Joining of Plastics

Handbook for Designers and Engineers

塑料连接技术

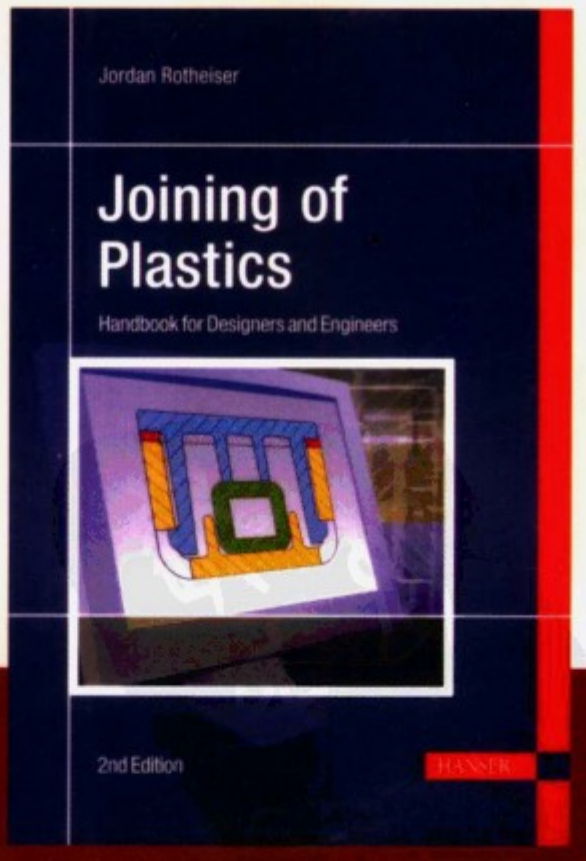
设计师和工程师手册

（原著第二版）

[美] 乔丹·罗泰泽尔 著

Jordan Rotheiser

丁玉梅 杨卫民 陈卫红 等译



Chemical Industry Press

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

Joining of Plastics

Handbook for Designers and Engineers

ISBN 7-5025-8292-4

销售分类建议：化工/高分子化工/塑料工业

ISBN 7-5025-8292-4

定价：65.00元

塑料连接技术

设计师和工程师手册

（原著第二版）

[美] 乔丹·罗泰泽尔 著

丁玉梅 杨卫民 陈卫红 等译

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北 京·

图书在版编目（CIP）数据

塑料连接技术：设计师和工程师手册：第2版/[美] 罗泰泽尔（Rotheiser，J.）著；丁玉梅等译. —北京：化学工业出版社，2006.4
书名原文：Joining of Plastics Handbook for Designers and Engineers
ISBN 7-5025-8292-4

Ⅰ.塑… Ⅱ.①罗…②丁… Ⅲ.塑料-连接技术-手册 Ⅳ.TQ32-62

中国版本图书馆CIP数据核字（2006）第013139号

Joining of Plastics：Handbook for Designers and Engineers，Second Edition/by Jordan Rotheiser
ISBN 3-446-22454-8
Copyright © 2004 by Carl Hanser Verlag GmbH & Co. kG. All rights reserved.
Authorized translation from the English 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。
未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号：01-2005-0879

塑料连接技术
设计师和工程师手册
（原著第二版）
[美] 乔丹·罗泰泽尔 著
丁玉梅 杨卫民 陈卫红 等译
责任编辑：白艳云 杜春阳
文字编辑：李 玥
责任校对：陶燕华
封面设计：潘 峰

*

化学工业出版社
材料科学与工程出版中心 出版发行
（北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029）
购书咨询：(010)64982530
(010)64918013
购书传真：(010)64982630
http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市万龙印装有限公司装订
开本720mm×1000mm 1/16 印张30¼ 字数617千字
2006年4月第1版 2006年4月北京第1次印刷
ISBN 7-5025-8292-4
定 价：65.00元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

译 者 名 单

丁玉梅　　杨卫民　　陈卫红

杨　乐　　耿立波　　李建国

赖士兴　　康凯敏

单位换算表

$t/℃=\frac{5}{9}(t/℉-32)$

1in=0.0254m

1ft=0.3048m

1US gal=3.78541dm^3

1hp=746W

1psi=6894.76Pa

1ft·lb/in=53.34J/m

1dyn/cm=10^{-3}N/m=1mN/m

1oz=$\frac{1}{16}$lb≈28.35g

1lb=0.45359237kg

1mil=25.4×10^{-6}m=25.4μm

1lbf=4.44822N

献　辞

作者谨以此书献给他的妻子盖尔，如果没有她的支持和鼓励，本书可能至今还没有完成；他也希望以此书献给他的家庭，以弥补那些本来应该与家人团聚的日子。

序　言

美国塑料工程师协会（Society of Plastics Engineers，SPE）非常愿意为乔丹·罗泰泽尔所著的《塑料连接技术　设计师和工程师手册》的出版提供赞助。罗泰泽尔先生是塑料应用领域的工程师和工业设计师，在塑料产品的设计方面有超过35年的实践经验，他还是美国塑料工程师协会的知名会员，举办过多次有关塑料装配的研讨会。他的这本简明手册将帮助读者针对具体的应用领域，选择最经济有效的连接方法。

多年以来，美国塑料工程师协会一直通过其技术丛书委员会赞助各种有关塑料书籍的出版。这个委员会的业务范围包括所需书籍的策划、招募新作者以及新书的评论、批准和出版等。

美国塑料工程师协会在涉足的所有领域都有雄厚的技术实力，不仅有书籍的出版，还有其他领域，例如技术研讨会和教育大纲的发起。此外，协会还定期出版如下刊物：《塑料工程》、《聚合物科学与工程》、《注射成型技术学报》、《乙烯基与添加剂技术学报》、《聚合物复合材料》及会议文集和其他出版物，所有内容都需要经过严格的技术评价过程。

美国塑料工程师协会是一个涉及领域广泛的庞大组织，大约有36000名经验丰富的塑料研究领域的工程师、科学家和技术人员在这里工作，如果您希望进一步了解这个组织，请与如下地址联系：Fairfield Drive 14，Brookfield，康涅狄格06804，美国。

Michael A. Cappelletti
美国塑料工程师协会执行主任

技术丛书委员会：
Robert C. Portnoy，Chairperson
Exxon 化学公司

评论人：
Billy Chow 博士
IBM 公司

前　言

当塑料作为一种产品制造材料最初出现的时候，人们只是采用与其他材料相同的方法对塑料零件进行设计与装配。随着时间的推移，塑料家族的独特性质和制造工艺才逐渐被发现。有创造性的设计者和工程师们不久就认识到，与传统材料制作的产品比较，塑料产品的销售价格可以大幅降低。

采用塑料之所以能够降低产品成本，很大程度上是因为产品的组装零件可以减少，而且通过采用科学的塑料零件连接方法，产品的组装效率也有所提高。然而塑料产品的设计要比金属产品设计复杂得多，因为塑料的物理特性在通常的使用范围内，受温度和化学环境的影响非常大。此外，可以采用的连接方法也必须随着零件的材料和工艺方法而变化。

在多年的设计和工程实践中，作者发现现有的参考资料普遍忽视了装配、材料和塑料制造工艺之间的相互关系，读者只能通过亲自实践才能发现这些相互关系。在本书里，各种塑料成型工艺所限制使用的装配方法将在第 6 章“按照工艺选择装配方法”进行介绍；第 5 章“按照材料选择装配方法”将提供各种树脂限制使用的装配方法，在适当的情况下，还提供了可以接受的装配公差范围。此外，可以采用的装配工艺还受到零件尺寸的限制，具体内容请参考相应的章节。

从理论上讲，提高塑料产品组装效率的最好方法就是完全取消组装工艺，将产品一次成型。这样不但能够节省装配工时，也减少了购买、检测、仓储、资金需求和零件费用等。当然，完全取消组装工艺几乎是不可能的，但大量减少组装零件的数量通常是可以实现的。在大多数情况下，通过将现有生产工艺中的塑料零件进行合并就可以大大减少零件的数量。但是将零件合并有时候会导致零件过于复杂，使复杂零件的制造成本比简单零件的制造成本与装配成本之和还要高。在本书作者设计的最成功的产品成本降低方法中，许多方法都对产品的原有生产工艺与制造材料进行改变，而且作者认为本书很重要的一点就是将这种方法在书中进行介绍。作者在书中还设计了一个表格，其中说明了每种组装工艺适用的产品尺寸范围。

本书也包括塑料产品拆卸与回收所需要部件的设计。另外，为了避免零件弯曲或者变形导致无法装配，本书还提供了一些制作零件的基本工艺原理。相应的制作技术也达到了更高的水平，只有这两者结合，才可以称为“塑料零件的全方位设计”。

在设计章节之后是一些装配方法章节，可以说本书的剩余部分基本上都是装配方法的有关内容。对 14 个主要的目前常用的塑料产品紧固和连接装配方法，本书分章进行通篇论述，从而提高了本书的参考价值。这是一本非常专注于“怎么去

做”的书，包括大量的设计细节，别处恐怕难以找到，而且书中还有很多插图，既可以作为案头的参考书，也可以作为一本设计指南使用。

在当前快节奏的设计环境下，工程师们很少有闲暇来读一整本书。作者通常发现自己在拿到一本书后，往往希望能够通过最快捷的方式找到所需资料。当浏览一本参考书目录的时候，本书作者希望那本书可以按照这种快捷的方式阅读。作者也相信，其他工程师也会有同感，因此本书就是按照这种快捷的方式设计的。在第1章“快速指南和效率手册”，读者可以浏览各种各样的装配方法，并决定哪一个是手头工作最可能的解决方法，然后直接阅读相应的章节。为了更好地便于读者阅读，每一章的开头都列出了本章将讨论的装配方法的优缺点。作者希望，他的这种努力可以为本书读者提供一种快速有效的连接方案。

Highland Park，Illinois

致谢

作者首先诚挚地感谢 Glenn Beall 有限公司的 Glenn Beall 先生，是他在许多年以前将作者引入到塑料领域，并提供许多参考资料，在过去的那些年，作者从他那里学到了大量的有关塑料的知识。作者还要对下面的几位先生致以诚挚的感谢，感谢他们在他们所熟知的领域为本书相关章节花费时间和精力进行仔细审阅，他们是：

Paul Burleigh（Forward 技术工业公司）

Mark Caldwell（声能和材料公司）

Jeffrey Franz（Branson 超声波公司）

David A. Grewell（俄亥俄州立大学）

Michael Luehr（Hermann 超声波）

Herbert Mikeworth（Dukane 公司）

Kishor Mehta（Bayer）

Jim Nordgren（3M）

Don Schewe（Forward 技术工业公司）

Zan Smith 博士（Ticona）

Michael Topping（Ashland 化学）

除了列于本书中的那些参考内容外，作者还要对为本书获得所用资料提供信息和辅助的下列人员表示感谢：

J. Andrew Besuyen（Branson 塑料连接）

John Bottelle（Emhart Helicoil）

Steve Chookazian（Ashland 化学）

Ed Collins（Kamweld 制品合作公司）

Shawn Dalton（服务构造学公司）

Russel Diluciano（V 和 A 工艺）

Jonathan Gorbold（Ameritherm 公司）

Steve Ham（Steve Ham 公司）
Peter Hebert（Forward 技术工业公司）
Steven A. Kocheny（Leister 技术，LLC）
Junusz Lachowski（声能和材料公司）
Tom Hoyer（Tom Hoyer 及其合作公司）
Nicholas Nagurny（Montell 北美）
Robert T. Ruffini（Fluxtrol 公司）
Jerry Zybko（Leister 技术，LLC）
最后，作者对列在本书参考内容中的人们表示感谢；对过去多年一直在塑料行业努力工作，对本书的出版有过任何贡献的人表示感谢。

乔丹·罗泰泽尔
Jordan Rotheiser

内 容 提 要

本书为一本实用手册，主要论述了塑料连接的基础理论和应用，另外还从设计、选材、加工和装配等方面全方位地阐述了连接方法。全书共分为21章，内容包括高效装配设计、降低装配成本、拆卸和回收设计、按照材料选择装配方法、按照工艺选择装配方法、胶黏剂和溶剂连接、紧固件和嵌件、铰链连接、热板/热口膜/熔接焊接和热金属丝/电阻焊接、热气体焊接、感应/电磁焊接、嵌件和多零件成型、压力配合/受力配合/干涉配合/收缩配合、卡扣连接、旋转焊接、立锻/模锻/锤锻/冷锻/冷成型、螺纹：攻丝和模塑、超声波焊接、振动焊接、激光焊接等。本书的最大特点是在各章节分别为解决在塑料制品生产行业中存在的大量“怎么做”的实际问题进行了具体阐述，实用性非常强。为提高读者工作效率，本书还专辟第1章作为“快速指南和效率手册”，读者只要翻开第1章就可方便快捷地找到欲解决实际问题所在的章节。

本书适用于从事塑料制品设计及应用的工程技术人员、相关专业大中专院校师生及科研人员。

目　录

绪论 …… 1

第 1 章　快速指南和效率手册 …… 5

1.1　效率手册 …… 5

1.2　快速指南 …… 6

1.2.1　胶黏剂（第 7 章） …… 6

1.2.1.1　液态：溶剂基、水溶基和厌氧基的胶黏剂 …… 6

1.2.1.2　乳香 …… 6

1.2.1.3　热熔焊接 …… 7

1.2.1.4　压敏黏合 …… 7

1.2.2　紧固件和嵌件（第 8 章） …… 7

1.2.3　铰链连接（第 9 章） …… 7

1.2.4　热板/热口模/熔融焊接和热金属丝/电阻焊接（第 10 章） …… 8

1.2.5　热气体焊接（第 11 章） …… 8

1.2.6　感应焊接（第 12 章） …… 8

1.2.7　嵌件成型（第 13 章） …… 9

1.2.8　多零件成型（第 13 章） …… 9

1.2.9　压力配合/受力配合/干涉配合/收缩配合（第 14 章） …… 9

1.2.10　溶剂连接（第 7 章） …… 9

1.2.11　卡扣连接（第 15 章） …… 10

1.2.12　旋转焊接（第 16 章） …… 10

1.2.13　立锻/模锻/锤锻/冷锻/冷成型（第 17 章） …… 10

1.2.14　模塑螺纹（第 18 章） …… 11

1.2.15　攻丝螺纹（第 18 章） …… 11

1.2.16　超声波焊接（第 19 章） … 11

1.2.17　振动焊接（第 20 章） …… 11

1.2.18　激光焊接（第 21 章） …… 12

1.3　按照尺寸选择装配方法 …… 12

1.4　按照连接时间选择装配方法 …… 13

第 2 章　高效装配设计 …… 14

2.1　避免零件变形 …… 14

2.2　内角应力 …… 15

2.3　筋和凸台 …… 16

2.4　拔模斜度 …… 17

2.5　收缩 …… 19

2.6　配合 …… 20

2.6.1　塑料装配的作图惯例 …… 20

2.6.2　装配公差的重要性 …… 22

2.6.3　针对塑料零件的特殊拔模斜度方法 …… 24

2.6.4　制定公差范围的步骤 …… 27

2.7　塑料零件中更松的配合公差的设计方法 …… 28

2.7.1　三点定位 …… 29

2.7.2　中空凸台 …… 30

2.7.3　滚压加强筋 …… 31

2.7.4　柔性加强筋 …… 31

2.7.5　内/外配合 …… 32

2.7.6　阶梯装配 …… 33

2.8　大型制品的更松的公差范围 …… 33

2.8.1　现场钻孔 …… 33

2.8.2　带有垫圈的大孔 …… 33

2.8.3　交叉槽 …… 34

2.8.4　功能分离 …… 34

2.8.5　拐角间隙 …… 34

2.9　半燕尾连接 …… 35

2.10　尽可能地降低外观不重合度的影响 …… 36

2.11　装配用塑料产品设计清单 …… 36

2.12　测试 …… 36

第 3 章　降低装配成本 …… 39

3.1　概述 …… 39

3.2　采用微型化减少零件数目 …… 39

3.2.1　通过材料来组合零件 …… 40

3.2.2 通过工艺来组合零件 …… 41
3.3 大型化方式来减少零件 …… 41
3.3.1 复合材料成型工艺 …… 45
3.3.2 共挤成型 …… 45
3.3.3 共注成型 …… 46
3.3.4 多部件或双色共注成型 …… 46
3.4 减少紧固件 …… 46
3.4.1 一个紧固件连接多个零件 … 46
3.4.2 压力配合和卡扣配合 …… 47
3.4.3 集成铰链 …… 47
3.4.4 通过组合消除紧固件的理念 …… 48
3.5 整体设计 …… 49
3.5.1 设计的总体考虑 …… 49
3.5.2 螺纹设计 …… 50
3.5.3 工艺性考虑 …… 50
3.5.4 加工考虑 …… 51
3.5.5 实施 …… 51
3.5.6 面向整体的设计 …… 52
第 4 章 拆卸和回收设计 …… 53
4.1 概述 …… 53
4.2 拆卸设计 …… 54
4.2.1 重复开启的装配 …… 54
4.2.2 永久性装配 …… 57
4.3 回收设计 …… 58
4.3.1 简化 …… 58
4.3.2 装配方法选择 …… 58
4.3.2.1 可重复打开的方法 …… 58
4.3.2.2 永久的方法 …… 59
4.3.3 材料的选择 …… 59
4.3.4 添加剂 …… 60
4.3.5 污染 …… 61
4.3.6 减少材料 …… 61
4.3.7 认证和拆卸说明书 …… 62
第 5 章 按照材料选择装配方法 …… 63
5.1 热塑性塑料与热固性塑料 …… 63
5.2 无定形与结晶（半结晶）热塑性塑料 …… 64
5.2.1 成型后收缩率 …… 65
5.2.2 线性热膨胀系数 …… 65
5.2.3 焊接性能 …… 65
5.2.4 溶剂密封性 …… 65
5.3 热固性塑料 …… 66
5.4 按照材料选择装配方法 …… 66
5.4.1 所选材料的性能及与装配相关的数据 …… 68
5.4.2 胶黏剂 …… 97
5.4.3 SPI 标准的使用 …… 97
第 6 章 按照工艺选择装配方法 …… 139
6.1 概述 …… 139
6.2 吹塑 …… 139
6.2.1 工艺 …… 139
6.2.2 装配考虑 …… 139
6.3 铸造、浇铸以及灌铸 …… 141
6.3.1 工艺 …… 141
6.3.2 装配考虑 …… 141
6.4 共挤成型 …… 141
6.5 共注成型 …… 142
6.6 冷压成型 …… 142
6.6.1 工艺 …… 142
6.6.2 装配考虑 …… 142
6.7 压制成型 …… 143
6.7.1 工艺 …… 143
6.7.2 BMC：预制整体模塑料 …… 143
6.7.3 SMC：片状成型料 …… 143
6.7.4 装配考虑 …… 143
6.8 挤出成型 …… 144
6.8.1 工艺 …… 144
6.8.2 共挤出工艺 …… 145
6.8.3 装配考虑 …… 146
6.9 缠绕成型 …… 146
6.9.1 工艺 …… 146
6.9.2 装配考虑 …… 146
6.10 气体辅助注射成型 …… 147
6.11 气控压塑结构发泡成型 …… 147
6.12 注塑成型 …… 147
6.12.1 工艺 …… 147
6.12.2 装配方法 …… 148
6.13 叠铺成型和喷射成型 …… 149
6.13.1 工艺 …… 149
6.13.2 装配考虑 …… 150
6.14 机加工 …… 150

6.14.1 工艺 …… 150
6.14.2 热塑性塑料 …… 150
6.14.3 热固性塑料 …… 151
6.14.4 装配考虑 …… 151
6.15 拉挤成型 …… 152
6.15.1 工艺 …… 152
6.15.2 装配考虑 …… 152
6.16 反应注塑成型（RIM） …… 153
6.16.1 工艺 …… 153
6.16.2 装配考虑 …… 154
6.17 树脂传递模塑（RTM） …… 154
6.17.1 工艺 …… 154
6.17.2 装配考虑 …… 154
6.18 滚塑成型 …… 155
6.18.1 工艺 …… 155
6.18.2 装配考虑 …… 157
6.19 结构发泡成型、气体辅助结构发泡成型以及共注塑成型 …… 158
6.19.1 工艺 …… 158
6.19.2 装配考虑 …… 159
6.20 热成型 …… 160
6.20.1 工艺 …… 160
6.20.2 薄片热成型 …… 160
6.20.3 厚片热成型 …… 161
6.20.4 压制热成型 …… 162
6.20.5 其他的成型工艺 …… 162
6.20.6 装配 …… 162
6.21 双片热成型工艺 …… 163
6.21.1 工艺 …… 163
6.21.2 装配考虑 …… 163
6.22 传递模塑成型 …… 164
6.22.1 工艺 …… 164
6.22.2 装配考虑 …… 164
6.23 工艺的选择 …… 165
6.23.1 热塑性开放式零件 …… 165
6.23.2 热固性开放式零件 …… 167
6.23.3 中空零件 …… 168
6.23.4 异型材 …… 168
6.23.5 超高强度零件 …… 169
第7章 胶黏剂和溶剂连接 …… 170
7.1 优点与缺点 …… 170
7.1.1 优点 …… 170
7.1.2 缺点 …… 171
7.2 基本理论和术语 …… 172
7.3 塑料表面湿润性的测量方法 …… 174
7.3.1 接触角测量 …… 174
7.3.2 湿润张力测量（ASTM D-2578-73，聚乙烯和聚丙烯薄膜的湿润张力） …… 174
7.3.3 粘接率测试（试行标准 ASTM D-2141-63 R） …… 174
7.3.4 水蔓延试验 …… 174
7.3.5 染色残留测试 …… 175
7.3.6 墨水保留测试 …… 175
7.4 表面处理 …… 176
7.4.1 溶剂清洗 …… 176
7.4.1.1 溶剂浸泡 …… 177
7.4.1.2 溶剂擦拭 …… 177
7.4.1.3 溶剂喷洗 …… 177
7.4.1.4 蒸汽脱脂 …… 177
7.4.1.5 超声蒸汽脱脂 …… 177
7.4.1.6 液体超声清洗 …… 177
7.4.2 研磨方法 …… 177
7.4.2.1 干磨 …… 177
7.4.2.2 干喷砂法 …… 178
7.4.2.3 湿喷砂法 …… 178
7.4.2.4 湿研磨剂冲刷 …… 178
7.4.2.5 清洗剂擦洗 …… 178
7.4.3 表面能处理和工艺参数选择 …… 178
7.4.3.1 化学处理 …… 178
7.4.3.2 电晕处理 …… 179
7.4.3.3 等离子处理 …… 180
7.4.3.4 火焰处理 …… 180
7.4.3.5 工艺参数的选择 …… 181
7.4.4 表面处理保存期限 …… 181
7.5 粘接设计 …… 181
7.5.1 剪切应力 …… 181
7.5.2 拉伸应力 …… 182
7.5.3 裂开应力 …… 182
7.5.4 剥离应力 …… 182
7.5.5 胶黏接头设计 …… 183

7.5.5.1 承载接头或无载接头 …… 183
7.5.5.2 搭接接头 …… 183
7.5.5.3 对接接头 …… 187
7.5.5.4 螺钉和胶合 …… 189
7.6 胶黏剂 …… 190
7.6.1 丙烯酸树脂 …… 196
7.6.2 厌氧胶黏剂 …… 196
7.6.3 氰基丙烯酸盐胶黏剂 …… 196
7.6.4 环氧树脂 …… 197
7.6.5 热熔体 …… 197
7.6.6 酚醛 …… 198
7.6.7 聚氨酯 …… 198
7.6.8 多硫化物 …… 198
7.6.9 压敏胶黏剂 …… 199
7.6.10 聚硅氧烷 …… 199
7.6.11 溶剂基胶黏剂 …… 199
7.6.12 水基胶黏剂 …… 199
7.7 溶剂 …… 200
7.8 胶黏剂和溶剂装配技术 …… 202
7.8.1 固定装置 …… 202
7.8.2 夹紧装置 …… 203
7.8.3 应用方法 …… 204
7.8.3.1 毛细管法 …… 204
7.8.3.2 浸渍或浸泡的方法 …… 204
7.9 胶黏剂和溶剂系统的选择 …… 205
7.10 专业术语 …… 207
7.11 资料来源 …… 208
第 8 章 紧固件和嵌件 …… 211
8.1 优点和缺点 …… 211
8.1.1 使用紧固件的优点 …… 211
8.1.2 使用紧固件的缺点 …… 211
8.2 紧固件设计基本考虑 …… 212
8.2.1 蠕变影响 …… 213
8.2.2 应力松弛的影响 …… 214
8.2.3 缺口敏度 …… 214
8.2.4 抗龟裂 …… 214
8.2.5 刚度注意事项 …… 215
8.2.6 线性热膨胀系数的差别 …… 215
8.2.7 潮湿对性能的负面影响 …… 216
8.2.8 夹紧力 …… 216
8.2.8.1 应变法 …… 216
8.2.8.2 扭矩法 …… 217
8.2.9 抗振动 …… 217
8.3 塑料中使用紧固件的方法 …… 218
8.3.1 压入式紧固件 …… 218
8.3.2 自攻螺钉 …… 218
8.3.2.1 塑料螺纹的强度 …… 219
8.3.2.2 展成螺纹螺钉和切削螺纹螺钉 …… 220
8.3.3 特种螺钉 …… 222
8.3.3.1 窄螺纹牙形 …… 222
8.3.3.2 改变齿高 …… 222
8.3.3.3 不对称螺纹牙形 …… 223
8.4 自攻螺钉的选择 …… 223
8.4.1 成本标准 …… 223
8.4.2 失效/驱动率和差值 …… 223
8.4.3 强度标准 …… 224
8.4.4 切削螺纹或展成螺纹 …… 224
8.4.5 攻丝或模塑成型螺纹 …… 225
8.5 螺纹嵌件：优点 …… 226
8.6 凸台帽 …… 227
8.7 螺旋线圈嵌件 …… 227
8.8 自攻丝嵌件 …… 227
8.9 压入式嵌件 …… 228
8.10 胶接嵌件 …… 228
8.11 膨胀嵌件 …… 228
8.12 模塑嵌件 …… 229
8.13 超声波嵌件 …… 229
8.14 热装嵌件 …… 231
8.15 感应嵌件 …… 232
8.16 真空密封 …… 233
8.17 螺柱 …… 233
8.18 嵌件设计考虑 …… 233
8.19 U 形或 J 形夹 …… 234
8.20 T 形螺母 …… 234
8.21 机制螺钉 …… 234
8.22 攻丝板和螺柱板 …… 236
8.23 塑料螺钉 …… 236
8.24 螺钉头和垫圈 …… 237
8.25 凸台设计 …… 237
8.25.1 设计标准 …… 237

8.25.2 凸台缩痕 …… 240
8.25.2.1 挖芯 …… 240
8.25.2.2 定位 …… 240
8.25.2.3 支撑 …… 240
8.25.2.4 材料 …… 241
8.25.2.5 表面处理 …… 241
8.25.3 熔接痕 …… 241
8.26 自攻螺母 …… 242
8.27 螺旋螺母 …… 243
8.28 压入式螺母 …… 243
8.29 弹簧夹 …… 243
8.30 推入式紧固件 …… 244
8.31 铆钉 …… 244
8.32 资料来源 …… 245
8.32.1 紧固件和嵌件 …… 245
8.32.2 螺纹嵌件 …… 247
8.32.3 热装设备 …… 247
8.32.4 感应安装设备 …… 247
8.32.5 超声波安装设备 …… 248
第9章 铰链连接 …… 249
9.1 优点和缺点 …… 249
9.1.1 优点 …… 249
9.1.2 缺点 …… 249
9.2 单件集成铰链 …… 249
9.2.1 活动铰链 …… 250
9.2.1.1 活动铰链设计 …… 251
9.2.1.2 活动铰链成型要点 …… 253
9.2.1.3 活动铰链其他成型工艺 …… 256
9.2.2 米拉弹簧铰链 …… 258
9.2.3 标准铰链 …… 260
9.2.4 平面铰链 …… 260
9.3 两片集成塑料铰链 …… 260
9.3.1 球-窝型铰链 …… 261
9.3.2 拉片与销两片集成连接器 …… 261
9.3.3 钩眼集成连接器 …… 262
9.4 三片集成铰链 …… 262
9.4.1 拉片与销三片集成铰链 …… 262
9.4.2 钢琴铰链 …… 263
9.5 弹簧锁 …… 263
9.5.1 卡扣 …… 263
9.5.2 Rathbun 弹簧 …… 263
9.6 铰链的数量和使用的位置 …… 264
第10章 热板/热口模/熔融焊接和热金属丝/电阻焊接 …… 265
10.1 优点和缺点 …… 265
10.1.1 简介 …… 265
10.1.2 优点 …… 265
10.1.3 缺点 …… 266
10.2 材料 …… 267
10.3 工艺 …… 267
10.4 热板焊接类型 …… 270
10.4.1 低温热板焊接 …… 271
10.4.2 高温热板焊接 …… 271
10.4.3 非接触热板焊接 …… 271
10.5 热板焊接接头设计 …… 272
10.6 装备 …… 273
10.7 热金属丝/电阻焊 …… 274
10.8 资料来源 …… 274
第11章 热气体焊接 …… 276
11.1 优点和缺点 …… 276
11.1.1 优点 …… 276
11.1.2 缺点 …… 276
11.2 加工方法 …… 276
11.2.1 点焊 …… 277
11.2.2 永久热气体焊接 …… 277
11.2.3 高速焊接 …… 278
11.2.4 挤焊 …… 279
11.3 接头设计 …… 280
11.4 焊接实践 …… 281
11.4.1 外观问题 …… 282
11.4.2 裂纹问题 …… 283
11.4.3 变形 …… 283
11.4.4 熔合问题 …… 283
11.4.5 焊穿 …… 283
11.4.6 气孔 …… 284
11.4.7 烧焦 …… 284
11.5 焊接测试 …… 284
11.5.1 非破坏性测试 …… 284
11.5.1.1 视觉检查 …… 284

11.5.1.2 泄漏测试 …… 284
11.5.2 破坏性测试 …… 284
11.5.2.1 拉伸试验 …… 284
11.5.2.2 弯曲试验 …… 285
11.5.2.3 焊条取出试验 …… 285
11.5.3 化学试验 …… 285
11.5.4 火花试验 …… 285
11.6 应用 …… 285
11.7 资料来源 …… 285
11.7.1 焊条 …… 285
11.7.2 焊接设备 …… 286
11.7.3 焊条和设备 …… 286
第 12 章 感应/电磁焊接 …… 287
12.1 概述 …… 287
12.2 优点和缺点 …… 287
12.2.1 优点 …… 287
12.2.2 缺点 …… 288
12.3 设备 …… 289
12.4 加工方法 …… 290
12.5 线圈 …… 291
12.5.1 单圈线圈 …… 291
12.5.2 束发夹线圈 …… 291
12.5.3 多圈线圈 …… 292
12.5.4 分流线圈 …… 292
12.5.5 其他形式的线圈 …… 292
12.5.6 线圈定位 …… 293
12.5.7 磁通量集中器 …… 293
12.6 材料 …… 293
12.6.1 聚合物 …… 293
12.6.2 电磁材料 …… 294
12.6.2.1 模塑预成型 …… 295
12.6.2.2 热熔电磁材料 …… 295
12.6.2.3 液态电磁材料 …… 295
12.7 接头设计 …… 295
12.8 封装 …… 297
12.9 薄膜和片材 …… 297
12.9.1 间歇密封 …… 297
12.9.2 连续密封 …… 298
12.10 塑料中插入金属 …… 298
12.11 资料来源 …… 299
第 13 章 嵌件和多零件成型 …… 300
13.1 概述 …… 300
13.2 嵌件成型 …… 300
13.2.1 嵌件模塑成型的优点 …… 300
13.2.2 嵌件模塑成型的缺点 …… 301
13.2.3 螺纹嵌件的设计 …… 301
13.2.4 带螺纹嵌件模具设计考虑 …… 304
13.2.5 用户设计的嵌件 …… 305
13.2.6 外露件:嵌件比模具大 …… 308
13.2.7 真空密封 …… 308
13.2.8 嵌件准备 …… 309
13.2.9 修饰性嵌件 …… 309
13.3 多零件模塑成型 …… 311
13.3.1 概述 …… 311
13.3.2 多零件模塑成型的优点 … 311
13.3.3 多零件模塑成型的缺点 … 312
13.3.4 工艺 …… 312
13.3.5 材料 …… 313
13.4 资料来源 …… 314
第 14 章 压力配合/受力配合/干涉配合/收缩配合 …… 316
14.1 优点和缺点 …… 316
14.1.1 优点 …… 316
14.1.2 缺点 …… 316
14.2 压力配合工程 …… 317
14.2.1 工程符号 …… 317
14.2.2 几何因子 …… 318
14.2.3 由温度改变带来的变化 … 318
14.2.4 环应力 …… 319
14.2.4.1 塑料凸台中的金属轴 …… 319
14.2.4.2 同种材料的轴和凸台 …… 319
14.2.4.3 不同塑料制成的轴和凸台 …… 319
14.2.4.4 快速法 …… 319
14.2.5 装配力和拆卸力 …… 320
14.2.6 由装配引起的尺寸变化 … 320
14.2.7 关系 …… 321
14.2.8 方程限制 …… 321
14.3 安全因子 …… 325

14.4 加工 …… 325
14.5 材料选择 …… 326
14.6 零件设计 …… 326
14.6.1 重载压力配合 …… 326
14.6.2 轻载或可打开型压力配合 …… 326
14.6.3 非圆形的配合 …… 327
第 15 章 卡扣连接 …… 329
15.1 优点和缺点 …… 329
15.1.1 优点 …… 329
15.1.2 缺点 …… 330
15.2 综合应用 …… 331
15.3 一般工程原理 …… 331
15.3.1 允许的动应变 …… 331
15.3.2 角应力集中 …… 332
15.3.3 当两个零件都是弹性体时的工程调整 …… 333
15.3.4 有限元分析 …… 333
15.4 悬臂卡扣连接 …… 334
15.4.1 悬臂卡扣连接设计 …… 334
15.4.2 悬臂卡扣连接工程学 …… 336
15.5 圆柱形、环形、周向或有环纹的卡扣连接 …… 341
15.5.1 圆柱形卡扣连接设计 …… 341
15.5.2 圆柱形、环形、周向形或有环纹的卡扣连接的工程学问题 …… 342
15.5.2.1 最大容许干涉 …… 342
15.5.2.2 横向力和轴向力 …… 342
15.6 旋转卡扣连接 …… 344
15.6.1 旋转卡扣连接的设计 …… 344
15.6.2 旋转卡扣连接的工程问题 …… 345
15.7 易剥落卡扣连接 …… 346
15.8 注塑成型工艺 …… 347
15.9 卡扣连接成型模具 …… 348
15.9.1 注塑模基本结构 …… 348
15.9.2 易剥落模具的顶出系统和冷却系统 …… 350
15.9.3 非脱落式模具的型芯 …… 352
15.9.4 模具型腔内卡扣件的具体结构 …… 353
15.10 结论 …… 355
第 16 章 旋转焊接 …… 356
16.1 旋转焊接介绍 …… 356
16.2 旋转焊接的优点及缺点 …… 356
16.2.1 优点 …… 356
16.2.2 缺点 …… 357
16.3 旋转焊接工艺 …… 357
16.4 材料 …… 360
16.5 旋转焊接的设计 …… 361
16.5.1 总体设计考虑 …… 361
16.5.2 连接设计 …… 361
16.6 旋转焊接设备 …… 362
16.6.1 基于钻床的旋转焊机 …… 362
16.6.1.1 用于钻床式惯性焊接的工具 …… 363
16.6.1.2 用于钻床类枢轴（中心点）焊的工具 …… 363
16.6.2 商用惯性旋转焊机 …… 364
16.6.3 商用直接驱动旋转焊机 … 364
16.7 资料来源 …… 366
第 17 章 立锻/模锻/锤锻/冷锻/冷成型 …… 367
17.1 立锻/冷成型的优点和缺点 …… 367
17.1.1 优点 …… 367
17.1.2 缺点 …… 367
17.2 立锻 …… 368
17.2.1 桩柱的冷成型 …… 368
17.2.2 热气锻/冷锻 …… 370
17.2.3 超声波冷成型 …… 371
17.2.4 立柱热压模成型（热锻） …… 371
17.2.5 立柱的超声波热成型 …… 371
17.2.6 激光立锻 …… 373
17.3 立锻设计 …… 373
17.3.1 立柱 …… 373
17.3.2 立柱头 …… 374
17.4 模锻 …… 376
17.5 资料来源 …… 377
17.5.1 热锻 …… 377

17.5.2 热气体/冷锻 …… 378
17.5.3 激光锻 …… 378
17.5.4 超声波 …… 378
第 18 章 螺纹：攻丝和模塑 …… 379
18.1 整体螺纹的优点和缺点 …… 379
18.1.1 两种类型螺纹共同的优点 …… 379
18.1.2 两种螺纹共同的缺点 …… 379
18.2 在塑料上钻孔和攻丝 …… 379
18.2.1 攻丝螺纹独一无二的优点 …… 380
18.2.2 攻丝螺纹特有的不足之处 …… 380
18.2.3 在塑料上钻孔 …… 380
18.2.4 在塑料上铰孔 …… 381
18.2.5 在塑料上攻丝 …… 384
18.3 在塑料上模塑螺纹 …… 384
18.3.1 模塑螺纹特有的优点 …… 384
18.3.2 模塑螺纹特有的缺点 …… 384
18.3.3 螺纹设计 …… 384
18.3.4 用于模塑螺纹的模具 …… 387
18.3.4.1 成型内螺纹的脱模式模具 …… 387
18.3.4.2 成型内螺纹的剖分型芯式模具 …… 388
18.3.4.3 成型外螺纹的可扩展式型腔模具 …… 389
18.3.4.4 成型外螺纹的对开式模具 …… 389
18.3.4.5 成型内螺纹的旋下式模具 …… 391
18.3.4.6 旋下型夹盘式模具 … 391
18.3.4.7 成型螺纹圈数少于一圈制品的模具 …… 391
18.4 资料来源 …… 391
18.4.1 部分型芯和型腔 …… 391
18.4.2 旋下式卡盘 …… 391
第 19 章 超声波焊接 …… 392
19.1 超声波焊接的优点和缺点 …… 392
19.1.1 优点 …… 392
19.1.2 缺点 …… 393
19.2 常规应用 …… 393
19.3 超声波焊接的原理 …… 394
19.4 超声波焊接材料 …… 394
19.4.1 添加剂和污染物 …… 398
19.4.1.1 着色剂 …… 398
19.4.1.2 填充剂、增量剂和纤维增强材料 …… 398
19.4.1.3 阻燃剂 …… 398
19.4.1.4 发泡剂 …… 399
19.4.1.5 冲击改性剂 …… 399
19.4.1.6 润滑剂 …… 399
19.4.1.7 脱模剂 …… 399
19.4.1.8 涂层零件 …… 399
19.4.1.9 增塑剂 …… 399
19.4.1.10 回用料 …… 399
19.5 超声波零件的设计 …… 400
19.5.1 超声波焊接总体考虑 …… 400
19.5.1.1 强度要求 …… 400
19.5.1.2 外观要求 …… 400
19.5.1.3 刚度要求 …… 400
19.5.2 接头设计基础 …… 402
19.5.2.1 零件的对中 …… 403
19.5.2.2 均匀的振动移动距离 …… 403
19.5.2.3 最小初始接触面积 … 403
19.5.3 能量导向接头 …… 404
19.5.3.1 对接接头 …… 404
19.5.3.2 接头布置 …… 405
19.5.3.3 纹理表面 …… 406
19.5.3.4 台阶式接头 …… 407
19.5.3.5 榫槽接头 …… 408
19.5.3.6 薄壁零件的接头 …… 408
19.5.4 剪切接头 …… 408
19.5.5 密封 …… 411
19.5.6 扫描焊接 …… 412
19.5.7 螺柱焊接、立锻、模锻和点焊 …… 412
19.5.7.1 立锻和模锻 …… 413
19.5.7.2 螺柱焊接 …… 413
19.5.7.3 点焊 …… 415
19.6 织物薄膜密封 …… 417

19.7 超声波焊接设备 …… 419
19.7.1 基本原理 …… 419
19.7.2 能量发生器 …… 419
19.7.3 换能器 …… 419
19.7.4 变幅杆 …… 420
19.7.5 焊头 …… 421
19.7.6 定位器 …… 422
19.7.7 控制器 …… 423
19.7.8 设备频率 …… 424
19.7.9 超声波焊接的自动化 …… 425
19.8 资料来源 …… 425
第 20 章 振动焊接 …… 427
20.1 优点和缺点 …… 427
20.1.1 与超声波焊接比较 …… 427
20.1.2 振动焊接的优点 …… 427
20.1.3 振动焊接的缺点 …… 428
20.2 振动焊接过程 …… 429
20.2.1 线性振动焊接 …… 430
20.2.2 轨道振动焊接 …… 430
20.2.3 角振动焊接 …… 431
20.3 材料 …… 431
20.4 振动焊接零件的设计 …… 433
20.4.1 基本考虑 …… 433
20.4.2 线性振动焊接接头设计 … 434
20.5 设备 …… 437
20.6 资料来源 …… 438
第 21 章 激光焊接 …… 439
21.1 优点和缺点 …… 439
21.1.1 无接触、表面、直接、对接激光焊接 …… 439
21.1.2 激光铆焊 …… 440
21.1.3 透射传输红外线激光焊接 …… 440
21.1.4 透射传输激光焊接的优点 …… 440
21.1.5 透射传输激光焊接的缺点 …… 442
21.2 激光焊接步骤 …… 442
21.2.1 激光 …… 442
21.2.2 基本的透射传输激光焊接方法 …… 444
21.2.3 点焊或轮廓线焊接 …… 445
21.2.4 同时操作的透射传输红外线激光焊接（STTIr） …… 446
21.2.5 准同步激光焊接 …… 447
21.2.6 掩膜焊接（Leister 公司专利方法） …… 447
21.3 激光焊接材料 …… 449
21.3.1 影响激光焊接性能的材料特性 …… 449
21.3.2 材料选择性质中的折射效应 …… 450
21.3.3 染色剂、填充剂和添加剂对激光传输的影响 …… 451
21.3.4 激光焊接透射材料 …… 452
21.3.5 激光焊接塑料的相容性 … 453
21.4 接头设计 …… 454
21.5 设备 …… 454
21.6 应用 …… 455
21.7 资料来源 …… 456
参考文献 …… 458

绪　论

自从人类早期的时候打算把矛头绑在树棍上，装配就成为人类重要的努力方向之一。最初的努力方向主要在于把各个零件捆绑在一起，使用的主要是树叶、树根、藤条或生牛皮。在战斗中，猎人的矛头与矛杆脱离的时候，质量第一次成为摆在人们面前的问题。

不久有了其他的连接方法。人们认识到有些材料可以粘到一起，并且开始使用灰浆和胶黏剂。后来人们发现了不需要粘接也能把零件紧密组装在一起的办法，这样就发展出了定缝钉，再后来出现了螺钉。

沿着认知道路，人们又发现金属在加热后更容易变形。如果加热到足够高的温度，金属实际上能被焊接到一起。到了 19 世纪，所有传统材料的装配办法都被找到了。

然后塑料出现了。

这是一组新材料，既令人惊奇又令人欣喜。塑料起初仅仅作为很难获得的天然材料的一种替代物，甚至直到今天，许多塑料也只是作为一种替代物加以利用。直到许多年后，工程师们才逐渐认识到这种材料自身的独特性能。这些认知是非常重要的，因为没有这一点，要想对塑料做到物尽其用是不可能的。塑料最突出的性能如下。

（1）柔软的透明材料　传统的透明材料是玻璃，但玻璃非常脆，并且碰撞时容易碎。玻璃也非常硬，一旦弯曲也容易破裂。如果玻璃需要成型，加工温度要求非常高。

大量的塑料材料如苯乙烯类、聚碳酸酯类、丙烯酸类、纤维素类、聚烯烃等家族都能提供不同程度的透明度，而且柔软、坚韧。事实上，丙烯酸树脂甚至比最好的铅玻璃的透明度还要高。这些材料可以在相对较低的温度下成型，而且有一套独特的塑料成型工艺。塑料能够加工成玻璃无法成型的形状。因为这些特性，我们不但能够设计出更多的塑料产品，而且可以选择的装配技术也大大增加。

（2）整体着色　传统材料的着色和装饰技术已经高度发达，在一些情况下（举例来说，当需要同一颜色匹配时），这些技术也的确可以应用在塑料的着色与装饰中。但是着色工艺非常昂贵，而且要保持颜色的一致性非常困难。其实几乎所有的塑料材料和塑料工艺都允许宽光谱的整体着色，这样不仅节省了保持颜色一致性所需要的费用，而且表面磨损也不能移去颜料暴露出不同颜色的底层。因此，在长期使用之后，塑料产品的优势越发能够体现出来。

整体着色对装配技术也有一定的影响。如果零件的制造材料完全相同，零件之间的颜色匹配自然不成问题，但是如果零件的制造材料差别较大，则颜色匹配的精度方面就会有程度不同的差距。多制品注塑成型准许不同颜色或不同材料的零件成型在一起，从而取消了装配过程。共挤成型允许双色挤出，可以单独使用，如有条

纹的汽水吸管，或者结合使用另外一种工艺，如吹塑成型或热成型。由共挤出薄板热成型的包装盒就是一个例子，盖子是一个颜色，底部是另一个颜色。这样的设计方案取消了盖和底的连接装配操作。用一透明材料代替一个颜色，这样可生产出底不透明而顶盖透明的包装盒。

（3）耐腐蚀性　塑料完全不能被腐蚀。除了明显的户外应用的好处外，也有装配的优势，因为在金属零件之间的电流作用问题根本不需要考虑。

（4）高度复杂的整体形状　塑料不能像石头那样采用手工方法进行雕刻，因此与传统材料加工工艺相接近的办法不可能生产复杂的塑料整体形状，而用塑料的加工工艺方法却可以完成。并且与传统工艺相关的切割废料问题在塑料装配中大部分可以避免。从装配的立场出发，使用塑料可以将大量零件集成为一件，因此也一并取消了许多装配操作。而且通过改变零件的壁厚就可以改变产品的硬度。

（5）极端的适用性　当外形确定后，通常允许改变塑料的化学成分来达到其特殊的性能。因此，最经济的性能调整就可以使材料的使用性能达到最佳。例如，塑料的硬度可以降低到只要臂能适当偏转去执行一个设定的功能就可以。这就能免除包括硬的臂和弹簧的一套机构，从而节约了整个的装配操作。

（6）减轻重量　除了少数木材（例如轻木）以外，塑料的密度通常比天然材料小很多。这个优点是许多应用的推动力。例如，最近几年由于增大塑料在汽车中的使用比例，汽车制造商可以将每个车辆重量减少大约 25%，在节约燃油方面也取得了相应的进步。在某些情况下，与塑料使用相关的重量的降低是多余的，产品重量必须增加以符合人类感觉舒适的需要。

（7）绝缘性　塑料有热和电的绝缘特性。许多塑料用于这两种用途，可以减少零件和装配操作。电钻的塑料架是这个方面应用的一个极好例子。但当为 EMI/RFI（电磁干涉/无线频率干涉）屏蔽和热消散提供测量时，这些节约某种程度上被否定。

（8）新的装配技术　虽然火焰焊接不能在塑料装配中使用，但一些传统的装配方法，例如压配、黏合剂粘接、紧固件连接等可以在塑料上很方便地使用。另外，塑料零件可以采用卡扣连接、立锻、超声波焊接、感应焊接、热模焊接、热气体焊接、旋转焊接、振动焊接、溶剂焊接等。螺纹和带螺纹嵌件可以成型在零件内或者增加二次操作。还有一些新的工艺，例如红外线聚焦焊接，也在发展中。

塑料的这些特性是塑料工业成功的推动力之一，同时对于提高我们的生活水平也扮演了很重要的角色。虽然也可能买一个传统手工方法制造的汽车，但车的价格是平均价格的 10～15 倍。很少人可以负担得起这个价格。

当每个人都渴望享受通过使用塑料能有低价的好处时，必须认识到不能拿一个用金属制造的设计方案简单地转换成用塑料制造。许多在传统工科学院毕业的工程师发觉要完全懂得塑料介质的特性很困难。因此，在他们的方案中有时能避免一些遇到的塑料开发中的有关问题，但他们未能充分发挥介质的所有优点。塑料最难理解的内容如下。

（1）塑料材料的范围　塑料的种类比较广泛，可以分为三大家族，每个家族没有上千也有上百种单独的混合物。有些塑料对于粗心的人看起来非常相似，但仔细观察，相互之间确实不一样。正如钢不像锡或橡木不像轻木一样，聚碳酸酯也不像聚乙烯。有些弹性体像橡胶，而其他的像铁一样硬。因此，任何计划使用塑料的人都要在原理上掌握各个塑料家族的特性范围。但是我们不必知道所有的单独混合物的成分，因为在专用著作的分类中，绝大多数塑料集中使用在特定的市场。只要我们有足够的常用综合知识，并且能够根据给定的应用场合知道在哪里去找每个家族的相关的物理、热学、电学的精确的特性，那就足够了。随着经验的提高，我们会逐渐熟悉许多家族品种的各个混合物的详细说明。

注意我们在指单独材料时，使用的是“混合物”这个词，那是因为大多数基本的聚合物中都包含添加剂，比如填充物、着色剂、增强剂、抗氧化剂、抗紫外线和润滑剂等。而且添加剂的变更也是众多混合物实用性的一个主要原因。“树脂”这个词也通用。

（2）塑料的一般特征　传统的材料如玻璃、石头或者砖头有非常易碎的特征。它们的应力-应变曲线几乎是垂直的，几乎谈不上有应变。金属和木材虽然不太脆，但是总是在接近他们极限强度时才开始显示有大一些的形变。相对来说，塑料在到达其极限强度之前通常可以显示出很大的形变。它们的曲线也相对较低，实际上也不是一个平整的部分。因此，其杨氏模量很难得到，必须用割线模量代替。

大量使用的、通常被称为“日用品塑料”的廉价塑料，一般的强度和硬度特性都远远低于金属。因此几何结构和壁厚在决定产品的整体结构中扮演了一个非常重要的角色。因这些特征在产品的装配方面也变得非常重要。物理性能越高价格越贵，通常被称为“工程塑料”的塑料尽管不太明显但也显出这样的特征。

（3）塑料的热学特性　再来概括一下，塑料的特性随着温度的变化有明显的变化。当然，金属的特性也是这样；但金属却是在高温下，其热特性与大多数应用是不相关的。然而塑料的特性在通常人类生存的环境温度下也发生改变。数据表通常列出在72℉下的物理特性。然而当温度到达100℉时，塑料的拉伸强度和硬度等性能明显下降。而随着温度的下降，韧性也明显下降；虽然塑料在室温下比较柔韧，事实上温度低于零度时却非常脆。有经验的工程师在设计塑料零件装配时会考虑到这些特性，而且会利用这个特性。比如，零件在被加热的时候安装到一起，在冷却后会形成一个紧密连接的配件；或者与之相反，零件冷却后才能允许插入到另一个零件中，温度升到室温后，零件就不能分开了。

没有准确地评价两个配合零件之间的线性热膨胀系数（CLTE）使许多塑料装配失效。通常大多数塑料和大多数金属之间的线性热膨胀系数差异是很明显的。通过热效应，在特定的接合部位导致重大的变形产生了较大的应力。结果可能导致应力开裂或者产品被解体。

最后讨论一下热降解问题。随着加热时间的延长，塑料的物理特性会下降。虽然在72℉，这种下降过程可以持续几年，但是在高温时，几分钟内就可能发生降

解。非常不幸，热塑性塑料温度提高一次，就会发生某种程度的破坏。因此材料只能被有限几次重新研磨和重新使用。对于一些关键的应用，仅仅是新鲜树脂，称为“纯料”，才能使用。当进行塑料设计时，必须考虑到这些特性。在特定情况下，需要做一些热防护。

（4）易燃性　易燃性的定义是与容易点着和阻燃能力有关的。当与明火接触时，材料的行为差别很大，易燃性的标准是很难定义的。仅仅有少数的聚合物不能维持自身的燃烧，公平地说，通常的塑料，甚至说所有的塑料，都是容易燃烧的。虽然我们可以使用阻燃剂，但它们是昂贵的，而且也影响其他特性。如果火是主要的危险，或者如果在使用中可能会碰到明火，被选择的树脂的可燃性测试要非常仔细，也要考虑使用屏蔽的办法。

（5）紫外线　紫外线能引起或者能催化许多塑料的化学降解。其结果是光致氧化作用，随着时间的延长，塑料的颜色、透明度和物理特性都会降低。一些聚合物对紫外线有天然的抵抗效果。为了延长其在强紫外线环境（例如户外）下的寿命，其他的材料需要防护膜或者添加剂，如紫外线稳定剂或抗氧化剂等。

（6）价格　我们通常认为塑料比较便宜，但是事实上，用每磅为基准的价格计算，塑料与竞争材料相比是较贵的，而且通常是非常贵的。塑料的竞争材料在常用的加工工艺下会产生大量的不能再用的废料。相反，几乎所有的塑料工艺都能完全，或者几乎完全将塑料加以利用，极少产生或根本不产生废料。另外，塑料成型工艺能把大量的零件结合成一个，再加上塑料密度小，这样就可以降低产品整体的制造费用。因此，塑料事实上是以较经济的形式使用的一种昂贵材料。

（7）塑料的化学特性　有一点比较容易忘记，就是塑料基本上是一个在自然界中的化学制品，它们中的许多化学制品会受到化学品和环境的很大影响。因为许多塑料可以采用溶剂焊接法连接，这一性质让人十分高兴。但是如果潜在的化学暴露没有被考虑到，将带来不幸的灾难后果，比如清洁剂会导致许多塑料制品受损，各种各样的油脂、油类、酸、碱、气体和其他化学品等也都有其各自的影响。许多类似的接触化学品的情况发生在制造商和工程师看不到的地方。产品的设计者必须仔细调查潜在的可能接触化学品的情况，避免某一天收到产品在这些地方出现故障的报告。

作者回想起多年以前的一件事，当时他正在把用 ABS 制造的医用品推向市场。因为这个产品使用气体消毒，所以根本没考虑到酒精对这种特殊 ABS（已经退出市场）的影响。但是这种医用产品不可避免地被护士使用了，而根据这些护士的职业习惯，她们在对所有物品进行消毒的时候使用的通常是酒精。酒精和塑料的内应力一旦结合，对这种医用品的影响是致命性的，不久就报告说这种医用品破裂了，只能返回到制造商那里。所幸后来采用了另外一种 ABS 塑料作为制造材料，这种医用品才得以继续生产使用。

这件事的结局还算不错，其他事故就没有如此幸运，但是如果我们具有正确的塑料装配特性方面的知识和勤奋不断的训练，也不必过分地担心塑料材料使用中的风险。

第 1 章　快速指南和效率手册

1.1　效率手册

本书的作者是一个顾问，他是按照被邀请执行的工作所用的时间收费的。通常在项目已经超期或超预算时，他被打电话叫来。因此，他必须有效地利用他的时间并确定花费的时间是正当的。在当今的快节奏商业环境下，其他的工程师也正在相同的压力下工作着。所以，这本书的目的是提供给工程师尽可能短的途径去选择和实施适当的塑料装配方法。

最初的阅读指导见 1.2 节“快速指南”。该节是对各种装配方法的粗略回顾，工程师可以依此来决定那些章节与手头项目有关，以利于深入地研究。各个工艺章节是按照英文的字母顺序排列，首先是第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。尽可能地提供了一些详细的实践中的设计资料。每一章都从工艺的优点和缺点开始。在每一章中适当的地方提供了使用这些工艺厂商的地址和电话号码。

本书有两个快速参考章。第 5 章“按照材料选择装配方法”有两个目的。第一个目的是帮助工程师快速查阅建议的材料（按照英文字母顺序排列），以便找到适合它的装配方法。读者如果想知道溶剂密封的聚乙烯是否可行，可以看这里。另一个目的是供读者搜寻可能适合他们特定应用的感兴趣的材料。这一章的最后包括一个特性范围的（与装配关系密切的）简要的概述、普遍的特征及一些应用实例。

另一个快速参考章节是第 6 章“按照工艺选择装配方法”。从装配的角度考虑来推荐给工程师快速查找和评估塑料工艺。如果工程师需要了解是否可能为吹塑法确立一个高效超声波能量控制器，需要看这一章。这一章也简略地描述了制造塑料产品的主要工艺，提供读者快速查找一些有价值的应用建议。

有三章是关于塑料装配基本设计理念的。第 2 章“高效装配设计”，罗列了一些在零件装配时遇到的问题，这些问题不是超出公差方面的问题，变形使装配非常困难或者根本不可能的观点。也讨论了工业设计的经验和方法，在零件设计时采用较松公差来降低产品价格。基本的“模块化设计和打包设计”理念对于偶尔设计塑料零件的工程师是没有价值的，有一些对于生活在塑料世界的工程师们也是多余的。然而甚至对于他们也提供了有用的复习课程。在这一章的结尾提供了一个“塑料产品装配设计检查清单”。

第 3 章“降低装配成本”，提出了现今包括产品制造商在内的每一个人关心的问题。列举了降低塑料产品价格的方法，如微型化、大型化、减少紧固件和整体

化等。

生产塑料产品过程中可以使用的废料填埋场地的急剧下降所带来的影响和功效不亚于提高资源再利用的压力。第 4 章“拆卸和回收设计”，向所有的塑料工程师们提出了不久或以后需要面对的课题。当然越早考虑越好。

1.2 快速指南

以下是一般性的指南，目的是为进一步的参考提供指导，其中不包括问题的解答。

1.2.1 胶黏剂（第 7 章）

1.2.1.1 液态：溶剂基、水溶基和厌氧基的胶黏剂

用途 热固性塑料的密封、不同塑料之间的密封和塑料与其他材料之间的密封等如果没有其他的密封办法，胶黏剂就是首选的办法；需要额外的费用；对于这些材料的简单连接必须与紧固件和卡扣连接相比较；可以用来加强螺钉和嵌件（如果嵌件不是模塑成型的，通常在热固性塑料上用的嵌件用胶黏剂加强）。

描述 溶剂基和水基液体胶黏剂能用的基剂（如聚酯、乙烯基）数量很多，有单独形式的或由两个部分组成的，填充粘接可以适用从高速成膜结构连接到单一的不同种类塑料零件之间的连接。溶剂基胶黏剂黏结强度高，但是价格比相似材料基、水基的胶黏剂贵。厌氧基的胶黏剂是一组可以在稀薄空气情况下使用的胶黏剂，存在一个最小的完成初始粘接需要的压力值。胶黏剂可以用于几乎所有类型的塑料。

优点 好的重复使用性；可以连接不同类型的塑料，使用简单；胶黏剂几乎适用于所有的装配应用。

局限性 可调整黏合速度（随着胶黏剂的不同而变化）；需要进行表面处理；上架和罐装的寿命通常是有限的；溶剂基的胶黏剂会引起污染问题；水基的胶黏剂粘接强度不大；厌氧基的胶黏剂有毒。

工艺的局限性 技术应用范围从简单的刷涂到喷涂然后到大批量生产的辊子涂覆叠层。胶黏剂应用技术通常与装饰设备类似。

厌氧基的胶黏剂通常采用特殊的瓶子或喷洒器，每次使用一滴。

1.2.1.2 乳香

用途 密封应用的首选材料。

描述 高黏性、由单一成分或两种成分构成的材料，按胶黏剂类型的不同，可以固化成非常硬或者柔软的连接。

优点 粘接后就不能活动了。

局限性 上架和灌装的寿命通常有限；不适用于聚烯烃。

工艺考虑 通常使用时用泥铲刀或者枪形喷洒器；单一成分系统可以直接接管

使用；各种各样类型的滚涂机都可以使用。

1.2.1.3　热熔焊接

用途　聚烯烃最好的黏合方法；适用于永久连接前的铆接和高速生产。

描述　在加热时变成流体的 100%的固体胶黏法；通常用在连续平面的黏结。

优点　速度快；操作清洁。

局限性　热熔焊接不能用于生产结构性的接头。

工艺考虑　通过加热胶黏剂热熔接可应用在高速下，将热熔的胶黏剂挤到（事实上是喷到）底层上，使用特制的喷洒器或辊子涂胶进行辊子涂覆；或简单地进行浸渍。

1.2.1.4　压敏黏合

用途　快速黏结，只用于轻载；用于粘接带状物。

描述　使用各种商业用途的带黏性的胶黏剂。通常与聚烯烃一起使用。

优点　柔软。

局限性　黏结地不是很牢固。

工艺考虑　通常使用喷涂的办法。轻轻施加压力使黏结效果更好。

1.2.2　紧固件和嵌件（第 8 章）

用途　这个方法适用于需要可靠的开启能力、不寻常的形状和有限的批量等场合。额外的成本开支要与注塑应用中的卡扣连接有可比性。在使用不相同材料时是极好的。对于热固性塑料，这个工艺和胶黏剂是主要的装配手段。

描述　自攻螺钉、机制螺钉、带螺纹嵌件、铆钉和各种各样特殊的紧固件为塑料设计的。这些件是由金属或塑料制成的。典型的选择是依靠最终产品需要的强度因素和外观因素。通常用来连接不同类型的塑料或塑料与非塑料。

优点　适用于许多材料；较低的介质花费；可以用在有拆卸需求的零件上。

缺点　有一些应用限制拔出拉力；模塑嵌件可能产生应力。

工艺考虑　钉子和 U 形钉采用的是简单的锤入或钉入法。其他的紧固件可以采用钻床、超声波、气枪或电枪即手工工具插入。或许需要特殊的模具成型（比如模塑成型孔）。

1.2.3　铰链连接（第 9 章）

用途　用于可重复打开的方法。

描述　传统的装配方法。塑料的使用可以把铰链的部分直接塑造进零件。某些材料制作单片集成铰链是可能的。

优点　单片集成铰链在装配时只需要一个关闭的动作。其他许多种类的塑料铰链不需要附加的零件。

缺点　通常情况下，必须仔细地设计，还要包含辅助的加工费用。

工艺考虑　不需要附加的工艺；成型周期需要改变。

1.2.4 热板/热口模/熔融焊接和热金属丝/电阻焊接（第 10 章）

用途 这些工艺几乎可以焊接所有的热塑性塑料，但操作费用最高。而振动焊接法虽然在使用中有较低的操作费用，但设备费用较高。当其他较低成本的系统不能采用的时候，可以用这个技术。

描述 相配的零件表面靠着一个热的表面被加热，达到足够软就成为好的胶黏剂，然后夹在一起，完成黏结。应用于硬的热塑性塑料。

优点 操作快捷（某些情况下，4～10s）；粘接强度很高；极好的重复性；飞边提供了附加的黏结区。

缺点 在黏结区会产生应力；耐高温材料会有许多问题；板的持续加热造成了高的操作费用；飞边量大。

工艺考虑 可以使用简单的热焊接枪和热熨斗。相对简单的热板附加上加热用的半自动的热板设备。所有的情况下都需要夹具。

1.2.5 热气体焊接（第 11 章）

用途 本方法适用于非常大的、不寻常的形状或者厂外就地修补等热塑性塑料零件的焊接。

描述 焊条要和所焊接的物体是同一种材料（应用量最大的是乙烯基），焊条被从枪里发出的热空气或热氮气吹软，同时也软化了零件的表面，焊条填充到接合区，冷却后完成了黏结。

优点 黏结强度高，尤其是大的结构形状；设备很便宜。

缺点 相对来说比较慢；如果不花点钱去修整，焊缝不美观；只有有限数量的聚合物可以用作商品化的焊条。

工艺考虑 需要一个手持喷枪、特殊的焊接头、一个气源和焊条。通常的手持喷枪速度为 6in/min；高速手握工具速度能达到 48～60in/min。

1.2.6 感应焊接（第 12 章）

用途 用于许多材料的极好密封，但是嵌件需要额外费用。不寻常的焊接点可以用 X 射线进行质量检测，可以重复打开零件。

描述 铁磁嵌件、金属嵌件或者一个掩蔽物被放置在要被焊接的零件之间然后加电压形成一个电磁场。随着嵌件变热，这个零件周围熔化，冷却后形成黏结。适用于大多数的热塑性塑料。

优点 对固体部分提供快速加热以减低热降解发生的概率；可以用 X 射线检测焊点；重复打开焊点解体零件。

缺点 使用预成型电磁嵌件需要额外的费用；由于金属被植入塑料可能在黏合处产生应力。

工艺考虑 高频发生器、加热线圈和嵌件（通常厚度为 0.02～0.04in）。勾到

自动设备上速度高（使用 1～5kW）。还需要工作线圈、电子设备的水冷、自动计时器和多个工位平台。

1.2.7　嵌件成型（第 13 章）

用途　安放螺纹嵌件强度最高的方法，尤其对于热固性塑料；形成嵌件、内部结构支撑和一些装饰效果的唯一方法；需要额外的零件费用；从成型的观点看非常麻烦，如果有可能，避免使用。

描述　嵌件被放置在模具内，零件围绕着它成型。

优点　非常坚固——嵌件要想拿出来只能采取破坏性的办法。

缺点　嵌件打乱了成型周期并产生了很高的模塑内应力，可以导致长期失效；花钱多，污染废物链，要想再利用必须取出嵌件。

工艺考虑　可以使用许多工艺办法来成型；嵌件被放置在模具内的销子上或者孔内，并且模具合在它们上；零件围绕着嵌件成型，并且把嵌件包裹在自己内部。

1.2.8　多零件成型（第 13 章）

用途　第二种颜色最不易去掉的成型方法。对一些设计来说是唯一的办法，比如钢笔笔杆，带有柔软的部分，握起来感觉很舒服。模具昂贵。

描述　在零件的成型过程中，先成型的作为嵌件，在这个嵌件上继续成型得到零件。

优点　是自由的设计和高产量的结合。

局限性　模具费用非常高。

工艺考虑　零件的第一部分成型后，零件的第二部分是塑造在第一部分上或者下。需要特殊的成型设备，使用上受到限制。

1.2.9　压力配合/受力配合/干涉配合/收缩配合（第 14 章）

用途　重载——装配塑料齿轮与金属轴的好办法。轻载——钢笔帽是一个极好的例子。

描述　一个零件被按或用力推进另一个零件内，干涉形成的力让零件保持在适当的位置上。

优点　可以装配不同材料零件，不需要工具或者附加材料。是永久的还是能开启的零件要看设计而定。

缺点　产生了很高的环应力，随着时间的推移，由于蠕变、冷流、应力松弛、热松弛、吸潮等造成失效。有工艺和形状的局限性。

工艺考虑　使用最少的工具完成装配容易；轻载装配容易实行自动化。

1.2.10　溶剂连接（第 7 章）

用途　用相配的聚合物制造的小零件间快速和便宜的连接方法。可以用于原型

或小批量的生产。

描述 溶剂使无定形的热塑性塑料的表面变软；当溶剂完全蒸发后配合完成。含有少量百分比母体材料的胶黏剂能产生出更多的可使用的胶黏剂，能填到胶黏区域的孔隙中。不能用于聚烯烃和聚甲醛均聚物。

优点 强度高，达到母体材料的100%，简单经济，最小的设备需求。

缺点 需要较长的蒸发时间；溶剂可能很危险；对于一些树脂可能会产生裂纹。

工艺考虑 使用的仪器范围从注射用的针头或仅仅是擦拭的介质到浸泡用的箱体。需要夹紧设备，通常也需要空气干燥器。溶剂防护设备是必要的或需要的。因为要进行干燥，所以工艺速度相对慢一些。设备费用中等偏下。

1.2.11 卡扣连接（第15章）

用途 一旦模具的费用付清以后，零件的装配费用很便宜。

描述 采用卡扣装配把一个零件压进另一个零件，限制了它的再次打开的能力。

优点 不需要工具或其他附加材料就可以装配不同材料的零件。是永久的或是能再打开的要依设计而定。

缺点 工艺限制、外形限制和高的模具费用。在热膨胀和潮湿时会出现失效。蠕变、冷流、应力松弛、环境暴露都可能导致承受载荷的卡扣配件随时间推移而失效。

工艺考虑 使用最少的工具也能较容易地完成，容易实现自动化。

1.2.12 旋转焊接（第16章）

用途 圆形热塑性塑料件的永久连接的快速和便宜的方法。

描述 要连接的零件高速旋转，在连接处增大了摩擦；当旋转停止后，零件在固定设备内冷却，同时施加一个黏合压力。应用于大多数硬的热塑性塑料。

优点 速度非常快（可以低到1～2s）；黏合力强。不需要附加零件，能连接超声波不能焊接的材料和形状。

缺点 黏合面必须是圆形。调节很困难。

工艺考虑 基本的设备是旋转设备，精细的进给和操作设备与高速的操作通常是合为一体。

1.2.13 立锻/模锻/锤锻/冷锻/冷成型（第17章）

用途 连接两个不同材料的快速、便宜的方法，如果一个是热塑性塑料，不需要附加材料。

描述 一个零件与热塑性塑料零件装配，需要详细设计热塑性塑料零件使其卡住这个零件来进行成型。

优点　在自由公差下可以快速地装配不同种类的零件，并不需要附加材料，如胶黏剂或紧固件。是永久的装配，但较容易拆卸和回收利用。

缺点　有恢复原形的趋势；形状有限制；外观较差；对使用填充剂有限制。

工艺考虑　零件相互配合，工具使塑料变形。设备相对便宜。

1.2.14　模塑螺纹（第 18 章）

用途　主要是制作瓶盖。

描述　在零件上直接成型螺纹。

优点　可能是最坚固的螺纹；不需要附加的螺纹成型操作，可以修改螺纹，适应塑料要求。

缺点　昂贵而且模具运行慢。

工艺考虑　基本的成型操作，因为要把零件脱落或旋出模具需要时间，所以运行比较慢。

1.2.15　攻丝螺纹（第 18 章）

用途　适用于一些精细螺纹的情形和再开启的小批量使用。

描述　钻出孔或成型出孔，然后像在金属上一样攻丝。

优点　具有最精确定位。可被开启；不同材料间可以装配；常见的技术；形状和工艺很自由。

缺点　螺纹形态不很适合于塑料。会受到如蠕变、冷流、热膨胀、应力松弛、环境影响。装配比较慢。

工艺考虑　操作员必须知道对于每种聚合物的特殊的速度和进料量。

1.2.16　超声波焊接（第 19 章）

用途　从小形到中形尺寸的注塑成型热塑性塑料零件的便宜的重负荷方法。

描述　高频的声波振动从一个金属焊头发射出来，在热塑性塑料的黏结面上产生摩擦，熔化塑料，产生足够强度的黏结。

优点　用于大多数热塑性塑料的高强度黏合；有高的能效和速度。不需要附加材料，可以立即操作。

缺点　用作持续焊接时大小和形状有限制。不是所有的热塑性塑料都可以焊接。限制使用在注塑的零件上。

工艺考虑　需要把电能转换成机械能，沿着架子和焊头把能量传给零件。旋转台和高速填料器需要合成一体。

1.2.17　振动焊接（第 20 章）

用途　如果超声波或旋转焊接不能用，试用一下该种焊接方法。

描述　摩擦熔化的塑料进入有预先的压力的接缝区域。

优点 与用超声波或旋转焊接相比有更大的形体和更自由的选择材料，仍然能在高的生产率下制造出永久的焊接。

缺点 设备昂贵而且对中不精确。对于复杂零件，由于振动能使其破坏，因而不能进行焊接。

工艺考虑 水平焊接，频率在120～300Hz之间。整个零件做物理运动。

1.2.18 激光焊接（第21章）

用途 非接触焊接，焊接精度非常高，优于传统的方法，无飞边焊接等应用可考虑这个技术。它也是唯一能够焊接弹性体的技术。

描述 激光焊接是以红外线激光为能源的焊接。直接使用激光作为锻接焊接和对接焊的焊接热源。这种技术称作“穿过传输式远红外激光焊接技术”，激光从激光器的顶部能透过激光的零件发射出来到达位于底部零件激光吸收剂的表面，在两个零件的接触面上发生了熔化。

优点 所有焊接方法中最精确的，热量定位到一个最小的内部区域。对表面无损伤，没有飞边。

缺点 材料的限制和高昂的设备费用一直制约着应用的数量。

工艺考虑 需要特殊的激光焊接设备。事实上所有的热塑性塑料零件，都能进行激光焊接。

1.3 按照尺寸选择装配方法

尺寸作为一个标准通常在初步选择装配方法时被忘记。许多方法适用于非常小的零件，根据所用技术考虑零件尺寸的最小值问题，在哪个方向上会有一些限制。最大的尺寸是另一个问题。在许多情况下受到设备的最大尺寸制约。其他情况是可操作最大的连接件局限性的限制。一些装配方法更多地受限于成型工艺，因为需要制造出它的精细部分比其他因素更重要。问题是实际应用被限定在极限尺寸工艺以内，不存在最大的能生产的或能方便生产的假设。装配工艺近似限制的快速指南，见表1-1。注意，根据作者的考证，关于精确尺寸有一些不同意见。

表 1-1 装配技术对应的应用尺寸范围

装配方法	最小的应用	最大的应用
胶黏剂连接	没有限制①	没有限制①
紧固件和嵌件	没有限制①	没有限制①
热模	25.4mm直径(1in直径)	508mm×1829mm(20in×72in)
热气体	2.3mm×2.3mm(0.09in×0.09in)	没有限制①
感应加热	没有限制①	127mm×508mm(5in×20in) 25.4mm×2032mm(1in×80in)
嵌件模塑成型	没有限制①	没有限制②
激光焊接	2mm(0.079in)×5mm(0.197in)	250mm(9.843in)×400mm(15.748in)

续表

装配方法	最小的应用	最大的应用
多零件模塑成型	没有限制②	没有限制②
压配	0.80mm 直径(0.031in 直径)	没有限制②
卡扣连接	1.0mm(0.040in)	没有限制②
溶剂连接	0.80mm 直径(0.031in 直径)	没有限制①
旋转焊接	1.27mm 直径(0.50in 直径)	356mm 直径(20in 直径)
立锻	0.80mm 直径(0.031in 直径)	没有限制②
模锻	0.80mm 直径(0.031in 直径)	没有限制②
攻螺纹和模塑螺纹	m4×0.8(6～32)	没有限制①
超声波焊接	6.35mm×6.35mm(0.25in×0.25in)	254mm×305mm
嵌件	2.5×0.45(4～40)	没有限制①
点焊	0.80mm 直径(0.031in 直径)	没有限制①
锤锻	1.60mm 直径(0.063in 直径)	没有限制②
振动		
线性振动	25.4mm×25.4mm(1in×1in)	1016mm×1829mm(40in×72in)
轨道振动	25.4mm×25.4mm(1in×1in)	304.8mm 直径(12in 直径)

① 受手工操作限制。

② 受模压机限制。

1.4　按照连接时间选择装配方法

一些焊接技术的焊接时间比较见图 1-1。评估装配方法的连接时间是很困难的，因为它们的参数对于应用是高度敏感的。像压力装配和卡扣装配等方法根本就没有工艺时间；仅仅需要考虑处理的时间。确实，零件的处理时间在设计时往往被忽视，就像在作装配工艺选择时一样，因为处理的时间总是被假定各个工艺之间是不变。其实是不正确的，使用胶黏剂连接法的处理时间通常远远大于如卡扣装配等方法的时间。

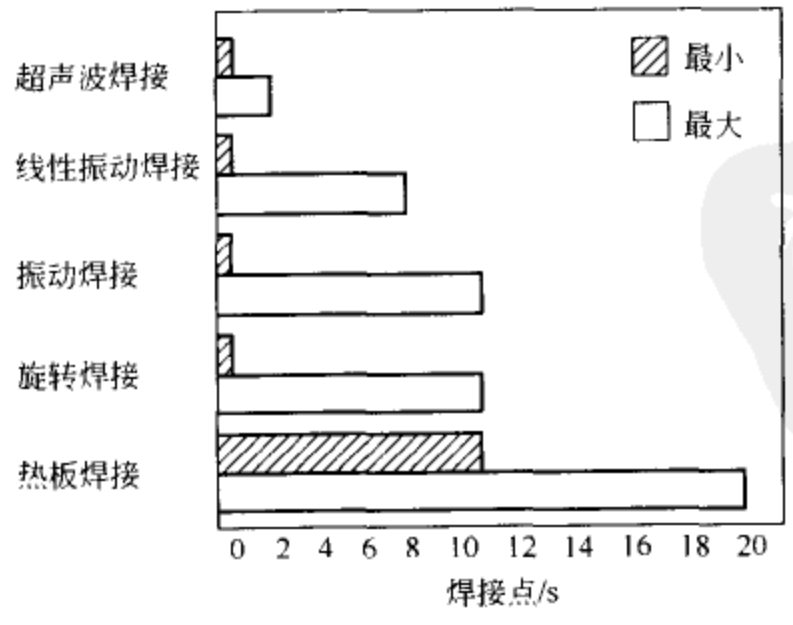


图 1-1　焊接方法的时间比较

第 2 章　高效装配设计

2.1　避免零件变形

在塑料零件装配过程中，最常见的问题就是零件之间配合不良的现象。在大多数情况下，零件配合不良是因为变形或者实际尺寸超出配合公差范围造成的。要解决这个问题，一方面要在塑料零件模塑成型过程中更加仔细，另一方面要提高零件、组合件以及成型模具的设计技巧。

虽然塑料零件在顶出之前如果冷却不充分也可能导致零件变形，但是零件变形主要是由冷却不均匀而造成的。冷却不均匀有多种原因，但是主要原因还是模具设计与零件成型过程中的参数问题。这些问题已经超出了本书的讨论范围，我们只是在关于模具加工的章节中对其中的基本问题加以讨论。但是，本书作者推荐了下列书籍，感兴趣的读者可以对这些问题进行更深入地了解。《注射模具及模具成型》，Joseph B. Dym，Van Nostrand Reinhold；《塑料模具工程》，J. H. DuBois，W. I. Pribble，Van Nostrand Reinhold。

在很多情况下，零件变形是由设计方面的问题造成的。例如，如果零件壁厚不均匀，将导致冷却不均匀，因为比较薄的部分会比比较厚的部分冷却得快，从而将提前凝固。图 2-1（a）表示的就是设计非常不当的一个例子。零件的左边是一个比较厚的转角部分，很明显，比较薄的中心部分需要更多的时间来凝固。零件的右边是一个更厚的部分，也需要更多的时间才能凝固。很明显，零件不会按照图形中的尺寸制作出来。从模具中出来的零件会产生气泡、变形以及缩痕，如图 2-1（b）所示。这些缺陷都是因为模具中存在很高的应力而造成的。这样的零件是无法与别的零件进行装配的。

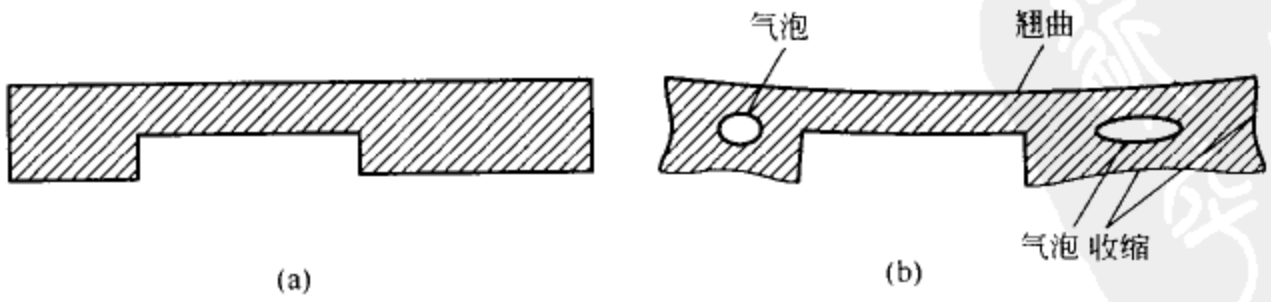


图 2-1　因为冷却不均匀导致的变形

（a）图纸中的零件形状；（b）实际制作的零件形状

为了避免上述问题，工程人员应该遵守下面的这个原则：如果零件中壁厚之间

的差别超出了 25%，将在零件中产生很高的内部应力，从而进一步导致零件发生缩痕、气泡以及变形等缺陷。

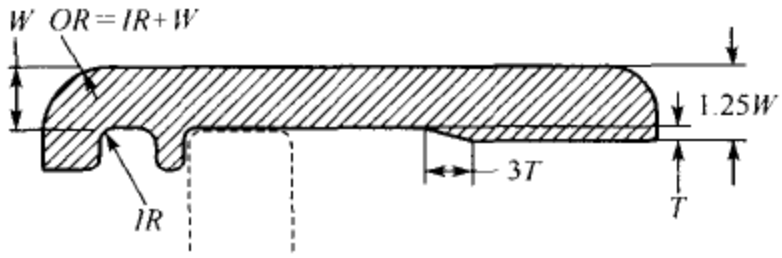


图 2-2　改进的设计

这个原则主要适用于热塑性塑料，其中成型之后收缩率比较高的热塑性塑料相对于其他种类的塑料更容易受到零件壁厚不均匀的影响。在原材料中添加填料可以影响零件的收缩率，因此可以降低零件变形的程度。结构发泡零件不会受到壁厚不均匀的影响，热固性塑料因为壁厚不均匀导致的变形也会大大减少。

即便是在遵守了壁厚差别不超过 25%的情况，壁厚的变化也应该逐渐过渡，如图 2-2 所示。当向模具填充时，应该使物料从零件比较厚的部分向比较薄的部分流动。

根据推测，图 2-1 中左边比较厚的部分的最初设置目的是为了安装另外一个零件。这个零件用虚线表示在图 2-2 中，其中比较厚的转角已经修改成了壁厚均匀的部分与一个定位筋。厚壁部分已经降低到了所允许的最大壁厚的范围内。从而既保存了这个零件的功能，又消除了造成冷却不均匀的可能。

2.2　内角应力

消除因为冷却不均匀导致的内应力并不意味着已经消除了零件形状设计不良导致的全部应力。如果零件的内角过渡太快，也将导致在零件中产生内部应力。图 2-3（a）表示因为零件内角过渡太快而导致内应力的情况。图 2-3（b）表示在圆滑过渡的内角中，应力的分布情况。如果将一个干净的零件放置在偏振光下面观察，就可以看到内角过渡太快而导致的内部应力。



图 2-3　应力类型

（a）角应力集中；（b）减轻的内部应力

内角半径对应力集中的影响可以通过图 2-4 中的曲线清楚地表示。请注意在横坐标为 0.25 的位置，曲线将急剧上升。因此，内角半径与零件壁厚的比值 R/WT 至少应该达到 0.25。而且我们注意到，在横坐标超出 0.8 之后，曲线将变得平坦。一般将内角半径与零件壁厚比为 0.5 作为最佳情况。如果转角两边的壁厚不相同，应该按照比较薄的壁厚进行计算。增强材料在对内应力的抵抗方面比非增强材料性能要好。在使用增强材料的情况下，图 2-4 中的曲线可以在一定程度上忽略。但是，在任何情况下，内角半径都不能小于 0.50mm（0.020in）。

出于美观方面的考虑，有时候需要设计成小半径外角。在这种情况下，图 2-5 中表示的设计结构可以用来近似地表示这种外观设计。

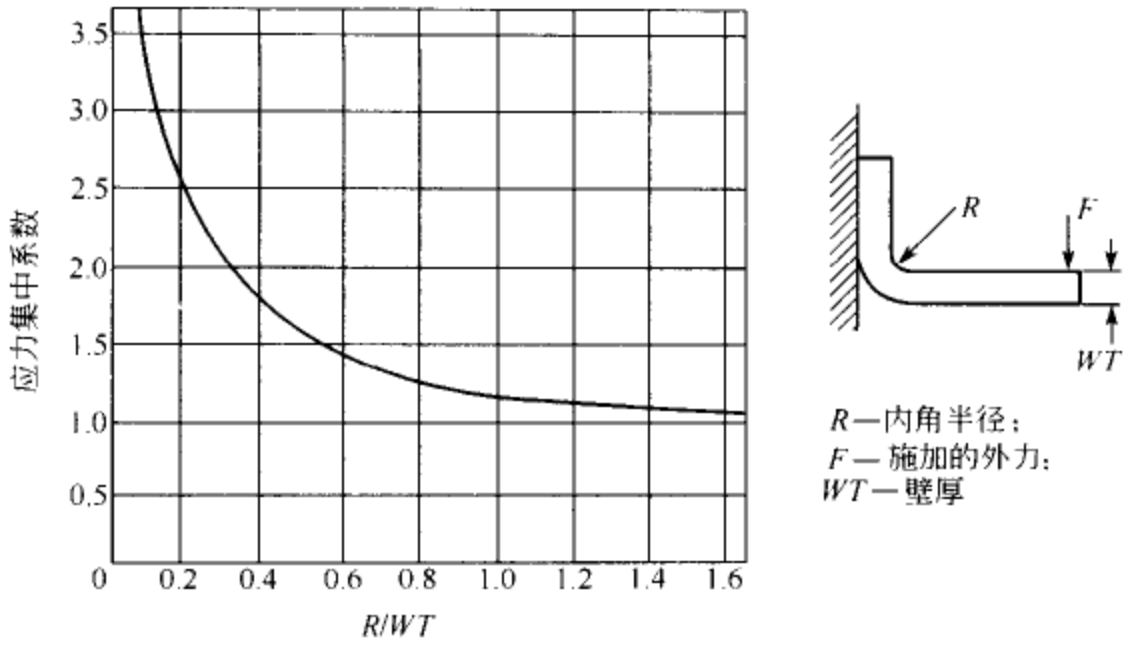


图 2-4 内角半径与应力集中系数之间的关系

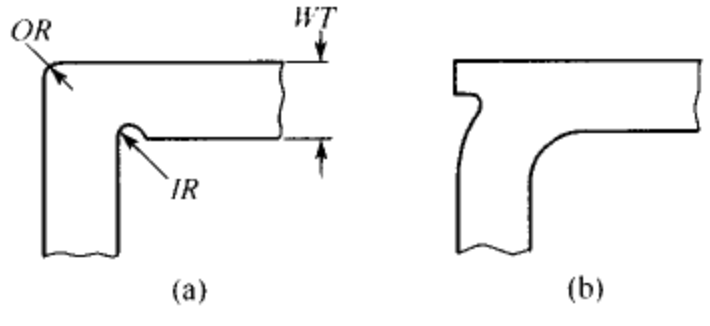


图 2-5 尖拐角设计

（a）内角挖孔；（b）“抽屉前端”结构

2.3 筋和凸台

在零件上使用纵向筋和盒状筋可以大大地增强零件的强度。在筋设计过程中，基本的设计原则表示在图 2-6 中，在筋与零件壁的交叉位置画了一个圆圈。这个圆圈与筋以及零件壁有三个接触点：分别在零件壁的公称壁厚位置以及筋底部两边内角的位置。这个圆圈的直径（D）不能超出零件壁公称壁厚（W）的 1.25 倍。这种设计方法也同样适用于两个加强筋的交叉、相邻凸台以及筋与凸台等等。在设计过程中，一定要仔细分辨出加强筋或者凸台中最厚的部分。例如，对于两个加强筋相互交叉的情况，这个圆圈一定要穿过加强筋在对角线上的半径。

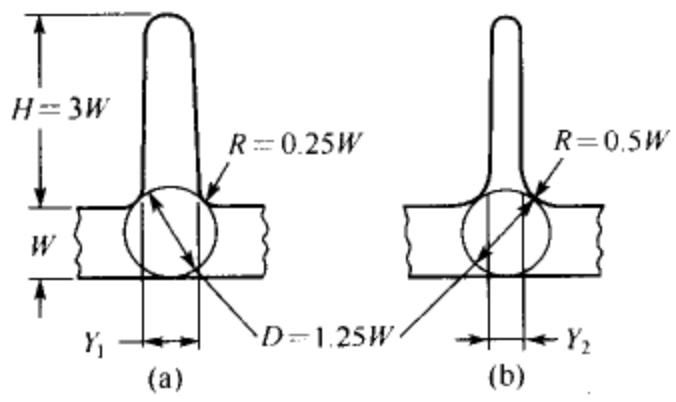


图 2-6 加强筋设计中的 25%原则

（a）$R=0.25W$；（b）$R=0.5W$

在加强筋与凸台的设计过程中，在满足其基本设计符合相同标准的情况下，还必须考虑到对抗系数的问题。如果通过提高内角半径来降低应力集中系数，将导致加强筋可以使用的材料的厚度减小。图 2-6（a）表示

的是一个内角半径为 0.25W 的加强筋。根据图 2-4 可知，这个内角半径所对应的应力集中系数大约是 2.3。为了将应力集中系数减小到 1.5，需要将内角半径增加到 0.5W [图 2-6 (b)]。这将导致加强筋底部 (Y_2) 的壁厚减小到 0.5W，远远小于壁厚的初始数据 (Y_1)。很显然，如果加强筋使用的材料减少，它能够提供的加强力也将减少。但是，因为内应力减少了，由加强筋所提供的总体加强作用可能增强。如果需要更大的加强作用，使用更多的加强筋要比使用一个内应力比较高的加强筋效果更好。

在设计加强筋与凸台的过程中，还有一个方面应该考虑：即由于拔模斜度而导致的加强筋厚度降低的情况。拔模斜度不但将导致加强筋的厚度降低，还将导致加强筋顶部的厚度太薄，以至于无法填充物料，需要提高温度或者压力才能填充物料。总之，这种厚度降低的情况将限制模具设计过程中的很多因素，而且将提高零件变形的可能性。例如，假定图 2-6 中 W 的数值是 2.5mm (0.100in)，则半径 R 的数值为 1.25mm (0.050in)，从而将导致加强筋在底部的厚度为 1.25mm (0.050in)。建议使用的加强筋最大高度是公称壁厚的 3 倍（再增加高度也不会明显地增加加强筋的强度）。如果加强筋的高度 H 是 7.5mm (0.300in)，拔模斜度为推荐使用的数值 2°/边，则加强筋的厚度将是 0.86mm (0.34in)。这个厚度对于黏性物料的填充是非常困难的，如果这种加强筋离浇口的位置比较远，或者加强筋流道的形状比较复杂，将使填充压力降低，物料的填充将更加困难。

2.4　拔模斜度

零件冷却的时候，将向型芯收缩。而拔模斜度有助于零件避免受到型芯的影响。即便存在取消拔模斜度的想法，但也一定不要取消拔模斜度。如果拔模斜度降低，零件的锁定力将变大，从而所需要的将零件从模具中拆卸下来的力也将增大。塑型时间也不得不延长，因为这样才可以使零件充分冷却，保证可以从模具中拆卸出来。因为零件必须冷却到刚度足够大，才可以在不变形的情况下顶出。这种冷却时间可以占到整个塑型时间的 50%～80%。相反，拔模斜度越大，所需要的将零件从模具中拆卸出来的力就越小，零件从模具中拆卸出来的时间也就越短。

考虑到上述相互矛盾的对抗因素，对于大多数填充物料而言，一个比较折中的方法就是将拔模斜度降低到 1°。但是，人们很容易将 1°作为对于任何情况都采用的习惯性数值，这样就忽略了合理的拔模斜度可能节省的成本。

锁定力将因为使用加强筋而增大，因为加强筋将在零件的表面上产生额外的束缚作用。如果使用的是多重加强筋，情况将变得更糟，尽管这要比使用没有拔模斜度的一个加强筋或者一个比较厚的具有比较高的内应力的加强筋要好一些。图 2-7 (a) 表示了加强筋之间的最小间距，大小为公称壁厚的 2 倍。在零件外壁上附加加强筋很好，这样可以允许模具内部的气体通过加强筋的型腔凹槽而排放出来。而独立式的加强筋却在零件中积聚气体。

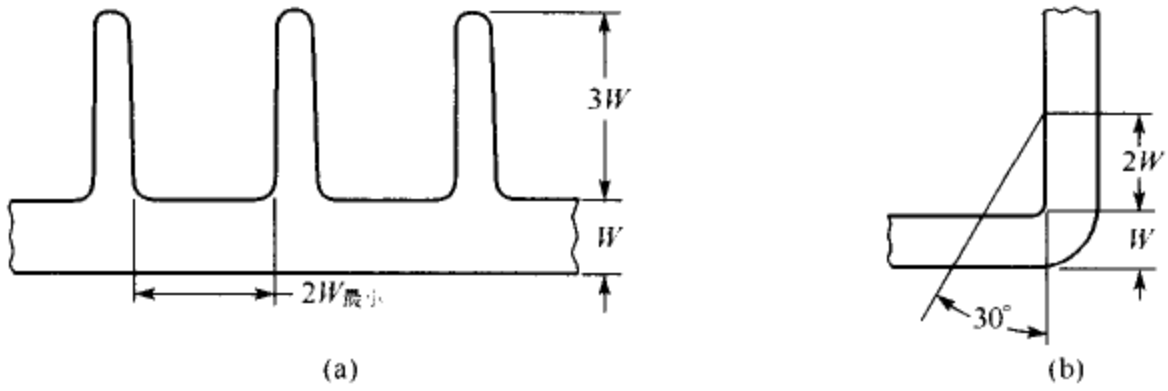


图 2-7　加强筋与角板

（a）多重加强筋；（b）角撑板

图 2-7（b）表示的是角撑板的推荐结构。如果角撑板的高度超过壁厚 2 倍，并不能明显地增强零件的强度。适用于加强筋的间距规则（2W），也同样适用于角撑板。

角度为 2°/边的通用原则对于零件的外壁也是合适的。拔模斜度的影响表示在图 2-8 中。请注意 A 截面的平角。很明显，具有这样的角度，将零件从型芯或者型腔中分离出来是没有困难的。

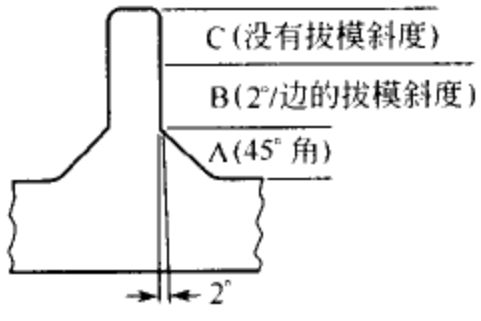


图 2-8　拔模斜度的影响

B 截面表示的是角度为 2°/边的拔模斜度。具有这样角度的零件虽然可以从模具中分离出来，但是需要非常大的分离力。但是相对于没有拔模斜度的 C 截面，它的顶出还是比较容易。因为 C 截面上没有拔模斜度，因此需要非常大的分离力，才能克服零件向型芯方向收缩的影响。这种设计方法的后果除了导致成型时间增加之外，还将导致零件变形太大，以至于无法装配。另外，在拔模斜度比较小的位置上还将留下拖痕。

在与分型线垂直的所有表面上都应该设置拔模斜度。

但是这种规则存在一种例外的情况，就是定位筋的导向边可以不受这个规则的影响。这种情况在 2.7.1 节中进行说明。

应该注意的是，很多年以来一直使用的角度是 1°/边，而 2°/边是对以前角度的一种提高。角度增大的原因有几种，首先，这样做可以减少成型周期。并且基于经济压力方面的考虑，也需要将零件在比以前更短的时间之内顶出。其次，客户的期望值也因为竞争方面的原因而提高了。如果零件因为拔模斜度太小，从而导致在零件表面上产生轻微的塑性变形或者拖痕都已经是不能接受的缺陷了。现在的方法是增加拔模斜度的角度，这样要比为了获得可以接受的表面质量而在零件表面上进行喷漆的方法效果更好，这种方法在某些情况下也是因为竞争压力而采用的。最后，为了降低零件的组装时间，人们不断地将零件进行合并，导致零件变得更加复杂。从而使零件上面的细小部分变得更多，这样又增加了零件在模具上的束缚力。

如果在零件的外表面上制作纹理结构，将导致在零件表面上产生细小的倒陷。为了提高零件的表面质量，必须增加拔模斜度。虽然拔模斜度的具体数值可能因为

零件类型不同，或者因为不同的纹理雕刻人员采用的数值不同，但是最经常使用的设计原则是这样的：在 1.5°/边的基础上，雕刻的纹理每增加 0.001in，将拔模斜度的数值增加 1.5°。

这样，对于深度为 0.025mm（0.003in）的纹理，拔模斜度应该为 6°/边。拔模斜度的数值应该得到纹理雕刻人员的批准。如果通过这种方式决定的拔模斜度的数值与零件的某些关键要求相互冲突，雕刻人员可以在一定程度上进一步细化纹理雕刻的设计。在某些情况下，可以接受更小的拔模斜度。不管零件模具是由多少个厂家生产的，零件的所有纹理雕刻都应该是由同一个雕刻人员（在同一个地点）完成的，这样可以保证雕刻的纹理在最大程度上保持统一。

2.5　收缩

基本物理学描述了物体的热胀冷缩现象。如果物体没有受到限制，将严格遵守热胀冷缩规律。但是当塑料零件在模具内部冷却的时候，将受到模具的限制。在通常情况下，模具型芯将对零件形成限制，虽然像外部加强筋等细小部分也可以构成限制零件的型腔。

熔化的塑料在进入模具之后，就立即开始冷却。当模具打开并且将型腔拆除之后，零件将暴露在空气之中，并且将立即开始冷却。零件在冷却过程中将逐渐变硬。当零件的硬度可以抵抗顶出力的时候，就可以从模具中顶出来。

零件从模具中顶出来之后，就不再受到限制了。零件的大部分收缩都在这个阶段发生，这个阶段也称为“塑型之后的收缩”。绝大多数的收缩（75%～95%）都是在零件从模具中顶出来的 2h 之内发生的。在一个星期之后，几乎所有的收缩过程都完成了。但是对于结晶型热塑性塑料，可能需要 1 年的时间才可以达到平衡。

如果需要在成型之后对零件进行加工，例如机械加工或者装配等，必须考虑零件的收缩问题。作为通常的规则，比较明智的方法是在零件顶出模具放置 24h 之后，再进行比较精密的机械加工，然后再进行切边或者浇口修整工作。对于零件的组装，这个规则也同样适用。但是在某些情况下，在相互装配的两个零件的其中一个在高温状态进行装配是有利的，在这种情况下，应该使其中的外零件保持在高温状态。当外零件冷却之后，将收缩在内部的零件上面，从而使零件之间的结合更加紧密。

树脂在塑型之后的收缩量可以直接从树脂生产商那里获得。一般情况下，模具制作人员将在模具的尺寸中增加一个针对物料收缩的余量。增加余量之后的数值才是型芯与型腔加工的真实尺寸。图 2-9（a）中表示的是图 2-9（b）的零件的加工模具。图 2-9（a）中的尺寸是根据公式（2-1）计算的：

$$(1+a)b=c \tag{2-1}$$

式中　a——收缩率；

b——零件尺寸；

c——模具尺寸。

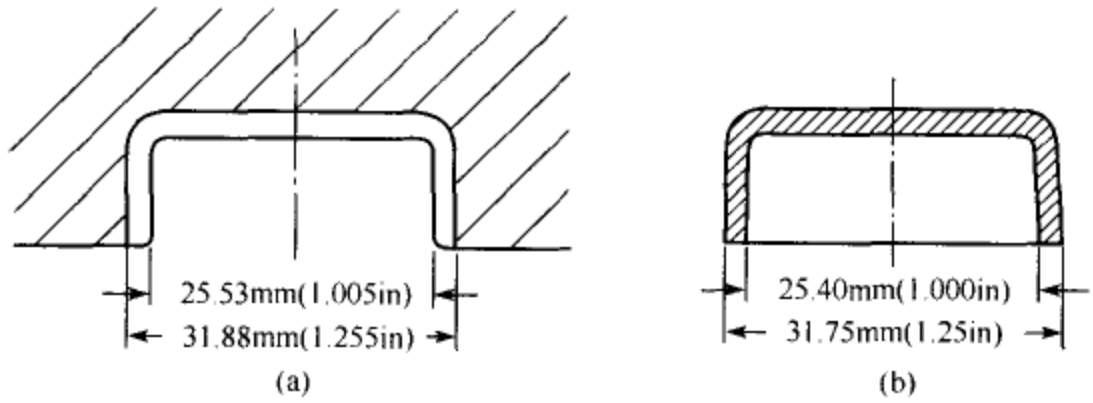


图 2-9 塑型之后的收缩

(a) 型芯与型腔；(b) 加工完成的零件

在数字 1 的基础上加上收缩率就可以得到一个乘子。因此，当每英寸有 0.005in（即 a 值）的收缩率就可以得到一个数值为 1.005 乘子。因此，对于尺寸为 25.4mm（1.000in）的零件，其加工模具的尺寸应该是：1.005×25.4mm=25.53mm 或者 1.005×1.000in=1.005in。

收缩率经常表示为一个范围。在通常情况下，这个收缩率范围的低值对应的是薄壁零件，而收缩率范围的高值对应的是厚壁零件。非结晶性热塑性塑料的收缩率比较低；但是结晶性物料的收缩率可能很高，并且变化范围也很大。某些聚乙烯树脂的收缩率可以从 0.38～1.27mm/mm（0.015～0.050in/in）变化。

收缩率与物料选择以及连接设计等装配过程中的问题有直接联系。一旦零件设计完成，并且模具制作出来之后，工程人员的物料选择范围将限制在收缩系数比较接近的树脂。因此，如果需要将收缩率为 0.75mm/mm（0.030in/in）的聚乙烯替换为收缩率为 0.10mm/mm（0.004in/in）的聚苯乙烯是不可能的。零件的尺寸将存在非常大的差别。

当然，这种现象也可以加以利用。例如，如果相互装配的零件中其中一个稍微有点大，并且模具很难或者不可能进行修改，就可以使用一种收缩率比较高的物料。相反，如果零件太小，就可以使用收缩率比较低的或者含有填料的物料。成型条件也可能对收缩率产生非常大的影响。

2.6 配合

2.6.1 塑料装配的作图惯例

对于设计人员与工程师而言，非常重要的一点就是要理解工程图纸的法律含义。以加工新零件为内容的购买合同通常以工程图纸作为模具制作尺寸与公差范围的参考依据。因此，工程图纸也成为了合同的一部分，模具制作人员应该将图纸中说明的任何细节限制在规定的公差范围之内。而且，模具制作人员不能因为在为模具报价时没有注意到图纸中规定的细节或者公差范围而在事后要求追加额外的费用，这种要求在法律上是不成立的。相反，如果设计人员或者工程师在将图纸递交

给模具制作人员进行模具加工的时候，没有注明加工细节或者公差范围，模具制作人员有权利在事后要求追加额外的加工费用与制作时间。

因此，在模具的设计与开发过程中涉及到的所有人员都应该将工程图纸作为一种法律文件看待。

为了缩短新产品上市所需要的时间，设计人员肩负着非常大的压力。但是在某些情况下，缩短生产周期的压力会使设计人员在工程图纸中采取省略的方法，从而导致生产出来的零件无法装配在一起。在通常情况下，采取的补救措施一般是修改模具，从而浪费大量的金钱与时间。而且在某些情况下，模具是无法修改的，不得不重新制作新模具。甚至由此产生法律纠纷。

在工程图纸中，采取省略画法的一个最严重的错误是没有在工程图纸中注明拔模斜度与转角半径。而这两个基本尺寸对塑料零件的装配与加工模具的制作成本有非常大的影响。其他领域的设计人员或者工程师往往会低估了这两个尺寸的重要性。如果工程图纸中标注的零件尺寸很少或者根本没有尺寸，因此不便于模具制作人员对图纸进行检查的情况下，问题将变得更加严重。如果在设计过程中采用了三维的计算机辅助设计程序，设计文件将被直接输送到加工中心，然后完全按照所绘制的图纸来加工模具。

图 2-10（a）表示的就是这样的图纸。如果在这样的图纸中包含有“可以接受的拔模斜度是 1°/边”以及“允许的内角半径是 1.5mm（0.059in）”，往往会引起灾难性的后果。在图纸中使用诸如“可以接受的”与“允许的”将使模具制作人员制作出图 2-10 中表示的零件。实际上，模具制作人员按照这种方法制作模具可以节省模具制作成本。因为在模具中增加转角半径与拔模斜度将增加模具的制作成本。因此，模具制作人员往往会制作出图 2-10（b）中的模具。而这一切都是由于

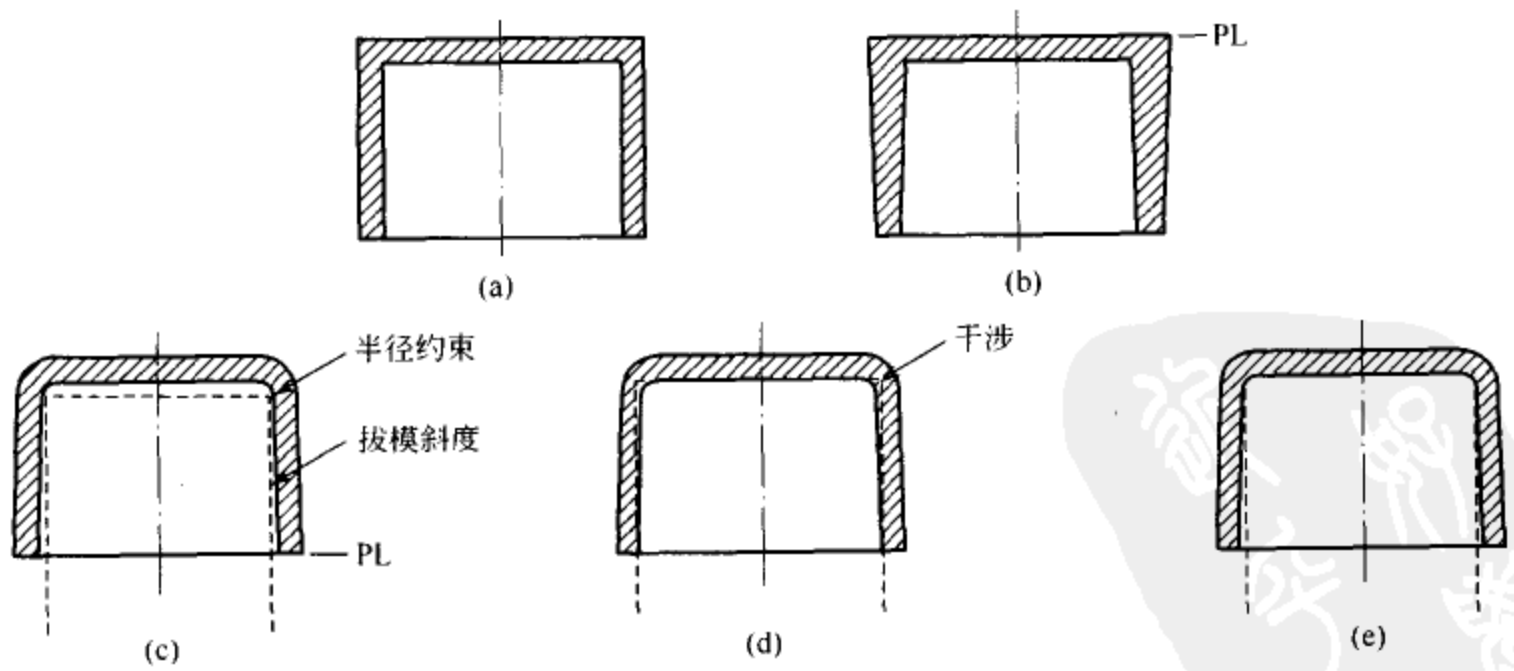


图 2-10　图形的影响

（a）没有注明半径或者拔模斜度的图形；（b）分型线在顶部的图形；（c）分型线在底部的图形；（d）没有考虑到拔模斜度，因此可能与配合零件存在干涉的图形；（e）考虑到拔模斜度的图形

图纸设计不当造成的。即便存在很好的设计思想，如果没有在设计图纸中表示出来，就等于在合同中也没有表示出来。从而制作出上述图形中表示的模具。

为了消除可能存在的对于工程图形的错误理解，一种比较谨慎的方法就是遵循下面的规则：工程图纸必须完全按照零件的实际形状来绘制。

因此，图 2-10（a）中绘制的零件实际上应该绘制成图 2-10（c）中的样式。拔模斜度与转角半径都表示在零件中清楚地反映了一些可能存在的装配问题。图中的虚线表示，如果装配的另一个零件的转角是直角，在装配过程中将存在干涉。

图 2-10（d）中的虚线表示如果装配的另一个零件没有考虑到拔模斜度，就可能在装配过程中存在干涉。如果将标注的尺寸作为拔模斜度的最大数值，所描绘的零件将如图 2-10（d）所示。但是如果将标注的尺寸作为拔模斜度的最小数值，所描绘的零件将如图 2-10（e）所示。

目前存在很多种使用范围广泛的计算机辅助设计（CAD）程序，这些程序使用方法简单，而且成本便宜，模具制作人员可以利用这些程序设计模具。因此，每一个模具制作人员都会选择一种或者两种对其具体工作最为合适的设计程序。可以将通过其他程序设计的图纸转换成自己使用的程序。如果模具设计人员提供的图纸是可以直接在模具制作系统中使用的 CAD 文件，则模具制作准确性的责任就从模具制作人员转移到了 CAD 设计人员及其所在的公司。在这样的情况下，CAD 设计人员必须非常认真，避免在设计图纸中出现没有标注拔模斜度或者没有标注转角半径的情况。而且设计人员也应该明白，在通常设计过程中所采用的两层设计检验手段，即检查员与模具制作人员这两道检验程序，已经从现在的设计体系中消除了。

2.6.2 装配公差的重要性

如果足球可以称为一种“以英寸为单位的游戏”，则零件装配就可以称为一种“以千分之一英寸为单位的游戏”。压入配合、溶剂焊接或者其他连接方式可以提供足够大的连接强度，而有的连接方式则不能提供足够的强度，两者之间的区别可能仅仅是千分之一英寸或者百分之一毫米。

大量的模具制作与修改的成本都是由于模具的公差范围不当造成的。在某些情况下，因为模具的公差范围不当，零件无法装配，导致工程项目不得不停产。在另外的情况下，由于在公差内所有型腔没能保持其功能，所以较大的多型腔模具只有部分型腔在工作。

许多这样的问题都可以通过改进模具的尺寸加以解决。一旦零件是按照实际形状绘制的，则装配细节的控制对于成功的装配就变得很关键了。

图 2-11 中的尺寸 A 就是一种在模具与零件中都不存在的尺寸。虽然这个尺寸可以在型芯中制作圆角之前进行测量，但是这个尺寸实际上只是一种参考尺寸，因为这个尺寸在零件中实际上是不存在的。在加工完成的模具或者零件上可以测量的第一个点位于半径的切线上，即尺寸 B。这个尺寸可能与尺寸 A 存在很大的差异。

对于拔模斜度为 2°/边、外角半径为 3.18mm（0.125in）的零件，尺寸 B 可能比尺寸 A 多出 0.23mm（0.009in）。这个尺寸差距足以使公差范围失去作用。而且，如果是紧密装配的零件，可能被质量保证人员不正确地判断为尺寸范围超出了公差范围。

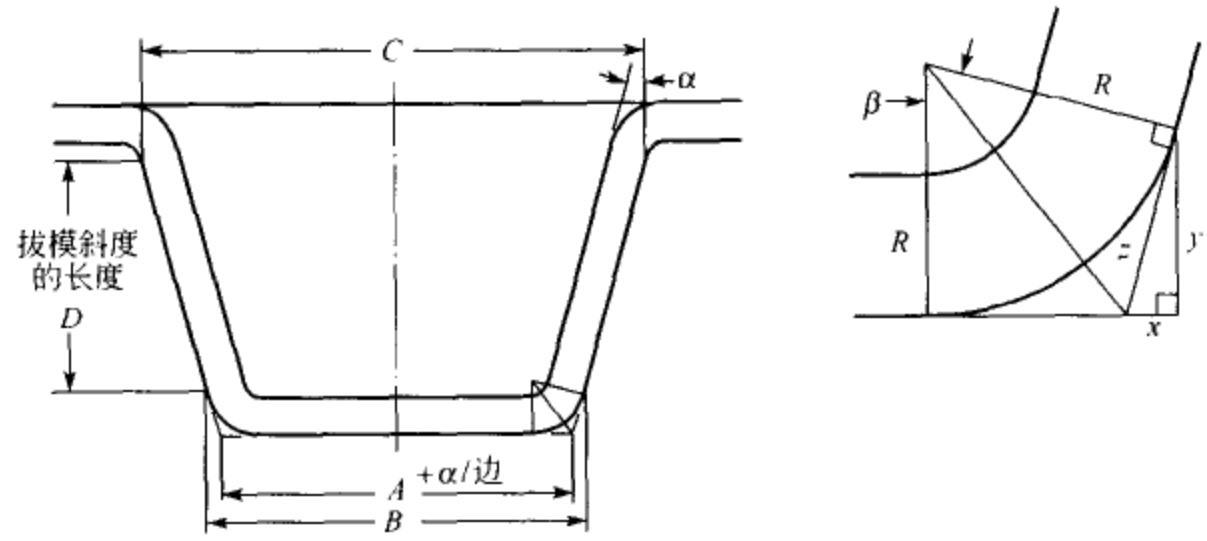


图 2-11　配件公差

CAD 程序可以计算出切线位置上的距离。如果希望通过手工计算的方式确定这个点的位置，可以使用下面的计算公式：

$$\angle\beta = 90° - \angle\alpha \tag{2-2}$$

$$z = R\tan(\beta/2) \tag{2-3}$$

$$x = z\sin\alpha \tag{2-4}$$

$$y = z\cos\alpha \tag{2-5}$$

式中　$\angle\alpha$——拔模斜度；

$\angle\beta$——构造角；

z——构造斜边；

x——水平偏移量；

y——到切点的垂直距离。

在实际应用上述方法的过程中，遇见的一个问题就是模具制作人员会认为这个到切点的距离指的是到交叉点的距离，即便是图形上已经标注了这个距离是对于切点的距离。这是因为在通常情况下，测量的尺寸是交点的距离，而不是对于切线的距离。因此，要求设计人员清楚地标注尺寸的位置，甚至对上述两种尺寸都要标注。

零件另外一边的尺寸，即尺寸 C 也是同样重要的，而且这个尺寸对于直角转角的情况也同样重要。尺寸 C 的位置是由式（2-6）所决定的。根据通常的关于拔模斜度的规定，如果一个尺寸以及相关的角度位于可以接受的范围之内，必须参考零件另外一边的尺寸。但是，如果需要对配件进行严格控制，更好的方法是将零件两边的尺寸都限制在公差范围之内，同时要参考角度的大小。

$$X' = D\tan\alpha \tag{2-6}$$

式中 X'——零件壁的水平偏移量；

α——拔模斜度；

D——存在拔模斜度的零件壁的长度。

这种方法可以避免尺寸错误，例如虽然零件的一边得到仔细控制，但是由于设计人员没有考虑角度的公差，而没有对零件另外一边的尺寸进行控制。例如，对于角度公差范围是±0.5°、高度 D 是 25.4mm（1in）的零件，尺寸 C 的变化范围可能达到 0.43mm（0.017in），这样很容易带来装配问题。

2.6.3 针对塑料零件的特殊拔模斜度方法

有一种拔模斜度的设计方法是塑料工业所独有的，就是指定一个固定的拔模斜度。这种方法通常是指定+α°/边，并且将这个角度标注在尺寸的起点位置。因此，+2°/边就表示角度为 2°的拔模斜度将从标注尺寸的开始位置上升。相反，如果标注的拔模斜度是−2°，就表示角度为 2°的拔模斜度将从标注尺寸的开始位置下降。

另外，在塑料零件的图纸中存在一些在其他行业中通常不存在的规定。

（1）每一个型腔必须有一个标志号码——待审批的位置编号　这种做法是在模具中使用多个型腔时通常应该采用的做法，因为这些型腔的尺寸并不相同，应该通过一个小号码或者小字母加以区别，这个号码或者字母应该放置在不会对装配或者零件外观造成影响的位置。为了能够确定产生不合格零件的型腔的位置，标志号码是必要的。

（2）浇口的位置必须在获得批准之后才能加工　很多塑料工艺需要使用浇口将塑料添加到模具中。不管是造型工还是模具制作人员，都难以对零件及其装配元件有透彻的理解。因此，设计人员或者工程师应该对浇口的位置进行审查，保证浇口的位置不会影响到零件的功能或者外观。但是，尽管有这个规定，具体操作人员如果可以按照一种最经济的方式加工零件，他们可以按照任意的方式进行塑料零件的加工。

（3）熔接线不应该是可以看见的　通过浇注工艺加工的零件会在浇口大致相反的方向上存在一个熔接线，虽然熔接线的具体位置会根据零件的轮廓而有所不同。多个浇口将会形成多条熔接线。在每个型芯销子的周围也会有一条熔接线，这是因为熔化的塑料只有绕过那个销子才可以填充到模具中。除非孔是钻制而成的，在其他情况下，孔或者凸台通常都有一个型芯销子，因此不可避免地都有熔接线。对于通过注射模具制作的零件，型芯孔与零件边缘的距离应该不少于 1.5～2mm（0.059～0.079in）；对于通过压制成型的零件，型芯孔与零件边缘的距离应该不少于最大型芯孔直径的 2 倍。

塑料熔体的温度与压力将决定塑料在熔接线附近焊缝的数量。“开放熔接线”这个术语表示在熔接线附近没有焊缝，这种情况通常会导致零件不合格。在某些情况下，形成的是部分熔接线。这种熔接线不仅可以看见，强度要比周围的材料弱得多。如上所述，这也是一种应该避免的情况。一条比较好的熔接线应该是不明显

的，虽然当仔细观察时，在抛光的零件表面上也会存在一条轻微的熔接线。这种情况是可以接受的，但是，有必要对熔接线的明显程度进行测试，以便制定出可以接受的熔接线的明显程度标准。这要求在备注中添加“限制样品”这样的术语。但是，即使是比较好的熔接线强度也要比周围的材料弱一点，而且这种情况往往是最容易产生问题的地方。对于不允许任何应力损失的关键区域，应该在该区域添加“该区域不允许熔接线”的标志，以便可以相应地安排浇口的位置。对于处理凸台由于自攻丝螺钉而导致的裂缝问题，将在第 8 章“紧固件与嵌件”进行介绍。

（4）飞边的最大允许尺寸是 *XXX*in　飞边是溢出到模具缝隙间的微量塑料。对于在最佳操作条件下形成的塑料零件，几乎总是会存在飞边。飞边的数量会因为加工工艺的不同而有所不同。只有设计方面的新手才会要求在零件设计中没有飞边，以消除不必要的成型后裁剪操作费用。更好的设计方法是，在零件设计中，不要将零件的装配面安排在零件的分型线上。如果不能采取上述办法，另一个比较好的方法就是在零件设计中安排合理的飞边量，这样可以避免零件成本的上升。

（5）允许的最大不重合度是 *XXX*in　“不重合度”通常指的是模具上面的部分与下面的部分在分型线位置的同轴性。但是，不重合度也可以指模具型芯或者型腔上任何两个部分之间的同轴性。为了避免在关于公差中是否包括不重合度方面存在争议，应该明确标注出允许的最大不重合度的数值。如果在模具的型芯与型腔之间存在一定数值的不重合度，将使零件两面的壁厚存在差异。而且因为型腔的空间在模具的两面之间并不相同，熔化的塑料在模具中的流动将不稳定，从而可能影响零件的强度，以及熔接线在孔中或者凸台上的位置。型芯与型腔之间的不重合性也是通过在零件壁厚中规定公差进行控制的。

（6）零件的平面度必须控制在 *XXX*mm 之内（或者在 *XXX*mm/mm 之内）据说绝对平面或者绝对圆形的塑料零件是不存在的。这或许是真的，但是也完全应该设置一个平面度或者圆形度的范围。塑料加工过程对加工周期非常敏感，如果没有这样的限制，加工过程可能将失去控制，零件的尺寸也无法得到保证。

（7）材料应该注明生产商名称、准确的树脂牌号，零件应该包括含量为 *XX*% 的添加剂，应该注明生产商名称、准确的添加剂牌号；如果没有书面同意，不能随意替换材料或者添加剂　材料经过测试并且获得批准之后，应该明确标注，不允许替换。因为与最初使用的材料完全相同的另外一种材料是不存在的。而且零件在专利方面的规定也不允许这样做。因为其他种类的材料将与最初使用的材料在某些方面并不相同，将表现出不同的特性。根据具体应用情况，不同的材料可能会影响产品的特性，甚至可能产生法律方面的纠纷。

另外，材料的供货商并不一定是树脂的实际生产商。实际上，供货商的进货渠道有很多种。因此，必须弄清楚供货商的进货途径，对于应用领域比较严格的情况，通过所有来源采购的树脂都应该进行检验。

在工作条件允许的范围内，设计工程师应该测试出另外的等级合格的树脂种类，并且至少有两种（最好三种）获得批准。这样可以使零件塑型人员具备更大的

灵活性，可以对树脂的供货情况与价格波动及时地做出调整，从而可以将产品成本控制在合理范围之内。在任何情况下，都应该避免使用像“同等材料”这样笼统的词汇，因为这样的词汇的意义不明确，可能导致不必要的纠纷。

（8）可以接受的回收物料的比例是 $XX\%$ “重新回收的物料”指的是重新加入到物料中的熔渣、浇口料以及生产的不合格零件，这些物料经过与原始物料重新混合之后，可以再次添加到模具中。使用重新回收的物料是热塑性塑料的特点之一，这样可以使物料的利用率几乎达到100%，保证了经济上的竞争力，并且解决了物料在生产过程中回收的问题。但是，物料加热到高温之后，将发生降解，因此这种重新回收的物料将降低物料的物理属性。然而，根据物料种类以及塑型条件的不同，这种降解的程度也有所不同。

很显然，在物料中添加的重新回收的物料的比例越高，物料的物理属性降低的程度也越大。但是，物理属性的降低会因为乘积效应而有所缓解。例如，如果在物料中添加的重新回收的物料的比例是20%，这批物料循环两次之后，其中含有的重新回收的物料只有4%（20%×20%），如果经过三次循环，重新回收物料只有0.8%，如果经过四次循环，物料中包含的重新回收的物料将只有0.16%。添加重新回收的物料之后，将导致产品的脆性上升、表面颜色变黄或者变暗。

（9）顶杆位置必须经过审批程序　零件设计人员应该切记的一点是，不管是零件塑型人员，还是模具制作人员，对产品及其应用都不熟悉。这些人员将根据模具的构造与零件顶出标准来选择顶杆的位置，而他们选择的位置可能影响零件的装配，也可能影响零件上的其他部分。因此，顶杆的选择位置必须经过设计人员的审批。

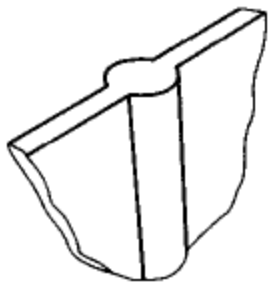


图 2-12　顶杆衬垫

要特别注意的是加强筋上顶杆的位置。因为加强筋对模具型芯的束缚作用，将顶杆安排在加强筋上比较合理。但是，加强筋通常都非常薄，仅仅能设置最小直径的顶杆，而这种顶杆经常折断，不得不替换。虽然模具制作人员可以通过更换更粗的顶杆来解决顶杆折断的问题，但是更粗的顶杆需要在周围有更多的材料来保护。这些保护材料称为顶杆衬垫，见图2-12。但是如果顶杆的直径太大，将在外表面上形成表面缩痕（参考2.3节“筋和凸台”）。

在批准顶杆的位置之前，零件设计人员应该检查顶杆衬垫或者角撑板的位置不会影响零件上的其他部分，也不会在顶杆与外表面的交叉位置产生不可接受的表面缩痕。

（10）除非另有规定，应该在所有的外表面上标注SPI表面光洁度编号 X，而且应该在所有的内表面上标注SPI表面光洁度编号 Y　零件光洁表面的类型、位置以及深度应该在光洁表面的位置明确标注。零件的外表面应该符合表面光洁度要求，这个要求可能与广泛采纳的SPI表面有所不同。内表面应该抛光，使其光洁程度可以保证在不需要施加外力的情况下，就可以将零件从模具中顶出；否则，如果零件内表面粗糙不光滑，就容易产生倒陷，使零件贴附到型芯上。

(11) 如果没有另外规定，应该标注出公差范围±*XXX*　如果能够正确地使用，这个标注方法或者公差范围是比较方便的，可以节省大量的制定拔模斜度的时间。但是在很多情况下，这个公差范围的使用往往是不正确的，从而使公差范围变得非常小。这是因为对于零件设计人员而言，使用总体的公差范围比制定各个部分的公差范围要更为容易。如果采用的公差范围太大，使用“如果没有规定公差范围，尺寸仅供参考”的备注将更为合适（“参考”指的是提供信息的目的，通常简写为 REF）。

特别紧的公差范围将极大地增加模具的制作成本。模具制作人员不得不将模具的公差范围限制在图纸上标注的公差范围的 1/3 以内的范围内，而这个数值也是在制作模具过程中可以使用的公差范围。通常的公差范围是 ± 0.013mm (±0.005in)。这意味着模具制作人员可以使用的尺寸公差范围只有±0.0043mm (±0.0017in)。这种尺寸只有通过仔细而且精密的工作才可以完成。而且这种工作需要很长的时间，也很昂贵，将极大地延长模具的制作时间。对于零件的塑型人员，也必须延长零件制作时间，才能满足紧密公差配合的要求。很显然，零件制作过程的成本将有很大比例消耗在紧密公差配合方面。

但是，现在普遍存在的一种现象是，人们经常要求非常紧密的公差配合，以至于模具制作人员与零件塑型人员已经习惯了要求工程人员标注出他们真正需要的公差范围。所谓的严格尺寸损害了整个公差体系的有效性。所有的合理公差范围都应该遵守，但是不必要的公差范围也没有必要遵守。合同各方都应该切记的是，工程图纸也是合同的一部分。如果发生法律纠纷，在图纸上标注的内容是最有说服力的内容。

然而，前面叙述的工程图纸的法律意义并不是说丝毫不允许偏离工程图纸上标注的公差范围。在某些情况下，在零件塑型之前在工程图纸上标注的公差范围在真正加工零件的时候发现太紧密了。特别是当生产之前没有简便的方法来确定零件的实际刚度的时候，这种情况显得特别普遍。因此，零件的实际尺寸可能与预测的形状有所区别，因此比较大的公差范围也是可以接受的。如果接受的零件的实际尺寸与合同图纸上的实际尺寸存在偏差，应该以书面方式记录这种偏差，并且应该相应地修改图纸，以便反映出新改进的公差。

但是不管公差范围如何修改，目标却是不变的：生产的零件必须能够正确地装配，并且可以在可以接受的参数范围内配合在一起。

2.6.4　制定公差范围的步骤

图 2-13（a）中表示出典型的外零件与内零件。它们的配合公差是按照图 2-13（b）中的步骤制定的。假定内零件所需要的尺寸是 25.40mm（1in），尝试使用的公差范围是±0.13mm（±0.005in）。这样的公差范围将产生一个高边尺寸为 25.53mm（1.005in）以及低边尺寸为 25.27mm（0.995in）的零件。因为开始点是内零件，最小的配合间隙是由高边确定的。如果确定 0.05mm（0.002in）为最好

的配合间隙，则外零件可以接受的最小尺寸变为 25.58mm（1.007in）。如果保持相同的公差范围 ±0.13mm（±0.005in），则外零件的公称尺寸是 25.70mm（1.012in），高边尺寸变为 25.83mm（1.017in）。

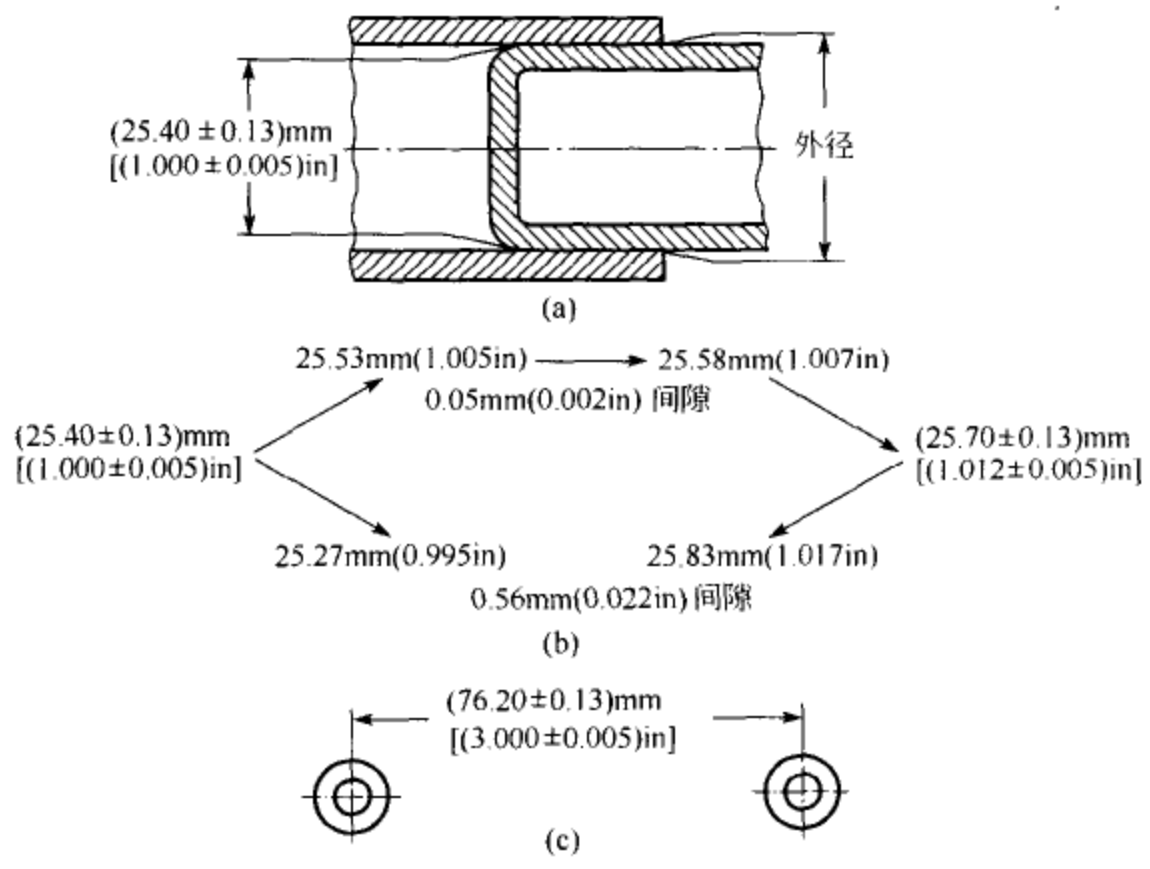


图 2-13　公差制定步骤

根据内零件可以接受的最小尺寸是 25.27mm(0.995in)，最大配合间隙变为 0.56mm(0.022in)。如果塑料零件上面有两个这样的配合元件，如图 2-13（c）所示，并且这两个元件的中心距离是（76.20±0.13)mm[(3.000±0.005)in]，则必须在总体配合间隙 0.81mm(0.032in) 中增加大小为 0.25mm(0.010in) 的配合间隙。这种配合太松，对于很多应用情况都是不能接受的。但是，在尺寸为 25.40mm(1in) 的零件上使用大小为±0.13mm(±0.005in) 的配合公差，对于许多高收缩性塑料都是非常紧的配合。如果零件的尺寸是 76.20mm(3in)，这样的公差范围是非常紧的。

经验比较少的设计人员往往会缩小配合公差的范围，从而在很大程度上增加塑料零件与模具的制作成本。这种设计的后果甚至会导致不得不使用更昂贵的替换材料。这好像是在故意寻找设计过程中的困难。而经验丰富的设计人员则会借助于塑料本身的优点以比较松的而且成本较低的公差范围来改善塑料零件的配合。

2.7　塑料零件中更松的配合公差的设计方法

为了能够在满足零件性能的前提下设计出最松的配合公差，最基本的原则就是利用塑料材料的属性。在这方面最重要的一点就是改变塑料的刚度，从而使其中的一个配合元件比另外一个元件的硬度要高。借助于这种属性，其中比较硬的零件将

引起另外一个零件按照它的外部轮廓做相应的变形，如图 2-14 所示。两种材料之间的刚度差别越大，这种方法的使用就越简单。正常情况下，内部零件是更硬的零件。但是也可以在外部零件中使用更硬的材料，虽然这样的设计范围要相对小一些。

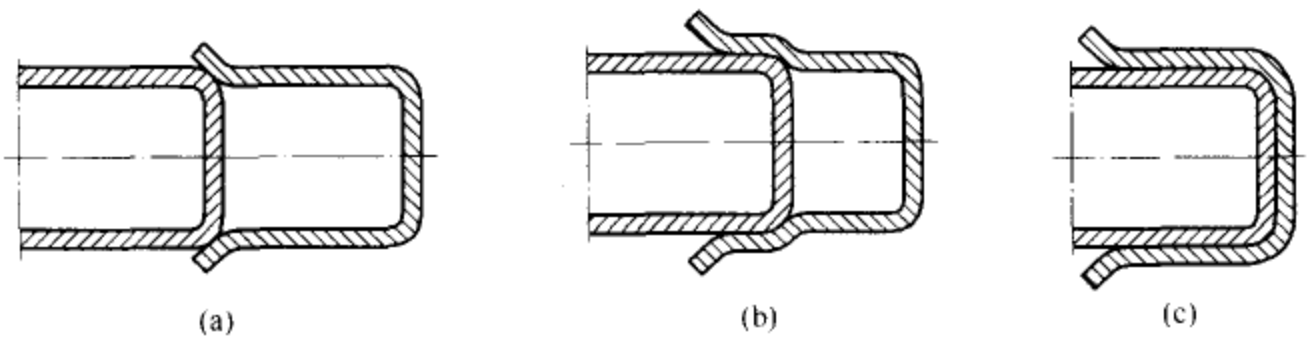


图 2-14　软硬配合

(a) 开始点；(b) 装配过程中；(c) 配合完成

如果两种材料必须用刚度比较接近的材料制成，为了达到这个目的，可以将其中一个零件的壁厚减薄。但是零件在刚度方面的差别要小得多。在某些情况下，热量也可以产生相同的效果。在溶剂配合中，溶剂在有些情况下也可以将零件软化，可以达到相同的效果。

2.7.1　三点定位

公差制定过程中的下一个原则就是三点定位原则。这种方法见图 2-15 (a)，其中圆柱部分完全被圆周方向上的三个点所限制。这也是所需要的全部工作。图

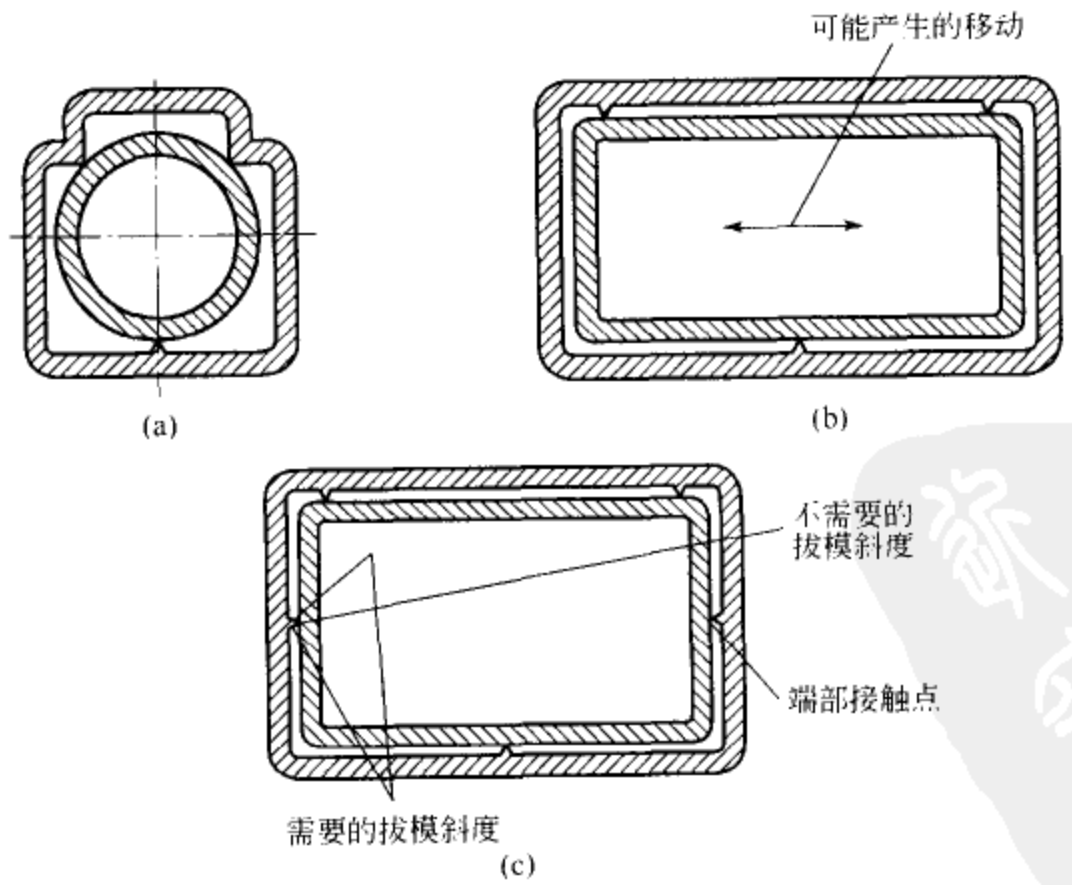


图 2-15　三点位置

(a) 圆柱接触；(b) 部分限制；(c) 完全限制

2-15（b)表示在矩形物体中采用三点定位方法的示意图。在这种结构中，在垂直方向的活动受到限制，但是在水平方向上的活动却没有受到限制。图 2-15（c）表示，如果在每一端部增加一个接触点，所有方向上的活动都受到限制。

上面表示的是为了定位一个物体而需要的最少数量的接触点。但是，最少数量的接触点可能不一定能够承受足够的应力，例如剧烈的坠落实验。在这种情况下，就需要使用加强筋。如果加强筋的侧面上存在拔模斜度，则定位筋的导向边上就不需要设置拔模斜度。

配合的塑料零件经常有直边。如果不希望而且也不适合在零件中使用滚压加强筋，直边显然将提高零件表面的承受能力。但是，没有拔模斜度的零件壁却非常难以从模具中拆卸出来，因此成本也非常高。如果加强筋的侧壁存在拔模斜度，导向壁可以做成直边的样式，如图 2-15（c）所示。

2.7.2 中空凸台

如果需要安装的零件离相互装配的另外一个零件距离比较远，一般会使用一个独立的销子或者“浮动”的加强筋。但是这样的销子可能在零件的外表面上留下表面收缩痕。加强筋也可能成为模具中的存气坑，从而留下焦烧的标记。当将熔化的塑料加入到模具中时，熔化的塑料将向前推动已经存储在型腔中的气体。因为在独立加强筋中的气体没有空间可以逃逸，因此只能存储在加强筋离浇口比较远的另外一端，然后将在热与压力的作用下变热。如果销子比较大，就需要在下面安装顶杆。在顶杆以及气体逃逸的分型线周围通常会设置排气口。

如果在零件壁上使用加强筋，气体将被迫沿着加强筋流动，到达零件壁，最后到达位于分型线位置的排气口。为了避免这种情况，可以不采用独立加强筋，而采用定位凸台，如图 2-16 所示。侧壁上存在排气口的型芯销子将在中心位置产生开口。这些销子可以透过型腔的底部，并且到达分型线的位置。因为这些销子是静止的，因此可能在排气口积聚尘土或者塑料渣子，从而不得不在维护时进行清理。如果型腔的数量足够少，只需要用手拆卸即可，或者可以使用两阶段顶出方式，就可以用顶杆代替型芯上的销子（这种替换是必要的，因为型芯上的孔会阻止塑料零件自由降落）。另外，还可以使用价格比较昂贵的顶出套管的方式。

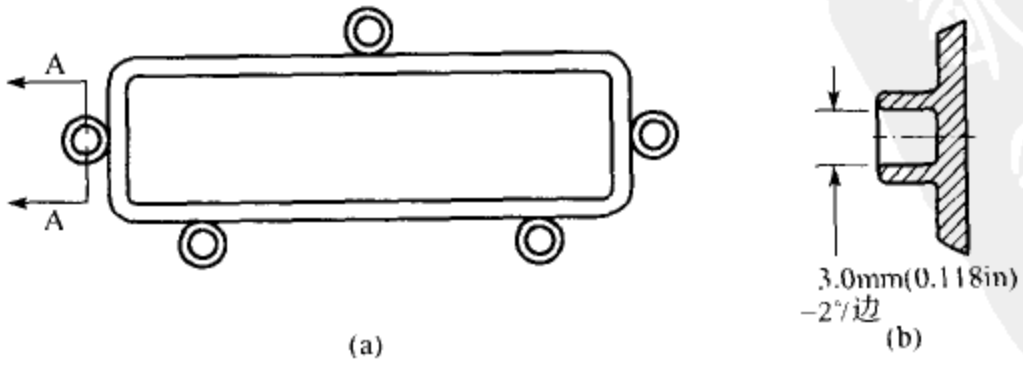


图 2-16 中空定位凸台

（a）平面视图；（b）A A 截面视图

2.7.3　滚压加强筋

在塑料零件中使用滚压加强筋的定位方式有一个优点，即接触点是在中空凸台或者加强筋中完成的。这些元件在塑料零件的中心位置要比在零件的外壁上容易控制；而且，这些元件的改造成本也比较低，并且在调整的时候对零件的重量与壁厚的影响也比较小。更为重要的是，通过使用这些元件，可以在保持零件壁厚均匀的情况下，定位与这个零件进行装配的另外一个零件，而不需要为了定位而增加零件的壁厚。

加强筋有一个特别之处，就是可以设计成可以变形的样式。这样的加强筋称为“滚压加强筋”，并且可以按照很多种方式加以使用。可以变形的数量是由材料所决定的；但是，降低零件的壁厚，并且将加强筋的边缘引导到一个点也是有效的。图 2-17（a）表示的是这样的加强筋的截面图。在安装另外一个零件的时候，应该滚压加强筋的尖部，因为加强筋的尖部非常薄，因此可以方便地通过这种方式将加强筋变形。例如，如果将加强筋的角度改变 2°，则零件侧面在 1in 的深度上将改变 0.035in。这将在很大程度上增加公差范围的数值。图 2-17（b）表示的是塑料零件的端视图，表示如何将加强筋应用于中心定位以及装配。在装配过程中，使用四个加强筋要比使用三个加强筋更容易操作，因为四个加强筋更容易调节。

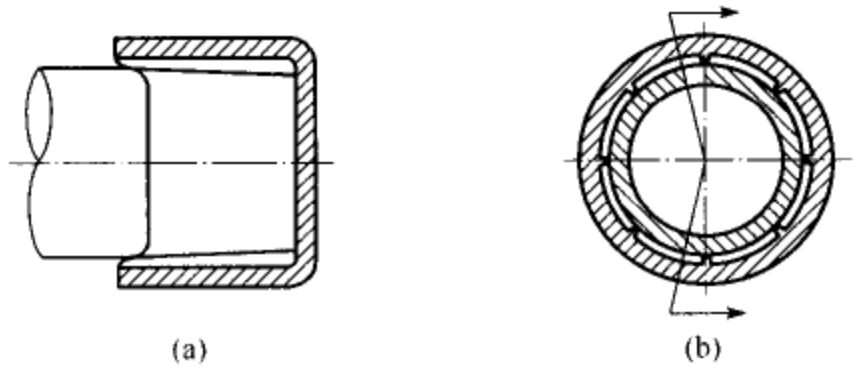


图 2-17　滚压加强筋

（a）截面视图；（b）端视图

但是，收缩量与变形量的准确测量是非常困难的。因此，比较谨慎的方法是“紧套”在零件上的方法。当工作人员在处理单型腔或者原型模具的时候，通常的方法是从零件上比较松的侧面上的目标尺寸开始。对于简单定位，只需要将尺寸表示清楚即可。对于存在过盈的装配，应该使用轻微接触的方式。而加强筋的最后调整是根据最初的接触点的使用效果而进行的。这个过程最好通过遵循“保险”的原则来完成。这意味着型腔的尺寸应该从尺寸比较小的边开始，以便通过移出钢铁来逐渐增加尺寸，而不需要焊接或者机加工，因此将节省大量的成本。基于同样的原因，型芯的尺寸应该从比较大的尺寸开始变化。

2.7.4　柔性加强筋

通过使用图 2-18（a）中表示的柔性加强筋，可以获得更大的公差范围。滚压

加强筋的支撑硬度比较大，但是与其他元件进行装配的能力相对有限，而柔性加强筋却可以在更大范围内与其他元件进行装配。当然，装配范围还取决于所使用的材料，但是，即使相对比较硬的材料，例如聚碳酸酯，也可以使用这种方法。图 2-18（b）表示了这种方法的装配过程。

