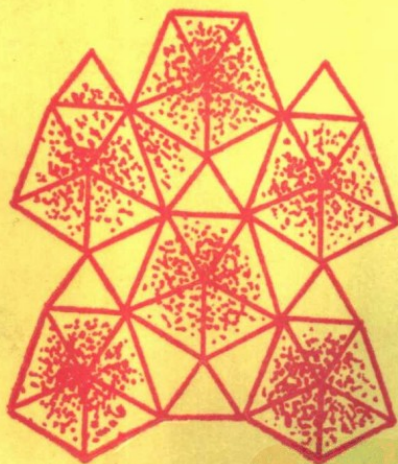


高以熹 等 编 著

石膏型熔模精铸 工艺及理论



西北工业大学出版社

封面设计：杨君明



ISBN 7-5612-0421-3/TG·19

定 价：5.00 元

<国家自然科学基金资助项目>

石膏型熔模精铸 工艺及理论

高以熹 张 湛 吴建仁 编著

西北工业大学出版社

1992年8月 西安

(陕)新登字第 009 号

【内容简介】 本书是一本石膏型熔模精铸方面的专著。书中总结了近十年来国内外有关这一新工艺的研究成果和生产经验，对石膏、填料、添加剂等原材料的品种、性能、功用以及它们之间的合理配比作了系统的论述；对石膏型和铸件的成形工艺、质量控制等作了深入讨论；注意理论与实践紧密结合，着重分析在研究及生产中出现的技术问题，探讨解决途径。

本书内容较丰富，对从事这方面工作的专业人员很有借鉴作用，亦可供铸造工作者阅读参考。

石膏型熔模精铸工艺及理论

高以熹 等编著

责任编辑 李珂

责任校对 樊力

*

西北工业大学出版社出版发行

(西安市友谊西路 127 号 邮编：710072)

全国各地新华书店经销

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0421-3 / TG · 19

*

开本 787×1092 毫米 1/32 8.25 印张 169 千字

1992 年 8 月第 1 版 1992 年 8 月第 1 次印刷

印数：1-1000 册 定价：5.00 元



前 言

石膏型熔模精铸是一项新工艺，国外已在生产中推广应用，国内正在发展，这对提高我国的铸造业水平，为航空航天等部门生产大型复杂薄壁精密铸件将起重要作用。

直至目前，尚未见有专门著作来系统论述有关石膏型精铸的材料和工艺问题。为此，作者总结了十年来从事石膏型熔模精铸的研究成果与生产实践经验，以此为基础，并参阅了大量文献资料整理编著成本书，力求做到理论联系实际，落实到应用。对在研究及生产过程中出现的一些问题作了较详细的分析讨论，以供铸造界同行们参考，希望能对我国石膏型熔模精铸的发展起到促进作用。

本书共分六章。第一章着重论述石膏特性、半水石膏制备工艺、水化及凝结硬化机理等。因半水石膏是石膏型的基体材料，决定石膏型的基本性能，而铸造工作者平时对这些方面接触不多，故本章对石膏论述较详细，使读者对此有较多了解，俾在解决石膏型工艺问题时比较主动。

第二章讨论石膏型的填料。在石膏混合料中填料约占50%以上，对石膏型的性能有显著影响，故对常用填料的品种、性能，特别是填料对石膏型组织性能的影响规律作了较系统的论述。

第三章为石膏型的添加剂。在石膏混合料中添加剂的含量虽不多，但对调节石膏及其混合料浆体的凝结特性，硬化体的力学性能等却有很大作用。本章着重论述添加剂的品种

及其作用机理。

第四章讨论石膏型的模样。要获得尺寸精度高、表面光洁的精铸件，首先要有一个比铸件的精度和粗糙度更高的模样（熔模或气化模等），显然，制备模样的模料是个关键问题，只有配制成优质模料才能制出优质模样。因此，本章着重论述模料的原材料及其合理组成等。

第五章讨论成形工艺。主要论述石膏型的制备工艺和合金液的充填凝固技术等，是获得优质石膏型精铸件的主要手段，亦是对以前各章内容的具体应用。

第六章为质量控制，主要介绍石膏及石膏硬化体各种性能的测定方法，分析石膏型熔模精铸件的铸造缺陷产生原因及解决措施。要获得优质石膏型精铸件必须对各个环节进行严格控制，其中对石膏型各种性能的检测是最根本的，因此本章全面介绍各种检测方法供读者选用。

