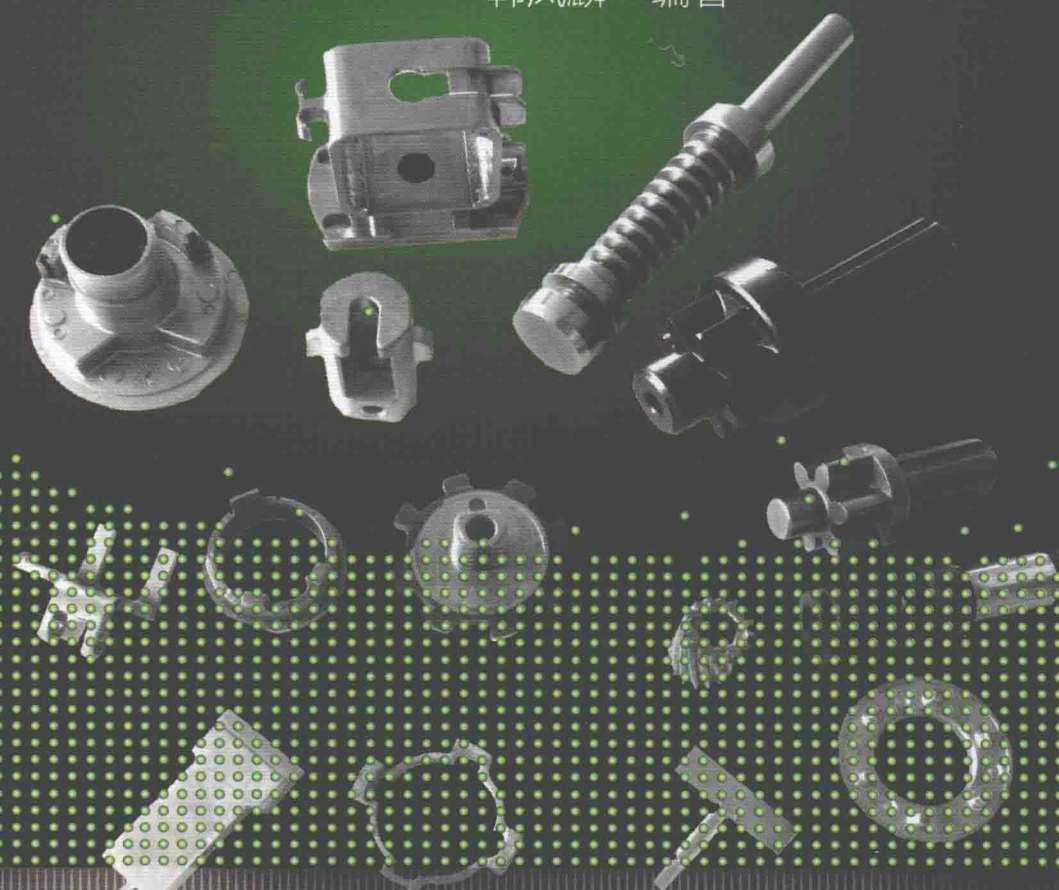


# 金属注射成形 精密零件

## 生产与应用

JINSHU ZHUSHE CHENGXING JINGMI LINGJIAN  
SHENGCHAN YU YINGYONG

韩凤麟 编著



化学工业出版社

# 金属注射成形 精密零件

## 生产与应用

JINSHU ZHUSHE CHENGXING JINGMI LINGJIAN  
SHENGCHAN YU YINGYONG

韩凤麟 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要介绍了 MIM 精密零件的生产、设计、材料标准、MIM 不锈钢生产等内容, 以及 MIM 零件在汽车制造、枪械生产及医疗/牙科中的应用。

本书可供 MIM 零件生产与应用单位、汽车制造、枪械生产、医疗/牙科器械生产、机电产业与相关部门的设计、研究、管理人员参考, 也可作为相关科研人员与理工院校有关师生的参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

金属注射成形精密零件生产与应用/韩凤麟编著. —北京:  
化学工业出版社, 2016. 5  
ISBN 978-7-122-26647-7

I. ①金… II. ①韩… III. ①粉末注射成型-精密成型-  
零部件-机械制造工艺 IV. ①TF124. 39②TH161

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 062547 号

---

责任编辑: 黄 滢  
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 项 激  
装帧设计: 史利平

---

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: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 16¼ 字数 446 千字 2016 年 8 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: 88.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2016—5 号