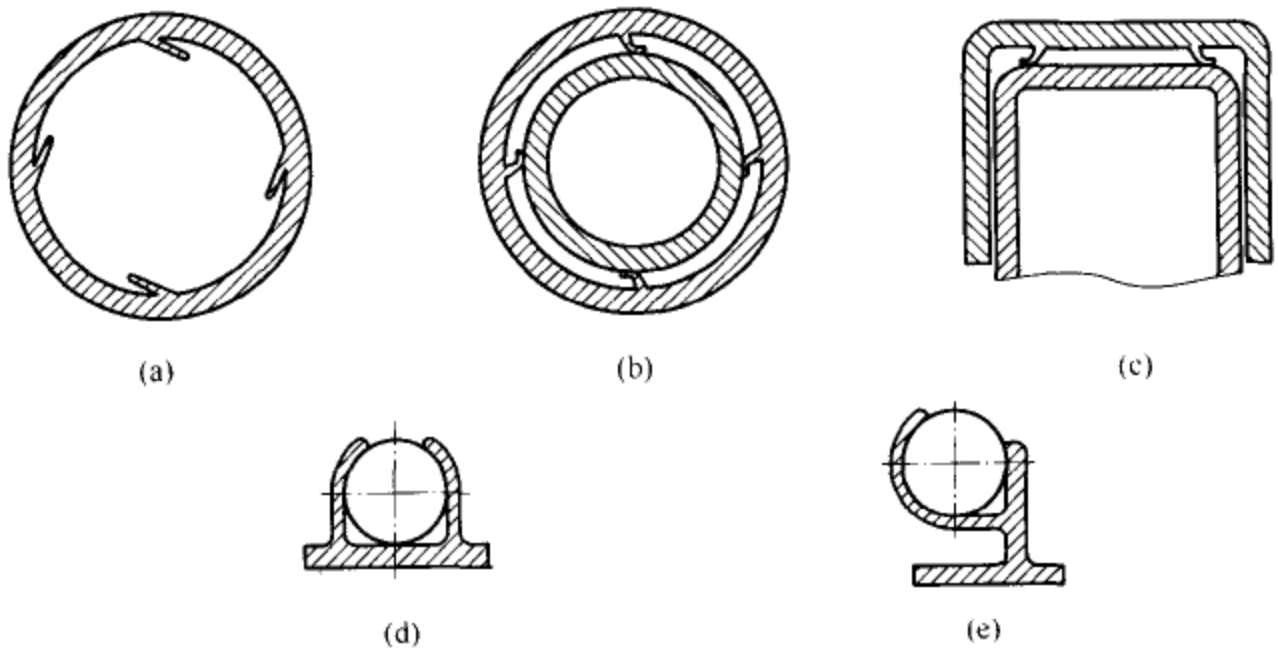


图 2-18　柔性加强筋

（a）模塑零件；（b）装零件；（c）蟹钳；（d）两个柔性臂；（e）一个柔性臂

柔性的概念通常应用在封闭环圈中，在这种应用中，柔性的概念可以提供瓶子密封。而在图 2-18（c）表示的样式中，柔性的概念一般称为“蟹钳”。读者应该注意的一点是，这种概念的某些应用可能受到专利的保护。此外，柔性的概念还可以使用在紧固装置中，如图 2-18（d）与图 2-18（e）所示。图 2-18（d）中的两个臂都是柔性的，而在图 2-18（e）中，只有左边的臂是柔性的。

2.7.5　内/外配合

另外一种使用宽公差范围的方法是内/外配合方法，如图 2-19 所示。如果阳零

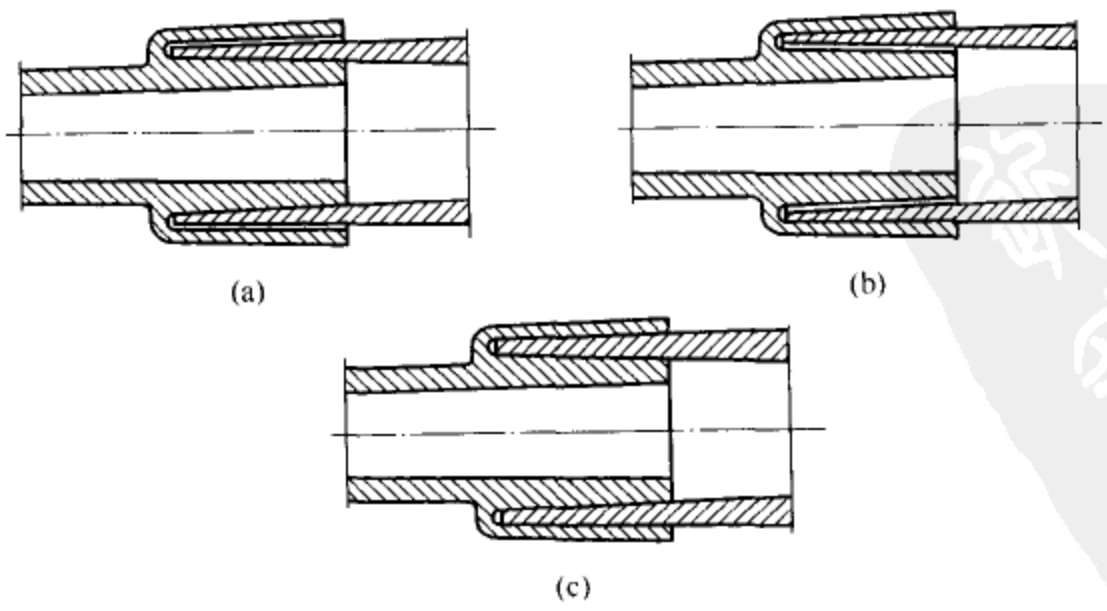


图 2-19　（a）内配合；（b）外配合；（c）楔形效果

件位于大边，内配合将按照图 2-19（a）所示完成。图 2-19（b）表示的是阳零件位于小边，引起外配合的方法。如果材料的柔性足够高，将产生楔形效果，如图 2-19（c）所示。

2.7.6　阶梯装配

另外一种使用楔形概念的方法是阶梯装配，这种方法借鉴的是传统的实验室软管的装配方法。图 2-20（a）表示的是外装配方法，而内装配方法表示在图 2-20（b）中。

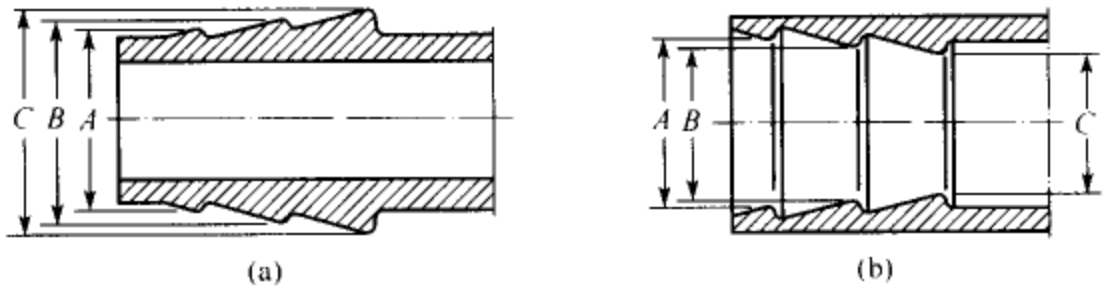


图 2-20　阶梯装配

（a）外部装配；（b）内部装配

2.8　大型制品的更松的公差范围

前面讲述的元件主要应用在小零件上。但是，最严重的公差问题往往发生在大零件上。大零件在例如热成型以及滚塑成型等工艺中产生的 0.25mm/mm（0.010in/in）的公差可以造成严重的装配问题。

2.8.1　现场钻孔

对于小批量装配情况，通常的做法是简单地将两个零件放在一起之后，然后同时在这两个零件上钻孔，而且这种孔应该钻透零件。这样，就完全不需要为孔保持成本比较高的紧密定位公差。如果这样的零件是单件加工的，通常是通过旋转或者吹塑成型的，并且如果这两个零件是通过平面分开的，这种方法将特别有用。在这种情况下，这两个零件将同时位于公差范围的高边或者低边。这种方法的缺点是没有互换性。如果需要更换其中的一个零件，就必须将零件在没有钻孔的情况下运送到安装现场，然后现场进行钻孔。

2.8.2　带有垫圈的大孔

为了解决没有互换性的问题，方法之一就是使其中一个孔变成足够大的大孔，从而能够容纳比较大的公差范围，如图 2-21（a）所示。这种方法的难点是在处理标准大垫圈的中等大小的公差时，必须专门定制垫圈才能处理大的公差范围，因为这样的公差范围将使大孔更大。

2.8.3 交叉槽

处理塑料零件的大公差的另外一种方法就是使用相互之间垂直放置的交叉槽。这种方法如图 2-21（b）所示，可以处理两种方向上的尺寸变化，也可以处理比大孔方法更大的公差变化。这种方法虽然不像圆孔方法那样需要更多的现场制作费用，但是在零件塑型之后的后处理工作的成本要更高一些。

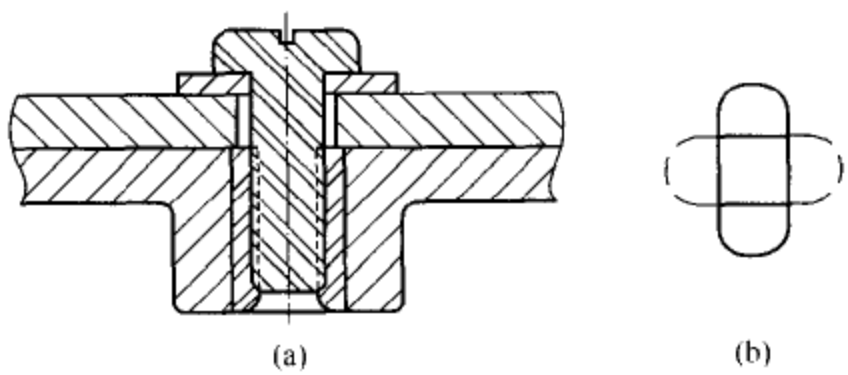


图 2-21 （a）带有垫圈的大孔；（b）交叉槽

2.8.4 功能分离

图 2-22（a）表示通过自攻丝螺钉定位并且固定在一起的两个零件。为了实现这个目标，公差必须设置在用于定位与自攻丝功能的凸台上。这将导致非常紧的公差配合，并且维护成本也非常高。

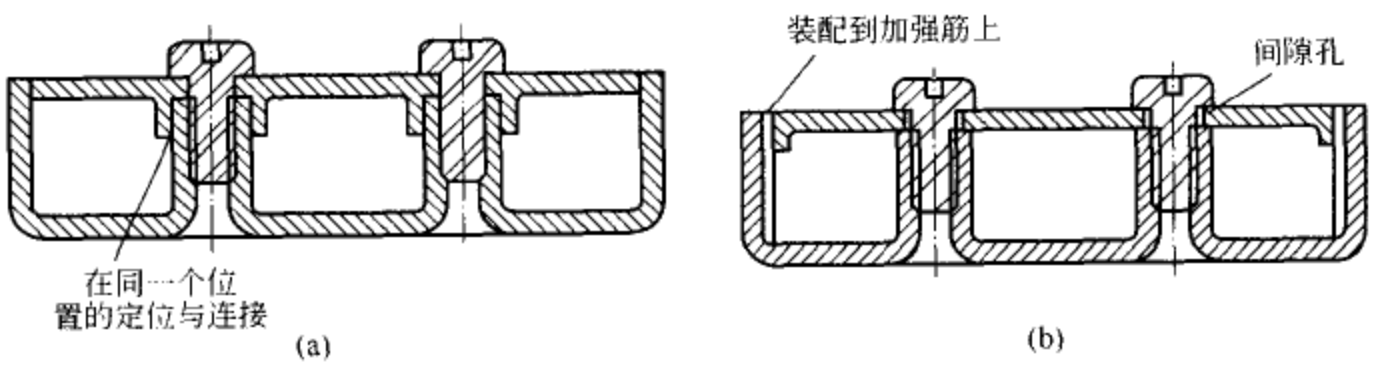


图 2-22 功能分离

（a）连接功能；（b）功能分离

图 2-22（b）表示上述两种功能相互分离的原理。如果采用了定位筋，则放置螺钉的螺孔可以有间隙。而且自攻丝螺钉的凸台也不必是紧公差配合；这样，零件塑型人员就可以集中精力进行熔接线本身的加工。而定位功能也移到了另外的位置，并且可以在不影响凸台强度的情况下独立地进行调整。

2.8.5 拐角间隙

塑料零件在接近拐角交叉点的位置通常是零件上最坚硬的部分，这个位置称为“拐角束缚”[图 2-23（a）]。这是一个在塑料零件装配过程中的普遍问题。通常的做法是将内部零件的拐角半径制作得比外部零件的拐角半径小，这将使这个问题变

得更为严重，尤其是在零件的公差超出范围的情况下。这个问题可以通过下面的办法解决：内部零件的外拐角半径必须比外部零件的内拐角半径大。

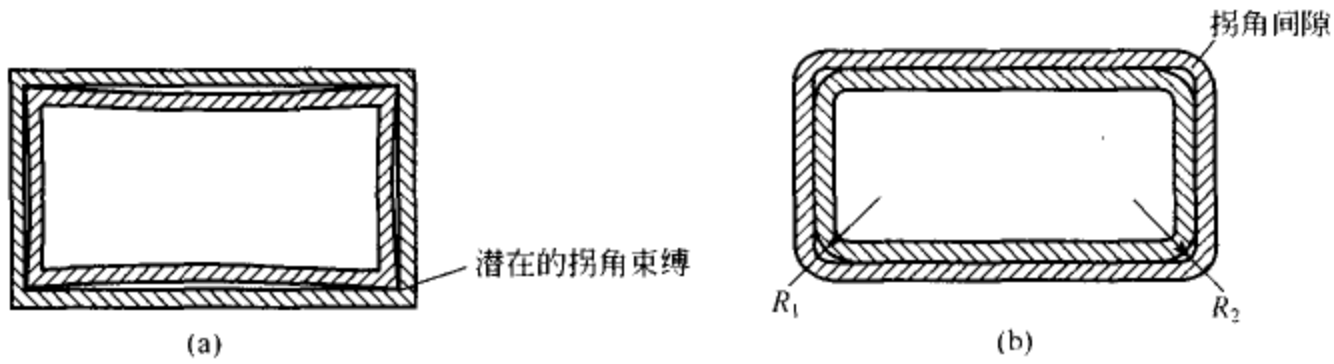


图 2-23　拐角间隙标准

(a) 拐角束缚；(b) 拐角间隙

参考图 2-23 (b)，表示半径 R_1 必须比半径 R_2 大。这样可以在两个拐角之间留出空隙，从而避免拐角束缚。

2.9　半燕尾连接

零件上剩余的最后变形如果不增加成本可能是无法消除的，而这种成本在竞争环境下也无法收回。半燕尾连接，如图 2-24 (a) 中的突出部分所示，可能是塑料零件装配中最常见的连接方式，因为这种连接方式可以同时提供零件之间的连接与定位。但是，这种连接方法是产生问题的根源。第一，这种方法将使零件壁的重量减少 50%，导致冷却不均匀，使零件变形。第二，这种方法需要在内拐角的位置设置缺口，从而将导致应力集中，而对于对缺口敏感的塑料，这种缺口将特别危险。外壁上的拔模斜度在连接位置上面的距离越远，连接状况也会越重要。

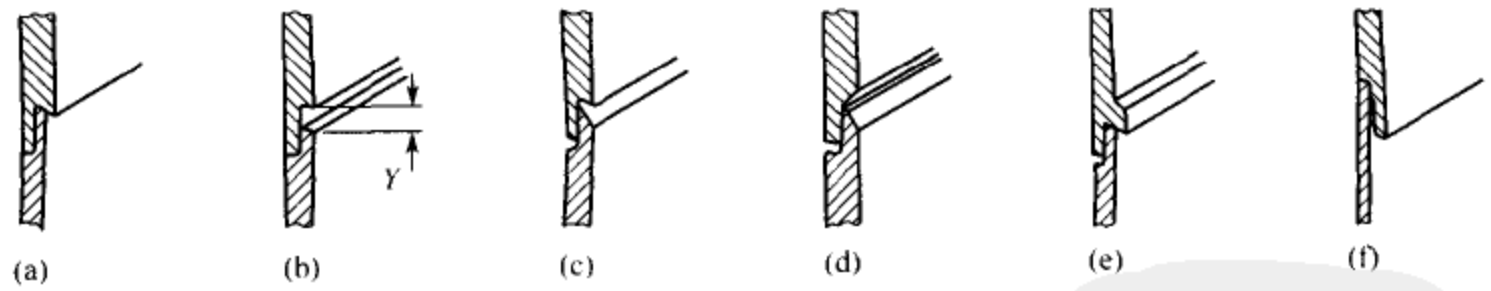


图 2-24　尽可能地降低外观不重合度的影响

(a) 带有突出部分的半燕尾；(b) 分离；(c) 半 V 形槽；(d) 全 V 形槽；(e) 卷边；(f) 裙边

虽然因为半燕尾的特殊结构，而使连接处于最佳状况非常困难，但是可以采取一定的方法来改进这些状况。第一种方法是使壁厚更为均匀（在没有影响外观的前提下）。第二种方法是在满足零件的特定外观条件的前提下，尽可能地降低拔模斜度的角度，直到达到除了连接点之外的某个点为止（如果零件的外壁上存在切口，可以使用薄片结构来降低这种角度）。第三种方法是使连接位置的壁厚比公称壁厚多出 25%，这是在没有变形的情况下允许的最大壁厚。其中，增加的壁厚主要位

于连接位置的外壁，从而可以尽可能地降低可以看见的变形。最后一种方法是增加内拐角的半径，从而降低缺口敏感性的问题，当然，同时一定要在更大程度上增加另外一个零件的边缘半径，从而可以避免两个零件在这个位置的接触。对于比较大的零件，可以在零件的外壁上间隔设置加强筋，从而可以控制连接点的内部部分向内移动。

2.10 尽可能地降低外观不重合度的影响

在变形、浇口裂痕以及顶杆痕迹的影响下，要想制造出完美的零件边，往往是非常困难或者成本非常高的。但是幸运的是，如果物体之间的不重合度比较小，肉眼就不能区分出这种轻微的偏移量。图 2-24 就是利用这种现象的几种方法。图 2-24（a）实际上表示的是一种利用突出部分来掩盖不重合度的半燕尾连接方式。如果将两个连接零件相互之间的距离分开，也可以达到相同的效果，如图 2-24（b）所示；分开的距离（Y）如果能够减小到 1.57mm（0.062in），就是有效的；而其他因素也只是强化了这种分离效果而已。插槽概念中的半 V 字形与全 V 字形连接分别表示在图 2-24（c）与图 2-24（d）中。图 2-24（e）中的卷边有时候可以作为自动装配过程中防止传送带碰撞的结构。最后一种设计方式，即“裙边”设计方式表示在图 2-24（f）中。裙边较低部分的勾边可能非常明显，而实际的接触部分是在内部零件的位置。

2.11 装配用塑料产品设计清单

研究证明，塑料产品设计过程中的重复性工作经常使设计周期加倍。虽然设计周期加倍在某些情况下也可能由偶然的实验方法失败或者设计目标更改而造成，但是大多数情况下，还是由于不可预测的工程问题而造成的。根据本文作者的观察，很多工程事故都是由于没有事先充分考虑到所有的工程参数而导致的。图 2-25 中的设计清单的目的就是要事先弄清工程设计要求，以便正确地进行处理。工程设计中的意外事故的代价是昂贵的。希望读者能够以本文中的设计清单作为基础，从而制定出自己需要的具体设计清单。

2.12 测试

塑料产品的开发周期逐渐加快，从而减少了最终产品的实际测试时间。但是测试又是唯一的可以证明产品达到设计要求的手段。本文作者建议，在制定测试方案时，应该遵守下面的原则。

（1）复制产品的实际使用状况　在测试过程中，人们往往会局限在细小的测试程序上，而忽略了整个测试过程的真正目的，就是要测试出产品在实际使用过程中

能否正常地发挥作用。因此，测试程序一定要尽可能地复制出产品的实际使用状况。

（2）应该对通过生产程序生产的零件装配成的产品进行测试　如果没有对这个环节进行测试，则任何测试工作都是在浪费时间与资源。因为单独的零件不可能表现出在整个产品中的性能，而且手工制作的样品也不可能表现出通过生产程序生产的零件的性能。

（3）事先应该测试温度极限　根据本文作者的经验，塑料装配产品失效的最可能原因包括热膨胀、在高温时失去强度或者刚度、在低温时发生收缩或者冲击强度降低。如果某个塑料产品能够通过这些测试，则这种产品也非常可能通过剩余的其他测试。

（4）时间相关的测试　下一个最难以跨越的障碍就是与时间相关的测试。不管是蠕变、冷流、应力松弛，都可能对塑料装配产品造成毁灭性的影响，而且也无法在加速实验与产品的实际寿命之间建立可靠的联系。另外，还应该警惕热循环、化学影响以及紫外线对产品使用寿命的影响。

装配用塑料产品设计清单

备注：

1. 忽略的内容假定“不能用”。

2. 包括产品在使用、清理、运输、装配、测试以及染色过程中可能碰到的状况。

3. 过多的规定将造成不必要的成本。

零件名称及其应用情况说明：_____

A. 物理限制

长度：_____　宽度：_____　高度：_____　重量：_____　密度：_____

配对零件：_____　配对配件：_____

B. 机械要求

功能（动态）寿命：_____　非功能（静态）寿命：_____　保存期限：_____　拉伸强度：_____　类型：_____　持续时间：_____　弯曲强度：_____　类型：_____　持续时间：_____　挤压强度：_____　类型：_____　持续时间：_____

弯曲模量（刚度）：_____　硬度：_____　允许的最大蠕变量：_____　偏移量：_____　冲击强度：_____　室温环境：_____　高温环境：_____　低温环境：_____　剪切强度：_____　耐摩擦性能：_____

C. 环境限制

耐化学腐蚀性能　连续接触：_____　间隔接触：_____　偶尔接触：_____

温度　最高温度＋持续时间：_____　最低温度＋持续时间：_____　操作温度＋持续时间：_____

紫外线：_____　浸水能力：_____　水蒸气穿透能力：_____

图 2-25

抗辐射能力：_____ 燃烧性能：_____

D. 电学要求

体电阻：_____ 表面电阻：_____ 介电常数：_____ 电弧电阻：_____

导电性能：_____ 微波透射性能：_____ EMI/RFI 屏蔽性能：_____

E. 表面要求

表面光洁性能：内表面（SPI$^{=}$）：_____ 外表面（SPI$^{=}$）：_____

纹理代号：_____ 深度：_____ 颜色：_____ 配对元件：_____

颜色保持性能：_____ 透明性能：_____ 半透明性能：_____

金属化性能：_____ 染色性能：_____

产品标记 类型：_____ 生产日期：_____ 回收性能：_____

说明：_____ 警告：_____ 铭牌：_____

生产限制 飞边：_____ 不匹配性：_____

浇口位置：_____ 顶杆位置：_____

F. 装配要求

需要装配的零件，装配方法（螺栓连接、溶剂连接等）以及连接类型（永久性连接、使用性连接、偶尔打开性连接、水密连接、密封）

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

G. 其他设计参数

预测生产批量 每年的生产体积：_____ 订单：_____

预测生产日期 开始日期：_____ 生产数量：_____

法律责任 义务：_____ 专利：_____

需要通过的法规审批程序：1. _____ 2. _____ 3. _____

4. _____ 5. _____ 6. _____

规格 军事用途：_____ 建设代号：_____

国外生产：_____

国外销售区域：_____

H. 本产品应该进行的所有测试列表

1. _____ 2. _____

3. _____ 4. _____

5. _____ 6. _____

7. _____ 8. _____

9. _____ 10. _____

I. 其他需要说明的问题

图 2-25 测试清单：装配用塑料产品设计

第3章　降低装配成本

3.1　概述

随着生产商改进产品，塑料产品的制造工艺也不断发生改变。不仅不同装配厂商之间存在竞争，就是不同方法之间也存在竞争。

自从作者涉足于塑料产品设计开始，就致力于组合零件来降低装配成本。这些年中，主要致力于小型注塑模的应用，充分发挥特定工艺的能力。作者曾在19世纪60年代做过一个方案，这个方案就是将27个棘轮组合成一个塑件，并且在这个塑件中，电线线轴也是一次模塑出来的。事实上，在塑料工业发展中，减少零件是主要驱动力之一。

本章采用四种基本的方法来减少零件：微型化、大型化、消除紧固件和整体设计。在微型化设计方法中，保留了基本的设计理念。但检查内部单独的零件以尽可能地节约成本。大型化方法要重新考虑整个概念。减少紧固件一直是近年塑料装配发展的动力。整体设计囊括每个方面的知识，包括进行高水平设计所需的所有训练。

3.2　采用微型化减少零件数目

在微型化方式中，不需要对所有的工艺进行考察。然而某些重新评估过的工艺可以采纳。组合件通常会导致零件更复杂。诸如吹塑、冷压、压制、挤出、纺丝、卷丝、叠铺、拉挤、树脂传递模塑成型和热成型等工艺都不能很好地成型复杂度高的零件。铸造和机械加工等其他工艺也不能十分有效地加工复杂零件。组合件需要使像传递模塑和注塑成型的工艺发生一些变化。

零件的组合可能使零件比初始零件有一系列不同物理特性。因此零件的组合也导致材料的变化。这反过来又推动了工艺的变化。

对于微型化方法来说，第一步是决定零件的基本功能并考虑如何进行组合。下面是我们提出的基本功能类型。

（1）产品功能　零件的元件是对产品功能必不可少的。

（2）对外部力的防护　防护罩或其他的防护部件隔离外力。

（3）对外部环境的防护　内部元件不受环境影响的保护。

（4）定位　零件与零件之间的定位。

（5）振动吸收　内部零件防冲击和防震动的功能。

（6）机械控制功能　联动和驱动功能。

（7）支撑功能　对其他零件的结构支撑。

在应用中，我们将会发现一些没有任何明显功能的元件。这些无功能的元件在零件精简过程中会经常遇到。因为把产品元件从其他材料改为塑料时，没有经验的设计者并没有发现，对于新的设计，有些零件是不需要的。已知的一个例子就是冷凝液的排气装置。冷凝液积聚在钢制元件的表面，当外壳采用塑料时就具有了以前所用金属的防“汗”绝缘特性，然而改为塑料后很久，这个排气装置仍旧保留着，直到对它的功能提出疑问为止。然而除非谨慎地确定了元件的原始功能，否则反对删除这样的元件。元件可能还有一种功能，只是不能立刻被察觉到。

确定了零件所要讨论的基本功能，必须确认零件拥有的次要功能。然后检查零件以决定是否保留零件中的不重要元件。当这些零件确定和删除后，组合零件就能够进行了。

3.2.1　通过材料来组合零件

塑料给工程技术人员提供很广的性能组合，尤其广泛用于组合件中。另外，由于不同配方，塑料经常通过改性来满足特殊的性能。最经济的性能组合与优化材料应联系起来。

大量的塑料能够提供不同程度的柔性和韧性，并且既可以透明也可以不透明。这些材料可以在相对较低的温度下成型，在塑料工业中可以采用一系列独特的加工工艺。这些工艺可以成型传统工艺不能成型的形状。这不仅增加了产品设计的机会，并且对于制造者来说，大大丰富了装配技术。

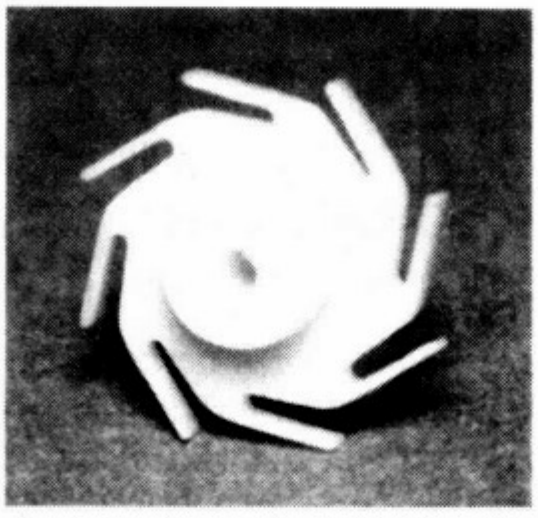


图 3-1　聚甲醛棘轮

尤其刚度随着壁厚变化，将变化后的强度进行组合是非常有用的。比如当减小给定塑料的刚度时，某一装置的臂能够任意偏转以完成所需的功能，这可能要影响到装配。在此基础上，可以消除包括硬臂和弹簧的一套完整机构，因而节省了一系列的装配操作，如图 3-1 所示加载弹簧棘轮。通过壁厚的改变，利用聚甲醛的特性改变它的刚度使得棘轮的臂结合到整体部件上，这样就可以消除 24 个零件，即棘轮的八个臂且每个均有臂、弹簧和销。

消除零件的另一个例子是密封圈和瓶盖的结合。如图 3-2（a）所示结构已经广泛应用。该结构代替了两个零件的装配，如图 3-2（b）所示，把单独的密封衬垫与金属瓶盖结合到一起。

在第 5 章“按照材料选择装配方法”中列出了塑料的一般性能和推荐的相应装配方法。

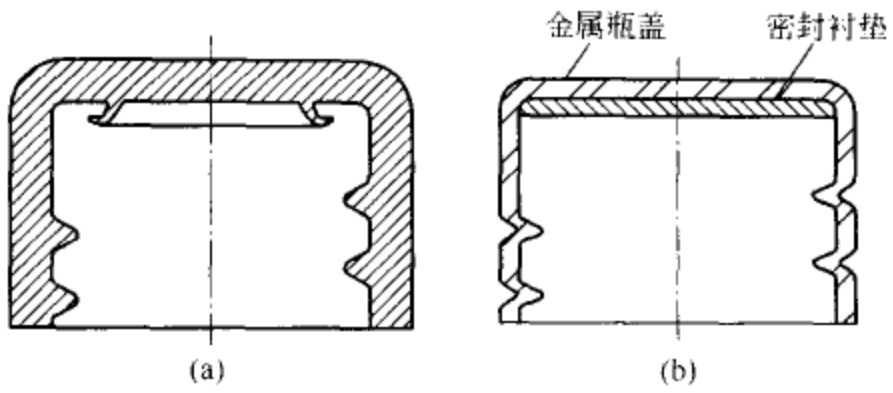


图 3 2　加衬瓶盖

（a）带有整体密封圈的瓶盖；（b）带有单独衬垫的金属瓶盖

3.2.2　通过工艺来组合零件

塑料所能提供的基本优势之一就是具有生产高度复杂零件的可加工性。在这方面，加工能力最强的就是注塑成型。

模具、材料宽广的可用性和它们良好的可控性是这种加工成型的关键。模具制造者成功地制造出可以任意角度侧抽芯的极其复杂的模具，折叠型芯不再是少见的，并且使用特殊装置，热固性塑料也能注射成型。随着加热和压力的结合，模具制造者有能力填充这些模具，并且能把多个零件模塑成单个零件。这样就节省了装配成本（虽然加工比较昂贵），材料宽广的可用性为产品设计者创造了大量的机会。

然而许多应用经过尝试不能达到目标。有些零件简化后变得太复杂，不适合模塑成型。并且模具太贵，无法在合理的时间内收回成本，也无法使模具保持在可接受的质量水平。仅因为它们太复杂而不能在一定公差范围内保持合理的型腔数目。

3.3　大型化方式来减少零件

采用“微型化”方式来减少零件就是努力寻找更好的方式把两个零件结合到一起。在产品设计者和工程师中，有时需要从更广阔的前景和追溯过去地来看待这个方案。大量消减装配成本的方法就是大量减少所需要的装配操作。总之，要挑战如何制造产品的整个概念。我们把这称为减少零件的“大型化”方式。

这个概念并不是一个新的概念。现在大部分船体的外壳都是做成一个整体。在一段时间里，某厂商（Lotus）就是把汽车车身用两个半车身模塑出来。或许在 21 世纪将看到车身能够一次整体成型。人们并不需要超人的洞察力就能察觉所要前进的方向。

下面就是一些这种类型想法的例子。

许多年来用得很好的储存容器——桶就是由桶板、箍和铁钉组成的设计。在这个结构中，桶板需要用蒸汽软化。不管桶的制造者多么有效采用蒸汽，也不管他付给工人的工资有多少，也不管钉钉子有多么容易，制造者无法与一次吹塑成型鼓形

桶的方法竞争。

吹塑成型并不是制造商制造大型储存容器的唯一方式。大型容器可以滚塑成型、结构发泡成型，也可以反应注射成型。尺寸小的容器可以注射成型，微小的容器可以热成型。根据给定的形状、物理性质和所需的容积可以很容易地决定最优的工艺。

近年来 Komatsu 致力于迷你型轿车外部零件的精简计划。用常规的方法需要 298 块钢板。通过反应注射成型（reaction injection molded，RIM）选择合适的塑料工艺，零件数目就可以减少到 62 个。车棚减少的零件最多，14 个 RIM 零件代替了 140 块钢板。

其他的工艺也有类似的例子。在制造大型船壳方面就可以采用叠铺（lay-up）和喷附（spray-up）成型工艺，几乎可以完全代替其他工艺。对于小型船壳来说，这些工艺本身要与能完成船壳制作的其他工艺相竞争。小型的船壳能够用热成型、滚塑成型、树脂传递模塑成型甚至压制成型来制造。

采用喷附成型、SMC 压制成型和反应注射成型工艺均能制造出卡车牵引机的车篷和挡板。现在除了大型汽车外，汽车面板均用塑料制成。诸如我们前面所提及的，Lotus 把整个车体分成两个部分进行制造。他们就像作普通的玩具模型那样把两半车体用胶黏剂粘接起来。他们采用 VARI 工艺，这种工艺是由美国很著名的树脂传递模塑成型（RTM）工艺改变来的。

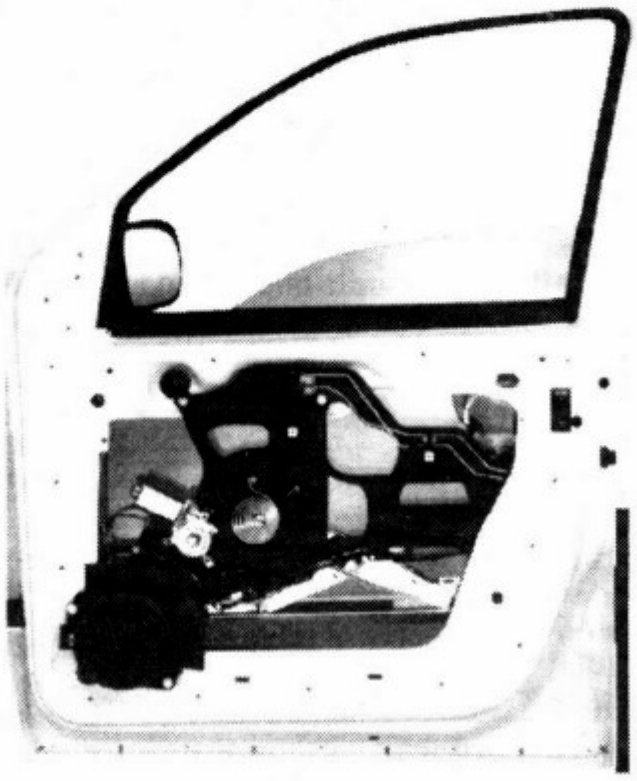


图 3-3　通用汽车公司的大型插销门消除 60 个零件
（通用汽车公司和 GE 公司的 Delphi 分公司许可）

在汽车工业中，减少零件的其他大型化方式包括美国通用汽车公司的大型插销即内门模块（图 3-3），为了节约成本和减轻重量，这个有 61 个零件的模块可以组合为一个气体辅助注射成型装置。原料采用含有 30％玻璃纤维增强聚碳酸酯/聚酯树脂。

参照主要的装备工业，塑料工业委员会（美国塑料委员会和塑料工业协会的联合会）提出“使用了塑料后，通过采用零件合并、成型复杂形状和装配简便将使产品成本减少 15％～20％，并且几乎不用在装配主要结构上进行制造投资节约幅度达 50％。举例说明，Carry Cool 空调器（见图 3-4）就把 17 个钢制零件组合成一个热固性塑料零件。”

在大型化方法中，结构是关键因素。在前面提及的例子中，大部分被消除的零件是加固件、金属构件和用于零件装配的紧固件。个别装配方法能够提供这种类型

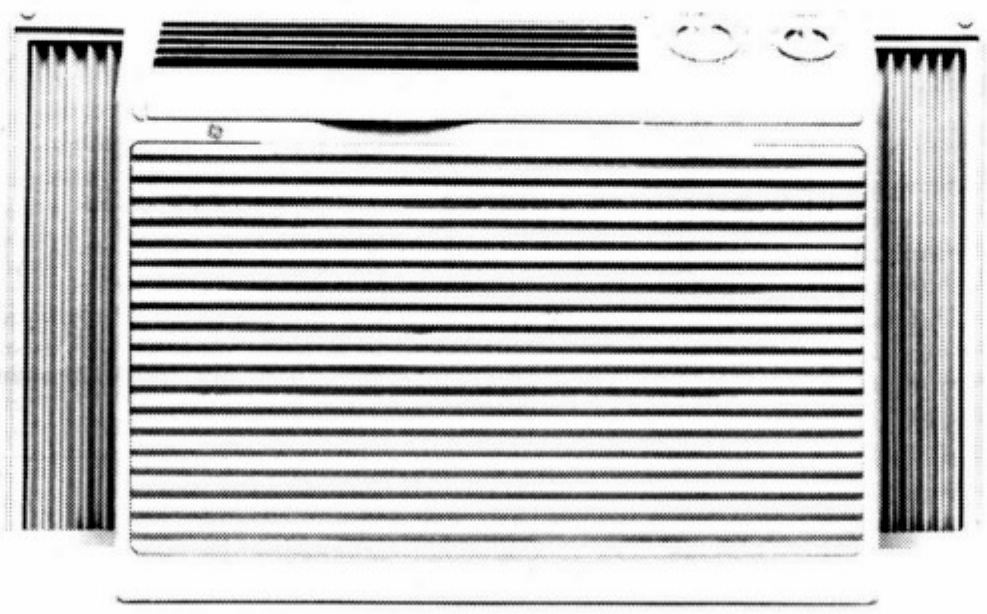


图 3-4　通用电气公司的 Carry Cool 空调器将 17 个零件减至 1 个
（通用电气公司授权）

的整体结构。

热固性成型工艺通过添加玻璃纤维来增加强度，像注塑成型等其他工艺也能采用玻璃纤维增强。这些方法能成型出钢材直接插入零件内部的结构件。如图 3-5（a）所示的注射成型的箱体。这种工艺能够模塑出整体的加强筋，但是它的尺寸和加工成本受到限制。然而结构发泡工艺［图 3-5（b）］能够以很低的成本制造加强筋，人们无法在零件中设置大量花费高的细节结构。除了用空腔代替发泡外，气体辅助注射成型［如图 3-5（c）］有相似的结构。

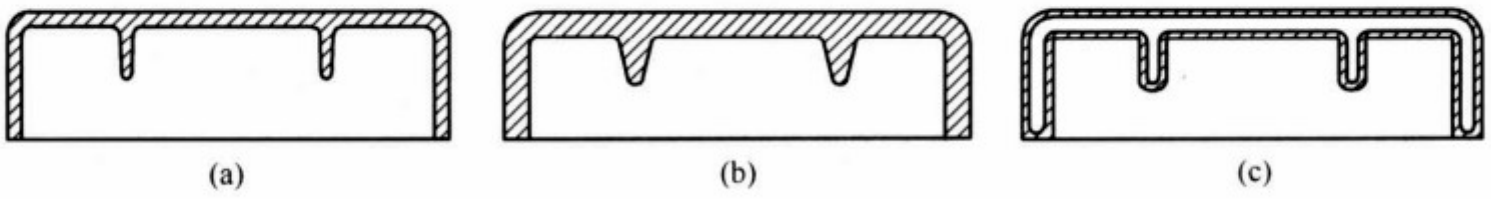


图 3-5　模内成型的结构件
（a）注塑成型；（b）结构发泡成型；（c）气体辅助注射成型

像滚塑成型、工业吹塑成型和双片热成型的中空成型工艺都有能力成型不同形式的结构。图 3-6（a）所示的就是人们所说的截坯口（pinch-off），在这种结构中两个外壁相互接触，这种工艺会留下明显的痕迹，因而更倾向于用发泡来加强这种结构，如图 3-6（b）所示。

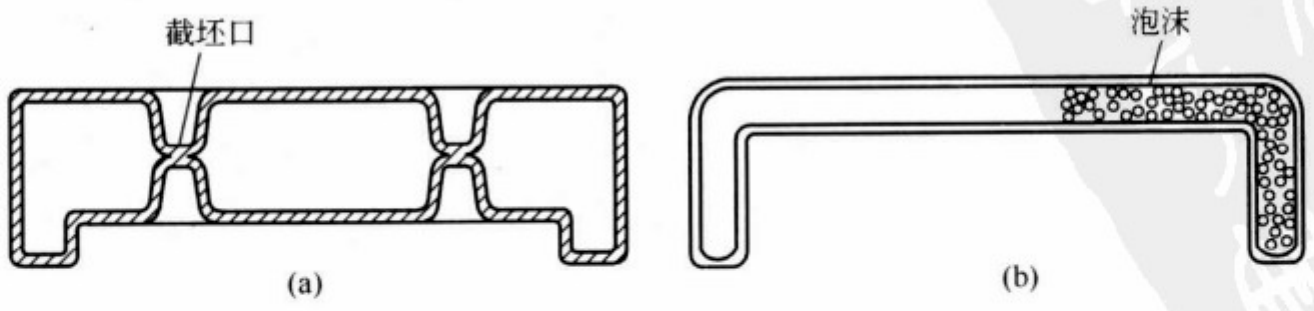


图 3-6　中空零件中的结构件
（a）截坯口设计；（b）填充泡沫的中空零件

也许复杂的中空成型工艺的利用实际上就是古代雕刻家采用的“失核工艺”的翻版，即现代注塑工艺。在 1995 年的汽车模塑年会上，因为作为塑料技术的最大革新，如图 3-7 所示气体入口歧管获得了塑料工程协会自动化分会的大奖。在装配中，它把所需的零件数目从 118 个减少到 33 个，同时增加了像卡扣连接等附件特征。这种改进增加了 5hp 的动力，而大大地改善了空气流，成本、体积和重量均得到减少。实际上有好几种这样的概念相互竞争，但基本思想是采用内核，这个内核受到采用常规方式从模型中拉出的倒陷的阻挡。并且这个内核能够根据所选择的技术溶解或熔化掉。

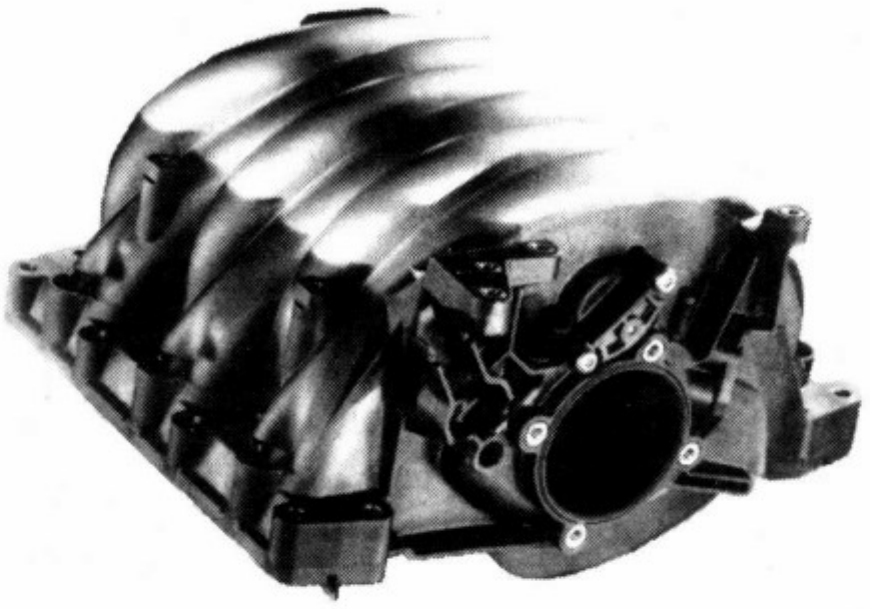


图 3-7 用失核工艺制造的单片歧管
（MANN+HUMMEL 汽车公司授权）

显然，作为工程设计人员，当发现自己已试着把每一个用途用于最得心应手的一、两个塑料成型工艺中时，就必须从所处的常规中走出来。人们必须清除陈腐的思想，并使思想面向更大范围的可用工艺。

工艺选择的关键原则是确立的最有效的制造方式。为了达到这个目的，必须充分考虑投资的成本和单个零件的成本。例如，对于特定方案来说，注射成型能够提供最低的单件成本，但是如果每年只做几千个零件的话，节省的成本可能不足以弥补注射模具超过结构泡沫模具成本的增加值。

如果我们能够确定每种工艺适于何种批量，增加的投资能够被批量中每个产品成本的降低来平衡的话，那么做出决定的过程就大量地简化了。实际上，如果所有产品的形状尺寸都一致的话，做出合理的决定也是可能的。由于它们的不一致，每个工程设计人员都要通过实验的方式向所从事的零件类型学习。然而大致上，人们可以推断零件数量越多和（或）越复杂，则投资也越大。随着投资的增加，在可接受的周期内大批量生产的零件要靠其零件的低成本来弥补，周期的长短对于不同的公司差别也很大。

进一步的考虑在于每种工艺成型产品大小的能力。第 6 章“按照工艺选择装配方法”列出了每种工艺能够成型产品的尺寸（表 6-1）。

3.3.1　复合材料成型工艺

复合材料成型工艺允许采用特定的模塑成型获得较宽范围的特性。采用这种工艺能够把硬质结构、回收聚合物作为夹层、泡沫塑料或另一种树脂上包上弹性体材料，也能使一种材料的两种不同的颜色进行复合或透明和不透明部分进行复合。这种复合消除了一个或更多的装配操作。

共挤成型、共注成型和多零件注射成型是当前加工复合材料的几种工艺。在下面章节中将讨论它们与塑件装配相比的优点。共挤成型和共注成型将在第 6 章“按照工艺选择装配方法”中作进一步的讨论。在第 13 章“嵌件和多零件成型”中有更多的有关嵌件和多件注射成型的信息。

3.3.2　共挤成型

采用共挤成型工艺既能生产一种材料覆盖在另一种材料上的层压板，又能生产两种材料并排的薄板。在典型的层压板生产中，共挤的主要部分是一种材料和覆盖在其上的另一种材料的薄覆盖层，称之为贴面层。如图 3-8 所示。这项技术最基本的应用就是为基材提供保护层，因为基材需要保护。典型的就是 AS 贴面覆盖在 ABS 基体上，ABS 易于受到紫外线的影响。所获得的薄板随后用于热成型。采用这种方式就可以在零件成型的最后阶段去除昂贵的涂层操作。

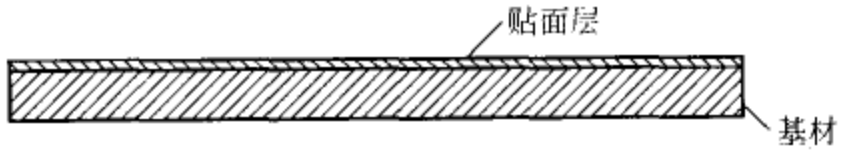


图 3-8　多层共挤

这种类型的共挤成型也用于制造吹塑成型工艺中的型坯。在这个场合最后完成的零件是带有阻隔衬里的燃料桶。

在共挤的另一种形式中，材料是并排地挤出的，图 3-9 就是这种应用的一个例子。这是一个热成型的薄包装盒，用共挤薄板制成的，为的是盖子透明而盒体不透明。图 3-9（a）所示共挤成型的薄板再成型为图 3-9（b）所示的形状，图 3-9（c）所示为包装盒成品。因而清除了盖子与盒体的装配操作，并可能消除了一些附件。用另

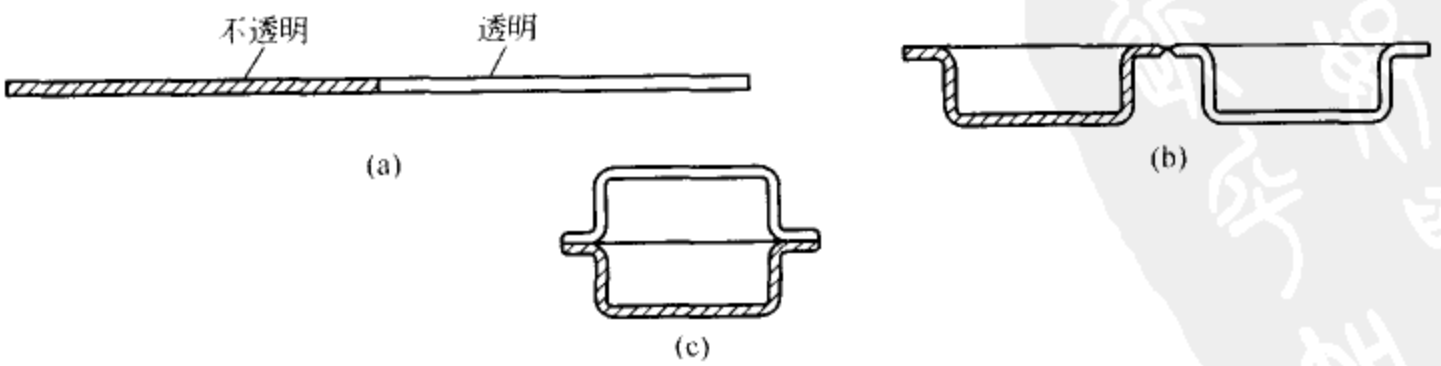


图 3-9　并排共挤出成型

（a）挤出成型；（b）热成型；（c）包装盒成品

外一种颜色的材料来代替透明树脂就能够生产出基体和顶部颜色不同的包装盒。

3.3.3 共注成型

采用相似的理念来清除结构发泡成型制造过程中的最后操作。结构发泡成型生产的产品质量很差，需要进行二次处理。通过在零件上模塑覆盖层，就可以清除掉二次操作，并且可以做到大量节省费用。这种技术也用于以价格低的材料来代替产品内部材料。

3.3.4 多部件或双色共注成型

这种工艺起初用来模塑键帽上的字母符号，通常也称为双色共注成型。它允许不同材料或颜色不同的同种材料而模塑到一起。由于第二种材料模塑到第一种材料上，所以第二种材料应该比作为表面装饰层的材料具有更强的耐磨性，因而可以使用得更久。双色的产品外壳也可以用这种方式来制造，因而也省去了装配操作过程。其他应用还有不透明壳体上的透明透镜和类似橡胶的夹紧面的笔筒。图 3-10 所示就是双色模塑的一个例子。

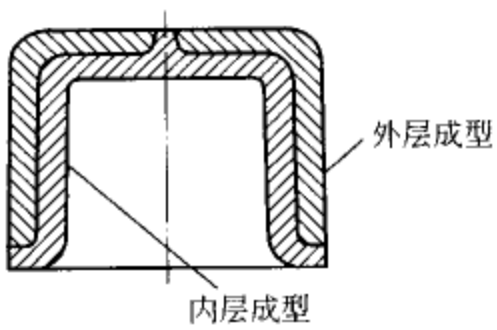


图 3-10 多件或双色共注成型

3.4 减少紧固件

紧固件是需要花钱购买的零件并且需要一定的存货，它们还需要时间安装，因而增加了劳动成本。进一步来说，它们还搅乱了废旧产品的回收流程，需要更多的回收时间和成本。金属仍在塑料中时，塑料不能进行回收。因此先清除掉其中的金属，然后塑料才可以重新加工。做这项工作的成本远远超过了回收材料的价值。诸多原因使得近年来在装配中紧固件的使用越来越少。

3.4.1 一个紧固件连接多个零件

在特定的装配中，采用一个紧固件装配几个部件的形式虽然不能完全消除紧固件，但是其数目大大地减少了。在图 3-11 中显示了这种理念的两种形式。在三个零件可开式连接中［图 3-11（a)］，零件 A、B、C 放置在同心孔上，用螺栓和螺纹嵌件装配固定起来。零件 C 上凸起部分用来定位。这种装配采用金属嵌件 D 来提供足够的螺纹强度以承受螺栓 E 重复打开的磨损。这是一种传统方法。然而本人观察到在可开式应用中采用自攻螺纹有增长的趋势。这是在经济压力下采取的措施。

图 3-11（b）所示的设计是永久性连接。要打开它，则必须要破坏紧固件。一根柱既把零件 A、B、C 和 D 连接到 E 上，又为按压式紧固件 F 提供了连接位置。这种理念应用于热塑性和热固性塑件中。第 8 章“紧固件和嵌件”中将进一步讨论

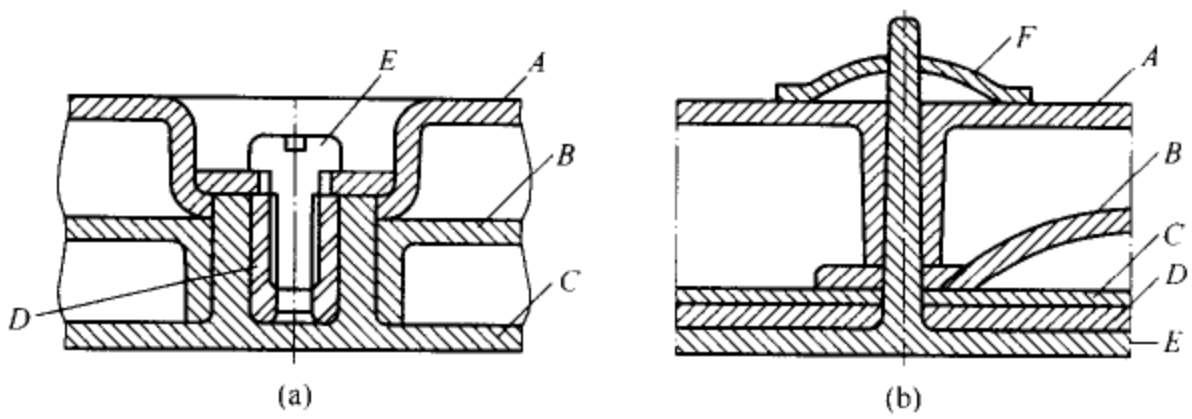


图 3-11　一个紧固件连接多个零件
（a）三个零件的可开式连接；（b）五个零件的永久性连接

这种装置。

3.4.2　压力配合和卡扣配合

压力配合和卡扣配合的使用可以完全替代紧固件。两者均可以设计成永久性连接或可开连接。如图 3-12（a）所示的压力配合就是永久性的。需要仔细计算应力来确保正确的尺寸以提供足够的结合力来固定零件，但是应力不能太大，以防导致开裂。卡扣配合［图 3-12（b）］是可开式的，因为卡扣是通过孔壁的挤压而连接的。如果孔是闭合的，那么这种连接就是永久性的。卡扣配合的加工一般比相似零件压力配合的加工成本要高。读者可以参照第 14 章“压力配合/受力配合/干涉配合/收缩配合”和第 15 章“卡扣连接”以得到有关这些方法的更多信息。

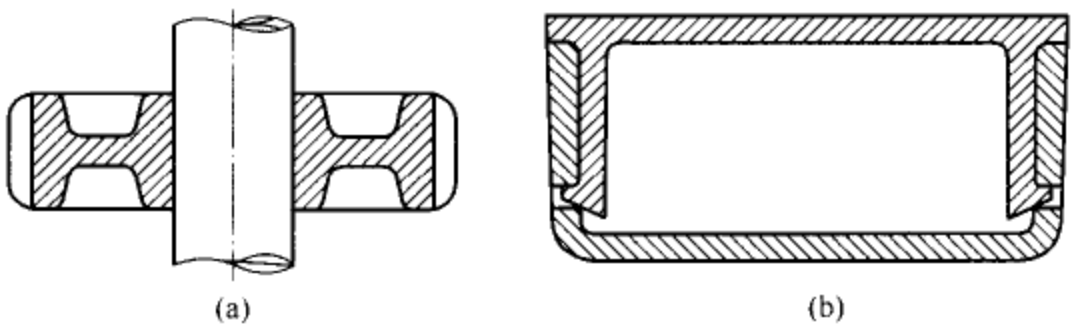


图 3-12　（a）压力配合；（b）卡扣配合

3.4.3　集成铰链

铰链直接模塑到零件上以减少紧固件的数量。也允许把两个零件模塑成一个零件，这样就减少了零件和库存成本。当用来代替存在的铰链装配时，集成铰链减少了两个铰链（假设它们没有被模塑到零件上）：铰链销和连接到零件上的紧固件。另外，集成铰链的使用也节省了零件装配的时间。

然而，甚至当两个零件间不需要铰链时也能节省装配成本。诸如盒子的顶部和底部的任何两个部分都能用集成铰链而模塑成一个零件。图 3-13 就是有名的活动铰链。之所以称为活动铰链，是因为当制作合适时它能承受反复的弯曲。图 3-13（a）所示就是铰链成型的位置。图 3-13（b）就是关闭的位置。聚丙烯是制造活动

铰链的主要材料，而其他的柔韧性聚合物也可用于活动铰链制作。在第 9 章“铰链连接”中讨论了活动铰链和其他的集成铰链的设计。

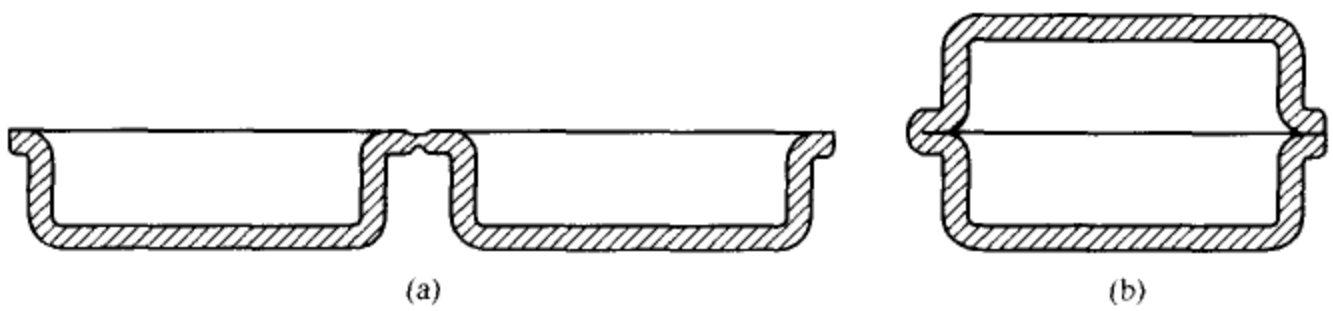


图 3-13　活动铰链

(a) 铰链成型的位置；(b) 关闭的位置

3.4.4　通过组合消除紧固件的理念

通常消除紧固件最有效的方式是采用组合的方法。图 3-14 显示了用卡扣的方法结合两个零件的集成铰链。不需要任何附加零件，任何一边都可以打开或铰接在一起。在这个例子中，零件是对称的，所以只需要一个模具。

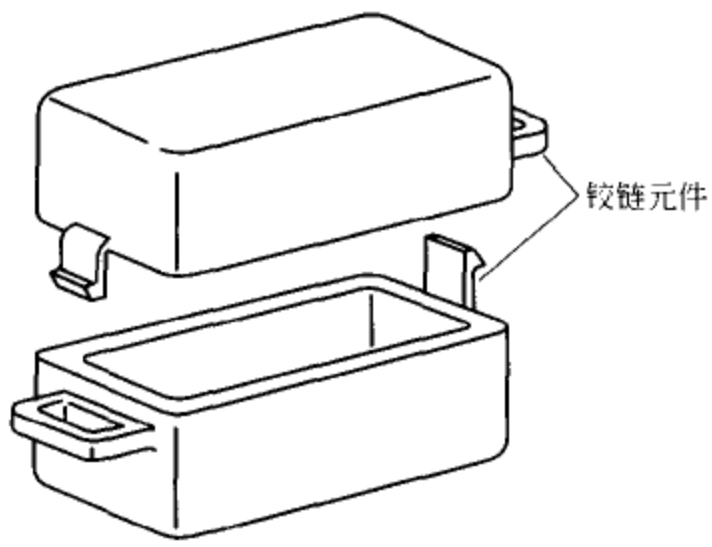


图 3-14　卡扣方式结合两个零件的集成铰链

在图 3-15 的装配中，大量的紧固件，甚至卡扣连接都能减少。通过在内部零件中设置滑入特征就可完成，内部零件通过卡扣的面板而固定的，面板本身就是一个卡扣零件。卡扣连接实际上在电子元件装配中已成为标准形式。

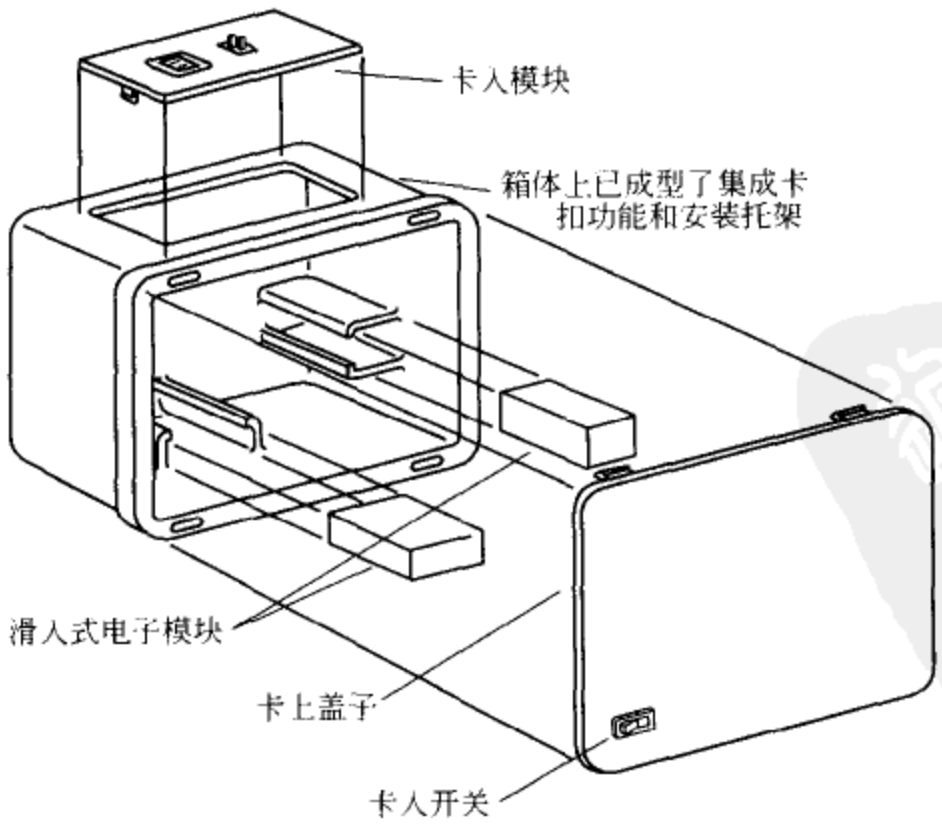


图 3-15　通过集成装置减少紧固件

3.5　整体设计

通常塑件的设计都跟装配、材料、工艺和加工原则相分离。通过每项所描述的不同规则来独自设计每个方面。首先设计者设计一个零件，模具制造者制造一个模具，那么加工者来模塑这个零件。事实上，这些方面都不是孤立的，在总体上它们关系太密切以至于不考虑其他方面而只讨论一个方面的尝试很难获得在国际市场上有竞争力的产品。当这些部件放在一起作为设计程序的一部分时，就能达到更加先进的程度。因而整体性能要大于单个零件的总和，这就是整体设计。

在设计阶段，整体设计的方式是必需的，但也是更费时且耗费成本最多的。首先，设计者要知道更多的有关材料、模具、工艺和装配方法的知识。这并不意味着作为专家级设计人员，就必须背诵成千上万的树脂性能、能制造模具、操作各种各样的加工设备和制造自动装配设备。然而对于这些必需元件的细微差别有合理的熟悉程度却是必需的。

3.5.1　设计的总体考虑

在整体设计中，考虑相互关系较好的例子就是低成本、大批量的带有螺纹的热塑性瓶盖。这种瓶盖被用于苏打工业中（图 3-16），这种产品包括整体装配部分（螺纹）和密封衬垫。瓶盖的主要部分必须有足够强度以支撑衬垫和螺纹拧紧瓶盖的力。这种承受力不仅要在产品的初期而且还要在超过产品的保质期时保持住。另外，无论在生产、运输和保存的任何时间内暴露于高温下，瓶盖都不能松开。也不能因为应力松弛或低温收缩而使瓶盖开裂。此外，还需要检测潮湿气体的漏气问题。

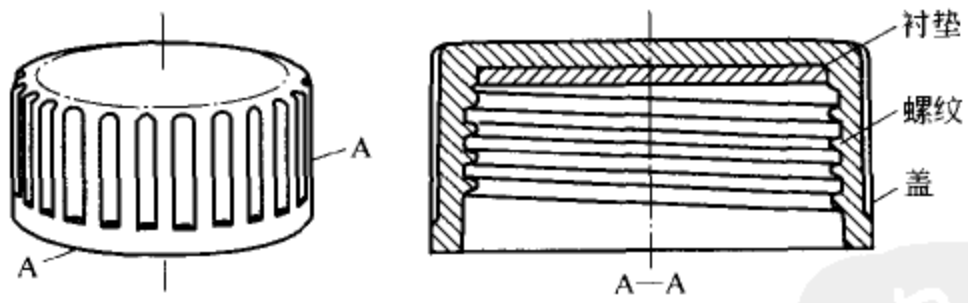


图 3-16　瓶盖

接着就是螺纹的设计问题。因为瓶颈的尺寸是确定的，所以瓶上的螺纹按预先设定的标准设计。然而对于瓶盖上的螺纹就可以在尺寸精度、半径选择和螺纹是连续还是间断方面有自由设计的空间。

迄今为止，这好像是个简单的方案。可以设想设计者需要决定零件承受哪些载荷，并进一步确定名义壁厚和螺纹形式。增加密封圈后，这个设计就准备交给模具设计者和模具制造者了。然而达到这种设计的瓶盖还不能在市场上畅销。因为这种瓶盖制作需要带有多模腔的大型螺纹旋下模具，所以加工成本将会很高。由于在每个循环

中拧下带有螺纹的瓶盖而增加了循环周期，所以这种瓶盖的模塑成本也增加了。所有这些都是因为在零件的设计中没有考虑加工设计和工艺设计的要点（注意：作者并不是暗示没有这种应用，而是有这种应用；在实际应用中，这种瓶盖也是特有的）。

如果去除了拧下螺纹的需求，就会大大减少加工成本和零件成本。有了脱模装置，这个功能能实现。也就是说，必须从型芯上剥离螺纹。然而瓶盖内螺纹将在模具上形成倒陷。因而在脱模时，螺纹要么被损坏要么被打断。然而如果螺纹能够正确的设计，如果选择适当的材料，如果模具制造的得当，如果模塑的工艺条件也适当，那么螺纹就能够顺利地从型芯上剥离而不用旋下机构。这样也可以减少模塑周期，并且模具的成本也不会太贵。在特定的平面区域，也允许更多的型腔。这样就允许使用较小的成型机器了，而操作成本也降低了。因而所有工艺和加工原理都充分考虑就会生产出跟其他附件有竞争力的瓶盖。然而如果设计者仅仅考虑瓶盖的设计部分，那么制造商就不会从无赢利能力的产品中获利。

3.5.2 螺纹设计

让我们更仔细地观察一下图 3-16 所示的瓶盖螺纹。如果螺纹是连续的，将会提高周向强度，增加了瓶盖壁的刚度。但接下来也使瓶盖更难伸展超过型芯，并且螺纹更难从型芯上剥落下来。如果瓶盖不能充分地延展，则螺纹将会压坏（如果在足够热时顶出）或剪断（如果在冷的情况下顶出），因而必须设置旋下机构。间断螺纹虽然没有附加的强度，但能使瓶盖更容易从型芯脱离出来。

不幸的是，顶出减损了从完成的瓶盖特性中的获益。在同等螺槽深度情况下，间断螺纹比连续螺纹强度弱。现在设计者要选择是设计带有浅槽连续螺纹的瓶盖还是设计间断螺纹的瓶盖，做出决定并不简单。

在权衡考虑中，半径也是很重要的。很明显，在脱模时，圆形螺纹比平顶三角螺纹需要更小的剥落力。并且跟匹配的螺纹有更少的接触面积，因此它没有显示出相同的保持力。因而为了选择新螺纹的半径，就要找到这两个需求矛盾的折中点。为了防止倾向于圆螺纹，应当指出圆螺纹比三角形螺纹有更大的基本宽高比。这就可能由于冷却不一致而出现缩痕。经常通过修改三角形螺纹来减小螺纹底部与壁厚的比率来获得折中方案。

决定瓶盖螺纹能足够伸展而又能从型芯中剥落下来的另一个因素是壁厚本身。如果壁厚减小到最小值，则强度将降低，随之剥离抵抗力将减小。壁厚减小需要的材料也少。然而壁厚太薄，冷却就会不一致而导致缩痕的出现。在某种场合下，随后添加的筋能稍微掩盖一下此缺点。如果这是不可接受的并且又不允许产生缩痕，那么壁厚就要增大到不出现缩痕的最小壁厚。这将导致壁强度增加，而使得脱模困难。

3.5.3 工艺性考虑

很明显，所选材料的硬度将对这个平衡也有明显的影响。然而也增加了关于单

个零件能否从工艺优势中获益的争论。这是因为硬质材料能制造强度更大的瓶盖，但脱模也更加困难。另外，因为增加熔体在低温下流过料筒、喷嘴、浇铸系统和零件细小部位的能力，就可以缩短成型周期，所以熔体流动速率也是一个因素。加工中传入的热量少，那么零件达到能够承受顶出力具有足够的强度应去除的热量就少。这也能减少成本，因为无论在加工过程中加热还是排除热量，均需要付出成本。

除非产量较大，这样可以减少零件价值所占机器价值的比率，如果产量足够，那么减少循环时间能够允许产量目标以迎合较少的模腔。反过来，这将使控制更精确，并且可以采用产量少的小型成型机械。当然，所有这些良好的措施都要付出代价。增加熔体流动速率的代价就是产品物理性能的降低。

3.5.4　加工考虑

模具的设计影响熔体流过主浇道、流道系统的能力。带有较大半径圆角的流道系统将减小熔体流过模腔的热损失。在熔融塑料进入模腔前设置的冷料井将移开熔体前锋的冷料，防止阻塞熔体流入模腔。熔体流动软件可用于开发最优流动路径。

其次就是零件的脱模。成本最低的脱模方法是使用顶出销，然而会在塑件上产生集中力。这就意味着冷却时间要足够长以使得塑件变得足够硬而能承受顶出力。顶板成本要高一些，但是它能使瓶盖边缘上的推力一致，那么瓶盖能在柔软的状态下顶出。这能大大缩短冷却时间，并且使循环时间减少了 35%。

同等重要的是顶板能够为设计者提供更多的壁厚选择，并且对操作者来说能设置正确的周期。这种适应性能帮助操作者找到精确点。此时，螺纹具有足够强度并且在脱模时保持其原来的形状，同时对于零件来说，壁足够软而能在型腔中伸展，并且可以顶出。

3.5.5　实施

生产商通常以现有产品的设计作为开发新产品的基础。由于可用的计算机工程软件在数据的采集和使用上所固有的不精确性，因此不能预先确定可靠而精确的尺寸。因而图纸上的尺寸是“偏安全”的：模腔尺寸要小一些，而型芯的尺寸要大一些。这就使得壁厚比预期的稍微薄一点。通过从模具上切削金属来调节尺寸。

通常制造出产品的单腔预生产模具。生产这种模具的加工方法有多种多样。适合特定的应用方法也将会很多。瓶盖要求有一个模具，这个模具能够复制多个所建议的带有浇道系统、冷却系统和顶出系统的产品模具。预生产模具跟产品模具相差越大，在决定材料模塑周期、壁厚和最终设计细节的优势结合方面所进行尝试的结果的可靠性越低。预生产的模具通过生产几百个零件进行调节以适应自动装配设备。

从实际意义出发，这种模具是带有一个型腔的生产模具。接下来，修模是很昂贵的。因而人们更愿意制造软钢模具，这样容易修模且修模的成本不贵。当某个设

计细节考虑修改时，这种方式就会用得很多。对于经常寻找难以计算的设计感觉，轻载卡扣和压力连接就是这种应用的例子。

3.5.6 面向整体的设计

对于单个零件来说，所需要的知识量是巨大的且难以掌握。因为学生在学校的时间不够长，所以学校也不能传授足够的知识。甚至研究生的工作也是不够的，因为对于这种努力的范围来说，集中点太窄。目前，这种知识在工厂实践中和通过工业研讨会才能掌握。

今天在一些企业通过由不同领域的个人组成的团队才能达到这种水平。其最大好处是这种系统几乎跟个人拥有的宽广知识一样有效。坏处是这种系统有可能退化成一群保护自己领域知识的个人。在大多数情况下，它介于两种极端之间。

无论获得的成就如何，整体设计的好处是能够维持产品在世界市场上的竞争优势。

第4章　拆卸和回收设计

4.1　概述

每年美国政府要处理大约3200亿磅的固体垃圾。1984年，固体垃圾总量的80%被填埋，9%被烧掉，11%被循环利用。然而，可用的填埋场地正在快速地减少。从1980年到1990年，在美国的填埋地的数量减少了三分之一。尽管填埋技术大有进步，但没有人对在附近建造这样的设施感兴趣。因此可用的填埋地当然会继续减少，随之而来的结果是处理固体垃圾的费用的上升，要处理的垃圾将不得不运输到比以前更远的地方。

从某种程度上说，固体垃圾处理费用高，以至于管理部门会寻找延缓办法。虽然循环利用毋庸置疑，但普通民众以前倾向于考虑把报纸和一些容器分开投放到回收箱里来解决问题。垃圾收集的费用越来越高，而且当消费者发现要为处理一个旧洗碗机支付100美元时，不用怀疑，他们会怨声载道。在欧洲，政府已经对生产企业制定了对其产品的“收回”法令。在那里，他们发现“将会”寻求到处理这个问题的方法。

在美国，功能、市场、价格优先考虑已经把拆卸和循环利用挤到第二位上。有迹象表明，拆卸和重复利用的观念不久将提高到较高的优先水平，在一些地区，在这个方向上确实已经有了紧迫感。

当第一次提出汽车的循环利用时，某些人计算出要把在美国一年卖出的汽车完全拆卸并依材料分类，需要几千个容器摆满几英亩的场地，并且这些工作必须由工程师完成！坦白地说，这样悲观的估计一点都不为过。像汽车这样复杂的产品，拆卸的问题和部件材料的分离都是非常令人生畏的。车中使用许多不同的树脂。甚至用同种树脂制成的零件，其树脂中也包含有不同的添加剂和不同的覆盖物。

虽然如此，绝大多数产品是容易分离再利用的。按照福特汽车公司的调查，在1994年，超过94%的淘汰汽车进入拆卸中心，其中75%的零部件被循环利用。

汽车部件的下部机构是可以被循环利用的，这已经步入了实施阶段。汽车工程师协会（SAE）和美国检测和材料协会（ASTM）已经开发了塑料记号系统标准（ASTM D 1972—94）类似于国际标准化组织（ISO）的系统。

个别的汽车公司启动了他们自己的方案。福特公司用回收旧电池中的聚丙烯制造新挡泥板；用回收的缓冲器和格子增强面板制造尾灯灯箱，并用回收的PET制造标题字和行李架侧边护栏。

大多数商业的和家用的产品由许多适度数量的零件组成，巨大的进步可以向着完成全部的或几乎全部的可循环使用的方向发展。

4.2 拆卸设计

拆卸设计不是一个新的概念。事实上，产品中的耐用部件通常使用这种设计，由于修理费很高，消费者现在非常普遍采用的办法是拆除大部分小产品更换一个新的模块比修理原物更便宜。

那时主要设计带有金属螺纹的箱体。如果箱体要求能够重复开启，将使用金属嵌件。自攻或成型形成的螺纹通常用在不期望打开的箱体。经常开启的部件，像电池门，为便于进入，常采用卡扣连接。

这些做法仍然非常普遍采用，并且是基于同样的原因。新的做法是采用那些实际中不需要再打开的零件。目前使用的术语“拆卸设计”通常是指与循环利用相结合的拆卸。在这样的情况下，物体能从配合的零件中以一种无污染的方式拆出来，这样可以在其他零件中分离出相同的材料。既然不需要重新组装，就不需要关心在拆卸时的破坏性。

拆卸和循环利用工程中面临的最大问题仍然是经济问题。尽管有好的社会效益，如果回收料费用超过具有相同特性的纯料的费用时，只有法律来要求工业界采用回收料。因此必须用尽可能高效的办法拆卸制品。

4.2.1 重复开启的装配

最明显的垃圾是金属紧固件，因为包含有它们的塑料零件不能很容易地循环利用。一个技术是改用自攻或塑造螺纹代替机制螺钉和嵌件来消除这些紧固件。这样就只有螺钉需要拆除了，它们比嵌件更容易取出。这个方法的缺点是限制了产品可能的拆卸次数，这是因为这种类型的螺纹容易被过分的扭矩给撕裂。一旦这个产品出厂，就不可能控制这种类型螺纹使用时的扭矩。

另一个方法是采用压力配合和卡扣装配完全取代金属紧固件。压力配合的局限性是如果需要较容易的拆卸，零件之间的抓力就不能太大。即使零件相互间有千分之几英寸过盈量，引起抓力的变化也会是巨大的。因此这种装配方法要慎重使用。读者可阅读第 14 章“压力配合/受力配合/干涉配合/收缩配合”获得详细的资料。

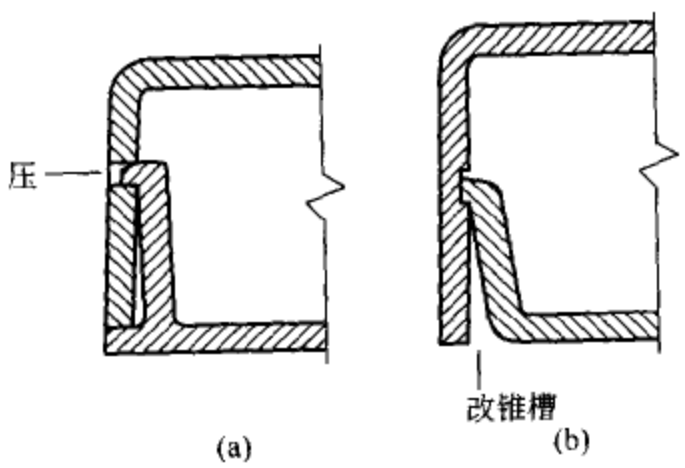


图 4-1 卡扣连接

(a) 通孔；(b) 撬动工具

卡扣装配是很容易控制的，设计成如图 4-1（a）所示的通孔很容易拆卸，或者设计成从外表看上去光滑的封闭凹槽。后一种情况下，在底部有一个狭缝，见图 4-1

(b)，能够伸进一字的改锥来撬动卡扣销。

关于卡扣装配的使用有一些要考虑的事情。首先，卡扣销和与之相配的凹槽两者的模具加工费比不用这些细节的相同零件的模具加工费昂贵得多。其次，这类模具的维护费用也很高。另外，要制造有这些单元的机械装置需要在模具里有更多的空间，因此在给定的成型机上型腔的数量将会减少，或者为了提高操作速率而要求增加成型机的规格。这些因素，还要加上由于带有这样的机械装置而延长了加工周期，从而提高了成型成本。最后，卡扣本身所用一些材料也增加了材料成本。第 15 章“卡扣连接”对这个主题进行了更广泛的讨论。

当使用金属嵌件不可避免时，至少也要为循环利用而将它们设计成能最有效处理的方式。模内成型嵌件是最难取出的，应当避免。铁质嵌件磨粉后用磁铁很容易将其分离出来，但没有将它们移出来就进行磨粉可能会损坏研磨机。

如图 4-2 所示，嵌件可以用加热的探针将其加热后取出，当包裹其周围的塑料变软时就可以拔出来。这个方法对于高熔点塑料不推荐使用，因为这个方法的有效性是高度依靠材料的熔点和强度的。大多数情况下，可以找到更快捷的方法。

有些嵌件使用工具就很容易拆除。图 4-3 是一个被称作“轻松取出”的工具，用来扭出各种各样中等强度以下的塑料内的嵌件。它可以处理直径 3/8 in (9.525mm) 以下的螺钉。另一个用于这个目的的工具是 T 形扳钳和强力的套筒扳手。包括线圈嵌件、压力配合嵌件、双螺纹嵌件和任何软塑料制品的嵌件采用这种移出方法都是有效的。

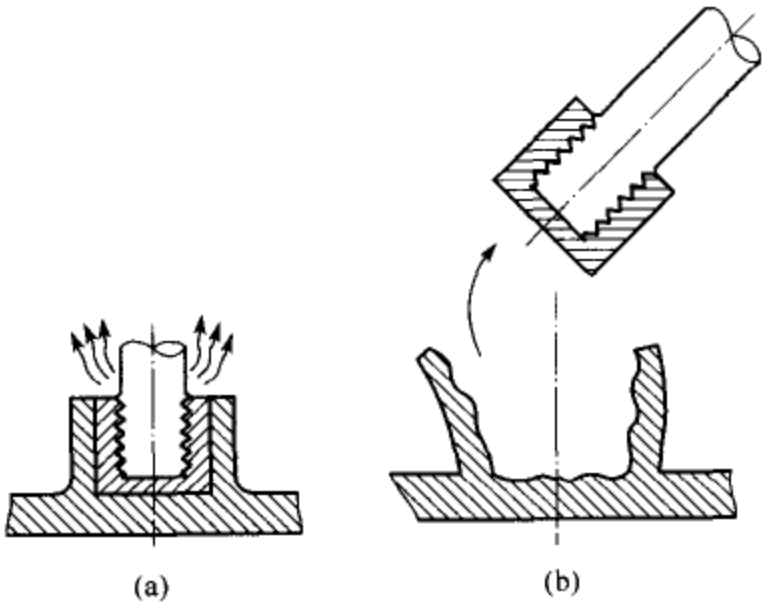


图 4-2　热探针拆除

(a) 热探针熔化塑料；(b) 嵌件拆除

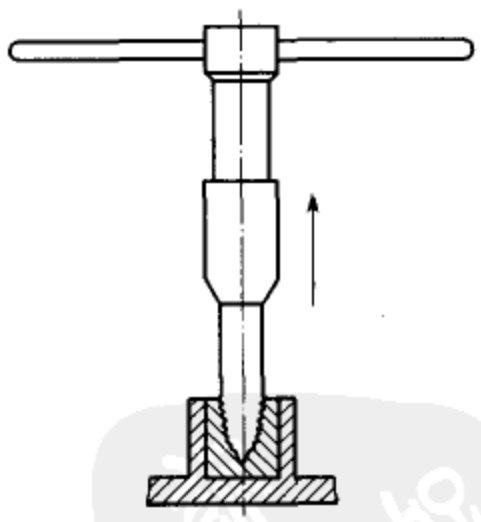


图 4-3　用“轻松取出”取出嵌件

有两种类型的膨胀嵌件：一些带有中心圆盘，它迫使嵌件膨胀［图 4-4 (a)］；另一些是使用螺钉强制旋进膨胀区［图 4-4 (b)］的。后者较省钱，但有时螺钉取出时它会被带出去，它们是容易取出的。

图 4-4 (a) 所示的膨胀嵌件是比较难移出的。像这些嵌件，还有模内成型嵌件和那些用胶黏剂放置的嵌件等通常是用于热固塑料。当它们在凸台里时，有时可以

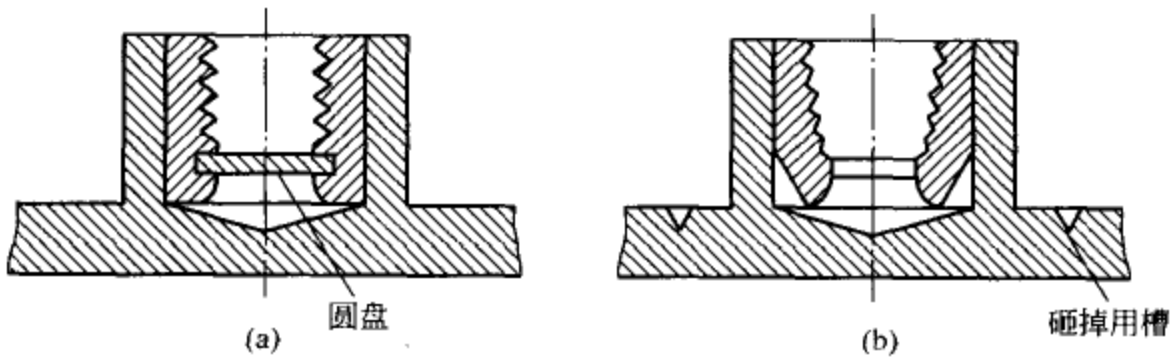


图 4-4　膨胀嵌件

（a）圆盘形膨胀嵌件；（b）螺纹膨胀嵌件和砸掉用槽

被砸掉，因为这些凸台通常是“富含树脂”（缺少玻璃增强）的，比较脆。如果这样是不可能的，就必须把它们给钻出来，这是一个移出金属片的慢工艺，必须清除干净避免污染循环利用的塑料。

砸掉的办法也可以用于热塑性塑料嵌件。事实上，图 4-4（b）所示的槽可以用于如凸台、锻接、超声波连接或者其他类型的连接设计。用相同的方式使用锤子能否把它“敲离”焊接区域，与使用的材料有关。然而，槽在零件上产生了一个薄弱点，降低了零件的性能。用于这个目的的另一个设备是空心锯（见图 4-5），用它可以将凸台和包围它的材料移走。

某些情况下，嵌件或螺钉可以放置在一个通孔中，例如图 4-6 所示，这样可以从后面将其压出。

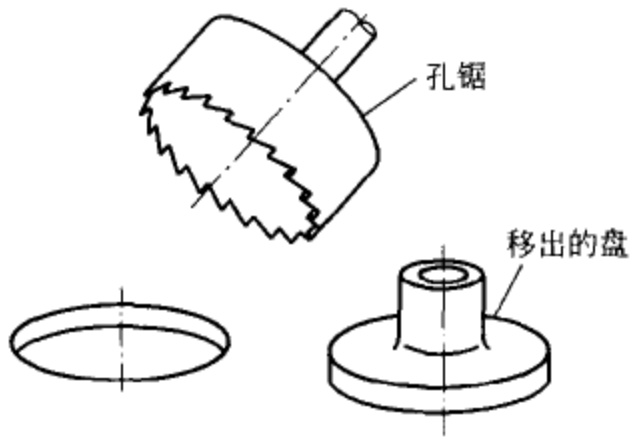


图 4-5　孔锯移出

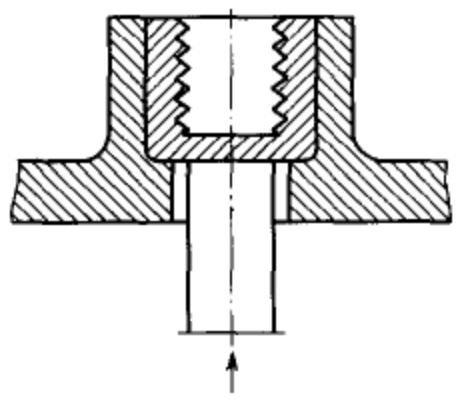


图 4-6　压出方法

除了嵌件以外还要考虑其他的紧固件。自攻螺钉和驱动螺钉可以拧下来，显然一些有通孔的可以很经济地压出来。带有帽的紧固件，如图 4-7（a）所示，能用老虎钳扭下来。如图 4-7（b）所示的按上式紧固件可以用螺丝刀启下来，也可以用老虎钳拧掉，或者简单地砸掉它的柱头。弹簧固定类见图 4-7（c）所示，可以采用向下压紧固件上部释放咬在柱头的齿移去紧固件。自带螺纹的螺母见图 4-7（d），有一个牙形物件卡在粗牙螺纹上，装配时压下它。也可以根据它们头部的形状用老虎钳或牙槽扳手移去。后者可以用电动或气动螺丝钉驱动器移去。这些紧固件以及推入式紧固件也可以用老虎钳拧掉。

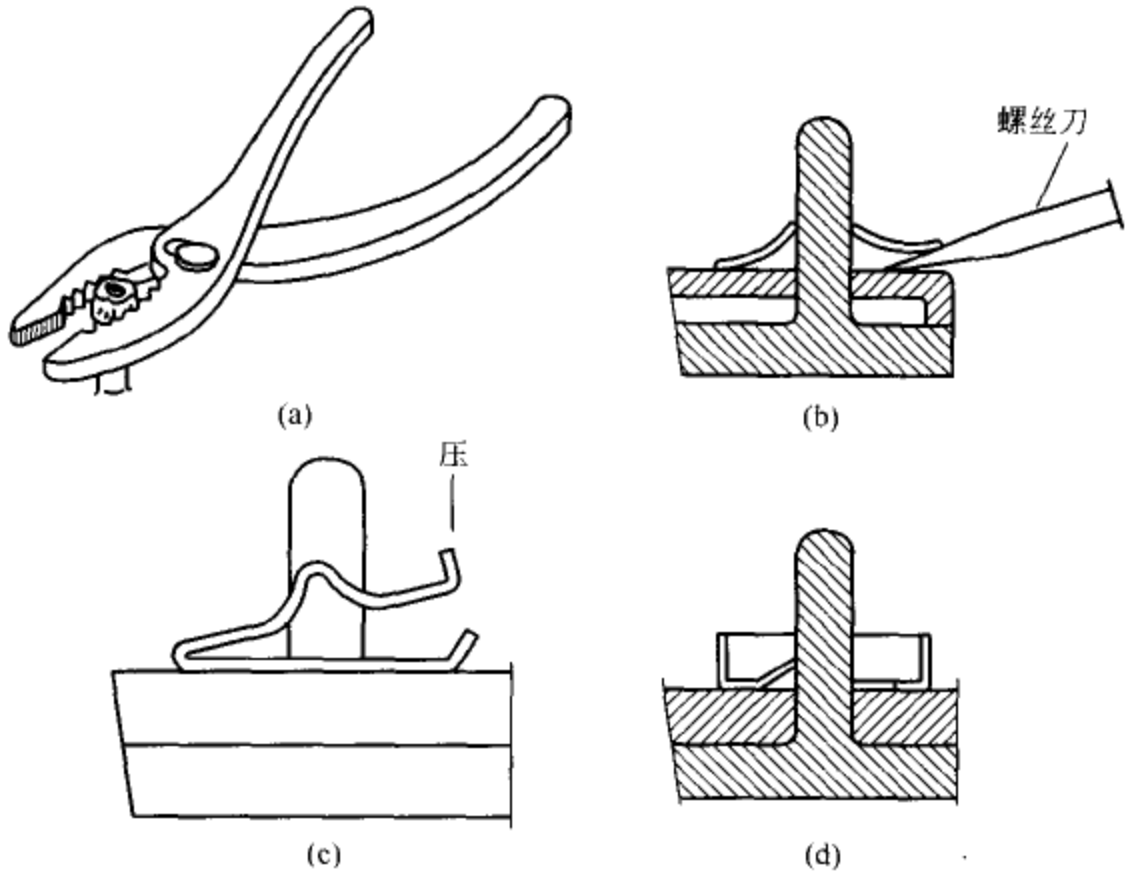


图 4-7　带柱头紧固件移出

（a）老虎钳拧掉；（b）按上式紧固件；（c）弹簧固定锁；（d）自攻螺纹

4.2.2　永久性装配

永久性装配包括所有的焊接方法加上锻接和胶黏剂连接。最容易处理的是锻接，因为通常都可以用凿子敲掉或用改锥撬掉它们的头部，见图 4-8（a）。如果有足够的间隙，可以用锤子从后部把它敲掉。

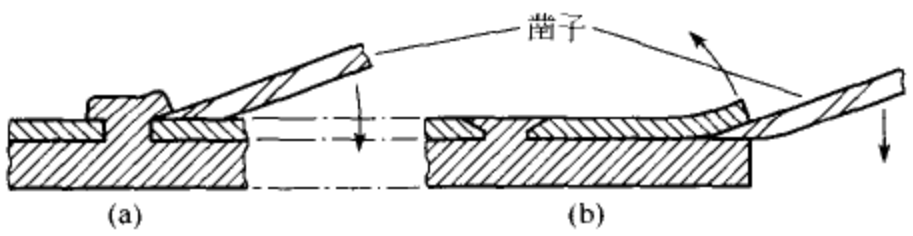


图 4-8　移出

（a）带头的柱；（b）平齐头柱

如果柱是平头型的，柱的表面与零件的面平齐，没有足够的空间插入到柱头的下面，可以采用图 4-8（b）所示的楔入两个零件之间的方式把它们分离开。

卡扣用于永久性装配设计要比重复打开的设计场合多。如果卡扣太坚固不能被砸开，在卡紧固件的周围区域必须设计一个薄弱部分，通过这个部分将它破坏，这非常像前面描述的“敲掉”，见图 4-9 中的俯视图。

焊在一起的零件分离是非常困难的，显然这个困难度依赖焊点的位置和强度。间歇型的焊接，像那些常用的超声波焊接或点焊，如图 4-9 所示，用楔子楔入焊点之间是非常容易分离零件的。图中也显示了用于此目的的开启槽。

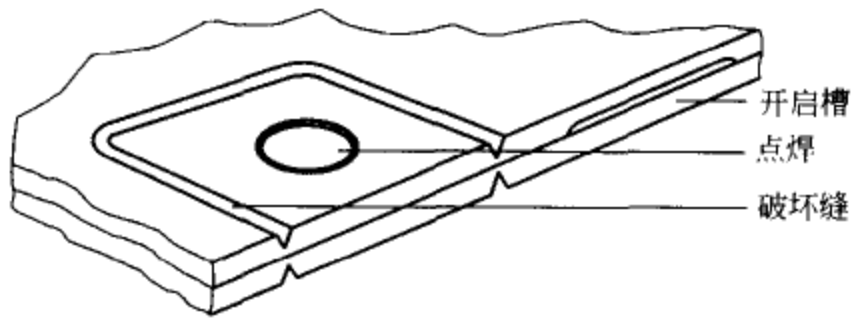


图 4-9　点焊打开

较坚固的焊缝需要用带锯或圆锯切割掉。对于粘接接头，这可能是最好的办法。粘接和感应/电磁焊接包含有第三种材料的污染，因为它成为了“回收材料的混合材料”，降低了循环利用树脂的价值。在粘接接头中，污染物是胶黏剂本身。在电磁感应焊接中，在两个零件之间安放了带有铁氧体颗粒的嵌件。如果合理安排时间和设备的花费，后一种接头是最容易被拆卸的接头之一，因为接头可以被再熔化。

溶剂焊接也是较容易处理的。既然溶剂焊接多数用在相同的材料零件的连接，根本就不需要对它们进行拆卸。最好的办法是在拆卸之前确认是否确实采用了溶剂焊接。如果零件必须拆卸，用装配它们时使用的相同的溶剂有时可以使它们变软到能被拆卸。如果不行，采用对待其他焊接接头的相同的办法对待它。

4.3　回收设计

产品设计需要考虑的问题非常广泛，循环利用是问题之一。以下的讨论是假设循环利用是首要的考虑，所有其他的是次要的。通过这种办法，设计者可以快速有效评估装配方法的循环利用能力。

4.3.1　简化

第 3 章讨论的部件的减少是降低价格的一个方法。然而，它对于拆卸也是重要的，因为较少的零件拆卸时费用会明显降低。零件越少，砸开零件和需要的工作就越少。如果零件坏了，因为修理好它需要的时间会减少，相应修理费用也会减少。因此，一个简单的设计不仅仅有其经济效益，更有利于环境保护。

4.3.2　装配方法选择

站在循环利用的立场，作者推荐以下列顺序来选择装配方法。这里假设不可能用同一种材料来生产两个零件，如果是那样就不需要拆卸了。

4.3.2.1　可重复打开的方法

(1) 压力配合　拆卸简单，通常不需要加热或工具。需要比较紧的公差，并且非常容易被拆卸。如果两种材料的线性热膨胀系数差别很大（例如在金属轴上的塑

料齿轮），可以用加热来拆卸它们。

（2）卡口配合　通常认为是一种永久性装配办法，如果是这样，设计就容易被打开。提高了加工、维护、工艺的费用，但是节省了紧固件的费用。

（3）自攻螺钉、螺纹成型螺钉、驱动螺杆或薄金属螺母　与相对的螺纹紧固件相比节省了装配费用，也相对节省了拆卸费用。然而，它仅仅能被有限打开几次，其中，最差的是驱动螺钉。

（4）带有简单的膨胀嵌件的机制螺钉　最简单的移出螺纹嵌件。然而一旦拧出螺钉有时会自己掉出来，并且会丢掉。

（5）带有螺旋线机制螺钉、双头螺纹嵌件或上嵌件　这些阴式紧固件是最容易被移出的。这种全金属的嵌件要么强度低要么耐久性差，安装也费时间。

（6）带有模塑成型嵌件的机制螺钉　不论嵌件是怎么安放的，要移出它们都是困难的。模塑成型的嵌件移出通常是困难的，因为它们是为特殊用途而特制的。因此它们的形状通常是奇特的，或者比标准嵌件薄。当需要这样的紧固件时，它们的数量可以通过仔细地设计来减少。

4.3.2.2　永久的方法

按照定义，永久性装配技术都是很难拆卸的。因此这些方法被放在了较低的层次上。

（1）压力配合或卡口配合　这两种方法都能设计成永久连接，但是压力装配需要加热一个零件使之膨胀才能完成。然而它们也可以被设计成只有一点点难度的容易拆卸形式。

（2）锻接　在大多数情况下，有一个供安装用的柱头，这样就可以用工具铲掉它。零件可设计成较容易铲除的形式。

（3）热气体、热模、溶剂、超声波、振动等焊接　用这些工艺制造的产品的拆卸都是困难的，困难的程度随着结构和材料的不同而变化。如果有可能，装配设计要使焊接可以被砸掉或者零件可以像图 4-9 所示的被楔开。

（4）胶黏剂和感应/电磁配合　用这些方法连接的产品比上面所提到的办法拆卸要更困难，因为它们被外部物体污染了，这些污染物必须被移出。

4.3.3　材料的选择

要记住许多拆卸可以通过选择可回收的材料来避免。首先那些材料的选择要依靠符合产品的功能和价格来确定。这些一旦完成，接下来的选择需考虑循环利用的问题。

所有的塑料都可以以某些方式循环利用。当依赖循环利用来选择材料时，除了材料要符合功能和价格标准外，设计者必须确立树脂的循环利用的水平。举例来说，热固塑料有十分有限的可循环利用性能，因为它不能再熔化和再使用。当前的热固塑料的循环利用提倡材料被粉碎，分离玻璃纤维，剩下的树脂与碳酸钙混合磨成细粉。这些粉作为“复合添加剂”，与纯树脂混合，粉所占质量分数为 7%，形

成新的混合物。热固性塑料被破碎作为各种应用的填充物。

对于热塑性塑料有较多的选择。首先，如果它们能够被重新研磨，且用相同的工艺循环利用，可以循环利用的有注道、流道、边角料、报废零件。这是当前证明循环利用有经济效益的一个方面。假如回收的零件没有污染，相同的材料仍然在使用，这也给厂商提供了一个处理回收零件的方法。

SPI 公司有一个“清扫”计划，帮助公司识别内部那些能被再利用的废料，建立收集方法，并为那些再加工的材料找到市场。在这个计划下，Ticona 公司回收并卖出聚甲醛、聚酯、尼龙 66、聚苯硫醚和液晶聚合物。通用电子有一个收购聚碳酸酯废料并再转售的计划，与纯料混合使用。许多材料必须与纯料混合才有可靠的物理性能，并且在这样的方式下能再利用。

另外，消费者用后的废品收购的树脂是有商业市场的。用作汽水瓶的聚对苯二甲酸乙二醇酯可以回收用作护墙板、纺织纤维、胶片和瓶子。用作牛奶瓶的高密度的聚乙烯可回收用作交通栅栏、清洁剂瓶、排水管、球棒、货盘、花盆、玩具、船帆。聚丙烯循环利用可以做包装、建筑用隔板、汽车和医学用品。

设计者如果关心制造的产品能否被循环利用，就必须选择那些已经建立了循环利用市场的树脂，有组织地收集、拆卸和分类。能引起商业市场的兴趣，塑料必须被大量的使用并有稳定的供应。注意所有在之前章节里列出的聚合物是用量非常大的日用品树脂。

如果树脂的应用市场不存在，就需要去创立这个市场。与那些价高、用量足够大的工程塑料相比确实是个有点庞大的任务。首先来看树脂的供应商，它们可能有回收的计划，或至少它们的员工知道它们回收的树脂的市场在哪里。想获得成功，回收计划必须仔细设计。如果人们真的看重循环利用，人们不能简单地用能被循环利用或者假设将能被循环利用的材料制造产品。

4.3.4 添加剂

塑料通常被称为“混合物”而不被称作树脂，因为在使用中，它们包含比基体树脂多许多的其他物质。添加剂的使用增强了材料的物理性质和加工性。然而这些添加剂混入树脂中，大大限制了作为循环利用材料的价值。以下就是这些添加剂的部分清单。

- 抗氧剂；
- 抗静电剂；
- 着色剂（染料和颜料）；
- 偶联剂；
- 填充剂/添加剂（碳酸钙、滑石粉、高岭土、三水合氧化铝、长石、硅土）；
- 阻燃剂；
- 发泡剂；
- 热稳定剂；

- 冲击改性剂；
- 润滑剂；
- 有机过氧化物；
- 增塑剂；
- 防腐剂；
- 性能增强剂（云母、微珠）；
- 增强剂（碳纤维、玻璃纤维、芳香尼龙纤维）；
- 稳定剂；
- 紫外线抑制剂。

尽管这些添加剂对材料有实际的益处，但它们制约了混合物成为高价的循环利用材料。含有填充物和增强剂的混合物要循环利用；然而，每一个被考察的特殊材料需要调查它的循环利用的能力。当评估所有的价格图表时，也许是使用没有被掺杂的树脂能有更高的性能。

4.3.5　污染

产品一旦出厂就不在控制范围以内了，并有许多途径变成污染物。通常这些是污染源，污垢或油脂可通过清洗的办法处理。然而有些污染物是在厂家控制之内的。

油漆和含有金属的覆盖物是典型的增加材料的回收和循环利用困难的覆盖物。人们不得不提供一些需求，如电磁屏蔽、增强产品外观、通过使用染色或金属层隔离紫外线，这些选择是必须做的。整体上色，如使用颜料，可能是依赖特定的循环利用树脂的用途的一个能接受的选择。颜色可以从零件内部彻底消除，因而从循环利用的角度看，它们非常令人满意。

润滑剂也污染了可循环利用材料。有两种类型的外部润滑剂可供使用。一种是用于产品的功能中，例如通常用在轴承等类似用途中。另一种是在零件制造工艺中用于模具的脱模。前者很难除掉，后者可以通过增大拔模斜度来减少或消除使用。这样就减少了把零件从型芯脱落出来所需要的力量，从而消除了脱模剂的需求。再加上生态和经济利益，提高设计角度可以减少生产周期，那样就可以减少能耗，也降低了设备成本。

4.3.6　减少材料

有几种缩减重复利用材料的种类和数量的方法。通过类似于材料焊接的方法对材料进行充分利用，可以减少拆卸部件的数量。这同样对装配有影响，因为类似的材料往往有非常接近的熔点。这个特性使得热焊接的装配工艺实施起来更加便利。在可进行溶剂焊接的材料中，一些化学性质相似的材料更加有利于焊接的实施。尽管消除一次拆卸操作总是有利的，但是该焊接工艺特别适用于装配，因为如此制造的产品拆卸更加困难。

有时通过采用组合零件可以降低材料的使用种类。设计者应仔细考虑残余应力极限，对部件几何结构进行变更以改变元件的强度和刚度，因此就可以免于使用另一种材料。还可以通过布筋和发泡工艺来改变特定材料的刚度。因此，一部分可以用注塑成型成实心的结构，另一部分用相同的材料进行结构泡沫填充。

当材料的品种不能再减少时，那么可采用所谓的“薄壁工艺”对所用材料的数量进行缩减。它不仅是一种成本降低技巧，还具有再循环和生态学方面的好处，因为除了可以减少树脂的使用量外，它还可以降低成型周期。有效的“薄壁工艺”必须满足如下两个标准：强度和可成型性。满足部件强度要求的壁厚可以通过查找手册获得，然而最好能进行有限元分析。通过充模分析软件获得可充填的最小壁厚。尽管已经开发出新型、高流动速率的树脂适应于此过程，但是仍存在重大的危险——高的成型温度和保压压力将造成翘曲变形和较高残余应力。

代　码		材　料
1	PETE	聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)
2	HDPE	高密度聚乙烯
3	V	聚氯乙烯(PVC)
4	LDPE	低密度聚乙烯
5	PP	聚丙烯
6	PS	聚苯乙烯
7	其他	所有其他树脂和层状复合材料

图 4-10　包装用塑料再生代号：塑料瓶集装箱代号体系举例

这个独立的瓶代号与标准工业认证加以区别，以避免注册商标的混乱（选自 Rosato《塑料百科全书和词典》，151 页）

4.3.7 认证和拆卸说明书

无论采用了何种材料和装配工艺，设计者都应该知道这对于拆卸人员来说并不是显而易见的。应在主机架的内部附上用法说明。主机架的开启方向应刻在模具的底部。材料标签要根据国际认证体系贴在模具和部件相应的部位。

塑料工业协会提出了包装专用的塑料再生代号，详见图 4-10。

产品通过 SAE、ISO 和 ASTM 标准认证。ASTM 标准被指定为 D 1972—94，并可按照如下方法获悉：

美国材料和测试学会（ASTM）
100 Barr Harbor Drive
P. O. Box C700
West Conshohocken, PA 19428-2959
电话：(610) 832-9585
传真：(610) 832-9555
www. astm. org

第5章　按照材料选择装配方法

5.1　热塑性塑料与热固性塑料

本书是关于塑料产品装配方面的工具书，而本章的大部分章节涉及塑料材料的装配问题。材料基础方面的知识对于理解它们之间的关系是必需的。

塑料材料分为以下两种基本类型：热塑性塑料与热固性塑料。热固性塑料在加热到其熔融温度时发生了一种被称为“交联”的化学反应，成型后无法再恢复到它以前的形态。交联材料加工后产生的边角料将无法再次利用。

热塑性塑料在加热时不发生交联反应。这意味着它们可以被再次加热并回复到它们最初的形态。只要不被污染，注道残料、流道冷料、边角料都能被回收并用于加工。按这样的方式考虑，材料的利用率可以达到100%。

然而，热塑性塑料并非完全恢复到最初的状态。有一小部分发生了降解。这就意味着二次使用的塑料无法与原料具有相同的力学性能。这种再生料可以通过注射再次成型为塑料零件。但是该零件的强度明显不如用纯料制得的零件；而且变得更脆并有轻微变色。

上面讲到的降解是否真正影响到了零件的性能？有以下几点因素值得考虑。某些树脂的解聚程度要大于其他树脂。于是，这便有了一个关于温度的问题：降解温度有多高？熔体处于高温下有多长时间？如果把原始设计和允许的回收料所占比率考虑在内的话，将存在安全因子。相对受影响较小的树脂，加入少量（5%～10%）的回收料（在零件中难以察觉），制得的零件具有较大的安全因子，且不使它在日常使用中接触到高温。另一个极端的例子便是受影响极大的聚合物料，含有50%的回收料，制得的零件安全因子最低，而且每天都置于高温环境下。毫无疑问，这样的零件，它们的力学性能将会逐渐下降，而且经不起长期使用便失效了。出现这种情况在不同程度上取决于特定树脂的易降解性，而紫外线的存在使得情况更为恶化。

在两种极端之间还存在灰色区域。限制回收料的含量以及放置于高温下的时间，可以减少由此造成的损坏。如果没有长期广泛的测试，我们很难解释下降的幅度有多大。至少在编写本书的时候，还没有方法能精确的预测某一特定零件的失效时间。通过适当设计安全因子，零件可以使用几年直至失效（每一种材料都有一连续使用温度，个别材料的相关信息见5.4.1节的列表）。

“热历史”一词用于描述降解的累积。树脂在第一次用于制造产品（也即第一

次加工）的过程中接触了热。有些工艺带给材料的热历史要多于其他工艺。例如，热成型工艺就给生产的零件以相当高的热历史：在化合物的形成过程中接触了高温，成型片材又带来更多高温下的暴露，接着再进行热成型，进一步给材料以高温。

热成型生产工艺边角料所占百分比高，因为零件必须由片材剪裁而来。剩下的坯料作为边角料再次加工，再一次增加其热历史。如果允许有 50%的废料的话，那就意味着第二次以后 25%的料经受了两次加工。第三次有 12.5%的料经受三次加工等。有人已经得出以下结论，在热成型过程中使用废料是不明智的。然而，提高材料使用率又要求使用废料。对于热成型加工者来说，这项工艺的模塑应力一般不是很大，因而对于热历史的增加是一种补偿。

很多装配工艺也会给材料带来热历史。因而，我们在选用最佳工艺时，不仅要考虑由装配工艺带来的热历史，而且也要考虑产品之前所经受的热历史。

5.2 无定形与结晶（半结晶）热塑性塑料

热塑性塑料分为两大基本类别：无定形与结晶热塑性塑料。Rosato 的《塑料百科全书与词典》一书中这样定义无定形塑料：分子链以无规线团状态存在（就如同沸腾的水）。跟结晶热塑性塑料相比，结构无规律。这种无定形塑料的结构特征如下：不存在分子链的三维有序排列或次级分子链（远大于原子尺寸）的自由伸展；不存在紧密排布的远程有序。然而，由于密集态中存在紧密排布，因而在小规模上存在一定的结构有序性，即表示为近程有序。

Rosato 定义的结晶塑料：分子排列在重复有序的晶格单元内，在这种重复结构中，分子链中的每一个原子都被精确地固定在某一点上。由于没有哪一种塑料是完全结晶的（一般小于 80%），有序聚合物可以大部分结晶，然后留下很小的一部分无定形区域夹在晶区之间。严格地说，它们应该被称为半结晶塑料，但一般工业上都把它们称为结晶塑料（为简化起见，本书也将遵从此例）。

紧密有序的晶体，密度高，熔点高，溶解度低；每一个分子链基本上都有排列成这种晶格的倾向。这种晶体在低温下的稳定性以及能级都可以由晶体形成过程中产生的热熔融焓，即把分子从晶格中释放出来的那部分焓值来表征。温度和能级越高，分子的振动和布朗运动使它们倾向于脱离晶格，破坏晶体，使它们变成无规、无序状态，即具有更多的自由度。两种因素的平衡将决定每一特定塑料熔点的高低。

对于这一论题，还有很多可以论述。但本书是有关于装配的书，作者必须让读者通过其他资料得到更多的有关无定形塑料性能的知识。本书必须集中论述影响零件装配的无定形和结晶聚合物的各种不同性质（热塑性塑料的类型选择在 5.4.1 节每一特定塑料的后面进行介绍）。

5.2.1　成型后收缩率

首先，无定形塑料的出模收缩率相对较低，且熔融物料在流动方向上基本保持一致。结晶聚合物的出模收缩率则相对很高（加入填料后会有所下降），且在流动方向上产生了显著的变化。

出模收缩率影响了加工者保持制品窄公差范围的能力。出模收缩率很低且各方向上保持一致意味着对于模具制造者和成型者来说，其具有了更大的可预见性。因而他们对于无定形塑料制件的窄公差的保持能力要优于对结晶性塑料。对于选择一种材料进行窄公差装配来说，这一点就显得非常重要。

结晶热塑性塑料的可压缩性要好于无定形热塑性塑料，这将有助于设计者克服一部分由它们的高收缩率而带来的影响，因为他们可以使用可压缩配件。填料和增强材料，尤其是玻璃纤维的加入将同时降低结晶热塑性塑料的出模收缩率以及可压缩性能。结晶热塑性塑料的耐应力开裂性能一般要优于无定形热塑性塑料，因而可以作为制造压力配件（承受连续载荷）的优选材料（不同材料的成型收缩率列于 5.4.1 节）。

5.2.2　线性热膨胀系数

线性热膨胀系数（CLTE）对于无定形塑料来说，要比结晶热塑性塑料低。有两种重要的装配必须考虑。

第一种与配件有关，而且特别令人头疼——当具有不同线性热膨胀系数的材料配合在一起的时候。如果不同的材料是焊接在一起的，焊接部分所受到的应力将高于设计值。如果接头为机械连接，那么线性热膨胀系数高的零件的膨胀明显大于另一零件，进而导致配件变弱。制品越大，问题也就越严重。

CLTE 的不同带来的另一个影响与连接工艺中热的使用有关，特别是机械式连接的装配。有效装配方法之一便是加热外部或是凹形部件，零件将容易与凸形部件配合。线性热膨胀系数大的材料制得的零件配合更容易（5.4.1 节给出了每一种材料的 CLTE）。

5.2.3　焊接性能

一般来说，热塑性塑料都可以焊接。然而，它们的焊接程度不一，有的很难焊接，从经济角度上不适合采用焊接（5.4.1 节给出了各种塑料的焊接性能以及可采用的焊接工艺）。

5.2.4　溶剂密封性

结晶热塑性塑料耐溶剂性能要优于无定形热塑性塑料。所以工业上，结晶热塑性塑料一般不采用溶剂焊接。大多数无定形塑料都可以迅速溶焊，焊接的零件都由同种塑料制得。但是有些不同的无定形树脂也能焊接到一起（5.4.1 节列出了各种

聚合物的溶剂密封性）。

5.3 热固性塑料

正如名字中所透露的，热固性塑料在受热和施压后，形态将永远保持不变。各分子链之间发生了交联，再也无法回复到以前的形态。如果再升高温度和压力，它们将发生炭化并开始燃烧。热固性塑料无法回收利用。在本书写作时，回收它们的唯一具有商业价值的用途是把它们切碎，然后再用作树脂填料或马路渣料等（从增强热固性塑料中回收玻璃纤维的技术正在发展之中）。

装配方法的影响在热固性塑料的使用中非常显著。但并非所有装配方法都适于使用加热——于是热变形将不再成为要考虑的问题。因而，热固性零件可以在它们仍然很热的成型过程中或在一个非常热的环境下进行装配。

一般来说，考虑热固性塑料和热塑性塑料的成本，工程师从热固性塑料中得到了更优异的力学性能和热性能。然而，情况并不完全是这样，因为热固性塑料无法得到完全利用；它们的加工受到了限制，而且不能采用粘接和自由的紧固装配（热固性塑料列于 5.4.1 节）。

5.4 按照材料选择装配方法

对于选择一塑料材料用于某一特殊应用，可以有很多判据。本章专门介绍组装技术。在 5.4.1 节中，材料依字母顺序排列，以便于查找。在材料名称之后是它所对应的塑料种类。有关材料性能的介绍比较普遍，因为它必须包含由大量合金和添加剂的使用而造成的上百种不同级别的聚合物。大家可以注意到表中并未列出包含填料树脂的各项性能值：矿物或玻璃纤维的存在已经大大改变了这些数值。显示的信息只是提供一个方向，不能用于工程配方。建议读者们最好能根据加工者给出的数据值掌握树脂的特殊性能。

塑料材料缩略语按字母顺序列于表 5-1。

表 5-1 塑料材料缩略语（按字母顺序）

缩略语	塑料材料名称及惯用名词	缩略语	塑料材料名称及惯用名词
ABA	丙烯腈-丁二烯-丙烯酸共聚物	BMC	团状模塑料
ABS	丙烯酸-丁二烯-苯乙烯共聚物	BOPP	双轴定向聚丙烯
ACS	丙烯腈-氯化聚乙烯-苯乙烯共聚物	BR	顺丁橡胶
AES	丙烯腈-乙烯-丙烯-苯乙烯共聚物	BS	丁苯橡胶
AMMA	丙烯腈-甲基丙烯酸甲酯共聚物	CA	醋酸纤维素
AN	丙烯腈	CAB	乙酸丁酸纤维素
APET	无定形乙烯对苯二甲酸酯共聚物	CAP	乙酸丙酸纤维素
APP	无规聚丙烯	CFC	含氯氟烃
ASA	丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈共聚物	CN	硝酸纤维素

续表

缩略语	塑料材料名称及惯用名词	缩略语	塑料材料名称及惯用名词
COC	环烯烃共聚物	HIPS	高抗冲聚苯乙烯
COP	共聚酯	HNP	高腈聚合物
COPA	共聚酰胺	LCP	液晶聚合物
COPE	共聚酯	LDPE	低密度聚乙烯
CP	丙酸纤维素	LLDPE	线性低密度聚乙烯
CPE	氯化聚乙烯	LP	低粗糙度树脂
CPET	结晶乙烯-对苯二甲酸共聚物	MBS	丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物(抗冲改性剂)
CPP	氯化聚丙烯	MC	甲基纤维素
CPVC	氯化聚氯乙烯	MDI	二苯基甲烷二异氰酸酯
CR	氯丁橡胶	MF	蜜胺-甲醛树脂
CTA	三乙酸纤维素	MMA	甲基丙烯酸甲酯
DAM	顺丁烯二酸二烯丙酯	MPE	聚乙烯合金
DAP	邻苯二甲酸二烯丙酯	MPF	三聚氰胺-酚醛树脂
DCPD	双茂，二聚环戊二烯	MPR	可热加工橡胶
DETDA	二乙基甲苯胺	NBR	丁腈橡胶
DMT	对苯二甲酸二甲酯	NR	天然橡胶
EBA	乙烯-丙烯酸丁酯	OPET	定向聚对苯二甲酸乙二醇酯
EC	乙基纤维素	OPP	定向聚丙烯
ECTFE	乙烯-三氟氯乙烯共聚物	OSA	烯烃改性的苯乙烯-丙烯腈共聚物
EEA	乙烯-丙烯酸乙酯	PA	聚酰胺
EMA	乙烯-甲基丙烯酸	PAEK	聚芳醚酮
EMAC	乙烯-甲基丙烯酸共聚物	PAI	聚酰胺-酰亚胺
EMPP	弹性体改性聚丙烯	PAN	聚丙烯腈
EnBA	乙烯-丙烯酸丁酯共聚物	PB	聚丁二烯
EP	环氧树脂	PBAN	丁腈橡胶
EP	乙烯-丙烯	PBI	聚苯并咪唑
EPDM	三元乙丙橡胶	PBN	聚萘二甲酸丁二醇酯
EPM	乙丙橡胶	PBS	丁苯橡胶
EPS	发泡聚苯乙烯	PBT	聚对苯二甲酸丁二醇酯
ESI	乙烯-苯乙烯共聚物	PC	聚碳酸酯
ETE	工程热塑性弹性体	PCD	聚碳二酰亚胺
ETFE	乙烯-乙烯醇共聚物	PCT	聚亚环己基二亚甲基对苯二甲酸酯
EVAC	乙烯-乙酸乙烯酯共聚物	PCTA	CHDM-PTA 共聚酯
EVOH	乙烯-乙烯醇共聚物	PCTFE	聚三氟氯乙烯(增塑剂)
FEP	氟化乙丙共聚物	PCTG	乙二醇改性 PCT 共聚物
FPVC	增塑聚氯乙烯	PE	聚乙烯
FRP	纤维增强塑料	PEBA	醚-酰胺共聚物
GMT(P)	玻璃纤维增强热塑性塑料	PEC	氯化聚乙烯
GPPS	通用聚苯乙烯	PEDT	3,4-乙烯-二氧化噻吩共聚物
GRP	玻璃纤维增强塑料	PEEK	聚醚醚酮
HCFC	氯氟烃	PEI	聚醚酰亚胺
HCR	热硫化橡胶	PEK	聚醚酮
HDPE	高密度聚乙烯	PEKEKK	聚醚酮醚酮酮
HFC	氟代烃	PEN	聚萘二甲酸乙二醇酯

续表

缩略语	塑料材料名称及惯用名词	缩略语	塑料材料名称及惯用名词
PES	聚醚砜	RHDPE	回收 HDPE
PET	聚对苯二甲酸乙二醇酯	RPET	回收 PET
PETG	CHDM 改性 PET	SI	硅塑料
PF	酚醛树脂	SAN	苯乙烯-丙烯腈共聚物
PFA	全氟烷氧基树脂	SB	苯乙烯-丁二烯共聚物
PI	聚酰亚胺	SBC	苯乙烯嵌段共聚物
PIBI	丁基橡胶	SBR	丁苯橡胶
PMDI	聚二亚甲基二苯基二异氰酸酯	SMA	苯乙烯-马来酸酐共聚物
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯	SMC	片状模塑料
PMP	聚甲基戊烯	SMC-C	连续纤维 SMC
PO	聚烯烃	SMC-D	单轴取向 SMC
POM	聚甲醛	SMC-R	无规取向 SMC
PP	聚丙烯	TEO	热塑性聚烯烃弹性体
PPA	聚邻苯二甲酰胺	TLCP	热致液晶聚合物
PPC	氯化聚丙烯	TMC	厚模塑聚合物
PPE	聚苯醚(改性)	TP	热塑性塑料
PPO	聚苯醚	TPE	热塑性弹性体
PPS	聚亚苯基砜	TPO	热塑性聚烯烃
PPSU	聚苯砜	TPU	热塑性聚氨酯
PS	聚苯乙烯	TPV	热塑性交联体
PSU	聚砜	TS	热固性塑料
PTFE	聚四氟乙烯	UF	脲醛塑料
PU	聚氨酯	UHMW	超高分子量
PUR	聚氨酯	ULDPE	超低密度聚乙烯
PVC	聚氯乙烯	UP	不饱和聚酯
PVCA	氯乙烯-乙酸乙烯酯共聚物	UR	聚氨酯橡胶
PVDA	聚偏二乙酸乙烯	VA(C)	乙酸乙烯
PVDC	聚偏二氯乙烯	VC	氯乙烯
PVF	聚氟乙烯	VDC	偏氯乙烯
PVOH	聚乙烯醇	VLDPE	极低密度 PE

5.4.1 所选材料的性能及与装配相关的数据

以下各表列出了各种材料的性能及相关数据。

下列各表中所列的第一个性质是热变形温度。除了可以对树脂的耐热性能进行比较外，该数值还反映了材料的可焊接性能，因为在相对低温下熔融的聚合物一般都比在高温下熔融的聚合物易焊接。在对材料进行比较的时候，必须注意施加的应力相同（66psi 或 264psi）。在大多数情况下，表中还给出了材料的最高使用温度，作为实际应用的标准。

另一个性质则是拉伸强度（屈服点），它也是一相对量。必须牢记，即使在所谓的正常操作范围内，许多聚合物的拉伸强度也将会发生显著的变化。

弹性模量则作为聚合物能否用于制造带铰链的卡扣接头或压力接头的粗略标

准。出模收缩率则反映了材料容许误差大小的能力。线性热膨胀系数描述了树脂在一定温度下的尺寸稳定性。这些表还将讨论材料的其他性能。比如说，表中还将涉及到材料对各种装配方法的适应能力。如果找不到某一材料装配方法的任何信息，说明该方法已被略去不计。

1991 年修订的 SPI 应用表的成型公差表将置于材料目录的最后，即本章末尾的图 5-1～图 5-20。

在选择一种材料的装配方法前，还需要进行多方面的考虑。在做出最后选择前，读者可以参考有关材料价格利润方面的章节。

聚甲醛（POM） 结晶热塑性塑料

材 料 性 能	均聚物	共聚物
热变形温度(66psi)/℉	338	316
(264psi)/℉	255	230
最高使用温度(无负载)/℉	195	212
拉伸强度/psi	9700～10000	8800
弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	380～490	370～450
成型收缩率/(in/in)	0.018～0.025	0.020
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	28～62	34～61

其他性能

极高的拉伸强度、硬度、刚度以及尺寸稳定性；高的耐磨性能、耐化学性能以及承载下耐蠕变性能；优异的耐振动疲劳性能；低的摩擦系数和高的熔点；玻璃纤维填充的聚甲醛刚度更高，蠕变更低，有高的热变形温度，更好的耐电弧性，尺寸稳定性更高。

均聚物

优点：均聚物是强度和刚度最高的未增强热塑性塑料，良好的耐应力弯曲性能，耐有机化合物，低吸湿性能（良好的稳定性），低磨损，摩擦性能优于其他的热塑性塑料。

共聚物

硬度随着 POM 级别下降而下降，而流动性能则随之上升。加入 25%玻璃纤维时可获得最高的拉伸强度、刚度以及热变形温度。特殊级 POM 可用作可重复使用的食品接触物，磨损低，是最耐蠕变的结晶热塑性塑料之一，可长期使用而保持性能。可以适应 pH＝4～14 的环境，并可浸于一般的溶剂、润滑剂和汽油中。可以在 180℉的水中（空气中为 220℉）长期使用，有良好的耐疲劳性能。

应用

可以代替一些传统的锌、黄铜、铝铸件和一些钢制模具，如汽车燃料系统元件、座位安全带以及方向盘轴。其他应用包括轴承、卫生器具元件、五金产品、丁烷打火机机座、拉链、机械连接件、齿轮以及滑轮。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　聚甲醛的传动扭矩很低，破坏扭矩高，适合于紧固件。可采用经过特殊设计的螺纹滚压螺钉和压入式螺纹成型螺钉以提供高的支撑力，同时松弛指数小，且应力破坏趋势也较小。紧固件可以采用超声波法安装。
- 铰接　良好。
- 嵌件　超声波嵌件是一种相对较好的办法。热安装也很好。压入、自动攻丝以及螺旋线圈嵌入也可以使用。模塑嵌件则不考虑采用，因为聚甲醛收缩率很高。
- 压力配合　良好。
- 卡扣配合　优异。
- 溶剂　不推荐使用。
- 立锻/模锻　热，良好；热空气/冷锻，很差。超声波，适用到良好。

可焊接性

- 热口模/熔接　适用到良好，熔体强度达到材料的 90%。
- 热空气　适用，达到材料强度的 20%～30%。
- 感应/电磁　适用到良好。
- 旋转焊接　适用到良好，材料强度的 50%～70%。
- 超声波焊接　附近区域，良好；远端，适用到良好；点焊，适用；模锻，适用到良好。
- 振动焊接　良好甚至优异；但剪切连接困难。

图 5-1 给出了 POM 的 SPI 标准成型公差。

丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈共聚物（ASA）　无定形热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	200～210	弹性模量(73℉)/$\times10^3$psi	200～341
(264psi)/℉	180～200	成型收缩率/(in/in)	0.004～0.008
拉伸强度/psi	4000～7500	线性热膨胀系数/[$\times10^{-6}$in/(in·℉)]	33

注：其行为与 ABS 相似，但耐候性能相对较优异。

应用

一般用于户外，如建筑、邮箱、花盆以及窗户装饰。再生料可用于户外家具、船、温泉和水池用设备。还用于外用自动部件的格栅和装饰。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　适用到良好；可以采用特殊设计或推入式螺纹成型螺钉。紧固件也可以采用超声波法安装。
- 嵌件　加热，良好；超声波，良好；嵌件可以采用模塑。
- 溶剂　丙酮、冰醋酸、*N*-甲基吡咯烷酮、二氯苯。
- 立锻/模锻　加热，良好。热空气/冷锻，良好。超声波，适用到良好。

可焊接性

- 热口模/熔接　适用到良好。
- 热空气　适用到良好。
- 感应/电磁　良好甚至优异。
- 旋转焊接　良好。
- 超声波焊接　附近区域及远端，优异；点焊，适用。
- 振动焊接　适用到良好。

丙烯酸酯（聚甲基丙烯酸甲酯，PMMA）　无定形热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	175～255
(264psi)/℉	165～210
最高使用温度(无负载)/℉	130～230
拉伸强度/psi	7000～10500
弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	325～460
成型收缩率/(in/in)	0.001～0.004(流动)
	0.002～0.008(压铸模)
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	28～50

其他性能

聚甲基丙烯酸甲酯有良好的透明性，颜色明亮，且耐候性能良好。良好的电绝缘性能，且以表面坚硬著称（洛氏硬度 M85～105）。冲击性能可由 PVC 改性增强。

应用

用于照明、汽车透镜、电话和仪表面板；铭牌、窗户、应用面板、按钮、外壳以及电话按钮。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　传动扭矩和破坏扭矩、夹紧力以及拉伸强度都很高。初始松弛应力较低，缺口敏感，易破裂。一般采用三叶螺纹成型螺钉，某些特殊情况下也可用压入型。紧固件可以采用超声波法安装。
- 铰接　不能整体铰接；两片铰接需在装配过程中进行加热。
- 嵌件　超声波嵌件，良好甚至优异（对丙烯酸/PVC，适用到良好），且使用广泛；热装嵌件，也为良好甚至优异；压入、自动攻丝以及螺旋线圈嵌件都能使用。嵌入可以采用模塑。
- 溶剂　二氯化乙烯、二氯甲烷、三氯乙烯以及冰醋酸。接合部强度可以达到材料强度的 60%。
- 立锻/模锻　加热，良好甚至优异；热空气/冷立锻，良好；超声波，适用到良好；对丙烯酸/PVC，良好。

可焊接性

- 热口模/熔接　优异；焊接强度为材料的 80%；在某些情况下还可以跟 ABS、聚碳酸酯以及 SAN 焊接。

• 热空气　与 PVC 焊条焊接（由 PVC 焊条生产商检测）。

• 感应/电磁　优异；在某些情况下可以跟自身、ABS、PC、SAN 以及 PS 焊接。

• 旋转焊接　良好。

• 超声波焊接　附近区域，良好甚至优异，对于丙烯酸/PVC 相同；远端，适用到良好（推荐使用能量控制器）；点焊，良好；在某些情况下可以跟 ABS、PC、聚苯醚以及 SAN 焊接。

• 振动焊接　适用到良好；在某些情况下可以跟 ABS、聚苯醚以及 PC 焊接。

图 5-2 给出了 PMMA 的 SPI 标准成型公差。

丙烯酸-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）　无定形热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	210～225	弹性模量(73℉)/$\times10^3$psi	179～375
(264psi)/℉	190～206	成型收缩率/(in/in)	0.004～0.009
最高使用温度(无负载)/℉	140～210	线性热膨胀系数/[$\times10^{-6}$in/(in·℉)]	44～61
拉伸强度/psi	4000～7500		

其他性能

配方决定 ABS 具有高的刚度和冲击强度，且有优异的表面特性。ABS 有良好的阻燃性能，较好的耐热性以及耐化学性能。ABS 是电镀工艺的首选材料，且用特殊级的 ABS 以满足电镀需要。ABS 不粘模具表面，它可以在减少的拔模斜度下（每边 0.5°）成型。

ABS 的缺点在于其能溶于酯、酮以及一些氯代烃，在应力成型时易损坏（极大地影响了其耐化学性能），耐紫外线较差（需要加入添加剂以减少物理性能、颜色以及光泽度的损失）。

ABS 可根据下列因素制成产品满足需求：

① 丙烯腈可以改善耐热性能、耐化学性能以及耐老化性能；

② 丁二烯提高低温使用性能，硬度以及抗冲击性能；

③ 苯乙烯则提供制品光泽，刚度以及改善加工性能。

ABS 可以跟其他聚合物如 PVC、PC 构成合金。甲基丙烯酸甲酯可以作为第四组分加入以提高透明度。通过改性后的 ABS，透光率可达到 75%～80%。

应用

排污管和管道配件、家用器具、汽车仪表面板以及车内照明灯座、冰箱门衬里、行李箱、野营房顶、体育用品以及电动工具座。ABS 是世界上应用最广泛的工程塑料。

装配方法

• 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。

• 紧固件　数值取决于丁二烯的含量。拉伸强度、扭矩值以及材料松弛量随着丁二烯含量的减少而提高。耐开裂性能随着丁二烯含量增加而提高，且由于低级的 ABS 在螺纹入口处易产生裂纹，必须进行扩孔。特殊的螺纹滚压螺钉和压入式

螺纹成型螺钉都可以使用。也可以使用切削螺纹。塑料机制螺钉可以使用 UNC 螺纹。可以使用铆钉和弹簧卡子。紧固件可以使用超声波法安装。

• 铰接　适用到良好。

• 嵌件　超声波嵌入法非常优异，一般采用此法。热嵌入也非常优异，但在大多数情况下比较缓慢。还可以使用压入自动攻丝和旋转线圈嵌件。超声波嵌入法对 PC 改性的 ABS 非常好，而对 PVC 改性的 ABS 则一般。模塑嵌件法也较好，但必须在成型前预热至 95～120℃（200～250°F）。

• 压力配合　良好。

• 卡扣配合　良好。

• 溶剂　甲乙酮（MEK）、甲基异丁基酮（MIBK）、氯甲烷、丙酮、二氯乙烯、四氯乙烯、四氢呋喃、三氯乙烯。接合处强度可达到材料强度的 60%。

• 立锻/模锻　加热，良好甚至优异；热空气/冷立锻，优异；超声波，优异；较好地适用于 ABS/PC 和 ABS/PVC。

可焊接性能

注：ABS 有一定吸湿性，在一些含加热工序的工艺中需要先干燥。

• 热口模/熔接　良好；焊接强度为材料的 80%；在某些情况下还可以跟丙烯酸、聚碳酸酯和 SAN 焊接。

• 热空气　良好（与其他物质共混）；焊接强度为材料的 70%。

• 感应/电磁　优异；在某些情况下可以跟丙烯酸、PC、SAN 焊接。

• 旋转焊接　良好甚至优异。

• 超声波焊接　附近区域，优异，较好地适用于 ABS/PC 和 ABS/PVC；远端，良好（推荐使用能量控制器），也适用于 ABS/PC 和 ABS/PVC；点焊，优异，适用于 ABS/PC 和 ABS/PVC；在某些情况下可以跟 PVC 以及 SAN 焊接。

• 振动焊接　良好；在某些情况下可以跟 PS、丙烯酸、聚苯醚、PC 以及苯乙烯-丙烯腈共聚物焊接。

图 5-3 给出了 ABS 的 SPI 标准成型公差。

烯丙基　见邻苯二甲酸二烯丙酯。

纤维素：醋酸纤维素（CA）、乙酸丁酸纤维素（CAB）、乙酸丙酸纤维素（CAP）、乙基纤维素（EC）　结晶型聚合物

材料性能	醋酸纤维素	乙酸丁酸纤维素	乙酸丙酸纤维素	乙基纤维素
热变形温度(66psi)/°F	120～209	130～227	147～250	115～190
(264psi)/°F	111～195	113～202	111～228	115～190
最高使用温度(无负载)/°F	140～220	140～220	155～220	115～185
拉伸强度/psi	1900～9000	2600～6900	2000～7800	2000～7800
弹性模量(73°F)/$\times 10^3$psi	1200～4000	90～300	120～350	
成型收缩率/(in/in)	0.003～0.010	0.003～0.009	0.003～0.009	0.005～0.009
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·°F)]	44～100	61～94	61～94	55～111

其他性能

不同的纤维素有着相似的性能。高韧性、高强度、高刚度及高硬度，颜色透明，低温韧性良好。方便清洁，且耐候性良好。

应用

醋酸纤维素主要用于挤出薄膜或片材，但也可以注塑成型优质玩具、工具把手、室内器具、防护罩、镜片以及眼镜架。乙酸丁酸纤维素可以用做钢笔笔杆、方向盘、工具把手、机器防护罩以及天窗。乙酸丙酸纤维素则应用于照明器材、护目镜、发动机外壳、刷柄、护面罩以及方向盘。乙基纤维素可以用做闪光灯箱、灭火器件以及电子元件。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　高的扭矩值、高的拉伸强度以及低的材料松弛。使用螺纹成型螺钉时，必须采用超大导向孔以避免材料应力开裂。常使用螺纹切削螺钉。紧固件可以使用超声波法安装。
- 嵌件　超声波嵌件良好甚至优异，一般采用此法。热嵌入也非常优异，但在大多数情况下比较缓慢。还可以使用压入、自动攻丝和螺旋线圈嵌件。嵌件可以采用模塑法。
- 溶剂　氯仿、二氯甲烷、丙酮、乙酸乙酯、甲乙酮（MEK）、甲基溶纤剂。乙酸丁酸纤维素也可溶于环己酮、二氯乙烯以及含 80%的甲苯和 20%的乙醇的溶液。强度可与材料强度持平。
- 立锻/模锻　加热，良好；热空气/冷立锻，适用；超声波，适用到良好。

可焊接性能

- 热口模/熔接　有限；某些情况下焊接强度为材料的 80%。
- 热空气　良好；焊接强度为材料的 90%。
- 感应/电磁　良好甚至优异。
- 旋转焊接　良好甚至优异。
- 超声波焊接　附近区域，不良到适用；远端，有限（推荐使用能量控制器）。点焊，不良到适用。
- 振动焊接　良好，焊接强度为材料的 80%。

图 5-4 给出了纤维素的 SPI 标准成型公差。

邻苯二甲酸二烯丙酯（DAP）　热固性塑料

材　料　性　能	玻璃纤维填充	矿物填充
热变形温度(264psi)/℉	330～550	320～550
最高使用温度(无负载)/℉	300～400	300～400
拉伸强度/psi	6000～11000	5000～8000
弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	1200～1500	1000～1400
成型收缩率/(in/in)	0.0005～0.005	0.002～0.007
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	5.6～20	5.6～23

其他性能

邻苯二甲酸二烯丙酯有突出的尺寸稳定性（稳定性最好的热塑性塑料），优异的电性能和耐热、耐化学性能。吸湿性低，表面硬而韧。

应用

重要的电子和电视元件，军用、宇航元件以及家具层压板。由于材料比较昂贵，所以一般只用于在恶劣环境下长时间使用的领域。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　良好；推荐使用螺纹切削螺钉。三叶（trilobular）螺纹成型螺钉可以用于个别情况。且一般有导向孔。不能使用压入式螺纹成型螺钉。可以承受电嵌件的焊接。不能使用超声波法。
- 嵌件　一般使用压入式（且有胶黏）或模塑嵌件。还可以使用螺旋线圈、自动攻丝和膨胀嵌件。
- 立锻/模锻　无法应用。

可焊接性能　不能焊接。

图 5-5 给出了邻苯二甲酸二烯丙酯的 SPI 标准成型公差。

环氧树脂（EP）　热固性塑料

材　料　性　能	矿物填充双酚	玻璃纤维填充 SMC	碳填充 SMC
热变形温度(264psi)/℉	225～500	250～500	250～500
最高使用温度(无负载)/℉	300～500	300～500	300～500
拉伸强度/psi	4000～10800	20000～35000	40000～50000
弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	1400～2000	2000～3000	5000
成型收缩率/(in/in)	0.002～0.010	0.001	0.002
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	11～33	7	2

其他性能

突出的力学和电学强度以及黏结性，非常低的出模收缩率，在恶劣环境下突出的尺寸稳定性，可以制得很薄的 SMC [1.5mm(0.060in)]。

应用

环氧树脂主要用于胶黏剂、模具以及涂料。产品应用包括点火线圈、高压绝缘体、套管、开关以及半导体。还可以用于浇铸、制陶。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　一般使用螺纹切削螺钉。不能使用压入式螺纹成型螺钉。不能使用超声波法。
- 嵌件　推荐采用压入式加上胶黏增强或模塑嵌件。还可以使用螺旋线圈、自动攻丝和膨胀嵌件。
- 立锻/模锻　无法应用。

可焊接性能　不能焊接。

图 5-6 给出了环氧树脂的 SPI 标准成型公差。

三聚氰胺-甲醛树脂（MF）　热固性塑料

材　料　性　能	纤维素填充	玻璃纤维填充
热变形温度(264psi)/℉	350～390	375～400
最高使用温度(无负载)/℉	250	300～400
拉伸强度/psi	5000～13000	5000～10500
弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	1100	
成型收缩率/(in/in)	0.005～0.015	0.001～0.006
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	22～25	8.3～15.6

其他性能

良好的电性能、高的扭矩值和高的表面硬度以及耐热性能。在热固性塑料中可染色性能最好。加入填料可以提高硬度和强度。

应用

餐具、按钮、马桶坐圈、旋钮、扶手、烟灰缸、食品用具、碗、电器开关以及军工领域。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　低的传动扭矩（使用螺纹切削螺钉时）。高的拉伸强度，无松弛，但在孔的边沿易发生开裂。推荐 BT 型螺纹切削螺钉。特殊设计的螺纹滚压螺钉可作辅助使用。
- 嵌件　推荐采用压入式加上胶黏增强。也可以采用模塑嵌件，因为 MF 的出模收缩率很低。还可以使用螺旋线圈、自动攻丝和膨胀嵌件。不能使用超声波或热嵌入。
- 溶剂　无法应用。
- 立锻/模锻　无法应用。

可焊接性能　无法焊接。

图 5-7 给出了三聚氰胺脲醛树脂的 SPI 标准成型公差。

尼龙　见聚酰胺。

酚醛树脂（PF）　热固性塑料

材　料　性　能	木屑填充	玻璃纤维填充
热变形温度(264psi)/℉	300～370	300～600
最高使用温度(无负载)/℉	300～350	350～550
拉伸强度/psi	5000～9000	7000～18000
弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	1000～1200	1150～3300
成型收缩率/(in/in)	0.004～0.009	0.001～0.004
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	16.7～25	4.1～19

其他性能

酚醛树脂是一种廉价的塑料，但综合力学性能非常优异，耐高温，耐刮擦，良好的尺寸稳定性、电性能和耐热性能。在无填料填充的情况下，强度低且脆，不易染色。

应用

电器、滑轮、整流器、泵、隔板以及汽车点火元件。

装配方法

• 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。

• 紧固件　低的传动扭矩（使用螺纹切削螺钉时）。高的拉伸强度，无松弛，但在孔的边沿易发生开裂。推荐 BT 型螺纹切削螺钉。特殊设计的螺纹滚压螺钉可作辅助使用。不适宜用压入式紧固件。不能用超声波法。

• 嵌件　可以采用模塑嵌入，因为 PF 的出模收缩率很低。推荐采用压入式加上胶黏增强，以用于轻载应用。还可以使用自攻丝嵌件和螺旋线圈膨胀嵌件。不能使用超声波、加热或热空气嵌件。

• 立锻/模锻　无法应用。

可焊接性能　不能焊接。

图 5-8 给出了酚醛树脂的 SPI 标准成型公差。

聚酰胺（尼龙，PA）　结晶型热塑性塑料

材　料　性　能	尼龙 6	尼龙 66
热变形温度(66psi)/℉	300～375	360～474
(264psi)/℉	140～155	150～220
最高使用温度(无负载)/℉	180～250	180～300
拉伸强度/psi	6000～24000	9000～12000
弹性模量(73℉,50%RH)/$\times 10^3$psi	140	185
成型收缩率/(in/in)	0.003～0.015	0.007～0.018
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	44～46	44

注：其他类型的尼龙随着化学结构的不同，性能各异。

其他性能

一般来说，尼龙具有高硬度、耐磨损性、低摩擦系数、良好的电绝缘强度和冲击强度，以及优异的耐化学性能。吸湿性极强，性能随着水分含量的增加而显著下降。尼龙在高温下的黏度很低，可成型极薄的机械零件。

应用

齿轮、轴承以及其他耐磨零件。在汽车行业的应用包括排气净化器、传动箱外壳、车内照明灯座、汽车挡泥板伸出部分、车头罩通风器、汽车外部部件以及罩内机械元件。电应用包括插头、插座、计算机配件以及线圈。其他应用还有弹簧、帷幕金属、刷毛、止推轴承（mallet heats）、自行车车轮以及梳子和刷柄。

装配方法

• 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。

• 紧固件　随着水分含量的增加，扭矩值和拉伸强度将会降低。材料松弛和耐应力开裂能力良好。特殊设计的螺纹旋转和压入成型螺纹螺钉都非常优异，但在玻璃纤维增强的情况下，压入紧固必须采用超声波法安装。材料生产商也推荐使用A、B或AB级螺纹成型螺钉。能成型可拆去螺纹。

• 嵌件　超声波嵌件良好，且一般使用此法。热装法也非常优异，但大多数情况下较缓慢。还可以使用压入、自动攻丝和螺旋线圈嵌件。也可以使用模压嵌件，但必须注意防止由于尼龙的高收缩率带来的应力。装配必须在成型后迅速完成以防止材料吸收水分。否则，零件必须用干燥剂保持干燥或在装配前再次干燥。

