

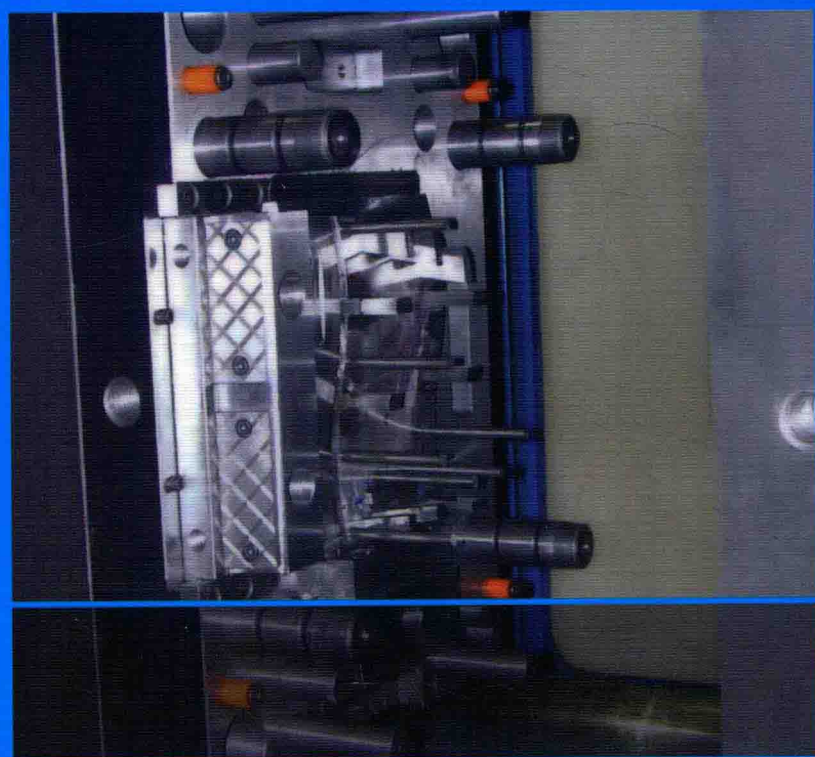
[德] 古特·孟尼格 [德] 克劳斯·斯托克赫特 著
(Günter Menning) (Klaus Stoeckhert)

任冬云 译

模具制造手册

Mold-Making Handbook

(原著第三版)



化学工业出版社

模具制造手册

Mold-Making Handbook

(原著第三版)

[德] 古特·孟尼格 [德] 克劳斯·斯托克赫特 著
(Günter Menning) (Klaus Stoeckert)

任冬云 译



化学工业出版社

· 北京 ·

这本书第一次于1956年在德国卡尔·汉泽尔出版社(Carl Hanser Verlag)出版发行,是行业内经典著作之一。2003年化学工业出版社引进过英文版的第二版。

本书共分5章,第1章介绍了用于各种加工方法的模具;除了介绍传统的成型模具,还介绍了微注射成型模具。第2章为模具设计,将各种模具在设计过程中的设计要点以及最新技术做了详细说明。第3章介绍了模具制造材料,包括钢材、铝合金及铜合金-有色金属等内容。第4章为模具制造和机加工方法,介绍了许多新的制造技术,如快速制样技术等。第5章为模具的订购与操作,详细介绍了模具的订购过程、模具操作的监控与保养维护。

本书更侧重于工具书的功能,每一章内容自成一体,可为不同目的的读者,快速提供他所需要的信息和内容,是塑料加工技术人员重要的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

模具制造手册/[德] 孟尼格(Menning, G.), [德] 斯托克赫特(Stoeckhert, K.) 著;任冬云译. —北京:化学工业出版社, 2015. 11

书名原文: Mold-Making Handbook

ISBN 978-7-122-25151-0

I. ①模… II. ①孟… ②斯… ③任… III. ①模具-制造-技术手册 IV. ①TG76-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第218075号

Mold-Making Handbook, 3rd edition/by Günter Menning, Klaus Stoeckhert

ISBN 978-1-56990-446-6

Copyright© 2013 by Carl Hanser Verlag, Munich/FRG. All rights reserved.

Authorized translation from the original English language edition published by Carl Hanser Verlag, Munich/FRG.

