

达。设计者需要设计出不同的信息传达模式，如场景设置、多媒体、虚拟现实技术等，来将较枯燥的学术性的东西，转变为容易被观众所接受的，也让观众乐于接受的信息。设计者只有将参观者的思维方式、个体情绪作为互动设计的测重点，同时应用各种手段将观众的感受、知觉全方位地调动起来，才能最大程度达到互动展示设计的目的（如图6）。

4 未来的3D打印

从20世纪末开始，以计算机和网络技术为代表的信息技术与数字化媒体结合，给博物馆的发展带来了新的机遇。通过数字技术手段构造的数字博物馆已经成为现实。如今的科技类博物馆展品基本是结合科学原理而制作的科普作品、模型、复制品等，以展现其科学原理与应用。观众能够亲自动手参与实践，增长科学知识。3D打印只有跟其他新技术结合起来，才有可能完全显示出它的影响。3D打印制造与人工智能、超定制、计算机生成设计和物联网相结合的潜力之大，令人难以置信。

4.1 3D打印结合新技术

3D打印只有跟其他新技术结合起来，才有可能完全显示出它的影响。3D打印制造与人工智能、超定制、计算机生成设计和物联网相结合的潜力之大，令人难以置信。

3D打印博物馆中应该引入人工智能技术，将雕塑、文物、历史场景等经数码扫描后与墙壁“结合”在一起，提升游客的参观体验。因为只有通过实际的互动体验，用户才能实际感受到它的质感、重量感和坚硬的程度。感



图5 伊师塔门的三维虚拟现实模型

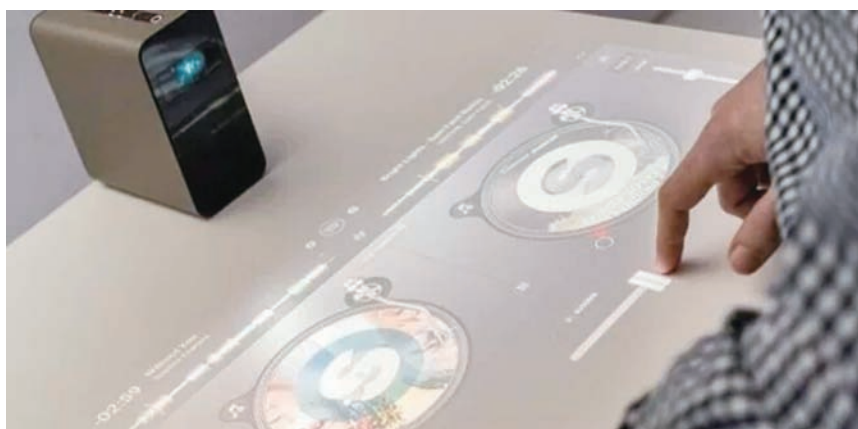


图6 手势交互

性描述可以被量化，人们可以通过对不同彩色度、不同质感、不同适配的材料，来应对不同的设计。

3D打印把技术交到人的手里，促进了创新，但也模糊了生产者与使用者之间的界限，会导致知识产权问题的出现，也会使恐怖分子更容易制造充当武器的无人机。

科技类博物馆有很强的互动性，科技类博物馆建筑本身应反映其科技特点，通常尽量运用新材料、新技术等高科技手段来提高建筑本身的科技含量，其建筑造型也应反映科技特点。如北京科技类博物馆就由三个单体建筑组合而成，球体的穹幕影厅，造型独特，主展览大厅带有现代光电效果的雕塑，十分新奇，再加上大厅中庭吊顶上的特别布艺效果，好似降落伞从天

而降，十分特别。

4.2 打印智能物品

常见的打印过程是先用光学扫描仪扫描其外表面，然后将扫描获得的数据转换为设计文件，再进行打印。然而数字文件在设计软件上进行控制，但是打印出来的物品将是模拟的，原生的、非智能的、连续的和被动的。试想，如果用体素3D打印出新物品，那么新世界可能会出现。随着电子元件尺寸继续缩小，计算能力不断提高，总有一天我们能够3D打印出含微小电路的体素，完美的体素集合可以制造智能的、有活力的实体物品^[7]（如图7）。