• 压配　优异。

• 卡扣配合　优异。由于用于卡扣配合的零件在刚成型时很脆，这种情况下就需要进行重吸湿。

• 溶剂　含水酚、含氯化钙的乙醇溶液、蚁酸。作为产品装配方法，溶剂焊接不推荐使用。

• 立锻/模锻　加热，良好；热空气/冷锻，适用；超声波，适用到良好。

可焊接性

• 热口模/熔接　适用到良好；尼龙6更适用于无接触焊接；焊接强度为材料的90%。

• 热空气　无法令人满意。

• 感应/电磁　良好甚至优异。

• 旋转焊接　尼龙66，良好；尼龙6，优异。

• 超声波焊接　附近区域，良好，可用剪切接头；远端，适用到良好。点焊，适用到良好。

• 振动焊接　良好甚至优异；焊接强度为材料的70%。某些情况下还可与聚苯醚焊接。

图5-9给出了尼龙的SPI标准成型公差。

聚酰亚胺（PAI）　无定形热塑性塑料

热变形温度(264psi)/℉	532	弹性模量(73℉)/$\times10^3$psi	730
最高使用温度(无负载)/℉	450～500	成型收缩率/(in/in)	0.006～0.0085
拉伸强度/psi	22000	线性热膨胀系数/[$\times10^{-6}$in/(in·℉)]	17

其他性能

聚酰亚胺的使用温度高，线性热膨胀系数则很低。它在高温下仍能保持其强度和冲击强度，且摩擦系数低。PAI有吸湿性，但耐化学性能良好。

应用

几乎全部应用于航空领域，也可以用在汽车罩和传动领域。

装配方法

• 粘接　见第7章“胶黏剂和溶剂连接”。

• 紧固件　可以使用螺纹切削、自攻丝螺钉，但由于材料很硬，安装较困难。一般开自动抽头孔。

• 嵌件　一般使用超声波嵌件。其他预成型嵌件也可。模塑嵌件也被推荐使用。嵌件应先预热到成型温度。

• 压配　良好的压力配合得益于其优异的抗蠕变性能。

• 卡扣配合　不能脱去倒陷。除了石墨纤维增强级的 PAI 以外，无倒陷的卡扣配合也可以应用。

可焊接性

• 感应/电磁　良好。

• 旋转焊接　适用到良好。

• 超声波焊接　附近区域，良好；远端，适用。

• 振动焊接　良好。

聚芳砜（PASU）　无定形热塑性塑料

热变形温度(264psi)/℉	525	弹性模量(73℉)/×10³psi	330～400
最高使用温度(无负载)/℉	500	成型收缩率 (in/in)	0.007～0.008
拉伸强度/psi	13000	线性热膨胀系数/[×10 ⁻⁶in/(in·℉)]	17～27

其他性能

聚芳砜具有长期使用稳定性，耐蠕变，耐应力开裂，电性能良好，可以承受焊接热。

应用

电器元件和印刷电路板。极端使用环境应用。

装配方法

• 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。

• 紧固件　可以使用螺纹切削、自攻丝螺钉。

• 卡扣配合　优异。

可焊接性

• 热口模/熔接　适用。

• 旋转焊接　良好。

• 超声波焊接　附近区域，适用；远端，适用。

聚碳酸酯（PC）　无定形热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	273～287	弹性模量(73℉)/×10³psi	330～340
(264psi)/℉	265～280	成型收缩率/(in/in)	0.005～0.007
最高使用温度(无负载)/℉	250	线性热膨胀系数/[×10 ⁻⁶in/(in·℉)]	38
拉伸强度/psi	9100～10500		

其他性能

坚硬、透明、有韧性，聚碳酸酯有优异的户外尺寸稳定性和受载荷下的低蠕

变。PC 是非常优异的工程塑料，但易受润滑油和其他油类的侵蚀。

应用

汽车行业应用包括汽车尾灯和侧灯、照明灯设备、仪表板、装饰条、车身外部件。它还可以用于交通灯座、光学镜片、玻璃窗和信号镜。食品工业应用包括可多次使用牛奶瓶和微波烤箱器皿、带柄啤酒杯、冰淇淋碟、食物储存器、微波炉用具和冰凉饮料瓶。其他应用如静脉药物输送、血液处理设备、用具和工具箱，以及电话、电视、小船和传送元件。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　优异的扭矩和拉伸强度值。材料松弛低，增强聚碳酸酯则更低。一般使用螺纹切削螺钉。特殊的螺纹滚压螺钉可以用在成型应力不超过 1200psi 的情况（因为螺纹滚压螺钉将增加 300psi）。否则将会发生应力开裂。一般不使用压入成型螺纹螺钉（除了使用超声波安装）。但以上情况对结构泡沫 PC 不适用。可以用铜或铝制铆钉；但要使用垫圈或带肩铆钉并且防止过压缩。避免使用 V 形螺纹以避免产生敏感缺口。
- 嵌件　超声波嵌件良好，且一般使用此法，但零件必须是干燥的。模压嵌件可适用于某些场合。热装法良好甚至优异，但比较缓慢。还可以使用自动攻丝和螺旋线圈嵌件。一般不使用压入嵌件。树脂生产商一般不会推荐未填充的 PC 使用模塑嵌件。大尺寸元件必须预加热到 177～204℃（350～400℉）。为了避免使用模塑嵌件，则需要采用热循环技术。凸台帽一般用于轻载。
- 压力配合　优异。
- 卡扣配合　良好甚至优异。
- 溶剂　二氯乙烯、氯甲烷、乙酸乙酯、冰醋酸以及甲基溶纤剂。焊接强度可达 60%。
- 立锻/模锻　加热，良好；热空气/冷立锻，优异；超声波，良好。

可焊接性

- 热模/熔融　适用到良好；焊接强度可达材料的 90%；在某些情况下可以与 ABS、丙烯酸以及聚砜焊接。
- 热空气　适用到良好；焊接强度可达材料的 50%。
- 感应/电磁　良好甚至优异；在大多数情况下可以与 ABS、丙烯酸、PS、聚砜以及 SAN 焊接。
- 旋转焊接　良好甚至优异。
- 超声波焊接　近端，良好甚至优异；远端，适用到良好。点焊，良好。也可以与丙烯酸、聚苯醚、PC 以及 PVC 在某些情况下焊接。
- 振动焊接　良好；焊接强度为材料的 50%。可与某些型号的 ABS 和丙烯酸焊接。

图 5-10 给出了 PC 的 SPI 标准成型公差。

聚二环戊烯（PDCPD） 热固性塑料

热变形温度(264psi)/℉	248	成型收缩率/(in/in)	0.009
拉伸强度/psi	6700	线性热膨胀系数/[×10⁻⁶in/(in·℉)]	49
弹性模量(73℉)/×10³psi	281		

其他性能

聚双环戊二烯同时具有高的硬度和冲击强度以及优异的表面特性。这种由液态注塑的树脂在低压模具中，局部外表面积可高达 11m²（120ft²），厚度也有所不同。聚双环戊二烯与涂料以及结构胶黏剂的黏结性能优异，产品还可以镀铬。有阻燃级产品。

应用

通常用于载重卡车排气管、车顶整流罩、保险杠、挡泥板、面板和发动机底座，以及电子游戏机、医学设备、电脑、印刷机和电子元器件的外壳。再生料可以用于摩托雪橇的排气管和其他元件，高尔夫球车的车身部件以及私人船舶的外壳。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　一般使用成型螺纹自攻螺钉。
- 嵌件　一般使用模塑嵌件。带胶黏剂的自攻嵌件和压力配合嵌件可以用于低载荷情况下。也可用膨胀嵌件。

聚酯　结晶性热塑性塑料（PBT：聚对苯二甲酸丁二醇酯；PET：聚对苯二甲酸乙二醇酯）

材　料　性　能	PBT	PET
热变形温度(66psi)/℉	310	240
(264psi)/℉	130	185
最高使用温度(无负载)/℉	280	175
拉伸强度/psi	8200～8700	7000～10500
弹性模量(73℉)/×10³psi	330～400	350～450
成型收缩率/(in/in)	0.009～0.022	0.002～0.30
线性热膨胀系数/[×10⁻⁶in/(in·℉)]	33～53	36

其他性能

热塑性聚酯有良好的拉伸强度、韧性、冲击性能、耐摩擦性能以及化学和电性能。

应用

- PBT　通常电路接头、线圈、电灯插座以及其他电子元件。在汽车工业中，可做结构件、发动机舱内部件。也可用作工业传送件和结构件。
- PET　这种聚合物可替换在发动机罩和设备机座上使用的金属。还可以用于开关、继电器、传感器等电子领域。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　材料松弛少。采用特殊设计的螺纹滚压螺钉，拉伸强度为 1000psi，失效/驱动比为（3∶1）～（5∶1）。由于其缺口敏感性，在设计凸台时必须特别注意。压入式模制螺纹螺钉可配套超声波或单独使用。标准的螺纹切削螺钉可以用于聚酯材料。除了结构泡沫塑料以外，攻制螺纹螺钉也可（采用硬质合金以及 30%玻璃纤维增强的聚酯）。
- 嵌件　超声波嵌件，良好，是比较常用的方法。热装配，良好至优异；但在大多数情况下较缓慢；压入、自攻和螺旋线圈嵌件都可以采用。特殊级聚酯可采用模塑嵌件。
- 压力配合　良好至优异。
- 卡扣配合　PET，良好至优异；PBT，良好至优异。特殊级可采用卡扣配合。
- 立锻/模锻　加热，良好，热锻温度为 218～288℃（425～550°F）；热空气/冷锻，适用；超声波，适用至良好。

可焊接性

- 热口模/熔接　适用。
- 热空气　无法令人满意。
- 感应/电磁　良好至优异。
- 摩擦焊　适用至良好。
- 超声波焊　近端，适用至良好（推荐剪切接头）；远端，适用；点焊，适用。
- 振动焊　PET 和 PBT 可与自身焊接。

图 5-11 给出了 TPPE 的模塑公差的 SPI 标准。

不饱和聚酯（UP）　热固性塑料①

材　料　性　能	SMC	BMC	TMC
热变形温度(264psi)/°F	400～500	320～400	
最高使用温度(无负载)/°F	300～350	300～350	
拉伸强度/psi	7000～25000	3000～6000	7000～10500
弹性模量(73°F)/$\times 10^3$psi	1000～2000	1400	1550
成型收缩率/(in/in)	0.0005～0.004	0.0003～0.004	0.0005～0.0035
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·°F)]	7.5～14.0	11	

① 热固性聚酯通常按其玻璃纤维增强方式的不同分为 SMC、BMC、TMC。

其他性能

热固性聚酯有良好的尺寸稳定性、电学性能、力学性能以及染色性能，且易于处理、固化迅速。经改性后可具有多种不同性能。未加填料前，该聚合物很脆，且形成硬而韧的表面。

应用

这种材料是增强塑料工业中的主导材料，几乎所有的玻璃纤维含量都超过12%，广泛应用于船只、货车发动机罩、空气导流板以及其他的车身部件。也可以用于制造浴具和化学储料罐等。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　良好；可以采用 BT 型螺纹切削螺钉，但产生低的扭矩值；特殊设计的螺纹滚压螺钉可适当使用（可咨询生产商）。几乎无松弛，拉伸强度可挣脱螺钉。导向孔要避免有裂纹。SMC Automotive Alliance 推荐使用“Hi-Lo”螺纹螺钉。可以使用铆钉。也可以使用 U 形和 J 形螺母。自攻和螺柱板也常用。不推荐使用压入式螺纹成型螺钉。不能使用超声波安装。
- 嵌件　可采用带胶黏剂的压入型嵌件（配合胶黏剂增强）和膨胀嵌件。模塑嵌件也可以，但需要大直径的凸台。还可以采用螺旋线圈和自攻嵌件。不能采用超声波嵌件和热装配嵌件。
- 立锻/模锻　无法应用。

可焊接性　不能焊接。

聚醚醚酮（PEEK）　结晶型热塑性塑料

热变形温度(264psi)/℉	320	线性热膨胀系数(<302℉)/[×10⁻⁶ in/(in·℉)]	22～26
最高使用温度(无负载)/℉	480		
拉伸强度/psi	10200～15000	(>302℉)/[×10⁻⁶ in/(in·℉)]	60
弹性模量(73℉)/×10³psi	560		
成型收缩率/(in/in)	0.0011		

其他性能

聚醚醚酮有很高的强度和耐化学性能，可以经蒸汽消毒，而且能适应高温以及易燃的恶劣环境。

应用

汽车变速箱、悬架、制动以及发动机元件；化学泵、阀以及流量计部件。还可以用于电子、航空和商业设备领域。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　一般使用螺纹切削自攻螺钉。
- 嵌件　加热，优异；超声波，优异。
- 立锻/模锻　加热，良好。超声波，良好。

可焊接性

- 热口模/熔接　适用。
- 感应/电磁　不能使用。
- 旋转焊接　良好。

- 超声波焊接　近端，优异；远端，良好。点焊，良好。
- 振动焊接：良好。

聚醚酰胺（PEI）　无定形热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	405～410	弹性模量(73℉)/×10³psi	480
最高使用温度(无负载)/℉	338	成型收缩率/(in·in)	0.005～0.007
拉伸强度/psi	14000	线性热膨胀系数/[×10⁻⁶in/(in·℉)]	26～31

其他性能

PEI 有优异的拉伸强度、耐热性能和良好的电性能、机加工性能，以及防紫外线和辐射性能。PEI 还具有极低的吸水性和出众的韧性，直至－4℃（－40℉）仍具有高的拉伸强度。

应用

汽车部件、航空元件以及能进行蒸汽消毒的医学设备。耐热、耐腐蚀的流体和空气处理设备部件。微波炉用具和共挤出包装。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　使用特殊设计的螺纹滚压螺钉，紧固件具有低至中等的拉伸扭矩值，高的破坏扭矩值，以及优异的拉伸强度和抗振性能。材料松弛低。导向孔扩孔以抵消材料的缺口敏感性。压入式螺纹紧固件只能采用超声波嵌入。还可用模塑螺钉（平头 V 形螺纹）和攻制螺纹螺钉。
- 嵌件　超声波嵌件是最优异也是最常采用的方法。经过简单设计的滚花模塑嵌件在有些场合表现良好，可以采用。热嵌件，优异，但在大多数情况下都较慢。
- 卡扣配合　优异。
- 溶剂　优异（配合使用夹紧），用氯甲烷配以 1%～5%的基体树脂。
- 立锻/模锻　加热，良好。超声波，良好。

焊接性能

- 热口模/熔接　良好。
- 感应/电磁　良好。
- 旋转焊接　良好。
- 超声波焊接　近端，优异；远端，良好。点焊，良好。
- 振动焊接　可与自身焊接。

图 5-12 给出了 PEI 的模塑公差的 SPI 标准。

聚醚砜（PES）　无定形热塑性塑料

热变形温度(264psi)/℉	397	弹性模量(73℉)/×10³psi	348～380
最高使用温度(无负载)/℉	356	成型收缩率/(in/in)	0.006～0.007
拉伸强度/psi	9800～13800	线性热膨胀系数/[×10⁻⁶in/(in·℉)]	31

其他性能

聚醚砜具有优异的拉伸强度、电性能以及耐化学性能。PES 可以进行电镀，

但有少量吸湿。用于户外产品时必须着色。

应用

PES 是航天、汽车、化学、电子领域的优质材料。还可以用于制造泵、阀以及医学用品。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　极高的破坏扭矩和拉伸强度。极低的材料松弛以及优异的弹性回复能力。这种材料有韧性，耐应力开裂，且可通过吸湿加以改善。采用特殊设计的螺纹滚压螺钉可以达到极佳的效果，但必须对孔的大小进行试验。压入式紧固件要采用超声波安装。
- 嵌件　一般使用超声波嵌件，热装配则需要很高的温度。也可以采用螺纹切削、压入式以及螺旋线圈嵌件。嵌件还可以进行模塑。
- 溶剂　使用二氯甲烷可以得到良好连接。
- 立锻/模锻　加热，良好。超声波，一般。

可焊接性

- 热口模/熔接　适用。
- 热空气　适用于大型零部件。
- 感应/电磁　良好。
- 旋转焊接　良好。
- 超声波焊接　近端，适用至良好（使用剪切接头）；远端，适用。点焊，适用。

聚乙烯（PE）　结晶热塑性塑料（交联聚乙烯为热固性塑料）

材　料　性　能	低密度聚乙烯	高密度聚乙烯
热变形温度(66psi)/℉	104～120	140～196
(264psi)/℉	90～105	110～130
最高使用温度(无负载)/℉	180～212	175～250
拉伸强度/psi	1200～4550	3200～4500
弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	35～48	145～225
成型收缩率/(in/in)	0.015～0.050	0.015～0.040
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	56～122	32.8～61.1

其他性能

聚乙烯，作为聚烯烃家族的一员，价格低廉，性能随着密度的增加而提高。低密度聚乙烯（LDPE）柔韧，而高密度聚乙烯则强度高、硬度大，而且抗蠕变、耐热。PE 有良好的力学和电学性能，良好的耐化学性能以及韧性，可以用绝大多数的工艺进行加工。

应用

可用于制造玩具、盖、罩、产品包装、滚塑成型的罐类容器以及医用设备。其

他应用还包括管材、储气罐、大型容器、学校的座位、行李箱、户外活动器械、桶、容器以及家用器具。PE 是滚塑行业的支柱材料。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　LDPE 的拉伸强度、驱动及破坏扭矩都很低，因而只适用于低载荷下的应用。耐应力开裂性能优异，但材料的松弛度将达到 50%。一般使用标准的螺纹成型螺钉，而经特殊设计的螺纹滚压螺钉对 HDPE 特别有效。压入式螺纹成型螺钉也可以用于低载荷应用。
- 嵌件　超声波嵌件适用于 HDPE。热装配效果优异。也可以采用压入、自攻嵌件。所有类型的嵌件对未增强的 PE 的夹持力都很低。在某些情况下还可以采用模塑嵌件。
- 卡扣配合　优异。
- 溶剂　不适合。
- 立锻/模锻　热，优异。热空气/冷锻，良好。超声波，适用。

焊接性能

- 热口模/熔接　良好至优异；焊接强度达到材料本身的强度。
- 热气体焊接　良好至优异（使用惰性气体）；焊接强度达到材料本身强度的 80%以上。
- 感应/电磁　良好至优异；在某些情况下，也可以与聚丙烯焊接。
- 旋转焊接　良好。
- 超声波焊接　近端，差至良好（频率为 15kHz）；远端，差至良好（频率为 15kHz）。点焊，良好。
- 振动焊接　适用至良好；焊接强度达到材料本身强度的 90%以上。在某些情况下，也可以与聚丙烯焊接。

图 5-13 和图 5-14 分别列出了 LDPE 和 HDPE 的模塑公差的 SPI 标准。

聚酰亚胺（PI）　无定形热塑性塑料

热变形温度(264psi)/℉	460～680	弹性模量(73℉)/×10³psi	360～500
最高使用温度(无负载)/℉	500	成型收缩率/(in/in)	0.008
拉伸强度/psi	10500～17100	线性热膨胀系数/[×10⁻⁶in/(in·℉)]	25～31

其他性能

聚酰亚胺具有优异的耐热性能、冲击强度和耐磨性能优异的耐电性能和力学性能。PI 还具有自润滑性能，但耐候性能较差。

应用

电子、宇航、核反应、航空、商业设备以及军用等领域的高性能零部件。也可用于工业用液压设备、喷气式发动机、汽车、再生装置、机械、泵阀以及涡轮机。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　初始夹紧载荷很高，拉伸强度极高，驱动扭矩中等，破坏扭矩高。导向孔必须扩孔以抵消其缺口敏感性。抗蠕变性能良好。特殊设计的螺纹滚压螺钉比较有效；而压入式螺纹成型螺钉仅限于低载荷应用。必须小心使用内螺纹孔和螺纹切削螺钉。这种材料可以用来制造螺钉。
- 嵌件　一般使用带有胶黏剂的压入式嵌件或膨胀嵌件。自攻嵌件必须谨慎使用。不能使用超声波嵌件和热装配。嵌件可进行模塑成型。

可焊接性

- 热口模/熔接　适用。
- 感应/电磁　良好。
- 旋转焊接　适用。
- 超声波焊接　适用。

聚甲基戊烯（PMP）　结晶热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	180～190	弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	70～190
(264psi)/℉	120～130	成型收缩率/(in/in)	0.016～0.021
最高使用温度(无负载)/℉	275	线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$ in/(in·℉)]	36
拉伸强度/psi	2300～2500		

其他性能

聚甲基戊烯具有高的透明度，良好的电性能以及耐化学性能，直到熔点前仍能保持其力学性能。

应用

用于制造实验室和医疗用具（如注射器、套管、凹形器皿、一次性刮匙等）、照明设备、透镜、食品机（冷冻至烹调类的）、液相水平仪和流量指示器。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 嵌件　热装配，优异；超声波，优异。
- 立锻/模锻　加热，优异；超声波，适用。

焊接性能

- 感应/电磁　良好。
- 超声波焊接　近端，适用至良好；远端，差至适用。点焊，良好。

聚苯醚（PPO）　无定形热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	230～279	弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	325～400
(264psi)/℉	212～265	成型收缩率/(in/in)	0.005～0.008
最高使用温度(无负载)/℉	175～220	线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$ in/(in·℉)]	18～43
拉伸强度/psi	6800～9600		

其他性能

聚苯醚具有高的尺寸稳定性、高韧性和耐化学性能；优异的电性能和低的吸湿

性能。PPO 是在受应力条件下抗蠕变性能最好的塑料之一。

应用

汽车仪表板、电源插座、格子窗、机械外壳等。也可用于热水泵、水下元件、淋浴器喷头、各类器械和电子、仪表外壳。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　优异的扭矩、拉伸强度以及材料松弛——特别是在增强的条件下。模内应力造成凸台问题。特殊设计的螺纹成型螺钉应用极好，特别是对于发泡零件；然而，玻璃纤维增强材料，对于某些螺钉会产生凸台裂纹。高应力的凸台更适用于不发泡材料的切削螺纹螺钉。树脂生产商推荐使用标准 ASA T 型（23 型）或 ASA BT 型（25 型）切削螺纹螺钉。凸台帽和压入式螺钉适用于轻载。铆钉也可用，但装配时产生高应力。铝铆钉和带肩铆钉更好。攻制的孔也能用。
- 铰链　两片整体式铰链，优异。
- 嵌件　一般使用超声波嵌件。热装配，优异；压入式嵌件、自攻式嵌件以及螺旋线圈嵌件皆可。模塑嵌件则适用于拔出强度极高的情况。
- 卡扣配合　优异。
- 溶剂　氯仿、1,2-二氯乙烯、氯甲烷、甲苯、四氯乙烯、二氯甲烷、甲乙酮、氯苯、三氯乙烯、二甲苯和四氢呋喃。
- 立锻/模锻　加热，优异。热气体焊接，良好。超声波，优异。

焊接性能

- 热口模/熔接　良好。
- 感应/电磁　良好至优异；某些情况下还可与聚苯乙烯进行焊接。
- 旋转焊接　良好至优异。
- 超声波焊接　近端，良好至优异（推荐使用能量控制器）；远端，差至良好（15kHz）。点焊，适用至优异。某些情况下可与丙烯酸、PC、PS、SAN 进行焊接。
- 振动焊　容易到中等（有剪切接头）。能与某些型号的 ABS、丙烯酸、尼龙进行焊接。

图 5-15 给出了 PPO 的 SPI 标准成型公差。

聚苯硫醚（PPS）　结晶热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	390	弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	550～600
(264psi)/℉	275	成型收缩率/(in/in)	0.006～0.014
最高使用温度(无负载)/℉	500	线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$ in/(in·℉)]	15～27
拉伸强度/psi	7000～12500		

其他性能

PPS 具有高的力学、冲击和热稳定性，热变形和介电性能以及良好的阻燃和化学性能。它可以在成型过程中通过交联而转变为热固性塑料。

应用

主要用于电子（插座、线圈胎型、线轴等）、机械（化工机械和泵类，包括潜水泵）和汽车（发动机罩）领域。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　高的驱动扭矩、破坏扭矩以及拉伸强度，极低的初始载荷松弛。缺口敏感；导向孔必须像热固性塑料一样进行扩孔以抵消其应力开裂倾向。一般采用特殊设计的螺纹滚压和螺纹切削螺钉（BF、BT 标准型）。导向孔的大小应依照《机械工具书》中酚醛热固性塑料的要求而定。螺纹可以模塑成型或攻制。PPS 可用半空心铆钉装配。压入式螺纹成型螺钉只用于超声波嵌件。
- 嵌件　一般使用超声波嵌件。热装配，优异；在使用胶黏剂增强的条件下，压入式嵌件、自攻式嵌件以及螺旋线圈嵌件皆可。模塑嵌件能提供极高的拔出强度，适用于除了要求反复热循环的场合。
- 压力配合　优异。
- 卡扣配合　良好。
- 溶剂　204℃以下无可用溶剂。不推荐使用。
- 立锻/模锻　加热，适用至优异。热气体/冷锻，良好。超声波，差至良好。

可焊接性

- 热口模/熔接　适用。
- 感应/电磁　良好。
- 旋转焊接　良好。
- 超声波焊　近端，良好；远端，适用至良好（推荐剪切接头）。点焊，适用至良好。
- 振动焊接　良好。

聚邻苯二甲酰胺（PPA）　结晶热塑性塑料①

热变形温度(264psi)/℉	248	弹性模量(73℉)/×10³psi	320～380
拉伸强度(干燥)/psi	9000～11000	成型收缩率/(in/in)	0.015～0.022
(50%RH)/psi	7500～9000		

① 某些为无定形塑料。

其他性能

PPA 基本上为结晶芳香尼龙，它综合了尼龙的高强超韧以及 PPS 的热变形特性。跟尼龙一样，PPA 具有吸水性。一般用玻璃纤维增强后使用，因而上面列的大部分性能值都有很大提高。

应用

PPA 可应用于汽车、电子、工业等领域。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。

• 紧固件　未填充级的 PPA 采用螺纹成型自攻螺钉；玻璃纤维增强的 PPA 则采用螺纹切削螺钉。为得到最佳的拔出扭矩，导向孔直径必须与螺纹的中径一致。螺钉可模塑成型。扭矩值和拉伸强度随 RH（相对湿度）的增加而下降。

• 嵌件　一般使用超声波嵌件，良好。热装配优异，但大多数情况下都较慢。也可使用压入式、自攻以及螺旋线圈嵌件。模塑嵌件也可使用，但必须注意材料的出模收缩率。装配必须在成型后立即进行，防止制件吸湿；或将部件与干燥剂共同放置；或在装配前再干燥。

• 压力配合　优异。

• 卡扣配合　优异；刚成型时，制件太脆，不宜进行卡扣配合（如果这样，需要再吸湿）。

• 溶剂　不推荐作为生产装配方法使用。

• 立锻/模锻　加热，良好。热气体/冷锻，适用。超声波，适用至良好。

焊接性能

• 热口模/熔接　良好；热板温度 330℃，夹紧压力 207kPa，焊接时间 40s，保压时间 20s 时，经试验可得到最佳焊接效果。焊接强度可与原材料强度相当。

• 感应/电磁　良好至优异。

• 旋转焊接　良好至优异，视应用而定。

• 超声波焊　近端，良好（推荐剪切接头）；远端，差至适用。点焊，适用至良好。

• 振动焊接　优异。焊接强度可达到原材料强度。焊接时间短于 0.6s，压力低于 2.20MPa（320psi）时可得到良好的焊接效果。

聚丙烯（PP）　结晶热塑性塑料

材料性能	均聚物	共聚物
相对密度	0.900～0.910	0.890～0.905
缺口冲击强度/(ft·lb/in)	0.4～1.0	1.0～20.0
热变形温度(66psi)/℉	200～250	185～220
(264psi)/℉	125～140	120～140
最高使用温度(无负载)/℉	225～230	190～250
拉伸强度/psi	4500～6000	4000～4500
弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	170～250	130～200
成型收缩率/(in/in)	0.010～0.025	0.010～0.025
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	45～55	38～53

其他性能

聚丙烯是一种非常廉价的聚合物材料，具有优异的耐应力开裂性能。它有良好的耐化学、耐油脂、耐热以及刮擦性能，可电镀，相对密度低，还有良好的冲击强度和韧性（与共聚物一样优异）。在 0℃以下的低温环境中，PP 开始变脆（特别是均聚物）。

应用

可用于制造盆、搅拌器、分配器、泵壳和过滤器，以及各种汽车元件（风扇罩、风扇叶片、各种管道、各类壳罩、蓄电池、车门面板、手套箱上的装饰、座椅骨架、散热片以及安全带卷收器壳）。还广泛应用于医药、箱包、玩具、家用器具领域。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　均聚 PP 与共聚 PP 有着相似的紧固特性。未填充的聚丙烯制件，驱动扭矩、破坏扭矩以及拉伸强度都很低。啮合尺寸一般较长。PP 的耐应力开裂性能优异，但材料松弛可以达到 50%。一般使用标准或者经过特殊设计的螺纹成型螺钉，且后者的拉伸强度较高。压入式螺纹成型螺钉也非常有效。模塑螺钉也可，一般为粗牙螺纹。超声波装配适用于个别特定场合。
- 铰链　PP 是使用活动铰链的主要材料之一。
- 嵌件　必须考虑未填充 PP 的低夹持力。热嵌件，优异；超声波嵌件，适用至良好，视应用而定；也可以采用压入式、自攻、螺旋线圈嵌件。因出模收缩率高，模塑嵌件不推荐使用；如需使用，则必须先对嵌件进行预热。
- 卡扣配合　优异。
- 溶剂　无。
- 立锻/模锻　加热，优异。热空气/冷锻，良好。超声波，优异。

可焊接性

- 热口模/熔接　良好至优异；焊接强度达到材料本身强度的 80%以上。
- 热气体　良好至优异；焊接强度达到材料本身强度的 80%以上。
- 感应/电磁　良好至优异；某些情况下也可以与聚丁烯、聚乙烯焊接。
- 旋转焊接　良好。
- 超声波焊接　近端，适用至差；远端，很差。点焊，良好至优异。
- 振动焊　良好；焊接强度达到相邻壁强度的 90%以上。也可以与某些型号的 PE 焊接。

图 5-16 列出了 PP 的 SPI 标准成型公差。

聚苯乙烯（PS）　无定形热塑性塑料

材　料　性　能	结晶(通用)PS	高抗冲 PS
热变形温度(66psi)/℉	155～204	165～200
(264psi)/℉	169～202	170～205
最高使用温度(无负载)/℉	150～170	140～175
拉伸强度/psi	5200～7500	1900～6200
弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	380～490	160～390
成型收缩率/(in/in)	0.004～0.007	0.004～0.007
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	28～46	25

其他性能

聚苯乙烯易于加工，价格低廉，刚性和尺寸稳定性良好；吸水率低，表面光洁

度高，透明性好，易着色。通用 PS 没有添加改性剂，因而很脆；可以加入丁二烯以改善其冲击性能。由于 PS 透明度高，无法抵抗紫外线辐射；置于环境中，PS 将褪色以至强度下降。可以通过加入颜料（分散性能量好的炭黑）加以改善。户外应用限于那些可替换的零件及断断续续暴露的零件。PS 有耐热级、抗紫外线级及阻燃级。

应用

• GP　家具（镜子以及画的框架）；家用器具（个人护理用品、花盆、玩具、刀具、瓶子、梳子，一次性产品如杯、盘、碟等）；电子产品（元件盒、卷盘以及外壳等）以及医疗应用（样品采集器、皮式培养器皿、试管等）。

• 抗冲级（阻燃）　用于制造电视机、烟雾探测器以及小型应用的外壳。

装配方法

• 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。

• 紧固件　驱动和破坏扭矩值位于中到高，可以允许较高的夹持力。未填充的材料，有轻微松弛；填充后几乎没有。凸台的支承力很强，凸台直径与导向孔直径比要很大，以防止凸台发生开裂。经特殊设计的螺纹滚压螺钉极为有效；压入式螺纹成型螺钉也可以达到令人满意的效果。力学紧固件则需使用抗冲级的 PS。紧固件可以使用超声波装配。

• 嵌件　热装配，优异。超声波嵌件对通用 PS 和高抗冲 PS 都适用。也可以使用压入式、自攻以及螺旋线圈嵌件。在某些情况下还可以使用模塑嵌件。

• 卡扣配合　结晶聚苯乙烯，差；高抗冲聚苯乙烯，适用。

• 溶剂　二氯乙烯、甲乙酮、氯甲烷、甲苯、环已酮、二噁烷、乙酸乙烯、冰醋酸、甲基溶纤剂、*N*-甲基吡咯烷酮、*O*-二氯苯、四氯乙烯和二甲苯。氯代烃的存在会使得 PS 表面破坏并在载荷作用下失效。PS 零件的装配中大量使用的溶剂。且连接强度可达到材料强度的 60%以上。

• 立锻/模锻　加热，良好。热气体/冷锻，优异。超声波，GP 级和高抗冲 PS 级都适用。

可焊接性

• 热口模/熔接　良好至优异，GP 的焊接强度可以达到材料强度的 80%；高抗冲 PS 可以达到材料强度的 90%。在某些场合下也可以与 PPO、SAN 焊接。

• 热气体　适用至良好；焊接强度可达到材料强度的 50%（存在气泡、周围吹气、变黏稠）。

• 感应/电磁　良好至优异；在某些情况下也可以与丙烯酸、PC、PPO 以及 SAN 焊接。

• 旋转焊接　良好。

• 超声波焊接　近端，优异（高抗冲 PS，良好至优异）；远端，通用聚苯乙烯，优异；高抗冲聚苯乙烯，适用至良好（推荐使用能量控制器）。点焊，GP 与

高抗冲 PS，适用。

• 振动焊接　良好；焊接强度达到材料强度的 60%。可以与某些牌号的 ABS 和 SAN 树脂焊接。

图 5-17 给出了 PS 的标准成型公差。

聚砜（PSU）　利用活化技术应用于加工工业，无定形热塑性塑料。

热变形温度(66psi)/℉	358	弹性模量(73℉)/$\times 10^3$psi	390
(264psi)/℉	345	成型收缩率/(in/in)	0.006～0.007
最高使用温度(无负载)/℉	300	线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·℉)]	31
拉伸强度/psi	10200		

其他性能

聚砜有良好的透明度、高的力学强度、耐热性能以及高的电学强度。特别是它能耐强酸强碱，热老化条件下仍能保持性能。在无表面涂层的情况下，耐候性能较差。

应用

用于高温条件下使用的汽车、办公设备、消费用电子元器件、仪表以及医用领域。

装配方法

• 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。

• 紧固件　高的拉伸强度、高的驱动以及破坏扭矩值。非常低的材料松弛；但 PSU 有缺口敏感性，如果孔和凸台的设计不合理，将会导致应力开裂。可以使用特殊设计的螺纹滚压螺钉。压入式螺纹成型螺钉只能用于超声波装配。也可以使用自攻螺钉。

• 嵌件　一般使用超声波嵌件。热装配，良好。还可以使用压入式、自攻、模塑以及螺旋线圈嵌件。

• 压力配合　优异（PSU 的蠕变低）。

• 溶剂　氯甲烷、二氯乙烯、甲乙酮、甲苯以及二甲苯。

• 立锻/模锻　加热，良好。超声波，适用。

焊接性能

• 热口模/熔接　适用至良好；在某些情况下可与 PC 焊接。

• 热气体　令人满意。

• 感应/电磁　良好至优异；在某些情况下可与 PC 焊接。

• 旋转焊接　良好。

• 超声波焊接　近端，良好；远端，适用至良好（推荐剪切接头）。点焊，适用至良好。

• 振动焊接　良好。

聚氨酯（TPU）　热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	115～275	拉伸强度/psi	4500～9000
(264psi)/℉	158～260	弹性模量(73℉)/×10^3psi	235～310
最高使用温度(无负载)/℉	190	成型收缩率/(in/in)	0.004～0.006

其他性能

热塑性聚氨酯是具有橡胶特性的塑料，有着优异的黏结性能。它综合了热固性橡胶的各种性能以及作为塑料的加工性能。

应用

作为传统热固性橡胶的替代品而广泛应用于仪表、建筑、食品以及保健等领域。也可以用于汽车领域（除了轮胎）。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 嵌件　模塑嵌件非常有效，在成型前必须先加热到 104～121℃（220～250℉）。

焊接性能

- 热口模/熔接　适用。
- 热气体　无法焊接。
- 感应/电磁　良好至优异。
- 旋转焊接　适用。
- 超声波焊接　近端，适用；远端，适用。
- 振动焊接　适用。

聚氨酯（PUR） 热固性塑料

热变形温度(264psi)/℉	190～200	成型收缩率/(in/in)	0.020
拉伸强度/psi	175～10000	线性热膨胀系数/[×10^{-6}in/(in·℉)]	55～110
弹性模量(73℉)/×10^3psi	10～100		

其他性能

热固性聚氨酯是一种具有橡胶特性的塑料，有很高的韧性、抗撕裂、耐磨、耐臭氧、耐氧化、耐真菌、不吸湿。PUR 可以作为软质/硬质泡沫或橡胶使用。

应用

- 软质泡沫　卧具、家具、地毯底垫以及运输工具。
- 硬质泡沫　建筑隔热、冷冻设备、包装材料、绝缘设备以及运输设备。
- 橡胶　用于制鞋以及运输设备反应挤出成型。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　某些情况下可以采用自攻螺纹成型螺钉。
- 嵌件　可以采用配以胶黏剂的模塑嵌件、压入式嵌件。嵌件不能使用超声波装配。
- 立锻/模锻　无法应用。

焊接性能　不能焊接。

聚氯乙烯（PVC）　无定形热塑性塑料

材　料　性　能	硬　质	柔　性
热变形温度(66psi)/°F	135～180	
(264psi)/°F	130～175	…
最高使用温度(无负载)/°F	150～175	140～175
拉伸强度/psi	5000～8000	1000～3500
断裂伸长率/%	40～80	200～400
弹性模量(73°F)/$\times 10^3$psi	10000～16000	…
成型收缩率/(in/in)	0.001～0.003	0.008～0.035
线性热膨胀系数/[$\times 10^{-6}$in/(in·°F)]	5～10	7～25

其他性能

聚氯乙烯的性能比较宽泛。

• 硬质　硬质 PVC 坚硬，有韧性，难以加工。它有优异的户外稳定性、电学性能以及耐潮湿和耐化学性能。硬质 PVC 具有自熄性。

• 柔性　硬质 PVC 加入改性剂以后开始变软。柔性 PVC 易于加工，但耐热性能、耐力学性能以及耐候性能下降。它综合了优异的透明性和柔性。

应用

• 硬质　用于各种管件、玩具、餐具、体育用品、鞋跟、信用卡以及电子方面的应用（仪表、电视机、电器盒）。

• 柔性　用于静脉医疗器械、地板砖和墙砖、雨衣、淋浴帘布、汽车仪表板、扶手和头垫等。

装配方法

• 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。

• 紧固件　柔性 PVC 的拉伸强度和驱动扭矩值很低，而且材料松弛率很高，因而不适于做紧固件。硬质 PVC 的扭矩值和拉伸强度中等，装配应力保持良好。良好的耐应力开裂性能；但大多数的硬质 PVC 仍必须谨慎设计。标准的螺纹成型螺钉、特殊设计的螺纹切削螺钉以及压入式螺纹成型螺钉效果非常优异，但螺纹切削螺钉会产生较少应力。紧固件可以采用超声波装配。

• 嵌件　超声波嵌件，优异（硬质 PVC）；不适用于软质 PVC。热装配，优异（硬质 PVC）。也可以使用压入式、自攻、模塑以及螺旋线圈嵌件，硬质 PVC 的效果最优。

• 卡扣配合　硬质 PVC，优异。

• 溶剂　丙酮、环己烷、甲乙酮、四氢呋喃、环己酮、甲基溶纤剂、O-二氯苯。PVC 零件装配中通常使用溶剂。且连接强度可达到材料强度的 70%以上。

• 立锻/模锻　加热，良好（硬质 PVC）。热气体/冷锻，良好（硬质 PVC）。超声波，适用至良好（硬质 PVC），不适用于柔性 PVC。

可焊接性

• 热口模/熔接　适用至优异；硬质 PVC 和软质 PVC 的焊接强度都可以达到

材料强度的90%。必须保持通风。

- 热气体　硬质PVC，良好；焊接强度可达到材料强度的70%。
- 感应/电磁　良好至优异。
- 旋转焊接　良好。
- 超声波焊接　近端，差至适用（硬质PVC）；远端，硬质PVC，差至适用（推荐使用能量控制器），软质PVC，无法应用。点焊，硬质PVC，适用；软质PVC，差。在某些情况下还可以与ABS焊接。
- 振动焊接　适用至良好；焊接强度达到材料强度的70%。

图5-18和图5-19分别列出了硬质PVC和柔性PVC的SPI标准成型公差。

苯乙烯-丙烯腈共聚物（SAN）　无定形热塑性塑料

热变形温度(66psi)/℉	220～224	弹性模量(73℉)/$\times10^3$psi	500～610
(264psi)/℉	203～220	成型收缩率/(in/in)	0.003～0.005
最高使用温度(无负载)/℉	140～200	线性热膨胀系数/[$\times10^{-6}$in/(in·℉)]	36～38
拉伸强度/psi	10000～11900		

其他性能

作为苯乙烯家族的成员之一，苯乙烯-丙烯腈共聚物比聚苯乙烯更强更硬，耐化学性能更好，且抗紫外线性能优于ABS。

应用

医疗器械以及一次性静脉注射器。打火机和混合机的外壳；高架的风扇叶片、水龙头把手以及转台外壳。

装配方法

- 粘接　见第7章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　高的驱动扭矩和高的拉伸强度以及低的应力松弛。导向孔必须扩孔以抵消来自螺钉入口处的裂纹倾向。特殊设计的螺纹滚压螺钉以及压入式螺纹成型螺钉效果优异。紧固件可以采用超声波装配。
- 嵌件　一般使用超声波嵌件。热装配，良好。还可以使用压入式、自攻、模塑以及螺旋线圈嵌件。
- 溶剂　丙酮、冰醋酸、N-甲基吡咯烷酮以及O-二氯苯。SAN零件的装配中经常使用溶剂。连接强度可以达到周围壁强度的50%。
- 立锻/模锻　加热，良好。热气体/冷锻，良好。超声波，适用。

焊接性能

- 热口模/熔接　良好；在某些条件下可以与ABS、丙烯酸以及PS焊接。
- 感应/电磁　良好至优异；在某些条件下可以与ABS、丙烯酸、PC以及PS焊接。
- 旋转焊接　良好。
- 超声波焊接　近端，优异；远端，优异。点焊，适用。在某些情况下也可以与ABS、丙烯酸、PPO以及PS焊接。
- 振动焊接　良好；可以与某些牌号的PS、ABS以及丙烯酸焊接。

图 5-20 给出了 SAN 的标准成型公差。

脲醛塑料（UF）　热固性塑料

材　料　性　能	填充 α-纤维素	材　料　性　能	填充 α-纤维素
热变形温度(264psi)/°F	260～290	弹性模量(73°F)/×10³psi	1300～1600
最高使用温度(无负载)/°F	170	成型收缩率/(in/in)	0.006～0.014
拉伸强度/psi	5500～13000	线性热膨胀系数/[×10⁻⁶in/(in·°F)]	12～20

其他性能

脲醛塑料坚硬、耐溶剂、抗切削、耐磨、可自熄。UF 具有优异的染色性能和承载下的尺寸稳定性。

应用

用于军用或工业用的电子设备。

装配方法

- 粘接　见第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”。
- 紧固件　使用螺纹切削螺钉时，驱动扭矩值低。拉伸强度高，基本无松弛，但孔的边缘易开裂。一般使用 BT 型标准螺纹切削螺钉。特殊设计的螺纹滚压螺钉有时也可以使用，可求助于螺钉生产商。
- 嵌件　一般使用胶黏剂增强的压入式嵌件。模塑嵌件的出模收缩率低，也可以使用。还可以使用螺旋线圈、膨胀以及自攻嵌件。超声波和加热装配不能使用。
- 模锻/模锻　不能使用。

焊接性能　不能焊接。

5.4.2　胶黏剂

读者可能已经注意到，5.4.1 节的列表中缺少了胶黏剂。由于可以采用不同的组合以及各种各样的胶黏剂，因而无法在 5.4.1 中一一列出各种材料特定的粘接方法。我们将在第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”中给出各种材料的表面处理方法以供参考。

5.4.3　SPI 标准的使用

SPI 标准，无论对于热塑性塑料或热固性塑料，都是一项基本的参数。

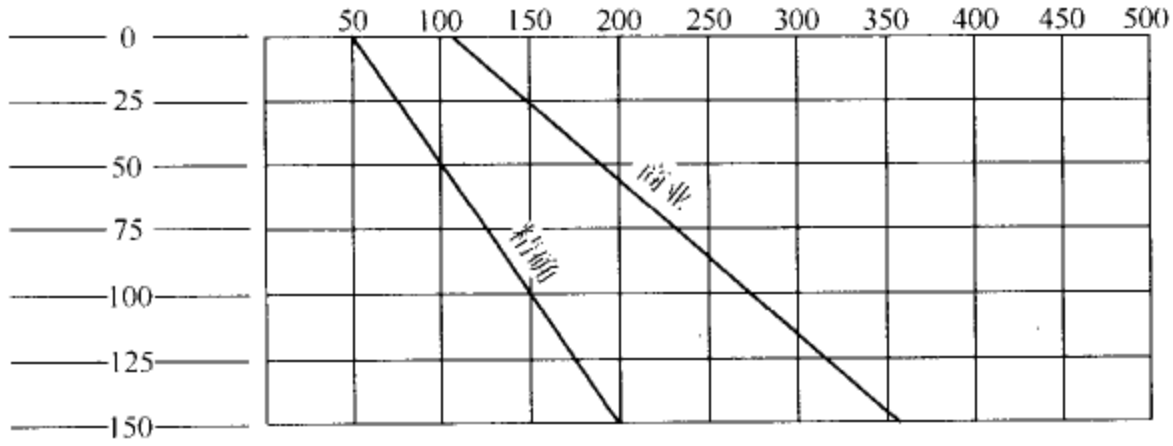
在 SPI 标准中，给出了两种不同的标准值。商业值（商业±）代表了可以为大多数经济水平所接受的常用的生产公差。精确值（精确±）代表了可以获得最小公差，但成本太高。我们可以在对应用领域和经济价值两者进行综合考虑的基础上选择合适的公差。

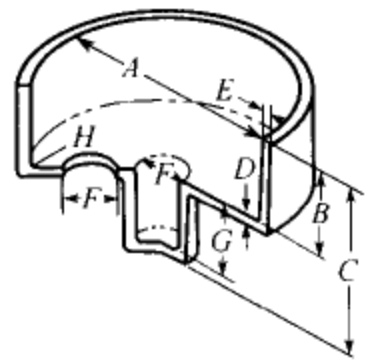
通过图表中给出的假定的模塑件及其横截面图，以及第一栏中的符号（例如 A 代表直径）和第二栏中给出的精确尺寸，读者可以在表顶的曲线图或是在第二栏后面的两栏中找到推荐使用的公差（需要注意的是，横截面图中的制件可以呈圆形、矩形或是其他形状，因而尺寸 A 和 B 可以为直径或长度）。

塑料成型标准或惯例	材料 聚甲醛(POM)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	±10⁻³mm 商业±	±10⁻³mm 精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm(mm)	0.105	0.050
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.105	0.050
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.105	0.050
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.055	0.025
	3.001～6.000	0.080	0.050
	6.001～12.000	0.105	0.050
	≥12.001	0.130	0.075
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.105	0.050
	6.001～12.000	0.130	0.075
	12.001～25.000	0.155	0.100
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.635	0.305
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.280	0.125
	75.001～150.000	0.460	0.200
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.255	0.150
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.25°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 3.175mm 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

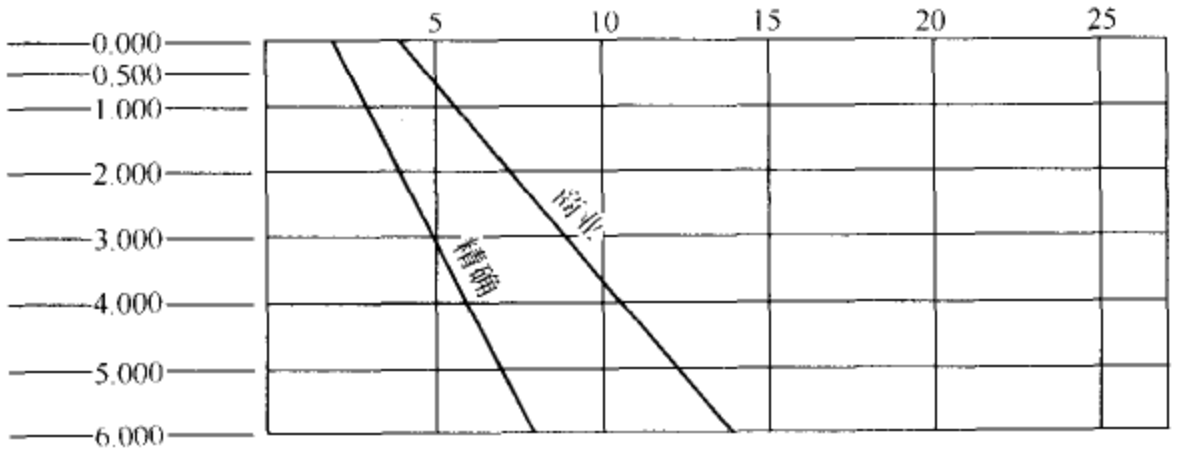
版权

©美国塑料工业协会
1801K Street，N.W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

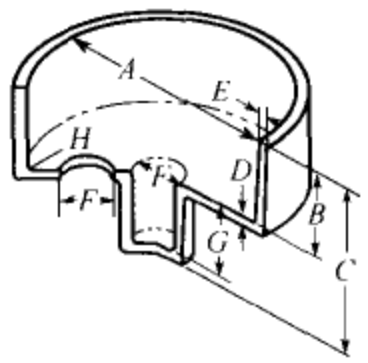
图 5-1 聚甲醛

塑料成型标准或惯例	材料 聚甲醛(P()M)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号	尺寸/in	商业±	精确±
	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.004	0.002
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.004	0.002
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.004	0.002
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.003	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.002
	≥0.501	0.005	0.003
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.004	0.002
	0.251～0.500	0.005	0.003
	0.501～1.000	0.006	0.004
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.025	0.013
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.011	0.005
	3.001～6.000	0.018	0.008
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.010	0.006
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.25°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N. W.，600K

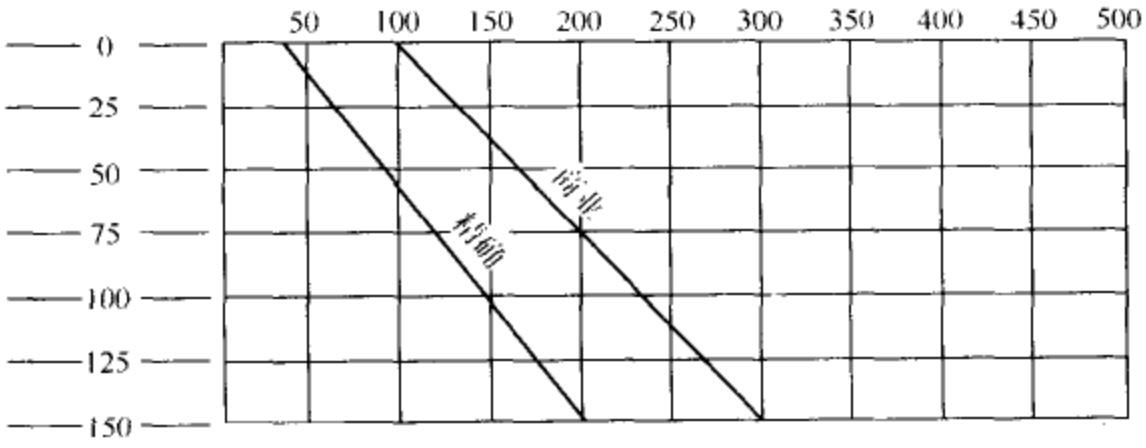
华盛顿特区，20006-1301

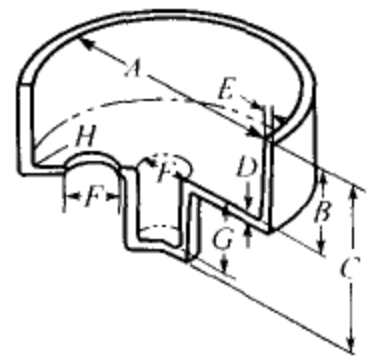
(P()M)

塑料成型标准或惯例	材料 丙烯酸

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm(mm)	0.105	0.050
D 底壁厚度	(见注释 9)	0.130	0.050
E 侧壁厚度	(见注释 2)	0.105	0.050
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.080	0.025
	3.000～6.000	0.080	0.050
	6.001～12.000	0.105	0.050
	≥12.001	0.130	0.075
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.105	0.050
	6.001～12.000	0.105	0.050
	12.001～25.000	0.155	0.075
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.635	0.300
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.330	0.200
	75.001～150.000	0.585	0.380
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.255	0.150
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.5°	0.75°
表面光洁度	(见注释 8)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 壁厚尽可能地均匀。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 为了使零件破坏的可能性达到最小，应使用大半径。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。
8. 零件表面光洁度取决于模具表面的光洁度。
9. 标准公称壁厚为 3.175mm。

1991 年修订

版权

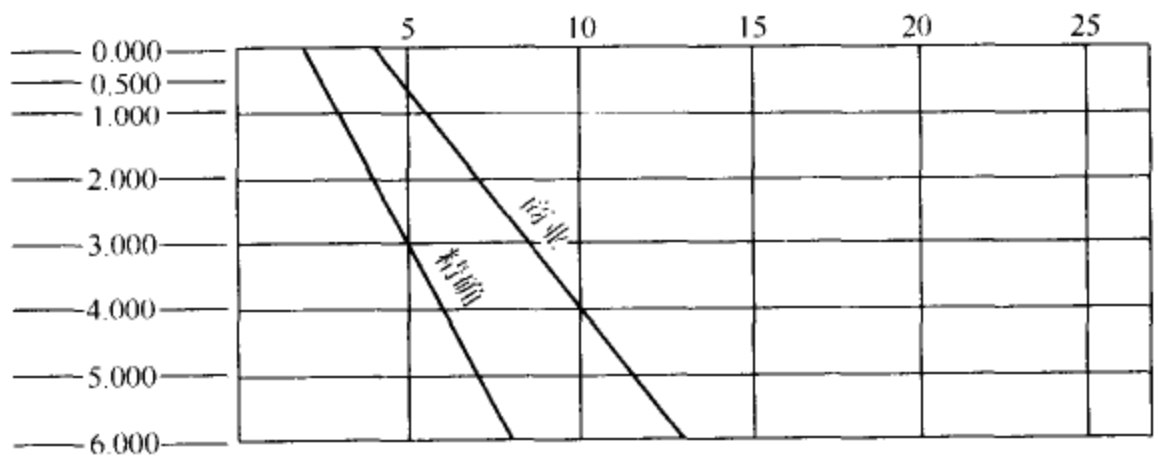
©美国塑料工业协会
1801K Street，N.W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

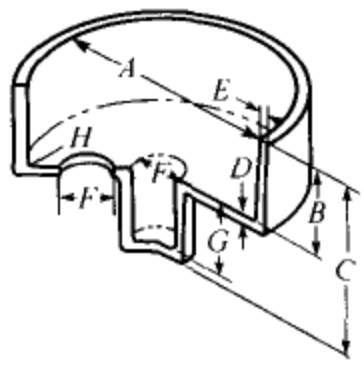
图 5-2 丙烯酸（聚甲基

塑料成型标准或惯例	材料 丙烯酸

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/in	商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.004	0.002
D 底壁厚度	(见注释 9)	0.005	0.002
E 侧壁厚度	(见注释 2)	0.004	0.002
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.003	0.001
	0.126～0.250	0.003	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.002
	≥0.501	0.005	0.003
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.004	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.002
	0.501～1.000	0.006	0.003
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.025	0.012
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.013	0.008
	3.001～6.000	0.023	0.015
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.010	0.006
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.5°	0.75°
表面光洁度	(见注释 8)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 壁厚尽可能地均匀。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 为了使零件破坏的可能性达到最小，应使用大半径。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。
8. 零件表面光洁度取决于模具表面的光洁度。
9. 标准公称壁厚为 3.175mm。

1991 年修订

版权

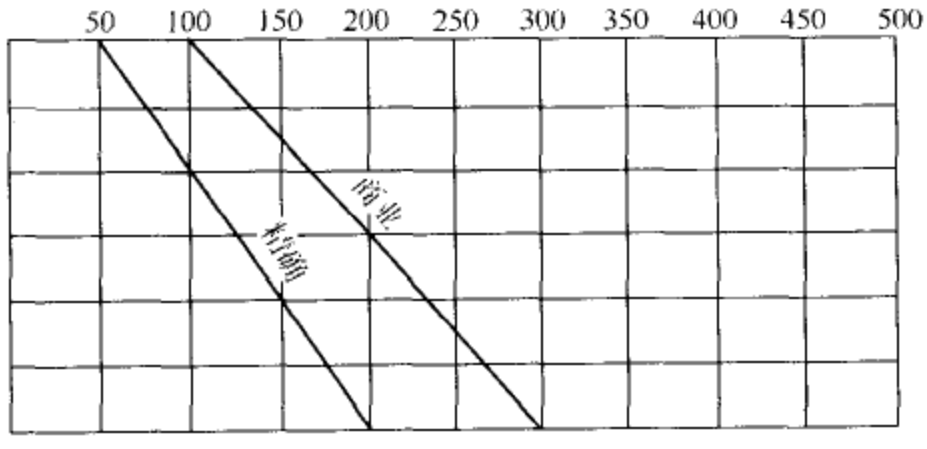
©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

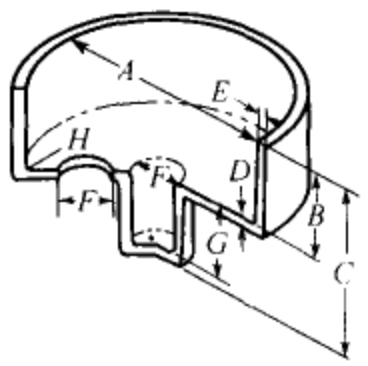
丙烯酸甲酯-PMMA)

塑料成型标准或惯例	材料 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)

注:以下所示的商业值,是日常生产所用的公差,符合大多数的商业标准;精确值的公差则更为准确,但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能,改变其尺寸稳定性。有关事宜,请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	商业± ±10⁻³mm	精确± ±10⁻³mm
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 150～300,每上升一格,增加 25mm(mm)	0.080	0.050
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.105	0.050
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.055	0.075
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.055	0.025
	3.001～6.000	0.055	0.025
	6.001～12.000	0.080	0.050
	≥12.001	0.105	0.050
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.080	0.050
	6.001～12.000	0.105	0.050
	12.001～25.000	0.130	0.075
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.690	0.430
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.385	0.250
	75.001～150.000	0.765	0.505
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.230	0.120
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	2.0°	1.0°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 3.175mm 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变;但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致;厚度不均的器壁应由厚到薄,逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值,防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性,并且始终是增加的。
7. 在加工前,用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

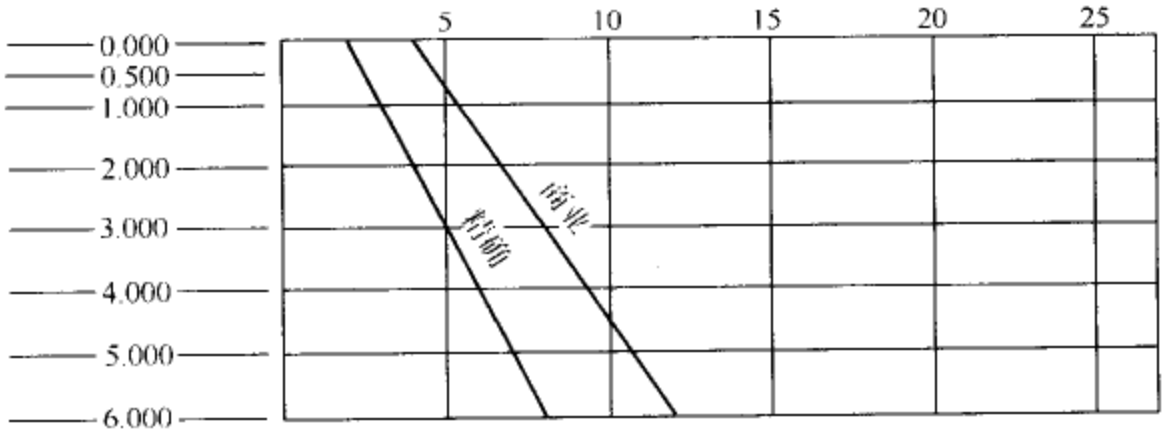
©美国塑料工业协会
1801K Street, N.W., 600K
华盛顿特区, 20006-1301

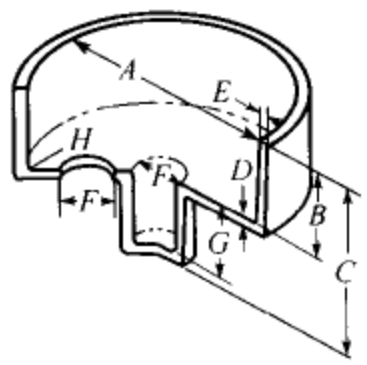
图 5-3 丙烯腈-丁二烯-苯

塑料成型标准或惯例	材料 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/in	±10⁻³in	
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	商业±	精确±
		0.003	0.002
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.004	0.002
E 侧壁厚度	(见注释 2)	0.003	0.002
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.002	0.001
	0.251～0.500	0.003	0.002
	≥0.501	0.004	0.002
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.003	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.002
	0.501～1.000	0.005	0.003
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.027	0.017
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.015	0.010
	3.001～6.000	0.030	0.020
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.009	0.005
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	2.0°	1.0°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

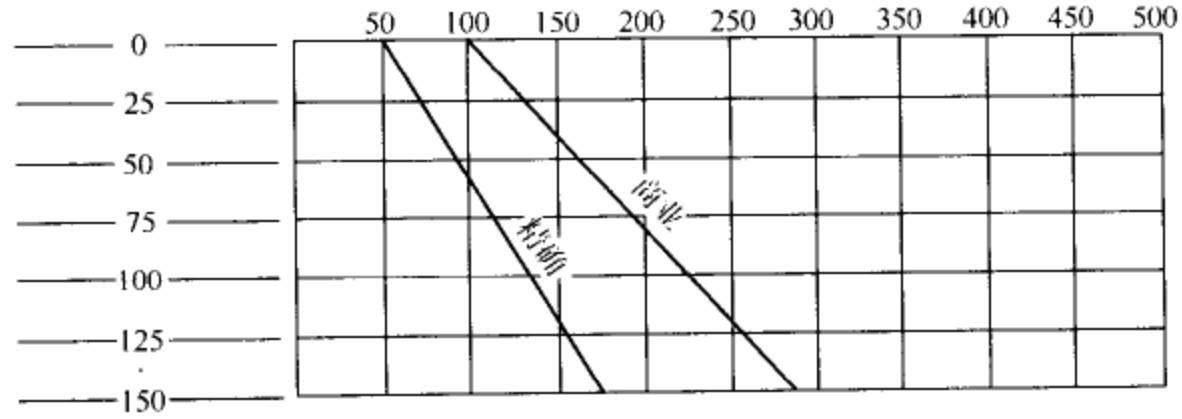
©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

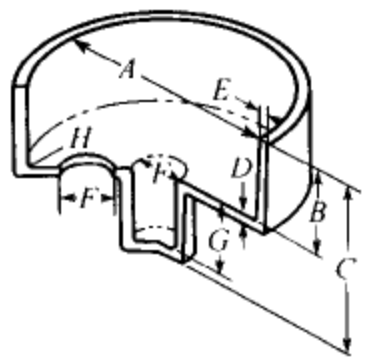
乙烯共聚物（ABS）

塑料成型标准或惯例	材料 纤维素

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	商业±	精确±
A 直径（见注释 1） B 深度（见注释 3） C 高度（见注释 3）	从 150～300，每上升一格，增加 25mm		
	(mm)	0.105	0.050
D 底壁厚度	（见注释 3）	0.105	0.050
E 侧壁厚度	（见注释 4）	0.105	0.050
F 孔径（见注释 1）	0.000～3.000	0.055	0.025
	3.001～6.000	0.080	0.050
	6.001～12.000	0.105	0.050
	≥12.001	0.130	0.075
G 孔深（见注释 5）	0.000～6.000	0.105	0.050
	6.001～12.000	0.130	0.050
	12.001～25.000	0.155	0.075
H 圆角、加强筋、拐角	（见注释 6）	0.765	0.380
平面度（见注释 4）	0.000～75.000	0.635	0.380
	75.001～150.000	1.270	0.760
螺钉尺寸/级	内	1 或 1B	2 或 2B
	外	1 或 1A	2 或 2A
同心度	（见注释 4）(F.I.M.)	0.280	0.175
每个面的脱模斜度	（见注释 5）	1.0°	0.5°
表面光洁度	（见注释 7）		
色彩稳定性	（见注释 7）		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 3.175mm 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N. W.，600K

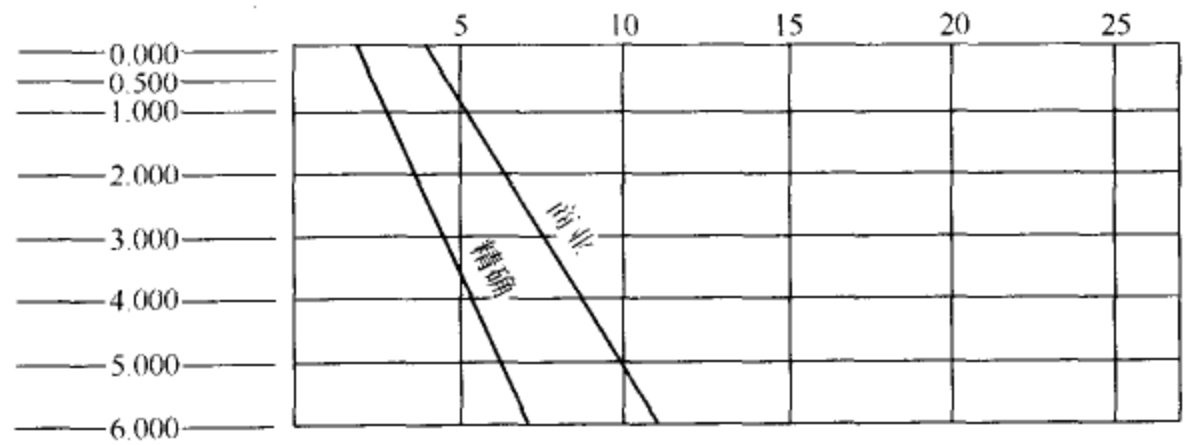
华盛顿特区，20006-1301

图 5-4

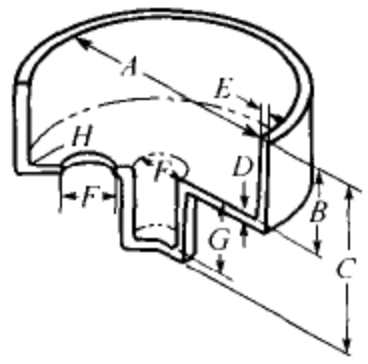
醋酸纤维素（CA），乙酸丁酸纤维素（CAB），

塑料成型标准或惯例	材料 纤维素

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号	尺寸/in	±10⁻³in 商业±	精确±
	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.004	0.002
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.004	0.002
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.004	0.002
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.003	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.002
	≥0.501	0.005	0.003
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.004	0.002
	0.251～0.500	0.005	0.002
	0.501～1.000	0.006	0.003
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.030	0.015
平面度(见注释 1)	0.000～3.000	0.025	0.015
	3.001～6.000	0.050	0.030
螺钉尺寸/级	内	1 或 1B	2 或 2B
	外	1 或 1A	2 或 2A
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.011	0.007
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

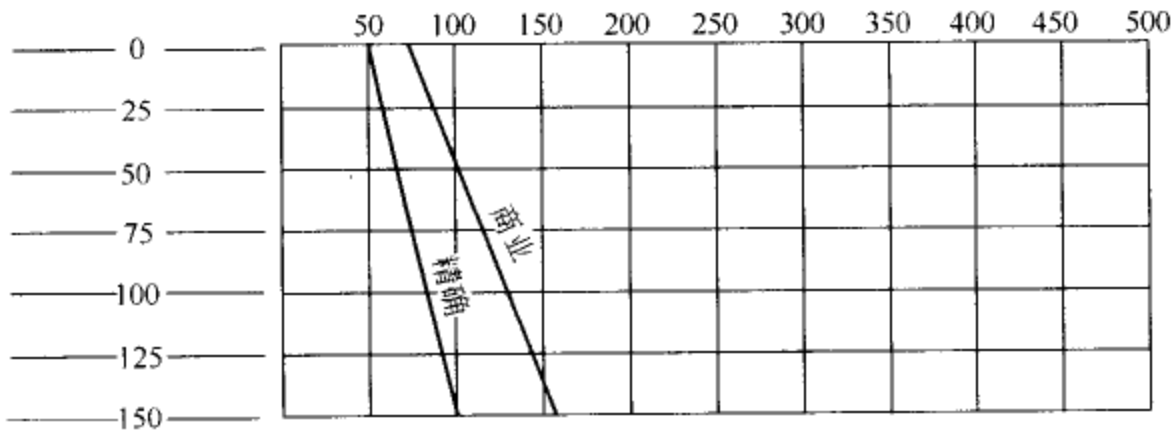
©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

纤维素

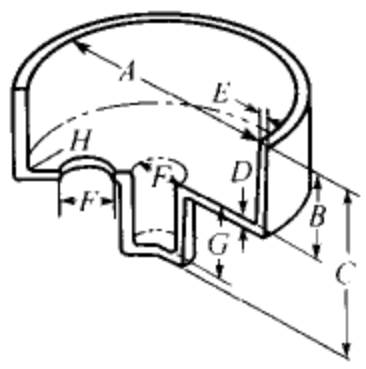
乙酸丙酸纤维素（CAP），乙基纤维素（EC）

塑料成型标准或惯例	材料 邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号	尺寸/mm	商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm	0.055	0.025
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.130	0.075
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.080	0.050
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.055	0.025
	3.001～6.000	0.055	0.025
	6.001～12.000	0.055	0.025
	≥12.001	0.080	0.050
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.055	0.025
	6.001～12.000	0.080	0.050
	12.001～25.000	0.130	0.075
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	1.580	0.780
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.255	0.120
	75.001～150.000	0.305	0.200
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.130	0.075
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 3.175mm 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

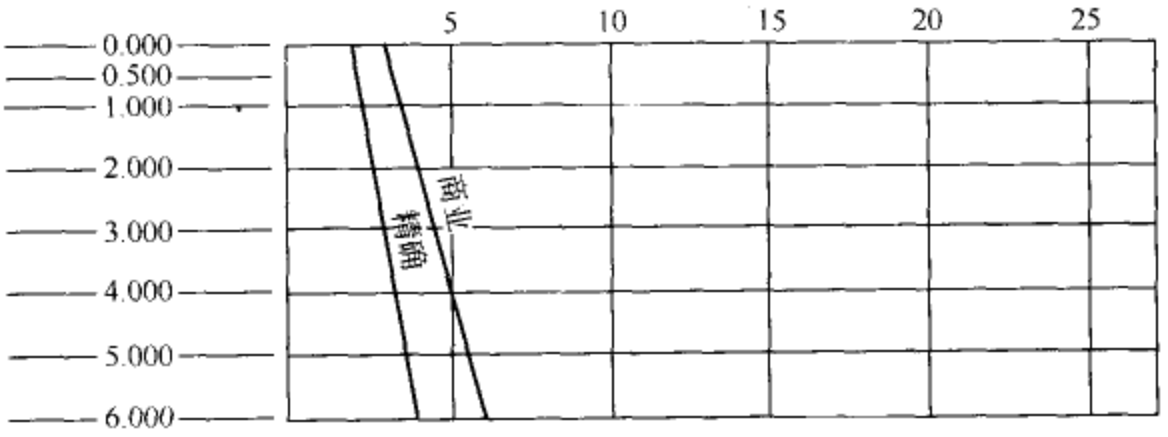
©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

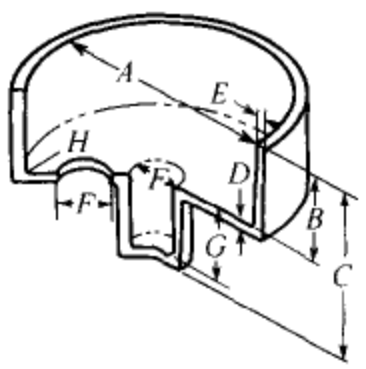
图 5-5　邻苯二甲酸

塑料成型标准或惯例	材料 邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/in	商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.002	0.001
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.005	0.003
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.003	0.002
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.002	0.001
	0.251～0.500	0.002	0.001
	≥0.501	0.003	0.002
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.002	0.001
	0.251～0.500	0.003	0.002
	0.501～1.000	0.005	0.003
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.062	0.031
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.010	0.005
	3.001～6.000	0.012	0.008
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.005	0.003
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N. W.，600K

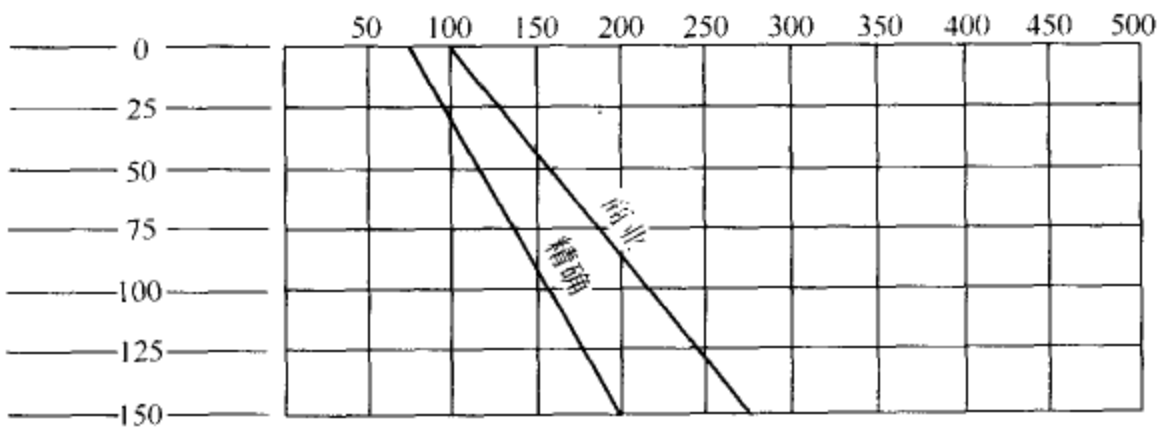
华盛顿特区，20006-1301

二烯丙酯（DAP）

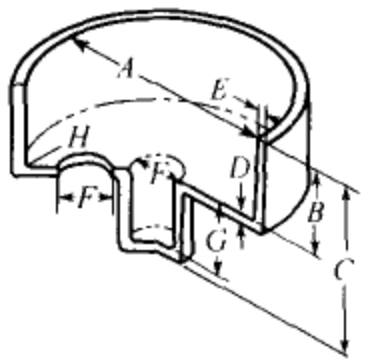
塑料成型标准或惯例	材料 环氧树脂(EP)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号　　尺寸/mm　　$\pm 10^{-3}$mm



		商业±	精确±
A 直径(见注释 1)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm (mm)	0.055	0.025
B 深度(见注释 3)			
C 高度(见注释 3)			
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.055	0.025
E 侧壁厚度	(见注释 1)	0.055	0.025
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.055	0.025
	3.001～6.000	0.055	0.050
	6.001～12.000	0.055	0.050
	≥12.001	0.105	0.075
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.055	0.050
	6.001～12.000	0.055	0.050
	12.001～25.000	0.055	0.050
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	1.580	0.780
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.260	0.250
	75.001～150.000	0.380	0.250
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.130	0.120
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 3.175mm 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

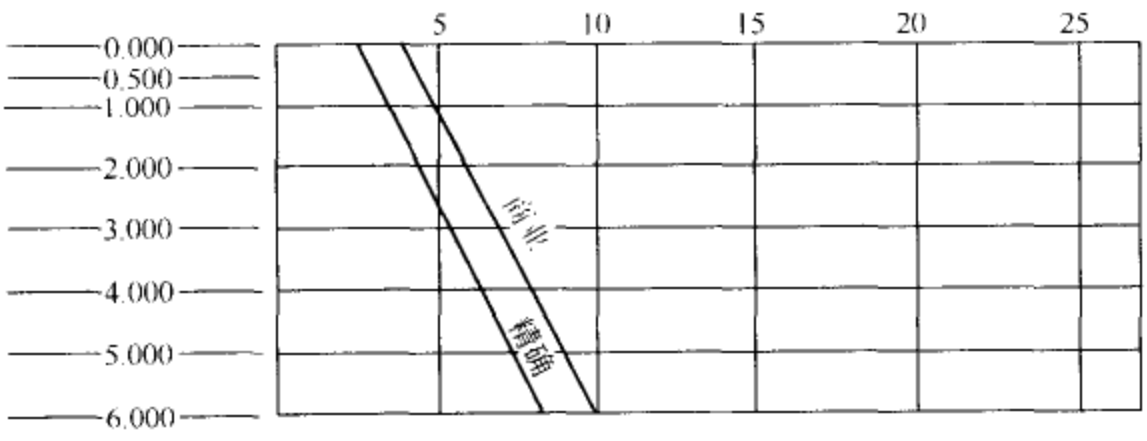
1801K Street、N. W.，600K

华盛顿特区，20006-1301

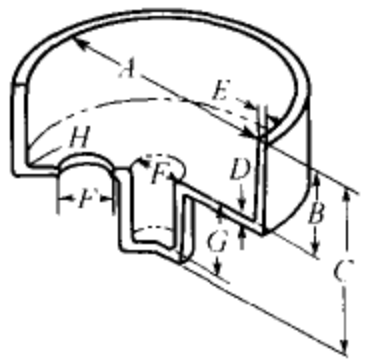
图 5-6　环

塑料成型标准或惯例	材料 环氧树脂(EP)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号	尺寸	商业±	精确±
	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.002	0.001
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.002	0.001
E 侧壁厚度	(见注释 1)	0.002	0.001
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.002	0.002
	0.251～0.500	0.002	0.002
	≥0.501	0.004	0.003
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.002	0.002
	0.251～0.500	0.002	0.002
	0.501～1.000	0.002	0.002
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.062	0.031
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.010	0.010
	3.001～6.000	0.015	0.010
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.005	0.005
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 0.125in 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

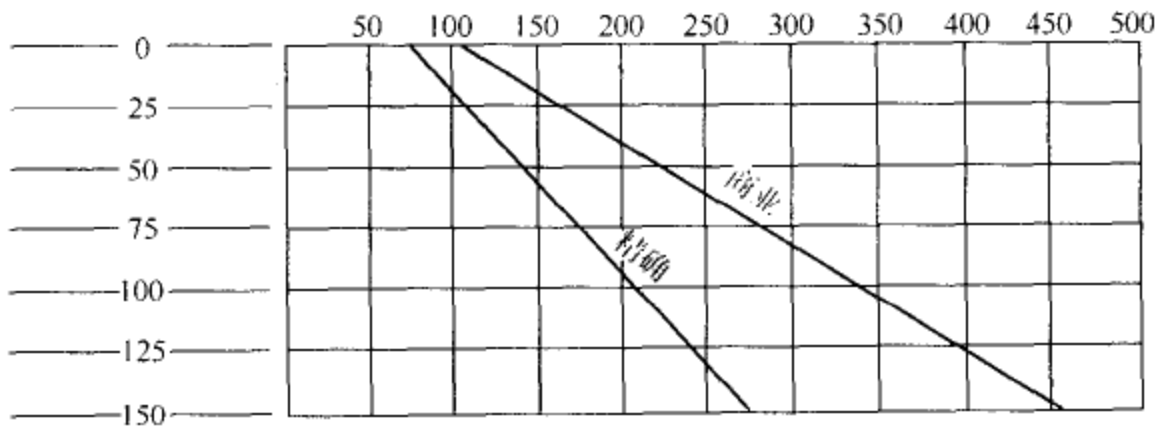
1801K Street，N.W.，600K

华盛顿特区，20006-1301

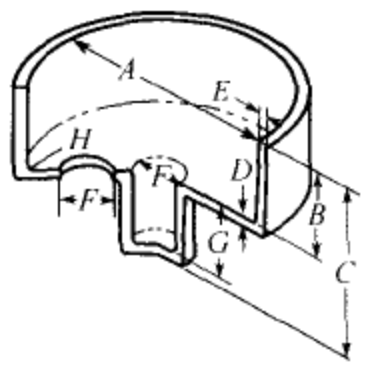
氧树脂（EP）

塑料成型标准或惯例	材料 三聚氰胺-脲醛树脂(MF-UF)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号	尺寸/mm	商业±	精确±
	从 150～300，每上升一格，增加 25mm (mm)	0.075	0.050
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.130	0.075
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.105	0.050
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.080	0.050
	3.001～6.000	0.080	0.050
	6.001～12.000	0.105	0.075
	≥12.001	0.130	0.100
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.080	0.050
	6.001～12.000	0.100	0.050
	12.001～25.000	0.130	0.050
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.765	0.380
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.305	0.200
	75.001～150.000	0.460	0.330
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.180	0.125
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 3.175mm 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

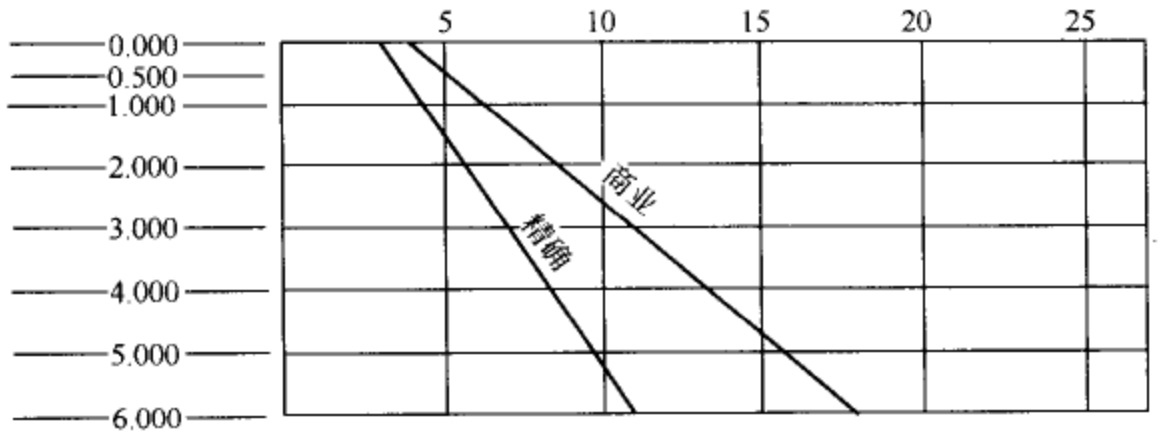
版权

©美国塑料工业协会
1801K Street，N.W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

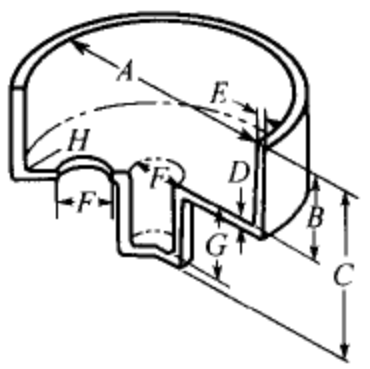
图 5-7　三聚氰胺-

塑料成型标准或惯例	材料 三聚氰胺-脲醛树脂(MF-UF)

注:以下所示的商业值,是日常生产所用的公差,符合大多数的商业标准;精确值的公差则更为准确,但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能,改变其尺寸稳定性。有关事宜,请咨询生产商。



图中代号	尺寸/(in)	商业±	精确±
A 直径(见注释 1)	从 6.000～12.000,每上升一格,增加 1in (in)	0.003	0.002
B 深度(见注释 3)			
C 高度(见注释 3)			
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.005	0.003
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.004	0.002
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.003	0.002
	0.126～0.250	0.003	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.003
	≥0.501	0.005	0.004
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.003	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.002
	0.501～1.000	0.005	0.002
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.030	0.015
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.012	0.008
	3.001～6.000	0.018	0.013
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.007	0.005
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变;但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致;厚度不均的器壁应由厚到薄,逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值,防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性,并且始终是增加的。
7. 在加工前,用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

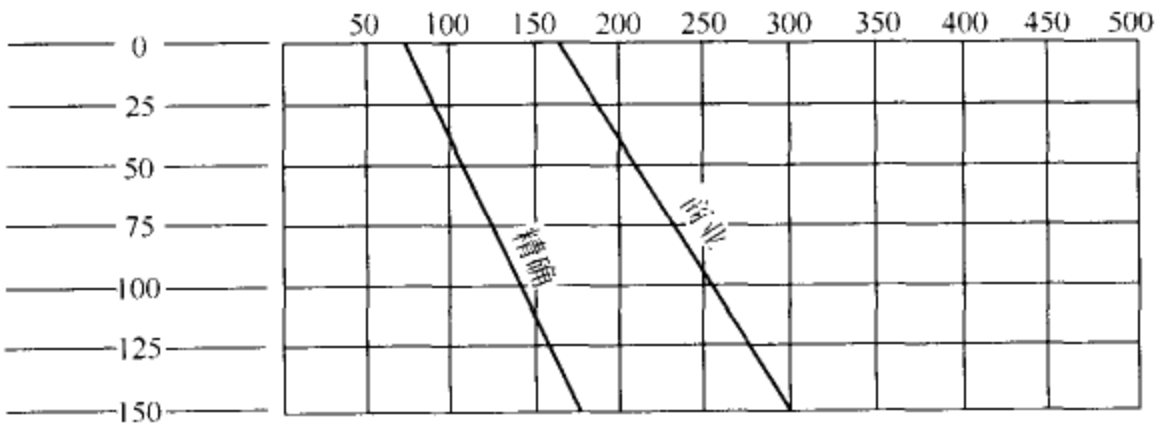
©美国塑料工业协会
1801K Street, N. W., 600K
华盛顿特区, 20006-1301

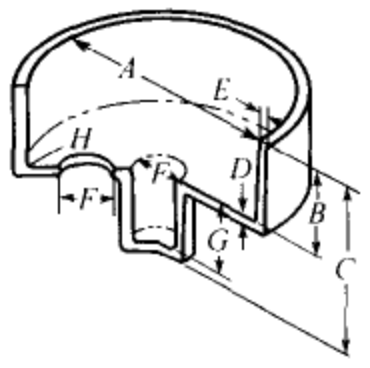
脲醛树脂 (MF-UF)

塑料成型标准或惯例	材料 酚醛树脂(PF)通用酚醛塑料

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	±10⁻³mm 商业±	±10⁻³mm 精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm		
	(mm)	0.050	0.025
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.180	0.100
E 侧壁厚度	(见注释 1)	0.105	0.050
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.055	0.025
	3.001～6.000	0.055	0.025
	6.001～12.000	0.080	0.050
	≥12.001	0.080	0.050
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.080	0.050
	6.001～12.000	0.105	0.050
	12.001～25.000	0.130	0.075
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	1.580	0.780
平面度(见注释 8)	0.000～75.000	0.305	0.125
	75.001～150.000	0.305	0.250
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 8)(F.I.M.)	0.130	0.075
每个面的脱模斜度		1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 3.175mm 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。
8. 这些公差依成型方法和浇口位置不同变化很大。

版权

1991 年修订

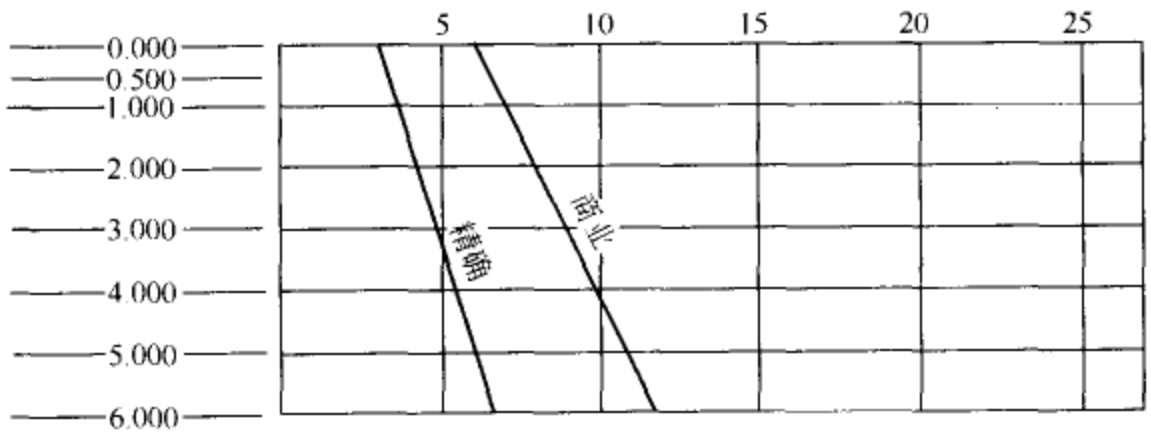
©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

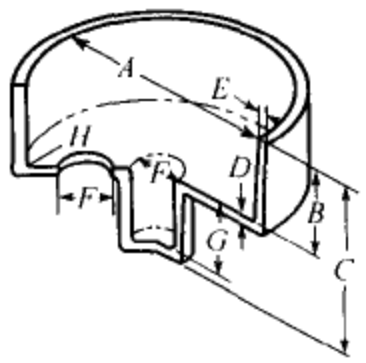
图 5-8 酚

塑料成型标准或惯例	材料 酚醛树脂(PF)通用酚醛塑料

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/in	商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.002	0.001
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.007	0.004
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.004	0.002
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.002	0.001
	0.251～0.500	0.003	0.002
	≥0.501	0.003	0.002
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.003	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.002
	0.501～1.000	0.005	0.003
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.062	0.031
平面度(见注释 8)	0.000～3.000	0.010	0.005
	3.001～6.000	0.012	0.010
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 8)(F.I.M.)	0.005	0.003
每个面的脱模斜度		1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。
8. 这些公差依成型方法和浇口位置不同变化很大。

1991 年修订

版权

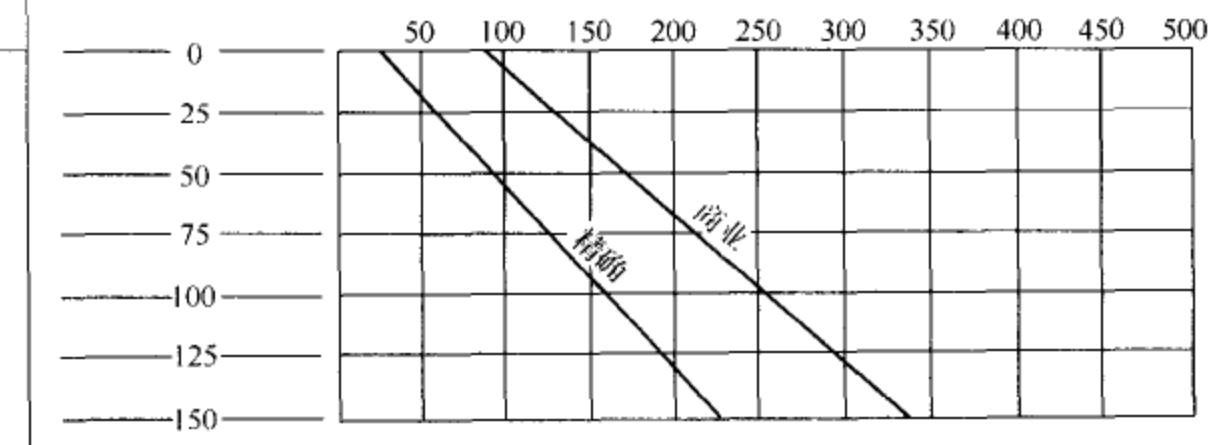
©美国塑料工业协会
1801K Street，N.W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

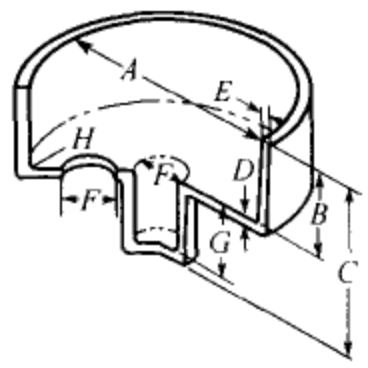
醛树脂（PF）

塑料成型标准或惯例	材料 聚酰胺(尼龙)(PA)

注:以下所示的商业值,是日常生产所用的公差,符合大多数的商业标准;精确值的公差则更为准确,但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能,改变其尺寸稳定性。有关事宜,请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	商业± ±10⁻³mm	精确± ±10⁻³mm
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 150～300,每上升一格,增加 25mm (mm)	0.08	0.050
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.105	0.075
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.130	0.075
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.055	0.025
	3.001～6.000	0.080	0.050
	6.001～12.000	0.080	0.050
	≥12.001	0.130	0.075
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.105	0.050
	6.001～12.000	0.105	0.075
	12.001～25.000	0.130	0.100
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.535	0.330
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.255	0.100
	75.001～150.000	0.385	0.175
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.130	0.075
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.5°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 3.175mm 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变;但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致;厚度不均的器壁应由厚到薄,逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值,防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性,并且始终是增加的。
7. 在加工前,用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

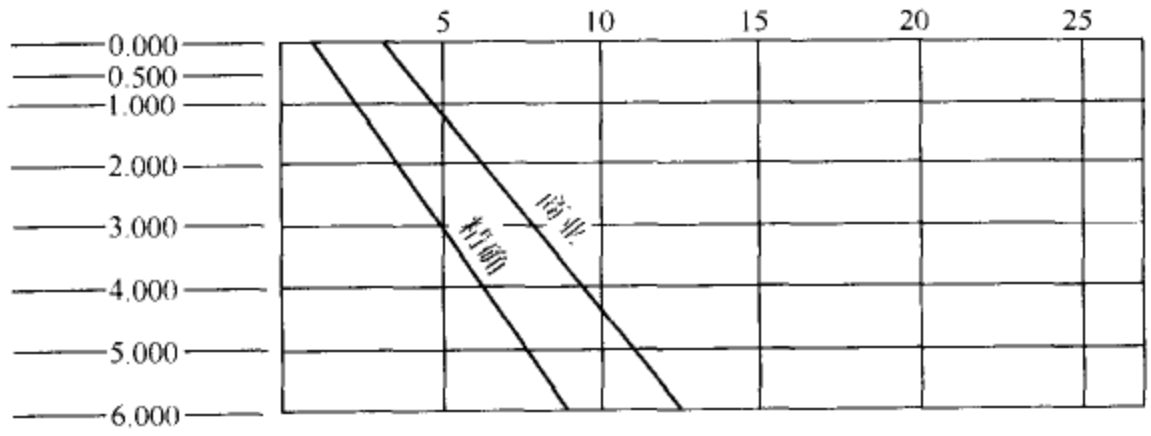
版权

©美国塑料工业协会
1801K Street, N. W., 600K
华盛顿特区, 20006-1301

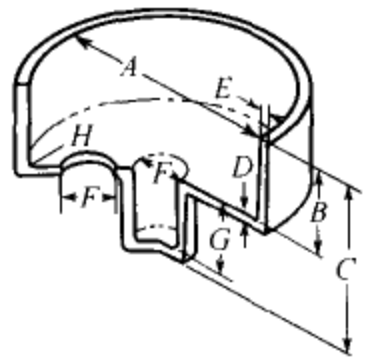
图 5-9 聚酰

塑料成型标准或惯例	材料 聚酰胺(尼龙)(PA)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号		商业±	精确±
	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.003	0.002
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.004	0.003
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.005	0.003
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.003	0.002
	0.251～0.500	0.003	0.002
	≥0.501	0.005	0.003
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.004	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.003
	0.501～1.000	0.005	0.004
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.021	0.013
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.010	0.004
	3.001～6.000	0.015	0.007
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.005	0.003
每个面的脱模斜度		1.5°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

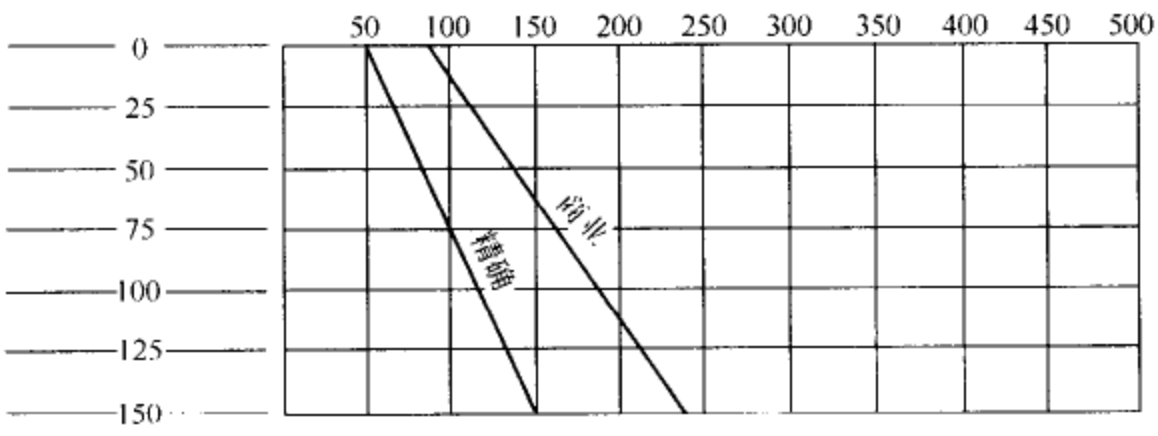
©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

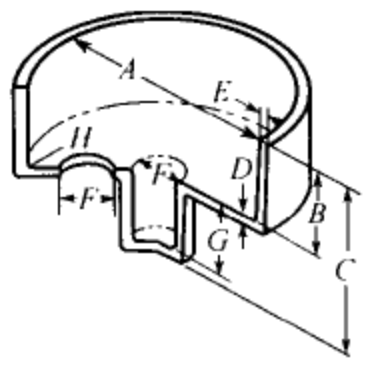
胺（尼龙）（PA）

塑料成型标准或惯例	材料 聚碳酸酯(PC)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	±10⁻³mm(见注释 1)	
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 2) C 高度(见注释 2)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm	商业±	精确±
	(mm)	0.055	0.050
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.105	0.050
E 侧壁厚度	(见注释 6)	0.130	0.075
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.055	0.025
	3.001～6.000	0.055	0.050
	6.001～12.000	0.080	0.050
	≥12.001	0.080	0.050
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.055	0.050
	6.001～12.000	0.080	0.050
	12.001～25.000	0.105	0.075
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.510	0.380
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.130	0.075
	75.001～150.000	0.180	0.100
螺钉尺寸/级	内	1B	2B
	外	1A	2A
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.130	0.075
每个面的脱模斜度	(见注释 7)	1.5°	0.5°
表面光洁度	(见注释 8)		
色彩稳定性	(见注释 8)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 该公差不能应用于螺纹螺钉、齿轮齿或各种配合。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这个值与模具设计和结构有关。

7. 这些值可以考虑取最小值。

8. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N. W.，600K

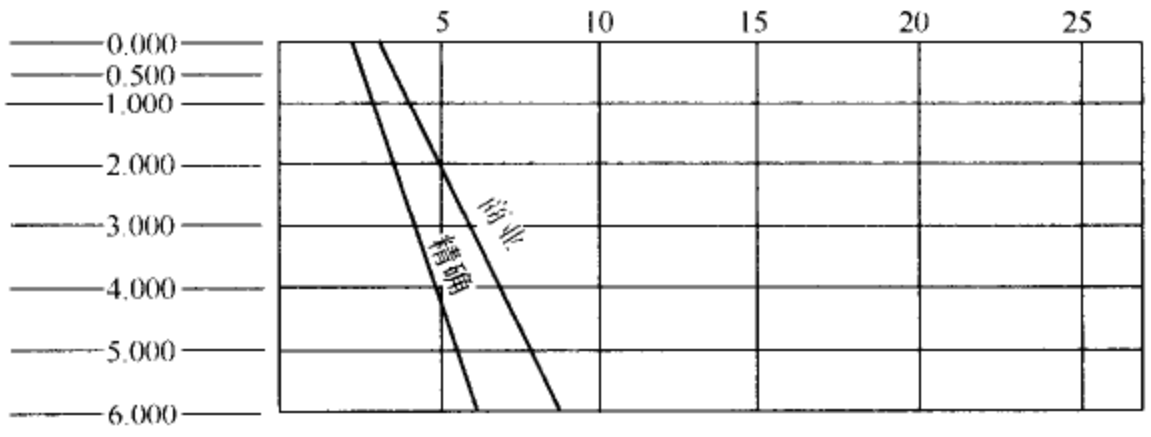
华盛顿特区，20006-1301

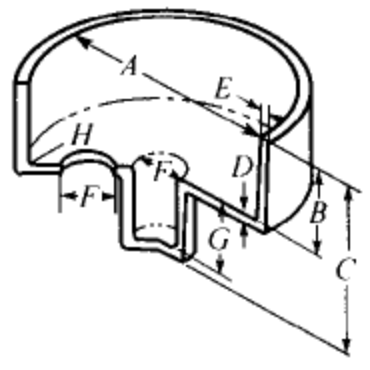
图 5-10 聚

塑料成型标准或惯例	材料 聚碳酸酯(PC)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/in	商业±	精确±
	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.002	0.002
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.004	0.002
E 侧壁厚度	(见注释 6)	0.005	0.003
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.002	0.002
	0.251～0.500	0.003	0.002
	≥0.501	0.003	0.002
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.002	0.002
	0.251～0.500	0.003	0.002
	0.501～1.000	0.004	0.003
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.020	0.015
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.005	0.003
	3.001～6.000	0.007	0.004
螺钉尺寸/级	内	1B	2B
	外	1A	2A
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.005	0.003
每个面的脱模斜度	(见注释 7)	1.5°	0.5°
表面光洁度	(见注释 8)		
色彩稳定性	(见注释 8)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 该公差不能应用于螺纹螺钉、齿轮齿或各种配合。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这个值与模具设计和结构有关。

7. 这些值可以考虑取最小值。

8. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

版权

1991 年修订

©美国塑料工业协会

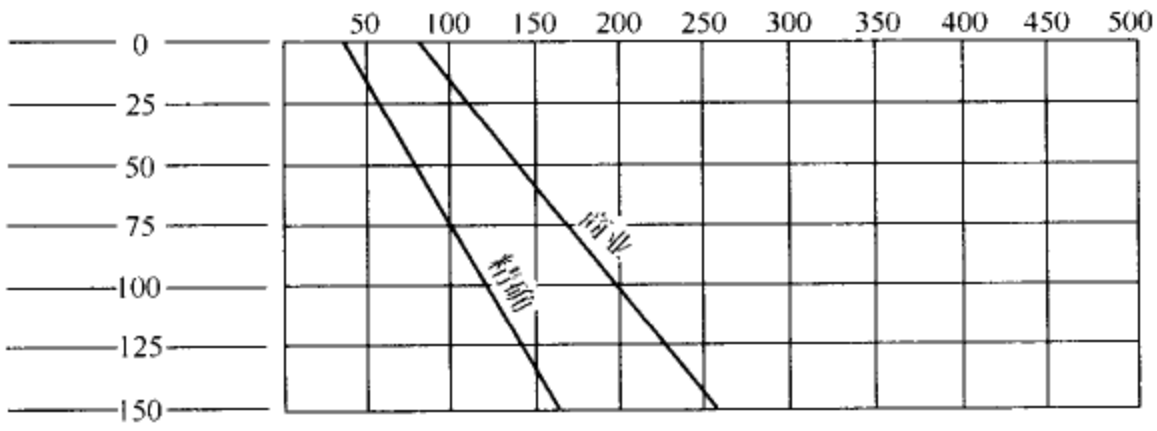
1801K Street，N. W.，600K

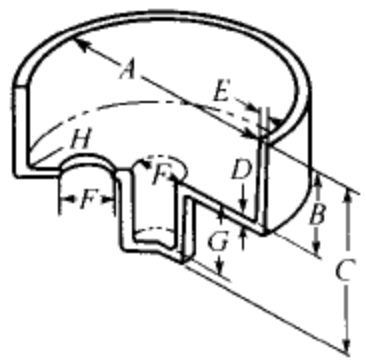
华盛顿特区，20006-1301

塑料成型标准或惯例	材料 热塑性聚酯(TPPE)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	±10⁻³mm(见注释 5)	
A 直径(见注释 1)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm	商业±	精确±
B 深度(见注释 3)	(mm)	0.038	0.025
C 高度(见注释 3)			
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.050	0.038
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.050	0.038
F 孔径	0.000～3.000	0.025	0.018
	3.001～6.000	0.025	0.018
	6.001～12.000	0.025	0.018
	≥12.001	0.038	0.025
G 孔深	0.000～6.000	0.025	0.018
	6.001～12.000	0.025	0.018
	12.001～25.000	0.038	0.025
H 圆角、加强筋、拐角	0.660～1.600	0.013	0.013
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.152	0.100
	75.001～150.000	0.254	0.152
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 2)(F.I.M.)	0.5°	0.25°
每个面的脱模斜度	(见注释 6)		
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 同心度是模具设计和制作的基础参数。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 该公差不能应用于螺纹螺钉、齿轮齿或各种配合。规定这种类型的尺寸为窄极限。

6. 该项值必须谨慎减小。设计者应使得斜度与设计相配合；对斜度的自由使用可以减少脱模时产生的问题，防止制品翘曲。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

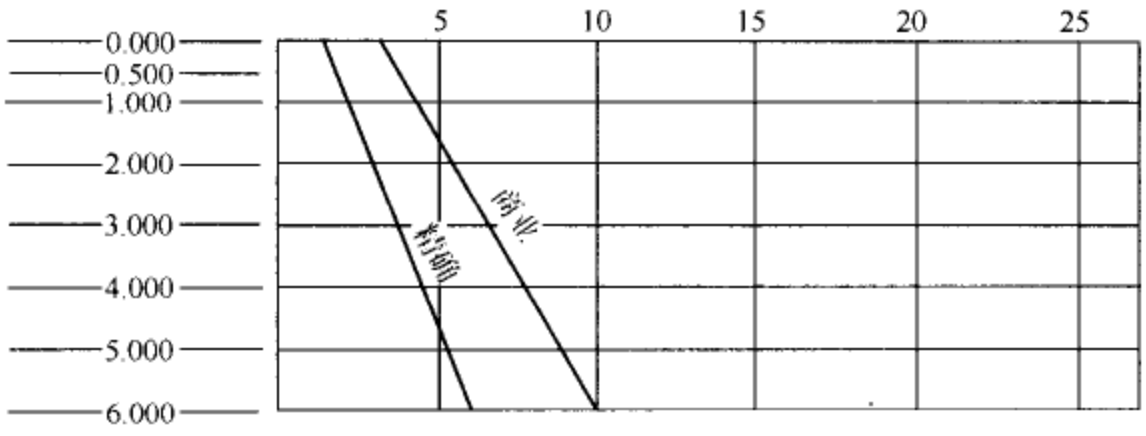
1801K Street，N. W.，600K

华盛顿特区，20006-1301

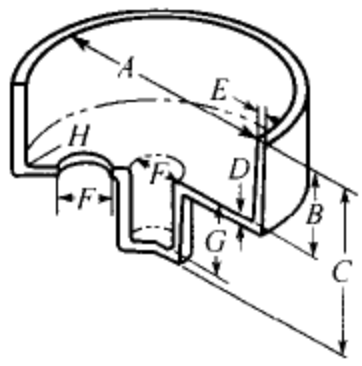
图 5-11 聚

塑料成型标准或惯例	材料 热塑性聚酯(TPPE)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号	尺寸/in	商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.0015	0.001
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.002	0.0015
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.002	0.0015
F 孔径	0.000～0.125	0.001	0.0007
	0.126～0.250	0.001	0.0007
	0.251～0.500	0.001	0.0007
	≥0.501	0.0015	0.001
G 孔深	0.000～0.250	0.001	0.0007
	0.251～0.500	0.001	0.0007
	0.501～1.000	0.0015	0.001
H 圆角、加强筋、拐角	0.025～0.062	0.005	0.005
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.006	0.004
	3.001～6.000	0.010	0.006
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 2)(F.I.M.)		
每个面的脱模斜度	(见注释 6)	0.5°	0.25°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 同心度是模具设计和制作的基础参数。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 该公差不能应用于螺纹螺钉、齿轮齿或各种配合。规定这种类型的尺寸为窄极限。

6. 该项值必须谨慎减小。设计者应使得斜度与设计相配合；对斜度的自由使用可以减少脱模时产生的问题，防止制品翘曲。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

版权

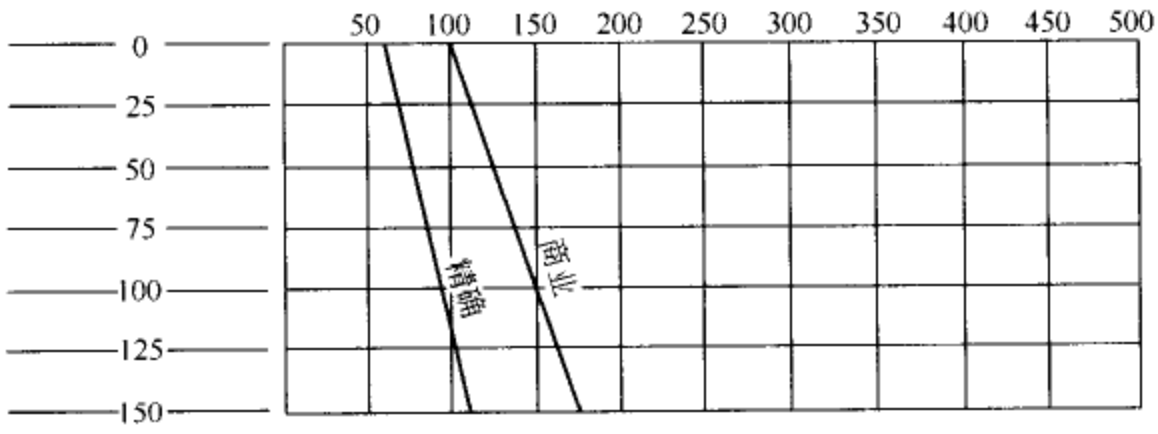
1991 年修订

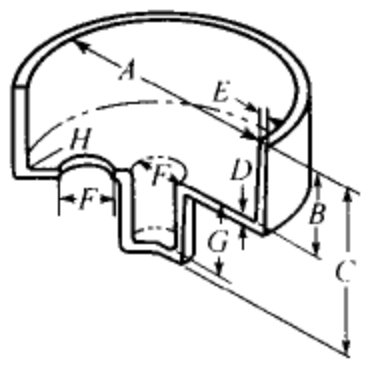
©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

塑料成型标准或惯例	材料 聚醚酰亚胺(PEI)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	±10 $^{-3}$mm(见注释 1)	
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 2) C 高度(见注释 2)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm (mm)	商业± 0.025	精确± 0.013
D 底壁厚度	(见注释 2)	0.025	0.013
E 侧壁厚度	(见注释 2)	0.025	0.013
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.025	0.013
	3.001～6.000	0.025	0.013
	6.001～12.000	0.038	0.025
	≥12.001	0.050	0.038
G 孔深	0.000～6.000	0.025	0.013
	6.001～12.000	0.025	0.013
	12.001～25.000	0.038	0.025
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.130	0.130
平面度(见注释 3)	0.000～75.000	0.180	0.080
	75.001～150.000	0.254	0.180
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 5)(F.I.M.)		
每个面的脱模斜度	(见注释 4)	1.5°	0.25°
表面光洁度	(见注释 6)		
色彩稳定性	(见注释 6)		





参考注释

1. 该公差不能应用于螺纹螺钉、齿轮齿或各种配合。规定这种类型的尺寸为窄极限。

2. 必须考虑分型线。

3. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

4. 该项值必须谨慎减小。设计者应使得斜度与设计相配合；对斜度的自由使用可以减少脱模时产生的问题，防止制品翘曲。

5. 同心度是模具设计和制作的基础参数。

6. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

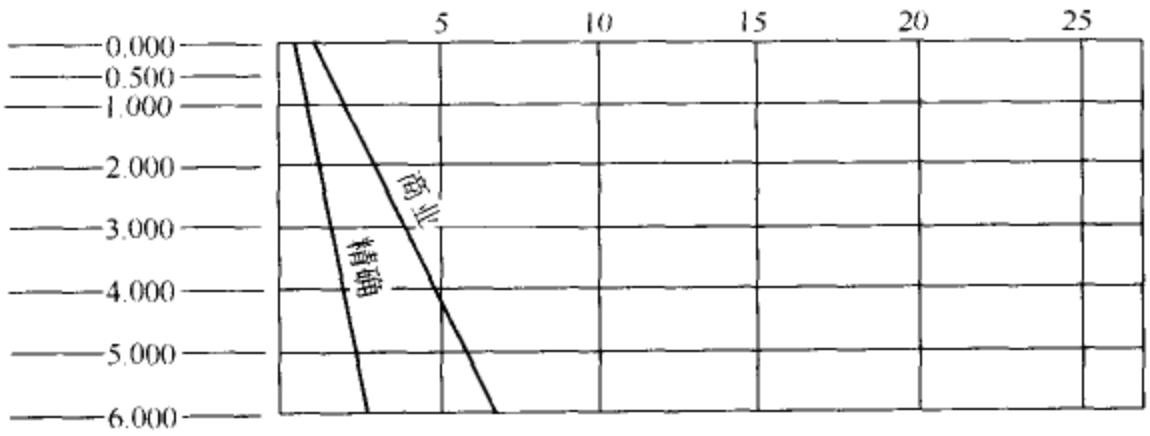
1801K Street，N. W.，600K

华盛顿特区，20006-1301

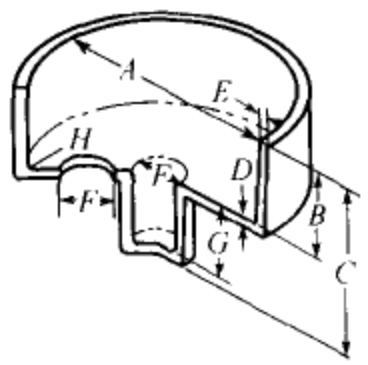
图 5-12 聚

塑料成型标准或惯例	材料 聚醚酰亚胺(PEI)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号		商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 2) C 高度(见注释 2)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.001	0.0005
D 底壁厚度	(见注释 2)	0.001	0.0005
E 侧壁厚度	(见注释 2)	0.001	0.0005
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.001	0.0005
	0.126～0.250	0.001	0.0005
	0.251～0.500	0.0015	0.001
	≥0.501	0.002	0.0015
G 孔深	0.000～0.250	0.001	0.0005
	0.251～0.500	0.001	0.0005
	0.501～1.000	0.015	0.001
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.005	0.005
平面度(见注释 3)	0.000～3.000	0.007	0.003
	3.001～6.000	0.010	0.007
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 5)(F.I.M.)		
每个面的脱模斜度	(见注释 4)	1.5°	0.25°
表面光洁度	(见注释 6)		
色彩稳定性	(见注释 6)		



参考注释

1. 该公差不能应用于螺纹螺钉、齿轮齿或各种配合。规定这种类型的尺寸为窄极限。

2. 必须考虑分型线。

3. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

1. 该项值必须谨慎减小。设计者应使得斜度与设计相配合；对斜度的自由使用可以减少脱模时产生的问题，防止制品翘曲。

5. 同心度是模具设计和制作的基础参数。

6. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

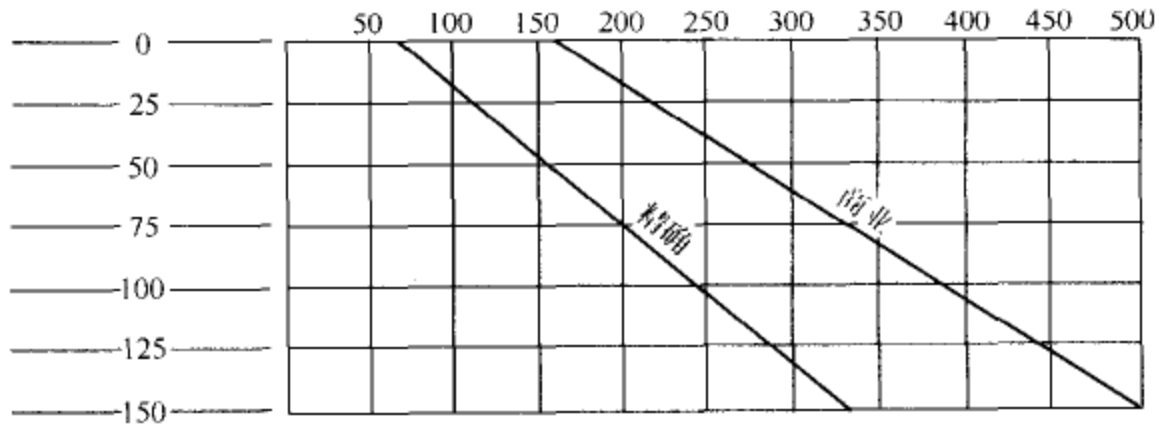
版权

©美国塑料工业协会
1801K Street，N.W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

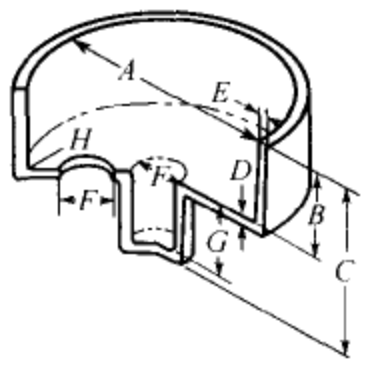
醚酰亚胺（PEI）

塑料成型标准或惯例	材料 低密度聚乙烯(LDPE)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号	尺寸/mm	商业±	精确±
	从150～300，每上升一格，增加25mm	0.130	0.075
D 底壁厚度	(见注释3)	0.155	0.075
E 侧壁厚度	(见注释4)	0.130	0.075
F 孔径(见注释1)	0.000～3.000	0.105	0.050
	3.001～6.000	0.130	0.075
	6.001～12.000	0.155	0.100
	≥12.001	0.180	0.125
G 孔深(见注释5)	0.000～6.000	0.105	0.075
	6.001～12.000	0.130	0.100
	12.001～25.000	0.180	0.125
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释6)	0.635	0.275
平面度(见注释4)	0.000～75.000	0.635	0.305
	75.001～150.000	0.765	0.505
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释4)(F.I.M.)	0.275	0.180
每个面的脱模斜度	(见注释5)	2.0°	0.75°
表面光洁度	(见注释7)		
色彩稳定性	(见注释7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以3.175mm壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991年修订

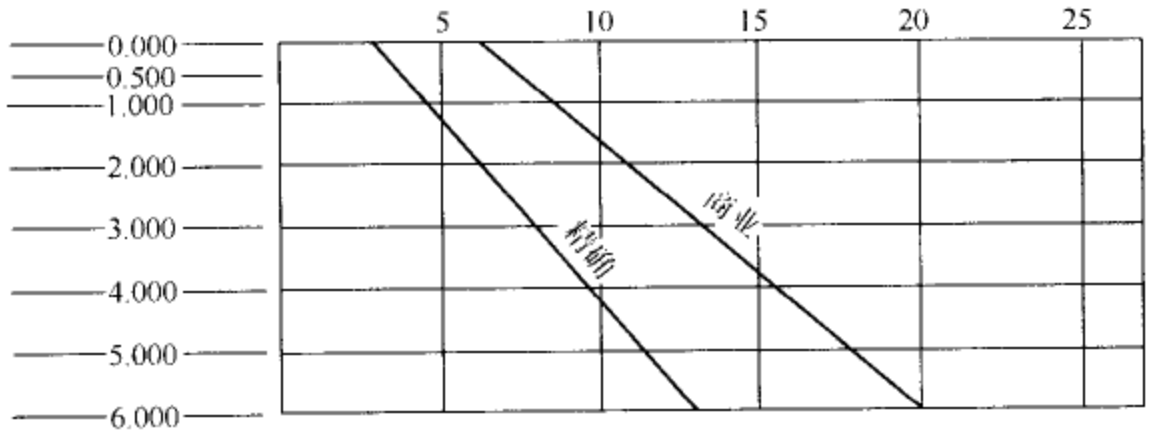
版权

©美国塑料工业协会
1801K Street，N.W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

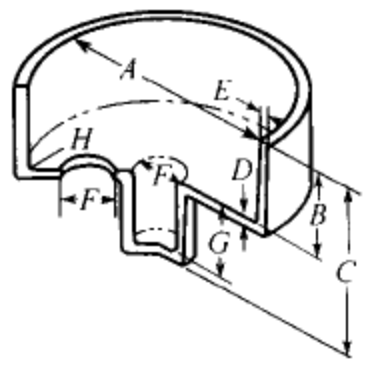
图 5-13　低密度聚乙

塑料成型标准或惯例	材料 低密度聚乙烯(LDPE)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号		商业±	精确±
	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in（in）	0.005	0.003
D 底壁厚度	（见注释 3）	0.006	0.003
E 侧壁厚度	（见注释 4）	0.005	0.003
F 孔径（见注释 1）	0.000～0.125	0.004	0.002
	0.126～0.250	0.005	0.003
	0.251～0.500	0.006	0.004
	≥0.501	0.007	0.005
G 孔深（见注释 5）	0.000～0.250	0.004	0.003
	0.251～0.500	0.005	0.004
	0.501～1.000	0.007	0.005
H 圆角、加强筋、拐角	（见注释 6）	0.025	0.011
平面度（见注释 4）	0.000～3.000	0.025	0.012
	3.001～6.000	0.030	0.020
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	（见注释 4）(F.I.M.)	0.011	0.007
每个面的脱模斜度	（见注释 5）	2.0°	0.75°
表面光洁度	（见注释 7）		
色彩稳定性	（见注释 7）		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 0.125in 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄、逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N. W.，600K

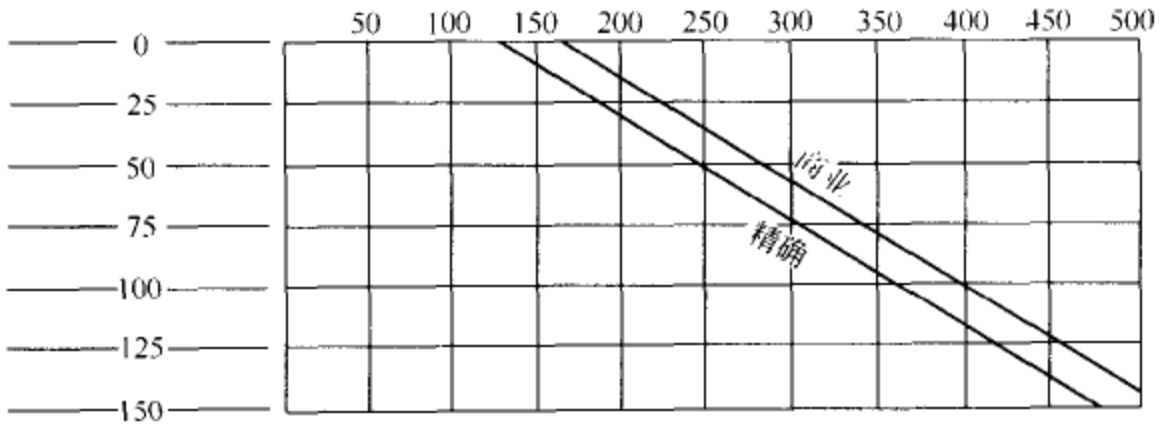
华盛顿特区，20006-1301

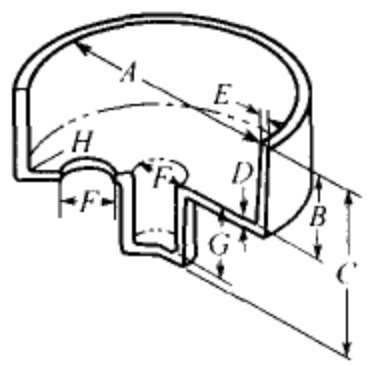
烯（LDPE）

塑料成型标准或惯例	材料 高密度聚乙烯(HDPE)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	±10⁻³mm 商业±	±10⁻³mm 精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm		
	(mm)	0.155	0.075
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.155	0.100
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.155	0.100
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.080	0.050
	3.001～6.000	0.100	0.050
	6.001～12.000	0.155	0.100
	≥12.001	0.205	0.125
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.125	0.075
	6.001～12.000	0.180	0.100
	12.001～25.000	0.230	0.155
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.635	0.250
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.585	0.380
	75.001～150.000	0.940	0.555
螺钉尺寸 级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.690	0.250
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	2.0°	0.75°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 3.175mm 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户 成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N. W.，600K

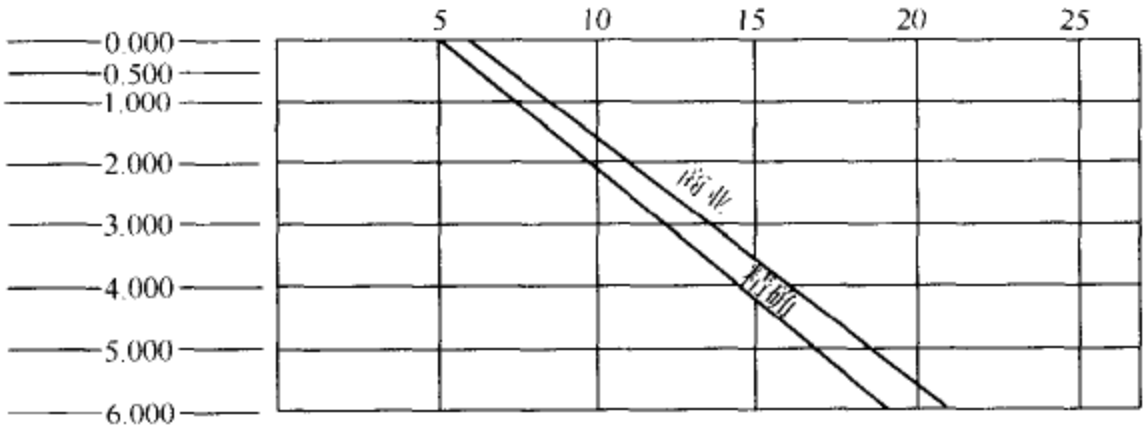
华盛顿特区，20006-1301

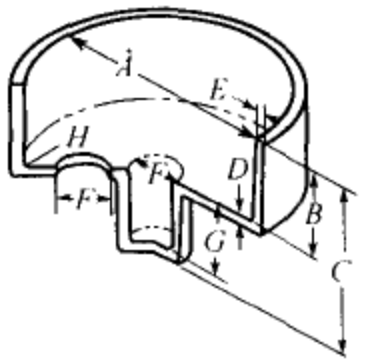
图 5-14 高密度聚乙

塑料成型标准或惯例	材料 高密度聚乙烯(HDPE)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/in	±10⁻³in 商业	±10⁻³in 精确
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.006	0.003
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.006	0.001
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.006	0.004
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.003	0.002
	0.126～0.250	0.004	0.002
	0.251～0.500	0.006	0.004
	≥0.501	0.008	0.005
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.005	0.003
	0.251～0.500	0.007	0.004
	0.501～1.000	0.009	0.006
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.025	0.010
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.023	0.015
	3.001～6.000	0.037	0.022
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 1)(F.I.M.)	0.027	0.010
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	2.0°	0.75°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 0.125in 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N.W.，600K

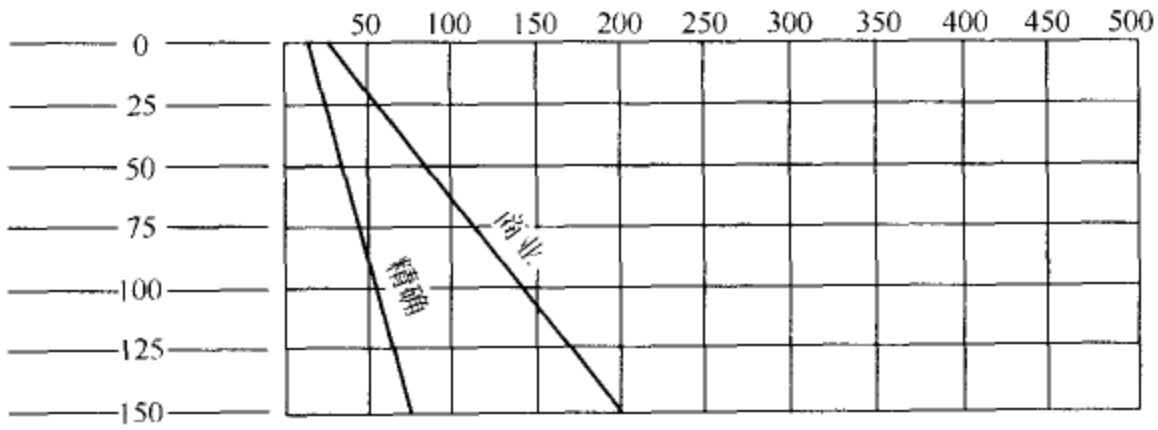
华盛顿特区，20006-1301

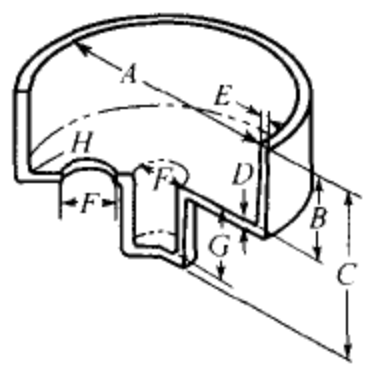
烯（HDPE）

塑料成型标准或惯例	材料 聚苯醚(PPO)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	商业±	精确±
		±10⁻³mm	
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 2) C 高度(见注释 2)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm	0.025	0.013
	(mm)		
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.025	0.013
E 侧壁厚度	(见注释 6)	0.025	0.013
F 孔径	0.000～3.000	0.025	0.013
	3.001～6.000	0.025	0.013
	6.001～12.000	0.038	0.025
	≥12.001	0.050	0.038
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.025	0.013
	6.001～12.000	0.025	0.013
	12.001～25.000	0.038	0.025
H 圆角、加强筋、拐角		0.127	0.127
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.254	0.180
	75.001～150.000	0.508	0.356
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.130	0.050
每个面的脱模斜度	(见注释 7)	2.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 5)		
色彩稳定性	(见注释 5)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 该公差不能应用于螺纹螺钉、齿轮齿形或各种配合。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

6. 侧壁尺寸是模具设计和制作的基础参数。

7. 该项值必须谨慎减小。

1991 年修订

版权

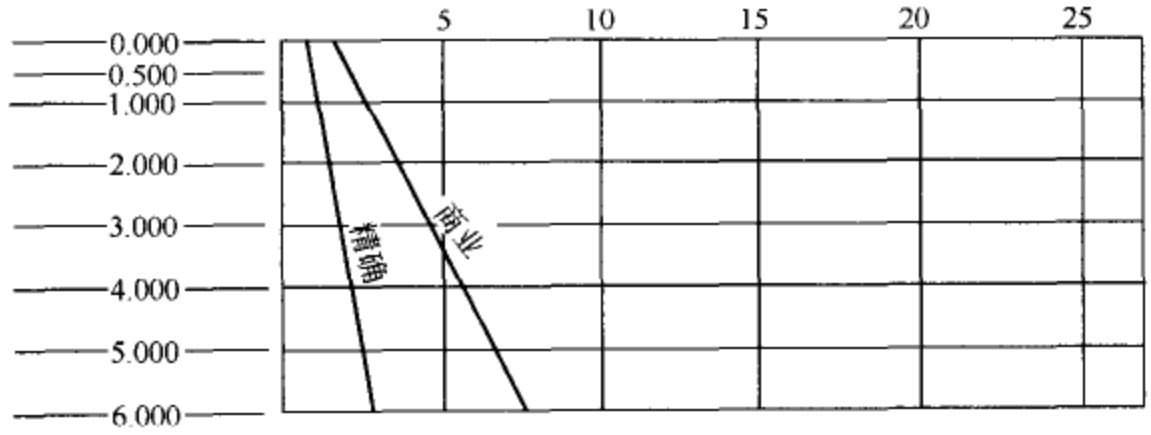
©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

图 5-15 聚苯

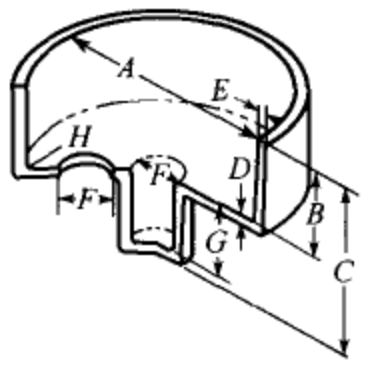
塑料成型标准或惯例	材料 聚苯醚(PPO)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号　　尺寸/in　　$\pm 10^{-3}$in



		商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 2) C 高度(见注释 2)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.001	0.0005
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.001	0.0005
E 侧壁厚度	(见注释 6)	0.001	0.0005
F 孔径	0.000～0.125	0.001	0.0005
	0.126～0.250	0.001	0.0005
	0.251～0.500	0.0015	0.001
	≥0.501	0.002	0.0015
G 孔深	0.000～0.250	0.001	0.0005
	0.251～0.500	0.001	0.0005
	0.501～1.000	0.0015	0.001
H 圆角、加强筋、拐角		0.005	0.005
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.010	0.007
	3.001～6.000	0.020	0.014
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.005	0.002
每个面的脱模斜度	(见注释 7)	2.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 5)		
色彩稳定性	(见注释 5)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 该公差不能应用于螺纹螺钉、齿轮齿形或各种配合。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

6. 侧壁尺寸是模具设计和制作的基础参数。

7. 该项值必须谨慎减小。

1991 年修订

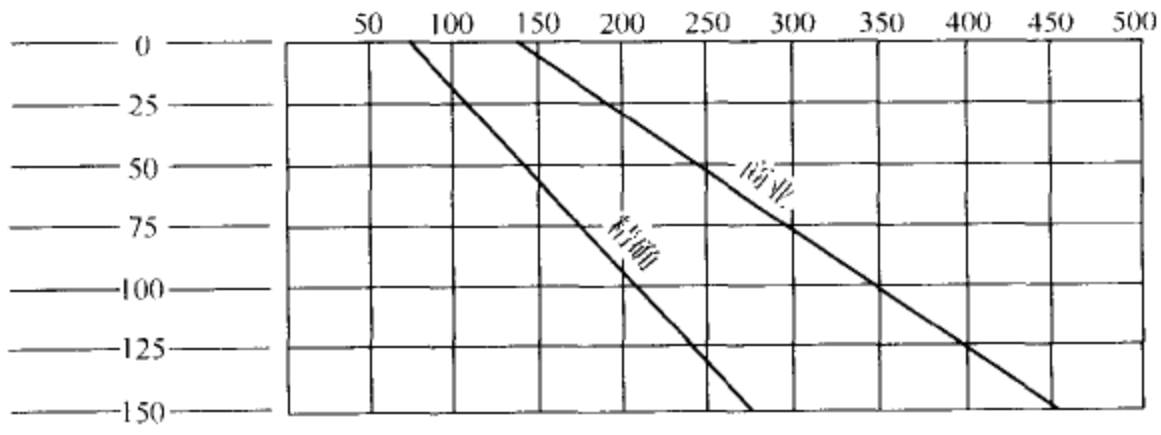
版权

©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

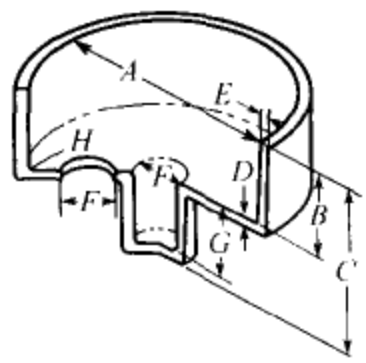
醚（PPO）

塑料成型标准或惯例	材料 聚丙烯(PP)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号	尺寸/mm	商业±	精确±
	从 150～300，每上升一格，增加 25mm		
	(mm)	0.130	0.075
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.155	0.075
E 侧壁厚度	(见注释 1)	0.155	0.075
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.080	0.050
	3.001～6.000	0.105	0.075
	6.001～12.000	0.130	0.100
	≥12.001	0.205	0.150
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.130	0.075
	6.001～12.000	0.155	0.100
	12.001～25.000	0.230	0.150
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.735	0.405
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.560	0.355
	75.001～150.000	0.915	0.530
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.385	0.305
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.5°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 3.175mm 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户/成型者有必要对其加以了解。

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N.W.，600K

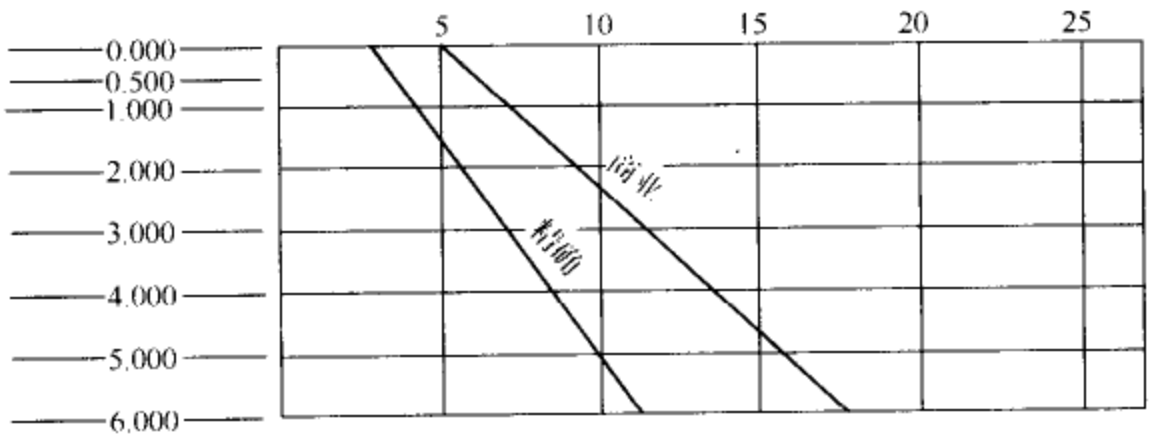
华盛顿特区，20006-1301

1991 年修订

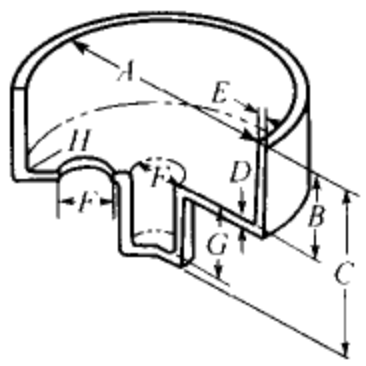
图 5-16 聚丙

塑料成型标准或惯例	材料 聚丙烯(PP)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号		商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.005	0.003
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.006	0.003
E 侧壁厚度	(见注释 1)	0.006	0.003
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.003	0.002
	0.126～0.250	0.004	0.003
	0.251～0.500	0.005	0.004
	≥0.501	0.008	0.006
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.005	0.003
	0.251～0.500	0.006	0.004
	0.501～1.000	0.009	0.006
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.029	0.016
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.022	0.014
	3.001～6.000	0.036	0.021
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 1)(F.I.M.)	0.015	0.012
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.5°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 0.125in 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N.W.，600K

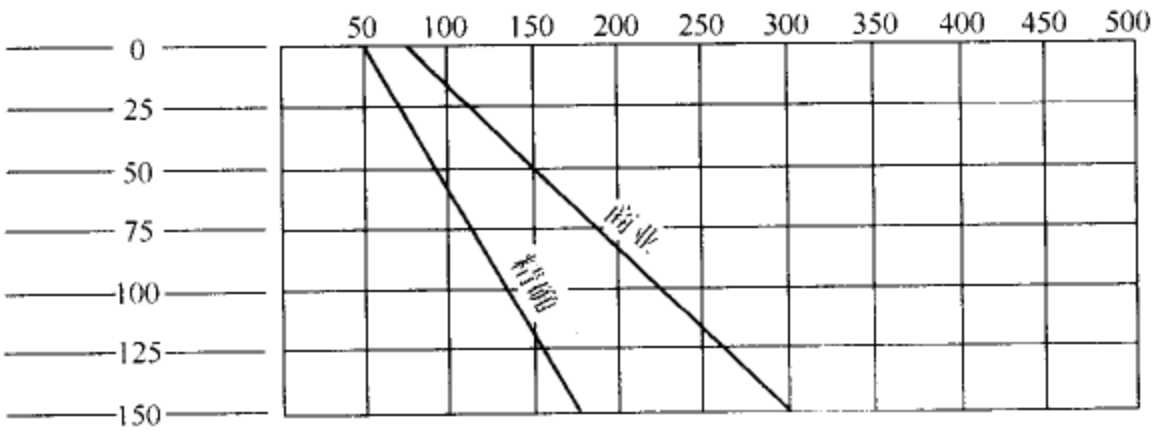
华盛顿特区，20006-1301

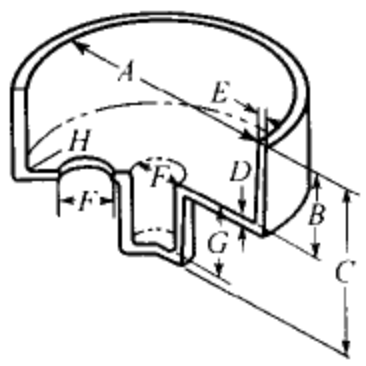
烯（PP）

塑料成型标准或惯例	材料 聚苯乙烯(PS)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	商业±	精确±
A 直径(见注释 1)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm (mm)	0.100	0.050
B 深度(见注释 3)			
C 高度(见注释 3)			
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.155	0.075
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.180	0.075
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.055	0.025
	3.001～6.000	0.055	0.025
	6.001～12.000	0.055	0.025
	≥12.001	0.105	0.050
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.105	0.050
	6.001～12.000	0.105	0.050
	12.001～25.000	0.130	0.075
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.385	0.250
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.180	0.100
	75.001～150.000	0.330	0.125
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F. I. M.)	0.255	0.200
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 3.175mm 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N. W.，600K

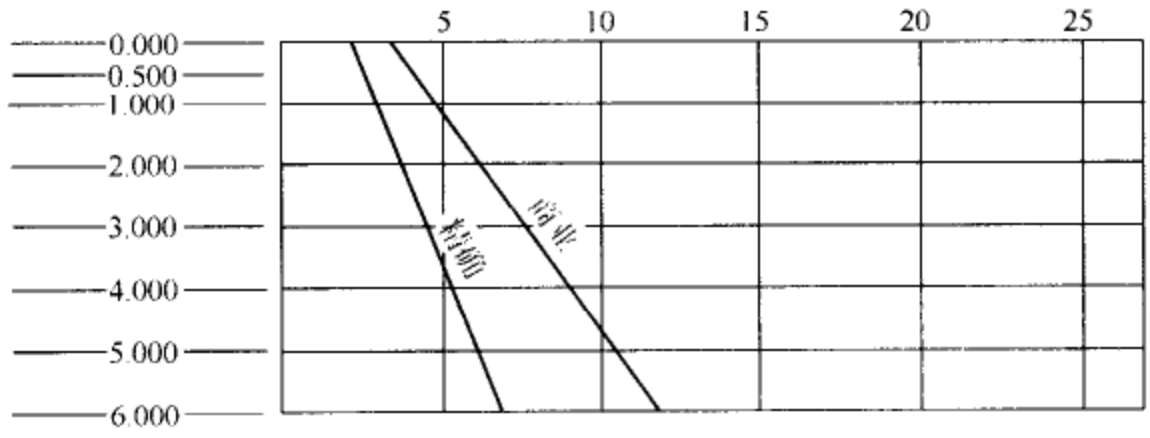
华盛顿特区，20006-1301

图 5-17　聚苯

塑料成型标准或惯例	材料 聚苯乙烯(PS)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号　　尺寸/in　　$\pm 10^{-3}$in

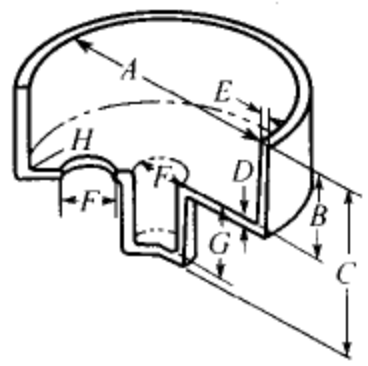


A 直径(见注释 1)

B 深度(见注释 3)

C 高度(见注释 3)

		商业±	精确±
	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.004	0.002
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.006	0.003
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.007	0.003
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.002	0.001
	0.251～0.500	0.002	0.001
	≥0.501	0.004	0.002
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.004	0.002
	0.251～0.500	0.004	0.002
	0.501～1.000	0.005	0.003
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.015	0.010
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.007	0.004
	3.001～6.000	0.013	0.005
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.010	0.008
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 0.125in 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

