

熔模铸造工艺

佟天夫 陈冰 姜不居 编著

机械工业出版社

熔模铸造工艺

佟天夫 陈 冰 姜不居 编著



机械工业出版社

(京)新登字054号

DZ23/01
内 容 简 介

本书是一本熔模铸造工艺方面的专著。书中论述了熔模铸造的发展概况,熔模材料和制模工艺,制壳耐火材料,水玻璃、硅溶胶和硅酸乙酯三种粘结剂的基本性能和制壳工艺,陶瓷型芯以及近年来发展起来的一些新工艺等。本书反映了当前熔模铸造技术的发展,内容丰富,数据图表齐全,援引资料翔实,既有理论分析又有实际经验的总结。

本书可供从事熔模铸造生产和科研的技术人员阅读参考,也可供大专院校师生作为教材或教学参考用书。

熔模铸造工艺

姜不居 编著

责任编辑: 姜瑞芬 版式设计: 冉晓华
封面设计: 姜瑞芬 责任校对: 肖新民
责任印制: 王国光

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787 × 1092¹/₃₂ · 印张 14¹/₂ · 字数 320 千字

1991年11月北京第一版·1991年11月北京第一次印刷

印数 0,001—3,550 · 定价: 11.80元

*

ISBN 7-111-02710-8/TG·603

序

我国的熔模铸造技术源远流长，技艺精湛。长期服务于制造宫廷装饰或祭器，并随古代文明的衰落而衰落。如今随着我国社会的进步和经济的发展，它又将伴随华夏文明之振兴而振兴了。现代的熔模铸造产品已经给工业生产带来了巨大的经济效益。熔模铸件不但已遨游于宇宙空间，甚至也走入了千家万户。熔模铸造法作为一种先进的金属成型方法，发挥着它独特的作用，各种文字的熔模铸造专著也屡见于世。

50年代初，我国主要引用苏联的技术，理论上也主要依据该时期的苏联文献，随后又积累了自己的经验。国防工业出版社在1965年出版了“熔模精密铸造”一书，可算是国内的第一部专著。它反映了国内50~60年代初期的理论和实践水平，在其后的19年间完成了它重要的历史使命。1981年和1984年由国防工业出版社先后组织出版了“熔模精密铸造”

(上下册)，反映的是70年代的成果。它记述了我国熔模铸造行业自己创造的一些经验和研究成果，至今还有重要的参考价值。此外，国内也还出版了几本有关熔模铸造的书籍，各具一格。

近几年来，不少研究成果日趋成熟，基本工艺理论的研究也卓有成效，材料和设备的品种增多，检测手段日臻完备，这就为本行业的振兴准备了新的起点。随着开放政策的实施，竞争机制的加强，我国产品必须面向国际市场，内销

也不再是应付的局面。不提高产品质量和技术水平是没有出路的。进行技术改造离不开理论的武装和经验的借鉴。

机械工业出版社有鉴于此，组织力量编著比较系统而全面的熔模铸造专著。编著者和审者的共同心愿是使其反映国内外熔模铸造现代发展的水平，为我国工业的振兴，发挥其应有的作用。

笔者认为本书的特点有三：

一、内容翔实，探讨深入。它概括了近十几年来国内外理论研究与生产实践的新成果。材料广泛、观点新颖且有独到的见解。作者们自己的工作占较大比重。

二、实践性强，适应面宽。从实际需要出发展开理论分析，摆脱了贪多、求全的弊端，力求各章所论皆能联系实际。可适应不同层次读者的要求，从不同的深度上去理解所论问题。

三、结构紧凑，重点突出。紧密地围绕熔模工艺的课题进行论述，凡铸造一般问题基本从略，以便压缩篇幅，突出特点。

读者不难发现，书中载有丰富的实际数据和资料可供引用，而作者们的编排系统则旨在从基本原理出发，阐明所论问题的来龙去脉及其发展变化规律，目的是能奉献给读者解决技术难题的钥匙。