4.3 帮助解决国际人道主义危机

3D打印技术正在于与世界上最紧迫的人道主义危机——饥饿和无家

可归作斗争。一份联合国报告显示，全世界有十分之一的人口处于饥饿状态；3D打印有解决世界粮食危机的潜力。创建一个软件程序，通过程序设定的配方将加在墨盒中的成分组合在一起，最终输出为3D打印产品。而墨盒中的成分不仅仅是粮食，也可以是从其他动植物中提取出来的含有粮食营养成分的替代品。同时，软件允许“厨师”根据用餐者特定营养需求定制食物，这种生产方式更环保更可持续。

4.4 保护地球生态环境

利用以前的废物创造未来的产品可以使我们的消费更有效，3D打印为这种以更可持续的新方式使用旧材料的想法提供了可能。例如，研究人员已经找到了利用3D打印技术将二氧化碳转化为混凝土的方法，他们甚至正在探索如何减少打印过程中所需的能量，使这个技术本身更可持续。今年夏天，在马尔代夫，一片没有珊瑚礁的海域被安装了世界上最大的3D打印珊瑚礁基质设备，以打印珊瑚赖以生长的基质，希望在此基础上形成天然珊瑚礁。除了珊瑚礁，3D打印技术还可以为其他物种提供栖息地。

5 总结

目前国内关于3D的信息并不全面，3D打印博物馆将是一个交流平台。博物馆里的每一件展品不仅仅只展现3D技术的高超，更展示了它背后的深厚的意义，它们是这个年代的技



图7 3D打印手套

术集中点。

在人类发展史上，硬件起到很大的作用，但历来都不是最重要的文化组成部分，更重要的是由此带出的内容，如今3D打印博物馆最重要的一个点是叫“虚拟收藏”，即虚拟数据模型的收藏。在整个3D打印产业中，价值含量高的并不只是机器设备，还有虚拟模型。只有当一个物件具有里程碑式的意义才有可能、也值得被博物馆所收藏，它能够有一个结点来实行延展，这就是博物馆在3D打印文化编年史上的一个输出。**T**

参考文献

- [1] 何小欣 著 当代博物馆的复合化设计 中国建筑工业出版社 2015.
- [2] [英]安娜·鲁斯等编 博物馆：地方文脉与全球语境 大连理工大学出版社 曹麟 唐海萍 译 2017.8.
- [3] 任康丽 黄建军 著 博物馆室内外环境艺术设计 武汉：华中科技大学出版社 2015.4.
- [4] [澳大利亚]利昂·范·斯海克 著 空间智能：建筑的新未来 北京：电子工业出版社

于昕 谢靖 译 2014.5.

- [5] [美]琼·霍瓦特著 3D打印技术指南：建模、原型设计与打印的实战技巧；张佳进等译. 北京：人民邮电出版社，2016.7
- [6] [美] 里克·史密斯 [美]米奇·弗里 著 大颠覆——从3D打印到3D制造 北京：中信出版集团 余小丹 陈毅平 译 2018.1.
- [7] [美]利普森 [美]库曼 著 3D打印：从想象到现实 北京：中信出版社，2013.4 赛迪研究院专家组译1何小欣 著 当代博物馆的复合化设计 中国建筑工业出版社 2015.
- [8] 孙澄 著 当代图书馆建筑创作 北京：中国建筑工业出版社 2012.
- [9] 维多利亚·马尼亚戈·兰普尼亚尼 安格尼·萨克斯 编 世界博物馆建筑 沈阳：辽宁科学技术出版社 2006.

作者信息

蒋维乐、西安交通大学、副教授、陕西省西安市碑林区咸阳西路28号、710049、13991890128、386776637@qq.com。
马璇璇，1995年9月17日，甘肃定西人，研究生学历，西安交通大学，2247180690@qq.com。

电子束选区熔化成形GH3536的工艺研究

畅东博, 李侨扬, 穆敏强, 支浩

增材制造国家研究院有限公司, 西安, 710000

摘要: 本文采用电子束选区熔融 (Electron Beam Melting, EBM) 成形技术制备了GH3536合金样块。研究了输入电流、扫描速度、预热温度等参数对GH3536材料成形件的影响, 并对成形件的表面熔合缺陷及表面裂纹进行表征。结果表明: 电子束功率 P 与扫描速度 V 的比值是影响成形件表面形态的关键性因素, P/V 的大小决定着成形过程中输入能量密度的高低, 输入的能量密度高低决定着成形件上表面的形貌, 对于GH3536材料, 当平均能量密度为 $147.2\text{J}/\text{m}^3$ 时, 表面形貌较好。电子束成形过程分为基材预热、熔融阶段前预热、实体熔融、熔融阶段后保温等工艺步骤, 在成形过程中, 由于热源的迅速移动, 熔池与成形件基材的温度梯度增大, 导致热应力形成, 零件出现裂纹现象。增加电子束熔融阶段前预热至电流 32mA 、预热时间 20s , 后保温电流 30mA 、保温时间 18s 。可以有效消除裂纹现象。

