

铝熔体净化用功能化多孔碳石墨材料制备合成的研究

陈文勇 楼华山
(柳州职业技术学院机电工程学院)

摘 要 高品质铝熔体是获得高性能铝铸件的前提保证。鉴于现有技术加工微孔喷嘴石墨转子存在困难的现状,提出了一种新思路,将金属 3D 打印技术与石墨化技术结合,开发出一种兼具优异力学性能及孔结构的新型多孔碳石墨材料。通过从模板成形、合成方法等方面阐述多孔碳石墨材料的研究进展,论证了该方案的可行性,为后续新型石墨转子研发提供参考。

关键词 多孔碳石墨;选择性激光熔化技术;模板;精细结构;焙烧温度

中图分类号 TG146.21 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.09.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Preparation and Synthesis of Functionalized Porous Carbon-graphite Material
for Refining Aluminum Alloy

Chen Wenyong, Lou Huashan

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Liuzhou Vocational & Technical College)

Abstract: High quality aluminum alloy melt is the premise for producing aluminum castings with high performance. In view of the difficulty to obtain graphite impeller with small nozzles by traditional process technology, an innovative idea was proposed. By combining selective laser melting technology and graphite preparation technique, a novel porous carbon-graphite material with excellent mechanical properties and porous structure was developed. The research progress in the porous carbon-graphite material in aspects of framework preparation and synthesis method were reviewed, and the feasibility of the novel idea was demonstrated, providing reference for developing subsequent new type novel graphite impeller.

Key Words: Porous Carbon-graphite, Selective Laser Melting Technology, Framework, Fine Structure, Calcined Temperature

目前,国内铝加工企业主要采用旋转喷吹工艺净化铝熔体,除氢净化装置的关键部件是石墨转子。由于石墨转子的喷嘴孔径较大($\geq 1\text{ mm}$),气体熔剂(N_2 或 Ar 等)经由转子喷嘴喷入铝熔体后,形成的气泡尺寸偏大($2\sim 8\text{ mm}$)^[1,2],使得除氢效果不佳,铝熔体中氢含量偏高(100 g Al 中氢含量为 0.15 cm^3),导致铝铸件内部针孔度 ≥ 3 级,不能满足新能源汽车用铝铸件的性能要求。在石墨转子上制备更小孔径的喷嘴($\leq 1\text{ mm}$),有益于产生更加微小的气泡($\leq 2\text{ mm}$),达到进一步提升铝熔体品质的目的。然而,以现有的技术水平,在直径 $\geq 200\text{ mm}$ 的石墨转子上,加工孔径 $\leq 1\text{ mm}$ 且深度 $\geq 100\text{ mm}$ 的通道,存在以下困难:①排屑难;②刀具易于偏斜,造成工件报废,刀具损坏。

多孔碳是一种由相互贯通孔隙构成的网络结构碳基材料。石墨转子上周向有序排列的各个喷嘴,其在转子内部的孔道结构,最终汇聚于中心通气孔,也形成了孔隙网络结构。两者在结构上具有很大的相似性、相同的。然而,多孔碳材料存在着结构强度差、孔结构不可控等问题^[3,4]。如果能够根据铝熔体净化的需求,针对性地设计多孔碳的孔结构及调控微观组织,在此基础上,合成兼具微小孔隙结构及高纯石墨优异力学性能的功能化多孔碳石墨材料,通过将该功能化多孔碳石墨材料应用于新型石墨转子研发,则有望突破低成本产生微小气泡技术屏障,从而促进铝熔体净化水平提升。从制备工艺来看,功能化多孔碳石墨材料与普通碳石墨材料的合成工艺基本相同,均需要压坯、焙烧碳化、高温石墨

收稿日期:2021-03-28;修改稿收到日期:2021-04-05
基金项目:广西科技厅重点研发计划资助项目(桂科 AB18126010);柳州市科技攻关与新产品试制项目(2021AA0101A019);柳州职业技术学院科研项目(RZ2100001864)
第一作者简介:陈文勇,男,1973 年出生,副教授,广西柳州(545007),E-mail:116834893@qq.com
通信作者:楼华山,男,1970 年出生,高级工程师,广西柳州(545007),E-mail:louhuashan70@163.com
引用格式:陈文勇,楼华山. 铝熔体净化用功能化多孔碳石墨材料制备合成的研究[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(9):1 138-1 143.
CHEN W Y, LOU H S. Preparation and synthesis of functionalized porous carbon-graphite material for refining aluminum alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(9):1 138-1 143.