本书中文简体字版由 Carl Hanser Verlag 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分,违者必究。

北京市版权局著作权合同登记号:01-2015-3945

责任编辑:仇志刚

文字编辑:刘志茹

责任校对:吴静

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:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张28 1/4 字数712千字 2016年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519680) 售后服务:010-64519661

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:158.00元

版权所有 违者必究

参编人员

Dipl. -Ing. (FH) Christopherus Bader (5.2 节)

PRIAMUS SYSTEM TECHNOLOGIES AG, Schaffhausen, Switzerland

Prof. Dr. -Ing. Thomas Bauernhansl (1.9 节)

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart, Germany

Dr. -Ing. Joachim Berthold (1.2 节)

Gummersbach, Germany

André Brandt (2.2 节)

HASCO Hasenclever GmbH & Co. KG, Lüdenscheid, Germany

Dipl. -Ing. Otto Eiselen (1.4 节)

HECO Maschinen-und Werkzeugbau GmbH, Lohmar, Germany

Alfred Erstling (3.2 节)

Wuppertal, Germany

Dipl. -Ing. Thomas Eulenstein (2.5 节和 5.3 节)

Kunststoff-Institut Lüdenscheid, K. I. M. W. NRW GmbH, Lüdenscheid, Germany

Prof. Dr. Ing. Andreas Gebhardt (4.7 节)

CP GmbH, Erkelenz and University of Applied Sciences Aachen, Aachen, Germany

Dipl. -Ing. Josef Gockel (2.2 节)

HASCO Hasenclever GmbH & Co. KG, Lüdenscheid, Germany

Ing. Rolf Hentrich (1.6 节和 4.3 节)

Lahr, Germany

Dipl. -Ing. (FH) Felix Hinken (2.1 节)

Schneider Form GmbH, Dettingen/Teck, Germany

Dipl. -Ing. Udo Hinzpeter (5.3 节)

Kunststoff-Institut Lüdenscheid; K. I. M. W. NRW GmbH, Lüdenscheid, Germany

Dr. -Ing. Frank Hippenstiel (3.1 节)

BGH Edelstahl Siegen GmbH, Siegen, Germany

Robert Hofmann (1.11 节)

Hofmann Modellbau, Lichtenfels, Germany

Prof. Dipl. -Ing. Peter Karlinger (2.1 节)

University of Applied Sciences Rosenheim, Rosenheim, Germany

Dipl. -Ing. (FH) Armin Klotzbücher (4.1 节)

KWO Kunststoffteile GmbH, Offenau, Germany

Dr. Ulrich Knipp (1.3 节)

Bergisch Gladbach, Germany

Günter Konzilia (1.10 节)

Z-werkzeugbau-GmbH, Dornbirn, Austria

Stefan Krüth (4.6 节)

J. & F. Krüth GmbH, Solingen, Germany

Bernhard Mack (4.2 节)

Mack Erodieretechnik, Langenau, Germany

Dr. Udo Maier (1.3 节)

Pulheim, Germany

Prof. Dr. -Ing. Peter Mitschang (1.8 节)

Institut für Verbundwerkstoffe GmbH, Kaiserslautern, Germany

Dipl. -Ing. Dirk Paulmann (2.3 节)

HASCO Hasenclever GmbH & Co. KG, Lüdenscheid, Germany

Dipl. -Ing. Norbert Reuber (1.7 节)

Kurtz GmbH, Kreuzwertheim, Germany

Dipl. -Ing. Manfred Sander (2.3 节)

Iserlohn, Germany

Dipl. -Ing. (FH) Dietmar Schäffner (4.2 节)

Viscoch GmbH, Widnau, Switzerland

Prof. Dr. -Ing. Alois K. Schlarb (1.8 节)

University Kaiserslautern, Kaiserslautern, Germany

Prof. Dr. -Ing. Ralf Schledjewski (1.8 节)

Montanuniversität Leoben, Leoben, Austria

Prof. Dr. -Ing. Friedhelm Schlöber (5.1 节)

KION Group AG, Wiesbaden, Germany

Edgar Seufert (3.3 节)

Schmelzmetall Deutschland GmbH, Steinfeld-Hausen, Germany

Dipl. -Ing. Peter Schwarzmann (1.5 节)

Illig Maschinenbau GmbH & Co. KG, Heilbronn, Germany

Claudia Steiner (4.4 节)

NOVAPAX Kunststofftechnik Steiner GmbH & Co. KG, Berlin, Germany

Prof. Dr. -Ing. Paul Thienel (2.4 节)

University of Applied Sciences Südwestfalen, Iserlohn, Germany

Uwe Thiesen (5.4 节)

Plastics Germany GmbH & Co. KG, Lohne, Germany

Peter Vetter (4.5 节)

Buderus Edelstanl GmbH, Wetzlar, Germany

Dipl. -Betriebsw. Oliver Wandres (1.6 节)

Maus GmbH, Karlsruhe, Germany

Prof. Dipl. -Ing. Peter Wippenbeck (1.1 节)

Steinbeis-Innovationszentrum Kunststofftechnik, Aalen, Germany

Klaus Zoller (1.9 节)

Freudenberg Sealing Technologies GmbH & Co. KG, Weinheim, Germany



译者前言

从《模具制造手册》中文版的首次发行至今,已有12年的时间。中国的塑料产量目前已占世界的24.8%。塑料制品产量约6200万吨,与12年前的2000万吨相比,增加了3.1倍。2014年全国塑料加工设备约35.81万台,比12年前增加了约11倍,其中,注射成型设备增加了约2.9倍。当今的塑料加工最新技术已经朝着微纳制造成型方向发展,例如,二维码已经可用注射成型技术制造。与国外注射成型技术水平相比,我国相关技术领域内还存在着明显的差距。

