

航空科学基金论文集

(2)



航空科学基金办公室 编

航空工业出版社

30918003

V2-53

02

V2

航空科学基金论文集

(2)

航空科学基金办公室 编

航空工业出版社

(京)新登字 161 号

内 容 提 要

本分集收集了自 1986 年至 1989 年度航空科学基金资助项目部分研究论文,经同行专家评审后选编而成。内容是航空材料与制造技术专业类别。前一部分为论文全文登载,大多是尚未公开发表过;后一部分,为论文摘要,系已在其它刊物发表过的论文,并在其后注明了登载刊物的名称和期号。

全书约 46 万字,包括有各种图表、公式和实验数据,图文并茂。可作为从事航空科学基金研究工作的人员,相互学习和交流资料;对从事其它研究阶段任务的技术部门和人员,也是很有实用价值的参考借鉴资料。

航空科学基金论文集(2)

航空科学基金办公室 编

航空工业出版社出版发行

(北京市和平里小关东里 14 号)

— 邮政编码:100029 —

北京航空航天大学印刷厂排版

地质出版社印刷厂印刷

1992 年 5 月第 1 版

1992 年 5 月第 1 次印刷

开本:787×1092 毫米 1/16

印张:18

印数:0—2500

字数:460 千字

ISBN 7-80046-463-6/V · 111

平装定价:18.0 元

精装定价:28.0 元

勇于探索 攀手登
航空科技之峰

祝贺航空科研基金论文
集出版

何文治

一九九二年



加强基础研究
提高航空科技水平
祝贺航空科学基金论文集出版
顾诵芬

序 言

航空科学基金是原航空工业部于1985年11月开始设立的。它是科研体制的一种改革,将以前预研经费按行政系统拨款的制度改为一部分由个人申请,自由竞争,择优支持的方法。此外,实施航空基金制也是航空科研发展的需要。虽然航空科研经费中有一定比例用于预先研究,但由于研制的产品型号多,预先研究主要集中于直接服务于型号研制的应用研究方面,因此,基础研究和应用基础研究得不到重视和支持。长此下去,必然会影响航空产品的技术先进性,也严重影响我国航空科研进一步的发展。所以,航空科学基金制的实施是提高我国航空科技发展潜力的一个重要措施。

航空科学基金设立理事会,是基金的领导和决策机构。理事会下设航空科学基金办公室,负责日常工作。航空科学基金每年申请一次,由申请人通过基层单位自由申请。申请项目先由同行专家进行评审,在此基础上,由理事会最后审查批准。

在1986年至1990年这五年期间,航空科学基金批准支持的项目共计788项,总的支持经费为2190万元。

基金项目的研究期限为2~3年,从1988年开始出成果。在1988年至1990年这三年期间,航空科学基金的资助项目在国际学术会议上发表论文189篇,在国际学术刊物上发表125篇;在国内学术会议上发表论文475篇,在国内学术刊物上发表507篇,此外还有出版专著的9项。研究成果已鉴定的有46项,已推广的4项,获得专利的7项,获得部级和其它科技进步奖的有13项。大多数成果在科学和技术上起到开拓的作用,不少达到了国际先进水平。

航空科学基金制虽然实施的时间不长,但已经显示出明显的作用:

- 1 深化了科研体制的改革。它打破了按行政系统拨款的老办法,在科研资金的分配中引入了竞争体制,激发了科技人员的进取精神,提高了经费的使用效率。

- 2 推动了基础研究和应用基础研究的发展。实施基金制以后,基本上扭转了这两类研究的萎缩趋势,使基础研究、应用基础研究和应用研究这三类研究得到协调发展。航空科学基金已经出了一批高水平的

成果,为提高我国航空科学和技术的水平作出了贡献。

3 促进了人材的培养。在这五年里,参加基金项目研究的共计有3843人,其中有许多是学科带头人。重要的是基金项目负责人里,中、青年(55岁以下)占总人数的68.2%。参加基金研究的在读研究生达1440人。可见基金对培养人材,特别是中青年人材的重要作用。

4 提高院校的科研水平。85%的航空科学基金项目集中在各航空高等院校。有了基金的支持就能够提高院校的科研水平和跟踪世界先进科技的发展,促进教学和科研的结合,发挥院校在航空科研中的带头作用。

为了展示这几年基金研究的成果,并希望达到成果交流和推广应用的目的,我们编辑出版了首批《航空科学基金论文集》。它包括了这几年航空科学基金项目的部分论文。我们希望通过论文集的出版,可以使更多的人能深入了解基金研究的成果,从而使这些成果有机会向应用方面转化,并且使今后的基金研究在此基础上向更深更高的方向发展。

