● 工艺技术 Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.06.011

酚脲烷树脂砂在无模复合成形工艺中的应用

邵春艳,杨文亮,孙 亮,徐继福
(北京机科国创轻量化科学研究院有限公司,北京 100083)

摘 要:选用 106~212 μm 水洗砂作为造型材料,酚脲烷树脂为粘结剂,采用自重震实工艺生产砂坯,铣削工艺制备砂型。结果表明,通过调节催化剂种类和加入量改变,砂型的固化时间变化范围在 5~60 min,可满足不同节拍的需求;同时树脂加入量为 1.5%~2.0%时,砂型的抗拉强度达到 1.8~2.5 MPa 以上,符合铣削砂型的工艺要求。

关键词:酚脲烷树脂;自重震实工艺;铣削工艺;抗拉强度
中图分类号:TG242 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)06-0490-03

Application of Phenolic Urea Alkanes Resin Sand in Patternless Forming Process

SHAO Chunyan, YANG Wenliang, SUN Liang, XU Jifu
(Beijing National Innovation Institute of Lightweight Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: Using 106~212 μm washed sand as molding material and phenolureane resin as binder, the sand blank was produced by gravity shock compaction process, and the sand mold was prepared by milling process. The results show that by adjusting the type of catalyst and the amount of catalyst, the solidification time of sand mold varies in the range of 5~60 min, which can meet the requirements of different beats. At the same time, when the resin content is 1.5%~2.0%, the tensile strength of sand mold can reach more than 1.8~2.5 MPa, which meets the technological requirements of milling sand mold.

Key words: phenolic urea alkanes resin; gravity compaction process; milling process; tensile strength

为满足市场响应快速性、灵活性的需求,近年来以数控加工为代表的数字化制造技术得到快速发展。砂型数控铣削成形技术是快速制造的一种新的研究方向,巧妙的将现代先进数控技术和传统铸造技术相结合,可实现复杂型腔的整体净成形,为传统铸造行业提供了一种新的绿色制造方法[1-3]。铣削成形技术非常适合多品种,小批量产品,具有制造周期短、低成本等优点[4-7]。但对原砂和加工砂型的质量要求也比较高,铣削过程中易出现崩角、坍塌、裂纹及断裂等现象,直接导致砂型加工失败;如果砂型强度较低,加工面浮砂较多,导致浇铸出的铸件表面粗糙度和精度差。因此,选取合适的型砂种类、粘结剂及其配比对铣削成形工艺至关重要。

目前,数控铣削砂型所用的砂坯原材料具有多样性,每种材料制成的砂坯具有各自的优势和弊端。国内常用的自硬化树脂为呋喃树脂,成本低,砂型溃散性好[8],但呋喃树脂的酸耗值偏高,对原砂的要求高;且高温稳定性较差,发气量较高,铸件易产生脉纹、皮下气孔等缺陷。和呋喃树脂相比,酚脲烷树脂具有固化速度快且均匀、硬透性好等优点,在传统砂型铸造技术中已广泛应用[9-10],但在无模成形铸造中的应用还比较少。本文以数控铣削成形工艺为基础,主要概述了酚脲烷树脂对砂坯固化速度和砂型性能的影响。

1 实验设计

1.1 实验材料

对于铣削工艺,原砂颗粒度越大,砂型表面质量越粗糙;但原砂颗粒度越大,透气性越好。综合考虑选取 70/140 目的水洗砂,其各项指标如表 1 所示。

选用济南圣泉生产的 PEPSET 酚脲烷树脂粘结剂,其型号组分如表 2 所示。

1.2 实验过程

首先将组分Ⅰ和组分Ⅲ按照一定比例预混,然后再与组分Ⅱ混合,在催化剂作用下迅速发生聚合反应,使原来的线型结构交联形成网状结构,从而粘住砂粒。因砂型强度与树脂含量有关,催化剂影响型砂的固化速度,因此设定两组试验方案。Ⅰ组实验研

收稿日期:2021-03-11
基金项目:国家重点研发计划(2016YFB1101800)
作者简介:邵春艳(1985—),女,山东潍坊人,硕士,工程师.研究方向:材料学.电话:15095249651,Email:shaocy1219@163.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 硅砂参数
Tab.1 Parameters of silicon sand

w(%)SiO_2	酸耗值 /mL	含水量(%)	含泥量(%)	不同粒度占比(%)				
				50 目	70 目	100 目	140 目	＞200 目
90.34	4.60	0.16	0.18	8.70	41.50	29.50	19.20	1.10

表2 酚脲烷粘结剂组成及物理形态
Tab.2 Composition and physical morphology of phenolic urea alkanes binder