化处理等流程。两者区别在于,功能化多孔碳石墨材料需要经历造孔模板设计制备及去除“造孔”模板环节。其中,“造孔”模板设计制备、坯料焙烧碳石墨化环节直接决定了多孔碳石墨材料的性能,因而成为关注重点。然而,现阶段关于采用多孔碳石墨材料制备石墨转子净化铝熔体的文献报道很少。

鉴于新型功能化多孔碳石墨材料开发的需要,本课题从“造孔”模板设计制备、合成方法等方面对多孔碳石墨材料的研究进展进行了归纳,目的是通过探索一种有别于传统工艺设计合成功能化多孔石墨材料的新方法,并探讨其可行性、存在的问题及应对措施,为铝熔体净化技术的研发提供一种新思路。

1 多孔碳石墨材料的孔结构制备

实现石墨转子产生微小气泡功能的关键在于,如何依据石墨转子喷嘴的结构特点,精准的在多孔碳石墨材料内部制造相应的孔结构^[5]。解决该技术难题的核心在于,基于喷嘴的孔结构形貌,制备完美的复制品作为造孔模板。在此基础上,选择合适的碳源包覆造孔模板,通过焙烧使碳晶粒在模板支架的引导作用下有序排列,相互连接构筑孔壁结构,随后,去除造孔模板,获得功能化多孔碳石墨材料。石墨转子内部的孔结构由若干细长的分支孔道(直径 $\leq 1\text{ mm}$ 且长度 $\geq 100\text{ mm}$)组成,因此,其复制品-造孔模板即为复杂的大尺寸细长杆件结构,该结构特点是刚度较差,且难以成形。

1.1 传统模板法

传统工艺制备多孔碳材料的模板主要分为软模板和硬模板两种^[6]。硬模板材质大多为有序的无机固体,如介孔硅、沸石、金属有机骨架等。硬模板的制作流程包括:①制备具有可控孔隙结构的骨架;②用碳源填充骨架的孔隙结构;③高温碳化处理;④酸洗腐蚀去除模板骨架,获得与模板骨架相对应的孔道结构碳材料。LEE J T 等^[7]和 SAYARI A 等^[8]以硅基无机物为材质,通过优选硅基颗粒的粒径,合成了孔径可控的有序多孔碳材料,见图 1a。硬模板在高温碳化过程中,由于有模板骨架的支撑,碳源烧结形成的框架不容易坍塌。然而,其不能依据石墨转子喷嘴结构特点,对孔隙结构的走向、布局进行精细调控;脆性的模板骨架不能承受压力,压坯流程中其结构的完整性得不到保障。

软模板则借助于溶胶-凝胶的化学过程实现:将活性化合物溶解于溶剂中,随后加入有机化合物混合搅拌,使两者发生强相互作用形成稳定的溶胶,接着,加热溶胶,使其缩聚成凝胶沉淀。凝胶干燥后,高温烧结,使之分解产生有序的孔隙结构,含碳成分碳化形成骨架^[9],见图 1b。SHEN Y 等^[10]采用溶胶-凝胶法合成了

Ni 基多孔材料,通过对其孔隙大小的调控,获得了所需的性能。此外,LI L 等^[11]将木材在惰性气氛高温煅烧去除非碳元素后,获得了三维网状碳材料。该多孔碳材料与其他类型的多孔碳材料存在很大差异,完整保留了原材料特有的直通道和丰富的孔结构,见图 2^[12]。软模板法缺点在于其仅适用于介孔碳材料的制备。由于介孔碳材料的孔壁薄,易于损毁,导致强度很差,不能满足石墨转子力学性能的要求。

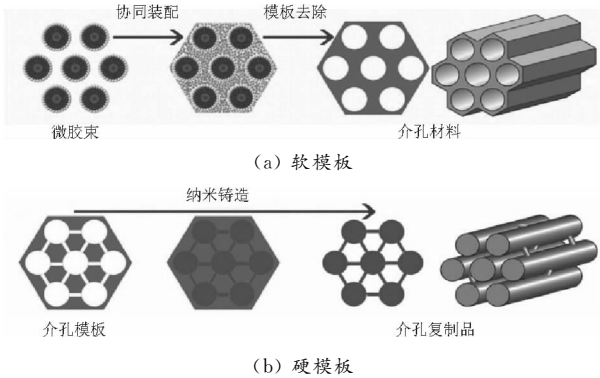


图 1 多孔碳的合成流程^[7]