与12年前的英文第二版内容相比,这次英文第三版基本上更新了第二版的绝大部分内容。将原有的4章27节内容,扩展到5章30节的内容。第一章,用于各种加工方法的模具,在保留了第二版原有的10种成型模具内容的基础上,又增加了微注射成型模具的内容。新增加的第二章内容,模具设计,将各种模具在设计过程中的设计要点以及最新技术做了详细说明。第三章,模具制造材料,只保留了钢材、铝合金及铜合金-有色金属内容。第四章,模具制造和机加工方法,增加了许多新的制造技术,如各种快速制样技术。新增加的第五章,模具的订购与操作,详细介绍了模具的订购过程、模具操作的监控与保养维护。正如,第三版编者序中指出的,这本汇编更侧重于工具书的功能,每一部分(本书中的每一章)自成一体,可为不同目的的读者,快速提供他所需要的信息和内容。译者在翻译本书的英文第三版时,力图使书中的中文专业术语与12年前的中文版一致,但12年来新型塑料加工技术不断涌现,本书中介绍的某些新技术,国内还鲜有应用,因而造成给出某种专业术语的准确中文定义比较困难。如果译文中的缺憾没有影响到读者从本书中受益,译者深感欣慰。参与本书翻译的人员还有:张植俞、霍朝沛、张志广、张凯、路献飞,在此,谨向他们表示衷心感谢!

任冬云

2015年6月于北京

第三版编者序

当由 K. Stoeckhert 编辑的这本书第一次于 1956 年在德国卡尔·汉泽尔出版社 (Carl Hanser Verlag) 出版发行时, 就填补了一项市场空白, 因为四年后第二版又被要求出版发行, 这一次, 与 H. Domininghaus 合作。第三版于 11 年之后 (1980 年) 出版发行, 此时的页数增加了一倍。它被翻译成英文第一版。由于编者团队的人员变化, 第二版英文版出版发行花费了 15 年时间, 并略改了英、德文的书名。此外, 中文版首次出版发行。现在出版的第三版 (德文第五版) 又花费了近 15 年的时间。

目前这一版的内容不仅得到更新而且现代化。这也表明只有六名“老”作者仍然在其中, 并增加了新的章节, 如微注射成型模具、橡胶工业用模具, 或快速制样, 同时删除了其他不再适用的内容。相反, 正如在德文第四版中所叙述的那样, 这本汇编仍然不打算作为教科书, 用于注射成型模具的详细设计, 或替代标准模具单元制造商的产品目录, 而且, 它也不是一个长篇讲稿。然而, 本书中对个别模具类型的基本情况和这些技术的最新状态以及它们的制造方法作了简要的介绍。

这本书的读者对象仍然为, 寻求对塑料加工关键领域介绍的读者, 以及那些能够快速阅读相关技术领域内容, 可为他们自己的工作产生构想的熟练专家。本书每章自成一体, 特别是当读者不仅阅读“他的”章节, 而且也愿意以他自己的专业领域“纵览这本书”时, 这本书的协同效应就能体现出来。

Günter Menning, 2013 年 4 月于德国开姆尼茨 (Chemnitz)



CONTENTS

第1章 用于各种加工方法的模具

1.1 注射模具	001	1.3.5 PUR 浇铸体系的模具	072
1.1.1 概述	001	参考文献	073
1.1.2 注射成型工艺	001	1.4 吹塑模具	074
1.1.3 模塑制品设计	005	1.4.1 加工工艺简述	074
1.1.4 模具基本结构	006	1.4.2 挤出吹塑成型模具	079
1.1.5 顶出类型	006	1.4.3 注吹成型和蘸吹成型	087
1.1.6 点浇口技术	015	1.4.4 计算机在吹塑成型中的应用	088
1.1.7 模具排气	026	参考文献	090
1.1.8 温度控制	026	1.5 热成型模具	091
1.1.9 特殊设计	029	1.5.1 概述	091
参考文献	036	1.5.2 热成型工艺	091
1.2 压制模具和传递模具	037	1.5.3 模具与胎具	092
1.2.1 概述	037	1.5.4 阳模或阴模	093
1.2.2 压制模具	037	1.5.5 热成型模具设计原则	093
1.2.3 传递模具	039	1.5.6 热成型模具的基本结构	102
1.2.4 压制模具制造	040	参考文献	104
1.2.5 模具设计	041	1.6 滚塑成型与搪塑成型模具	104
1.2.6 片状成型料 (SMC) 模具	046	1.6.1 加工工艺简述	104
1.2.7 GMT/LFT 模具	050	1.6.2 滚塑制品的强度	105
1.2.8 应用实例	051	1.6.3 模具技术要求	105
1.3 聚氨酯制品模具	051	1.6.4 滚塑模具的命名	106
1.3.1 制品、加工工艺、应用、收缩及 模具支架	052	1.6.5 模具的类型	107
1.3.2 低密度 PUR 发泡制品模具	054	1.6.6 模具结构	111
1.3.3 结皮发泡 (自结皮发泡) PUR 模具	064	1.6.7 模具辅助结构	112
1.3.4 微孔发泡 PUR 制品模具	070	1.6.8 滚塑成型塑料制品的后处理	114
		1.6.9 搪塑成型工艺的电铸模具	114
		1.7 热塑性泡沫塑料制品成型模具	118