从现在起,每年都将完成近200项的基金研究项目。我们打算今后继续出版基金论文集,为展示基金研究成果和将它们推向应用,不断地创造条件。

航空科学基金制还很年青,需要大家的关心和重视。希望各级领导能更多地支持和指导航空基金的工作,参加基金项目的同志应努力将研究提高到更高的水平。希望从事应用研究和产品研制的同志能更多地了解基金研究成果,将它们推向应用。使航空科学基金在提高我国航空科学技术水平方面作出更大的贡献。

方宝瑞

G 航空材料与制造技术

论文部分

目 录

Al ₂₀ Cu ₂ Mn ₃ 相中孪晶的高分辨电子显微术研究	李春志	王顺才	金 延	(1)			
氢对 TC11 钛合金超塑性能的影响	高 文	张少卿		(5)			
TC4 钛合金胶接表面耐久性分析	王玉璞	王美炫	郑瑞琪	(9)			
双轴同步转动层析照相法	赵起良	邓日红	潘载德	(15)			
几种涂层碳纤维增强 Al-Li 合金的显微组织分析	乔生儒	杨 峥	储双杰	刘应楼	贾德昌	(19)	
碳纤维涂层表面与界面特性的研究					杨永正	(24)	
国产二维碳/碳复合材料的氧化与防氧化	过梅丽	郑裕东	沈 岩	刘士昕		(29)	
热压烧结氮化硅的研究			孙宏荣	王承伟		(34)	
应力疲劳中的自然短裂纹扩展方程的改进	姜伟之	龚敏利	徐伯庆			(39)	
钢的冷脆断裂诊断技术的研究 ...	钟群鹏	张 峥	初 飞	王守凯	田永江	陈昌麒	(44)
钢的冷脆断裂控制技术的研究 ...	钟群鹏	张 峥	初 飞	王守凯	田永江	陈昌麒	(56)
韧性损伤模型及其在塑性加工中的应用	罗子健	姬婉华	郭乃成	徐效阳	许庆生	张运阳	(66)
密度变化与韧性损伤的关系		姬婉华	罗子健				(73)
弹性基础对复合材料 I 型层间断裂韧性的影响		矫桂琼	许家瑶				(77)
隔离层——一种克服纤维桥连的有效途径	矫桂琼	贾普荣	潘文戈				(82)
金属材料低温疲劳性能的预测方法	吕宝桐	郑修麟					(86)
波形和频率对 GC-4 钢腐蚀疲劳裂纹扩展特性的影响	路民旭	刘晓坤	王建军	傅祥炯	郑修麟		(96)
GC-4 高强钢腐蚀疲劳裂纹扩展的超载效应研究 ...	路民旭	邓彦平	郑修麟	王 泓			(103)
300M 钢的快速裂纹扩展特性研究	刘元镛	李玉龙	贾德新	汤玄春	张燕明		(107)
塑性变形时的损伤和韧性破坏					吴诗悖		(113)
不同应力三维度及温度条件下空穴缩胀的模拟计算与分析	岳珠峰	张克实	郑长卿				(119)
Ti-15V-3Gr-3Sn-3Al 合金的等温转变研究	王世洪	沈桂琴	梁佑明	罗国珍	谢丽英		(128)
非晶态 Ni-Si-B 合金薄膜的电阻-应变特性和结构	程先安	顾其华	陈秉玉				(136)
类金刚石碳膜热稳定性的研究	刘正堂	许念坎	耿东生	郑修麟			(141)
改性有机硅模压塑料的研究	王云英	姜胜年	王 燕	李郁忠			(145)
钨系稀土氧化物对铁氧体微波吸收材料改性效果的研究	朱昌中	吴锦屏	王文芬	孙 刚			(148)

F/NF 生长非规则共晶形态的变质—界面粗糙度转变与分枝(叉)不稳定性

.....	鲁德洋 商宝禄 黄 韬	坚增运(154)
渗碳气氛的双元碳势控制研究.....	吴锁春	张 力(159)
水溶性陶瓷型芯在铸造铝合金波导上的应用.....		张冀勇(165)
两坐标电子束扫描轨迹给定及实时修正系统的研究.....	孙乃文 于克勤	丁培璠(169)
低压磨粒流加工工艺研究——涡轮叶片气膜孔再铸层的后置处理研究		
.....	郭应竹	张润田(175)
CBN 刀具以车代磨加工淬硬高速钢的研究	徐九华 王 珉	张幼桢(181)
用单颗粒磨削法研究金刚石磨料磨削工程陶瓷的适应性		
.....	任敬心 康仁科 陈玉华	华定安(186)
振动攻丝机的结构及其动特性研究.....	张德远	陈鼎昌(193)
超声波振动钻削复合材料的研究.....	马天颖 陈鼎昌 罗鸿涛	兰江溢(199)
深孔钻削异常状况的功率监测法.....	姜澄宇	李更生(205)
在超塑性状态下 Ti-6Al-4V 钛板扩散连接.....	林兆荣	张中元(209)
微机控制弧焊电源——恒功率焊接电弧工艺特性研究之二.....	张仁甫	陈焕明(217)
钛合金的激光切割.....	杨怡生	朱瑾亮(227)
JT-EXCAPP 工艺过程设计专家系统	冯菊芳	张朝仁(235)
一种新的分组装配法的设计计算方法.....		程宝渠(242)
一族新的快离子导体——蒙脱石.....	范玉琴	吴浩青(248)