# 前言

Foreword

金属注射成形 (MIM) 是粉末冶金与热塑性塑料注射成形工艺相结合而形成的一种新工艺, 被认为是传统粉末冶金 (压制-烧结) 工艺的新发展。美国金属注射成形协会 (MPIF-MIMA) 认为其是 21 世纪的金属零件成形工艺, 欧洲粉末冶金协会 (EPMA) 认为其是制造小型、复杂形状、精密工程零件的工艺。

用传统粉末冶金 (压制-烧结) 工艺, 虽然可成形十分复杂的零件, 但是零件的形状却受到一个重要限制, 即压制成形后, 压坯必须从模具型腔中脱出, 因此, 对于有根切或在垂直方向有凸出部的零件, 就不能压制成形。可是, 用金属注射成形制造时, 就消除了这种限制, 任何复杂的形状都可以成形。从 1981 年美国生产第一个 MIM 零件 (枪械用瞄准具与固定装置) 开始, 经过三十多年的发展, MIM 实际上已成长为一个全球性产业, 全世界现已有 400 多家 MIM 零件生产厂家。依据最近的资料, 按照销售额, 全世界 2014 年已达到 15 亿美元, 其中亚洲地区最大, 其次是欧洲与北美地区。

但是, 世界上各地区的 MIM 市场是不同的, 是在变化的。一般而言, 在亚洲市场中占优势的产业是 IT 与电子仪器产业, 在北美是医疗/牙科和枪械应用产业, 在欧洲是汽车与消费品应用产业。根据有关资料, 中国现在也已有 MIM 零件生产厂家 70 家。

MIM 零件生产工艺原理简单, 但工艺复杂。这本书首先介绍了 MIM 的概况, 然后, 讲述了 MIM 精密机械零件生产、MIM 零件设计、金属注射成形模具设计、MIM 材料标准、原料粉末生产进展、MIM 不锈钢生产, 最后介绍了 MIM 零件在汽车制造、枪械生产及医疗/牙科领域中的应用。

本书可供 MIM 零件生产与应用单位、汽车制造、枪械生产、医疗/牙科器械生产、机电产业与相关部门的设计、研究、管理人员参考, 也可作为相关科研人员与理工院校有关师生的参考书。

最后, 对苏州明阳科技公司王明阳总经理对这本书的出版给予的支持和帮助, 表示衷心感谢!

由于编者水平有限, 书中不妥之处在所难免, 请广大读者批评指正。

编著者

第 1 章 概论 .....	1
1.1 概述 .....	1
1.2 生产工艺概要 .....	2
1.2.1 注射料的混合与制粒 .....	2
1.2.2 注射成形机注射成形 .....	2
1.2.3 黏结剂除去 .....	3
1.2.4 烧结 .....	3
1.3 采用 MIM 工艺的适当时机 .....	3
1.3.1 通用准则 .....	3
1.3.2 生产工艺比较 .....	4
1.3.3 材料范围 .....	5
1.4 金属注射成形零件的应用实例 .....	6
1.4.1 MIM 在医疗与牙齿正畸中的应用 .....	6
1.4.2 MIM 零件在汽车产业中的应用 .....	7
1.4.3 MIM 零件在 IT、电子仪器和通信中的应用 .....	8
1.4.4 MIM 零件在航天产业中的应用 .....	9
1.4.5 MIM 零件在消费品产品中的应用 .....	10
1.4.6 MIM 零件在枪械与防务中的应用 .....	12
1.5 结束语 .....	13
第 2 章 金属注射成形 ( MIM ) 精密机械零件生产 .....	14
2.1 MIM 零件的制造工艺 .....	14
2.1.1 概述 .....	14
2.1.2 MIM 零件生产使用的原材料 .....	14
2.1.3 MIM 零件生产过程 .....	20
2.1.4 MIM 产品的力学性能 .....	22
2.1.5 MIM 的设计 .....	24
2.1.6 MIM 不锈钢的耐蚀性 .....	29
2.1.7 MIM 工艺的最近发展 .....	30
2.1.8 结束语 .....	31