组分类别	材料名称	型号规格	物理形态
组分Ⅰ	酚醛树脂	NP-101HB	浅黄色
组分Ⅱ	聚异氰酸酯	NP-102HB	深棕色
组分Ⅲ	催化剂	NP-103	浅黄色

究催化剂含量对砂坯固化速度的影响,Ⅱ组实验研究树脂量对砂型强度的影响,如表 3 所示。

表 3 酚脲烷树脂配比试验方案
Tab.3 Proportion test scheme of phenolic urea alkanes resin

Ⅰ组		Ⅱ组	
树脂含量(%)	催化剂占组分Ⅰ的含量(%)	树脂含量(%)	催化剂占组分Ⅰ的含量(%)
1.8	1.0	1.3	2
	1.5	1.5	
	2.0	1.8	
	2.5	2.0	

2　实验结果分析

2.1　催化剂含量对砂坯固化速度的影响

酚脲烷树脂使用的催化剂是有机碱性物质,催化剂影响砂型的固化速度，对 24 h 终强度没有影响,因此可通过调节催化剂的种类和含量,保证砂型在要求时间内硬化并达到一定强度。如图 1 所示,当使用同一种原砂、粘结剂种类时,砂型表面硬度和抗拉强度有一定的对应关系。

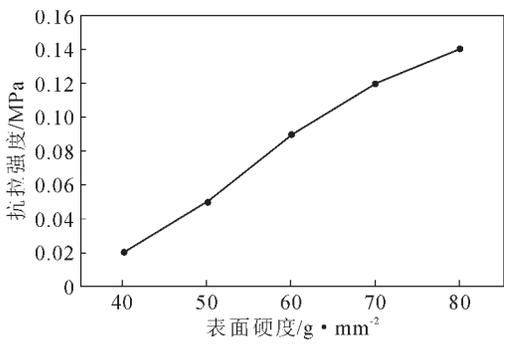


图 1 砂型表面硬度与抗拉强度的关系
Fig.1 Relationship between surface hardness and tensile strength of sand mould

传统模样起模一般要求抗拉强度达到 0.14 MPa,而使用木模框架制作砂块时,抗拉强度达到 0.05 MPa 即可起模,此时表面硬度为 50 g/mm²。如图 2 所示,

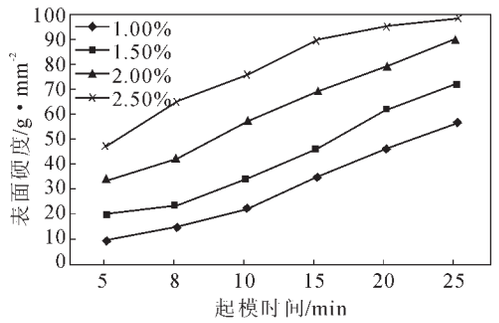


图 2 催化剂含量与起模时间的关系
Fig.2 The relationship between catalyst content and stripping time

随着催化剂含量增加,砂型固化速度加快;催化剂含量为 1%时砂型起模时间约 25 min，当催化剂含量为 2.5%时起模时间缩短到 6 min。根据铣削无模成形工艺特点和砂坯生产节拍,起模时间应在 10 min 左右，因此选取催化剂配比为 2% 时满足车间使用要求。

2.2　树脂含量对砂型性能的影响

砂型最重要的性能参数包括强度、透气性和发气量。抗拉强度防止砂型在转运、组芯、铁液浇铸时因外力产生掉砂、裂纹、断裂等缺陷,但并不是强度越高越好。根据铣削工艺要求，抗拉强度在 1.5~2.5 MPa 时，砂型质量较好。抗拉强度小于 1.5 MPa 时,铣削过程中部分砂粒脱落或坍塌,砂型表面浮砂较多,导致砂型表面粗糙度和精度较差。抗拉强度大于 2.5 MPa 时,因加工过程为干式铣削,高速旋转的刀具在加工时易造成刀具磨损加剧，也会导致加工精度降低,甚至直接造成崩刃等问题。图 3 表明,随着树脂量增加,砂型的抗拉强度和发气量都增大。发气量越大,铸件产生气孔的概率越大,通常要求砂型

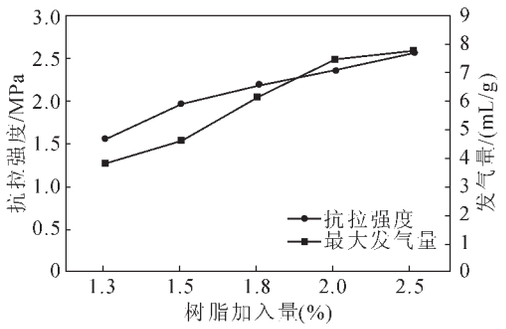


图 3 砂型抗拉强度、发气量与树脂加入量的关系
Fig.3 The relationship between sand mould strength, gas evolution and resin addition

