

我国复合材料研究进展

第五三研究所 孙安垣

以树脂、橡胶、陶瓷和金属为基体,以纤维、粒子和片状物为增强体的复合材料,可以改善和提高材料的力学性能及一系列物理、化学性质,已为人们所熟知。复合材料科学作为一门新的学科,最近几年在我国日益受到重视,国家有关领导部门和学术组织相继召开各类会议,制定发展规划,开展学术交流,加强理论与应用研究,已有一批科研成果获得实际应用,收到良好的经济技术效益。

目前,我国对纤维增强树脂基复合材料的研究比较深入。在继续抓紧玻璃纤维复合材料开发研究及扩大应用的同时,逐步加强以高强度、高模量纤维作增强体的先进复合材料的研制,并着手开展金属基复合材料的探索研究。

本文根据第二届全国复合材料学术会议论文,参考国内近期有关刊物,主要对树脂基纤维增强复合材料的研究进展情况作一综合介绍。



一般来说,从铸锭开坯后至锻坯,超声检验标准块平底孔直径为 $\phi 4.8$ 毫米($\phi^{3/16}$ "),锻件超声检验标准块平底孔直径为 $\phi 1.2$ 毫米($\phi^{1/21}$ ")。

由上述可见,罗·罗公司通过材料技术条件,从工艺、性能、组织等方面作了全面的要求,从坯料开始就控制产品的再现性与质量。此种控制质量的程序,很值得我国航空材料质量管理工作的借鉴。

三、技术条件的更改

罗·罗公司对技术条件不断更新版次,两版之间还发更改单,不断充实新的要求。例如MSRR7033从1970年8月至1973年1月期间,发

一、材料

复合材料的力学、物理性能主要取决于构成材料的各组分固有性能、它们的几何排列及组分之间界面性质。因而纤维增强体和树脂基体的研究成为复合材料研究的基础工作。

1. 纤维增强体

(1) 玻璃纤维 玻璃纤维是我国最早用于复合材料的纤维增强体,现已形成比较完整的“玻璃钢”工业体系。玻璃纤维的研制无论在品种或产量方面都有显著增长。粗直径、低支纱、方格布、短切毡及与纤维配套用的浸润剂、偶联剂的品种,也逐步形成系列。当前和今后应研究解决的是:①建立以多孔漏板、池窑拉丝、粗直径纤维、低支纱为主的连续玻璃纤维生产体系;②建立以短切毡、表面毡及其模塑料等无纺增强材料为主的玻璃纤维制品体

出了降低银及铅含量、改变锻件最终热加工温度、调整时效温度、变动热处理固溶冷却介质等更改单。通常只要发现与材质有关的问题,经过试验与分析,得出结论后就立即发更改单,往往是越改越严。技术条件逐步完善,材料质量不断提高。这与我国技术条件一经确定就长期不动的状况恰成对照,有时在个别航空厂也发更改单,例如,GH36合金涡轮盘的低倍晶粒,越改越低要求,晶粒越来越粗,因之涡轮盘寿命越来越短,最短时只有25小时寿命,这种状况应该改变。要想发动机零件寿命长,又安全可靠,就必须向罗·罗公司那样,通过技术条件对材料提出各项要求,以达到对质量的全面控制。

系：③和上述品种规格相对应的，适合不同树脂类型的增强浸润剂、处理剂体系的应用。

(2) 碳纤维 我国用于结构复合材料的碳纤维有中、高强型。以中强型为主并开始应用高模量碳纤维。

上海合成纤维研究所已完成了高强 I 型碳纤维的研制。该纤维系采用丙烯腈水相连续聚合的 AN-IA (甲叉丁二酸) 二元组分的聚合物，以二甲基亚砜为溶剂，纺制 1000 孔聚丙烯腈长丝为原料，用空气氧化法热处理，在高纯氮气保护下，经 1250℃ 碳化而制得。

