

航天先进制造技术  
专刊

# 前言

制造技术是制造业赖以生存和发展的核心技术,是制造业持续发展的根本动力。为把握国内外先进制造技术的最新进展和发展动态,提升航天制造工艺水平和制造能力,促进航天制造产业化、规模化发展,中国航天科技集团有限公司从2012年起,连续举办“航天先进制造技术国际研讨会”,围绕世界先进技术发展方向,探讨提升航天制造能力的应对策略,进一步促进航天制造技术进步和产业升级,加快推进“三高”目标的实现,推动我国从航天大国向航天强国迈进。

2021年,在中国共产党建党百年之际,中国航天科技集团有限公司在圆满完成“十三五”任务、开启航天强国建设新征程的重要时刻,召开第十届“航天先进制造技术国际研讨会”,结合航天发展面临的新形势、新任务和新挑战,研究探讨推动航天制造向数字化、网络化、智能化方向的发展策略。此次会议得到了相关各界科技工作者的高度关注,投稿踊跃,会议陆续收到论文200余篇。为加强经验交流与技术推广,经过专家评审从中精心挑选了近20篇优秀论文收入《宇航材料工艺》“航天先进制造技术”专刊,涉及增材制造技术应用、先进特种制造技术、数值模拟与仿真、先进连接、复合材料构件加工、金属成型、结构件性能评估等内容,这些论文是目前航天先进制造领域最新的阶段性研究成果,仅供广大读者研读、借鉴。

谨向撰写论文的作者、支持本刊出版的审稿专家、《宇航材料工艺》编辑部及有关单位表示衷心的感谢!

中国航天科技集团有限公司质量技术部

2021年9月30日

## 目次

### □ 综述

空间制造技术研究进展 .....	封小松	夏佩云	司力琼	董丰波(1)
增材制造技术在液体火箭发动机领域的最新进展及产业化推进 .....	杨欢庆	王小波(7)		
毫米波亚毫米波波导类组件制造工艺进展 .....	刘兰波	李源	柴艳红	朱士琦 孙瑞峰(17)

### □ 计算材料学

2219 铝合金拉拔式摩擦塞焊数值模拟 .....	杨学勤	历吴恺	徐爱杰	王业伟	胡明华(23)
大面积覆铜多层印制板通孔焊接温度场仿真 .....	李春节	郎岩	王丽娜(30)		
基于 LCP 基板的射频子阵共形一体化制造技术 .....	罗燕	丁蕾	周义	陈桂莲	王立春(35)

### □ 新材料新工艺

国产 M55J 级碳纤维与两种典型树脂界面性能研究 .....	徐小魁	刘千立	戴晶滨	董斌	谢钟清(40)
耐 300 ℃ 聚酰亚胺树脂及其复合材料性能 .....	陈薇	吴嘉宁	张东霞	樊孟金	潘玲英(47)
GH4061 合金涡轮球壳模锻成形工艺及微观组织分析 .....	苗金武	于泓权	李元	许方山	张静(52)
5B70 合金大尺寸锻环成形工艺及组织性能 .....	沈晓宇	蒋靖宇	陈少君	仇衡毅	赖小明(60)
高体积分数 SiC <sub>p</sub> /Al 激光诱导氧化辅助铣削研究 .....					
.....	赵长喜	郑立彦	张孝辉	张开虎	张子岚 赵国龙(65)
某钛基复合材料骨架零件高效铣削技术 .....	梁星慧	杨叶	宋健	苏宏华	蹇悦(70)
舱外服活门组件密封粘接研究 .....	唐波	周雨琪	孙春燕	许勇	段文鹏 陈风波(76)

### □ 测试分析

基于合成卷积层网络结构的焊缝 X 射线图片缺陷筛选技术 .....					
.....	刘晓佳	刘欢	王立群	王宇斐	危荃(81)
铝合金氧化物夹杂超声波检测技术 .....	周双锋	李大海	徐丽霞	高静	万蕾(87)
宇航微波组件连接技术可靠性分析 .....	吴奇	温学思	许迪	金蓓蓓	王晓涵(92)
C/C 复合材料的纳米压痕实验及其性能分析 .....	张然	郭晓波(100)			