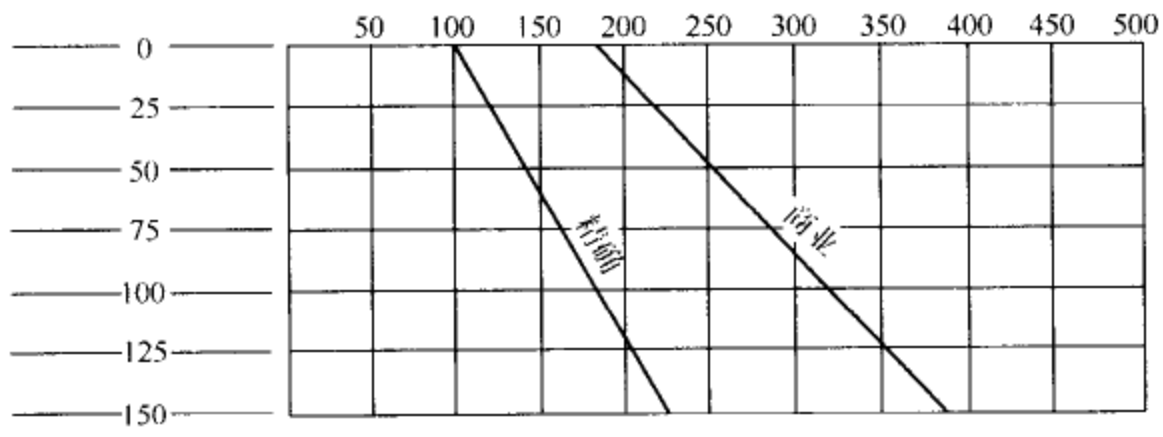
1801K Street，N.W.，600K

华盛顿特区，20006-1301

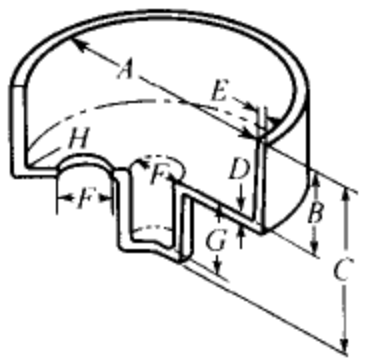
乙烯（PS）

塑料成型标准或惯例	材料 聚氯乙烯(PVC)(氯化)(硬度)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号	尺寸/mm	商业±	精确±
	从 150～300，每上升一格，增加 25mm (mm)	0.130	0.075
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.180	0.075
E 侧壁厚度	(见注释 1)	0.180	0.075
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.105	0.075
	3.001～6.000	0.105	0.075
	6.001～12.000	0.130	0.100
	≥12.001	0.155	0.125
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.105	0.075
	6.001～12.000	0.130	0.100
	12.001～25.000	0.155	0.125
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.890	0.760
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.385	0.250
	75.001～150.000	0.510	0.380
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.255	0.125
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 3.175mm 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

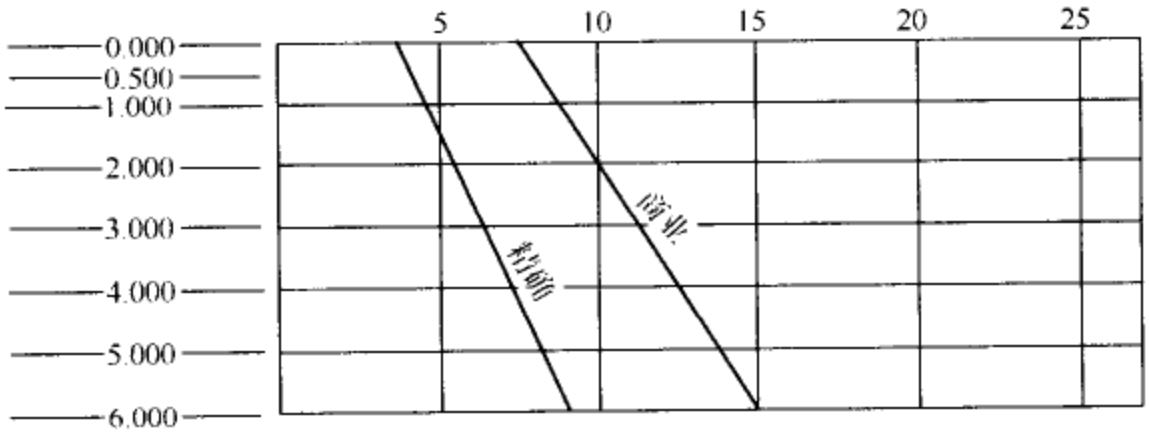
1801K Street，N. W.，600K

华盛顿特区，20006-1301

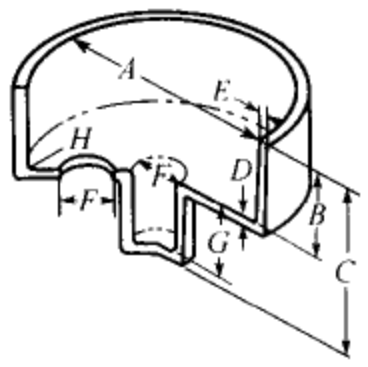
图 5-18　硬质聚氯

塑料成型标准或惯例	材料 聚氯乙烯(PVC)(氯化)(硬质)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号		商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.005	0.003
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.007	0.003
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.007	0.003
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.004	0.003
	0.126～0.250	0.004	0.003
	0.251～0.500	0.005	0.004
	≥0.501	0.006	0.005
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.004	0.003
	0.251～0.500	0.005	0.004
	0.501～1.000	0.006	0.005
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.035	0.030
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.015	0.010
	3.001～6.000	0.020	0.015
螺钉尺寸/级	内	1	2
	外	1	2
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.010	0.005
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.0°	0.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

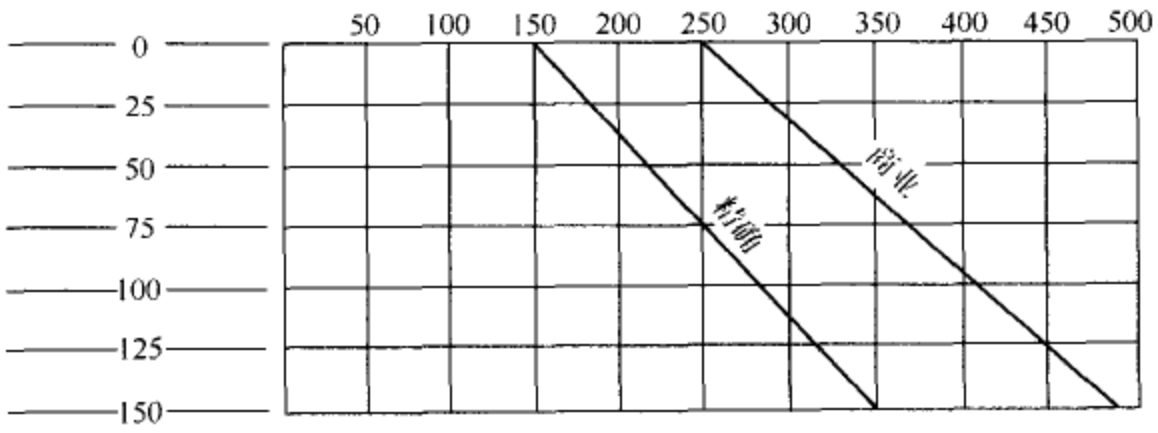
©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

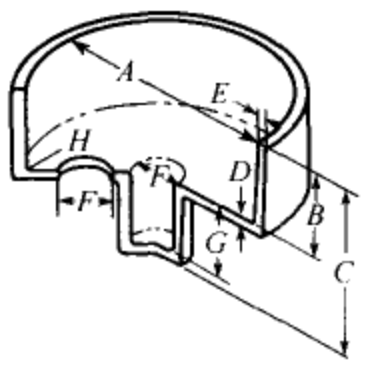
乙烯（PVC）

塑料成型标准或惯例	材料 聚氯乙烯(PVC)(氯化)(柔软)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号	尺寸/mm	商业±($\pm10^{-3}$mm)	精确±($\pm10^{-3}$mm)
A 直径(见注释 1) *B* 深度(见注释 3) *C* 高度(见注释 3)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm		
	(mm)	0.130	0.075
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.180	0.075
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.180	0.075
F 孔径(见注释 1)	0.000～3.000	0.105	0.075
	3.001～6.000	0.130	0.100
	6.001～12.000	0.155	0.125
	≥12.001	0.205	0.150
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.105	0.075
	6.001～12.000	0.130	0.100
	12.001～25.000	0.155	0.125
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.765	0.250
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.255	0.175
	75.001～150.000	0.510	0.380
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.385	0.250
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.5°	1.0°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		





参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 3.175mm 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

1801K Street，N. W.，600K

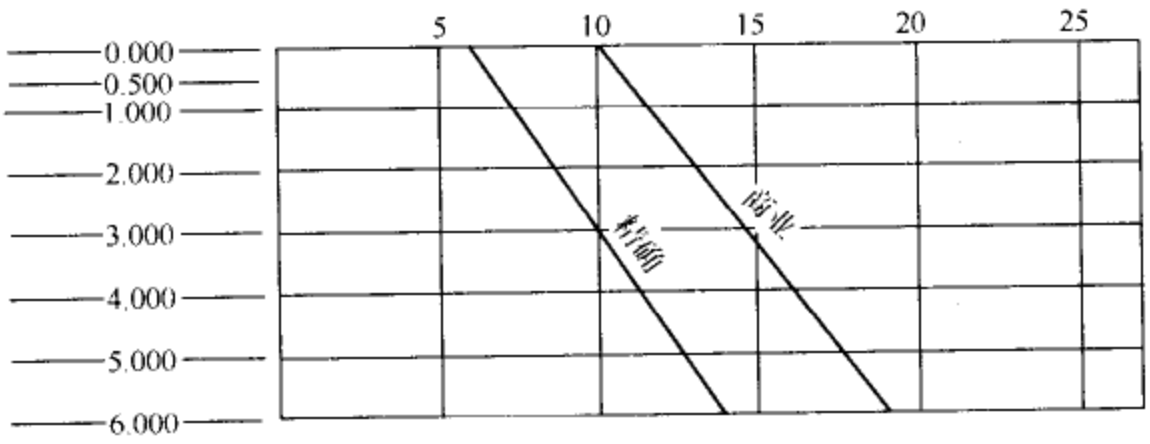
华盛顿特区，20006-1301

图 5-19　软质聚氯

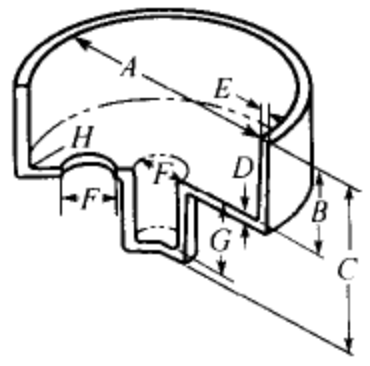
塑料成型标准或惯例	材料 聚氯乙烯(PVC)(氯化)(柔软)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号　　尺寸/in　　$\pm 10^{-3}$in



		商业±	精确±
A 直径(见注释 1) B 深度(见注释 3) C 高度(见注释 3)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.005	0.003
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.007	0.003
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.007	0.003
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.004	0.003
	0.126～0.250	0.005	0.004
	0.251～0.500	0.006	0.005
	≥0.501	0.008	0.006
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.004	0.003
	0.251～0.500	0.005	0.004
	0.501～1.000	0.006	0.005
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.030	0.010
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.010	0.007
	3.001～6.000	0.020	0.015
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)	0.015	0.010
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	1.5°	1.0°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

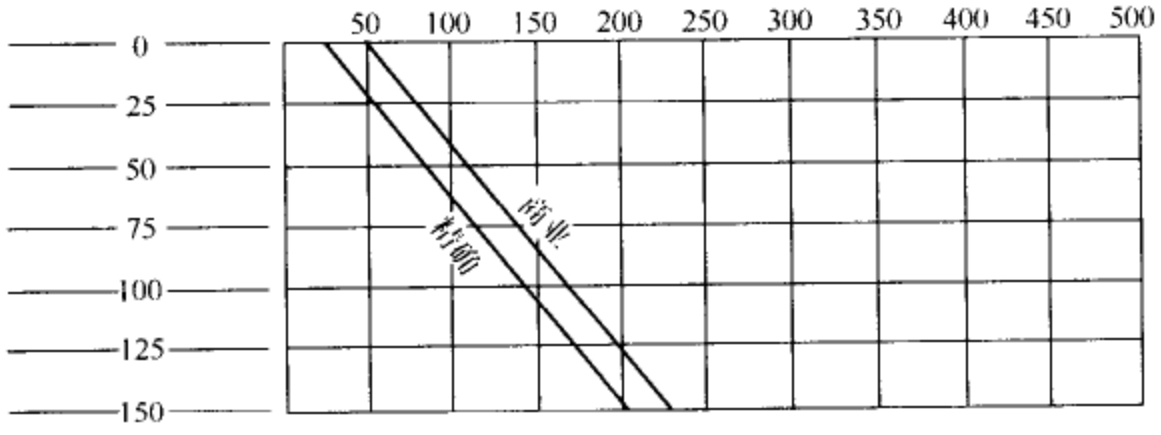
乙烯（PVC）

塑料成型标准或惯例	材料 苯乙烯-丙烯腈共聚物(SAN)

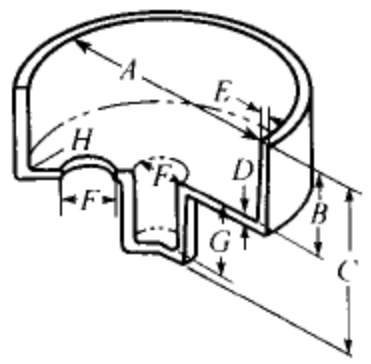
注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。

图中代号

尺寸/mm　　±10 $^{-3}$mm



		商业±	精确±
A 直径(见注释 1)	从 150～300，每上升一格，增加 25mm (mm)	0.050	0.038
B 深度(见注释 3)	(见注释 3)	0.075	0.038
C 高度(见注释 3)	(见注释 4)	0.055	0.038
D 底壁厚度	0.000～3.000	0.050	0.025
E 侧壁厚度	3.001～6.000	0.050	0.025
F 孔径(见注释 1)	6.001～12.000	0.075	0.038
	≥12.001	0.080	0.038
G 孔深(见注释 5)	0.000～6.000	0.050	0.025
	6.001～12.000	0.080	0.050
	12.001～25.000	0.075	0.050
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.762	0.635
平面度(见注释 4)	0.000～75.000	0.305	0.229
	75.001～150.000		
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)		
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	2.0°	1.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。

2. 以 3.175mm 壁厚为准。

3. 必须考虑分型线。

4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。

5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。

6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。

7. 在加工前，用户 成型者有必要对其加以了解。

1991 年修订

版权

©美国塑料工业协会

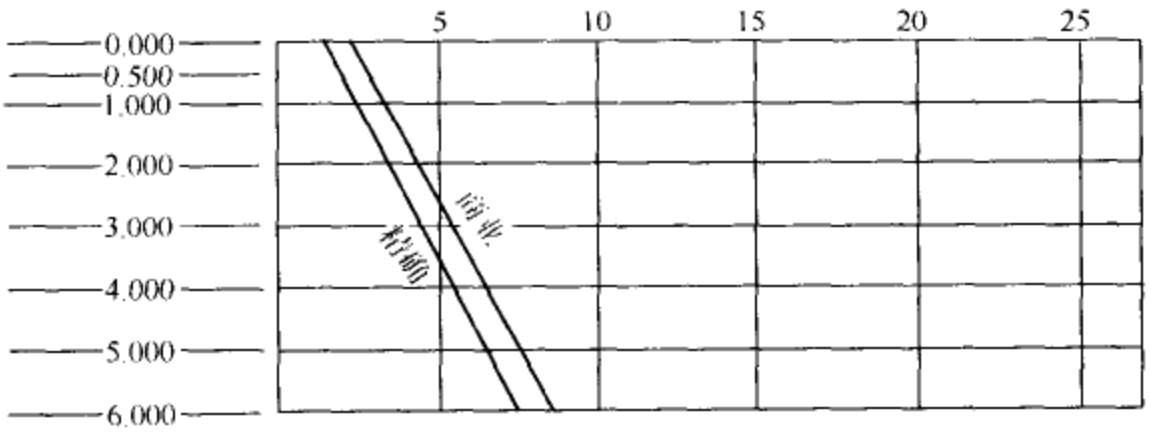
1801K Street，N.W.，600K

华盛顿特区，20006-1301

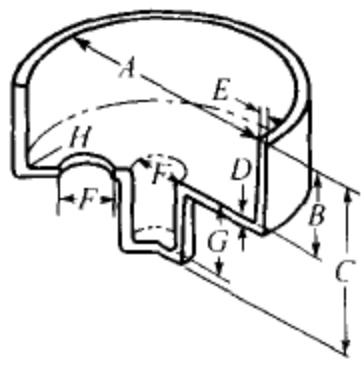
图 5-20　苯乙烯-丙烯

塑料成型标准或惯例	材料 苯乙烯-丙烯腈共聚物(SAN)

注：以下所示的商业值，是日常生产所用的公差，符合大多数的商业标准；精确值的公差则更为准确，但生产费用会大大提高。填料的加入将影响材料的力学性能，改变其尺寸稳定性。有关事宜，请咨询生产商。



图中代号		商业±	精确±
A 直径(见注释 1)	从 6.000～12.000，每上升一格，增加 1in (in)	0.002	0.0015
B 深度(见注释 3)			
C 高度(见注释 3)			
D 底壁厚度	(见注释 3)	0.003	0.0015
E 侧壁厚度	(见注释 4)	0.002	0.0015
F 孔径(见注释 1)	0.000～0.125	0.002	0.001
	0.126～0.250	0.002	0.001
	0.251～0.500	0.003	0.0015
	≥0.501	0.003	0.0015
G 孔深(见注释 5)	0.000～0.250	0.002	0.001
	0.251～0.500	0.003	0.002
	0.501～1.000	0.003	0.002
H 圆角、加强筋、拐角	(见注释 6)	0.030	0.025
平面度(见注释 4)	0.000～3.000	0.012	0.009
	3.001～6.000		
螺钉尺寸/级	内		
	外		
同心度	(见注释 4)(F.I.M.)		
每个面的脱模斜度	(见注释 5)	2.0°	1.5°
表面光洁度	(见注释 7)		
色彩稳定性	(见注释 7)		



参考注释

1. 以上公差均未考虑材料老化。
2. 以 0.125in 壁厚为准。
3. 必须考虑分型线。
4. 零件设计时应尽可能保持壁厚不变；但在某些情况下很难达到尺寸的完全一致；厚度不均的器壁应由厚到薄，逐渐过渡均匀。
5. 必须注意型芯孔深与直径的比率不能超过一定值，防止引起定位销的损坏。
6. 这些值与理想设计和良好的成型工艺具有相容性，并且始终是增加的。
7. 在加工前，用户-成型者有必要对其加以了解。

版权　　1991 年修订

©美国塑料工业协会
1801K Street，N. W.，600K
华盛顿特区，20006-1301

腈共聚物（SAN）

例如，一直径（A）2in 的零件，公差为±0.004in（精确值）和±0.007in（商业值）。如果直径上升到 6in，则公差将变为±0.008in（精确值）和±0.012in（商业值）。如果直径高于 6in，曲线上对应的公差值已高于曲线图给出的最高值，因而无法查得。但尺寸 A 为 10in 的时候，偏差（商业值）为±0.024in（0.012in 对应 6in，且每上升 1in，公差值增加 0.003in）。

典型横截面其他不同尺寸的公差都列于曲线图下面的两栏里。

使用 SPI 图表（图 5-1～图 5-20）应注意以下几点。

（1）图表中给出的有关直径和孔径的公差均未把特定塑料的老化特性考虑在内。

（2）公差基于 1/8in 壁面。

（3）对于深度、高度以及底壁厚等尺寸，必须考虑分型线的影响。

（4）对于侧壁尺寸、平面度以及同心度，零件的设计必须使各处的壁厚尽可能为一定值。但以上尺寸的完全均一是不可能做到的。

（5）在设计孔径、深度以及每个面的脱模斜度时，应注意不能使孔深与孔径之比超过某一限度，以防止定位销损坏。

（6）圆角、加强筋、拐角应与设计和良好的成型工艺相配合，而且应该是不断提高的。

（7）对于表面光洁度和色彩稳定性，用户和成型者必须在成型前分清楚哪一项是在他们的工艺中所需要考虑的。

第6章　按照工艺选择装配方法

6.1　概述

在第5章中已经讲述了特定塑料材料的装配方法的选择。本章将涉及特定加工工艺所对应的适合的装配方法。文中将按英文字母顺序对传统的塑料加工工艺进行大体的回顾，然后再对适用于这种工艺的装配方法进行讨论。由于篇幅有限，在此无法对每一种工艺进行全面细致的讨论。读者如果想获得更多的信息的话，不妨查看Irv Rubin的手册——《塑料材料与技术手册》（John Wiley和Sons，纽约，1990）。该书的作者的观点在这一方面是独一无二的参考资料。

各种工艺按字母顺序进行讨论以便于参考。在6.23节“工艺选择”的最后，各种工艺按生产规模大小进行排列，且配以产品的尺寸表（表6-1）。

6.2　吹塑

6.2.1　工艺

一般认为吹塑成型（图6-1）是大批量制造瓶类制品的传统工艺，等同于玻璃吹制。在挤出吹塑中，预成型件被挤出成管状，也即型坯（小而复杂的形状可以采用注射型坯，我们称之为注射吹塑）。把型坯放入模具中，合上模具，吹入压缩空气，使型坯具有模具的形状。接着打开模具，取出零件，然后开始新的循环。

吹塑只能用于成型热塑性塑料，由于它是低压工艺，所以加工成本适中。吹塑成型的理想件是类似于汽水瓶状的零件。

大型中空制品可以由所谓的工业吹塑工艺制造出来。从产品设计的角度出发，这种选择是追求利益最大化。而且，相当平坦的双层面板（厚度为1in）已经可以进行吹塑生产，但产品边缘存在拉伸问题。可以使用加强筋进行增强，也可以在空腔中加入泡沫进一步加固。通过把模具分成各个独立部分，吹塑也可以用于生产敞口零件。

6.2.2　装配考虑

跟传统的瓶子的生产工艺一样，为了进行瓶盖装配而生产的模塑螺纹需要进行精密的实验。瓶盖业自身也是一个激烈竞争的行业，各种各样的瓶坯可以制成简单和高度精密的独特的防儿童误食、易于修改的制品。在吹塑工艺中，应严密控制瓶

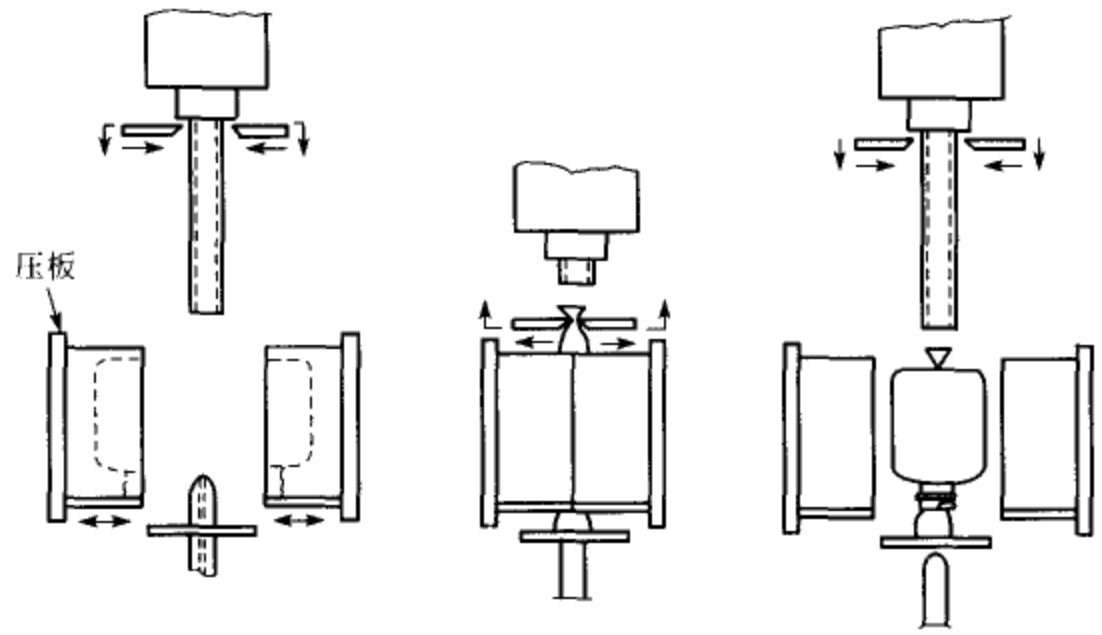


图 6-1 挤出吹塑原理图

左边，挤出型坯；中间，向吹塑模具内注入压缩空气以吹胀型坯；右边，打开模具，取出制品（Belofoky，Harold 的《塑料：产品设计与加工工程》，第 353 页）

颈公差。在工业吹塑件的设计中，常常把几个较小的零件集成制得大的中空件，因而大大省去了装配的麻烦。零件通常由对接搭板或紧固件固定。由于吹塑无法成型开孔，所以后者需要的孔必须由二次机加工成型。吹塑成型也可以在零件成型用孔，但主要是为了大型开口，如把手。如果这种通孔想要原位成型的话，它们的大小、数量以及位置都将成为必须考虑的问题。一些油罐上原位开孔，考虑了重力的因素，经过特殊设计以适应填充和热膨胀的影响。交错开槽可以使大公差变为可能。

必须考虑到装配选择窄公差在经济上是不合适的。只有产品外部尺寸可以由模具进行控制，内部尺寸则由外部尺寸和壁厚共同决定。由于壁厚由模具面上的塑料拉伸决定，因而并不均匀。欲实现紧公差则必须进行后处理。

工业吹塑很少使用一个以上的模具，因而模具之间的变化问题并不常见。然而，外部尺寸由熔融温度、施于型坯上的压力和冷却参数共同决定。所以，产品无法达到精细的压力配合与搭扣配合所要求的公差。有时可以利用吹塑工艺粗略地获得韧性良好的薄壁制品，并且可以有少量的倒陷。

有时通过把两个零件成型为一件用于压力配合与搭扣配合。两个零件之间的连接部分去除后，可以很好地配合在一起。由于二者作为一件成型，尺寸同时过大或过小。这样便避免了零件与零件之间的变化，因而优于旋转成型的零件。

作为热塑性加工工艺，吹塑制得的零件理论上可以采用任何一种焊接技术。然而实际上，由于考虑到该工艺本身的特性，不可避免地带来一些限制。例如，在超声波焊接中就必须采用能量探测器，不能只是简单焊接。对于内壁来说，就很难提供热板焊接与振动焊接所要求的平面度。

双色吹塑可以采用共挤出的方法来实现。商标也可以成型到零件上。模塑嵌件有一定限制，但经过后处理的嵌件可以由热焊接或超声波焊接加以安置。胶黏

剂也可以使用；然而，由于吹塑中使用的材料一般为聚烯烃类塑料，而对于这类塑料很难选用胶黏剂；因而胶黏剂并不常使用。对于聚烯烃塑料来说，可以使用热熔胶。

溶剂焊接也出现了类似的情况。如果想知道某一种特定材料是否可以采用溶剂焊接的话，可以参考第 5 章“按照材料选择装配方法”中的材料表。

6.3　铸造、浇铸以及灌铸

6.3.1　工艺

此类加工工艺，既可以是开模也可以是闭模，并且没有压力或真空。原料由可反应的两组分混合而成。将原料倒入模具中，并发生化学反应，见图 6-2。由于模具成本原因，这个工艺有时用于原型。可用的材料有环氧树脂、聚酯、硅树脂、聚氨酯以及丙烯酸类塑料。可铸造的弹性体包括室温下的交联橡胶、弹性聚氨酯、弹性硅橡胶以及聚砜。

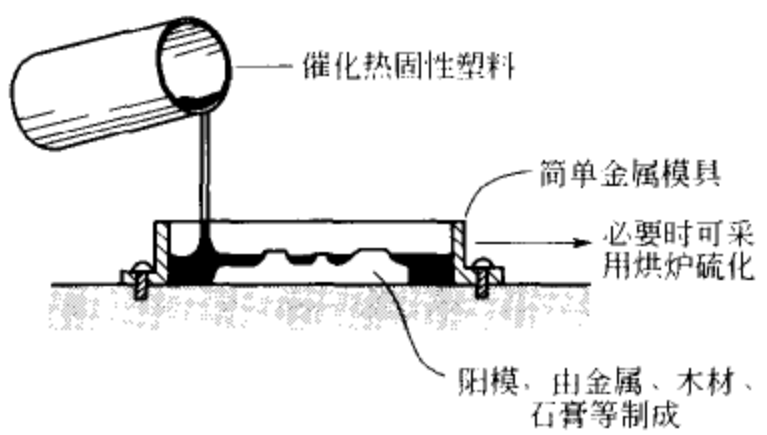


图 6-2　热固性塑料的浇铸
（Rosato，D. V.，Rosato 的《塑料百科全书与字典》，第 92 页）

6.3.2　装配考虑

铸造本身可以作为一种装配方法使用，并用于必须在模具中安放物品或增强体的场合。有时也会涉及嵌铸，它是一种把物品完全嵌入塑料件中的工艺。它也可以被称为浇铸、浸铸或灌铸。双色铸造也容易完成。

作为一种低压、闭模工艺，铸造技术使用频繁；由于模具可以由模型直接铸造得到，因此模具造价一直很低。铸造周期长，因而单个零件造价高。对于铸造的装配可以采用热固性加工中使用的装配方法。尽管嵌件极易成型，但报废件中的嵌件难以回收。因为这类材料经常为热固性塑料，所以嵌件无法熔融。这一点也限制了铸造中热焊接的应用。

由于铸造一般为小批量工艺，大批量装配方法需要极为昂贵的模具加工，因而通常并不采用。常用装配方法一般为紧固件，用于成型后必须钻孔且公差要求小的情况。搭扣配合需要的倒陷和侧抽芯孔无法得到。很难铸造螺钉，而且控制壁厚也并非易事。

6.4　共挤成型

见 6.8.2 节。

6.5 共注成型

见 6.19 节。

6.6 冷压成型

6.6.1 工艺

冷压成型属于热固性工艺，且为闭模成型。增强体以毡或预成型件的形式置于模具中。预定量的树脂被喷淋或直接倒入模具中，然后合模。模压很低，且成型周期 3～6min。除了没有加热以外，整个工艺与压制成型相似（图 6-3）。

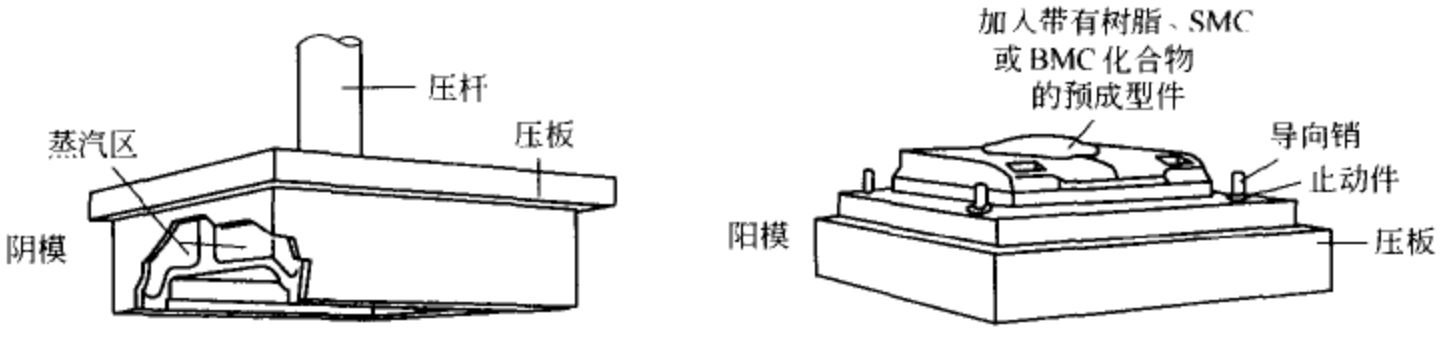


图 6-3 压制或合模复合成型
（Belofoky，Harold 的《塑料：产品设计与加工工程》，446 页）

在热固性工艺中，当反应注射成型（RIM）不予考虑时（材料使用受限），冷压成型在应用上位于树脂传递模塑（RTM）与压制成型之间。加工费用和 RTM 近似相当。然而，冷压成型不适用于带倒陷和附加特殊增强体的复杂制件的设计和制造。

6.6.2 装配考虑

冷压成型的零件常常作为装配中的结构件使用，而其他的热固性工艺（例如 RTM 或 SMC）则用于制造外部件。胶黏剂粘接是冷压成型最常采用的装配方法。一般不采用溶剂，因为用于冷压成型的材料不易溶焊。

由于冷压成型是一种热固性工艺，因而所有含加热工序的装配方法均不适用。这样就排除了热气体焊接、热板/熔融焊接、感应/电磁焊接、超声波焊接、振动焊接以及锻接。有一种适宜的锻件，就是将压入式紧固件置于一个柱上，经常用于热固性零件的制造。这种柱较脆，因“富含树脂”——它们几乎不含玻璃纤维增强体。

在冷压工艺中使用的嵌件一般不能进行模塑。然而，在某些环境下它们可以模塑在限定的基板上。例如，标签就可以模塑，但却不能双色成型。后处理嵌件就不能使用热或超声波装配，压入式嵌件则一般需与胶黏剂配套使用。当然，也可以使

用膨胀、螺旋线圈和自攻嵌件。螺钉在极个别情况下可以进行模塑。

换言之，以上诸多的限制也意味着压力配合与卡扣配合不常使用。模塑公差同样难以控制。壁厚公差要求为±0.50mm（±0.020in）。紧固件则常用于那些不能使用胶黏剂的场合。

6.7　压制成型

6.7.1　工艺

作为人类工业史上最古老的成型工艺之一，压制成型工艺已经经历了重大的演变。如图 6-3 中所示，树脂被放置于已加热的模具中，然后合模。施加压力并在热的共同作用下使聚合物发生交联，使其再也无法回复到原有形状。紧接着，从模具中取出零件，开始新一轮生产。尽管并没有任何因素影响压制成型工艺对热塑性塑料进行加工，但一般我们认为这一工艺只用于加工热固性塑料。

对于未增强或短纤维增强的热固性塑料，压制成型找到了它最大的产品市场，即电子元件或耐热的家用器具（如盘、碟或烟灰缸）。

对于长纤维增强的热固性塑料，压制成型则经常涉及该类物料的使用。

6.7.2　BMC：预制整体模塑料

在 BMC（bulk molding compound）的应用中，0.25～0.5in 长的增强丝与其他填料一起填入塑料。混合料制成球状、厚片状或圆柱状，然后置于模具中。这是添加增强材料最经济实用的方法，适用于对零件强度要求不是很高的情况。

6.7.3　SMC：片状成型料

用于 SMC（sheet molding compound）的增强纤维长度不限，但一般很少超过 3in。这些纤维被铺在树脂糊上，然后制成片状，并按照一定量放入模具。SMC 一般用于高强度应用，如早期用于制造牵引拖拉机车罩和挡板。

SMC 的最新发展是在原有模压的 20%～40%下对模塑料进行加工。这种模塑料的好处就在于在给定的压机上成型零件尺寸可以增大。我们把这类模塑料称为低压模塑料（LPMC）或低压 SMC。

压制成型可以带来可观的经济效益。但它需要有能承受足够高压的合模装置（包括两部分）。因此，模具加工费用仍然很高，而且生产时间也较长。

6.7.4　装配考虑

由于压制成型是一种热固性工艺，所以需要加热的装配方法皆不适用。有一种适宜的锻件，就是将压入式紧固件置于一个柱上，经常用于热固性零件的制造。这种柱较脆，却“富含树脂”——它们几乎不含玻璃纤维增强材料。如果采用聚酯作

原料，由于缺少增强材料，制得的零件很脆。

倒陷可以在 SMC 和 BMC 上有少量的应用，但不使用倒陷并没有什么特殊的原因。在某些情况下允许侧抽，因而可以使用卡扣配合。公差控制良好，因而可以使用压力配合。

嵌件易于模塑，且一般为模塑件；然而这项工艺非常耗时，且从经济上考虑，报废零件中的嵌件也不易回收利用。采用模塑嵌件将大大提高零件成本。后处理嵌件不能采用热或超声波嵌入，而压入式嵌件在装配时与胶黏剂配套使用。同时，也可以采用膨胀、自攻以及螺旋线圈嵌件，螺钉也可以在一定程度上进行模塑，标签也可以模塑。两个零件必要时也可以共同成型，但采用其他工艺的效率更高。

尽管侧孔与其他沿模压方向上的孔都可以进行模塑，但最好还是在成型后再进行机加工。对孔进行模塑常导致孔附近缺少增强材料。而机加工则具有很高的精确性。压制成型中最常使用不需要胶黏剂的紧固件。

胶黏剂对压制成型来说非常重要。但只有用酚醛树脂制得的零件才易于溶焊，而且也只能用酚醛和尼龙作溶剂。

6.8 挤出成型

6.8.1 工艺

基本的挤出工艺是：树脂从料斗进入加热的机筒中；转动螺杆带动原料在机筒内运动并逐步熔融；经过机头，成型所需要的形状；在机头之后有一冷却装置使挤出料定型。

如图 6-4（a）所示，整个挤出设备由带料斗的机筒和机头组成。物料通过料斗进入机筒。随着螺杆的转动，树脂在向机头输送的过程中实现混合与塑化。

物料通过过滤网以及多孔板进入机头。机头决定了挤出产品的最终形状。根据所成型产品（薄膜、片材、管材、型材等）的不同，成品可以按长度切断、层叠或收卷。

挤出的型材可以带有整体式铰链，因而不需要单独制造铰链并装配。如果想使装配的零件更牢固，可以用其他材料并通过歧口和槽使其强制配合。在某些情况下，人们更愿意使用溶剂或胶黏剂进行零件连接。

空心制品（除简单管材外）在一定程度上可以挤出成型——因而减少了需要的装配操作。采用这一工艺，制品在外形上必须保持一致。不满足这一点时，则可以考虑使用挤出吹塑或双层片材热成型工艺。

从饮料吸管到片材，挤出工艺可以制造很多不同形状的产品。硬质材料必须进行裁切，而软质材料则可以收卷。挤出工艺是一种热塑性工艺，尽管热固性塑料也可以由某些特殊设备进行挤出。作为挤出吹塑成型的第一道工序，挤出成型显得非常重要。而且它也经常用于片材的热成型工艺。

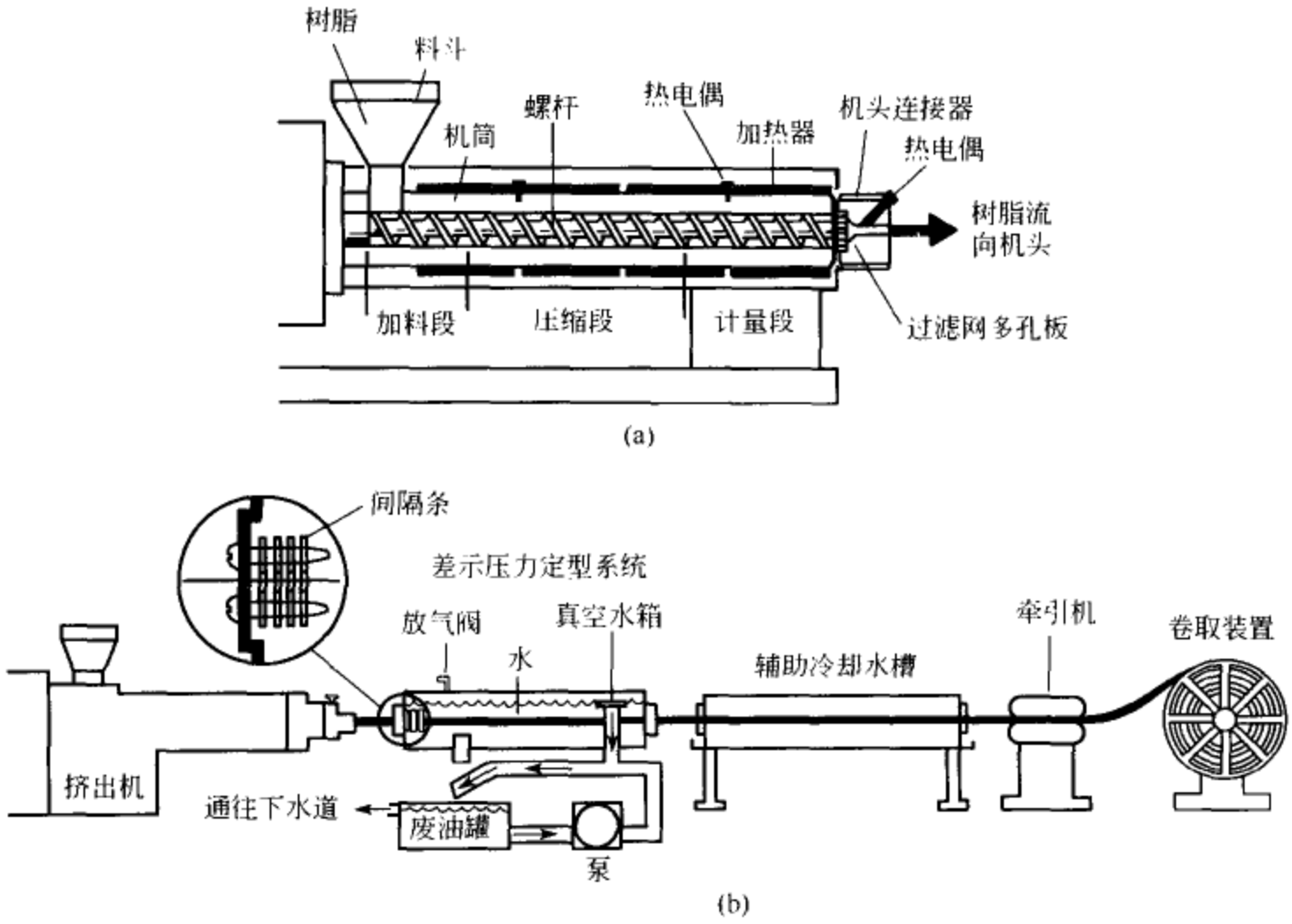


图 6-4　(a) 单螺杆挤出机的横截面图；(b) 标准的管材挤出生产线

(Rosato，D. V，Rosato 的《塑料百科全书与字典》，第 240 页和第 255 页)

6.8.2　共挤出工艺

层压制品可以由来自不同机筒的两种相容树脂共同挤出，并通过同一机头而制得。这种工艺即称为共挤出工艺，它是利用加热的方法把各层物料连接到一起的。也可以制造多层的层压制品。

共挤出工艺一般使用两台挤出机，挤出原料为相容的不同塑料或不同颜色的相同塑料。沿着一条流道，两股树脂熔体同时流动，最终粘接在一起。否则，两个零件将不得不使用装配的方法实现连接。

如果其中的一层置于另一层之上，则有可能形成阻隔层（也即“盖片”）——它可以保护基体材料不受紫外线辐射，并阻止水分渗透。这种多层技术一般用于热成型食品包装薄膜。在某些情况下，硬质材料可以置于软质材料之上，也可以倒过来。

两种材料也可以并排共挤出——例如，在容器的设计中要求一半有颜色一半透明；这种容器可以通过热成型，使得底部带有颜色而顶部透明。在不同材料间成型铰链，由于使用了极薄的片材或薄膜，因而有足够的韧性模塑成型卡扣配合。这样，该容器除了放满东西时需要关上以外，完全不需要再进行装配操作。

6.8.3 装配考虑

从装配角度来看，挤出制品的尺寸稳定性良好（切断方向除外）。挤出可以一次成型任何字母，而其他工艺则只能通过多个零件组装得到。管材可以由共挤出工艺制成圆形、方形、矩形以至任意形状。一种半韧材料可以经共挤出成型有铰链连接的两种不同形状的零件；唯一的前提条件就是零件的轮廓线必须在同一平面内连续；在该平面开孔必须采用机加工。在交叉方向上不能有侧开孔和倒陷。双色挤出易由共挤出实现。

由于挤出是热塑性工艺，因而从理论上说，它可以使用大多数有加热的工艺。但实际上，由于各种工艺的性质不同而会有所限制。在超声波焊接中使用能量探测器比较困难，因而几乎不能使用。如果零件一般为切割边缘，那么可以使用超声波剪切焊。然而，这就需要机加工对公差进行控制。而且，这将是个特殊应用，因为挤出件必须足够短以至达到切割边缘。振动焊接理论上是可行的，但挤出件却不允许有驱动表面——而这对于振动焊接来说是非常必要的。旋转焊可以在孔或挤出管末端进行，但仍需要二次加工，除非旋转焊件为配套零件。

不同的热板/熔融焊接可以应用于包装用塑料袋的制造中。机头封口和挤出薄壁管的切割自动化程度高；大口径、硬质管材则常跟注射成型的盖板，在管末端通过压力配合连接在一起。跟其他形状的零件相比，它们的应用几乎不受任何影响。

塑料可以包覆挤出（如电线）。另一方面，挤出螺纹嵌件却不能使用。可以采用预挤出嵌件，但必须在二次加工中钻孔或置于挤出件末端。除非紧固件必须置于挤出件末端，否则都必须在二次加工中钻孔。嵌件可以通过热或超声波等方法置于孔中。不能使用模塑螺钉。

只要材料允许，都可以使用热气体或溶剂对挤出件进行焊接。电磁/感应焊接，尽管在理论上可行，但从经济角度上考虑却欠佳，因为嵌件必须进行二次加工。

6.9 缠绕成型

6.9.1 工艺

缠绕成型是生产耐压容器的一种特殊的传统工艺。树脂浸渍的细丝缠绕在芯筒上，如图 6-5 所示。不同的缠绕方式如图 6-6 所示，视应用而定。除了耐压容器以外，缠绕成型另一个高强度应用是用作火箭发动机壳体、喷管、直升机螺旋桨、汽车板簧以及飞机零件等。小口径的管（耐压值可达 2000psi）可以用于化工领域。缠绕成型投入低，却能提供极高的强度。

6.9.2 装配考虑

适用于缠绕成型的装配方法极其有限。尽管配件尺寸可以得到有效控制，但倒

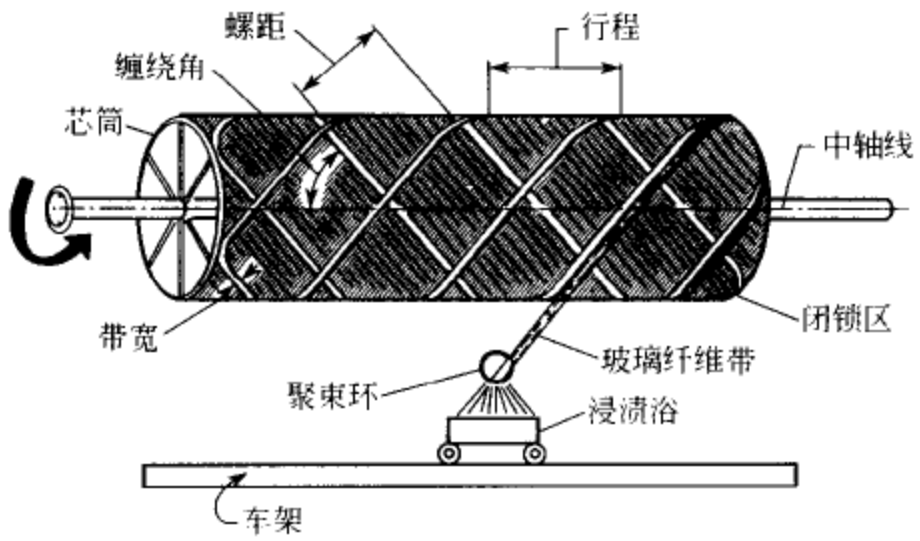


图 6-5　使用螺旋缠绕形式的缠绕成型图

(Rosato，D. V，Rosato 的《塑料百科全书与字典》，289 页)

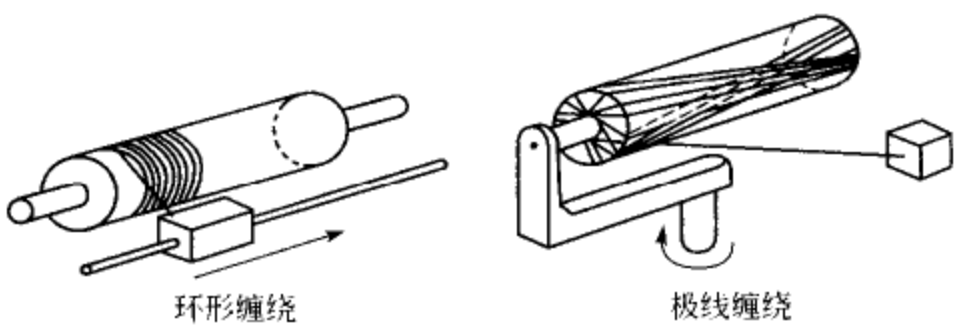


图 6-6　环形和极线形缠绕图示

(Rosato，D. V，Rosato 的《塑料百科全书与字典》，289 页)

陷、压入式嵌件、侧向开孔等仍无法使用。由于所用的材料一般都是热固性塑料，因而也没有一种焊接技术可供使用。也不存在双色缠绕成型。

胶黏剂可以用于装配缠绕成型的零件；金属嵌件有时也可以放入零件中。零件外形上应该有台阶。

6.10　气体辅助注射成型

见 6.12 节。

6.11　气控压塑结构发泡成型

见 6.19 节。

6.12　注塑成型

6.12.1　工艺

尽管很多塑料可以挤出成型，但注射成型仍然是使用最广泛的塑料加工方法之

一。在一定程度上，两种工艺非常相似：树脂经过料斗进入加热的机筒。物料由一转动螺杆送入喷嘴中。在注射成型中，整个螺杆在压力下将塑料熔体注入模具。止逆阀可以阻止螺杆返回时，塑料熔体回流至机筒中。注塑成型机见 15 章（图 15-17）。

成型能力、材料使用的广泛性以及优异的可控性是该工艺成功的关键。模具制造者成功地制造出从任何方向侧抽的复杂模具。剖分型芯已经不再成为问题，而且采用特殊设备还可以注射成型热固性塑料。在热、压的共同作用下，熔体能够充满模腔，而且可以把多个零件设计为一个零件，因而省去了装配的成本（然而加工的成本很高）。众多的塑料使得产品制造者有了极大的选择空间。

近来，有很多新的应用尝试，然而无法达到目的。问题就出在有效时间的减小，维持可接受的水平相应耗费的模具成本太高；而且多腔控制也太过于复杂。

气体辅助注射是该工艺的一个变种，就在熔体进入模具同时或之后，气体马上被注入熔体芯部。这样，熔体中心将会被气体掏空，使得制品壁厚较传统注塑工艺易于控制，且提供更高的刚性和更好的熔融流动。另一个好处就是由于壁厚减小，制品重量和材料使用量都减小。与传统注塑相比，气体辅助注射成型周期长，但它保持了结构发泡质轻的优点。例如，改变如方向盘或真空吸尘器手柄等产品的“质感”或“重量”。

6.12.2 装配方法

这里所涉及的将是热塑性注射成型工艺。热固性注射成型工艺的讨论可以参看 6.22 节“传递模塑成型”。

基本上所有的装配方法都可以用于注塑制件。制件大小是最主要的限制原因。随着制件尺寸的增大，能成型这些制品的成型设备将会明显减少。垃圾箱可以注射成型，但能按照尺寸制造出垃圾箱的传统注塑机却很少。甚至于更大的注塑件，尽管可以有广泛应用，但成型这些制品的注塑机需要由机械生产商进行特殊制造。

热塑性注射成型可以用于倒陷、侧向开孔、可控壁厚、特殊细节以及窄的模塑公差（机加工可更窄）；因而易于使用压力配合或是卡扣配合。

注塑工艺也可以同时成型 2～3 个零件。尽管嵌件也可以模塑，但如果同时有多个嵌件必须嵌入同一零件时会明显减慢成型周期。有时可以使用往复施压，使得嵌件置于模具一侧而零件在另一侧成型。在热塑性注塑中，嵌件可以使用超声波嵌入。后成型嵌件可以在加热或超声波条件下使用。也可以使用膨胀嵌件，但由于其他方法更为有效，因而常常被忽略。胶黏剂装配嵌件也如上所述。

自攻和螺纹成型螺钉皆可以使用，取决于特定材料的弹性模量。为获得某一特定应用可以使用很多特殊的紧固件。螺栓和螺母都可以进行模塑。注塑是制造瓶盖的常用方法。

热板/熔融焊接、电磁/感应焊接、旋转焊、振动焊接以及超声波焊接都可以用于注塑件。热气体焊接可以应用，但更适用于体积比典型注塑件更小的制品。溶焊可以广泛用于小件制品，但还应视材料而定。

6.13　叠铺成型和喷射成型

6.13.1　工艺

叠铺成型和喷射成型一般用于制造大型零件。使用开口模具，而且至今仍未受到限制。聚酯涂层由表面或凝胶层、增强层和内层树脂构成。在某些情况下，增添附加层可以提供更高的强度，模具成本低，但成型时间太慢，而且许多模具要求有很大的体积。

“叠铺”和“喷射”都涉及使用增强体的方法。在叠铺工艺中，增强垫只是简单的铺在凝胶层上。在喷射工艺中，见图 6-7（a），玻璃纤维喷淋到凝胶层上。材料铺好之后，用轧辊除去气泡，见图 6-7（b）。喷射成型速度快，但叠铺获得的强度高。在两种情况下，都只有零件的一边得到平整的表面。

由于模具是开放的，只有一个面，因而无法对零件内部细节进行模塑。加强筋和其他内部结构只能由胶黏剂或螺钉来实现。但对增强体的熟练使用可以降低对某些内部结构的依赖性。因而可以降低制品的总成本。

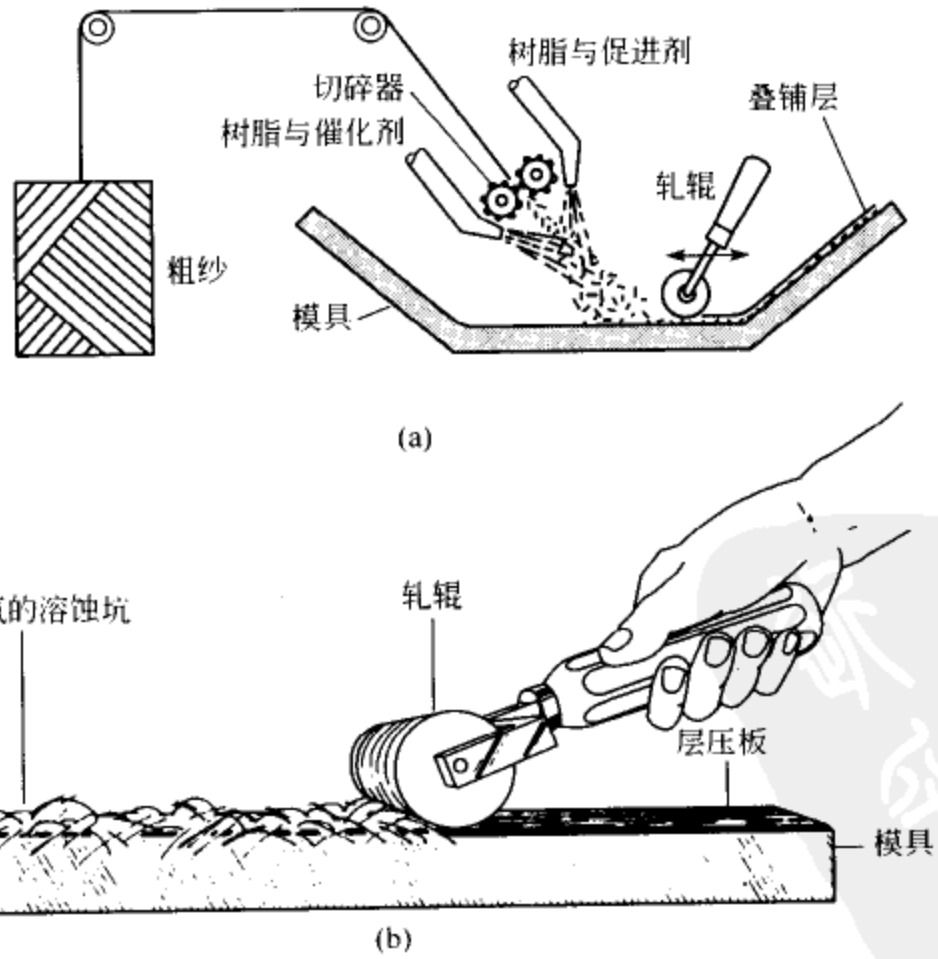


图 6-7　（a）两点无气喷射装置；（b）用轧辊压实喷射物

（Rosato，D. V，Rosato 的《塑料百科全书与字典》，707 页）

6.13.2 装配考虑

从装配角度来说，叠铺工艺最本质的优点在于可以把多个零件变成一个整体。其他工艺中必须进行装配的多个元件在叠铺工艺中可以作为一个零件而模塑成型。例如，叠铺工艺可以成型大型船体。这是在今天来说为数不多的整体成型件之一。甚至于现在，150ft 长的扫雷船也是采用的这种船体。

然而还不能说零件联合的目的可以很容易达到。在钻孔和装饰过程中，零件易发生分层剥离。该工艺的公差也必须变宽。壁厚很难控制在±0.50mm 内。对已成型产品的处理占主要的费用，产品越大，问题越多。而用这种工艺制得的零件通常很大。因而，尽管可以允许有倒陷，但压力配合与卡扣配合一般不适用。侧向开孔也不能使用。胶黏剂和紧固件是常用的装配方法。

螺钉无法进行模塑，但嵌件可以。由于成型周期很长，因而将嵌件放入模具的时间可以忽略不计。模塑后嵌件不能采用加热或超声波嵌入，但配合使用胶黏剂增强可以压入。也可以使用膨胀、螺旋线圈以及自攻嵌件。紧固件的孔不易模塑，宜在成型后再进行机加工。该工艺不能同时模塑两种颜色，但标签可以模塑。

没有一种加热装配方法（热气体焊接、热板/熔融焊接、感应/电磁焊接、旋转焊接、超声波焊接、振动焊接以及锻接）能用于叠铺、喷射工艺，因为它们是热固性工艺。

6.14 机加工

6.14.1 工艺

机加工一般主要用于塑料的二次加工。这一点在每一节中将分别予以讨论。这里只讨论机加工作为一次加工的情况。

设计者和工程师一般都只注意那些只与塑料有关的加工工艺，而忽略了传统的加工工艺。塑料也可以像其他材料一样加工，产生少量碎屑，而且毛坯料也容易变形成与最终产品非常接近的形状。

6.14.2 热塑性塑料

大多数用于加工其他材料的机加工方法都可以用于热塑性塑料，但也存在一定限制。显而易见，在机加工中产生的热量会使热塑性塑料熔融，如钻头、砂轮等会遇到熔融了的塑料。熔融料必须尽量减小且应经常除去以保证尺寸控制。如果加热没有使塑料熔融，但仍会导致热膨胀和切削困难。而且许多塑料韧性大，无法固定以进行机加工而不变形。还有在施加压力使用切削工具时，它们往往会下垂，影响切削效果。在进行机加工前将塑料冷冻有助于解决这一问题。有些塑料极脆，在加工时应予以重视。

对机加工来说，最大的限制就在于成本。即使是最廉价的塑料，其价格也往往高于大多数的木材或金属。塑料之所以用作低价产品，是因为它们不仅在加工中产生少量或几乎不产生碎屑，而且还有效地减少了装配和装饰等操作的花费。所以，使用同一种工艺，加工价格竞争弱的材料是缺乏经济头脑的，除非真的需要具有某一特殊性能的塑料。

使用有效的加工设备，而不使用刀具，可以制得大多数的塑料样品。但本书作者经过多次实践，在此敬告读者，没有必要对这些模型进行强度或耐疲劳测试。原因在于通过机加工后的产品，其内部结构和残余应力均与其他工艺制得的制品有显著的不同。所以说，这种测试得出的结果并不可靠。其他工艺制造的样品可以得到更可信的结论。然而，即使如此，为证明其准确性，也还是得防止产品生产后问题的继续发展。

一般来说，塑料使用机加工只是作为其他加工的一种辅助手段；关于这一点已见于各种工艺。然而，把机加工与其他工艺结合起来也会带来有利的一面。例如，钻孔可以减去侧抽作业的费用。这类步骤可以用于那些无法承担高额加工费用的小批量制品，以及减少带风险性的新产品的“入门费用”。

6.14.3　热固性塑料

跟热塑性塑料一样，热固性塑料也可以采用机加工。事实上，由于熔融因素影响较小，大多数热固性塑料比热塑性塑料更容易切削。当然，对切削表面的局部加热仍然是个问题，温度相对更高，有可能导致材料炭化或燃烧。

仍然有相当量的机加工工艺被用于热固性塑料，因为除了少数情况下，去除毛刺对热固性成型工艺来说是必要的。由于热固性塑料模塑困难，钻孔和切制开口也经常用于某些工艺。

6.14.4　装配考虑

机加工的优点如下：它可以提供高精度，加工费用不高；可同时用于热塑性塑料和热固性塑料。当材料为热固性塑料时，没有一种加热的装配方法适用。这就略去了热气焊接、热板/熔融焊接、感应/电磁焊接、旋转焊接、超声波焊接、振动焊接以及锻接。基本上，只剩下胶黏剂和紧固件可适用于热固性机加工零件。可以使用攻制、自攻式螺钉。嵌件可以是自攻、螺旋线圈、压入式或膨胀嵌件配以胶黏剂增强。

实际上，上述装配方法都可以用于热塑性机加工零件。但出于经济考虑，机加工经常用于小型制品的加工。除了热气体焊接和旋转焊接，大多数的加热工艺都不太适合于机加工制品。

热板/熔融焊接不需太多投入便可以用于机加工，但产品加工对体积非常敏感。使用超声波焊接必需使用能量探测器，对机加工产品来说，花费太大，甚至于很难用于制造原型。热和超声波很容易装配螺纹嵌件。尽管感应/电磁焊接和振动焊接

理论上可行，但经济上很难接受。

6.15 拉挤成型

6.15.1 工艺

通过提供特定型材的纤维增强，拉挤成型可以用于结构件的应用。玻璃纤维束从卷筒出来，经过树脂浴，沾上树脂涂层。接着经过加热口模定型并固化。固化后，成品被按一定长度进行切割。整个拉挤生产线如图 6-8 所示。

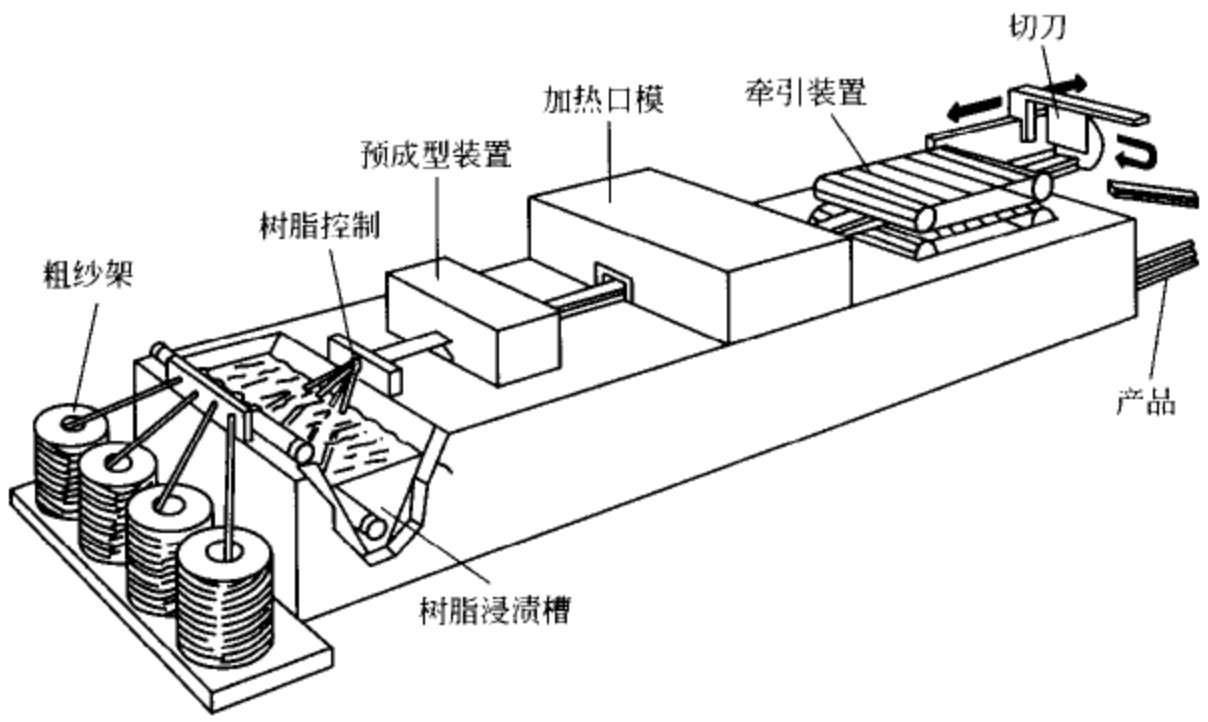


图 6-8 拉挤装置图

处理时不会产生副产品的树脂（如聚酯和环氧树脂）适合于这种工艺。

玻璃纤维布和经表面处理的幔可以用于粗纱

（Belofoky，Harold，《塑料：产品设计与加工工程》，454 页）

拉挤成型基本上应用于热固性塑料，也可以用于某些热塑性塑料。这种工艺制造的工业产品包括轻质棒、风轮机叶片和结构梁等。消费产品包括鱼竿、雪橇杆和旗杆等。拉挤成型工艺最显著的优点就在于它制造出来的零件具有很高的回弹性。拉挤产品可以承受很高的挠曲，仍可以回复到以前的形状。

在强度不是特别高的情况下，一般常用挤出成型制造型材。在高强度情况下，增强体经过拉挤成型是很有必要的。所以拉挤成型一般是在要求高强度热塑性塑料、挤出费用高过拉挤成型时使用。

6.15.2 装配考虑

由于拉挤成型基本上是热固性工艺，因而没有一种焊接工艺可用。而且拉挤的形状在缺口和孔处应力不能消除。在某些情况下，孔和增强体在拉挤方向上是一致

的，拉挤工艺无法双色成型，尺寸可以控制在公差范围内。紧固件和胶黏剂是拉挤成型件的常用装配方法。膨胀、自攻、螺旋线圈以及压入式嵌件都可以使用。然而，压入式嵌件必须由胶黏剂辅助增强。

6.16　反应注塑成型（RIM）

6.16.1　工艺

RIM 工艺其实是把两道工序结合到一起的一种方法。不仅成型零件，而且产生塑料。这是通过把在高压下可以反应的两种或更多的液态化合物混合在一起，见图 6-9。混合液在 100psi 下被注入模具中；反应在模具中进行。低压可以保证使用低强度的模具，而这样也就与压制成型和注射成型区分开来。而且，RIM 成本相对较低。模具越大，这种优势便越突出。成型周期很长，但能成型具有更高价值的制件。

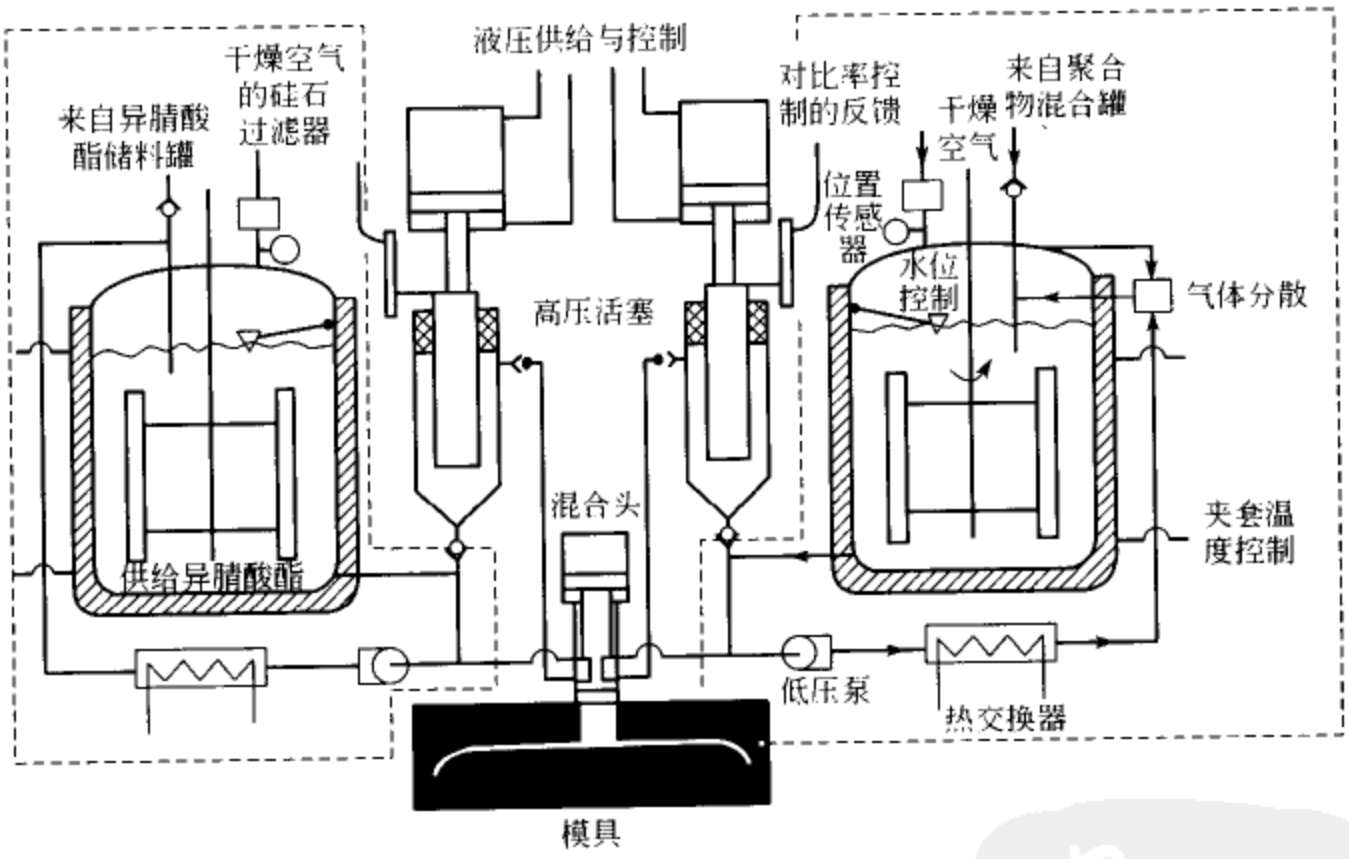


图 6-9　RIM 设备在低压循环下的元件和流道

低压二次循环用虚线表示

（Belofoky，Harold 的《塑料：产品设计与加工工程》，449 页）

对 RIM 来说，真正的缺陷来自材料的限制。通常使用的塑料是热固性聚氨酯。环氧、尼龙、交联聚乙烯（polydicyclopentadiene）以及聚酯等都有少量应用。

RIM 最常用于汽车领域，制造汽车挡板等零件。然而，RIM 也可以成功地应用于制造大型制件。增强反应注射（RRIM）是 RIM 的变种，使用预制短纤维作

为增强体。

6.16.2 装配考虑

RIM 是一种热固性工艺，因而所有需加热的装配方法都不适用。这就去掉了热气体焊接、热板/熔融焊接、感应/电磁焊接、超声波焊接、振动焊接以及锻接。但在一个柱上压上嵌件的锻接经常用于热固性零件。

嵌件可以模塑，但耗时且增加了循环周期，而且报废件中的嵌件难以回收。成型后嵌件可以压入，配以胶黏剂，但不能使用加热或超声波法。也可以使用膨胀、自攻以及螺旋线圈嵌件。

紧固件的孔可以模塑，在拉拔和侧孔方向上都可以。螺纹也可以模塑。紧固件和胶黏剂是 RIM 零件最常用的装配方法。

可以使用倒陷，但费用很高。不使用它们没有什么特殊的理由。公差可以得到有效控制。有些 RIM 材料的韧性好，可以使用压力配合和卡扣配合，但不常使用；因为 RIM 的制品太大以至于不能很好地利用上述方法。反应注射成型不能生产双色制品。

6.17 树脂传递模塑（RTM）

6.17.1 工艺

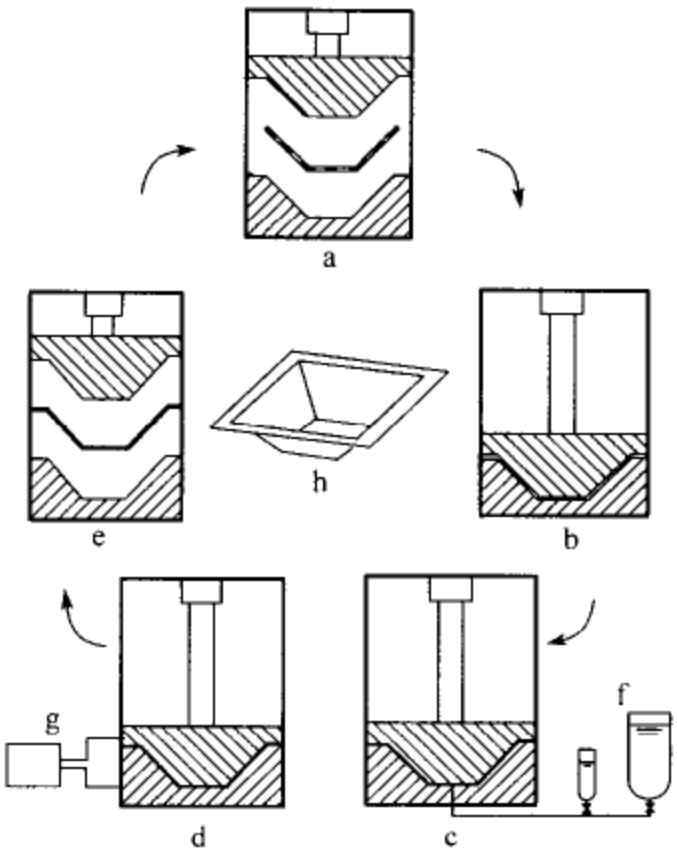
RTM 是一种闭模成型工艺，是叠铺成型和喷射成型的进一步发展，能制造大型、复杂的零件，且壁厚均匀。增强体可以是垫或预制片，铺于模具上，而且模具关闭，聚酯在低压下注入模具中，整个工艺流程可见图 6-10（a），设备见图 6-10（b）。

这种低压工艺可以允许使用相对价格较低的模具。成型周期非常长。廉价模具带来的好处由于成型件而失去。但是，RTM 对于中小体积、要求内外表面平滑的零件加工是非常优异的。

6.17.2 装配考虑

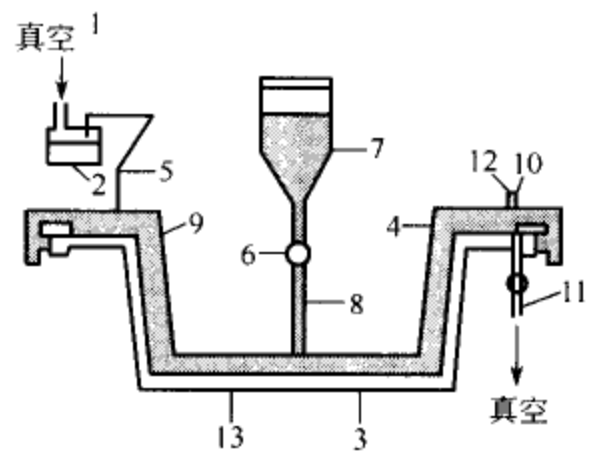
由于 RTM 是一种热固性工艺，因而所有需加热的装配方法都不适用。这就去掉了热气体焊接、热板/熔融焊接、感应/电磁焊接、超声波焊接、振动焊接以及锻接。尺寸控制良好，而且倒陷可以使用侧抽和剖分模具成型。不过，一般来说，压力配合和卡扣配合不推荐使用。RTM 不能生产双色制品。

嵌件可以模塑得相当好，但非常耗时，而且报废件中的嵌件难以回收。模塑嵌件还大大增加了零件的成本。也可以使用膨胀嵌件、螺旋线圈嵌件和自攻嵌件，压入式嵌件必需跟胶黏剂配合使用。在某些情况下，紧固件的螺纹孔可以在成型方向和侧抽方向上模塑，但实际上并不采用。通常来说，最好还是在成型后再钻孔为宜。RTM 不能实现双色成型，但标签可以进行模塑。



(a)

a 放上增强体或预成型件；b 合模；c 注入液体塑料混合物；d 对塑料进行加热固化；e 脱模；f 塑料储存（图中未显示）；g 模具热控制；h RTM 工艺制得的零件



(b)

1　真空度 27°Hg；2—树脂槽；3—下模；4—上模；5—抽吸树脂的真空管道；6—树脂隔断阀；7—树脂储槽；8—注入管道；9　树脂抽吸流道；10—橡胶密封；11—真空度 5°Hg；12—真空模具合模管；13—FRP 成型

图 6-10　(a) RTM 的加工循环；(b) RTM 液体塑料进入模具顶部

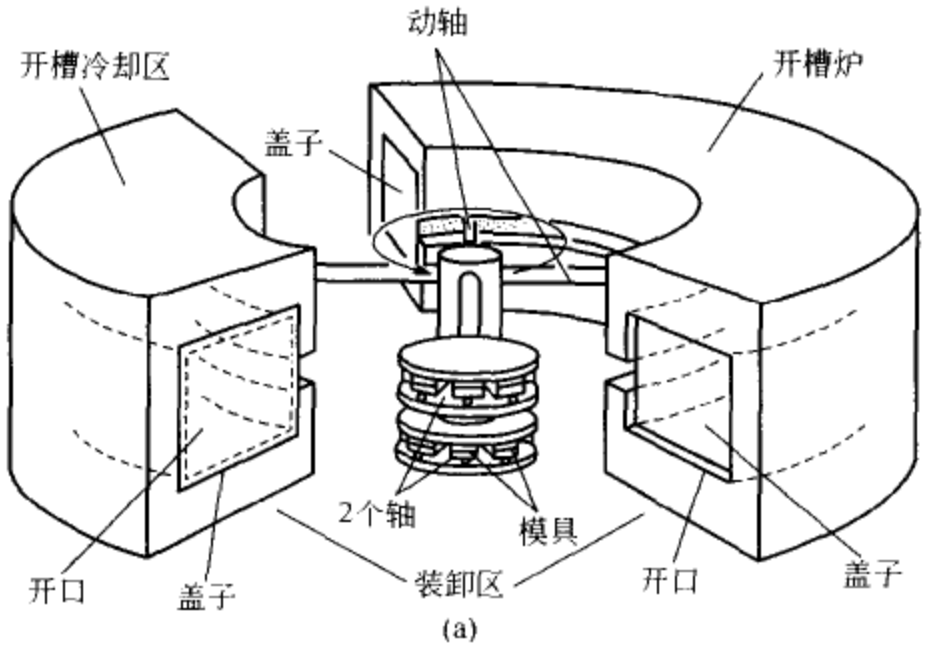
(Rosato D. V.，Rosato 的《塑料百科全书与字典》，644～645 页)

6.18　滚塑成型

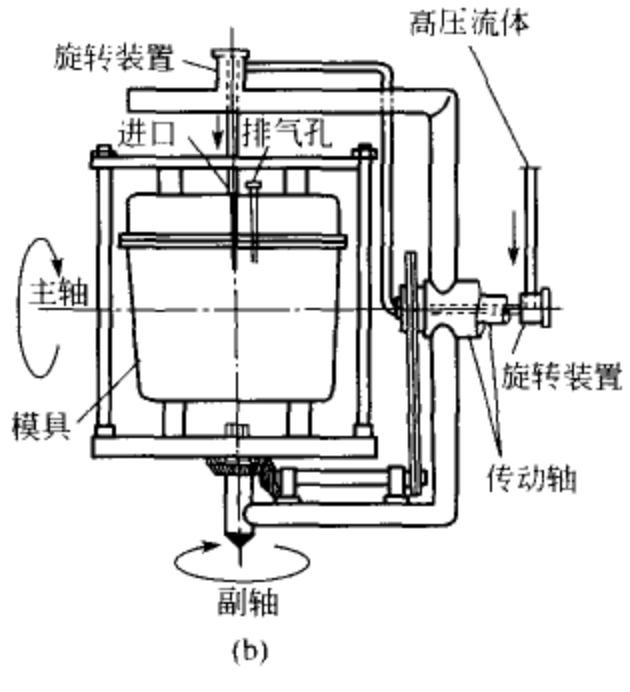
6.18.1　工艺

滚塑成型是一种用于制造中空制品的低压热塑性成型工艺。在 20 世纪初期，这种工艺用于加工空心巧克力。滚塑工艺在聚氯乙烯塑料工业中的应用有着悠久的历史。理论上，所有的热塑性塑料都可以滚塑成型。然而，真正实现工业化的只有 PVC、PE、PP 以及聚丁烯。

如图 6-11 (a) 所示，滚塑工艺存在三个工位。工艺采用的是闭合的阴模。在第一个工位上，模具是打开的，而且填满了预制量的粉料或液体。模具紧接着来到加热工位，在这里沿着它的主副两个轴旋转 [6-11 (b)]。通过对模具的加热使粉末熔融并使其均匀涂敷在模具内壁上。等所有的树脂都涂敷在壁上后，模具转到冷却工位上，由流动空气、水雾或喷水进行冷却。完成该道工序以后，模具回到原来的位置，开模，取出制品，然后开始新一轮的循环。



(a)



(b)

图 6-11 （a）滚塑成型机示意图。多轴带动模具通过三个工位以完成装料（工序 1）、滚塑（工序 2）、脱模（工序 3）以及再次装料（回到工序 1）（Belofsky，Harold 的《塑料：产品设计及加工工程》，第 385 页）以及（b）模具沿双轴旋转并加热的同时，内部合模形成中空制品。该系统允许成型多层不同原料的制品（Rosato，D. V.，Rosato 的《塑料百科全书与字典》，第 655 页）

作为低压工艺，滚塑模具的成本很低。但滚塑的成型周期很长，生产小件成品的成本很高（除非含有大量空腔）。该工艺非常适合制造大件制品。

滚塑成型工艺一般用于大型中空制品，也可以用于制造大型双层板，厚度是普通板的壁厚的 1/5。

除了大型中空制件以外，滚塑成型还可以一次成型两个或更多，或由成型件分割成两部分而制得敞开的零件。这两个零件可以是外罩的两个组成部分或容器的主体和瓶盖。整个产品一次成型将可以免去组装操作的麻烦。

滚塑成型制得的零件，其外部半径要想小于 0.13in 比较困难，一般在 0.375in 左右最好。内径可以小到 0.06in。无法制得内部结构如加强筋等，但可制得露于外

部的中空加强筋。制品强度可以通过与制品中心相连的吻式（kiss-off 或 tack off）加强筋进行进一步增强。制件中空部位可填充发泡材料进行发泡以提高硬度。

6.18.2　装配考虑

滚塑成型制品的组装与中空吹塑成型类似。两种工艺都制得中空件，但吹塑成型适于大型制件的大批量生产，而滚塑成型的生产规模相对要小得多。跟吹塑成型一样，滚塑成型多用于制造容器。这些容器由原始设备和盖子原地点焊制得，而无需采用交联聚乙烯。这种材料是一种热固性的塑料，而且制得的零件一般采用紧固件连接。

跟吹塑件相同的是，滚塑件常常是把几个较小的元件变成一个大的制品一次性成型，从而省去了后期组装的麻烦。它们经常由皮带或紧固件固定在原地，而紧固件所需的孔可由二次机加工得到。滚塑成型过程中可以在零件上制得开孔，但这种孔一般都是留给制造把手所使用的。如果这种开孔想要原位成型的话，它们的大小、数量以及位置都将成为必须考虑的问题。一些油罐上原位开孔，考虑了重力的因素，经过特殊设计以适应填充和热膨胀的影响。交错开槽可以使大公差变为可能。实际的孔可以进行模塑，但仅限于要求不高的情况下，不推荐使用。

采用紧公差对于滚塑成型来说并不经济实用，一般的公差定为 0.010in/in。只有外部尺寸可以通过模具控制，内部尺寸则取决于外部尺寸以及壁厚。由于壁厚又由熔融塑料与模具内壁的黏结程度决定，因而不是均匀的。变化幅度在±20%左右。紧公差可以通过预成型操作得到，而且还必须在设计阶段就加以考虑。

滚塑成型的应用一般只需要单腔，所以不存在腔与腔之间的不同问题。然而，由于外部尺寸很难控制，因而不能满足压力配合与搭扣配合所要求的窄公差。而倒陷可以利用工艺采用的塑料的韧性和高挤出收缩率来完成对零件的初级组装。

有时，压力配合与搭扣配合也可以通过把各个零件一次加工成型来得到应用。两个零件被分割开来后，便可以通过压力配合与搭扣配合组装在一起。由于这两个零件是作为一个零件成型的，因而有着同样的大小尺寸。用这种方法就可以避免零件与零件之间的振动。这种方式往往可以取得跟吹塑成型一样的效果。

滚塑成型，作为一种热塑性加工工艺，其制得的零件在理论上可以利用大多数的加热工艺。但实际上，由于该工艺的性质而带来一些限制。比如说，在超声波焊接中就不能使用能量探测器。热板焊可以用于粗加工，尽管各种体积的制品对设备调整的影响并不明显。振动焊接与上同理。带螺纹的轮毂和其他零件经常使用原位点焊。

模塑嵌件可以被采用，而且滚塑工艺的周期很长，从而使得放置嵌件对工艺时间不会有明显的影响，除非有很多嵌件或者嵌件的形状比较复杂以致装配非常麻烦。然而，预制嵌件可以在热、感应或超声波焊接的条件下进行装配。与那些装配工艺不同的是，胶黏剂很少用于放置嵌件。螺纹以及中空轮毂也可以在滚塑件中使

用，而且两个零件可以装配成一个。

胶黏剂可以用于滚塑成型件，即可采用溶剂焊接。如果想知道某一特定的材料是否能够进行溶剂焊接的话，可以查看第 5 章“按照材料选择装配方法”。

6.19 结构发泡成型、气体辅助结构发泡成型以及共注塑成型

6.19.1 工艺

结构发泡和共注射成型都属于注射成型工艺，它们的原料都是在加热的机筒内熔融然后再注入到模具中的。在结构发泡成型中，塑料和发泡剂的混合物被同时注入到模具中，因而模腔压力低，可以使用比注射成型成本更低的模具，但成型周期则相对较长。而且，由于在气体发泡膨胀之前物料并不能完全填满模具，所以制得的零件表面比较粗糙，零件壁中心要比周围厚得多。通过这个工艺可以得到轻质的零件，但只是和相同壁厚的同类产品比较而言。如果要用这种工艺得到壁厚较大的零件，这种优势也就不复存在了。

结构发泡成型最明显的优点就在于制件每平方英尺上的模压仅为注射成型的 1/12。因而超大型容器都可以用结构发泡成型，而且还可以保证制品尺寸的同一性。

结构发泡成型的一个缺点就是由气泡破裂带来的表面褶皱，可以用两种技术来消除：气体辅助发泡成型和共注射成型。在前一个工艺中，气体被预先注入闭合的模具中以防止混合料在注入模具前发泡，这种方法先得到固态表面，接着降低气压使芯层发泡，制得产品的表面与普通注射成型的产品的表面一致。然而，闭合模具多出的成本抵消了部分由结构发泡成型节约的模具成本。

在共注塑成型中，使用了两种不同但相容性很好的塑料。注射设备由两个熔融料筒组成，并由一个喷嘴进行注射，如图 6-12 所示。制得的产品外层为不发泡树脂，而内层为发泡材料。这样，制品表面的质量便与结构发泡成型工艺无关了。用作表层材料的一般是强度高、价格贵的原料，而内层则可以采用强度低、更便宜的原料。

共注塑成型，跟前面讲到的结构发泡成型工艺一样，采用闭模和低压工艺。闭模要比热成型工艺中用的开模要贵得多，因为它有两块而不是一块。然而，低压使得这种工艺的成本要低于传统的注塑工艺，因为高压是注射工艺快速成型的保证。所以，最终来说，上述方法制得的单个零件的成本要高于注射成型。

跟热成型相似的是，上述三种工艺在大型制件的生产上跟注射成型相比有着更大的竞争力。零件越大，注射工艺模具成本高的缺点就显得越突出。当然，如果在某些零件的设计中加工工艺成为主要的成本因素的话，这种相对优势就不存在了。

单个零件的成本则完全是另外一回事。由于容易受到各种具体因素的影响，用

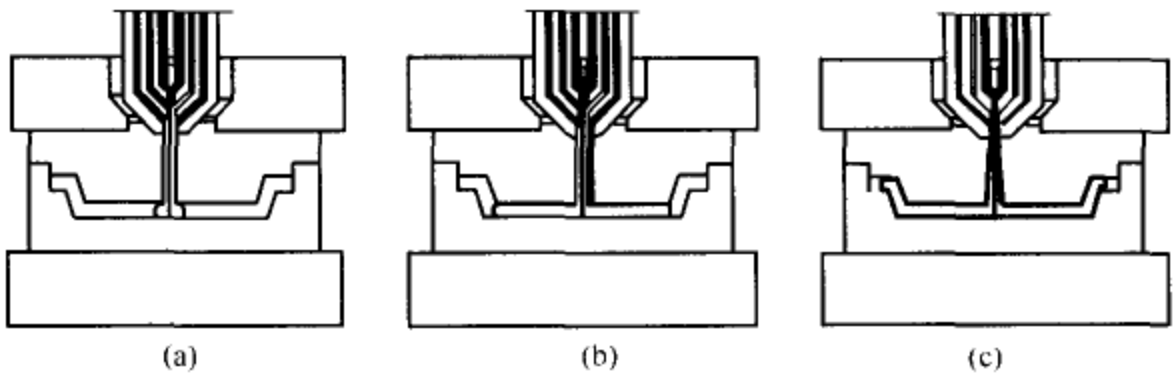


图 6-12　同时注塑两种不同的塑料的共注塑三流道设备
（Rosato D. V.，Rosato 的《塑料百科全书与字典》，第 121 页）

上述方法制得的零件成本，低于热成型的零件成本，而要高于注射成型的零件成本。

6.19.2　装配考虑

结构发泡成型工艺可以得到极厚的制品，而且有时可以通过把内外壁同时成型而省去一些装配操作。然而，由于内芯是发泡结构，因而使得某些装配操作变得更加复杂。

使用结构发泡成型工艺可以改变产品或零件的“质感”。由于结构发泡成型工艺节省了装配和紧固件的成本，这样就可以在一个零件上装上控制盘或者是真空清洁柄，而不用像以前那样，先注射出两个零件再用螺钉或螺栓连接起来。结果使生产出来的零件成本降低，尽管注射成型工艺的成型周期非常快。理论上，两个零件也可以由注射机放在一起同时成型，但一般不那样做。

由于属于热塑性成型工艺，所有的装配方法都可以用于结构发泡成型件。用这些方法可以得到侧芯开孔、倒陷、特殊结构以及相对较窄的模塑公差。但由于零件芯层为泡沫结构，所以从零件要求的硬度上考虑，压力配合与搭扣配合的使用受到限制。

可以使用嵌件，但如果同一零件使用过多嵌件会延长成型周期。如果需要使用大量嵌件的话，可以使用穿梭型压机以保证零件在模具一端成型时嵌件自另一端嵌入。嵌件可以从零件中取出以供循环使用。预成型嵌件可以采用热、电磁/感应或超声波焊接等方法嵌入。也可以使用膨胀嵌件或采用胶黏剂，但由于其他方法更为有效，所以一般不使用。

从装配角度考虑，还有一些其他的因素必须考虑到。最重要的一点要注意的就是零件的芯层不是固态的塑料。这就意味着零件无法获得固体芯层所应有的强度。所以，原料供应商所提供的材料强度数据并不真实。当发泡材料的强度只达到实心材料的 85%时，谨慎的做法就是使用更低的原料配比。

很明显，强度的下降使得装配方法显得尤为重要。我们仍然可以使用金属嵌件，但黏结强度将会下降。嵌件可以采用超声波法嵌入，但孔的尺寸将有所不同

（请注意：在加工前，必须察看嵌件供应商在小册里面给出的尺寸和强度数据）。其他的超声波操作也会严重地影响到制件的强度，因为零件结构本身对超声波也是吸收的。采用这种装配方法时应当设计周全。

螺纹切削和螺纹成型螺钉都可以被用在结构发泡制件的装配中。然而，由于这两种螺钉要求的强度和硬度，制件芯层无法满足，所以它们的使用也受到了一定限制。有一些特殊的紧固件可以用于这一特殊用途。结构发泡件可以制得所有的内螺纹或是外螺纹。

热板/熔融焊接、电磁/感应焊接、点焊以及振动焊接都可以用于结构发泡件。热气焊接也可以使用，但由于发泡件只有很薄的表层，所以不常使用。溶剂焊接和胶黏剂可根据具体的原料来考虑使用。

6.20 热成型

6.20.1 工艺

热成型是一种通过热压迫使塑料片材或模材作用于模具（阴模或阳模）表面而成型的热塑性工艺。真空压力、背压或机械压力可以由柱塞或对模提供。热成型的成本比其他工艺更高，因为它所使用的片材或薄膜原料都是由其他的工艺（一般为挤出）所提供。

热成型有一个简单的名称，即“真空成型”，这种工艺又可以分为多种成型方法。在最基本的分类中，热成型可以根据片材的厚度进行分类，即分为“薄片”或“厚片”热成型。还可以根据使用的模具的类型进一步分成阳模或阴模热成型。

在所有的热成型工艺中，片材首先放入夹具再加热软化到可拉伸为止。图6-13（a)是一台单工位设备，片材已经放置在模具上。图6-13（b）所示的旋转式成型机可分为夹持、加热和成型三个工位。

在阳模热成型中，有时又称作帘式热成型，软化的片材被放在阳模上。软化的片材由真空压力作用下紧贴在模具上，获得了模具的形状。在形状固定以后，软化的片材便可以冷却脱模了。一旦脱模后，零件便可经过修饰得到最后的尺寸。阴膜热成型跟阳模热成型相似，只是采用的是阴模。在两种工艺中，阴模热成型的应用远超出阳模热成型。

6.20.2 薄片热成型

薄片热成型得到的片材，按包装工艺的分类，其厚度小于0.060in。受市场因素的影响，片材的厚度已远低于0.060in的标准。片材厚度一般都低于0.015in，而现在很多的应用中，片材厚度只有这个值的一半。

薄片热成型之所以能够独立于其他的热成型工艺而存在，主要是由于它特殊的应用。薄片热成型片材经常被做成阻隔材料。这些薄片也经常做成卷材的形式，在

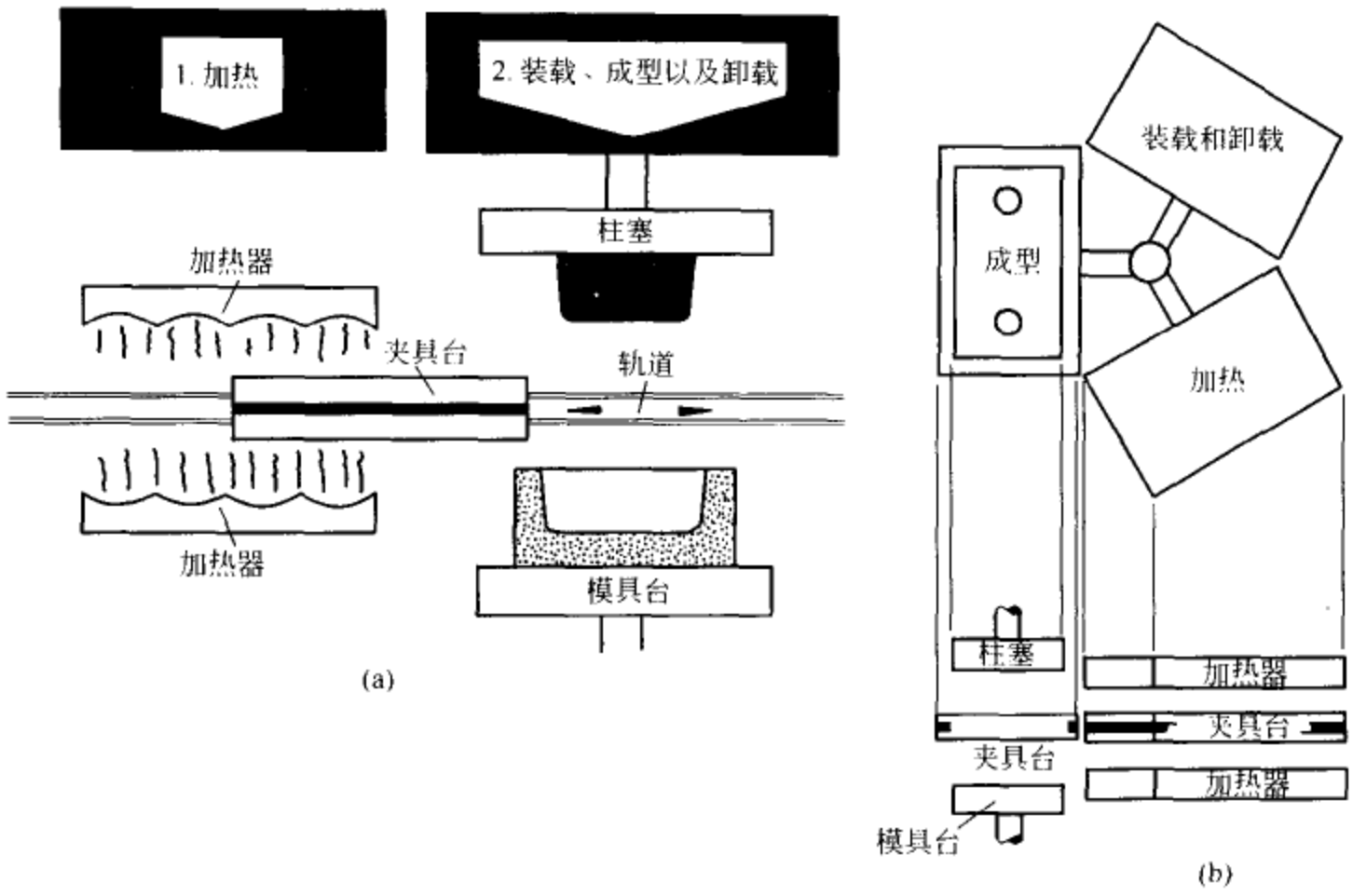


图 6-13　(a) 一步法热成型机；(b) 三步法热成型机

(Rosato D. V.，Rosato 的《塑料百科全书与字典》，761 页)

大批量生产中经常使用高速卷材成型机。

从装配角度上考虑，薄片热成型工艺主要有两方面的因素。首先是可以使用共挤出片材和像搭扣配合和铰链之类的整体结构来减少装配操作。另外就是这种工艺可以与大多数的自动化装配线结合起来应用。原料进入生产线，成型、填料、密封、冲压裁减，最后被放入纸箱中，整个过程不需人经手。在某些情况下，可以有足够的出料量保证和挤出机同步应用。还可以使用其他生成制品的自动生产线跟包装生产线配套使用。

薄片热成型工艺采用薄膜滚筒以及多腔模具进行大批量生产。一般来说，该工艺都是用于包装工业，但也有其他领域的应用，比如说一次性杯子或盘子。

6.20.3　厚片热成型

厚片（厚度大于 0.060in）根据产品设计者的不同而有所不同。在最简单的形式中，它可以制造表面相对光滑的零件，而且可具有滚圆的棱角。然而，通过它的“压制成型”可以制得某些与注射成型相媲美的精细结构。

热成型是一种“开模”工艺，模具一般只有一个面。因此，它是一种低压工艺。其加工就相对比较便宜——在所有低成本的模塑工艺中。因此，热成型给各种塑料提供了更多的产品应用领域，而这些产品又无法接受像注射成型这类的成型工艺的高成本的。这种工艺可以使用像注射成型中使用的大多数材料，尽管有的高温

材料处理起来比较困难。而缺点就是，跟注塑相比，热成型的成型周期比较长，而且材料在热成型之前必须先加工成片材。所以，对于某一给定的产品来说，注射成型的附加费用将远大于单个产品成本的节省费用。

由于热成型工艺必须由片材进行，多余的原料必须除去。使用传统的切割工艺时，可考虑使用高压水喷射、热金属丝、热激光以及自动刳刨机等方法。由于热成型工艺极具竞争力，所以热成型工艺者正考虑引入一台或多台自动化设备。这些方法也可以用于切削零件的任意开孔，因为用热成型工艺是无法得到这些孔的。

6.20.4 压制热成型

压制热成型是热成型工艺的一种，它采用空气压力，有时还用柱塞加以辅助，迫使材料更加深入到模具的空腔中去。这种工艺可以得到光滑的表面和精细的结构。压制热成型还可以制得内外径低于 0.015in；如果成本不予以考虑的话，还可以做到 0.005in。当工艺做到这种尺寸后，将会导致非常大的内应力，所以无法应用。

压制成型的发展给产品设计者提供了更大的潜能，即通过利用一些不适于注射成型加工的结构来获得更多种类的塑料制品。随着大规模应用的发展，注射成型已经变成热成型的重要竞争者。对单个制品成本的比较将证明注射成型极高的模具成本。而且，随着制件尺寸的增长，注射模具的成本也在急剧增长，同时也使得大件制品的成型更为困难。结果，随着制件尺寸的增长，投入的成本也会显著增加。所以，采用热成型工艺制得的零件将远大于注射成型所可能得到的零件尺寸。

6.20.5 其他的成型工艺

对某些塑料的应用来说，成型工艺并不一定需要加热才能完成。比如说有两种不用加热的工艺，一种叫做冲压成型，另一种叫做冷成型。

6.20.6 装配

阴模热成型可以得到很深的倒切角，有时可以允许把两个外壳零件合为一个成型。同时，两种颜色或是两种材料都可以通过使用共挤出片材然后进行热成型。然而，当制品尺寸低于 $1ft^2$ 时，热成型有失去同其他加工工艺的竞争优势的趋向。不过，很多情况下，大型热成型件则可以把多个零件合为一个零件成型，完全省去装配操作。

热成型零件由片材加工而来，而且也具有很多金属片材所拥有的装配特性。它们的孔一般都是由钻孔或切削等方法二次加工成型的，除非切掉了，制品外表面将出现凸缘。而且，许多原用于金属片材的各式各样的紧固件（如 J 形或 U 形螺母）都可以用在凸台上。有一种技术，就是在热成型工艺中，把带有溶剂或胶黏剂的几块小块原料固定于制件上。一般来说，这些块状物都已经放入嵌件或有自攻螺钉孔。使用这种方法主要是由于原片材过薄，无法满足自攻螺钉的需要，而且强度也

不高，无法承受金属螺钉的缘故。当成型片材的厚度达到一定值以后，便可以使用自攻螺钉和螺纹成型螺钉，依特殊材料的弹性模量而定。这里还有一些经特殊设计的紧固件以供专门使用。模塑螺钉在大多数场合下无法使用。

热成型能得到倒陷，可以成型铰链、压力配合以及搭扣配合。然而，由于加工所要求的公差的缘故，这些装配方法的使用受到了限制。而且，从薄片到厚片，随着壁厚的提高，这些装配方法的适应能力也在逐渐下降。由于属于低压开模工艺，热成型无法制得很多内部结构如加强筋、定位销以及凸台等。可以通过机加工去除凸台顶部而打开零件。用同样方法可以制得天窗。

在压制热成型中，嵌件可以通过热成型满足低拉伸条件的小型应用。嵌件可以从热成型件中取出以循环利用。预成型嵌件可以通过热、电磁/感应或超声波振动等方法放入制件中——这也是经常使用的方法，因为即使没有放入嵌件，热成型周期也需要好几分钟的时间。膨胀、自攻以及螺旋线圈嵌件可以使用在热成型中，但由于其他方法更为有效因而不常使用。不使用胶黏剂放入压入式嵌件也是同样的原因。

热板/熔融焊接、点焊接、振动焊接以及热气焊接都可以用于热成型零件。超声波能量探测器可以用于压制热成型，而且所有的热成型件都能进行超声波点焊，然而热成型工艺无法得到剪切节所要求的公差。同样，电磁/感应焊接也很难被用于热成型零件上。

6.21　双片热成型工艺

6.21.1　工艺

双片热成型采用一种带有上下模的热成型机，是用热成型方法生产中空制品的一种代表性方法。两块片材在加热软化的时候通过压力接合在一起成型。结果形成了具有两个壁且壁间带有空腔的零件。通过局部连接，即所谓的胶黏剂，把两个零件连在一起以提高强度。空腔中可采用发泡材料进一步提高强度。

这种工艺非常适合成型大型仪表板。它可以使用几乎所有的热塑性塑料，尽管有一些耐高温树脂很难加工。通过使用的材料，零件的内径和外径都可以小到0.060in，然而这是没有考虑到内应力的尺寸。零件的所有开孔通过机加工，而外部的凸缘必须由原始片材切削得到，正如单片材的热成型一样。

6.21.2　装配考虑

基本上所有关于单片材热成型的装配考虑都适用于双片热成型。然而，这里也有一些需要补充的因素。

尽管加工停止了，但壁间的内部空间并未得到良好的控制。所有的加强筋或凸台都必须是中空的。用于支持零件的附属结构可由对每边的器壁或凸台的设计而得

到。双片材接触的部位可以焊接在一起。螺钉可由外表面嵌入，也可以制得螺纹嵌件以用于小型应用。大型嵌件也可以放入零件壁间。通过在空腔中发泡可以使零件得到极大的强度和硬度。

6.22 传递模塑成型

6.22.1 工艺

当需要得到精细结构的时候，可以使用一种名为传递模塑的压制成型工艺。这种工艺中，树脂首先被放在一个传递储放室中，然后经由竖浇道和横浇道进入如图6-14所示的空腔中，与注射成型非常相似。这种工艺在热固性塑料领域跟注射成型存在竞争。传递成型一般用于成型小件制品，而压制成型则可以成型一些超大型的塑料制件。

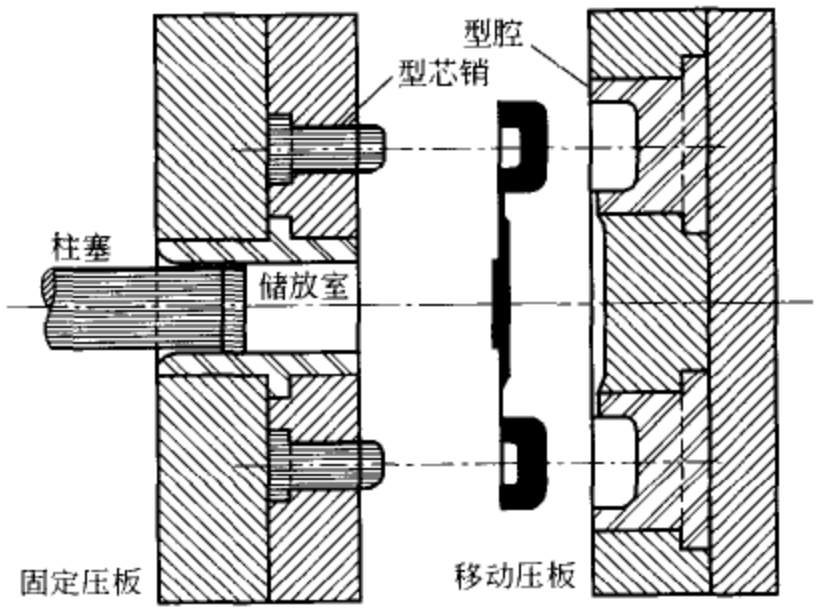


图 6-14 进行预热预成型的柱塞式传递模塑机

（Wright Ralph E. 的《热固性塑料的注射/传递模塑成型》，第 28 页）

6.22.2 装配考虑

热固性塑料的传递模塑成型和注射成型有着相同的装配特性。首先，由于它们都属于热固性工艺，所有与热有关的装配方法都不可行。这就除去了热气焊接、热板/熔融焊接、电磁/感应焊接、超声波焊接、振动焊接以及嵌缝焊接。有一种类型的嵌缝焊接，即把压入式紧固件放在镶板上，经常使用在热固性零件中。传递成型和热固性注射成型都可以制得这类镶板。

嵌件可以进行模塑，但它们将延缓整个工艺过程，进而提高加工成本。预成型嵌件可以使用胶黏剂进行嵌入，而不能使用热和超声波法。也可以使用膨胀、自攻以及螺旋线圈嵌件。

所有的内外螺纹都可以模塑成型。紧固件的孔也可以成型，都平行和垂直于分

型线。然而，成型孔往往使得零件局部高于孔的部分得不到补强，这时用机加工就可以保证极高的强度。紧固件是传递成型使用得最多的装配方法，且不用使用胶黏剂。

外部的倒陷可成型，但成本很高，由于它们需要侧抽运动或是剖分模具。内部倒陷加工非常困难而且模具费用非常昂贵。通过传递模塑可以获得窄公差，因而压力配合与搭扣配合都是可行的。

6.23　工艺的选择

进行工艺选择的关键是要获得最大效率的制造方法。为了达到这个目的，我们必须考虑投资跟单个零件的成本。例如，注射成型针对一特定制件可以提供最低的单个零件成本，但如果每年只生产几千件制品的话，就无法弥补注塑模具方面的成本与结构发泡之间的差额了。

如果我们不考虑通过减少单个零件成本校正投资成本的因素的话，对于给定生产量的加工工艺的选择将得到简化。事实上，如果零件的形状大小相同的话，这一点是可以做到的。由于它们不可能完全相同，每一位设计师和工程师必须通过对制得零件而获得实践经验。比较粗浅的经验就是，如果零件越大或越复杂，那么投资成本也就越大。随着投资成本的增长，生产量必须更大以保持与低成本零件相适应的生产周期。这种生产周期因生产公司的不同而有所不同。

根据每种工艺可得到的制件尺寸范围可以作进一步的工艺选择。表 6-1 给出了各种工艺能够得到的尺寸范围。值得注意的是，在最大尺寸上，我们给出了两种尺寸。在“已知最大尺寸”一栏中给出的是作者迄今所知的该工艺能获得最大尺寸。这种尺寸没有实际应用，因为在某一特定工艺中，所有的材料的加工有一定的限制，而且能够获得该类尺寸的成型机械也无法投入实际生产。事实上，这些设备一般都是为了某些公司的专门需要而生产的。在“可生产的最大尺寸”一栏中给出的尺寸中，可以通过比较而做出最合理的工艺选择。当达到某一工艺的加工尺寸极限时，产品设计者必须在加工前确定设备能够完成这一加工任务。

除了尺寸大小以外，我们还可以通过初步确定投资、装配以及零件成本的关系来进行工艺选择。紧接着是对加工原理的总体分析。这些表从 6.23.1 开始到 6.23.5，给出了一些“啄序（pecking orders）”，从每种工艺的小批量加工一直讨论到单个零件成本相对较小而投资量相当大的大批量生产。

6.23.1　热塑性开放式零件

（1）机加工成型
（2）热成型以及压制热成型
（3）结构发泡成型和共注射成型
（4）气体辅助注射成型

表 6-1 主要的塑料加工工艺成型件的近似尺寸范围

工 艺	近似尺寸范围		
	已知最小尺寸	可生产的最大尺寸	已知最大尺寸
吹塑	$\frac{3}{8}$in(D)×1 $\frac{1}{4}$in(L)	9 $\frac{1}{2}$ft(L)×1ft(D)×4in(厚) 28in(D)×44in(L)	1320gal 油箱
浇铸	没有限制	仅仅受处理模具的物理性能的限制	仅仅受处理模具的物理性能的限制
共注射成型	$\frac{1}{4}$in×$\frac{1}{4}$in×$\frac{1}{4}$in	2ft×5ft×5ft	2 $\frac{1}{2}$ft×4ft×10ft
冷成型	1 $\frac{1}{2}$ft×1 $\frac{1}{2}$ft	10ft×10ft×1 $\frac{1}{2}$ft	14ft 船壳
压制成型	$\frac{1}{4}$in×$\frac{1}{4}$in×$\frac{1}{16}$in	4ft×5ft×8ft	1 $\frac{1}{2}$ft×4 $\frac{1}{2}$ft×14ft
挤出	没有限制	12in×12in	42in(D)
缠绕成型	4in(D)×8in(L)	13ft(D)×60ft(L)	10ft(H)×82 $\frac{1}{2}$ft(D)
注塑成型	0.008in×0.020in×0.020in	2 $\frac{1}{2}$ft(D)×3ft	4ft×4ft 6in×7ft
层压以及喷射	$\frac{1}{4}$in×6in×6in	150ft,扫雷艇	连续路面
机加工	没有限制	10ft 宽或 15in(D)	受可选原料尺寸限制
拉挤成型	$\frac{1}{16}$in(D)	12in×12in	15in×100in
反应注射成型	4in×12in	3ft×4ft×10ft	10ft×10ft
树脂传递模塑成型	1in×3in×2ft	16in×4ft×8ft	4ft×8ft×28in
滚塑成型	$\frac{1}{12}$in 直径的球	6ft(D)×18ft	12ft(D)×30ft(L)
结构发泡成型	$\frac{1}{4}$in×$\frac{1}{4}$in×$\frac{1}{4}$in	2 $\frac{1}{2}$ft×6 $\frac{1}{2}$ft×6 $\frac{1}{2}$ft	2 $\frac{1}{2}$ft×4ft×10ft
传递成型	$\frac{1}{8}$in×$\frac{1}{8}$in×$\frac{1}{16}$in	2ft×1ft×$\frac{1}{2}$ft	2 $\frac{1}{2}$ft×1ft×9in
热成型			
薄片	$\frac{1}{4}$in×1in×1in	3ft×3ft×3ft	3ft×3ft×3ft
厚片	6in×6in×6in	3ft×10ft×12ft	2ft×6ft×20ft
双片热成型	6in×6in×6in	6in×3ft×6ft	6in×3ft×6ft

(5) 注射成型

热塑性材料加工工艺的选择顺序，由机械加工开始。当然，这种工艺一般用于生产样品，生产规模不大，也比其他工艺成本相对较低。

热成型和压制成型工艺在小批量生产时成本效率高，尽管通过这两种工艺无法对制品每平方英尺范围内的区域进行精细处理。而且我们需要对“啄序”加以发展，减少对尺寸的依赖性，从而使得小件制品的成本计算更为可靠。

因此，对于小件制品来说，注射成型是下一个合理的可以考虑的工艺。幸运的是，注射成型工业已经发展了相对低廉的加工方法，包括各种加工器件如嵌件和多腔铸模以用于小型零件的小批量生产。然而，在这方面真正下工夫的模具制造商很少。

事实上，考虑到零件的结构因素，结构发泡或是共注射成型应该是最好的起始工艺（在机械加工之后）。结构发泡模具的成本要远远小于注射成型模具的成本（尽管还是比热成型模具成本要高），因为这种成型工艺是一种低压工艺。但结构发泡的成型周期要比注射成型长得多，模具成本的优势在一定量的生产上还是可以保持直到注射成型更具竞争力为止。然而，作为产品设计者来说，进行结构发泡设计必须得到跟注射成型模具相当的模具或需要气体辅助成型，这种优势已经消失殆尽了。当结构发泡模具成本与注射成型模具相当时，因为它成型的同一性，还是应该选用这种工艺。这种特征包括轻质、手感的增强以及制得更大型件的能力（得益于它的低压）都是选择它的主要原因。

对于一些零件来说，在进入注射成型之前还可以有另外一种工艺可供选择，这就是气体辅助注射成型工艺。这种工艺的特点就是可以减少用于组合框体结构的装配工艺。有一种成功的应用就是制造自动门框架时减少使用的零件数，这时空气被用于产生框架内的框体结构。

对于大多数零件来说，最大生产量的应用来自于注射成型。但在表面为 $5ft^2$ 的零件领域，由于成型机处理能力不足而且应用所有权受到保护，因而注射成型没有竞争力。在这种情况下，气体辅助注射成型或结构发泡成型可能成为更有效的加工工艺。

然而，结构发泡成型工艺在材料方面受到的限制要多于注射成型。能用于结构发泡成型的塑料有 ABS、离子聚合物、聚碳酸酯、聚乙烯以及聚丙烯。上述提到的塑料大多数可以由结构发泡成型，尽管有点困难，而有些像苯乙烯和丙烯酸酯类的树脂不能由这种方法加工成型。唯一一个能用结构发泡成型的高强高温材料——聚碳酸酯，有时因为成本或化学相容性等问题而不能实现发泡成型。这就意味着下一种适应于大批量生产的热塑性塑料成型工艺，它的制件尺寸应远大于注塑件，具有耐超高温的性能，而且要比结构发泡成型件更为便宜，这种工艺有可能是一种热固性成型工艺，比如说模压成型。

中空成型工艺（吹塑、滚塑成型以及双片热成型）也能用于制造开放式零件。我们可以通过切削开中空件或成型双层板材来获得开放式零件。然而，这些都属于特殊场合应用，与工艺选择顺序并不搭配。例如制造容器使用的一次性成型和分割，以及制造结构零件如双层板。

6.23.2　热固性开放式零件

（1）机械加工
（2）浇铸
（3）层压或喷射成型（根据外形和强度要求而定）
（4）树脂传递模塑
（5）冷压成型
（6）反应注射成型

（7）模压成型、BMC、SMC、传递成型以及热固性注射成型（根据外形和强度要求而定）

热固性塑料如聚酯可以提供比工程热塑性塑料更高的力学性能，而成本远低于工程塑料。然而，它们的热固性使得成型料无法回收利用。所以，热固性塑料失去了某些经济上的优势。

由于很多热固性工艺最适合于长纤维增强的大型零件，因而同时存在两种选择顺序。对于大于 $0.25m^2$ 的短纤维增强的零件，仅次于机加工和浇铸（依赖于零件的结构类型）的工艺可以是模压成型、传递成型或注射成型。在这三种工艺中，模压成型的加工成本最低，而单个零件成本最高。注射成型可以提供最低的零件成本，但加工成本则是最高的。传递成型则在某种程度上处于它们之间。然而模压成型不能制得与其他两种工艺相同水平的零件结构。

对于大于 $0.25m^2$ 长纤维增强的零件，选择顺序可包括所有的热固性工艺，除了传递成型和注射成型。

6.23.3 中空零件

中空零件的加工领域囊括了所有的热塑性塑料。中空热固性成型件也可由缠绕成型制得单个零件。然而，由于实际应用中不需要太高的强度，所以还不如使用其他成型工艺制得两半零件再装配使用。随着热塑性中空件成型的发展，作者主要向大家推荐以下几种可选择的加工工艺。

（1）滚塑成型或双片热成型（视制品形状而定）

（2）中空吹塑成型

中空件的成型工艺的选择顺序比较简单。理想的滚塑成型件是个球体，而理想的双片热成型件则是一个平板。起始工艺的选择一般都是根据特定零件外形的加工而给出的，尽管我们必须注意到，滚塑成型制得的零件壁厚只有差不多 1in。影响零件尺寸的其他因素（滚塑件可以做得更大）以及材料的选择都必须予以考虑，不同的工艺适用不同的原料。

考虑到制品尺寸和形状等因素，吹塑成型更适用于大批量中空件的生产。然而，由于另外两种工艺可得到相对更大型的零件，因而使用这种工艺在产品尺寸上受到了限制。

6.23.4 异型材

（1）挤出成型

（2）拉挤成型

在一定程度上，异型材挤出工艺可以制成中空状，但必须保证这种形状的连续性。如加盖管就是一个典型的例子。除此之外，大块挤出原料都呈片材或薄膜状。由于挤出成型产量大，异型材工艺以零件强度的增大而进行划分。挤出成型和拉挤成型比较特殊，在选择上并无顺序之分。事实上，在某些领域挤出成型和拉挤成型

存在竞争，但我们从装配角度需要考虑的尺寸和体积的关系却无法应用到对这两种工艺的选择中去。不过，在某些情况下，用其他工艺制得的两个零件的装配，譬如说注射成型工艺制得的零件，有可能跟可加盖的挤出成型或拉挤成型件存在竞争，因为后者需要两步操作，而前者只需要一步操作。

6.23.5　超高强度零件

缠绕成型

缠绕成型是唯一一种不存在选择顺序的加工工艺，可以提供产品的高强度应用。它真正所面对的竞争来自于金属件，而缠绕成型件在装配、成本和质（重）量等方面有着明显的优势。

第7章　胶黏剂和溶剂连接

7.1　优点与缺点

胶黏剂和溶剂是根本不同的，然而因为它们有一系列的相似之处，如表面清理、接头设计等，所以我们在逻辑上把它们放在一起讨论。胶黏剂粘到塑件表面完成连接，而溶剂是溶解塑件表面使表面间材料混合，当溶剂挥发后，就形成了接头。溶剂连接有时称为溶剂密封、溶剂焊接或溶剂粘接。

7.1.1　优点

胶黏剂和溶剂广泛地应用于塑件的装配中。溶剂连接是已有技术中最廉价的技术之一。随着技术发展而产生新的材料结合方法，胶黏剂应用也得到发展。在许多场合，只有它们才能代替紧固件的应用。胶黏剂本身的最新进展产生了许多新的应用。每种方法都有优缺点，胶黏剂连接和溶剂连接也不例外。下面介绍它们的优点。

（1）应力分布均匀　塑件装配设计中基本问题之一就是控制应力的大小。应用于塑料产品制造业中的工艺技术导致了不同程度的内部应力。附加应力也可能来自于装配方法。例如紧固件，将在零件的孔边或者凸台处产生应力集中，因而注射中模塑零件在紧固件孔附近也有模塑应力。点焊也会产生应力集中。

使用胶黏剂的大部分接头设计与有孔设计相比存在较少的模塑应力。有些设计例如搭接接头就没有那种零件结构而引起的模塑应力。因而对于胶接接头来说，载荷都均匀地分布在有胶黏剂的表面上。这种改进可以抵抗部件受到的冲击、疲劳和振动的能力，因此有时还允许减少塑件的壁厚。

（2）连接不同的材料　对连接不同材料的需求极大地促进了胶黏剂的应用：不同材料既包括塑料连接到其他材料，也包括不能用溶剂连接或热焊接的两种塑料。胶黏剂随同紧固件一起使用是连接热固性塑件的基本方式。当连接不同的材料时，材料的线性热膨胀系数差别太大，就只能选择机械紧固了。其他类的材料例如纸和玻璃可能太脆或者不适合用其他连接方法。胶黏剂已经用于结合不同物理性质的复合材料结构，然而溶剂应用仅限于相匹配的树脂。

（3）胶黏剂材料的整体性维护　连接应用中，胶黏剂的基本竞争方式——紧固件需要在零件上开孔，开孔需要去除材料，如果是模塑零件则在孔的某点会有熔接痕。这两个特征往往降低了结构的强度。

（4）最大抗疲劳强度　许多胶黏剂具有吸振能力，如果这种振动传递到结构上

就会导致疲劳失效。胶黏剂的吸振能力随着它的韧性变化而变化。溶剂连接就没有这种特性。

（5）连接性和密封性　当用于连续的接缝时，胶黏剂或者溶剂就把装配件的内部密封起来，使之与外部环境隔离。要使紧密密封成为可能需要认真地处理接缝表面和应用胶黏剂或者溶剂。否则，这些密封随时会破坏。

（6）减轻重量　胶黏剂和溶剂密度小并且涂得很薄。另外使用胶黏剂和溶剂有时能减小塑件的壁厚，这将减轻塑件的重量。因而胶黏剂连接和溶剂连接与紧固件相比更能降低产品的总体质量。

（7）表面光滑无瑕疵　在许多应用场合，突出的紧固件或立柱头和点焊的瑕疵会影响产品的外观或功能，胶黏剂和溶剂可以做到表面光滑无瑕疵。而这些方法的应用会提高产品的力学性能和更自由地进行艺术化设计。

（8）基体胶接层薄或柔韧性好　胶黏剂大部分以带状形式应用于薄且韧性的塑料基体上，这种应用很普通。除了薄膜的热胶接外，实际上这种连接就没有其他的连接方式。基体的壁厚越薄，胶黏剂连接就越可能是最好的连接装配方式。对于很薄薄膜进行连接时，溶剂连接受到限制，因为一些树脂会变得太软而不能应用或者不能完全结合。

（9）产品总成本降低　当简单地根据每磅胶黏剂的价格来衡量时，胶黏剂的成本看起来不可接受。然而，当考虑产品的总成本时，胶黏剂连接或者溶剂连接能证明是最优化的装配方法。首先，最初的投资通常很小，所以就不存在分担成本的问题。第二，取决于需要的紧固件的数量，应用胶黏剂连接可能比紧固件连接用更少的劳动时间。第三，省去了一些准备工作（如钻孔等）。最后，通过使用胶黏剂减小壁厚会降低材料的使用量和零件的工艺成本。这大量地节约成本本身更能证明胶黏剂连接应用的适宜性。

7.1.2　缺点

虽然胶黏剂连接的优点很多，但是也有一些缺点。

（1）成本　在决定最优化的装配方法时要考虑产品的总成本是很重要的，则废弃胶黏剂的处理成本和胶黏剂本身的成本考虑却是不可避免的。许多热塑性塑件可以用许多装配方法装配，这些方法并不增加附加材料而产生成本。对于压力配合和卡扣连接，甚至不用考虑动力费用——虽然在做出比较时没有注意到卡扣连接附加零件和模具成本。当连接相似的无定形热塑性材料时，溶剂连接比胶黏剂连接成本要低，但是要考虑通风问题。

（2）回收困难　甚至当两个零件是同一种材料或者并不需要解体时，胶黏剂也是一种污染物，必须从材料中清理掉。纯的溶剂就不存在这样的问题。虽然工业配制的各种溶剂的成分是具有专利的，但是并不能保证这样的产品没有污染物。

（3）连接强度的不确定性　虽然溶剂可以在空气中挥发，但是诸如温度和潮湿环境就像影响塑件本身那样影响胶黏剂的性能。而且随着时间的增加，它们的性能也发生变化。胶黏剂作为覆盖层，它们与基体的粘接主要依赖于基体的表面情况，

基体表面必须处理。因而预测焊缝的强度是很困难的。胶接强度的总体可靠性不用100% 焊缝探伤就不能保证，虽然密封完整性测试是能很经济地完成。对于关键的连接，需要用另外的方法，比如紧固件连接。

(4) 限制装配速度　胶黏剂和溶剂连接装配通常需要夹紧零件，而这对一些装置要以很高的速度夹紧零件是很困难的，尤其是形状不规则的零件。还需要加热，但是这很容易完成的。溶剂连接点的打开时间是关键，且需要占用较长的时间。

(5) 特殊处理　大部分的胶黏剂和溶剂都是易燃的，所以必须记录它们的成分和用量，并且必须隔离、储存在专门的设备中。由于这个原因，水溶性胶黏剂有着很强的发展趋势。

(6) 限制排放量　在美国，一些州对挥发性有机化合物的排放量有着严格的限制。这样就需要通风和回收有毒气体，那么一些附加设备或必要的劳力就要在工艺成本效益中减去。

(7) 银纹　溶剂作为应力缓和剂在表面导致细小的裂纹，我们称为银纹。浇口位置必须远离焊缝，因为它们都为高应力区，很容易受到用在溶剂焊接中的溶剂和一些用于胶黏剂的溶剂的侵袭。虽然溶剂广泛应用于聚苯乙烯零件的连接中，但是正如我们所知道的苯烯类更易于产生这种问题，必须认真考虑溶剂在这些材料中的应用。

(8) 溶剂敏感性　浸入接头的溶剂可能导致多孔结构或者使结构弱化。另外，完成的装配产品不能暴露于用于溶剂连接的溶剂或基于溶剂的胶黏剂之中。溶剂在一些塑料中会转移。

(9) 表面处理　对于合适的连接来说，基体或者被粘物的表面必须保持干净，因而为了获得必要的胶黏剂强度，分类处理是必须的。

虽然胶黏剂连接和溶剂连接有这么多的缺点，但是在设计者可选连接方式中，仍旧是重要的方法。因为对于许多应用来说，这种连接是最优化的方式，在实际应用中，对于某些应用甚至是唯一的选择，所以这种连接必须认真考虑。

7.2　基本理论和术语

首先介绍一些术语。“粘接”和“内聚”重复出现在胶黏剂的讨论中。粘接主要指两个物体的相互连接。在图 7-1 中有三个这样的物体：被粘物 A、胶黏剂和被粘物 B 。其中有两条粘接区，一条为胶黏剂和被粘物 A 之间的粘接区，另一条为胶黏剂和被粘物 B 之间的粘接区，因而胶黏剂失效指粘接区的失效，主要因为被粘物表面质量较差。

内聚　是指在物体内部使之成为一体的内力，内聚失效是指物体内部失效。如图 7-1 右侧所示三个物体中的内聚失效。当测试失效时，100% 的内聚失效是理想化的，并且显示出胶黏剂的强度比周围材料强度大。要记住胶黏剂是一种围绕材料。如果胶黏剂以内聚失效的形式出现，就需要更强的胶黏剂或更强的覆盖

层，如果被粘物低于所要求的强度，被粘物以内聚形式失效的话，就要寻找更强的材料。

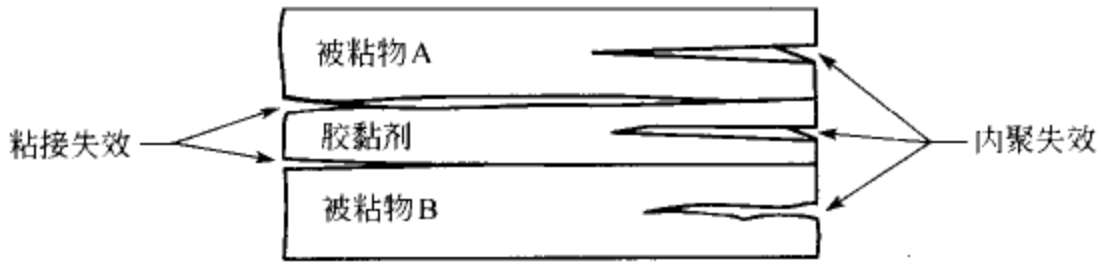


图 7-1　粘接失效和内聚失效

失效往往用百分比来衡量。因此，80%的内聚失效就意味着失效表面的80%是内聚，20%是粘接。只要存在一些粘接失效，就存在改进的潜力。然而存在一个时间效应的问题。一些连接点在装配后很短的时间检测将出现粘接失效，而过一段时间后检测能够通过。随着时间的延长，确实能获得很高的粘接强度。

溶剂焊接　在溶剂焊接中不包括胶黏剂。因而所有的失效就是内聚失效。在这里，需要确定接头表面熔融和形成接缝的百分比。

机械胶黏　这种胶黏理论表述为胶黏剂流到基体表面的微小孔中，硬化后形成机械连接。为了实施这种理论，必须排出接头处微孔中的空气，并且必须观察到胶黏剂浸入到被粘物表面的微孔中。表面的机械擦伤有利于这种类型的胶接。

吸收胶黏　这种胶黏理论被称之为特殊胶黏。它表述为两表面分子之间相互接触，随后表面力造成胶接（机械胶黏和吸收胶黏有时被通称为有效胶黏）。要想产生这种粘接，必须有好的液体胶黏剂用于固态胶黏体。这种现象称为湿润。如图7-2 所示。

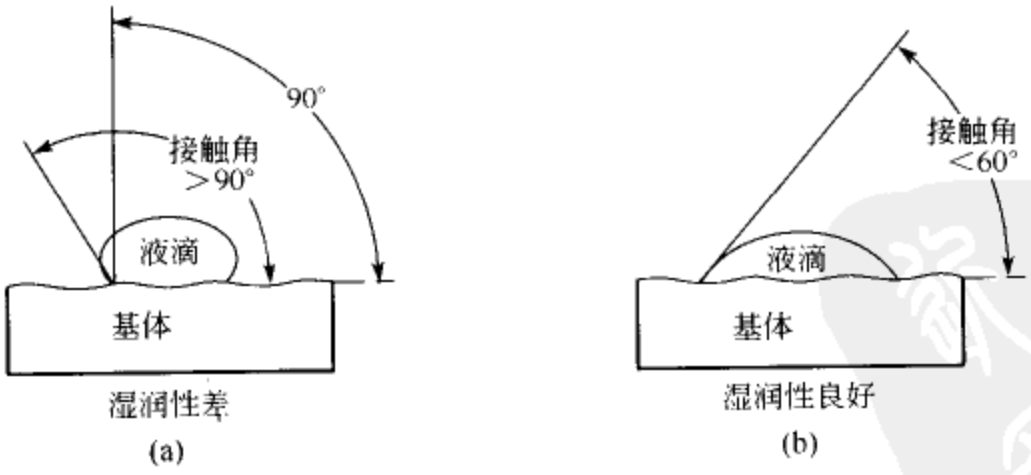


图 7-2　湿润性

测试接触角的大小来测试湿润性的好坏。接触角就是液滴达到平衡后，基体的水平面与液滴远边形成的夹角。图 7-2（a）显示湿润性差，它的接触角大于 90°。在这种情况下胶黏性很差。如图 7-2（b）显示湿润较好，其接触角小于 60°。如果

要获得完全的湿润，则接触角接近于零。

在胶黏工业中最重要的术语详见本章 7.10 节的专业术语。

7.3 塑料表面湿润性的测量方法

7.3.1 接触角测量

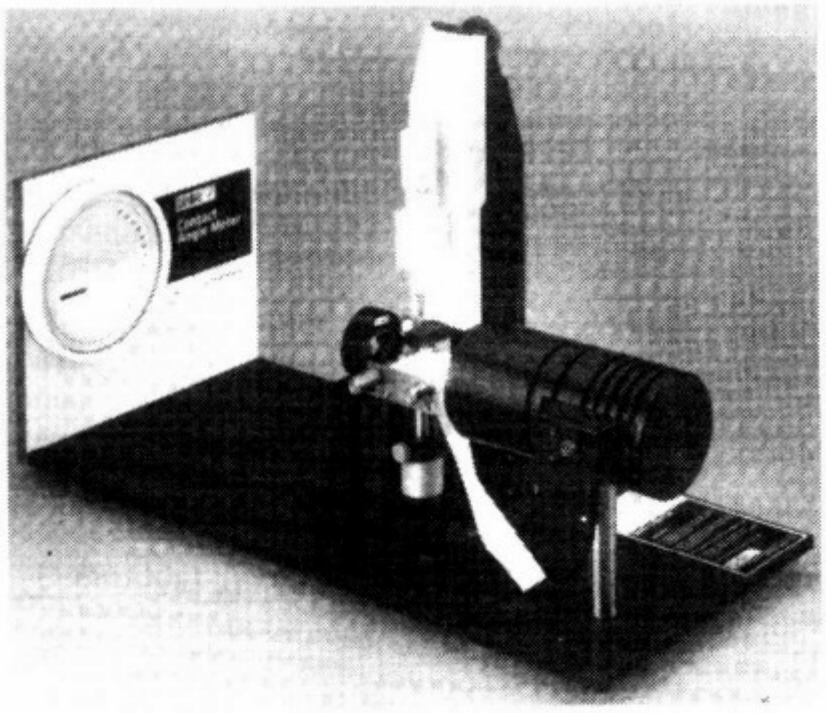


图 7-3 接触角测量仪
(Courtesy of Tantec, Inc)

接触角测量仪（角度计）是最精确的方法。用于测量一滴蒸馏水的接触角（参见 7.11 节资料来源）。图 7-3 所示的装置来自 Tantec 公司。

7.3.2 湿润张力测量（ASTM D-2578-73，聚乙烯和聚丙烯薄膜的湿润张力）

虽然是专门为聚烯烃类材料所设计的，但是美国材料试验学会（ASTM）湿润性测量方法也适用于其他塑料的测量。用占一定百分比乙二醇-乙醚溶剂和甲酰胺的溶剂来测试基体表面的湿润性。湿润百分比定义为基体的表面能。随着甲酰胺百分比的增加，表面能也增加。例如，甲基乙二醇-乙醚溶剂以 100% 的湿润，则基体表面能为 30dyn/cm，如果用 48.5%甲酰胺和 51.5%乙二醇-乙醚溶剂的混合液来湿润的话，表面能为 37dyn/cm。在 99%甲酰胺和 1%的乙二醇-乙醚溶剂的情况下，表面张力为 56dyn/cm 。这是一种广泛接受的测量表面能的方法。这种测试的精度达到 2dyn/cm ，然而精度为 4dyn/cm 是最为典型的。

7.3.3 粘接率测试（试行标准 ASTM D-2141-63 R）

本标准测量清除掉特定数量相同类型薄层所需要的力和评估表面处理前后的处理效果。

7.3.4 水蔓延试验

把一滴水滴到基体的水平平面上，通过比较表面处理前后的水滴直径来评估表面处理的效果。

7.3.5　染色残留测试

把基体表面浸入专门的着色剂中并垂直放置。如果表面着色，则表面被处理了。

7.3.6　墨水保留测试

墨水或涂料滴在基体表面上然后在基体上用 11 个切削精度在 0.031in 的刀片切下 10×10 的正方形小格（这种工具在商业上经常应用）。当装配的零件是干燥时，就用压力感应片。去除压力感应片计算剩下的染色小方块的数目得到一个百分比。这种测试就可以得到表面处理的效果，但更可能测量涂层本身的粘接来保证在生产线上产品质量。

决定湿润性的指标是物体的表面能。对于液体来说，也称为表面张力，用 dyn/cm 来表示，为了使液体和基体能正确粘接，基体表面能必须超出液体 10dyn/cm。表 7-1 比较了相对表面能和几种塑料和液体的表面张力。

表 7-1　固体材料的表面能与液体的表面张力

表面能/(dyn/cm)	固　体	液　体	表面张力/(dyn/cm)
>100	金属、玻璃、陶瓷		
100			100
80			80
		水	72
		丙三醇(甘油)	63
60			60
		甲酰胺	58
50	聚醚砜		
48	苯乙烯-丁二烯(丁苯)		
47	酚醛、聚苯醚		
46	聚碳酸酯		
42	尼龙		
41	聚酯、PET、聚砜、聚芳砜		
40	聚酰亚胺		40
39	PVC(聚氯乙烯)		
38	聚亚苯基硫醚		
37	PVA(聚乙酸乙烯)		
36	聚甲醛、环氧树脂、PEEK		
35	ABS		
33	聚苯乙烯、EVA、丙烯酸酯		
32	PBT		
31	PE	乙二醇-乙醚	30
29	PP	甲苯	29
		丁醛	25
24	硅橡胶	乙醇	22
20	氟化乙烯-丙烯共聚物(Teflon 特氟龙)		20
18			0

显然，在这个范围内的一些塑料需要表面处理来获得足够的湿润性。诸如阻隔剂、润滑剂、防氧化剂的添加剂将导致实际值小于树脂的公布值。装配操作与模塑间隔时间越短，这些添加剂对表面产生作用和影响表面能的时间也越短。

7.4 表面处理

无论基体材料表面的大小，任何粘接工艺过程的第一步都是提供干净的表面。如果基体表面有污染物、机械油污、模具防锈剂、油脂、水分或弱氧化层，那么胶黏剂将连接到污染物上，而不是基体上。为了得到好的胶接，必须得到干净的表面。无论塑料和胶黏剂的相对表面能如何，也不管下一步需要什么，胶接表面处理的第一步应当是溶剂清洗。干净的表面就是用裸眼检查表面，不能有看得见的灰尘和异物。

水膜不破测试是一种普通方法，对于胶接来说用来检测表面是否干净，用没有污染的蒸馏水清洗基体表面，表面上没有水膜残迹则表面是足够清洁的，要是有残迹则表明有污染物。

7.4.1 溶剂清洗

这些表面处理不会改变基体的物理或化学性质，然而会清除基体表面少量的材料，因而需要谨慎选择清洗溶剂。溶剂清洗的质量取决于操作者的敏感性。对于胶黏操作的表面质量取决于溶剂清洗后零件的仔细处理。有毒性、可燃性、不相容性和危险设备的使用都是存在的问题。而这些问题必须在使用溶剂清洗时妥善处理。

正如下面所描述的那样，溶剂清洗根据表 7 2 所示的数值以浸泡、喷雾、擦拭的方式应用于塑件的表面处理中。

表 7-2 塑料清洗推荐溶剂

塑 料	清洗溶剂	塑 料	清洗溶剂
ABS	甲酮	聚酰胺(尼龙)	氯化物、芳香类聚合物或甲酮
醛缩醇	甲酮		
丁苯(butadiene styrene)	芳香类聚合物	聚碳酸酯	乙醇
醋酸纤维素	甲酮	聚酯	甲酮
乙酸丁酸纤维素	甲酮	PE、PP 或氯化聚醚	甲酮
乙酸丙酸纤维素	甲酮	聚酰亚胺或有机玻璃	甲酮、乙醇或氯化物
DAP(邻苯二甲酸二烯丙酯)	甲酮		
环氧树脂、酚醛树脂	甲酮	聚苯醚	乙醇
EVA	乙醇	聚苯乙烯	乙醇
糠醇树脂、离子键树脂、三聚氰胺树脂、SAN、聚砜或硬聚氯乙烯	甲酮	聚氨酯	乙醇
		硅树脂	甲酮
		柔性聚氯乙烯	甲酮
碳氟化合物	甲酮或乙醇		

7.4.1.1　溶剂浸泡

零件在溶剂池中浸泡清洗。在溶剂池中零件被浸泡擦洗，接下来，用喷雾或流动的液体冲洗零件，在最后一步观察溶液的清洁性，这是很重要的，因为零件不会比最后用来冲洗的溶剂更清洁了。这种工艺仅适用于轻微的灰尘污染物。

7.4.1.2　溶剂擦拭

溶剂涂在干净的抹布上，然后用抹布擦拭零件。因为污染物集聚在抹布上，并且可能使污染物从一个零件转移到另一个零件上，所以必须经常换抹布。这样许多污染物从基体表面上清除到抹布表面，被粘物表面清洗到无论是抹布上还是基体表面上都没有残留物为止，并且抹布绝不能接触溶剂容器，清洗过后，零件必须在干净干燥的敞篷中干燥。这种处理方式对于只有油、油脂和尘土的表面是足够的。

7.4.1.3　溶剂喷洗

溶剂喷洗方法获益于高速粒子冲洗表面产生的擦洗效果。溶剂喷洗掉松的污垢，并且清洗效率很高。

7.4.1.4　蒸汽脱脂

对于带有可溶解性的污物（诸如石蜡、油脂和油类）大批量的零件来说，蒸汽脱脂是效率很高的。这种处理比溶剂擦洗更符合可溶性污物，它基于热平衡蒸馏。热溶剂蒸汽与被粘物冷表面接触，形成冷凝物，浸入并溶解了有机油脂。用吊篮、金属吊钩和其他装置把零件支撑在氟化的和氯化的溶剂蒸汽浴里。溶剂蒸馏物一直可以用到积聚的污染物明显降低了它的沸点为止。

7.4.1.5　超声蒸汽脱脂

超声清洗装置安装在盛有干净溶剂的清洗罐中。高频声波使溶剂产生高速的气穴和搅动，从而产生机械清洗效果。迅速地将零件上的灰尘清洗掉。

7.4.1.6　液体超声清洗

不用蒸汽脱脂方法而用这种超声清洗装置时，液体溶剂能产生相对高的清洗效果。

7.4.2　研磨方法

一些并不需要很高表面质量的应用场合，可以采用研磨处理方法。这些方法和 7.4.1 节列出的溶剂清洗方法相比能提供更高水平的表面处理质量。虽然不发生化学变化，但这些方法会清除基体表面的微小粒子，因而只是物理地改变基体表面，很难维持表面质量的一致性，并且复杂形状的表面很难应用这种方法。研磨清洗适用于表 7-3 所列的塑料。

7.4.2.1　干磨

干磨最简单的方式就是用粒度 180～325 目的砂纸来轻微地打磨基体表面。在砂纸打磨之前通常用溶剂清洗来清除表面赃物，打磨之后再用另一种溶剂清理干净。

表 7-3 推荐塑料的研磨清洗方法

塑料	方法	塑料	方法
ABS	干磨、湿喷砂或干喷砂	环氧树脂、酚醛树脂	干喷砂、研磨剂冲刷或去污剂擦洗
聚甲醛共聚物	干磨、湿喷砂或干喷砂		
聚甲醛均聚物	干磨	糠醇树脂、离子键树脂、三聚氰胺树脂、SAN、聚砜或硬聚氯乙烯	干磨、湿喷砂或干喷砂
丁苯	干磨、干喷砂		
醋酸纤维素	干磨、湿喷砂或干喷砂	聚酰亚胺	干磨
乙酸丁酸纤维素	干磨、湿喷砂或干喷砂	聚碳酸酯	干磨、湿喷砂或干喷砂
乙酸丙酸纤维素	干磨、湿喷砂或干喷砂	聚酰亚胺或有机玻璃(PMMA)	干磨、湿喷砂或干喷砂，或研磨剂冲刷
DAP(邻苯二甲酸二烯丙酯)	干磨、湿喷砂或干喷砂	聚苯乙烯	干磨

7.4.2.2 干喷砂法

干喷砂法用喷砂代替砂纸打磨。根据用途的不同，砂的粒度也不同。砂是由氧化铝、燧石、玻璃喷丸、氧化硅或碳化硅构成的。在喷砂前后同样需要溶剂进行预处理和后处理。

7.4.2.3 湿喷砂法

用 220～325 目的研磨浆来代替干喷砂。这种研磨浆是由干磨料（氧化铝或玻璃丸）和水以 1∶3 的比例配制的。湿喷砂后接下来就用蒸馏水清洗。这样就能获得没有水膜残迹的表面。

7.4.2.4 湿研磨剂冲刷

用钢刷或者干净的抹布清洗有洗涤粉和水的基体表面。干净的自来水清洗后就用蒸馏水进行清洗。这种技术也能得到没有水膜残迹的表面。

7.4.2.5 清洗剂擦洗

用非金属刷子和 110～140℉洗涤剂溶液刷洗基体表面。这种洗涤溶液是由每加仑自来水含 1～5oz 的清洗剂配置而成的。清洗过后用自来水冲刷然后再用蒸馏水清洗。这样可以得到没有水膜残迹的表面。

7.4.3 表面能处理和工艺参数选择

有些塑料需要显著地提高表面能。这些材料大部分是聚烯烃类（PE、PP 等），它们的表面能大概在 30dyn/cm 左右，为达到此目的，可以采用四种表面处理方式：化学法、电晕法、等离子法和火焰法。

7.4.3.1 化学处理

当需要较强的表面处理时就用化学处理法。然而一些聚合物需要强烈的溶剂，而这些溶剂容易释放出易燃的或腐蚀性的气体而要求很高的通风水平。这样应用这些设备和处理这些气体就会很贵。另外在一些地方使用它们是不合法的。只有在充分的调查胶黏剂是否需要这样极端的表面处理后，才能作为最后的手段而应用。化学处理必须在隔绝的密闭室进行，并且要操作仔细，对于废弃物要用与它们的危险

状态相称的处理方式进行处理。

化学处理通过改变基体表面的化学性质可以显著地改善表面对胶黏剂的吸收性。一般先使用化学方法，通常接下来就是溶液清洗，因而也能很好地完成表面处理的功能。这些处理方法是由化学剂、温度、浸入、清洗和干燥参数来定义的。在大多数的粘接文章中都能找到这一特殊的处理方法。处理过的表面并不能保持很长时间，因而应该在胶黏剂使用前才处理。

7.4.3.2　电晕处理

电晕表面处理方法是利用高伏电压在空气中放电的一种方法，在许多技术领域都有应用。把电压加载到空气中，当存在于空气中的自由电子在高压电场下加速到一定程度时，气体就被离子化了。当很强的电场促使电子和气体分子高速撞击而没有导致动能损失时，就会产生大量电子。

在放电中产生的电子带着两倍或三倍于打开大部分表面分子键所需的能量，撞击表面而产生自由基。这些反应性很强的自由基能迅速跟氧发生反应而在表面形成各种各样的化学功能团。这种氧化反应增加了基体表面的表面能。这并没有显著地影响零件的平衡状态。

图 7-4（a）所示就是最初的电晕处理，即所谓的常规电晕处理。对薄膜或片材来说，这是一种很有名的工艺，可以处理的最大厚度为 0.25in。这种工艺方法中应用 10～12kV 的电压。图 7-4（b）所示的装置是最近改进的、制造商称之为“三维电表面处理法”，使用高达 50kV 的电压，能处理高为 1.5in 的零件。除了高度有限制外，零件的尺寸没有任何限制。这种装置能产生 50～72dyn/cm 高度均匀的表面能，并且能以高达 60ft/min 的速度进行操作。操作成本虽低，但最初投资高达 12000～200000 美元。这种装置的基本优点就是速度高并且用途广，其他处理方式还有用在放电中产生的气体等离子体来处理塑料基体。

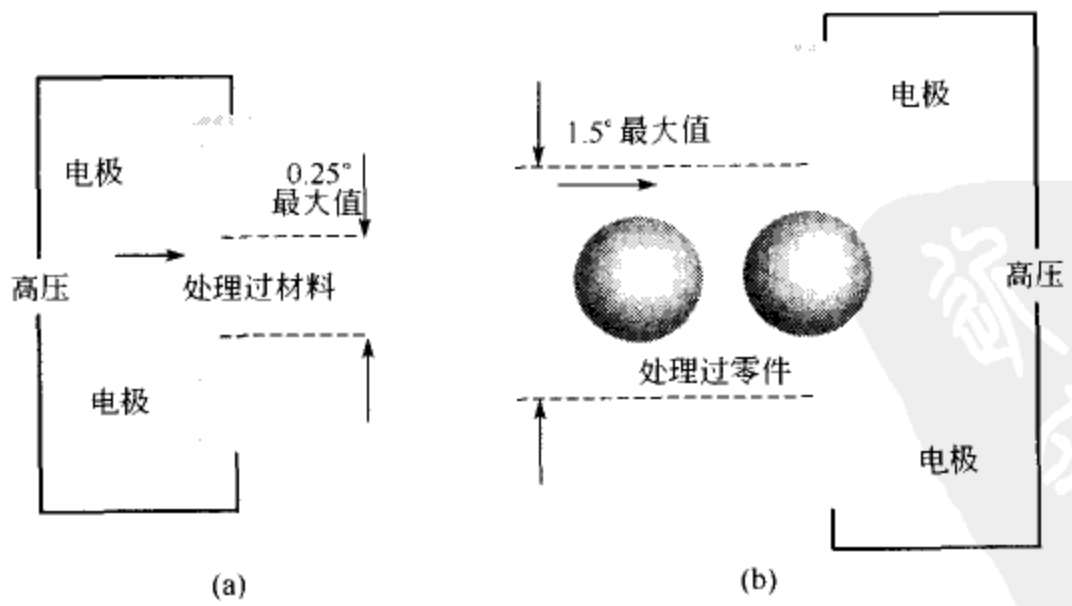


图 7-4　电晕表面处理

(Courtesy of Tantec, Inc.)