关键词: 电子束选区熔化; 功率; GH3536; 预热温度; 热应力; 裂纹;

Study on the Fabrication Process Of GH3536 Selective Electron Beam Melting

Chang Dongbo, Li Qiaoyang, Mu Minqiang, Zhi Hao

National Institute Corporation Of Additive Manufacturing, Xi'an, 710000

Abstract: GH3536 alloy samples were prepared by Electron Beam Melting (EBM) forming technology. The effects of input current, scanning speed, preheating temperature and other parameters on the molded parts of GH3536 were studied, and the surface fusion defects and surface cracks of the formed parts were characterized. The results show that the ratio of electron beam power P to scanning speed V is the key factor affecting the surface morphology of the formed part. The size of P/V determines the input energy density during the forming process. The input energy density determines the forming part. The surface morphology, for the GH3536 material, when the average energy density is $147.2\text{ J}/\text{m}^3$, the surface morphology is better. The electron beam forming process is divided into a process of preheating the substrate, preheating before the melting stage, solid melting, and heat preservation after the melting stage. During the forming process, the temperature gradient of the molten pool and the substrate of the formed part increases due to the rapid movement of the heat source. Large, resulting in the formation of thermal stress, cracks in the parts. The electron beam melting stage is preheated to a current of 32mA , a preheating time of 20 s , a post-heating current of 30mA , and a holding time of 18 s . Can effectively eliminate the crack phenomenon.

Key words: electron beam selective zone melting; power; GH3536; preheating temperature; thermal stress; crack;

1 引言

GH3536是固溶强化型镍基高温合金,具有良好的高温力学性能、抗氧化性、腐蚀性、冷热加工成形性和焊接性能^[1-2]。主要用途包括喷气发动机的各种板材零部件,包括燃烧室、尾喷口、扩散器,是生产航空发动机各热端组件的首选材料^[3]。现有增材领域GH3536合金或GH4169等成形的工艺研究主要集中在(Selective Laser Melting,SLM)方面,利用EBM技术成形GH3536合金工艺研究尚无相关文献及研究成果。

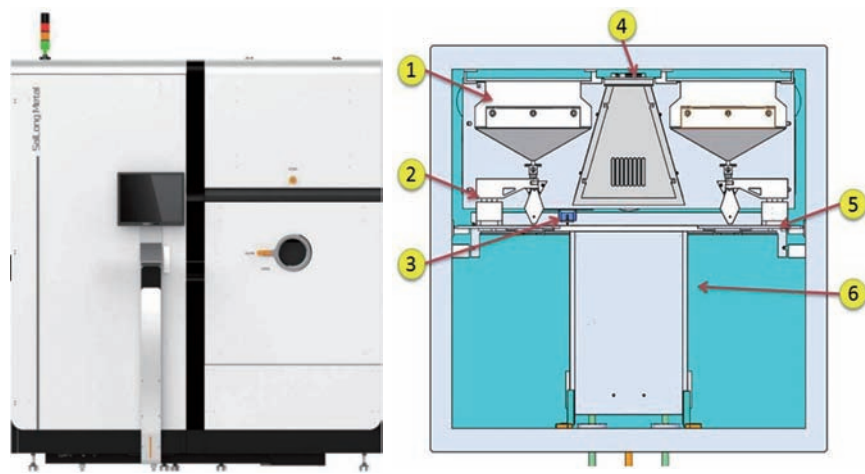
薛珈琪等人^[4]研究了激光选区熔化GH3536合金组织对力学性能的影响,得出激光选区熔化GH3536显微组织内部是以奥氏体相为主,经过凝固、热处理等工序后,晶粒内部和晶界析出了M₂₃C₆化合物,其中奥氏体晶粒尺寸变大,晶界的数量减少。室温拉伸强度降低,高温的持久性得到明显的提升。刘邦涛等人^[5]研究出利用激光选区熔化IN718合金时,扫描速度、铺粉厚度及激光功率对成形件的影响,发现随着扫描速度的增大,熔化产生的熔池深度及熔池宽度逐渐减小,扫描功率及扫描速度共同决定着成形件的质量。王会杰等人^[6]利用激光选区熔化成形技术对GH4169合金在不同成形方法和不同成形工艺条件下对成形件的影响作了研究,发现成形件选择倾斜45°角生长时,样件在成形过程的应力较小,未出现裂纹现象,同时表面缺陷较少,光斑补偿值为0.06mm时效果最佳,且成形件表面光滑,没有出现凹凸不平的缺陷;光斑补偿为0.06mm,成形件倾斜45°生长的GH4169合金其力学强度、延展性优于铸件。

