

快速模具制造 及其应用

Rapid Tooling and Its Applications

王运轶 著



华中科技大学出版社

快速模具制造 及其应用

Rapid Tooling and Its Applications

王运赣 著



华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

快速模具制造及其应用/王运赣 著
武汉:华中科技大学出版社,2003年9月
ISBN 7-5609-3008-5

- I. 快…
- II. 王…
- III. 模具-制造
- IV. TG76

快速模具制造及其应用

王运赣 著

责任编辑:佟文珍
责任校对:朱霞

封面设计:潘群
责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

印刷:湖北新华印务有限公司

开本:850×1168 1/32 印张:8.75

字数:200 000

版次:2003年9月第1版 印次:2003年9月第1次印刷

定价:80.00元

ISBN 7-5609-3008-5/TG·56

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书介绍先进快速模具的原理、结构、制造工艺及其应用，以促进更好地运用快速成形技术的成果，利于快速获得真实的工件，降低传统模具的制作成本，缩短制造周期，提高产品的品质。

本书汇集了作者多年来收集到的国内外资料，以及本人的实践经验。全书分十章阐述有关内容：概述、快速成形技术简介、快速软模制造、快速过渡模制造、快速批量生产用模制造、快速模具制造中常用的表面处理方法、快速模具制造在铸造中的应用、快速模具制造在塑料成形中的应用、快速模具制造在其他领域的应用、快速模具制造的发展前景。

本书可作为高等院校制造工程专业教材与参考书，也是制造业技术人员的必备书。

前 言

3年前，华中科技大学出版社出版了我的一本专著——《快速成形技术》，该书系统地阐述了快速成形技术的原理与应用，受到了有关学者与制造业同行们的欢迎，甚感欣慰。但是，由于目前快速成形技术仍有一些局限性，以至于直接的成形件还不都是真正实际所需的工件，表现在材质方面有所差异，此外，也难于满足大批量生产的需要。因而，常常只好将成形件作为母模（或母体），通过多种型式的模具(模型)，间接地制作符合实际需要的工件，或实现批量生产。这样一来，模具设计与制作的问题就显得非常突出，如果不能又快、又省、又好地设计与制作模具，那么，就可能使快速成形的优势丧失殆尽。

另一方面，传统的制造业也离不开模具，而且，模具的设计、制作往往是制造成本与周期的主要部分，成为开发新产品的瓶颈。

所以，发展快速模具是当务之急，近年来出现的 Rapid Tooling 正是为此而形成的一项先进技术。我在国外工作的10年期间，曾主持开发了多种型号的快速成形机，并对快速模具进行了系统的研究。回国后，我和我的同事们率先开发并组织生产了一系列的快速模具，其中，在汽车工业急需的大型快速模具的结构、材料与制作工艺等方面，取得了突破性进展。为促进我国制造业的现代化，向同行们介绍他们也许还不甚了解的有关先进技术，我根据多年来收集到的国内外资料，以及对其研究与实践的总结，编写了这本专著，作为《快速成形技术》一书的姊妹篇，希望借此填补我国有关专业书籍的空白，并对我国制造业的发展有所贡献。

王运赣

2003年5月

目 录

第一章 概述	(1)
1.1 实现快速模具制造及其应用的重要性	(1)
1.2 传统模具的制造方法	(2)
1.3 快速成形与快速模具制造	(2)
思考题	(4)
第二章 快速成形技术简介	(5)
2.1 快速成形技术原理	(5)
2.2 典型商品化快速成形机	(7)
2.2.1 液态光敏聚合物选择性固化成形机	(9)
2.2.2 薄形材料选择性切割成形机	(11)
2.2.3 丝状材料选择性熔覆成形机	(13)
2.2.4 粉末材料选择性烧结成形机	(15)
2.2.5 粉末材料选择性粘结成形机	(17)
2.3 快速成形技术的应用与效益	(19)
思考题	(25)
第三章 快速软模制造	(26)
3.1 软模的特性	(26)
3.2 制作软模的材料	(28)
3.3 硅橡胶软模的浇注设备	(30)
3.4 软模制作工艺	(34)
思考题	(50)
第四章 快速过渡模制造	(51)
4.1 铝填充环氧树脂(CAFÉ)模	(51)

