

3D 打印砂型硬化技术的研究与应用

杨小平¹, 李瑛辉², 李天才¹

(1. 共享智能装备有限公司, 宁夏银川 750021; 2. 共享装备股份有限公司, 宁夏银川 750021)

摘要: 3D打印砂型硬化技术是一种重要的强化砂型性能的技术, 在铸造、模具制造、文创、工艺品等领域具有广泛的应用。通过技术条件的优选、性能测试和工艺优化等试验, 充分研究了3D打印砂型硬化技术; 通过在模具方面和工艺品方面的实际应用, 验证了此技术的良好效果, 不仅解决了砂芯产品在使用、挪动、搬运或运输和安装过程中容易断裂和损坏的问题, 还拓宽了3D砂型产品的应用领域。最后对3D打印砂型硬化技术的未来发展进行了展望。

关键词: 3D打印; 砂型; 硬化; 研究; 应用; 发展趋势

目前获取特定构件模式的方法主要有三种: 一是使用三维(3D)打印技术; 二是手工制作或机器生产方式; 三是利用注射和铸造工艺形成实体形状的技术手段。其中基于数字化建模文档的三维打印法, 被称为“增材”加工过程。这种技术的应用范围非常广泛且灵活多样, 如制造业中的零部件开发与测试阶段中就经常用到此项技能; 此外还常常用于产品设计的初期模拟环节及建筑行业的设计方案验证等方面的工作^[1-12]。

砂型或其他粉末成形的模型原料如各种硅砂、陶粒砂、铬矿砂、碳化硅粉、石膏粉和陶瓷粉等都可以作为铸型的制作材料^[13], 而且这些材料经过再生, 可重复回收利用。砂质或其他物质铸型用途广泛, 不仅可以用于铸型, 而且也可用于建筑用模型, 桥梁模型, 还可以制作各种工艺品模型等。采用3D打印技术, 可直接打印成形各种复杂、精密结构的模型, 可以实现任意形状和结构的无模成形。尤其是3D打印技术制作出的模型还可以用于室内设计, 三维影视, 三维游戏等领域^[14-24]。

砂型或其他粉末成形的模型在成形过程中, 由于成形材料材质单一, 一些形状复杂, 结构精细的部位或工艺品模型由于强度和硬度较低, 在使用、挪动、搬运或运输过程中就容易断裂, 损坏, 直接影响模型的完整性和使用。因此, 如何设计一种对砂型或其他粉末成形的模型, 进行提高硬度和强度的表面处理成为本领域亟需解决的问题。

为了解决砂型或其他粉末制模过程中存在的强度和硬度不足的问题, 研究了一种提升模型抗力的表面强化工艺, 显著增强了模型的硬度与强度。经由这项技术处理后的模型, 即便置于潮湿环境或是酸碱条件下, 也能够保持长期使用或存放的能力。此外, 它的制造费用相对便宜且易于控制, 可以大规模制作。

1 试验部分

1.1 原材料与设备

原料为硅砂和陶粒砂, 规格为40~325目, 某公司生产的胶粘剂, 3D砂型打印机-1800A, 抗拉强度机, GS-701N硬度计, 烘箱, 台式紫外老化试验箱。

作者简介:

杨小平(1981-), 男, 学士, 主要从事3D打印机产业化应用、3D喷墨及3D砂型表面处理等方面研究工作。
E-mail: yxp8223810@163.com

通信作者:

李天才, 男, 硕士, 高级工程师。E-mail: litiancai1982130@163.com

中图分类号: TG221

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2025)

03-0288-10

收稿日期:

2024-08-13 收到初稿,

2024-12-05 收到修订稿。

1.2 试验方法

(1) 通过3D砂型打印机-1800A打印出所需模型；砂型打印后对表面进行打磨，确保平整无台阶，并彻底清理表面浮砂，达到无突出砂砾及明显台阶状态，对砂型尺寸和表面质量进行检验，检验合格后放置待用，工艺流程路线如图1。



