

(德) 伊利格 (德) 彼得·施瓦茨曼 编著

Illig

Peter Schwarzmann

德国伊利格机械设备有限公司 译

Illig Maschinenbau GmbH & Co.KG

热成型实用指南

Thermoformen in der Praxis

(原著第三版)



化学工业出版社

HANSER

(德) 伊利格 (德) 彼得·施瓦茨曼 编著

Illig

Peter Schwarzmann

德国伊利格机械设备有限公司 译

Illig Maschinenbau GmbH & Co.KG

热成型实用指南

Thermoformen in der Praxis

(原著第三版)



化学工业出版社

·北京·

HANSER

本书主要介绍了热成型工艺所使用的塑料原料、工艺步骤以及制造工具和模具的基本类型和基本原理,并用实例加以说明。包括热成型基本原理和术语、热塑性材料、热成型中的加热技术、加热彩色和预印刷材料、热成型工艺、特殊工艺、透明件和预印制片料热成型、冷却成型、脱模、堆垛、精加工、冲裁、修饰、制品变形、热成型模具及其温度控制、能源消耗、热成型故障。

本书不仅适合作为高校相关专业的教材,而且还可以为具有实际现场经验的工程技术人员深入处理具体问题提供基础知识。

Thermoformen in der Praxis, third edition/by Illig Maschinenbau GmbH & Co.KG and Peter Schwarzmann
ISBN 978-3-446-44403-4

Copyright© 2016 by Carl Hanser Verlag Munchen. All rights reserved.

Authorized translation from the German language edition published by Carl Hanser Verlag GmbH & Co.KG.

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

本版本仅限在中国内地(不包括中国台湾地区和香港、澳门特别行政区)销售,不得销往中国以外的其他地区。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: 01-2018-8295

图书在版编目(CIP)数据

热成型实用指南/(德)伊利格,(德)彼得·施瓦茨曼编著;
德国伊利格机械设备有限公司译. —北京:化学工业出版社,
2019.4

ISBN 978-7-122-33992-8

I. ①热… II. ①伊…②彼…③德… III. ①热成型 -
指南 IV. ① TQ320.66-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 038020 号

责任编辑:高宁 赵卫娟 仇志刚
责任校对:宋夏

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:三河市航远印刷有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张22 字数509千字 2019年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888 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:188.00 元

版权所有 违者必究

第三版前言

鉴于本书在英语、法语、俄语和汉语的原有译文基础上新增了西班牙语译文，而且热成型技术不断向前发展，同时人们对于模具技术信息的需求也越来越高，这些原因促成了本书第三版的面世——该版本对主要内容进行了编撰和扩展。而这一版本，也是作者 Peter Schwarzmenn 坚持初衷，灌注心血之所得。

Illig Maschinenbau GmbH&Co. KG

2015 年 6 月于 Heilbronn

第二版前言

继第一版大获成功之后，该版本也翻译成了英语、法语、俄语和中文，热成型领域不断涌现出的多种新技术和诸多新应用，促成了第二版的面世——该版本对主要内容进行了编撰和扩展。而这一版本，也是作者 Peter Schwarzmenn 坚持初衷，灌注心血之所得。

Illig Maschinenbau GmbH&Co. KG

2008 年 10 月，于 Heilbronn

第一版前言

几十年前认为不可能的热成型加工工艺，现在已经在工程上大量应用。除了传统的陈列品、冰箱、汽车部件由片材真空成型以外，热成型在包装的气压成型领域也占有很大的市场份额。不断改进的热塑性塑料，加上先进的机械设备，不仅增加了产量，也提高了模塑的质量与精度。原来的热成型多为手工操作，但要成为制造工艺，还有相关材料的科学数据以及测量和反馈控制技术。工艺参数的重现性使热成型工艺可用于先进工业领域。除了在杂志上发表过大量文章之外，在 Illig Maschinenbau GmbH&Co. KG 公司的培训课

上，热成型基本原理也讲授了几十年。但到目前为止，一直缺乏一本综合介绍其原理和工艺的书，这本书既可以作为入门书，也可以对高级工程师、技术人员的大量具体问题进行深度解答。撰写《热成型实用指南》，满足了这方面的需要。本书详细介绍了热成型的热塑性塑料、加工工艺、比较重要的机械和模具，还以实例详解了成型和模具制造的原理。本书成书与 Illig 公司的 50 年历史密切相关，融入了公司大量的创意和经验。本人在此对 Peter Schwarzmann 先生特致谢意。感谢长期工作在 Illig 公司的研发中心主任 Günther Kiefer 先生及 Günther Harsch 教授对原稿进行严格校对，并提出大量的改进与加强意见。出版商与作者希望《热成型实用指南》既易于初学者入门，又有助于具备一定经验的技术人员解决问题。

