，合金将会有较理想的 γ' 量和点阵错配度，并且不析出 σ 相，因而合金会有较好的性能。

通过计算选出的若干化学成分的单晶合金都先经真空感应炉熔炼成母合金，然后在ISP/Ⅱ-DS真空感应定向炉采用快速凝固法，通过螺旋晶体选择器制取 $180 \times 35 \times 8\text{mm}$ 及 $180 \times 35 \times 15\text{mm}$ 的单晶板坯，经 $1260^\circ\text{C}/4\text{h}$ ， $\text{AC}+870^\circ\text{C}/32\text{h}$ ，AC热处理后按航材试验方法加工成 $\phi 3$ 和 $\phi 5\text{mm}$ 持久试样，测定760、850、980、1040及1093 $^\circ\text{C}$ 的持久性能。为了验证合金设计方法的可靠性，对单晶合金进行了相分析。

结果表明，C含量对760 $^\circ\text{C}$ 中温性能影响不显著，但对高温性能的影响却非常显著，1040 $^\circ\text{C}$ 的高温持久寿命随合金中C含量的增加成线性关系下降（图1）而与合金的 γ' 数量，电子空位数及点阵错配等组织因素关系不大。这是因为MC碳化物在高温下成为蠕变裂纹及扩展的通道，如图2所示。为保证单晶合金优越的高温性能，应限制 $\text{C} < 0.01\text{wt}\%$ 的水平。

Al+Ti在7.5~9%范围内，持久寿命随Al+Ti总量增加而增加，而850及1040 $^\circ\text{C}$ 的持久寿命则随Al、Ti总量增加至一最大值而后下降，如图3、4所示。这个最佳的Al、Ti总量处于7.8~8.3wt%之间。850 $^\circ\text{C}$ 性能下降的S14、D1、S12、S3、S15、S13是由于它们的 $\bar{N}_V$ 和 $\bar{N}_V'$ 值或多或少地超过2.31和2.41而析出 σ 相之故。当DD3的Al+Ti超过8.3wt%后，其点阵错配大于0.01埃（错配度 $\delta > 0.28\%$ ），1040 $^\circ\text{C}$ 的持久性能下降，本文支持了对于高温强度来说，点阵错配度要小的看法。图5给出了错配度对1040 $^\circ\text{C}$ 持久寿命的影响。对相分析结果进行相成分计算，分配系数的计算， r' 中Al浓度的计算表明，采用渡边方法对合金成分进行正交设计计算的设计研究是可行的。

为了不使 γ 固溶体析出 σ 相，电子空位数应小于2.31，为了限制除 σ 相以外的有害相析出， γ 固溶体的成分由下式决定：

$$\frac{C_{\text{Cr}}}{0.4} + \frac{C_{\text{Mo}}}{0.17} + \frac{C_{\text{W}}}{0.13} \leq 1$$

DD3合金的成分满足了这个要求，经850 $^\circ\text{C}$ 长期时效后，未见 σ 相及其它有害相的析出。为了保证合金有较好的抗氧化抗腐蚀性能，含Cr量定为9.5~10wt%，这时 $\text{W} + \text{Mo} = 9\text{wt}\%$ 左右时性能较好。

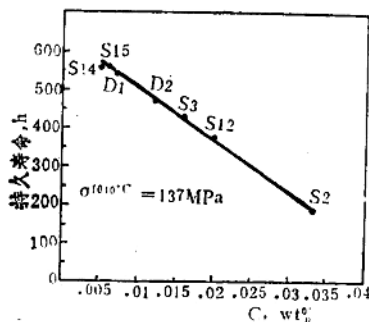
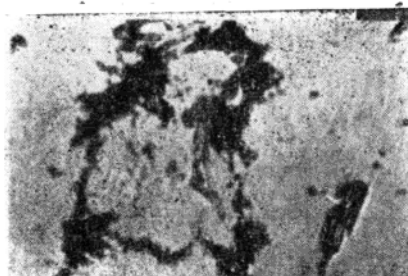