图1 工艺流程路线
Fig. 1 Process flow route

(2) 施涂胶黏剂。将胶黏剂按照合适的比例进行配制，搅拌均匀，对检验合格的铸型进行施涂。

(3) 胶黏剂固化。根据模型的大小或其他工艺的需要，选择自然固化、加热固化或微波固化等不同的方式固化。

(4) 表面光滑处理。固化完毕后，根据需要选择对模型进行表面光滑处理。

2 技术条件的优选

2.1 模型材料的选择

砂型或其他粉末成形的模型，制作原料包括各种硅砂、陶粒砂、铬矿砂、碳化硅粉、氧化铝粉和陶瓷粉等都可以作为模型的制作材料，粒度一般要求在

40~325目。

2.2 胶黏剂的优选

选择的胶黏剂包括酚醛树脂、尿素与甲醛混合而成的复合物、以环氧为主的三元化合物、含有机硅成分的产品、由呋喃构成的部分产品；未完全交联的不饱和聚酯制品也包含其中，还有如ABS类型的合成橡胶及塑料原料等种类繁多的化学品。胶黏剂可以为其中的一种或多种组合而成的复合粘结剂。更进一步的选择则有特定的两种类型：AB型环氧树脂或是含有多个组分的环氧/聚酰胺树脂，实现最佳的效果。

胶黏剂的粘度为1 000~3 000 cps。胶黏剂渗入深度可以根据所处理的产品不同，选择不同的渗透深度，一般为2~25 mm，更优地可以将粘结剂的渗入深度控制在3~20 mm。当胶黏剂的渗透过浅时，砂型的强度和硬度达不到使用要求；而粘结剂的渗透过深，则不仅仅会增加砂型的生产制作成本，同时也会使材料的回收更耗能。

对于AB胶来说，其正确的混合比例应介于3：1至1：1之间，需要精确地按照选择的粘合剂类型来调整比例达到最好的粘合效果。因为胶水凝固的过程是一个释放热量的行为，所以必须确保胶水的有效利用，每次的混合物总质量不得超过2 000 g，并且要在90 min之内用完。胶黏剂优选试验如表1。

表1 胶黏剂优选试验
Tab. 1 Optimization experiment of adhesive

序号	种类	渗透时间/min	硬度HD	抗拉强度/MPa	备注
1	SN-AB环氧胶1	3	95	13.6	效果较好，气味小，环保
2	JL-AB环氧胶2	3	90-92	12.8	
3	JL-AB环氧胶3	3		13.8	
4	水玻璃胶4	5	90	2.6	粘度太大，不能渗透，必须稀释
5	YT-环氧胶5	5	87	2.3	
6	YH-环氧胶6	10	85	4.0	外观难看
7	TW70-型砂胶7	3	87	2.4	
8	EASY-006胶8	2	—	—	放置后会有胶析出，强度不高
9	氰基丙烯酸酯粘合剂胶9	1	—	—	
10	LB-胶10	5	90	13.5	效果较好，气味小，环保
11	WX-胶11	5	92	13.2	
12	ZT-胶12	5	92	13.0	
13	ZG-胶13	5	94	12.8	
14	KST-胶14	5	90	12.6	

除此之外，还试验了一些其它的胶黏剂，比如聚氨酯胶黏剂、聚脲胶等50多种胶黏剂，综合考虑胶黏剂性能、施涂的方便性、价格和环保性等，SN-AB胶

1、WX-胶11、ZT-胶12和KST-胶14，这几种胶黏剂效果较好，硬度和抗拉强度都很高，可以使用。目前生产上大批量采购试用是SN-AB环氧胶1。

2.3 固化方式的优选

根据铸型的大小或其他工艺的需要，可以选择自然固化、加热固化或微波固化等不同的固化方式。将表面涂有胶粘剂的模型采用自然固化的方式使之达到相应的硬度和强度。自然固化即常温下的固化，分为初步固化、一般固化和最终固化；初步固化需要10~30 min、硬度为HD30~40；一般固化需要4~6 h、硬度为HD60~70；最终固化需要48 h、硬度为HD85~98。

为了缩短固化时间，可以采取加热固化的方式（采用烘箱加热），一般采用梯度加热方式，温度在40~50 ℃时，加热0.5~1 h，温度在60~80 ℃时，加热1~2.5 h可达最终强度。砂型的固化还可以采用微波固化的方式，在10~30 min即可达最终强度。

为了使模型的表面能够更好的与所述胶粘剂结合，可以选择复合的固化方式，在模型施涂胶粘剂之前，还可以对模型进行加热处理，在烘箱中采用40~80 ℃的温度对所述模型进行加热0.5~1 h，以提升粘结剂的渗透性，然后再选择自然固化、加热固化或微波固化等不同的固化方式。