本书在编写过程中得到校内外不少同志的帮助和支持，引用了数十种文献中的有关内容，对此表示衷心感谢。

本书由高以熹、张湛、吴建仁合作编著，西北工业大学铸造教研室主任张延威教授审阅。

由于作者水平有限，对有些问题理解不透，书中难免有缺点及错误，热忱希望读者批评指正。

编著者

1992年3月

目 录

绪 论	1
第一章 石 膏	9
第一节 天然石膏及其性质	10
一、天然二水石膏	10
二、天然无水石膏(天然硬石膏)	15
第二节 石膏各种相的形成条件及其结构与性能 ...	16
一、石膏的七种变体	16
二、二水石膏在加热脱水过程中的相变	17
三、半水石膏的形成机制和制备方法	18
四、其它脱水石膏相的形成	25
五、半水石膏与无水石膏的结构与性能	26
第三节 半水石膏的水化反应	31
一、半水石膏的水化过程及其影响因素	31
二、水化过程中体积的变化	33
三、半水石膏的水化机理	35
第四节 石膏浆体的硬化	40
一、石膏浆体硬化过程中强度的变化	41
二、影响石膏硬化体结构强度的主要因素	42
第五节 焙烧工艺对铸造石膏显微结构 及性能的影响	51
一、烘干焙烧温度对试样显微结构的影响	51

二、烘干焙烧温度对试样强度的影响	54
三、烘干焙烧温度对试样线膨胀率的影响	56
第六节 铸造用石膏的性能要求及国内外	
一些石膏产品的性能指标	57
一、对铸造用石膏的性能要求	58
二、国内外高强石膏、铸造石膏产品概况	60
第二章 填 料	63
第一节 石膏型对填料的性能要求	64
第二节 填料的种类及其特性	68
一、 $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3$ 系耐火材料	68
二、其它材料	77
第三节 填料对石膏混合料性能的影响	80
一、填料种类对石膏混合料性能的影响	80
二、填料粒度分布对石膏混合料性能的影响	87
三、填料加入量对石膏混合料性能的影响	90
第四节 焙烧温度对石膏型(以高岭土为填料)	
组织性能的影响	94
一、焙烧温度对石膏混合料组织的影响	94
二、焙烧温度对石膏混合料强度的影响	95
三、焙烧温度对石膏混合料线膨胀率的影响	97
第三章 添加剂	99
第一节 增加强度添加剂(简称增强剂)	100
一、硫酸盐	101
二、硅溶胶	112

第二节 调节凝结速度添加剂(调凝剂)	115
一、促凝剂	115
二、缓凝剂	118
第三节 减小收缩和裂纹倾向的添加剂	120
一、卤化物	120
二、脲 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	122
三、硝酸盐	125
四、有机化合物及复合盐	128
第四章 模 样	131
第一节 熔 模	131
一、模料的原材料	132
二、模料配比	141
第二节 气化模	151
第三节 水溶性模(芯)料	153
第四节 水溶性石膏芯	160
第五节 水溶性陶瓷芯	163
第五章 成形工艺	168
第一节 石膏型制备工艺	168
一、熔模压制	169
二、熔模组合	170
三、石膏混合料浆体的制备	174
四、真空灌浆	178
五、熔模脱除和石膏型烘干	179
六、石膏型的焙烧	182

第二节 铸件成形工艺	185
一、合金及其熔炼工艺	185
二、浇注工艺参数	189
三、合金液充填及凝固	190
第三节 铸件清理、修补、校正	194
一、清 理	194
二、修 补	195
三、校 正	196
第四节 工艺装备	196
一、对工艺装备的要求	197
二、工装的结构	198
第六章 质量控制	202
第一节 石膏及石膏型的成分、组织、 性能测定方法	202
一、化学成分分析	202
二、岩相分析法	203
三、相变温度的测定	206
四、粉体的容重、粒度、比表面积测定	207
五、石膏及石膏型浆体的流动性和凝结时间 的测定	213
六、石膏及石膏型的强度和表面硬度的 测定方法	217
七、试样的膨胀率及抗裂纹性测定方法	221
八、关于石膏混合料的发气性和石膏型透气性 的测定	224

九、关于石膏型尺寸精度和表面粗糙度 的测定	225
第二节 铸造缺陷分析	227
一、尺寸精度不合格	227
二、表面粗糙度不合格	234
三、气孔、浇不足	239
四、铸件晶粒粗大、缩孔、缩陷	240
附 录	241
附表 1 $\text{CaSO}_4\text{—H}_2\text{O}$ 系统各石膏相的特征	241
附表 2 模料用各种原材料的性能	243
附表 3 一些熔模模料的配比(%)	247
附表 4 一些耐火土的化学组成	248
附表 5 一些国产高铝矾土的化学组成	249
附表 6 一些石膏混合料的组成(%)	250
参考文献	251