(a) 常规表面处理；(b) 三维表面处理

在一种三维电表面处理法即“气体辅助弧处理器”中，两根电极安装在处理区两端，电极后面安装风扇。电极接收到频率为 60Hz 的高压，最终的电弧产生足够热量熔融塑料基体。然而产生的等离子体不是用来熔融塑料基体的，而是以喷流的形式吹向基体表面，这种喷流离电极有 1in。虽然这种处理方式限于小的区域，并且处理速度最高只能达到 15ft/min，但是它能处理轻微的带曲线区域和平面区域。这种处理方法没有规章制度的限制，并且能获得超过 50dyn/cm 的表面能。这种设备的基本优点是投资少，操作费用低且用途广泛。这些优点使得它很容易应用到生产线上。

这种方法的处理效果受到零件通过电极区域时的速度影响。对于聚丙烯零件来说，当速率从 10ft/min 增加到 30ft/min 时，表面能从 50dyn/cm 降低到 35dyn/cm。另外基体表面离电极的距离也是个影响因素。对同一零件来说，当距离从 0.5in 变到 2.0in 时，表面能从 50dyn/cm 降低到 29dyn/cm 。

电晕放电处理对于小零件来说处理效果非常好，但是操作电压高、初期投资大。另外还需要臭氧处理器来处理在这一过程中产生的臭氧。

7.4.3.3 等离子处理

等离子处理能使连接剪切强度提高 200%～300% ，但是很高的初期投资限制了这种方法的应用。大量的小零件适合在这种处理室里处理。另外，由于等离子处理是成批处理的工艺，所以对于处理大零件用这种方法并不经济。处理速度和零件尺寸形状依赖于处理室的大小，这反过来又影响了投资。这种方法的最初投资至少要 13000 美元，最高达 1 百万美元。这种处理方法也没有规章制度的限制，表面能达到 50～72dyn/cm 。

在操作中，含有离子电子和其他粒子的高活性的离子化气体被引入处理室。然后用高频（300kHz～15MHz）的电场来激发这种气体。等离子就充满整个处理室并处理在其中的零件的所有表面。等离子处理在真空或专门的气体中进行。最适合于表面复杂很难用其他方法处理的零件。

7.4.3.4 火焰处理

火焰也能增加塑料的表面能，并且常常是三维塑料零件的可选技术。由于频繁开关火焰并不方便，因而需要大量的能量来维持持续的火焰。薄壁截面经过这种处理不发生变形是不可能的，并且火焰容易损伤基体表面的平滑性。

此外，火焰是很难控制的并且很难维持它的稳定性。有四个变量来控制火焰：空气和燃气的掺混比例、燃烧器输出、基体表面离火焰的距离、基体表面在火焰下的时间。每一个变量最优化的处理范围很小。如果变量发生某些偏离，表面处理的水平就下降了。然而在某些场合，火焰粒子分析器可以解决火焰的一致性问题。

虽然如此，火焰处理经常是处理成本最低的方法，尤其在考虑最初投资时更是如此。由于这种处理是无毒的，所以这种方法不存在危险物处理的问题，也不存在开销孔问题，并且和电晕处理法相比能获得较高的表面能，表面能可以持续较长的时间。该方法也能处理一些形状不规则的零件，并广泛应用于聚乙烯和聚丙烯，也

用于聚甲醛、聚亚苯基硫醚、热塑性聚酯和其他一些塑料。

7.4.3.5　工艺参数的选择

根本上来说，表面处理方法的选择有五个决定性指标。

（1）处理程度　表面处理的费用大概跟所需要处理程度成正比。

（2）处理速度　较慢的处理设备的购买成本和操作成本都低。

（3）在线或离线表面处理　这方面跟处理速度相关，因为只有最高速系统才需要在线处理。

（4）需处理零件的大小和形状　一般来说，处理平板零件成本最低。

（5）成本　投资和操作成本在任何商业决定中都是产生影响的因素。

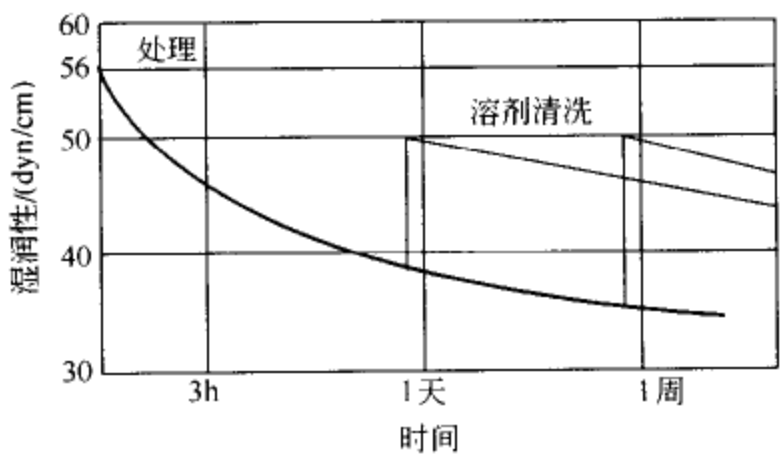


图 7-5　电晕处理的聚合物的湿润性受时间的影响
（Tantec 公司授权）

7.4.4　表面处理保存期限

表面处理产生的表面能的提高并不是永久性的。事实上，处理后表面能就开始急剧下降。如图 7-5 所示，3h 后表面能损失了 10dyn/cm，一天后损失了 18dyn/cm。表面能的损失主要是能量迁移到像酰胺、分散剂等低分子量成分的表面。树脂的纯度是一个决定性因素，但是储存环境和表面处理类型也是非常重要的。然而记住溶剂清洗能够使损失得到大大恢复。

7.5　粘接设计

要进行粘接设计，首先必须知道胶黏粘接和溶剂粘接所承受的力。粘接受到四种力的作用，即剪切、拉伸、裂开和剥离。后两种力描述的是同种载荷，也就是说，都是源于接头一端的拉力。然而裂开应力指的是两个硬的被粘物在力的作用下产生的应力，而剥离应力是一个硬的零件和一个软的零件在力的作用下产生的应力。第五个力，压应力也作用于胶黏和溶剂接头，但这种类型的失效并不常见。接头的疲劳失效包括出现裂纹、界面失效、开胶、空穴增长、多向裂纹、开裂和开裂增长。

7.5.1　剪切应力

如图 7-6 所示，剪切应力是作用在被粘物上试图使它们滑开的力。大多数粘接接头在这个方向强度最大，并且大部分设计是用来保证受剪载荷的。这种载荷作用在整个粘接表面上。在柔性环氧树脂中，拉伸和剪切强度通常是相等的，而刚性和硬的环氧树脂中拉伸强度更大一些。

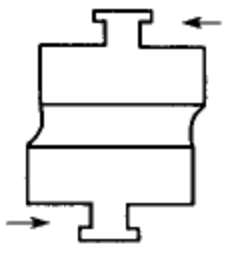


图 7-6　剪切应力

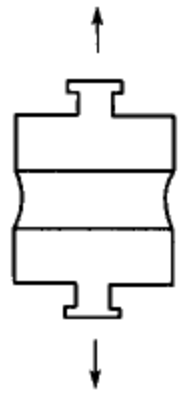


图 7-7　拉伸应力

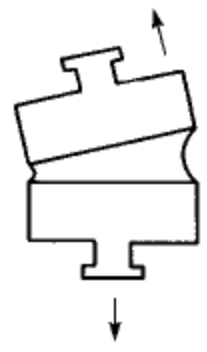


图 7-8　裂开应力

7.5.2　拉伸应力

图 7-7 所示拉伸应力试图把两个零件分开。这种应力在整个粘接表面均匀分布，因此所有粘接表面承受载荷。所设计的胶黏接头和溶剂接头用来承担这种载荷，这种载荷产生的是拉应力而不是剪应力。

7.5.3　裂开应力

裂开应力是作用于接头一边的载荷，如图 7-8 所示。由于接头一边的胶黏剂必须承担大部分载荷，所以接头对这种应力比剪切应力或拉伸应力更易于屈服。发生失效时，载荷沿着胶接表面迅速延伸。实际上，粘接体的相对硬度和胶黏剂的性质决定了载荷的分布，这种效果在剥离应力中更加明显。

7.5.4　剥离应力

如图 7-9 所示两个粘接体，一个硬度较大，一个较柔软。左边所示的韧性导致了作用在胶黏剂的载荷更大地集中在接头的边缘上。胶黏剂的性质影响了这种载荷的扩展。诸如图 7-9 所示，溶剂或硬性胶黏剂把承载应力区限制在更窄的范围内。在图 7-9（b）中所示，柔性胶黏剂导致了更大的应力载荷区（溶剂本身没有柔韧性，因为它们挥发后就不存在于接头中了）。

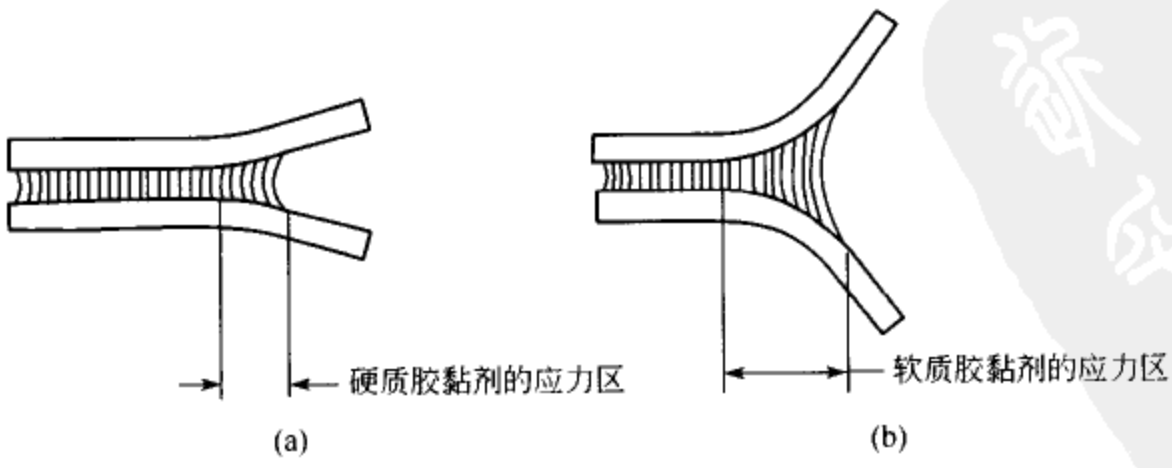


图 7-9　剥离应力

（a）硬质胶黏剂的应力区；（b）软质胶黏剂的应力区

7.5.5　胶黏接头设计

7.5.5.1　承载接头或无载接头

虽然通常认为溶剂和胶黏接头是承载的，但许多密封方面的应用也称为接头，但强调的是一种无载的功能。其中最基本的接头是用做密封或缓冲物来设计的。为达到这种目的，胶黏剂是以液体或热熔融的形式应用的。

由于胶黏剂充进了粗糙表面的裂缝或弥补了零件的变形，所以它们在一定程度上起到了两种功能。一种是填充粗糙表面的裂缝，另一种是补偿零件的变形。图 7-10 所示的就是这种类型。溶剂接头表面应该光滑而平整，以实现很好地密封。

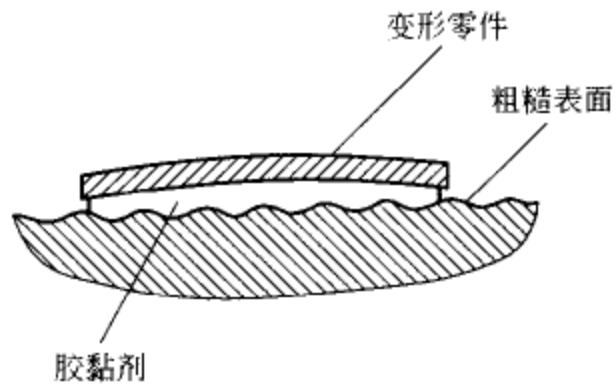


图 7-10　密封性胶黏剂

通常，胶黏剂能承受的剪切力和拉伸力比能承受的裂开力和剥离力的能力更强一些。因而设计胶黏接头要以充分利用它们的优势的方式分布载荷。设计者必须要考虑到热膨胀对接头的影响。

当两个粘接体的线性热膨胀系数显著不同时，剪切应力急剧增加。

显然，受热操作条件越恶劣，这种因素就越明显。

7.5.5.2　搭接接头

在接头大部分讨论中，往往做出两平板平面相连的假设。实际中这种情况很少。大部分的连接表面往往是互相增强的并且产生了更强的结构。当评论各种接头的相对适用性时，笔者考虑了这种性质，可能得出与读者在其他资料上看到的有明显的差异的结论。

简单搭接接头提供了一个反驳上述假设的最好实例。大部分参考书指出这种接头设计抗裂开、抗剥离差，所以并不受欢迎。对于两块硬板来说，情况确实如此。然而简单搭接并不是经常采用这种方式。当胶黏剂或溶剂在零件的边上而使用这种搭接接头时，它是很强的。事实上，这可能是溶剂粘接塑料制品最普通的方法。

在搭接接头中，一种材料搭接到另一种材料上。这有几种搭接接头的形式。一种就是图 7-11 所示的简单搭接接头。当两种材料有一定的柔韧性或者壁厚足够薄而有韧性时，这种接头连接的效果很好。如果平板零件中有一个太硬，那么这种接头对于剥离应力来说是易于屈服的，如图 7-9 所示。如果两个零件都太硬，那将导致如图 7-8 描述的那种裂开。如果壁厚太厚，那么作用于零件上的力就不能对齐，而导致如图 7-11（b）所放大的变形。

前面提到的搭接形式通常用来装配小的热塑性塑件，被称为伸缩接头。如图 7-11（c）所示。在这种情况下，连接件在溶剂中粘上溶剂到能粘接的水平，两个零件压在一起。这种胶接是在完全的结构中，所以具有强化作用，减小了裂开应力的影响，允许硬质材料的应用。当采用这种形式时，设计的接头要当作搭接伸缩接

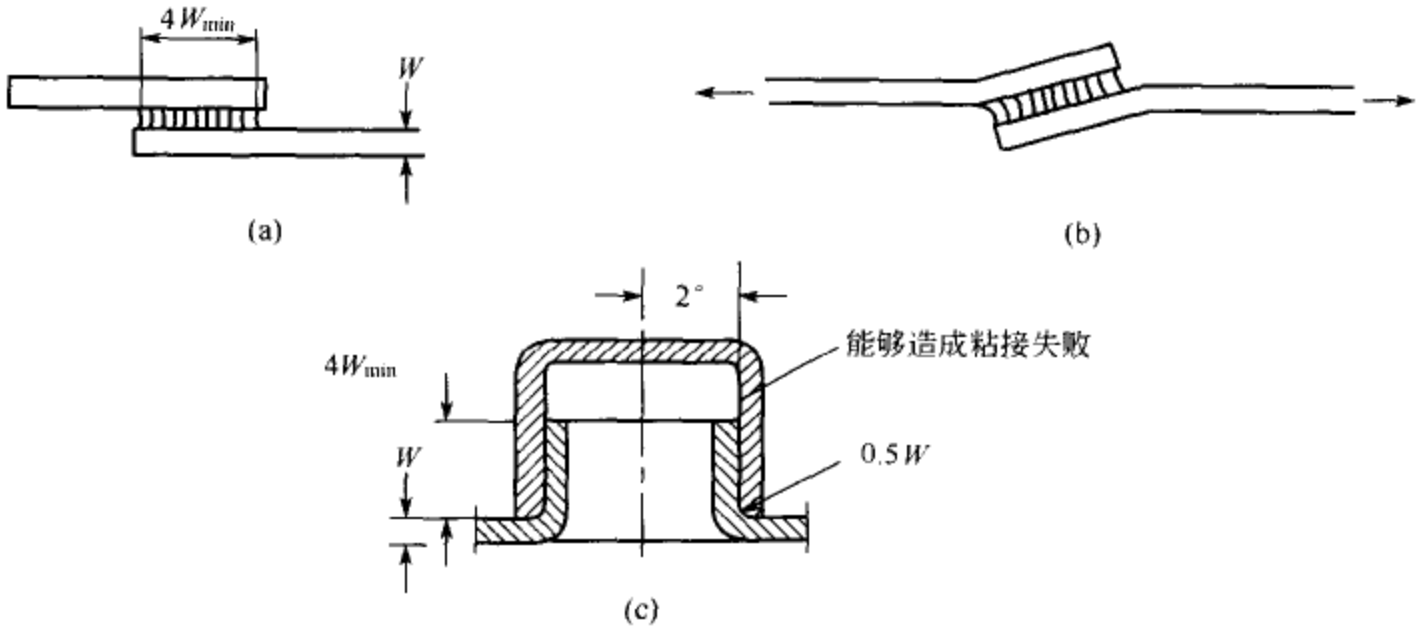


图 7-11　简单搭接接头

（a）简单搭接接头；（b）夸大的剪切效果；（c）伸缩式接头

头。必须仔细配备溶剂，因为胶黏剂太黏将可能在装配时发生胶黏剂失效。

通过图 7-12（a）所示的阶梯搭接接头就可以解决作用力对齐问题。这种结构中剪切载荷作用在一条直线上。通常内部必须倒圆角，以免在角上产生应力集中问题。另外，如图 7-12（b）所示，如果零件具有中等硬度，通过这种设计就可以承受一定的弯矩，否则将产生裂开应力。如图 7-12（c）所示采用皮带来强化这种类型的接头。

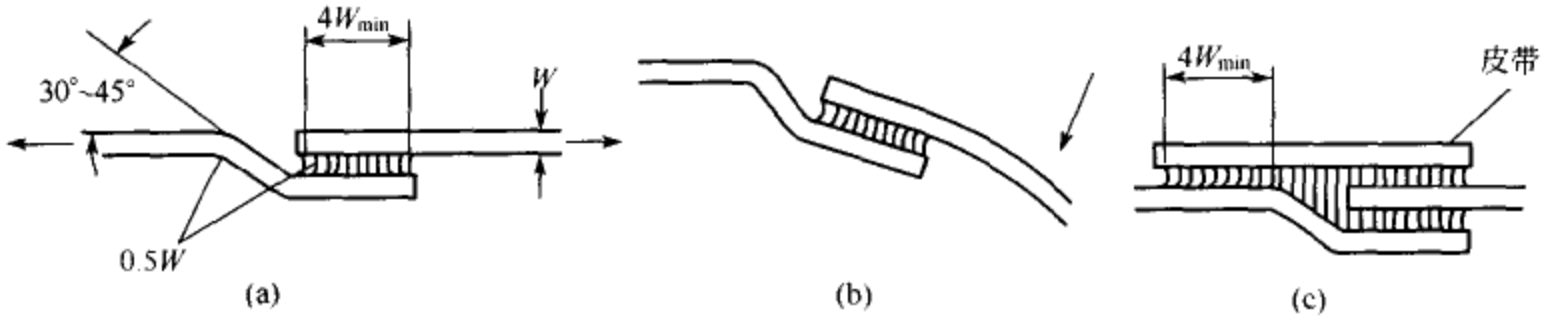


图 7-12　阶梯搭接接头

（a）阶梯搭接接头；（b）夸大的开裂效果；（c）采用皮带的阶梯搭接接头

盖板接头本身就可以用来做接头，如图 7-13（a）所示。当应用于图 7-13（b）所示的双盖板结构的接头时，粘接强度更大。图 7-13（c）所示的凹陷型接头可以隐藏接头，从而增加了接头的美观性。这种修改使表面平齐，并且更容易控制从接头渗出的多余胶黏剂。注意我们增加内角半径来减小应力集中，这些应力集中很容易使胶黏剂失效。由于这是一种典型的机加工接头，所以半径需要特制的刀头或刀片。

清除内部的尖角提高了零件的质量，因而额外订制切刀的成本也是值得的。

毕竟，塑料零件并不比零件最弱的连接强度强。在本章其他的接头设计都显示内角的半径。

图 7-12（a）和图 7-12（c）的所示阶梯接头用于各种制造平的零件的工艺，然而对于热固性塑料工艺和热成型更能发挥优势。带状盖板可以盖在任何零件上，但更多的是用在小批量机加工零件上。机械加工是生成如图 7-13（c）所示的隐藏式夹带的最常用的方法。其他的设计工艺用来设计大批量的接头类型，这些工艺如注射模塑法和传递模塑法对这种结构能发挥更好的优势。

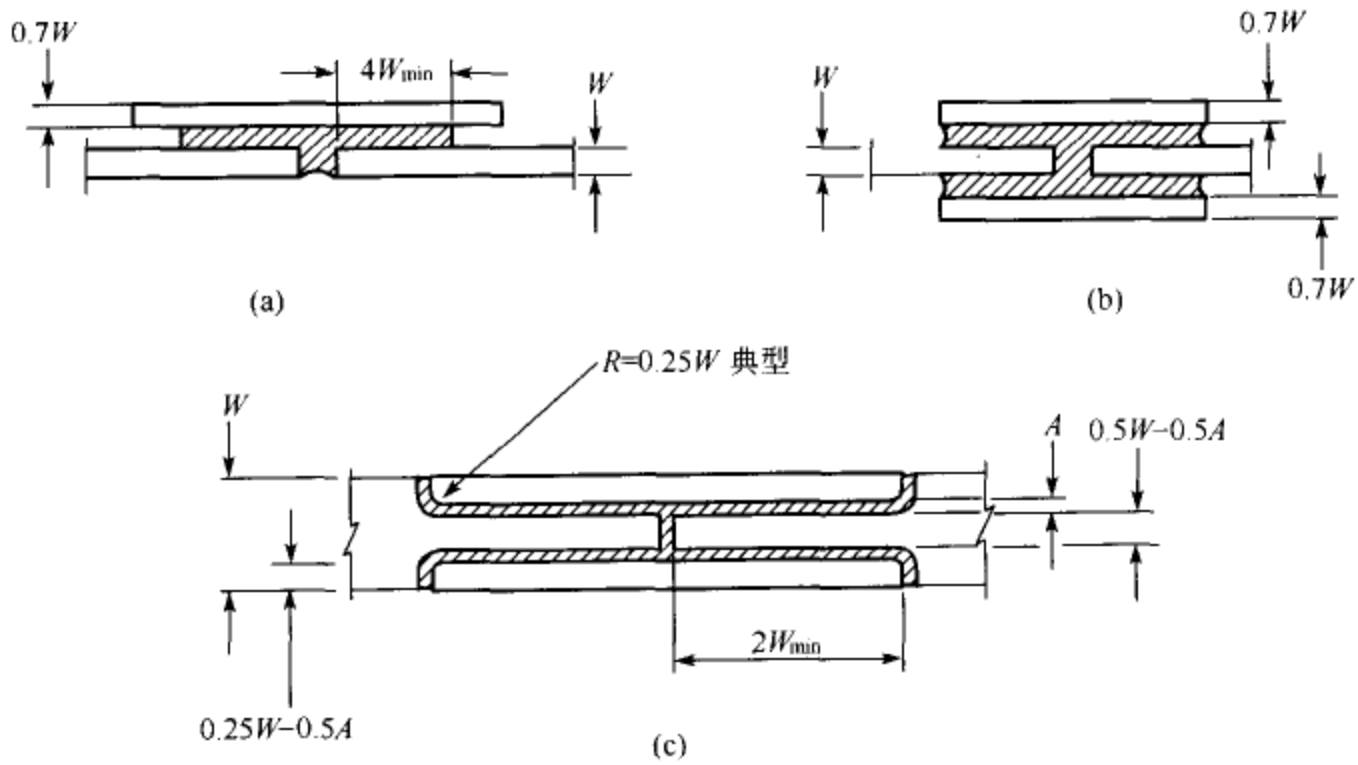


图 7-13　夹带接头

（a）单带接头；（b）双带接头；（c）凹壁双带接头

采用不同方式的锥形搭接接头可以处理弯曲力矩，也是非结构性的零件的一种设计方法。由于壁厚减少，零件韧性增加，所以就可以采用羽毛状边缘，如图 7-14（a）所示。这种设计也允许弯曲，因而避免了零件的裂开。所有的平板零件均可采用这种接头，但它也需要更多的机械加工。

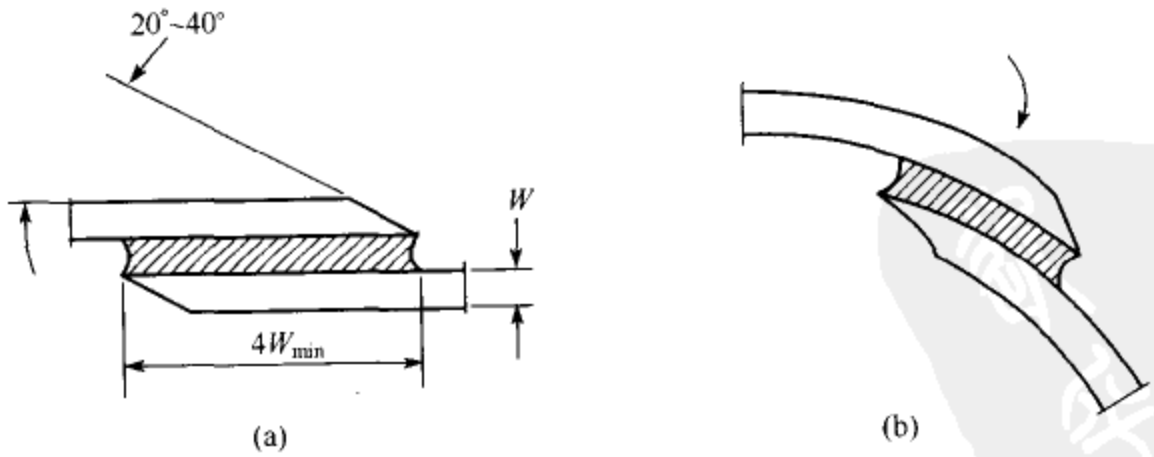


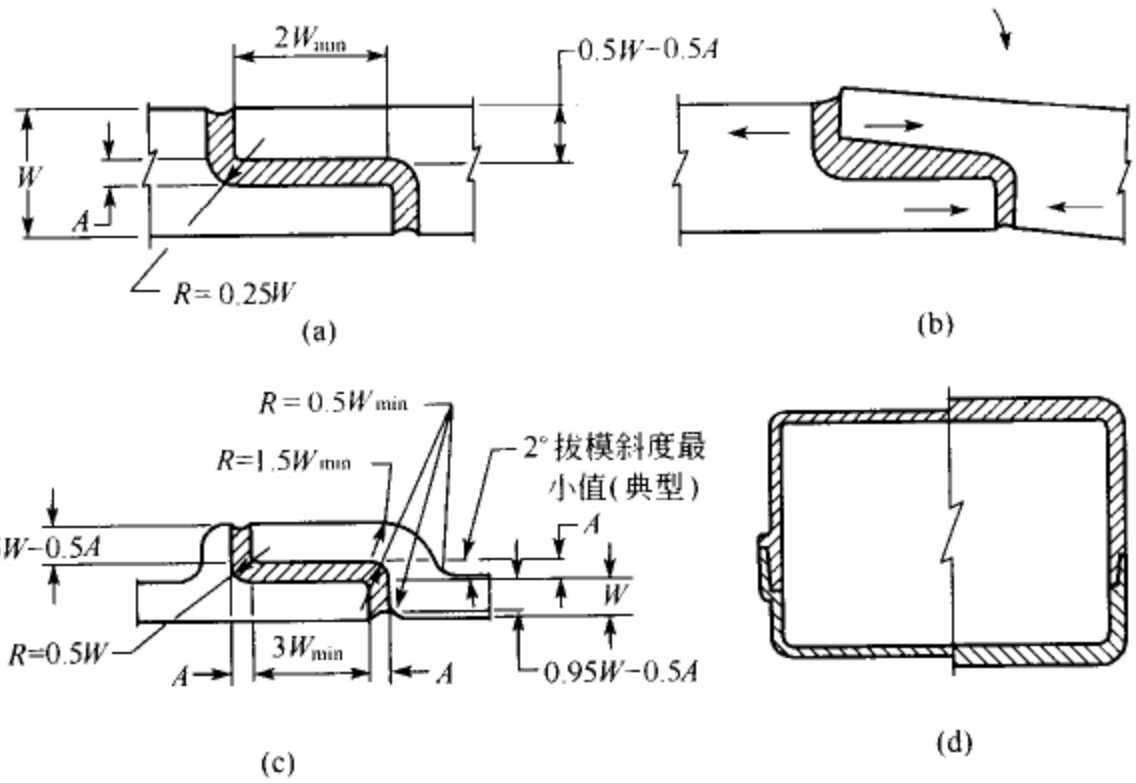
图 7-14　采用锥度的简单搭接

（a）采用锥度的简单搭接；（b）夸大的剪切效果

图 7-15（a）所示，双平头搭接接头采用了不同的型式。对接接头放置在搭接接头的两端，在接头位置要么产生拉力，要么产生压力，这取决于力的作用方向，

如图 7-15（b）所示。壁厚越厚，这种接头越牢固。对于平板零件来说，这是一种有效的设计。如果对于少量的机械加工时零件有较大的壁厚或许是可接受的条件，但是对于大批量的模塑产品，这种方法确实是不可接受的。如图 7-15（c）所示的薄壁结构在标有 $3W$ 的长度内有拔模斜度，从模塑的角度看这适合于加工，一般称其为半楔形接头。这再一次说明设计者必须注意内尖角的应力问题。这种接头适合于冷模成型、RTM 成型、压制成型的零件，而不适合热成型、吹塑成型和滚塑成型的零件。

图 7-15（d）左侧部分显示了薄壁模塑零件半榫型接头，右侧所示标准型式的半榫型接头。标准型式的建议尺寸如图 7-15（e）所示。注意这些尺寸跟图 7-15（a）（倾向于机械加工的接头）的接头尺寸有细微的差别。而图 7-15（c）所示的接



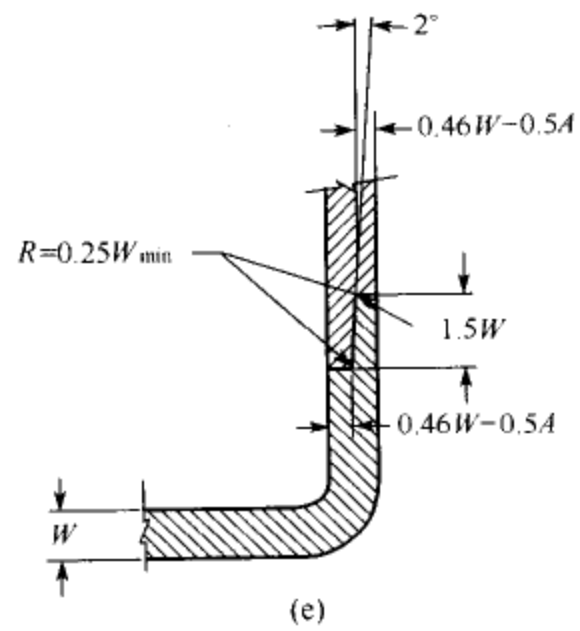


图 7-15　对接接头和榫型接头

（a）双对接接头；（b）开裂载荷；（c）薄壁半榫型接头零件；（d）带有薄壁半榫型接头的部分（左边）和标准型式（右边）；（e）标准半榫型接头零件

头倾向于模塑并且有 2°拔模斜度，配合长度为 1.5W。拔模斜度和接头长度的其他结合，每半榫端部的厚度可以通过拔模斜度的三角函数和接头两边取半法来确定的。注意薄壁不能小于材料的最低强度和可模塑的极限。

如图 7-16（a）所示，在特定壁厚的连接表面和很少承载而导致的开裂应力的场合，嵌接接头应用广泛。然而它不易定位且增加了加工工时。

对于平板零件来说，图 7-16（b）所示的双嵌接接头比双对接接头更适用，但是双嵌接接头的内角很尖并且加工更困难。图 7-16（c）所示的对接嵌接搭接接头是这两种接头的折中方案。这种接头跟双嵌接接头有相同的工艺限制，所有的嵌接接头在家具、大的机架等中都适合。

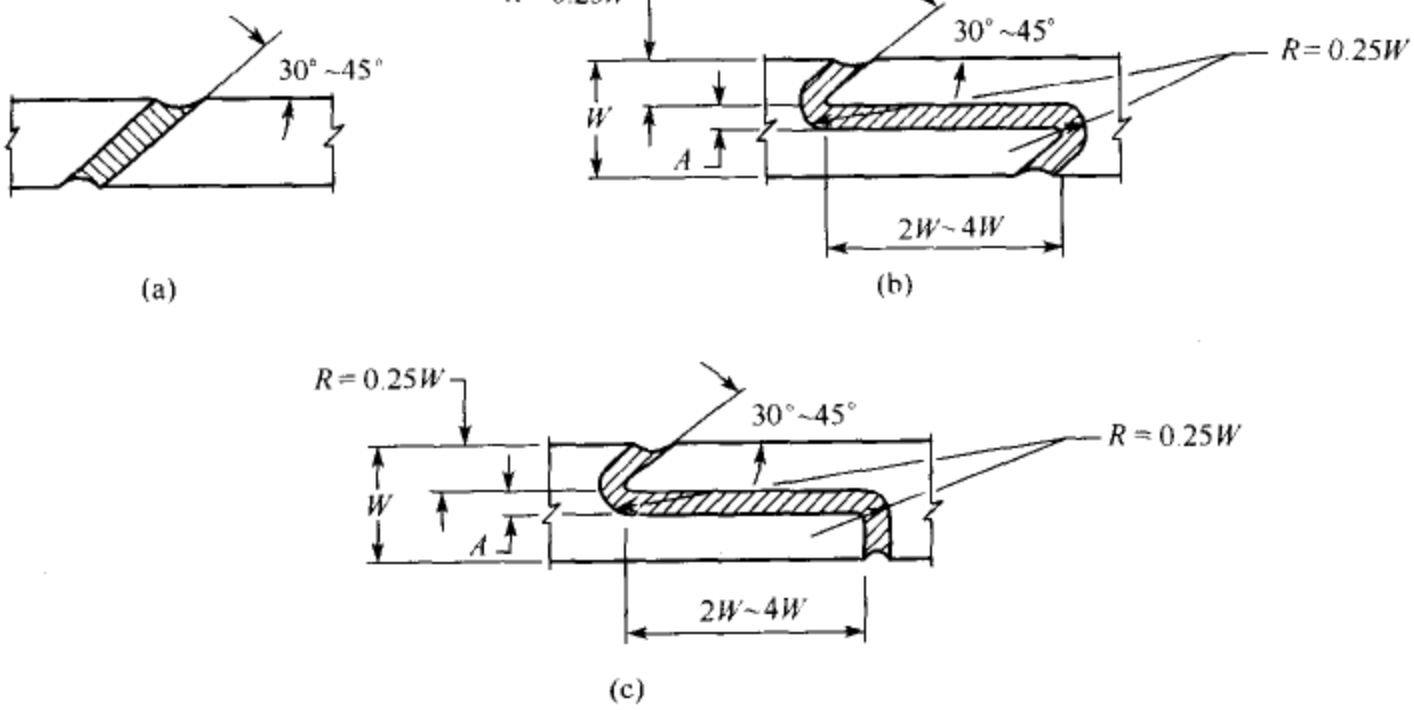


图 7-16　嵌接接头

（a）嵌接接头；（b）双嵌接搭接接头；（c）对接嵌接搭接接头

7.5.5.3　对接接头

在对接接头中，胶黏剂涂在壁面的一端上。这是另外一种评价很低的接头，人们认为它仅仅是连接平板的一种方法。实际上，紧固件与在热成型、冷塑成型、RTM 成型和压制成型的支撑件中，这种连接是最普通的方法。当内部没有可以固定的地方时，就用装夹工具来固定零件。

图 7-17（a）所示的设计就是一个简单的对接接头。虽然这种形式加工廉价，但是很少用于连接两个零件，因为这种形式很容易裂开。典型的结构就是图 7-17（b）所示的形式。在此，接头是大型零件结构的一部分。这种结构限制了开裂应力直接作用于接头。如果材料足够柔韧，也会吸收一部分载荷。当形成的对接接头形成角度时，就称为斜对接接头。这是一种用于大型面板的加强筋结构，或者在壁之间采用三角形的方式来加强热成型、叠铺成型/喷涂成型、RTM 成型、冷塑成型和压制成型的零件。

图 7-17（c）所示形成的较强的增强效果。这种结构类型被称为波状加强筋。

图 7-17（d）所示的挤出 T 形也具有加强的作用，称为 T 形接头。用装夹工具来定位这些加强结构。

在许多场合设计出定位方法，甚至模塑在零件上。这些措施都能改进装配工艺的效率。如图 7-17（e）所示就是这种设计。用这种设计来提供容纳胶黏剂或溶剂的沟。在图 7-17（f）中还有助于确定胶黏剂的位置，以防止胶黏剂从接头处溢出。在这个例子中，凸缘也有助于掩盖任何多余的胶黏剂。

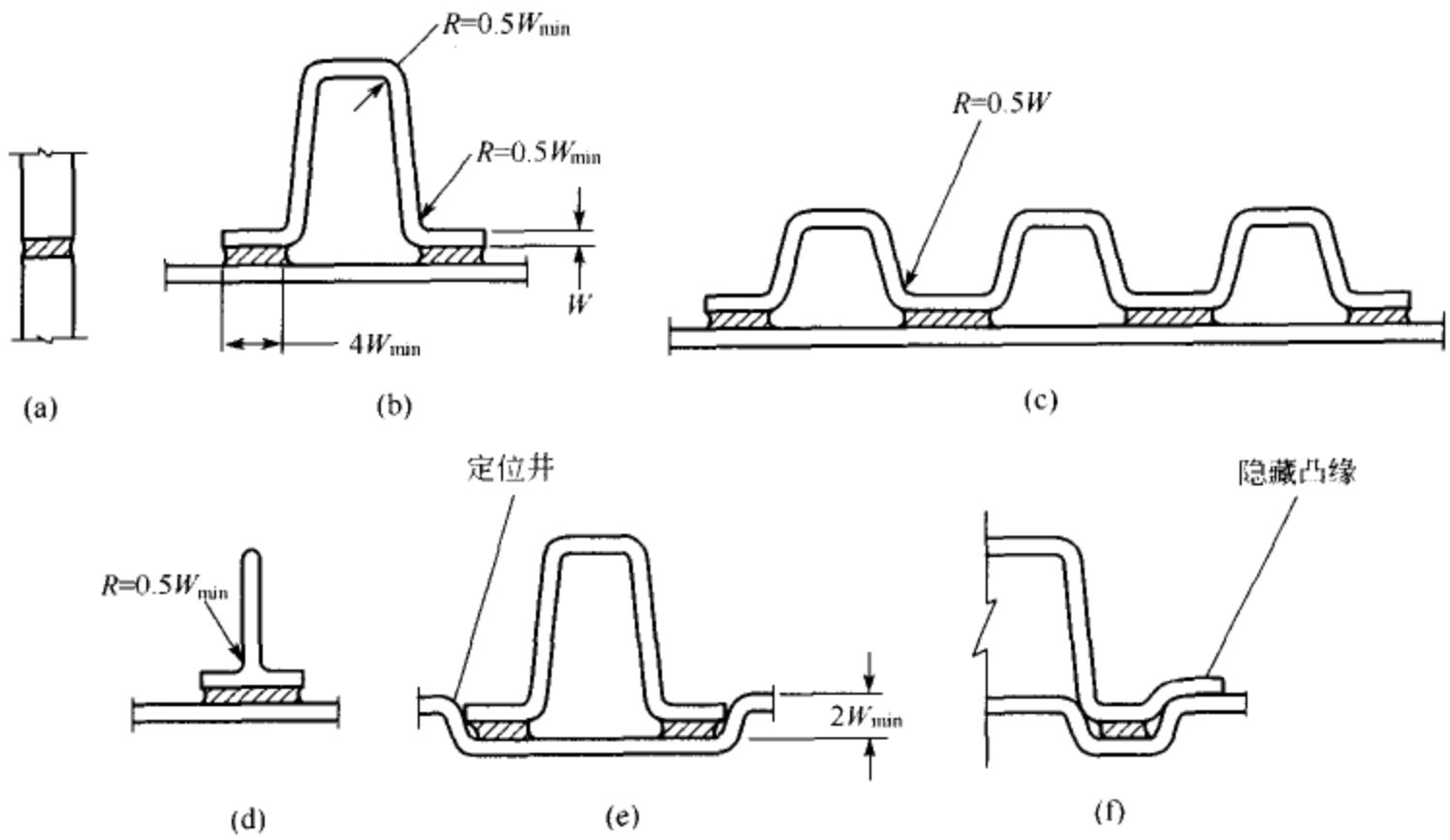


图 7-17　对接接头

（a）简单对接接头；（b）斜角对接接头；（c）波状加强筋；（d）T 形接头；（e）整体定位接头；（f）胶黏剂井中的整体定位接头

考虑到下一步，在图 7-18（a）中对接接头更深地放入狭槽中，这样就使得侧壁形成了支撑。因而形成了著名的舌榫接头。注意楔形顶端的倒角半径要达到 0.2W。这就形成了全圆角，这种结构减小了塑件接头的应力。如果两边形成了斜角结构，接头就成为图 7-18（b）所示的凸起嵌接舌榫接头。这种斜边结构增加了接头的强度，凸起用来控制深度，因而随之控制了胶黏剂的厚度。这个概念的第三种形式即嵌接舌榫接头中，凸起变成一个尖点，这使得每边壁厚变薄，因而对于塑件来说，并不建议采用这样的形式。舌榫接头除了控制胶黏剂位置外，在装配中能够自动对齐。最后，还有一种既没有凸起又没有对接的形式。这就是简单的 V 形结构，这样的接头可以采用机械加工的方式，但是对于其他工艺制造的零件就没有多大的价值。

在家具行业确立了的这些设计也能用于装配塑料薄板零件。然而零件必须是注射成型、传递模塑成型、铸造或机械加工成型的零件。半榫型接头很好地适用于注射成型和传递成型的零件。因为这些工艺允许把有效壁厚分成两个而不是三个。由于在零件的另一侧接头能够进行定位（长边或许需要支撑筋板来定位），所以唯一

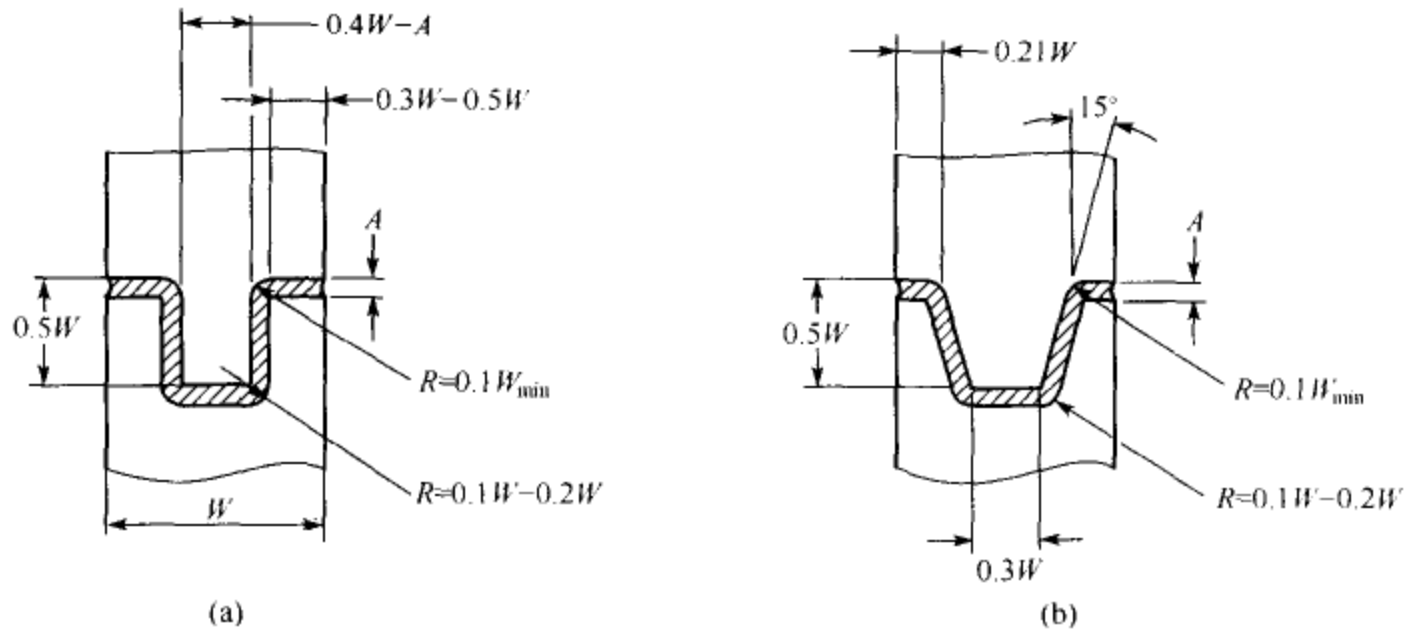


图 7-18　舌榫接头

（a）舌榫对接接头；（b）凸起嵌接舌榫接头

使用全榫型的理由是能为胶黏剂或溶剂提供料井。至于其他的工艺，这种接头制造成本较高且仅用于小批量的产品。因为对于处理大批量的产品还有更有效的方法。

有些结构要求角连接。如图 7-19（a）所示，角对接接头更易于受到裂开应力破坏。然而通常情况下，还需要其他结构来支撑。如果还需要进一步支撑，则在内部增加加强筋或挤出角，如图中虚线所示。偶尔以角度的形式在零件外边加支撑，如图中虚线所示。

对于胶黏剂来说，最强的是如图 7-19（b）所示的圆角对接接头。这种设计使所有应力都转化为剪切应力。在这种情况下，胶黏剂最强，然而加工成本也更高。对于其他方法不适用。热成型、叠铺/喷涂、RTM、冷塑成型和压制成型等工艺容易产生凸缘零件。图 7-19（c）所示的凸缘圆角接头很适合这些工艺且很容易夹紧。虽然所要求的 45°角会产生一些浪费。

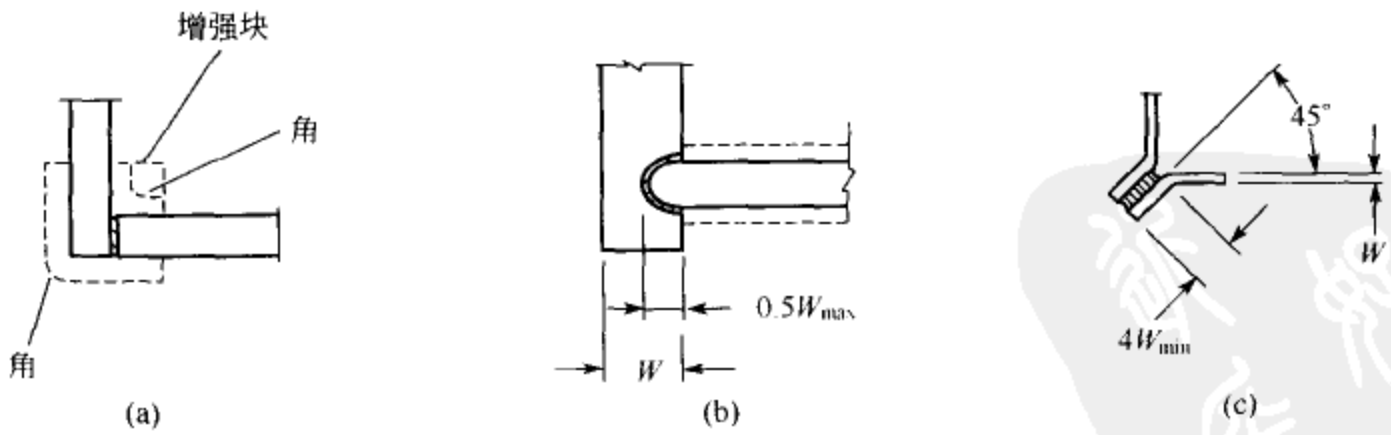


图 7-19　角接头

（a）角对接接头；（b）圆角对接接头；（c）凸缘圆角接头

7.5.5.4　螺钉和胶合

用螺钉和胶合的方法阻止不正确的处理接头表面或差的连接技术产生的可能性。

当接头所处的位置很难用常规的方法夹紧时，就用这种方法提供夹紧力（读者可以参考第 8 章“紧固件和嵌件”中有关夹紧力的讨论）如图 7-20 所示胶黏剂和溶剂放置在连接表面，零件用通常的方式连接。那么第二步操作就是旋合螺钉。通常这是自攻螺纹的螺钉，由于这是永久连接，并不打算重新打开且通常不需要螺母或螺旋嵌件。这个概念并不与在打算容纳螺钉的孔中滴一滴胶黏剂的实际操作相矛盾。在那种情况下，胶黏剂仅为了防止螺钉被振动而松脱，螺钉的主要作用是连接。

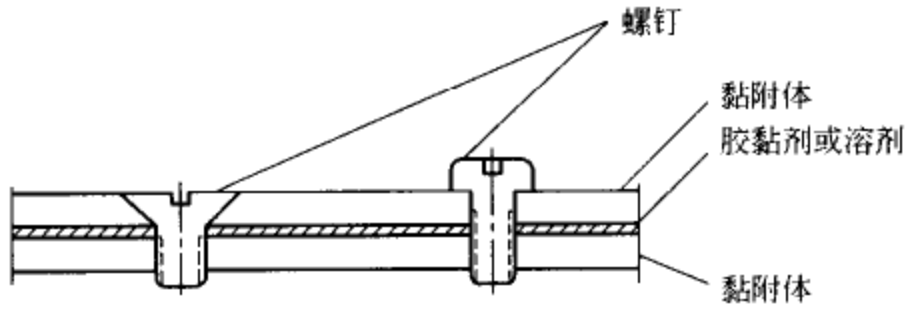


图 7-20　螺钉和胶合

7.6　胶黏剂

胶黏剂得益于大量的研究并且许多都是可以直接利用的，有些胶黏剂的强度远远超过了以前能获得的胶黏剂的强度。在某些场合，商业配制品包括多种多样的胶黏剂配方。一种胶黏剂能很快粘接，但是最终强度低，而第二种胶黏剂的最终强度高，但是需要更长的时间而不能立即进行下一步操作。通过把两者结合起来就可以获得两者的性能优势。

胶黏剂按类进行讨论并且按字母顺序列出。然而一些生产厂商在目录中尝试模糊所拥有配方的真实分类。本人曾尽可能地确定各类胶黏剂的制造商。在表 7-4（b）、（c）、（d）中列出了对于每种塑料推荐使用的胶黏剂［在表 7-4（a）中可以找到关键的数字代码］。设计者可以直接利用表中所列出的胶黏剂。

表 7-4(a)　在表 7-4（b）、(c)、(d) 中以数字代表胶黏剂的代码

胶黏剂类型	数字代码	胶黏剂类型	数字代码
弹性体	1. 天然橡胶 2. 再生胶 3. 氯丁橡胶 4. 腈类橡胶 5. 聚氨酯(也称热固性) 6. 丁苯橡胶	热固性树脂	22. 间苯二酚酚醛 23. 环氧树脂 24. 脲甲醛 26. 反应性丙烯酸单体系统 31. 丁酚醛 36. 聚酯(也称热塑性) 37. 厌氧性
热塑性树脂	11. 聚乙酸乙烯 13. 丙烯酸酯 14. 硝酸纤维素 15. 聚酰胺 16. 热熔共聚聚合物(EVA、EEA 等) 25. 氰基丙烯酸酯	杂项	41. 橡胶结构制品(天然或合成水基) 42. 乳状树脂(水基)

表 7-4 (b)　塑料之间连接的胶黏剂[1]

表　面	ABS	聚甲醛	纤维素[2]	DAP	环氧树脂	乙基纤维素
ABS	4,5,23,25,26	4,16	4,16,36	4,31	4,25	5,16
聚甲醛	4,16	4,5,16,23,31	4,5,16	4,23,31	4,23,31	4,5,16
纤维素[2]	4,16,36	4,5,16	4,5,14,16,36	4,36	4,36	4,5,14,16,36
乙基纤维素	5,16	5,16	5,14,16	4,5,36	4,36	4,5,14,15,16,36
尼龙	5,23,25,26	5,23	5,36	3,5,23,36	3,23,36	5,36
水杨酸氧化苯树脂	5,23,25,26,36	4,5,16,23	4,36	3,5,23,31,36	4,23,25,31,37	4,5,36
聚碳酸酯	5,25,26	4,16	4,16	4	4	5,16
聚醚砜	5,25,26,36	5,16,23	5,36	25,31,36	25,31,36	5,36
PE[3]	5,16	5,23,31	5,36	23,31,36	25,31,36	5,15,16,36
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	5,25,26,36	4,5	4,5,36	4,36	4,36	4,5,36
有机玻璃(PMMA)	25,26	5,31	5,36	31,36	31,36	5,36
聚亚苯基硫醚(PPS)	23,25	4,5,16,23	4,14,16	4,23,36	4,23,36	4,16
PP[4]	5,16	5,23,31	5,36	23,31,36	23,31,36	5,36
聚苯乙烯	16,25	5,16,23,31	5,16,36	23,31,36	23,31,36	5,16,36
聚氨酯	4,25,36	4,5,23	4,5,36	4,23,36	4,23,36	4,5,36
PVC	4,25,26	4,5	4,5,36	4,36	4,36	4,5,36
四氟乙烯(TFE)	15,23	23	5	23	23	5,15
邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)	4,31	4,23,31	4,36	3,4,23,31,36	3,4,23,31,36	4,5,36
环氧树脂	2,25	4,23,31	4,36	3,4,23,31,36	3,4,23,31,36	4,36
三聚氰胺	4,16	4,16,23,31	4,16,36	3,4,23,31,36	3,4,23,31,36	4,16,36
酚醛塑料	5,16,25	4,5,16,23,31	4,5,16,36	3,4,23,31,36	3,4,23,31,36	4,5,16,36
聚酯	23,26,36	4,23,31	4,36	4,23,31,36	4,23,31,36	4,36
脲醛塑料	4,16	4,16,23,31	4,16	3,4,23,31	3,4,23,31	4,16

续表

表　面	三聚氰胺	尼　龙	酚醛塑料	水杨酸氧化基树脂	聚碳酸酯	聚　酯
ABS	4,16	5,23,25,26	5,16,25	5,23,25,26,36	5,25,26	23,26,36
聚甲醛	4,16,23,31	5,23	4,5,16,23,31	4,5,16,23	4,16	4,23,31
纤维素[2]	4,16,36	5,36	4,5,16,36	4,36	4,16	4,36
乙基纤维素	4,16,36	5,36	4,5,16,36	4,5,36	5,16	4,36
尼龙	3,23,36	3,5,22,23,25,26,36	3,5,23,25,36	3,5,23,26,37	25,26	23,26,36
水杨酸氧化基树脂	4,23,31	3,5,23,25,26,37	3,23,31,37	5,13,23,25,26,36	4,16,25	4,23,26,36,37
聚碳酸酯	4,16	25,26	4,16,25	4,16,25	4,15,16,25,26	4,26
聚醚砜	23,31,36	5,25,26,36	5,25,31	23,25,36	25,26	26,31,36
PE[3]	16,23,31,36	5,23,36	5,16,23,31,36	23,31,36	15,16	23,31,36
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	4,36	5,25,26,36	4,5,25,36	4,5,36	4,25,26	4,26,36
有机玻璃(PMMA)	31,36	5,25,26,36	5,25,31,36	5,31,36	25,26	23,31,36
聚亚苯基硫醚(PPS)	4,23,36	5,22,23,25	4,16,25,26	23,25,26	4,15,16,25	4,26,36
PP[4]	23,31,36	5,23,36	5,23,31,36	23,31,36	15,16	23,31,36
聚苯乙烯	16,23,31,36	5,23,25,36	5,16,23,25,31,36	23,31,36	16,25	23,31,36
聚氨酯	4,23,36	5,23,36	4,5,23,36	4,23,36	4	4,23,36
PVC	4,36	5,26,36	4,5,36	4,36	4,26	4,26,36
四氟乙烯(TFE)	23	5,22,23	5,23	5,23	15	23
邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)	3,4,23,31,36	3,5,23,36	3,4,23,31,36	3,5,23,31,36	4	4,23,31,36
环氧树脂	3,4,23,31,36	3,23,36	3,4,23,31,36	4,23,25,31,37	4	4,23,31,36
三聚氰胺	3,4,16,23,31,36	3,23,36	3,4,16,23,31,36	3,23,31	4,16	4,23,31,36
酚醛塑料	3,4,16,23,31,36	3,5,23,25,36	3,4,5,16,23,25,31,36	3,23,31,37	4,16,25	4,23,31,36
聚酯	4,23,31,36	23,26,36	4,23,31,36	4,23,26,36,37	4,26	4,23,26,31,36
脲醛塑料	3,4,23,31	3,23	3,4,16,23,31	4,23,31	4,16	4,23,31

续表

表　面	聚醚砜	PE[1]	PET	有机玻璃	PPS	PP
ABS	5,25,26,36	5,16	5,25,26,36	25,26	23,25	5,16
聚甲醛	5,16,23	5,23,31	4,5	5,31	4,5,16,23	5,23,31
纤维素[2]	5,36	5,36	4,5,36	5,36	4,14,16	5,36
乙基纤维素	5,36	5,15,16,36	4,5,36	5,36	4,16	5,36
尼龙	5,25,26,36	5,23,36	5,25,26,36	5,25,26,36	5,22,23,25	5,23,36
水杨酸氧化基树脂	23,25,36	23,31,36	4,5,36	5,31,36	23,25,26	23,31,36
聚碳酸酯	25,36	15,16	4,25,26	25,26	4,15,16,25	15,16
聚醚砜	25,36	5,31,36	5,13,25,26	5,13,25,31	25,26	5,31,36
PE[3]	5,31,36	5,15,16,23,31,36,41	5,36	5,31,36	5,23	5,23,31,36,41
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	5,13,25,36	5,36	4,5,13,25,26,36	5,13,25,26,36	5,25,26	5,36
有机玻璃(PMMA)	5,13,25,31	5,31,36	5,13,25,26,36	2,5,6,13,25,26,31,36	5,25,26,36	5,26,31
聚亚苯基硫醚(PPS)	23,25	5,23	5,25,26	5,25,26,36	23,25,26	5,23,36
PP[3]	5,31,36	5,23,31,36,41	5,36	5,26,31	5,23,26	5,15,16,23,31,36,41
聚苯乙烯	5,13,25,31	5,23,31,36	5,13,25,26	2,5,6,13,25,31,36	5,23,25,36	5,23,31,36
聚氨酯	5,25,36	5,23,36	4,5,36	5,36	5,23,36	5,23,36
PVC	5,13,25,26	5,36	4,5,13,26,36	5,13,26,36	5,25,26,36	5,36
四氟乙烯(TFE)	5	5,15,23	5	5	5,22,23	5,15,23
邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)	5,31,36	23,31,36	4,5,36	5,31,36	25,31,36	23,31,36
环氧树脂	25,31,36	23,31,36	4,36	31,36	4,23,36	23,31,36
三聚氰胺	23,31,36	16,23,31,36	4,36	31,36	4,23,36	23,31,36
酚醛塑料	5,25,31	5,16,23,31,36	4,5,25,36	5,25,31,36	4,16,25,26	5,23,31,36
聚酯	26,31,36	23,31,36	4,26,36	26,31,36	4,26,36	23,31,36
脲醛塑料	31	16,23,31	4	31	3,23	23,31

续表

表　面	PS	聚氨酯	PVC	四氟乙烯	脲醛塑料
ABS	16,25	4,25,36	4,25,26	15,23	4,16
聚甲醛	5,16,23,31	4,5,23	4,5	23	4,16,23,31
纤维素②	5,16,36	4,5,36	4,5,36	5	4,16
乙基纤维素	5,16,36	4,5,36	4,5,36	5,15	4,16
尼龙	5,23,25,36	5,23,36	5,23,36	5,22,23	3,23
水杨酸氧化基树脂	23,31,36	4,23,36	4,36	5,23	4,23,31
聚碳酸酯	16,25	4	4,26	15	4,16
聚醚砜	5,13,25,31	5,25,36	5,13,25,26	5	31
PE③	5,23,31,36	5,23,36	5,36	5,15,23	16,23,31
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	5,13,25,36	4,5,36	4,5,13,26,36	5	4
有机玻璃(PMMA)	2,5,6,13,25,31,36	5,36	5,13,26,36	5	31
聚亚苯基硫醚(PPS)	5,23,25,36	5,23,36	5,25,26,36	5,22,23	3,23
PP③	5,23,31,36	5,23,36	5,36	5,15,23	23,31
聚苯乙烯	2,5,6,13,16,23,25,36	5,23,36	5,13,36	5,23	16,23,31
聚氨酯	5,23,36	4,5,23,36	4,5,36	5,23	4,23
PVC	5,13,36	4,5,36	4,5,11,13,26,36,42	5	4
四氟乙烯(TFE)	5,23	5,23	5	5,15,22,23	23
邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)	23,31,36	4,23,36	4,36	5,23	3,4,23,31
环氧树脂	23,31,36	4,23,36	4,36	23	3,4,23,31
三聚氰胺	16,23,31,36	4,23,36	4,36	23	3,4,23,31
酚醛塑料	5,16,23,25,31,36	4,5,23,36	4,5,36	5,23	3,4,16,23,31
聚酯	23,31,36	4,23,36	4,26,36	23	4,23,31
脲醛塑料	16,23,31	4,23	4	23	3,4,16,23,31

① 胶黏剂号代码见表 7-4 (a)。

② 醋酸纤维素、乙酸丁酸纤维素、乙酸硝酸纤维素。

③ 将要求表面处理。

注：来源于 Goodman S. H.，Schwartz，S. S. 的《塑料材料和工艺》，第 791 页。

表 7-4 (c)　用于连接非塑料和热塑性材料的胶黏剂类型①

热塑性塑料	非可塑性材料						
	陶瓷	织物	皮革	金属	纸张	橡胶	木材
ABS	6,16	3,5	16,23	23,25,26	4,42	5,16,21,25	4,26,42
聚甲醛	16,23	4,23	4,23	4,23	4,16,23	4,16	16,23
纤维素②	4,16	4,5,42	4,5,42	3,4	14,42	1～5,16	4,16
乙基纤维素	14,16	14	14	14	14,16	14,16	14,16
尼龙	4,23,26	3,4	3,4,26	3,23,25,26	4,41	2,3,25	3,4,26
水杨酸氧化基树脂	5,24	4	16,31,36	23,25,31,37	4,42	3,4	16,26,42
聚碳酸酯	16,23,26,36	23,26	16,23,26	23,25,26	16,36,	5,16,25,36	16,23,26,36
聚醚砜	16,23,25	3,4	4,31,36	23,25	5,41	2,6,16,25	16,26,36
PE	3,16,41	3,41	3,41	3,31,41	16,41	3,16,41	3,16,41
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	26,36	5,36	5,26,36	26,36	5,36	13,36	26,36
有机玻璃(PMMA)	3,4,26	4	3,4,16,42	3,4,25	42	1～5	3,4,26,42
聚亚苯基硫醚(PPS)	16,23	3,5,42	16,31	4,23,25,26	4,16,41	5,16,25	16,26
PP③	1,16,41	1,41	1,41	1,2	1,2,16,41	1,2,16,41	1,2,16,41
聚苯乙烯	16,41,42	3,5	5,31,36	25,31	5,16,31,36	2,16,25	16,31,36
聚氨酯	4	5,36	4,5	4,5	5,36	5,36	36
PVC	4,5,26	4,5,42	4,5,16,41,42	3,4,15,26,36	42	4,5,15	4,26,36,42
四氟乙烯(TFE)③	23	22	22	22,23	22,23	23	23

① 胶黏剂号代码见表 7-4 (a)。

② 醋酸纤维素、乙酸丁酸纤维素、乙酸硝酸纤维素。

③ 建议进行特殊表面处理。

注：Bostik Div.，USM Corp. 提供表格，本文作者进行更新。

表 7-4 (d)　用于连接非可塑性材料和热固性材料的胶黏剂类型①

热固性塑料	非可塑性材料						
	陶瓷	织物	皮革	金属	纸张	橡胶	木材
邻苯二甲酸二烯丙酯(DAP)	5,24	36	31,36	31	31,36	31	31,36
环氧树脂	23,31	4	4	23,31	4	4	23,31
三聚氰胺	3,16	4	3,4	4	16,41,42	2,3,4,16	3,16
酚醛树脂	3,16	4	3,4	3,25	16,42	3,4,16,25	3,16,42
聚酯	3,26	4	5,26	5,26	41	1～5	3,26
脲醛树脂	4,16	4,42	3,4	3,4	16,42	1～5,16	3,16,42

① 胶黏剂号代码见表 7-4 (a)。

注：Bostik Div.，USM Corp. 提供表格，本文作者进行更新。

对于个别配方必须保证其中没有对塑料有害的溶剂和化学成分。当不采用该规则时，通常会导致应力开裂。

7.6.1 丙烯酸树脂

丙烯酸树脂胶黏剂是一种结构性胶黏剂。它们能够耐低温，并且能够耐 300～500°F的高温，具有较好的耐化学性和优异的防潮性能。能使塑料之间很好地粘接，也能使塑料和金属之间极好地连接。强度在 1000～3000psi 之间。粘接聚烯烃表现一般，不建议用来粘接木材、纸和纸板。这种连接的冲击强度高、填充缝隙性能好、柔韧性也极好。在粘接塑料和金属方面，丙烯酸树脂比环氧树脂更有效，因为前者能够粘接有轻微油污的金属表面，而后者却要求表面清洁。

丙烯酸树脂具有中等黏度，并且通过催化作用，在常温下就可以实现双组分聚合或单一组分通过加热或紫外线光固化。紫外线固化很迅速，且比炉子加热所用的能量更少，然而深度固化需要附加固化机构。丙烯酸树脂具有中等黏度，可以以液体和凝胶剂的形式来使用。丙烯酸树脂可以通过管子、玻璃瓶、刷子和计量混合设备来使用。

典型应用　坩埚、电路板。

资料来源　Deven Dymax Fuller Hardman Humiseal. Loctite. lord Permabond, Tech Spray。

7.6.2 厌氧胶黏剂

厌氧胶黏剂只有在缺氧的情况下才有不同寻常的固化性质。厌氧型胶黏剂具有很好的密封性能和耐环境的性能。总体来说，它粘接金属的能力一般，粘接塑料的能力很差，并且根本就不能粘接聚烯烃或天然纤维素。对于缺口敏感的塑料不能采用厌氧型胶黏剂。由于螺纹暴露在没有固化的胶黏剂和高的螺纹应力的条件下而导致应力开裂，所以螺纹锁紧出现过问题。

厌氧型胶黏剂黏度低，固化时间和操作范围中等。通常从瓶子里或者分配器里一次滴出一滴来使用，并且它们是有毒的。

典型应用　主要应用是固定紧固件以防由于振动而松动。

资料来源　Loctite. Permabond。

7.6.3 氰基丙烯酸盐胶黏剂

氰基丙烯酸盐胶黏剂也称为 CAs，是一种单一组分胶黏剂，它因为有着瞬间黏合和小的操作窗口而著称。CAs 的强度在 1000～2000psi 之间，能够耐 150～250°F的高温，耐化学性和耐低温性能一般。CAs 不能充满缝隙，耐冲击和防潮性能较差。CAs 能很好地粘接金属件和聚烯烃类零件，并且与其他大部分塑料粘接性非常好。然而与天然纤维素粘接性很差。CAs 要求表面清洁，以能连接皮肤而著称。

CAs 黏度低，可以以液体和凝胶体的形式使用，并且从瓶子里和分配器中来涂抹被粘接物。要实现固化，这些胶黏剂可以在细长的表面和少量潮湿的情况下发

生聚合。这些胶黏剂在极低的湿度下固化很慢。CAs 需要薄的粘接边。在较厚的粘接边上要涂抹催化剂。对于固化较慢的环氧树脂进行处理时，CAs 可以用做固定胶黏剂。当以每磅固体胶黏剂来计算成本时，这种胶黏剂是最贵的。因此，最好节约使用。

典型应用　汽车垫圈、收音机按钮。

资料来源　Devon Henkel，Loctite，Lord，Permabond，3M。

7.6.4　环氧树脂

环氧树脂是即韧又硬的结构胶黏剂。具有韧性的同时，粘接强度最高能达到 2000～6000psi。环氧树脂型胶黏剂可以在无过多收缩的情况下常温固化，并且可用性能范围很广。它们能抵抗 350°F 的高温并且耐化学性和防潮性能良好到优异。这种胶黏剂能很好地填充缝隙，但柔软性和耐低温性一般。可以用做覆盖层，也可以用于灌注混合物以及那些具有导热和导电性能的场合。环氧树脂型胶黏剂粘接金属和木材最好，大多数塑料次之，聚烯烃类塑件最差。

环氧树脂型胶黏剂比带催化剂的双组分胶黏剂和单一组分需要加热固化的胶黏剂难用。它们经常跟双筒注射器、流动喷枪、计量混合炉和射线固化装置一起使用，并且以液体、糨糊和薄膜的形式使用。因为应用范围的限制，很难维持一致的生产率。环氧树脂型胶黏剂既有中等黏度的也有高黏度的。固化时间很慢，使得很难实现自动操作。然而固化可以通过各种各样的方法来加快进度。环氧树脂型胶黏剂的价格远低于 CAs，成为每磅固体试剂成本价格次之的结构性胶黏剂。

典型应用　汽车工业，航空工业和电子元件。

资料来源　Armstrong，Devon，Emerson 和 Cuming，Fuller，Hardman，Loctite，Lord，Permabond，Techform，3M。

7.6.5　热熔体

热熔体基本就是热塑性塑料，一般是聚丙烯、EVA、聚酯或聚酰胺。聚丙烯能很好的粘接聚烯烃，性能中等，耐温性达到 170°F。EVA 有较低的操作温度，耐温性在 120°F 范围内，但是它们价格便宜。聚酯具有从中到高的操作温度，能够抵抗 200°F 的温度。聚酰胺耐温高达 300°F。

这些胶黏剂加热到熔融状态，涂到基体上，当冷却时，就形成了连接。它们经常用来连接像塑料和木材等不同材料。因为黏度和温度的限制，热熔体粘接的强度未必很高。它们的强度在 100～500psi 范围内。另外，在连接塑料和金属时，这些胶黏剂在接头处产生残余应力，这将明显影响接头强度和寿命。粘接木材要比粘接塑料和金属强度更高。能够抵抗 130～300°F 的高温，而耐低温性能一般。耐潮湿性从坏到好。然而热熔体粘接可以用来阻碍潮湿气体。耐化学性也从差到一般，但狭缝装填性很好。当采用另外一种连接方法时，热熔体可以作为固定物来支撑零件。

这些胶黏剂需要专门的设备并且经常和喷雾器、称重仪、手持喷枪一起使用。它们是100%的固体，能以碎片、绳状、棍状来使用。因为胶黏剂不冻结，所以有很好的储藏稳定性，然而在持久的高温下，会发生降解。热熔体胶黏剂粘接很快，应用范围小。这些胶黏剂通过冷却和结晶能简单而迅速地定型，不需要任何附加设备。被粘物必须预热，尤其涉及到金属基材时更是如此，因为金属传热很快。覆盖重量难以控制，熔体不易燃。聚酯和聚酰胺的价格差不多是EVA和聚丙烯的两倍。

典型应用　服饰珠宝、行李箱、玩具、地毯、泡沫垫子、展览品。

资料来源　Bostik，Fuller，3M。

7.6.6　酚醛

酚醛是结构性胶黏剂，强度在2000～3500psi范围内，可以耐100～300℉的高温。耐化学性良好，防潮性能表现从良好到极好。

酚醛可以以液体和粉末的形式应用，可以用流体手枪、手持喷枪、计量混炼炉、放射固化装置来分散涂抹，它们能够通过加热或催化剂来固化。

7.6.7　聚氨酯

聚氨酯是密封性的结构胶黏剂，其强度在1000～2500psi范围内。剪切强度和剥离强度高。耐潮湿性和耐化学性一般，然而耐低温和缝隙填充性能良好。最高耐热温度达到250℉。韧性、密封性和耐久性都很好，聚氨酯粘接大部分塑料和木材性能良好，粘接聚烯烃次之，一般不粘接金属件。不建议用来粘接纸张、薄纸板和木板。聚氨酯能用于与带底漆的玻璃粘接。

聚氨酯可以以液体或糨糊的形式使用，并且通过流动喷枪和计量混合加热喷枪来分散涂抹。它们可以作为两组分室温固化或单组分湿润固化使用。单组分胶黏剂从弹膛即热喷枪中喷散使用。它们工作范围中等，黏度中等，固化时间有长有短。在单位固体胶黏剂成本中，它们比环氧树脂便宜得多。

典型应用　用来粘接像聚碳酸酯、尼龙、ABS、FRP和Metton等塑料。

资料来源　Ciba Geigy，Emerson和Cuming，Fuller，Hardman，Humi-seal，Lord，Tech Spray，3M。

7.6.8　多硫化物

多硫化物因其出色的缝隙填充性能和耐化学性能而作为密封材料。柔韧性、防潮性、耐高温、耐低温性能良好。这些密封材料粘接大部分塑料表现一般，粘接金属表现良好。不建议粘接聚烯烃或天然硝酸纤维素。多硫化物黏度大，粘接面积中等，固化时间也中等。

典型应用　门窗、航空航天。

资料来源　Product Reasearch，Thiokol。

7.6.9　压敏胶黏剂

这些胶黏剂因其不移除残渣就能清除的特性而有名。通常基于橡胶，其性质很差。强度在 10psi 以下，耐热在 100～140°F范围内，耐化学性能差，防潮性一般或很差。然而它们的优势是柔韧性。

压敏胶黏剂（PSAs）以液体或膜的方式使用。它们是通过溶剂蒸发来固化的，用手工、喷涂和粉刷的方式应用。轻轻一压即可粘接。

资料来源　Ashland，National Starch，3M。

7.6.10　聚硅氧烷

聚硅氧烷以温度范围宽而著称，可以作为密封材料。耐低温可以达到－100°F，耐高温可以达到 600°F。聚硅氧烷用于填充缝隙，具有良好的柔韧性、耐湿性和耐化学性，然而在金属和塑料的粘接中强度中等。不建议粘接木材。在使用前，应检查特殊塑料反应复合的匹配性。

聚硅氧烷有很强的黏度，用喷管和手持喷枪来使用，它们具有较宽的粘接范围和中等的固化时间。

典型应用　这种形式的密封应用。

资料来源　Dow Corning，General Electric，Rhone-Poulenc。

7.6.11　溶剂基胶黏剂

溶剂基胶黏剂（即单组分溶剂挥发性胶黏剂）具有良好的防潮性、柔韧性、耐低温和耐高温性，具有中等强度和良好的缝隙填充能力。它们能够湿润一些很难润湿的材料，但耐化学性一般。它们连接金属或木材时表现良好，但粘接塑料基体时表现一般。溶剂型胶黏剂价格合理，可以作为接触胶黏剂和浸湿覆盖层。它们最初的黏性很好，黏度有低也有中等，操作范围中等。然而它们有着火的危险，在储存和使用时必须仔细处理。另外它们还有毒性，且只能在通风良好的地方使用。

典型应用　嵌花、塑木层压板。

资料来源　Camie-Campbell，Fuller，Goodyear，PDI，3M。

7.6.12　水基胶黏剂

目前，采用水基胶黏剂有很强的趋势（也就是单组分水挥发性胶黏剂），当公司寻求代替毒性且易燃的溶剂基胶黏剂时，对水基胶黏剂做了大量的研究。早期的水基胶黏剂用于木材、薄纸片和纸张，以粘接纸箱和信封。这些胶黏剂连接上述材料最好。对于塑料和金属粘接从差到一般，并且这些胶黏剂还可以腐蚀其中某些塑料和金属。柔韧性、缝隙填充性、耐化学性和防水性也很差。然而耐高温和低温性能一般，水基胶黏剂可以在范围很广的固体材料中应用和应用于高分子材料的提取物。

利用不同的黏度，胶黏剂的固化时间由中等到慢，操作范围中等。如果储存在低温下，它们会冷冻。冷冻后，大部分胶黏剂相对来说还能使用。水基胶黏剂要比等量的溶剂基胶黏剂便宜。

典型应用　包装箱、塑木层压板。

资料来源　Fuller，National Starch Swift Techform，3M。

7.7　溶剂

溶剂通过分离塑料的聚合链和使连接表面软化来发挥作用。那么相互挤压使它们的聚合链混合并保持其位置直到溶剂挥发完为止。在室温下，只有无定形的热塑性塑料能被溶剂焊接。热固性材料不能被溶剂焊接，而结晶性热塑性塑料只有在高温下才能溶剂焊接。

在第 5 章“按照材料选择装配方法”中列出了每种塑料所建议的特殊的溶剂。

溶剂的配方经常包含多种溶剂。大部分树脂有好几种溶剂选择。溶剂以不同的速率挥发。低沸点的溶剂比高沸点的挥发快。溶剂挥发如此快以至于表面温度降低而在接头处形成冷凝物，这就是我们通常所说的“泛红”。增加 10%～20%慢干溶剂（例如甲基纤维素）就能足够延迟低沸点溶剂（例如丙酮）的挥发以阻止蒸气的突然蒸发。这些溶剂通常称为“阻滞剂”。一些制造商只是在湿度高时使用。采用微波辅助溶剂粘接大大改善了连接强度，且减少了清除溶剂的时间。

通常，少量树脂添加到溶剂中以增大黏度或“给它附着体”。诸如此类的溶液含有 1%～7%的树脂。而有时塑料含量达到 50%，这改善了配方的缝隙填充性，允许采用更大的公差，连接表面几乎不用预先处理，因为加宽的连接体表面间的间隙可以忍受。在多数情况下，它增加了溶液干燥的时间，操作范围也变宽。有形溶剂也称为“掺杂溶剂”。

不同类型的塑料通过在相同溶剂中乳化而能粘接起来。如果零件不能自由膨胀，则必须考虑它们不同的热膨胀系数。这对于采用溶剂比采用胶黏剂来说更为关键，因为许多胶黏剂有韧性，可以应付不同热膨胀系数的材料。如果对于两种树脂来说没有一般的溶剂，那么就制作包含这两种被粘接物的混合溶剂。

通常，溶剂很容易挥发，并且除了增加溶液的黏度，没有任何永久性的残留物。然而有的接头设计产生溶剂聚集。这样就只能软化有溶剂的那部分塑料。溶剂也会迁移，因而就会影响接头表面之外的区域。另外，它们起到缓解应力的作用，这些使得在应力区产生裂纹。因而定位诸如注射模浇口的应力位置是很重要的，远离溶剂的焊缝。最后为了便于溶剂粘接，塑料必须易于浸入溶剂。这就意味着塑料也是能够在任何时间被这种溶剂或相似溶剂浸润的，因而设计者必须认真研究溶剂在产品制造、运输和工作环境中的浸入潜力。

表 7-5 推荐出一些特殊塑料。

表 7-5 推荐的溶胶剂与塑料的组合

塑料	溶胶剂																		
	丙酮	环己酮	二甲基甲酰胺	二噁烷	乙酸乙酯	二氯化乙烯	甲酸	冰醋酸	甲基乙基甲酮	2-甲氧基乙醇	二氯甲烷	甲基吡咯烷酮	二氯苯	四氯乙烯	四氢呋喃	甲苯	80%甲苯/20%乙醇	三氯乙烯	二甲苯
ABS																			
丙烯酸																			
醋酸纤维素																			
乙酸丁酸纤维素																			
乙基纤维素																			
尼龙																			
聚芳醚																			
聚芳砜																			
聚碳酸酯																			
聚苯乙烯																			
聚砜																			
聚氯乙烯																			
PPO 基(Ndryl)																			
苯乙烯-丙烯腈																			
偏二氯乙烯																			
偏二氯乙烯-氯乙烯醋酸纤维素																			

注：来源于 Goodman，S. H. 和 Schwartz，S. S. 的《塑料材料和工艺》，第 787 页。

安全提示　大多数溶剂既有毒性也易燃。加工场所要能够通风排出，储存要有相应的安全保障。

7.8　胶黏剂和溶剂装配技术

胶黏剂和溶剂的内在特性使它们在塑料装配方法中有着独到之处。首先是时间因素。一些组分的保存期有限，一旦从容器中取出，这些组分的大部分都有相对短的期限，在这个期限内要应用到连接表面上。一旦超过了应用范围，这些材料必须丢弃。这意味着在某些场合，不替换所有打开的溶剂，生产线就不能停产。更糟糕的是没有100%的检测就不能检查粘接是否正确而有效，这样就产生了不安全性。因而提高安全系数来得到更大的安全余量。

紧固和夹紧对于要达到好的装配效果是非常重要的，因为获得足够的强度和完成的产品的位置固定与这些因素紧密相关。对于某些应用方法来说，技术是关键，尤其是要求高水平的外观时更是如此。在那种情况下，这些工艺与操作者的水平关系极大。

7.8.1　固定装置

在设计时就考虑定位可以使固定大量简化。这些通常能通过为胶黏剂或溶剂提供正常的料井来实现。

当这种方法不可能做到时，就需要外部固定。图7-21（a）所示是一个简单的装夹工具。在这个固定装置中，塑料件放在木块间来固定。在这个简单的形式中，塑件是用胶带来定位的。对于小批量塑件来说是可接受的操作。然而对于高产率的情况来说就显得太慢了。图7-21（b）所示的肘节夹紧固定装置效率要高得多。对于较大的产量，要制作跟传输带相关联的更复杂的紧固装置。这个传输带在热空气或炉内运行以加速干燥。

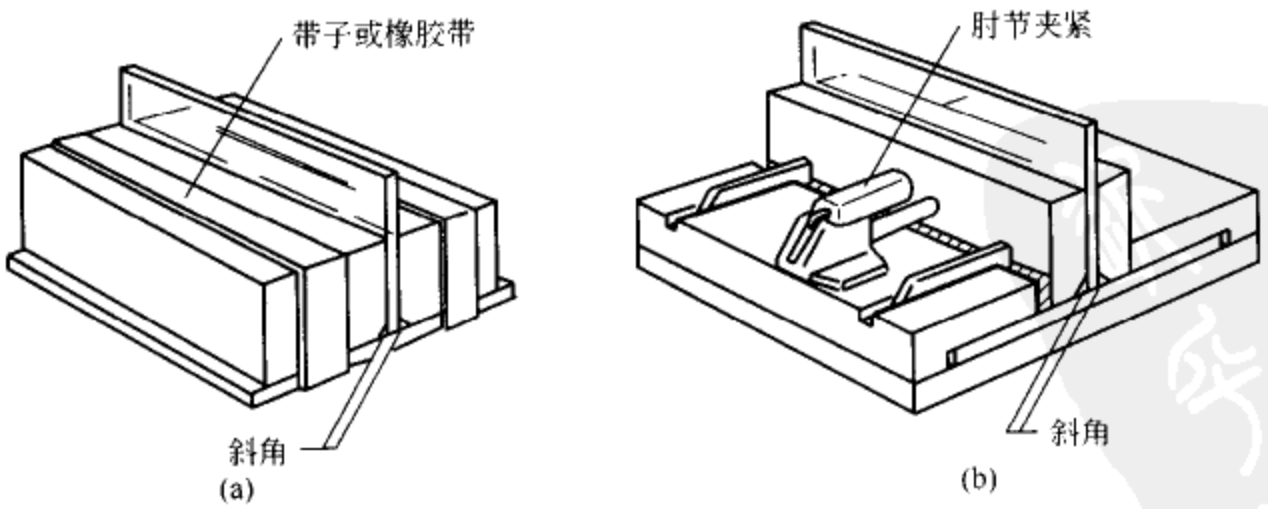


图7-21　固定

（a）简单固定装置；（b）肘节夹紧固定装置

7.8.2　夹紧装置

施加压力到接头上的最简单方式如图 7-22（a）所示。由弹簧、螺纹、垫圈等组成的加重包放置在接头上。另一种获得相同效果的方法就是使用楔，如图 7-22（b）所示。图 7-22（c）中的弹簧承载块对于大批量加工来说更加有效。还有像图 7-22（d）所示的鳄口式夹紧装置等各种各样的夹紧装置，可以夹紧小零件。这些很容易从供应商那里得到。

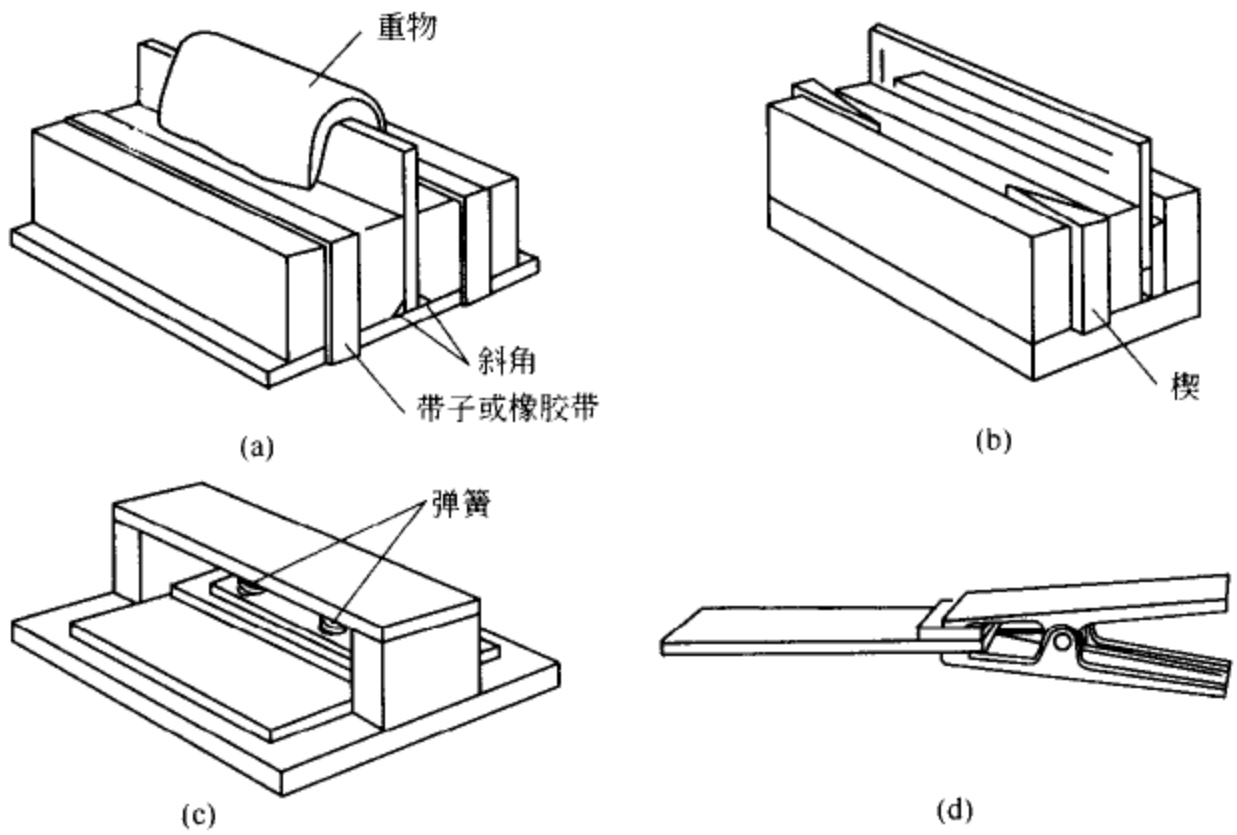


图 7-22　夹紧装置

（a）简单夹紧；（b）楔形夹紧；（c）弹簧夹紧；（d）鳄口夹紧

采用像图 7-23 所示的夹紧传输带能获得很高的生产率。零件通常通过滑配接头结合浸渍的方法来连接，零件放置在传输带的嵌套中，那么它们从第二个高架的输送带下通过，在这样情况下，通常加压达到预定的压力为止。通过计算传输带的速度和长度就可得到作用压力的时间。

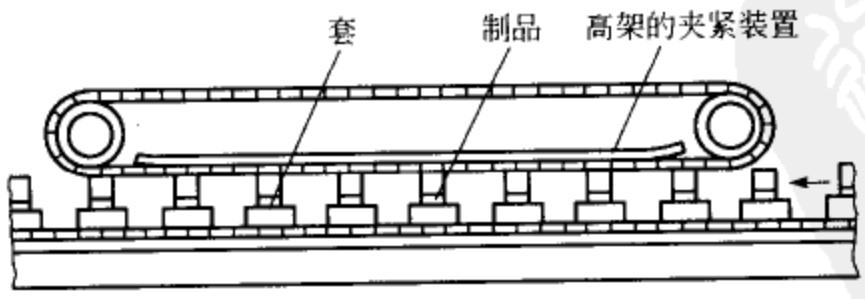


图 7-23　夹紧传输带

把夹紧装置以压力或卡扣连接的方式设计到零件中是可能的。由于前者的加工成本低，所以更受欢迎。随着投资和零件成本的升高，可以在装配中减少大量的人

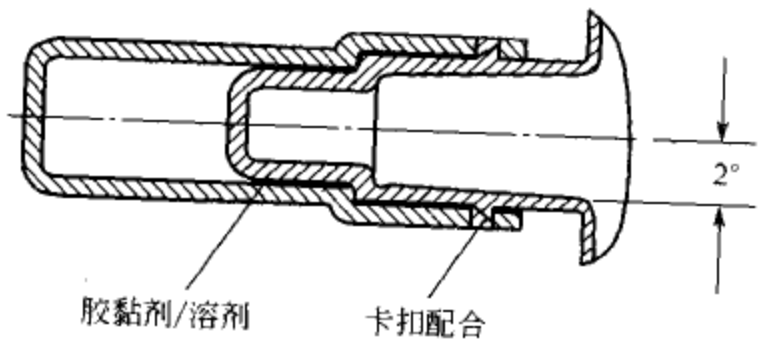


图 7-24　整体夹紧

工劳动。同时，夹紧与浸渍的方法一起使用是最好的。图 7-24 所示就是这种设计。

在以前使用胶黏剂中所讨论的“螺钉和胶”技术也可用于溶剂中。

7.8.3　应用方法

几乎每一种涂层的方法都已经被胶黏剂和溶剂采用。刷子、喷射器、滚子、涂布机、混合计量装置、有注射接头的瓶子、单筒喷射器、双筒喷射器、手持喷枪和涂抹器应用都很普遍。选择最精确的方法取决于胶黏剂的黏度、应用时间长短，所需的产率和两部分胶黏剂是否需要混合。胶黏剂制造商将知道哪种应用方式更适合于这种特殊的胶黏剂。经常使用遮盖物保证胶黏剂和溶剂不露在已完成的表面上。热熔体增加了加热因素的复杂性，然而对于胶黏剂和溶剂粘接来说有两种独特的技术，将做进一步的讨论。

7.8.3.1　毛细管法

毛细管法基本上是一种溶剂方法，因为大多数胶黏剂黏度太大而不能有效使用。如图 7-25 所示零件相互接触，用插管滴瓶沿着边滴溶剂。溶剂通过毛细管作用而进入接缝。这里的边不必绝对光滑，锯齿切边也能粘接。然而表面越光滑，粘接看起来就越好。在丙烯酸家具上有时会看到透明的接头。这种接头是在切除边后用砂打磨或锉削表面的方法来清除明显的痕迹，然后用火焰经过表面熔化掉锉削痕迹而获得的。这种火焰处理也能改善表面的湿润性。有时用注射器来代替瓶子，也要用到滴管，然而垂直的部分需要以偏离垂直处 1°来滴，因为这样才有效。

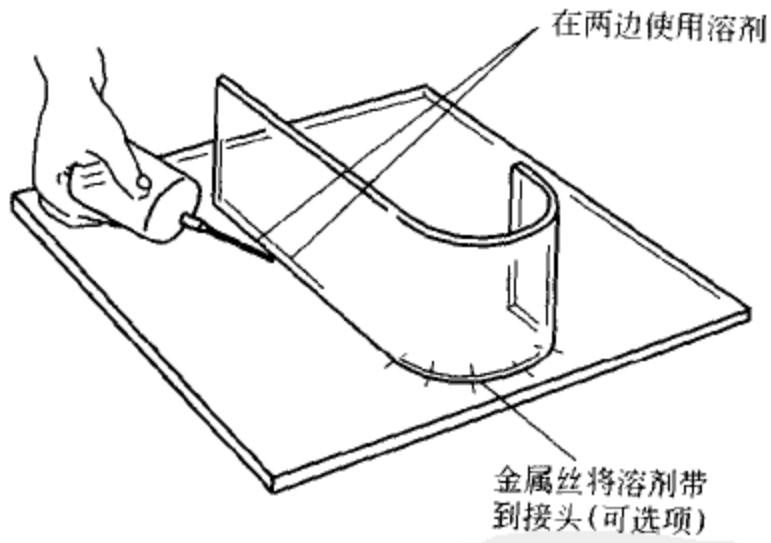


图 7-25　溶剂应用的毛细管法

注意在图 7-25 中固定在工件弯曲部分的微小电线。在某些场合它们被用作薄垫片。虽然时间变化取决于使用溶剂的干燥时间，但是配合件通常在大约 3min 后就可移走。

7.8.3.2　浸渍或浸泡的方法

浸渍和浸泡的方法实际上包括同一种粘接技术。这种技术也主要用在溶剂焊接。是用浸渍的方法还是用浸泡的方法取决于零件在溶剂中时间的长短。对于某些塑料和溶剂的结合，零件就应该像图 7-26 所示的那样进行浸泡，然后拿去装配。其他的结合要求两个零件固定在一起然后放在溶剂盘中。浸泡的方法能使溶剂达到外层表面，要通过使用商用遮盖物或普通胶带来控制，一般更倾向于用胶带。

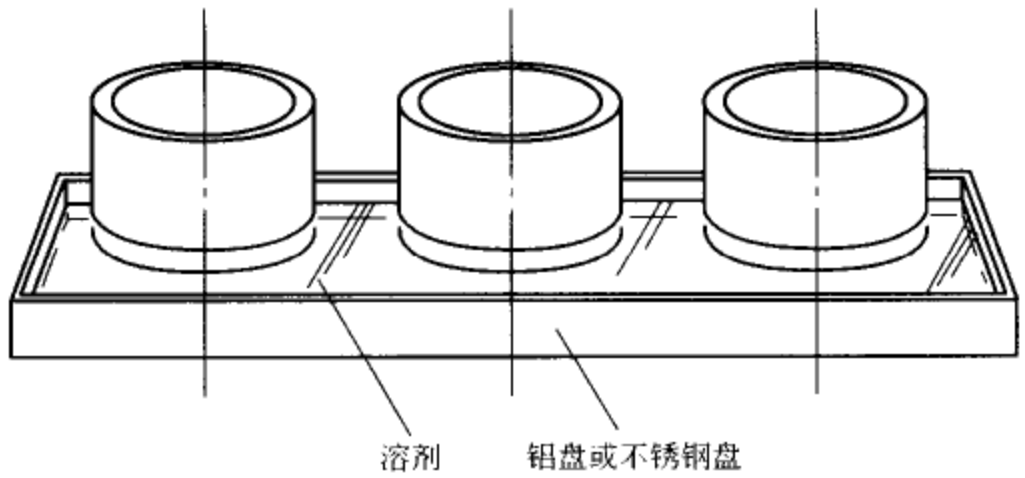


图 7-26　溶剂浸渍或浸泡的方法

然而，获得较高产率的方式是采用浸渍的方法。手工做法是从箱中拿起一个零件，在溶剂盘中蘸一下，在一块吸收的布中轻拍一下，于是进行可滑式固定连接。对于某些材料能实现自动化。然而没有观察者监控溶剂黏度或溶剂的滴溅就很难保证质量。关键是建立最优化的溶剂组合。考虑环境因素，人们更想采用图 7-23 所示的夹紧输送带。

无论采用浸渍的工艺还是浸泡工艺，使用这些廉价技术组装无定形热塑性塑料的问题是有毒气体的通风性。两种方法都使用开口的槽，这样就会不断地蒸发有毒气体。这是应该控制和采取通风措施的。良好的通风设备和抽风机是最低要求。个人对蒸气的抵抗性是不同的，并且需要更加复杂的方法。一些方法是麻烦的并且会增加工艺成本。这种蒸发性会导致混合剂的黏度的不断增加。这意味着溶液要不断地补充，这样就会使采用封闭式混炼室更加复杂。

7.9　胶黏剂和溶剂系统的选择

是采用胶黏剂还是溶剂粘接通常取决于在本章开头所讨论的一个或更多个的优点。选择哪种方法的最基本的理由是受下面一些因素的影响。例如，如果粘接不同种类塑料的要求是基本因素，胶黏剂或溶剂的选择将局限于能够连接两种树脂的范围内。接下来，决定哪种应用方法是可用的，并且根据产量需求做出最后决定。假设在对两个零件粘接所选的工艺中，产量需求是决定性因素之一，那么这些工艺将决定哪种连接结构是可用的，根据作用于接头应力的大小和类型将做出最后的选择。把这些转化到工艺程序中，如下所示。

（1）确定最能满足产品总体设计需求的工艺、树脂和结构。

（2）确定选择胶黏剂还是溶剂作为连接方法的主要特征。

（3）结合以上两者来决定哪种接头设计、胶黏剂或溶剂和应用选择是可用的。

（4）除非并不是所有的产品需求能明显满足，否则从最低成本的选择开始。如果能达到这一点，那么在成功地做出结论以前的每一步最低成本选择都能达到。

在这个程序执行过程中，要保证包括下面的决定因素。

（1）线性热膨胀系数的差异　这是一个普遍的问题，尤其是在使用胶黏剂时，

因为经常用它来连接不同的材料（例如，塑料与金属的连接等）。对于不同的组合，CLTEs的差异要更充分地考虑，如果产品易于受到较宽范围的热的影响，产生的残余应力将使产品失效。有些胶黏剂比其他的更具有弹性，也就能更好地吸收这些应力。如果胶黏剂能够承受弯曲，那么较厚的胶黏剂覆盖层也能解决这样的问题。

（2）温度对胶黏剂性能的影响　像塑料基体本身一样，胶黏剂的性能也随温度变化而变化，这将产生严重的后果。由于胶黏剂在操作范围的一端有足够的强度而在另一端就可能太脆。建议胶黏剂的性能根据产品暴露在热环境中的极限值来确定，以确保能够满足要求。

（3）粘接表面的面积　特殊接头的强度由粘接表面的面积和胶黏剂或溶剂的强度决定。通过简单地增加接头面积，经常能避免采用高价格的、高强度胶黏剂。连接表面的宽度跟长度一样重要。在相同尺寸的接头中，具有缝隙填充性的胶黏剂和溶剂有更大的粘接面积。

（4）确定接头应力　在胶黏剂和溶剂接头的应力很难确定。这就需要仔细地进行处理。因为胶黏剂对于每一种应力有不同的承受能力，并且应力作用的方向也影响接头。

（5）应力载荷的变化　对于特殊的树脂来说，随着载荷的增加，塑件将会发生不同程度的变形。变形使胶黏剂的接头处产生应力，造成剪切力变为裂开力，这种应力载荷的变化会导致接头失效。

（6）不同的黏性　特定的胶黏剂可能对于两种被粘物显示出不同的黏性。当连接塑料和金属时，这种不同性尤为敏感。采用涂底料可以提高对金属的黏性。

（7）溶剂的侵蚀　在溶剂连接或溶剂基胶黏剂连接中，采用的溶剂能起缓解应力的作用。这样就能缓解在零件高应力区产生裂缝。由于溶剂能在塑料中迁移，所以应力集中不会出现在接头区。侵入到接头的溶剂也能产生多孔或使接头弱化。最后，完成的产品在运输、储存或操作环境中不能暴露于有害的溶剂中。

（8）耐热性　用于固化胶黏剂的热应该低于能够影响塑料基体的热。要警惕温度达到使基体发生放热反应的程度。

（9）耐潮湿性　不同胶黏剂抵抗潮湿性的能力有很大的不同。如果在工作环境中存在大量的潮气，就应该测定环境的长期影响。尤其对热变化和高温、高潮湿的结合更敏感的塑料。

（10）寿命的影响　胶黏剂基体和它们的表面都被寿命所影响。如果暴露于阳光下，由于紫外线照射，将增加这种影响。由于许多方案并没有足够的时间允许延长寿命测试，所以当确定接头的安全系数时，应充分考虑这个因素。从制造商那里获得的寿命信息并不能直接精确的应用。

（11）估计成本　简单的计算应用胶黏剂的量和使用的劳动力来决定胶黏剂连接或溶剂连接的方法的成本是不够的。还有清洗连接表面的成本以及可能产生的表面处理、通风、固化和化学物质所需要特殊处理的成本。

随着对胶黏剂和溶剂连接的特殊需求的适当关注，可以获得寿命长、强度高的接头，这是把许多零件连接起来的最经济的方法，也是装配某些零件的唯一方法。

7.10　专业术语

像大多数工业一样，胶黏剂行业也有它本身的行业用语。使用胶黏剂的人员需要熟悉以下术语。

粘接　两物体相互黏附在一起（图 7-1）。

吸附粘接　两表面间分子接触时产生表面力所形成的粘接。

天使发丝　在涂抹器和连接表面间拉伸胶黏剂产生的纤维状丝。虽然并不是所有胶黏剂都有这种特性，但它出现时会降低装配速度。

咬合　这个术语指的是胶黏剂或溶剂粘在被粘物上的速度。例如橡胶基的胶黏剂用于胶带通常有很快的“咬合”。胶黏剂能及时丧失这种咬合。这一特性的其他术语有“黏着”、“快粘”和“黏合”。

渗透　从连接区域的边缘下面渗出的胶黏剂。软质胶黏剂更可能显示这种性质。

泛红　由于低沸点溶剂的快速蒸发，表面冷却而导致的溶剂连接处形成了冷凝物。

游标卡尺　表示胶黏剂的厚度，通常用 mil 来测量，即千分之一英寸。mil 有时也称为“点”。

内聚力　物体内部使其保持在一起的力。

一致性　胶黏剂跟粗糙基体表面相一致的能力。通常指压敏胶黏剂。

固化、加速　固化可以加速到允许的处理强度，并且在较短的时间周期内实现产品强度的优化。

固化、完全　产品达到 100%极限强度所经历的时间。这也是测试和评估进行以前所经历的时间。如果测试提前进行，结果强度要比完成充分固化时间完成后的强度要弱一点。

涂料　包含溶剂和一些基体树脂的混合物。用来增加溶剂的黏度，以使得填充空隙性能更好。

闭锁时间　在测试以前压敏胶黏剂粘接到表面的时间长短。

有效性　胶黏剂加上吸附性胶黏剂。

流动性　胶黏剂在基体表面展开和填充缝隙的能力。

黏合　见咬合。

处理强度　重叠剪切应力达到 50psi 需要的时间。零件太小不足以过度承受胶层上的应力，或者此时不能进一步进行加工。

机械黏着　当胶黏剂渗进表面微孔变硬时产生的机械连接力。

迁移　溶剂或胶黏剂的化学成分渗进基体或渗出基体的运动。

mil　0.001in。

非结构性胶黏剂　不能承受载荷的应用场合。比如，垫圈、衬垫、密封和用来装饰边缘和粘接挡风雨条的轻质材料的胶黏剂。

永久性胶黏剂　极限强度足够高，连接不会轻易断裂的胶黏剂。

压敏　对胶黏剂在室温下有黏性，用手一压就可以粘接到基体上的一种描述。

快粘　见咬合。也定义为胶黏剂应用后立即对这种特性的测量。

可移式胶黏剂　这种胶黏剂极限强度足够低而允许没有任何残留物的清除。为了这个目的，它必须有相对高的内聚强度并且较低的粘接强度。这种类型的胶黏剂在装配操作中用来固定和轻微地夹紧。

缓凝剂　一种慢速烘干的溶剂，用来减缓快速烘干溶剂的蒸发速率，以阻滞在连接表面由于迅速冷却而形成冷凝物。

工作温度　粘接后胶黏剂能够抵抗 12h 的温度。

规定时间　获得硬的、均匀表面所需要的时间。通常比加工时间要长，而比处理强度要短。

保存期限　胶黏剂在特定条件下能够储存并且仍旧能用的最长时间。

遗漏　在连接时没有胶黏剂的区域。

特殊胶黏　胶黏剂粘接不同的基体材料具有不同的胶黏水平的特性，例如特殊胶黏剂能从一些材料中移开，而能永久性地连接到其他材料上。

结构性胶黏剂　用于承载接头的胶黏剂。它们通常与被粘物一样强或更强。

粘接　见咬合。

极限粘接　胶黏剂的最大粘接强度，大多数在使用 91h 后能够达到其极限强度。

湿润性　液体涂到固体上的能力。在胶黏剂连接的情况下，指的是胶黏剂跟基体的接触程度。

范围（窗口）　胶黏剂或溶剂作用到接头在变稠失效以前的时间段。

工作寿命　胶黏剂大量浸润基体的时间。在胶黏剂工作寿命结束后，零件不能装配。工作时间短的产品可以根据它们室温下的固化进度而加速，但是对于工作时间长的产品就不能这样。这是因为在室温固化胶黏剂反应期间（称为放热曲线）放出的热能够产生固化的内部加速。附件的热对固化速率影响很小。

工作时间　见工作寿命。

7.11　资料来源

Adhesives Research, Inc., 400 Seaks Run Rd., Glen Rock, PA 17327, (800) 774-5996, (717) 235-7979, fax (717) 235-8320, www.adhesivesresearch.com

Adhesive Technologies, Inc., 3 Merrill Industrial Dr., Hampton, NH 03842, (800) 544-1021,ext. 123, (603) 926-1616, fax (603) 926-1780, www.adhesivetech.com

Armstrong Products Co., Resin Technology Group LLC, 28 Norfolk Ave., S. Easton, MA 02375, (508) 230-8070; fax (508) 230-2318, www.resintechgroup.com

Ashland Chemical, Inc., Composite Polymers Div., 5200 Blazer Parkway, TW-1, Dublin, OH 43017, (800) 545-8779, (614) 790-3333, fax (614) 790-4119

Bostik Findley, Inc., 11320 Watertown Plank Rd., Wauwatosa, WI 53226, (414) 774-2250, fax (414) 479-0645, www.bostikfindley-us.com

Camie-Campbell, Inc., 9225 Watson Industrial Park, St. Louis, MO 63126, (800) 325-

9572, (314) 968-3222, fax (314) 968-0741, www.camie.com
Ciba Specialty Chemicals Corp., Formulated Systems, 4917 Dawn Ave., East Lansing, MI 48823, (517) 351-5900, fax (517) 351-6255
ITW Devcon, 30 Endicott St., Danvers, MA 01923, (800) 933-8266, (978) 777-1100, fax (978) 774-0516,www.devcon.com
Dow Corning Corp., 2200 Salzburg, P.O. Box 994, Midland, MI 48686-0994, (989) 496-7881, fax (989) 496-6731, www.dowcorning.com
Dymax Corp., 51 Greenwoods Rd., Torrington, CT 06790, (860) 482-1010, fax (860) 496-0608, www.dymax.com
Eastman Chemical Co., 100 N. Eastman Rd., P.O. Box 511, Kingsport, TN 37662, (800) 327-8626, (423) 229-2000, fax (423) 229-1194, www.eastmanchemical.com
Ellsworth Adhesive Systems, W129 N10825 Washington Dr., P.O. Box 1002, Germantown, WI 53022-8202, (800) 888-0698; fax (262) 253-8619, www.ellsworthadhesive. com
Emerson & Cuming, Inc., 869 Washington St., Canton, MA, 02021, (781) 828-3300, fax (781) 828-3104,www.emersoncuming.com
H. B. Fuller Co., 1200 Willow Lake Blvd., P.O. Box 64683, St. Paul, MN 55164-0683, (888) 423-8553, (651)236-5900, fax (651) 236-5898, www.hbfuller.com
GE Silicones, 260 Hudson River Road, Waterford, NY 12188, (800) 255-8886, (518) 237-3330, fax (518) 233-2642, www.gesilicones.com
Goodyear Tire & Rubber, Chemical Div., 1144 E. Market St., Akron, OH 44316-0001, (330) 796-2120, fax (330) 796-2222, www.goodyearchemical.com
Grace Specialty Polymers, W.R. Grace & Co., 55 Hayden Ave., Lexington, MA 02173, (617) 861-6600, fax (617) 863-1436, www.medizin.li
Hardman Div., Harcros Chemicals Inc., 600 Cortlandt St., Belleville, NJ 07109, (973) 751-3000, fax (973) 751-8407
Henkel Loctite Corp., 1001 Trout Brook Crossing, Rocky Hill, CT 06067-3910, (800) 562-8483, (860) 571-5100, fax (860) 571-5465, www.loctite.com
Hernon Manufacturing Inc., 121 Tech Dr., Sanford, FL 32771, (800) 527-0004, (407) 322-4000, fax (407) 321-9700, www.hernonmfg.com
Humi-Seal Div., Chase Corp., 2660 Brooklyn Queens Expressway, P.O. Box 770445, Woodside, NY 11377, (888) 854-5693, (718) 932-0800), fax (718) 932-4345, www. humiseal.com
Lord Corporation, Industrial Adhesives Div., P.O. Box 10038, Erie, PA 16514, (800) 458-0434, (919) 468-5980, fax (919) 469-5923, www.lordadhesivews.com
Master Bond Inc., 154 Hobart St., Hackensack, NJ 07601, (201) 343-8983, fax (201) 343-2132, www.masterbond.com
National Starch - See Permabond
Pacer Technology, 9420 Santa Anita Ave., Rancho Cucamonga, CA 91730, (800) 538-3091, (909) 987-0550 , fax (909) 987-0490, www.pacertech.com
PAM Fastening Technology, Inc., 2120 Gateway Blvd., P.O. Box 669063, Charlotte, NC 28208, (800) 699-2674, (704) 394-3141, fax (704) 394-9339, www.pamfast.com
Plasti Dip International, 3920 Pheasant Ridge Dr., Blaine, MN 55449 (800) 969-5432; fax (763) 785-2058, www.plastidip.com
Permabond Engineering Adhesives, Div. National Starch & Chemical Co., 10 Finderne Ave., Bridgewater, NJ 08807-3300, (800) 653-6523, (908) 575-7200, fax (908) 575-7203, www.permabond.com

Plexus Adhesive Systems (see ITW Devcon)
Products Research & Chemical Corp., 21800 Burbank Blvd., P.O. Box 4226, Woodland Hills, CA 91364, (818) 702-8900, fax (818) 702-7499
Quantum Chemical Co., 11500 Northlake Dr., P.O. Box 429550, Cincinnati, OH 45249-1694, (800) 543-5900, (513) 530-6500, fax (513) 530-6560
Rhodia, Inc., 259 Prospect Plains Road, P.O. Box CN-7500, Cranbury, NJ 08512, (888) 776-7337, (609) 860-4000, fax (609) 860-0138, www.us.rhodia.com
SAF-T-LOK International Corp., 300 Eisenhower Lane N., Lombard, IL 60148, (800) 222-2087, (630) 495-2001, fax (630) 495-8813, www.saftlok.com
Shell Resolution Performance Products, 1600 Smith St., Houston, TX 77002, (713) 241-2996, www.shellchemicals.com
Stik-II Products, 41 O'Neill St., Easthampton, MA 01027, (800) 356-3572, (413) 527-7120, fax (413) 527-7249, www.stik-2.com
M. Swift & Sons, Inc., 10 Love Lane, Hartford, CT 06112, (800) 628-0380, (860) 522-1181, fax (860) 249-5934, www.mswiftandsons.com
Tantec, Inc., 630 Estes Ave., Schaumburg, IL 60193, (888)382-6832, (847) 524-5506, fax (847) 524-6956, www.tantecusa.com
Techform, Inc., 1553 Carter St., P.O. Box 270, Mt. Airy, NC 27030, (336) 789-2115, fax (336) 789-2118, www.techforminc.com
Tech Spray, P.O. Box 949, Amarillo, TX 79105, (800) 858-4043, (806) 372-8523, fax (806) 372-8750, www.techspray.com
3M Engineered Adhesives Div., 3M Center Bldg. 220-7E-01, St. Paul, MN 55144, (800) 362-3550, (651) 733-1771, fax (651) 736-4776, www.3m.com
Uniroyal Technologies Corp., Adhesives and Sealants Div., 2001 W. Washington St., South Bend, IN 46628, (800) 999-GLUE, (574) 246-5000, fax (574) 246-5425, www.uniroyaluas.com
ZENECA Specialties, Luxtrak Adhesives Business, 1800 Concord Pike, Wilmington, DE 19850, (302) 886-7979, fax (302) 886-2378, www.chemscope.com

第8章　紧固件和嵌件

8.1　优点和缺点

由于对组合件需要重新拆分保存，因此限制了装配方式的选择范围。传统用于拆分制品的方法是使用紧固件，但消除紧固件是当前装配的一大趋势。因为需要耗费大量资金用于购买和安放。如果产品需要拆卸进行回收，拆除这些紧固件的费用也非常高昂。虽然如此，在1995年，单是在机械工业应用中就使用了4.37万亿个紧固件。很明显，紧固件在很多应用领域仍是最优选择。

8.1.1　使用紧固件的优点

（1）可拆卸性　紧固件使用广泛的一个主要原因在于它的可拆卸性能。在一些需要对机械组件和电池进行置换的场合，紧固件的使用效果就非常理想。

（2）较低技术要求　这是一个由来已久的技术，很多人在孩提时代就已经学习了它的基本原理。用于加工，甚至是扭矩限制装置的费用都相对适中。

（3）小批量适用　大多数紧固件无需任何特殊的模具特征，那些特征将阻碍紧固件在很小的生产批量中的应用。

（4）大批量使用　随着批量的提高，产品中融入了模具特征，从而加速了整个工艺过程。最终，在一些应用场合下能够实施自动安装。

（5）可用性　紧固件的小巧和应用广泛意味着紧固件随时都有存货且立即可用，而无需特别的装备、加工和培训。

（6）连接热固性塑料与相异材料的能力　大多数的塑料连接工艺对相容性有一定的要求。紧固件则无任何要求，可用于连接热固性塑料、相异塑料或者塑料同其他材料的连接。

8.1.2　使用紧固件的缺点

（1）应力集中　紧固件使得载荷集中在其所处位置上。其他的装配方法比如胶黏（连接热固性塑料的另一主要方法）或焊接技术，则使得载荷分布在很宽的面上。如果载荷集中现象得不到解决，很可能会因蠕变、应力松弛、龟裂或缺口敏度等缺陷导致塑料失效。

（2）紧固件的松动　蠕变、潮湿和应力松弛会导致塑料连接部分的紧固件松动，尤其是在发生振动的情况之下。这也是工程师们在进行紧固件装配设计时必须

面对的难题。

（3）缺口敏度　很多塑料对缺口有很高的敏感性，螺纹就是一系列的缺口。这些缺口正是应力集中的地方，而且从零件的外面是不可见的。因此，这种应力的结合可能在毫无迹象的情况下导致突然失效。

（4）龟裂　细微的裂缝即所谓的龟裂可能就是一个导致整个零件严重破裂而失效的开始。很多塑料对龟裂很敏感，尤其是螺纹往往容易产生高度的局部应力集中。

（5）再次连接的局限　以在金属中安置螺钉为标准，通常都将螺钉拧到最紧。然而，各种塑料的强度千差万别，很难辨别手头的树脂的强度。具体使用时，无法控制施加在螺钉上扭矩的大小。因此，塑料螺纹可能因为不能承受与金属相同程度的扭矩而剥落，从而无法进行再组。

（6）线性热膨胀系数的差别　不同材料的零件装配到一起时，当温度达到临界值，热膨胀系数（CLTEs）的差别将会导致连接处产生很大的应力。在装配设计中尝试使其中一个零件相对其他零件可自由滑移的方法，但这种方法并非总是可行的。

（7）潮湿对性能的负面影响　一些塑料的吸湿性能很强，使其强度和刚度受到影响。这就很容易导致紧固件的松动。有时有必要往产品储藏库或航运集装箱中添加干燥剂。

（8）紧固件成本　紧固件的价格各异，很多都很便宜。不过即使是最便宜的价格，紧固件还是需要花钱的，而且还有安装紧固件所需的附加费用。如果采用消除此项费用的安装方法，每年每个紧固件可省下数千美元。

（9）回收拆卸费用　绝大多数紧固件是金属的，因此它们属于污染物，必须进行回收。对于大多数可拆开紧固件来说，即使是简单旋松费用就相当可观。永久性紧固件则需要更高的费用进行熔融和销毁。

（10）不宜人的外观　长久以来在非工业应用中，工业设计人员就很反感在产品外观表面安置螺母和螺栓头。某些情况下，一旦平头螺钉可满足需要，那么常在设计上作其他的让步以保证制品能满足审美需求。在某些情形下，换用带帽螺母或其他装饰紧固件也可满足要求。

（11）需贯穿整个零件　这是螺母和螺钉固有的缺点。当它成为问题时，可采用替代方法，如使用螺纹嵌件。当需要贯穿零件的时候，可以在零件的一个外表面加工一个螺母形状的凹槽以缓和这种不足。装配过程必须对其进行定位，但没必要防转。

8.2　紧固件设计基本考虑

紧固件优点很多，但产品失效是制造商要面对的一个大问题。近90%的失效源于不当的连接设计和装配。一项产品工业调查反馈显示，20%的问题仅与紧固件

本身相关。与紧固件相关的担保费占据了总花费的 70%。

很多失效问题是因为使用了带有塑料零件的紧固件。针对所装配产品的材料应注意的一些问题通常都被人们所忽视。很多工程师只是简单照搬他们已经习惯了的金属零件的装配方式来进行装配。而实际情况是，不仅包含塑料的特殊紧固件，就是标准紧固件的使用方式也大相径庭。

各种塑料本身的特性是产生问题的根源。其中几种特性对紧固件的使用影响显著。除了塑料的最基本的强度以外，还包括蠕变、松弛、抗龟裂、缺口敏度和刚度等。这些特性同时还会受到温度变化、湿度和填充物的影响。除使用紧固件所带来的物理上的不足以外，还有一些花费开支方面的负面影响。

8.2.1　蠕变影响

所谓的“蠕变”，是指塑料在持续的载荷作用下所产生的连续变形。蠕变可源于拉伸、压缩、弯曲和剪切应力。材料蠕变率又会随温度变化。这个术语经常和“冷流”交换，然而后者通常是指人类正常生活条件下的材料特性。蠕变率因塑料而异，对紧固件的使用性能有显著的影响。受此影响，螺钉的夹紧力在最初 24h 内要下降 25%。

蠕变数据通常绘制成拉伸应变是时间的函数，如图 8-1 所示。蠕变应变有三个阶段。第一阶段是初级蠕变，加载后立即发生。它基本上是弹性的，且很快消失。第二阶段是中级蠕变，大体上是一个常数。根据材料、温度、载荷和环境条件的不同，这个阶段的持续时间可达数年。中级蠕变是不可回复的。第三阶段是三级蠕变阶段，发生在断裂之前蠕变率极高的情况之下。强度极限随蠕变率影响因素变化。蠕变断裂会随应力的增加而突然发生。

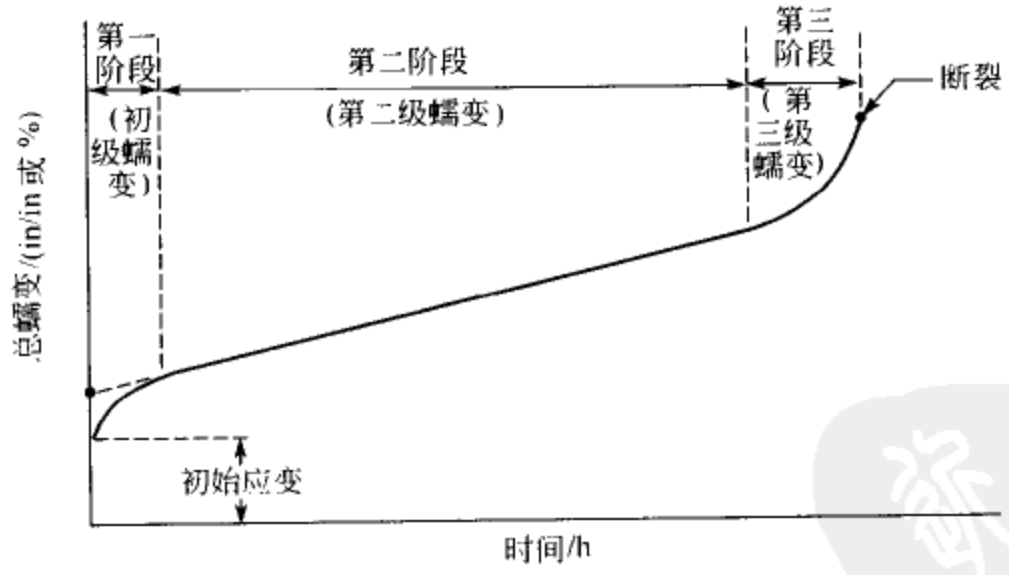


图 8-1　蠕变曲线

（Rosato 的《塑料百科全书和词典》第 158 页）

蠕变用蠕变模量 E_{cr} 来描述。

$$E_{cr}=\sigma/e_{cr} \tag{8-1}$$

式中，σ 为常应力；e_{cr} 为蠕变应变。蠕变模量和蠕变应变都是时间和温度的函数。

8.2.2 应力松弛的影响

应力松弛和蠕变相似，但应变是常量。当一个零件被固定约束在弯曲、剪切、拉伸或压缩状态下时，应力松弛就像常应力条件下的蠕变一样发生。直接的结果就是固定所需的力，即所谓的紧固件的“夹紧力”经过一段时间之后会下降。如果紧固件是螺钉的话，夹紧力的下降可使其松动并从螺纹孔脱落。

应力松弛用松弛模量 E_r 来描述。

$$E_r = \sigma / e \tag{8-2}$$

式中，σ 为应力；e 为应变。松弛模量和应力都是时间和温度的函数。

在低应力和短时间情况下，材料的松弛模量和蠕变模量是相似的。然而，随着应力的增加和时间的延长，它们的值就不再相同。在应力松弛数据不可知的情况下，蠕变数据可提供粗略的参考。

8.2.3 缺口敏度

很多塑料的缺口敏度使得塑料螺纹对此现象脆弱敏感。如图 8-2（a）所示，展成螺纹（thread-forming）比切割成型螺纹（thread-cutting）具有较低的缺口敏度，因为展成螺纹具有稍微柔和圆滑的螺线。尽管如此，仍可能像图示的一样产生应力裂缝。这种螺纹用于适于展成螺线的柔软塑料。如果螺纹孔是注塑的而不是钻的，那么塑料表面没有被破坏，“表面效应”得以保留，这能降低缺口敏度。

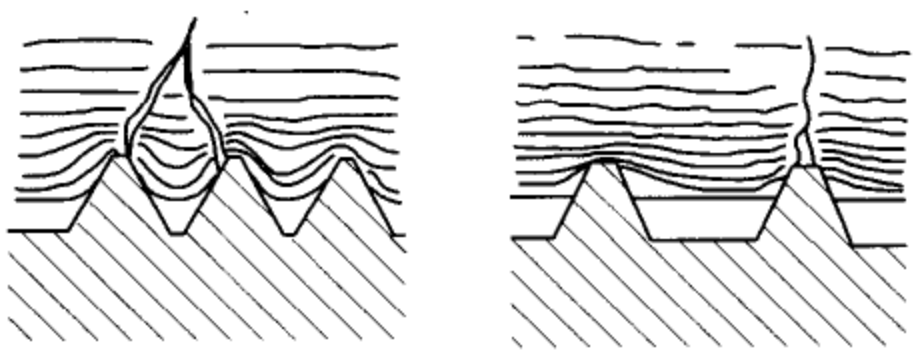


图 8-2 缺口敏度

（a）展成螺纹；（b）切削螺纹

（《装配工程》，1982 年 9 月）

较硬的塑料需要切割成型螺纹。如图 8-2（b）中所示的螺纹切削螺钉必须用其锋利的齿切穿材料表面，而且它所作用的树脂很脆并具有更强的缺口敏度。所有这些因素都导致此种螺纹具有更强的缺口敏度。

材料的缺口敏度的度量来源于缺口和无缺口的冲击试验结果的对比。此特性随温度变化。

8.2.4 抗龟裂

塑料零件中的应力通常通过发生在零件表面的一些细小的空隙、裂缝或者裂沟

显现出来。这个应力可能是源于注塑过程的残余应力，也可能是来自外部载荷，如紧固件。特别是螺钉容易产生较高的局部应力。材料承受这个应力的能力会因化学处理而消失。大多数零件在承受远低于造成毁灭性失效的应力时就开始出现龟裂，而龟裂正是最终导致毁灭性失效的裂缝的开端。因此，避免指定易龟裂材料零件的螺纹而将其改在化学改性的环境中进行是明智的。如果条件不允许，就尽量分散紧固件引起的应力集中，并尽量减少注塑成型过程中的残余应力。

8.2.5　刚度注意事项

选择不当的紧固件往往是因为没有正确考虑塑料的刚度。尤其对于自攻螺纹和展成螺纹更是如此。刚度根据材料的弯曲模量来衡量。此类螺钉的选择方法会在本章中进行专门阐述。针对每种材料的螺钉的特定选择方法已在第 5 章“按照材料选择装配方法”中进行介绍。

8.2.6　线性热膨胀系数的差别

将不同材料的零件装配到一起，在达到温度临界值时，线性热膨胀系数（CLTEs）的差别将导致连接处产生过大的应力。确定这些应力的方法在第 2 章“高效装配设计”中有介绍。在装配设计观念上，使其中一个零件相对其他零件可自由滑移，但这并非总是可行的。因此，我们可用如图 8-3 中所示的方法缓解这些应力。

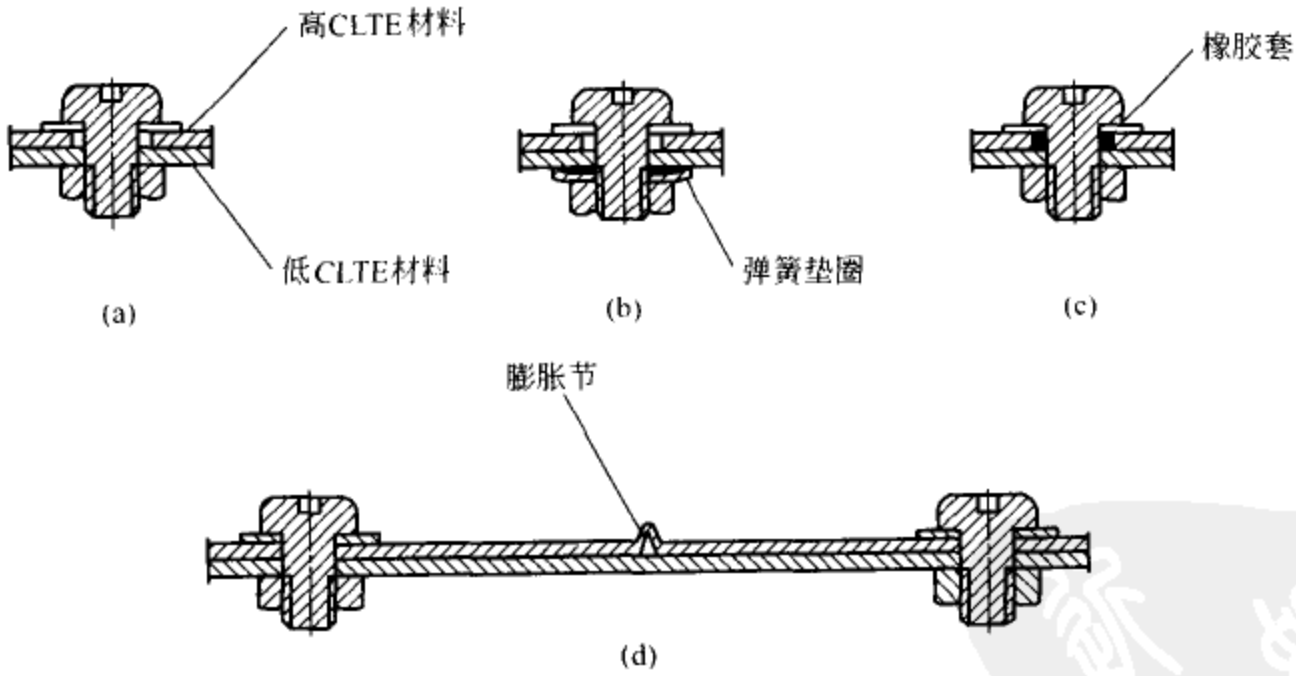


图 8-3　缓解应力的连接

（a）开槽/大尺寸孔；（b）弹簧垫圈；（c）橡胶套；（d）膨胀节

图 8-3（a）中根据预紧力不同，采用开槽或大尺寸孔，消除了上面孔对螺钉侧面的约束，从而释放了一个相对自由度。但不足之处在于无法控制横向位移。在无法确定应力方向的情况下通常使用大尺寸孔而不使用开槽。多数情况下，会在螺钉头下面加一个垫圈。

图 8-3（b）所示是另外一种途径。在这种情况下用一个弹簧垫圈来调整热膨胀引起的附加载荷。

图 8-3（c）描述了在螺钉外侧套了一个尺寸稍微大一点的橡胶套，以承受主夹紧力和热膨胀引起的夹紧力。

如果线性热膨胀系数较高的材料柔韧性很好的话，可以在那个零件上设计如图 8-3（d）所示的膨胀节。

8.2.7 潮湿对性能的负面影响

一些塑料的吸湿性能使其强度和刚度受到显著影响，这可导致紧固件的松动。有时有必要往产品储藏库或航运集装箱中添加干燥剂。

8.2.8 夹紧力

设计中所关心的主要应力是由螺钉产生的压应力，此应力（σ）随着螺钉被拧到零件连接处而产生，也称为预应力。确定夹紧力有两种方法：通过螺钉拧紧时产生的应变或通过所施加的扭矩。

8.2.8.1 应变法

应力 σ 通过将塑料 72°F 时压应力状态下的弹性模量 E_c 乘以实际应变 e 获得。

$$\sigma = E_c e \tag{8-3}$$

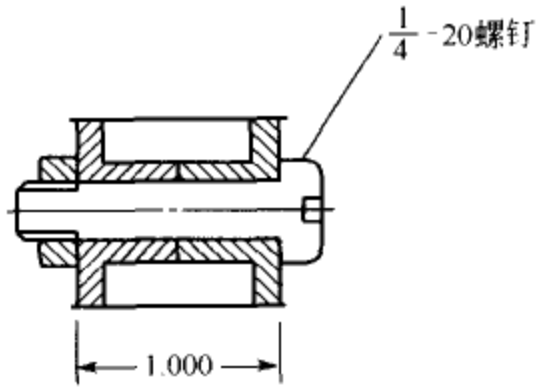


图 8-4　式（8-4）实例

钢螺钉处于拉伸状态，然而由于钢的强度远高于塑料，我们假设钢螺钉不发生拉伸变形，塑料的实际应变 e 由旋转圈数 N_t 乘以螺纹的线程 p 再除以载荷施加对象的跨度 L 确定。

$$e = \frac{N_t p}{L} \tag{8-4}$$

参见式（8-4）和图 8-4，用一个 $\frac{1}{4}$-20 的螺钉固定跨度为 1in 的结构。假设这些零件的材料是抗压系数为 450000 的聚甲醛，预紧 $\frac{1}{4}$ 圈，实际应变是 0.0125in，夹紧力是 5625psi。

$$e = \frac{\frac{1}{4} \times \frac{1}{20}}{1.00} = 0.0125 \text{ (in/in)}$$

因此

$$\sigma = 450000 \times 0.0125\text{psi} = 5625\text{psi}$$

我们注意到，5625psi 超过了材料的压缩强度极限 4500psi。因此，必须考虑是否采取措施，如替换材料、减少旋紧圈数、增大接合跨度或者采用螺距较小的螺钉。最简单的方法就是减少旋紧圈数，但这在生产线上很难控制，因此不是一个好办法。因此还是要考虑哪种改变最节省：是材料、螺钉型号还是连接跨度。无论是

改变螺钉型号还是材料类型都会带来很多新的问题。因此，大多数情况下增大跨度成为最简单有效的方法。

简单说明一下压缩模量。制造商有时不提供材料的压缩模量，对于多数未填充材料，可以用其拉伸模量代替压缩模量。实际上填充材料的拉伸模量往往比压缩模量大。

夹紧载荷可以通过有肩螺钉来控制。然而多数情况下没有必要用有肩螺钉。

8.2.8.2　扭矩法

扭矩法方程通过适当近似，使其自身得到简化以方便使用。因此其结果也必然是近似值。通过此方程，首先确定螺钉外径 D_0 上的扭矩 T 所产生的压力 F。

$$F=\frac{5T}{D_0} \tag{8-5}$$

对于扭矩为 8in·lb，螺钉外径为 0.250in 的情况：

$$F=\frac{5\times 8}{0.250}=160\text{lb}$$

具备这些信息后，我们就可以把压力 F 除以螺钉头接触面积 A 得到螺钉头下产生的应力 σ。对于一个 $\frac{1}{4}$-20 的平头螺钉来说，其头部外径为 0.482in，半径（r_{hd}）是 0.241in，孔的面积从头的总面积中去掉才能确定头下的面积。如果允许孔的间隙为 0.010in，孔的直径是 0.260in，孔的半径 r_h 是 0.1360in。螺钉头下的接触面积为：

$$A=\pi(r_{hd}^2-r_h^2)=\pi(0.058-0.017)=0.129\text{in} \tag{8-6}$$

因此，螺钉头挤压产生的应力为：

$$\sigma=\frac{F}{A}=\frac{160}{0.129}=1240.3\text{psi} \tag{8-7}$$

对于这个例子，夹紧力为 1240.3psi。它当然不会长时间保持在此水平。应力松弛将迅速导致预紧力的下降，而温度的升高又会加剧应力松弛。那时两种材料线性热膨胀系数的差异更可以感受到。塑料（聚甲醛）的线性热膨胀系数为 45×10^{-6}in/(in·°F)，而钢螺钉线性热膨胀系数是 9×10^{-6}in/(in·°F)，两者之差为 36×10^{-6}；因此从 72°F 开始每升高 1°F 塑料的膨胀幅度比金属大得多，夹紧力从而会相应提高。相反，温度下降时塑料比金属更快地收缩，预紧力会相应下降。

确定温度连同预紧力的升高不会导致产品在设计限制范围内的失效是很必要的。另外，塑料零件的应力松弛和热收缩的影响不会导致紧固件在振动敏感点预紧力的耗散。很多情况下，热膨胀和热收缩的影响可通过使用塑料螺钉降低。这些内容将在 8.21 节“机制螺钉”中详细介绍。

8.2.9　抗振动

螺纹紧固件上的螺纹基本上是一个斜面。因此，有一个恒定力沿斜面作用并因此拧松紧固件。由于摩擦产生的阻力而阻止了此状况的发生。通常认为振动会导致

该力的瞬间松弛，从而致使螺钉松动。防松垫圈、防松螺母和头下有突出的螺钉用于扎入到塑料，提供抵抗振动的附加阻力。对于永久性装配，也可在安装螺钉前在孔中滴入胶黏剂以防止其松动。螺栓和螺母也可以购买时就在螺纹上附有胶，胶在装配过程中由于热量而熔融。

8.3 塑料中使用紧固件的方法

用紧固件连接塑料的方法很多。其中有压入紧固件、自攻螺钉、带嵌件的机制螺钉、凸台螺帽或螺母、压紧紧固件和平板紧固件。每一种紧固件又有很多的品种。除了基于其自身螺纹的品种外，还有很多不同头型的品种。即使沉头螺钉包括很多的凹槽类型，每一种也应适应于一种相对应的环境。有如此多的紧固件种类，但只要选择范围被限制为一个群体，我们就可以根据经验进行选择。以下章节对每种紧固件进行讨论，以助于确定选择使用范围。

8.3.1 压入式紧固件

通常所指的压入式紧固件其杆上有某种凸起与塑料孔形成干涉配合。[图 8-5（a）和图 8-5（b）描述的是此类型的两个例子]。随时间的推移，由于松弛存在，装配挤压掉的塑料流回到凸起周围。这就保证紧固件能在暴露于热膨胀和振动的情况下还能保持原位。因此，此类紧固件一旦拆掉就会因为损伤而不能再次装配。而且由于它们缺乏螺纹提供的斜面载荷，夹紧力也就很小。

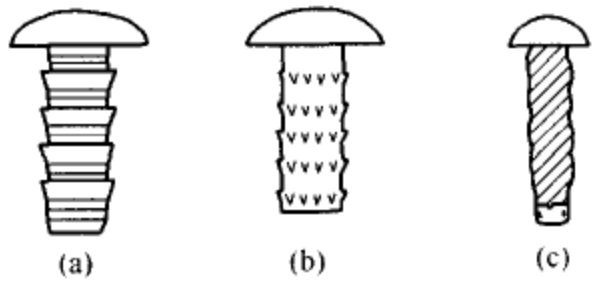


图 8-5 压入式紧固件

（a）和（b）为干涉型配件；（c）为 U 形螺钉

此类紧固件安装迅捷，很适于自动装配。特定紧固件的选择按照具体应用而定。然而干涉越大，施加载荷越大，拆卸力也就越大。这些紧固件适用于弯曲模量不高于 200000psi 的塑料。采用加热方式可以辅助安装，或通过扩大孔来增大冷却后的干涉或用来软化边缘材料。有些情况下，如果零件刚刚脱模很热就进行装配的话，就不需要附加的花费来提供热量。

如图 8-5（c）所示的 U 形螺钉属于螺纹紧固件，也可以压入到位。虽然它会产生预紧力，但仍比标准螺纹形式低。此类紧固件通常不能像螺钉那样再组装，因为初次装配形成的螺纹在重装时很容易损坏。

压入式紧固件仅用于注塑成型热塑性塑料。它们可用于热塑性塑料，如果其他加工工艺无法满足所要求的紧公差孔类型时也采用此方法。

8.3.2 自攻螺钉

自攻螺钉包括因不使用阴螺纹而使用最少零件的可重复打开的紧固件类型。它

们广泛应用于塑料装配，利用自攻的螺纹连接而不用再攻制螺纹孔。另外，也不用为安装紧固件模塑阴螺纹而再花钱。

自攻螺钉装配最快且总体花费最低（无螺母、嵌件和攻螺纹费用的机制螺纹个别花费较低）。如果尺寸控制不准，可能导致成型零件产生裂纹。再次装配的夹紧力要比初次装配的握紧力明显降低。因为再装配可能损坏螺纹，因此推荐螺钉的拆装次数不超过 6 次。塑料螺纹的夹紧力要比金属螺母或紧固件的夹紧力低得多。