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

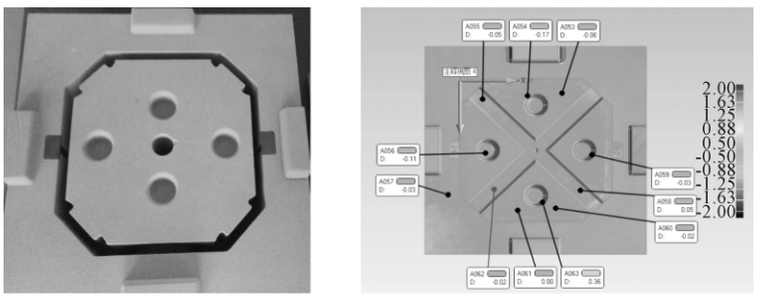
的发气量小于 11 mL/g。

砂型的透气性主要和原砂颗粒度和造型工艺有关，而粘结剂的影响较小。随着树脂量增加，透气性稍有降低，主要是树脂填充到砂粒缝隙，减小了孔隙面积。与手工造型相比采用自重震实造型工艺生产砂坯的抗拉强度稍低，但透气性较高。因此，在保证强度满足使用要求的前提下，应选择透气性较高的砂坯制作方式。

采用自重震实工艺生产的砂坯性能如表 4 所示。铣削加工的砂型表面质量较好，无掉砂、坍塌等缺陷；扫描精度在 0.5 mm 以内，满足砂型装配要求，见图 4。

表4 造型工艺与砂坯性能的关系
Tab.4 Relationship between molding process and performance of sand billet

造型工艺	树脂加入量(%)	抗拉强度/MPa	发气量/ mL·g^{-1}	透气性	堆积密度/g·mm^{-3}
震动紧实	2.00	2.35	7.1	112	1.64
人工紧实	2.00	2.56	7.1	73	1.67



(a)砂型　　(b)扫描精度

图 4 铣削的砂型及扫描精度分析
Fig.4 Milling machined sand mould and scanning accuracy analysis

3 结论

(1)酚脲烷树脂砂的固化时间可通过调节催化剂种类和加入量改变。固化时间变化范围在 5~60 min，可操作性强，满足各中造型工艺节拍需求。

(2)树脂加入量主要影响砂型的强度和发气量。加入量为 1.5%~2.0%时，自重震实工艺制作的砂坯，抗拉强度达到 1.8~2.5 MPa 以上，符合铣削砂型工艺要求。

(3)酚脲烷树脂不含 P、S，砂型发气量小，且铣削砂型精度在 0.5 mm 以内，满足砂型装配质量和浇铸需求，非常适合制作结构复杂的薄壁件。

参考文献：

[1] 单忠德，李新亚，战丽. 无模铸型的数字化快速铸造技术新进展[C]. 长沙：2007 年中国机械工程学会年会论文集，2007：771-775.
[2] 单忠德. 无模铸造[M]. 北京：机械工业出版社，2017.
[3] 杨晶，赵丽萍，程军. PEPSET 树脂自硬砂工艺性能及其影响因素的研究[J]. 兵工学报，2000，21(1)：35-37.
[4] 刘丽敏，单忠德，杨颜绮. 优质高效砂型 / 芯复合成形工艺研究[J]. 铸造技术，2019，40(12)：1281-1285.
[5] LI X Y, SHAN Z D. Rapid Patternless Casting Technology on CNC Manufacturing [C]. Hangzhou: Proceedings of 69th World Foundry Congress, 2010,10：16-20.
[6] 顾兆现. 铸件快速复合成形制造工艺研究[D]. 北京：机械科学研究总院，2012.
[7] 单忠德. 中国的无模铸造[J]. 铸造技术，2011，32(5)：760-762.
[8] 翟伟传. 呋喃树脂砂铸件技术分析及改造研究 [J]. 科技视界，2020(26)：18-19.
[9] 杨忠耀，刘党库. 消除酚脲烷树脂砂铸件针孔缺陷的有效途径[J]. 铸造，2014，63(7)：704-708.
[10] 董晓传，单忠德，刘丽敏. 基于砂型柔性挤压成形工艺的起模时间实验研究[J]. 铸造技术，2020，41(12)：1109-1112.

杭州文特机电有限公司

热处理炉、加热炉、工业自动化工程、环保节能工程、机电设备的设计、制造、加工、安装、技术开发、技术咨询、技术服务。工业自动化设备、仪器仪表、工业炉窑配件、计算机等的生产、批发、零售。

地址：杭州市西湖区万塘路 262 号 6 号楼 5-65 室
厂址：长兴县林城镇午山岗开发区
联系人：丁为兵
电话：15088362822
传真：0572-6087688
邮箱：dwb150@163.com

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net