

XIAOSHIMU ZHUZAO
STMMA YINGYONG JISHU

消失模铸造 STMMA 应用技术

章舟 编著



化学工业出版社

XIAOSHIMU ZHUZAO
STMMA YINGYONG JISHU

消失模铸造 STMMA 应用技术

章 舟 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书紧密结合铸造企业生产实际情况,全面介绍了 STMMMA 消失模铸造技术涉及的原辅材料、设备、工艺及铸件应用实例;重点说明了 STMMMA 模样的制作与应用,给出了提高铸件质量的新工艺、新材料、操作细则和专项技术;书中许多生产实例可以直接用于生产实践,尤其是书中关于铸件缺陷的形成原因与预防措施的总结,都是来源于生产实践的经验总结,可供读者实践中借鉴。

本书可供铸造领域的技术人员、管理人员以及企业技术工人参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

消失模铸造 STMMMA 应用技术/章舟编著. —北京:
化学工业出版社, 2016. 5
ISBN 978-7-122-26519-7

I. ①消… II. ①章… III. ①铸造 IV. ①TG2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 051502 号

责任编辑: 刘丽宏
责任校对: 王素芹

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 8½ 字数 179 千字 2016 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00 元

版权所有 违者必究

前言

消失模铸造，又称实型铸造，是用泡沫塑料（EPS、STMMA 或 EPMMA）高分子材料制作成为与要生产铸造的零件结构、尺寸完全一样的实型模具，经过浸涂耐火涂料（起强化、光洁、透气作用）并烘干后，埋在干石英砂中经三维振动造型，浇铸造型砂箱在负压状态下浇入熔化的金属液，使高分子材料模型受热汽化抽出，进而被液体金属取代冷却凝固后形成的一次性成型生产铸件的铸造方法。与传统铸造技术相比，消失模铸造技术具有无与伦比的优势。为了满足行业需求，尤其是当前 STMMA 模样生产的需要，我们编写了本书。

本书紧密结合铸造企业生产实际情况，从基本工艺出发，全面介绍了消失模铸造 STMMA 技术涉及的原辅材料、设备、工艺及铸件应用实例；重点说明了 STMMA 模样的制作与应用，给出了提高铸件质量的新工艺、新材料、操作细则和专项技术；书中许多生产实例可以直接用于生产实践，尤其是书中关于铸件缺陷的形成原因与预防措施的介绍，都是来源于生产实践的经验总结，可供铸造领域的技术人员、管理人员以及企业技术人员在实践中借鉴。

本书的编写得到了许多同仁的大力支持，杭州凯斯特化工公司唐镇云、唐书明、刘庆旭；杭州富强轻工包装机械厂厉三于，杭州奥宝精细化工有限公司应根鹏，西安《铸造工程师》杂志主编邓宏运和消失模铸造使用 STMMA 模样厂长、科技人员等为本书编写提供了很多帮助，在此不一一枚举，一并表示衷心的感谢！

由于水平所限，书中不足之处难免，敬请读者批评指正。

编著者

目录

第1章 消失模铸造 STMMA 模样	001
1.1 白模粒料概述	001
1.1.1 STMMA 共聚珠粒性能	001
1.1.2 STMMA 共聚树脂模样成型	002
1.1.3 STMMA 材料的安全数据	004
1.1.4 STMMA 模样专用料的应用	005
1.1.5 模样常见缺陷及防止	006
1.2 生产优质模样的五要素	007
1.2.1 模样材料	007
1.2.2 设备和模具	008
1.2.3 理想的能量来源——蒸汽	008
1.2.4 工艺控制——工艺管理	009
1.2.5 人为因素——人员管理	009
1.3 STMMA 预发、熟化、成型控制	010
1.3.1 预发熟化、成型控制标准	010
1.3.2 模样干燥操作规程	010
1.3.3 优质模样的7大指标	011
1.4 STMMA 常见应用问题及解决方法	014
第2章 STMMA 模样制作	017
2.1 模样制作工艺流程	017
2.2 模样原材料	018
2.2.1 可发性聚苯乙烯树脂珠粒	018
2.2.2 EPS 模样材料的主要技术指标	018
2.2.3 可发性甲基丙烯酸甲酯与苯乙烯共聚树脂	019
2.2.4 共聚树脂 STMMA 主要技术指标	020
2.3 模样制造	020
2.3.1 预发泡	020
2.3.2 预发泡珠粒的熟化	022
2.3.3 模样的发泡成型	022