8.3.2.1　塑料螺纹的强度

无论塑料螺纹是怎么形成的，它们的剪切强度都是应用中的决定性因素。螺纹剥落是剪切失效的结果。下面的方程是工程师用来判别失效的近似值。其他因素如螺纹类型、螺矩、孔径、成型条件和缺口敏度将会影响失效发生处的实际应力。这些方程已经简化，因此结果是近似值。

螺纹剥落处的剪切应力 τ 等于力 F 除以面积 A

$$\tau=\frac{F}{A} \tag{8-8}$$

式中，A 等于 0.5π 乘以螺纹作用的长度 L 再乘以螺钉外径 D_0；力 F 等于 3/4 倍扭矩 T 再除以动摩擦系数 C_f（通常螺纹的作用长度至少应是标准螺钉直径的2～3 倍）。

$$A=0.5\pi L D_0 \tag{8-9}$$

$$F=\frac{0.75T}{C_f} \tag{8-10}$$

面积方程（A）适用于图 8-6（a）中所描述的类似于 C 型或 T（23）自攻型螺钉的标准螺纹。小数部分代表工作长度 L 未被金属螺纹 L_p 占据的部分；因此它会伴随螺纹导线的延长而成比例地变化。图 8-6（b）所示，尽管导线长度发生变化，但螺纹类型未变。因此对于一个 14# 的 C 型展成螺钉，每英寸有 20 条螺线，螺纹长度 50%是金属，50%是塑料，因此乘数是 0.5。螺纹根部的金属厚度（x）为 0.025in。如果换为 AB 型，根部厚度仍为 0.025in，但每英寸只有 14 条螺线。因此，金属占据总长（14×0.025）的 0.35，且乘数变成 0.65（1.0－0.35）。对于 AB、B、BF 和 BT（25）型不同尺寸的螺钉，方程需做近似转换。对于其他类型螺钉，读者需要对方程做相应的修改。

受力方程（8-10）的效果受如何确定一个可靠的动摩擦系数值 C_f 的影响。首先，C_f 会因材料组合不同而异。而且，即使对于给定的一对材料，实测值会随载荷、速率、表面光洁度等产生很大的变化。在实际操作中，即使很少的润滑剂、润手乳液、脱模剂或其他污染物都可能给实际载荷带来巨大影响。因此，推荐使用较保守的安全系数。

很多关于两种材料间动摩擦系数的数据都是在低载荷和高速率下的实验数据。然而，螺钉的安装是在高载荷和低速率的情况下进行的。由于方程只是近似值，相应的安全系数也是假设的，金属螺钉和塑料之间的动摩擦系数推荐值为 0.15。

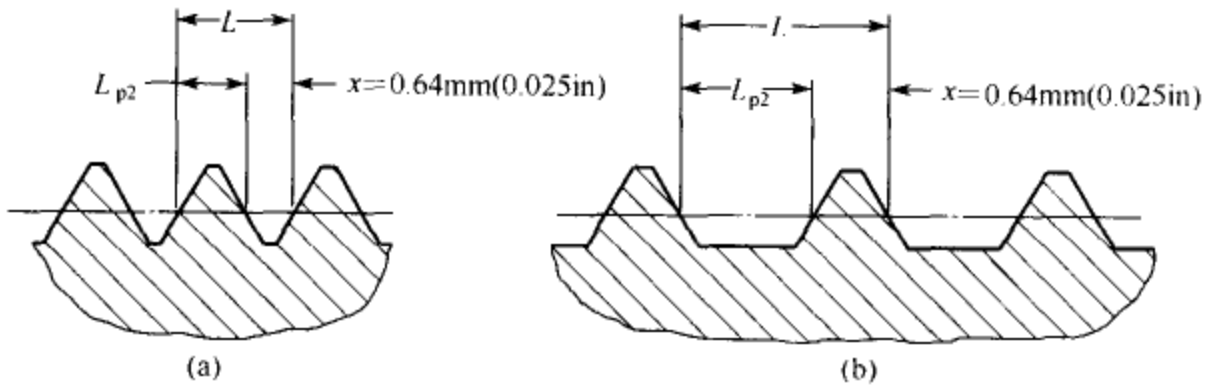


图 8 6　螺纹接合的塑料部分

（a）C 型或 T（23）-$L_{p2}=0.5L$；

（b）AB 型、B 型、BF 型或 BT（25）-$L_{p2}=0.65L$

螺纹会产生向外的径向分力。对于图 8-7（a）中所示的标准螺纹，其内角为 60°。通过计算内角一半的正切值可确定该分力近似等于力 F 的 58%。它分布在螺纹作用的柱面上，在凸台中产生内应力。此压力的近似值 P 由式（8-11）确定：

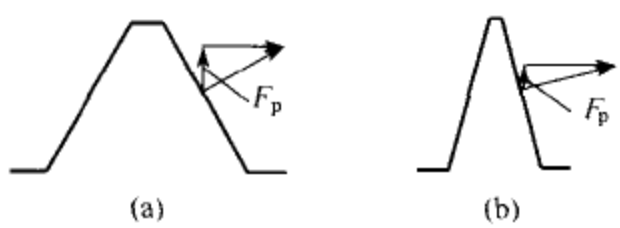


图 8-7　向外径向力分量

（a）螺纹内角为 60°；（b）螺纹内角为 30°

$$P=0.58\frac{F}{\pi LD_0} \tag{8-11}$$

图 8-7（b）所示窄螺纹的内角仅为 30°。向外的径向分力仅为轴向力 F 的 0.27 倍。方程如下：

$$P=0.27\frac{F}{\pi LD_0} \tag{8-12}$$

由此计算的压力可用于在简单薄壁环向应力方程基础上计算环向应力 σ 的近似值：

$$\sigma=\frac{P(D_0+2t)}{2t} \tag{8-13}$$

问题在于凸台会由于环向应力过大而断裂。因此该计算结果需要与目标材料的拉伸应力强度作比较。方程中的近似部分都应考虑适当的安全强度。

除近似问题之外，还要考虑熔接痕的影响。这是凸台最薄弱的部位，在最理想的条件下，其强度不超过附近材料强度的 85%。对于凸台更深入的讨论，参见 8.25 节中“凸台设计”。

8.3.2.2　展成螺纹螺钉和切削螺纹螺钉

有两种基本的自攻螺钉：展成螺纹螺钉和切削螺纹螺钉。图 8-8 所示为此类标准螺钉，最初设计是用于金属薄片连接。

展成螺纹螺钉成型螺纹是把螺钉作为成型工具，向塑料内孔挤压使其成为螺纹形状，如图 8-2（a）所示，螺钉顶部的螺纹直径较小，因此施加的凸台壁的力是逐渐增加的。当达到螺纹的全部深度时，即产生图 8-2（a）中所示的压缩形式。C 型螺钉是标准的机制螺钉，它会在螺线之间产生很高的应力。对于很多缺口敏感的塑

料，这可导致图 8-2（a）所示的应力破裂。塑料只有在韧性足够好，可承受这种力和剧烈振动并抗滑脱的情况下，才可用于攻这种精细螺纹。如果拆卸时脱落，可用普通机制螺钉代替 C 型螺钉。受以上提及的薄弱环节以及 C 型螺钉所需的大扭矩的限制，它的应用很少。

增大螺距可释放压缩。这就是 AB 型和 B 型展成螺钉所用的方式。由于这些螺钉在每英寸跨度内的螺线条数只是标准螺钉的一半，因此每两条螺线间的材料就是标准的两倍。这些螺钉很相似，区别在于 AB 型螺钉提供一个导入孔内的手钻点且为相同长度的螺纹啮合要求一个更深的孔。

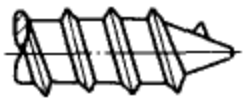
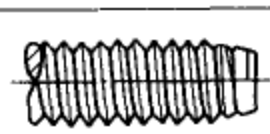
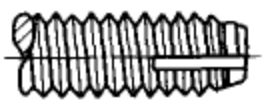
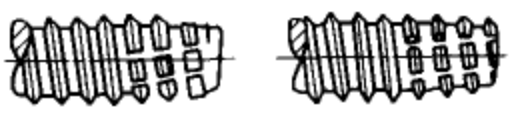
型　式	ANSI 标准	厂　商
	AB	AB
 不推荐使用 AB 型	A	A
	B	B
	BP	BP
	C	C
	D	1
	F	F
	G	G
	T	23
	BF	BF
	BT	25

图 8-8　标准展成螺纹螺钉

（ASME B18.6.4　1981，美国机械工程协会提供，纽约）

AB 型螺钉的内角为 60°，因此会产生一个相当大的外向力分量。因此确定孔的直径时要谨慎。由图 8-9 可知，孔侧材料的偏移量不能超过螺钉齿高的 70%～90%，后者指低弯曲模量的材料，百分比随材料刚度的升高而降低。合适孔径可以相应确定。螺线啮合长度由拉伸强度确定，但至少应为螺钉直径的两倍，但很少超过直径的三倍。

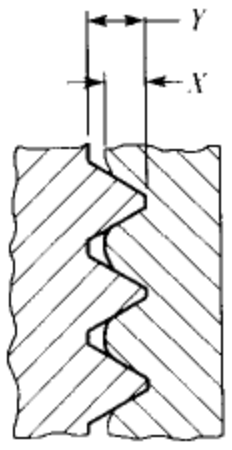


图 8-9 弯曲模量小于 400000psi 的塑料 AB 型展成螺纹螺钉的螺纹与孔径比 (X Y=0.7～0.9)

标准展成螺纹螺钉完全适用于弯曲模量不高于 200000psi 的塑料。在多数情况下，它们可用于弯曲模量不大于 400000psi 的塑料；然而孔需开在较高一侧。由于其螺纹间的附加空隙，AB 型和 B 型螺钉可用于一些玻璃纤维增强的材料。需要注意的是，一些树脂制造商并不赞成在任何情况下都对他们的材料使用展成螺纹螺钉，因为由此会产生很高的环向应力。

对于大多数弯曲模量高于 400000psi 或某些条件下弯曲模量高于 200000psi 的材料，螺纹切削螺钉是最理想的选择。

T 形或 23 型螺纹切削螺钉具有和标准机制螺钉相吻合的螺纹类型。像 C 型展成螺纹螺钉一样，在初次装配之后，自攻螺钉可用标准机制螺钉代替。然而由于金属螺纹比它所切割的塑料硬得多，当多次重装螺线切割螺钉时，螺纹容易损坏。解决此问题的方法是在螺纹切削成型后，就立刻用标准螺钉代替螺纹切削螺钉。可能有人会问：那为什么不直接在孔上攻螺纹，然后用一个机制螺钉？这是因为安装一个自攻螺钉比攻螺纹孔快得多，自攻螺钉可在不使用钻孔的情况下安装到产品上，而攻螺纹孔需对零件紧固并进行钻孔。

像 C 型螺钉一样，T 形采用精细螺纹，螺线间应力值高。这可导致如图 8-2（b）所示相同的应力裂纹。此种螺钉在剧烈振动抗滑脱和需重复装配的情况下使用。

8.3.3 特种螺钉

标准板金螺钉应用时所有的一些限制衍生出了一系列专用于塑料的螺钉。通常螺钉可分为四类：窄螺纹螺钉、变齿高螺钉、不对称螺纹螺钉和特别参数螺钉。

8.3.3.1 窄螺纹牙形

窄螺纹螺钉是一种牙形小于标准螺纹牙形角 60°的螺钉。较窄的螺纹产生较低的向外分力。环向应力的减少会减少凸台破裂的可能性，或者可以使用少于壁截面材料 1/3 的凸台。因而，有更多聚合物来分散剪切力。断面减少也可降低安装扭矩。这种螺钉对热塑性塑料尤其有用。

8.3.3.2 改变齿高

带有可变齿高的 Hi-Lo 螺钉是针对塑料最古老的螺钉设计类型。高螺纹内角为 30°，而低螺纹内角为 60°。这种螺钉有更多与窄螺纹牙形相同的优点，但承载能力不高。低螺纹在驱动时能够减少摇晃。SMC 自动化联盟在 SMC 压缩应用上推

荐使用这种螺钉。

8.3.3.3　不对称螺纹牙形

不对称的螺纹牙形其一侧螺纹内角较窄。当窄角在螺纹的压力侧面，或推力一侧时，它能够增加对拉拔的抵抗能力，并能进一步减少向外分力，使凸台壁更薄。这对于热塑性塑料是一种理想的特性，因为它减少在凸台底部产生缩痕的趋势。同样，在螺纹进入侧角度越大越有利于材料置换和流动。当不对称在螺钉的非推力侧时，它使螺纹中能容纳更多塑性材料。

8.4　自攻螺钉的选择

可用的自攻螺钉如此之多以至于无法提供确定的推荐。但可以提供进行最终选择的方向和标准。一旦区域狭窄到限制候选类型的数目时，就需要利用实验方法确定最终的选择。

8.4.1　成本标准

标准螺钉是最便宜的，因为制造商销售时不需要支付特许权使用费。然而，即便是有特权也只增加 20%～30%的成本，因为螺钉通常并不是所需购买的昂贵产品，其所增加的成本影响很小。如果特定的螺钉对于安装是较便宜的选择，那它可能在总成本清单中相对更加经济实惠。同时还需考虑所有紧固件的数量。凸台上缺乏合适位置或需要保持平坦平面时，可能改变理想的紧固件的数量和尺寸，因而影响安装成本。显然，在能够达到所有工程要求的前提下，人们会尽可能地选择使用最少的紧固件。但是尽可能使用最小的部件并不总是明智之举，因为处理和安装小的等同件比中等或大尺寸的等同件要花费更多时间。

8.4.2　失效/驱动率和差值

螺钉失效（螺纹被剥落）扭矩和使螺钉进入孔中所需的驱动扭矩之比称为失效/驱动率。虽然回火硬化金属螺钉的螺纹可能失效，但对于实际应用，这是完全不可能的，假定塑料螺纹也会失效。图 8-10 说明了在已给条件下两者之间的区别。失效/驱动率是失效力矩除以驱动力矩。3∶1 的比率被认为是应用金属的最小值。塑料最小值应该是 4∶1。低比率用于较紧的控制条件下。由于在实际生产条件下应用扭矩难以控制，所以考虑两者的差值是非常有必要的。

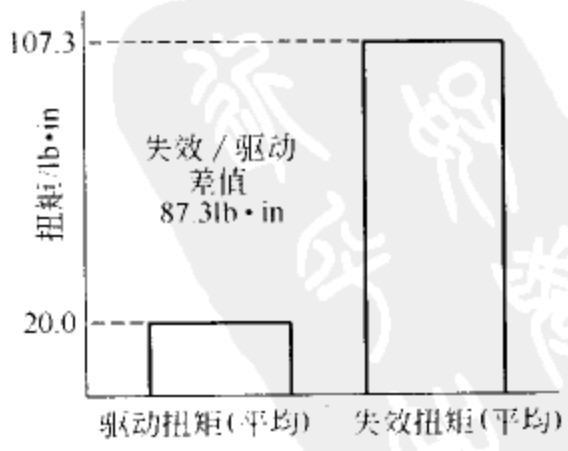


图 8-10　失效/驱动率和差值
（安装工程 9 1982）

紧固件厂家可能能够提供所考虑的材料组合的数据。然而对于进行比较的意图是很有用。实际值受其他因素的影响，例如螺钉最终质量、孔

尺寸和后处理、螺纹啮合长度、驱动速度和温度。

8.4.3 强度标准

之前提供的关于夹紧力、螺纹和凸台强度的方程只能用于提供一个趋势，因为它们只是一个近似值，同时它们所依靠的数据通常是基于使用样本进行试验，并在给出的特定的应用条件下得到试验结果。为了很好地低于脱落扭矩，夹紧力不能超过夹紧开始时最大驱动扭矩同脱落扭矩之差的一半。

如有可能将数据同已存在的应用情况进行对比是比较理想的。此外，从螺钉生产商那里得到的对比数据有时也是有用的。“失效拉伸”是用于描述螺钉螺纹失效之前的最大夹紧力的一个术语。“一般断开扭矩”是指将螺钉退出孔所需的扭矩。这是判断螺钉抵抗由于振动所引起松动能力的一个尺度。

螺钉类型的选择强度并不是决定性因素。孔尺寸、螺纹结合长度、螺钉直径和材料选择都可调整用于补偿强度问题。低脱落扭矩问题同凸台破裂问题之间是相互关联的。设法改善其中一个条件经常导致出现其他困难。这些影响如表 8-1 所示。

表 8-1 凸台破裂同低脱落扭矩之间的关系

低脱落扭矩问题	特 征	凸台破裂问题
减少	孔尺寸	增大
增大	螺纹结合长度	减少
增大	螺纹直径	减少
增大	塑料弯曲模量	减少
增加	扎进头部[①]	
	流到筋里成凸台	增加
增加	支撑衬套	增加
增大	螺纹断面角	减少[②]
减少	螺纹间距	增大
	凸台直径	增大[③]
从切削螺纹螺钉转到展成螺纹螺钉	螺钉类型	转到特殊塑料螺纹
改变成具有高摩擦系数镀层	螺钉进行电镀	

① 或其他形式的头下摩擦。

② 理想的螺纹断面角小于 60°，不过要小心由于锐角转角所造成的应力集中。

③ 增加凸台外部直径而不改变内部直径会增加制品外部“凸台缩痕”的可能性。

有一些措施可有助于其中一种现象改进而不影响其他现象。脱落扭矩可以通过在螺钉头下部或凸台帽上增设倒钩或筋来增加，即使这种改善表现得并不明显。凸台帽或衬套支撑可有效防止凸台破裂，且后者能提供更多支撑。

8.4.4 切削螺纹或展成螺纹

从历史观点上说，我们曾经使用的法则是：“当弯曲模量高于 400000psi 时采用切削螺纹，低于 200000psi 时使用展成螺纹，在这之间时需要反复试验”。

对于标准板金螺钉，除了由发泡成型的更高模量材料外，这个法则仍能适用。然而，有大量的材料，其中许多是含有填充料的组合物，这些特殊的设计用于塑料的展成螺纹螺钉，已经被成功地应用于弯曲模量大于 400000psi 的场合。这样就不需要再理会材料生产商要求在其范围内避免使用他们的材料生产展成螺纹螺钉的警告。

这些应用提供了更高的脱落扭矩、拉拔强度以及不管他们所具有的更高的凸台应力和所要求驱动扭矩而由展成螺纹螺钉所具有的较高的可再度使用的能力。

大多数螺钉生产商提供多种不同的螺钉，并提供有帮助的推荐意见，这些对于给定的项目可能是非常有用的。其中一些还提供紧固件实验室，可以在为所选择的螺钉选配最合适的孔尺寸时提供帮助。

对于应用要求高的情况包括昂贵的注射成型模具，构造一个便宜的凸台结构的原型模具可能更划算。原型可以用来测试以确定凸台是否足够应付所选择的螺钉、设计和材料之间的联合作用。额外的型芯销可以用来确定最佳的孔尺寸和确定制品达到孔公差最大值时的影响。如果没有这么做的话，要利用生产材料成型的制品来完成最终的选择测试过程。

不要测试使用其他材料或其他工艺制造的制品。

结果无法相比。

8.4.5　攻丝或模塑成型螺纹

内螺纹可以攻丝或成型至塑料制品中。这样的内螺纹握紧能力比模塑或后成型嵌件要小，比自攻螺纹大。螺纹上应力较低，螺钉安装也很容易。虽然螺钉本身非常便宜，但是当有多个孔需要攻丝螺纹时，从成本观点来看攻丝或成型螺纹都不是理想选择。

钻孔的攻丝可以通过成型适当尺寸的孔代替钻孔得以改进。在凸台上成型玻璃纤维增强的孔，可能没有足够的玻璃纤维流入凸台内以保持强度。攻丝本身并不经常使用，因为对于大批量生产确保了模具的成本的前提下，很多其他用于成型螺纹孔的方法通常更加划算。因为攻丝是一个很慢的过程，也就意味着是一种成本昂贵的螺纹成型过程。在某些情况下，通常通过自攻螺钉形成螺纹的方式来加快进程，然后拆除这些螺钉并使用标准机制螺钉代替它们。

在螺钉的尺寸范围内成型螺纹需要昂贵的旋松模具，因为对标准的剖分型芯来说它们通常太小，不能从模具脱落。内螺纹是在模具中旋转型芯形成的，型芯由机架和小齿轮驱动。机架在模具中占有很多空间。因此为了尽量保持机架数量最少，其中一种方法是将孔设在一条线上。这适合于多排瓶盖模具，这种模具中每腔有一个型芯需要旋下，型腔可随意安排。然而这就有效地限制了在典型塑料零件中传统旋下的孔的数量。总之，模塑成型螺纹孔直径不小于 0.250in，深度不大于 0.500in，每英寸 24 圈的最少螺距。有关模塑成型的进一步讨论，读者可参考第 18 章“螺纹：攻丝和模塑”。

8.5 螺纹嵌件：优点

在一些情况下并不使用塑料螺纹。自攻螺钉的改进使其得以用于要求多次重复安装的塑料领域，这些领域中多数情况是用金属螺纹。螺纹嵌件是产生这些螺纹的主要途径。因购买、安装和回收时取出等带来额外的成本，所以必须有合理要求才使用这些螺纹嵌件。

（1）强度　某些情况下，自攻螺钉形成塑料螺纹不能提供应用所需的强度，要求用金属螺纹。

（2）重复使用　金属螺纹嵌件完全可重复使用。两种类型的自攻螺纹，尤其是切削螺纹螺钉形成的螺纹，在安装中会有螺纹损坏。

（3）标准螺钉　标准机制螺钉同金属嵌件一齐使用，这就使得其中一个丢失情况下易于更换。

（4）细牙螺纹　为避免在振动中产生松动而使用的细牙螺纹受自攻螺纹限制。通过使用金属嵌件，更细的螺纹和强度更高的细牙螺纹均可用。

（5）定位和电接触　在沿长度方向的部件位置具有法兰的嵌件可用于配合件上的孔连接定位。对于电气应用，法兰可用于与电接触。这类结构中有标准的膨胀嵌件。

（6）防止滥用　一旦制造者无法控制，产品有可能以强迫的塑料螺纹、过大力矩螺纹、在一个角度上应用或者甚至以不适当的替代品代替金属螺钉的形式被滥用。金属嵌件限制了非专业人士滥用紧固系统的可能。

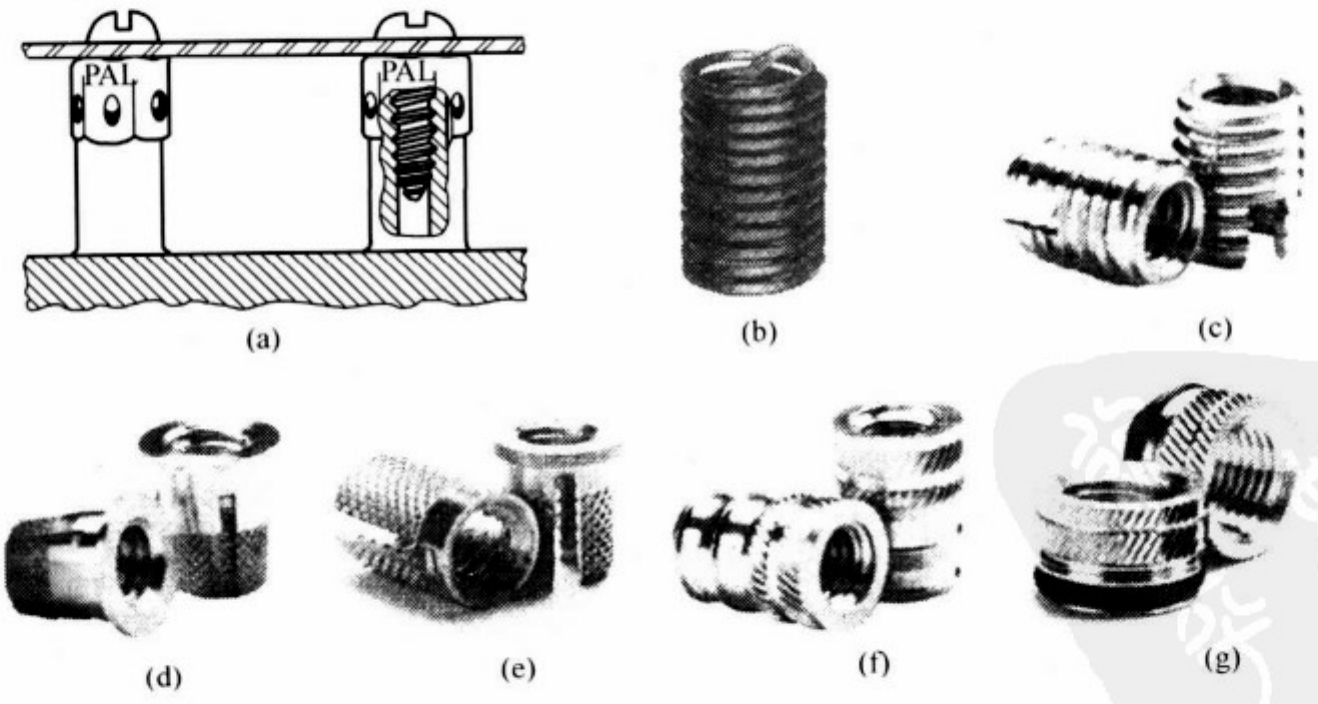


图 8-11　螺纹嵌件

（a）凸台帽（Courtesy of the Palnut Company）；（b）螺旋线圈（Courtesy of Helicoil/Emhart）；（c）自攻丝螺纹（Dodge/Emhart）；（d）展涂板（Dodge/Emhart）；（e）膨胀（Dodge/Emhart）；（f）超声波（Dodge/Emhart）；（g）超级密封©（Dodge/Emhart）

图 8-11 说明了嵌件的基本差异。图中显示了很多不同种类的嵌件，正如这一技术的广泛应用所产生的很多专用装置。

8.6　凸台帽

嵌件中最简单的类型是如图 8-11（a）所示的凸台帽，实际中它装在凸台上。由金属片压制而成，安装在凸台顶部，由单一压力产生的附加支撑力用于抵抗由安装自攻螺钉所产生径向和环向应力。有些类型在其内部有倒钩，用以定位凸台帽和在安装中避免旋转。由于帽可提供接近一整圈的螺纹，因此它可与金属板螺钉一起来承担非常小的载荷，且不需攻螺纹。凸台帽产生平稳的支撑力，经济实惠、安装快捷，并能用于热塑性和热固性塑料。它们也可用于要求额外增强的凸台。

8.7　螺旋线圈嵌件

如图 8-11（b）所示的嵌件类型，可提供金属标准机制螺钉螺纹以加强塑料螺纹。它通过一种采用特殊工具进行缠绕使线圈旋入预先攻丝的孔中，并且柄托使线圈直径缩小，以便能卷入形成螺纹。当嵌件完全装好，移出工具，释放扭矩，使得线圈占有整个直径。向外的载荷在已攻螺纹上产生摩擦力，避免当螺钉旋下时，线圈也旋下。然后，在螺纹顶部预先开槽部位使用特殊工具使柄托脱掉。这类嵌件在所有后成型嵌件中具有高的质量、最高的强度以及最高的精确度。螺旋线圈嵌件提供均匀的载荷分布、高拉伸强度和扭转强度，并避免其他大多数类型嵌件相应的径向应力和环应力。但是它是后成型嵌件中最贵的一种类型，由于有预制孔，自攻和插入过程相对较慢且昂贵。

8.8　自攻丝嵌件

如图 8-11（c）所示，是提供金属螺纹嵌件的自攻丝嵌件。除了用于重新组装的金属螺纹以外，这种嵌件的工作原理同自攻丝螺纹一样。一个过大尺寸的孔用于适应嵌件外表面。然后装入嵌件，通常是通过允许使用传动装置的沟槽紧固嵌件。由于螺纹的限制，使得嵌件无法窜动，同时在摩擦力的作用下，嵌件也无法转动。这些嵌件可用于展成螺纹和切削螺纹两种类型中，通常展成螺纹用于柔软型塑料，而切削螺纹用于坚固型塑料；开槽嵌件适用于绝大多数塑料应用场合。同硬质塑料或磨料填充塑料一起使用的嵌件，有时会使用表面硬化的钢材制造。自攻丝螺钉基本上使用同样的参数。孔或嵌件公差极限能导致高传动扭矩或较差的嵌件握紧力。

自攻丝嵌件使用方便，用螺丝刀就可以进行安装。适用于热塑性和热固性塑料，并提供一个金属螺纹。这种嵌件比膨胀嵌件强度大，有很好的防拔出性能。它们也防止在重新装配过程中对于螺纹的破坏，并允许使用标准螺纹。不过它们不能

提供细牙螺纹，只在塑料螺纹本身对强度进行有限的改善，同时安装时间比其他大多数类型嵌件要长。自攻丝嵌件比膨胀嵌件贵。这种嵌件尺寸范围通常限制在 8# 到$\frac{1}{2}$in。

8.9 压入式嵌件

压入式嵌件允许用户不使用加热或超声波进行安装。嵌件只需要简单的压力就可快速完成安装，或完全自动安装。嵌件外表面直径上的滚花、倒钩或凸缘推入塑料中，然后由于冷流作用塑料流满空隙，从而产生对于扭矩和拉力的抵抗力。很明显，安装过程最好在成型机内当制品还是热的时候完成，因为制品此时温度高、较柔软，同时也因为制品还没有完成收缩，孔的尺寸大。这样做的效果非常显著，如果材料允许的话，用于压入嵌件的孔在一侧必须有一个绝对最小的脱模斜度$\left(\frac{1}{4}\right)^{\circ}$。从机械学的观点来看，没有拔模斜度是理想的，因为此时应力分布最均匀，然而轻微的脱模斜度有利于脱模，缺乏脱模斜度会造成变形。孔的脱模斜度比嵌件的小。如果凸台不够大，它可能会被嵌件弄破。

本设计简化了装配过程，同时这种类型嵌件的安装过程比熔融塑料和不必考虑结构的应用类型所需的力更小。另外，拔出力依赖于紧密的公差要求的可靠性，因而无法确定。安装过程中也会产生很高的应力。因此，设计干涉配合必须限制应变到 0.5%。很明显，嵌件最适用于具有较小弯曲模量的塑料。压入式嵌件适用于热塑性和热固性材料。

8.10 胶接嵌件

紧固件除了之前介绍的方法之外，还可使用胶接的方式固定在适当位置。这种方法典型应用于由压制成型、树脂传递成型和冷压成型的热固性塑料制品中。有倒钩或有凸边的压入式嵌件通常胶接到凸台上，然而它们有开放的末端，有时需要在安装完成之后沿着螺纹的方向有多余的胶黏剂。因此，末端封闭的用于成型的嵌件有时用来替代压入式嵌件。如果体积足够大，为了担保特殊运行，习惯上压入式嵌件做成末端封闭结构。这些零件的强度同模塑嵌件差不多，有时当模塑嵌件出现遗漏时用于抢救昂贵的模具成型。必须注意避免使用胶黏剂，胶黏剂包含溶剂会使塑料产生龟裂或会在高应力区域出现破裂。黏结强度根据表面清洁要求来决定。

8.11 膨胀嵌件

更强大的一种压入式嵌件是使用径向压力迫使嵌件上滚花、倒钩和凸缘进入周

围的塑料。Dodge-Helicoil® 型膨胀嵌件如图 8-11（d）所示，使用了一个内在的展涂板，迫使嵌件壁面进入塑料内。它要求使用盲孔，防止展涂板从端部被推出。如图 8-11（e）的膨胀型嵌件使来自螺纹自身的压力施加到塑料上。前者的优点在于当螺钉松动时或取出时不会掉下；后者组件更少，自然更经济。还有另外一种膨胀嵌件类型，嵌件嵌入了一个锥形体的杆。锥形体向上拖动，由底部开始使嵌件膨胀，杆破裂被丢弃。

膨胀式嵌件所提供的旋转和拉拔的力比压配嵌件高，但是比自攻丝嵌件或模塑嵌件要低。但它们强度仍然足够大，在嵌件拔出前能将螺钉剪断。它们没有像压入式嵌件一样具有较高的安装应力，设计时也需要控制最初的装配应变不要超出 0.5%的范围。由杜邦公司进行的测试指出，如果膨胀型嵌件强度设计为所需强度的 140%时，完全可以使用 1～10 年。

膨胀式嵌件安装迅速，自动安装的速度可以达到 60 个/min。它们被广泛地应用到热固性制品中，同模塑制品竞争激烈。这些嵌件的优点在于省去了去除螺纹飞边的再加工过程，以及消除了可能折断型芯销和破坏模具的浮动嵌件。膨胀嵌件不再需要装载嵌件，从而实现了更快的成型周期，应用中一个显著的好处就是要求大量的嵌件。

膨胀嵌件也可以用于热塑性塑料，然而，特别是大型尺寸，有可能因为环应力而造成失效。除此之外，更加划算的嵌件类型还是应用这种材料。

8.12　模塑嵌件

嵌件可以直接成型在制品内。这种情况下，嵌件在模具内被单独放置在销上。充模时，熔体流进嵌件中的凹进处，并在高聚物冷却后将其固定在制品内部。模塑嵌件在所有嵌件中，除了螺旋线圈嵌件外，提供抗扭应力和抗拉应力最高。另外，还提供了金属螺纹强度和可再使用性能。模塑嵌件的不足之处在于，由于塑料收缩程度远大于金属嵌件而造成残余应力，以及附加的成型成本。成型成本的增加大多数是由于成型周期的增长，成型周期必须延长以安装嵌件，缺少嵌件使得制品淘汰，浮动嵌件造成模具损坏，嵌件螺纹可能需要清理飞边，同时大型嵌件可能要求预热处理以实现预先膨胀以及改善流动和内部固化。模塑嵌件在第 13 章“嵌件和多零件成型”中将进行详细讨论。

8.13　超声波嵌件

图 8-11（f）描述的嵌件类型是一种设计用于使用超声振动进行安装的嵌件类型，在嵌件周围较小范围的塑料由于摩擦力的作用而熔融，当高聚物熔融以后流入嵌件并包围倒陷和裂缝。塑料继续冷却后在嵌件周围凝固，因此防止抽出。然而，微细裂纹缝隙残存，因此模塑嵌件所受压缩载荷在这种嵌件中不存在。这就降低了

凸台破裂的可能性。因此，超声振动所附加的嵌件安装力非常低。嵌件和塑料相遇位置，由于塑料和嵌件冷却速率差形成了应力消除区域。真空密封只有在特殊嵌件时才有可能（见 8.16 节“真空密封”）。

超声振动被广泛用于放置嵌件，在热塑性塑料中，模塑嵌件也由于自身的不足（见 8.12 节“模塑嵌件”）而被其大量取代。超声波嵌件局限于热塑性材料。除了嵌件周边应力下降，安装过程附加力低以外，超声波嵌件能够在很短的时间内完成安装：经常少于 1s；对于大型嵌件，在 3.5s 范围内完成。因此，这个工艺有助于其自动化过程，一些嵌件被设计为两端导向，以消除在进入孔入口之上对于取向的要求。如果导向定位彼此足够靠近，多个嵌件可以同时焊接。同螺纹嵌件相比，超声波嵌件可以使用更宽松的公差配合；同模塑嵌件相比，所有模具和成型问题都可以消除，并可使用更小的凸台。但嵌件成本比模塑嵌件和膨胀嵌件稍高一点。

如图 8-12 所示，超声波嵌件可通过以下两种方法完成，一是将塑料套在嵌件上，另一方法是将嵌件插入塑料中。同金属嵌件接触使得焊头磨损，因此要求使用硬化钢来制造。焊头尖部设计成易于更换，降低了操作成本。高应力应用场合要求使用钛合金焊头，尽管它们的磨损性能不及硬化钢。相反的，将塑料套在嵌件上会使焊头同塑料接触，这样可以改善焊头磨损和降低噪声影响。

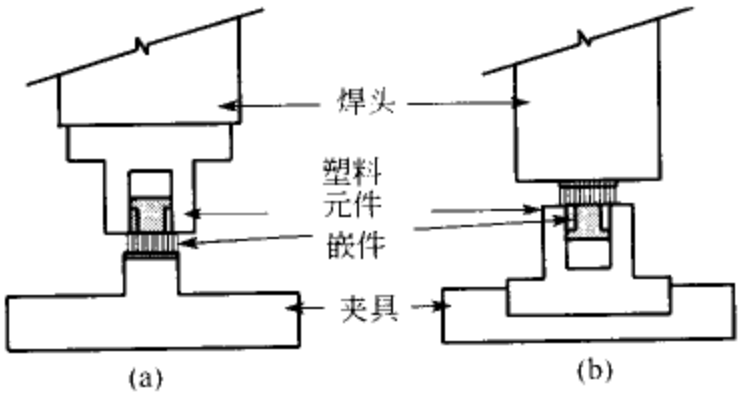


图 8-12 超声波嵌件安装类型

（a）塑料套在嵌件上；（b）嵌件插入塑料

（Branson Ultrasonics Corporation，Danbury，CT 公司提供）

有许多公司生产该种嵌件，并提供各自具有专利的滚花、倒钩、螺旋齿、明显的凹槽等。所设计的主要由倒陷组成的嵌件主要是为了抵抗拔出力。嵌件表面大量螺旋槽用于抵抗扭转应力。很多设计将这些特点结合到一起。生产商同时也可以提供不同类型嵌件在大多数通用塑料中相关的拉伸强度和扭转强度的数据，这些数据需要考虑是否同实际应用相匹配，包括孔尺寸及其公差。用于发泡材料的数值比应用于密实树脂低得多，推荐孔的尺寸也稍微小些。

超声波用插入孔如图 8-13 所示，通常为 0.38～0.50mm（0.015～0.020in），比嵌件尺寸小。过盈不足会导致握力减小；然而过盈过渡又会造成凸台破裂，安装周期时间额外增长，或熔融树脂流入孔内或在安装过程中从顶部溢出。如果干涉量正确，但是物料仍然从顶部溢出，可以使用

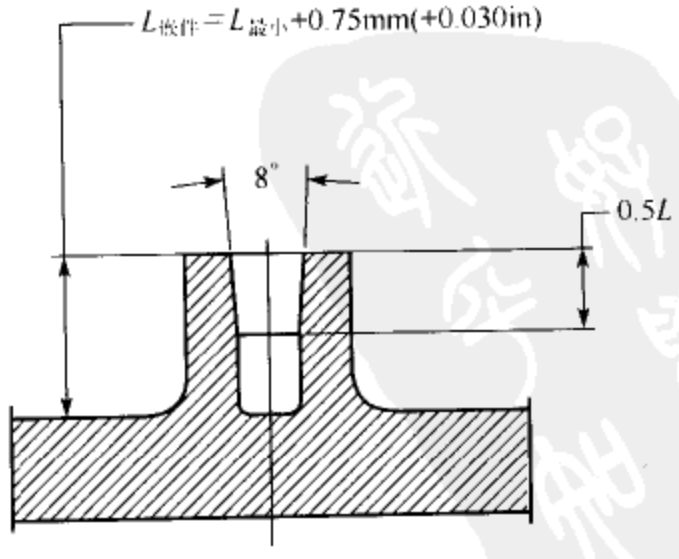


图 8-13 适于安装超声波嵌件的凸台设计

具有凸缘的嵌件。入口处有一个 8°的坡口角度用于导入嵌件，并缩短放置嵌件所需时间，同时当在焊接前处理嵌件时保证它能定位。导入部分可设计在嵌件内而不是在孔内，然而在任意一种情形下，它都必须延伸嵌件长度的一半左右。嵌件下的壁面需要能够承受焊接时的压力，因为焊接支撑不足不仅会导致额外的周期时间，而且会出现制品失效或无法焊接。

孔必须比嵌件的长度深 0.75mm（0.030in），为熔体提供空间。因为大多数用于超声嵌接的嵌件是末端开口的。如果用于嵌件的孔太窄，一部分熔体可以回流到嵌件的螺纹部分，减少可利用螺纹的数量，由于螺纹无法插入到预计的深度，可能使得嵌件失效。这也可能不明显，螺钉压到底部或插座的塑料中，嵌件松动很容易拔出。如果嵌件太短或螺钉太长都可能出现这种失效。

超声波嵌入时在嵌件上施加低振幅、中等压力和较慢的下行程。当多个嵌件被同时安装时或嵌件直径达到 9.5mm（0.375in）或更大时，使用更大的压力以及在与嵌件接触之前开始启动超声振动。多个嵌件的插入更加复杂，由于设备设置不正确，可能造成诸如不均匀的熔融和嵌件高度不同等缺陷。

那些设置可能造成问题或延长单个成型周期时间。如果嵌件在塑料熔融之前推入孔中，或插入压力过大，都有可能使得凸台破裂。凸台壁厚太薄也会出现类似情况。停止设定不正确会使得嵌件不能足够的插入孔内，或可能导致嵌件插入太深，这些会造成塑料从顶部溢出或流入螺纹孔中。嵌件设置在制品表面以下也会受到冲击而被螺钉顶出孔外。焊头应当是嵌件直径的 2～4 倍，它的活动行程应该受到限制，否则嵌件顶部就会向制品表面卷起或略高于表面。这能提供最大的抗扭强度和抗拉拔强度。内部润滑剂的使用会造成抓力的显著减少。

除了嵌件之外，多种其他的紧固件比如螺柱、螺钉、销钉、端子、铰链、套环和金属网都可以使用超声方法插入。读者如想要获得关于超声装配设备详细解释，可以参考第 19 章“超声波焊接”。

8.14　热装嵌件

由热压或便宜的手持式插入器提供热源可取代超声振动方式用于嵌件的安装。嵌件被放置在特殊的销钉上，销钉用于将热量传递到嵌件螺纹内径上。热量使包围在嵌件周围的塑料熔融，直到塑料足够柔软，将嵌件推到位。设计用于超声的孔结构也可以用于利用加热进行安装的嵌件，除了那些与超声方法相关的细节以外，也可应用同样的常规法则。热装机如图 8-14 所示。

在某些特定应用领域，这种方法比超声法具有优势。首先是设备的成本，它大约是超声波焊接机的一半；其次是减少由于磨损带来的昂贵的工具替换费用。这种方法处理填充材料更合适，它对于气孔、缝隙和制品外形轮廓方面不太敏感；可以同一时间在不同平面上放置几个大型嵌件，用于发泡成型时效果良好，插入时只需要较小的力；在凸台上维持它的黏结性更容易；凸台上允许更大公差范围，更大的

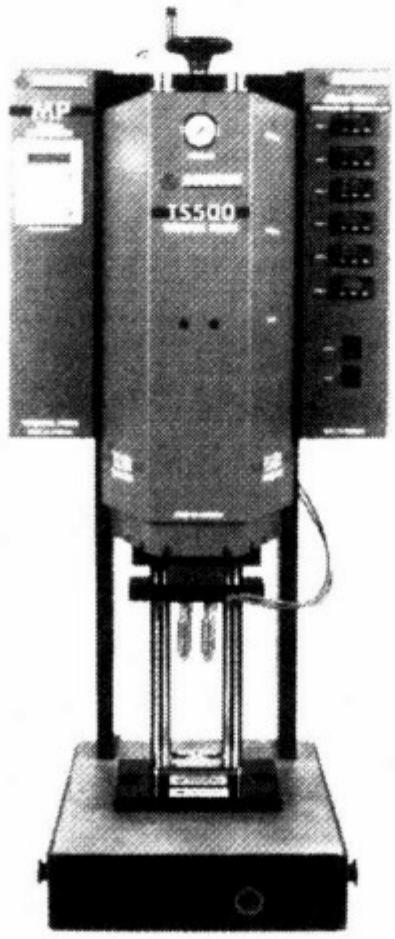


图 8-14　热装机
（Sonitek，Milford，CT 提供）

椭圆度和更薄的壁厚没有裂开（因为这里只有很小的环应力）。同样，据说熔体流进滚花和嵌件倒陷内效果更好，结合强度将提高 20%。最后，对于耳朵没有防护要求，因为该种方法非常安静，同时手持式插入器在进入困难位置更易使用（对于快速原型和短生产运行期来说也非常实用）。

然而，它同样具有一些不足之处。首先，热装嵌件比超声波嵌件慢，因为需要花更多的时间利用热量熔融塑料（整个嵌件都必须加热），同时也因为更多的塑料必须被熔融才能放置嵌件。其次，环绕在嵌件周围的熔融塑料区域更大，这会导致嵌件在之后安装过程中发生移动。这也使其同超声法安装相比更难保证较高的位置精度。最后，整个过程对操作敏感，过多的热量可能导致孔周边材料的热降解，以及本身物理性能的损失。

设计用于热装法或超声法的嵌件可以用于非填充热塑性材料和玻璃纤维或矿物纤维填充量到 30%的热塑性塑料。

8.15　感应嵌件

感应加热可用于加热那些即将被安装到塑料制品上的嵌件（可参考第 12 章“感应/电磁焊接”）。如图 8-15 所示，在这种情形下，需要将嵌件安放到一个不锈钢推杆上。推杆由气缸推动，实现垂直位移。需要安装的嵌件放在推杆上，在感应加热器加热线圈中定位，感应器使嵌件升温。受热后的嵌件被插入位于下方的塑料制品中，熔融塑料流入嵌件的滚花和倒陷中。

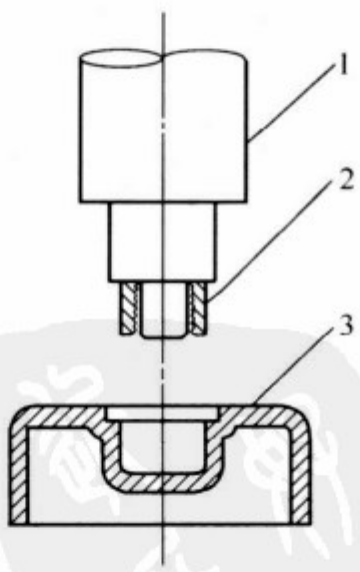


图 8-15　使用感应加热方法安装嵌件
1—气缸；2—嵌件；3—塑料件

加热嵌件的时间范围由 1s 以下直到 6s 或者更多。造成区别的原因在于嵌件的尺寸以及嵌件的制造材料。小型钢制嵌件所需熔融时间最短，大型铝质和铜质嵌件所需时间最长。钢质嵌件比铝质和铜质嵌件坚硬，但是如果镀层失效可能会被腐蚀。因此，大多数应用嵌件通常选择铜。但是铜的退火温度是 450°F，因此铜嵌件必须被快速加热和插入以防止螺纹的退火。绝大多数设计用于模塑、压入、自攻丝、膨胀或者超声法安装的嵌件结构都能用于感应加热，不过那些由深滚花和倒陷的嵌件工作效果更好。

感应生热被认为是所有嵌件技术中能够保持最紧配合公差的一种安装方法。因

为嵌件可以使用精确工具安装，它们每次将嵌件精确定位在同一地点，即使成型孔改变，嵌件可以在一个 x-y 平面布置的桌面上定位，或使用机械手和多种更简单定位装置。可以使用更多线圈同时加热多重嵌件。如 10 个直径为 14.3mm (0.563in) 铜嵌件可同时安装到玻璃纤维增强的引擎歧管。整个周期中加热部分的时间为 4s。

8.16　真空密封

由于塑料孔与金属嵌件之间的线性热膨胀系数的显著不同，塑料制品膨胀比嵌件显著。因此，之前讨论的任何一种嵌件都无法实现真空密封。然而，多种超声波嵌件结合橡胶 O 形密封圈可以适应膨胀之间的差别。图 8-11（g）所示是 Dodge® “超密封”。这些嵌件被设计为采用加热或超声振动进行安装，同时使用管螺纹取代机制螺钉螺纹。

8.17　螺柱

大多数塑料中的嵌件包含内螺纹，无法解释它们为何不能没有外螺纹。个别生产商生产螺柱，这些产品如果数量达到要求可以订制。螺柱可以压入、模塑或通过加热或超声方式嵌入。也有一种螺柱在尾部有自攻螺纹，以适应塑料凸台，因此提供一种两头都有机制螺纹的螺柱，可用于进一步的装配过程。

8.18　嵌件设计考虑

嵌件通常设计为可经受拉伸、拉拔、扭矩旋转和顶出。对于抵抗拉拔和扭矩旋转，不同的设计会注重不同的方面。图 8-16（a）所示插座拔出情形，由于螺钉的旋转作用，嵌件能从孔中拔出。这个问题可以通过将同其配对的孔设计得比嵌件外径小来解决，如图 8-16（b）所示。这样可以防止嵌件从孔中拔出。

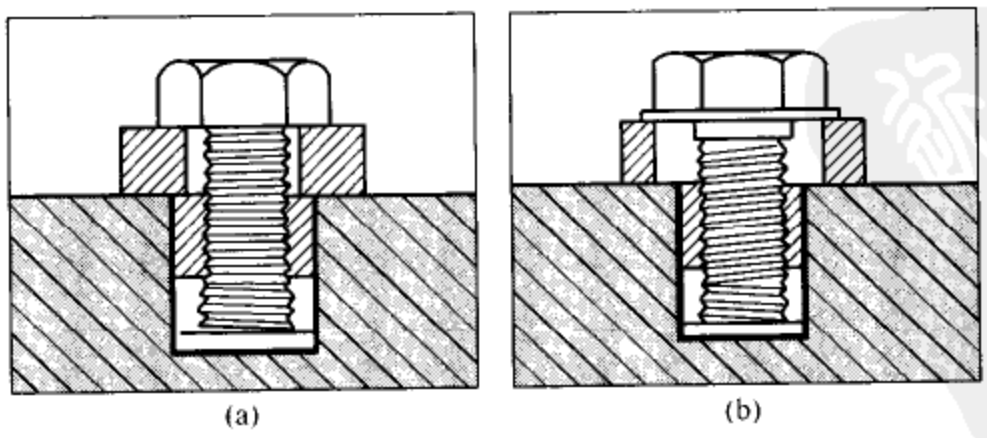


图 8-16　拔出问题

（a）正确装配（配合零件防止拔出）；（b）不正确装配（潜在拔出危险）（Dodge 提供）

8.19 U形或J形夹

可在如图8-17（a）、（b）和（c）中所示的廉价的夹子凸缘中设置内螺纹。最简单的一种是在孔中有一圈模印的螺纹；而其他方式则会有一个带较多圈螺纹的螺纹管。这种夹子用于壁厚在0.025～0.200in，且每种壁厚范围的螺纹尺寸限制较多。它们不仅有助于成型过程中需要钻孔的部件，而且有助于常用的凸缘，例如热成型、压制成型、树脂传递成型和冷压成型。某些情况下，模塑成型的凹槽可用于夹子的定位，如图8-17（d）所示。

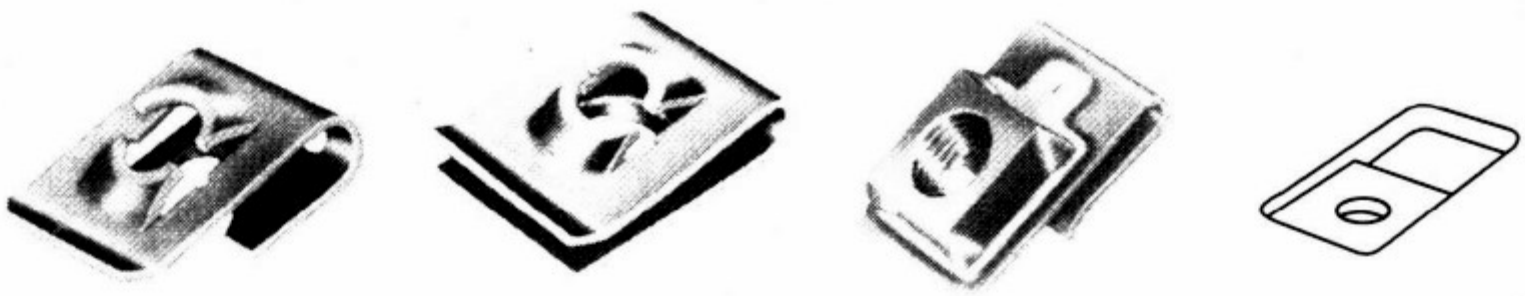


图8-17 （a）J形夹子；（b）U形夹子；（c）多重螺纹U形夹子；（d）J形或U形夹子凹槽（Eaton公司提供）

8.20 T形螺母

具有可用于法兰或面板上的螺纹管的另一种装置是T形螺母。一种方法是将弧形垫圈钻入法兰背部；另一种用弹簧。

8.21 机制螺钉

螺钉、螺母配合是已知的最简易的塑料安装方法之一，在某些应用中，它们不需要在待安装部件上钻配合孔，只需要较少准备。这种方法较好地适用于低产量的应用领域。在这些情况下，模塑装配细节所需成本难以确认。

机制螺钉具有一些优于自攻螺纹和其他紧固件的特点。首先，它可提供金属对金属的螺纹啮合。由于金属强度比塑料大得多，所以意味着可以用较小的螺钉达到相同强度。从另一方面看，如果只有适合于较小螺钉的空间，机制螺钉和螺母或插入物的结合可提供更高强度的连接。

第二个优点在于机制螺钉具有随时拆卸性能，以便重复使用而不会产生由于焊接接头或金属嵌件造成的部件损坏。某些情况下，甚至紧固件本身都可重复使用。

第三种考虑在于由结构性凸台的壁厚而在部件表面产生的缩痕。螺纹嵌件和自攻螺钉确实需要承载能力强的凸台，螺栓和螺母配合能使用较薄的凸台。壁厚的减

少能够减少部件外表面出现缩痕的机会。

一些情况下，很多塑料工业中所固有的较大范围的部件间变化要求必须在安装中进行校正。通常的做法是在安装中先将机制螺钉装到“手拉紧”的程度，在部件已经定位之后再最后拧紧。

机制螺钉在工艺本身所固有的较大范围部件尺寸发生变化的情况下，也是非常有用的。如图 8-18 所示，待装部件能够彼此定位，并钻上一个贯穿两个部件的通孔。这种方式的缺陷在于部件间缺乏互换性，如果需要更换其中一个部件，使用者必须重钻配合孔，或者基于同一目的，整个装配件必须重返工厂加工。

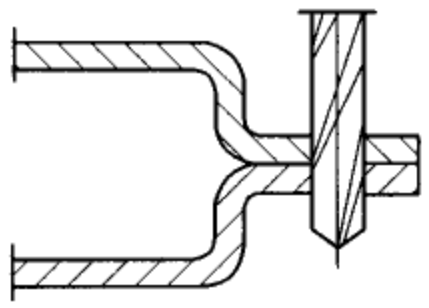


图 8-18　钻孔

这种方法非常适合于法兰型部件，这类部件常用于热成型、RTM、冷压成型、叠铺/喷附成型和压制成型工艺。其实它也可用于所有塑料工艺中。

如图 8-18 所示部件装于法兰中，当它们夹在一起时就不会扭曲。然而，当壁间有间隙时，如图 8-19（a）所示，紧固螺母时，壁会向内偏斜，如虚线所示。

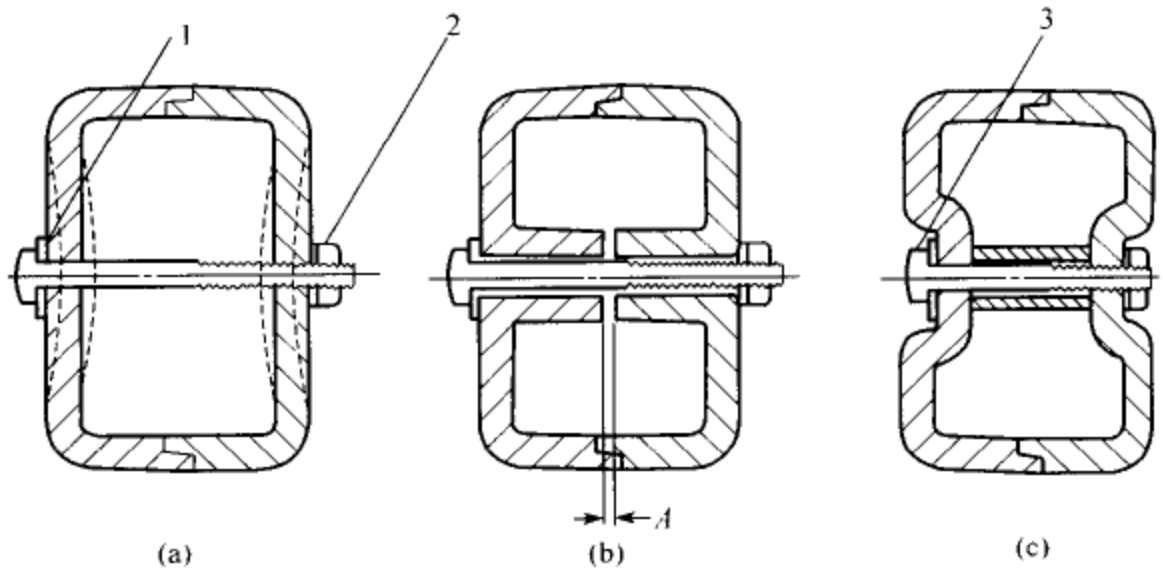


图 8-19　避免偏斜的设计

（a）无支撑壁；（b）凸台支撑；（c）套筒支撑

1　垫圈；2　外露螺母和螺栓；3　螺钉头位于凹槽中

然而，图 8-19（b）所示零件中设计了凸台，压缩量仅限于预设的间隙 A 的值。所要求的间隙值依赖于特定树脂的收缩程度。当外壁仍旧有空间时，凸台靠近是不可能的，因为沿外部的周长方向没有间隙。因而，尺寸应设置得沿外缘既接触又无压缩。凸台处于最大的公差高度时，这意味着它们处于最小公差高度时仍会有一个间隙。允许存在的最大的间隙取决于凸台相对于外壁的位置、部件的总尺寸及由弯曲模量和壁厚确定的硬度。对于低到中等收缩率的塑料，±0.010in的高度公差是合理的。±0.005in 就会被认为是太紧，并可能造成单件成本的增加。

一些情况下，使用一种带切口的金属或塑料管作为套筒来提供箱体支撑，如图

8-19（c）所示。这种金属管尤其能够避免过紧的安装。一旦产品超出制造者的控制，这种安装可能发生。

图 8-19 显示螺钉和螺母两头都完全暴露。这为易于使用扳手提供方便。图示这种方式螺钉和螺母两头都有垫圈，有助于分散由于夹紧力产生的应力。

在图 8-19（c）中，螺钉和螺母的两头已缩进箱体的凹面。沿螺母一周有空间可使用管钳子。然而，这种结构为脏物和油污提供了积聚位置。凹槽的形状做成六角形，以便恰好配合螺母形状。那样会消除脏物积聚凹槽，且不需要扳手；然而，它也能使箱体适合于螺钉的张紧力。对于这种类型的设计，六方形的各个角必须倒圆角到允许的最大值，以减少应力。

同样的逻辑用于螺钉头。本例显示了凹槽壁正好让开螺钉头。如果用开槽或套筒扳手头螺钉，就会起作用。如果使用特定六方形螺钉，凹槽必须足够大，以便使用管钳子。此时也需要为用于分散应力的垫圈留下足够的空间。

8.22 攻丝板和螺柱板

攻丝板如图 8-20 所示，是低强度聚合物或高负载应用领域的一种有用装置。实质上，它只不过是攻了螺纹孔的金属板。然而，它具有应力分布广的金属螺纹强度。轻型攻丝板是由带有螺纹的金属板制成。应用要求越高，所要求的量块越重。

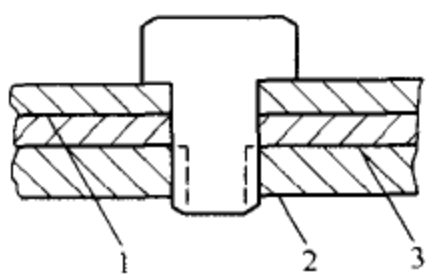


图 8-20 攻丝板

1 顶部塑料部件；2 攻丝板；3 底部塑料部件

攻丝板可用模锻、铆锻、胶接和立锻于塑料部件上形成如图 8-20 所示的三明治结构。这是一种最结实的结构。这些板也可用柱头螺栓连接到板的已攻丝孔上。那种形式被称为“螺柱板”。

螺栓和攻丝板通常用于特定工艺过程中产生的部件，在这些工艺中，它难以符合紧固件细节要求，如热成型、树脂转换成型、冷压成型、SMC 压缩成型和喷附/叠铺。

8.23 塑料螺钉

金属螺钉和塑料部件之间线性热膨胀系数的差别问题能够通过使用塑料螺钉而获得实质上的解决。此外，侵蚀问题也能有效地消除。尽管这些紧固件受限于材料强度的减小，仍有很多应用领域使用它们。然而，使用塑料螺钉时，内外螺纹的螺纹强度需要得到校验。塑料螺钉有统一的粗糙度、精度和公制。可用材料是尼龙 66、聚碳酸酯和具有不同程度通用性的一些其他塑料。也有一些采用金属芯和塑料螺纹的混合螺钉。最后，可以采用介于塑料和钢铁的 CLTE 的中间的铝来制作螺钉。

8.24　螺钉头和垫圈

平头和桁架头在直径上大于普通圆头，更适用于塑料领域的应用。因为它们将载荷传到更大的区域。垫圈对于传递夹紧载荷也极其有用（在塑料部件中），并且应当用塑料制成的。螺钉可与垫圈一起，并与头合并为一个单件，松动但仍永久附于螺钉并位于螺钉头下。头下带有倒钩或筋的螺钉也有生产。锁紧垫圈同金属应用一样能够用于抵制振动；用于塑料时，它们也在抵抗蠕变、冷流和应力松弛的影响上有重要作用。

图 8-21（a）所示的平头螺钉是应当避免使用的一种螺钉。这是因为在呈一定角度的螺钉头下产生横向力，而使其作用的材料由于环应力受到拉伸。如果需要平坦的表面，那么可以使用安装在凹槽中的平头螺钉，如图 8-21（b）所示。

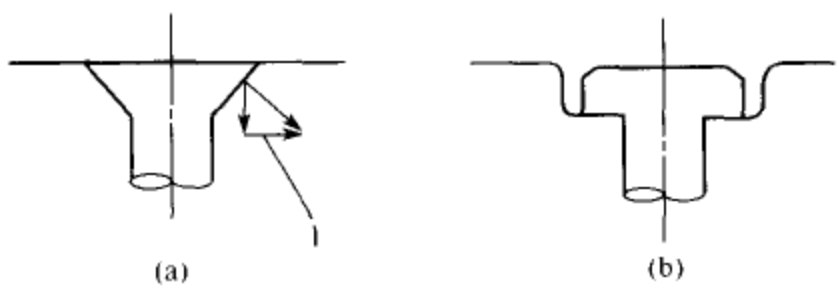


图 8-21　平坦表面

（a）平头螺钉；（b）凹槽中的平头螺钉

1　横向分力

8.25　凸台设计

8.25.1　设计标准

如图 8-22 所示，凸台设计有两个基本的标准：缩痕和结构。图 8-22（a）所示的缩痕标准是凸台的主要标准之一，此凸台或者是非结构，如定位凸台，或者没有径向应力或环应力，如用于机制螺钉和插件。为消除缩痕，基本要求是最厚截面不超过壁厚的 1.25 倍。图 8-22（b）所示的结构标准凸台是一种用于自攻螺钉或螺纹嵌件的类型。它们的强度必须很大，这些要求先于缩痕标准。

自攻螺钉的孔必须有一个留隙凹槽，凹槽的最小深度为一整圈螺纹的高度。用于自攻螺钉或螺纹嵌件的凸台外径的推荐值是嵌件外径的 2～3 倍。很明显，这个壁厚将超过避免缩痕的最小壁厚（1.25W）。实际的最小外径会随不同材料和类型的螺钉或嵌件而变化，可与供应商接触以获得指导。而直径比从 2∶1 增加到3.5∶1 会将压人嵌件的拉拔强度提高 40%；膨胀嵌件提高 100%；自攻螺纹嵌件提高 300%。表 8-2 提供了带有嵌件的凸台最小壁厚推荐值。

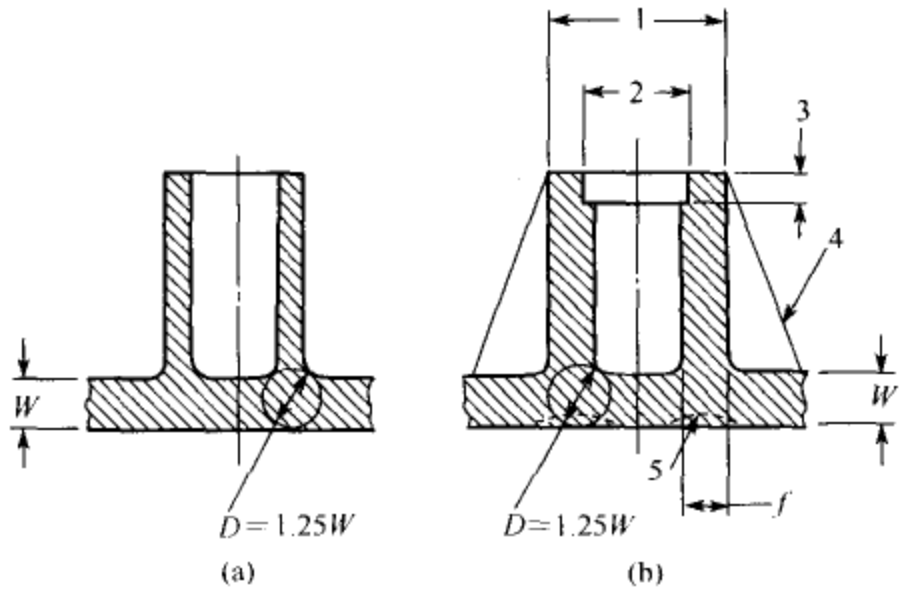


图 8-22　凸台设计标准

(a) 避免缩痕的凸台设计；(b) 保证强度的凸台设计

1—凸台直径等于嵌件直径的 2～3 倍；2—留隙直径；3—孔隙＝1 整圈最小螺纹；4—支撑板；5—缩痕

支撑板用于 6mm (0.231in) 或更大的螺钉。支撑板的使用，提高抵制弯曲和翘曲能力的同时增加了流向凸台的材料，在一些应用场合可能会允许凸台直径保持在低侧。

表 8-2　带嵌件凸台最小壁厚

(源自塑料工业协会的《塑料工程手册》，第 765 页)

材　料	嵌件的直径/in									
	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2
酚醛塑料										
通用级	3/32	5/32	3/16	7/32	5/16	11/32	3/8	13/32	7/16	15/32
中等冲击	5/64	9/64	5/32	13/64	9/32	5/16	11/32	3/8	13/32	7/16
高冲击(碎步)	1/16	1/8	9/64	3/16	1/4	9/32	5/16	11/32	3/8	13/32
高冲击(剑麻)	5/64	9/64	5/32	3/16	1/4	9/32	5/16	11/32	3/8	13/32
高冲击(玻纤)	1/16	3/32	1/8	1/8	3/16	3/16	1/4	1/4	5/16	5/16
耐高温.通用级	1/8	3/16	7/32	1/4	11/32	3/8	13/32	3/16	15/32	1/2
耐高温.冲击型	5/64	9/64	5/32	13/64	9/32	5/16	11/32	3/8	13/32	7/16
低损耗	5/32	7/32	1/4	9/32	3/8	13/32	7/16	15/32	1/2	17/32
特殊或大型嵌件	3/64	7/64	1/8	5/32	7/32	1/4	9/32	5/16	11/32	3/8
聚酯.彩色	3/32	5/32	3/16	7/32	5/16	11/32	3/8	13/32	7/16	15/32

续表

材　料	嵌件的直径/in									
	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2
聚酯，填充	5/64	9/64	5/32	3/16	1/4	9/32	5/16	11/32	3/8	13/32
聚酯，玻纤填充	1/16	1/8	9/64	3/16	1/4	9/32	5/16	11/32	3/8	13/32
邻苯二甲酸二烯酯										
"Orlon"填充	1/8	3/16	7/32	5/16	11/32	3/8	13/32	7/16	15/32	1/2
矿物质填充	3/32	5/32	3/16	7/32	5/16	11/32	3/8	13/32	7/16	15/32
玻纤填充	5/64	9/64	5/32	3/16	1/4	9/32	5/16	11/32	3/8	13/32
醋酸纤维素	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2
乙酸丁酸纤维素	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 3/4	2
乙基纤维素	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	7/32	1/4	9/32	5/16	11/32
脲甲醛	3/32	5/32	3/16	7/32	5/16	11/32	3/8	13/32	7/16	15/32
三聚氰胺甲醛[①]										
MF	3/32	5/32	3/16	7/32	5/16	11/32	3/8	13/32	7/16	15/32
CF	1/8	3/16	7/32	5/16	11/32	3/8	13/32	7/16	15/32	1/2
偏二氯乙烯	3/32	1/8	3/16	1/4	3/8	1/2	1/4	9/32	5/16	11/32
甲基丙烯酸甲酯	3/32	1/8	3/16	3/16	7/32	1/4	5/8	3/4	7/8	1
聚苯乙烯	3/16	3/8	9/16	3/4	1 1/8	1 1/2	1 7/8	2 1/4	2 5/8	3
聚乙烯	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	7/32	1/4	9/32	5/16	11/32
尼龙										
"Zytel"101 或等同	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	7/32	1/4	9/32	5/16	11/32
"Zytel"31 或等同	3/32	1/8	5/32	7/32	1/4	5/16	11/32	13/32	7/16	15/32
"Zytel"63 或等同	3/32	5/32	3/16	1/4	5/16	11/32	13/32	7/16	1/2	9/16
"Zytel"69 或等同	1/8	7/32	9/32	11/32	7/16	1/2	19/32	21/32	23/32	13/16
"Zytel"105 或等同	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	7/32	1/4	9/32	5/16	11/32
"Zytel"211 或等同	3/32	1/8	5/32	7/32	1/4	5/16	11/32	13/32	7/16	15/32
"Zytel"42 或等同	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	7/32	1/4	9/32	5/16	11/32
氯乙烯-乙酸乙烯树脂	3/32	1/8	3/16	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1

① MF，矿物质填充三聚氰胺可燃材料；CF，纤维素填充三聚氰胺，电子级。

8.25.2 凸台缩痕

处理凸台缩痕有好几种方法。

8.25.2.1 挖芯

孔如何挖去对缩痕会有影响。基本上，缩痕是由于熔体不均匀冷却而产生较高程度的模塑应力的外部表征（气孔是内部表征）。当壁厚的差别超过25%时情况很明显，如图8-22（b）所示。凸台设计的缩痕标准［图8-22（a）］是通过减少相应的壁厚处理这个问题。然而，那种方式会导致凸台的外部直径过小而不能承担嵌件和自攻螺纹产生的载荷。依据强度标准导致的壁厚增加可以通过增加型芯深度而使壁厚减少，如图8-23（a）所示。

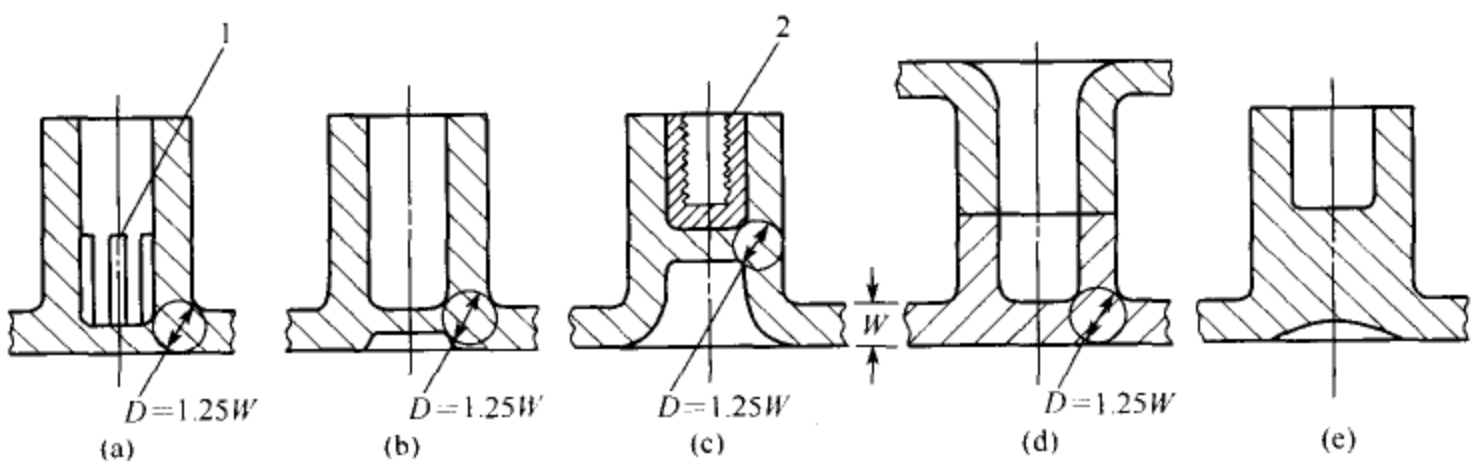


图8-23 处理凸台缩痕的方法

（a）开凹槽的型芯；（b）外凹槽；（c）深凹槽；

（d）延长套；（e）不正确做法

1 嵌件高度控制筋；2 嵌件

8.25.2.2 定位

若可行，将凸台定位在其缩痕最不显眼的地方。例如将缩痕放在隐蔽的表面下，如标签或如图8-23（b）所示的凹槽。这一概念也适用于后成型嵌件和自攻螺钉，其孔深度能超过螺钉或嵌件所需深度。然而，如图8-23（c）所示，有些模塑嵌件需要深孔。更好的方法是使用于成型嵌件的凸台高度最小并且延长对应凸台来符合要求，如图8-23（d）所示，这样会需要更长的螺钉。如图8-23（e）所示，绝不留下一个大块的固体材料是明智的。这种设计不仅会导致缩痕和高的成型压力产生，而且会使整个成型循环过程由于需要等待厚壁部分完全冷却才可以顶出而延长。

8.25.2.3 支撑

凸台基座并不是产生缩痕的唯一地方。周边（在平面图中）也容易产生这一问题，尤其当使用加强筋时。图8-24显示了几种凸台设计，有一些较好而有一些较差。

首先，我们考虑那些不好的做法。对于非填充热塑性塑料，A、B处结构会

出现缩痕；对于一些热固性塑料和填充热塑性塑料，缩痕程度会小一些。它们能用于发泡塑料、大多数热固性塑料和一些填充的热塑性塑料。无论如何，只要它们是部件中最厚的部分，它们就仍会增加成型周期。

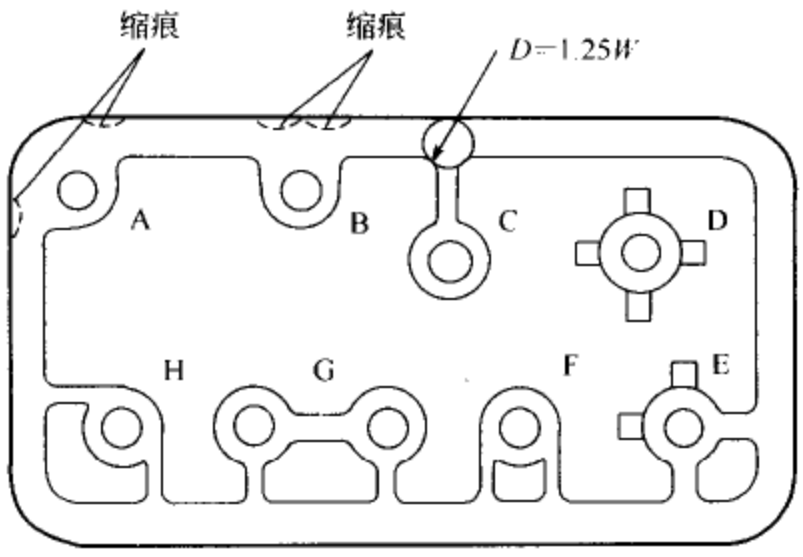


图 8-24　凸台结构

筋和支撑板用于将凸台与壁连接的地方。其次，图 8-24 的凸台代表了一些好和差的例子。在 A 位置的角落凸台会在材料最厚的地方产生缩痕（虚线）。H 位置的角落凸台较好，但它仍可能产生缩痕。但这些缩痕将会在筋与凸台相切处内部产生。在 E 处的角落凸台设计是最结实的。

B 处的中壁凸台会产生 A 处同样的缩痕。为完全避免外壁产生缩痕，必须移动凸台到薄壁加强筋处，如 C、F 和 G 处具有的凸台。但 F 处设计会产生如 H 处凸台那样的内部相切于凸台的缩痕。这些设计致力于尽量减少筋的壁截面，以避免在积聚料堆处所画圆的直径超过公称壁厚的 25%。根据连接处的半径，通常确定筋的厚度只是公称壁厚的一半。

使用如图 8-24 中 D 处所示的独立式凸台可以完全地解决这一问题。它们的强度通常不及与外壁相连接的那些凸台，但可以通过使用前述的加强板来增加它们的强度。6mm（0.126in）或更大尺寸的螺钉建议用加强板。

8.25.2.4　材料

高收缩热塑性塑料是最易产生缩痕的。热固性塑料、填充热塑性塑料和发泡塑料可能产生较少的可见缩痕。但发泡材料的强度明显小于实心形式的同种树脂的强度。同时，孔必须模塑成型而不能钻孔。因为钻孔会将强度最高的表层挖去。发泡孔的好处之一是发泡材料吸收了多数径向力和环应力，因而对成型中降低的强度具有补偿作用。

8.25.2.5　表面处理

光滑表面缩痕更明显，但缩痕区域可以用模具中被侵蚀的不光滑的表面来掩盖。热冲压或热传递成型会覆盖微小缩痕，但如果缩痕过深，还是会留下裂纹。

8.25.3　熔接痕

除了缩痕问题，还有熔接痕问题，这是凹台中最脆弱的部分，它的形成不像挤出管材。如图 8-25 所示，部分成型凸台，熔体沿型腔最靠近浇口处流动，然后沿型芯充满。熔体前缘比后续熔体稍冷，当两个前缘熔体相遇时，在熔接处就会出现不完全的熔接。在最坏的成型条件下，熔接线实际上可能是开放的；最好的成型条

件下，熔接痕强度可能只有周围材料强度的85%，凸台极少在熔接线位置以外发生失效。

材质、凸台大小和与浇口的距离和流道长度都与凸台的强度相关。小自攻螺钉，要求凸台有0.114in的壁厚。但如果凸台是由流动很慢、玻璃纤维填充材料、并且被置于远离浇口、熔体流经曲折的通道过程成型，那么就不可能有足够剩余压力来形成一个好的凸台。这就不得不采取补救措施，例如提高成型温度，但这样又可能会导致降解问题。

解决方法之一是为热材料提供流向凸台的通道，一种在部件内部的流道。图8-26解释了其机理。

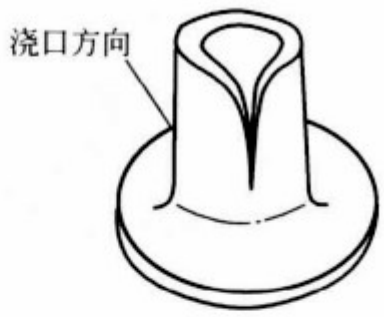


图8-25　凸台焊接缝/线——部分成型凸台

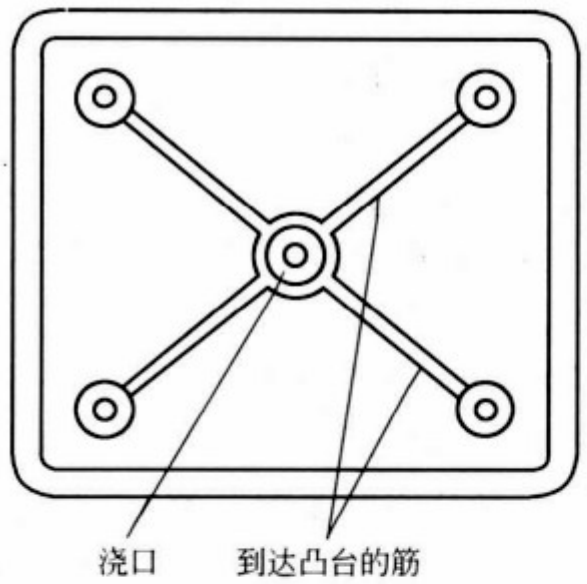


图8-26　内部流道系统

8.26　自攻螺母

自攻螺母，如图8-27所示，最初被用于汽车工业。自攻螺纹螺母旋入成型螺柱，产生它自身的螺纹。这些螺母经常拥有完整的垫圈，它们可以分散夹紧压力，并提供极好的夹紧强度。它们为防止由于振动而造成的松动而设计，如果之前过大的预紧力没有损伤到螺栓还可以用于同一螺柱的重新装配。如图8-27（b）所示的



(a)　(b)　(c)　(d)

图8-27　自攻螺母

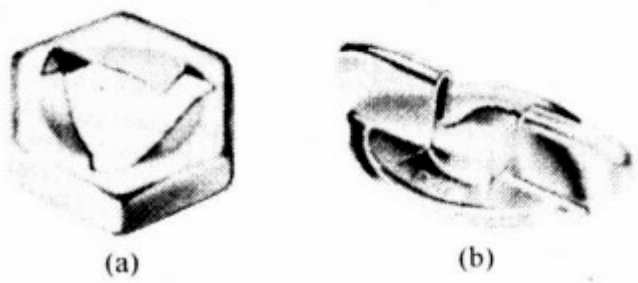
（a）规则型；（b）帽式螺母；（c）蝶形螺母；（d）垫圈

（Palnut公司提供）

帽式螺母用于螺柱需要保护的情况。根据公称壁厚大小，在螺柱下热塑性塑料充填不完全的地方会形成缩痕。自攻螺母也可用于热固性塑料。

8.27　螺旋螺母

用于较低强度的应用，有类似的外形，轻载类型引起较小的扭矩和径向压力。螺旋螺母可以只是部分地安装$\frac{1}{4}$～$\frac{1}{3}$圈螺纹。这种紧固件可以推进、拆除以及再重复使用，然而，在装配时必须小心不能弄歪了螺纹。如图 8-28 所示。



(a)　(b)

图 8-28　螺旋螺母

(a) 规则型；(b) 拉链旋转式 (Palnut 公司提供)

8.28　压入式螺母

压入式螺母除了只是简单的压到螺柱上以外，它跟自攻螺母是相似的。因此，它们装配时非常快捷。由拱形结构提供弹簧压力，引起夹紧压力。拱形结构在支柱底部被压至扁平以提供张力，同时取决于保持位置的齿数。为了实现这一要求，支撑面必须足够坚硬以允许紧固件滑动。因为它们没有螺纹，对于振动就有较高的抵抗力；然而它们局限于用在相当轻载场合。对于这种类型的紧固件，必须具有足够的硬度和强度。基本上，这些便宜的紧固件都被视为不具有可重复使用性。它可以用于热塑性和热固性塑料。图 8-29 为压入式螺母。

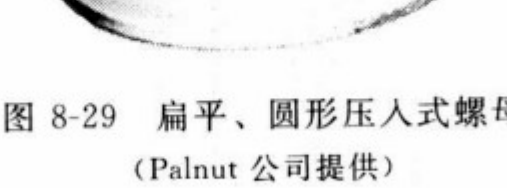


图 8-29　扁平、圆形压入式螺母

(Palnut 公司提供)

8.29　弹簧夹

弹簧夹是一种可移动的装置，如图 8-30 所示，必须将弹簧臂压下实现安装。



图 8-30　弹簧夹

(Palnut 公司提供)

当释放弹簧时，弹簧夹的牙将夹在螺柱上。需要拆除时，只需要使用钳子压住弹簧臂再将其取出。

8.30 推入式紧固件



图 8-31 推入式紧固件
（Eaton 公司提供）

推入式紧固件通常指的是嵌板紧固件，如图 8-31 所示。最初设计用于电子应用，包括面板组件的安全性，或使用延伸出的垫圈来取代盖子来隔断印刷电路板（绝缘体）。这些塑料紧固件可拆除（从内部），可重复使用，同时现在发现在装配薄壁材料中应用很多。通常它们的强度比螺纹紧固件低，在某些情况下只是简单地用于堵孔。

8.31 铆钉

塑料装配过程中使用铆钉的类型有四种：管状柄、实心柄、半实心柄和空心铆钉。这些铆钉如图 8-32 所示。对于塑料，最常用的铆钉类型是铝制空心铆钉。

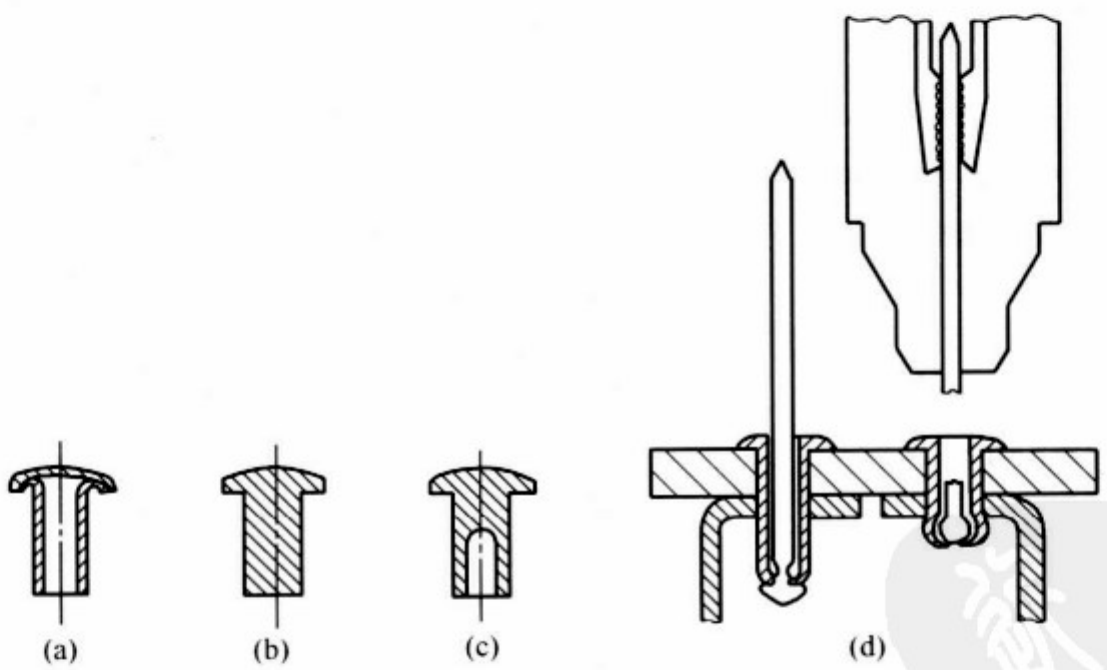


图 8-32 铆钉
（a）管状柄；（b）实心柄；（c）半实心柄；（d）空心铆钉

为了经受安装时的高载荷，用于塑料的铆钉需要拥有一个大头并倚靠垫圈或金属表面，如图 8-33 所示。通常大多数紧固件沿柄部的剪切强度比头部的拉伸强度要大，对于铆钉来说更是如此。如有可能，使用铆钉的塑料应用需要设计为沿铆钉柄部的剪切主载荷，并抵抗它们头部所受拉力。然而，根据所使用树脂的不同，可

以发现金属铆钉的剪切强度比塑料耐压强度大得多。在这种情况下，塑料上的孔会越来越大。铆钉和装配材料的强度都需要检查。当需要时，可加大铆钉尺寸来提高对剪切变形的抵抗能力。

同铆钉头相比，将要成型的头即敲弯处是二者中最脆弱的。描述铆钉伸出内表面的量用于形成敲弯头的术语为敲弯允许值。最适宜的敲弯允许值是铆钉直径的 75%；最小也要 50%。铆钉孔直径需比铆钉直径大 10%，铆钉距离制品边界的距离应为铆钉直径的 3～4 倍。如果两件制品之间要求有滑动，孔尺寸和槽宽度必须更大。带肩铆钉用于滑动，然而在头部成型过程中，它能有效降低作用于塑料上的压缩载荷。

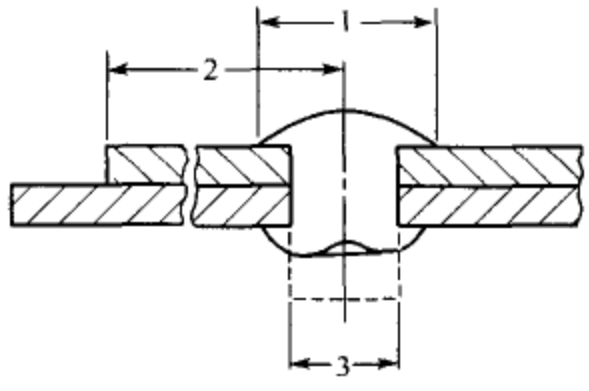


图 8-33　铆钉安装

1　头部尺寸；2—边界距离＝3～4 倍铆钉直径；3—铆钉直径、孔直径＝1.1×柄直径；敲弯允许值＝0.5～0.75 倍柄直径

铆钉非常适用于由成型带法兰制品工艺（比如热成型、叠铺/喷附成型、压制成型、树脂传递成型和冷压成型）生产的制品。

因为铆钉是一种永久的紧固方式，因此无需具有可互换性，两个或更多的制品之间的适当位置进行钻孔和铆接都是可行的。此外，要警惕制品之间热膨胀的区别。

本章主题过于广阔，因此很难全面涉及。作者推荐读者参考 Lincoln、Gomes 和 Braden 的著作“Mechanical Fastening of Plastics”（Marcel Decker，Inc./New York），书中有关本主题的论述很精彩。

8.32　资料来源

8.32.1　紧固件和嵌件

Alpha Bolt Co., 1524 East 14 Mile Rd., Madison Heights, MI 48071, (810) 585-6050, fax (810) 583-1382

ATF , Inc., 3550 W. Pratt Ave., Lincolnwood, IL 60712, (847) 677-1300, fax (847) 677-9335, www.atf-inc.com

Camcar / Textron, 600 Eighteenth Ave., Rockford, IL 61104-5161, (800) 544-6117, (815) 961-5000, fax (815) 961-5345, www.camcar.textron.com

DFCI Solutions Inc., 425 Union Blvd., West Islip, NY 11795, (631) 669-0494, fax (631) 669-0785, www.dfcis.com

Dodge, Div. Emhart Fastening Teknologies, 50 Shelton Technology Center, P.O. Box 859, Shelton, CT 06484, (203) 924-9341, fax (203) 925-4481, www.emhart.com

Engineered Fastener Co., 1271 Hamilton Pkwy, Itasca, IL 60143, (630) 285-0001, Fax (630) 285-0000

Entegra Fastener Corp., 321 Foster Ave., Wood Dale, IL 60191, (630) 595-6250, fax (630)595-0336, www.entegrafastener.com

Halo-Krome Co., 31 Brook St., West Hartford, CT 06110, (860) 523-5235, fax (800) 243-3149

Hartwell Corp., 900 S. Richfield Rd., Placentia, CA 92870-6780, (800) 441-0327, (714) 993-4200, fax (714) 777-4031

Huck Manufacturing, Inc., P.O. Box 27207, 3724 E. Columbia St., Tucson, AZ 85726-7207, (520) 519-7400, fax (520) 362-7440, www.huck.com

Industrial Fasteners Corp., 57 Denton Ave., New Hyde Park, NY 11040, (516) 352-6220

ITW Anchor Fasteners, 26101 Fargo Ave., Bedford Heights, OH 44146, (216) 292-7161, fax (216) 292-6999

ITW Fastex Distributor Business, 226 Gerry Dr., Wood Dale, IL 60191, (708) 350-8200, fax (708) 595-2141

ITW Medalist, Inc., 2700 York Rd., Elk Grove Village, IL 60007, (847) 766-9000, fax (847) 766-3645, www.itwmedalist.com

ITW Shakeproof Nut Fastening Systems, 1201 St. Charles Rd., Elgin, IL 60120, (847) 741-7900, fax (847) 741-7914, www.itwshakeproof.com

Kamax L.P., 500 W. Long Lake Rd., Troy, MI 48098, (248) 879-0200, fax (248) 879-5850, www.kamax.com

Lang Fastener, Div. of L.E. Borden Mfg. Co., 15289 12 Mile Rd., Roseville, MI 48066, (586) 772-8180, fax (586) 772-0720, www.langfastener.com

Long-Lok Fasteners Corp., 10630 Chester Rd., Cincinnati, OH 45215 (800) 566-4565, (513) 772-1888, fax (513) 772-1888, www.medizin.li

Micro Plastics, Inc., #1 Industry Lane, Highway 178 North, P.O. Box 149, Flippin, AR 72634, (870) 453-2261, fax (870) 453-8676, www.microplastics.com

Multech Inc., 2108 Shawnee Rd., Baroda, MI 49101-0286, (888) 422-2353, (616) 422-1122, fax (616) 422-1371, www.multech.com

Nylok Fastener Corp., 15260 Hallmark Dr., Macomb, MI 48042-4007, (800) 826-5161, (586) 786-0100, fax (586) 786-0598, www.nylok.com

Orbitform Inc., 1600 Executive Dr., P.O. Box 1469, Jackson, MI 49203, (517) 787-9447, fax (517) 787-6609, www.orbitform.com

Panduit, 17301 Ridgeland Ave., Tinley Park, IL 60477, (888) 506-5400, (800) 777-3300, (708) 532-1800, fax (708) 532-1811, www.panduit.com

Penn Engineering, 5190 Old Easton Road, Danboro, PA 18916, (800) 237-4736, (215) 766-8853, fax (215) 766-3633, www.penn-eng.com

Reliant Fastener, Div. of Reliant Industries, 201 E. 2nd St., Rock Falls, IL 61071, (815) 625-4000, fax (815) 625-4021

Richco Inc., 8145 River Dr., Morton Grove, IL 60053, (800) 466-8301, (773) 539-4060, fax (773) 539-6770, www.richco-inc.com

Rivnut Engineered Products, Inc., 2750 Marion Drive, Kendallville, IN 46755, (260) 347-3903, fax (216) 666-8066, www.bollhoff-rivnut.com

Rockford International Group, 2501 Ninth St., Rockford, IL 61104-7197, (815) 397-6000, fax (815) 229-4326, www.rockfordinternational.com

SPS Technologies, Inc., Unbrako Engineered Fasteners, 4444 Lee Rd., Cleveland, OH 44128, (800) 255-5777 (216) 581-3000, www.spstechnologies.com

Textron Fastening Systems, 516 Eighteenth Ave., Rockford, IL 61104, (800) 544-6117, (815) 961-5300, fax (815) 961-5345, www.textronfasteningsystems.com

Tinnerman Palnut Engineered Products, 1060 W. 130th Street, Brunswick, OH 44212, (800) 221-2344, (330) 220-5100, fax (330) 220-5797, www.palnut.com

Trans Technology Corp., 150 Allen Rd., Liberty Corner, NJ 07938, (800) 221-2344, (908) 903-1600, fax (908) 903-1616, www.transtechnology.com

Vlier Products, 40 Guest St., Brighton, MA 02135-9105, (800) 821-1090, fax (800) 457-2020, www.vlier.com

Whitesell Mfg. Inc., 327 N. Pine St., Florence, AL 35630, (256) 248-8500, fax (256) 248-8585

8.32.2　螺纹嵌件

Emhart Fastening Teknologies Industrial Division, 50 Shelton Technology Center, P.O. Box 859, Shelton, CT 06484, (203) 924-9341, fax (203) 925-3109, www.emhart. com

Engineered Inserts & Systems, Inc., 22 Calender Road, Watertown, CT 06795, (860) 274-3628, fax (203) 274-7939

E-Z Lok, 240 E. Rosecrans Ave., Gardena, CA 90248, (800) 234-5613, (310) 323-5613, fax (310) 353-4444, www.ezlok.com

Groov-Pin Corp., 1125 Hendricks Causeway, Ridgefield, NJ 07657, (201) 945-6780, fax (201) 945-8998, www.groov-pin.com

Precision Fasteners, Inc., 3 Laurel Drive - Unit #16, Flanders, NJ 07836, (800) 447-2077, (973) 927-2077, fax (973) 927-3379, www.precisionfastenersinc.com

P.S.M. Fastener Corp., 12223 C R Koon Hwy. 76, Newberry, SC 29108 (803) 321-1300, fax (803) 364-7377, www.psminternational.com

Standard Insert Co., 5190 Old Easton Rd., Danboro, PA 18916, (800) DIAL-PEM, (215) 766-8853, fax (215) 766-3633, www.standardinsert.com

Thermosonics, P.O. Box 1287, 88 Spring Lane, Farmington, CT 06032, (203) 678-1280, fax (203) 678-0762

Tri Star Industries, Inc., 101 Massirio Dr., Berlin, CT 06037, (800) 882-8980, (860) 828-7570, fax (860) 828-7475, www.tristar-inserts.com

VMP Incorporated, 24380 Avenue Tibbitts, Valencia, CA 91355, (888) 486-7462; (661) 294-9934, fax (661) 294-0542, www.vmpinc.com

Yardley Products Corp., 10 W. College Ave., P.O. Box 357, Yardley, PA 19067-8357, (800) 457-0154, (215) 493-2723, fax (215) 493-6796, www.yardleyproducts.com

8.32.3　热装设备

Sonitek & Thermal Technologies, Inc., 84 Research Dr., Milford, CT 06460, (203) 878-9321, fax (203) 878-6786, www.sonitek.com

VMP Incorporated, 24380 Avenue Tibbitts, Valencia, CA 91355, (888) 486-7462; (661) 294-9934, fax (661) 294-0542, www.vmpinc.com

Yardley Products Corp., 10 W. College Ave., P.O. Box 357, Yardley, PA 19067-8357, (800) 457-0154, (215) 493-2723, fax (215) 493-6796, www.yardleyproducts.com

8.32.4　感应安装设备

Ameritherm Inc., 39 Main Street, Scottsville, NY 14546, (800) 456-HEAT, (585) 889-9000, fax (585) 889-4030, www.ameritherm.com

8.32.5 超声波安装设备

Can be found at the end of the chapter entitled "Ultrasonic Welding."

第9章　铰链连接

9.1　优点和缺点

9.1.1　优点

（1）可重复开合　如果需要一个能重复开合的装置，铰链设计显然是一个解决方法。铰链是多样的，从普通轻载的包装用铰链到大规模重型箱体用铰链。

（2）减少零件数量　增大铰链的使用量有明显的好处，比如零件减少、永久连接两个零件、减少整体模具、成型和组装费用。

（3）尺寸减少　集成铰链通常设计在箱体内部或者靠近内部，这样就减少了零件外形尺寸。

9.1.2　缺点

（1）模具精度高　尤其是生产活动铰链的模具需要高精度，且冷却通道的布置也要格外小心。

（2）延长了产品开发时间　除非公司拥有相当丰富的开发活动铰链的经验，有时即使是他们，也会延长产品开发时间，而采用单腔模具可能是效果更好的零件和模具设计方案。

（3）模具更复杂　根据使用的铰链形式不同，可能要使用侧抽模具、分瓣模具或截流模具。

9.2　单件集成铰链

为了讨论方便，将塑料铰链分为三种：单件集成、两件集成和多件组合。其中的两种看作集成铰链，是由于其零件是模塑成型，而不需要其他附加部件。术语中称为单件集成铰链，其两个部件作为一个整体模塑而成。两件集成的铰链，所有铰链部件都是模塑而成的塑料件，先加工各个单独的部件，最后组装。多件组合铰链需要使用附加的零件，比如杆或金属等铰链部件。

制造单件集成铰链的方法有多种。可以设计使用结晶型热塑性塑料制造活动铰链、米拉铰链、标准铰链或平铰链。这些铰链可以采用注塑成型工艺生产。活动铰链可以使用机加工、挤出、冷成型等方法制造，但使用这些方法不能制造出耐用的铰链。冷成型方法制造的铰链比挤出片材热成型制造的铰链好。聚丙烯是生产单片

集成铰链最常选用的材料，使用第二多的是同质异晶聚合物和聚乙烯。热固性塑料和无定形热塑性塑料不能用作生产单件集成铰链。

9.2.1 活动铰链

活动铰链是一个薄的、柔软的塑料连接板，用来把两个零件连接成一个零件。这里将重点讨论用聚丙烯生产活动铰链。按照作者的观点，对那些以前没有活动铰链设计开发经验的人来说，聚丙烯是他们唯一的材料选择。

该铰链设计要考虑到部件是普遍裸露在外，要至少能承受一百万次的弯曲。经实际检测，一个 0.43mm（0.017in）聚丙烯铰链在没有压力下每分钟 100 次，每次弯曲 135°，能弯曲 310 万次。在 6.895MPa（1000psi）压力下，能达到 170 万次的弯曲。一聚丙烯树脂厂商在他的公司资料上说："采用他们的材料，经合理设计模塑成型的铰链不需要疲劳检测"。以作者个人的经验，他确实见过"活动铰链"弯曲没有到几千次就失效的情况。因此关键词是"合理设计塑造"。要仔细地检查这些铰链的设计。

这里用来测试的铰链是在理想状态下成型的零件，开始时很柔软还是热的，能成功地拉伸（2～3）：1。在铰链区域能达到最大且均匀的分子取向。通过拉伸外表面这些分子能大大提高铰链拉伸强度。弯曲机理如图 9-1 所示。

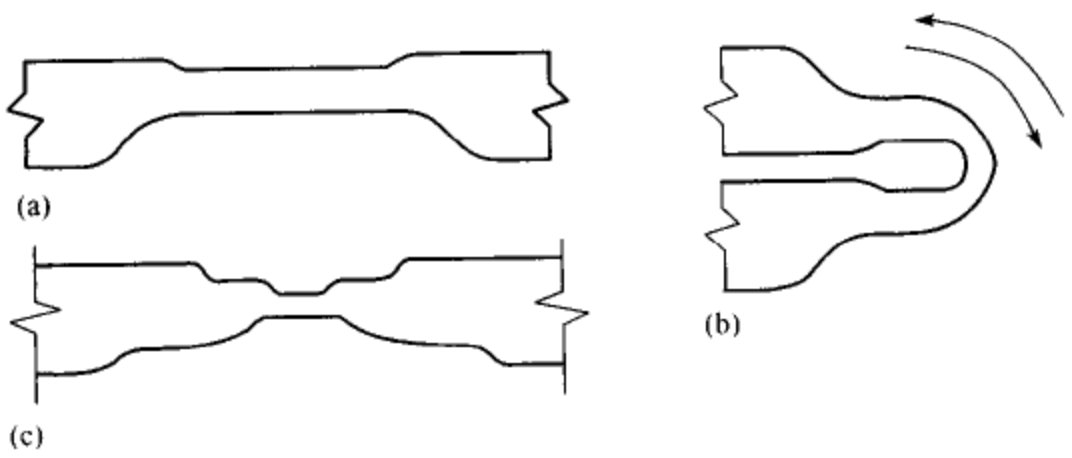


图 9-1 活动铰链弯曲机理
（a）铰链模塑成型；（b）弯曲作用；（c）被拉长的铰链

铰链模塑成型后立即弯曲是达到较长使用寿命的关键。寿命也依赖于优化成型条件，弯曲寿命随着注射速度、压力、温度的不同而变化。依据作者的经验，大多数的活动铰链在应用中被弯曲的次数是很适度的，或许 50 次，也可能更少。通常活动铰链都是些简单的应用，因为它是非常紧凑的铰链。与特殊的工程应用相反，在短寿命的应用时，初始热弯曲铰链有时就忽略了，因为有一些铰链仅仅被用作两个零件的连接而根本不需要重复打开。

为了获得长的寿命，正确的选择聚丙烯树脂也是很重要的。分子量大、熔体流动速率较低是最好的树脂，而模塑成型工作者却喜欢熔体流动速率高容易充模的树脂。材料需要有一个宽范围的分子量分布，因为长的分子链与短的分子链相比更不容易松弛。控制流动等级不如控制反应等级好。成核有利于冻结取向，可以提高铰链的质量。对于厚的铰链［0.38mm（0.015in）］尤其如此，倘若没有熔体流动迟

滞，晶核形成质量较低，铰链的质量也较低。

均聚和无规共聚聚丙烯都能用于制作好的活动铰链，因为它们都有较高的初始拉伸强度和低的泛白特性。然而这些树脂在低温下会变得很脆，因此这种情况下推荐选用多相共聚物。暴露在高温、潮湿、甚至紫外线环境下的铰链如果想要有较长的寿命要求有特殊的稳定性，因为薄的铰链板更容易受到稳定剂萃取和紫外线诱导降解的影响。

如果使用填充物或增强剂，铰链的质量可能下降。高比表面积的填充物（例如滑石粉、云母、玻璃纤维）对铰链是没有好处的。如果采用了合适的设计，低比表面积的填充物（例如处理过的碳酸钙）可以使用在有限弯曲的铰链上。

预期没有弯曲或者弯曲次数很少，可以使用熔体流动速率高的聚丙烯。

9.2.1.1　活动铰链设计

图 9-2（a）所示的是一个标准的活动铰链基本构造。所示的铰链的厚度范围为 0.15～0.38mm（0.006～0.015in）。本文作者选择偏安全的 0.23mm±0.02mm（0.009in±0.001in）作为初始尺寸（从模具中取出钢片改变预定的方向尺寸比通过焊接钢片或者再制造一套模具的费用要少得多）。对于柔性活动铰链，超过上限值，即 0.38mm（0.015in），由于降低了聚合物的取向，铰链寿命将要减少，除非铰链活动角度很小。

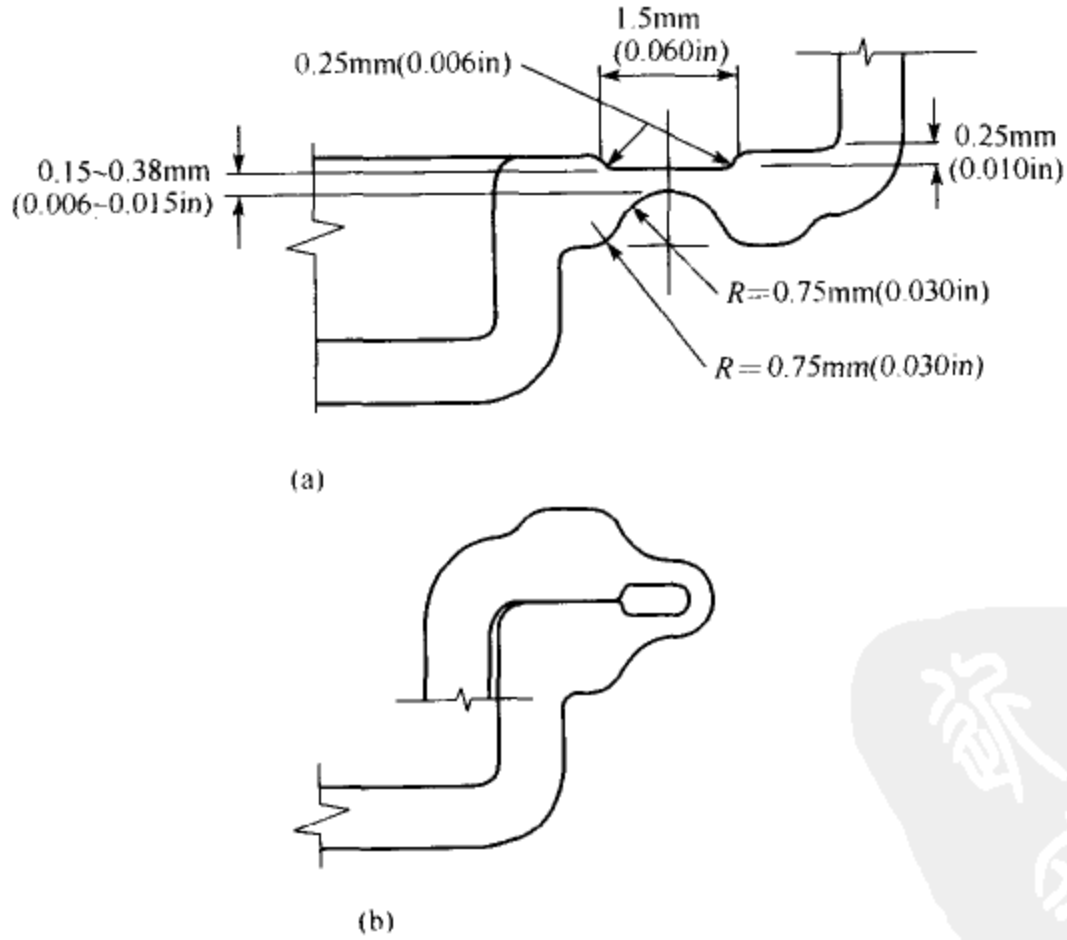


图 9-2　标准的活动铰链基本构造

（a）模具成型位置；（b）铰链闭合位置

如果在应用中预期的寿命较短，对铰链额外弯曲操作就可以忽略，初始尺寸可

以减少到 0.18mm±0.02mm（0.007in±0.001in）。尺寸的减少导致了压力降，压力降是当熔体试图流过在模具里的铰链区域时产生的，而且导致足够严重的过分陡峭的热量集结。其他可能的影响是缺注或者堵塞注射。对于这些应用，通过修改设计、用厚度渐进的方式逐渐接近铰链连接点或者减少铰链长度。

铰链段长度通常为 1.5mm（0.060in），这已经证明是最适合的尺寸。该段越长，引起压力降就越大，通常有负面的影响。厚度越小导致几乎没有反压力。由于熔体流动通过铰链为不均匀的，增加弯曲应力减少了活动铰链的寿命。

图 9-2（a），提供了许多设计中需要的大半径。意图是使熔体能容易地流过结合区域。设计中应尽量减少在紧密的内角区域产生集中压力。通过结合部的中心部大的半径 0.75mm（0.030in）有附加的控制间隙功能，使熔体必须射流，并确保铰链线成直线。

0.25mm（0.010in）的凹进部分提供了一个 0.13～0.25mm（0.005～0.010in）半径的空间，见图 9-2（b）形成紧密闭合部位。如果没有这个空间，零件的两个边不能彼此平直的紧靠一起。然而两个平的塑料面互相之间不会很好地密封。如果需要密封得很好，推荐提供一个类似图 9-3 的封闭棱，棱的最小厚度为 0.50mm（0.020in），铰链处要有圆角，不需要凹槽。

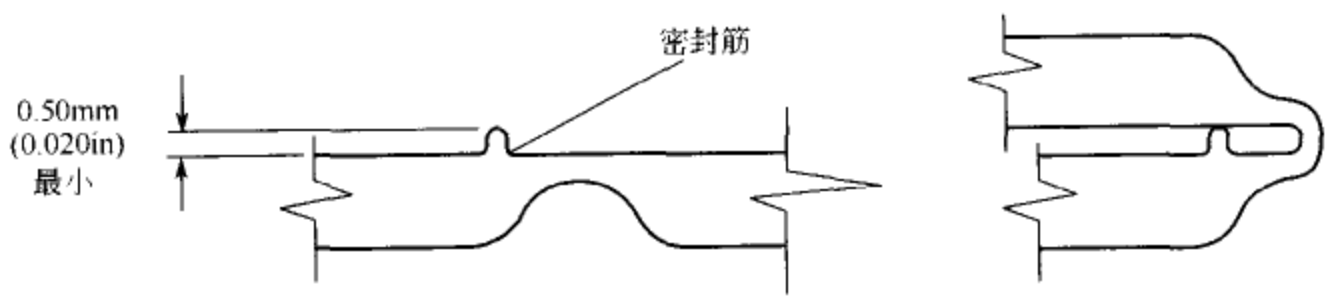


图 9-3 有密封棱的活动铰链

（a）模具成型位置；（b）铰链闭合位置

成型后活动铰链一旦使用，将不会平放打开。如果需要偏置铰链，则要做类似图 9-4 描述的双活动铰链。



图 9-4 双活动铰链

有些情况下，例如将盖子直接成型到瓶子边沿，塑造零件互相呈 90°是最理想的，而不是平开式（180°）。图 9-5 所示就是一个调整后的设计。

铰链的抗撕裂性 铰链连接点也许会受到弯曲，结果首先在薄连接板铰链的边缘会被撕裂。对付这个问题有很多办法。首先需要考虑确认内部没有锐利的棱角，因在那儿会形成应力集中，提供一个初始撕裂点。这些细节展示在图 9-6。另外提高铰链每一个边缘的厚度很有效，厚度范围 0.25～0.50mm（0.010～0.020in），

从每个边缘开始计算，距离为 0.50 ～ 1.00mm（0.020～0.040in）。

为了消除尖锐的棱角，可以使用两种非常薄的连接板。图 9-7（a）所示的连接板正交于铰链的平面。当第一次弯曲时就形成了较高取向，将会阻止撕裂的开始。图 9-7（b）所示非常薄的连接板在铰链平面内，能实现相同的功能。据报道，类似薄膜的厚 0.13mm（0.005in）的连接板能提高弯曲到折断次数 10 倍以上。

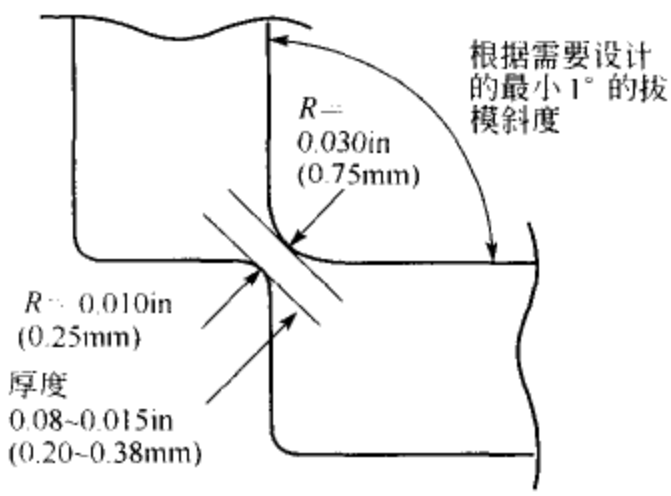


图 9-5　90°铰链设计

（Montell USA Inc. 再版许可）

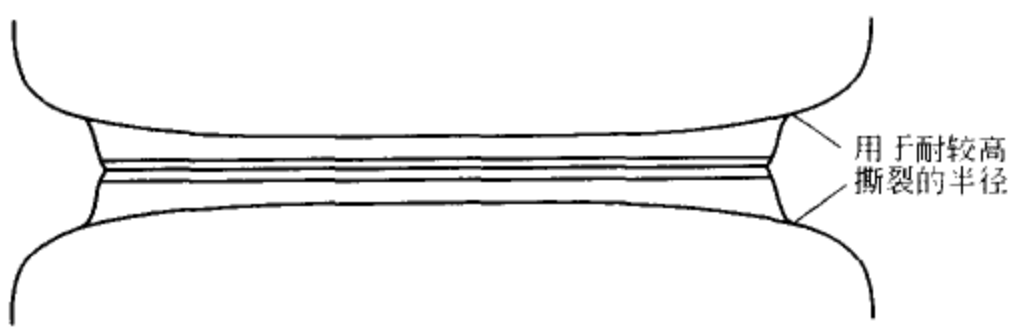


图 9-6　铰链边沿设计

（Montell USA Inc. 再版许可）

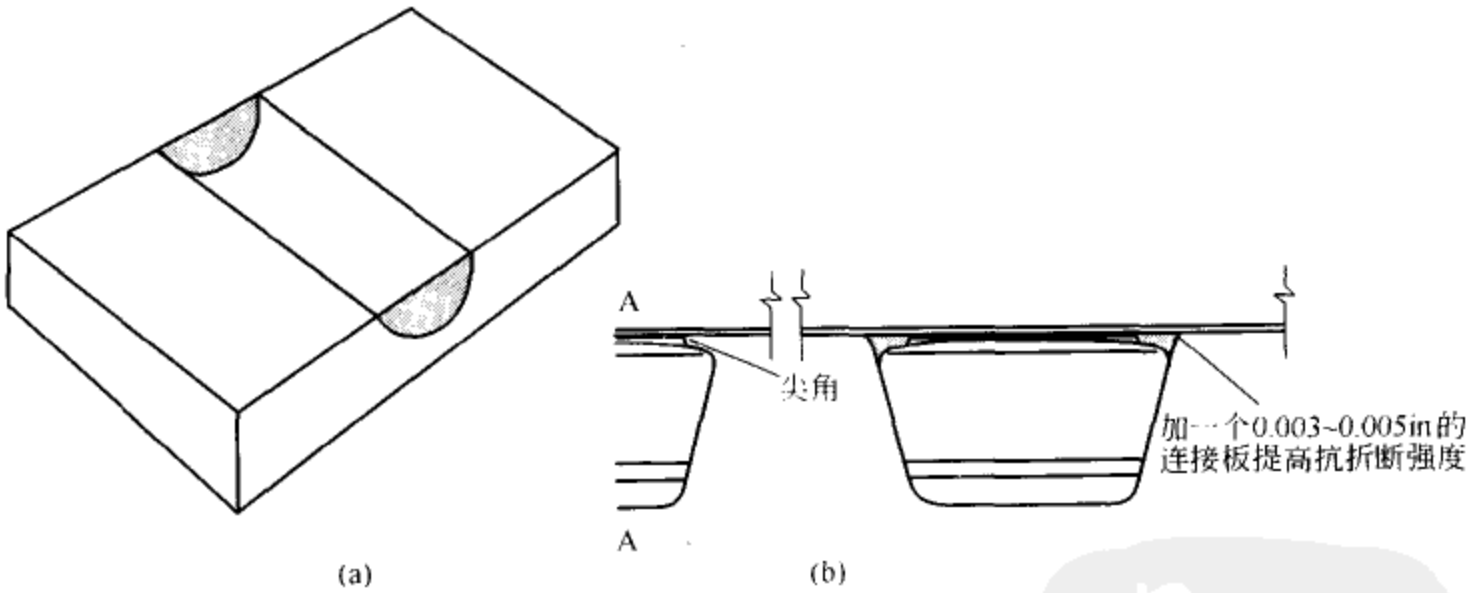


图 9-7　铰链边缘连接板

（a）连接板垂直于铰链平面提高抗撕裂强度；（b）连接板在铰链平面内

（Montell USA Inc. 再版许可）

9.2.1.2　活动铰链成型要点

成型时，熔化的塑料从零件的一侧流动到铰链，受到约束并聚集在铰链段之前的位置。当压力足够大，熔体突破铰链区域，填满了另一边。因此，要获得适当分子取向，避免铰链区域的缺陷和夹杂空气造成熔接线，浇口设置位置是关键。

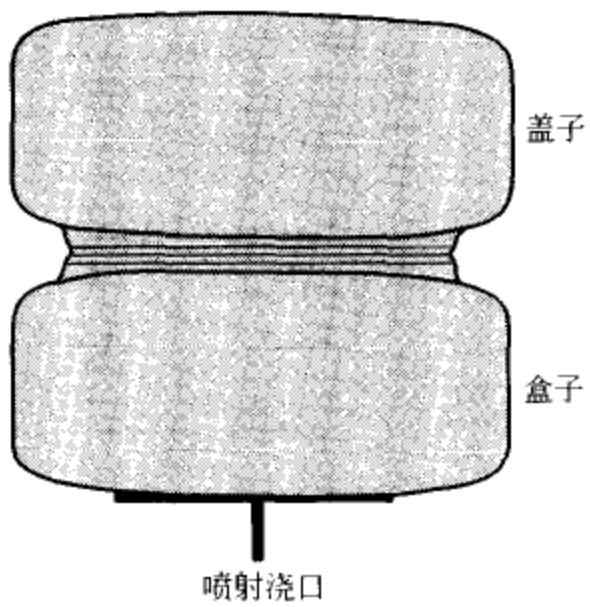


图 9-8　平活动铰链零件常规浇口放置
（Montell USA Inc. 再版许可）

活动铰链浇口通常设置在零件最简单、部位最远的边缘上，如图 9-8 所示。一个在中间的喷射浇口或者是在角落的两个浇口都是合适的。熔体冲进零件，穿过铰链区域，继续进入另一边。在铰链的另一边提供较小的压力，要填充得精细或有凸起等非常困难。这就是为什么推荐设计程序是首先确定最小的可行的铰链厚度，然后通过实验决定是否使用不同等级的聚丙烯增加铰链处的厚度。

通过浇口填充铰链的另一边的空腔的困难度有时诱惑一个粗心的设计者，把浇口移到靠近铰链的地方，如图 9-9（a）所示。熔体会寻找一个最小阻碍的路径。当到达铰链阻碍区域时，熔体停止向前流动，熔体继续推进平稳地填充的浇口所在的余下的空腔。当这边被填充满时，熔体突破铰链区继续填充另一边。然而首先到达铰链的中心区域的材料早已经停止流动，而且已经开始凝固定型。这样，在铰链区域就有一个冷的且凝固的边，不能从这里填充到另一边了。结果沿着零件的中心到铰链形成一个熔接线，另一条是沿着铰链，在此处相遇的材料提前凝固。另外沿着铰链有一些气体堆积，见图 9-9。

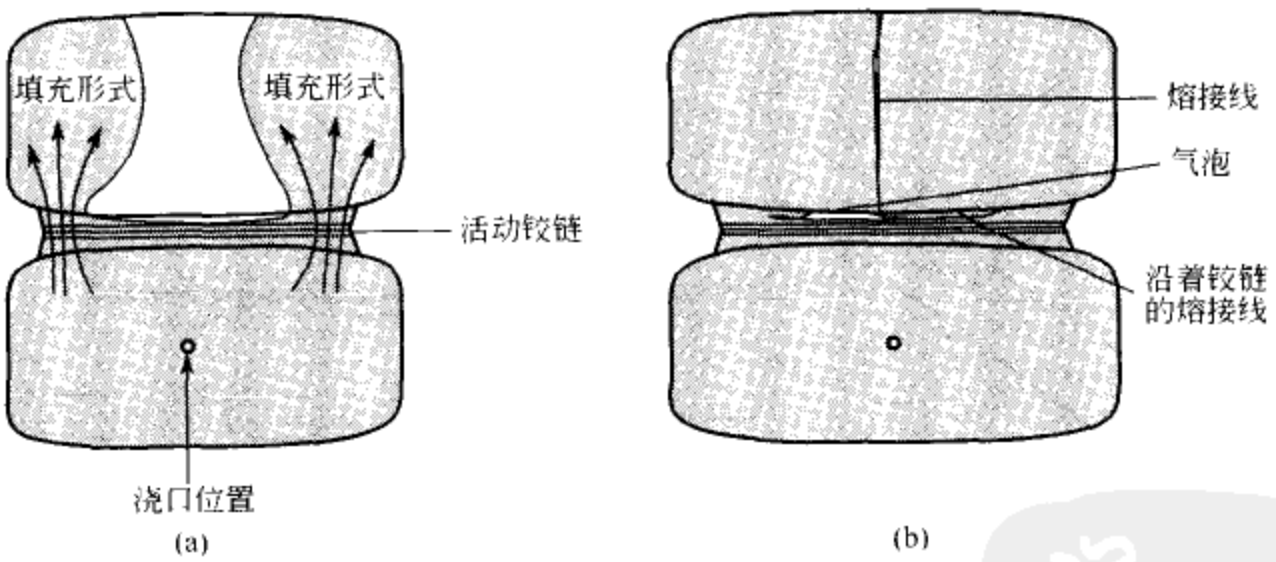


图 9-9　流动型式
（a）平直零件不合适的浇口位置和流动路径；（b）形成气泡和熔接线
（Montell USA Inc. 再版许可）

如图 9-10 所示，为了讨论可接受的活动铰链零件的浇口位置，进一步观察深盒子浇口。在这个深盒子的情况，熔体必须首先流过盒子的壁。为了达到这一点，熔体平稳地从各个方向几乎同时流到铰链平面。结果熔体同时流过整个长度范围的铰链，这是最重要的。手工计算熔体流动路径是非常困难的，但用计算机程序就可以实现了。

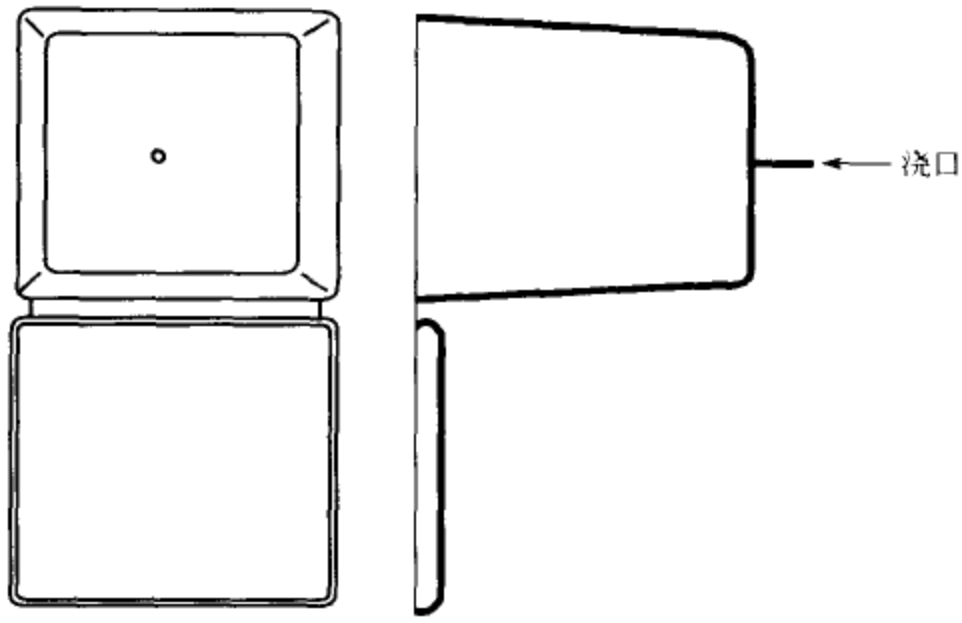


图 9-10　深零件合适的浇口位置

（Montell USA Inc. 再版许可）

随着图 9-10 盒子深度的减少，最适合的浇口位置将向远离铰链的方向移动。当它逐渐变成一个平的盒子，理想的浇口位置将在较远的边上，就像图 9-8 所描述的。

一个双铰链零件，理想的浇口位置应放在铰链之间中线区段上两点。如图9-11所示。将此厚度增加 20%～30%可以促使流体均匀地流过铰链。

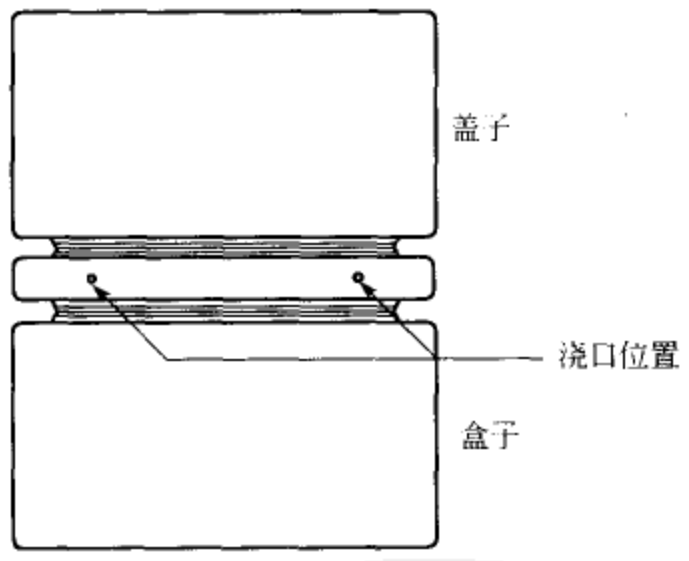


图 9-11　多重铰链零件的浇口

（Montell USA Inc. 再版许可）

有时壁厚小于 1.0mm（0.040in）、边非常复杂（边上有大量的孔、凸起或棱等）、边非常长、或者有紧公差。在这些情况下，零件的浇口需要设置在铰链的两侧，因为只在一侧设置浇口时，熔体在铰链处相遇时的压力降会导致在没有浇口的一侧熔体压力太小，熔体无法到达另一侧。不久前，这样的应用被认为是不适合做活动铰链的，因为在铰链的两侧各做一个浇孔的做法不建议被使用是基于熔接线可能会出现在铰链的区域。这将导致铰链寿命缩短，并且可能立即分成两半。然而好的设备控制和好的熔体流动程序使这样的浇口设计也成为一种选择。然而还有其他情况，比如厚的铰链、铰链是被冷加工的、铸造的、二次处理的。也有一些推荐的浇口设置办法保证熔接线在铰链区域以外。

图 9-12 两侧的浇口放置在每侧的底部。型腔较大的需要两个浇口，较小的需要一个浇口。较小边的浇口设置在距离铰链较远的位置，以便熔体从较大的面端流过铰链，熔接线在超过铰链后形成。达到这个效果还有其他的办法，第一改变浇口的大小，第二使用有顺序定时的阀门的浇口。如果使用热流道系统，可以改变浇口

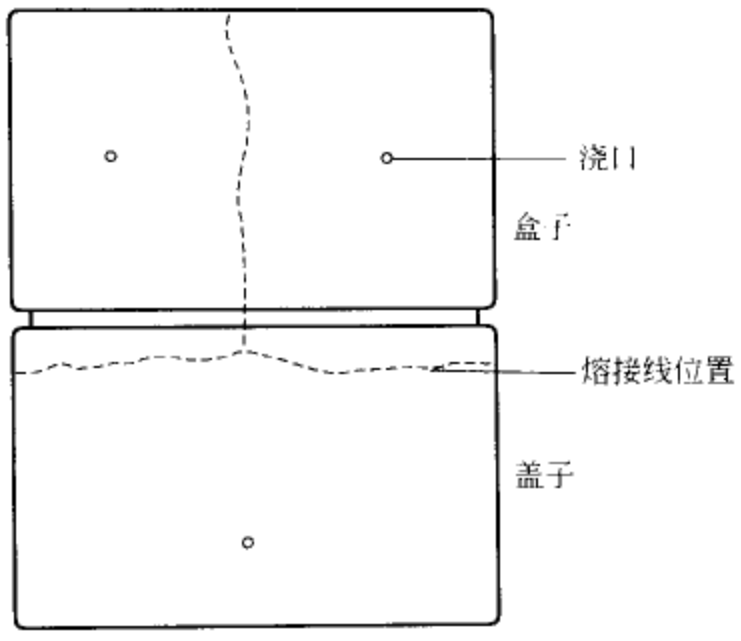


图 9-12 在铰链的两侧设浇口
（Montell USA Inc. 再版许可）

的温度。

不管使用哪个装置，活动铰链的正确开发都会经过一些试验。即使零件和模具都设计得非常完美，也须做一些工艺实验和精确的材料配方试验。推荐像在预期的产品模具中一样，单腔模具构造要带有整套冷却和顶出系统。这个模具应该是硬度不高，容易修改的。除非以上我们讨论的各个方面都已经解决，否则投资整套的产品模具是不明智的冒险。

至此还没有讨论冷却问题，对于活动铰链来说，这是一个重要问题。在模具填充区域必须冷却以保持初期的分子取向，减少分子在零件变凉时发生的松弛。埋想的冷却通道应该尽量靠近零件的壁。冷却水道应该避开顶出装置、型芯销和浇口，对于活动铰链模具，建议它们的放置比通常的模具设计优先予以考虑（较深入地讨论模具的冷却问题见第 15 章“卡扣连接”）。

9.2.1.3 活动铰链其他成型工艺

（1）吹塑成型 活动铰链可以采用吹塑工艺制造，生产的铰链带有修剪边。工艺控制很困难，最终模具的关闭速度需要仔细调整。允许在铰链修剪边有 0.25mm（0.010in）间隙。

（2）模压、冷加工、冲压 一些复杂的零件不可能使用注塑铰链，熔体通过铰链区域产生了压力降，致使不能产生足够的压力填充整个零件外部区域。冷加工，通常称作所谓“模压”，准许使用厚的铰链截面，实现截面的填充。此外，在模压铰链时也与熔体流动的方向无关。模压也可以实现热成型工艺部分作用，即可以制作铰链（见图 9-13）。

图 9-13（a）中冲模放置在要模压的零件坯上方。该工艺可以在不加热的情况进行，但如果把零件加热到 175～230°F（聚丙烯）或者在零件坯成型后没有冷却的情况下执行这个工艺，可以缩短成型周期，降低所需的压力。通常料坯的温度要低于材料的玻璃化温度。为了让铰链保持被冲压后的形状，材料被压缩的变形一定超过屈服应变。压缩量不能超过屈服应变极限，否则会缩短铰链的寿命。实际的模压如图 9-13（b）所示。时间和温度随材料而变。聚丙烯不需要预热，然而通常要在 275°F 下保持约 10s。图 9-13（c）为模压后的零件。底板通常使用钢或者其他坚硬材料，而较软的底板如硬橡胶通过拉伸铰链材料可以生产出薄的铰链。

图 9-13（d）～图 9-13（f）所示是模压尼龙铰链设计方案。将要塑造的形状如图 9-13（d）所示。在此设计中，有两个模压工具，一边一个，如图 9-13（e）所示。最后一个图显示的是铰链被完全展开时的样子。

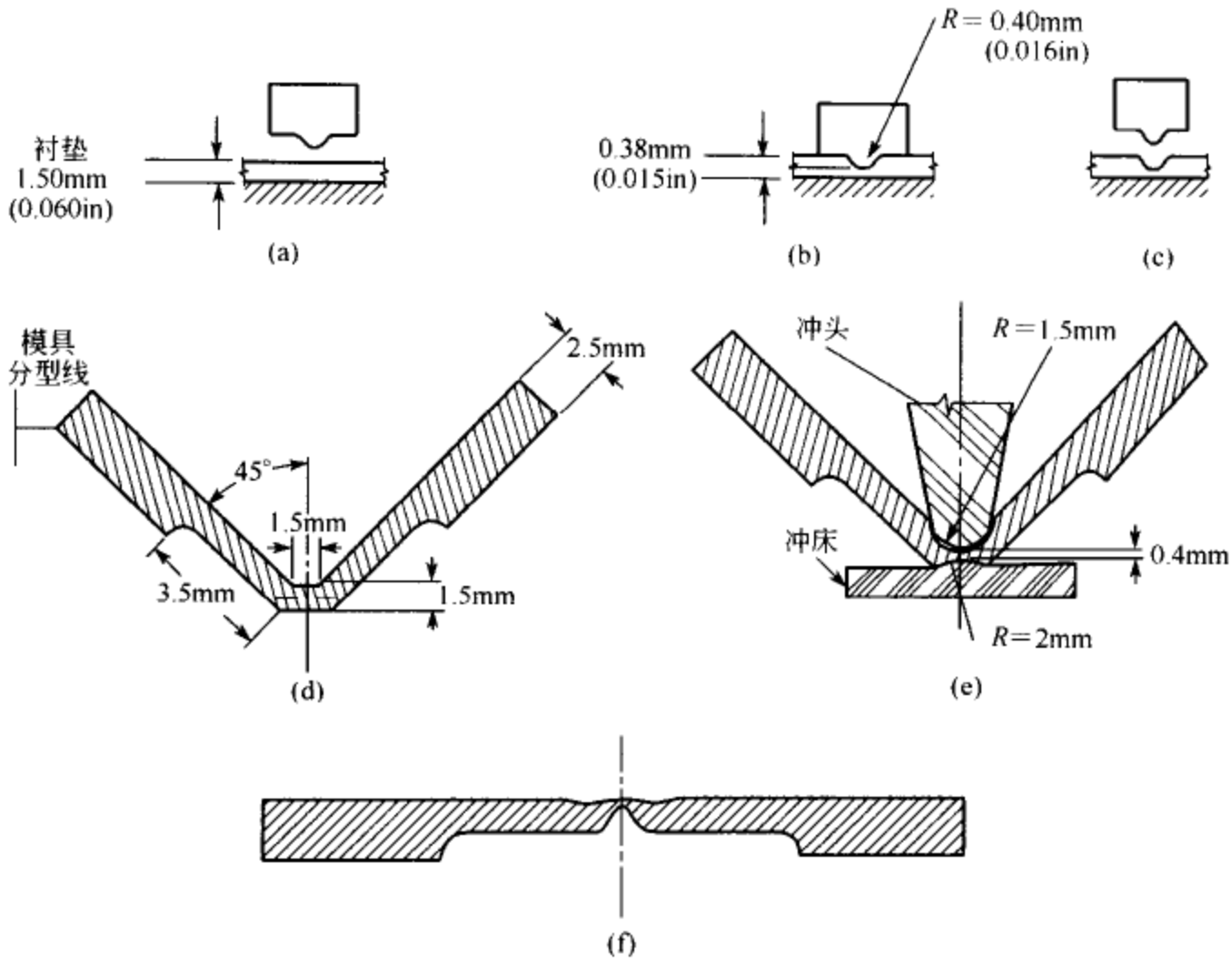


图 9-13　铰链模压

（a）模压前；（b）模压中；（c）完成的零件；（d）要压制的零件；（e）模压中；（f）模压开启

通常也使用挤压薄片冲压活动铰链。铰链厚度增大到 0.50mm（0.020in），因此铰链的寿命将会很短。但是撕裂强度会提高。

热和压力用于生产铰链有两种方法。当用薄片成型时，通常叫热塑型，使用冷的冲模。否则冲模是热的，薄片是冷的。这样的方法比加热薄片（因为一些原因不能对薄片加热）有高的能效。不推荐使用滚筒冲模，因为会产生不适宜的分子取向。速度也必须控制，因为速度太快没有给聚丙烯足够的时间流动以及分子链取向。

（3）挤出成型　挤出活动铰链也是可能的。然而铰链的寿命将会缩短，因为分子的取向是沿着铰链的方向的，不是横向的穿过铰链，当加热的时候铰链不能被弯曲，因为它必须经过冲模外边的冷却系统。另外，不均匀的壁厚由于冷却不均匀引起扭曲，产生不同的收缩。为了把扭曲减到最小，通常壁的厚度与铰链厚度相比，不应超过 2～3 倍。

另一个制作铰链的方法是二次成型冲压。图 9-14（a）所示是一种挤压成型铰链截面。它通过一个成型冲模［图 9-14（b）］产生如图 9-14（c）所示的形状。这种类型的铰链已经成功应用于包装领域，铰链通常非常薄。铰链形成时材料仍然是热的，铰链的寿命和模压时相似。共挤成型与热成型相结合可以制作带有两种颜色

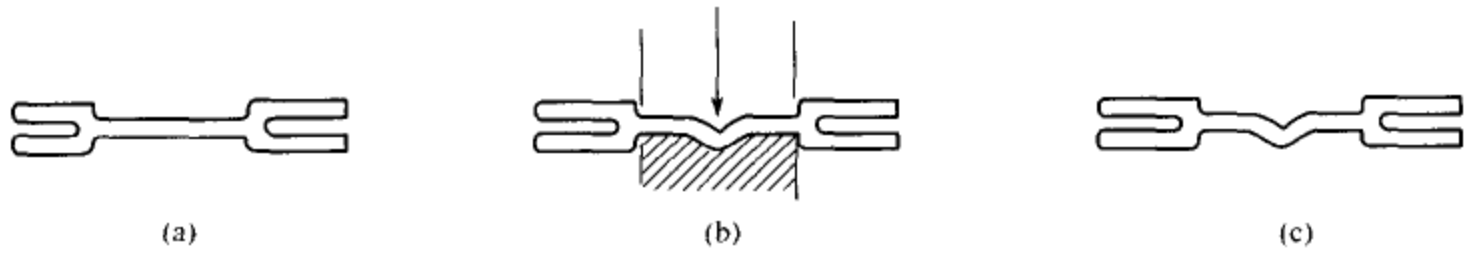


图 9-14　挤出成型铰链

（a）挤出的零件；（b）成型中；（c）成型的铰链

或透明和不透明的树脂并用的铰链。

（4）机加工　这个工艺除了制造原型或批量很少的产品外很少使用。将挤出成型的聚丙烯薄片通过机加工可以生产活动铰链。选用与注射成型相同设计的铰链，但要注意切割方向，铰链的方向要垂直于形成分子取向的挤出方向。

对于机加工聚丙烯，树脂厂家建议采用可能的切割速度，工具不能过热（具有低的热传导能力的聚丙烯导致切割工具吸收几乎所有的摩擦热）。聚合体随着热量的累积将会变软，最后黏附在切割刀具上。推荐使用水溶性的油或煤油降低热量和摩擦。可以使用金属切割工具。

9.2.2　米拉弹簧铰链

聚丙烯片状弹簧铰链元件称作米拉弹簧，其具有代表性的组合功能，由标准的铰链维持打开和吸合关闭。图 9-15（a）所示铰链打开时的情形。零件 A 和 B 被两种类型的铰链连接着。米拉铰链连接 A 和 B 在一个段，活动铰链连接 A 和 B 在另一个附加的段上。米拉铰链 A 侧边上是一个片弹簧，而 B 侧是拉力臂。片弹簧提供开和关的压力。当有偏离时，弹簧会施加一个力来抵御偏离。

图 9-15（b）铰链偏离 45°，在这样的情况下，拉力臂在片弹簧上施加了一个力，使其偏转。如果这个造成偏转的压力释放，弹簧会弹回到原始位置。

当铰链偏离到 105°的位置［见图 9-15（c）］，片弹簧到了它的偏移最大位置。这是个中性位置，因此在两个方向上都没有力矩。改变弹簧几何形状就会改变中性位置。图 9-15（d）所示的超过中性位置的情况，片弹簧返回到它的原始位置。这个动作在拉力臂上产生一个拉力，产生一个反时针方向的动作，合上了铰链［见图 9-15（e）］。图 9-16 是推荐使用的米拉铰链的尺寸。

更改图 9-16 建议的尺寸须遵循必要的原理，为防止内应力太高，避免壁的厚度差超过 25%。尺寸过渡尽可能平缓，以使内应力达到最小。

弹簧力正比于片弹簧最大的偏移量，就是说正比于铰链的旋转角度。这也可以通过拉伸受力件超过标准铰链截面平面来完成。但这样做会损失硬度和减低弹簧力，需要做一些补偿来达到预期的程度。

也可以通过改变材料的硬度或者几何结构来改变弹簧力。为了提高这个力，片弹簧的硬度需要提高。采用的方法有：缩短片弹簧、增加其深度、或者沿着顶和底加纵向的筋。任何转动惯量的提高都会提高弹簧的硬度。相反，减少片弹簧的硬度