Adolf Illig

1997 年 1 月，于 Heilbronn

1	绪论	1
2	热成型基本原理和术语	4
2.1	工艺过程	4
2.2	阳模成型和阴模成型	5
2.3	真空成型和气压成型	6
2.3.1	真空成型与气压成型的差异	6
2.3.2	气压成型应用	7
2.4	成型压力、塑型压力和塑型精度	8
2.5	预吹塑、预抽气、压力平衡、喷气	9
2.6	冷却痕迹	9
2.6.1	阳模制品上的冷却痕迹	10
2.6.2	阴模制品上的冷却痕迹	12
2.6.3	冷却痕迹形成原因	13
2.6.4	减少冷却痕迹的方法	13
2.6.5	形成冷却痕迹造成的后果	14
2.6.6	折叠式包装盒的闭合点冷却痕迹采用典型壁厚分布	14
2.6.7	关于冷却痕迹的结论	15
2.6.8	痕迹	15
2.7	热成型时形成褶皱	16
2.7.1	阳模成型过程中的褶皱形成过程	16
2.7.2	阴模成型过程中的褶皱形成过程	18
2.7.3	表面形成褶皱	18
2.8	模具套件	18
2.9	成型面、拉伸面和夹持边	19
2.10	向下夹持器和向上夹持器	20

2.11 成型比和拉伸比	21
2.12 脱模斜度	21
2.13 排气截面	22
2.14 壁厚计算	22

3 热塑性片料 24

3.1 热塑性塑料的构造和结构	24
3.2 吸收片料中的湿气	25
3.3 加热操作	26
3.4 膨胀和垂料	27
3.5 成型温度范围	28
3.6 热成型时的摩擦特性	29
3.7 塑型精度	30
3.8 热成型加工收缩	31
3.9 片料自由收缩	35
3.10 挤出成型片料中的应力影响	37
3.11 静电荷	40
3.12 热成型时热塑性塑料的黏弹属性	40
3.13 冷却特性	41
3.14 片料公差	42
3.15 热塑性片料制作工艺	42
3.16 热成型机表格	44
3.17 用于热成型的热塑性塑料	50
3.17.1 聚苯乙烯 (PS)	50
3.17.2 高抗冲聚苯乙烯 (HIPS)	50
3.17.3 苯乙烯 - 丁二烯 - 苯乙烯嵌段共聚物 (SBS)	51
3.17.4 取向聚苯乙烯 (OPS)	52
3.17.5 丙烯腈 - 丁二烯 - 苯乙烯共聚物 (ABS)	53
3.17.6 丙烯腈 - 苯乙烯 - 丙烯酸酯共聚物 (ASA)	54
3.17.7 苯乙烯 - 丙烯腈共聚物 (SAN)	54
3.17.8 聚氯乙烯 (PVC-U)	55
3.17.9 高密度聚乙烯 (HDPE)	55
3.17.10 聚丙烯 (PP)	56
3.17.11 挤出成型的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA ex)	67
3.17.12 浇铸成型的聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA g)	68
3.17.13 聚碳酸酯 (PC)	69
3.17.14 聚酰胺 (PA)	70

3.17.15	聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)	71
3.17.16	聚砜 (PSU)	76
3.17.17	EPE 和 EPP 发泡片材	76
3.17.18	热成型中的生物塑料	77
3.17.19	多层片料、阻隔片料和复合片料	83
3.17.20	其他片料	88
3.17.21	品牌名	89

4 热成型中的加热技术 90

4.1	辐射加热	90
4.1.1	红外线辐射热传导原理	90
4.1.2	辐射传热	91
4.1.3	使用辐射加热装置均匀加热	95
4.1.4	陶瓷加热器、石英辐射加热器和光辐射加热器对比	99
4.2	辐射加热装置的加热效果再现性	102
4.2.1	再现性评估	102
4.2.2	平衡加热过程受到的不可改变的外界影响	104
4.2.3	加热装置的功率调整和温度调整	104
4.3	接触加热装置	105
4.4	传导加热	106
4.5	最短加热时间、有效加热时间和停留时间	106
4.5.1	加热时间对热成型特性的影响	107
4.5.2	停留时间的正面影响	107
4.5.3	停留时间的负面影响	107

