DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.10.014

短切 PA66 纤维含量和长度对硅溶胶浆料特性的影响

胡　兵[1],胡　玥[1],雷四雄[1],周　坚[1],芦　刚[2]

(1. 中国航发南方工业有限公司,湖南 株洲 412002;2. 南昌航空大学 轻合金加工科学与技术国防重点学科实验室,江西 南昌 330063)

摘　要:采用了超声振动和机械搅拌方式对硅溶胶浆料中的短切 PA66 纤维进行分散,探究了在硅溶胶浆料中短切 PA66 纤维含量和长度的分散效果;测试了硅溶胶浆料性能,分析了浆料运动粘度的影响规律。结果表明,在机械搅拌和超声振动的共同作用下,短切 PA66 纤维在硅溶胶浆料中分散良好。随着短切 PA66 纤维含量在 0~0.8%变化时,硅溶胶浆料的运动粘度先增后减小,0.6%时达到最大值 525 MPa·s。随着短切 PA66 纤维长度的增加,硅溶胶浆料运动粘度几乎呈线性关系增加。

关键词:超声振动;硅溶胶浆;短切 PA66 纤维;运动粘度

中图分类号:TG249　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)10-0954-04

Effects of Short PA66 Fiber Content and Length on Silica Sol Slurry Properties

HU Bing[1], HU Yue[1], LEI Sixiong[1], ZHOU Jian[1], LU Gang[2]

(1. AECC South Industry Co., Ltd., Zhuzhou 412002, China; 2. National Defence Key Discipline Laboratory of Light Alloy Processing Science and Technology, Nangchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: The dispersion of short PA66 fiber in silica sol slurry was studied by means of ultrasonic vibration and mechanical stirring. The kinematic viscosity of silica sol slurry was measured and the influence law of its kinematic viscosity was analyzed. The results showed that short PA66 fiber dispersed well in silica sol slurry by ultrasonic vibration and mechanical stirring. With the change of nylon fiber content from 0% to 0.8%, the kinematic viscosity of silica sol slurry first increases and then decreases, reaching the maximum value of 525 MPa·s when reaching 0.6%, with the increase of short PA66 fiber length, the kinematic viscosity of silica sol slurry increases in a nearly linear manner.

Key words: ultrasonic vibration; silica sol; short PA66 fiber; kinematic viscosity

熔模精密铸造作为一项材料近净成形技术,具有尺寸精度高、铸件结构复杂、适用合金广和批量灵活等特点,不仅可以生产高精度及超高精度、内腔结构复杂的零件如航空发动机涡轮叶片,也可以成形大型组合铸件,尤其是在高熔炼温度、高化学活性金属的成形中起着至关重要的作用[1,2]。熔模精铸型壳须具备较好的常温强度以保证其在制造、搬运和脱蜡过程中不发生损坏,同时还须具有一定的高温强度以保证其浇注过程中抵抗金属液的冲刷和较低的残留强度等[3]。由于熔模精铸型壳的强度与透气性存在相互制约的关系,仅仅只考虑型壳强度,通常采用增加型壳厚度,但是随着型壳厚度增加型壳的散热只会越来越困难,从而导致充型困难,铸件晶粒粗大且容易产生气孔。根据纤维增强复合材料的思路和相关研究表明,将短切有机纤维加入到硅溶胶浆料中对型壳进行强化,可以提高型壳的常温强度;同时型壳经过高温焙烧后,短切有机纤维被完全烧失,在型壳内留下许多微孔隙,增强了型壳透气性[4,5]。此外短切有机纤维的表面性能差,纤维间的表面交织力和吸引力会使其在硅溶胶浆料中相互接触缠绕,易出现纤维成束成团的现象,所以短切有机纤维在硅溶胶浆料中能否分散均匀,纤维与型壳基体的交织情况,对短切有机纤维增强硅溶胶型壳起着至关重要的作用[6]。粉液比的微小变动对硅溶胶浆料的影响较大,硅溶胶浆料的粘度是对浆料涂挂性和流动性的重要表征,所以硅溶胶浆料的性能一般通过测定浆料粘度为主要依据来判断[7-10]。

本文将短切 PA66 纤维加入到硅溶胶浆料中,探究了 PA66 纤维在硅溶胶浆料中其含量和长度的

收稿日期:2020-03-23

作者简介:胡　兵(1988-),湖南常德人,硕士.主要从事高温合金精密铸造工艺方面的工作.电话:073128553915,E-mail:460431606@qq.com