高强 I 型碳纤维的主要技术指标和 T300 碳纤维的有关试验数据列于表 1 中。

表 1 碳纤维的主要性能

性 能	高强 I 型	T 300
拉伸强度(公斤/毫米 ²)	>250	313
杨氏模量(公斤/毫米 ²)	$\geq 2.3 \times 10^4$	$\geq 2.5 \times 10^4$
比 重	1.75~1.78	1.78
纤维直径(微米)	6~7	6.67
断裂伸长(%)	1.0	1.2
连续长度(米)	≥ 1000	
根数/束	1000	1000
含碳量(%)	≥ 92	93.3

国内初步形成了上海合成纤维厂、上海碳素厂、辽源化工总厂等碳纤维生产点，已经能按高强 I 型技术要求提供一定数量的碳纤维试用。目前对改进碳纤维结构及其与树脂基体的粘结性能，提高强度和产品质量，降低成本，扩大应用范围等工作都仍在努力进行。

(3) 聚芳酰胺纤维 聚芳酰胺纤维(聚对苯二甲酰对苯二胺和聚对苯酰胺——我国亦称芳纶-Ⅱ和芳纶-Ⅰ)是具有高强度、高模量、低比重、耐高温、耐腐蚀等特点的有机纤维，是七十年代以来最引人注目的品种。

目前，芳纶-Ⅱ的研制，在聚合物制备技术和溶剂体系的选择方面有所突破，在分子液晶性能和纺丝方面，在某些测试方法和其它基础研究方面也都取得了不同程度的进展。曾于 1980 年 9 月通过以六甲基磷酰三胺 (HMPA)

二甲基乙酰胺 (DMA) 为溶剂的芳纶-Ⅱ阶段性小试鉴定和以 N-甲基吡咯烷酮 (NMP)-氯化钙为溶剂的实验室鉴定。尔后，开展了工业化小试。目前，芳纶-Ⅱ树脂特性粘度可达 4.8，纤维(干丝)强度为 20~22 克/縈，纤维(干丝)模量为 500 克/縈左右。

由华东纺织工学院和上海合成树脂研究所研制的芳纶-Ⅰ树脂可供湿法纺丝；由上海合成纤维研究所纺丝的芳纶-Ⅰ纤维于 1981 年 12 月通过了技术鉴定。性能指标可达：强度 20~22 克/縈，模量 800~1000 克/縈，纤维比重为 1.45，纤维在 280℃ 保持 100 小时，强度保持率为 85%，表明其耐高温性能优异，纤维离火后能自熄，并具有优良的耐化学性。

(4) 硼纤维 硼纤维具有高强度、高模量，作为金属基复合材料增强体，国外早在六十年代就开始研制，并已将硼-铝、硼-钛系复合材料制品用于航空和航天结构。我国一些单位也做过探索工作，如六二一研究所已成功地制出直径 100 和 140 微米两种带碳化硼涂层的硼纤维，室温平均拉伸强度为 403 公斤/毫米² 左右，还进行了真空热压硼铝复合板材及硼-铝复合材料制品连续铸造工艺的研究，均取得可喜成果。

(5) 碳化硅纤维 这是目前正在发展着的一种新型增强体，除具有与碳、硼纤维类似的性能特点外，其高温稳定性和抗氧化性尤为突出；能与树脂、陶瓷、金属等基体复合。

六二一研究所曾于 1975~1978 年间研究了用化学气相沉积法制备钨芯碳化硅纤维，平均拉伸强度达 267 公斤/毫米²；在 1100℃，强度无明显变化；在 1400℃，强度仍在 104 公斤/毫米²；与国外同类工艺的钨芯碳化硅纤维性能水平相当。同时还对碳化硅纤维表面的电化处理作了研究。处理后室温拉伸强度可提高 20~30%，并改善了与铝液的浸润性。

国防科技大学根据日本 Mark III 型碳纤维工艺路线，由聚二甲基硅烷热解重排试制碳化硅纤维。目前已初步找到了制造碳化硅纤维的

工艺条件,制得了一定长度的碳化硅纤维。

(6) 混合纤维 这是在一种树脂基体中采用两种或两种以上纤维作为增强体,可以使几种纤维取长补短,从而提高复合材料性能和降低成本。目前以碳纤维和玻璃纤维混合使用较多;同时也注意聚芳酰胺与玻璃纤维,碳纤维与聚芳酰胺纤维的混合使用。