基于EBM技术的成形特点,其成形条件是在高温下进行,并具备了独特的随形热处理工艺,能有效的消除零件内部应力,从很大程度上减少或去除零件表面裂纹现象。Arcam公司与西北有色金属研究院分别针对EBM技术研究了GH4169合金的成形件表面熔化质量及成形件力学性能方面的工艺,取得了一定的进展。本实验是根据国内外EBM成形GH4169工艺的基础上利用国产电子束S200设备研究输入电流、扫描速度、预热温度等参数对

GH3536材料成形质量及表面影响,并找出最优的工艺参数,制备出无裂纹、无气孔的成形件。

2 实验设备、材料与方法

实验采用国产S200电子束选区熔化设备,图1所示,仓室真空度-3Pa,电子枪最大功率3KW,加速电压60KV,束斑直径约0.3mm,最大成形范围200mm×200mm,可调节的参数有输入电流、扫描速度、预热时间、铺粉层厚、扫描间距等。



1-粉箱, 2-取粉器, 3-刮刀, 4-隔热罩, 5-铺粉平台, 6-成型区

图1 EBMS200设备及仓室三维模型图

采用GH3536粒径大小为45-105 μm的球形粉末作为成形材料,为保证试验影响因素的可控性及准确性,对粉末性能进行测试。利用BT-1000粉体综合特性仪对粉末的松装密度、振实密度进行测试,利用CamsizerX2莱驰科技图像颗粒分析仪及BT-200霍尔流速计对粉末的粒径分布及流动性进行测试,粉末检测结果如表1、2所示。

实验选择输入电流(扫描功率)、扫描速度(电子束实体部分跳转速度)、基材预热温度作为工

艺研究对象,选择成形件尺寸为8mm×8mm×8mm,粉末层厚为0.05mm,每一层包括三个阶段,分别是前预热、熔化扫描、后保温。粉末前预热是为了使前一层粉末在基材上形成假烧结的现象,强化该层粉末的强度,防止吹粉、避免放电。后保温的选择是为了巩固成形基材温度,控制温度场,防止温度流失。每层前预热时间为12s-20s,后保温时间为10s-18s,每层的预热方式为纵横交替式扫描。图2为前预热及后保温扫描模拟仿真图,图中红点代表电子束束斑。

为更直观的判断出最优的工艺参数, 改变其熔化阶段的功率及扫描速度, 观察成形零件表面熔化状态, 在初期的工艺参数基础上进行正交实验。

正交实验的考核指标是GH3536粉末的可成形性, 成形之后零件表面的熔合质量是否达标, 表面是否有较多的气孔缺陷及表面裂痕。

3 实验结果与分析

3.1 成形件检测

取16个GH3536成形样块在ZXQ-5S金相镶嵌机上镶嵌, 并利用EcoMet250金相磨机对其进行260目-2000目砂纸依次打磨, 用艾普金相抛光液对其进行抛光至镜面, 用莱卡DM2700M光学显微镜观察成形件, 实验检测设备及成形样块如图3所示。

3.2 P/V值对成形件表面的影响

图4是16个8mm×8mm×8mm的样块, 相匹配的输入电流及扫描速度如表2所示, 预热温度为945℃。为了更直观的作比较, 成形件1号和2号, 3号和4号, 5号和6号, 7号和8号, 9号和13号, 10号和14号, 11号和15号几组参数两两相同, 其中12号和16号参数不同, 最后观察相同参数在X轴及Y轴方向成形零件上表面的变化。