通讯作者:芦　刚(1982-),山西宜黄人,博士,副教授.研究方向:液态金属精密成形理论及工艺.E-mail:aimulalg@163.com

分散效果；对硅溶胶浆料运动粘度进行了测试，为获得有机纤维的最佳含量和长度，对浆料运动粘度的影响规律进行了分析，为获得优质浆料提供理论参考。

1　试验材料及方法

1.1　实验材料

实验所需的粘结剂采用山东省济南市银丰硅制品有限责任公司所生产的优质碱性硅溶胶，胶体粒径为 9~20 nm，SiO_2 含量为 29%~31%；耐火粉料为 325/200 目的刚玉，PA66 纤维由北京融信通科技有限公司生产，直径为 9~13 μm，长度为 2、3、4、5、6 mm。其主要性能指标如表 1 所示。

表1 PA66纤维的性能指标
Tab.1 Performance indexes of PA66 fiber

纤维种类	密度 /g·cm^{-3}	熔点 /℃	拉伸强度 /MPa	弹性系数 /GPa
PA66	1.15	224	900	5.17

1.2　实验方法

首先对短切 PA66 纤维的表面进行化学处理。用无水乙醇、蒸馏水和硅烷偶联剂来配制化学处理液。将适量 PA66 纤维加入化学处理液中，先用超声振动 5 min，再机械慢速搅拌 5~10 min，最后过滤得到处理过的纤维，并将其放入干燥箱中待用。

取适量 PA66 纤维、碱性硅溶胶和 325/200 目的白刚玉微粉按现行硅溶胶制浆工艺制备浆料。其中一组 PA66 纤维长度为 4 mm，溶液中纤维的含量为 0.2%~0.8%，纤维含量每间隔量为 0.2%；另一组控制纤维含量为 0.6%，其中纤维长度分别为 2~6 mm 纤维长度间隔 1 mm；通过机械搅拌和超声振荡进行纤维的充分分散，粉料和液体比例(封浆层 2.0:1，过渡层为 2.8:1，背层为 2.4:1，面层为 3.2:1)。在硅溶胶浆料稳定后，然后在室温下用涂 -4 粘度计测试浆料的运动粘度，根据公式(1)计算出浆料的运动粘度。

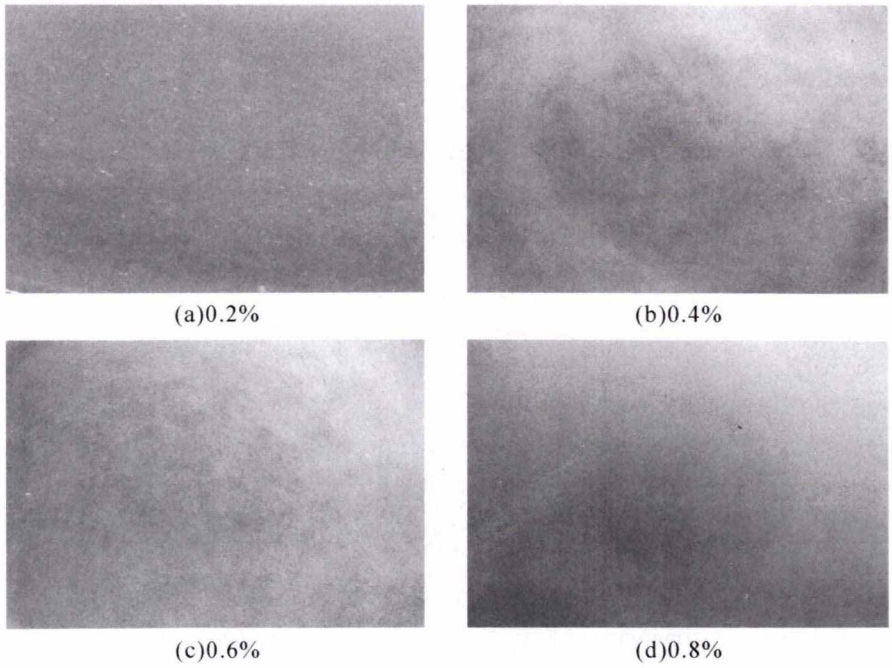
$$\nu=\frac{t-11}{0.154}(t<23\ \text{s})\text{或}\ \nu=\frac{t-6}{0.223}(23\ \text{s}\leq t<150\ \text{s})\quad(1)$$