G 航空材料与制造技术

论文摘要部分

目 录

2000 系铝合金中一种未知沉淀相的研究	金 延	李春志	李春玉	顾鸣皋(255)	
7050 合金显微结构分析	金 延	李春志	赵英涛	顾鸣皋(255)	
高强度铝合金中氢传输的研究.....			朱永昌	王芳友(256)	
镧对 Al-Si 共晶合金组织及性能的影响	坚增运		商宝禄	鲁德洋(256)	
非晶态 Fe-P 合金结构的计算机模拟(I) $\text{Fe}_{75}\text{P}_{25}$ 结构中的短程序	石双合		陈金昌	王绪威(257)	
非晶态 Fe-P 合金结构的计算机模拟(II) $\text{Fe}_{100-x}\text{P}_x$ 结构与成分关系	王绪威		陈金昌	石双合(257)	
尺寸效应对非晶态 $\text{TM}_{100-x}\text{M}_x$ 合金结构的影响.....	王绪威	石双合	陈金昌	王京汉(258)	
渗碳层深度及渗碳件表面吸碳率与渗碳工艺参数的关系.....			高元坤	周铁涛(258)	
射频辉光放电法沉积类金刚石碳膜.....	岳锡华		孙 健	康向阳(259)	
稀土对电沉积镍基复合镀层高温抗氧化性的影响.....	李士嘉		阮凤龙	何建平(259)	
金属基复合材料的调压浸渗成形工艺.....	夏振海	周尧和	商宝禄	毛志英(260)	
在高温水浸环境中环氧树脂的吸湿性研究.....			蓝立文	顾 凡(260)	
拉伸塑性对 TC11 500℃低循环应变疲劳的影响 ...	孟 亮	张宝昌	萧长缨	姚水波(261)	
几种聚合物淬火剂冷却机制的研究.....				王于林(261)	
聚合物淬火介质 CH-202M 在钢铁零件淬火上的基础研究	王于林		滕立霞	顾广厚(262)	
硬质超微粉抛光单晶蓝宝石机理研究.....	朱春燕		张明贤	滕 霖(262)	
钛合金切屑形成过程的动态研究.....			张春江	苑伟政(263)	
金刚石砂轮磨削 Si_3N_4 陶瓷的磨损特性	康仁科	任敬心	华定安	陈玉华(264)	
金刚石砂轮磨削工程陶瓷的试验研究.....	康仁科	任敬心	华定安	陈玉华(264)	
用金刚石磨片模拟金刚石砂轮磨削工程陶瓷的研究	任敬心	黄 奇	康仁科	郭新安	华定安(265)
金刚石砂轮磨削工程陶瓷的磨削力.....	康仁科	任敬心	陈玉华	华定安	(266)
300M 超高强度钢低应力磨削技术的研究	任敬心	康仁科	郭新安		(266)
热压碳化硅陶瓷的电火花加工试验研究.....	云乃彰		朱 荻	孙 涛	(267)
数控板料折弯机的回弹修正问题.....			窦晓牧	彭炎午	(268)

雕塑曲面零件多轴刀具轨迹生成系统.....	张定华	杨海成	法明贤(268)
高压水喷射强化初探.....	罗小玲	周 桂	(269)
主从分布式计算机数控系统.....	窦晓牧	彭炎午	(270)
恒功率焊接电弧工艺特性研究.....	张仁甫	陈焕明	(271)
相关误差的综合.....		程宝渠	(271)
编后记.....		陈 勇	(273)

Al₂₀Cu₂Mn₃ 相中孪晶的高分辨 电子显微术研究

航空航天工业部第 621 研究所 李春志 王顺才 金 延
中国科学院金属研究所 固体原子像开放实验室

摘 要

2024 铝合金中的弥散相 Al₂₀Cu₂Mn₃ 普遍由孪晶组成。通过高分辨像的观察分析,发现其孪晶界面不是镜面,而是滑移面;孪晶两部分不是反映或旋转对称,而是滑移反映对称。“金刚石”滑移面(101),滑移矢量是 $1/4(\vec{a}-\vec{c})$ 。组成孪晶的各晶体组元呈棱柱体形状,各侧棱都平行于[010],棱柱侧面是{101}和{100}。