Fig.1 The flow chart of synthesis for porous carbon-graphite

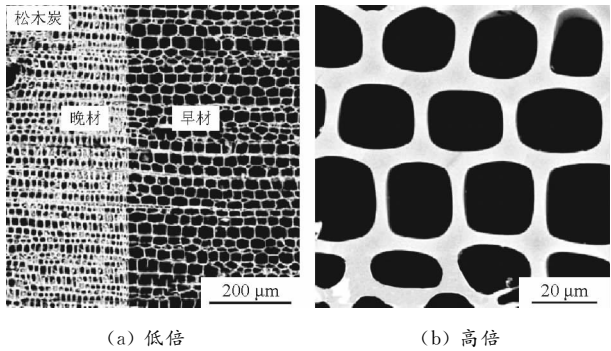


图 2 生物木材模板-松木碳化的微观形貌^[12]

Fig.2 Microstructure of bio-wood framework-carbonized pine

1.2 金属 3D 打印成形技术

选择性激光熔化(SLM)技术具有跨越微尺度和宏观尺度的制造功能^[13],采用该技术金属 3D 打印成形喷嘴孔结构,获得的造孔模板可以完美地复制孔结构,且模板骨架具备一定的强度。国外已研制出微型激光烧结金属 3D 打印机,并利用其成功制备了 1 mm^2 的微型锂离子燃料电池,电池尺寸精度为 100 nm ^[14]。SLM 金属 3D 打印技术在微纳尺度应用方面取得的进展和突破,使得制造尺寸更小、结构更为复杂的造孔模板成为可能。鉴于 SLM 金属 3D 打印技术的优势,利用其成形多孔碳石墨材料内部的孔结构,在此基础上,将金属孔结构作为模板开发铝合金精炼用多孔碳石墨材料。但造孔模板使用环境十分复杂,出于实现其功能的考虑,不能一味追求小直径的支杆,往往还需要兼顾满足模板其他特性要求。

首先,造孔模板支杆的尺寸与(多孔碳石墨材料制备的)石墨转子喷嘴产生微小气泡的性能密切相关。造孔模板支杆的直径越小,石墨转子喷嘴的孔径也越小,喷嘴形成气泡的直径也越小。然而,支杆的直径越小,抗变形的强度越差,见图 3。在外力作用下,支杆很容易发生变形,使得各个支杆之间的位置尺寸发生变化,从而影响各个喷嘴的排列位置,导致石墨转子旋转喷吹过程中,出现合并的几率增大。提高造孔模板的抗变形能力,可借助于以下两种方式:①适当增大支杆直径,以提高其抗变形能力;②在支杆之间添加起加固作用的连杆,通过增加连杆的密集度,增强造孔模板结构的整体刚度,见图 4。然而,冗余的连杆会增加 SLM 的成形时间,浪费成形粉末,导致该结构的成形成本急剧上升,见图 5。另外,支杆与连杆的结合部位应力状态复杂,传统的梁单元法难以精确模拟各结合部位的力学性能,使得结合部位的设计易存在不合理的情况^[15]。解决上述问题可以采用类桁架法,通过调整支杆和连杆的成形方向(倾斜角度)及工艺参数(激光能量、粉末密度),避免悬垂缺陷,从而优化支杆的密集度^[16]。其次,为保证支杆的尺寸精度,需要 SLM 聚焦激光光束,形成高密度光斑(直径为 $80\text{ }\mu\text{m}$ 左右),逐点熔化金属粉末(粒径 $50\sim 60\text{ }\mu\text{m}$)形成熔池。高能激光束容易引起金属蒸气射流,产生飞溅现象;而且,被照射粉末和未被照射粉末之间的温度梯度会引起较大的残余应力,造成粉床上的金属粉末铺设不均匀。上述因素使得造孔模板的表面质量变差,甚至导致成形失败,见图 6。MASKERY I 等^[17]通过试验研究了扫描速度、扫描线