式中，ν 运动粘度，mm^2/s；t 流出时间，s。

2　实验结果与分析

2.1　PA66 纤维含量和长度在硅溶胶浆料中的分散情况

图 1 为不同含量 PA66 纤维在硅溶胶溶液中的分散效果。见图 1 (a-d)，当短切 PA66 纤维含量在 0.2%~0.6%均匀变化时，短切 PA66 纤维是以单丝分散于硅溶胶浆料中，没有观察到纤维互相缠绕的现象，更没有观察到明显的成束成团现象。当短切 PA66 纤维含量在 0.8%时，短切 PA66 纤维是总体上以单丝分散于硅溶胶浆料中，部分纤维发生互相缠绕的现象，出现少量纤维成束结团现象。首先化学处理液对短切 PA66 纤维的湿润性和亲水性等表面性能有所提高，可以提高短切 PA66 纤维和硅溶胶浆料的结合力，有利于短切 PA66 纤维在硅溶胶浆料中的分散；另外一方面机械搅拌使得硅溶胶溶液处于定向运动的状态下，从而使得短切纤维在离心力的作用下能够使得部分纤维克服其极性键吸引力和表面交织力，处于单丝状态或者是将较大的纤维



(a)0.2%　(b)0.4%　(c)0.6%　(d)0.8%

图 1 不同含量 PA66 纤维在硅溶胶中的分散效果
Fig.1 Dispersion effect of PA66 fibers with different contents in silica sol

束和纤维团细化为较小的纤维束和纤维团;还有一方面超声振荡作用于机械搅拌下短切纤维硅溶胶溶液时,本实验细化的纤维束或者是纤维团在超声空化效应和微射流提高了硅溶胶胶体粒子的作用力,从而降低短切 PA66 纤维之间的范德华力,进一步细化较小的纤维束或者是纤维团,从而提高短切 PA66 纤维的分散性,使得短切 PA66 纤维总体以单丝均匀的分散于硅溶胶浆料中[9]。

图 2 为不同长度 PA66 纤维在硅溶胶溶液中的分散效果。见图 2(a-e),由于加入的纤维质量相同,但纤维长度不同,纤维的根数随着纤维的长度增加而减小,当短切 PA66 纤维长度较短为 2 mm、3 mm 时,纤维观察不到成束和成团的状态,由于纤维根数较多,硅溶胶浆料中会出现少量的气泡;当短切 PA66 纤维长度为 4 mm 和 5 mm 时,短切纤维在硅溶胶溶液中分散情况是最佳,以单丝形态均匀分布在硅溶胶溶液中;当短切 PA66 纤维长度为 6 mm 时,由于纤维较长,短切 PA66 纤维会有局部的相互交织,总体以单丝分布在硅溶胶溶液中。随着纤维长度的增加,纤维之间的交织越发的明显,纤维间相互作用力越大。在机械搅拌和超声振荡共同作用下,会减弱短切纤维之间存在的范德华力,但是随着纤维长度发生变化,纤维在硅溶胶溶液中分散情况有一定影响,但是就总体而言,影响较小。

