● 工艺技术 Technology ●

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.08.009

3D 打印砂型性能影响因素研究

洪海春,邵春艳,徐继福,李 斌,景文霞,王凯强
(北京机科国创轻量化科学研究院有限公司,北京 100083)

摘 要:基于3D打印工作原理,在打印层厚、铺砂速度等参数不变情况下,研究了呋喃树脂对打印砂型性能的影响,并概述了旧砂回用对砂型性能的影响。结果表明,呋喃树脂加入量小于3%时,砂型抗拉强度增大趋势明显,发气量增加缓慢;树脂加入量大于3%时,砂型抗拉强度增加变缓,发气量明显增大;固化剂为树脂含量的15%时,砂型抗拉强度最大;旧砂加入小于40%时,砂型抗拉强度大于1.3 MPa,打印密度稍有降低。

关键词:3D打印;呋喃树脂;型砂性能;旧砂回用;打印密度
中图分类号:TG242 **文献标志码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)08-0688-03

Study on the Influencing Factors of 3D Printing Sand Mold Performance

HONG Haichun, SHAO Chunyan, XU Jifu, LI Bin, JING Wenxia, WANG Kaiqiang
(Beijing National Innovation Institute of Lightweight Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: Based on the working principle of 3D printing, the effects of furan resin on the properties of printed sand molds were studied under the conditions of constant printing layer thickness and sand laying speed, and the effects of old sand reuse on the properties of printed sand molds were summarized. The results show that when the addition of furan resin is less than 3%, the tensile strength of sand mould increases obviously, and the gas production increases slowly. When the resin content is more than 3%, the tensile strength of sand mold increases slowly, and the gas generation capacity increases obviously. When the curing agent is 15% resin content, the tensile strength of sand mold is the highest. When the used sand is added less than 40%, the tensile strength of the sand mould is greater than 1.3 MPa, and the printing density is slightly reduced.

Key words: 3D printing; furan resin; properties of printed sand molds; reuse of old sand; print density

近年来,随着市场需求的变化,单件样机,小批量,多品种成为科研和生产的主要特点。采用传统先开模具再生产零件的方式,从成本和生产周期方面很难满足发展需要。实际证明:工业级3D打印,融合配套技术成为近年来最佳的一种生产方式。尤其是在砂型铸造中,打印的铸件砂型精度高,壁缝少,易清理。打印工艺只需更改三维模型的设计,即可实现产品快速切换、升级[1-2]。

呋喃树脂砂具有良好的自硬特性和溃散性,在砂型3D打印中得到广泛应用[3]。3D打印工艺对型砂无紧实作用,为获得与传统工艺相同的砂型强度,需要的树脂量较大,增加了铸件气孔缺陷的概率[4-6]。根据3D打印原理,打印喷头将树脂选择性地喷射在铺好的砂层上面,完成固化。未固化的砂子基本占到40%~60%,在成形过程中起支撑作用,成形结束后被清理出去。打印用砂是人造硅砂,成本较高,未固化的砂子直接废弃会造成大量浪费,但回收使用会增加固化剂的含量,对打印密度和砂型发气量产生一定影响。

本文作者在打印层厚、铺砂速度等参数相同的情况下,分析呋喃树脂加入量对砂型性能的影响,以及加入一定比例的旧砂后,型砂性能的变化规律。为呋喃树脂砂3D打印工艺的应用提供借鉴和指导。

1 试验材料

试验选用70/140目硅砂,其各项指标如表1。

打印工艺与传统工艺相比,对粘结剂的粘度、杂质、结晶性等有特殊要求,试验用粘结剂为济南圣泉公司生产的3D打印机专用呋喃树脂和配套固化剂,基本物理属性如表2。

2 试验方法

使用北京机科国创轻量化研究院自制工业级3D打印机,设定两因子,多水平正交工艺试验,按照不同的参数打印抗拉标准试块和ϕ50 mm的抗压试块,测试其抗拉强度、发气量、打印密度等性能,试验

收稿日期:2021-05-05
基金项目:国家重点研发计划资助:基于互联网的3D打印制造创新应用云服务平台(2016YFB1101800)
作者简介:洪海春(1988—),内蒙古通辽市,硕士,高级工程师.主要从事3D打印成形工艺方面的工作.电话:18811228132,Email:honghc025@163.com