2.3.4	发泡成型模具	025
2.3.5	模样成型设备	027
2.3.6	模样的干燥与稳定化	029
2.3.7	模样的组装	030
2.3.8	泡沫塑料模样的加工成型	038
2.3.9	泡沫塑料模样的质量检验	039
第3章	模具设计与制作	042
3.1	泡沫塑料模样的三维造型	043
3.1.1	对泡沫塑料模样的工艺审定	043
3.1.2	三维造型时起模斜度的确定	045
3.1.3	三维造型时加工余量的确定	045
3.1.4	计算机辅助设计在三维造型中的应用	045
3.1.5	模样的分片与粘接	047
3.2	模具设计	050
3.2.1	收缩率	050
3.2.2	模具的型腔数量	051
3.2.3	模具充料口设计	051
3.2.4	分型面的设计	055
3.2.5	芯块和抽芯机构设计	057
3.2.6	成型模具的镶块设计	058
3.2.7	锻铝模具毛坯的三维构造	059
3.2.8	消失模铸造模具毛坯的三维设计	060
3.2.9	手动拆装模具的结构设计	061
3.2.10	机动开合模具设计	064
3.3	模具的加工制造和装配	067
3.3.1	模具材料的选择	067
3.3.2	模具型腔加工	067
3.3.3	模具的透气结构	068
3.3.4	模具的装配	069
3.4	模具的安装和调试	069
3.4.1	模具在成型机上的安装	069
3.4.2	模具的密封	071
3.4.3	设备管道与模具接口设计	071
3.4.4	模具的调试	072
3.5	模具的维护保养	072
3.5.1	手工拆装模具的维护保养	072
3.5.2	普通机模的维护保养	073
3.5.3	自动机模的维护保养	074

第 4 章 涂料	075
4.1 消失模铸造涂料的技术要求	075
4.2 消失模铸造涂料的种类	076
4.3 消失模铸造涂料的主要组成	077
4.4 消失模铸造常用的涂料配方	078
4.5 配制 STMMA 涂料注意事项	080
4.6 常用消失模铸造涂料搅拌机	080
4.7 涂料性能测试	081
第 5 章 消失模铸造工艺	083
5.1 消失模铸造工艺方案的确定	083
5.1.1 消失模铸造工艺方案制定原则	083
5.1.2 消失模铸造工艺设计主要内容	083
5.1.3 铸件结构的工艺性	084
5.1.4 工艺参数选择	085
5.1.5 浇注工艺	086
5.2 消失模铸造浇注系统	087
5.2.1 浇注位置的确定	087
5.2.2 浇注方式的确定	088
5.3 冒口及保温发热冒口	092
5.3.1 消失模铸造冒口设置原则	092
5.3.2 冒口的作用	092
5.3.3 冒口的种类和形状	092
5.3.4 冒口计算及放置	093
5.3.5 冒口的安放位置	093
5.3.6 保温发热冒口	094
第 6 章 消失模铸造 (STMMA) 铸件质量控制	096
6.1 消失模铸造铸件的质量控制	096
6.1.1 白模的质量控制	096
6.1.2 涂料成分和质量控制	098
6.1.3 铸件的材料和化学成分控制	099
6.1.4 金属液的熔炼与浇注技术	099
6.1.5 负压	099
6.1.6 造型操作	099
6.1.7 铸件结构变化和铸造工艺的选择	100
6.1.8 铸造设备和工装的选择	100
6.1.9 质量管理和生产管理的细致影响	100
6.1.10 其他因素的影响	101

6.1.11	白模检验	101
6.1.12	浇冒口粘接质量检验	101
6.1.13	消失模铸件的检验	101
6.2	消失模铸造缺陷防止	102
6.2.1	EPS 白模常见的缺陷及防止	102
6.2.2	STMMA 白模或模样常见的缺陷和防止	108
6.2.3	消失模铸造特有的缺陷及防止	109
6.2.4	消失模铸造、实型铸造和砂型铸造类似的缺陷和防止	118
6.2.5	铸件铁液不当产生缺陷及防止	126
参考文献		128

第1章

消失模铸造 STMMA 模样

1.1 白模粒料概述

1.1.1 STMMA 共聚珠粒性能

STMMA 是专门用于消失模铸造的模样材料的可发性共聚树脂珠粒，比 EPS 具有更卓越的铸造性能，主要用于生产阀门、管件、汽车配件及各种机械配件生产，与 EPS 相比有以下优点：