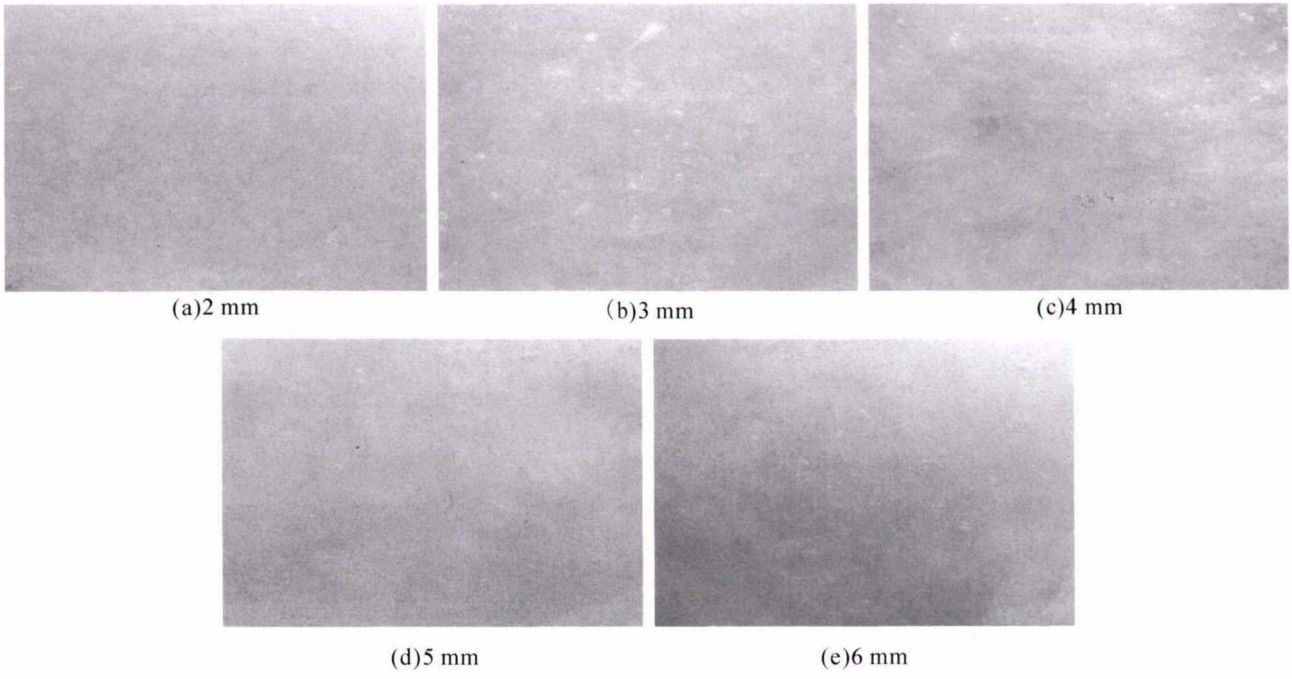
2.2 PA66 纤维含量和长度对硅溶胶浆料运动粘度的影响

在硅溶胶浆料中加入不同含量的 4 mm PA66 纤维,图 3 为 PA66 纤维含量对浆料粘度的影响。

由图 3 中可以看出,短切 PA66 纤维含量从 0~0.8%变化时,浆料的粘度先增大后减小。当纤维含量为 0.2%和 0.4%时,浆料粘度缓慢增加,较未添加时增加 14.3%和 21.4%,增加幅度较低;当纤维含量由 0.4%~0.6%变化时,硅溶胶浆料粘度增加速度较快,当短切 PA66 纤维含量 0.6%时达到最大值 525 MPa·s。短切 PA66 纤维作为固体相加入硅溶胶浆料中并单丝均匀分散在硅溶胶浆料中,单丝纤维互相交织形成三维立体网状结构,随着短切 PA66 纤维含量的增加,硅溶胶浆料中的胶体粒子、白刚玉颗粒与短切 PA66 纤维的形成三维立体网络结构越密集,短切 PA66 纤维之间交织现象更为明显,导致硅溶胶溶液中横键和纵键增多,位移自由度减少,扩散能力降低,流动性逐渐降低,浆料的粘度就变大。因此当短切 PA66 纤维含量为 0.2%~0.6%时,浆料的粘度逐渐变大;但当纤维含量为 0.8%时,尽管大部分短切纤维单丝均分分散在浆料中,但是部分纤维会成束结团,从而降低了硅溶胶溶液中胶体粒子和白刚玉颗粒的布朗运动,短切纤维、胶体粒子和耐火颗粒形成的网状结构变得较为稀疏,导致硅溶胶浆料粘度发生降低。

在硅溶胶溶液中加入质量分数为 0.6%的不同长度的短切 PA66 纤维,图 4 为 PA66 纤维长度对浆料运动粘度的影响曲线。

由图 4 中可以看出,随着短切 PA66 纤维长度的逐渐增大,硅溶胶浆料运动粘度也均匀增加,且增



(a)2 mm (b)3 mm (c)4 mm

(d)5 mm (e)6 mm

图 2 不同长度 PA66 纤维在硅溶胶中的分散情况
Fig.2 Dispersion of PA66 fibers of different lengths in silica sol