引 言

2024 铝合金中,经过均匀化过程长成的含 Mn 弥散相为 Al₂₀Cu₂Mn₃。Robinson^[1]利用 X 射线衍射对单晶体的 Al₂₀Cu₂Mn₃ 化合物的晶体结构和生长孪晶进行了研究。提出该化合物具有底心正交结构 $a=2.42\text{nm}$, $b=1.25\text{nm}$, $c=0.772\text{nm}$;其空间群为 Bb^*^* ;单晶体在生长过程中普遍形成孪晶,孪生面为(101);晶体呈板条状,长边为 $\vec{b}$ 轴。李春志,王顺才等^[2~4]利用会聚束电子衍射和选区电子衍射研究了存在于 2024 铝合金中,作为弥散相的 Al₂₀Cu₂Mn₃ 的晶体结构和多重孪晶;提出该相的空间群为 $Bbmm$;多重孪晶可产生呈十次对称性的电子衍射图。

本文利用高分辨透射电子显微术,首次从原子尺度上揭示了该相中生长孪晶的边界结构;描述了孪晶的相邻体间的对称关系。

实 验 条 件

实验材料为 2024 铝合金。其名义成分为 Al-4.19 Cu-1.50 Mg-0.62 Mn-0.49 Fe-0.48Si (wt%)。实验样品经 495℃,70min 固溶处理,水淬;190℃,12h 时效。使用常规的双喷电解抛光制备电镜观察薄膜;电解液为 25%硝酸甲醇,温度为-20℃。使用 JEOL-2000EX 高分辨电镜观察与拍照。

实验结果与讨论

图 1 所示为 2024 铝合金中 Al₂₀Cu₂Mn₃ 相的一些取向不同的粒子的明场像。在常规透射电镜下,相粒子呈棒状,其纵轴平行于相的[010]方向。那些近圆形的图像显示相粒子的横截面。图 2 是一个相粒子的横截面的高分辨像(a)和选区电子衍射图(b),电子束沿相的[010]方向入射。从图 2(a)看出,该相由 8 块按一定的对称关系取向的晶体组成。从图 2(b)所示的衍

射图的分析看出,它们遵从孪生关系。第一到第六块的孪生面是(101);第六和第七块,还有第七和第八块的孪生面是 $(\bar{1}01)$ 。其中第七块只有两层 $(\bar{1}01)$ 面构成。没有显示出衍射斑点。

图 3(a)是对应图 2(a)上 2,3,4 区域的局部放大像。这个高分辨像明白地显示出孪生面不是镜面而是滑移面。图 3(a)上的矩形框指明晶体单元在 $[010]$ 方向上的投影,显出呈 B 心, $a = 2.42\text{nm}$, $c = 0.772\text{nm}$ 。用一些小黑三角形包围的是晶体结构基元的投影,如箭头所指。为简明,把结构基元抽象为点,并表示出左右手的属性,如图 3(b)所示。图 3(b)上的 A, B, C 分别对应着图 3(a)上的 2, 3, 4。该图十分明白地表示出相邻两部分晶体的取向呈滑移反映对称,具有“金刚石”滑移面(101),滑移矢量为 $1/4(a - \bar{c})$ 。

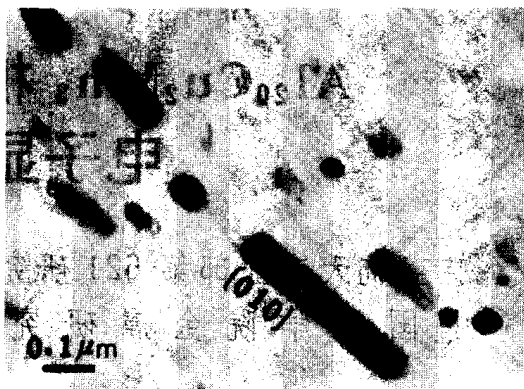


图 1 合金中各不同取向的 $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ 相粒子的 TEM 明场像