1.7.1 热塑性泡沫塑料	118	1.9.3 注射成型 (IM)	161
1.7.2 普通发泡成型	120	1.9.4 附加工工艺	163
1.7.3 模具结构	125	1.9.5 模具制造	166
1.7.4 块体模具	129	参考文献	167
参考文献	131	1.10 微注射成型模具	168
1.8 用于连续纤维增强聚合物复合 材料的模具	132	1.10.1 概述	168
1.8.1 概述	132	1.10.2 设计	170
1.8.2 真空热压罐技术成型模具	132	1.10.3 制造	175
1.8.3 连续纤维增强热塑性塑料	136	1.10.4 制造技术	176
1.8.4 用于树脂注射成型的模具	144	1.10.5 注射成型机械	180
1.8.5 用于缠绕技术的模具	155	1.10.6 模具维护	181
参考文献	157	1.10.7 展望	181
1.9 加工弹性体材料的模具	157	参考文献	181
1.9.1 压塑成型 (CM)	158	1.11 样模和小批量生产模具	181
1.9.2 传递模塑成型 (TM)	159	1.11.1 概述	181
		1.11.2 间接样品成型	182

第2章 模具设计

2.1 设计过程	195	影响	251
2.1.1 概述	195	2.4.3 模腔温度	251
2.1.2 注射成型模具的仿真	214	2.4.4 温控对模塑制品性能的影响	253
参考文献	220	2.4.5 对温控系统的要求	253
2.2 标准化及标准	220	2.4.6 温控流道	254
2.2.1 注射成型和热流道模具的 标准化	220	2.4.7 流动原理	255
2.2.2 模具制造标准	223	2.4.8 常规温控方案的实用设计	255
参考文献	232	2.4.9 温控新技术	260
2.3 热流道和冷流道技术	232	2.4.10 散热模具设计	264
2.3.1 使用热流道技术的优点	232	2.4.11 外部温控器的位置	265
2.3.2 热流道系统和热半模的设计	234	参考文献	267
2.3.3 应用领域和范例	235	2.5 新型模具技术	267
2.3.4 热流道集流腔系统、线绕系统 及热半模	243	2.5.1 涂层技术——通过组合面和涂层 技术设计表层	268
2.3.5 热流道控制技术	245	2.5.2 温控技术-注射成型模具的感应 加热	271
2.3.6 冷流道系统	246	2.5.3 真空技术——几种可能性, 表面的 优化	274
2.4 注射成型模具的温度控制	249	2.5.4 模具技术——用于无飞边和无损伤 的嵌件封装的柔性密封元件	276
2.4.1 模温控制的任务和目的	250		
2.4.2 加工温度对冷却和循环时间的			

第3章 模具制造材料

3.1 塑料模具钢	278	3.2.3 铝材模具制造	299
3.1.1 概述	278	3.2.4 应用	303
3.1.2 钢材制造与处理	279	参考文献	304
3.1.3 塑料模具钢综述	283	3.3 铜合金-有色金属	304
3.1.4 总结	292	3.3.1 性能	304
参考文献	292	3.3.2 机加工性	307
3.2 铝合金	293	3.3.3 表面	310
3.2.1 概述	293	3.3.4 总结	311
3.2.2 模具材料	293		