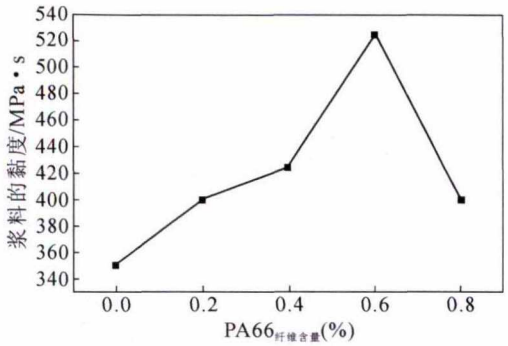


图 3 PA66 纤维含量对浆料粘度的影响
Fig.3 Effect of PA66 fiber content on slurry viscosity

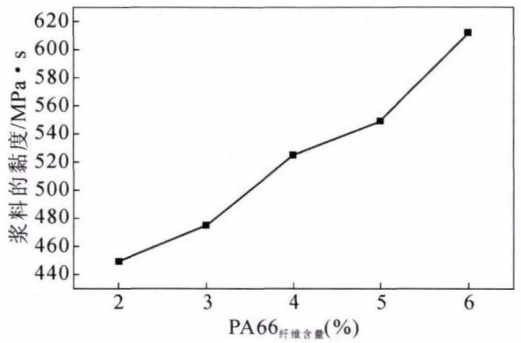


图 4 PA66 纤维长度对浆料粘度的影响
Fig.4 Effect of PA66 fiber length on slurry viscosity

加速度较快，分别比未添加短切 PA66 纤维时增加 28.6%、35.7%、50.0%、57.1%和 75%。随着短切 PA66 纤维长度的增加，短切 PA66 纤维之间交织现象更为明显，硅溶胶胶体粒子、白刚玉微粒与纤维的形成三维网络结构越稳固，从而硅溶胶浆料中横键和纵键增多，位移自由度减少，流动性变差，浆料的粘度就变大。当纤维长度为 1~4 mm 时，短切 PA66 纤维单丝均匀分散于硅溶胶浆料中，所以浆料粘度均匀增加；当纤维长度为 5~6 mm 时，纤维长度较大，会出现局部的纤维交织，导致单丝分布纤维之间的结合力增大，从而硅溶胶胶体粒子、白刚玉微粒与纤维的形成三维网络结构更加的稳固，所以 5~6 mm PA66 纤维浆料的粘度上升较大。

3　结论

(1)在机械搅拌和超声振荡共同处理下，短切 PA66 纤维在硅溶胶溶液中分散效果良好。

(2)随短切 PA66 纤维含量的逐渐增加，硅溶胶浆料的运动粘度先增大再减小，当短切 PA66 纤维含量为 0.6%时达到最大值 525 MPa·s。短切 PA66 纤维超过 0.6%时运动粘度减小是由于部分纤维会成束结团导致运动粘度降低。

(3)随着短切 PA66 纤维长度的增加，硅溶胶浆料运动粘度呈线性比例增加。当硅溶胶浆料中粉料颗粒与 PA66 纤维的形成网络结构越密集，浆料中 PA66 纤维之间交织更加紧密，浆料的粘度就变大。

参考文献：

[1] 吕志刚. 我国熔模精密铸造的历史回顾与发展展望 [J]. 铸造, 2012, 61(4): 347-351.

[2] Sarojrani P, Benny K D, Jha P K. Developments in investment casting process-A review [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212: 2332-2348.

[3] 吕凯, 王向东, 王浩, 等. 短切硅酸铝纤维增强硅溶胶型壳的抗弯强度及高温自重变形[J]. 材料工程, 2015, 43(7): 56-61.

[4] Yuan C, Joness, Blackburns. The in fluence of autoclave steam on polymer and organic fiber modified ceramic shell [J]. Journal of the European ceramic society, 2005, 25(7): 1081-1087.

[5] 芦刚，毛蒲，严青松，等. 超声振荡和羟丙基甲基纤维素对短切纤维在精铸硅溶胶浆料中分散性能的影响 [J]. 材料工程, 2016, 44(1): 71-76.

[6] 李邦盛，蒋海燕，李志强，等. ZrO_2 粉双峰级配对钛合金熔模精铸涂料粘度的影响[J]. 铸造, 1999(6): 24-26.

[7] 姚建省，李志宏，唐定中，等. Al_2O_3 粉粒度对硅溶胶涂料及陶瓷型壳性能的影响[J]. 材料工程, 2009(7): 23-27.

[8] 杨静煜. 耐火粉料对熔模涂料粘度的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 1985(2): 29-32，45.

[9] 肖锋，叶建东，王迎军. 超声技术在无机材料合成与制备中的应用[J]. 硅酸盐学报，2002(5): 615-619.

[10] 王钊，卢德宏，蒋业华，等. 玻璃纤维对陶瓷浆料的流动性及铸型强度的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2012, 32(6): 546-549.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章：1、铸铁件均衡凝固与有限补缩；2、铸铁件冒口补缩设计及应用；3、压边浇冒口系统；4、浇注系统大孔出流理论与设计；5、铸件均衡凝固工艺；6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺；7、浇注系统当冒口补缩设计方法；8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页，特快专递邮购价 280 元。

邮购咨询：李巧凤 029-83222071，技术咨询：13609155628