- ① 降低了铸件的碳缺陷；
- ② 降低了钢铸件的表面增碳缺陷；
- ③ 降低了烟碳含量；
- ④ 提高了铸件表面光洁度。

(1) STMMA 组成 见表 1-1。

(2) STMMA 主要技术指标 见表 1-2。

表 1-1 STMMA 组成

组分	质量分数/%	组分	质量分数/%
甲基丙烯酸甲酯与苯乙烯共聚物	88~91.5	残留苯乙烯	≤0.1
甲基丙烯酸甲酯和苯乙酸	≤1	其他	≤1
戊烷	6.5~8.5		

表 1-2 STMMA 主要技术指标

规格	挥发分含量/%	粒径范围/m	适宜的预发密度/g·L ⁻¹	润滑剂添加量/%
STMMA-1#	7~10	600~800	≥18	0.2~0.3
STMMA-2#	7~10	500~600	≥19	0.2~0.3

续表

规格	挥发分含量/%	粒径范围/m	适宜的预发密度/g·L ⁻¹	润滑剂添加量/%
STMMA-3#	7~10	350~500	≥21	0.3~0.4
STMMA-4#	6~9	300~350	≥23	0.3~0.4
STMMA-5#	5.5~8	210~300	≥25	0.3~0.4

注:上述值是代表最佳预发条件下得到的。

1.1.2 STMMA 共聚树脂模样成型

消失模铸造中,泡沫塑料模样制造是一个非常重要的环节。开发前如何制作模样,不管使用哪种树脂珠粒,其模样制造过程是相同的,其工艺过程如下:原始珠粒→预发泡→干燥、熟化→成型发泡→发泡塑料模样。

(1) 原始珠粒选用 首先根据铸件材质及对铸件的质量要求来选择品种,再根据铸件的最小壁厚来选用珠粒规格。在预发时,40~50 倍的发泡倍率,珠粒直径大约增加 3 倍。为了得到模样的良好表面状态,在二次发泡(成型)时,模样最小壁厚要在最低壁厚方向排列 3 颗珠粒,即允许的最大珠粒粒径:(金属内腔的最小壁厚)×1/3×1/3。所以要得到 5mm 壁厚的铸件,那就需要直径为 0.55mm 以下的珠粒才行。但是这样的薄壁铸件,特别是铸铁件,即使使用发泡倍率 20 倍那样的硬模样也有可能铸造。另外,小粒径珠粒对薄壁件虽然是必要的,但它的表面积大,发泡剂易挥发,最高发泡率的界限也低。而厚壁铸件时,珠粒的充填不成问题,模样也有相应的强度,所以适当地选用大粒径珠粒以完全促进熔结,反而会得到质量较好的铸件。

(2) 预发泡

① 珠粒预发泡密度控制。珠粒预发泡的密度控制是模样制造的重要工艺参数,为了保证模样有足够的强度和刚度,对于薄壁件一般控制在 24~26g/L,对壁厚较大的件采用粒径大些的珠粒密度可控制在 19~22g/L。

② 珠粒预发泡工艺。STMMA 共聚树脂珠粒的预发泡(又称一次发泡)通常是在间歇式预发泡机中进行的,间歇式预发泡机主要有加压式蒸汽预发泡机和真空式预发泡机。一般包装用 EPS 预发机不适用于 STMMA 的预发泡。下面介绍的是两种预发泡机的预发泡的典型工艺参数,可供实际操作时参考。

a. 真空预发泡机预发工艺参数

先将预发泡筒体预热到设定温度

加树脂(500g)

6s

预热

夹套蒸汽压力为 0.12~0.15MPa

加热时间

1~2min

抽真空

真空度: -0.08~-0.05MPa, 时间 20~30s

真空下注水

50~75mL/10s

大气稳定

5s

真空稳定

20s

出料

45s

预发密度主要是由加热时间来控制,对不同型号规格的真空预发泡机,预热设定温度和预发泡工艺参数要通过调试来确定。

b. SJ-KF-450 蒸汽预发泡机。预热温度 $90\sim 95^{\circ}\text{C}$, 到达 $90\sim 95^{\circ}\text{C}$ 后即可加料。预发泡温度 $95\sim 105^{\circ}\text{C}$, 发泡筒内压力控制在 $0.03\sim 0.05\text{MPa}$, 压力不要过大。预发泡时间 $30\sim 60\text{s}$ 。

为了获得性能良好的预发泡珠粒,在实际操作中应该注意以下问题。

第一,用于预发泡的加热蒸汽总管压力不能小于 0.4MPa ,来自总管的蒸汽减压并调节在 0.2MPa ,经过蒸汽缸充分排除冷凝水,进入预发机的加热蒸汽压力可在 $0.12\sim 0.2\text{MPa}$ 范围内调节。