3 性能测试

选用以下工艺处理砂型，然后测试性能。采用140~200目的硅砂，3DP技术打印制成砂型，经过清砂将表面处理干净；胶粘剂采用SN-环氧AB胶1，胶粘剂渗透深度一般控制在3 mm左右；选择加热固化，烘箱加热，温度在40 ℃时，加热1 h，温度在80 ℃时，加热2 h。

3.1 硬度、抗拉强度测试

使用硬度计GS-701N和微机控制电子万能试验机LDW-50KN分别进行硬度和抗拉强度的测试，结果如表2所示。

表2 硬度和抗拉强度
Tab. 2 Hardness and tensile strength

性能	数值					平均值
硬度HD	89	93	92	92	91	91.4
抗拉强度/MPa	13.52	13.81	13.96	12.99	13.42	13.54

3.2 耐水性测试

经过本工艺处理过的3D打印砂模产品，在水中浸泡一个月，然后烘干，测试，强度和硬度几乎没有什么变化，具有很强的耐水性，如表3所示。

3.3 室外测试

经过本工艺处理过的3D打印砂模产品，在室外自然放置60 d，然后测试，强度和硬度几乎没有什么变化，如表4所示。

表3 耐水性测试结果
Tab. 3 Water resistance test results

序号	抗拉强度/MPa		硬度HD	
	砂模处理后	水浸泡30 d后	砂芯处理后	水浸泡30 d后
1	13.8	13.4	90	91
2	13.2	13.0	92	88
3	13.6	13.4	89	92
4	13.5	13.3	94	89
5	13.1	13.4	90	90
平均值	13.44	13.3	91	90

表4 室外测试结果
Tab. 4 Test results on out door

序号	暴露时间/d	抗拉强度/MPa	平均值	硬度HD	平均值
1	30	13.8	13.44	92	91
2		13.2		90	
3		13.6		94	
4		13.5		90	
5		13.1		88	
6	60	13.4	13.36	90	90
7		13.6		88	
8		13.2		94	
9		13.0		92	
10		13.6		90	

3.4 耐热性测试

烘箱内100 ℃、加热3 h（图2），强度和硬度变化很小，硬度HD90，抗拉强度为13.28 MPa。砂型经过胶粘剂处理后具有很高的耐热性。

3.5 耐酸碱性测试

经过本工艺处理过的3D打印砂型产品，分别在5%的氢氧化钠溶液和5%的盐酸溶液进行浸泡一周，取出，烘干后，强度和硬度几乎没有什么变化，具有很强的耐酸碱性，如表5所示。