通过图4可以得出, 相同的P/V值成形的零件上表面形貌几乎相同, 随

着P/V的值逐渐增大, 成形件由光滑的表面向凹凸不平的沟壑状过度。根据正交实验的结果, 影响成形件表面熔合度的主要因素有输入电流、扫描速度、预热时间, 同时, 电子束的输入电

流对零件层间的结合度影响也较大, 当其他参数不变时, 输入的电流增加时, 其能量密度跟着变大, 当前层粉末吸收的能量也变大, 甚至可以重复熔化上一层粉末凝固后的上表面。

表1 粉末粒径分布

Q3(%)	X (mm)
10.0	0.0439
50.0	0.0692
90.0	0.0958

表2 粉末物理性能

粉末流动性 (s/50g)	松装密度 (g/ml)	震实密度 (g/ml)
18.23s/50g	3.675	4.6729

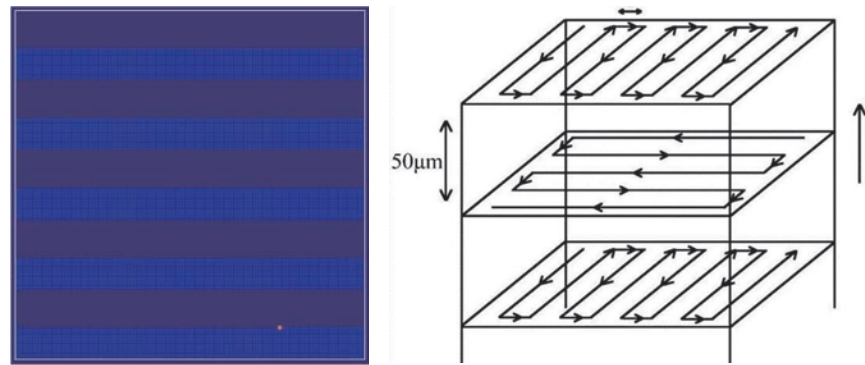
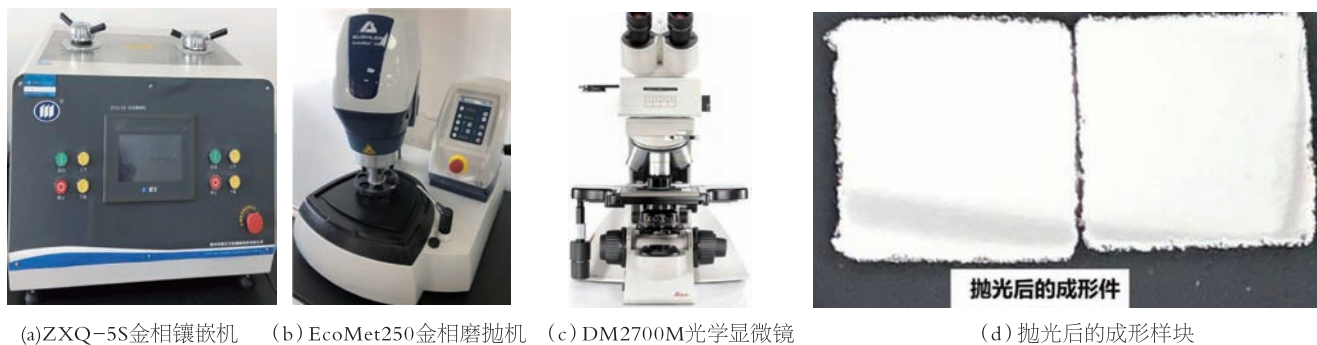


图2 预热、后保温阶段模拟图

表3 三因素三水平方法进行正交工艺实验设计

控制因子				试验水平		
	参数	单位	水平1	水平2	水平3	
A	A	电流	mA	18	18.5	19
B	V	速度	m/s	3.5	4.5	5.5
C	T	预热温度	℃	945	945	945



(a)ZXQ-5S金相镶嵌机 (b) EcoMet250金相磨机 (c) DM2700M光学显微镜

(d) 抛光后的成形样块

图3 实验检测设备

P与V的比值决定着熔化过程中输入能量密度的大小,能量密度是指电子束熔化一层粉末单位体积内所得到的能量,影响能量密度最主要的两个因素为输入电流和扫描速度,控制其输入电流一定,逐渐增加扫描速度,观察其变化规律。图5a-c是不同扫描速度下金相显微图。