4.2	SLA 成形的树脂壳 - 铝填充环氧树脂背衬 (Direct AIM) 模	(61)
4.3	SLS 直接烧结低碳钢 - 渗铜(Rapid Tool) 模	(67)
4.4	低熔点合金模	(72)
4.5	三维打印 - 渗铜(ProMetal) 模	(77)
4.6	纤维增强聚合物压制(SwifTool) 模	(82)
	思考题	(86)
第五章	快速批量生产用模制造	(87)
5.1	快速批量生产用模制作工艺的要求	(87)
5.2	电铸镍壳 - 陶瓷背衬(NCC) 模	(88)
5.2.1	NCC 模的特性	(88)
5.2.2	NCC 模的制作工艺	(91)
5.3	气相沉积(NVD) 镍壳 - 背衬模	(93)
5.3.1	羰基镍气相沉积原理	(93)
5.3.2	羰基镍气相沉积工艺的特点	(95)
5.3.3	NVD 镍壳 - 背衬模的制作工艺	(97)
5.3.4	NVD 镍壳 - 背衬模的应用与效益	(100)
5.4	具有共形冷却道的电铸镍 - 铜壳 - 背衬 (ExpressTool) 模	(101)
5.4.1	镍 - 铜复合壳的导热性	(101)
5.4.2	共形冷却道	(103)
5.4.3	ExpressTool 模的制作工艺	(104)
5.4.4	ExpressTool 模的优点与局限性	(107)
5.5	烧结工具钢/碳化钨 - 渗铜(3D Keltool) 模	(109)
5.5.1	3D Keltool 模的制作工艺	(109)
5.5.2	3D Keltool 模的优点与局限性	(114)
5.6	直接金属激光液相烧结(DMLS) 模	(116)
5.7	熔模铸造金属模	(119)

5.7.1	应用快速成形的压型制作熔模铸造金属模	(119)
5.7.2	应用 QuickCast 工艺制作熔模铸造金属模	(124)
5.7.3	应用 SLS 直接烧结陶瓷模(壳)	(126)
5.8	分层切削 - 叠合模与切削加工母模	(132)
5.8.1	现有快速成形技术的不足与分层切削 - 叠合模的概念	(132)
5.8.2	分层切削 - 叠合模的制作方法	(132)
5.8.3	切削加工母模(原模)	(137)
5.9	直接金属喷镀(DMD)模	(143)
	思考题	(146)
第六章	快速模具制造中常用的表面处理方法	(148)
6.1	金属喷镀	(148)
6.1.1	电弧金属喷镀	(148)
6.1.2	大容量金属喷镀	(155)
6.2	等离子喷镀	(158)
6.3	电化学沉积	(160)
6.4	无电化学沉积	(161)
6.5	物理气相沉积	(161)
6.6	电化学沉积和物理气相沉积/无电化学沉积的 综合	(162)
	思考题	(167)
第七章	快速模具制造在铸造中的应用	(168)
7.1	快速模具制造在砂铸中的应用	(168)
7.1.1	快速成形件作木模的替代模	(169)
7.1.2	快速过渡模/批量生产模作砂铸用金属模/ 永久金属模的替代模	(173)
7.1.3	快速软模制作芯盒	(176)
7.1.4	快速化学粘结精密砂型	(177)

7.1.5	直接烧结树脂砂型	(178)
7.2	快速模具制造在低压铸造中的应用	(182)
7.3	快速模具制造在压铸中的应用	(184)
7.4	快速模具制造在熔模铸造中的应用	(188)
7.4.1	快速过渡模(快速软模)做失蜡铸造压型	(189)
7.4.2	QuickCast 熔模铸造压型	(190)
7.4.3	快速实型铸造模	(190)
7.5	快速模具制造在离心铸造中的应用	(197)
7.5.1	离心铸造原理	(197)
7.5.2	快速离心铸造模	(199)
	思考题	(204)
第八章	快速模具制造在塑料成形中的应用	(205)
8.1	快速模具制造在反应注射成形中的应用	(205)
8.1.1	反应注射成形原理	(205)
8.1.2	快速反应注射成形模	(205)
8.2	快速模具制造在热注射成形中的应用	(208)
8.2.1	热注射成形	(208)
8.2.2	快速热注射成形模	(209)
8.3	快速模具制造在真空成形中的应用	(225)
8.4	快速模具制造在中空成形中的应用	(229)
	思考题	(236)
第九章	快速模具制造在其他领域的应用	(237)
9.1	快速板金成形模制造	(237)
9.2	快速电火花成形电极制造	(245)
9.3	快速模具制造在医疗领域的应用	(253)
	思考题	(258)
第十章	快速模具制造的发展前景	(259)
10.1	发展多种模式的模具制作技术	(259)