第4章 模具制造和机加工方法

4.1 模具制造	312	4.3.3 电镀材料	333
4.1.1 概述	312	4.3.4 模型材料及模型设计	334
4.1.2 设计	312	4.3.5 夹具和安装支架	335
4.1.3 数据模型	314	4.3.6 电镀注射成型嵌件的精加工和 安装	337
4.1.4 模具制造中的数据传递	314	4.3.7 效率与使用寿命	337
4.1.5 反馈与沟通	315	4.3.8 其他塑料加工方法中的电镀 模具	339
4.1.6 设计	316	4.3.9 负冲压深拉工艺（模内皮纹）	343
4.1.7 编程	318	4.4 模具制造中的抛光技术	344
4.1.8 机加工	320	4.4.1 概述	344
4.1.9 尺寸检验	321	4.4.2 表面粗糙度的定义	344
4.1.10 钻孔/深孔钻	321	4.4.3 抛光技术基础	345
4.1.11 电火花加工	322	4.4.4 抛光行为的影响因素	346
4.1.12 表面精加工	322	4.4.5 抛光技术	346
4.1.13 组装	323	4.4.6 超声波抛光	351
4.1.14 测试	324	4.4.7 电火花加工/光泽表面的腐蚀	352
4.1.15 优化工艺及精加工	324	4.5 热处理和表面处理技术	353
4.2 电火花加工（EDM）	324	4.5.1 概述	353
4.2.1 概述	324	4.5.2 塑料模具钢的热处理	353
4.2.2 物理过程	325	4.5.3 表面处理	361
4.2.3 公差与关键数据	327	参考文献	373
4.2.4 刻模 EDM	327	4.6 表面结构化	374
4.2.5 线切割 EDM	329	4.6.1 光化学蚀刻技术	374
4.2.6 组合工序和特殊工序	331	4.6.2 模具表面和结构的要求	375
4.3 电镀嵌件与模具	332	4.6.3 特殊工艺	382
4.3.1 概述	332		
4.3.2 工艺描述	332		

4.6.4 执行订单	383	4.7.4 模具制造的机器	394
4.7 模具制造的快速制样	384	4.7.5 举例	395
4.7.1 快速制模	384	4.7.6 非生成模具制造工艺的界定	399
4.7.2 生成制造工艺基础	385	4.7.7 公司名称和网址	400
4.7.3 模具制造的生成工艺	388	参考文献	400

第5章 模具的订购与操作

5.1 模具报价	401	5.3 注射成型模具的磨损	424
5.1.1 概述	401	5.3.1 概述	424
5.1.2 模具规划	401	5.3.2 摩擦学基础	424
5.1.3 模具制造的成本核算	405	5.3.3 磨损	426
5.1.4 总结	411	5.3.4 腐蚀	428
参考文献	411	5.3.5 模具元件的磨粒磨损	431
5.2 模具的装置与控制	411	5.3.6 展望和发展趋势	434
5.2.1 有效质量保证的要求	411	参考文献	435
5.2.2 模具传感器系统的概述	412	5.4 维护、储存、维修	436
5.2.3 数据采集和电子器件	414	5.4.1 概述	436
5.2.4 装置与优化	415	5.4.2 维护、防护及困难	436
5.2.5 过程监控	418	5.4.3 检修	437
5.2.6 工厂范围的网络与监控	420	5.4.4 维修	438
5.2.7 注射成型过程的实时控制	420	5.4.5 优化	441
5.2.8 注射成型过程的控制	422	5.4.6 储存	441
5.2.9 展望	423	5.4.7 维护和维修成本	445
参考文献	423	参考文献	445



用于各种加工方法的模具

1.1 注射模具

(P. Wippenbeck)

1.1.1 概述

热塑性塑料、热固性塑料和弹性体均可用注射成型工艺加工，对于交联聚合物，可能要对机器和相应模具进行适当的改造，它们一般需加热到 $120\sim 180^{\circ}\text{C}$ 。以下内容覆盖了用于热塑性塑料的主要模具，温度控制在 $10\sim 120^{\circ}\text{C}$ ，对于“异常”高耐温热塑性塑料，模温可达 200°C 。

1.1.2 注射成型工艺

注射成型是一种大量生产模塑制品的典型工艺，常用于高量产制造中。与其他工艺相比，注射成型模具的成本相对较高（1~7 倍）。专家们一般认为，注射成型工艺的赢利点始于 10000 个制件，在某些情况下，始于 3000 件，这取决于模塑制品的复杂性和模具的制造成本。一个模具中的模腔数量大多数在 100 以内。然而，用于超大规模生产的模具具有更多的模腔（见图 1.1）。

一方面，较多的模腔引入到一个生产单元中，制造成本的比例会降低，如耗能和空间的需求减少。然而，失败的风险却会增加，因此，一般使用比技术可行性较低的模腔数量。这样做的一个优点是，可在高自动化程度下生产模塑制品几何结构非常复杂的零件，如内外侧凸结构、快嵌插头、铰、弹簧元件或内螺纹结构等。这些制品的质量范围可从几毫克的微注射成型制品到大于 50kg 的大型制品（见图 1.2）

注射成型机器可根据它们的合模力区分，从 50kN 到 100000kN，例如，船体的生产或预制房屋的组装板。生产小制品系列的机器尺寸一般为 $100\sim 30000\text{kN}$ 的范围。

另一方面，注射模具一般是单独的工件，因此是非常宝贵的生产资源。它们的可用性具有非常重要的价值。有可能模具的资金投入要高于机器设备本身。

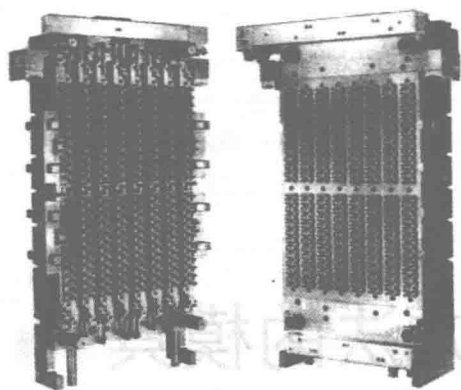


图 1.1 用于瓶坯生产的
模具有 192 个模腔^[8]