混合纤维的复合材料性能与纤维的混合比例及铺层顺序等密切相关。但是必须注意,不同纤维的混合不是随意进行均可达到良好效果的,这种混合是遵循某种规律的,即所谓“混合效应”。例如试验表明,当采用进口Kevlar-49纤维与碳纤维混合制造复合材料,两种纤维的体积比例为1:1时,弯曲强度和冲击强度比单用碳纤维提高一倍左右,压缩模量随着碳纤维含量增加而提高。在纤维体积含量大体相同的情况下,把Kevlar-49纤维铺放在最外层比把碳纤维铺放在最外层的冲击强度显著提高。聚芳酰胺纤维与玻璃纤维混合的复合材料拉伸模量随着聚芳酰胺纤维体积分含量的增加而提高,泊松比则随着玻璃纤维体积分含量增加而减小。

今后,混合纤维复合材料将会出现较迅速的发展局面。

2. 树脂基体

树脂基体主要是热固性树脂;近年来,热塑性树脂也引起人们的关注。对树脂基体的研究主要是增加新的树脂品种和改进现有树脂基体的性能。

(1) 新树脂品种

聚酚醚树脂 上海合成树脂研究所和上海塑料厂研制的聚酚醚树脂是由 α, α' -二甲氧基对二甲苯和苯酚在 SnCl_4 存在下缩聚而成。所得预聚体通过加热用六次甲基四胺交联,或在适当的碱性促进剂存在下与环氧化合物交联。该树脂适用于要求优良的耐热性、耐化学性、耐烧蚀性、电性能和力学性能的复合材料。

TDE-85环氧树脂 天津合成材料研究所研制的这种树脂(1,2-环氧环己烷-4,5-二甲酸

二缩水甘油酯),是目前环氧树脂品种中唯一既含活泼的缩水甘油酯又有酯环环氧基的三官能团环氧树脂,具有缩水甘油酯环氧和酯环环氧的双重特性。它的粘度低,工艺性好,固化物具有高强度,高粘结力,耐高温,耐候性和优良的电绝缘性;与碳纤维的浸润性好,是碳纤维复合材料的较理想的基体材料;也适用于玻璃纤维和聚芳酰胺复合材料。

AFG-90环氧树脂 它是上海合成树脂研究所合成的三官能团环氧树脂,环氧值 $0.85 \sim 0.95$, 25°C 粘度为 $1600 \sim 2300$ 厘泊。树脂产品交联密度高,耐热性好,可望用作复合材料优良的树脂基体。上海材料研究所研究了该树脂体系的固化反应特性,表明它与胺类或酸酐组成的最佳固化剂用量与一般双酚A环氧树脂大不相同,其影响规律亦异。用酸酐固化时,固化产物的玻璃化温度较高,用胺类固化剂时失重率较小,固化温度可降低。欲二者兼顾,则可考虑采用酸酐加叔胺体系。

424不饱和聚酯树脂 华东化工学院研制的这种自熄性树脂,是由四溴双酚A与环氧丙烷在碱性催化剂存在下先合成含溴单体,再用此单体与丙二醇和顺丁烯二酸酐一起熔融缩聚而制得。当加入少量阻燃剂 Sb_2O_3 ,可更进一步提高自熄性。将该树脂溶于苯乙烯,加入过氧化物和促进剂后,在常温下即可用手糊成型法制成玻璃钢制品。