3.6 呋喃树脂腐蚀性测试

首先把试块磨平，然后浸入树脂里，放置72 h，取出和烘干；未见表面有腐蚀迹象，强度和硬度几乎无变化，如图3所示。硬度HD90，强度13.2 MPa。

3.7 固化剂腐蚀性测试

把试块直接浸入固化剂里，放置48 h，取出、烘干；未见表面有腐蚀迹象，强度、硬度几乎无变化，如图4所示。硬度HD90；强度13.0 MPa。

3.8 耐老化测试

使用台式紫外老化试验箱（图5）进行耐老化试



图2 耐热性测试
Fig. 2 Heat resistance test

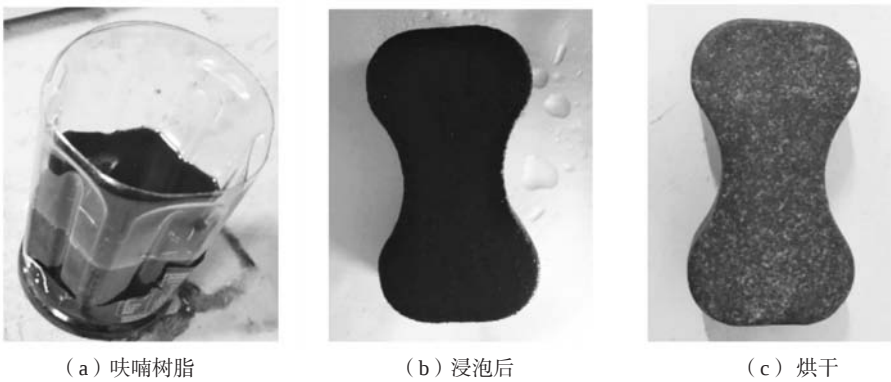


图3 呋喃树脂腐蚀性测试
Fig. 3 Corrosion test of furan resin

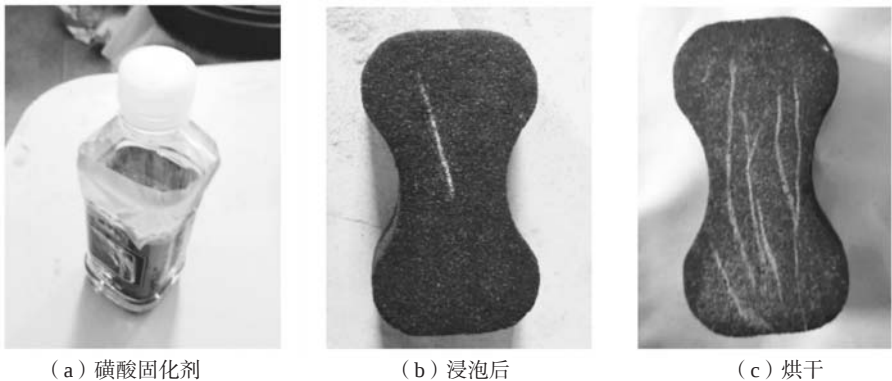


图4 固化剂腐蚀性测试
Fig. 4 Corrosion test of curing agent

表5 耐酸碱测试结果
Tab. 5 Acid and alkali test results

序号	抗拉强度/MPa			硬度HD		
	砂芯 处理后	酸浸 泡后	碱浸 泡后	砂芯 处理后	酸浸 泡后	碱浸 泡后
1	13.4	13.2	13.6	90	89	90
2	13.4	13.1	13.2	89	88	88
3	13.6	13.6	13.4	92	92	89
4	13.5	13.4	13.1	91	90	91
5	13.2	13.4	13.2	93	91	88
平均值	13.42	13.34	13.3	91	90	89.2



图5 台式紫外老化试验箱
Fig. 5 Desktop UV aging test box

验，试验条件如表6所示，试验过程如图6所示，性能测试结果如表7所示。

表6 试验条件：暴露循环
Tab. 6 Experimental conditions-exposure cycle

循环序号	暴露周期	灯型	辐照度	黑标温度/℃	相对湿度/%
1	8 h干燥	I A型（UVA-340）灯	340 nm时 $0.76\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-1}$	60 ± 3	不控制
	4 h凝露		关闭光源	50 ± 3	
2	8 h干燥	I A型（UVA-340）灯	340 nm时	50 ± 3	不控制
	0.25 h喷淋		$0.76\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{nm}^{-2}$	不控制	不控制
	5 h凝露		关闭光源	50 ± 4	不控制
3	5 h干燥	I A型灯组	290~400 nm	50 ± 3	<15
	1 h喷淋		持续 $45\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	25 ± 3	不控制
4	5 h干燥	I A型灯组	290~400 nm	70 ± 3	<15
	1 h喷淋		持续 $45\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	25 ± 3	不控制



(a) 试验参数



(b) 试验模型



(c) 试验测试中

图6 耐老化测试
Fig. 6 Aging test

表7 耐老化测试结果
Tab. 7 Aging test results

序号	暴露时间/h	抗拉强度/MPa	平均值	硬度HD	平均值
1	500	13.07	13.15	92	90
2		13.47		90	
3		12.82		92	
4		13.45		90	
5		12.92		88	
6	1 000	13.02	13	90	89
7		13.00		88	
8		12.98		90	
9		12.96		88	
10		13.25		90	
11	1 500	13.10	12.96	90	88.2
12		12.94		88	
13		12.88		88	
14		12.82		86	
15		13.06		89	
16	2 000	13.20	12.94	88	88
17		12.92		90	
18		12.96		87	
19		12.82		86	
20		12.84		89	

经过本工艺处理过的3D打印砂型和砂芯产品，荧光紫外灯老化试验2 000 h（相当于10年），强度和硬度几乎没有什么变化，具有很强的耐老化性。

3.9 精度测试

砂型经过胶粘剂处理后，稍作表面光滑处理，检测结果：检测精度±0.3 mm；符合尺寸精度要求，说明此工艺处理后几乎没有形变，如图7所示。

4 工艺优化

为了增加模型的硬度、强度、抗腐蚀或其他性能，可以在配置好的胶粘剂中加入1%~10%的耐酸碱、耐腐蚀具有更高韧性的，目数较细的增韧剂。增韧剂包括化学纤维和天然纤维等，加入量为3%~8%；纤维的目数一般为325~1 250目。试验及确认了纤维的最佳加入量，抗拉强度对比，结果见表8；硬度对比见表9。