绪 论

一、石膏型熔模精铸的工艺特点

石膏型熔模精铸是上世纪 70 年代在国外首先发展起来的一项铸造新技术。其工艺过程是先将熔模组合，并固定在专供灌浆用的砂箱平板上；再将按一定比例配制的半水石膏、填料、添加剂以及适量水，在真空下混制成浆体，接着，在真空下将浆体灌入有模组的砂箱中；待浆体凝结后，经过一段时间，硬化体已具有一定湿强度即可脱除熔模；再经烘干、焙烧成为石膏型；最终在真空下浇注，以获得复杂薄壁铸件。

石膏型熔模精铸有下列一些主要特点：

(1) 石膏型以石膏混合料的浆体灌注成型，浆体的流动性很好，又在真空下充填，因此成型性能优良。浆体在凝结过程中又有轻微膨胀，具有优异的复模性，这是其它精铸方法无法比拟的。由于上述两个性能，可以灌注大型复杂薄壁铸件用的石膏型。不像一般熔模精铸受到涂挂工艺的限制，铸件的尺寸不宜太大，形状亦不宜太复杂。

(2) 石膏型混合料浆体一次灌注成型，生产周期短，不像一般熔模精铸要经多次涂挂，生产周期长。在灌浆时，模组固定在平板上静止不动，因此对模组的强度要求比熔模铸造用模组低（因后者在涂挂时不断转动，受力较大）。

(3) 石膏型的热传导率很小，合金液在充填时不易凝固，最适宜铸造薄壁复杂铸件。但因铸型的激冷作用差，当

浇注壁稍厚的铸件时，因凝固较慢会出现晶粒较粗大，对薄壁铸件的局部厚大处更易出现缩孔、缩陷等缺陷。必须采取措施：如合金的浇注温度及型温宜低些，有利于铸件凝固结晶；合理设置浇冒系统；选用有效的充填方法（如调压铸造）以加强补缩。

(4) 石膏型的透气性极差，在铸件中易形成气孔、气穴、甚至浇不足等缺陷。应注意合理设置浇注系统及排气装置，使在浇注时型腔中的气体能顺利外排。

(5) 混制石膏混合料浆体时，只需加价格极低廉的水，不像一般精密铸造要用硅酸乙酯、硅溶胶等较贵的粘结剂，即使用水玻璃其价格亦比水贵得多。所以熔模用石膏型的成本不高。

现对常用的三种精铸方法作些比较(见表 0-1)。

由比较得出，对生产大型复杂薄壁铸件，特别是铝合金铸件，石膏型熔模精铸有独特的优点，这也是近十几年来发展较快的主要原因。

目前对石膏型熔模精铸用的术语，尚无明确规定，如石膏混合料这一术语含义就很广泛，既可指由半水石膏、填料、及添加剂配制成的固态料；亦可指由上述固态料加适量水搅拌而成的浆料；也可指浆体凝结、固化后的硬化体。不像熔模精铸把制壳用的固态料称作耐火材料；耐火材料与粘结剂混和物称作涂料；耐火材料与涂料结合成的硬化体称作型壳。三者含义明确，容易区分。

纯半水石膏在建筑行业中使用历史悠久，对其不同状态各有明确的术语，对半水石膏粉称作石膏粉体；半水石膏与水拌和后称石膏浆体；浆体凝结后称石膏硬化体。

表 0-1 三种精铸方法比较

精铸种类	能够铸造的铸件			铸件质量		成型性	脱型(壳)性
	尺寸	复杂性	壁厚 (mm)	精度	表面粗糙度 Ra(μm)		
熔模石膏型精铸	特大、大、中、小型	高	1 (局部0.5)	高	3.2—0.8	浆体在真空中灌注,石膏型成型性好,合金在真空中浇注,铸件成型性亦好。	好
熔模精密铸造	较大、中、小型	较高	1.5	高	3.2—0.8	多次涂挂成型壳,生产周期长,型壳有透气性,铸件成型性好。	较差
冷凝固树脂砂型	大、中、小型	不高	>2	中	6.3 左右	成型工艺较简单,铸件经烘干之后有透气性,铸件成形性好。	好

但石膏型材料已不是单一的半水石膏，而有大量填料及一定量添加剂，用纯石膏的术语也不合适，我们认为对含义过广的石膏混合料可分为石膏混合料粉体（简称石膏混合料）；石膏混合料浆体；石膏混合料硬化体。粉体是指半水石膏、填料、添加剂等固体粉粒（亦可能有细砂或短纤维）的机械混合物，在国外早已有产品供石膏型成型使用，在日本就十余种规格。浆体是指上述粉体加以适量水，混制成有良好流动性的浆料。硬化体是指浆体凝结硬化具有一定形状的试样、石膏型、石膏芯等。这样区分较为合理。（因国内没有统一规定，本书在引用其它文献，凡涉及石膏混合料时亦不具体划分，读者可参照上述说明，加以区别。）