第二,通过调节预发泡温度或发泡筒内压力来控制预发泡时间在 $30\sim 60\text{s}$ 。

第三,预发泡之后的珠粒内部呈减压状态,且珠粒表面有一层水膜,所以在模样成型前,需要进行干燥和熟化,使珠粒变得有弹性,未经熟化和熟化不完全的预发珠粒,无法制取合格的模样。珠粒熟化时间一般为 $8\sim 12\text{h}$,最佳熟化时间与环境温度及湿度有关。环境温度高,湿度低,熟化时间短。但要注意熟化温度不能太高 (25°C),时间不能太长,否则珠粒中的发泡剂损失太多使模样成型困难。

(3) 模样成型 通常模样成型有两种工艺,即蒸汽缸成型和压机气室成型,其成型工艺过程如下。

① 模具预热。预热的目的是为了缩短成型周期,减少发泡成型时模具型腔中的冷凝水。

② 充填。充填是模样制造的重要工序。充填不均匀或充填不足不能制得合格的模样。采用充填的方法有吸料充填、压料充填和压吸充填等。具体采用何种充填方法和充填气体压力,要视模具型腔结构复杂程度如何而定。浙江某轻工机械厂生产一种压力式加料罐,经多家使用表明,大大改善了薄壁和结构较为复杂模具的物料充填效果,有利于生产完整和表面光洁的模样。

③ 加热(发泡成型)。发泡成型阶段,根据模样大小、结构、壁厚等不同,控制一定的加热蒸汽压力,通常来自气泡的成型加热蒸汽压力控制在 $0.15\sim 0.2\text{MPa}$,对蒸汽缸成型控制蒸汽缸内压力在 $0.11\sim 0.15\text{MPa}$,对压机气室成型,模具气室内压力控制在 $0.10\sim 0.12\text{MPa}$,加热时间通过试验确定。要特别注意加热蒸汽中不要夹带冷凝水,否则会影响珠粒表面相互熔结质量,最好采用微过热蒸汽加热。

④ 冷却。冷却的目的是使模样定型并具有一定的强度和刚度,所以冷却要均匀、充分。模具内刚成型的热塑性泡沫塑料模样的热量通过各种传热途径,散入周围的空气或冷却介质中。但是由于模样泡体是热的不良导体,冷却时常常出现表层的已被冷却固化定型,芯部的温度还很高的现象。这时如冷却定型不够,虽然皮层已固化定型,但是芯部的大量热量会继续向外传,使皮层温度回升,再加上模样芯部泡体的膨胀力,就可能使已定型的泡体形状变形或破坏。冷却是靠冷却时间和冷却效率来保证。对于同样的模样,用 STMPA 珠粒要比用 EPS 珠粒冷却时间要长些。特别是对于壁厚较大的模样,有时要采用多次冷却以控制可能的三次发泡。

⑤ 脱模。刚成型的模样冷却后内部处于减压状态，比较软，如果脱模不当，模样表面就易损伤、变形，所以对于不同结构的模样要采用不同的脱模方式。

(4) 模样的干燥和稳定化 由于模样在成型过程中要与水蒸气和水接触，所以刚脱模的模样含有较多的水分。为了保证模样质量，模样（或模片）在组装和上涂料前一定要干燥，使模样中的水分降到 1% 以下。模样干燥可采用自然干燥和放在通风的烘房中干燥，一般采用自然干燥时在使用前在烘房中，再干燥 2~4h，烘房温度一般控制在 40~60℃，烘房温度太高，干燥速度太快，模样易发生变形。模样在干燥过程中尺寸会发生变化，并逐步稳定下来。STMPA 模样收缩率比 EPS 模样小，一般为 0.2%~0.4%（相对于模具型腔尺寸），实际收缩率与模样内残留的发泡剂和含水量有关。

能否得到合格的样子对消失模铸造成功与否起着关键作用，影响模样质量的另一重要因素是模具。首先模具结构要合理，第二要特别注意消失模铸造模具与 EPS 包装材料的模具不同，这是因为消失模铸造用泡沫塑料模样除结构比较复杂外，通常要满足三个基本要求：