由图5可以看出, P/V值的大小决定着零件上表面的熔化质量,当给定扫描电流为18mA时,对成形件内外部缺陷最大的影响因素是扫描速度,扫描速度越快,电子束在其点所停留的时间就越短,金属粉末在这一层所获得的能量就越低,粉末熔化的金属液滴就越少,导致熔化区域没有足够多的液滴去湿润其他粉末,从而得不到连续的填充线,出现不规则的孔洞现象。当扫描速度过慢时,电子束长时间扫描一个点,产生金属粉末过熔及气化现象,伴随着粉末打印过程中粉末的飞溅增加,当前层实际熔融扫描厚度减小,下一层粉末实际熔融厚度相对增加,随着打印层数的不断增加,打印层累计到一定的厚度时,由于能量密度的不足,产生聚球现象,上表面不在维持光滑平整状态,最终演变为凹凸不平的沟壑状。同时由于长时间连续不断的扫描,此点温度快速升高,周围的粉末也被加热熔化,从而导致下一个扫描点需熔化的粉末减少,出现填充线断开,随之产生了未熔化的粉末,也产生表面不规则的孔洞。产生气孔的另一个原因是粉末本身的制粉工艺所致,在成形过程中,由于粉末熔化的速度和凝固的速度很快,粉末中的气体还未排出就被熔化在成形件中,形成零件中的孔洞缺陷。因此可以得出成形过程中,扫描速度过快及过

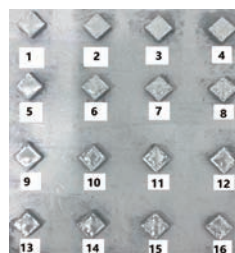
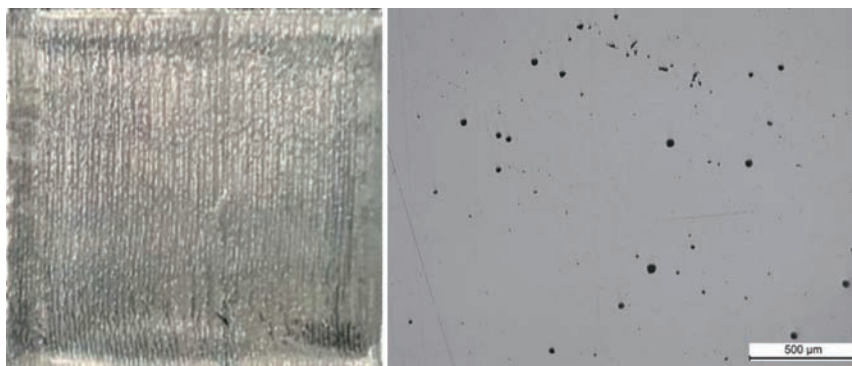