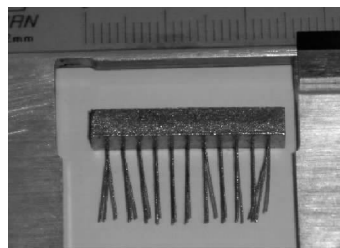


图 3 细支杆发生的变形
Fig. 3 Deformation of fine struts

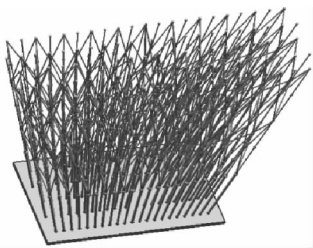


图 4 支杆间采用连杆加固
Fig. 4 Connecting rod reinforcement between struts

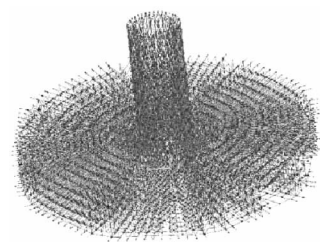


图 5 造孔模板结构特点
Fig. 5 Characteristics of pore framework

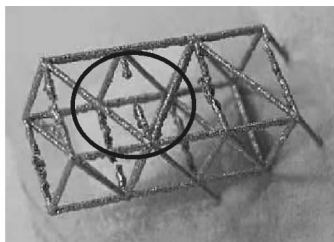


图 6 微细杆件出现断开缺陷
Fig. 6 Crack defects of micro struts

长度对复杂结构成形质量的影响,在此基础上,提出了依据倾斜角的变化优化激光能量输入的方法,取得了较好效果,成形的金属零件具有较高的尺寸精度(0.1 mm)及表面粗糙度($R_a=30\sim 50\text{ }\mu\text{m}$),见图 7。在借鉴 MASKERY I 等^[17]研究的基础上,选用 18Ni300 钢粉为基材,通过 SLM 金属 3D 打印技术成形的造孔模板,其支杆直径可以控制在 0.2 mm ,见图 8。

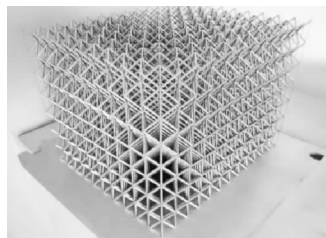


图 7 金属 3D 打印点阵镂空件
Fig. 7 Pierced parts of metal 3D printed lattice

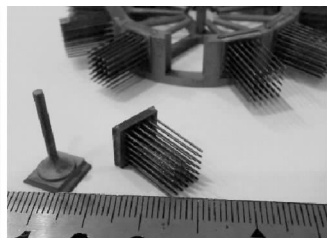


图 8 18Ni300 钢基材成形的模板
Fig. 8 Framework of 18Ni300 steel matrix

2 高性能多孔碳石墨材料的合成

2.1 碳源选用及压坯处理

通常情况下,碳粉粒度越细,越容易填充满造孔模板各个支杆之间的空隙,合成的多孔碳石墨材料质地也越致密细腻,强度亦越高^[18]。美国步高石墨公司选用粒径 $\leq 1\text{ }\mu\text{m}$ 的碳粉为原料,通过加入 5%~15%的硼酸,经 100 MPa 模压成形,在 $1\text{ }000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 氮气气氛烧结,经 $2\text{ }500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 石墨化后,获得了密度 $\geq 2.0\text{ g/cm}^3$,抗弯强度 $\geq 102\text{ MPa}$ 的石墨材料^[19]。然而,随着碳粉粒径减小,粘结剂的使用量增多,并在焙烧期间分解出更多的气体,导致在石墨材料内部产生更多的微孔和裂纹,废品率激增强度反而下降。碳粉粒径的选用需要结合现有条件,通过大量试验,在完善混粉工艺的基础上,以确定最优的粒径。

压制异质结构石墨生坯的流程包括以下步骤:①造孔模板置入包套模具内;②倒入碳粉与粘结剂的混料包裹造孔模板;③采用等静压对包套施压,并维持一定时间使其成形,见图 9。