- ① 密度低；
- ② 要有一定强度和表面刚性；
- ③ 模样表面光洁度要好。

为此，模样的制造要选用粒径为 0.25~0.8mm 的专用珠粒。不能用包装模具的设计和制造的观念来设计制造消失模铸造用模具。例如，包装用 EPS 预发泡珠粒粒径一般都在 3~5mm，甚至更大，所以模具型腔壁上可以安装较大孔径的气孔，再加上珠粒大时充填阻力小，因此，对包装模具珠粒充填比较容易。还有消失模样成型加工时，不能采用合模时留有缝隙（半粒珠粒大小）的办法排除充填时的气体，因为消失模样专用珠粒粒径小，半粒珠粒大小很难控制，另一方面，留有缝隙的做法，模样容易出现飞边，影响模样表面质量和尺寸精度。为此，对消失模模具来说，通气孔（或气塞）的大小、数量和分布、加料口的位置、数量等的设计尤为重要。目的是如何保证充填时，气体进出要平衡，即充填时气流要畅通，不能有死角和涡流，加热时蒸汽透过气孔（或气塞）进入型腔各部位的热量供需要平衡等，否则模样会出现充填不足、熔结不良或过烧等缺陷。所以对消失模模样制造来说，模具特别是对薄壁和结构复杂的样子，模具设计和制造应该十分重视。

1.1.3 STMPA 材料的安全数据

(1) 物理和化学危险性

① 发泡剂逐渐从珠粒中挥发出来，在使用中有可能与空气形成可燃性爆炸混合物。

② 稳定性和反应性。在 250℃ 左右时开始分解，产品不溶于水，但溶于有机溶剂。

③ 防火措施。发生火灾时可用水喷雾，二氧化碳灭火剂、泡沫灭火剂和干粉灭火剂灭火。STMPA 是一种可燃性的热塑性塑料，在着火燃烧时，将发生熔融和滴淌现象，并散发出燃烧产物 CO、CO₂、黑烟和低沸点烃类气体，消防人员应

穿戴防护服和自备呼吸器。

(2) 贮藏 STMMA 原始树脂珠粒应该在冷藏室存放。因为在贮藏过程中发泡剂会逐渐从原始珠粒中逸出,逸出速度随着温度的升高加速,且发泡剂将集中在内衬袋和容器顶部空间,因此开盖使用时要十分小心。

(3) 加工、运输和贮存 原始 STMMA 珠粒及加工成型的模样中含有的发泡剂将慢慢地散发出来,因此制模工作和使用者在加工、运输和贮存过程中要远离火源、热源和避免静电产生,加工使用和处理场所必须保持良好的通风条件。

1.1.4 STMMA 模样专用料的应用

STMMA 共聚树脂投产几年来已在国内外数十家使用,取得了良好的效果,下面介绍一些典型的例子。

(1) 各种球铁件 主要用于生产管件、阀体、汽车配件和工程机械配件等。例如,美国某阀门厂主要生产 DN150、DN200 阀体,四川成都等机械厂生产各种管件,张家界某汽车配件厂生产汽车配件,江西分宜某厂生产工程机械配件,无锡某实型铸造厂和宁波某精铸厂生产多种出口铸件等。

上述大多数厂原来都是用 EPS 模样,后改用 STMMA 模样,主要效果是极大地减少铸件的夹渣缺陷,提高了铸件表面光洁度,从而提高了铸件成品率。例如辽宁某厂原来用 EPS 珠粒生产出口管件的成品率低,特别是一次打压合格率不到 50% (有时 <30%),改用 STMMA 后一次打压合格率提高到 95% 以上。

(2) 各种耐热合金铸铁件 采用 EPS 模样生产耐热合金铸铁件容易产生的主要缺陷是表面粗糙、内部夹渣和气孔缺陷,改用 STMMA 模样后,可以克服上述缺陷,产品质量和使用寿命提高,经济效益显著。

(3) 各种铸钢件 采用 EPS 模样生产铸钢件容易出现表面增碳及内部夹渣等缺陷,特别是含碳量低于 0.30% 的钢件。由于铸件表面增碳严重,使铸件的力学性能和加工性能变坏。STMMA 模样材料,可克服上述铸造缺陷,特别是表面增碳缺陷,并大大提高铸件表面光洁度。如无锡某实型铸造厂采用 STMMA 模样生产各种出口铸钢(包括合金钢)件,铸件质量深受国外用户欢迎。贵阳某机车车辆厂和安顺某铸造厂采用 STMMA 模样材料,生产含碳量为 0.25% 的铁路配件,解决了钢铸件的表面增碳问题,并通过铁路部门的质量检测、验收。马鞍山某厂用 STMMA 模样材料生产合金钢铸件效果也很好,该厂正在不断扩大高附加值的铸件(重点是出口)生产。现在采用 STMMA 模样材料生产钢铸件(包括低碳钢铸件)的厂越来越多。特别值得关注的是江苏某集团公司用 STMMA 模样生产不锈钢(ZG0Cr18Ni9)钢管接头($\phi 233\text{mm} \times 736\text{mm}$)获得成功,经检测、炉内钢水碳含量为 0.039%,在铸件上、中、下三点取样,碳含量分别为 0.043% (下),0.055% (中),0.059% (下)。产品经用户检测、验收质量合格,并投入批量生产,取得了十分可喜的经济效益,这为我国消失模铸造采用 STMMA 模样材料生产高附加值的低碳钢和不锈钢铸件提供了有力的例证。另外,韩国某株式会社采用 STMMA 模样生产 304 不锈钢铸件,不仅表面增碳量显著降低,而且铸件的表面光洁度好,生产的铸件通过了韩国国家检测中心检验合格。