热固性丁苯树脂 华东化工学院研制的含内、外双键的热固性丁苯树脂,具有良好的固化活性和热稳定性,可用于玻璃钢制品。

还有一些新树脂品种,如7541#不饱和聚酯树脂,聚丁二烯树脂、二甲苯甲醛不饱和聚酯树脂等在复合材料研制中也被采用。

最近获悉,北京航空学院、西北工业大学、六二一研究所新研究的树脂配方均已确定,正统一在六二一研究所进行性能评定。

(2) 树脂基体的改性

新树脂品种的研制和应用往往受到一些条件的限制,因而对已有树脂基体进行改性研究

受到了重视。通过采用新的固化剂体系、添加各种助剂、与橡胶及其它树脂共混等来提高树脂和复合材料的冲击韧性和使用温度,改进树脂的阻燃性和耐腐蚀性,往往能收到事半功倍的效果。例如采用聚乙烯醇缩丁醛和环氧树脂双改性的酚醛树脂基体制得的SX-580 玻璃纤维复合材料。还有如铝改性酚醛树脂、酚改性二甲苯甲醛树脂、酚醛环氧型乙烯基酯树脂及MPB改性树脂等均可用于复合材料的基体。

当前碳纤维复合材料最常用的环氧树脂基体,韧性差,使用温度低且受湿度影响大,因而对它的改性作了较多研究。西北工业大学研究了液体无规羧基丁腈橡胶对环氧树脂的韧化效果,表明用一定量橡胶改性618 环氧树脂,既可提高所得复合材料的冲击强度和韧性模数,而马丁耐热性及主要力学性能变化很小。当再添加适量的二酚基丙烷(主要作用是改善体系中橡胶颗粒的粒径与分布),不但提高了材料在高速冲击状态下的抗断裂能力,而且增强了抗裂缝扩展能力,从而进一步提高了韧性。橡胶增韧环氧树脂也将改善复合材料的疲劳性能。六二一研究所沿用648环氧树脂 三氟化硼单乙胺体系初步摸索了一套较好的质量控制方法,并开始用于航空产品的试制。

(3) 热塑性树脂

几乎所有热塑性树脂都可采用纤维增强,不仅可制得具有优良综合性能的复合材料,而且其加工性好,除可用模压法成型外,还可采用热塑性塑料的加工方法来快速成型加工,其边角料还可以再使用,制件也较易粘接和修补。因此,玻璃纤维增强热塑性塑料已较多地被采用;碳纤维与热塑性树脂的复合也引起重视。

中山大学采用尼龙66盐单体与碳纤维预先复合,然后进行原位固态缩聚和模压,制得了具有良好界面粘结的碳纤维-尼龙66复合材料。碳纤维增强聚苯硫醚、聚碳酸酯等都可以制得高性能的复合材料。

必须指出,就树脂体系而言,目前我国化学工业还满足不了复合材料研制和生产的需要,

尚难提供优质原材料,因此建议应用部门加强对原材料的后加工,如将树脂进行脱水除杂处理,以及筛分控制分子量分布等。可惜,以往这方面做的工作太少了,而这些工作应由材料应用部门承担起来,深入下去。

二、界 面

复合材料是一种多相结构材料,增强体与基体之间的界面状态对复合材料的力学性能、耐候性及耐化学稳定性均有很大影响。

所谓界面,通常被认为由三部分组成,即基体表面和增强体表面以及两个表面之间的部分。界面的性质亦由这三个方面所决定。

为了改善纤维表面性能,提高它与树脂间界面粘合力,对纤维表面,特别是碳纤维表面,进行了各种表面处理,在纤维表面引入一些能与树脂反应的化学官能团。

碳纤维经液相氧化处理后,不仅由氧化剂的刻蚀作用而使表面积增加,而且也改善了树脂对纤维的浸润性,又在纤维表面形成了极性基团,使表面性质得到显著改善,其结果使纤维的表面能提高,表面张力增大,纤维和基体二者界面之间的粘合力大于张力,断口呈张力破坏。而未经表面处理的碳纤维复合材料的断口呈剪切破坏(纤维脱粘);复合材料力学性能的改善是比表面积增加的物理效应和极性基团增加的化学效应共同的贡献。

科学院化学所采用溶液吸附法研究了碳纤维表面反应性对复合材料性能的影响,指出该法对于各种氧化方法处理的碳纤维皆适用,采用一般的分光光度计就能测出结果。次氯酸钠氧化处理碳纤维比较有效,选择合适的氧化条件,能够提高碳纤维复合材料的力学性能。