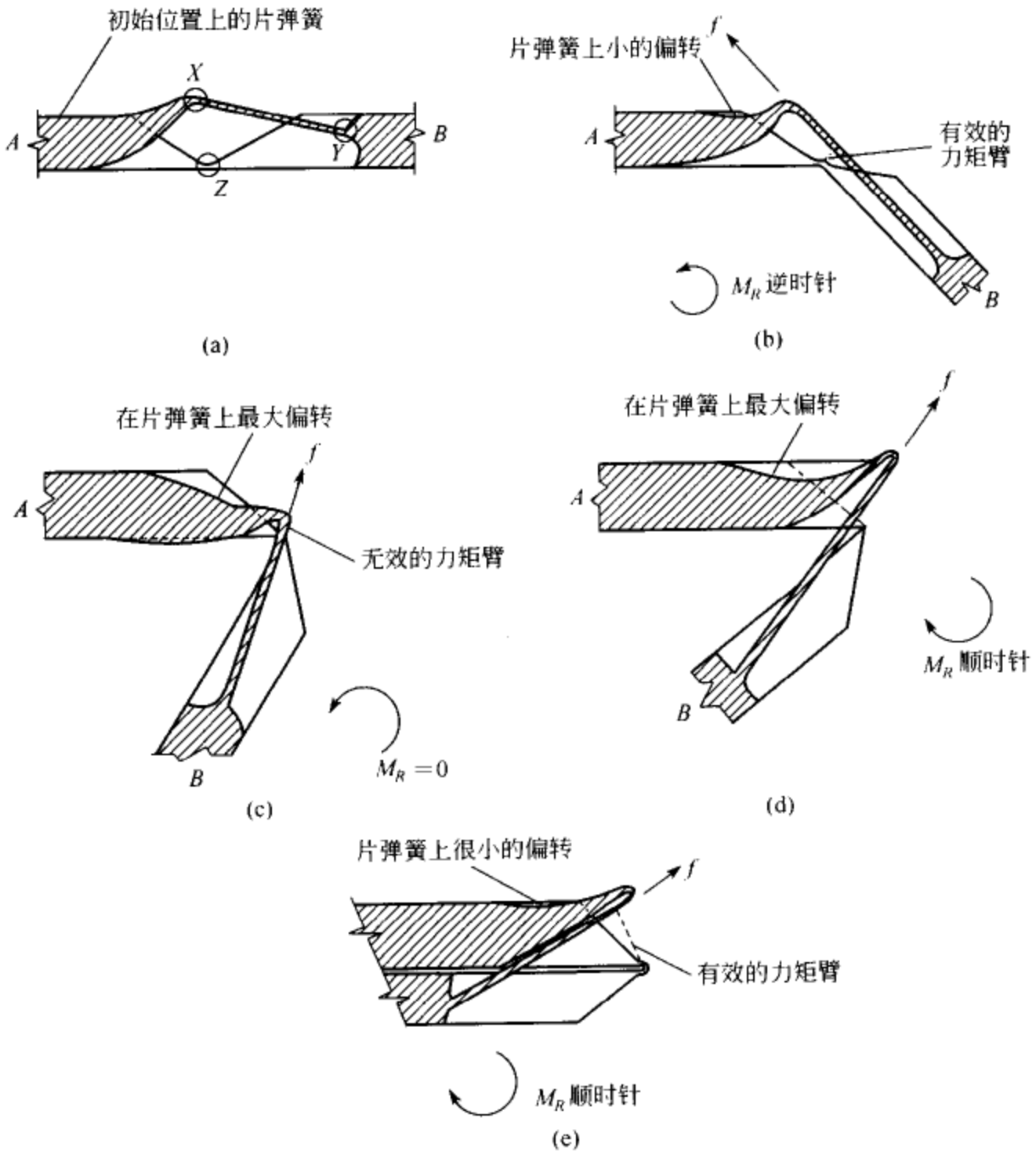


图 9-15　米拉弹簧

(a) 打开位置；(b) 小的弯曲角度；(c) 中性位置；(d) 大的弯曲角度；(e) 关闭位置

X、Y -铰链点；Z —标准铰链；A，B—受力单元

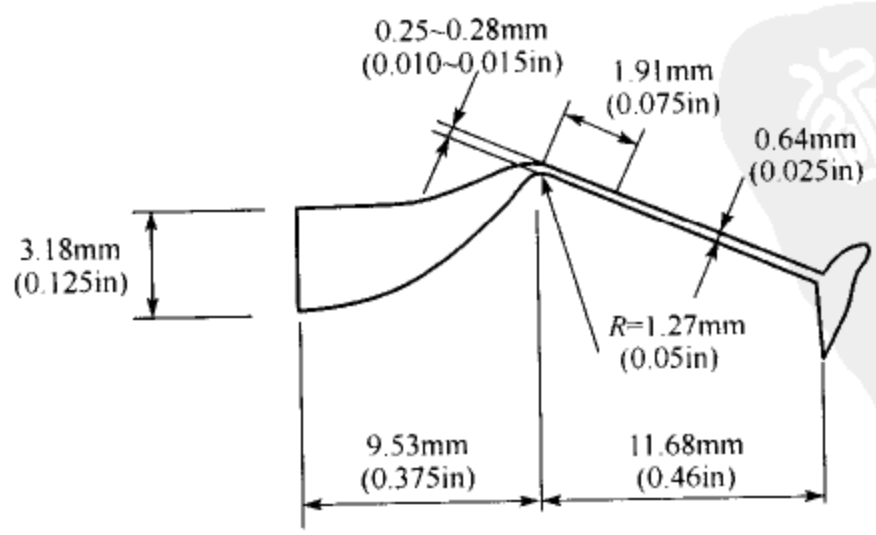


图 9-16　推荐使用的米拉铰链的尺寸

将导致弹簧力减少。

米拉铰链的宽度应当在 6.4～12.7mm（0.25～0.50in）范围内。在典型的包装应用领域，要求标准铰链部件在一对米拉铰链的侧面。对于其他产品，米拉铰链在一对标准铰链的侧面。

9.2.3 标准铰链

在标准铰链的分类中有许多不同的结构。图 9-17 所示其中两个设计。

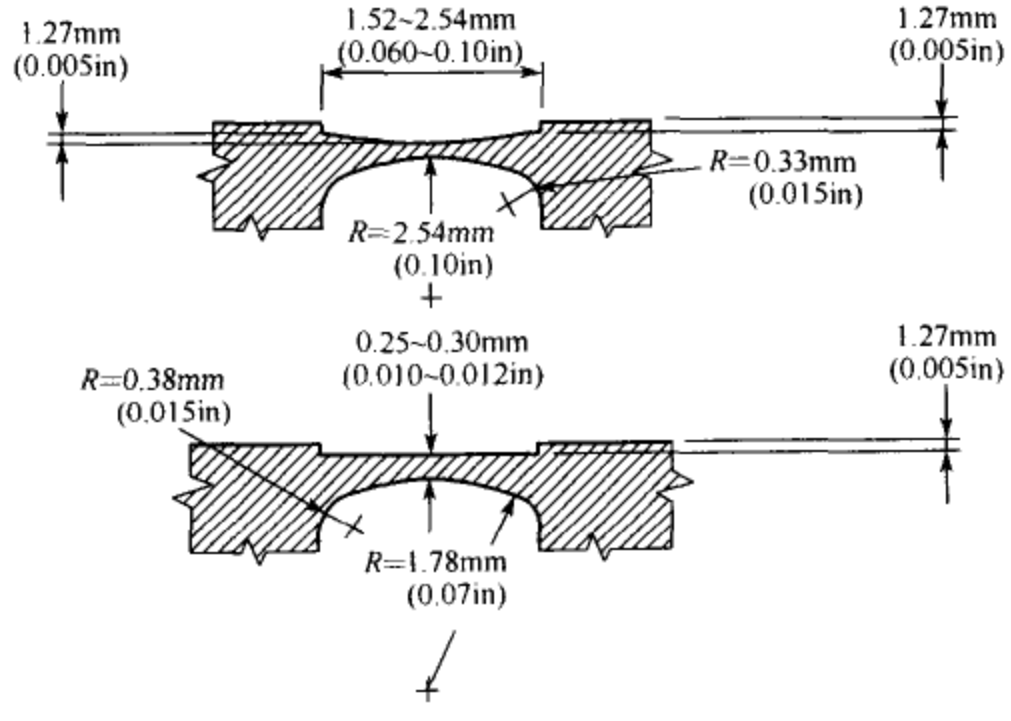


图 9-17 标准铰链设计

9.2.4 平面铰链

由软材料（例如低密度的聚乙烯或柔软的聚氯乙烯等）可以制造平面铰链。如图 9-18 所示就是这样设计的一个例子。

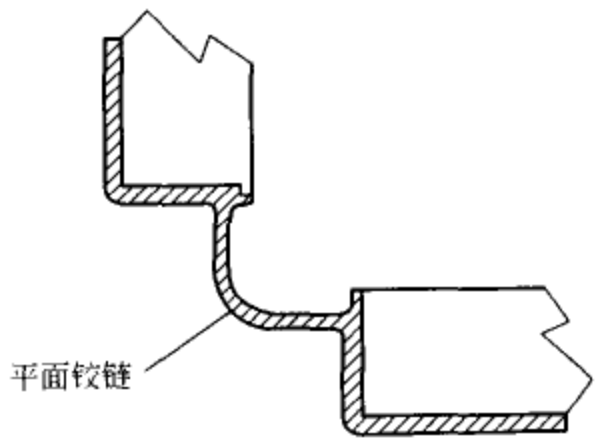


图 9-18 平面铰链

9.3 两片集成塑料铰链

在单片集成的铰链成功应用于非常柔软的半结晶热塑性塑料时，较硬的无定形

热塑性塑料需要两片或三片作集成铰链。这种类型最典型的是卡扣连接，其结构在第 15 章讨论。由于需要紧的公差，对于这样的连接注塑成型是首选的工艺。可以选用热固性塑料，但对于这样的用途，常常建议使用有更适当结合特性的热塑性塑料。

9.3.1　球-窝型铰链

图 9-19 所示的是典型的铰链可制成整球与凹型组件［图 9-19（a)］和半球与凹型组件［图 9-19（b)］。球是较容易用模具加工的零件，因为球可以在模具的两边各加工一半。凹型在模具里很明显是一个倒陷球。为了把内凹部分从模具里取出，形成内凹部分的耳向外足够偏才能取出型芯。形成凹型的外面部分的型腔必须在这之前就被移走。这些事情必须在零件还是足够热还能弯曲的时候就要做完，确保凹型已经正确成型，耳没有扭曲或撕裂。最好是在试验阶段就用原型模具把最佳的材料组合和最佳的几何结构都确立好，尤其是连接集成装配和高效化完成装配的场合（这个题目也在第 15 章“卡扣连接”中进一步论述)。

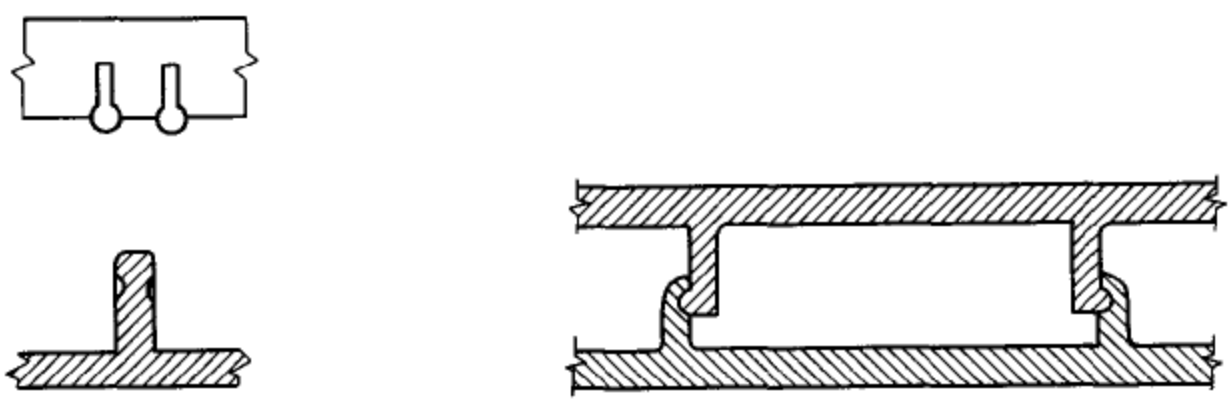


图 9-19　(a) 整球与凹型集成铰链；(b) 半球与凹型集成铰链

装配时，球被压进凹里边。如果材料足够柔软，可以在耳部凉了以后装配。否则需要在出模后还热的时候就要装配，要不就必须再加热才能装配。整球与凹型集成铰链可以提供坚固的连接，因为在连接点的两个面上都有支撑。然而这样的连接方式与半球与凹型集成铰链相比通常会很脆并且装配很困难。因为半球与凹型集成铰链在装配的时候提供一个非常有效的杠杆作用。耳会产生一个足够的向外的物理弯曲，因此不需要加热。这种类型铰链的缺点是必须从零件的边缘上突出一些。对于一个开放的小于 180°的弓形，突出可以避免，但这样的设计因为必须使用提升装置而增大模具的费用。

9.3.2　拉片与销两片集成连接器

拉片与销集成连接器可以用两片或三片来集成。两片集成的例子见图 9-20。分拆拉片的例子见图 9-20（a)，看起来像半球与凹型集成连接，拉片的使用没必要考虑侧向的高精度公差。模具设计的细节与球与凹型集成连接有相同的

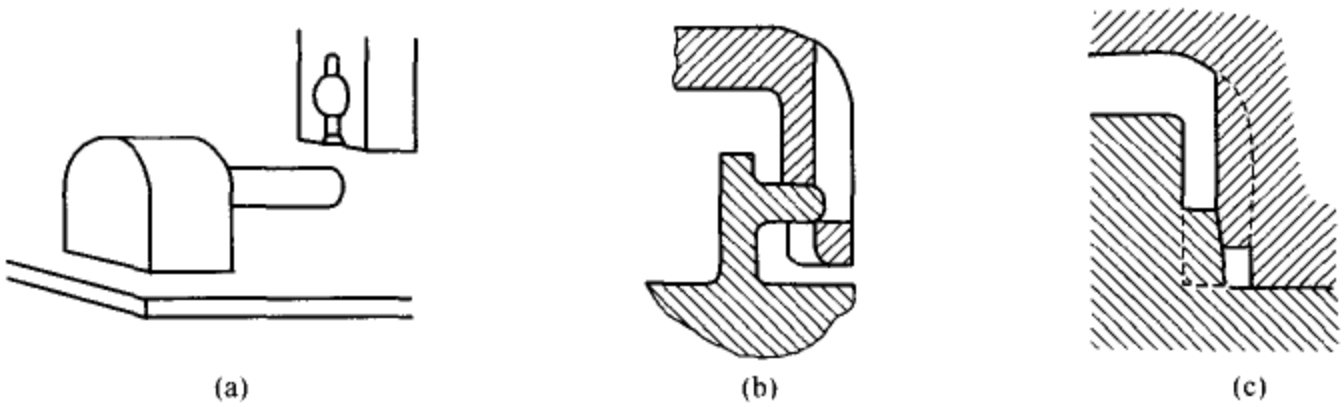


图 9-20　拉片与销集成铰链

（a）分拆的拉片；（b）成型后关闭的拉片；（c）塑造后关闭的拉片模具细节

风格。

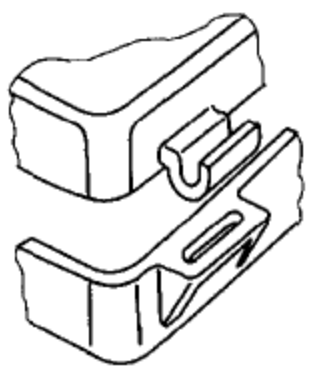


图 9-21　钩眼集成铰链

图 9-20（b）所示，销插进了配合零件另一侧的一个孔中。如果需要两个孔，孔的制作需要较昂贵的模具。在外形图上看，模具设置是用类似栓的东西塑造出来的。图 9-20（c）是基于这个理念的模具详图。这个孔是在型芯上增加一片钢，该钢与型腔相交而成。在相交处，零件上孔就做出来了。这样就不用进行侧抽，因钢片从型腔侧穿过，在零件的外边产生了一个通的凹孔。

9.3.3　钩眼集成连接器

另外一种两片成型铰链，成型时没有任何侧抽或倒陷。钩眼的两个零件设计（见图 9-21）可以分离，可以打开到 180°的位置。

9.4　三片集成铰链

当单片或两片的铰链不适合时，可以广泛地应用三片铰链。例如那些负载比较重的、产量需求比较低的、硬的热塑性塑料、热固性塑料，除了注塑成型工艺外的所有工艺、有些挤出成型和热成型工艺等场合。在三片铰链的类型中完整的铰链装配都需要销。

9.4.1　拉片与销三片集成铰链

拉片与销三片集成铰链设计用一个金属销替代图 9-20 中的成型销。固体销从一个拉片的孔中压过滑到另一侧的拉片进行装配。在一些情况下，选用弹簧销或者铆钉会更适合。对于长期持久固定及光滑运行的铰链，铆钉或用于薄部件上的活结螺栓可以安装在活动零件的孔内。建议使用光滑的销作为侧翼螺杆也是另一个有效的方法。

图 9-22（a）所示的制作眼的方法有压模法或吹塑法，孔在成型后钻出。类似

的铰链细节可用热成型。孔可以直接在配合件的壁上成型出来，见图 9-22（b）和图 9-22（c）。对于所有的热固性塑料成型工艺，铰链的孔通常是在成型以后在相应的位置上钻出来的，那些不能在拉片上模塑出孔的也可以使用胶黏剂。

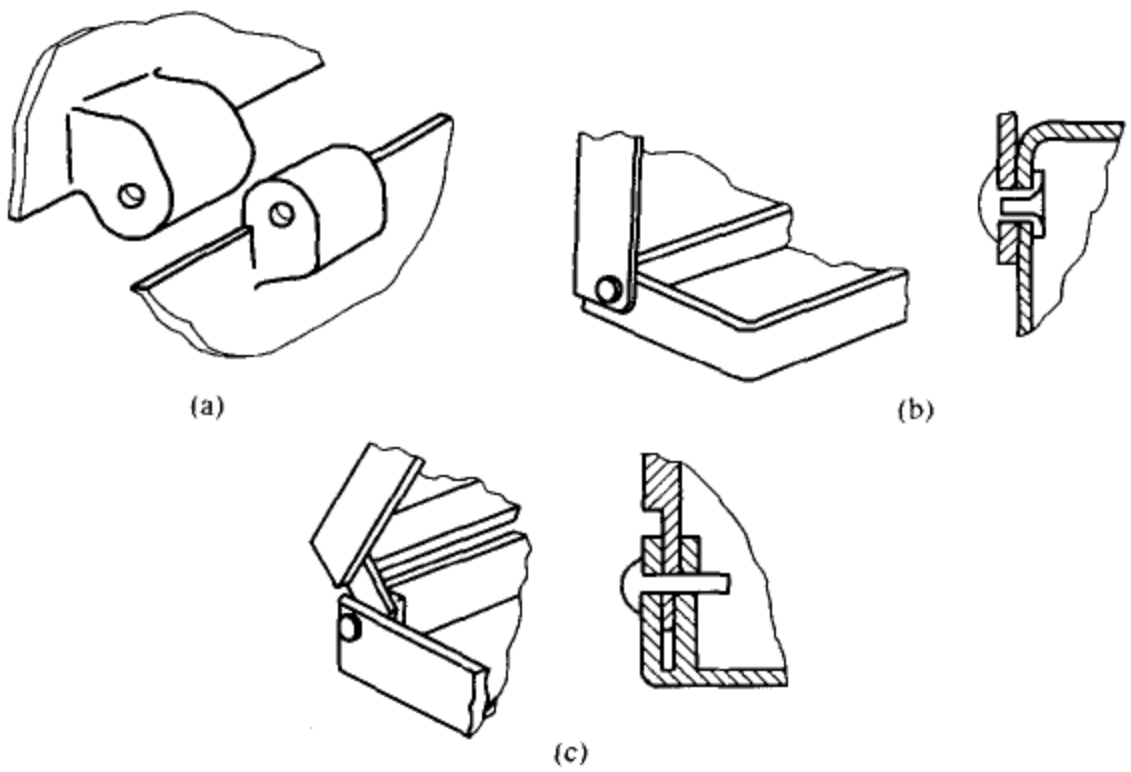


图 9-22　拉片与销三片集成铰链

（a）在配合零件上压制成或吹塑成型的眼；

（b）配合壁端部的孔；（c）配合壁中间位置的孔

9.4.2　钢琴铰链

所谓的钢琴铰链是指高的强度、持久耐用、光滑运行的铰链。铰链的费用中，包括使铰链拴牢的紧固件费用和装配成本。

有一些轻型、费用也较低的铰链可安装在与钢琴铰链样式相同的位置上。读者可以看第 8 章有关安装这些铰链的进一步讨论的内容。

9.5　弹簧锁

9.5.1　卡扣

在各种各样的商业卡扣连接使用的同时，模内成型的弹簧锁使用得更普遍。单片或两片的弹簧锁铰链尤为如此，其细节被塑造进产品内。在多数情况下，使用一个简单的卡扣连接，第 15 章提供卡扣连接机构。

9.5.2　Rathbun 弹簧

图 9-23 所示为 Rathbun 弹簧。它是一个内部装置，提供关闭压力，在一个较轻强度的应用中代替弹簧。其工作方式是一个曲线形弹簧片勾着两个零件，允许弹

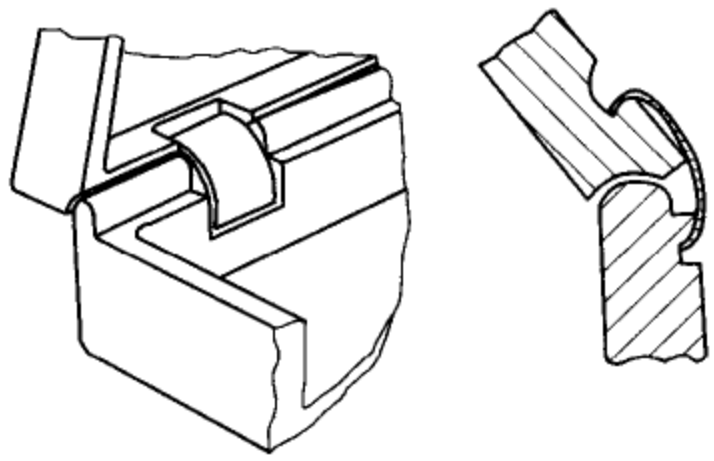


图 9-23　Rathbun 弹簧

簧张开大约 85°。

9.6　铰链的数量和使用的位置

显然每一个应用都有其独特的铰链的使用数量和位置要求，下面是一些通常的指导方针。首先确定提供足够的支持最少的铰链数量。用基本强度的公式来决定。

多数轻型铰链的应用提倡使用两个铰链。每个都放置在零件的端部内，放置点为端点到铰链所在的边长的 1/4 处。位置依赖铰链所在的边的长度，并且是一个工程学上的判断。对于一个长的边，第三个铰链可以放在中间，对于那些在外部的铰链需要重新布置，让它们更接近零件的边缘。如果还需要附加的铰链段，要依照情况确定位置。

第 10 章　热板/热口模/熔融焊接和热金属丝/电阻焊接

10.1　优点和缺点

10.1.1　简介

热板焊接也称作“熔融焊接”和“热口模焊接”，是一种只需要热板而不需要其他装置就可以完成的技术，并且可以利用成熟的设备实现高度的自动化。这种技术以其简单形式通常用来加工原型或是小批量产品。热板焊接是焊接聚烯烃管材所选择的一种方法，同时用于这一目的的特殊设备已开发出来。使用自动化设备来加工各种各样的零件，这些零件从薄如气球的轻小制品到如 1372mm 汽车排气管似的大型需要密封的制品。

热板焊接尤其用于如汽车尾灯罩那样形状复杂且又不规则的接头以及需要密封和由聚烯烃材料制成的用其他方法难以连接的零件。如果焊接平台空间允许且零件材料相同或相当类似，可以同时焊接多个制品。在大多数情况下，这一方法的最小壁厚是 1.60mm，然而对于某特殊应用，比这薄的零件也可使用这种方法。根据焊接表面尺寸大小的不同，焊接周期在 15s 到几分钟之间。

热板焊接或熔融焊接也可看作是振动焊接的竞争对象，因为这些方法的连接强度和材料的相容性基本相同。然而，与振动焊接相比，热板焊接有较大的形状、尺寸范围，有较长的成型周期和较高的成本，这些成本包括设备、夹紧装置、能源以及维修成本。

热金属丝焊接也称作“电阻焊接”，与热板焊接稍有不同，热金属丝加热表面残留在最终完成的零件中。这个内容稍后将在本章进行讨论。

10.1.2　优点

（1）无需附加材料　热板焊接无需附加如紧固件、嵌件、电磁预成型品、胶黏剂和溶剂。因此，这种方法的成本固然要低于其他有这方面需求的方法，而且回收时制品的拆卸也要便宜。

（2）装配容易　热板焊接只需将两零件放置在焊机的固定装置上。

（3）其他零件的夹持　其他零件可以夹在这两个零件间进行热板焊接，只要它们的位置与焊接不发生干涉。

（4）永久性　热板焊接实现永久装配，在不损坏各零件的情况下不能将其再次拆开。连接区域不会发生蠕变、冷流、松弛应力等效应和其他环境限制，即使在设计的其他零件承受载荷时也会发生在别处。由于材料有所限制，一旦零件完成焊接，几乎不用关心材料的热膨胀和水分吸收的差别。在理想状态下，连接强度有可能与周围强度相同。

（5）材料　热板焊接能很好地处理大部分热塑性材料，包括结晶塑料。在某些情况下通过运用两种具有不同温度的热板可以对不同的聚合物进行热板焊接（例如PC与PEI、PC与PBT）。热固性复合材料可以通过将它们嵌入热塑性材料中的方法进行热板焊接。

（6）形状自由　热板焊接实际可以焊接任意形状轮廓的零件和壁厚为1.6mm的相当薄的零件，只要它们的结合表面在热板的限制范围内可以创建出来。

（7）密封　热板焊接可以形成很好的密封，应用于有密封要求的场合。

（8）空气清新　不像胶黏剂和溶剂联结系统，不需要使用排除伴随低温焊接材料的毒气的必要的通风设备（ABS、丙烯酸酯、尼龙和聚丙烯产生的烟应该排出，PVC气体有害，必须排出）。

（9）高生产率　焊接较小的零件，特别是如果在同一周期焊接多个零件便可得到很高的生产率。

（10）加工自由　事实上，由各种热塑性塑料成型工艺制造的零件都可以采用热板焊接方法，然而填料和添加剂会影响焊接性能。

（11）大制品加工能力　用来焊接长达1372mm的零件的设备是存在的。零件尺寸受加热台板尺寸的限制，目前最大的生产装置可焊接508mm×1828.8mm（20in×72in）的零件。

（12）无噪声　不存在超声焊接、振动焊接及旋转焊接所带来的噪声。

（13）内壁　热板焊接可以应用在内壁的焊接上。

10.1.3　缺点

（1）能量损耗　相对于其他热塑性焊接工艺来说，热板焊接机能量消耗花费较大，因而它只用于对超声波焊接或旋转焊接来说太大或是装配太拙劣以及振动焊接设备的损耗不允许的情况。

（2）启动慢　热板焊接机必须等待板加热到启动温度，这段时间大概要用15～30min，在这段时间内，热量不是用来焊接的。

（3）应力　这种方法会在连接区域产生应力，从而导致应力开裂（然而，用超声波焊接或旋转焊接所产生的应力会更加明显）。

（4）清洁　焊机台板上堆积一些熔融塑料，对于高温焊接材料来说，必须把它们清理掉。

（5）设备成本　尽管生产热板焊机的成本要比生产相同型号的振动焊机的成本低，但是要比超声波焊接机和旋转焊接机昂贵。

10.2　材料

热板焊接能使接头处的拉伸强度接近周围材料的拉伸强度。表 10-1 列出了在理想状态下焊接接头拉伸强度所能达到的近似值。

表 10-1　理想状态下热板焊接所能达到的拉伸强度值

材　　料	是周围材料强度的比例/%	材　　料	是周围材料强度的比例/%
ABS(丙烯腈/丁二烯/苯乙烯)	80	低密度聚乙烯	100
聚甲醛	90	超高分子量聚乙烯	90
丙烯酸酯	80	高密度聚乙烯	100
醋酸纤维素	80	聚丙烯	100
乙酸丁酸纤维素	80	聚苯乙烯(GP)	80
乙酸丙酸纤维素	80	聚苯乙烯(高抗冲击)	90
EVA	80	聚砜	60
尼龙	90	聚氯乙烯(刚性或柔性的)	90
聚碳酸酯	80	热塑性橡胶	90

大多数热塑性材料包括发泡材料及其他各种热塑性塑料成型工艺制造出的零件都可用热板焊接。然而，根据应用的情况来看，对于如苯乙烯/丁二烯共聚物、丙烯酸酯/丙烯腈共聚物、聚乙烯/对苯二酸酯共聚物、聚丁烯/对苯二酸酯共聚物和醋酸纤维素等材料用热板焊接比较困难。尼龙必须进行彻底的干燥以防止发泡，聚碳酸酯可将气泡留在连接处，热固性塑料不能进行热板焊接。

填充物没有焊接且它们代替了焊接的树脂，因而降低了连接强度，填充物越多连接处的强度越低。然而，填充物的量不超过 40%的可以进行热板焊接。当到达这一程度时，没有足够的聚合物来形成足够的连接强度。在填充物含量为 35%的情况下，形成密封有些难度。旋转金属丝刷子用来去除黏附在热台板上的任何填充材料。实际上在台板或热源上会放一些滑石粉。

10.3　工艺

图 10-1 清楚地展示了热板焊接的基本原理，其工艺非常简单。将要连接的两块塑料的边放到用恒温器控制的热板上加热直至表面熔化，这需要用较小的压力完成，因为如果压力过大，软化了的表面容易变形。将这两块塑料从热板上移开，然后将软化了的两表面压在一起。同样，用力过大仍会使熔化的材料挤出而引起冷密封。最后将零件保持不动直至冷却固化。

相反，图 10-2 所示的生产设备要复杂得多。两个固定待连接零件的紧固装置受到载荷作用。这些紧固装置固定在该设备的钳子上。零件用夹子、真空吸盘、指状夹或其他机构来夹紧在紧固装置上以避免翘曲变形。热板由在紧固装置上可作进

出往复运动的加热板代替（也称作型芯），用筒式加热器对其进行加热，并且嵌件固定到它的每一侧上，嵌件被精确地加工成与焊接面积匹配形状，以保证只熔化零件需要熔化的表面。对于特殊轮廓的零件，它的轮廓由在嵌件上进行机加工实现。

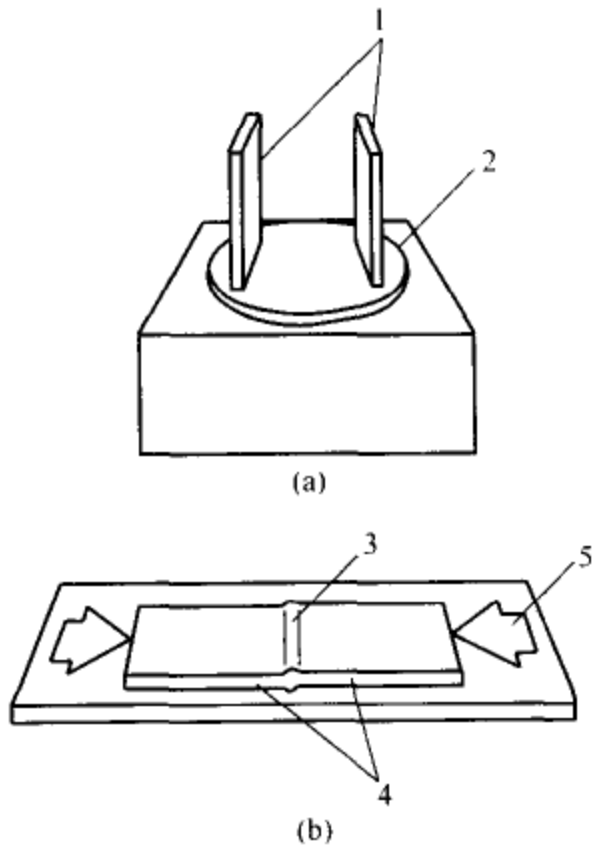


图 10-1　简单的热板密封

（a）加热树脂；（b）连接

1—待连接的塑料件；2—热板；3　焊接处；4—塑料件；5—挤压力

从图上可知，在紧固装置上有加工限位器，在加热平台上有熔化限位器，用它们来控制熔化的尺寸、密封尺寸和零件间尺寸变化。加工限位器在熔化周期内两零件可相对移动 0.38mm，在密封周期内可再次移动 0.38mm。它们也消除冷密封，冷密封是由密封周期期间熔融材料的位移形成的，仅仅留下冷材料形成较弱的焊缝。限位器消除了产生废品的主要原因。

图 10-3 所示为热板焊接工艺。初始位置[图 10-3（a）] 显示了各夹持一个零件的紧固装置、加热板、加工限位器和熔融限位器。将加热板移至一边，以使零件能够放置到夹紧装置上。

在图 10-3（b）中，加热板已移动到两零件间，这时关上夹紧装置，使零件压在热板上直到表面熔化。图 10-3（c）所示为实际焊接中三个阶段中的第一个阶段，熔化零件直到夹紧装置上的限位器与加热板上的限位器相接触，使其熔化层达到预定的厚度，在这一位置保持一定的时间，使需要焊接的表面熔化厚度达到应用时的理想厚度，这一厚度通常在 0.38mm（0.015in）左右。对于高温材料而言，零件与加热板的接触时间为 1～6s，而对于低温材料而言，则需 8～15s。在这个过程中，可将熔融表面上的小缩痕及其他缺陷消除得到光滑的熔融表面。正确的加热板温度是决定焊接质量的关键。

接下来的一个阶段是将夹紧装置打开抽出加热板［图 10-3（d）］。这是焊接中的第二个阶段，或者说是“转变阶段”。为了减少冷却时间，这一步骤要迅速完成。在图 10-3（e）中是将夹紧装置再次迅速合上，使两零件的两熔化表面相互挤压，每部分的挤压距离大约在 0.38mm 左右。然后保持这一状态直至冷却，这就是焊接的第三阶段或者是最后阶段，它被称为“连接阶段”。从加热阶段到连接零件总的每个零件压缩量为 0.75mm。通常开始点就是设置各周期的起点。调节然后制作，直到通过反复试验和改错，确定出优化设置。熔化阶段结束到再次合上夹紧装置通常用时少于 2s，这是决定焊接质量的重要因素。因为如果打开时间过长会使塑料的焊接表面形成冷却层，它会降低焊接的强度。

冷却时间通常在 6～15s 之间。如图 10-3（f）所示，将夹紧装置打开，并使一

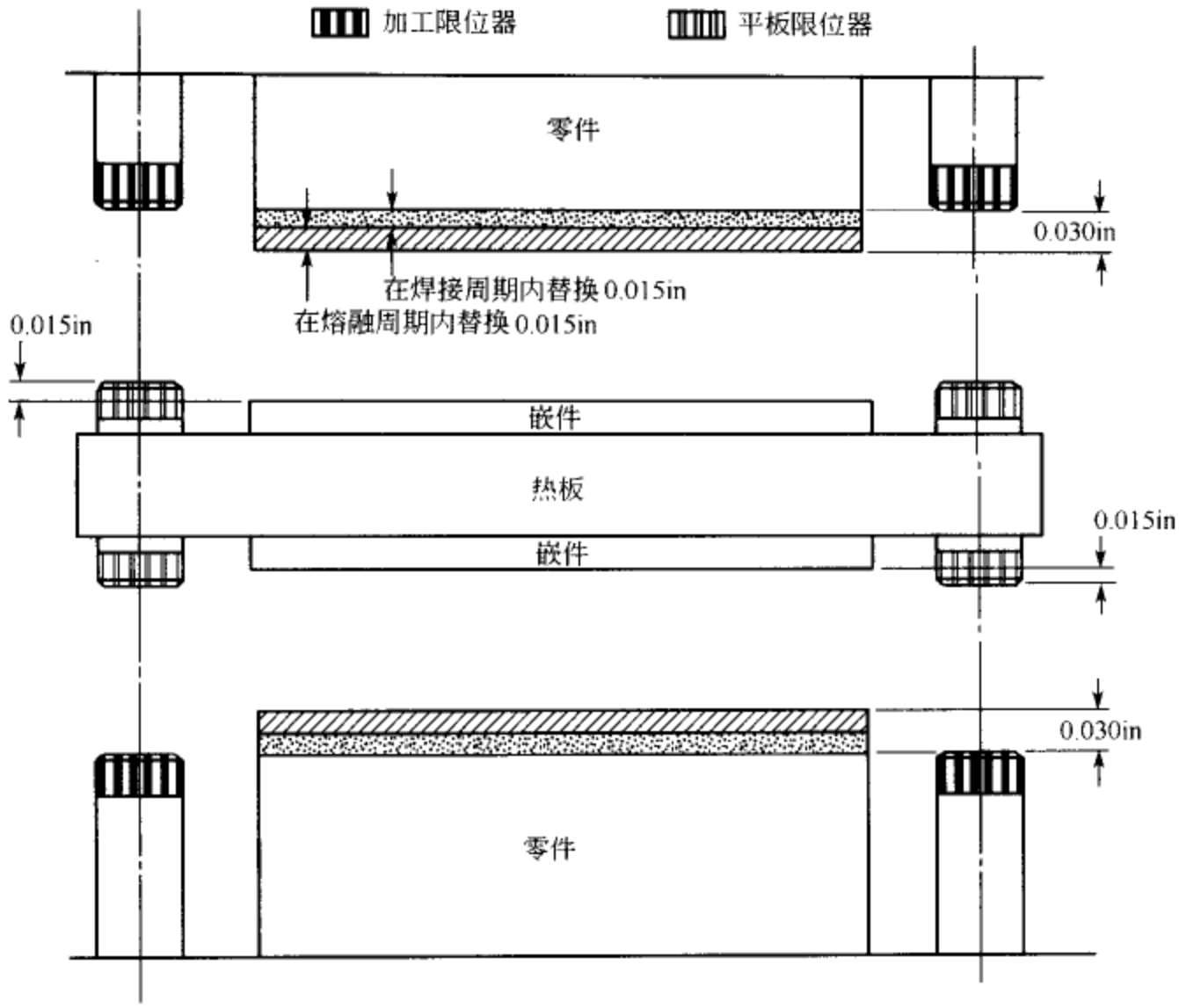


图 10-2　带有限位装置的热板焊接设备

半松开，将完成的装配件留在另一边待取走。如果产量有所保证的话，取走装配件可自动完成。不包括安装和拆卸焊件在内，总的周期根据焊件的尺寸设计会有所不同，对于低温高聚物周期在 35～40s 间，而对于高温材料则在 15～20s 间。热板焊接克服零件变形的限度，然而密封的焊接要求有平坦的焊接表面。

这种工艺也称作“距离焊接”，它的基本参数包括熔化层厚度和时间、密封厚度和时间及加热板温度。

有另一种称作是“压力焊接”的焊接技术，除了用很高的压力使零件与热板接触让零件与模具表面完全匹配外，这种技术与“距离焊接”类似。当熔化的高聚物开始有明显的流动时，减小压力使其熔化层变厚，当熔化的塑料达到要求的厚度时，将其与模具分离。接下来是转变阶段和连接阶段，只不过后者是用压力控制的。“压力焊接”不控制距离。

图 10-4 显示了热板温度和熔融时间的关系。很明显，熔融焊接表面所需的时间会随着热板温度的下降而急剧上升，在某些情况下，这一时间达到 45s。

大部分应用场合解决的是相同材料的焊接。然而，用加热板嵌件使两零件加热到不同的温度，可将两种相容但不相同材料的零件连接在一起。例如，丙烯酸酯透镜可与聚碳酸酯或 ABS 座焊接在一起，但是不能与聚乙烯或聚丙烯焊接。填充材

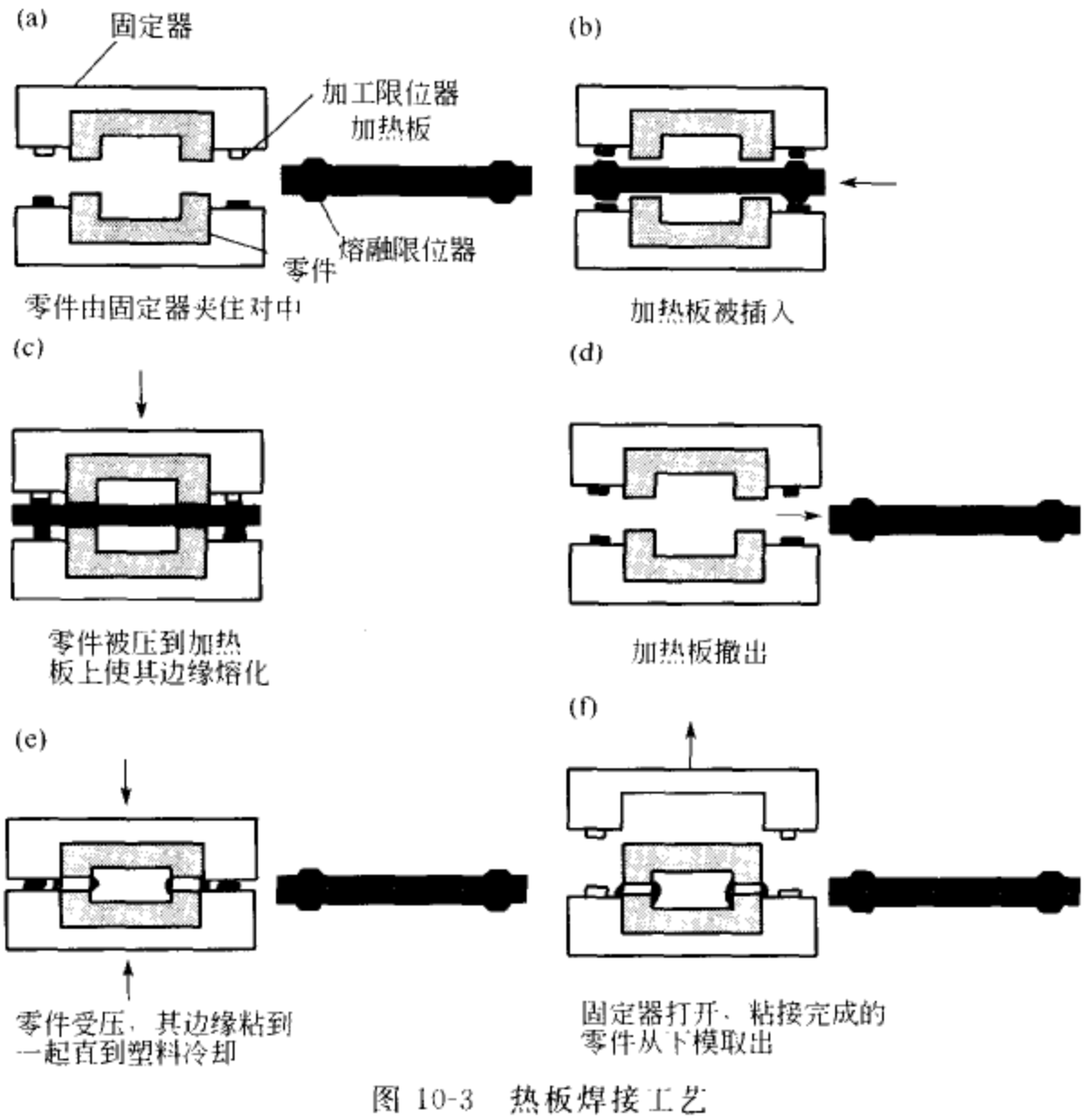


图 10-3　热板焊接工艺

（Forward 技术工业有限公司提供图片）

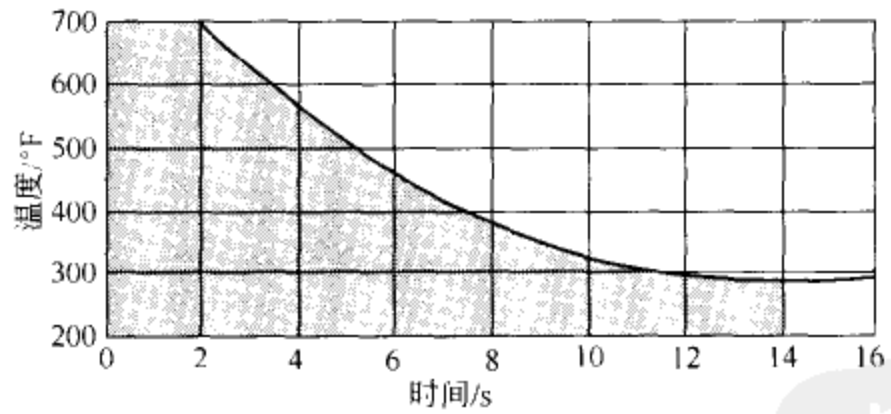


图 10-4　热板温度与熔融时间关系

（Forward 技术工业有限公司提供图片）

料也可焊接，但是随着填充材料的增加，焊接会变得非常困难，因为填充材料所占百分比越大，剩下的可以焊接的聚合物就会越少。

10.4　热板焊接类型

热板焊接的三种类型是：低温热板焊接、高温热板焊接和非接触式热板焊接。

10.4.1　低温热板焊接

像聚乙烯、聚苯乙烯和聚碳酸酯这些材料可以在 550°F 或更低的温度下进行焊接。这些聚合物能够黏附在加热了的表面上，形成黏稠物；因此可以将特氟隆涂层用在加热的嵌件上，这种材料能耐到约 520°F。然而，这种应用将增加维护方面上的考虑，因为涂层寿命有限。一般地要做三套嵌件，当一套再次涂敷时，还有至少两套可用。根据应用的实际情况，特氟隆涂层的类型会有所改变。它可以是 PTFE 膜、烧结-沉积 PTFE 或经久耐用的 PTFE 浸渍化学镍镀。

低温焊接具有焊接强度高于高温焊接的优点。也可减少对材料的降解，并且可以对更大范围的聚合物进行焊接。然而，它需要更长的周期并且不能对玻璃纤维填充材料进行焊接；此外，还有外加的嵌件以及对它们维护方面的问题。

10.4.2　高温热板焊接

高温热板焊接缩短了焊接周期并降低了加工成本。接触时间会从一般低温焊接的 20s 减少到 4～6s。然而高温焊接不但限制了适合焊接的材料的种类，而且会导致焊接区域变色，并且它的焊接强度也不高。

这种类型的焊接有两种焊接温度范围：550～700°F 和 700～850°F。聚丙烯、ABS 和聚甲基丙烯酸甲酯是在高温焊接中温度较低时焊接效果较好的材料，因为它们熔化快且与加热板嵌件容易分离，分离时只稍微有点残余物。这些残余物不会影响焊接强度，但会使焊接处变色。

对于有些材料，当残留物聚集不能接受时，使用较高的温度范围内（700～850°F）可以使残余物氧化。材料为 ABS 时残留在加热板上的灰可在两个焊接周期间用旋转金属丝刷刷掉。这种装置也可用来除去玻璃填充尼龙 66 在加热板上聚集的玻璃纤维。玻璃纤维能保持热量，防止尼龙烧焦。用青铜做的加热板和加热嵌件升高到 700°F 或是用 P-20 钢做的加热板和加热嵌件将温度升高到 700°F 以上会获得更好的热传递性、机加工性以及抗氧化性。这种加工方法要求有安全措施和通风措施。

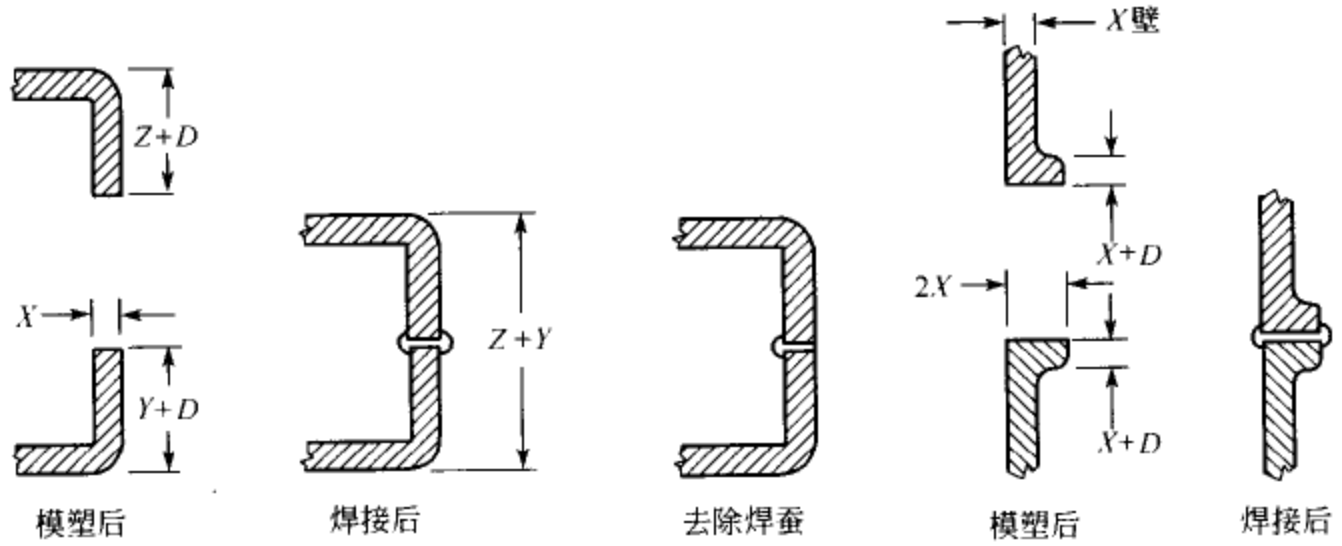
10.4.3　非接触热板焊接

焊接非常困难的材料可以用非接触焊接，它们焊接线平坦且可以利用水平加热板及加热刀，这是必要的，因为焊接表面必须用高温的镍铬合金刀的辐射热加热，而不是用有曲线轮廓的加热板嵌件加热。同时，这种方法的加工成本很高而且很难实现均匀焊接。此外，非接触热板焊接能量消耗较大，且热度会使操作者不适。

使用这种焊接方法典型的材料为聚碳酸酯（有焊蚕问题）、聚甲醛（释放气体）以及无填充物的尼龙（与加热板接触会烧焦并难以分离）。非接触热板焊接对具有急剧的熔融转变范围的材料非常适合。非接触热板焊接焊接件的一个例子是航空器上 6in×9in 的尼龙电池。

10.5 热板焊接接头设计

热板焊接接头设计都是对接焊，然而有些接头设计时采用一些手段隐藏其熔珠及焊蚕。如图 10-5（a）显示了一种直的对接接头，它是一种最简单的接头。这样设计的零



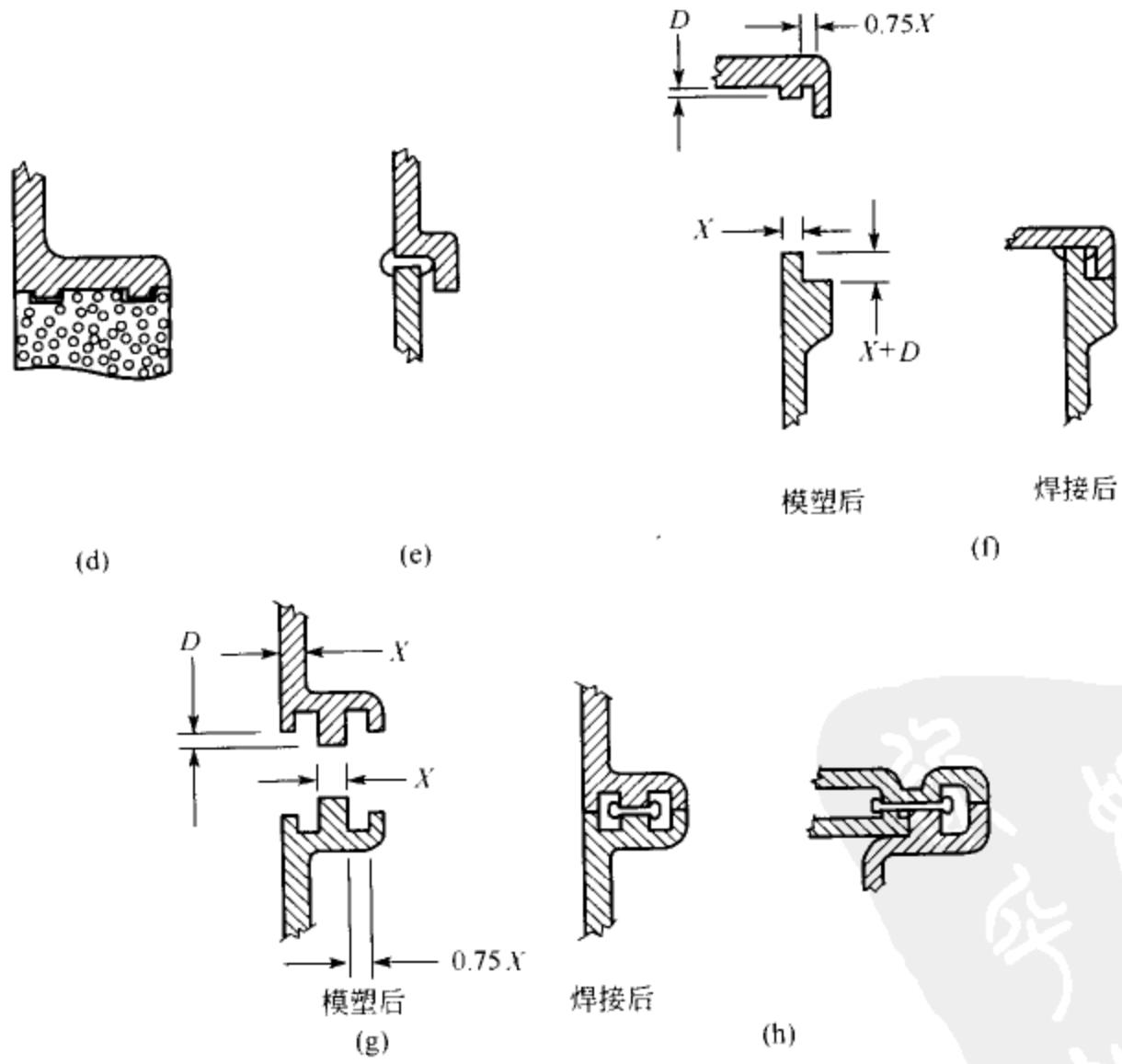


图 10-5 对接焊

（a）直对接焊；（b）溢料去除；（c）法兰对接焊；（d）法兰与塑料泡沫的焊接；（e）带裙边的对焊；（f）凹槽式带裙边的对焊；（g）双裙边对焊；（h）三件连接

件无需特殊的连接准备就可直接压在一起。在接头处会出现塑料熔珠，它可以在焊接过程中与焊蚕一同去除，也可以如图 10-5（b）所示的那样通过机加工除掉。需要指出的是，装配件总的高度将等于两独立零件的高度和减去熔化总位移与密封总位移的和。

图 10-5（c）描述的是法兰对接焊。鉴于直对接焊的焊接强度受壁厚的限制，而法兰对接焊可以根据需要增大焊接面积，从而形成坚固的焊接接头。对于本来就形成法兰的热成型制件，这也是最好的接头类型，也是滚塑成型制品与吹塑成型制品的一种接头设计。在图 10-5（d）中，法兰与塑料泡沫进行了焊接。

这种设计所涉及到的问题是在焊接过程中会产生焊蚕。除非用某种方法将它除去，否则这些焊蚕会看得见。对于很多产品来说，因为它会造成配合不好或是光洁度差，所以不受欢迎。图 10-5（e）中显示的带裙边的对焊是从外侧隐藏焊蚕的一种设计。图 10-5（f）中凹式接头设计的制品具有更好的外观设计。在图 10-5（g）中夹有焊蚕的对接接头是从两边隐藏焊蚕。图 10-5（h）显示的是将三个零件焊接在一起的接头设计。

为了达到好的焊接效果，焊接表面必须清理干净，使其没有受油脂和脱模剂等脏物的污染。这些脏物将使塑料粘在加热板上，从而起反面效果。这将产生卷须，也称作“天使发”，并且会使塑料燃烧，烧焦的塑料是降解材料，从而会降低焊接强度并使接头变色。

塑料中的水分同样也会削弱接头强度。由吸湿性树脂制成的零件在成型后必须立即进行热板焊接。另外，为了保证好的焊接质量，它们必须干燥到成型加工要求的程度。

10.6　装备

热板焊接机有卧式的和立式的两种。在焊接前有其他零件放置到装配件中时，

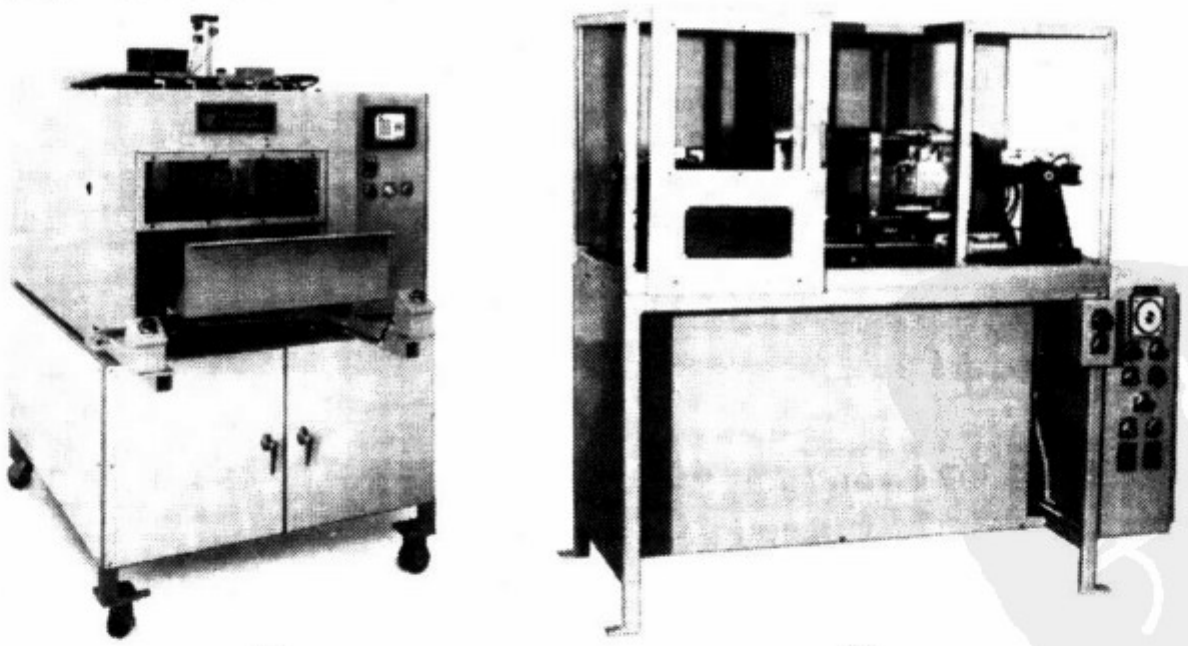


图 10-6　热板焊接设备
（a）水平板；（b）垂直板
（Forward 技术工业有限公司提供照片）

要使用如图 10-6（a）所示的那种卧式焊接机。当有如钻孔、冲压或者嵌件或其他元件超声波焊接等其他预成型操作时，卧式机也会发挥作用。卧式热板焊接机也可实现自动装载与卸载。

如图 10-6（b）所示的立式热板焊接机在很多应用中呈现出优势。它消除了由于热上升到上夹紧装置所产生的热度与雾气对制件的损害，除非制件内壁很小并会变形，否则这种损害将是很严重的问题。

目前已有使压力和位移在焊接期间内变化的由计算机控制的热板焊接机，这使通过对周期更好地控制来达到热板焊接工艺的最优化成为可能。

10.7 热金属丝/电阻焊

热金属丝焊也被称作电阻焊，与热板焊接中两个要连接的零件的表面是熔化的然后焊接在一起是类似的。然而，热金属丝焊中的热量是通过加热了的金属丝的热传导得到的。当电流通过金属丝时，利用它的电阻使金属丝生热。这项技术消除了对加热板、嵌件和昂贵设备的需求，使其在原型生产、小批量生产及其他方法难以连接的大零件的生产中的应用非常合理。然而，对于较小零件的大批量生产，这种方法比较慢且对操作员敏感。

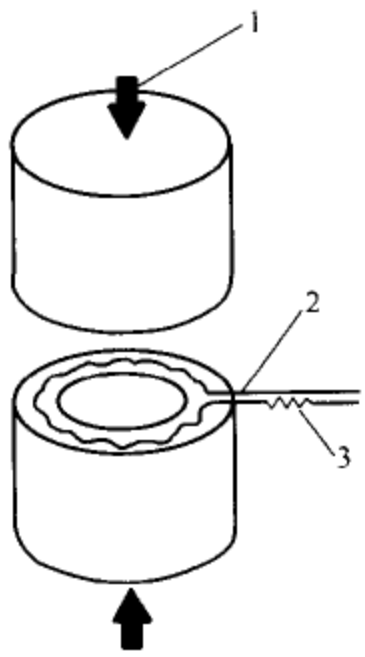


图 10-7 热金属丝/电阻焊接
1—压力；2—高阻电阻丝；
3 金属丝加热控制

如图 10-7 所示，金属丝放置在要连接零件中的一个表面。然后将两零件放在一起并压紧。在用电流熔融焊接表面的这段由实验确定的时间内要保持这种压紧力。金属丝仍在原来的位置，因此它将留在制品内，伸出连接处以外的部分焊接后剪掉。在零件内可能会采用沟槽或其他的定位措施来保证金属丝在合适的位置。

这个方法的另一种变化形式是“热带焊接”，金属带代替金属丝。金属带粘在要焊接的一个面上，另一个面与它接触。低伏电流通过金属带，通过其电阻使接头表面升温达到熔融程度。

10.8 资料来源

Bielomatik, Inc., 55397 Lyon Industrial Dr., New Hudson, MI 48165, (248) 446-9910, fax (248) 446-6244, www.bielomatikinc.com

Branson Plastic Joining, Inc., 1001 Lehigh Station Rd., Henrietta, NY 14467, (716) 359-3100, fax (716) 359-1132

Branson Ultrasonics Corp., 41 Eagle Rd., P.O. Box 1961, Danbury, CT 06813-1961, (203) 796-0400, fax (203) 796-9838, www.bransonultrasonics.com

Dukane, 2900 Dukane Drive, St. Charles, IL 60174, (630) 584-2300, fax (630) 584-3162,

www.dukane.com/us

Forward Technology, 260 Jenks Ave., Cokato, MN 55321, (320) 286-2578, fax (320) 286-2467, www.forwardtech.com

Manufacturing Technology Solutions, 14150 Simone Dr., Shelby Township, MI 48315, (586) 802-0033, fax (586) 802-0034, www.mts-telsonic.com

Service Tectonics Inc., 2827 Treat St., Adrian, MI 49221, (517) 263-0758, fax (517) 263-4145, www.padprinting.net

Sonics & Materials Inc., 53 Church Hill Rd. Newtown, CT 06470, (800) 745-1105, (203) 270-4600, fax (203) 270-4610, www.sonics.biz

T.P. Welders, 1514 E. 11 Mile Rd., Royal Oak, MI 48067, (248) 543-0240, fax (248) 543-0172

Ultra Sonic Seal Co., 200 Turner Industrial Way, Aston, PA 19014, (610) 497.5150, fax (610) 497-5195, www.ultrasonicseal.com

Young Technology, 48012 Fremont Blvd., CA 94538, (510) 490-6373, fax (510) 490-3214

第 11 章　热气体焊接

11.1　优点和缺点

11.1.1　优点

（1）投入低　与其他装配技术相比，热气体焊接需要的设备非常便宜。

（2）形状自由　热气体焊接几乎可以焊接任何形状的零件，它只受焊炬靠近焊接区的能力的限制。

（3）轻便性　当工作体太大或费用太贵不能将其拿到工厂内完成时可以将便携式热气体焊接设备装在提箱内搬到工作地。这使它非常适用于现场修理，热气体焊接会散发出一些数量不可测的微小颗粒和少量挥发有机物。

（4）加工尺寸　由于这种设备非常轻便，所以用这种方法焊接的零件尺寸几乎没有限制。因而，它常用在建筑业上。

（5）难以连接的材料　像聚乙烯、聚丙烯这样难用熔剂相连接的聚烯烃用热气体焊接很容易。

（6）焊接培训　由于在技术上的相似性，大多数经历过铜焊或用气体焊接金属的技工很容易地再培训进行塑料焊接。新学员可在几小时内掌握基本的技术，在几天内就可具备一点生产技能（高技能水平和安全应用需要受额外的培训）。

11.1.2　缺点

（1）速度　从历史上看，在大多数情况下，热气体焊接相对于其他热塑性材料连接方法是一种最慢的技术，因而它只用于由于尺寸或形状而不适于其他方法的场合。然而，随着新技术的发展，高速焊接设备稍微克服了它的这一缺点。

（2）附加材料　热气体焊接要使用焊条，这是一项额外的费用。

（3）操作员敏感性　气体焊接这一手工操作工艺对操作工的敏感度较高，它使得焊接件难以保持一致性，特别是有多个操作员时。

（4）操作员成本　焊接被认为是一门手艺，在一些地区要付给焊工报酬，而其他塑料技工操作员通常以不熟练或半熟练的劳动力来雇用的。

11.2　加工方法

热气体焊接的方法有三种：点焊、永久热气体焊和挤焊。不管哪种，其基本工

作原理是相同的，与金属的乙炔焊除了将火焰换成热气流外极为相似。在大部分基本的形式中，需要的装置包括焊枪、焊嘴、压缩空气、带有仪表的调节器、线路过滤器、焊条以及切割工具，很多时候也需要提供氮气，因为氮气可以防止材料的污染和氧化。在没有氮气的情况下，供应的空气必须净化使其没有油和水分。此外，焊接表面必须清理干净使其没有油脂、油或脱模剂。当使用细砂纸磨糙表面后，为了获得高质量的焊接，推荐用溶剂清洗表面。在第 7 章“胶黏剂和溶剂连接”中讨论了要粘接的表面进行处理的溶剂和其他技术也可应用在焊接中。然而在选择溶剂时必须要小心谨慎，避免选择的溶剂侵蚀塑料基体。在开始焊接前，焊接表面必须进行干燥。

11.2.1　点焊

在永久焊接或进行其他工作前用点焊（图 11-1）使各件固定在一起。这是对材料进行的临时焊接，不需要焊条就可完成。对于大型零件和粗加工需要进行连续的焊接，在很多场合点焊就足够了。点焊要求有特殊的焊嘴。

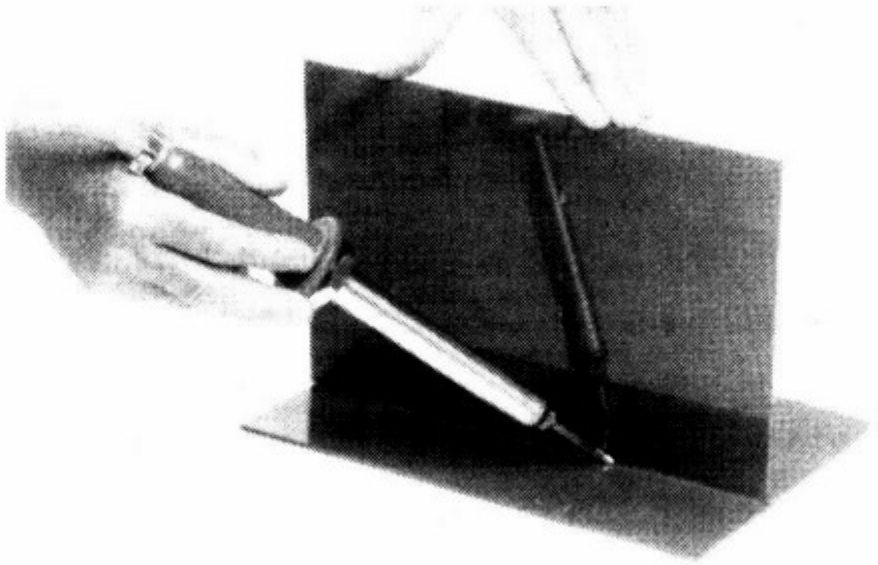


图 11-1　点焊
（Laramy 制品有限公司提供）

除了没有焊条和使用点焊焊嘴之外，点焊与永久焊区别不大。点焊焊嘴更小且有一个小孔，这个小孔将热气集中使焊边熔化。焊机与水平方向约成 80°角，焊嘴沿着焊边慢慢地移动。根据要求精确度的不同，可以用紧固装置或用手固定零件。一旦零件用点焊的方法焊接在一起，就可以将为了进行永久焊的夹具去掉。然而，点焊的强度不高，不应将其视为永久性的。

11.2.2　永久热气体焊接

永久焊要使用与焊接的零件材料相同的焊条，如图 11-2（a）所示。首先将两个对焊的焊边切成 45°，使其对靠在一起（如果内角焊接，可省略这一步）。加热相同材料的焊条来填充将两斜面挤压在一起形成的 V 形槽。虽然圆形非填充焊条非常普遍，而焊条也有三角形或 V 形的。压缩空气或氮气的热气体通过加热元件后由焊嘴集中在焊接处。焊接处是指 V 形槽与焊条的交叉区域。这种方法也叫做

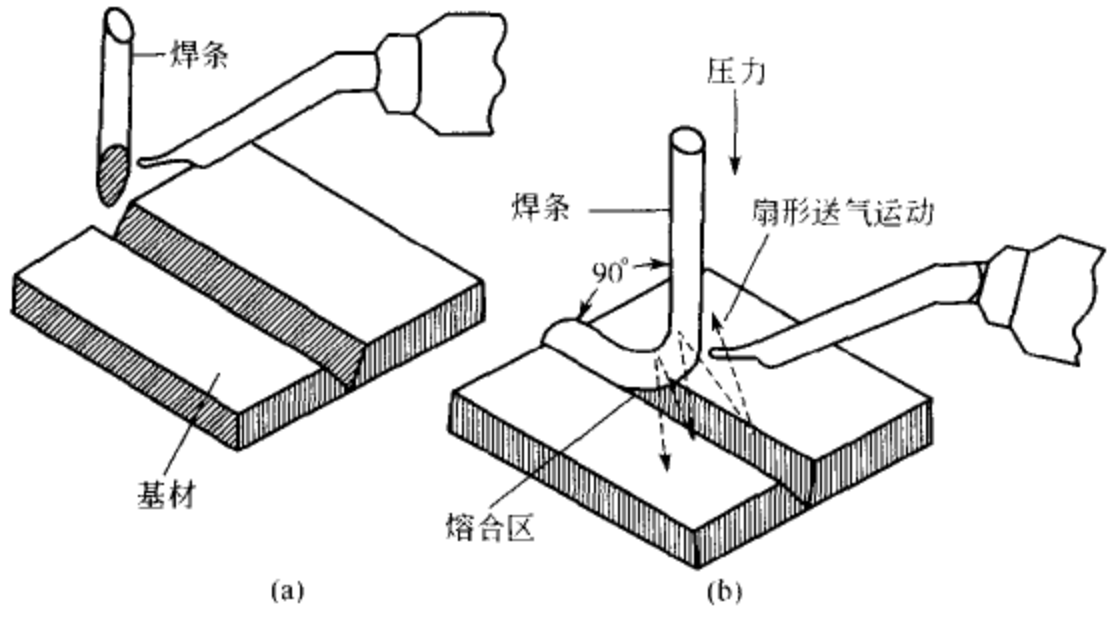


图 11-2　永久性热气体焊接

（a）焊接起始点；（b）焊接中（Laramy 制品有限公司提供）

手工焊接。

焊枪的焊嘴的位置在接合处以上 6.35～19.05mm（0.25～0.75in）处。焊接的开始非常重要，不好的开始会导致焊接失败。当使用多层焊条时，最好在焊接的时候以不同点作为起点。接合处与焊条都应加热并使焊条与基材每隔几秒就轻轻接触一下，直到二者粘在一起。焊条的直径应该与焊接零件的厚度大致相同。对于大多数材料，焊条应如图中所示的那样成 90°角并用约 3lb 的压力压下。对于聚乙烯和碳氟化合物而言，要将焊条保持 45°角。

焊嘴要在焊接区域上以扇形来回（每秒两次避免污染）迅速移动，直到 V 形槽和焊条软化到能够焊接，通常用热滚筒压在一起。因为焊接零件比焊条大得多，所以热量需要集中在焊接面上。在焊接前应加热约 12.7mm（0.5in）的焊条和焊接区域前部 9.5mm（0.375in）的材料。焊条如果加热过高，就会成为类似橡胶的形态。焊接速度平均在 102～152mm（4～6in）/min 之间。

在焊接结束的时候，所有向前的运动都停止，热量短暂地集中在接合区域，然后将其移开，并且继续在焊条上施加向下的压力几秒钟，以调整焊接的尾部，接着去掉下压力并扭曲焊条直至折断。图 11-3 是一张手工焊接照片。

11.2.3　高速焊接

焊接过程可以通过使用图 11-4 所示的“高速焊枪”提高焊接速度，它可在焊接像聚乙烯或聚丙烯样的材料时达到 610～762mm（24～30in）/min 的速度，焊接像聚氯乙烯样的材料时达到 1016mm（40in）/min 的速度。高速焊接焊枪的设计是通过焊枪来填加焊条，而在焊条通过时对其进行加热。在焊条下方有个开口，热气通过它可直接对焊接处进行加热。这种高速焊枪的使用消除了用手拿着焊条的需要，腾出的一只手来处理新焊条的添加。

如图 11-5（a）所示，焊条插入焊条管并慢慢地延伸到接合表面的位置。对焊

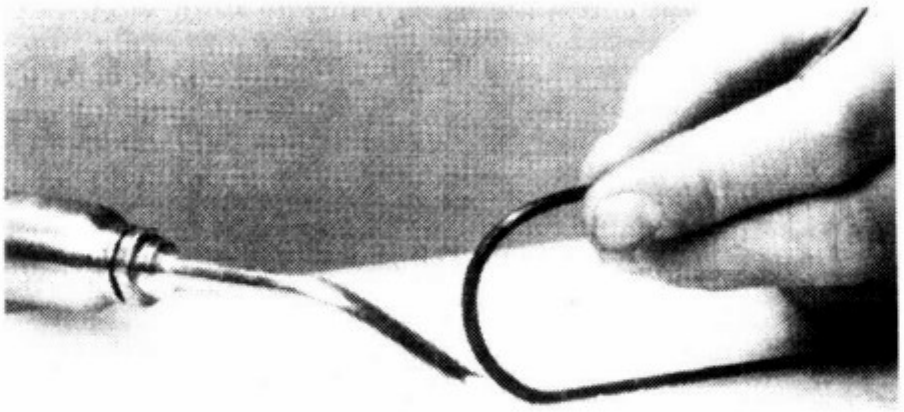


图 11-3　手工焊接
（Laramy 制品有限公司提供）

机施加压力直到焊条弯曲并达到如图 11-5（b）所示的位置。这时沿焊接的方向拉焊条。初始阶段，用较小的压力进给焊条，然后当焊接了几英寸的时候它会自动进给。如果焊接进行得合适，沿着焊接处会出现流线。如果焊得太快就不会出现这种熔线（焊接处太凉），就会产生质量差的焊缝。焊的太慢聚氯乙烯材料焊接处就会变色、烧焦或是着火，而聚乙烯或是聚丙烯材料就会展平形成大的熔珠。当达到了正确的焊接速度时，应保持相对恒定速度进行焊接。

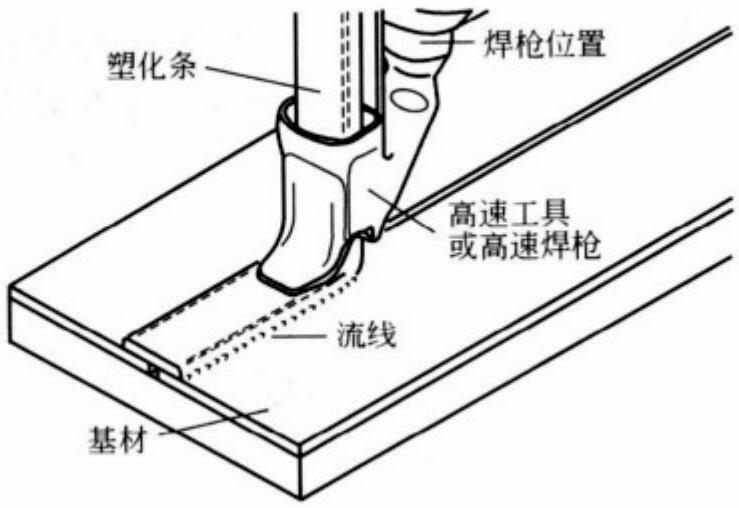


图 11-4　高速焊接
（Kamweld 制品有限公司提供）

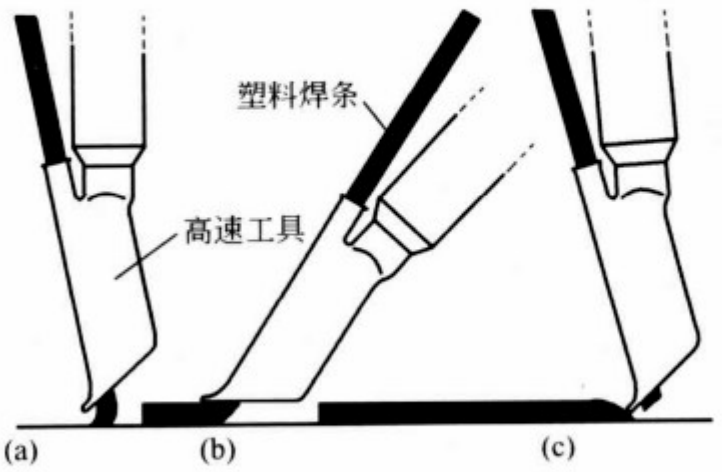


图 11-5　高速焊接位置
（Kamweld 制品有限公司提供）

如图 11-5（c）所示，为了使焊接停止，将焊接倾斜超过垂直的程度，焊条会被焊嘴的尖端切断。也可以选择让焊条通过焊嘴的端部，在其上端切断或掰断焊条。

要获得手工高速焊的进一步信息，作者推荐由 Donaldw. Thomas 编著，J. Pierre Pottier 修订的名为“更好地进行塑料焊接”。该资料来源于 Laramy 制品有限公司（见于本章后的资料来源）。

11.2.4　挤焊

热气体焊接自动化技术的进一步发展是使用挤出的焊条，并用焊辊或焊鞋将其压入加热了的焊槽内。这种称作挤焊的焊接方法主要的好处在于它省去了重载焊接

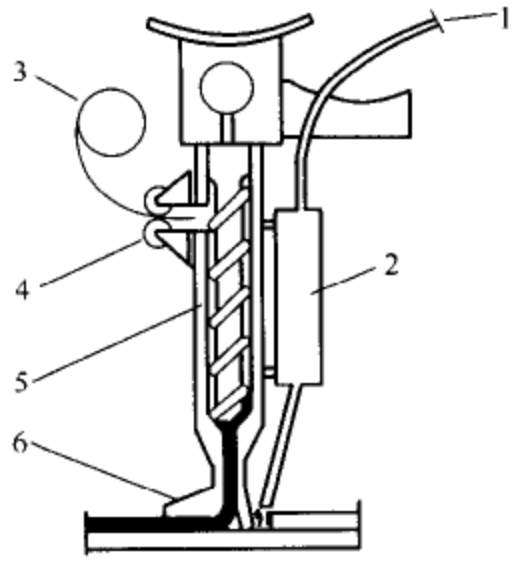


图 11-6　挤焊

1—空气供应；2—热气体装置；
3—丝卷（图中所示）或颗粒漏斗；
4—丝料向前进给；5—小型挤出机；6—焊鞋

任务所需的多重焊接，因此可节省大量的时间，并能减小接合处的应力。

图 11-6 所示的就是挤焊。填充树脂或者是以颗粒的形式从漏斗处进给或者以筒上的焊条的形式供给，然后从由电动机驱动的单螺杆熔室中挤出（在第 6 章“按照工艺选择装配方法”中可以得到挤出方法更进一步的描述），既可以用电热圈，也可以用热气体来加热。熔化的塑料通过焊鞋挤出，焊鞋使熔珠达到要求的形状大小。接合面用连接在挤出机上的热气体预热器进行加热。焊接速率由挤出机速率来控制。

11.3　接头设计

根据应用场合的不同使用各种焊接，然而它们与金属焊接使用的焊接类型相似。图 11-7 所示的为一些常见的接头类型。图中所示的角焊和搭接角焊是最易使用的，因为它们除了清理接合表面外无需其他准备。通常，使用点焊来确定焊接零件的位置，然而紧固装置或搭接焊或 C 型夹具也可实现这一功能。

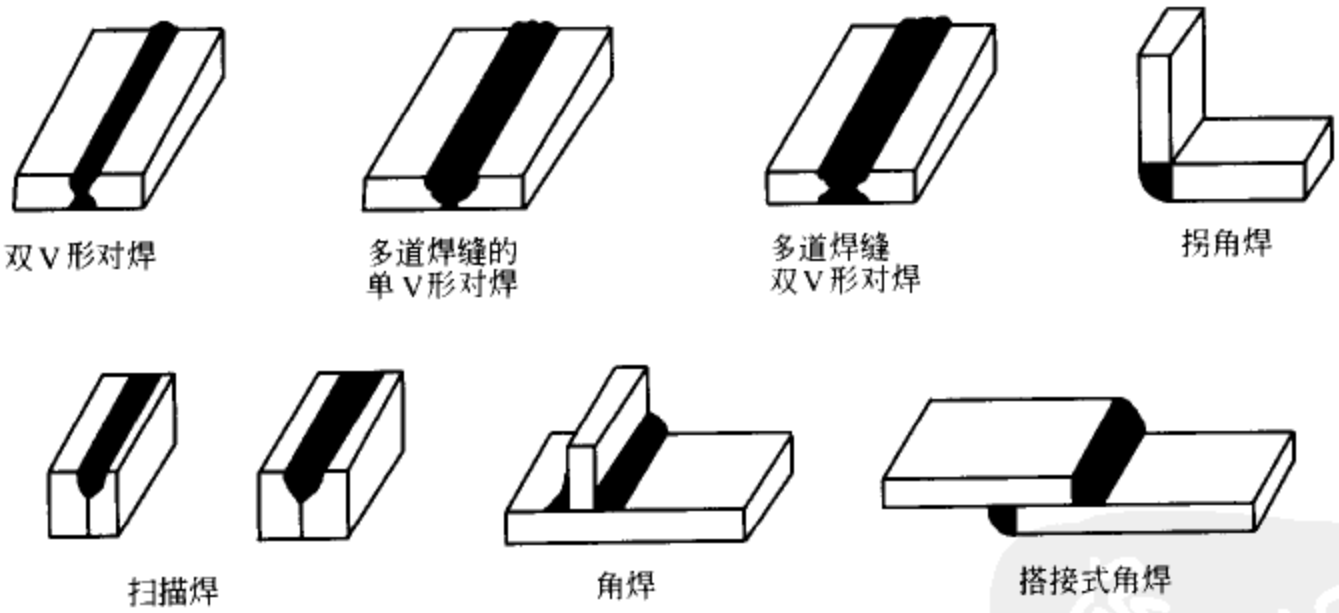


图 11-7　焊接类型

（Laramy 制品有限公司提供）

对焊、边焊和一些拐角焊、角焊要求接合边倾斜。斜面不能切得太尖，而应有 0.8mm（0.031in）的平面。图 11-8 所示的接头设计是在没有使用点焊焊嘴的情况下接合处留一个根隙。根隙应该在 0.40～0.80mm（0.0156～0.031in）间，而除了角焊斜面角度为 45°以外，其他的斜面角度应在 60°～90°间，一般气体焊接零件的壁厚在 1.60～9.53mm（0.063～0.375in）间。尽管材料韧性很好，但焊接接头

除外。

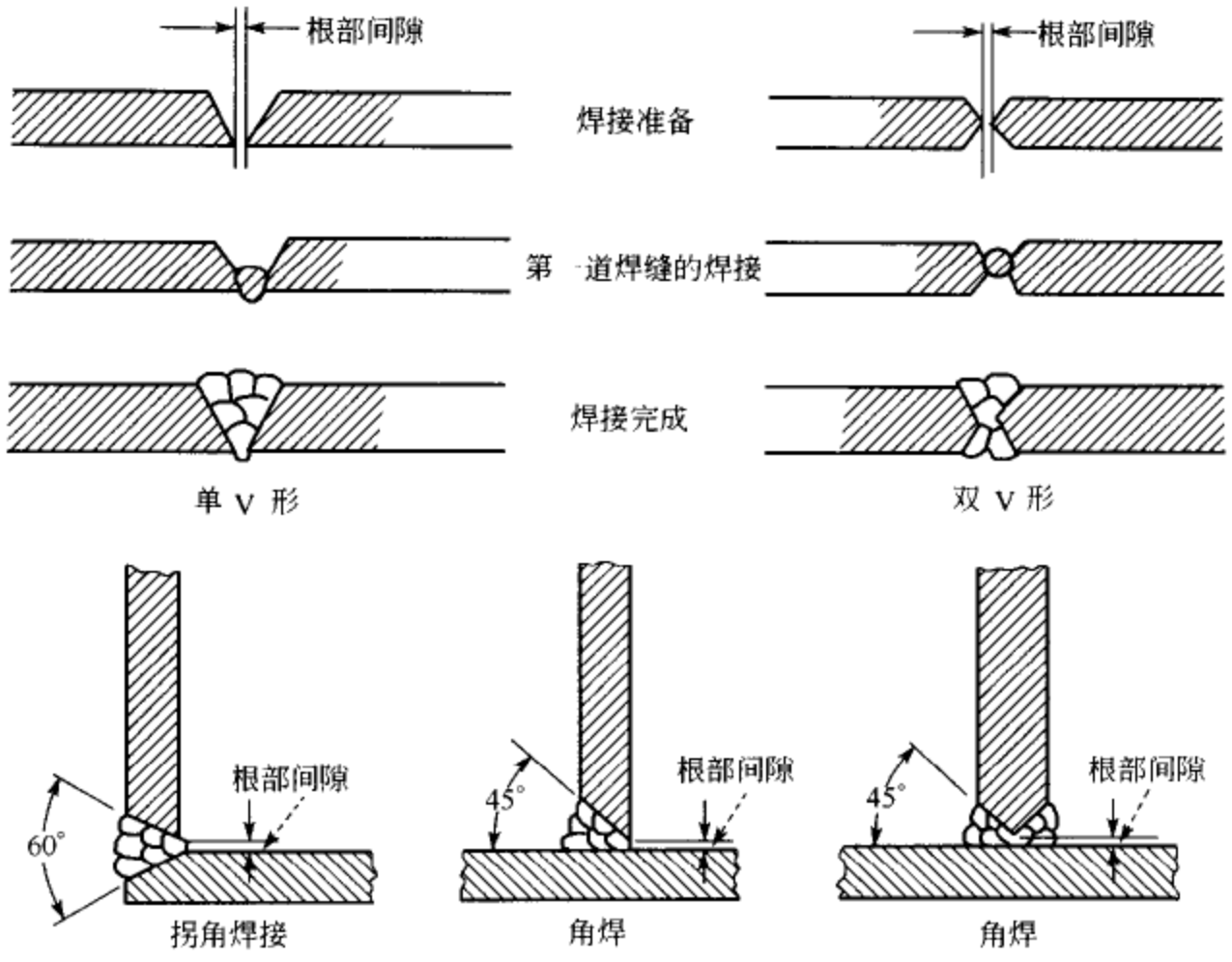


图 11-8　焊接坡口与准备

（Laramy 制品有限公司提供）

热气体焊接有时在搭接部分间断性地使用定点焊。这些被认为是如图 11-9 所示“玫瑰花焊”。这种方法的一个优点是只需从一边进行焊接，在另一边不能靠近的情况下，提供了一个有用的技术。此外，仅仅需要对钻孔和表面进行一般的表面清理之外，无需其他准备。

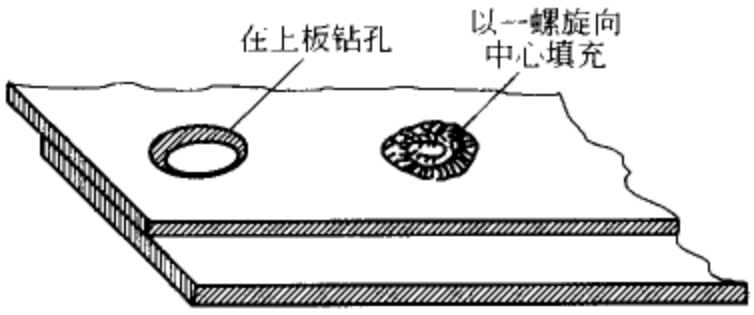


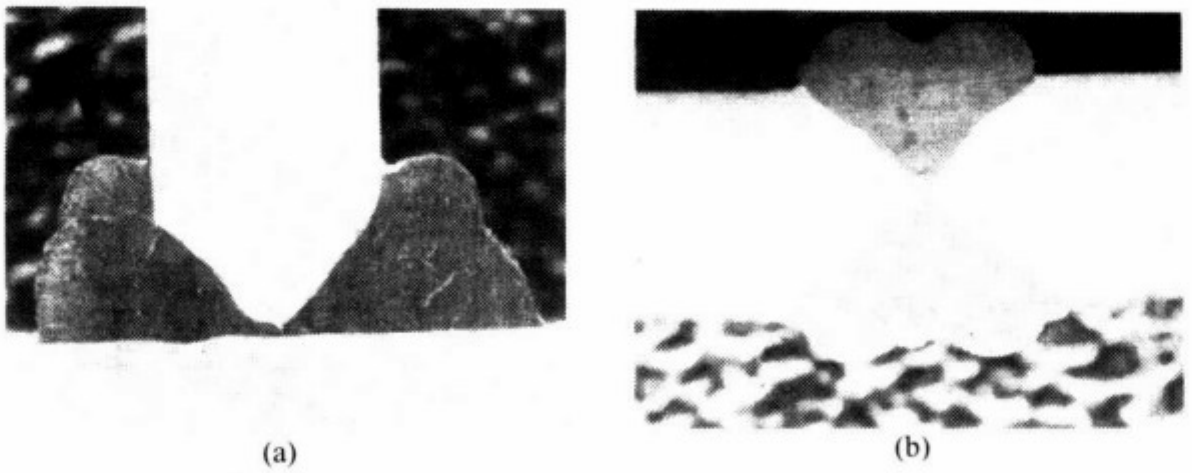
图 11-9　玫瑰花焊

（Laramy 制品有限公司提供）

11.4　焊接实践

热气体焊接由于是用手工来完成的，所以对操作工的敏感度很高。然而，如果热量供应合适，就不会产生烧结、变色或变形现象。焊接强度对于一些材料（如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、ABS）可在几乎没有强度（完成的不合理）到最大值为周围材料 90%之间。高质量焊接要求有四个基本要素：合适的温度、压力、角度和速度。图 11-10 显示的是质量好的焊接截面。

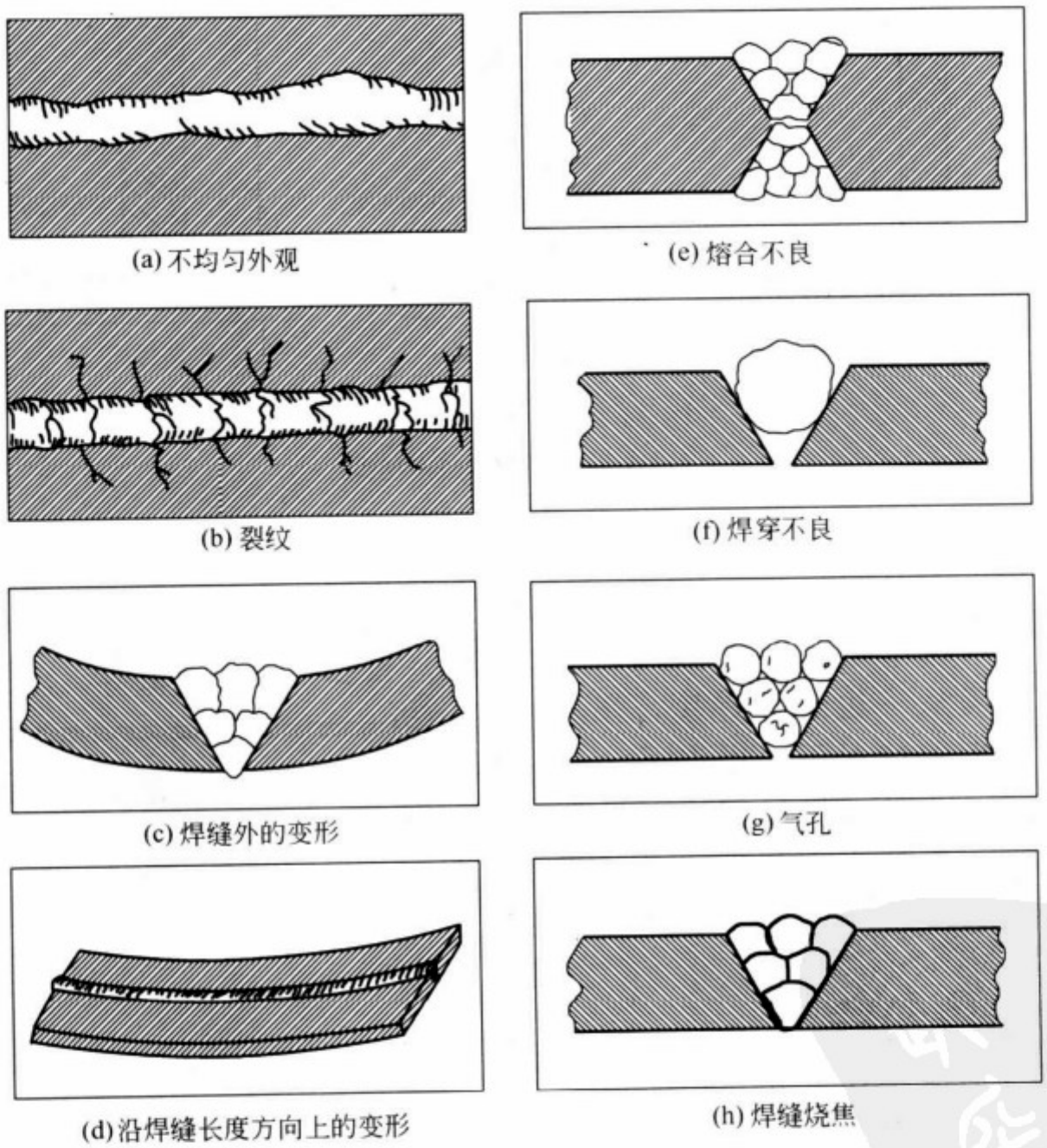
焊接不成功的话会导致各种问题，其中的一些问题见图 11-11 所示。



(a)　　(b)

图 11-10　完成角焊后的截面

（a）角焊；（b）双 V 形焊接（Laramy 制品有限公司提供）



(a) 不均匀外观

(b) 裂纹

(c) 焊缝外的变形

(d) 沿焊缝长度方向上的变形

(e) 熔合不良

(f) 焊穿不良

(g) 气孔

(h) 焊缝烧焦

图 11-11　常见的焊接问题

（Laramy 制品有限公司提供）

11.4.1　外观问题

图 11-11（a）中所示的不均匀的焊接表面可归结为压力不稳定、压力过大或是

加热不均匀造成的。要改正的动作包括使用慢的、扇形运动、确保焊条和材料都加热且保证焊条的角度正确。用焊条进行实践也会有所帮助。

11.4.2　裂纹问题

应力开裂［图 11-11（b）］由很多因素引起：不合适的焊接温度、焊缝处的过度应力、焊条与零件材料不匹配、受氧化或化学品的侵蚀。应力开裂的消除要求特别注意使用合适的焊接温度、耐化学性和材料的匹配及热膨胀和收缩的许用值。

11.4.3　变形

有两种变形：与焊缝交叉和沿着焊缝。与焊缝交叉的变形［图 11-11（c）］是由对接头过度加热、焊接速度太慢或顺序不对或用来焊接的焊条太少造成的。问题出在焊接的内在因素，由于材料基体的热膨胀和焊条的压力。当它冷却到初始的体积时，却不会收缩到原来的形状。利用双 V 形槽焊缝可解决这种问题。对于单 V 形槽焊缝来说，利用如图 11-12 所示的预弯曲可防止这种现象的发生。

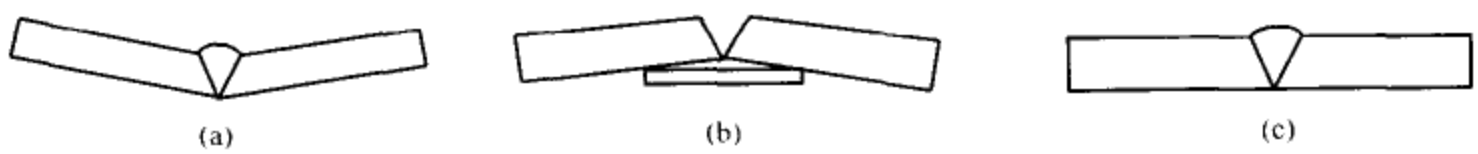


图 11-12　预弯曲技术

（a）由于冷却收缩产生的板材翘曲；（b）焊接前的预弯曲；

（c）焊接后板材拉直（Wegener 北美分公司提供）

如图 11-11（d）所示的沿焊缝方向上的变形也是由材料的收缩造成的。然而，它也可以是由加热过度和不完善的准备或是对零件的夹持造成的。预热材料对消除应力会有所帮助，会改善夹持和更快速焊接。然而，如果使用多重焊接将需要更多的焊接时间，同时根部间隙也可能会太大。

11.4.4　熔合问题

出现熔合问题［图 11-11（e）］往往是由于焊接温度太低或是焊接速度太快。然而，它也可能是不合理的表面预处理、焊条的选择或是焊接技术造成的。如果焊条材料合适并且改变焊接温度与焊接速度也不能达到预期的结果，就在焊接前对材料进行预热或是改变焊条的尺寸（以使在根部使用比其他部分更小的焊条）或许会有效。

11.4.5　焊穿

焊穿不良［图 11-11（f）］也像是由于焊接温度太低或是焊接速度太快造成的。然而，也可能是由于焊条太大、根隙太小或是焊接表面准备得不够。除了校正焊接参数外，选用小一点的焊条，或增大根隙或增加斜面角度来优化焊透。

11.4.6 气孔

图 11-11（g）所示的气孔或许是焊条太大或焊接太快导致的另一结果。也许是由于技术不合理，如起点和终点不合适、熔珠的交叉、焊条的伸长和焊条上热量的不平衡。最后，焊条本身或许是多孔的。如果焊条尺寸合适且在合适的条件下，重点就应该用改善焊接技术来消除这一问题。

11.4.7 烧焦

焊缝烧焦［图 11-11（h)］通常是焊接速度太慢或焊接温度过高的结果。然而，也可能是由于加热不均匀或是试图焊接温度太低的材料。如果加速焊接和降低温度都不能达到要求的结果，恰当的扇形运动和预热（尤其是在寒冷的天气时）能够解决这一问题。

11.5 焊接测试

11.5.1 非破坏性测试

11.5.1.1 视觉检查

最常用的测试方法是由操作员完成的，检查焊缝微小的变形特征和沿着焊条进行清洗识别一些好的热气体焊接标志。沿着零件本身它们的表面外观也会有所改变，但这种改变不是所有的材料都相同。聚烯烃沿焊缝会呈现暗红色，而像聚氯乙烯会比它亮。当聚烯烃材料呈现一种雾状的光亮的斑点时，表明材料加热过度，通常是焊接太慢或焊接温度过高的结果。

焊条也可为焊接的完善性提供线索。如果它保持原来的形状，说明在焊接过程中施加在焊条上的压力不够。此时如果没有变色，说明焊接速度太快。在 11.4.1 节“外观问题”部分对焊接的完善性有进一步的阐述。作为检测的辅助手段，可以用染料来检查材料焊穿情况，因为合格的焊接不允许焊穿。

11.5.1.2 泄漏测试

当制品是一个容器时，泄漏测试可以用来确定焊接的完善性。根据尺寸的大小，可将容器装满水进行泄漏测试观察或将其浸在水箱里观察气泡，如果有气泡表明空气溢出。也有商业性的泄漏测试装置。

11.5.2 破坏性测试

11.5.2.1 拉伸试验

拉伸试验是检验制品完善性的一种传统方法，并且在塑料工业协会已经建立了如下的步骤。由 4.78mm 的原料构成一个 203mm×152.4mm 的测试样品。从中间截断，加工成两个内角为 60°、根隙为 0.40mm 的双 V 形槽试样。用小尺寸焊条焊接根隙，其余的用大尺寸焊条完成。试验至少要由五个切成宽为 12.7mm 的样品来完成，

拉伸速率为 0.635mm (0.025in)/min。焊接强度通常表达为初始材料强度的百分比。将要暴露在化学品或高温环境下的制品暴露在相同的环境后再进行试验。

11.5.2.2　弯曲试验

以与拉伸试验样品相同的方式准备好样品。当它们还热的时候以焊缝为轴将其弯曲两次。熔珠应该黏附在板材的斜面上。相同的试验应该由焊接后 24h 的拉伸试验样品来完成，它应该在用手弯成 90°的情况下不容易折断。如果基材先于焊缝折断，说明焊接点是合格的。

11.5.2.3　焊条取出试验

使焊条伸出焊接区域且当它仍热的时候拉它，如果填充的焊条从基材上拉下前断了，说明焊接较好。为了测试焊条中间部分，在它冷却以后用刀或剪刀拉它，或用锤或凿子把它凿下来。如果弄下来的部分含有少许基材，说明焊接的坚固。为了进行试验，用有色的焊条使焊接检测变得更容易。

11.5.3　化学试验

将焊接好的试验样品浸在丙酮里 2～4h，会使残余应力的部分胀大。不完善的接头会与基材分离。分层和碎裂表明材料有缺陷。恰当的焊接熔珠即使是将其浸在丙酮中以后也难于将其与接头分开。

11.5.4　火花试验

容器可用火花试验的方法进行泄漏测试。将一高压电极放置在焊接件一边，一传导材料放在另一边。当加上电流时，火花会穿过焊缝上的任何小孔。

11.6　应用

由热气体焊接在一起的最常用的是挤出管材的结合。热成型和滚塑成型制品偶尔也进行热气体焊接，热气体焊接适用于由这些工艺制造的大型容器的接头配件的焊接。通常尺寸足够小、批量很大的注射模制品以更高的设备投入来达到更快的生产。结构泡沫制品有一层相对较薄的固体材料，使其不适合焊接。热固性材料不能进行气体焊接。

热气体焊接通常用在建筑业的管道系统、罐、机罩等。管道几乎是热气体焊接技术生产的制品最大的使用者。在船舶工业和汽车工业中也有所应用。这项技术在管道设备、船舶和机动车车体的修理中最常用。

11.7　资料来源

11.7.1　焊条

V & A Process, Inc., 1230 Colorado Ave., Lorain, OH 44052, (440) 288-8137, fax (440) 288-2323

11.7.2 焊接设备

Kamweld Technologies, 90 Access Road, Norwood, MA 02062, (781) 762-6922, fax (781) 762-0052, www.kamweld.com

Laramy Products Co., Inc., P.O. Box 1168, 40 Sandy Lane, Lyndonville, VT 05851, (802) 626-9328, fax (802) 626-5529, www.laramyplasticwelders.com

Leister Technologies LLC, 1253 Hamilton Parkway, Itasca, IL 60143, (630) 760-1000, fax (630) 760-1001, www.leister.com

Wegener North America, Inc., 16W231 S. Frontage Rd., Unit #12, Burr Ridge, IL 60527, (630) 789-0990, fax (630) 789-1380, www.wegenerwelding.com

11.7.3 焊条和设备

Seelye, Inc., 333 Enterprise St., Suite C, Ocoee, FL 34761, (800) 258-2936, (407) 656-6677, fax (407) 656-5244, www.seelyeinc.com

第 12 章　感应/电磁焊接

12.1　概述

感应/电磁焊接利用的是磁性材料在高频交替电场的作用下生热的原理。在它的大部分应用中，把金属嵌件或金属复合材料的预成型品放在接头内并被焊接在零件内。偶尔电流也用来加热定型模，这种定型模的尺寸、形状及位置已经确定，且用其他方法难以加热。感应电磁焊接是可以实现在接头区域的非接触焊接的两种技术之一（另外一种是激光焊）。

这种焊接方法常用于无定形和结晶型两种热塑性塑料的连接。在有些情况下，不同的塑料和热固性塑料也可彼此焊接在一起，也可与其他材料如纸性材料、木材、陶瓷材料及铝焊接在一起。热塑性弹性体与泡沫材料和填充材料一样都可以应用在接头上，其材料中填充材料可占 65%，其他焊接方法对于如此多填料因没有足够用来焊接的高聚物而无法焊接。某些应用还可得到美国食品及药物管理局的批准。

感应/电磁焊接可对大型制品进行焊接，实际上出现了长达 6m（20ft）的焊接线。这种方法也根据经验在修理钢结构时使用复合材料，同时也广泛用于无菌食品包装的密封。它也可对像汽车尾灯这样的异型表面进行焊接，比热板焊接更有优势。这个技术可以产生隐藏接头，并可对不规则的表面进行补偿。可实现密封且焊接强度也很高。感应电磁焊的其他优点是对加热、高产量及低操作成本的精确控制，这种方法的负面因素就是电磁材料（消耗在每个焊件上）和它的嵌入的费用。这种材料可成为回收的污染物，尽管嵌件通常较小且铁磁材料很少超过嵌件本身 15%。这种方法的拆卸是可逆的。它在电场内也不适合与其他金属嵌件或带有金属嵌件的电子元件进行生产。这种方法可对注射成型、滚塑成型、结构泡沫塑料成型、吹塑成型、挤出成型或热成型制品进行焊接。

12.2　优点和缺点

12.2.1　优点

（1）生产率高　感应焊接是快速热塑性塑料装配方法之一，它的焊接时间在 1～10s 之间。旋转台可加快装载与卸载速度，操作成本低。

（2）接头强度　感应焊接可达到很高的焊接强度。

（3）其他零件的夹持　在两个进行感应焊接零件之间可以夹住其他零件，只要它们的位置不妨碍焊接。

（4）永久性和高黏合强度　感应焊可以实现具有高黏合强度的永久装配，在不破坏零件的情况下无法再将其拆开。接合区域不会发生蠕变、冷流、松弛应力等效应和其他环境限制，即使在设计的其他零件承受载荷时也会发生在别处。由于材料有所限制，一旦零件完成焊接，几乎不用关心材料的热膨胀和水分吸收的差别。在理想状态下，接合强度有可能与周围强度相同。

（5）再打开能力　感应加热可用来将接头处再次打开，对于回收的目的来说，这一作用尤为有用。

（6）带有大量填充物的相同材料　感应焊接可处理大部分热塑性材料，包括有高填充物的树脂和结晶型聚合物（聚丙烯或许是最容易使用这种焊接方法的材料）。对固体部分的快速加热可减少降解的可能性。

（7）不同材料　感应焊接在多数情况下可有效地对不同材料进行焊接。

（8）形状自由　只要有足够的空间使线圈靠近接头，感应焊接实际可用来焊接任意形状的异型零件和壁较薄零件。接头隐藏也是有可能的。

（9）密封　感应焊接可以实现密封焊接。

（10）空气清新　与胶黏剂连接和溶剂连接系统不同，本方法不需要排除毒气的通风设备。

（11）加工自由　几乎所有的由热塑性塑料加工方法（包括板材的加工方法）制成的零件都可进行感应焊接。

（12）大制品焊接能力　当使用间断性或连续性的焊接方法时，零件尺寸的大小几乎是没有限制的，在一个周期内可以焊接长达 6m（20ft）的零件。

（13）非破坏性的接头检验　可以用 X 射线来确定在焊接区域内金属或金属氧化物的存在。

（14）宽松的公差范围　熔化的电磁材料流入零件间的空隙中，因此使不规则表面制品适应焊接，于是允许有较宽松的公差范围。

（15）热量的精确控制　从接头内金属流出的热量可以进行精确地控制。

12.2.2　缺点

（1）附加材料　感应焊接使用附加的材料（以预成型、金属丝、筛网等形式），这项费用不可忽略。因此，这一技术必然要比不需要这些材料的其他方法昂贵，同时回收也更贵。

（2）形状限制　感应焊接只能应用在线圈可靠近接头的场合。

（3）额外的安装操作　感应焊接需要在焊机的紧固装置上放置三个零件：两个要焊接的零件加上铁磁材料。

（4）集中应力　在接头处将金属嵌入塑料可能引起应力。

（5）金属嵌件　在电磁场内金属件也会被加热。

（6）初始成本　设备与最佳线圈构造的开发使费用会很高。

（7）聚合物分解　在金属颗粒表面聚合物有可能会分解。同时，如果金属颗粒是正价铁，它们将生锈。

（8）安全性　在感应场内其他装饰品（戒指、带式扣子、眼镜框等）或者用品（钢笔、铅笔、工具）会变热，如果不注意的话会引起燃烧。

此外，还有一个关于对暴露在电磁辐射线内的工人的潜在危险的问题。当加强能量穿过身体时，会使身体升温。在美国，职业安全卫生管理总局（OSHA）对这类射线有所规定。美国政府工业卫生工作者会议（ACGIH）、美国国家标准协会（ANSI）和电气电子工程协会（IEEE）颁布了对这类射线的指导方针。未来的买家应当要求制造商遵守这些法律和法规。

12.3　设备

如图 12-1 所示，电磁焊接设备有五个基本的元件。

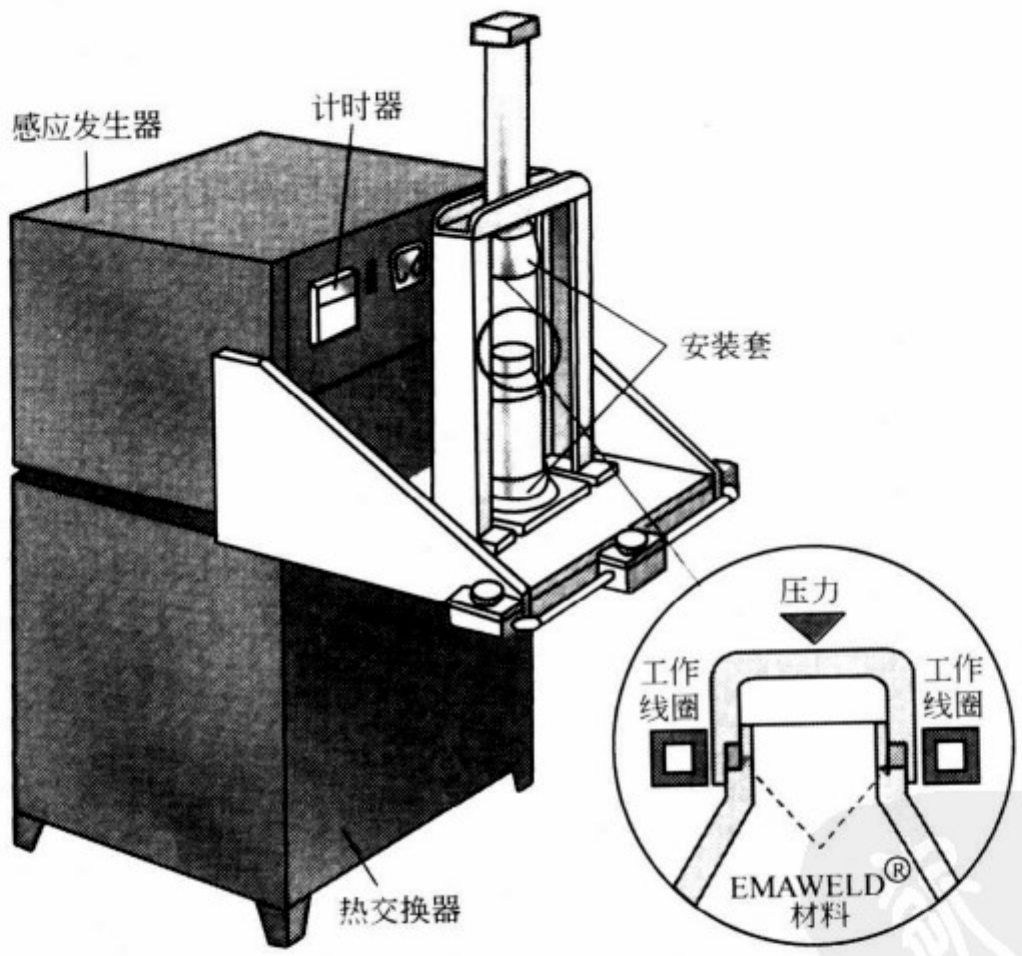


图 12-1　感应/电磁焊接设备

（Emabond 系统提供）

（1）感应发生器　这种元件将 50～60Hz 的电流转换到输出的频率，输出频率在 2～40MHz 之间，但最常使用的频率在 3～8MHz 间。输出功率通常在 2～5kW 之间。

（2）换热器　通常与感应发生器结合成一个元件。换热器使用冷却水来防止热量在铜线圈和发生器上集结。

（3）工作线圈　工作线圈与感应发生器的输出端直接相连并通过高频电流，它

的作用是在接头周围提供电磁场。为了防止在生产过程中产生热量，通常将其做成空心圆或方形圆管以使冷却水能循环通过。线圈的设计对这种方法的效率起关键作用。这种方法的加热周期为 0.1s 是有可能的；然而，这种方法的周期一般在 2～10s 间，大型零件所需的时间就更长些。

(4) 压力锤　使熔化的嵌件材料进入接头型腔内的压力是连接在液压缸或气压缸上的压力锤提供的，通常连接在气压缸上。多数情况下，有一个在上边可移动的安装套与锤连接。对于聚乙烯或聚丙烯压力范围在 0.07～0.17MPa（10～25psi）。而对于像尼龙、聚碳酸酯和聚苯醚等材料，压力范围在 0.07～0.86MPa（10～125psi）间。

(5) 安装套　安装套是装配过程中夹持零件的紧固装置。根据接头的设计，可能上边有一个，下边也有一个套，或者是只有下边一个。安装套由非传导材料如酚醛树脂或环氧-玻璃纤维制成。为了避免在接头区域磁通量密度的减少，线圈附近的金属元件必须进行恰当的屏蔽处理。因此，在可能的情况下用线圈来提供压力，可以省去上面套。

12.4　加工方法

图 12-2 说明了这种加工方法：图中所示的电磁嵌件放置在需要焊接的零件内，定位在下面的安装套上，配合件被固定在上面可移动的安装套上，气缸带动可移动的套降到使嵌件夹在两零件型腔中的一点。这一阶段接头的细节如图 12-3 中“焊接前”部分所示，然后向感应线圈提供能量，产生电磁场使嵌件熔化。“焊接中”描述的是起作用的线圈将嵌件熔化的过程。上面的压力使熔化的嵌件像压制成型似的充满型腔。配合件接头分界面上形成一条焊缝，最后的接头如图中“焊接后”部分所示。

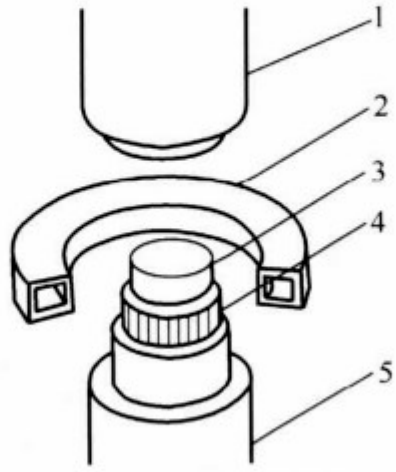


图 12-2　感应电磁焊接工艺
1—上件放在上安装套内；2—线圈；3—下件；4—电磁嵌件；5—套

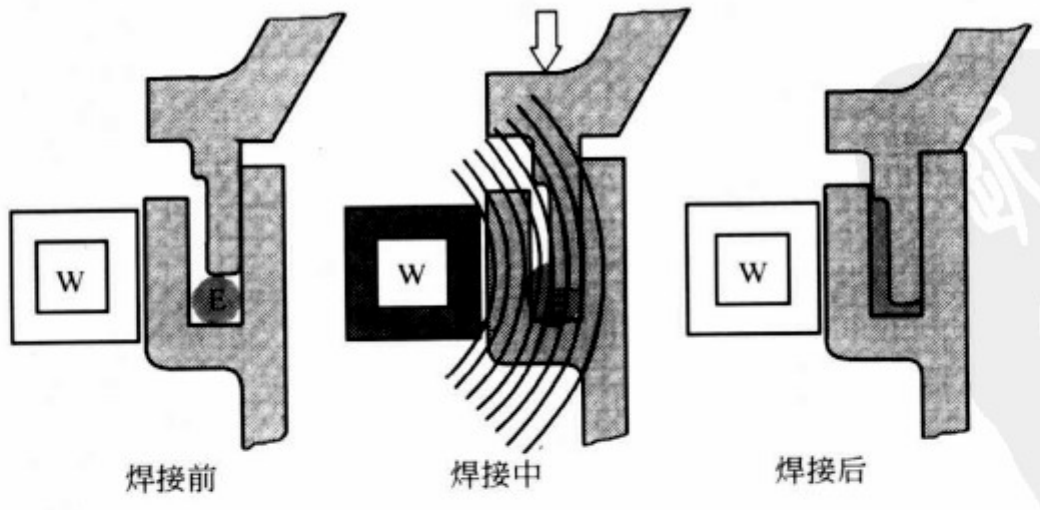


图 12-3　焊接阶段
(Emabond 系统提供)

12.5　线圈

焊接的速率部分取决于线圈的类型。接头的形状决定线圈的结构，因为线圈必须尽可能地靠近接头，以达到最高效率。线圈通常由尺寸范围在 3.18～9.53mm（0.125～0.375in）间的圆形、方形或矩形管制成。大尺寸准许通过更多水能实现更好的冷却效果。由于这一原因，不提倡使用最小尺寸的线圈，因为它的加热效果不好，除了特殊情况或加热周期非常短的小零件。选择方管是因为使线圈尽可能接近接头，因为当线圈的偶联距离减少时，电磁场会急剧集中。

线圈有四种基本类型：单圈线圈、多圈线圈、束发夹线圈和分流线圈。

12.5.1　单圈线圈

图 12-4 所示两种单圈线圈。图 12-4（a）所示的简单线圈有在线圈引线末端产生弱场强的趋势；然而，它只需很少的空间且可提供最大的形状设计自由度。一个稳定的水冷反应器放在内径上，通过集中经过接头的电磁场来改善加热的效率。这将对引线处的冷斑有所帮助，而图 12-4（b）中所示的交叉搭接线圈会更有效。

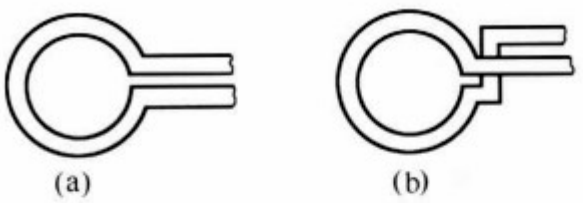


图 12-4　单圈线圈

（a）简单的线圈；（b）交叉搭接线圈

12.5.2　束发夹线圈

图 12-5 中所示的束发夹线圈是单圈线圈的一种改变，它用来焊接平板或是两平板装配的周边，使支柱底板或托盘综合设计的这种线圈通过减小线圈与零件厚度间的偶联距离来集中场强。结合线必须在螺旋线圈的内径里，因为最大场强在线圈内部而非外部。束发夹线圈已制成长达 4.75m（15ft）和多种不规则形状。它们经常作为带有可移动的和固定平板的压力作用下口模使用，并且对长平板的焊接非常有效。对于玻璃复合结构元件的周边密封及类似的应用它们也同样划算。

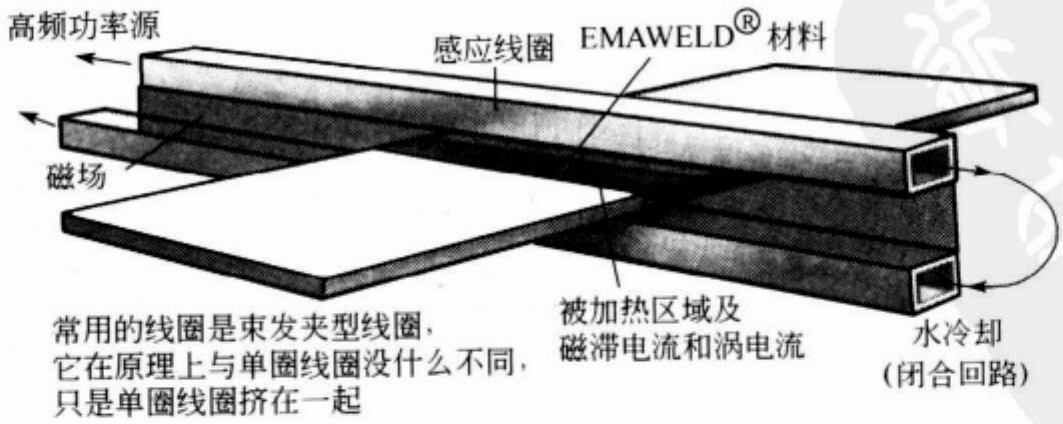


图 12-5　束发夹线圈

（Emabond 系统提供）

12.5.3 多圈线圈

图 12-6（a）所示的螺旋形或柱形线圈是最常用的一种多圈线圈，最常用的圈数是两圈。通常理论下，多圈螺旋线圈的长度不应超过其直径的 3～4 倍。

焊接圆形容器用图 12-6（a）所示的螺旋或柱形线圈，不规则形状（圆锥形、方形、矩形、D 形等）可以用符合它们形状所设计的线圈来焊接。焊接平坦平面或大型表面用盘形线圈［图 12-6（b）］。

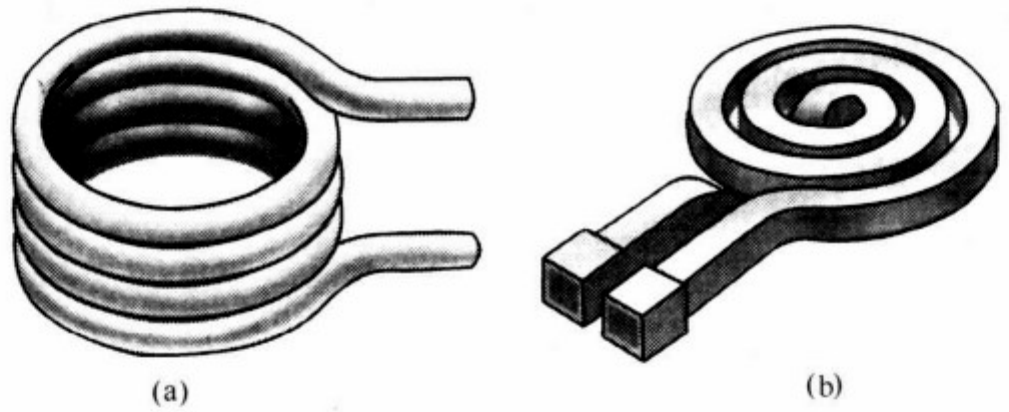


图 12-6 多圈线圈

（a）圆柱形线圈；（b）盘形线圈（Emabond 系统提供）

12.5.4 分流线圈

在多数情况下，焊接前后对零件的处理比焊接所花费的时间要长。有时线圈会阻碍简单零件的安装和移动。这些问题可以通过将线圈分成两个部分来缓解，这两部分用手动或气缸来移动其位置。大型平坦的表面已经用 1.60mm 铜板制成的线圈进行焊接。它们对大型管件或有接近结合线限制的零件（如法兰管件）也有效。

12.5.5 其他形式的线圈

在某些情况下，很难将空心铜管弯成所需要的形状。如图 12-7（a）所示，线圈可以用带有黄铜制成的冷却水管的铜板或实心铜棒制成，利用这一想法可以制成如图 12-7（b）所示的有多分支的线圈。此外，当感应加热线圈放置在由非导电材料制成的模套里时，线圈可用来形成套和压力锤。图 12-7（c）所示为另一种制作焊接板制品和法兰制品的方法。

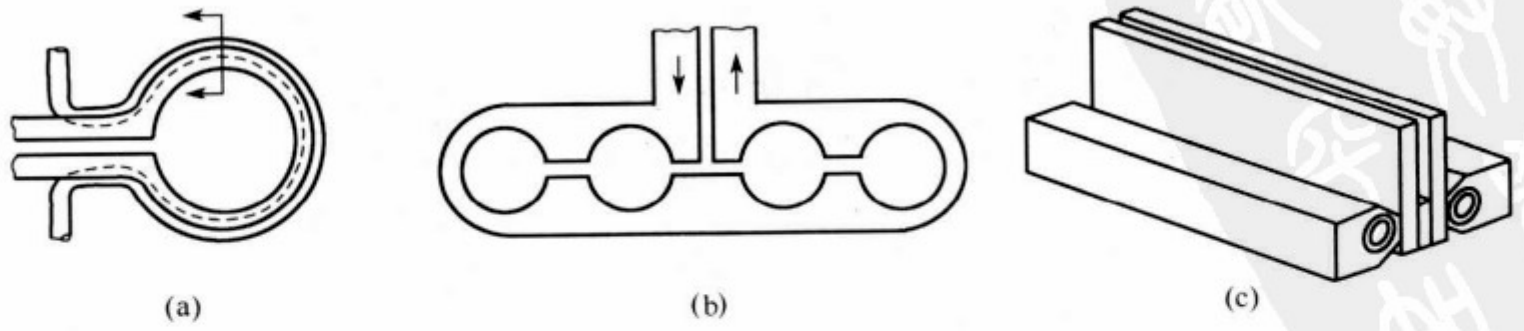


图 12-7 特殊线圈

（a）在实心工作线圈上的铜管通水冷却；（b）实心多分支线圈；（c）内部线圈

12.5.6　线圈定位

从线圈到接头的距离为偶联距离。由于场强的变化与嵌件和线圈间距离的平方成反比，所以偶联距离应尽可能小。实际上，当线圈可提供向下的压力时，它与嵌件相接触是可取的。否则，1.60mm 的距离被认为是近偶联。工作线圈根据每种场合特设设计的，选择方管是因为它使电磁场能更接近接头。设计的线圈必须防止产生电弧及超载。线圈可以进行恰当的定位是理想的电磁焊之一。

12.5.7　磁通量集中器

感应场的密度可以通过铁素体、叠层结构或粉末状的磁电材料的使用来进行控制和集中。在安装合理的情况下，加热功率密度将超过基础线圈 4 倍。这也可使周期更快，屏蔽磁场、加热方式的控制、或者是使用更便宜的设备产生更少的功率。虽然磁通量集中器对热处理和金属的黄铜焊接都有相当大的好处。在塑料焊接中很少有其应用场合，因为较低的温度需求导致了很短的周期甚至不使用磁通量集中器。

12.6　材料

12.6.1　聚合物

感应焊接主要针对热塑性塑料，它们中多数可与自身进行焊接。在一些情况下，不同的聚合物可进行感应焊接。表 12-1 说明了一些材料的相容性。

表 12-1　材料的相容性（用●表示）

聚合物	ABS	聚甲醛	丙烯酸酯	纤维素	离子键聚合物(Surlyn)	尼龙 66、尼龙 11、尼龙 12	聚丁烯	聚碳酸酯	聚乙烯	聚苯醚 PPO(Noryl)	聚丙烯	聚苯乙烯	聚砜	聚氯乙烯	聚氨酯	SAN	热塑性聚酯	热塑性弹性		
																		共聚聚酯	苯乙烯共聚物	烯烃类
ABS	●		●					●								●				
聚甲醛		●																		
丙烯酸酯	●		●					●				●				●				
纤维素				●																
离子键聚合物(Surlyn)					●															
尼龙 66、尼龙 11、尼龙 12						●														
聚丁烯							●				●									
聚碳酸酯	●		●					●				●	●			●				
聚乙烯									●		●								●	

续表

聚合物	ABS	聚甲醛	丙烯酸酯	纤维素	离子键聚合物(Surlyn)	尼龙66、尼龙11、尼龙12	聚丁烯	聚碳酸酯	聚乙烯	聚苯醚PPO(Noryl)	聚丙烯	聚苯乙烯	聚砜	聚氯乙烯	聚氨酯	SAN	热塑性聚酯	热塑性弹性		
																		共聚聚酯	苯乙烯共聚物	烯烃类
聚苯醚 PPO (Noryl)										●		●								
聚丙烯							●		●		●									●
聚苯乙烯			●					●		●		●				●				
聚砜								●					●							
聚氯乙烯														●						
聚氨酯															●					
SAN	●	●						●				●				●				
热塑性聚酯																	●			
热塑性弹性体																				
共聚聚酯									●									●		●
苯乙烯共聚物																			●	
烯烃类										●								●		●

注：图中记号是指不同的热塑性塑料能够焊接（例如 ABS/丙烯酸酯、ABS/聚碳酸酯），对于几乎所有材料，EMAWELD®工艺都可以使用。

来源：源自 Emabond 公司提供的数据表。

12.6.2 电磁材料

电磁材料可以是一种金属隔板嵌件或分散在液体中的电磁材料的亚微米级颗粒或是选择与焊接材料有亲和性的聚合物。电磁材料或是特种铁素体、石墨粉、不锈钢和氧化铁。填料的种类和颗粒大小由最终使用环境及所需要的物理性能决定。当使用具有磁性的材料时，它们的能量损失会滞后且成旋涡电流。达到居里点时，磁性作用消失，其涡（电）流的损耗成为唯一的热源。通过产生磁滞和涡电流，损耗能量，同时产生热量。从非磁性材料上发出的热感应很慢，因为涡电流损耗是它们的唯一热源。当磁性材料混入聚合物后，可以各种形式供应，如模塑成型的制品、挤出的异型材、模切垫圈以及带子（图 12-8）。如果聚合物是一种吸湿材料，在焊接前需进行干燥。在标准材料不

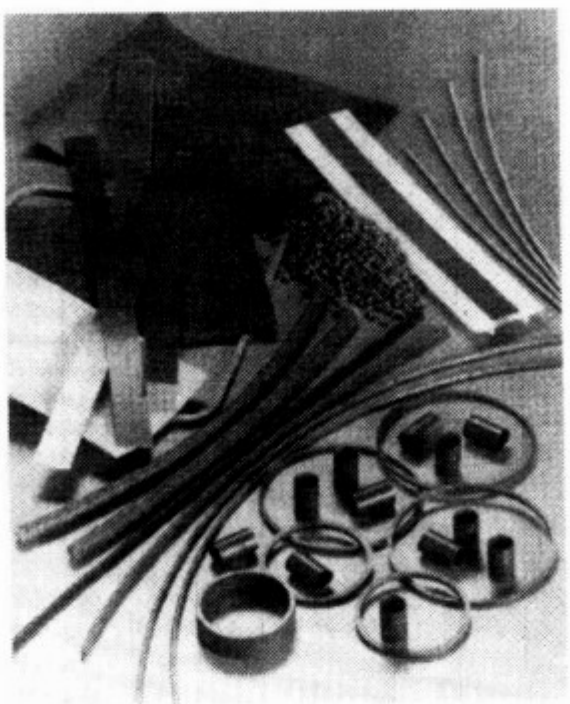


图 12-8 预成型
（Emabond 系统提供）

适合的情况下，如果体积有保证的话，可定制嵌件。

12.6.2.1　模塑预成型

对于大批量生产来说，实际上可直接在匹配零件中的一个内完成预成型。这一加工方法的解释请读者看第 13 章“嵌件和多零件成型”。

12.6.2.2　热熔电磁材料

热熔胶黏剂可以用作预成型嵌件材料，它们已被含有电磁颗粒材料进行改性。传统的做法是将热熔胶黏剂应用到要装配的零件中的一个上，并允许其冷却硬化。在压力下用电磁再加热热熔胶黏剂来装配零件。这种方法可以用来焊接由热固性材料制成的零件，并得到中等强度。

12.6.2.3　液态电磁材料

液态电磁材料用来焊接薄膜或薄板。

12.7　接头设计

除了线圈的设计以外，这种加工的有效性的其他主要因素是接头设计。在决定接头设计前要考虑以下几个基本因素。

（1）必要的强度　电磁感应焊接可以提供与周围材料相接近的强度。

（2）密封需求　这种加工时常应用在需要密封的场合。

（3）接头的定位和外形　接头必须定位在线圈可接近的位置，并且它的形状有助于线圈的形成。

在电磁感应焊接的接头设计中，我们必须有这样一种思想，就是嵌件材料会熔化并且沿着阻力最小的路径会填充任何空隙。接头处的压力能够确保所有空隙和不规则表面被填满，并且使整个表面都是湿的。接头必须设计成可容纳熔化材料且可利用向内的压力。这种压力由超出恰好填充完空隙的压制材料的总量决定。在公式中，习惯用 A_1 表示电磁嵌件的横截面面积，这种额外的材料用常数 K 表示，根据不同情况（环境）范围，K 在 1.02～1.05 间。空隙的面积用 A_V 表示。

$$A_1 = KA_V \tag{12-1}$$

式（12-1）可以用在带有空隙的接头。然而，不是在所有情况下都使用这种接头。对于只有一个可控表面如吹塑成型、滚塑成型和热成型（因为没有型芯侧），它们实现起来特别困难，除非它们是双壁的。这些也是方法，在这里，接头所需的公差只由困难程度掌握。

图 12-9（a）所示的平面-平面接头可以用在上述加工方法制成的零件上，因为端面对于接头来说足够均匀。然而，对于大多数这种应用，它不适合于密封。同时，电磁材料的边缘可以看得见，除非法兰足够大，使其远离边缘。结构应用中长连续的焊缝通常使用这种接头。它要求有平坦的嵌件或带嵌件。

圆形截面的嵌件可以提供更好的控制。它可放置在 V 形槽中如图 12-9（b）所示中的平面-V 形槽接头。图 12-9（c）中所示的半圆槽可以对嵌件进行更精确的定

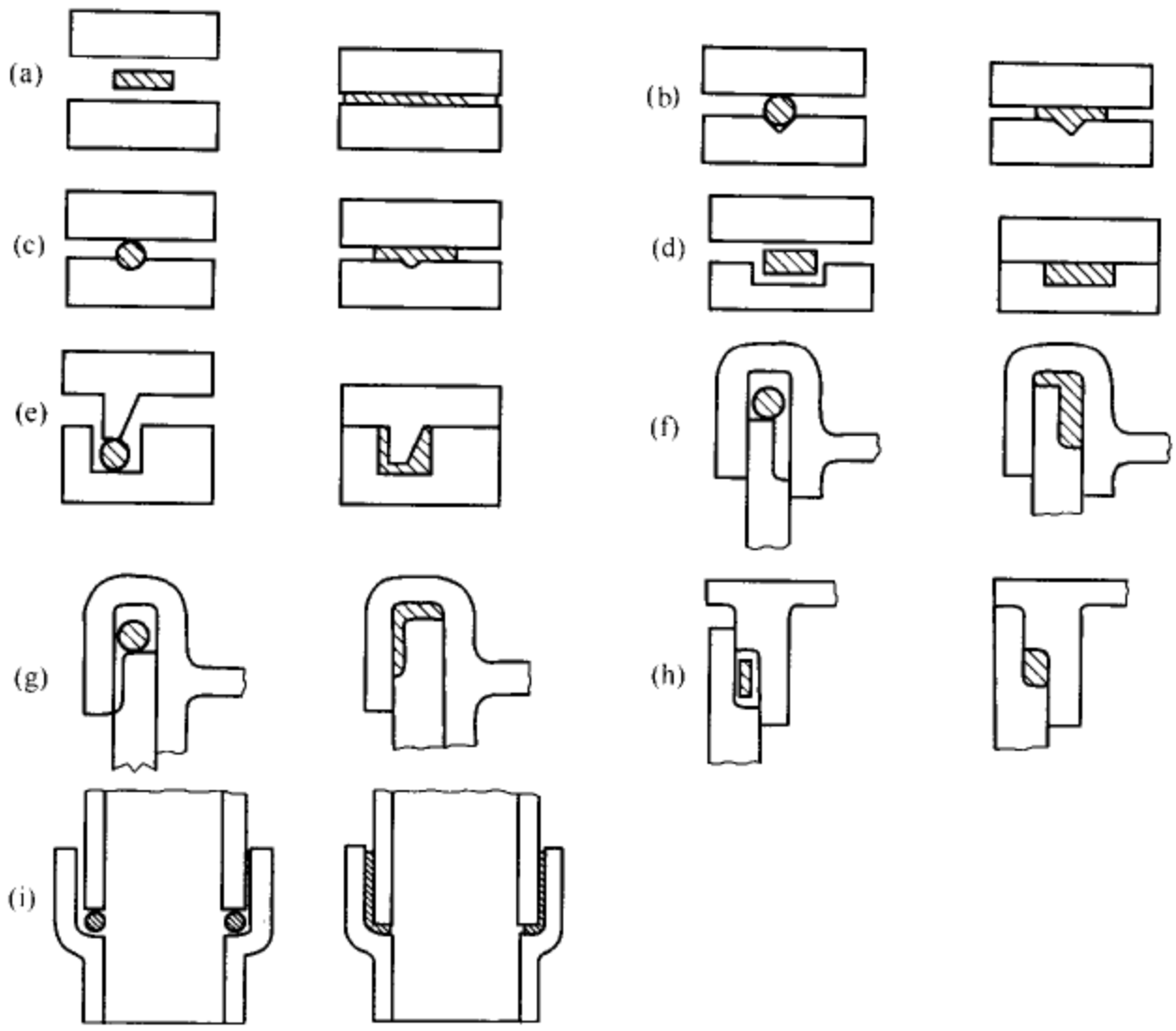


图 12-9　接头设计

（a）平面-平面；（b）平面-V 形槽；（c）平面-半圆槽；（d）平面-槽；
（e）舌与槽；（f）内剪切；（g）外剪切；（h）阶梯式；（i）软管与阶梯式配合

位。这种设计可以用在恰好能够将嵌件放置在吹塑或滚塑成型容器上钻的孔中。在机车工业常用矩形槽来安装汽车嵌板。然而，图 12-9（d）所示的比例是从需要承受不断的洗碟机的清洗的电加热食品服务托盘中得到的。零件是由聚苯醚经注射成型制成的。

如图 12-9（e）中所示的舌与槽的设计很适合注射成型制品，它可用于密封和压力接头的情况下，因为它可提供最高的焊接强度。由于材料完全包含接头处，所以可以得到极好的接头外观。这种设计已经能够应用在医疗设备上。

一般而言，最强的接头形式是剪形接头。图 12-9（g）是这种接头设计的外部描述。这种方法可用来焊接吹塑成型或滚塑成型容器。然而，它最适合外部承受载荷。图 12-9（f）是对于不能在吹塑成型的瓶颈内形成的高压密封的更好的设计。公式（12-1）可以应用在这些设计上。

图 12-9（h）所示的阶梯式接头是内部接头的另一种形式，它是由剪形接头派生出来的，可提供极好的密封，且能够焊接出有很好的宽松公差的接头。它广泛应用在小的注射成型制品上。接头的另一种形式如图 12-9（i）所示，应用在软管的装配上。在这种情况下，真空吸尘器及水池上的聚烯烃软管焊接到 ABS 上，用心轴来控制内径。代表性接头设计如图 12-10 所示。

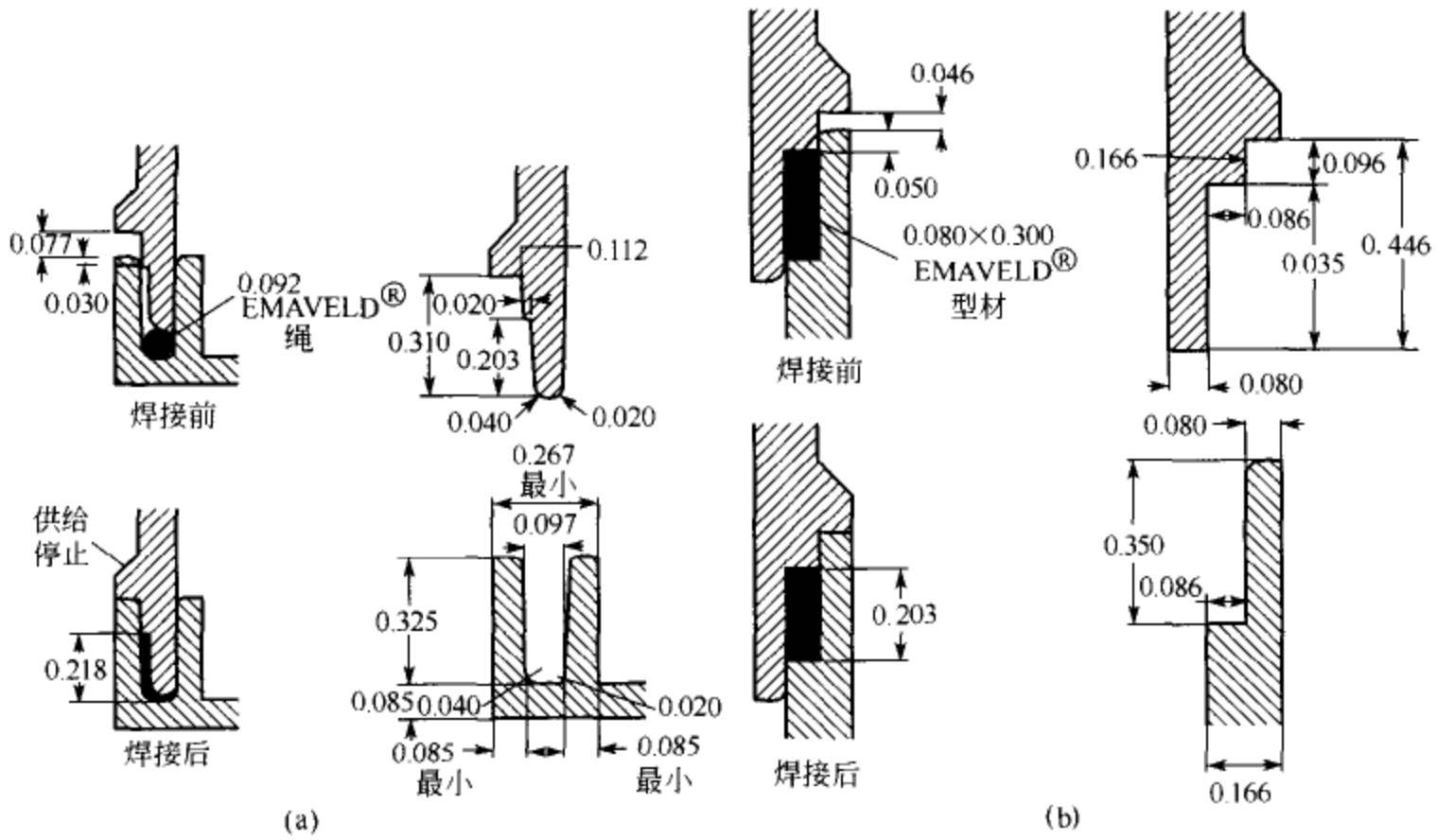


图 12-10　典型接头设计（尺寸单位：in）

（a）内剪切式接头；（b）外剪切式接头（Emabond 系统提供）

12.8　封装

封装是装配不可焊接材料的一种方法。图 12-11 所描述的是一个金属铆钉被夹在两个聚烯烃压片下。

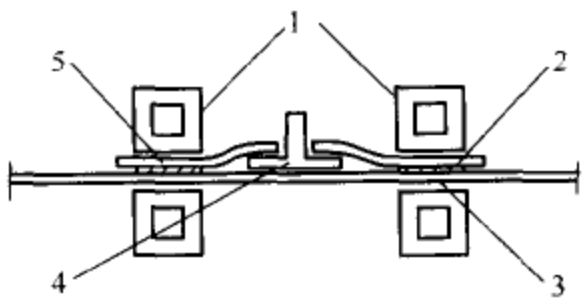


图 12-11　封装

1—可移动线圈；2—电磁材料；3—片料；4—金属铆钉；5—耳料

12.9　薄膜和片材

厚度范围在 0.05～5.08mm（0.002～0.2in）的薄膜和片料可以进行连续性或间歇性的电磁焊接。

12.9.1　间歇密封

薄膜和片料的间歇密封如图 12-12（a）所示。电磁材料放在两片材中间，并用

可移动线圈夹紧以提供密封的压力。将线圈提起，并将下两片进行密封的片料放在该位置上。伴随着与该方法相竞争的电介质密封方法的变形在这种方法上没有出现。然而电介质密封方法没有附加电磁材料的费用。

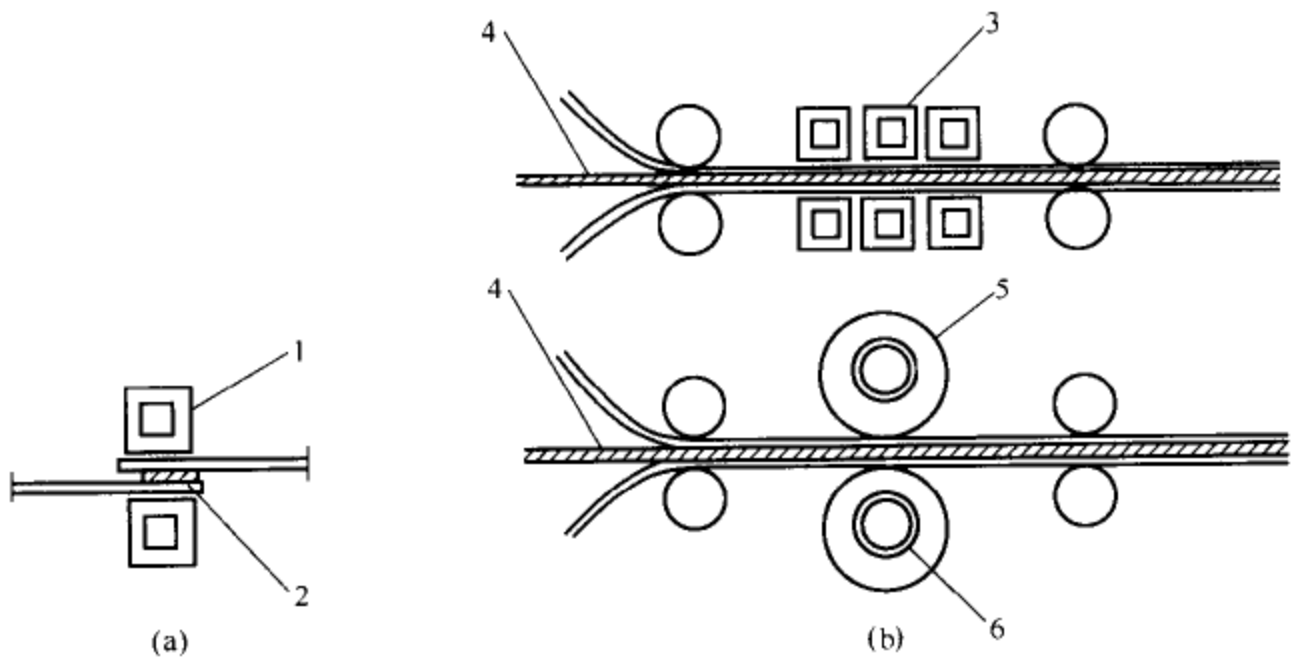


图 12-12　薄膜和片材焊接

(a) 间歇操作；(b) 连续密封磁材料

1—可移动线圈；2—电磁材料；3—工作线圈；4　电磁材料；5—导电压辊；6—水冷感应体

12.9.2　连续密封

图 12-12 (b) 所示的为连续密封，它是将窄带或熔珠形式的电磁材料放置在两薄膜或片料中间进行密封的。这一结合体在滚筒中传输，然后夹在线圈中，接着被压在另一套滚筒中。总表面积和黏结率由电磁材料的横截面积决定。然而速度已经达到 30.48m/min。