(4) 其他铸件

① 灰铁件。用 EPS 模样材料生产灰铁件容易出现的缺陷是内部气孔、夹渣和表面粗糙。这对于那些铸件表面质量较高和要求防渗漏或耐压件,采用 STMTA 模样材料是很合适的,例如安徽某厂用 STMTA 模样生产缸体、缸盖(单缸体和多缸体)取得了满意的效果。

② 铜合金件。采用 EPS 模样材料生产铜合金件容易出现的问题是铸件表面粗糙和皮下气孔。究其原因主要是 EPS 在铜的浇注温度下产生焦油渣和大量氢气所致。根据洛阳某铜合金加工厂提供的信息,日本铜合金艺术铸造采用的也是共聚料(STMTA),厦门等机械配件厂和南京航空航天大学等采用 STMTA 模样浇注铜合金铸件克服了 EPS 模样材料的铸造缺陷,因此 STMTA 模样材料在铜合金铸造方面也是很有作为的。

1.1.5 模样常见缺陷及防止

在采用发泡成型泡沫塑料模样时,影响模样质量的因素很多,除原始树脂珠粒的品种、规格和质量外,很大程度上取决于模具结构是否合理,预发泡机和发泡成型设备选型是否合适,预发泡及发泡成型工艺是否规范以及预发泡珠粒的预发密度、干燥、熟化和保存是否得当等。表 1-3 列出了发泡成型模样的常见缺陷及解决措施。

表 1-3 发泡成型模样常见缺陷及解决措施

缺陷名称	产生的原因	解决措施
模样外观正常,内部熔结不良	① 成型加热时间短,或蒸汽压力低,成型温度低 ② 预发泡珠粒干燥、熟化温度高或时间长,发泡剂含量不够	① 提高加热蒸汽压力,提高成型温度,延长发泡成型时间 ② 控制珠粒干燥熟化温度和时间 ③ 调整发泡剂含量
内部结构松弛,大部分熔结不良	① 珠粒充填不均匀 ② 成型温度偏低,时间短 ③ 珠粒密度过低或发泡剂含量低	① 改进充填方法和条件 ② 提高加热蒸汽压力,延长加热时间 ③ 控制预发泡珠粒密度和发泡剂含量
模样不完整,轮廓不清楚	① 珠粒未完全填满型腔 ② 模具的通气孔分布、加料口位置、模具结构不合理 ③ 珠粒的粒度不合适	① 改进充填方法、调整压缩空气压力 ② 改进模具结构,调整通气孔的布置和数量以及加料口位置 ③ 对薄壁模样应选用较小的珠粒
模样熔化	① 加热蒸汽压力过高 ② 发泡成型时间太长 ③ 模具通气孔太多或孔径太大	① 降低加热成型蒸汽压力 ② 缩短成型加热时间 ③ 调整通气孔数量及孔径大小、分布
模样大面积收缩	① 成型时间过长或温度过高 ② 冷却速度太快(冷却水温度太低) ③ 冷却时间不够,脱模温度太高	① 缩短成型时间,或降低成型温度 ② 调整冷却速度和时间
模样局部收缩	① 加料不均匀 ② 加热或冷却不均匀 ③ 模具结构不合理,局部通气孔位置、数量或孔径不合适 ④ 蒸汽成型时模具在蒸汽缸中的位置不当,正对着蒸汽进口处	① 确保加料均匀 ② 调整加热和冷却条件,确保加热和冷却均匀 ③ 改进模具结构,调整通气孔位置、数量和孔径大小 ④ 调整模具在蒸汽缸中的位置或改进蒸汽缸中蒸汽管位置或通汽方式