用电沉积方法将某种含羧基的共聚物沉积于碳纤维表面后,可以使单向碳纤维增强环氧树脂复合材料的层间剪切强度从原来未处理的600公斤/厘米²提高到1000公斤/厘米²以上,并对复合材料的耐水性和抗冲击性能也有所改

善。

采用流动式微量热法测定碳纤维经硝酸氧化后所发生的表面化学基团浓度变化,能够有效地表征纤维表面经过氧化处理的结果。

中山大学对碳纤维-尼龙 66 复合材料界面效应和破坏机理作了较深入的研究,理论上提出了新的解释。同时还研究了采用不同交联方法的聚苯硫醚所制碳纤维复合材料的显著不同的性能与破坏形态,指出聚苯硫醚对碳纤维能很好粘合,所得复合材料的破坏主要发生在界面区域树脂层内。

众所周知,玻璃纤维表面经适宜的偶联剂处理后,可改善界面粘合性,提高玻璃纤维复合材料的耐水汽性及其它物理、力学性能。华东化工学院研究了复合型含铬偶联剂在玻璃纤维表面上的偶联机理,用原子吸收光谱仪定量测定处理后的玻纤表面上的铬吸附量,借以分析其吸附机理和界面结构状态。结果表明,复合型偶联剂能改善玻璃纤维表面的浸润性,并为界面研究提供一种新的手段。

通过界面对短纤维增强复合材料性能影响的研究,发现用不同的偶联剂处理玻璃纤维会导致不同的界面粘合力。强固的界面粘合使复合材料具有较高强度和刚度,但也导致更大的脆性和缺口敏感性,冲击强度降低;而弱的界面粘合能提高冲击韧性,但使强度和刚度有所下降。因此,在实际设计中应协调这两方面,作到有目的地进行纤维的各种表面处理。

当前玻璃纤维用偶联剂的研究,有的侧重新类型,如阳离子型偶联剂 Z-6031 等,钛酸酯类偶联剂 OL-T999、OL-T951 等;有的侧重新品种,如 ND-613、614、620、621 和双烯硅烷;有的侧重偶联剂与其它添加剂并用;有的着手改进现有品种的合成方法。

三、工 艺

复合材料制备工艺过程包括预浸料的制造及铺层和固化,直至成型为制品后的加工和连

接等,全过程的质量控制是至关重要的环节。

近年来,碳纤维复合材料固化过程的监控技术取得了较大进展。直流电固化监控技术可监测固化过程凝胶范围及固化完成时间,利用最大电流和稳定电流出现的时间联合判断,可找到最佳加压点。采用差热分析和动态介电分析技术也可监控复合材料的固化过程。

北京航院采用“双层簾片分析法”对碳纤维/环氧树脂复合材料进行动态力学分析的温度扫描或时间扫描,只需很少量的试样便可实现对固化过程的连续监测,探索最佳固化工艺;该法也可用来研究处于任何存放期的预浸料。

复合材料制件成型,虽也采用注射、挤出等热塑性塑料的成型方法,但主要还是采用压制、缠绕和手糊成型。目前还研究诸如拉拔成型、传递成型、真空袋热压罐成型及软模、拉挤成型等;也同时采用两种以上工艺的成型方法,如缠绕加压注成型。布带复合缠绕成型工艺已获得成功应用,解决了航天产品上喷管部件的耐烧蚀隔热问题,使发动机正常工作。

复合材料制件的连接方法不外乎胶接、螺栓和铆接、或采用混合连接。胶接是一种较简便的连接技术。六二五研究所选用中温固化结构胶粘剂 J-47-A 胶膜(可以不涂底胶)胶接复合材料,以热压罐-真空袋法进行固化;试验结果表明,碳纤维复合材料试样和结构试验件的胶接破坏,均发生于碳纤维复合材料层间。北京航空学院采用预浸胶玻璃布面板、蜂窝芯以及加强框组合后只经一次固化就可获得夹层结构的机载雷达罩。这种工艺简便,含胶量均匀,质量容易控制。