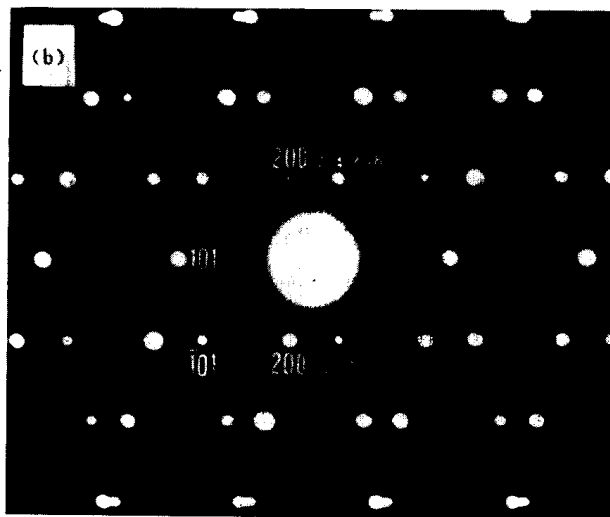
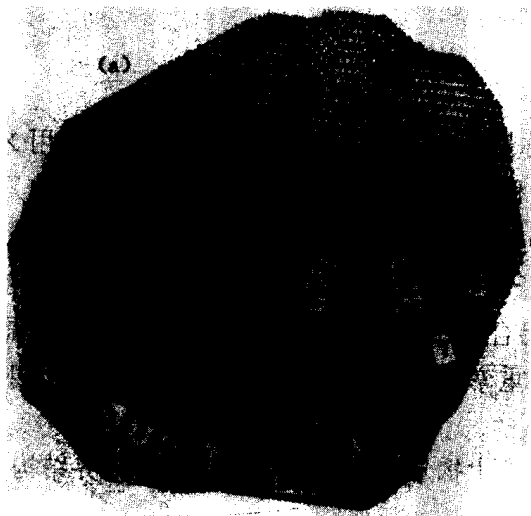


图 2 $[010]$ 方向 $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ 相粒子的高分辨像和电子衍射图

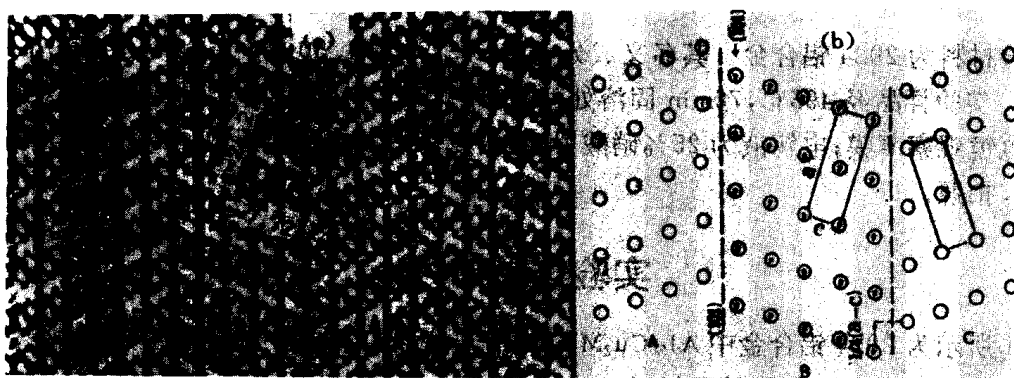


图 3 图 2(a)中 2~5 区域局部放大像和相中孪晶呈滑移反映对称关系示意图

图 4 是另一个 $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ 相粒子的高分辨像(a)和按孪生关系标定的选区衍射图(b)。电子束仍平行于 $[010]$ 方向。可以看出相粒子由 18 块晶体组成, 每相邻晶体都遵从滑移反映对称, 滑移面为 (101) 或 $(\bar{1}01)$, 滑移矢量分别为 $1/4[10\bar{1}]$ 和 $1/4[101]$ 。孪晶界处的结构大部分如图 3(b) 所示。还可见另外两种形式, 其一如图 5(a) 所示, 其上 A, B, C, D 分别对应着图 4(a) 上的 3, 4, 5, 6; 其二如图 5(b) 所示, 其上 B, C 对应着图 4(a) 上的 7。图 4(a) 上用 nc 表示的区域是非共格孪晶界。

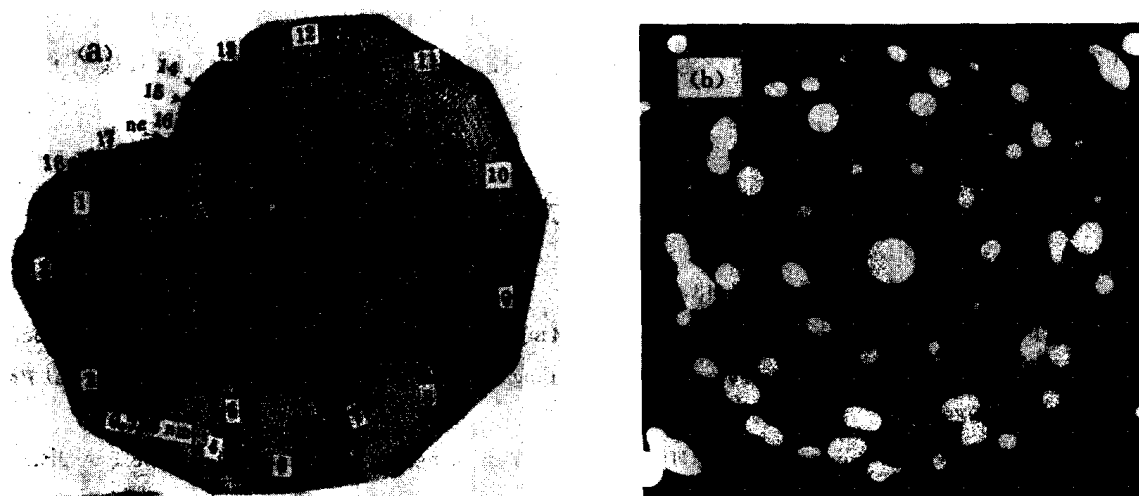


图 4 另一个 $[010]$ 方向的 $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ 相粒子的高分辨像和电子衍射图