2.2	MIM 零件的金相检验	33
2.2.1	显微镜检验 MIM 零件的制备	33
2.2.2	MIM 零件的显微组织分析	36
2.3	金属注射成形材料——力学性能的技术规范	38
2.3.1	范围	38
2.3.2	应用领域	38
2.3.3	参考资料	38
2.3.4	注释与定义	39
2.3.5	材料标识	40
2.3.6	化学组成	40
2.3.7	力学性能	40
2.3.8	材料的技术规范	40
<b>第 3 章</b>	<b>MIM 零件设计</b>	<b>43</b>
3.1	MIM 零件设计准则	43
3.1.1	适于采用金属注射成形工艺的零件	43
3.1.2	MIM 生产的设计最佳化	45
3.1.3	设计的深一层考虑	46
3.1.4	MIM 材料的选择与零件性能	48
3.1.5	典型 MIM 合金的拉伸性能	50
3.1.6	成本、交付及适应性	52
3.1.7	综述：选择 MIM 的主要准则	52
3.2	MIM 零件的可制造性设计	54
3.2.1	工艺性设计	54
3.2.2	烧结后续加工	59
3.2.3	结束语	59
3.3	MIM 零件设计事例研究	59
3.3.1	MIM 设计事例研究 (1) ——端帽	59
3.3.2	MIM 设计事例研究 (2) ——罩	60
3.3.3	MIM 设计事例研究 (3) ——阀体组合件	62
3.3.4	MIM 设计事例研究 (4) ——班卓 (Banjo) 接头	62
3.3.5	MIM 设计事例研究 (5) ——艺术齿轮	64
3.3.6	MIM 设计事例研究 (6) ——柄	65
3.3.7	MIM 设计事例研究 (7) ——薄壁零件	66
<b>第 4 章</b>	<b>金属注射成形模具设计</b>	<b>70</b>
4.1	金属注射成形模具设计	72
4.1.1	金属注射料的特点	72
4.1.2	金属注射成形模具的基本结构与形式	73

4.1.3	模具设计	75
4.2	带外侧凹制品的模具设计	92
4.2.1	瓣合模	92
4.2.2	侧向抽芯模具	98
4.3	带内侧凹制品的模具设计	98
4.4	金属注射成形模具的强度计算与设计实例	103
4.4.1	金属注射成形模具的强度计算	104
4.4.2	金属注射成形模具设计实例	106
4.5	金属注射成形新工艺及其模具技术	107
4.5.1	金属微注射成形技术 ( $\mu$ -MIM)	107
4.5.2	气(液)体辅助成形技术	108
4.5.3	多组分材料复合注射成形技术	108
4.5.4	注射毛坯的加工装配技术	109
4.5.5	热流道技术	109
4.5.6	快速模具技术	110
4.5.7	熔芯成形技术	111

## 第 5 章 金属注射成形零件材料标准 112

5.1	烧结金属注射成形材料 规范	112
5.1.1	范围	112
5.1.2	制定标准的参考文献	112
5.1.3	术语与定义	113
5.1.4	标准性能的试验方法	113
5.1.5	其他试验方法	113
5.1.6	资料与注释	114
5.1.7	材料标志	115
5.1.8	材料规范	116
5.2	美国标准 MPIF35 《金属注射成形零件材料标准》(2007 年版)	119

## 第 6 章 金属注射成形用细颗粒粉末 131

6.1	水雾化细颗粒铁粉制造工艺的研究改进	131
6.1.1	概述	131
6.1.2	水雾化 FPI 生产工艺的开发	131
6.1.3	材料特性	133
6.1.4	结束语	134
6.2	金属注射成形 (MIM) 用母合金与预合金化 316L 不锈钢粉末的比较	135
6.2.1	概述	135
6.2.2	试验程序与结果	136
6.2.3	结论	141

6.3	粒度分布对 MIM-17-4PH 的生产工艺与性能的影响	141
6.3.1	概述	141
6.3.2	试验程序	142
6.3.3	试验结果	143
6.3.4	讨论	148
6.3.5	总结	149
<b>第 7 章</b>	<b>金属注射成形不锈钢</b>	<b>150</b>
7.1	金属注射成形不锈钢的制取工艺、性能、应用	150
7.1.1	不锈钢的成分和分类	150
7.1.2	金属注射成形不锈钢	151
7.1.3	生产工艺	153
7.1.4	性能	154
7.1.5	应用与材料选择	157
7.1.6	结论	158
7.2	用 Catamold® 注射料生产 MIM 不锈钢零件	158
7.2.1	概述	158
7.2.2	注射成形	159
7.2.3	脱黏	163
7.2.4	烧结	166
7.2.5	性能	167
7.2.6	应用	170
7.3	在不同烧结气氛中粉末粒度与化学组成对 316L MIM 零件的致密化与性能的影响	170
7.3.1	概述	170
7.3.2	试验程序	171
7.3.3	金相分析与密度测定	173
7.3.4	讨论	173
7.3.5	结论	175
7.4	关于 MIM 不锈钢耐蚀性基本知识	175
7.4.1	目的	175
7.4.2	腐蚀试验	175
7.4.3	耐蚀性与其他性能间的相互关系	176
<b>第 8 章</b>	<b>金属注射成形汽车零件的设计与应用</b>	<b>178</b>
8.1	汽车电动车门锁止机构的 MIM 组件设计	178
8.1.1	概述	178
8.1.2	定位件与平行度	179
8.1.3	定位件与材料选择	181
8.1.4	螺线管框架 (图 8-8) 与尺寸制造能力	182