朱承兴

1990年4月于北京

前 言

熔模铸造是一种少切削、无切削的特种铸造方法。用这种方法生产的铸件尺寸和几何精度高、表面光滑；可以节省大量的机械加工工时和设备，提高金属材料的利用率，所以在工业生产中获得日益广泛的应用。

近年来，国内外熔模铸造在生产技术、理论研究、检测方法、产品品种和产品质量等方面，都有很大的发展和提高。编写本书的目的在于反映和总结现代熔模铸造的生产技术和科研成果，为推动我国熔模铸造的发展贡献力量。

本书内容论述熔模铸造的发展概况，熔模材料和制模工艺，制壳耐火材料，水玻璃、硅溶胶和硅酸乙酯三种粘结剂的基本性能和制壳工艺，陶瓷型芯以及近年来发展起来的一些新工艺等。在内容上力求密切结合我国熔模铸造的生产实践并注意介绍国外先进技术，着重从理论与实践的结合上，阐明熔模铸造的材料和工艺及其对铸件质量的影响。

本书共八章，第一、四章由内蒙古工学院佟天夫编写；第二、六、七章由北京航空航天大学陈冰编写；第三、五、八章由清华大学姜不居编写。由佟天夫担任主编并统稿。请北京工业大学朱承兴老师审阅。

限于作者水平，书中难免有疏漏之处，热忱希望广大读者不吝赐教。

作者

1990年4月

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
一、熔模铸造的工艺流程和特点	1
二、熔模铸造的发展历程	4
三、熔模铸造技术的新进展	7
四、熔模铸造技术的科学化	14
主要参考文献	14
第二章 模料与制模	14
一、对模料的基本要求	14
二、模料原材料	21
三、模料混合料	44
四、制模工艺和设备	81
五、熔模制做技术的新发展	93
主要参考文献	104
第三章 制壳耐火材料	104
一、概述	104
二、石英	111
三、电熔刚玉	123
四、铝-硅系材料	130
五、其它耐火材料	159
主要参考文献	165
第四章 水玻璃粘结剂及制壳工艺	168
一、型壳的组成和结构及对型壳的基本要求	162
二、水玻璃型壳熔模铸造工艺的特点	178

三、水玻璃粘结剂	179
四、水玻璃涂料	197
五、水玻璃型壳的制壳工艺	226
六、脱蜡和焙烧	256
七、水玻璃型壳的性能和表面质量	262
八、水玻璃型壳的缺陷分析	274
主要参考文献	285
第五章 硅溶胶粘结剂及制壳工艺	287
一、硅溶胶的制备	287
二、商品硅溶胶	291
三、硅溶胶的结构及性能	293
四、硅溶胶的胶凝	301
五、硅溶胶涂料	304
六、硅溶胶型壳的干燥和硬化	310
主要参考文献	318
第六章 硅酸乙酯粘结剂及制壳工艺	319
一、硅酸乙酯及其物理、化学性质	319
二、硅酸乙酯粘结剂的制备	326
三、水解液的体型缩聚——凝胶化转变	350
四、制壳工艺	358
主要参考文献	375
第七章 陶瓷型芯和精密芯块	377
一、陶瓷型芯	379
二、精密芯块	402
主要参考文献	406
第八章 熔模铸造新工艺	408
一、熔模铸造真空吸铸工艺	408
二、熔模铸造电泳制壳工艺	427
三、石膏型熔模铸造工艺	435
四、钛合金熔模铸造工艺	446
主要参考文献	454

第一章 绪 论

一、熔模铸造的工艺流程和特点

熔模铸造也称为失蜡铸造，它是用可熔（溶）性一次模和一次型（芯）使铸件成形的铸造方法。用这种方法生产的铸件表面光滑，尺寸精确，所以也称之为熔模精密铸造。

现代熔模铸造的工艺流程如图1-1所示。

同其它铸造方法和零件成形方法相比较，熔模铸造有以下基本特点：

1) 铸件尺寸精确、表面光滑

熔模铸件最主要的特点是尺寸精度和几何精度高，表面粗糙度细。目前，精铸件的尺寸精度可超过 $\pm 0.005\text{cm/cm}$ ，表面粗糙度最细可达 $Ra 0.63 \sim 1.25\mu\text{m}$ （相当于 $\nabla 7 \sim \nabla 8$ ），因而可以大大减少铸件的切削加工余量，并可实现无余量铸造。