5 板材成型机加热装置 109

5.1	等温线可调式加热装置基本情况	109
5.1.1	专业术语	110
5.1.2	陶瓷加热器调温详细信息	111
5.1.3	主控辐射器调控加热装置的优势	111
5.2	加热图的操纵杆划分	112
5.3	多位电路	113
5.4	通过叠加百分比调整进行辐射器温度调整	114
5.5	使用红外线检测装置测温或者控制加热装置	115

6 全自动辊式成型机中的加热装置 116

- 6.1 概述116
- 6.2 全自动辊式成型机的主控辐射器可调式加热装置116
 - 6.2.1 具备纵列调温功能的加热装置 116
 - 6.2.2 具备整场调温功能的加热装置 117
 - 6.2.3 具备横排调温功能的加热装置 118

7 使用红外线加热装置加热彩色片料和预印刷片料 119

- 7.1 概述119
- 7.2 选择红外线辐射器119

8 板材成型机热成型工艺 121

- 8.1 阳模成型 122
 - 8.1.1 通过机械预拉伸进行阳模成型 122
 - 8.1.2 带预吹塑的阳模成型 122
 - 8.1.3 带对板预吹塑的阳模成型 125
 - 8.1.4 带预抽气的阳模成型和泡罩在成型模具上滚动 126
 - 8.1.5 带压力箱内预抽气的阳模成型 127
 - 8.1.6 阳模成型时使用角喷气嘴 127
- 8.2 阴模成型 128
 - 8.2.1 无预拉伸柱塞阴模成型 128
 - 8.2.2 有预拉伸柱塞阴模成型 129
- 8.3 阳模 - 阴模成型 130
- 8.4 双腔工艺 (3K 工艺)131
- 8.5 双片成型 132
 - 8.5.1 标准型热成型机双片成型一般规则 132
 - 8.5.2 双片成型过程, UA 机器配手动送料装置 133
 - 8.5.3 双片成型机器款型 134
- 8.6 层合 135
 - 8.6.1 概述 135
 - 8.6.2 层合工艺 136

9 全自动辊式成型机热成型工艺, 冲裁站配切断刀 138

- 9.1 成型站基本流程 138

9.2 能够影响成型工艺的机器装备	141
9.3 正确选择成型工艺和模具构造	142
9.4 壁厚分布影响因素提示	143

10 全自动辊式成型机热成型工艺，成型冲裁复合模带剪切刀 148

10.1 成型和冲裁站运动特性	148
10.2 机械曲线控制系统特性	149
10.3 配备成型冲裁复合模的成型站阴模成型流程图	150
10.3.1 成型空气减少	150
10.3.2 向下夹持器控制系统	151
10.4 配备带剪切刀的成型冲裁复合模的成型站阳模成型流程图	152

11 全自动辊式成型机成型冲裁复合模特殊工艺..... 153

11.1 给形状稳定的容器加衬里	153
11.2 模内贴标 (in-mould-labeling, IML)	154
11.3 用于无边制品的成型冲裁复合模	156
11.4 空腔底杯子热成型	156
11.5 使用阳模和阴模进行热成型	157

12 透明件热成型 158

12.1 透明件成型一般原则	158
12.2 板材成型机成型特点	159
12.3 全自动辊式成型机成型特点	160
12.4 工艺示例——制作透明件	162
12.5 透明件特殊制造工艺	166

13 预印制片料热成型 167

13.1 概述	167
13.2 扭曲印刷确定工序	169

14 冷却制品 172

14.1 脱模温度	172
-----------------	-----

14.2 冷却时间影响因素	173
14.3 使用成型模具冷却	173
14.4 空气冷却	174
14.4.1 板材成型机当前空气冷却技术水平	175
14.4.2 通过使用温度更低的冷却空气来降低模具温度	176

15 脱模 179

16 制造堆垛 182

16.1 概述	182
16.2 使用交错式堆垛棒舌堆垛制品	185

17 热成型部件后加工 187

17.1 分离与切割	187
17.2 去毛刺	189
17.3 连接	190
17.4 回收利用	191

18 冲裁热成型制品 192

18.1 切断	192
18.2 剪切	197
18.3 切断刀和剪切刀对比	203
18.4 冲裁影响因素	204
18.5 形成绒毛	205
18.5.1 切断时减少形成绒毛	208
18.5.2 在成型冲裁复合模中剪切时减少形成绒毛	208
18.6 切口不干净——形成须发	210
18.7 冲裁力	210
18.8 结论	212
18.8.1 单独冲裁站的切断冲裁复合模	212
18.8.2 单独冲裁站的剪切冲裁复合模	213
18.8.3 带切断刀的成型冲裁复合模	213
18.8.4 带剪切刀的成型冲裁复合模	214