四、性能及应用

1. 性能

有关复合材料的性能及某些测试方法的研究,前面有所叙及,下面只集中谈部分情况。

通过不同分子量的 648 酚醛环氧树脂与三氟化硼单乙胺体系的凝胶时间、流动性和 DSC

热分析的试验证明,分子量对复合材料的固化成型工艺参数的影响是十分明显的。分子量小的树脂体系的流动性大,凝胶时间长,初始反应温度较高,反应热 ΔH 小,因此不能忽视。环氧树脂分子量的变化影响到复合材料性能的稳定性,其影响主要表现在基体的耐热性方面。从马丁耐热、热失重分析以及动、静态力学性能试验证明,低分子量铸树脂的马丁耐热、玻璃化温度、分解温度、150℃模量保持性都比高分子量的铸树脂低。由于影响因素除分子量外,还有分子量的分布以及其它有害杂质等,因此必须对分子量及分子量分布等作严格控制。

复合材料的无损检测是新的课题,应引起重视。目前采用的方法有超声、射线、激光全息、声发射、声谐振、频谱等。国内主要对超声和射线检测研究较多,声发射技术也受到重视。

六二一研究所测定了经历不同时间的室温贮存的预浸料中树脂的固化度及物理性能。结果表明,单向纤维复合材料的层间剪切强度和弯曲强度不能作为预浸料寿终的判据,而预浸料的凝胶时间和树脂流出量可视为确定寿终的重要依据,预浸料的粘性和铺复性则是确定预浸料寿终的关键指标。

环氧树脂基复合材料在潮湿环境中吸湿性大,国防科技大学对其吸湿规律作了验证,指出最大吸湿量不仅与相对湿度有关,而且与温度有关,并受成型工艺的影响,尤以凝胶温度的影响最明显。

国内还开展了复合材料稳定性、老化性能和热冲击特性,以及对常用金属材料的电化学腐蚀等等研究。

2. 应用

复合材料已由过去作为一般代用材料逐步发展为工程结构材料和特殊用途材料,使用范围将遍及国防军工及民用各个领域。

(1) 玻璃纤维复合材料,已形成较完整的科研、设计与生产体系,可以说是我国复合材料发展的“先驱”。

采用玻璃钢制作大型受力构件是当前研制

工作的一个特点。例如:大型玻璃钢受压容器、直径19米玻璃钢风车叶片、十吨分节玻璃钢驳船体、拆装式玻璃钢活动房、玻璃钢冷却塔、船用玻璃纤维增强尼龙610螺旋桨、高速感应电机玻璃钢套环、玻璃钢发电机护环、玻璃钢赛艇、玻璃钢雷达罩、飞机上大型受力构件等。

用于腐蚀设备的玻璃钢制品不断增加是另一个特点。例如:采用酚醛玻璃钢制造耐高温稀硫酸腐蚀的内径1.55米独立结构的大型塔器,内管为硬聚氯乙烯、外部缠绕玻璃钢的耐腐蚀复合管道,手糊成型的玻璃钢汽车槽车,整体聚酯玻璃钢大口径管道等。

具有特种用途的玻璃钢制品扩大应用也是一个特点。例如:作为烧蚀隔热材料的玻璃钢喷管,某些发动机燃烧室壳体,玻璃钢水下天线罩,玻璃钢单兵火箭发射筒、复合防弹装甲,以及玻璃钢撑杆等。

(2) 碳纤维复合材料,已作为结构材料、隔热材料和阻尼减振材料用于航空及航天器上。例如:飞机发动机风扇叶片,进气道外侧壁板,机舱口盖,垂直尾翼及水平尾翼翼面,直升机旋翼桨叶,卫星壳体,太阳能电池基板,天线及天线支架等。还有一些使用条件更苛刻的受力构件也正在安排研制中。此外,该材料也开始用于民用工业,如机械工业中的离心机部件、大功率发电机护环、刹车片等;还用于人造心脏瓣膜和人造关节以及制造羽毛球拍等。