2) 可铸造形状复杂的铸件

熔模铸造能铸出形状十分复杂的铸件，也能铸造壁厚为 0.5mm 、重量小至 1g 的铸件，还可以铸造组合的、整体的铸件，以代替几个零件的焊接或装配件，并减轻零件重量。所以熔模铸造能最大限度地提高毛坯与零件之间的相似程度，这就为零件的结构设计带来很大方便。

3) 不受合金材料的限制

熔模铸造法可以铸造碳钢、合金钢、球墨铸铁、铜合金和铝合金铸件，还可以铸造高温合金、镁合金、钛合金以及

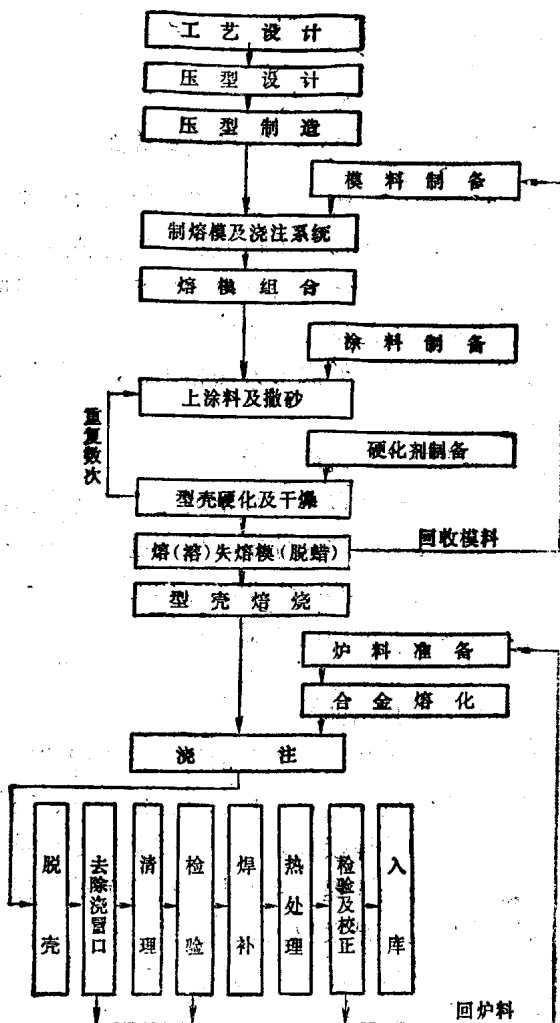


图1-1 熔模铸造的工艺流程

贵金属等材料的铸件。对于难以锻造、焊接和切削加工的合金材料，特别适宜于用精铸方法铸造。

4) 可以提高金属材料的利用率

熔模铸造能显著减少产品的成形表面和配合表面的加工量，节省加工台时和刀具材料的消耗。可以回收废旧金属材料，精铸车间的浇冒口和废铸件几乎全部回用，因而能大大提高金属材料的利用率。以CA6140普通车床为例，64种、74个零件采用熔模铸造时，材料利用率可达81.72%，有的零件可达100%；而相同的零件用锻造方法生产时，材料消耗为精铸件的2.8倍。

5) 生产灵活性高、适应性强

熔模铸造既适用于大批量生产，也适用于小批量生产甚至单件生产。生产过程无需复杂的机械设备。工装模具可以采用多种材料和工艺方法制造，便于新产品研制。有些急用的单件，甚至可用模料切削加工和手工制成熔模，能大大缩短试制周期，节约研制费用，所以熔模铸造生产具有高度的灵活性和广泛的适应性。