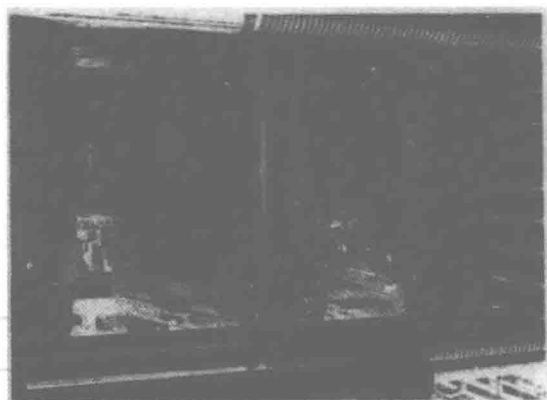


图 1.2 用于汽车玻璃生产的注射模具，
注压成型和双组分技术^[9]

注射成型机器的基本结构如图 1.3 所示。作为这种机器的核心部分，注射单元的加热机筒内有一个螺杆，在塑化过程中螺杆可以旋转和轴向往复运动，在注射和保压期间，螺杆的作用是一个非旋转活塞。

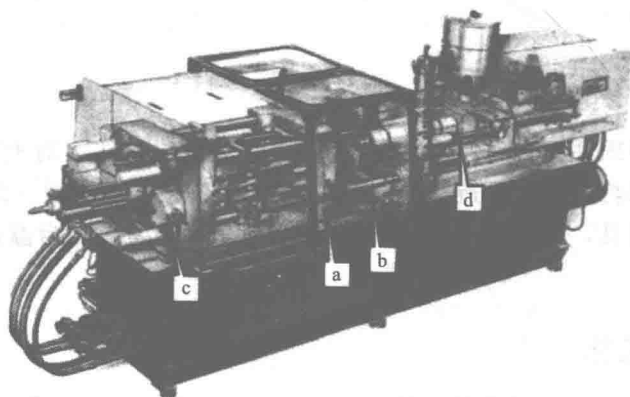


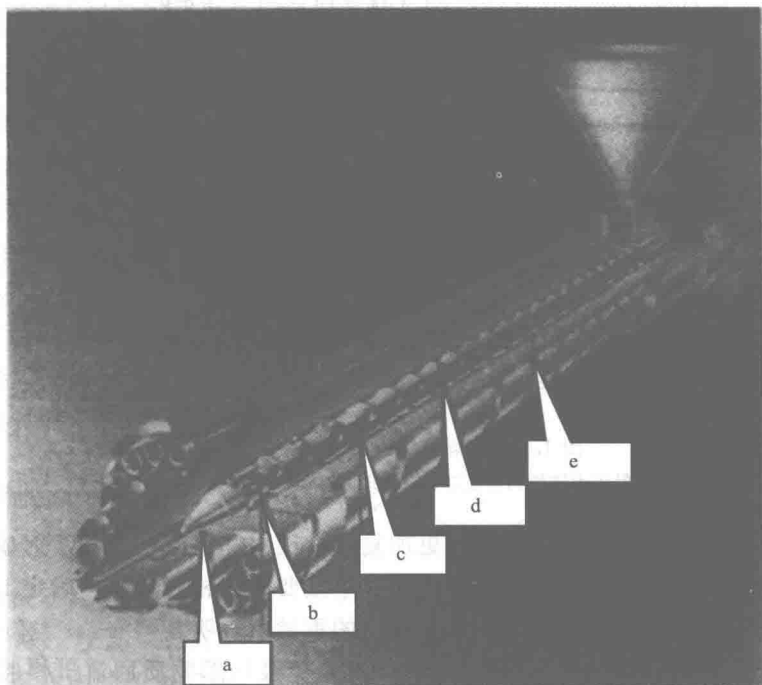
图 1.3 带有肘杆合模装置的三板式注射成型机^[10]

a—顶杆板；b—固定板；c—模具高度调节器；d—配有塑化机筒和截流喷嘴注射单元

合模单元的功能是将被分为“合模”、“可移动”或“顶出”半块的一半模具向静止、“固定”一半模具移动，和施加合模力以密封模腔压力引起的分离力。

合模需要相对高的压力，一般不低于 200bar (1bar = 10^5 Pa, 下同)，多数在 300 ~ 1200bar 的范围。根据涉及的面积，产生的压力，在设计模具的侧壁或设计机器所需合模力时，必须加以考虑。在模具设计中的计算一般选择 1000bar 的平均值。由于在压缩熔体过程中必须给予足够的收缩补偿，因此，特别需要如此高的压力量级。