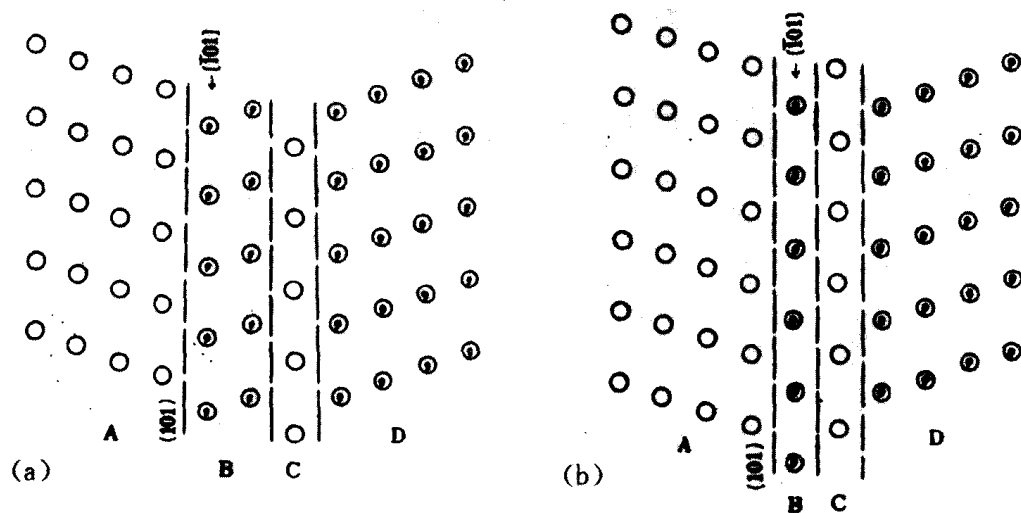


图 5 图 4(a) 中 3~8 孪晶组元间呈滑移反映对称关系示意图

关于 $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ 相和构成该相的孪晶组元的形状可由综合分析图 1, 图 2(a), 图 4(a) 得出。在 2024 铝合金中这个相呈长棱柱体, 并且由多个取向互成滑移反映对称关系的长棱柱体构成。它们的侧棱都是 $[010]$, 横截面以平行四边形、梯形和等腰三角形占多数。横截面为平行四边形的, 近于板条状, 侧面为 (101) 和 (100) 。截面为梯形的, 棱柱侧面为 (101) , $(\bar{1}01)$ 和 (100) 。三棱柱的侧面为 (101) , $(\bar{1}01)$ 和 (100) 。其中 (101) 与 $(\bar{1}01)$ 的夹角近似为 36° 。如作者

已发表的工作所描述的那样,由等于或多于5个三棱柱体构成的 $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ 相的 $[010]$ 选区电子衍射图呈现十次对称性。然而由于 (101) 与 $(\bar{1}01)$ 的夹角不是严格的 36° 和非共格孪晶界的存在,因而只能是假十次对称,这类衍射图如图4(b)所示。

结 论

(1) $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ 相中孪晶的界面是滑移面,孪界面两侧的晶体呈滑移反映对称,“金刚石”滑移面为 (101) , $(\bar{1}01)$,滑移矢量分别为 $1/4(\vec{a}-\vec{c})$ 和 $1/4(\vec{a}+\vec{c})$ 。

(2) $\text{Al}_{20}\text{Cu}_2\text{Mn}_3$ 相和构成它的孪晶组元都呈长棱柱体形状,侧棱都为 $[010]$,棱柱侧面为 (101) , $(\bar{1}01)$ 和 (100) 。

参 考 文 献

- 1 Robinson K. *Philoso. Mag*, 1952, 43: 775
- 2 Li Chunzhi, Wang Shunca, Bian Weimin, Yan Minggao. In: Chai Junheng, Yao Junen eds., *Proc. 3rd Beijing Conf. and Exib. on Instrum. Analysis*, Beijing, October 27—30, 1989, Beijing: Ying Wai Printing Co., 1989, A27
- 3 Li Chunzhi, Wang Shunca, Jin Yan, Hua Mingjian, Yan Minggao. In: Chen C Q, Starke E A Jr. eds., *ALUMINUM ALLOYS'90, Proc, 2nd Int. Conf. on Aluminum Alloy*, Beijing, October 9—13, 1990, Beijing: International Academic Publisher, 1990: 504
- 4 王顺才,李春志,边为民. *机械工程学报*, 1990, 26(4): 16