同其它铸造方法相比，熔模铸造在应用上还具有一定的局限性。这些是：

1) 铸件尺寸不能太大

熔模铸造最适宜于铸造几克到十几公斤的中、小型铸件。近年来，虽然大型精密铸件的研究与生产得到长足的进步，但毕竟有一定限度，还不能像砂型铸造那样，尺寸和重量几乎不受限制。

2) 工艺过程复杂

熔模铸造工序繁多，工艺过程复杂，生产周期也长，影响铸件质量的因素很多，生产中对材料和工艺的要求比较严

4
格。

3) 铸件冷却速度慢

熔模铸造铸件凝固和冷却速度较慢，结晶组织粗大。除特殊产品如定向凝固的柱状晶和单晶叶片外，一般合金铸件的机械性能都比相同材料的铸件低。此外，碳钢铸件还容易产生表面脱碳。

需要指出，任何工艺方法，只是在一定条件下，才最能发挥其优越性，熔模铸造也是如此。这里，满足产品质量和使用性能上的要求是最重要的。此外，材料和能源的消耗、生产成本、价格、使用寿命和可靠性等因素也不容忽视。熔模铸造在所有毛坯成形方法中，工艺最复杂，铸件成本也很高，但是如果产品选择得当，零件设计合理，高昂的铸造成本由于减少切削加工、装配和节约金属材料等方面而得到补偿，则熔模铸造具有良好的经济性。特别是对于那些形状复杂的、精密的、高熔点合金而又难以加工成形的产品而言，熔模铸造在技术上和经济上的优越性，无疑是其它工艺方法无与伦比的。

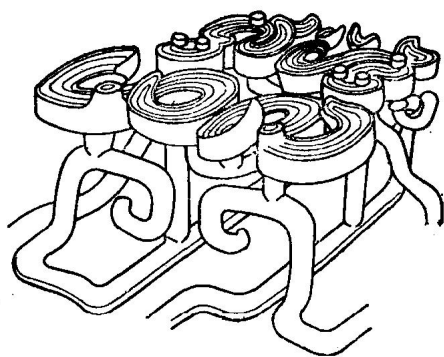
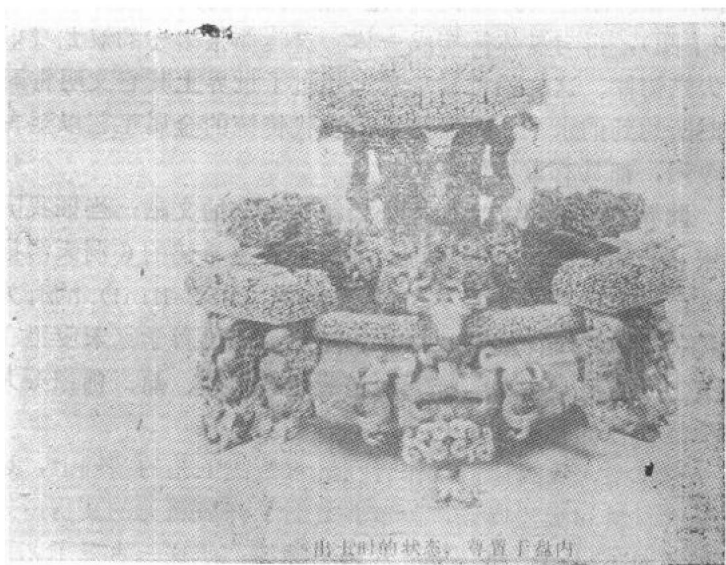
二、熔模铸造的发展历程

熔模铸造是一种古老而又年轻的铸造技术。说它古老是因为这种方法远在3000年以前就已经有了；说它年轻是因为这种方法进入工业领域，还只是近40年来的事。

世界上最早的失蜡铸件出土于西亚两河流域，距今约3000年前的早期青铜器时代。根据我国考古和铸造工作者的研究，失蜡铸造技术在我国至迟产生于春秋早、中期，即距今2500年前，已见证于出土文物。