10.2	改善快速模具的性能	(261)
10.3	提高快速模具的精度	(262)
10.4	扩大快速模具的适用范围	(263)
	思考题	(263)
	参考文献	(265)

第一章 概述

1.1 实现快速模具制造及其应用的重要性

随着社会的进步与经济的发展，市场竞争愈来愈剧烈，迫使制造业在不断改善产品的性能与品质的前提下，最大限度地缩短新产品的开发周期、降低成本，以便快速响应用户最新的需求。这种趋势在汽车、摩托车、电子产品、家电产品、玩具等制造业显得尤其突出。例如，10年前，开发一辆新汽车的时间大约为60个月，而现在仅18个月，电子产品的开发周期已降至不到1年，在玩具等制造业，常常是第一季度开发，第三季度大批量生产，第四季度销售。著名的Hewlett-Packard（惠普）公司的80%以上的利润来源于年龄不满2年的产品。所以，快速、高效地开发新产品是竞争取胜的一个关键因素。

实现新产品的快速、高效开发涉及多种领域的先进技术。例如，计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助工程（CAE）、计算机辅助制造（CAM）、新材料，以及产品与相应工艺装备的快速成形、制造等。其中，特别是有关模具的设计、制作技术尤其重要。

众所周知，制造业的生产离不开模具，尤其是铸造、锻压、注塑等工艺所需的模具。试制原型件常常需要模具，产品的生产更需要模具。然而，模具的开发、制作时间与成本，又往往是整个产品开发时间与成本的主要部分，既费时又费钱。例如，一副大型、复杂的模具的开发，一般需要6个月以上的时间与几十万至几百万元以上的费用，一副小型、中等复杂的模具的开发，一

般也需 3 个月以上的时间与几万元至几十万元以上的费用。根据美国汽车制造业统计, 其平均 67% 以上的投资与模具有关。可见模具的开发与生产是制约新产品开发与生产的瓶颈, 要缩短新产品的开发与生产周期、降低成本, 必须首先缩短模具的开发与生产周期, 降低模具的成本, 使模具更结实、耐用。

1.2 传统模具的制造方法

通常, 生产用模具由锻造钢坯或铝坯经传统机械加工(车、铣、刨、钻、磨、镗与电火花加工等)而成, 砂型铸造模型虽然可用木材制作, 但仍需机械加工。由于模具上常常有一些复杂的特征与自由表面, 精度与光洁度要求比较高, 所以加工周期长, 成本高。

应该指出的是, 由于计算机数控(CNC)加工机床、加工中心、柔性系统, 以及高速切削等先进技术的发展, 能使模具加工的周期缩短, 但是至今为止, 每道工序的工艺并无重大改变, 仍然存在调整时间长、复杂刀具轨迹的自动生成困难、成本高等大问题。当产品的生产批量较小时, 模具的制作工时与成本分摊在每件产品上的数额就更大, 上述问题就更为突出。

传统机加工模具的另一个问题是, 这种模具的柔性比较差, 一旦设计有些改变, 原有模具是难于修改的, 几乎不得不重新制作。

所以, 必须寻求快速模具制造的新方法。

1.3 快速成形与快速模具制造

在现代先进制造技术中, 有一项称为“Rapid Prototyping & Manufacturing”(快速成形与快速制造, 简称 RP&M)的支柱技

术，应用这种技术能快速制作工件，并使其材质特性接近期望的产品特性，或几乎与期望的产品特性相符。其中，“Rapid Prototyping”（快速成形，简称 RP）指的是一种新工艺，它能根据工件的 CAD 三维模型，快速制作工件的实体原型，而无需任何附加的传统模具或机械加工；“Rapid Manufacturing”（快速制造，简称 RM）主要指的是，“Rapid Tooling”（快速模具制造，简称 RT）——用快速成形工艺及相应的后续加工，来快速制作模具（Molds 或 Tools）。RT 是不同于传统机加工模具的一种新方法、新工艺，它涉及以下两方面的功能。