碳纤维/玻璃纤维混合复合材料可用于飞机起落架护板等。

芳纶复合材料在军民品上的应用已作了一些探索,仍在进一步研究。

五、结 语

总的看来,我国对复合材料的开发虽然取得了可喜的进展,但与国外先进水平相比还有一定差距,应该主要依靠自己的力量,并借鉴国外的先进经验,迅速赶上世界先进水平,这是从事复合材料工作者的一项重要任务。当前

(下转第12页)

3. 叶片表面晶粒组织

叶片加工至半成品时, 需进行腐蚀检查, 以发现不正常的粗晶、带状组织及其他缺陷。这是评价锻件质量的重要一环。

加工至腐蚀工序的GH118叶片共有107片。经腐蚀检查完全无带状及其他缺陷。粗晶只报废一件, 合格率达99%以上, GH49叶片粗晶报废达50%, 个别炉批达90%以上。采用GH118合金使叶片晶粒组织更趋均匀、细化, 且大大降低粗晶报废率, 效果令人满意。

GH118合金叶片表面晶粒组织与GH49叶片的表面晶粒组织的比较见图4和图5。

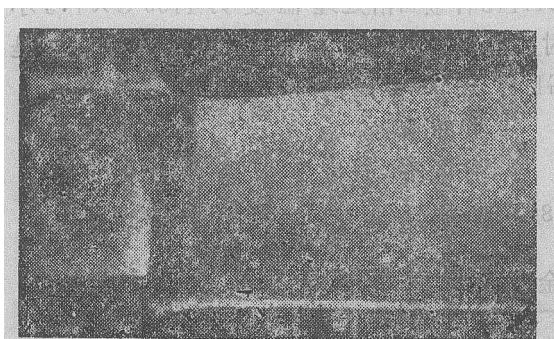


图4 GH118合金叶片的表面晶粒组织



图5 GH49合金叶片的表面晶粒组织

四、结 论

1. 在模锻试验中只要正确掌握工艺, GH118合金能表现出良好的工艺塑性。两步模锻(顶锻—终锻)在叶盆出现的纵向裂纹是由于一次变形量达到合金的最大允许变形程度所致。三步模锻(顶锻—预锻—终锻)能获得质

量良好的锻件。

2. GH118合金的叶片模锻件内部与表面无任何缺陷, 晶粒细小均匀, 锻件质量优于GH49叶片, 且表面晶粒合格率达99%以上, 能令人满意地解决GH49多年存在、至今仍未彻底解决的粗晶问题。

3. GH118合金叶片模锻件性能稳定、均匀, 远远超出技术条件指标, 对批生产中保证质量的稳定性有很大意义。

参 考 文 献

- [1] GH118合金试制总结(五)模锻工艺, 1974.11.
- [2] Nimonic合金的组织, 国外航空材料, 1973.17.

× × × ×

(上接第43页)

在复合材料研制中仍存在一些薄弱环节, 例如: 几乎还没有一个单位真正已经建立起完整的、健全的、有效的质量控制系统; 复合材料的机加工(切削、钻孔等)尚待进行深入研究, 以便尽快制订合理的机加工规范; 无损检验方法急需确立和完善, 制订标准(在这方面, 六二一研究所就超声C扫描、软X射线、激光全息及涡流等方法进行了较多研究, 但离制订标准还有一定距离)。此外, 在复合材料力学、铺层设计及其他基础理论方面尚有大量课题有待组织力量深入研究(本文限于篇幅未能涉及这方面内容)。

我们希望今后能通过复合材料发展规划和具体项目的计划安排, 将设计、材料、工艺、检验、维修等一整套人员组成为一体, 更好地协调开发工作; 同时要切实加强全面质量管理, 保证重点, 争取在较短时间内在复合材料的研制和应用上有新的突破。

本文曾在1982年10月兵器工业非金属材料专业情报网第二次全网成员大会上宣读。

本文曾得到姜作义同志热情帮助, 提出宝贵意见, 特致谢意。

(本刊发表时作了删节, 参考文献略)