### □ 工程实践

航天器制造领域数字孪生技术的探索与实践 .....	刘金山	徐磊	冯锦丹	王彬	孙连胜(105)
机器人自动钻铆技术在卫星整流罩上的应用 .....	张军	熊艳艳	陈长江	雷湘衡	吴敏(112)

本期责任编辑 李洪泉

英文编辑 周延春

版权声明:版权所有,未经许可不得转载

# AEROSPACE MATERIALS & TECHNOLOGY

## YUHAN CAILIAO GONGYI

(Bimonthly)

(Starting Publication in 1971)

ISSN 1007-2330

CN 11-1824/V

Vol.51 No.Z1 September 2021

## CONTENTS

Review of In-space Manufacturing Technologies .....	FENG Xiaosong XIA Peiyun SI Liqiong DONG Fengbo(1)
Recent Advances and Industrialization Promotion of Additional Manufacturing in Liquid Rocket Engine Technology .....	..... YANG Huanqing WANG Xiaobo(7)
Progress in the Manufacturing Process of Millimeter-wave and Submillimeter-wave Waveguide Components .....	..... LIU Lanbo LI Yuan CHAI Yanhong ZHU Shiqi SUN Ruifeng(17)
Numerical Simulation of Friction Pull Plug Welding of 2219 Aluminum .....	..... YANG Xueqin LI Wukai XU Aijie WANG Yewei HU Minghua(23)
Temperature Field Simulation in Through Hole Soldering of Large-area Copper Overlaid in Multilayer PCB .....	..... LI Chunjie LANG Yan WANG Lina(30)
Conformal Integrated Manufacturing Technology of RF Subarray Based on LCP Substrate .....	..... LUO Yan DING Lei ZHOU Yi CHEN Guilian WANG Lichun(35)
The Interfacial Properties of Domestic M55J Carbon Fiber and Two Typical Resins .....	..... XU Xiaokui LIU Qianli DAI Jingbin DONG Bin XIE Zhongqing(40)
Properties of 300 °C Resistant Polyimide Resin and Its Composites .....	..... CHEN Wei WU Jianing ZHANG Dongxia FAN Mengjin PAN Lingyin(47)
Die Forging Process and Microstructure Analysis of GH4061 Alloy Turbine Spherical Shell .....	..... MIAO Jinwu YU Hongquan LI Yuan XU Fangshan ZHANG Jing(52)
Hot Working Analysis and Microstructure and Properties of Large-size Forged Ring 5B70 Al-Mg-Sc Alloy .....	..... SHEN Xiaoyu JIANG Jingyu CHEN Shaojun ZHANG Hengyi LAI Xiaoming(60)
Laser-induced Oxidation Assisted Milling of High Volume Fraction SiC <sub>p</sub> /Al in Spacecraft .....	..... ZHAO Changxi ZHENG Liyan ZHANG Xiaohui ZHANG Kaihu ZHANG Zilan ZHAO Guolong(65)
High-efficient Milling of A Kind Skeleton Part of Titanium Matrix Composites .....	..... LIANG Xinghui YANG Ye SONG Jian SU Honghua JIAN Yue(70)
Adhesive Seal of Valve Assemblies for EVA Spacesuit .....	..... TANG Bo ZHOU Yuqi SUN Chunyan XU Yong DUAN Wenpeng CHEN Fengbo(76)
Defect Screening Technology of Weld X-ray Image Based on Synthetic Convolution Network Structure .....	..... LIU Xiaojia LIU Huan WANG Liqun WANG Yufei WEI Quan(81)
Ultrasonic Testing Technology of Aluminum Alloy Oxide Inclusions .....	..... ZHOU Shuangfeng LI Dahai XU Lixia GAO Jing WAN Lei(87)
Reliability Analysis of Aerospace Microwave Module Connection Technology .....	..... WU Qi WEN Xuesi XU Di JIN Beibei WANG Xiaohan(92)
Nanoindentation Experiment and Properties Analysis of C/C Composites .....	..... ZHANG Ran GUO Xiaobo(100)
Exploitation and Practice of Digital Twins Technology in Spacecraft Manufacturing Field .....	..... LIU Jinshan XU Lei FENG Jindan WANG Bin SUN Liansheng(105)
The Application of Robot Automatic Drilling and Riveting Technology in Payload Fairing .....	..... ZHANG Jun XIONG Yanyan CHEN Changjiang LEI Xiangheng WU Min(112)