(1) 快速开发用于传统制造工艺的模具，如快速制作注塑模与铸造模型。

(2) 减少用模具成形工件所需的时间，缩短成形的循环周期，提高模具的生产效率。例如，在注塑模中，采用与工件共形的冷却道，使塑料快速、均匀冷却，缩短注射成形的循环时间，改善工件的品质。

当然，并非各种 RT 方法都具有第二种功能。

快速模具制造（RT）与快速成形（RP）有密切的关系。RT 方法的出现与发展，在很大程度上取决于 RP 技术与新材料的发展，采用 RP 技术能直接或间接快速制作模具，而 RT 技术又能促进、扩大 RP 的推广应用。

虽然，快速制造（RM）工艺仍处于开发阶段，还不十分成熟、完善，但是，它已经能和传统的 CNC 机加工相竞争，并因此促进各自的发展。最新的进展表明，已经能用一些替代技术制作大批量生产用模具，它们在缩短产品的开发周期、降低成本、提高生产率与改善产品品质等方面，都很有成效。

本书的后续章节中，将首先简要介绍快速成形技术，然后阐述快速模具制造的方法。

按照模具所能成形的工件数量，模具可分为：试制用模具、正式批量生产模具，以及介于两者之间的过渡模具（Bridge

Tooling)。在塑料件成形业中，通常，正式批量生产模用于成形 $10^3 \sim 10^6$ 件的工件，过渡模用于成形 $10 \sim 10^3$ 件的工件。按照模具所能完成的工艺，模具可分为：铸造、注塑、锻压等工艺用模具。因此，本书将按上述两种分类方法，分别阐述有关的快速模具制造方法与应用，其中，大多数是已商品化的技术，少数是接近商品化的成熟技术。

思考题

1. 快速模具制造及其应用对制造业有何重要性？
2. 传统的模具制造方法有什么不足之处？
3. 何谓快速成形？
4. 何谓快速模具制造？快速模具制造有什么独特之处？

第二章 快速成形技术简介

2.1 快速成形技术原理

快速成形技术是 20 世纪 80 年代末期开始商品化的一种高新制造技术，它有不同的英文名称，如 Rapid Prototyping（快速原型制造、快速成型、快速成形）、Freeform Manufacturing（自由形式制造）、Additive Fabrication（添加式制造）等，常简称为 RP。快速成形将计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机数字控制（CNC）、激光、精密伺服驱动等先进技术和新材料集于一体，依据计算机上构成的工件三维设计模型（见图 2.1（a）），利用快速成形机对其进行分层切片，得到各层截面的二维轮廓图（见图 2.1（b）），并按照这些轮廓图，进行分层自由成形，构成各个截面轮廓（见图 2.1（c）），逐步顺序叠加成三维工件（见图 2.1（d））。

快速成形的全过程可以归纳为以下 3 步（见图 2.2）。

（1）前处理。它包括工件的三维模型的构造、三维模型的近似处理、模型成形方向的选择和三维模型的切片处理。

（2）分层叠加自由成形。这是快速成形的核心，包括模型截面轮廓的制作与截面轮廓的叠合。

（3）后处理。它包括工件的剥离、后固化、修补、打磨、抛光和表面强化处理等。

快速成形技术彻底摆脱了传统的“去除”加工法——去除大于工件的毛坯上的材料，而得到工件，采用全新的“增长”加工法——用一层层的小毛坯逐步叠加成大工件，将复杂的三维加工分解成简单二维加工的组合。因此，它不必采用传统的加工机床