8.1.5	螺线管框架与表面粗糙度 .....	185
8.1.6	锁止凸轮与隔板的垂直度 .....	187
8.1.7	结论 .....	190
8.2	金属注射成形——一种制造小型、复杂、精密汽车零部件的先进工艺 .....	191
8.2.1	金属注射成形工艺过程 .....	192
8.2.2	MIM 汽车零部件为使用实例 .....	192
8.2.3	MIM 零件的材料、性能及公差 .....	196
8.2.4	前景 .....	197
8.2.5	结束语 .....	197
8.3	汽车制造中应用的一些 MIM 零件 .....	198
8.3.1	在 MPIF 粉末冶金零件设计竞赛中获奖的 MIM 零件 .....	198
8.3.2	小型、复杂、精密 MIM 汽车零部件应用实例 .....	201
<b>第 8 章</b>	<b>金属注射成形零件在枪械制造中的应用 .....</b>	<b>203</b>
9.1	全球枪产业中金属注射成形工艺的前景 .....	203
9.1.1	概述 .....	203
9.1.2	MIM 工艺概要 .....	204
9.1.3	枪械产业中使用的 MIM 材料牌号 .....	205
9.1.4	MIM 零件在北美枪械产业中的应用 .....	206
9.1.5	MIM 零件在世界其他地区枪械中的应用 .....	209
9.1.6	MIM 枪械零件制造中的热等静压 (HIP) .....	211
9.1.7	MIM 与精密铸造 .....	212
9.1.8	案例研究 .....	212
9.1.9	展望 .....	214
9.2	金属注射成形(MIM)零件的热等静压(HIP)处理 .....	215
9.2.1	概述 .....	215
9.2.2	MIM 产品热等静压(HIP)的理由 .....	215
9.2.3	MIM 合金中的晶粒长大——阻碍致密化 .....	218
9.2.4	小结 .....	220
9.2.5	HIP 工艺 .....	220
<b>第 9 章</b>	<b>金属注射成形零件在医疗/牙科部门中的应用 .....</b>	<b>222</b>
10.1	概述 .....	222
10.2	MIM 医疗/牙科零件历年获奖的产品 .....	222
<b>第 10 章</b>	<b>微型 MIM (<math>\mu</math>-MIM) 的最新进展 .....</b>	<b>231</b>
11.1	用双金属注射成形制造多功能微型零件 .....	231
11.1.1	概述 .....	231

11. 1. 2	微型注射成形 ( $\mu$ -MIM) 的现状	231
11. 1. 3	2C- $\mu$ -MIM 制造的目标	233
11. 1. 4	制造工艺的开发	234
11. 1. 5	分界面特性	238
11. 1. 6	微型拉伸试验	238
11. 1. 7	磁性-非磁性零件的制作	239
11. 1. 8	概要	240
11. 2	双金属注射成形制造的刚性/耐磨零件	240
11. 2. 1	概述	240
11. 2. 2	试验程序	241
11. 2. 3	结果	242
11. 2. 4	共同烧结模型	244
11. 2. 5	示范零件	246
11. 2. 6	结论	246
参考文献		248

# 第1章 概 论



## 1.1 概述

20世纪70年代，在陶瓷生产中，人们首先开发出了将增塑的粉末注射料用注射成形工艺生产出了陶瓷零件坯件，称为陶瓷注射成形（CIM），随后采用金属粉末（通称MIM）进行注射。美国金属粉末工业联合会（MPIF）1975年第一次报道MIM，是作为突破了常规粉末冶金设计壁垒的新工艺，其最精彩之处在于飞机的一种原型零件——镍制的副翼制动器密封件。后来，人们就将CIM与MIM合并称为粉末注射成形（PIM）。