在螺杆旋转过程中，发生颗粒熔融，由机筒加热器和剪切热产生能量，大多数情况下，剪切热起主导作用。同时，存在有朝向封闭喷嘴方向的向前熔体输送，因此，由于螺杆自身喂料的作用，螺杆向后压迫自身。在反向运动中，螺杆必须克服系统的摩擦阻力。为了改进混合效果、增加剪切热量或扩大排气效果，将施加一个附加的反向阻力，称为“背压”。当达到根据“计量行程”给定的后端位置时，螺杆转动停止。螺杆前端的熔体量准备就绪，可用于注射过程。由于螺杆顶部的止回阀（见图 1.4），作为一种标准设备，螺杆可作用于注

图 1.4 螺杆机筒^[9]

a—机筒顶端；b—止回阀；c—塑化过程结束时螺杆位置；d—螺杆；e—机筒加热器

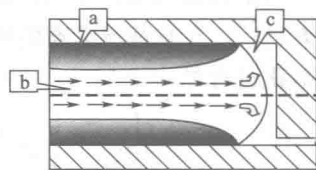
射活塞，将熔体注入到相对冷的模具“模腔”中，直到该模腔被完全“体积填充”。这类熔体流动为“喷泉流动”，这表明，在与冷模具壁接触的外部形成静止层，熔体必须从中通过（见图 1.5）。

静止固化层增加过多可能会引起填充过程完全停顿，例如，如果注射速度太慢，熔体会“冻结”。另外，在流动波峰处形成一厚层，在模具紧密间隙处将提供一定的自密封作用。在模具设计中，这是模腔“排气”的依据，因为进入的熔体必须将空气排出模腔。因此，由于流动波峰表皮厚度大约为 10mm，排气间隙为 $10 \sim 30 \mu\text{m}$ ，而不产生飞边是可能的。在这一范围内，允许模具“呼吸”，以改善排气是可行的。

在体积充满后，由填充过程的“注射压力”主导的动态阶段转移到准静态阶段。这是一“保压阶段”，它一方面可以将

熔体压缩；另一方面可以在初始冷却过程中补充熔体，以使模腔内的压力总保持不变。只要与流道相连进入模腔的浇口可通透（仍然没“密封”）的话，这样一种熔体的后补充是可能的。在“密封点”之后，按照实际冷却速率，随后有压力较大的下降。在压力完全消失后，模塑制品开始收缩，这种情况多半与塑料制品从模腔内表面分离相关（见图 1.6）。

对于模具设计非常重要的一点是，注射成型制品的收缩率不仅取决于材料的种类，也强烈地取决于加工工艺条件，特别是依赖于这一过程中的压力和温度，以及浇口的密封。因此，可以证明，原料生产商只能提供一个非常粗略的收缩率范围，例如， $0.5\% \sim 1.5\%$ 。对于指导过程模拟的更精确的收缩率预测，原材料数据库和工艺数据库均是必需的。如果考虑收缩率

图 1.5 热塑性塑料熔体在填充过程中的喷泉流动^[11]

a—静止固化层；b—低黏核心区，“塑化芯”；c—较高黏度的流动波峰表皮

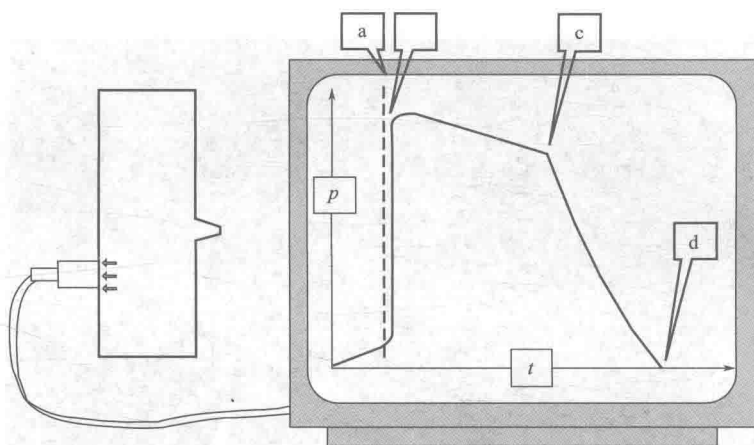


图 1.6 典型的模腔压力变化过程^[11]

a—从注射压力转换到保压；b—体积填充；c—密封点；d—收缩开始

依赖于分子方向填充物的取向，将使情况更加复杂。压力和温度将影响注射成型混合物的比体积，因而影响模塑制品的重量。这也提供了一个重要的和相对容易的确定工艺稳定性的指标，经验表明，70%的参数波动均可由模塑制品的重量所表明。