氢对 TC11 钛合金超塑性能的影响

航空航天工业部第 621 研究所 高 文 张少卿

摘 要

TC11 钛合金是目前我国在航空上应用较多的两相热强钛合金之一。由于该合金的变形温度高,流变抗力大,比较复杂的零件较难成形,如利用氢作为暂时合金元素渗到合金中去以改善合金的超塑性,将会对 TC11 钛合金的加工带来较好的技术与经济效益。本文研究了氢对改善 TC11 钛合金超塑性能的影响。

原材料及实验方法

实验用 TC11 钛合金的化学成分为 (wt%): 6.43Al, 3.46Mo, 1.73Zr, 0.24Si, 0.10Fe, 0.015C, 余量为 Ti。原材料的初始状态为热轧棒材,经 1203K 加热保温 4 小时后空冷至室温,而获得晶粒尺寸大约为 $4\mu\text{m}$ 的细晶组织,如图 1 所示。其中白色的相为 α 相,较深色的相为 β 相。 α 与 β 两相中 α 相的比例约为 55%。由棒材加工成的超塑性拉伸试样被充氢至不同氢含量。试样的直径为 5mm,工作标距长度为 15mm 和 30mm 两种。短试样用于测试延伸率,而长试样用于以最大载荷法测定拉伸时流变应力 σ 与应变速率 $\dot{\epsilon}$ 的对数关系曲线 ($\log\sigma \sim \log\dot{\epsilon}$) 的实验。试验在 Instron-1185 型拉伸机上进行,加热炉的恒温区温差 $< 3^\circ\text{C}$ 。

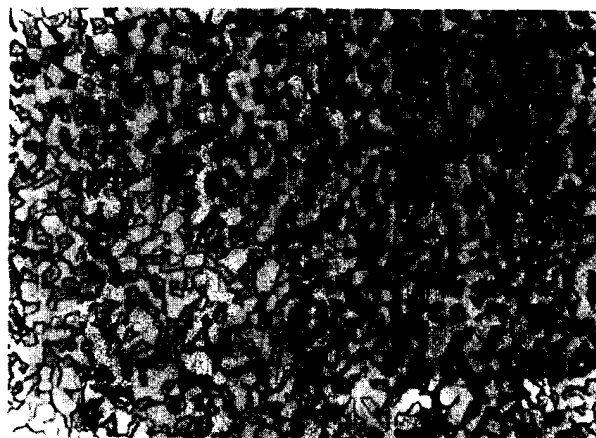


图 1 1203K 保温 4h 空冷后的合金显微组织 500 $\times$

试验结果与分析

1 $\log\sigma \sim \log\dot{\epsilon}$ 与 $m \sim \log\dot{\epsilon}$ 关系曲线

不同氢含量合金在 1123K 下的 $\log\sigma \sim \log\dot{\epsilon}$ (a) 和应变速率敏感指数 $m \sim \log\dot{\epsilon}$ (b) 关系曲线如图 2 所示。由于含氢 0.05wt%、0.11wt% 和 0.18wt% 合金的 $m \sim \log\dot{\epsilon}$ 曲线大致重合,所以在图 2(b) 中只画出了含氢 0.11wt% 的 $m \sim \log\dot{\epsilon}$ 曲线。在 1123K 拉伸后得到如下结果: (1) 在氢含量小于 0.18wt% 范围内,随氢含量增加,流变应力 σ 值下降的幅度较大。与无氢试样在相同 $\dot{\epsilon}$ 下相比,含氢 0.18wt% 试样的 σ 值下降至无氢试样 σ 值的一半以下。(2) 当氢含量超过 0.18wt% 后,增加氢含量的影响具有两重性:一方面随 β 相比比例增大, σ 值下降;另一方面当合金进入或接进 β 相区而使 β 晶粒迅速长大,结果使 σ 值上升。含氢量为 0.26wt% 时, σ 值下降

至临界点,当氢含量大于 0.26wt% 时,将使 σ 值回升。(3)在 1123K 下,渗氢不提高合金的 m 值。当氢含量小于 0.18wt% 时,其 m 峰值比无氢时的 m 峰值略有下降(从 0.40 降到 0.36)。但若以 $m \geq 0.3$ 的 $\dot{\epsilon}$ 区间为合金的超塑性区域,则氢对超塑性区域有所扩大(应变速率 $\dot{\epsilon}$ 从 $4.0 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 提高到 $1.0 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$)。(4)继续增加氢浓度, m 值急剧下降, $C_H = 0.32 \text{wt}\%$ 时, m 值不随 $\dot{\epsilon}$ 变化,约等于 0.26,合金失去了超塑性。