方案如表 3。

表 1 70/140 目硅砂参数

Tab. 1 Parameters of 70/140 mesh silicon sand

$w(SiO_2)$	酸耗值/mL	含泥量(%)	不同粒度占比(%)				
			50 目	70 目	100 目	140 目	200 目
99.3%	1.3	0.18	0.26	20.78	60.26	18	0.7

表 2 呋喃树脂物理性能

Tab. 2 Physical properties of furan resin

材料名称	密度/($\times 10^3$ kg/m^3)	粘度/mPa · s
呋喃树脂	1.19	10.5 ~ 11.5
固化剂	1.28	12.0 ~ 15.0

表 3 呋喃树脂试验方案

Tab. 3 Test protocol for furan resin

水平	树脂加入量(%)	固化剂占树脂的量(%)
1	1.5	10
2	2.0	15
3	2.5	20
4	3.0	25
5	3.5	30
6	4.0	35

根据表 3 试验的结果,在树脂和固化剂的配比不变的情况下,加入一定比例的旧砂,研究旧砂使用对型砂性能的影响,旧砂试验方案如表 4。

表 4 旧砂试验方案

Tab. 4 Recycling sand test scheme

树脂加入量	固化剂加入量	新砂占比(%)	旧砂占比(%)
2.5%	固化剂占树脂的 15%	100	0
		80	20
		70	30
		60	40
		50	50

3 试验结果分析

3.1 树脂含量对砂型强度的影响

3D 打印技术基于离散-堆积原理,将已混有固化剂的砂通过铺粉器均匀地铺在工作台面上,完成铺砂过程;打印喷头将树脂喷射在已铺好的砂层上面,完成固化。砂型的强度主要依靠树脂的渗透与扩散,在砂粒上下左右之间形成粘结桥。如图 1 所示,随着树脂含量增加,砂型抗拉强度增大。试验表明:当树脂加入量大于 3% 时,抗拉强度增加缓慢,但是发气量迅速增加。因此,在满足砂型浇铸所需强度的要求下,应尽量减少粘结剂的加入量。

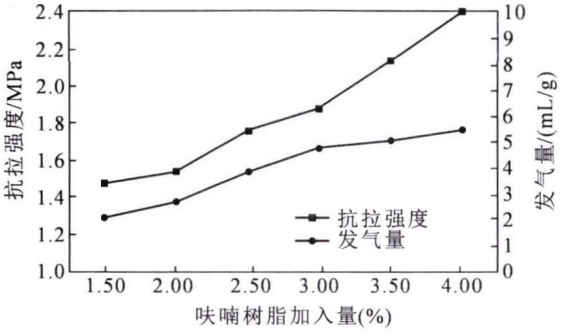

图 1 呋喃树脂加入量对砂型性能的影响

Fig. 1 Influence of the amount of furan resin on the properties of sand molds

3.2 固化剂含量对砂型强度的影响

呋喃树脂的固化剂主要是磺酸类,对树脂交联反应起催化作用。固化剂增加可缩短固化时间。在固化剂含量较少时,酸性环境不足以使树脂的交联反应进行完全,导致砂型终强度降低。固化剂含量较多时,树脂交联反应过快,导致交联结构不完整,粘结桥变脆,从而使强度大幅度降低。如图 2,随着固化剂含量的增加,砂型抗拉强度先增加后降低,在固化剂占树脂含量的 15% 时,砂型强度最大。当固化剂占比大于 30% 时,抗拉强度迅速降低。同时,磺酸类固化剂在高温下会分解产生硫化物气体,随着固化剂含量增加,砂型发气量增大。