MIM是传统粉末冶金（PM）的发展，当然被认为是粉末冶金的一个分支。标准的粉末冶金工艺是用单轴向压制机械，于刚性模具中压制添加有润滑剂的粉末混合物，压坯从模具中脱出后，将之进行烧结。

用粉末冶金工艺虽然可以成形十分复杂的形状，并经常成百万件地进行生产，但是对于零件形状却受到一个重要限制，即压制成形后，压坯必须从凹模型腔中脱出，因此，很明显，有根切或对于压制方向有垂直凸出部的零件，就不能压制成形。用金属注射成形工艺制造时，就没有这种限制。

多年来，我们已经知道用注射成形可生产形状十分复杂的塑料零件，而且，这些零件和人们的日常生活密切相关。这类零件的一个重要特点是价格比较便宜。可是，这些热塑性材料都有各自的力学性能，通常较软、强度有限及不耐高温，因此限制了其工程应用。

在塑料中添加固体填料——陶瓷或金属粉末，性能虽有一些改进，但只有在混合物中金属或陶瓷粉末占有很高体积分数时，才能实现真正的突破。因而，人们研制出了塑料黏结的金属或陶瓷零件制造工艺。精心地除去塑料黏结剂后，遗留下的金属或陶瓷骨架虽然易碎，但仍然可以安全地搬运，并可以用和传统的模压零件大致相同的方法进行烧结。烧结后零件的相对密度（相对密度=烧结体密度/烧结体材料理论密度）可高达95%，同时其力学性能一般都能等同或优于传统的粉末冶金零件。

MIM工艺经过几十年的发展，现在已成为一种大量制造精密、形状复杂、小型零件的

竞争性工艺，在汽车、医疗器械、枪械、消费品等产业中得到了广泛应用。现在，全球MIM生产厂家已有400多家，2014年销售额已高达15亿美元。图1-1所示为精选的0.028~260g的MIM零件。

## 1.2 生产工艺概要

MIM工艺原理简单，但工艺复杂，必须解决的主要技术问题如下。

(1) 为注射成形生产混合有大量金属粉末与黏度足够高的、均匀的粉末——黏结剂混合物。

(2) 研究经济的黏结剂除去工艺，以保持零件生坯的形状。

(3) 如何烧结到高的相对密度与尺寸精度。

金属注射成形零件的生产流程如图1-2所示。



图1-1 精选的0.028~260g的MIM零件

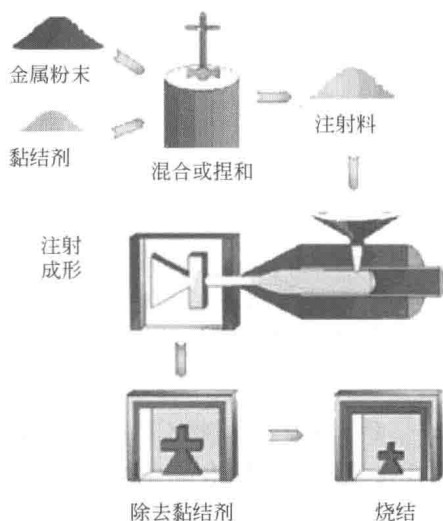


图1-2 金属注射成形零件的生产流程

### 1.2.1 注射料的混合与制粒

MIM零件生产的第一道工序是，所用混合料（注射料）的生产。首先，要有适用的、细小的（一般 $<20\mu\text{m}$ ）、预合金化的金属粉末。为了达到在注射成形工艺中所需要的流动特性，要将金属粉末与热塑性聚合物（通常称为黏结剂）于加热状态下进行混合，以使之形成每个金属颗粒表面都均匀地涂覆有一层黏结剂的混合物。一般在该混合物中，黏结剂约占40%（体积分数）。冷却后，制成大小为几毫米的颗粒，作为注射成形机用的注射料。

### 1.2.2 注射成形机注射成形

注射料颗粒靠重力从装料器进入注射成形机的装料筒，在装料筒中加热使黏结剂熔化，同时使注射料变成稠性牙膏状。往复运动的螺杆强制材料通过浇口（加料口）进入由两个半模型组成的模具。冷却后，将成形的零件从模具中脱出。必要的话，在成形工艺中不能形成的设计特征（例如根切或横向孔），在这个阶段，可用切削加工或其他后续作业很容易地进