1978年湖北随县出土的曾侯乙墓的尊和盘，是我国早期

失蜡铸造的代表作。图1-2上所示是尊和盘出土时的状态。尊置于盘内，两器融铸造、铸接和焊接于一体，成为十分精



盘口沿附饰的顶部侧视

图1-2 古代失蜡铸件——曾侯乙墓的尊和盘

美的青铜艺术品。尊的下部圈足和尊颈均镂空。在尊腹和圈足上分别有四条失蜡铸造的弯曲盘绕的双龙身。尊颈内壁附有一圆形镂空附件与尊颈铸接。盘口沿的透空件分八段铸成(图1-2下图)，再与盘体铸接成一体。盘腹曲张多姿的双龙身也是失蜡铸件。这一稀世异珍远远超过了世界上其它文明古国当时所达到的水平，对研究我国古代传统的金属工艺以至古为今用，都具有重要价值。

世界上最早以文字记述失蜡铸造工艺的文献，当推我国南宋(公元1127~1279年)金石学家赵希鹄的《洞天清禄集》，这比欧洲文艺复兴时期蔡利尼(B. Cellini)的有关熔模铸造的著作早约200年。随后，明代科学家宋应星在《天工开物》一书中，详细地记载了铸造钟、鼎、佛像等大型失蜡铸件的材料和工艺。

近年来，我国铸造工作者在继承传统工艺的基础上，运用现代材料和工艺方法，铸造并复制了许多精美的文物，如大型释迦牟尼铜佛像、鱼洗盆和编钟等，使这一古老工艺重放光彩。

熔模铸造进入工业领域，起始于第二次世界大战期间。当时，由于军事工业的需要，美、英等国用这种方法生产了大量的涡轮喷气发动机的静叶片。从此，熔模铸造以其独特的技术上的优越性，进入航空、兵器和一般机械制造业中，并迅速发展成为一种重要的特种铸造方法。

进入80年代以来，在世界范围内，熔模铸造铸件的产值、产量和品种，都有空前的增长和扩大。美国从1975年以来，熔模铸件的产值每年平均以18%的速率递增，至1987年产值已逾20亿美元，预计1995年可超过40亿美元。西欧各国熔模铸件的产量平均每年增长20%~30%。英国目前的产值

约为50年代末的30多倍。日本的熔模铸造业发展较晚，但近年来增长很快，1982至1986年产量增长48%。在生产对象方面，除了航空和兵器部门外，熔模铸造几乎应用于所有工业部门，特别是电子、石油、化工、核能、交通运输、轻工、纺织、制药、医疗器械、泵和阀工业等。

从精美的青铜艺术制品发展到现代复杂的机器零件，熔模铸造始终以其成形方法上独特的优点和优良的质量著称，这是此种技术得以长盛不衰、持续发展的决定性因素。此外，军事工业和高技术产业的竞争，总是对铸件的品种和质量提出愈来愈高的要求；材料科学的发展为精铸技术的研究提供了理论依据；而冶金、机械、化工、能源和电子等工业技术的进步，为精铸的发展提供了物质和能源基础，所有这些都是熔模铸造赖以发展的驱动力。

三、熔模铸造技术的新进展

近年来，熔模铸造在理论研究、新材料新工艺的开发和应用、检测技术和检测手段的研制、技术标准的制订、产品质量的提高以及应用范围的扩大等方面，进入了一个新阶段。

模料和制模是熔模铸造的关键技术之一。熔模铸造的新进展，都同新模料的研制和制模技术的进步有关。

模料和制模技术的进展主要表现在两个方面：一是围绕着提高铸件尺寸精度和表面质量的需要，利用了微观组织分析的方法，改进石蜡基和松香基模料的性能，研制出一些新型模料和为适应各种不同用途的系列模料，二是熔模铸造正在向制造大型、复杂、整体铸件方向发展，因为这样才能最大限度地发挥熔模铸造的优越性。为了适应这种需要，各种液态压注模料、填料模料、水溶性模料以及塑料模料都有较大的