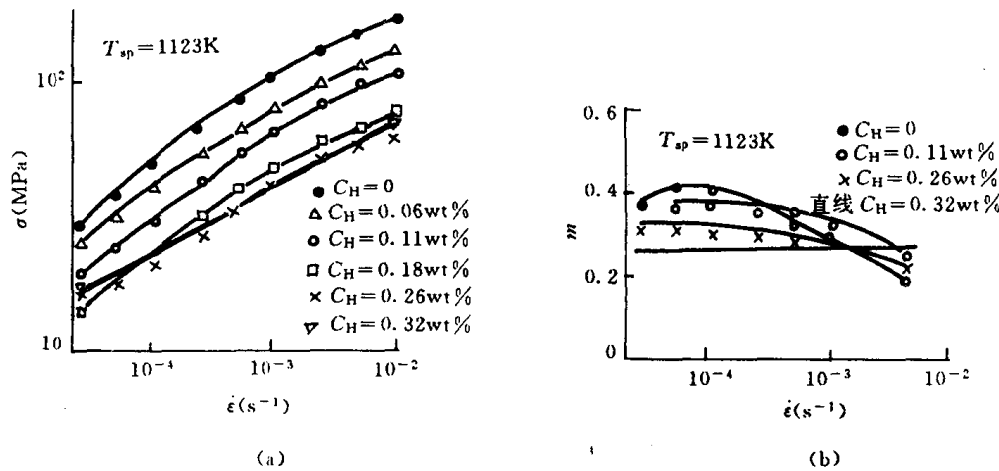


图 2 1123K 下不同氢含量的(a) $\log \sigma \sim \log \dot{\epsilon}$ 和(b) $m \sim \log \dot{\epsilon}$ 关系曲线

1073K 及 1173K 的 $\log \sigma \sim \log \dot{\epsilon}$ 和 $m \sim \log \dot{\epsilon}$ 关系曲线分别示于图 3 及图 4。在 1073K 下氢的渗入降低了流变应力 σ 值,但在 $\dot{\epsilon} > 1.0 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$ 后氢使 m 值的提高很小,其值仍不超过 0.3。在 1173K 下,少量的氢 ($C_H = 0.06 \text{wt}\%$) 可降低 σ 值和提高 m 峰值(从 0.50 提高到 0.54),但也将 m 峰值移向低 $\dot{\epsilon}$ 区($\dot{\epsilon} < 1.0 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$)。随 $\dot{\epsilon}$ 增大, m 值迅速下降,这不利于超塑变形。当氢含量高时(如 $C_H = 0.16 \text{wt}\%$)合金进入单相 β 区,和无氢时比较,试样在低应变速率范围, σ 值反而升高,且这时 m 值稳定在 0.26 左右而小于 0.3。合金失去超塑变形能力。

综合上述分析,在 1073K 氢使流变应力 σ 值下降效果明显,但 m 值过低,难以得到良好的塑性;在 1173K 下渗氢改善合金超塑变形能力效果不明显。因而在 1123K 左右利用渗氢改善 TC11 钛合金的超塑性可取得理想结果。

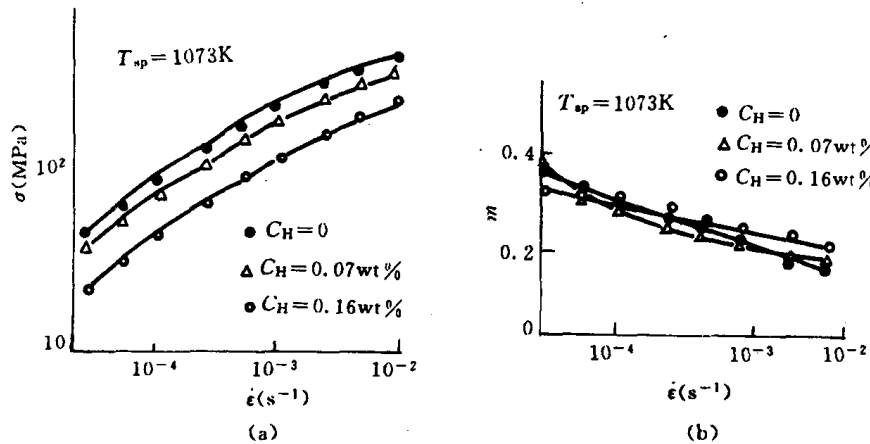


图 3 1073K 下不同氢含量的(a) $\log \sigma \sim \log \dot{\epsilon}$ 和(b) $m \sim \log \dot{\epsilon}$ 关系曲线