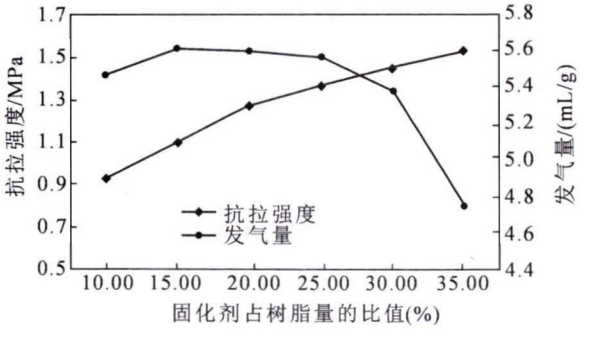

图 2 固化剂加入量对砂型性能的影响

Fig. 2 Influence of the amount of curing agent on the performance of sand mold

3.3 旧砂占比对砂型强度的影响

由图 2 可知,固化剂含量增加,砂型的发气量增大,但是与树脂的发气量相比,增加的幅度较小,因

此，考虑到人造砂成本较高，在不影响砂型浇铸性能的情况下，可部分回收使用。如图3，随着旧砂加入量增加，打印密度降低，型砂强度降低。因为强酸类固化剂易吸水变潮，对树脂交联反应起阻碍作用，导致砂型强度降低。旧砂用量增加，砂子的流动性降低，导致铺砂密度降低，砂型孔隙率增大，进一步降低了砂型的强度。砂型孔隙率增大，浇铸过程中金属熔融液可能会穿透砂粒，导致铸件表面产生粘砂和毛刺缺陷。试验表明，在旧砂加入占比小于40%时，对砂型强度和堆积密度影响较小，型砂的终强度大于1.3 MPa，满足浇铸需求。

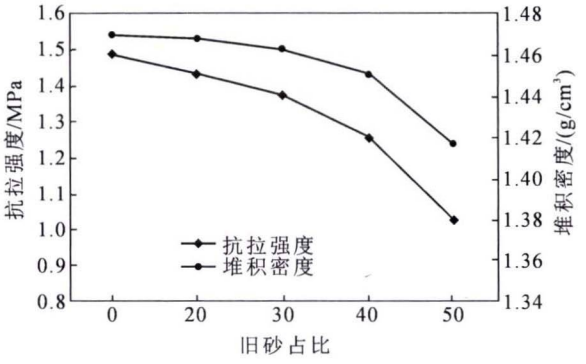

图3 旧砂加入量对砂型性能的影响

Fig. 3 Influence of the amount of recycled sand on the performance of sand mold

4 结论

（1）呋喃树脂加入量增加，砂型强度增大。树脂加入量3% 时，抗拉强度为1.67 MPa；树脂加入量大于3% 时，抗拉强度增长缓慢；发气量增加变快。

（2）随着固化剂含量增加，砂型固化速度增大，终强度先增大后降低，在加入量占树脂的15% 时，终强度最大1.54 MPa，当加入占比大于30%，抗拉强度迅速下降到0.8 MPa。

（3）混有固化剂的旧砂重复使用，导致固化剂含量增加，砂型抗拉强度降低，堆积密度减小。在加入量小于40% 时，抗拉强度大于1.3 MPa，对砂型强度影响较小。

参考文献：

[1] 关彦齐，王芳芳. 增材制造（3D打印）铸造的发展与应用[J]. 科技创新与应用，2020(21)：110-111.

[2] 于彦奇. 3D打印技术的最新发展及在铸造中的应用[J]. 锻造设备与工艺，2014(2)：1-4.

[3] 姚青，陈文斌，李俊峰. 呋喃树脂砂在铸造生产中的应用及质量控制//中国铸造活动周论文集[C]. 2006：604-610.

[4] 张景豫，郭永斌，刘轶. 3D打印呋喃树脂砂芯强度影响因素的研究[J]. 现代铸铁，2017(1)：77-78.

[5] 郭燕. 铸造用呋喃树脂新型增强剂的研究与应用[J]. 铸造，2013，61(1)：97-100.

[6] 冯正鹏，徐国强，刘国强. 3D打印呋喃树脂黏度对渗透剂砂型强度影响的研究[J]. 铸造设备与工艺，2020(5)：49-50.

RX 榕霞®

福建省榕霞石英砂有限责任公司
漳浦县榕霞矿业开发有限公司

公司简介
Company

我公司创办于1976年，是国内较早从事石英砂系列产品生产、销售一体化经营的综合性企业。公司拥有丰富的优质石英砂矿产资源，矿区面积1000多亩，年开采量可达40万吨。公司生产的石英砂产品具有SiO2含量高，含泥量低、角形系数小等特点，是高品位的天然石英砂。

“榕霞”天然石英砂系列产品现广泛应用于国内铸造行业、机械制造行业、全国各水处理行业及玻璃制造、钢铁冶金行业等，质量达到国际先进水平。公司已通过ISO9001、ISO14001管理体系认证，先进的生产工艺及完善的品质保障体系确保了产品质量的长期稳定，专业的销售团队为客户提供优质完善的售后服务。

产品主要理化性能

Sio2 > 98%	角形系数 < 1.3
灼烧减量 < 0.5%	含泥量 < 0.3%
含水量(干砂) < 0.2%	耐温 > 1700℃

地址：福建省晋江市金井 电话：0595-85332410 85332410 传真：0595-85331410 www.rxsgy.com E-mail:rxsgy@163.com