保压时间应该略长于浇口的“密封时间”，以避免被压缩物质回流出模腔。保压时间太短会直接反映在模塑制品的重量上。由于在保压阶段显著的冷却量，保压时间和设定的“冷却时间”共同提供了实际的冷却时间。通常，必需的循环时间是由模具的冷却能力决定的，而很少由平行的塑化过程的“塑化速率”决定。当模塑制品足够稳定，以吸收顶出力，而没有破坏或过渡变形时，该制品可被“脱模”。

根据机器喷嘴的结构，带有或无截流机构，注射单元反向运动的时间是：或是正好在保压结束之后，在有截流喷嘴的情况下，因此可避免最小的热量从喷嘴流向冷模具（见图 1.7）；或在塑化过程结束之后。

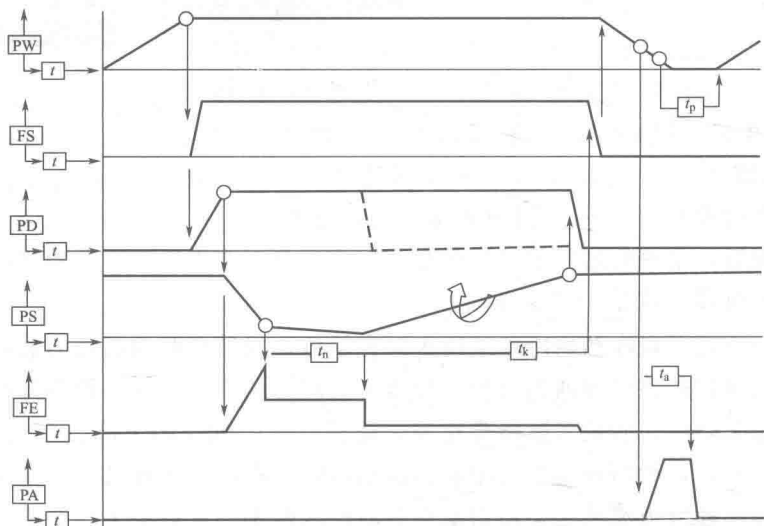


图 1.7 配有敞开喷嘴或截流喷嘴（虚线）的注射成型机器的时间线^[11]

PW—可移动半模（顶出块）的位置；FS—合模力；PD—注射单元（喷嘴）的位置；PS—螺杆位置；FE—螺杆轴向驱动力；PA—顶杆位置； t_n —保压时间； t_k —冷却时间； t_p —断开时间； t_a —顶出时间

在冷却阶段结束时，机器的合模力被解除，模具打开，此时，顶杆部分后退。通过合适的“停留时间”或“模具的开启时间”，可确保安全取出注射成型制品。正在广泛使用的自动化取件机构发出下一次合模过程的信号。

每台注射成型机器均有一个被称为“模具保护”的保护系统，以防在模具半块之间障碍物引起的模具损坏——在前一个循环中的模塑制品也能称为这样的障碍物。这种“模具保护”依据力传感器的工作原理：因由一个异物引起阻力增加而激活一个信号。这个信号将停止合模运动，红色报警灯将开始闪烁。在机器安装过程中，下列三个模具相关位置（零点）必须被传递给机器的控制系统：

- ① 顶杆后端位置；
- ② 喷嘴接触浇口衬套的前端位置；
- ③ 根据模具深度的相应的闭模位置。

1.1.3 模塑制品设计

下列因素能显著影响模塑制品的设计：

- ① 熔体的流动性能；
- ② 固化行为；
- ③ 在渐冷熔体中的压力传递；
- ④ 分子和纤维的取向；
- ⑤ 收缩及其相关的工艺参数、浇口位置以及测量方向；
- ⑥ 翘曲，通过纤维增强会显著增加。

在设计时，必须特别考虑：

- ① 脱模能力，脱模斜度；
- ② 允许的拼缝线；
- ③ 允许的由浇口、顶杆、滑块和剖分模腔引起的痕迹；
- ④ 表面结构；
- ⑤ 要求的公差。

浇口周围区域的分子取向通常要远多于其他位置。另外，由于过大的熔体压缩或过长的保压时间，常常有过载现象。这将形成一个易破碎区域。实际情况确实如此：2/3 的破损线经过浇口。浇口位置常常可由应力裂纹线来确定（见图 1.8）。

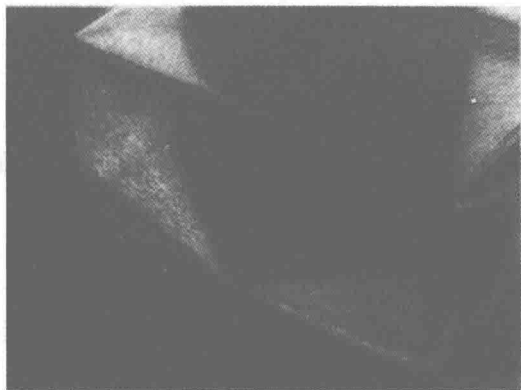


图 1.8 在分子取向上的应力裂纹^[12]