加入增韧剂后，硬度、抗拉强度更高，打磨后表面更光滑；最高强度到达22.78 MPa，比原来的强度提高约30%。结合现场的操作难易程度、渗透速率及渗透深度等，综合考虑，增韧剂的最佳加入量为5%。

砂型发气量是铸造工艺中一个非常重要的参数。合理控制发气量对于保证铸件的表面质量、内部质

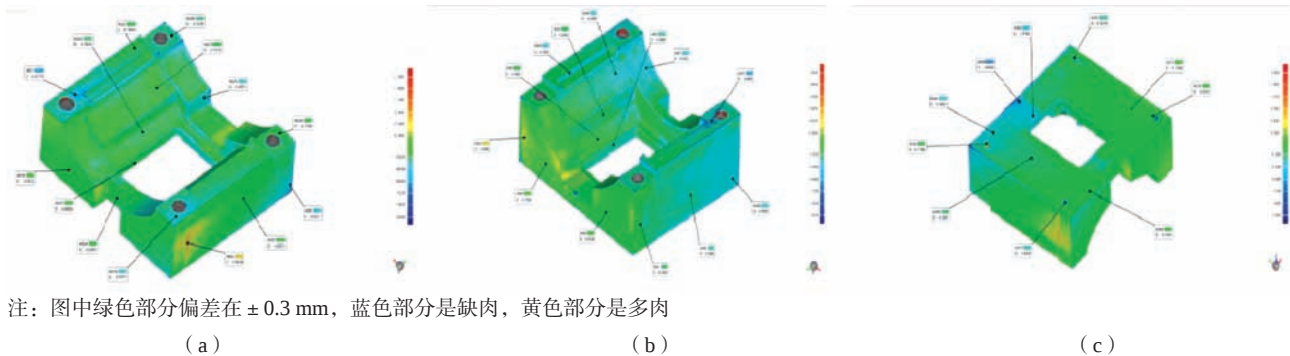


图7 精度测试
Fig. 7 Accuracy test

表8 抗拉强度对比 Tab. 8 Comparison of tensile strength /MPa					
序号	砂芯 处理前	一般 处理后	加入1% 增韧剂	加入3% 增韧剂	加入5% 增韧剂
1	1.4	15.27	15.42	16.99	22.78
2	1.7	13.47	15.24	16.3	18.37
3	1.5	12.42	14.48	15.61	19.28
4	1.6	13.56	14.96	15.92	19.73
5	1.5	13.48	15.21	16.23	20.64
平均值	1.54	13.64	15.06	16.21	20.14

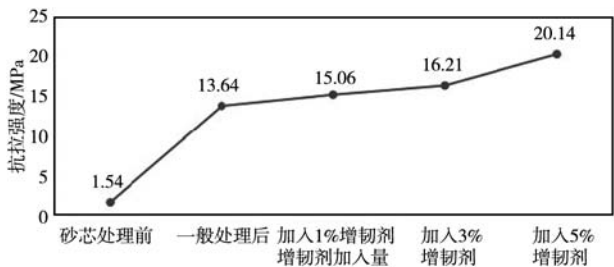


图8 加入增韧剂后抗拉强度
Fig. 8 Tensile strength after adding toughening agent

表9 硬度对比 Tab. 9 Hardness comparison HD			
序号	砂芯处理前	一般处理后	加入5%增韧剂
1	65	90	93
2	68	92	97
3	72	91	95
4	70	90	96
5	69	94	95
平均值	68.8	91.4	95.2

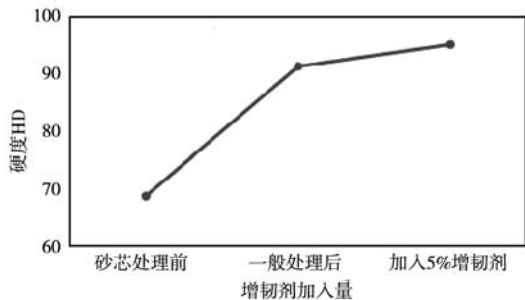


图9 加入增韧剂后硬度
Fig. 9 Hardness after adding toughening agent

量、整体性能以及铸造工艺的稳定性都具有重要意义。发气量过高时，砂型在高温作用下释放的大量气体会侵入铸件，形成表面气孔缺陷，而且砂型发气量过高还可能导致浇注过程中的安全问题，如呛火等。这些风险不仅威胁操作人员的安全，还可能对设备造成损坏等。3D打印砂型在施涂胶粘剂后，砂型发气量会有所增加。发气量的测试过程如下。