图 9 等静压成形的石墨生坯
Fig. 9 Graphite green billet formed by isostatic pressing

2.2 碳化处理及去除模板

对于包含异质金属模板的石墨坯料而言,焙烧工艺(1 000~1 200 ℃)是最难控制和优化的环节,这主要有3个原因:①石墨基体与金属模板的热膨胀系数不匹配,石墨的热膨胀系数远低于金属模板的热膨胀系数^[19,20];焙烧期间温度变化过程中(升温 and 降温),在碳粉颗粒与金属模板之间的界面处会反复形成热应力。在热应力的作用下,诱发内部形成大量的微裂纹,随着裂纹的蔓延、扩展,在石墨坯料内部出现贯穿现象,见图 10;②焙烧过程中粘接剂(沥青或酚醛树脂)分解产生气体,气体排出时,形成许多微小孔道,容易引起应力集中,导致石墨性能下降;采用反复浸渍、焙烧等工艺,可以达到使石墨密实的效果,但会大幅延长生产周期,提高生产成本;目前,较为普遍采用的成熟生产工艺为:一浸二焙或二浸三焙;③金属模板与碳粉颗粒之间的界面结合及其控制是多孔碳石墨材料制备的技术难题,该因素直接影响了多孔碳石墨材料内部孔结构的形成。碳具有优异的化学稳定性,熔点(3 650 ℃)远高于普通金属的熔点^[20]。碳石墨生坯焙烧过程中,如果焙烧温度偏低($\leq 2/3$ 石墨熔点),碳粉颗粒之间不会发生烧结行为,且金属模板与碳粉颗粒也很难发生界面反应形成金属碳化物^[21];导致碳粉颗粒与碳粉颗粒之间、碳粉颗粒与金属模板之间更多是物理附着关系。由于堆积在模板四周的碳粉颗粒,彼此间的结合强度有限,较难构建牢固的孔壁结构^[22]。当模板去除后,碳粉颗粒易坍塌,堵塞孔道^[23]。BAI H 等^[24]在真空条件下,将石墨鳞片与 Cu 颗粒的混合预制体加热至 950~1 070 ℃,利用熔融的 Cu 活性大,促进了石墨鳞片与 Cu 发生界面反应,从而获得了石墨鳞片/铜复合材料。从 SEM 观察可知,该复合材料的石墨鳞片/铜形成了冶金结合,两者之间的界面没有明显的缝隙。对碳石墨生坯的焙烧温度进行了优选:焙烧温度 $\geq 1\,500\text{ }^{\circ}\text{C}$,获得了碳石墨材料。通过观察该复合材料微观组织发现,石墨颗粒与金属模板(18Ni300 钢)之间具有很好的相容性,两者间界面平直,无裂纹,Fe、Ni、C 等元素彼此在界面处均存在扩散行为,见图 11。

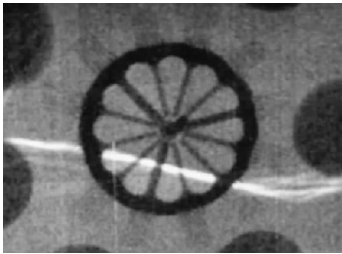


图 10 内部贯穿裂纹(X 光检测)

Fig.10 Internal penetrating crack (X-ray inspection)

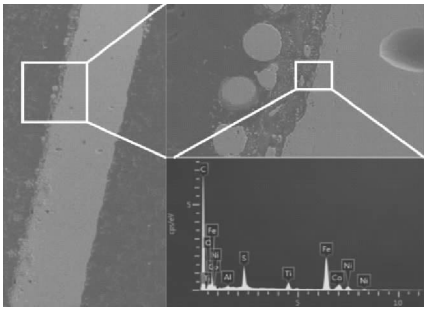


图 11 石墨/金属(Fe)复合材料界面形貌及 EDS
Fig.11 Interface of graphite/metal composite

为了避免高温石墨化处理期间,再次在碳复合材料内部反复形成热应力,需要在石墨化之前,将金属模板彻底去除。这是因为烧成期间,随着温度持续升高(2 200~2 800 ℃),石墨基体与金属模板之间热应力显著增大,使得石墨基体与金属模板在界面处膨胀、收缩差异进一步增大,从而会导致石墨材料开裂报废。鉴于以上考量,利用无损检测设备探寻碳复合材料内部金属模板的准确位置。随后,在碳复合材料外部对金属模板的位置进行标识,见图 12。接着,通过常规的机加工方式除去碳复合材料多余的部分,使金属模板露出表面,再由(酸、碱)溶液腐蚀碳复合材料,与金属模板充分发生化学^[25]。结果表明,当金属模板溶解后,碳复合材料内部可以形成稳定的孔道结构,见图 13。