18.9 类似的切割工艺	214
--------------------	-----

19 热成型中的修饰工艺 216

20 热成型制品变形 225

20.1 变形影响因素检测	225
20.2 厚部位影响	226
20.3 片料内应力的影响	226
20.4 贴标制品变形	227
20.5 矩形制品的夹持边变形	227
20.6 非等性收缩变形	228
20.7 结论与变形原因	229
20.8 变形提示与注意事项	229

21 热成型模具 231

21.1 概念和定义	231
21.2 成型分段材料	232
21.3 模具材料和款型选择帮助信息	235
21.4 阳模成型或阴模成型	235
21.5 成型面设计	236
21.6 加工收缩率	238
21.7 确定片料规格	239
21.8 底座	240
21.8.1 模具结构原理图	242
21.8.2 板材成型机可调式底座	245
21.8.3 固定格式底座与可调式底座差异	245
21.9 热成型模具构造细节	246
21.9.1 侧壁斜度	246
21.9.2 表面粗糙度	247
21.9.3 半径	249
21.9.4 模具排气与排气截面	250
21.9.5 空腔	253
21.9.6 预拉伸柱塞材质	253
21.9.7 阴模成型的预拉伸柱塞结构	254

21.9.8 阳模模具的预拉伸柱塞	257
21.10 带凹槽的模具	258
21.10.1 无活动件凹槽脱模	258
21.10.2 凹槽脱模活动件（滑块）.....	258
21.11 扁平制品低拉伸度模具构造	259
21.12 透明件成型模具	259
21.13 双片成型模具	260
21.14 薄膜铰链和卡扣模具	265
21.15 全自动辊式成型机中带切断刀的成型冲裁复合模	268
21.16 全自动辊式成型机中带剪切刀的成型冲裁复合模	270
21.17 成型模具预防性检修	279

22 热成型模具调温 281

22.1 概述	281
22.1.1 调温相关概念	281
22.1.2 模具温度的影响	281
22.1.3 省略模具调温的条件	282
22.2 调温介质	282
22.3 制作调温型热成型模具的材料	283
22.4 冷却回路类型	283
22.5 冷却工艺	285
22.6 热成型制品的冷却需求	286
22.6.1 焓值图表	286
22.6.2 焓值表	286
22.6.3 所需模具冷却性能	286
22.7 成型模具调温装置布局	287
22.7.1 待冷却材料量（材料吞吐量）	287
22.7.2 生产过程中所需冷却性能	288
22.7.3 模具冷却水需求	288
22.7.4 冷却水所需接触面积	289
22.7.5 冷却通道总长度	290
22.7.6 水速	290
22.7.7 模具中形成压降	291
22.7.8 成型模具接入机器时形成压降	292
22.8 机器管路中的压降	294
22.9 整个调温回路中的压降	294
22.10 检查所连接的温度控制装置或冷却设备的输送功率	295