行补充加工。

### 1.2.3 黏结剂除去

注射成形后，从注射成形机中排出的零件，叫做“零件生坯”，其金属与聚合物黏结剂的组成比例仍然和制成的注射料相同，同时其所有尺寸都比最终零件约大 20%。因此，下一道工序是除去注射料中的大部分黏结剂，剩余的仅够用作保持零件整体完整的尺寸与几何形状的构架。这项工艺叫做“脱黏”。“脱黏”可用化学的（催化剂脱黏）或加热的方法进行，在一些场合，可能用溶剂浴作为“脱黏”的第一步。“脱黏”方法的选择决定于所要处理的材料、需要的物理与冶金性能及化学组成。脱黏后的零件，叫做“棕色零件”（图 1-3）。

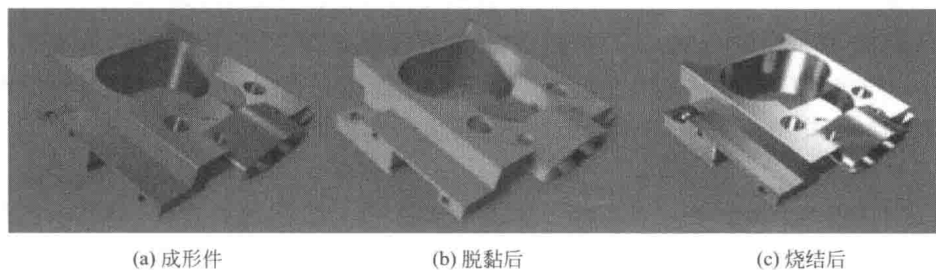


图 1-3 MIM 零件

### 1.2.4 烧结

烧结是在间歇式炉或连续式炉内，于高度控制的气氛中进行的。将“棕色零件”分类放置在陶瓷定位器上，装入烧结炉中，按照精密监控的温度曲线，将炉子温度逐渐升到约为材料熔化温度的 85%。剩余的黏结剂是在烧结周期的早期除去的，随后，当零件各向同性地收缩到其设计尺寸、转变为密实固体时，消除孔隙与熔合金属颗粒。烧结件的相对密度约为 98%，性能和由棒料切削加工的零件相似。当然，必要时，为了达到紧密的公差或增加性能，可在烧结后，对零件进行后续加工，如精整、切削加工、热处理、涂覆等。

## 1.3 采用 MIM 工艺的适当时机

MIM 是一种已经确立的高度发展的金属成形工艺，用 MIM 工艺生产的形状复杂的零件，已在无数产业的各类产品中得到了广泛应用。但是，和所有金属成形工艺一样，MIM 也并不总是适合于每一种应用的。

在这一节我们提出了一些通用准则，用来评估零件是否适合采用 MIM 工艺生产。同时，还对 MIM 工艺与可替代的工艺进行了直接比较，为评估提供进一步的数据。最后，列出了一个综合性的，但不详尽的，在 MIM 零件生产中正在使用的材料范围和一些应用的实例。

### 1.3.1 通用准则

通用准则可分为四个基本方面：复杂性、大小、产量及最终性能。

### (1) 复杂性

MIM 零件的设计自由度和塑料注射成形零件相同。一个零件的几何形状越复杂，其用 MIM 工艺制造的合理性就越稳固。零件可能有：横向孔、角度孔、内螺纹、不规则形状、花键、根切、侧向孔或沟槽、复杂形状或悬臂。

### (2) 大小

一般而言，MIM 零件的质量范围应为 0.1~250g，这是因为大于 100g 的零件，在 MIM 中使用的极细小的金属粉末的成本已开始抵消 MIM 成本的优势，除非是零件的复杂性极高。零件的壁厚应不小于 0.13mm (0.005in) 和不大于 12.7mm (0.5in)。由于材料流动性的限制，从浇口到零件最远点应为 100mm (4in)。MIM 零件的标称公差为  $\pm(0.3\% \sim 0.5\%)$ ，但是，若必要，在一些场合，也可达到较紧密的公差。

### (3) 产量

为了能够抵消和模具与启动工程相关的费用，一般零件产量需要达到年产 10000~200000 件的中等到高产量水平。在最高产量下，才能达到最好的经济效果，这是由于可获得购买材料的好处，并可采用多型腔模具与专用生产装置。