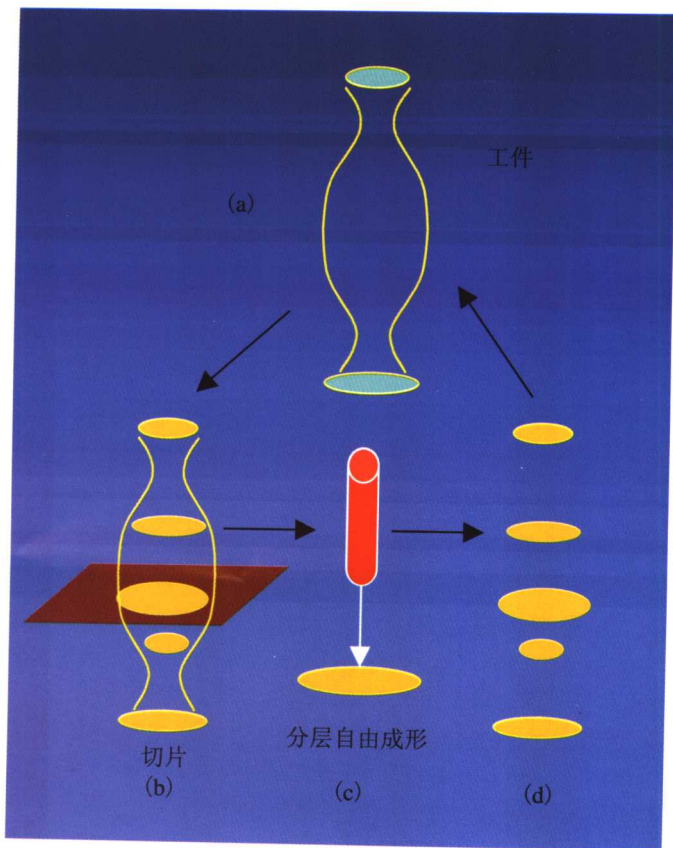


图 2.1 三维—二维—三维的转换

和模具，只需传统加工方法 30%~50%的工时和 20%~35%的成本，就能直接制造产品样品或模具。由于快速成形具有上述突出优点，所以，近年来发展迅速，已成为现代先进制造技术中的一项支柱技术，实现并行工程（Concurrent Engineering，简称 CE）的必不可少的手段。

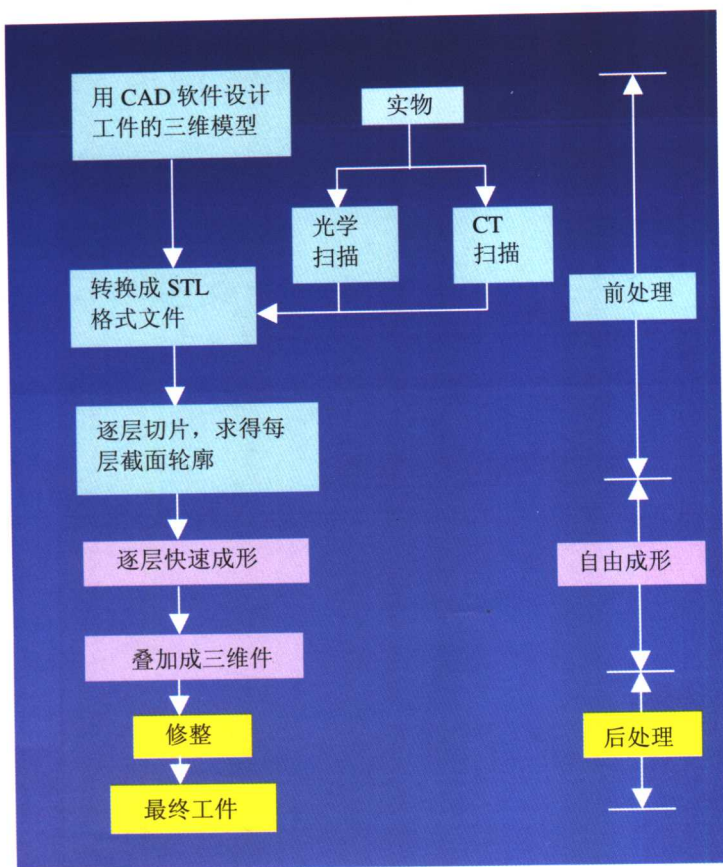


图 2.2 快速成形的全过程

2.2 典型商品化快速成形机

典型商品化快速成形机有如图 2.3 所示 5 种，它们都是基于“增长”加工法原理，差别仅在于使用的成形原材料，以及每层轮廓的成形方法不同。