22.11 评估检查结果 296

22.12 热传导结构布局方式 296

22.13 空气冷却对模具冷却的影响 297

22.14 预防性检修 297

23 热成型能耗 299

23.1 概述 299

23.2 热成型中的比能耗 300

23.3 能源成本在拉伸件生产成本中所占比例 302

23.4 比能耗降低方式 304

 23.4.1 通过电气驱动节能 305

 23.4.2 降低气压成型能耗 306

 23.4.3 减小压缩空气填充体积，减少成型空气 307

 23.4.4 压力水平的影响 307

 23.4.5 降低加热时的能耗 310

 23.4.6 使用新真空泵节省成本 312

 23.4.7 短冷却时间降低能源成本 312

 23.4.8 管路绝热 313

 23.4.9 露天冷却器取代制冷机和压缩机组 313

 23.4.10 错峰启动加热降低电价 313

 23.4.11 长时间停机时使用节能模式 313

 23.4.12 使用机器基础设置 314

 23.4.13 定期维护 314

 23.4.14 动态过程优化 314

 23.4.15 能耗显示 314

 23.4.16 在生产中测量能耗 314

24 热成型中的故障 315

24.1 制品设计故障 315

24.2 片料出现故障 319

24.3 正确选择热成型机 320

24.4 放置热成型机时出现故障 320

24.5 热成型模具出现故障 320

24.6 驶入新的热成型模具时出现故障 321

24.7 样品检验时出现故障 322

24.8 使用红外线辐射器加热时出现故障 322

24.9 空气和真空管道截面 323

24.10 避免褶皱 323

24.11 热成型故障查找 324

25 参考文献 335

热成型是指在高温条件下，将热塑性材料成型为模塑制品的过程。
热成型也称为热加工，俗称拉深。

图 1.1 所示是热成型类型之一——真空成型的基本过程原理图。

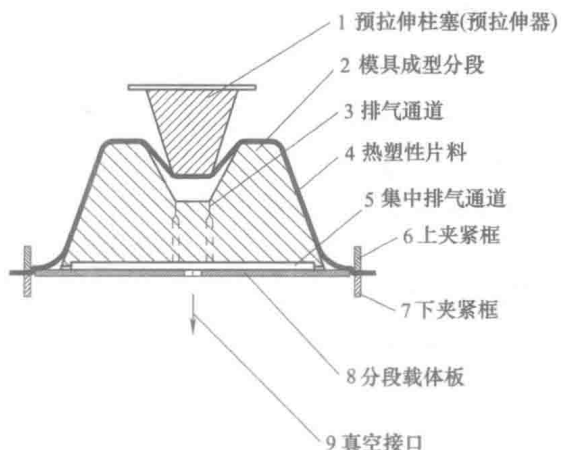


图 1.1 热成型原理图

以下是加工过程的步骤：

- 加热片料，直至其达到弹塑性状态的可再成型温度；
- 借助热成型模具进行模塑成型；
- 在成型压力下冷却，直至制品达到形状稳定的温度；
- 将形状稳定的制品脱模。

成型制品的壁厚取决于片料制造出的面与初始面的拉伸比。成型制品的壁厚分布情况主要取决于成型模具和成型工艺。

塑型精度，即模具结构的成型精度，主要受成型过程中片料的耐温性以及片料和模具面之间有效压力的影响。

制品冷却一般受两个因素的影响：一是制品与成型模具的接触，另一个是制品与大

气或高压空气的接触。

成型后大多数情况下还需要进行切割、熔接、粘接、热封、涂层、金属喷镀、植绒等后续处理。

热成型常称作热加工或拉深，也称为真空成型或气压成型，因成型过程使用真空或（和）压缩气来定型。

热成型的优缺点

在评价一种加工生产工艺是否成功时，要了解选择使用这种加工工艺后是否成本降低的同时质量保持不变，或者，质量变得更好的同时成型形状保持不变。在一些应用领域中，注射成型或吹塑成型与热成型相竞争。但在包装技术领域，热成型是没有竞争对手的——除非使用硬纸板或纸张作为包装材料。

热成型的主要优势如下。

■ 可以使用高熔体黏度的片料生产超薄壁的制品（例如包装材料等），而如果采用注塑工艺生产相同制品，则需要使用熔体黏度极低的树脂，甚至根本无法制作。

■ 热成型工艺可生产药片包装、纽扣电池包装等微型包装材料，也可生产花园水塘等 3 ~ 6m 长的大型制品。此外，由于制品规格和片料厚度不受工艺限制，因此还能低成本生产面积较大的制品。

■ 成型片料的厚度可介于 0.05 ~ 15mm 之间，对于发泡材料，厚度则可达 60mm。

■ 多层成型片料制造的制品具有下列特性：抗弯、抗裂、表面光泽度高、触感柔软、抗滑落、可密封、抗紫外线、具有阻隔性、能在表层下方添加纤维层等。如果某些层黏附性较差，可使用中间层作为粘接层。

■ 热成型工艺也可以加工泡沫材料、纤维增强型材料、包覆有纺织物的热塑性塑料和预印刷材料。

■ 受热成型加工的拉伸影响，制品有更好的取向效果，可以改善其力学特性。

■ 热成型模具仅需要单侧接触制品进行成型，而注塑模具必须通过双侧接触才能形成制品壁厚，因此前者性价比更高。

■ 批量生产时，模具成本低是热成型工艺的优势之一。另一优势是，热成型机器能以高产量生产壁厚较薄的制品。

■ 热成型机器采用模块化设计，能够按照生产需求进行搭配。

■ 生产过程产生的剩料和边料能进行收集并粉碎，回收到片料制造的工序，可重复利用。

热成型的缺点如下。

进行热成型时，使用的片材需将塑料粒料和粉料等原料挤出加工，制造成片料或片卷再放入热成型机加工，与注塑成型相比，热成型的片料成本会额外增加。

在热成型工艺中，片料只有一侧与热成型模具接触，因此制品只会在一侧精准地对应成型模具的几何形状、轮廓，拉伸成型。

未来发展

在塑料加工领域，热成型是最具发展潜力的一种加工方法，它采用模塑成型，适合