### (4) 最终性能

对于需要接近全密度、高冲击韧性、断裂韧性、疲劳、耐蚀的零件，MIM 工艺是一种理想的制造工艺。倘若没有需要的标准材料性能，则可以开发新合金系统。

对于难切削加工的材料、多相显微组织材料或高度加工硬化的材料，MIM 工艺都是适用的。同时，和精密铸造相比，MIM 零件的表面粗糙度好，细节部分较清洁。

## 1.3.2 生产工艺比较

每一种传统的金属成形工艺都有其适用范围，既有自己的优势，也有局限性。可是，无论在什么地方，对于零件生产都存在 MIM 工艺与一种或多种其他工艺之间的比较选择问题。表 1-1 中列出了对几种工艺的对照比较。表 1-1 仅只表明了对主要金属加工工艺应考虑的一些较重要的参数。

表 1-1 MIM 工艺与其他主要工艺的性能参数的对照比较

参数	MIM	常规粉末冶金工艺	切削加工	精密铸造
相对密度	98%	88%	100%	98%
拉伸强度	高	低	高	高
伸长率	高	低	高	高
硬度	高	低	高	高
复杂性	高	低	高	中等
表面粗糙度	高	中等	高	中等
产量	高	高	低	中等
材料范围	高	高	高	中等、高
成本	中等	高	高	中等

#### (1) MIM 与常规粉末冶金相比

- ① MIM 一般不需要后续加工。
- ② MIM 零件有优异的耐蚀性、强度、韧性。

③ MIM 零件有优良的磁性能。

(2) MIM 与切削加工相比

① MIM 零件设计可节省材料与减小重量。

② MIM 节省费用，这是由于 MIM 工艺的材料利用较好，可将浇道与流道重新研磨并再用作注射料，而不会有损于最终性能。

③ MIM 用一套模具成形可省掉多次组装作业。

④ MIM 可将难切削加工的材料成形为最终形状。

(3) MIM 与精密铸造相比

① MIM 可生产有较小的壁厚、较尖的分割处的零件。

② MIM 零件的表面粗糙度较好。

③ MIM 零件的小直径盲孔与通孔加工性较好。

④ MIM 工艺可大大减少所需要的精切削加工。

⑤ MIM 工艺大量生产小零件时，成本较低，而且从订货到交货的时间较快。

### 1.3.3 材料范围

金属注射成形应用材料范围广泛，常用的是铁、低合金钢、不锈钢，具体见表 1-2、表 1-3。

表 1-2 MIM 应用的材料范围 (一)

不锈钢系列	低合金钢与磁性合金	其他合金
奥氏体不锈钢(与母合金)	低合金钢(与母合金)	Ni 基合金
303	1010	Hastelloy C
304,304L,304+Ti	1018	Hastelloy C22
309	1045	Hastelloy C276
310,310C2,310S	1050	Hastelloy X
316B,316F,316L,316JIL,316Ti	4130A	Inconel 625
317	4140	Inconel 700 系列
321	42CrMo4	Nimonic 80A
329,329JI	4340	Nimonic 90
347	4365	GH84
904	4650	铜
Fe22Cr20Ni6Mo	5130	
HK30	5140	
无 Ni 不锈钢	8620	Cu10Al
Nitronic60	52100	Cu-Sn(1%~50%)
双相不锈钢	Fe2%Ni	Monel400
SAF2507	Fe8%Ni	Cu-Ni(1%~99%)
SAF2205	Fe8Cr1.9Ni2Mo	功能合金
316L 双相	磁性合金	Invar®
铁素体/马氏体不锈钢(与母合金)	Fe49Co2V	Kovar®
410 系列	Fe50Ni	Kovar®F15
420 系列	Fe3Si	Fe36Ni

不锈钢系列	低合金钢与磁性合金	其他合金
430 系列	Fe50Co	Fe50Ni
440 系列	Fe6.5Si	Fe29Ni17Co
Fe30Cr	Fe5.5Si	Fe-Cr(1%~50%)
Fe50Cr	AlNiCo	Fe-Ni(1%~99%)
沉淀-硬化不锈钢	AlNiCo8	Fe-W(1%~40%)
15-5PH	Sendust	Fe36Ni13Co
17-4PH		Fe35Co
17-7PH		Ni20Cr
		Ni50Cr
		Super Invar®
		PB47
		PB47Mn

表 1-3 MIM 应用的材料范围 (二)

工具钢与高速钢	钴基合金	其他金属与材料
A6	Stellite®6	铝
D2		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
T42		金
H10		银
H11		钛
H12		WC
H13		ZrO <sub>2</sub>
M2		
M4		
S2		
S7		
T15		