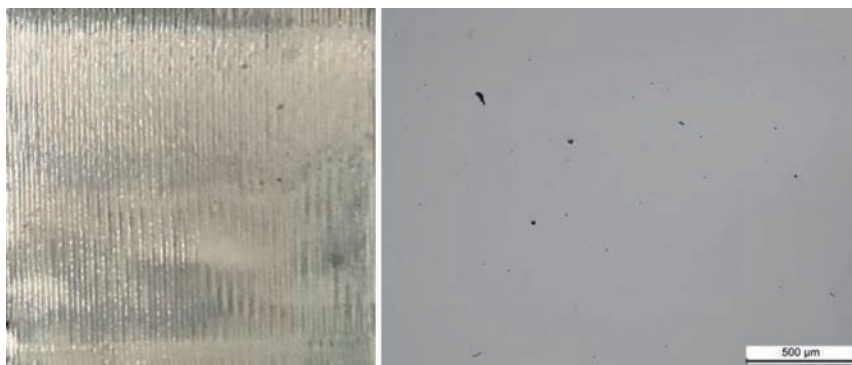
图4 不同参数P/V的成形件表面

表4 扫描熔化的工艺参数

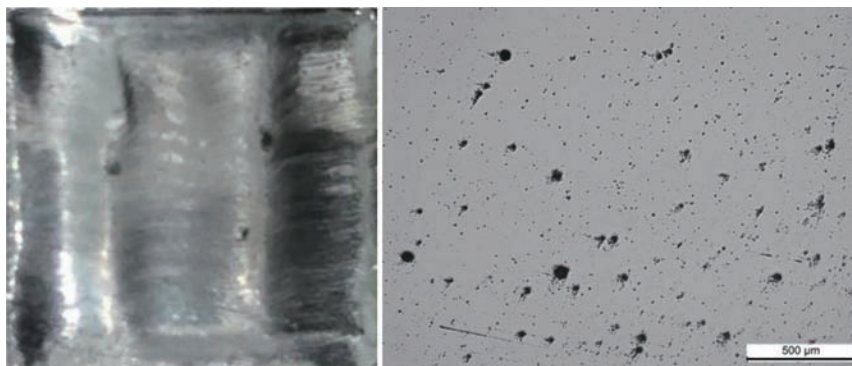
速度(m/s)	18	18.5	19
5.5	(18,5.5)	(18.5,5.5)	(19,5.5)
4.5	(18,4.5)	(18.5,4.5)	(19,4.5)
3.5	(18,3.5)	(18.5,3.5)	(19,3.5)



(a) 扫描速度7.5m/s



(b) 扫描速度5.5m/s



(c) 扫描速度3.5m/s

图5 不同扫描速度下的金相显微图

慢均会对成形件的内外表面熔化质量造成影响,当输入电流为18mA、扫描速度为5.5m/s,能量密度为147.2J/m³时,

成形件的质量较好。

3.3 递增预热电流及预热时间对成形件裂纹的改善

为了进一步研究零件在成形过程中裂纹产生的原因,在保持熔融阶段电流和扫描速度的不变的前提下,设计前预热和后保温过程中递增的预热扫描电流和预热时间,得到成形件将其表面磨抛之后在光镜下观察其形貌变化。

当前预热扫描电流 $I=20\text{mA}$, $t=14\text{s}$,后保温扫描电流 $I=18\text{mA}$, $t=12\text{s}$ 时,成形件有大量的裂纹,当前预热扫描电流 $I=28\text{mA}$, $t=18\text{s}$,后保温扫描电流 $I=26\text{mA}$, $t=16\text{s}$ 时,成形件裂纹逐渐减少,当前预热扫描电流 $I=32\text{mA}$, $t=20\text{s}$,后保温扫描电流 $I=30$, $t=18\text{s}$ 时,成形件裂纹基本消除。

由图6结果得出,确定熔融阶段扫描电流与扫描速度一定时,增加前预热、后保温电流及作用时间能明显的消除表面裂纹现象。减小熔池温度与粉床之间的温度差,尽可能保持打印温度场温度的均匀是解决零件开裂主要的方法。

4 结论

(1) P/V的值决定着成形过程中能量密度的大小,零件熔融阶段输入的能量密度大小决定着成形件上表面的形貌,对于GH3536材料,当平均能量密度为 $147.2\text{J}/\text{m}^3$ 时,表面形貌较好。

(2) 零件成形过程中,输入电流、扫描速度、基材温度三个工艺参数影响着GH3536合金表面孔洞缺陷及内部熔化质量。其中,对成形件内外部缺

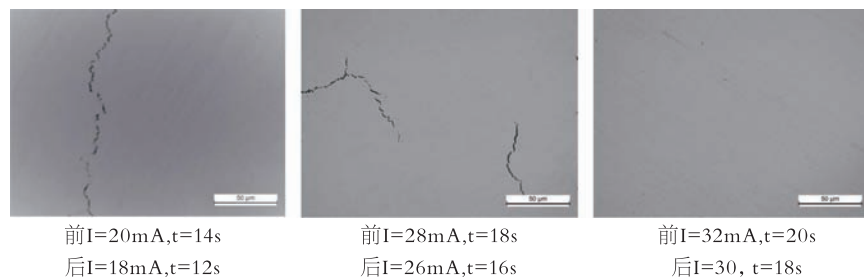


图6 裂纹随预热电流及时间递增的演变过程

陷最大的影响因素是扫描速度。

(3) 电子束打印过程中热源迅速移动,粉末温度随时的变化,加上受热不均匀,温度梯度逐渐增大,随即产生热应力。另一个方面则是成形过程中由于电子束的预热、实体扫描、凝固、冷却之间的时间很短,产生凝固收缩力和组织应力,综合以上的作用,从而零件就形成了裂纹甚至开裂的现象,在合适的范围内增加前预热电流到 32mA 、时间 20s ,后保温电流 30mA 、时间 18s ,能有效的消除零件裂纹现象。**T**