续表

缺陷名称	产生的原因	解决措施
模样尺寸增大,膨胀变形	模具未能充分冷却,模样脱模时间过早	① 充分冷却模具,使模具温度低于成型温度 ② 调整脱模时间
模样表面粗糙,珠粒界面处有凹陷	① 珠粒密度过低,或珠粒未完全熟化 ② 发泡成型时间不够 ③ 珠粒发泡剂含量低 ④ 珠粒粒径太大	① 提高珠粒预发泡密度,采用熟化好的珠粒 ② 延长成型时间 ③ 提高预发泡珠粒发泡剂含量,选用合适的粒径
模样表面珠粒界面凸出	① 成型时间太长 ② 模具冷却速度太快,冷却时间不够	① 缩短成型时间 ② 降低模具冷却速度,延长冷却时间,使模样充分定型
模样刚脱模时正常,过后收缩变形	① 预发泡珠粒密度过低 ② 预发泡珠粒熟化时间不够	① 缩短预发泡时间,提高预发泡密度 ② 适当延长预发泡珠粒熟化时间
模样中含有冷凝水	① 发泡珠粒熔结不良 ② 冷却水压力过高和时间过长 ③ 成型时间过长,泡孔有破裂并孔现象 ④ 预发珠粒密度过低	① 加热蒸汽压力和成型温度要适当 ② 调整冷却水压力和冷却时间 ③ 缩短成型加热时间 ④ 提高预发珠粒密度
模样由模具中取出时损坏变形	① 模样与模具之间有粘接现象 ② 模具结构不合理,模腔内表面粗糙	① 定期润滑模具工作表面 ② 修改模具结构,提高表面光洁度,增加脱模斜度等

1.2 生产优质模样的五要素

随着消失模铸造的发展,客户对铸件质量要求的提高,作为消失模铸造企业来说:提高产品合格率和产品质量、降低生产成本仍是我们要实施的工作;劣质的白区产品=劣质的黑区产品——这是全世界消失模厂家共知的事实。制约消失模铸造良性发展最根本的因素就是消失模模样(白模),怎样才能批量+稳定地生产出合格的模样呢?在模样的整个制作过程中涉及原材料(原始珠粒)、设备、模具和蒸汽质量、工艺控制及人为因素。

- ① 优质的模样材料是生产优质模样的前提;
- ② 优良的设备和模具是生产优质产品的必备条件;
- ③ 低压大流量、饱和微过热的蒸汽是最理想的能量来源;
- ④ 有效的工艺控制是实现产品稳定的保障;
- ⑤ 实现对人员因素的有效控制是顺利生产的有效保证。

1.2.1 模样材料

消失模铸造常用的模样材料有两大来源:①中国大陆 EPS(可发性聚苯乙烯),中国台湾、国外 EPS(消失模铸造铝合金专用 EPS);②共聚物(中国凯斯

特 STMTA 共聚珠粒；日本三菱：CL300-CL600 共聚料）。

在国内一般使用 EPS（可发性聚苯乙烯）和 STNNA 共聚珠粒，必须表明的是目前国内还没有消失模铸造专用的 EPS 珠粒，在使用 EPS 的厂家用的都是包装或建筑用可发性聚苯乙烯，而且原料来源很杂，有时会有不同性质的原料混在一起。在国外，有色金属使用 EPS 专用料，黑色金属消失模铸造均采用共聚物。

那么在消失模铸造过程中使用 STMTA 比 EPS 的优越性体现在哪些方面呢？

① 使用 STMTA 珠粒生产出的铸件碳缺陷少；原因：STMTA 比 EPS 原料的含碳量低 30% 左右（原料含碳量 EPS 92%，STMTA 60%）。

② 使用 STMTA 珠粒浇注温度低；原因：STMTA 比 EPS 模样终了气化温度 50℃ 左右（终了气化温度 EPS 460~500℃，STMTA 400~450℃）。

③ 使用 STMTA 珠粒模样分解残留物少；原因：STMTA 与 EPS 分解气化方式不一样，而且 STMTA 里含有 2 个氧原子，能帮助模样充分分解气化（分子组成 EPS 苯环结构，STMTA C, H, O；分解机理 EPS 无序断链；焦油→C, H；STMTA：拉链式分解，液态低分子产物）。

④ 使用 STMTA 珠粒模样的尺寸稳定性好；原因：STMTA 的分子量是 EPS 的 3 倍左右，在同等密度时 STMTA 比 EPS 模样尺寸收缩减少 1/2~2/3 倍（分子量 EPS：6 万~7 万，STMTA：20 万~22 万，模样的收缩率 EPS：0.3%~0.8%，STMTA：≤0.3%）。