图 12 X 光标识石墨内部模板位置
Fig.12 Position of framework inside the graphite marked by X-ray

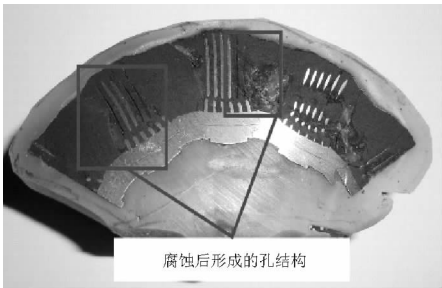


图 13 模板去除后形成的孔道

Fig.13 Pole canals formed after the removal of the framework

2.3 石墨化

碳石墨生坯焙烧后,获得的多孔碳材料有序性差,

大多为无定形碳,致使材料内部存在较多的微孔、裂纹等缺陷,力学性能较差,不能满足石墨转子强度的要求。提高多孔碳材料的石墨化程度,可以使无定型碳的无序结构转化为三维有序的层状结构,从而促进材料性能提升。通常,促使多孔碳材料由无定型碳向石墨转变,需要高温或高压条件。LIU Z 等^[26]将烧结的碳块高温处理($\geq 2\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$)后,获得的石墨材料的抗弯强度 $\geq 173\text{ MPa}$ 。通过研究石墨材料微观结构与物理性能之间的关系,认为碳材的石墨化主要取决于碳粉的微晶尺寸和高度的取向性,高温有利于碳粉晶体充分发育,排列有序,从而增加多孔碳的石墨化程度。鉴于多孔碳材料石墨化制备成本高、能耗大的问题,目前业内关注的热点主要是寻找更高效节能的制备方法。WANG S X 等^[27]和 ZHOU G 等^[28]利用过渡金属(Co、Fe 等)的催化效应,显著地降低多孔碳材料石墨化所需要的温度,实现了低温石墨化。将制备的多孔碳材料置入艾奇逊炉高温($2\,800\text{ }^{\circ}\text{C}$)处理后,获得了多孔碳石墨材料。该材料的石墨鳞片结构规整,层状有序堆积,并具有优异的物理和力学性能,(无孔区域的)密度 $\geq 1.85\text{ g/cm}^3$,抗弯强度 $\geq 40\text{ MPa}$,见图 14。

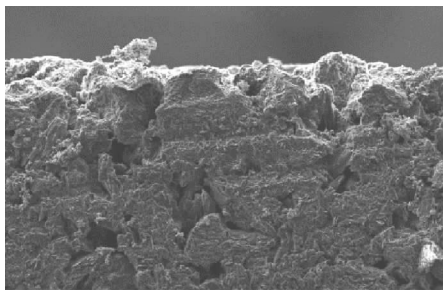


图 14 多孔碳石墨化后微观组织

Fig.14 Microstructure of porous carbon after graphitization

3 研究展望

近年来,铝液除氢工艺发展的特点已经和传统工艺大不相同。过去强调各种技术集成革新,然而,随着科技发展和进步,更侧重于新材料的突破,进而衍生出新的技术创新。针对传统除氢装置产生微小气泡困难的问题,提出了结合 SLM 技术与石墨化技术制备新型功能化多孔碳石墨材料的方案。在实施该方案的过程中,通过优化焙烧温度等参数可对碳粉颗粒与金属模板之间的界面性质进行控制,去除模板后,将多孔碳石墨化处理,即可获得既保持高纯石墨材料原有性能,又赋予微通孔结构的新材料。尽管对功能化多孔碳石墨材料制备合成的机理形成了一定的共识,然而,功能化多孔碳石墨材料工程应用于铝合金净化的效果依然不清楚。为了研制出具有自主知识产权的新型除氢装置,切实推

动国内铝业净化技术水平发展,后续将加强以下两个相关领域的研究:

(1)侧重于新型多孔石墨材料在旋转喷吹中的应用性能。采用新型多孔碳石墨材料开发系列不同喷嘴孔径的石墨转子,研究气体流量、压强、喷嘴孔径及转子转速等参数对气泡生成大小的影响;探寻有效的预测和控制气泡运动轨迹的方法,形成一套完整的理论,从宏观层面到微观层面详实描述“气-液”两相流的问题。