取硬化好的砂试块样10 g左右，在恒温（ 105 ± 5 ）℃烘箱中烘2 h，取出放入干燥器中冷却至室温备用。发气性测定仪升温至测定温度850℃后，称取试样1.00 g置于试样舟中（使用前试样舟需经1 000℃灼烧30 min

后，置于干燥器中冷却到室温），在监控状态下，将试样舟送入发气性测定仪的石英管红热部分，迅速用塞子将管口封闭，同时，发气性测定仪的记录部分开始工作，记录数据。发气量测试结果如表10。

由表10可知，砂型在施涂胶粘剂和增韧剂后，砂型的发气量有所增加，但是仍然符合铸件砂型的发气量标准（ ≤ 11 mL/g），不影响铸件浇注及铸件质量。

5 实际应用

（1）在模具方面的应用。3DP打印砂模表面硬化技术为模具制造带来了显著的优势和变革。这一技

表10 发气量变化
Tab. 10 Changes in gas generation volume

序号	砂芯处理前 发气量/(mL·g ⁻¹)	砂芯处理后 发气量/(mL·g ⁻¹)	测试温 度/℃
1	6.81	9.61	850
2	7.21	9.22	
3	6.93	8.89	
4	7.13	9.11	
5	6.88	8.96	
6	7.13	9.11	
7	6.85	8.99	
8	6.99	9.08	
9	7.20	9.03	
10	7.16	9.24	
平均值	7.03	9.12	

术通过电脑建模快速打印的方式，不仅缩短了制造周期，还大幅降低了生产成本。与传统模具制造相比，砂型3D打印模具能够快速有效地验证设计，优化方案，加快模具的开发过程。此外，砂型3D打印技术以数字模型文件为基础，通过逐层向砂层表面喷射粘结剂实现产品成形，可以轻松解决传统模具制造中复杂几何形状的难题，满足设计的无限可能。这种技术的高度还原设计细节的能力，如共享集团砂型3D打印机打印精度为 $\pm 0.3\text{ mm}$ ，是传统模具制造很难控制的。砂型3D打印模具可以满足小批量和定制化的需求，而且通过砂型3D打印制造传统铸造模具，可以减少传统铸造模具的生产环节，从而达到节省成本、提高生产效率的目的。表面处理后，强度和硬度较高；打磨后，平面较为光滑。可顺利脱模，无粘砂现象，见图10。目前，共享集团已经规模化应用。



图10 一般模具上的应用

Fig. 10 Application on general mould

在射芯机上, 试验了4个模块(图11), 换模容易, 脱模方便, 不粘砂; 目前试验了200次, 效果好。

目前, 在现场试验, 经此工艺处理的砂模, 容易脱模, 不粘砂; 铸件划线合格, 铸件见图12; 前砂芯模具已经在现场批量正常使用。

(2) 在工艺品方面的应用。本研究通过对砂型进

行表面处理, 使模型的抗拉强度和硬度大大提高, 尤其是抗拉强度高达20 MPa, 几乎是处理前的十几倍; 硬度最高达HD98。很好的解决了模型由于强度和硬度较低, 在使用、挪动、搬运或运输过程中就容易断裂、损坏的问题。大幅扩展了3D砂型打印技术在工艺品和创客等领域的应用。实际应用如图13。