参考文献

- [1] The Chinese Society for Metals. China superalloys handbook [M]. Beijing: Standards Press of China, 2012: 160-181. 中国金属学会. 中国高温合金手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 160-180.
- [2] Lai G Y. An investigation of the thermal stability of a commercial Ni-Cr-Fe-Mo alloy (Hastelloy alloy X)[J]. Metallurgical Transactions A. 1978, 9(6): 827-833.
- [3] Editing Board of China Aeronautical Materials Handbook. China aeronautical materials handbook [M]. Beijing: Standards Press of China, 2002: 224. 《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002: 224.
- [4] 薛珈琪, 陈晓晖, 雷力明. 激光选区熔化GH3536合金组织对力学性能的影响[J]. 激光与光电子学进展, 2019(14): 1-6.
- [5] 刘邦涛, 田操, 张爱平. 选择性激光熔化镍基高温合金的成形工艺[J]. 黑龙江科技大学学报, 2016(2): 139-142.
- [6] 王会杰, 崔照雯, 孙峰等. 激光选区熔化成形技术制备高温合金GH4169复杂构建[J]. 粉末冶金技术, 2016(5): 369-372.

作者简介

畅东博, 男, 1994年出生, 本科, 籍贯: 陕西富平, 联系电话: 18829018990, E-mail: changdongbo@nijiam.cn

3D打印在室内家居设计中的应用发展研究

马璇璇, 蒋维乐

西安交通大学, 西安, 710049

摘要: 室内家居是一个悠久的行业,在最近二十年得到突飞猛进地发展。然而,繁华的现象并没有遮掩这个行业更上一层楼的制约因素。在国产木料家具禁止出口,国际木料价格上涨的背景下,我国家居产业链势必受到影响,家居业必须寻求新的增长点。

从大批量生产的工业时代进入需求更为多元化的信息时代,人们的生活方式和行为模式也发生了变化。而时代特征是指导室内家居设计发展的重要因素,这一时期的室内家居设计应符合信息时代具有否定性、去中心化、破碎性、反传统性、非连续性和多元性等特性。3D打印技术与传统制造技术相比,就是其能够同时将产品的功能性与美学性完美的融为一体的能力,室内家居设计应该结合3D打印技术的快速成型和一体化成型的优势,根据不同的需求,及时作出室内家居设计的调整。

中国家居何时系出名门,也许还要经过一段很长的路。中国家居界也慢慢认识到设计的重要。富运家具董事长陈民在‘房专访’中说:“家具最重要是‘无毒’”。在提倡绿色环保的今天,环保家具渐渐成为消费者们购买家具时重要的考虑因素。本文将主要从界面、家具、装饰三个方面探究家居设计的新方法。

关键词: 室内家居; 3D打印; 设计

Research on Application Development of 3D Printing in Indoor Home Design

MA Xuanxuan, JIANG Weile

Xi'an jiaotong university, Xi'an, 710049

Abstract: Interior furniture is a long-standing industry, which has developed by leaps and bounds in the last twenty years. The boom, however, does not obscure the constraints on the industry's growth. Under the background that domestic timber furniture is forbidden to be exported and international timber price rises, China's household industry chain is bound to be affected, and the household industry must seek new growth points.

From the industrial era of mass production to the information age where demand is more diversified, people's lifestyles and behavior patterns have also changed. The characteristics of the times are important factors in guiding the development of indoor home design. The interior design of this period should conform to the characteristics of the information age: negation, decentralization, fragmentation, anti-traditionality, discontinuity and diversity. Compared with traditional manufacturing technology, 3D printing technology is capable of integrating the functionality and aesthetics of the product at the same time. The indoor home design should combine the advantages of rapid prototyping and integrated molding of 3D printing technology. The need to make timely adjustments to the interior home design.

When Chinese homes are famous, it may take a long way. The Chinese home industry is slowly recognizing the importance of design. Chen Min, chairman of Fuyun Furniture, said in the "Interview" that "the most important thing is that furniture is not poisonous." Today, in promoting green environmental protection, environmentally friendly furniture has gradually become an