(2)关注石墨转子延寿技术的开发。针对石墨转子易高温氧化的问题,探索在石墨表面制备复合涂层的技术方案,研究复合涂层对石墨基体的高温防护及失效机理,研究复合涂层高温氧化的损伤行为。

参 考 文 献

- [1] ZHANG L F, LV X W, TORGERSON A T, et al. Removal of impurity elements from molten aluminum: A review[J]. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2011, 32(3): 150-228.
- [2] SATERNUS M, MERDER T. Physical modelling of aluminum refining process conducted in batch reactor with rotary impeller[J]. Metals, 2018, 8(9): 726-740.
- [3] YANG X Y, CHEN L H, LI Y, et al. Hierarchically porous materials: synthesis strategies and structure design[J]. Chemical Society Reviews, 2017, 46: 481-558.
- [4] LIU M, ZHOU M, YANG H, et al. Titanium dioxide nanoparticles modified three dimensional ordered macroporous carbon for improved energy output in microbial fuel cells[J]. Electrochimica Acta, 2016, 190: 463-470.
- [5] JING T, SALUNKHE R R, JIAN L, et al. Thermal conversion of core-shell metal-organic frameworks: a new method for selectively functionalized nanoporous hybrid carbon[J]. J. American Chem. Soc., 2015, 137(4): 1 572-1 580.
- [6] SHI Y F, WAN Y, ZHAO D Y. Ordered mesoporous non-oxide materials[J]. Chemical Society Reviews, 2011, 40(7): 3 854-3 878.
- [7] LEE J T, ZHAO Y, THIEME S, et al. Sulfur-infiltrated micro- and mesoporous silicon carbide-derived carbon cathode for high-performance lithium sulfur batteries[J]. Adv. Mater., 2013, 25: 4 573-4 579.
- [8] SAYARI A, HAMOUDI S. Periodic mesoporous silica-based organic-inorganic nanocomposite materials[J]. Chem. Mater., 2001, 13: 3 151-3 168.
- [9] MENG Y, GU D, ZHANG F, et al. A family of highly ordered mesoporous polymer resin and carbon structures from organic-organic self-assembly[J]. Chem. Mater., 2006, 18: 4 447-4 464.
- [10] SHEN Y, LUA A C. Sol-gel synthesis of Ni and Ni supported catalysts for hydrogen production by methane decomposition[J]. RSC Adv., 2014, 4: 42 159-42 167.
- [11] LI L, HU T, SUN H, et al. Pressure-sensitive and conductive carbon aerogels from poplars catkins for selective oil absorption and oil/water separation[J]. ACS Applied Materials & Interfaces, 2017, 21(9): 18 001-18 007.
- [12] RAMBO C R, CAO J, RUSINA H O, et al. Manufacturing of bi-