3D打印砂模表面硬化技术除在在模具方面和工艺

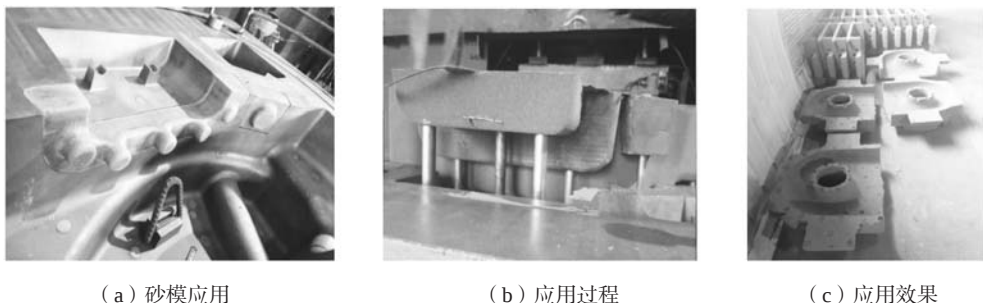


图11 射芯机模具上的应用

Fig. 11 Application of core shooting machine in mould

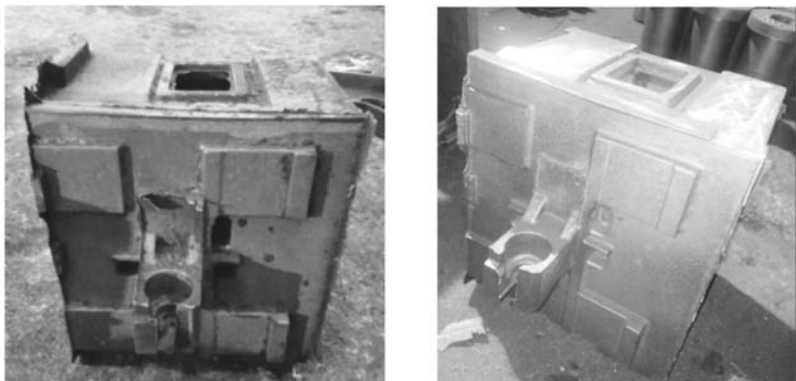


图12 试验铸件

Fig. 12 Experimental casting

品方面的应用外, 在铸造、文创、创客等领域也具有广泛的应用。

6 前景展望

该技术经过前后多次优化改进后, 处理的产品现场使用各项指标均达到预期效果, 完全满足使用要求。该技术目前已在铸造模具领域和工艺品方面批量应用。此项技术的应用范围极广, 它既可被运用到铸模制造中, 也适用于各类精致和微妙构造的产品设计, 包括创意艺术作品等等。此外, 这项技术还可以用来生产铸模、建模制品, 如桥型模型等各式各样的物品。同样, 它也能应对由不同类型的硅砂、陶粒砂、矿渣砂、碳化硅粉、石膏粉、氧化铝粉及陶瓷粉制成的模型。尤其是采用3D打印技术, 可直接打印成

形各种复杂、精密结构的模型, 可以实现任意形状和结构的无模成形。随着3D打印市场的不断壮大, 未来的应用市场前景十分广阔。

7 结论

(1) 本研究解决了砂芯工艺品由于强度和硬度较低, 在使用、挪动、搬运或运输、安装过程中就容易断裂、损坏的问题。

(2) 此项技术研究成功, 使3D打印砂模产品的应用领域大幅度拓宽, 不仅适用于各类复杂且精细的工艺品和文化创新产品, 还可以在铸造模型、建筑模型、桥梁模型等多个领域中使用, 预计未来市场潜力巨大。

(3) 本技术的处理方法, 环保无毒, 安全系数



图13 工艺品应用

Fig. 13 Application of arts and crafts

高，而且经过此方法处理过的模型，耐酸碱，耐腐蚀，耐老化，即使在潮湿的环境或者酸碱的环境中，也能长时间的使用或者放置。

(4) 这项技术的操作流程简洁，生产费用较低，具有灵活性和可控性，设备需求简单且易于操作，不涉及复杂的化学工艺步骤，能够实现大规模生产。

参考文献:

- [1] 李天才, 刘轶, 郭永斌, 等. 3D砂型打印技术在创客领域的应用 [J]. 铸造技术, 2023, 44 (8): 779-780.
- [2] BERMAN B. 3D printing: the new industrial evolution [J]. Business Horizons, 2012, 55 (2): 155-162.
- [3] 赵琛, 蔡嘉伟, 张百成, 等. 粘结剂喷射3D打印关键技术 [J]. 材料工程, 2023, 51 (5): 14-26.
- [4] 余宸, 田威, 王杰, 等. 砂型3D打印材料在岩体物理模型试验中的应用研究及展望 [J]. 材料导报, 2024, 38 (12): 22120133.
- [5] 张帅强, 张勇, 杨永辉, 等. 增材制造技术在不锈钢叶轮生产中的试用 [J]. 铸造, 2022, 71 (7): 911-914.
- [6] 北京瑞泓翔宏大科技发展有限公司. 3D打印技术在铸造行业的应用大有可为 [J]. 金属加工 (热加工), 2016 (15): 11-13.
- [7] 杨成龙, 刘士渊, 徐宏, 等. 基于数值模拟和3D打印砂型的出气联接管铸造工艺设计及验证 [J]. 铸造, 2022, 71 (11): 1413-1417.
- [8] 卢宝胜, 程东霞. 3D打印砂芯技术在铸件开发中的应用 [J]. 铸造技术, 2021, 42 (12): 1026-1029.
- [9] 樊自田, 杨力, 唐世艳. 增材制造技术在铸造中的应用 [J]. 铸造, 2022, 71 (1): 1-16.
- [10] 马涛, 李哲, 程勤, 等. 3D打印技术在砂型铸造领域的应用前景浅析 [J]. 现代铸铁, 2019, 39 (2): 38-40.
- [11] 左强, 杨国娟, 洪润洲, 等. 应用砂型3D打印技术制备复杂铝合金铸件 [J]. 铸造, 2021, 70 (4): 493-497.
- [12] 刘岩松, 李文博, 刘永胜, 等. 3D打印陶瓷铸型研究与应用进展 [J]. 材料工程, 2022, 50 (7): 18-29.
- [13] 古良, 马亮, 赵磊, 等. 应用3D打印技术优化砂型铝合金低压铸造工艺 [J]. 金属加工 (热加工), 2023 (7): 103-106.