在石膏或石膏混合料中加水多少亦无统一表示方法，有的以加水量来表示；有的以水与石膏重量比（水膏比），亦有以水与固态料的重量比（水固比）来表示。按照石膏型的实际情况，本书统一定为水固比，即 100g 半水石膏除以水的重量（如加水量为 50g，水固比即为 0.5）或 100g 石膏混合料除以所加水的重量。

在建筑行业以细度来表示石膏粉体粒径的大小，在铸造界则以粒度来表示粒径大小。两者含义是一致的。本书在纯石膏一章沿用细度术语，在其它章节概称粒度。

二、石膏型熔模精铸的发展概况

近十几年来国外一些航空航天、汽车、船舶、兵器、电子等行业，为追求零部件结构合理、重量较轻等目的，大力发展大型、复杂、薄壁铝合金精密铸件。石膏型熔模精铸自身的特点正好适应了这一发展潮流，因此这一新工艺发展速

度很快。西方一些发达国家如美、德、法、加拿大以及日本等国纷纷建立石膏型精铸专业厂或专业化车间。一些科研单位及高等学校亦在积极开展这方面的研究工作，竞争异常激烈，技术封锁亦非常严密。

这一新工艺所以引起人们极大注意，是因其生产的铸件具有如下一些特色：

1. 大型、复杂、薄壁、整体

所谓大型，一般是指精铸件的最大尺寸超过 500mm。薄壁是指平均壁厚小于 2mm。复杂有二个涵义：一是指铸件的外形和内腔复杂；二是指结构复杂，如有夹层结构及铸件壁的厚薄过渡很急剧。波音 767 飞机上的燃油增压泵壳体，其结构非常复杂，该铸件的模组由 22 个单一蜡模分别压制后再组合成整体。用石膏混合料浆体灌注成石膏型，在真空下浇成铸件。铸件内直接铸出大量油路通道，中心孔间距保持在 $\pm 0.25\text{mm}$ 。又如航空电子仪器设备的壳体和机架，为保证电路系统工作稳定，希望将屏蔽室、印刷电路导板、散热系统及定位孔等铸成一个整体的机壳铝铸件。为提高散热效率和加强结构刚度，在铸件表面铸出大量扁薄的散热片和凸块等，还可铸成夹层形式。这些在国外已经实现，精铸件的价格仅为原机加工再装配成部件的一半，而且电子仪器的性能有明显提高。目前欧美一些国家生产大型电子设备框架、壳体铸件，其最大尺寸可达 800—1 000mm，壁厚一般为 1.5mm，公差为 $\pm 0.125\text{mm} / 25\text{mm}$ 。

上述这些大型复杂薄壁整体铸件，目前，只能采用熔模石膏型精铸，其它铸造方法无法实现。

2. 精密薄壁

有些铸件既不大，形状亦不太复杂，但精度要求高，壁又薄。如雷达用的波导管。

波导管外表面要求不高，内腔多呈矩形，对尺寸精度要求很高（ ± 0.05 — $\pm 0.07\text{mm} / 22\text{mm}$ ），表面粗糙度要求亦高（ R_a 为 $1.6\mu\text{m}$ ）。一般制造方法是先将简单波导管分为两半，经机加工成矩形内腔再焊成整体，对有 90° 角的内腔机加工很困难。焊成的简单波导管通过其两端较厚的法兰边，用螺钉互相连接，组装成复合波导管。这种生产方法不仅机加工难度大、又费时，焊接处电性能差，由于厚的法兰边（波导管本体壁厚为 1 — 1.5mm ，法兰边厚 5 — 6mm ）大大增加波导管的重量，这对机载雷达是非常不利的。目前，国外早已铸出优质的简单波导管，亦已铸出由几个简单波导管组合而成，内腔互呈一定角度，又相联通的复杂波导管。这也只能用石膏型和可溶性石膏芯来完成。

为更好适应航空工业的发展，西方发达国家对铝铸件制订如下的发展规划：

技术指标	第一阶段 (—1984)	第二阶段 (1985)	第三阶段 (—1995)
最大铸件尺寸 (mm)	$500 \times 500 \times 850$	500×800 $\times 1\,500$	$800 \times 1\,000$ $\times 2\,000$
最大件上可允许 最小壁厚(mm)	1.6	1.5	1.4
壁厚跃度	1 : 2.5	1 : 5	1 : 8
壁厚、筋条和底 板公差(mm)	± 0.15	± 0.15	± 0.15