- omorphous (Si, Ti, Zr)-carbide ceramics by sol-gel processing[J]. Carbon, 2005, 43: 1 174-1 183.
- [13] AKITA M, UEMATSU Y, KAKIUCHI T, et al. Defect-dominated fatigue behavior in type 630 stainless steel fabricated by selective laser melting[J]. Materials Science & Engineering, 2016, A666: 19-26.
- [14] KOLESKY D B, TRUBY R L, GLADMAN A S, et al. 3D printing of interdigitated Li-ion microbattery architectures[J]. Adv. Mater., 2014, 26: 3 124-3 130.
- [15] KÖRNER C. Additive manufacturing of metallic components by selective electron beam melting-A review[J]. International Materials Reviews, 2016, 61(5): 361-377.
- [16] MULLEN L, STAMP R, BROOKS W, et al. Selective laser melting: A unit cell approach for the manufacture of porous, titanium, bone in-growth constructs, suitable for orthopedic applications[J]. Journal of Biomedical Materials Research, 2009, B89 (2): 325-334.
- [17] MASKERY I, AREMU A O, SIMONELLI M, et al. Mechanical properties of Ti-6Al-4V selectively laser melted parts with body-centred-cubic lattices of varying cell size[J]. Experimental Mechanics, 2015, 55(7): 1 261-1 272.
- [18] LI W, LIU Y, WU G. Preparation of graphite flakes/Al with preferred orientation and high thermal conductivity by squeeze casting[J]. Carbon, 2015, 95: 545-551.
- [19] ASKELAND D R, FULAY P P. The Science and Engineering of Materials[M]. Pacific Grove, CA: Thomson Brooks/Cole, 2003.
- [20] YUAN M Y, TAN Z Q, FAN G L, et al. Theoretical modeling for interface design and thermal conductivity prediction in diamond/Cu composites[J]. Diamond and Related Materials, 2018, 81: 38-44.
- [21] GUO C Y, HE X B, REN S B, et al. Effect of (0~40%) Si addition to Al on the thermal conductivity and thermal expansion of diamond/Al composites by pressure infiltration[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2016, 664: 777-783.
- [22] MOUSTAFA S F, EL-BADRY S A, SANAD A M. Effect of graphite with and without copper coming oil consolidation behavior and sintering of copper-graphite composite[J]. Powder Metallurgy, 1997, 40(3): 201-206.
- [23] XIE F C, ZHANG L X, FENG J C, et al. Interface structure and mechanical property of the brazed joint of graphite and copper[J]. China Welding, 2009, 18(1): 1-5.
- [24] BAI H, XUE C, LYU J, et al. Thermal conductivity and mechanical properties of flake graphite/copper composite with a boron carbide-boron nano-layer on graphite surface[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2018, 106: 42-51.
- [25] YUAN D, ZHAO D, TIMMONS D J, et al. A stepwise transition from microporosity to mesoporosity in metal-organic frameworks by thermal treatment[J]. Chemical Science, 2011(2): 103-106.
- [26] LIU Z, GUO Q, SHI J, et al. Preparing of doped graphite with high thermal conductivity by a liquid mixing process[J]. Carbon, 2007, 45(9): 1 914-1 916.
- [27] WANG S X, CHEN S, WEI Q, et al. Bioinspired synthesis of hierarchical porous graphitic carbon spheres with outstanding high-rate performance in lithium-ion batteries[J]. Chemistry of Materials, 2014, 27(1): 336-342.
- [28] ZHOU G, WANG D W, SHAN X, et al. Hollow carbon cage with nanocapsules of graphitic shell/nickel core as an anode material for high rate lithium ion batteries[J]. Journal of Materials Chemistry, 2012, 22(22): 11 252-11 256.

(编辑:栗万仲)

万丰奥威上半年营收增长 25.44%

近日,浙江万丰奥威汽轮股份有限公司(以下简称“万丰奥威”)发布 2021 年半年度报告。报告显示,2021 年上半年,万丰奥威实现营收 55.47 亿元,同比增长 25.44%;实现扣非净利润 1.66 亿元,同比增长 22.32%。随着国内新冠肺炎疫情得到有效控制,公司经营恢复正常,加之公司“双引擎”战略成效明显,汽车部件产业与飞机制造产业双双发力,尤其是铝合金等金属材料的轻量化应用,为公司业绩增长提供了支撑。

万丰奥威称,公司汽车部件产业已切入核心客户供应链,实现以传统汽车为基础,以新能源汽车为支点,国内与国外并重、主机与售后市场相协调的市场格局,充分发挥了镁合金、铝合金、高强度钢等金属材料轻量化应用优势。另外,公司飞机制造产业在全球通航飞机制造领域内已具备较大影响力和较高美誉度,相关产品以良好的产品性价比和全生命服务赢得了全球第二的市场地位。同时,为提升全产业链价值,保障不同客户个性化需求,公司已逐步建立了全球化的市场网络体系。

此外,对于半年报中提及的归属于上市公司股东净利润同比下降的原因,万丰奥威称,这主要是因为原材料铝锭价格同比上涨 31.72%、镁锭价格同比上涨 18.38%、钢材价格同比上涨 25.96%,以及船期紧张使海运价格上涨 4~5 倍,叠加客户销售价格与原材料价格联动上涨滞后及部分客户未联动影响,营业成本同比上涨幅度高于收入增长幅度,整体盈利水平出现程度下滑。

报告还显示,随着大宗金属铝锭、镁锭、钢材的价格走势趋缓,价格联动滞后影响减弱,万丰奥威盈利水平将得到明显改善。

(摘自中国有色金属报)