- [14] 刘金城. 特斯拉采用3D打印砂型“超级铸造”大型汽车零件 [J]. 铸造, 2023, 72 (11): 1526.
- [15] WALTERS P, DAVIES K. 3D printing for artists: research and creative practice [J]. Journal of the Norwegian Print Association, 2010 (1): 12-15.
- [16] 鲁云, 李天才, 马发仁, 等. 砂型3D打印技术在汽车发动机缸体铸造中的应用 [J]. 铸造设备与工艺, 2023 (6): 52-54.
- [17] 于瑞龙, 常成, 王岩, 等. 砂型3D打印原材料标准解读 [J]. 铸造, 2023, 72 (11): 1506-1510.
- [18] 玉河, 高燕. 3D打印在汽车零部件行业的应用研究 [J]. 时代汽车, 2024 (11): 130-132.
- [19] 张庆茂. 精密复杂零部件3D打印技术及应用示范基地建设 [D]. 广州: 华南师范大学, 2021.
- [20] 赵一璟. 3D打印技术在影视文化产品设计中的应用 [J]. 化纤与纺织技术, 2022, 51 (11): 185-187.
- [21] 王勤. 三维软件结合3D打印技术在影视中的应用研究 [J]. 参花 (下), 2017 (6): 115-116.
- [22] 吴文聪. 3D打印技术在影视动画中的应用研究 [J]. 艺术与设计 (理论), 2016, 2 (9): 72-74.
- [23] 计翔. 数字雕塑与3D打印对雕塑艺术的影响 [D]. 武汉: 湖北美术学院, 2019.
- [24] 潘林旭. 3D打印技术在室内设计中的应用与发展 [J]. 模具制造, 2023, 23 (9): 136-138.
- [25] 王肖辉. 基于不同后处理方法的砂型3D打印类岩石试样力学性能及微观结构研究 [D]. 西安: 长安大学, 2023.
- [26] 王建平. 3D打印技术在建筑室内设计中的应用 [J]. 鞋类工艺与设计, 2022, 2 (12): 125-127.
- [27] 汪明镜. 中国传统室内陈设借助3D打印技术实现创新发展的路径 [J]. 产业创新研究, 2021 (17): 116-118.
- [28] 王芳君, 夏溢涵, 邓德儒. 3D打印技术在室内设计中的应用 [J]. 家具与室内装饰, 2014 (8): 14-15.

Research and Application of 3D Printing Sand Mold Hardening Technology

YANG Xiao-ping¹, LI Ying-hui², LI Tian-cai¹

(1. National Intelligent Foundry Innovation Center Co., Ltd., Yinchuan750021, Ningxia, China; 2. Kocel Machinery Limited., Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract:

3D printing sand mold hardening technology is an important technique for enhancing the performance of sand molds, which has a wide range of applications in casting, mold manufacturing, cultural and creative industries, handicrafts, and other fields. This article thoroughly studies the 3D printing sand mold hardening technology through experiments such as optimizing technical conditions, performance testing, and process optimization. Through practical applications in the fields of molds and handicrafts, it has been demonstrated that this technology has good application effects. It not only solves the problem of easy breakage and damage of sand core products during use, movement, transportation, and installation, but also broadens the application field of 3DP sand mold products. Finally, the future development of this technology is discussed.

Key words:

3D printing; sand mold; hardening; research; application; development trend