图1 C含量对1040 $^\circ\text{C}$ 持久寿命的影响。

综上所述, 我们认为这种合金设计研究的方法是成功的, $<0.01\text{C} - 5\text{Co} - 18.5(\text{Cr} + \text{Mo} + \text{W}) - 8.1(\text{Al} + \text{Ti}) - \text{Ni}$ 的成分可保证该合金具有 60wt% 的 γ' , 良好的组织稳定性和优越的中、高温综合性能。碳含量对单晶合金的高温性能有显著影响, 应严格控制, 尽可能低。 N_{γ} 和 N_{γ}' 的临界值分别为 2.31 和 2.41。



(a) 在 MC 处形成蠕变孔洞 $\times 1000$



(b) 蠕变裂纹沿 A1C 边界扩展 $\times 500$

图2 高温蠕变时 MC 成为裂纹源及扩展通道

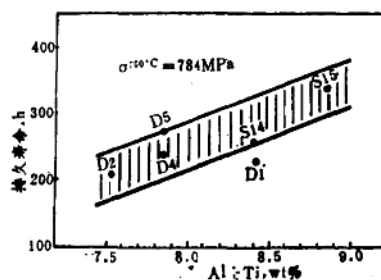


图3 Al+Ti 对 760°C 持久寿命的影响

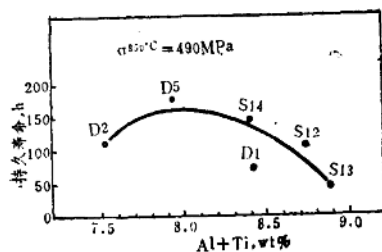


图4 Al+Ti 对 850°C持久寿命的影响

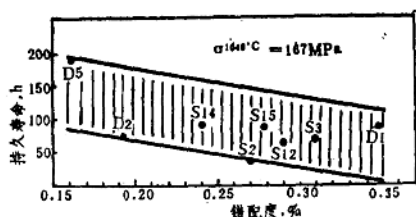


图5 铜配度对 1040°C持久寿命的影响

DD3 单晶合金的蠕变行为

陈德厚 魏书跃 吴仲棠 韩雅芳

本文研究了 DD3(0.006C-9.5Cr-5.0Co-5.2W-4.2Mo-5.7Al-2.3Ti-Ni 基) 镍基单晶高温合金的蠕变行为。采用螺旋引晶法和高速凝固工艺制取单晶板坯, 蠕变试样经过 1250°C/4h, AC 加 870°C/32h, AC, 用 X 光劳埃背反射法测定晶体取向, 蠕变试样的晶体取向在偏离[001]15°以内, 用光学和高压透射电镜检查蠕变试验前、试验过程中以及试验后的显微组织, 蠕变试验在恒载蠕变试验机上进行。

图1示出 760°C724MPa 及 1000°C196MPa 的蠕变曲线。

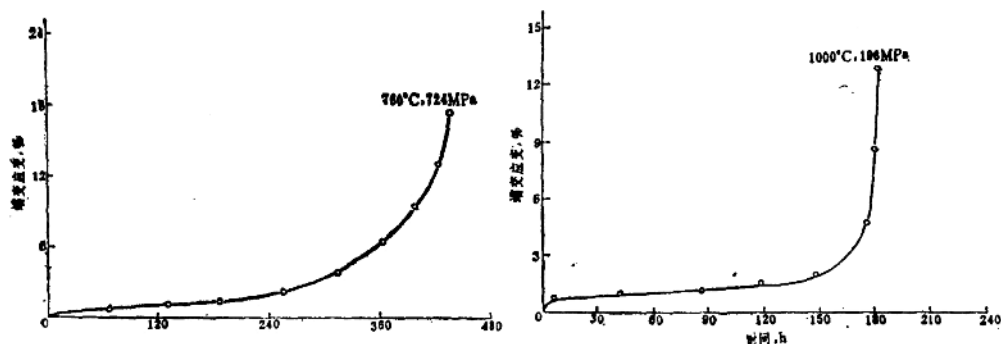


图1 DD3 合金的蠕变曲线

求出了在 760℃ 和 1000℃ 的应力指数为 8.37 与 9.44, 蠕变激活能分别为 195.16 kJ/mol 和 481.90 kJ/mol, 测出 760℃ 的蠕变背应力为 50.25 kg/mm²。采用模量和背应力校正后, 有效应力指数 $n_e = 5$, 有效激活能 $Q_e = 289.16$ kJ/mol, 可见是热激活帮助下速度过程控制了第二阶段蠕变。