发展。国外还生产了大型液态模料的压注机。

粘结剂是制壳的主要材料之一。迄今为止硅酸乙酯仍是应用最广泛的粘结材料。特别是硅酸乙酯40比硅酸乙酯32有更好的技术和经济效益。国外还发展了预水解硅酸乙酯，如苏联的硅酸乙酯50(ЭТC-50)、联邦德国的Dynasil GH0Z，特别是美国Monsanto公司的Silester、XAR、X15等产品，在世界各国均享有盛誉。这种粘结剂的主要优点是无需水解，可直接配料使用，且涂料性能稳定。

硅溶胶以其良好的稳定性和型壳优异的高温性能著称，应用也十分广泛，特别是适用于配制面层涂料。各种改性硅溶胶也有较大的发展。

水玻璃粘结剂在欧美国家已基本不用。在苏联，有些工厂应用硅酸乙酯—水玻璃复合型壳。在我国目前水玻璃型壳熔模铸造仍占重要地位，究其原因，主要是这种工艺同我国目前工业技术发展水平、生产对象和产品质量要求等因素有关。

在国外，还发展了各种混合粘结剂，如美国的硅溶胶—硅酸乙酯混合粘结剂(NALCO6040)、苏联的硅酸乙酯—硅溶胶(ЗК)、硅酸乙酯—磷酸盐—硅溶胶(ЭФК)、铝铬磷酸盐(АХФС)以及钙铝铬磷酸盐(КАХФС)等粘结剂。苏联用АХФС粘结剂所制的型壳性能与硅酸乙酯相近，而成本仅为硅酸乙酯的 $1/2 \sim 1/3$ ，用做加固层涂料效果良好。

我国在粘结剂理论研究方面一个重要的进展就是对硅溶胶、硅酸乙酯和水玻璃三种粘结剂的分散状态及其胶凝过程的研究。研究表明，硅溶胶是典型的胶体溶液，硅酸乙酯水解液是聚乙氧基硅氧烷的大分子溶液，而水玻璃则是以离子溶液为主，兼有胶体粒子的分散体系。不同的分散状态，决

定了它们有各自不同的胶凝机制。这些成果对于掌握型壳硬化机理、改善制壳工艺和型壳质量有重要意义。

运用材料科学的观点和方法,研究模料、耐火材料、型壳及陶瓷型芯的化学成分、晶体结构、物相组成、物理化学和力学性质同工艺条件的关系,是国内外近年来熔模铸造材料与工艺理论研究的重要方面。研究成果已经在新模料的开发、耐火材料成分和物相构成、型壳及陶瓷型芯性能控制等方面获得应用。例如,制陶瓷型芯是精铸带有复杂而精细孔腔铸件(如空心叶片、机枪枪管内孔)的主要方法。这种工艺的主要问题是解决高温下陶瓷型芯的变形和断裂问题。运用上述方法研究表明,石英玻璃的方石英化和玻璃相的生成,与陶瓷型芯性能有密切关系。

耐火粉料的物理性状对涂料、型壳和铸件质量有重要影响。我国近几年在这方面的研究是卓有成效的。

各种粉料的粒形、粒度及其级配关系,影响着涂料的流变性和铸件表面质量。采用正确选择粒度级配的方法,可使水玻璃—石英粉涂料的粉液比(以 W/W 或 W/V 表示, W 为重量, V 为体积)提高到1.4以上,而涂料仍具有良好的流动性。高粉液比涂料可以提高型壳表面致密度,从而能显著改善铸件的表面质量,这已为大量生产实践所证实。

把流变学引入熔模铸造,也是理论研究的一个重要进展。糊状模料和涂料都是非牛顿流体,具有与牛顿流体不同的流动与变形规律。研究涂料分散体系的流变性,就可以了解剪应力与剪应变、应力率与应变率之间的关系,进而了解和揭示涂料的粘度、流动性、覆盖性、悬浮性等工艺性能的内在联系,为原材料的选择、涂料的配制与浸涂、涂料性能检测与控制提供科学依据。国内在这方面的研究着重于水玻璃涂料。