⑤ 使用 STMTA 珠粒原料的质量有保障。

⑥ 使用 STMTA 珠粒生产出的铸件合格率高；原因：原材料本身的优越性加上完善的售后服务和完备的工艺技术理念，使用 STMTA 珠粒比用其他原材料合格率提升 8% 以上。

1.2.2 设备和模具

消失模和包装同样是用白区设备和模具制作模样，但是从体系上不是一回事，消失模铸造对模样有很多技术要求，所以对相关设备和模具要求也较高，要想做好消失模模样，理念必须从包装模转变过来，选用专业的、合格的消失模白区设备。好的消失模模具应该遵循“消失模铸造工艺为大，工艺决定模具，模具服务工艺，工艺浇口、模具自带”的原则。

1.2.3 理想的能量来源——蒸汽

在珠粒预发和模样成型时笔者提出了：低压大流量、饱和微过热、压力稳定的蒸汽状态要求。原因如下：

① 低压大流量的作用：让蒸汽瞬间穿透珠粒（缩短预发和成型时的蒸汽穿透时间），使预发出的珠粒均匀、不结团；使成型的模样薄处不缩、厚处不生。

② 饱和微过热蒸汽的作用：减少蒸汽中的水分含量，提高热效值利用（湿蒸汽：1500kJ 360%，饱和蒸汽：2675kJ 650%，过热蒸汽：2762kJ 670%）。

③ 稳定蒸汽压力的作用：使长时间预发珠粒密度一致，使发泡成型的模样的性

能一致。

④ 保证模样制作过程中的三个一致性。

a. 预发珠粒的一致性。影响预发珠粒一致性的原因有设备的性能（主要是设备的稳定性、密封性、刮板的好坏、进气和受热均不均匀等）；蒸汽的质量（主要是蒸汽中的含水量、蒸汽的饱和程度、压力的稳定性等）；加料量（主要是不同的预发机最合理的加料量、每次加料量是否一致）；预发过程中的参数控制（主要是在预发过程中开始-中间-后边怎样对参数的微调）。

b. 珠粒熟化的一致性。影响珠粒熟化一致性的原因有熟化仓的大小（建议长×宽×高 1m×0.8m×0.8m，活动式熟化仓）；内外熟化效果（建议尽可能让熟化仓里边和表面的珠粒置换位置）；熟化环境（建议温度 $\geq 23^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $\leq 30\%$ ，通风的条件下，熟化时间： $\geq 20\text{h}$ ）；流化床的合理使用（建议预发好的珠粒在流化床停留 5~10min）。

c. 制作出模样的一致性。影响模样一致性的原因有模样密度（预发密度、模样密度、密度阶梯等）；冲料方式（吸料充填、加压充填、抬模加料等）；成型过程的控制（成型工艺、蒸汽质量和穿透、水冷等）；模样的时效处理控制（水分和挥发分的损失配比、时效处理等）。

1.2.4 工艺控制——工艺管理

工艺在消失模铸造生产中发挥着关键的作用。很多工厂无法生产出好的产品，就是因为整体的工艺素质和工艺水平不高，同时缺乏有效的工艺管理。

① 制定合理的工艺。工艺是针对每个工厂的具体产品和具体情况而言的，相同的产品因为不同的原辅材料和不同的习惯可以有不同的工艺方案，只要不违背消失模铸造的基本原理，没有统一的标准和模式。只要合理，能够生产出好的产品就是好的，而没有必要非得比较哪种工艺方案就比哪种工艺方案好。

② 进行工艺试验的必要性。没有人有“点金术”，制定一种工艺肯定就是最好的，在消失模铸造产品工艺的制定过程中，应该允许试验。

③ 工艺规程简单明了。工艺确定后制定工艺卡。工艺卡的内容要简单明了、通俗易懂，让员工一看就清楚。很多厂的工艺卡内容繁琐，工人根本不看成为摆设。

④ 浇冒口系统尽管模具化；一旦工艺方案确定，在条件允许的情况下，尽量把浇冒口系统模具化，减少人工操作的差异对工艺方案实施的影响。

⑤ 严格执行工艺方案。一旦工艺人员和技术部门确定了工艺方案，经过试验没有问题，生产车间就必须严格执行，而不能随便改。

1.2.5 人为因素——人员管理

国内多数的消失模铸造厂设备简陋，机械化和自动化程度低，纯人工操作居多。因此，人的因素对消失模铸造生产影响至关重要，职工的情绪直接影响到产品质量。

那么如何实现对人员因素的有效控制呢？