在高压透射电镜 H800 上利用 $\vec{g} \times \vec{b} = 0$, 位错有效不可见判据, 由 $\vec{b} = \vec{g}_1 \times \vec{g}_2$ 关系 求出相应的位错柏氏矢量:

$$\begin{array}{l}
 \text{760}^\circ\text{C} \\
 \begin{array}{ccc}
 1.5 \text{ h} & 3.5 \text{ h} & 10 \text{ h}
 \end{array} \\
 \vec{b} = \frac{a}{2} \langle 011 \rangle \quad \vec{b} = \frac{a}{2} \langle 011 \rangle \text{ 或 } \frac{a}{2} \langle 112 \rangle \quad \vec{b} = \frac{a}{2} \langle 112 \rangle \text{ 或 } \frac{a}{2} \langle 011 \rangle \\
 \\
 \text{1000}^\circ\text{C} \\
 \begin{array}{ccc}
 1 \text{ h} & 3.5 \text{ h} & 10 \text{ h}
 \end{array} \\
 \vec{b} = \frac{a}{2} \langle 011 \rangle \quad \vec{b} = \frac{a}{2} \langle 011 \rangle \text{ 和 } \frac{a}{2} \langle 112 \rangle \quad \vec{b} = \frac{a}{2} \langle 112 \rangle \text{ 和 } \frac{a}{2} \langle 011 \rangle
 \end{array}$$

DD3 合金的蠕变性能与蠕变的微观机制有密切关系。位错组态观察表明:

在中温(760℃)下, 控制蠕变速率的是位错在 γ 内的切割。DD3 合金优越的中温蠕变性能是由于 $[001]$ 取向单晶体, 抗形变滑移能力最强; 在第一阶段蠕变期间, 层错的大量出现, 阻碍了位错运动, 加速了应变硬化过程; 高体积百分比的细小 γ' 又阻碍了位错切割 γ' 。

在高温下(1000℃)控制蠕变速率的是位错在 γ' 粒子周围的攀移, 该过程与结晶取向无关, 但与一些定向柱晶合金不同, DD3 合金有明显的第二阶段蠕变, 这可能主要归功于 γ' 定向粗化产生的 γ' 片状组织又称筏排组织, 这种筏排结构中单位体积具有大的 γ/γ' 界面, 在其上产生较紧密排列的界面错配位错, 对运动位错产生了附加阻碍, 同时这种组织还抑制了稳态蠕变中的绕越机制, 从而增强了蠕变抗力。

单晶合金中无晶界存在以及 γ' 颗粒较定向合金更细小均匀, 为筏排组织的充分发展提供了更有利的条件, DD3 合金的 γ' 和 γ 的点阵错配度 $\delta = 0.197\%$, 又为筏排组织提供了比较致密的 γ/γ' 界面位错。故 DD3 单晶合金优越的高温性能归因于: 晶界的消除, 均匀分布的细小 γ' 基础上产生的筏排组织; 提供了较密的 γ/γ' 界面错配位错, 又保证 γ' 在 1000℃ 高温下的稳定性。

试验表明, 不含稀贵元素的 DD3 合金具有优良的中、高温蠕变性能, 又以满足当前我国新机设计和老机改进型提高涡轮前温度的迫切需要, 并可以 DD3 合金为基础, 进一步研究合金强化机制和途径。

定向凝固高温壳型研究

夏明仁 胡德元 段振瑞 张鑫华

1. 对高温壳型的要求

航空发动机的发展曾大大推动熔模铸造工艺的进步,而定向凝固的研究又对熔模铸造提出了新的要求。首先对壳型提出了更高的要求,如果说普通熔模铸造时,壳型实际上只在1300℃受热几分钟,那末定向凝固就要求一种高温壳型能在1500~1600℃工作40~90min。此时壳型要不发生裂纹、鼓胀和漏钢,不产生显著的真空挥发,不发生严重的型腔反应,以便能顺利完成定向凝固过程,浇出无余量叶片。