## 1.4 金属注射成形零件的应用实例

### 1.4.1 MIM 在医疗与牙齿正畸中的应用

#### (1) 正畸支架零件 (图 1-4)

正畸支架是 MIM 最早的主要应用领域之一,而且,今天仍然是 MIM 产业的主要产品。这些非常小的精密零件,通常都是用 316L 不锈钢生产。

#### (2) 外科手术器械

最近 15 年 MIM 实际上已成为医疗器械产业的主要制造技术,这是由于其能生产大量的具有最终形的精密零件。

图 1-5 为用于外科手术固定装置的关节铰接齿轮。这是一个用 MIM 工艺由 17-4PH 不



锈钢生产的具有最终形的零件。零件的密度大于  $7.65\text{g}/\text{cm}^3$ 、极限抗拉强度  $900\text{MPa}$ 、屈服强度  $730\text{MPa}$ 、硬度  $25\text{HRC}$ 。

这个零件获得了 2008MPIF 的大奖。

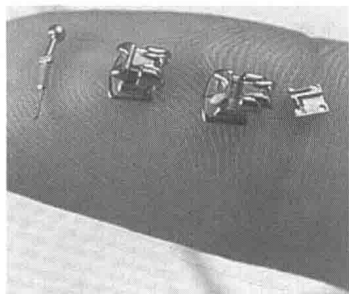


图 1-4 美国 Flomet LLC 制造的牙正畸定位装置的零件

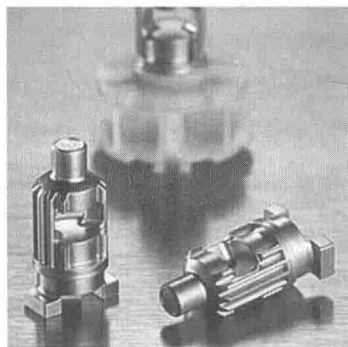


图 1-5 Parmatech Inc (美国) 制造的和用于外科手术固定装置的 17-4PH 不锈钢铰接齿轮

### (3) 可植入 MIM 零件

图 1-6 为由 MIM-Ti-6Al-4V 制造的植入式输液泵的基板。这个基板是该输液泵中最贵的零件，兼有几种功能。

基板有的结构特点：直径  $78\text{mm}$  和壁厚仅  $1\text{mm}$  的非常大的展弦比，这用一般冷浇口模具几乎无法成形的，但用热浇口，这种模具却可以可靠地完全充满模具。

这个零件质量约  $50\text{g}$ 。两个小孔都是直接成形的：一个是上部锥度为  $0.8\text{mm}$ 、下部锥度为  $0.4\text{mm}$  的圆锥孔；另一个是直径为  $0.5\text{mm}$  的圆柱孔。

### (4) 膝盖植入物零件

图 1-7 为由 MIM-Ti-6Al-4V 制造的膝盖植入物。

对于承受压力的外科手术植入物，通常采用的后续处理是，在热等静压后，进行喷丸、抛光、电抛光及阳极氧化处理。

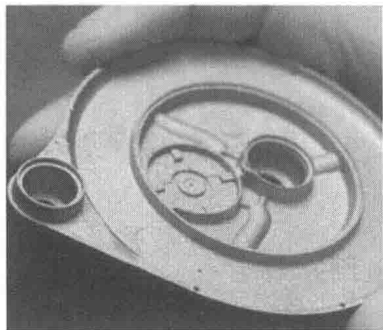


图 1-6 MIM-Ti-6Al-4V 基板

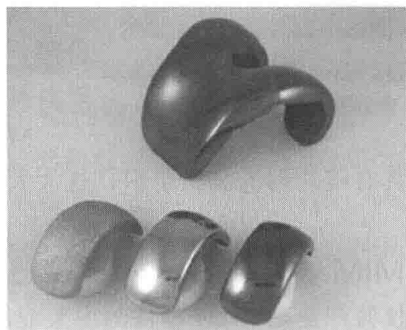


图 1-7 由 MIM-Ti-6Al-4V 制造的 MIM 膝盖植入物

## 1.4.2 MIM 零件在汽车产业中的应用

汽车产业已成为 MIM 零件的主要应用领域，如在发动机、齿轮箱、涡轮增压器、锁止机构、转向系统和电子系统中使用的形状很复杂的零件，不胜枚举。