2. 主方案选择

国外定向凝固壳型材料有:MOLOCHITE、锆英石、莫来石和氧化铝。其中氧化铝用得最多,但国内试验却不成功。刚玉壳型($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)在定向凝固时壳裂漏钢,甚至在自重负荷下折断。国内流行的解释是刚玉中含有少量氧化钠,焙烧时与粘结剂中氧化硅形成 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ 系钠长石玻璃相,从而降低刚玉壳型高温性能。

我们进行了两项验证试验:提高预烧温度和加入矿化剂,发现两者都能显著提高刚玉壳型的高温性能。这种试验结果很难用上述流行观点解释,因此我们提出了新的看法:

(1) 氧化铝熔点2050℃,再结晶烧结温度在1750℃左右,普通刚玉壳型经950℃短时焙烧,处于欠烧结状态,不宜用相图解释中温区强度。

(2) 壳型强度的建立与粘结剂的“粘结”和“烧结”两个作用有关,而不是单纯的“烧结”作用。

(3) 刚玉壳型中温强度下降是刚玉和硅质粘结剂在一定条件下的“粘结失效”和铸造工艺条件下的“欠烧结”两个综合因素造成的。

由此找到一条加矿化剂提高壳型高温性能的新途径。

3. 氧化铝壳型研究

经过34次矿化剂试验,找到一种在氧化铝涂料中加铝、硅、钙矿化剂的高温壳型、成功地用于定向凝固和单晶,代号811A,定向凝固氧化铝壳型高温性能大大优于普通刚玉壳型,而成本与普通刚玉壳型相当。811A与普通刚玉、铝矾土合成料和熟料四种壳型高温强度的比较见下表。其中811A高温强度最高。

品 名	高 温 抗 弯 强 度, MPa				
	950℃	1050℃	1300℃	1400℃	1500℃
811A	1432	952	111	—	330
刚 玉	872	701	99	19~78	10~19
铝矾土合成料	892	1179	423	10~118	29~60
铝矾土熟料	1616	1433	247	392	157

4. 氧化铝壳型高温性能提高的原因探讨

图1是811A和普通刚玉壳型线膨胀曲线的比较。811A壳型膨胀曲线在1400℃有一拐点,表示有新的高温相产生。岩相分析和X光结构分析表明新相是莫来石,其数量与壳型性能有对应关系。我们认为壳型中二氧化硅在高温下与氧化铝形成莫来石新相,包在刚玉粉末周围,并使其联接起来,是氧化铝壳型高温性能提高的原因。

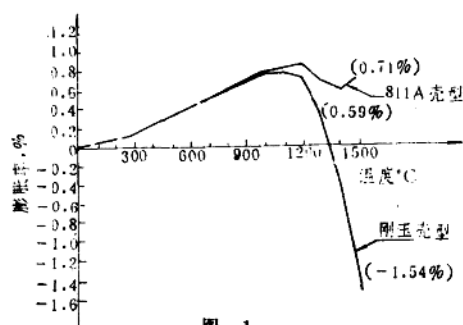


图 1

5. 氧化铝壳型应用

在ISP2/Ⅱ-DS定向炉上用氧化铝壳型浇注几百炉定向凝固叶片、试板和单晶叶片。由于高温强度好,型壳层数和厚度减少1/3,利于控制铸件横向散热条件,壳型温度可以在1500~1600℃范围内根据定向凝固要求自由选择。

用此壳型浇注了DK5、DK22定向凝固叶片,壳型强度高,反映在铸件上鼓胀量小、尺寸比较精确,叶片型面按0.13mm公差带计算,综合测量合格率为78%,表面光度Δ6,符合无余量叶片的要求。图2是WS6GⅠ级定向凝固涡轮叶片。

用氧化铝壳型浇注了重2.8kg、尺寸为240×80×19mm大试板,是目前国内最大的定向凝固铸件。

氧化铝壳型使用温度高,国内首次浇成了DD3单晶叶片、尺寸精度和表面光度也能达到无余量叶片的要求。图3是单晶涡轮叶片。

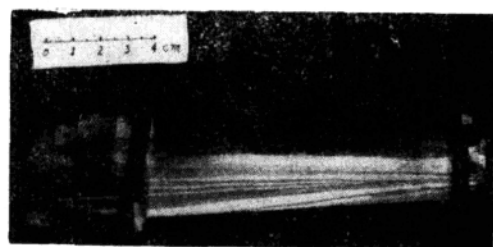


图 2



图 3