12.10　塑料中插入金属

感应加热在热塑性材料中插入带螺纹的金属嵌件这种方式的应用在第 8 章“紧固件和嵌件”中进行了讨论。然而，对于这一思想有其他的应用。图 12-13 所述的是将一钢杆插入塑料轴承中的应用：轴杆固定将轴承放下套在轴杆上，用多方位线圈一次可对两个或更多轴杆进行加热。

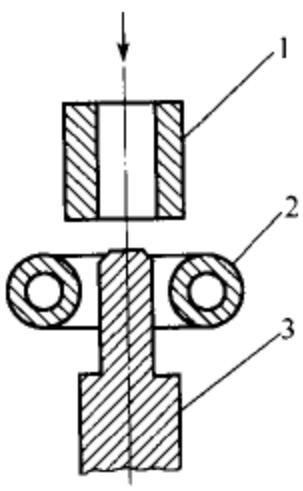


图 12-13　金属轴杆插入塑料轴承

1—轴承；2—线圈；3—金属轴

这一应用类型的另一个例子就是塑料把手安装在钢制餐具上。这种应用使用扁平的线圈套放在刀柄上，根据设计的不同，分别可在插入前和插入后对柄脚进行加热。

12.11　资料来源

Ameritherm Inc., 39 Main St., Scottsville, NY 14546, (800) 456-HEAT, (585) 889-9000, fax (585) 889-4030, www.ameritherm.com

Emabond Systems, Ashland Chemical, Inc., 49 Walnut St., Norwood, NJ 07648, (201) 767-7400, fax (201) 767-3608, www.ashchem.com

Fluxtrol Manufacturing, Inc., 1388 Atlantic Blvd., Auburn Hills, MI 48326, (800) 224-5522, (248) 393-2000, fax (248) 393-0277, www.fluxtrol.com

Hellerbond Technology Co., 3130 Dunlavin Glen Rd., P.O. Box 20156, Columbus, OH 43221-4416, (614) 527-0627, fax (6140) 527-0627

S.P. Industries, 210 Maple Pl., Keyport, NJ 07735, (201) 739-6994

第 13 章　嵌件和多零件成型

13.1　概述

嵌件成型是将一个或更多附加的零件直接模塑到主零件内，因而省去了进一步的安装操作。应用中绝大多数是将带螺纹的金属嵌件直接模塑到零件中，其他许多形式的嵌件（如电接线盒、金属印花、装饰嵌板）也采用模塑成型。当嵌件的后成型插入大大替代了螺纹嵌件直接模塑在制品中，嵌件成型比例在增加。这对热塑性塑料尤其如此，就在编写本书时，超声波插入成为首选的插入安装方法。

多零件成型可以用来使两种不同材料的部件成型在一起，如有弹性覆盖层的钢笔筒或两种颜色的部件，又例如旋钮上的数字等。术语“双色成型”常被使用，因为大多数应用的目的是为了得到第二种不能去掉的颜色或是应用在不能使用其他装饰方法的轮廓件上。然而，部件的数量不限制在两个，也不必只是单单为了获得第二种颜色。嵌件与多零件成型唯一的真正区别就在于前者是将要连接的零件放置或是插入在模具内，而多零件成型是在模具内成型。这两种技术不是相互竞争的，因为选择使用哪种方法取决于连接零件的性质和数量需求。

13.2　嵌件成型

嵌件成型包括许多种，每种都有特殊的需求。其中应用最多的包括圆的金属螺纹嵌件、电接线盒、结构增强物及装饰嵌件。剩余分类很广，其螺纹通常安装在特定元件中而不是嵌入在主材料中。

13.2.1　嵌件模塑成型的优点

（1）强度最高　模塑螺纹嵌件与其他嵌件相比，具有更高的抗扭矩和拉伸强度，在某些情况下可能不及螺旋线圈嵌件。

（2）连接不同材料的能力　由不同材料制成的各种嵌件（典型的如金属）可成型在零件中。多零件成型可装配不能够进行焊接和溶剂粘接的塑料。

（3）永久性　零件的连接是永久性的，只有使用破坏性方法才有可能将其分开。

（4）技术要求低　这是一项长期建立起来的技术，无需特殊设备和高度复杂的模具就可实现中等的生产水平。

（5）少量生产能力　在非常低的生产水平下，大多数嵌件不需要阻碍它们应用的昂贵的特殊模具。

（6）高生产能力　通过使用特殊设备也可实现非常高的产量。

13.2.2　嵌件模塑成型的缺点

（1）应力集中　嵌件或要成型的零件必须要认真设计以减少应力集中。

（2）解体回收成本　因为大多数嵌件是金属，在回收废物流程中是致污物，必须在回收前将其熔化去除或砸出来。如果塑料嵌件与基材变化太大，不拆解不能回收利用。

（3）冷却速率与热收缩　金属嵌件与塑料零件在冷却速率与线性热膨胀系数上的区别将使装配时产生环应力，塑料的线性热膨胀系数要大得多，当它冷却时因收缩包在嵌件上。

（4）嵌件成本　螺纹嵌件加上机加工螺钉成本要比无嵌件的自攻螺钉成本高。

（5）加工工艺限制　嵌件可以很容易地成型在注射成型、结构发泡以及传递成型的制品中。它们成型在热成型、滚塑成型及压制成型制品中的能力具有很大的局限性。压制成型螺纹嵌件在成型后需要攻螺纹，因为无法合模以阻止飞边的产生。

（6）嵌件安插　大量的手工装载嵌件是困难且费时的，这两个因素将导致周期时间的不可预测变化。自动加料、装载、分度系统的购买与安装也要花费资金。

（7）制品废品率　嵌件丢失或不当定位会导致废品的产生。

（8）飞边　嵌件尤其是螺纹嵌件在边缘处易产生飞边，成型后处理时必须将它们去除。

（9）模具的损坏　脱落或浮动的嵌件会引起模具严重的损坏，维修或将模具从生产中移出的费用很贵。小嵌件、轻嵌件比大嵌件更易发生此类问题。

（10）预热　为了使大型嵌件膨胀且改善流动与固化效果，必须对嵌件进行预热。

（11）老化效应　材料的松弛会导致嵌件周围老化开裂。蠕变会使嵌件嵌入强度降低，特别是在高温下当塑料膨胀速率大于金属嵌件时。

（12）真空密封　嵌件在没有特别措施的情况下不能进行密封（相关部分见 13.2.7 节）。

13.2.3　螺纹嵌件的设计

模塑螺纹嵌件是很多年来在塑料内得到高强度螺纹的主要方式，并且成为嵌件成型技术中可能除了电接线盒外应用最多的一种。螺纹嵌件仍然应用在一些场合，特别是应用于热固性塑料上。然而这种方法所固有的缺点要求制模工要探寻成型后安装嵌件的方法。对于热塑性塑料所选择的方法是超声装配，而对于热固性塑料所选择的方法是胶黏结合嵌件压入——只要它们可提供足够强度。然而，存在没有其他切实可行的办法的应用场合，而且除了一些应用中使用的螺旋线圈嵌件外，模塑

嵌件在所有嵌件中可提供最高的抗扭矩与拉伸强度。因而，这些优点可以超过它的缺点。模塑嵌件可用在热固性塑料或热塑性塑料，有无玻璃纤维和其他填充物，然而填充物的使用会引起熔接线问题的增加。

嵌件使成型工艺复杂化，使成型精度高的制品更加困难。熔体必须沿着嵌件周围流动并形成好的熔接线。如果有很多嵌件，且在其周围没有足够空间来供流动，或是如果嵌件位置远离浇口都将使形成理想的熔接线变得很困难。嵌件周围凸台所需的额外热量会导致变形或使制品其他部分的尺寸在公差外。再者，不恰当的放置嵌件和过高的成型压力会使塑料熔体进入嵌件顶部的螺纹，在它们使用前必须将螺纹清理干净。最后，嵌件的缺少或放置位置不正确都将产生废品。所有废品，无论什么原因产生的，在材料回收前必须将嵌件去除。有些热塑性塑料制品是可挽救的，如果不可以，树脂或许可再利用。去除嵌件的费用可增加回收成本，使其超出回收利用的树脂的价值。当采用成型后安装嵌件，报废的模制品可在安装嵌件前进行回收利用。对于热固性塑料零件嵌件成型是更加可取的选择，因为超声装配/热装配难以得到高强度。再者，热固性塑料制品成废品时它就是废料，不管它是否已安装上嵌件。

嵌件成型会在塑料与嵌件的界面上形成应力。模塑嵌件失效最一般的原因可能是在径向压缩应力（环应力）上的材料松弛的延迟效应，它是由冷嵌件周围塑料凸台的收缩引起的，这种效应如图 13-1 所示。它类似于在成型过程中发生在成孔销周围的收缩，尽管成孔销从孔上去掉而嵌件没有。加热嵌件到 88～116℃间是有利的，因为当塑料冷却时，嵌件会随着它们而收缩。然而，由于塑料的线性热膨胀系数远大于金属嵌件，所以这项技术只能解决部分问题。再者，嵌件的加热必须进行谨慎的控制，以维持其紧固性。一般来说，最好避免模塑嵌件与高收缩率的塑料特别是缺口敏感的材料进行加工。

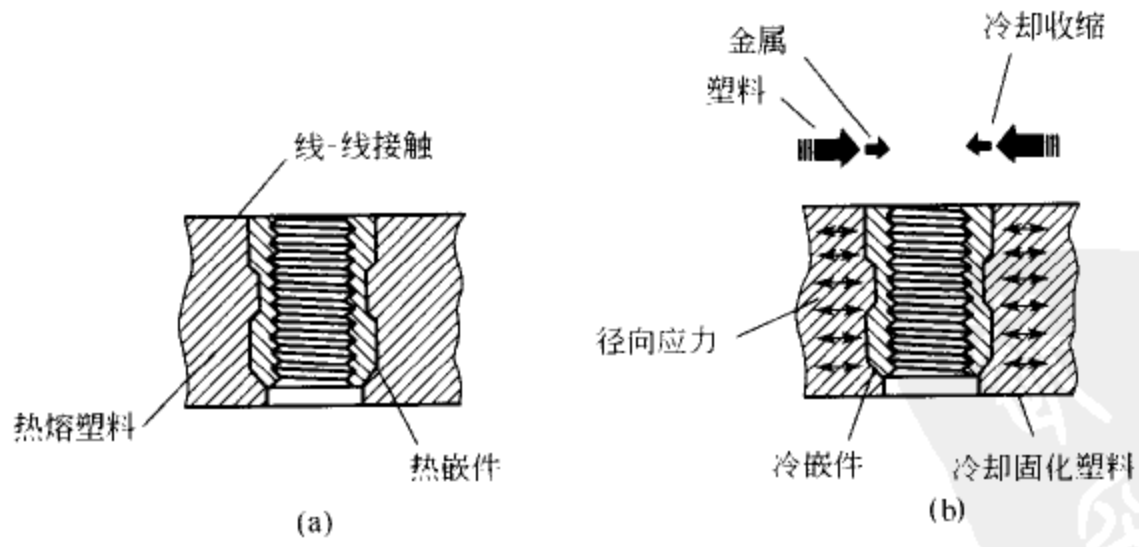


图 13-1　冷却处应力的产生

（a）成型；（b）冷却处径向应力的产生

环应力可用式（13-1）进行估算：

$$\sigma = \varepsilon E_f \tag{13-1}$$

式中　σ——应力；

ε——应变-模具收缩率；

E_f——弯曲模量。

应变接近模具的收缩率，它会随着壁厚的增加而增加，如果给出了收缩率的范围，谨慎的计算要使用最大值。应力可比作材料的拉伸强度。然而，冷却制品时，当塑料缩小的多于金属嵌件时就会产生附加应力。因此，必须控制应变差在制品使用和存储温度范围的较低点。在温度范围的高温处时要检查它的状态，因为当塑料制品的膨胀速率大于金属部件时，材料的拉伸强度会随温度的升高而降低。也应检查材料松弛的数据来决定制品超过预期寿命失效的可能性。蠕变会使嵌件能拔出。考虑到化学侵蚀的可能性及显著的成型应力等，设计时应使用安全因子。或许所选择的材料不适合此应用，因为一些聚合物（特别是具有高收缩率的缺口敏感材料）不适合嵌入嵌件。

嵌件尖锐的外角会成为塑料制品带有高成型应力的内尖角。盲孔嵌件不应有尖角，应如图 13-2 所示，在底部倒圆角以使塑料熔体在嵌件周围易于流动。这一告诫也适用于滚花，它应保持最小，且它的边不应太尖，对于小嵌件深度为 0.25mm 而对于大嵌件深度为 0.75mm 的粗糙的菱形滚花是用来防止转动，而凹处是用来防止拉伸拉出。滚花应该从制品表面以 0.75mm 的最小值开始。为了避免出现缩痕，嵌件底部与制品的边缘之间的距离 Y 应该不小于嵌件直径（D）的 1/6。嵌件周围凸台的壁厚的推荐值与嵌件的检测见第 8 章“紧固件和嵌件”。

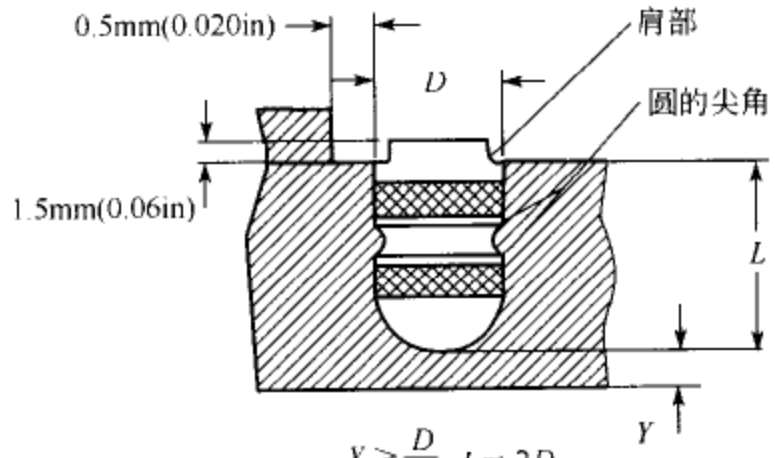


图 13-2　模塑嵌件定位

如果两个嵌件相对成型，它们之间的距离应不小于 3.18mm（0.125in），嵌件绝对不可以定位在距制品内壁 1.0mm（0.040in）近的地方。这是因为嵌件必须放在型芯的孔内，而且金属的厚度不能小于 1.00mm，否则型芯会断裂。成型在制品内的嵌件可以有封闭的末端（防止熔融塑料沿流道进入嵌件）或开放的末端（例如通孔）。在后者的情况下，两端都要有合模沿，防止熔融塑料从流道进入螺纹内，那样它将要再攻螺纹。通过嵌件内孔的长度至少要比塑料壁厚大 0.025～0.05mm。对于凸形的嵌件，这一尺寸将发生在肩部。理想情况下，嵌件的长度（L）应该是外径（D）的两倍。

也可以将嵌件进行修改来适应特殊应用场合。如图 13-3 是与立式套筒一起制成的嵌件，套筒的设计是用来固定如金属接触带的平坦部件的。然后套筒端部翻转将接触带锁紧，如果这一设计是针对电接头的，嵌件应该有轴肩伸出塑料部件的表面。

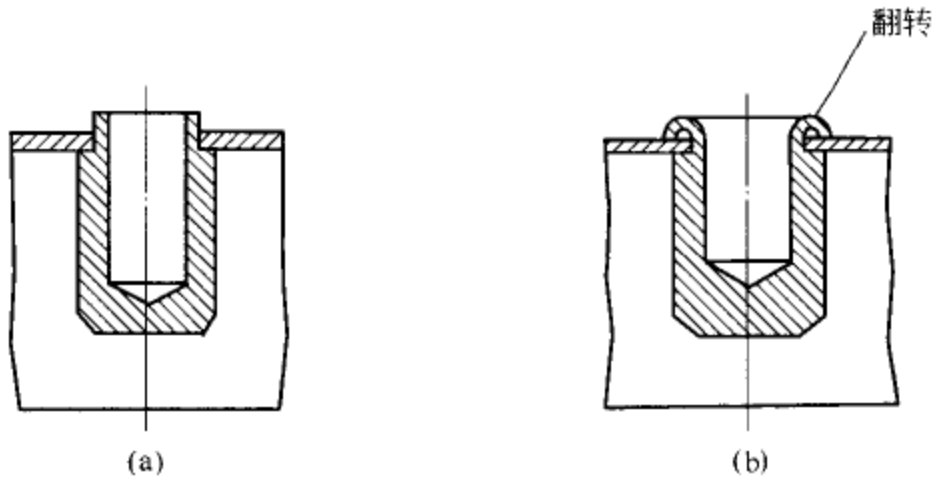


图 13-3　特殊应用嵌件

（a）装配前；（b）装配后

13.2.4　带螺纹嵌件模具设计考虑

嵌件成型中模具的损坏是持续存在的，因为模具可以在嵌件位置不当时关闭，从而引起型芯和/或型腔的损坏。使用低压合模传感器可防止这一类型的损坏。成型前在定模部分设计有销或孔来对嵌件进行定位，它们不会因为夹紧关闭而离开原来的位置，这样可以减小模具的损坏。对于通过嵌件的内螺纹使用模具对边的弹簧加载定位、销对嵌件进行定位，这也可帮助嵌件承受注射压力和注射紊流。然而，我们认识到这种方法不可应用在盲孔嵌件上，而且它对于由与脱模方向垂直或成45°角的壁面定位的直通嵌件（图 13-4）也不总是可行的。设计者应该避免将模塑嵌件放置在这些位置。盲孔嵌件可在销钉上设计棘爪来帮助定位。当嵌件必须由动模一面定位时，在每个嵌件下面应该有顶销来防止嵌件留在销钉上。

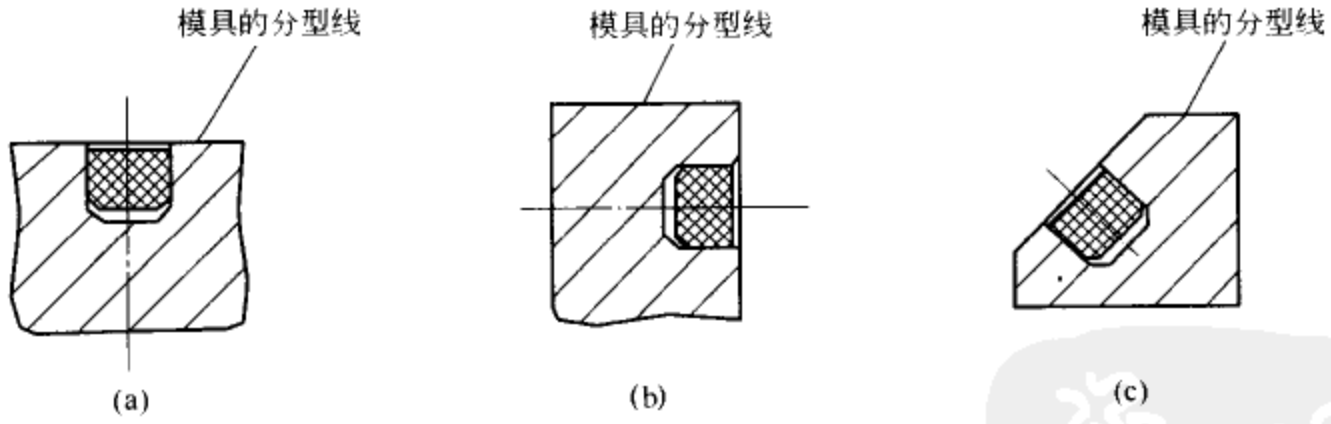


图 13-4　嵌件相对于分型面的位置

（a）与拔模方向相垂直（最优的设计）；（b）平行于拔模方向（一般的设计）；（c）与拔模方向相倾斜（最差的设计，难以成型）

浇口的定位应确保不使第一股聚合物熔体直接冲击嵌件，因为这样可破坏易碎嵌件或使其改变位置。然而，它们应该放置在与嵌件足够近使其接收最后、最热的物料进入模具，允许形成固体熔接痕（相关内容读者可参考第 8 章“紧固件和嵌件”）。理想状态下，浇口的设置应使嵌件处在型腔中流动路径的相对死点处。最

后，嵌件底部不应与它的凸台底部完全平齐。

某些嵌件必须放置在前面讨论的不该放置的地方，这种情况下，嵌件可放在模具移动模瓣上，在每一周期它与零件同时顶出。由于这部分从模具上与制品被顶出，它经常放置在模具的顶出部分。制作多瓣模具来避免在一个给定的瓣从制品上去掉时延迟成型周期，这些瓣必须是锁着的，以确保它们放置在模具内的恰当位置上。

在模具中放置的嵌件的数目越多，成型周期越长。嵌件一般是用手工加载，这阻止成型机的自动循环，因为操作人员在下一周期前必须对成型机进行清理。加载的嵌件越多，周期变数越大。这就迫使操作人员加载所有嵌件都要既快又正确，因为有一个加载不正确或漏掉一个嵌件都会导致对该零件的再加工，并且可能产生废品或使模具损坏。这种错误会导致产品的质量不一。可以使用手动或自动的装料工具来提高加载大量嵌件的速度；然而，对一些模具来说，用两名操作工效益会更好，因为机器时间是最昂贵的因素，这两名操作工完全有能力跟得上成型周期。可设计垂直合模的注射机来实现嵌件成型。因为它们允许嵌件放置在水平定模上，所以在合模时重力使部件保持在原位不动。

对于更大批量生产，通过使用立式的往复式压机（图 13-5）可以缓解这一问题，它垂直打开并且有两个较低的模具部分。嵌件装在开着的一边，而另一边还在成型。两个较低的部分可替换位置，完成的制品被顶出，并在另一边成型时安装新嵌件。这一周期重复进行。可以用旋转台代替往复底板完成上述工作。

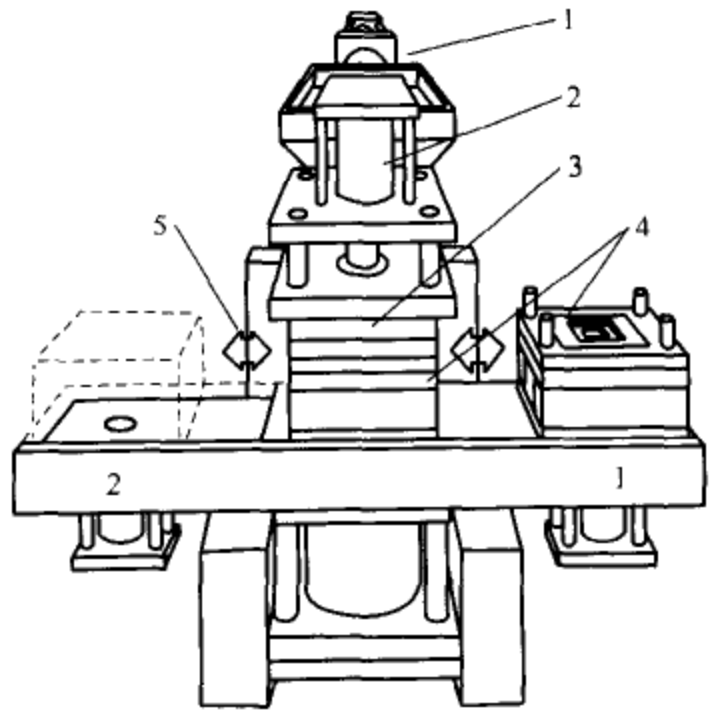


图 13-5　嵌件成型用立式往复式压机

1— 注射成型机筒；2—锁模机筒；3- 上模半模；4—下模半模；5—下模半程移动

滚塑成型模具通常都是薄壁，在这一节还没有将它们引入到本技术中。这些模具的嵌件是手工拧入通过模具的螺孔或安装好的螺母上的，这样较慢，但是这一工艺的周期足够长，从而成型后有足够时间用手工将嵌件旋开。

13.2.5　用户设计的嵌件

很多用户设计的嵌件也在应用。金属嵌件通常用来提供导电性能，但它们也用在各种紧固件和其他如工具刀和方向盘加固物等特殊场合。很多应用使用的嵌件都与标准的螺纹嵌件类似，成型在塑料内的部分可以进行冷锻或者可以成为螺钉零件，唯一的区别就在于伸入零件内的功能端。图 13-6 说明了这类嵌件的一些例子。

由杆状物制成的一些嵌件将一端进行修改（开槽、弯曲、模锻等）得到它伸入模具内时的止动器，这些嵌件只限用于传递成型与注射成型和在熔融温度易于流动

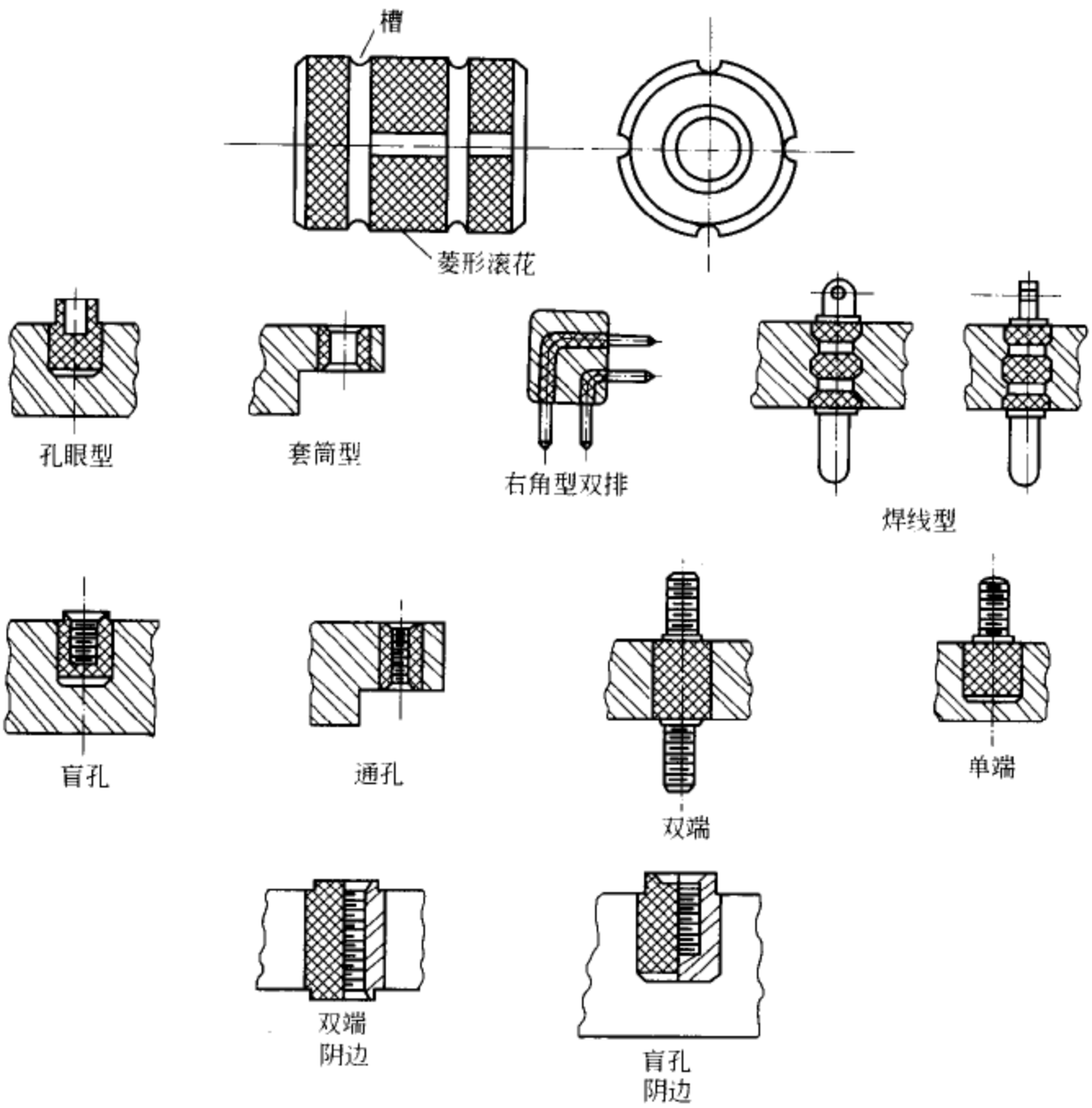


图 13-6　嵌件类型（R. E. Wright 的《热固性塑料模塑成型》1991）

的材料，这样的嵌件如图 13-7（a）所示。

圆柱形嵌件可以拉拔成如图 13-7（b）所示结构，在成型零件内必须提供足够的支撑。对于封闭的和不允许聚合物流入销钉内的嵌件，这些细节应由硬化模具销来实现，从而在闭模时使模具形成巨大的锁模力。传递成型使用非常低的成型压力，并使用邻二甲酸二烯丙酯、环氧树脂及聚硅氧烷树脂来成型这一类型的精密电子制品。

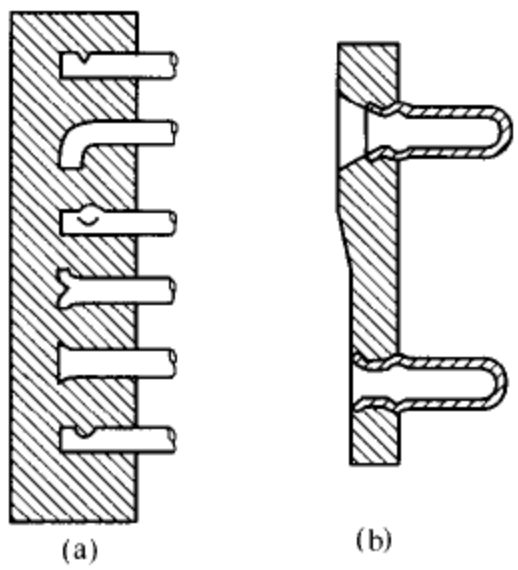


图 13-7　用户设计的嵌件
（a）杆状；（b）拉拔型

当用管式嵌件成型制品时，必须提供特殊的支撑，最容易的解决方法就是使用打孔金属。然而，它常不被接受。内部嵌件可以像图 13-8（a）那样向外展开，而外部定位的嵌件需要有如图 13-8（b）所示向内弯的边。

许多嵌件被冲压在金属外侧，如图 13-9（a）所

示。这些金属必须精心挑选，因为太硬会损坏模具，而太软又容易被成型压力损坏。冲压时使嵌件控制在要求的紧允差内是较困难的，因此这种嵌件最好由定位销进行定位。定位销与嵌件上的孔相配合，而且与支撑销一同起支撑作用[图 13-9（c）]。因为孔的尺寸最容易进行控制，这类嵌件可定位在分型面上或分型面下，并可由图 13-9（c）所示的弯形耳进行固定。如果这种耳状物会削弱制品的性能，可以将凸耳焊到嵌件上实现该目的，但成本会有所增加。

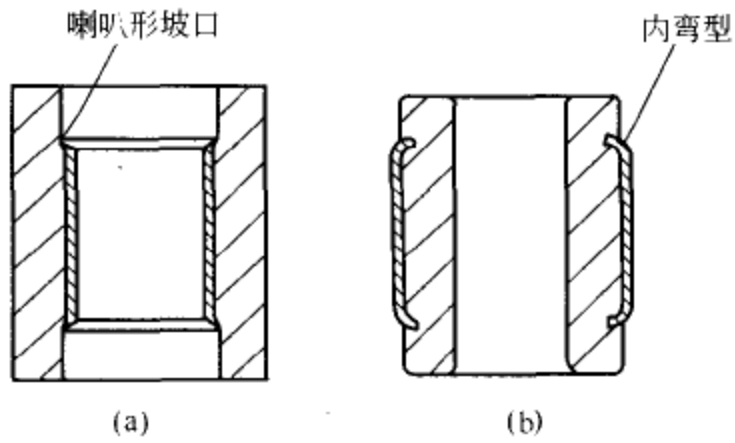


图 13-8　用户设计的管形嵌件

（a）内部-开喇叭形坡口；（b）外部-内弯型

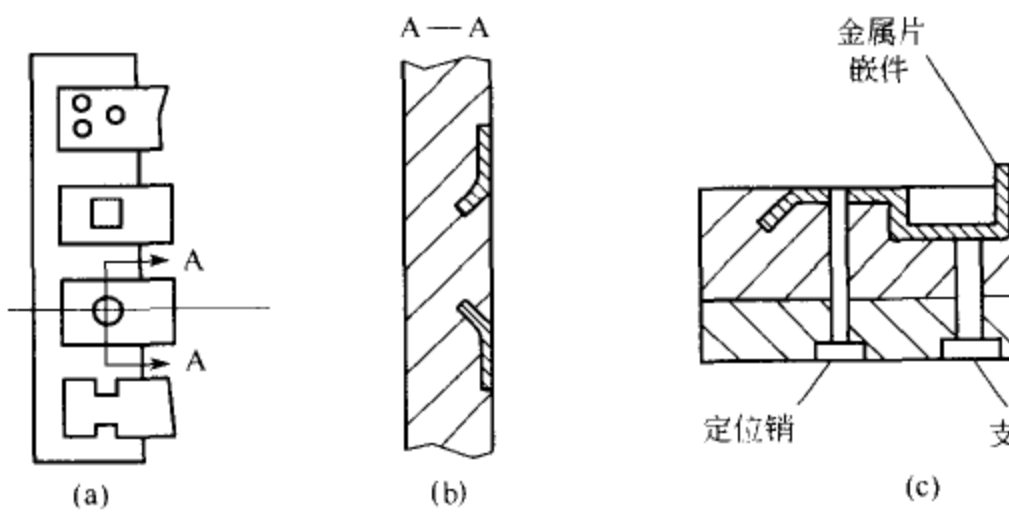


图 13-9　用户设计的冲压嵌件

（a）实例；（b）法兰改善连接强度；（c）带有定位销的冲压嵌件

必须谨慎以确保有足够的塑料使嵌件保持在主零件上。图 13-10 所示的嵌件有保持用的边缘，带钩的边用来改善这种保持力，但是我们必须注意留有足够的材料在嵌件和零件中间，以避免制品的破坏。

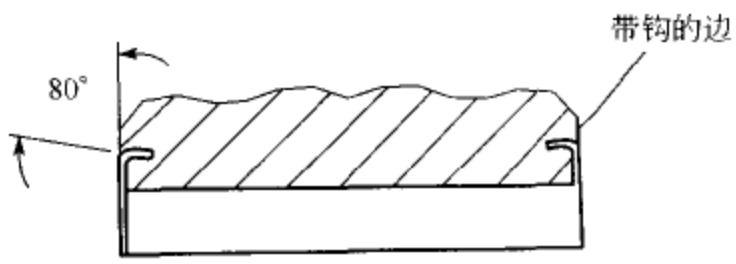


图 13-10　嵌件安全

大型嵌件有特殊的问题，因为塑料的收缩率以及大多数塑料的线性热膨胀系数都远大于金属的。例如，如果嵌件不够结实而无法承受收缩压力，实际上制品将会变形。如果金属零件在一侧，塑料零件一侧将会收缩到足以使该侧成凹状。在一些情况下，冷却夹具可解决这一问题，但不是所有情况下都能解决。此外，当温度下降和塑料进一步收缩时问题将会加剧。然而，在升高的温度下，塑料将会比金属膨胀的程度大，从而如果开始塑料一侧是直的，此时将变成凸的。有些情况下，这一问题可通过预热嵌件的方法进行解决。

最难处理的嵌件是形状不规则的嵌件，根据轮廓不同，这些嵌件制品的变形很难预测。可以使嵌件分成两部分或多部分来解决这一问题。然而，这种方法会延长

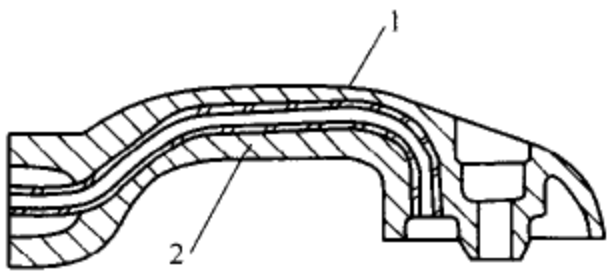


图 13-11　增强嵌件

1—成型零件；2—金属增强物

将嵌件装入模具内的时间。

通过加固嵌件的使用可以实现对制品强度、硬度及尺寸精确度的改善。图 13-11 所示的把手就是一个例子，汽车方向盘是另一个这种应用的实例。如果使塑料的壁厚维持在最小，加固物的硬度将克服聚合物沿收缩方向弯曲的趋势。加固物不一定要用金属，如工程塑料也可使用在该处。除了用较低成本的树脂代替昂贵的工程聚合物做嵌件以外，外部材料也拥有其他的非结构的特性。这样的例子如成型在硬质钢笔筒周围防滑的类似橡胶物质夹持表面。

13.2.6　外露件：嵌件比模具大

在许多场合下成型的塑料零件要小于插入模具内的零件，这种应用的例子如图 13-12 所示，一些孔的安装块成型在金属钟形结构上，这些有时被称作外露件。金属通常是铝或钢，厚度在 1mm 以下，轻而薄且在模具内难以控制。通常，在金属零件上执行的任何冲压或制作都是在成型操作前完成的。使用硬质金属板作为主零件可克服大型嵌件或高收缩率材料的变形问题。此外，这种方法可使偏差控制在较小的范围内。热塑性塑料废品可从金属零件上熔化掉，热固性塑料废品通常是不可利用的。

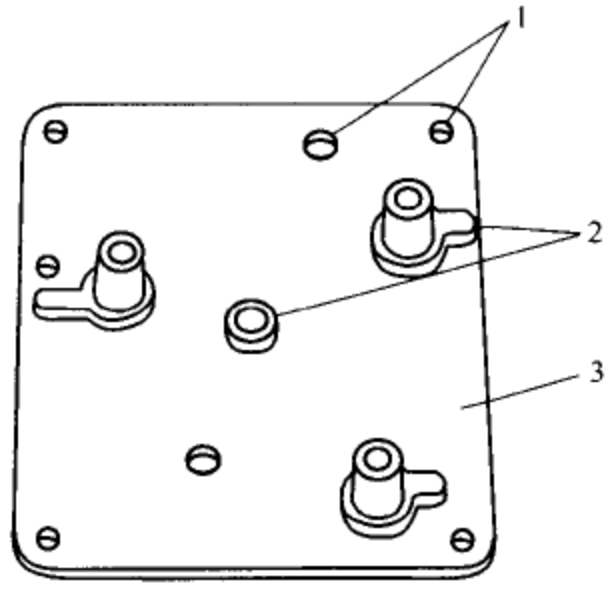


图 13-12　外露件

1—冲孔；2—成型凸台和成型衬套；3—金属冲压板

这一类型的模具可以通过在金属零件的一边创建一个流道系统来实现。图 13-13（a）所示的零件有一个直流道。当使用一个薄金属零件时，当流道的收缩可以克服金属板的强度时，将会引起如图 13-13（b）所示的变形。这种情况可通过使用如图 13-13（c）所示的弯曲流道来进行改善。一种更好的方法要求使用如图 13-13（d）所示的三板式模具，它的加工成本将更昂贵。这种模具使每片塑料都由独立的浇口进料，从而消除了流道的收缩引起的问题。这种原理可与绝热流道即热流道一起使用。

13.2.7　真空密封

由于成型后塑料的收缩与线性热膨胀系数的巨大差别，成型的嵌件在没有特殊措施来提供两个材料之间相对移动的空间的情况下不能实现密封。图 13-14 所示的为定制的带有 O 形环的嵌件。O 形环被压紧作为聚合物的收缩。当它加热膨胀时，仍有足够的压力实现密封。另一种方法是在嵌件端部涂上一层如氯丁橡胶或聚氯乙烯-乙酸乙烯的

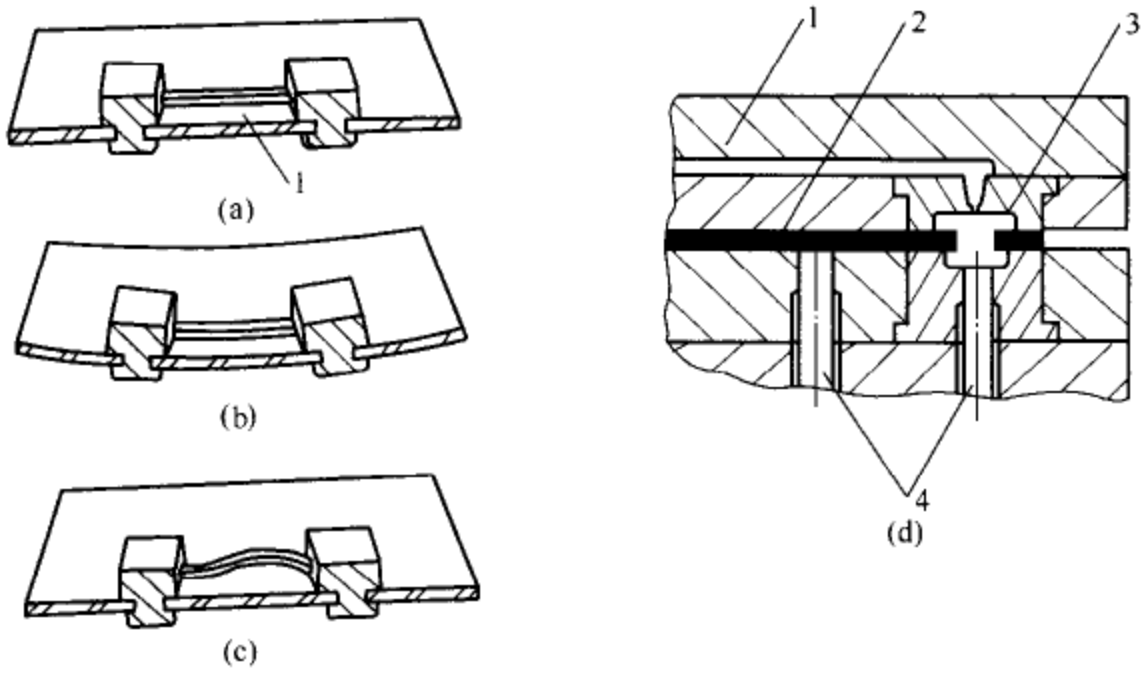


图 13-13　消除流道变形的方法

（a）带有直流道的零件；（b）弱金属零件上由于流道收缩引起的变形；
（c）减少收缩效应的弯曲流道；（d）三板式模具
1—流道；2　嵌件；3—成型零件；4—顶杆

似橡胶材料，然后将其以传统的形式嵌入成型。

13.2.8　嵌件准备

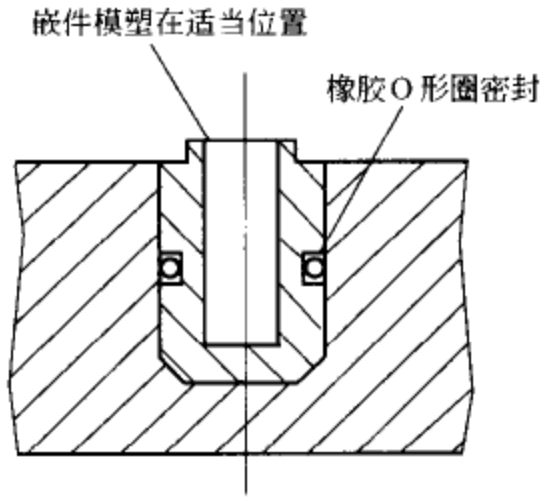


图 13-14　密封用嵌件

用来成型的嵌件在其安装到模具内之前必须将它上面脱模剂、污垢、油脂及油等污染物去除。此外，在加工嵌件时产生的任何松散碎片和其他的碎片都应该除掉，这些碎片会有尖角，从而产生应力集中，或在成型过程中突然变松，从而影响制品的完成。在电应用场合它们会引起潜在的危险。最后，塑料有可能被化学污染物侵蚀。

碎片和油可通过各种机械方法包括翻转、用带有沙粒或金属粒屑的风吹、手工擦拭和溶剂清洗来进行清除。然而，据报道，对于不受强碱腐蚀的金属最好的方法是在碱池内搅动，然后用热水冲洗。受碱腐蚀的金属如铝最好用溶剂处理。

当表面或技术要求中要求用化学方法清洗的时候，用酸液可将银疵和铁锈去除掉，可以用硝酸去除银疵或清洗黄铜与青铜，也可用一种氯化物的稀释溶液来去除银疵，同时也可用硝酸和硫酸的混合液来清洗黄铜与青铜，磷酸三钠可去除铁锈。

13.2.9　修饰性嵌件

非金属零件也作为嵌件成型在制品内，通常称作修饰性嵌件，如在汽车齿轮变速手柄和门把手上的木制嵌件以及汽车扶手、仪表板和中心控制台上的饰条很多年都用这一方法制作。这种嵌件通常是将一边印有木纹膜的 0.5mm 厚的薄塑料板用热成型的方法制成，如图 13-15（a）所示。该塑料板必须在模具上方展开，要求带

有2°的拔模斜度及1.58mm的最小半径，因此允许其有250%的变形或撑大。然后将塑料板切成如图13-15（b）所示的适当尺寸并放置到模具内，接着将衬料注射到膜的后表面［图13-15（c）］。这种加工通常所使用的材料是特级的ABS、聚氯乙烯和聚苯乙烯。

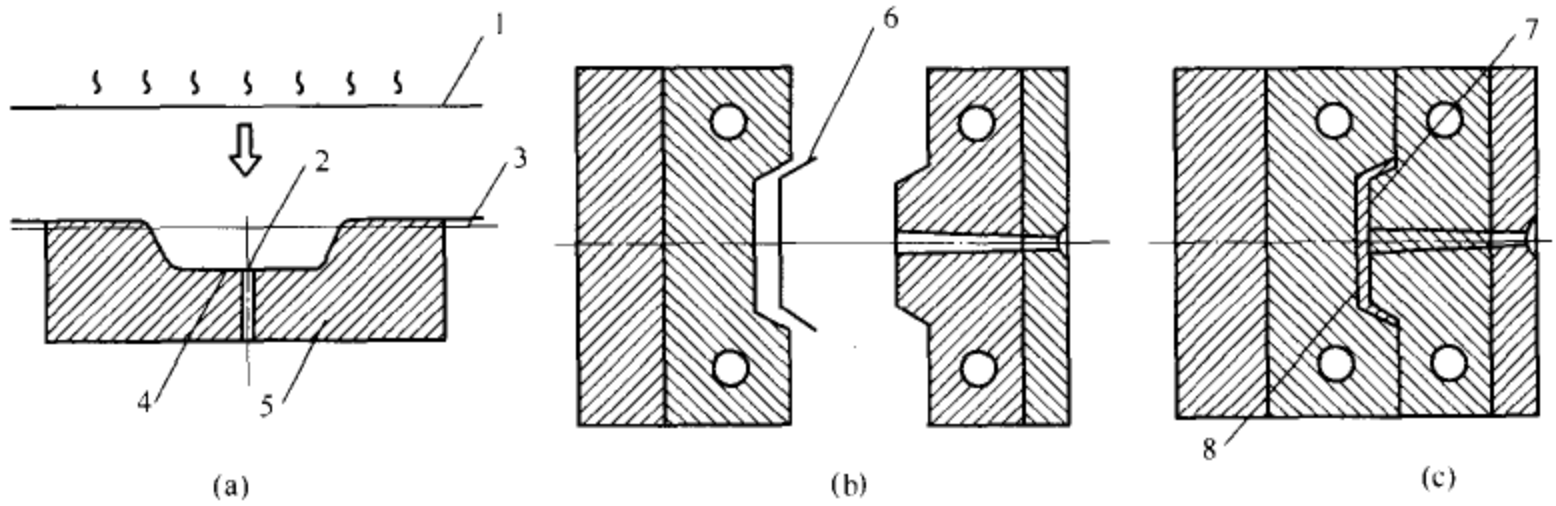


图13-15　修饰嵌件成型：热成型嵌件

（a）热成型嵌件；（b）热成型嵌件的放置；（c）模塑热成型嵌件

1—加热板下降到模具；2　真空拉拔；3　成型片沿着线切割制成嵌件；4—软化板成模具的形状；5—热成型模具；6—嵌件放入模具；7—模具；8—嵌件放入模具随后制品在其后成型

实现同样目的的另一方法如图13-16所示，使用一种0.08～0.25mm厚的透明薄膜，它的上面印有图案而且是用与基材相同的材料制成的。如图13-16（a）所示，模切板以与图13-15所示相同的形式放置在模具内。它必须远离浇口至少12.7mm，而且与分型面所成的角度不能超过45°，然后将树脂注入型腔形成如图13-16（b）所示的制品实体。嵌件上得到了高价静电荷，使嵌件附着在模具表面。键帽就是这一技术的一项应用。

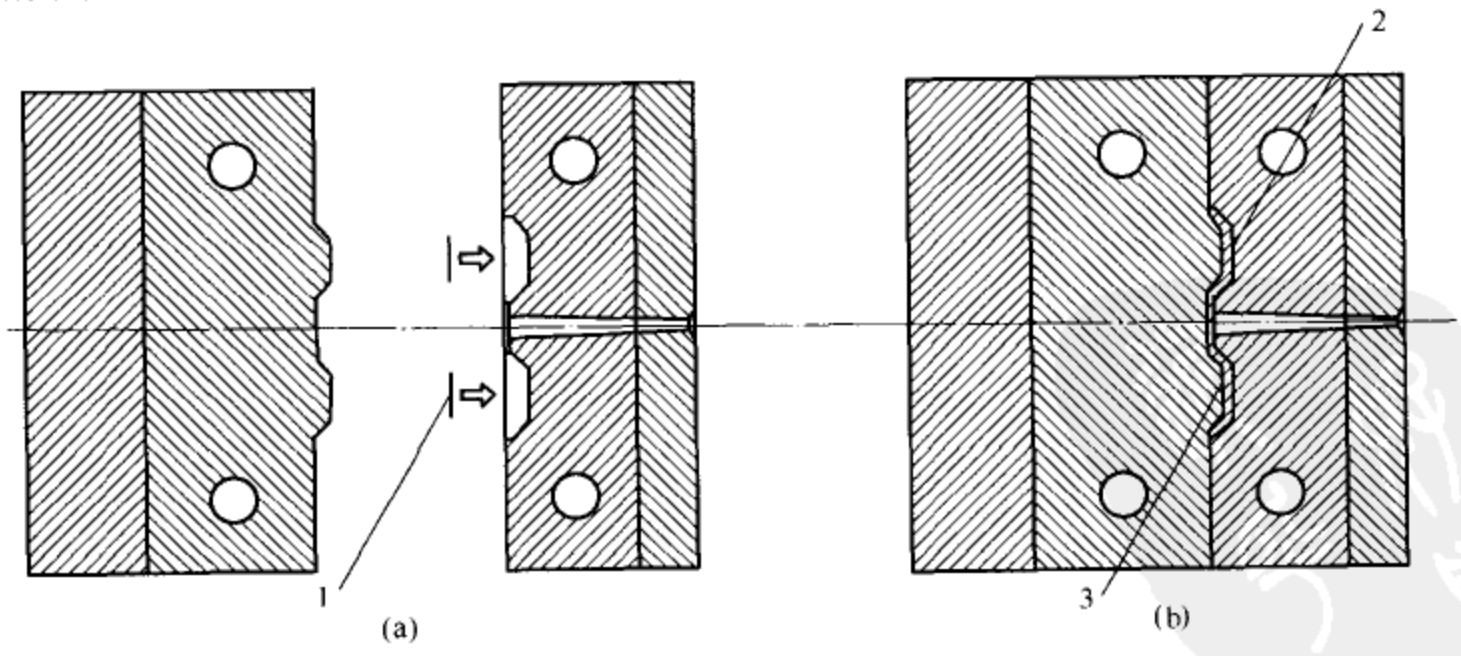


图13-16　修饰嵌件成型：模切嵌件

（a）模切嵌件放入模具；（b）模塑模切嵌件

1—模切嵌件放入型腔；2—嵌件；3—模具

这一方法稍微进行修改作为三聚氰胺的压制成型可用来制造如餐具这样的产品。在这种情况下，制品首先被压制到型腔的暂停点。将材料进行充分处理使其没有气泡，然后将嵌件放在制品上并闭模完成周期，成型出合格的制品。

另一种方法是使用一种底膜或底箔，将其缠在滚筒上并如图 13-17 所示安装到模具上。在图 13-17（a）中，模具是开着的，所以底膜可移动到装饰品放置的位置。在图 13-17（b）中，模具关闭夹住底膜然后注射成型制品。当开模时，装饰品成型在制品上，它与底膜脱离，接着将制品顶出模具而底膜移动到下一个位置，以提供下一周期的使用。

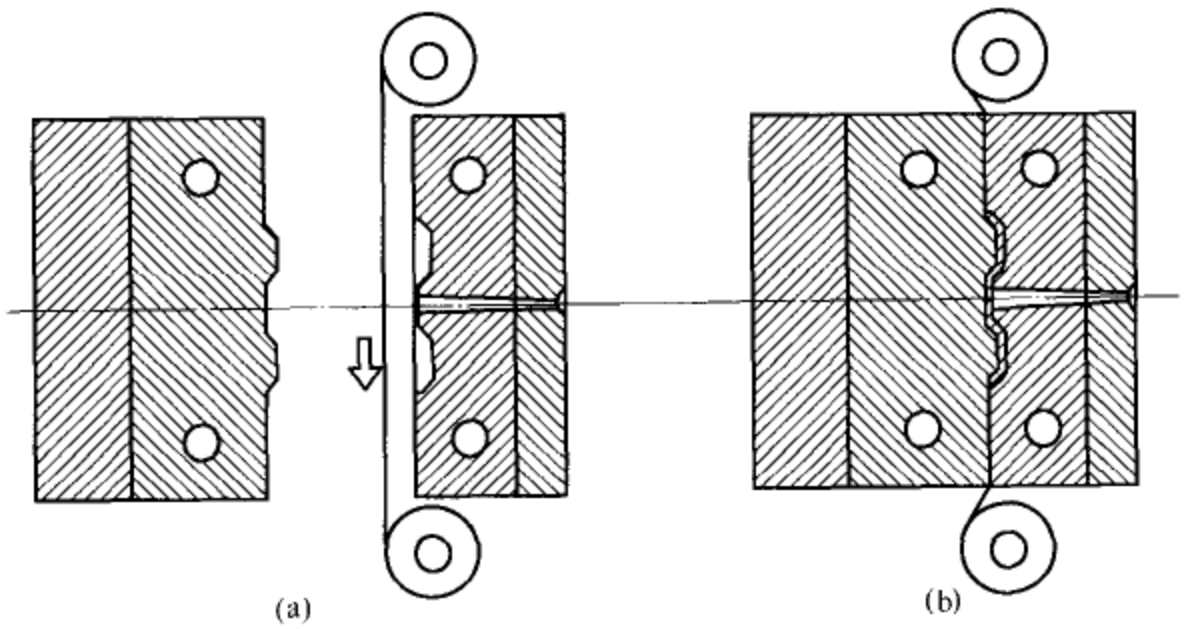


图 13-17　修饰嵌件成型：薄膜转换

（a）模具开模，薄膜转到下一个位置；（b）模具关闭，薄膜成型在零件上

13.3　多零件模塑成型

13.3.1　概述

在嵌件成型中，是将在别处生产的一个零件或多个零件成型在塑料制品中，当这些零件是由可注射成型的材料制成的时候，它们可以作为多段加工的第一段成型。概念很简单，首先一个零件成型，然后将下一个零件成型在它上边或下边等。尽管可使用的段数在理论上不受限制，但是在编辑本书时，在商业上应用的最大数目是三段。不仅开发的这种加工工艺所生产的键帽可以经受多年的磨损没有磨损痕迹，它还成功地应用在汽车使用的多色透镜和硬质钢笔筒或工具把手的弹体柄上。

通过巧妙的模具设计和使用相互不能黏结在一起的不同聚合物，多个制品可成型在一起，而且可相对移动，模内成型装配的例子有：带有可移动叶片的排气调风器、带有可移动铰链的气袋连接器、带有可转动齿轮的小曲轴和胳膊与腿都能转动的玩具猴。

13.3.2　多零件模塑成型的优点

（1）永久性　零件永久性连接在一起，并且只能用破坏性的方法才能将其分离。

（2）自动化操作　连接制品无需额外的处理。

（3）连接不同材料的能力　由各种不同材料制成的制品可成型在同一制品中。多零件模塑成型可对不可焊接或溶剂连接的塑料进行装配。

（4）设计自如　对用其他方法连接困难或不可连接的制品进行连接。

（5）大批量生产能力　通过使用特殊设备可以进行大批量生产。

13.3.3　多零件模塑成型的缺点

（1）应力集中　要成型的制品必须进行谨慎的设计以减少应力集中。

（2）拆解回收成本　混入的塑料在回收废料流程中是致污物，必须在回收前通过熔化或打碎将其去除。然而，当在颜色上的区别不明显且与使用的材料类似时，多零件模塑成型可避免这一缺点。

（3）冷却速率与热收缩　由于连接零件在冷却速率与线性热膨胀系数的不同，使装配件产生环应力，具有较大线性热膨胀系数的塑料零件冷却并且收缩贴到嵌件或相配合零件上。

（4）加工成本　这是一种投入集中型的工艺，加工成本从简单模具成型的两倍算起。

（5）设备成本　系统的设备的成本对于这种加工来说很贵。此外，大部分制模工没有用过这种设备。

（6）工艺局限性　这一技术只适用于注射成型工艺。

13.3.4　工艺

目前共有三种实现多零件成型的重要方法，还有新的方法正在开发中。这三种是可收缩型芯、多型腔和旋转型芯，其中有两个在加工上类似，仅仅是使用设备不同。无论哪种方法，第一种材料都是以传统方式成型的。如图 13-18（a）所示。对于

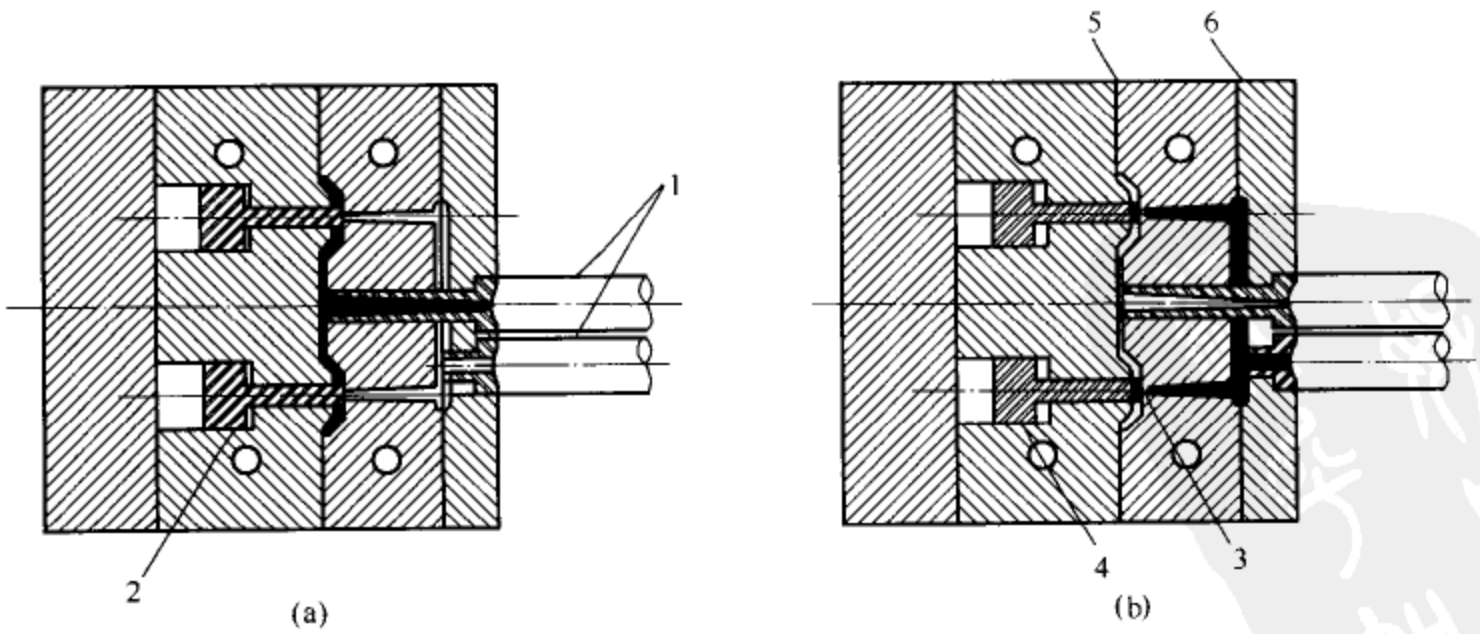


图 13-18　多零件成型：可收缩型芯方法

（a）第一种树脂注射；（b）第二种树脂注射；

1—成型机筒；2—在前端的型芯；3—第二种树脂；4—可收缩型芯；5—主分型面；6—流道分型面

可收缩型芯技术，型芯与型腔隔离，无论第二种材料将在哪显露。然后这个型芯收缩足够的量，使从第二个注射机筒注入的物料充满型腔［图 13-18（b）］。

对于另外两种方法，第二种材料将成型在第一种材料的上面或下面。图 13-19 是多型腔技术的一个例子，在这里注射的第二种物料覆盖在第一种物料上面。图 13-19（a）所示为成型后的零件仍在型芯上，然后改变它的位置到另外一型腔和注射成型机筒。将型腔接近第一次成型的零件以至于显露的零件的任一部分都与新的型腔相隔离，这时将第二种物料注射到如图 13-19（b）所示的空隙处。

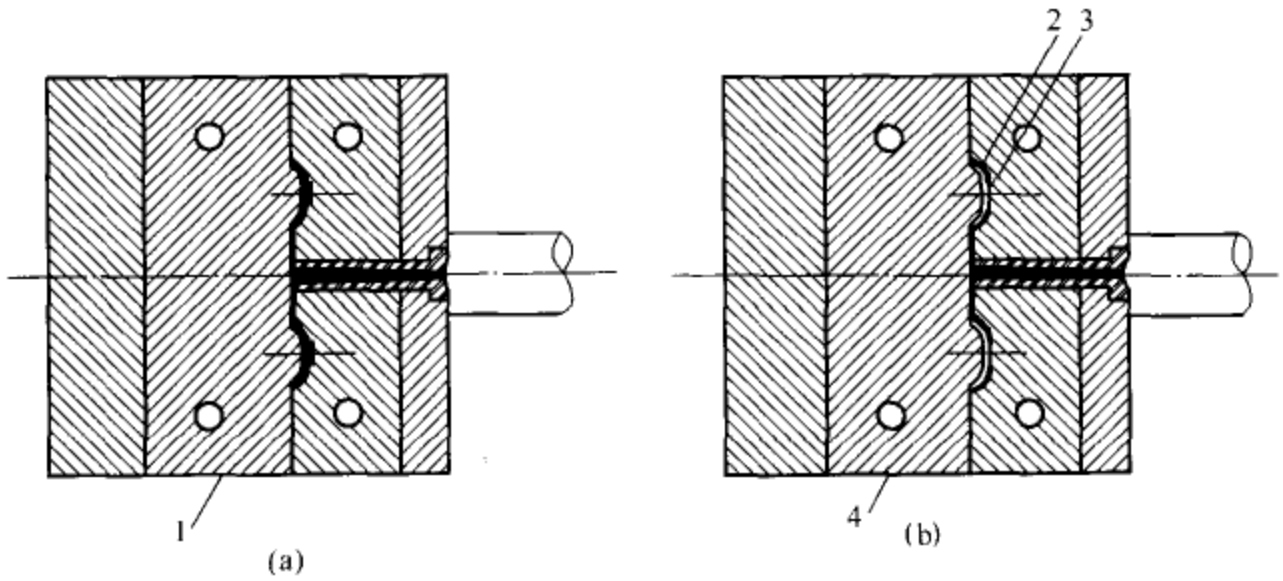


图 13-19　多零件成型：多型腔方法

（a）第一种树脂成型；（b）第二种树脂成型；

1—带有成型零件的型芯部分；2—第二种树脂；3—在截断部分外部可见的第一种树脂；4—带有第一种零件的模具型芯部分

对于大批量生产，这一加工可使用带有两个注射机筒的旋转台，注射机筒在旋转台不同的位置，在垂直方向上锁模。

旋转型芯方法需要有一种带有两个注射机筒的特殊成型机。模具有如图 13-20 所示的旋转型芯。零件的第一部分在下面的型腔内完成，然后将型芯旋转使其到上面第二个型腔的位置，接着进行注射填充，最后开模制品顶出。

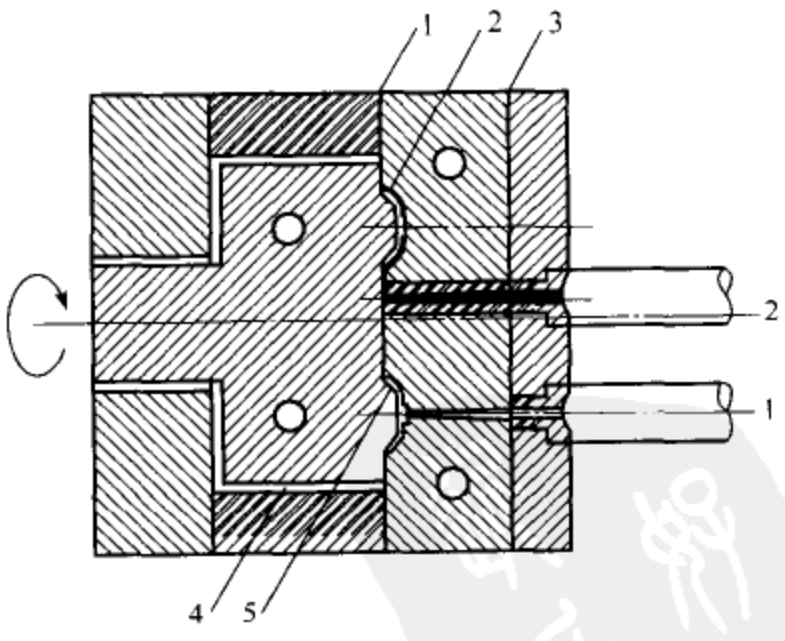


图 13-20　多零件成型：旋转型芯方法

1—主分型面；2—第二种树脂；3—注道可移动分型面（从第一种树脂）；4—旋转型芯；5—第一种树脂

13.3.5　材料

多零件成型是一项快速发展的技术，而且目前大量工作都在进展中。表 13-1 是对一些塑料的结合强度进行的比较，代表到此为止的结果。

表 13-1 不同材料间结合强度

第一次注射	第二次注射															
	热塑性塑料									硬-软结合						
										TPR			弹性体			
热塑性塑料	PA66	PBT	PC	PMMA	POM	PP	PS	PSU	PVC-W	SEBS	TPU	PP/EPDM	EPDM	NR	SBR	LSR
ABS		G	G	G		P	P		N		G					
PA6					N	P	P			G	G	G		N	N	
PA66	G	G	P		N	P	P			G	G	G		N	N	
PA612													G			
PBT	G	G	G				N				G		G	N	N	P
PC	P	G	G				N	G			G					
PMMA				G		P	N		G							
POM	N				G	P										
PP	P			P	P		P		P		N	G				
MPPE													G	G	G	
SAN		G	G	G			P		G		G					
TPR:PP/EPDM												G				
热固性:BMC																G
弹性体																
EPDM		G											G			
NR														G		
SBR															G	
LSR																G

注：G，结合好；P，结合差；N，不能结合。

来源：Engel 机械公司。

13.4 资料来源

Battenfeld of America, Inc., 31 James P. Murphy Hwy., West Warwick, RI 02893, (800) 248-6015, (401) 823-0700, fax (401) 823-5641 (molding machines), www.battenfeld.com

Caco-Pacific Corp., 813 N. Cummings Rd., Covina, CA 91724-2506, (626) 331-3361, fax (626) 966-4219 (molds), www.cacopacific.com

Engel Machinery Inc., 3740 Board Rd., Rd#5, York, PA 17402, (717) 764-6818, fax (717) 764-0314 (molding machines), www.engelmachinery.com

Ewikon Hot Runner Systems of America, 1051 E. Main St., Unit 101, East Dundee, IL 60118, (800) 980-4815, (847) 844-9351, fax (847) 844-9352, www.ewikon.com

Ferromatik Milacron, 3041 Disney Ave., Oakley OH 45209, (513) 458-8290, fax (513) 841-8593 (molding machines), www.milacron.com

Foboha, 16 Cypress Lane, Hamburg, NJ 07419, (973) 823-9426, fax (973) 823-9427 (molds), www.foboha.de

Hettinga Equipment Inc., 2123 N.W. 111th St., Des Moines, IA 50325, (515) 270-6900, fax (515) 270-1333, www.hettingatechnology.com

Husky Injection Molding Systems Ltd., 500 Queen St. S., Bolton, Ontario, Canada

L7E 5S5, (905) 951-5000, fax (905) 951-5384 (molding machines), www.husky.ca

Krauss-Maffei Corp., Injection Molding Div., 7095 Industrial Rd., P.O. Box 6270, Florence, KY 41042-6270, (859) 283-4311, fax (859) 283-0311 (molding machines), www.krauss-muffei.com

Prospect Mold & Die Co., 1100 Main St., Cuyahoga Falls, OH 44221, (330) 929-3311, fax (330) 920-1338 (molds), www.prospectmold.com

Tradesco Mold, Ltd., 1 Paget Rd., Brampton, Ontario, Canada, L6T 5S2, (416) 749-1698, fax (416) 749-2795 (molds), www.tradesco.com

Van Dorn Demag Corp., 11792 Alameda Dr., Strongsville, OH 44149, (440) 876-8960, fax (440) 876-6423, www.vandorndemag.com

第 14 章　压力配合/受力配合/干涉配合/收缩配合

14.1　优点和缺点

14.1.1　优点

压力配合也称作受力配合、干涉配合及收缩配合，通过干涉对金属制品进行装配已使用了很长时间。塑料制品收缩配合是将一零件加热使其膨胀，从而易于与另一零件进行装配，而当其冷却收缩时恰好配合。有时这种方法可在成型后迅速完成，从而省去了再加热的费用。压力配合对塑料制品而言有如下优点。

（1）无附加材料　压力配合无需如紧固件、嵌件、电磁预成型品、胶黏剂和溶剂等附加材料，因此，其成本要比需要附加材料的低，它们也无需很多配合所需的倒陷所造成的昂贵的加工费用。

（2）装配容易　压力配合在很多情况下无需工具即可完成，同时它也很适于自动化装配，可实现很高的生产率。

（3）不同材料　金属可以与塑料连接。很宽范围内的不同塑料和类似的聚合物之间可用压力配合方法进行相互连接。

（4）永久性　如果方法恰当，压力配合可用作永久性的压力紧固装配，塑料齿轮与滑轮经常用这种方式装配到金属轴上。

（5）再打开性　对于很多应用场合，压力配合可设计成可再打开的，钢笔帽就是这种压力配合的一个例子。

14.1.2　缺点

（1）形状的限制　压力配合的制品通常是圆的，然而也包括一些方形和矩形的软材料及有圆角的情况，其他形状用一些重要的定位圆螺柱和凸台来装配。

（2）工艺限制　塑料压力配合的公差要比金属的干涉配合宽松得多。它们对于许多塑料工艺的结构装配来说，一般都太紧。可以实现结构压力配合公差的制品的方法有机加工加注射、压制及传递模塑。剩下的工艺建议只用在轻载压力配合上。同时滚塑成型与吹塑成型只限于单件生产，并需要如将两部件成型为一个制品或将其割成两半这样的特殊措施。

（3）环应力失效　具有很大的成型应力及脆弱的熔接线的结合体上如干涉过大

可导致装配体迅速失效，因而在某些情况下需要对其进行退火处理。

（4）应力松弛，蠕变与冷流　在应变一定的情况下，黏弹性材料内的应力会随着时间的推移而松弛，尤其是在高温情况下。过大的应变会导致塑料制品的断裂或裂纹，从而使应力释放。如果没有发生失效，由于这些原因的影响，经过应力释放最终达到平衡，而使接头变松。

（5）环境的限制　在化学品及紫外线的作用下由于应力开裂导致失效。

（6）材料的限制　由于压力配合需要通过干涉装配使材料移动，所以对于一些韧性塑料来说更易于完成。

（7）热膨胀　在温度极限处，两种材料线性热膨胀系数的显著差别会导致应力断裂或接头松动。

（8）吸湿性　有些塑料制品吸湿充足后会膨胀，从而导致接头松动。

14.2　压力配合工程

14.2.1　工程符号

传统的压力配合如图 14-1 所示。在这种情况下，塑料或金属的刚性轴在干涉的条件下被强制装入韧性较好的凸台内（反向来做也是可能的，但很少采用），然后凸台会变形成轴的形状，并由于配合压力而将轴夹住。

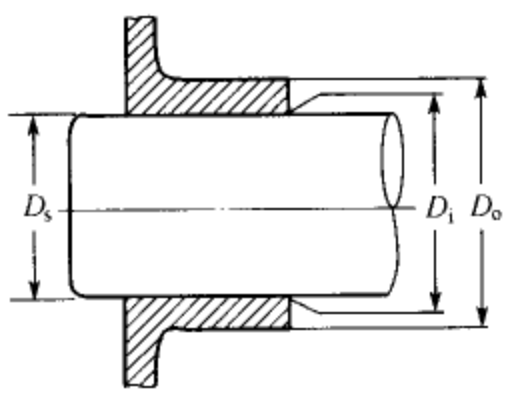


图 14-1　基本压力配合

作用在筒壁上的周向拉伸应力产生了一个自内向外的压力，称其为环应力。凸台与轴的干涉会产生这种应力，而且这将是接头的主要应力，因此在选择合适的材料和确定恰当尺寸前必须决定好干涉量。

下列符号将在公式中使用。

C_f＝摩擦系数；

D_i＝凸台内径，in；

D_o＝凸台外径，in；

D_s＝轴直径，in；

D_{si}＝套的内径，in；

ε＝应变，in；

E_b＝凸台的弹性模量，psi；

E_s＝轴的弹性模量（杨式模量），psi；

F＝插入力或取出力，lbf；

I＝直径的干涉量（D_s-D_i），in；

I_m＝允许干涉的最大值，in；

P＝在轴与凸台界面上的压力，psi；

R_o=凸台外半径，in；

R_s=轴半径，in；

L=压力配合表面长度，in；

σ=设计应力（psi）或凸台的最大许用应力（psi）=材料的屈服强度/安全因子；

ν_s=轴材料的泊松比；

ν_b=凸台材料的泊松比。

14.2.2 几何因子

使用一几何因子 G 来降低计算复杂程度：

$$G=\frac{1+(D_s/D_o)^2}{1-(D_s/D_o)^2} \tag{14-1}$$

14.2.3 由温度改变带来的变化

在决定计算中所用的直径时，必须考虑温度的影响。如果两零件由同种材料制成，它们将一起膨胀或收缩。如果它们是由不同材料制成的，它们的膨胀速率和收缩速率将有所区别，因此在接头处存在应力差。

例如，如果轴是由金属制成而凸台是由塑料制成的，当温度升高时，接头强度将减弱到使凸台在轴上滑动。相反，在较低的温度下，凸台收缩使应力增加导致失效。

一般而言，零件的尺寸是在室温下测得的，因此将其作为基础。确定在升高的温度下的新的直径尺寸的公式：

$$D_2=D_1+(t_2-t_1)C_tD_1 \tag{14-2}$$

式中 D_1——室温下的直径，in；

D_2——最终直径，in；

t_1——初始温度，℉；

t_2——最终温度，℉；

C_t——线性热膨胀系数，in/(in·℉)。

如果材料不同，必须得到两者新的尺寸。甚至一个打算在室温下使用的产品在装运与储藏期间也可能会遇到温度极值的情况。注意式（14-2）可以用来确定加热凸台或冷却轴对装配难易的影响。

必须记住材料的强度特性也会随着温度而变化。在73～160℉之间，一给定级别的聚甲醛的拉伸强度将从66.67MPa降到34.47MPa（8800psi降到5000psi）。在高温应用场合下，设计应力需要根据从树脂制造商那得到的数据重新进行计算（在低温条件下拉伸强度提高）。

如果要求极度精确，就更应注意到由于物料在填充型腔时的流动方向及温度变化，给定材料的线性热膨胀系数将会改变。对于一些要求更精确的应用场合，树脂制造商的实验也值得商讨。

14.2.4　环应力

产品性能是由设计应力（σ）决定的，接头应该能承受实际应用中达到的最大应力。然而，公式可进行变化以确定设计的零件所能承受的最大干涉量（I），最大干涉量是最优先考虑的，不管其他因素怎样。如果产品的要求超出了可接受的范围，就必须选择其他方式进行装配，设计应力依据不同的轴刚度公式确定。

14.2.4.1　塑料凸台中的金属轴

对于轴来说，它的硬度远大于凸台，使用如下公式：

$$\sigma = E_b \frac{I}{D_s} \times \frac{G}{G + \nu_b} \tag{14-3}$$

如果最大干涉量有要求，公式可变成如下形式：

$$I_m = D_s \frac{\sigma}{E_b} \times \frac{G + \nu_b}{G} \tag{14-4}$$

14.2.4.2　同种材料的轴和凸台

对于轴与凸台使用相同材料情况，公式如下：

$$\sigma = E_b \frac{I}{D_s} \times \frac{G}{G + 1} \tag{14-5}$$

对于最大许用干涉量情况，可将公式变换如下形式：

$$I_m = D_s \frac{\sigma}{E_b} \times \frac{G + 1}{G} \tag{14-6}$$

14.2.4.3　不同塑料制成的轴和凸台

对于轴和凸台由不同塑料制成的情况，公式如下：

$$\sigma = \frac{GI}{D_s}\left(\frac{G + \nu_b}{\nu_b} + \frac{1 - \nu_s}{E_s}\right)^{-1} \tag{14-7}$$

如果要求得到最大干涉量，可用如下变换公式：

$$I_m = \frac{D_s}{G}\left(\frac{G + \nu_b}{G} + \frac{1 - \nu_s}{E_s}\right) \tag{14-8}$$

14.2.4.4　快速法

确定适当的干涉量的一种快速法是直接参照图 14-2 所示的干涉量与轴/凸台的关系曲线图。从制品厂家只可以得到一些比较常用的压力配合

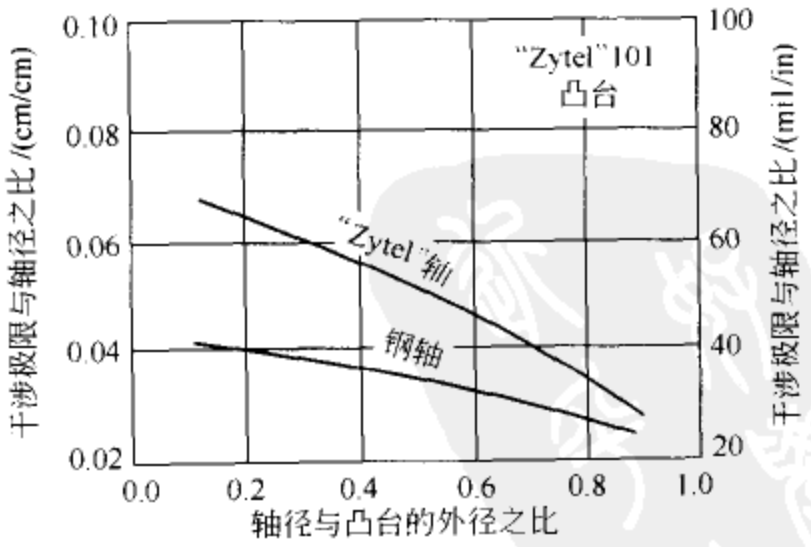


图 14-2　压力配合的理论干涉极限

（杜邦工程聚合物公司提供）

材料的这种曲线图，而一些特殊树脂的曲线图将得不到，或是得到的曲线图可能没有在预期的温度和湿度范围内，因此这种方法需考虑到这些材料的资料获得的可能性。

如果得不到这种曲线图，有一种相对不精确的公式可以快速完成，并可用筛选法来确定提出的设计参数是否足够接近最终的设计要求，以作为进一步工作的依据。假设当轴被压入凸台中时没有产生变形，而且当凸台是金属时的应用场合最准确。此时环应力是：

$$\sigma=\varepsilon E_b=\frac{I}{D_i}E_b \tag{14-9}$$

提供初始应力的正割模量应该使用在高应变的情况下，蠕变和表观模量应该使用在长期应力状态下，此时最大应力或应变不能超过使材料发生蠕变破裂时的值。

14.2.5 装配力和拆卸力

压力配合需要力来完成装配，插入所需的力可由下面的公式得到：

$$F=\frac{\pi\sigma C_f D_s L}{G} \tag{14-10}$$

这确定了接头强度。因此取出轴所需的力与其相同，但只是在插入后不久以及在蠕变和冷流效应发生之前。

式（14-11）可用来得到接头扭矩 T，它是力 F 和轴半径 R_s 的乘积：

$$T=FR_s \tag{14-11}$$

此式要面临一个事实，就是从制造商那除了给定树脂与本身或与金属以外，任何结合体间的摩擦系数的精确值很少得到，因此只能进行粗略的计算，除非系数可通过对两种相关材料进行实验得到。同时摩擦系数也受各种因素的影响，如湿度、温度、应力和表面污染物（油脂、脱模剂等）。

压力配合装配通过在装配前对阴件加热使其扩大而变得容易。在生产中，可以将运行的传送带通过加热通道来实现对阴件的加热。相反，在装配前对轴进行冷却以减少其尺寸也是一种可选择的方法。后者可行的话会更可取，因为它不容易产生变形或降解，如果凸台具有较高成型应力或被加热到了很高的温度会出现这种情况。

14.2.6 由装配引起的尺寸变化

当两零件通过压力配合装配在一起时，它们的直径将发生变化。受影响较大的是两零件中较软的一个，因此，对于金属轴装配到塑料凸台的情况，凸台的外径将会根据下面的公式增加：

$$D_{01}-D_{02}=I\frac{2D_sD_o}{D_s^2(1+\nu_o)+D_o^2(1-\nu_o)} \tag{14-12}$$

在相反的情况下，塑料套装入刚性外壳时，内径减小的尺寸可从以下公式得到：

$$D_{si1}-D_{si2}=I\frac{2D_sD_o}{D_i^2(1-\nu_b)(1+\nu_b)} \tag{14-13}$$

14.2.7　关系

从装配实际中可知，最大许用应力、最大许用干涉量与轴径与凸台外径的比之间的关系是最值得关注的，它起的作用如下。

（1）如果直径比保持一常数，在最大许用应力增加时许用干涉量也会增加（对于较强的材料）。许用干涉量的增加可以用来使公差更大，相反也是正确的。因此，最大许用应力的减小（由于安全系数的增加或强度较弱材料引起的）会导致最大许用干涉量的降低，导致许用公差范围的缩小。

（2）对于一给定的材料（如最大许用应力不变），由于凸台壁厚的增加，造成轴径与凸台外径的比（D_s/D_o）减小，将使许用干涉量得到提高。直径比的增大同样能使公差范围加大。

（3）对于给定的干涉，最大许用应力的增加（材料强度更大）会允许轴径与凸台外径的比增大，凸台壁变薄。这在处理凸台凹陷标准时会显得特别明显。

14.2.8　方程限制

对方程正确性的限制描述如下。

（1）应力松弛　接头强度随时间而减小是应力松弛的结果。为了得到已知周期内所保持的力，接头强度必须通过等式（14-1）确定，但经过那个周期后的弹性模量与初始模量呈一定比例。

$$F'=\frac{\pi C_f D_s L\sigma'}{G} \tag{14-14}$$

$$\sigma=\frac{E'_b\sigma}{E_b} \tag{14-15}$$

式中　F'——一定周期后插入力或取出力；

σ'——一定周期后的应力；

E'_b——一定周期后的弹性模量。

弹性模量随时间的变化可通过图 14-3 上的曲线得到，这种曲线图也可从生产工程树脂的厂商那得到。

（2）温度　与金属不同，在通常的操作温度范围，大部分塑料显示出相当大的拉伸强度变化。在图 14-3 中可注意到温度对模量的影响，可以用式（14-13）与式（14-14）加上弹性模量来计算在那些条件下的连接强度。

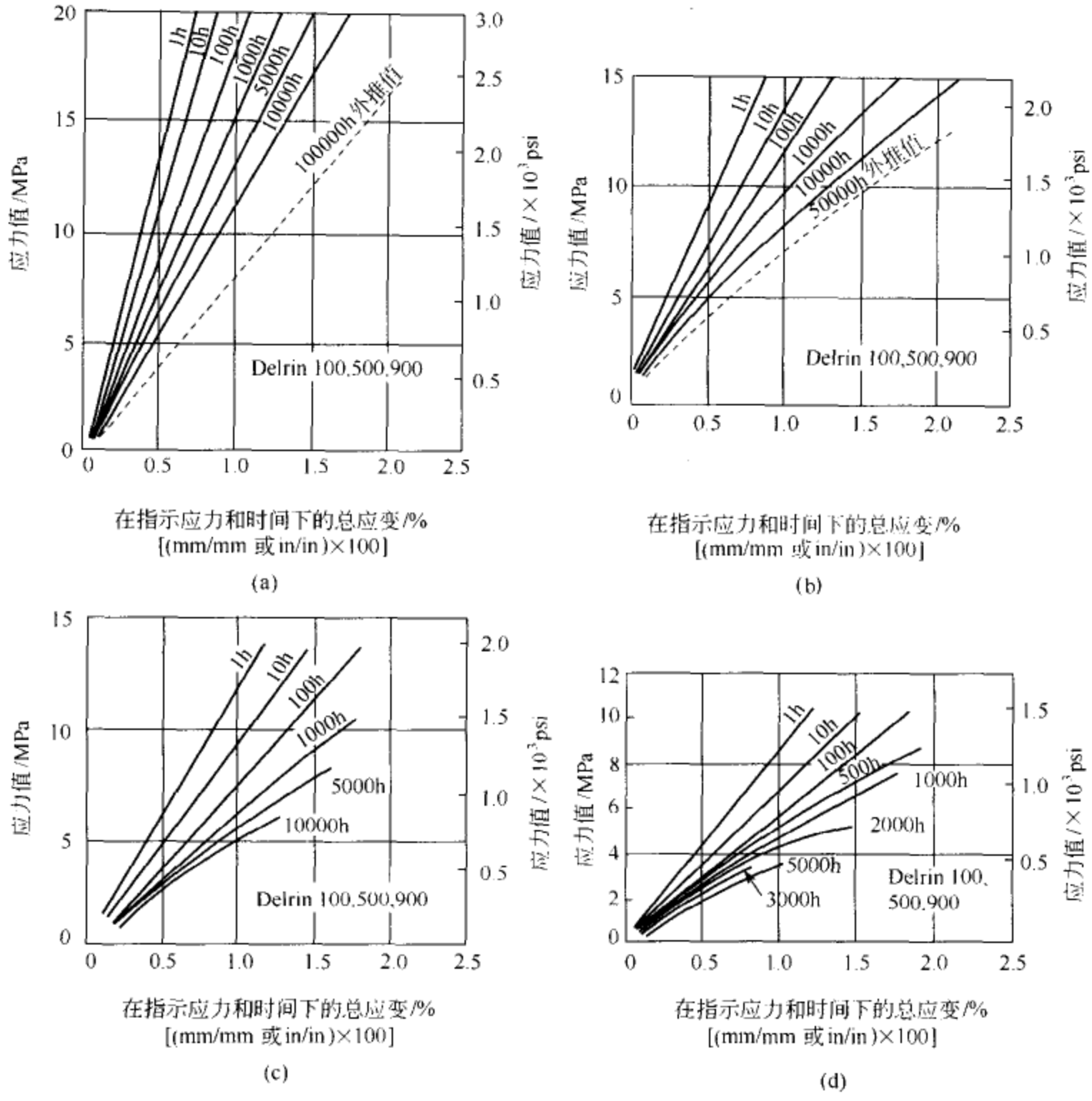


图 14-3 承受载荷的 Delrin 聚甲醛在四种温度下的长期行为
（杜邦工程聚合物公司提供）(a) 23℃（73℉）气体；(b) 45℃（113℉）气体；
(c) 85℃（185℉）气体；(d) 100℃（212℉）气体

（3）湿度 一些塑料（尤其是尼龙）的拉伸强度受湿度的影响很显著。图 14-4 中的曲线说明了湿度对 Zytel 101 的影响（所有尼龙 66 聚合物中的典型）。

湿度也会改变制品的尺寸。图 14-5 说明了湿度对 Delrin（一种聚甲醛树脂）尺寸的影响。

（4）蠕变和冷流 这些情况会对压力配合造成很严重的问题，因为会导致蠕变破裂或使配合松弛到可滑移的程度。为了降低这种危险，在长期应用的场合应该用表观模量或蠕变模量。图 14-6 中的曲线说明蠕变对 Celcon（一种聚甲醛树脂）应力和应变的影响，这种曲线可从材料供应商那得到。

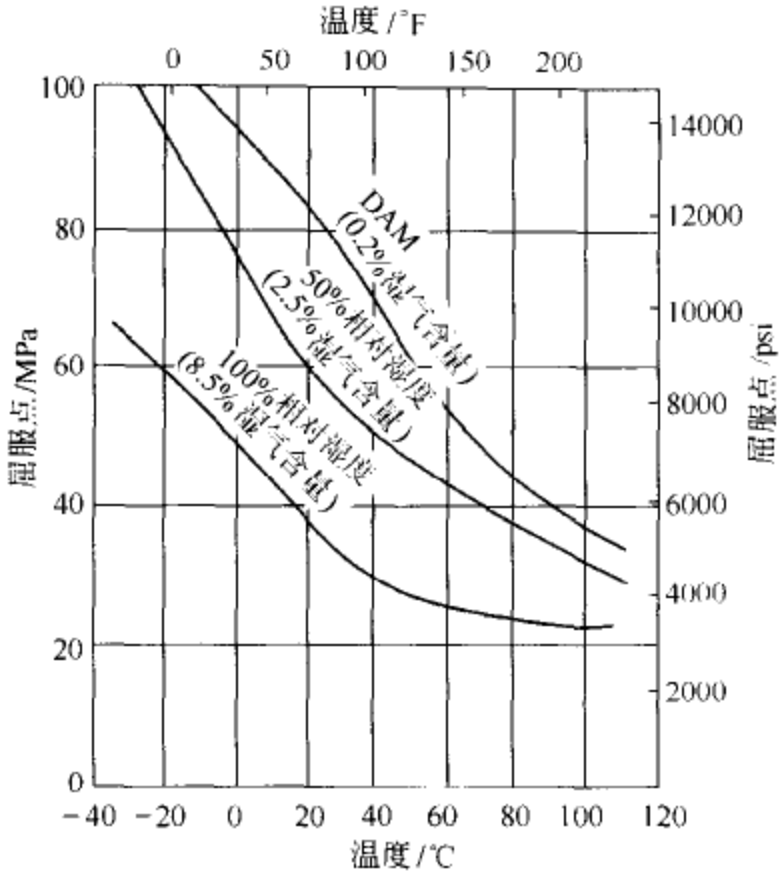


图 14-4　Zytel 101 对应温度和湿度的屈服点

（杜邦工程聚合物公司提供）

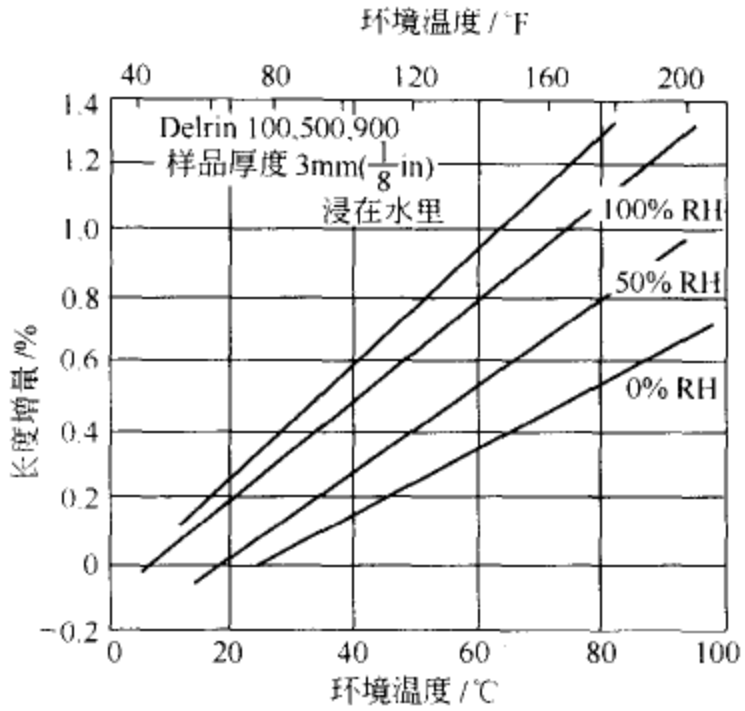


图 14-5　随着温度和湿度的改变，Delrin 聚甲醛尺寸的变化

（杜邦工程聚合物公司提供）

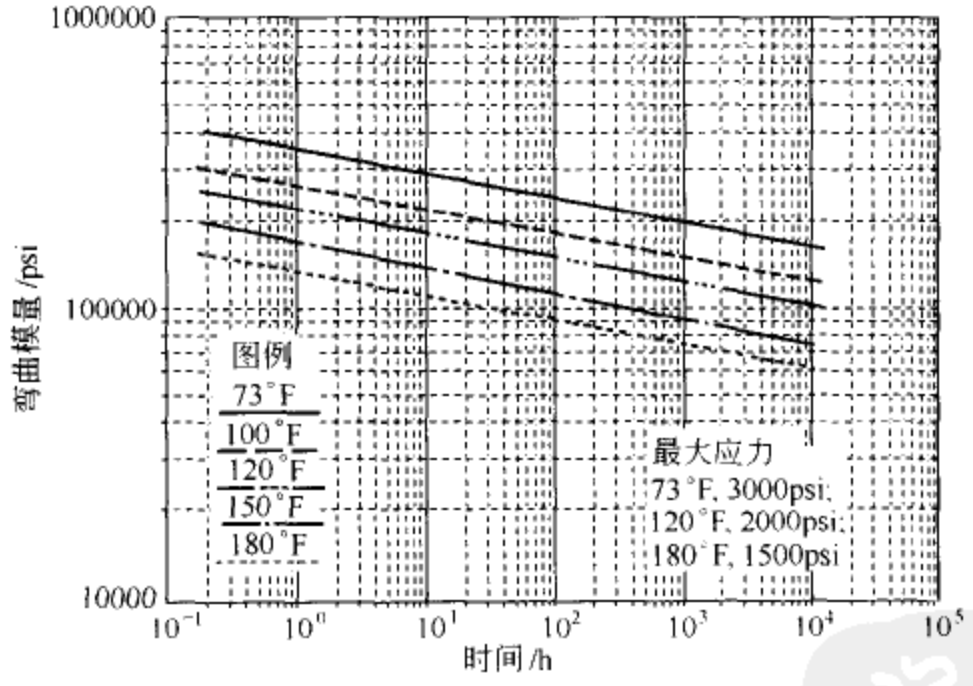


图 14-6　Celcon M90 和 M270 聚甲醛共聚物三点弯曲的弯曲蠕变模量；在五种温度下描点而成的回归线

（Ticona LLC 公司提供）

（5）环境因素　湿度、热老化、暴露在紫外线下、受各种化学试剂如润滑剂、溶剂和清洁剂的侵蚀都会引起压力配合的失效。不幸的是，从材料制造商那得到的信息反映出根据指定的检测程序和浓度，这种暴露与考虑中的应用不贴切。在预期的暴露中，实际制品的长期测试在压力配合的应用中是一个重要的考虑内容。图 14-7 说明了暴露在户外对 Celon（一种聚甲醛树脂）的影响。

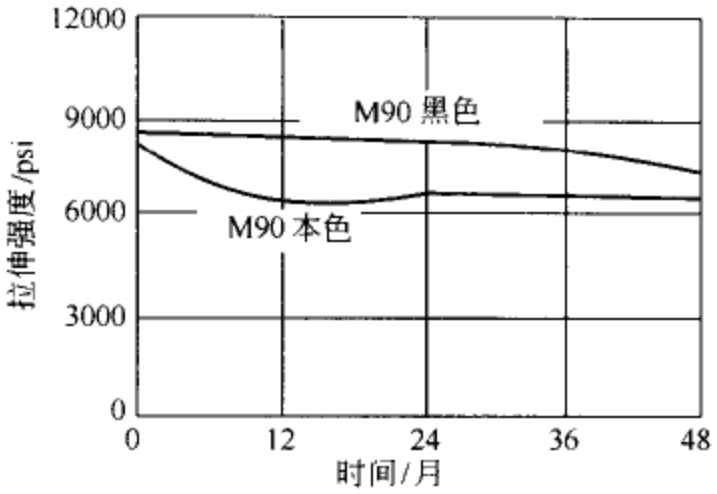


图 14-7 暴露在户外的拉伸强度
（亚利桑那州和新泽西州）
（Ticona LLC 公司提供）

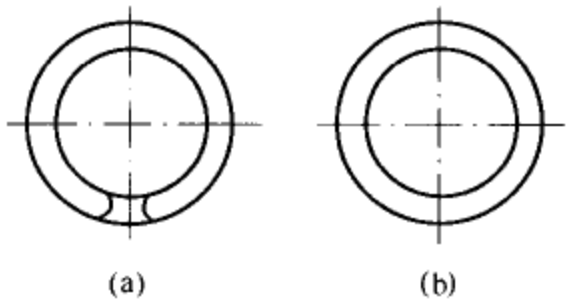


图 14-8 熔合线
（a）围绕型芯的熔融塑料在靠近；
（b）熔合线的形成

（6）熔合线 凸台与管材挤出不同，它是通过熔融塑料绕型芯流动直到两头汇合所形成的，如图 14-8（a）所示。两股料流汇合的地方会产生熔合线，并且它的强度通常比周围材料差。对于增强树脂和非增强树脂，根据笔者实践检测得出：最好的熔合线强度是其基础聚合物强度的 85%。考虑一定的安全因子更加谨慎的数字是50%～60%。模具设计与成型条件可明显影响到这个数据，不恰当的成型会导致熔合线根本没有强度。

（7）不圆 许多韧性较大的塑料的不圆状态会导致凸台上应力的增加，在确定安全因子时要考虑这一点。如果材料相对较软，凸台会变成轴的形状，从而消除这种效应。模具的结构和成型条件可显著影响这种情况，特别是对于高收缩率材料。

（8）拔模斜度 为了使型芯从凸台上拔出，拔模斜度是凸台的必要条件。不幸地是，它也会导致应力载荷的不均匀。当轴是金属（根据零件的结构而定）时，凸台最小直径的模芯定位可以利用剖分模芯［图 14-9（a）］代替单一模芯［图 14-9（b）］来进行控制。

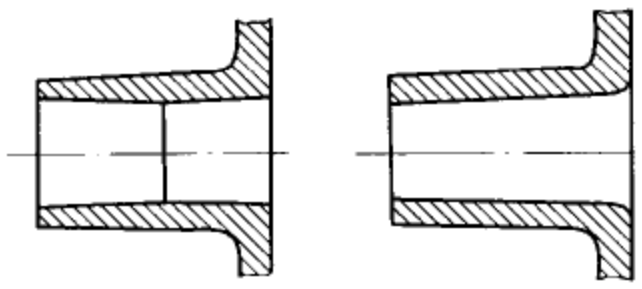


图 14-9 拔模斜度对应力的影响
（a）剖分模芯；（b）单一模芯

在某些情况下，孔或许要钻大到一定尺寸，这是一项需额外费用的后成型操作。不要试图用取消拔模斜度来解决这一问题，那样会造成更严重的成型问题，并会延长成型周期。当两零件都是塑料时，或许可以通过设计配件来解决这一问题，让轴和凸台的拔模斜度在同一方向。

（9）回用料 图 14-10 阐述了使用回用料对拉伸及冲击强度的影响（一些树脂所受影响较小）。如果使用回用料，在确定安全因子时必须考虑这种影响。作者不提倡使用回用料，尤其是在重载应用情况下。这种情况下，在工作状态的最大强度要求接近材料的极限性能。

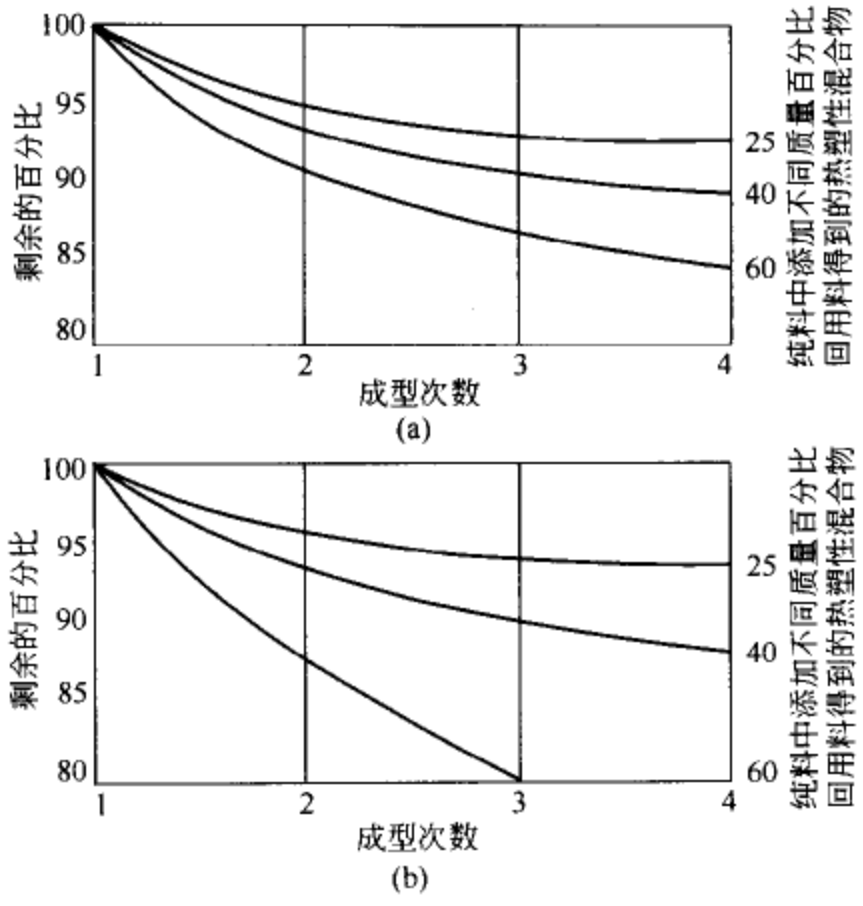


图 14-10　回用料对热塑性塑料强度的潜在影响

(D. V. Rosato 的《Rosato 塑料百科全书》，1993)

(a) 拉伸强度；(b) 冲击强度

14.3　安全因子

当确定安全因子时前面提到的所有标准都要考虑到。然而这并非易事：增加安全因子的最终结果是许用干涉量的减小、许用公差范围的减小、凸台外径的扩大(会使凸台出现缩痕)，或需要更坚固的材料（伴随着成本的提高)。

然而，作者推荐了最小安全因子为 3，即在计算中使用的许用应力是制造商提供数字的 1/3（安全因子为 4 时是 1/4 等)。作者有时曾经使用安全因子为 2，但并不完全了解它的危险性，且没有进行第一次原型制造，也没有对应用情况进行检测。实际上，不管使用的安全因子是多少，在生产开始以前应该对应用情况进行彻底的检测。

14.4　加工

很明显，我们不能利用壁厚太薄难以填充的凸台。具有高黏度的树脂必须通过繁杂的途径（包括它的压力降）艰难地流到凸台的位置。一般的规则是物料应从厚处流向薄处，不能从薄处流向厚处。在设计带有凸台的制品时通常会违反这一规则。随之会改变成功率。为了使物料从薄处流向厚处，工作人员必须提高模具的温度和压力。然而，这将使为了从压力配合中得到所需的干涉保持要求的公差变得更加困难，并且会增加“不圆的”的状态。

14.5 材料选择

一般来讲，材料成本会随着物理性能的改善而增加。在实际中，材料选择方面通常是选择满足产品要求中成本最低的材料。为了达到这一目的，工程师需要确定要求达到的拉伸应力。然而，确定应力的公式也需要有材料的泊松比和弹性模量。

为了避免试图去解决一些未知的问题，通常的步骤是选择一种材料并且确定两零件的环应力或干涉量。确定应力或干涉量的最快的方法是从这类材料的筛选中得到的。同时，一些树脂制造厂家提供计算机程序可提高计算的速度。根据最初实验中计算的结果可做出由另一种材料代替或改变凸台尺寸的决定。这种过程可以反复进行直到实现需求平衡的最优化。

14.6 零件设计

14.6.1 重载压力配合

使用各种设计技术来阻止前面讨论的由于各种现象导致的接头变松的趋势。基本上是利用材料自然趋势使冷流进入裂缝。图 14-11 所示的是这些装置中的两个。花键式的或肋状轴［图 14-11（a)］可用来保持扭转强度，环［图 14-11（b)］对轴向有利，螺旋状也有相同好处。这些装置结合起来可防止两个方向上的失效。

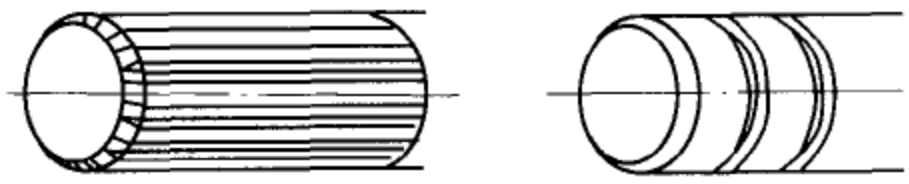


图 14-11 防松设计细节

（a）花键式的或肋状轴；（b）轴向环

一种限制轴向移动的方法是在轴上创建一凹槽，并使凸台与之配合，它可通过用一个大环代替图 14-11（b）中所示的三个小环来实现。凸台最终的直径必须经得住蠕变效应和周围环境的检测。安装时在轴径表面产生的应力也要进行校核，然而为了避免这一问题，需要的话，可将凸台加热使其扩大或将轴冷却收缩。

14.6.2 轻载或可打开型压力配合

对于轻载或可打开型压力配合，有几种设计可通过放宽公差范围来降低成本，这些想法是利用一些塑料的韧性使其在一定压力下允许变形或压坏，特别是在较薄的部分。这些方法中的几个在第 2 章中有所陈述。当配合的零件压紧时，图 2-17 中的肋会压坏。这些径向锥形压坏的肋提供约束，从而增加了具有较好的强度和定心公差范围。这个柔软的弯曲变形见图 2-18，硬度数小但能提供自由公差。这两

种肋的设计可放置在轴上或凸台上。

图 2-20 中所示的阶梯设计是传统实验室配件中的类型，由于需要具有分瓣式型腔，所以难以实现真空密封，而且分型面的错配也妨碍理想密封的形成，由于在凸台上需创建倒陷，它与降低成本的目的相悖，因此这些设计最适合于在轴上进行。

图 14-12（a）和图 14-12（b）中所示为 Luer 配件，它是医疗工业中针和静脉注射连接件的标准。这一概念通常与其他尺寸一起应用在各种场合。图 14-12（c）中的肩或图 14-12（d）中的肋可产生正定位。聚丙烯零件获得牢固的配合角度应该是 2°。为了使配件变松，可增大这一角度，或者为了得到配合更牢固，也可减小这一角度，但 1°被认为是下限。

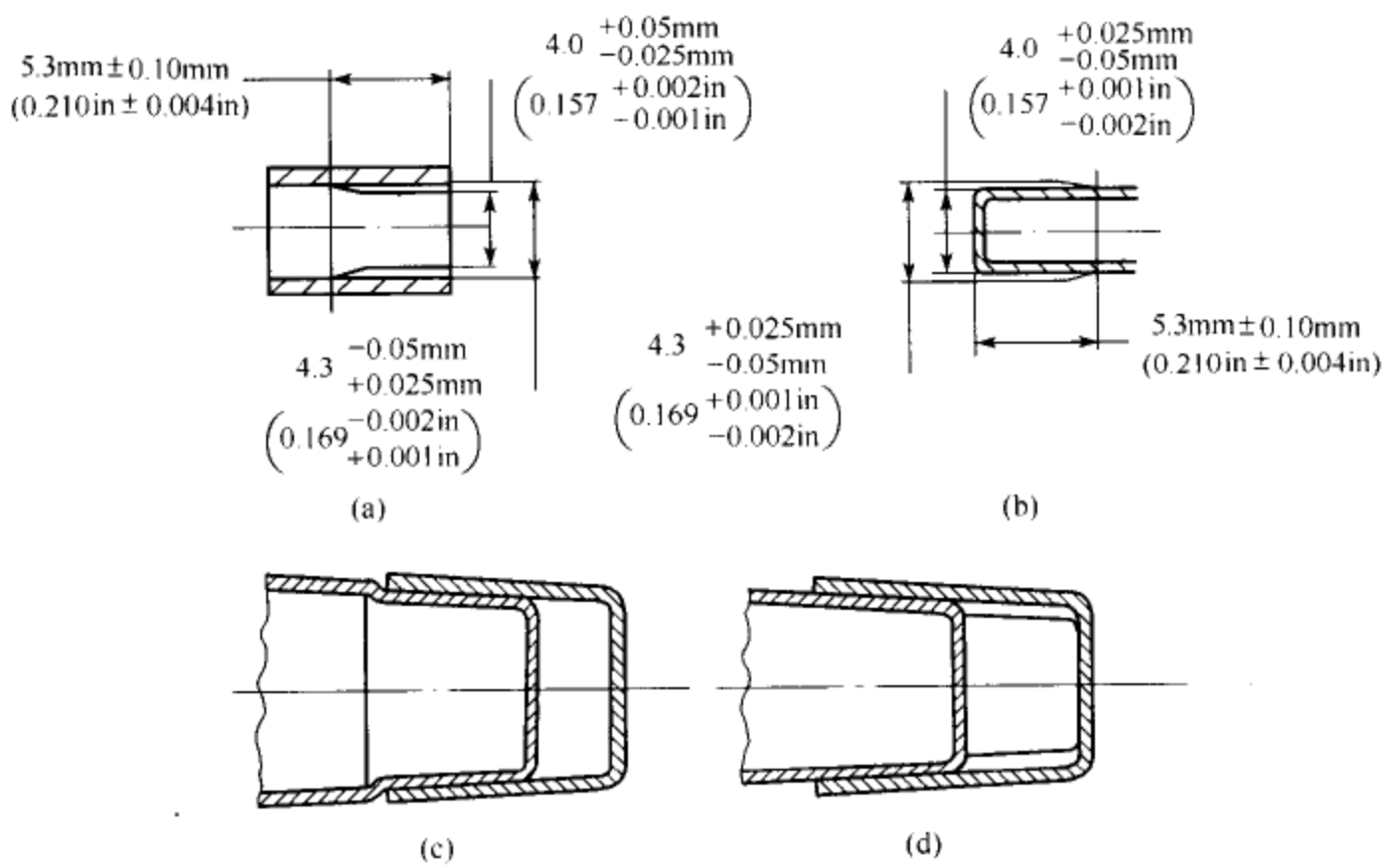


图 14-12　锥形装配

（a）阴模 Luer 装配尺寸；（b）阳模 Luer 装配尺寸；（c）肩部设计；（d）支撑肋设计

14.6.3　非圆形的配合

大量压力配合装配的所有高应力应用的配件都是用圆形零件制成的。然而，方形或矩形形状连接也有一些成功的应用，如食品储藏柜和化妆品包装。

图 14-13（a）中的圆形配件说明了两圆形零件可压力配合到一起的方便性。这种方法在两种壁厚或材料不同、一个零件刚度明显大于另一个并且可强迫使刚性较差的零件变成另一个零件的轮廓的情况下尤为适用。允许公差范围更大并且准备适应制品成型时产生的椭圆度。

当形状偏离圆形［图 14-13（b）］时，这一特性便没有了，角会变得更硬并且各边会向里变形。密封会更加难以保持。这种情况下有一种被称作“角部硬化”的

可能性，就是坚硬的拐角会妨碍装配。如果不需要密封，采用内部零件的外角圆角比外部零件的内角圆角半径大，如图 2-23（b）所示，可避免“角部硬化”的发生。

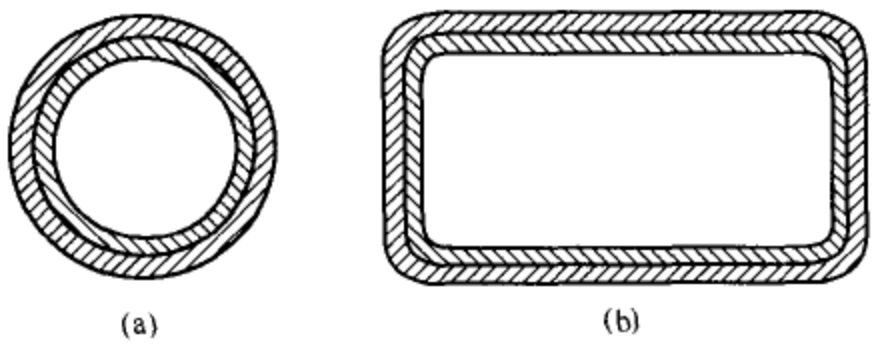


图 14-13　配件形状

（a）圆形配件；（b）带有圆角的矩形配件

第15章　卡扣连接

15.1　优点和缺点

15.1.1　优点

卡扣连接和压配非常相似，而且它们有许多相同的优点和缺点。但事实上，它们在许多应用方面都存在着竞争。对于卡扣连接，主要考虑的因素就是零件的形状、连接处的载荷、重新打开能力、模具成本及连接处能否承受长期应力的多重影响，这种应力对于压配来说是固有的，而在大部分卡扣连接中，应力大都可以避免。卡扣连接一般不会处于长期应力状态，所以对于安全因素的要求也就较低。卡扣连接的优点如下。

（1）毋须附加材料　卡扣连接不会使用紧固件、插件、电磁预成型品、胶黏剂或溶剂等附加材料。因此，在本质上它们要比那些使用这些材料的方法成本低，而且分解回收利用也会比较便宜。

（2）装配容易　卡扣连接只需要直接插入；因此它们在许多应用场合不需要其他工具就能实现，并且非常适合自动装配，所以有可能获得高生产率。

（3）相异材料　金属可以和塑料连接，而且许多不同的塑料犹如类似的聚合物一样，彼此之间都可以进行卡扣连接。那些由于太脆而不能进行卡扣连接的金属制品或塑料制品，都可以通过胶黏剂或紧固件将卡扣悬臂连接在这些制品上。

（4）永久性　如果不能在零件外部进行强卡扣连接时，卡扣连接可以用于永久性的装配。

（5）重新打开能力　当卡扣连接能够轻载装载或在零件的外部进行连接时，卡扣连接就可以设计成可以重新打开类型。像便宜的圆珠笔或标签笔经常设计成这种类型的卡扣连接。

（6）形状自由　圆柱形或环形卡扣连接很明显是圆形，而扭转卡扣连接本质上是指状的，悬臂卡扣可以设计成多种形状。

（7）卡扣其他零件　在两个零件进行卡扣连接时可以卡扣附加的零件。

（8）内连接　在内部也可以进行卡扣连接。

（9）能量效率　卡扣连接是最有能量效率的装配方法。这也就意味着没有多余的热量可以从工作地方散失。

（10）空气干净　与使用粘接和溶剂连接系统不同，本连接不需要通风设备排

出毒烟。

（11）处理迅速　装配好的零件可以直接进行其他操作而不需要等零件冷却和胶黏剂或溶剂调整好。这个优点就使得它非常适合自动装配生产线。

（12）高生产率　因为真正的连接时间是瞬时的，所以有可能达到每分钟 20～60 个这样的高生产率。

15.1.2　缺点

卡扣连接也同样有一些缺点。

（1）模具限制　卡扣连接通常要求模具有倒陷。至少，它们可能在允许零件从型芯上剥落的设计自由方面产生了一些限制。在多数情况下，要使用昂贵的型腔数量受限制的抽芯式机械装置。

（2）工艺限制　可剥落倒陷在注射成型过程中有一个非常小的窗口，而且可以在不发生扭曲的情况下成功顶出。抽芯式模具除了注射成型之外，几乎不适合其他任何工艺，但是有一些样式在传递模塑法和压延成型法中还是可行的。对于少量应用场合，可以直接在任意成型方法成型的零件上机加工倒陷，但首先得假设零件足够大能够让工具进入。但是对于机加工卡扣臂所需的薄区域是比较难的。

（3）卡扣失效　扭转，特别是卡扣悬臂往往会因为疲劳、不合理的设计及来自许多不同方面的应力而变得非常容易失效。圆柱形的卡扣连接在由熔接痕、浇口应力及空洞产生的弱点处是比较脆弱的。卡扣失效往往是不可能再进行修复的，并且会导致整个装配的失效，除非有足够的冗余量。

（4）材料限制　因为卡扣连接在卡扣接合时需要材料弯曲，因此它们最好和柔软材料一起进行连接。

（5）热膨胀性　两种材料之间线性热膨胀系数的巨大差异就可能会导致在极端温度下应力开裂或卡扣的松动。

（6）吸湿性　一些塑料经常因吸湿性而发生膨胀，这种吸湿性足以导致卡扣的松动。

（7）装配限制　暴露的卡扣臂在装配期间比较容易破裂，尤其是在自动装配设备上。脆性、填充、纤维增强的材料最容易发生这类失效。

（8）密封受到限制　使用卡扣件很难实现密封，由于在载荷作用下，各种现象都会造成卡扣松动。有一些密封可以通过使用一些软垫材料来实现。

理想的情况下，卡扣连接应该设计成在装配过程中能够承受应力。剩下的缺点都适用于载荷作用下静止位置的卡扣连接。

（9）应力松弛　时间会减弱材料承受应力的能力，尤其是在高温的时候。应力松弛会导致塑料开裂和龟裂。

（10）蠕变和冷流　当连接处在经历应变松弛时受到这些影响就会使得连接处松动。

（11）环境限制　化学和紫外线照射都可能会产生因应力开裂而失效。

15.2　综合应用

卡扣连接受到装配和分解回收利用方面的成本下降的刺激，它的应用范围不断地增大。它们可以设计成容易再打开、难再打开或不损坏零件就不能打开等类型。结果是设计师和工程师们建立了一个较宽的创新的卡扣连接设计领域。应用领域从便宜的圆珠笔和标签笔到办公设备和自动推进设备。基本上有以下四种类型的卡扣连接。

（1）卡扣悬臂或梁　这些都是附在悬臂、梁或其他附加物末端的安全扣。为了能够永久连接，应该将它们设计成附属在倒陷上，从外面看是隐藏的。为了能够重新打开，应该在零件的边上或底部在拆卸的开口处设计有凸起。

（2）圆柱形、环形、周向或环纹配合　标签笔就是这类卡扣连接的典型。这种配合最常用于代替压配。

（3）球-窝连接　这是一个普通的设计，圆柱形和球形使用同样普遍。

（4）扭转卡扣连接　这些都可以设计成可重新打开型，并且通过一个支点作用到杠杆的根部。

15.3　一般工程原理

15.3.1　允许的动应变

如果卡扣臂设计成能够维持在弹性极限范围内，那么卡扣臂将会很明显地回到它的原来位置。在许多情形中，那种设计只能提供给挂钩少量的握紧面，不足以将两个零件连在一起。基于起始模量的使用，弯曲应力看起来要超过材料的屈服强度。但是，事实上，并没有超过屈服强度，因为起始模量只应用于那些非常小的应变。对于大应变，则使用正割模量。卡扣连接设计理论则是基于许用动应变极限而不是屈服应力。

那么问题就变成确定许用动应变值。图 15-1 描述了有明确屈服点聚合物的应力-应变曲线，典型的就是未增强热塑性塑料。对于单一装配，无定形热塑性塑料就可以使用屈服应变值的 70%，对于结晶型塑料则可以使用屈服应变值的 90%。如果装配必须是可以重新再打开，那么无定形聚合物所使用的数据将是断裂应变值的 42%（70%中的 60%），而结晶型塑料则是 54%（90%中的 60%）。

对于没有明确屈服点的材料［图 15-1（b）］，例如玻璃增强热塑性塑料就可以使用较低的百分数。对于这种材料，用于单一装配的值为断裂应变值的 50%；可重复组装的则是 30%。

注意在图 15-1（a）中所述的两模量。弹性模量在材料的具体说明上都会有，

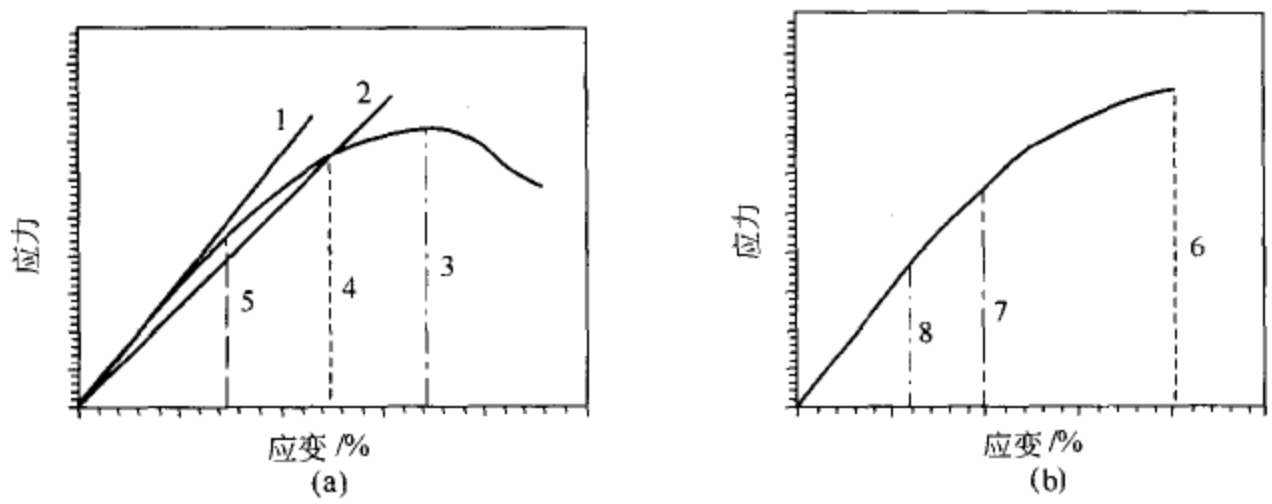


图 15-1 应力-应变曲线（曲线图得到 Ticona LLC 的允许）

（a）有明确屈服点的聚合物；（b）没有明确屈服点的聚合物

1—弹性模量；2—正割模量；3 屈服应变；4—用于单一装配屈服点应变 70%处；5—用于多重装配屈服点应变的 42%处；6—断裂应变；7—用于单一装配断裂应变的 50%处；8—用于多重装配断裂应变的 30%处

但是很明显，它并不会如实地反映 70%屈服应变值处聚合物的真实性质，也就说明了它比实际要硬。因此，实际上所使用的模量也就是应变点的正割模量，目的就是为了能够获得一个能够真正代表实际材料的值。因此必须将注意力放在实际使用材料的弧线上，但如果同时有一点能够更具有代表性，那么工程师就比较愿意选择这一点。正割模量适用于这一章里的所有计算。

15.3.2 角应力集中

全神贯注于卡扣连接方程的人不应该忽略其他工程现象。图 15-2 中所示的内拐角产生的应力集中肯定不会超过第 2 章“高效装配设计”里所描述的参数。但是，0.5 是未增强塑料经常使用的内半径与壁厚的一个比值，而且它会产生约为 1.5 的应力集中因子。悬臂根部的半径很容易可以设置为 0.5，但是要在挂钩上就比较难实施，因为那个半径需要将材料从平整部分移走并且因此增加所需的偏斜量。但是在设计中仍然有一个比较脆的点存在，而且许多卡扣连接都在那个内角处失效。很明显，需要考虑交替使用。因此，作者建议与树脂生产厂家协商确定待选材料适当的应力集中因子和应变值。

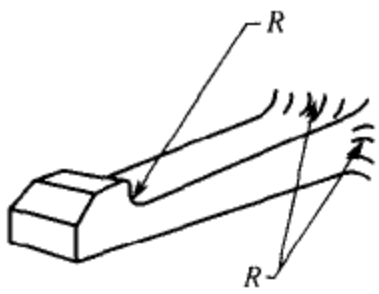


图 15-2 角应力集中

玻璃纤维增强塑料在决定内径方面有更大的选择范围。但是，无论是增强还是未增强聚合物，0.5mm±0.12mm 可以被视为最小值，即在最差的情况下，半径值也不会低于 0.38mm。

有关这些拐角的问题，仍然需要解决。再次参考第 2 章，观察发现，避免内拐角应力集中所预备的大半径很可能会因冷却不均导致较大的成型应力。如果卡扣梁底部积聚的物料大到足以产生一个直径超过壁厚 25%的圆时，就可能会导致成型

应力的产生。

15.3.3　当两个零件都是弹性体时的工程调整

在本章节里的公式中假设所有的偏差都发生在两连接零件中的一个上。这并不意味着其中一个必须是金属而另一个必须是塑料，因为这种现象会在两种刚度相差较大的塑料零件上显现出来，甚至是两种相差较小的零件，如果其中刚性大的零件有一个较大的壁厚时也将会发生这种情况。但是，偏差同时发生在两个零件身上的应用也有许多。

有一种处理这种变化的方法，实施起来可能会有一些吃力。图 15-3（a）就绘出了和零件上偏差对应的偏差力 P，其中（0，0）点在左下角。图 15-3（b）描述了另外一个零件同样的曲线图，其中（0，0）点在右下角。将两曲线图都放入到图 15-3（c）中。两曲线的交叉点就定义了真正的偏差力（P）和发生在每个零件身上的偏差量（y_1，y_2）。通过以上这些数据就能够确定连接零件所需的力和每个零件的应变。

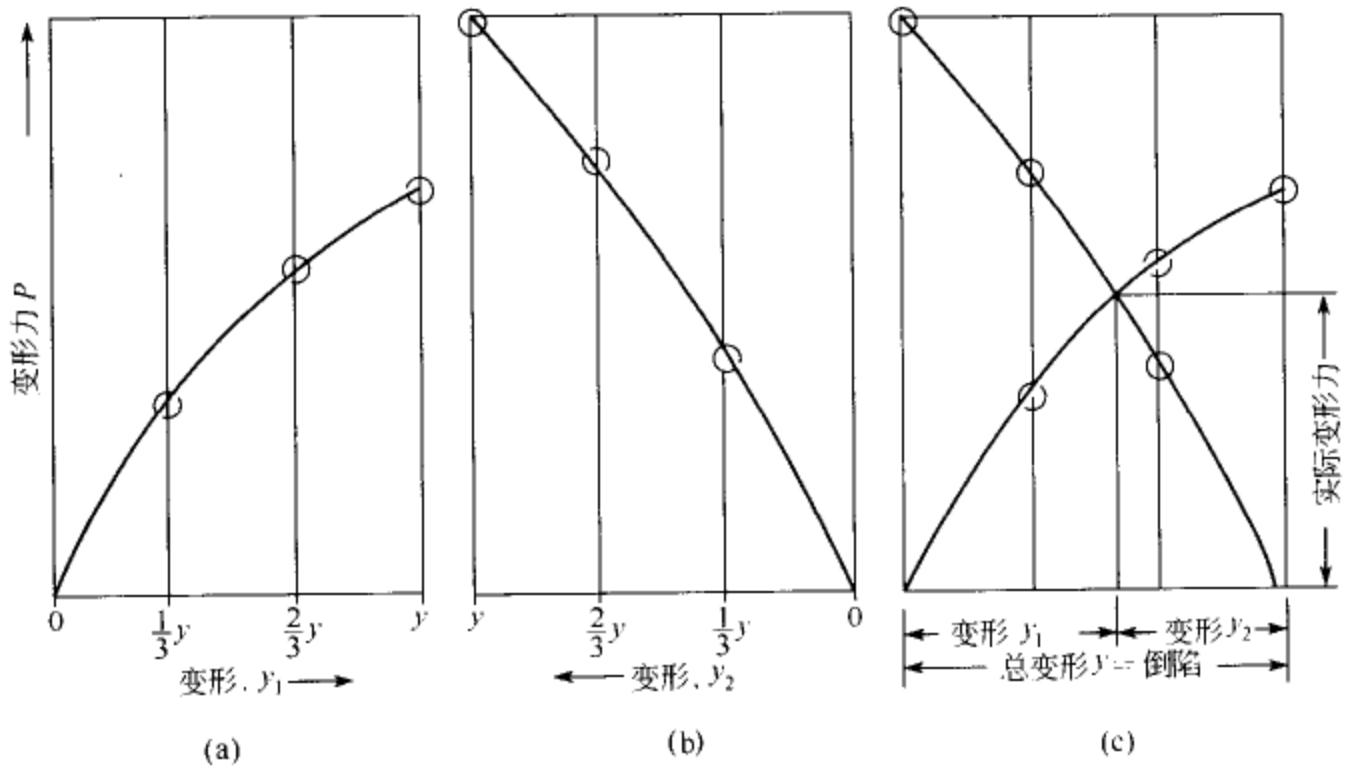


图 15-3　当两连接零件都具有弹性时变形和横向力的确定（曲线图来源于 Bayer）

（a）连接零件 1；（b）连接零件 2；（c）连接零件 1 和 2

15.3.4　有限元分析

卡扣配合的设计，尤其是悬臂类型，非常适合于有限元分析（FEA）。因为卡扣悬臂设计中所使用的经典梁公式都包含有内在的错误，它们都假定长高比非常大。长高比小于 5∶1 的短扣臂并不适合这些公式，而且会导致误差。长高比越小，误差也就越大。所以，一般在这些设计中尤其是所有的卡扣悬臂配合设计中都推荐使用 FEA。此外，FEA 也可以对内拐角应力集中和邻近壁偏差进行分析。

15.4 悬臂卡扣连接

15.4.1 悬臂卡扣连接设计

悬臂卡扣连接应用范围比较宽。根据应用要求的不同，可以设计成不同难度的永久性或可重新打开式的类型。图 15-4（a）显示了一种基本的永久卡扣连接；90°的回角使得它垂直于悬臂和连接零件的内壁面。但那并不意味着这个配件不能够重新打开，因为只要在连接处施加足够的力就可能会导致挂钩的失效。但是对于这种结构只要不失效就不能够重新打开。卡扣件在受到如图 15-4（b）所示的一个向下力的作用时便会在壁面分开。如果这个角度变得像图 15-4（c）所示那样更有渐进性，那么这个配件就能够重新打开。倾斜面的倾斜量越大，那么装配件的打开以及从模具中取出零件都将会更容易。因此就可以通过改变自锁角来控制打开连接点处所需的力。这种类型卡扣件的加工成本越来越高，这将会在 15.9 节“卡扣连接成型模具”里进行讨论。

对于可再打开的配件来说，必须要有一个能够使挂钩脱离的方法。如果可以如

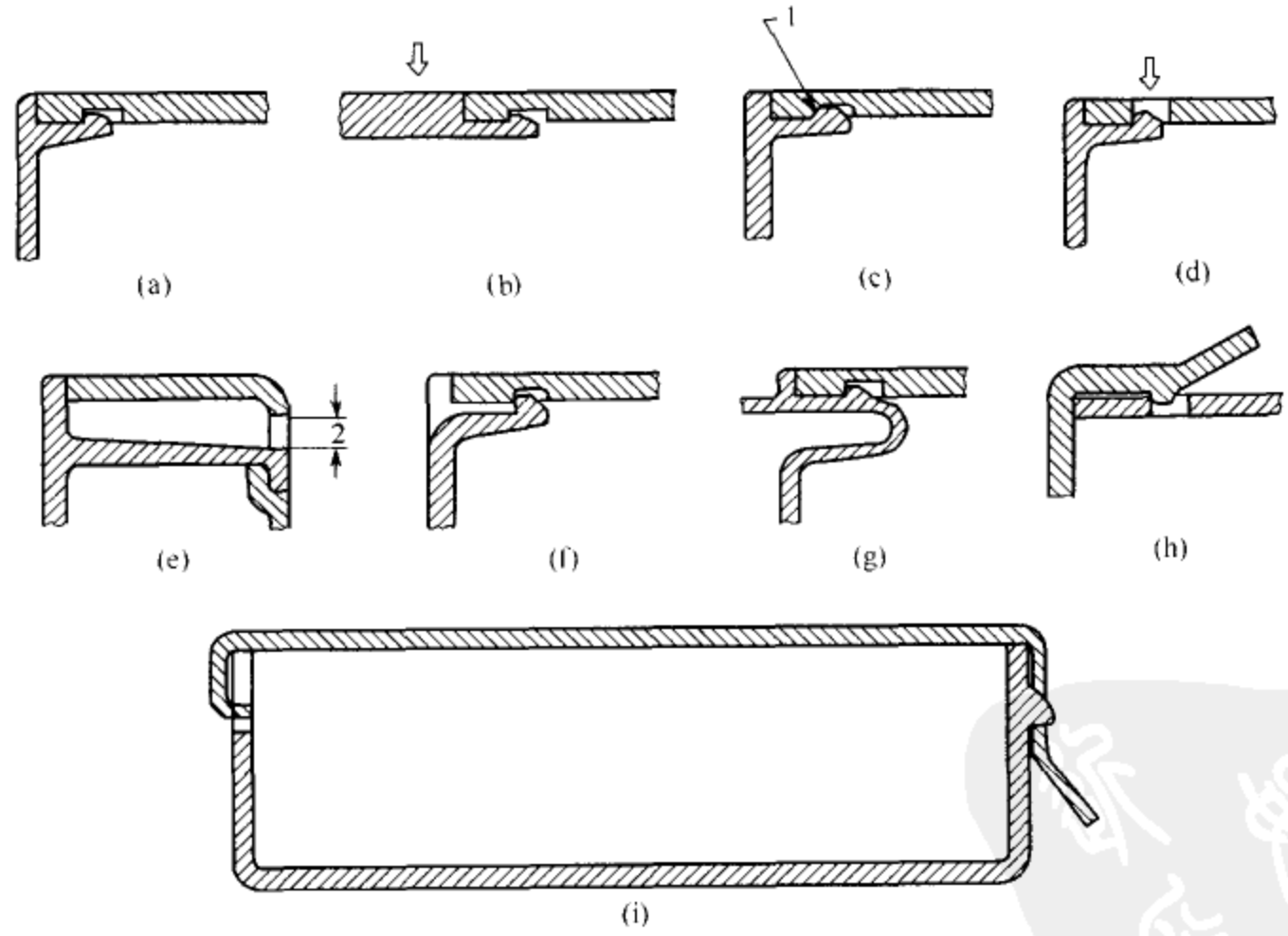


图 15-4 卡扣连接

（a）永久性的；（b）可重新打开式；（c）可重新打开卡扣连接；（d）可重新打开卡扣连接——从边上进入；（e）可重新打开卡扣连接——底部进入；（f）可重新打开卡扣连接——前面进入；（g）较易重新打开的卡扣连接——U 形臂；（h）易重新打开的卡扣连接——倒陷口；（i）使用铰接凸耳和弹簧扣建立可重新打开的卡扣连接

1 弯角扣件；2—偏差极限

图 15-4（d）和图 15-4（e）那样建一个切口来代替一个切槽，那么挂钩就可以从零件的外部进入，这也就意味着可以通过一个像螺丝刀一样的仪器来撬开它，也可以通过用其他工具撬开如图 15-4（f）所示的挂钩。注意图 15-4（e）中挂钩后面的缺口其实可以设置来限制扣件臂的偏差量；但是必须注意确保拆解扣件有足够的准许间隙。

如果扣件比较容易打开，就像电池放置室的门一样，那么扣件的挂钩就可以是 U 形臂的一部分［图 15-4（g）］，或当它们用作卡齿时，它就有可能是在外面［图 15-4（h）］。在这种设计里头的切口和挂钩之间是可以颠倒的，就像图 15-4（i）那样。图 15-4（i）也说明了扣件是怎样和铰链结合建立放置室门的。

图 15-5 显示了多种卡扣连接应用，其中有一些用来组装那些不能进行集成装配的零件。如果使用图 15-5（a）和图 15-5（b）的设计，那么印刷电路板和电子元件就可以和塑料零件组装。棒和线都可以和如图 15-5（c）及图 15-5（d）所示这类配件进行组装。图 15-5（c）设计的目的就是想用和装配时一样大的力来移走物体，而图 15-5（d）则是为低安装压力和高分离力而设计的。其实在许多例子中，锁件都是直接在元件上模塑出来［图 15-5（e）、（f）］。

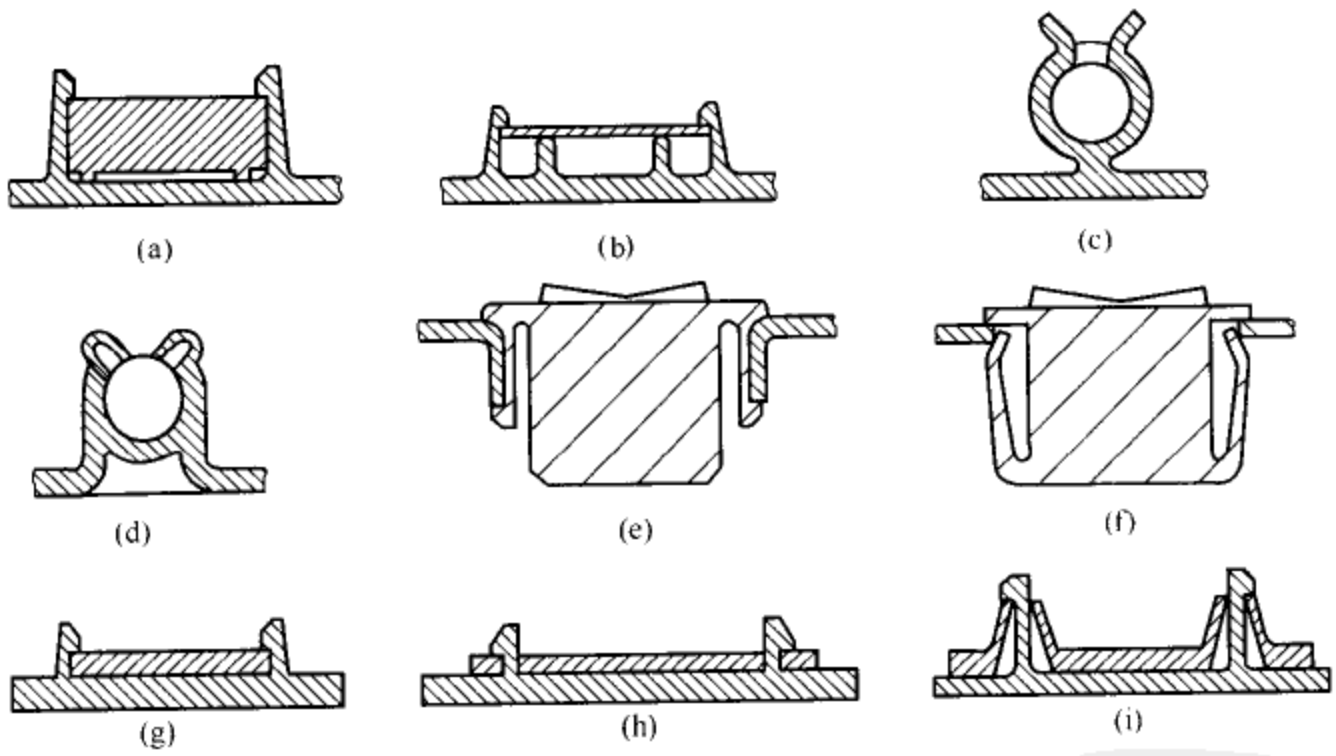


图 15-5　卡扣连接应用

（a）电子元件锁；（b）印刷电路板固定架；（c）可重新打开的圆柱形锁；（d）非永久性圆柱形锁；（e）隐窝式锁；（f）嵌板式锁；（g）有小范围公差要求的悬臂挂钩；（h）能容纳大公差的悬臂挂钩；（i）带有自动定位装置的卡销指状物（可以容纳较大的公差）

图 15-5（g）里所描述的外部悬钩在尺寸上是很难控制的，并且在某些压力作用下会在某个方向上或其他方向上产生的一个小小的偏差就会导致脱离或接合。图 15-5（h）里所示的内钩就会比较适合于尺寸变化，与图 15-5（i）里的卡销指一样。外定位元件可以用来减弱扣件因尺寸变化而产生的脆弱性。而这个凸耳则减少了所需的具有弯曲性的卡扣连接的数量。

扣件挂钩典型的都是整体模塑在要连接的元件上。但是，并不是所有都是这样的，因为像一些能钩住一些孔的非整体式的挂钩也得到了广泛的应用。

虽然大部分的卡扣件都是在注射成型工艺中完成的，但是这种连接方式并不受这种工艺的限制。作者曾经也用这种连接方法对通过压模、滚塑、吹塑及压延成型生产出来的产品进行连接。

多元件装配可以通过使用悬臂扣件来完成。图 15-6（a）和图 15-6（b）阐明两个这种类型的设计，而图 15-6（c）的设计则解释了筋是怎样加强扣臂和防止它们脱离的。在图 15-6（d）中，可重新打开扣件中的筋则是用来限制扣臂的移动及防止失效。如果在这些设计中的第三个元件是由弹性材料制造而成，那么整个装配而成的外形就很可能是封闭的。那么这就涉及到因蠕变而需对扣件进行预紧。在装配期间，卡扣连接可以当作一个暂时的支撑或使两个零件保持在一起用于胶黏剂或溶剂的凝固。图 15-6（e）所示的就是这种设计的一个典型例子。

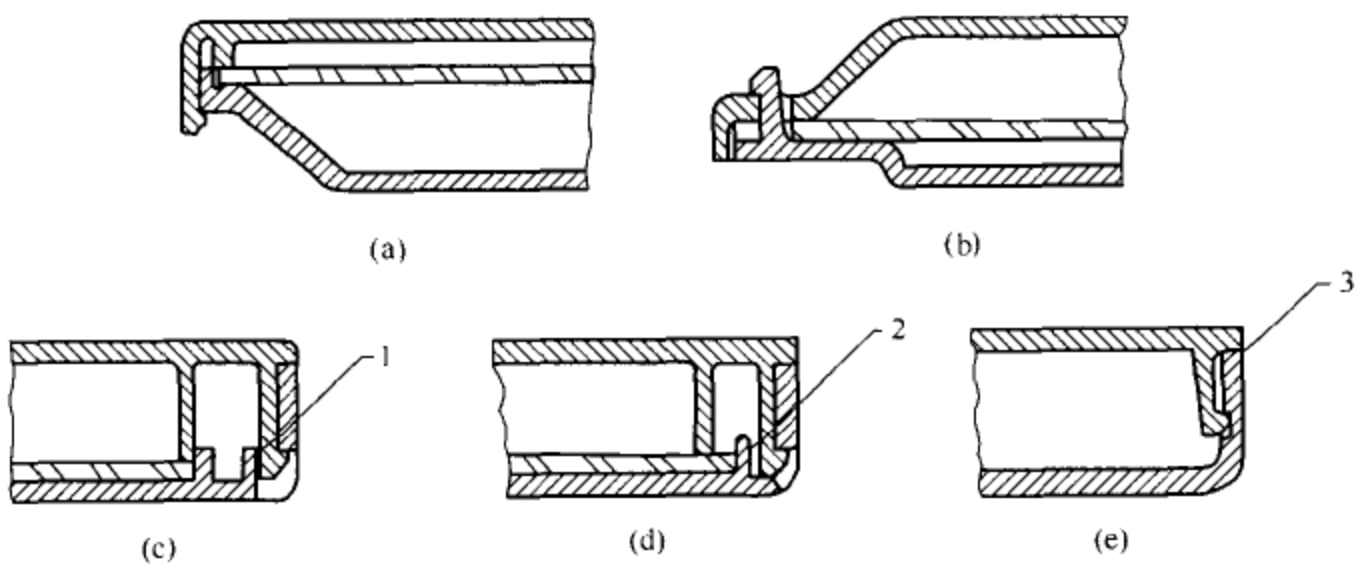


图 15-6　多元件装配

（a）外扣；（b）卡口式卡扣；（c）内卡扣；（d）受限制的移动内卡扣；（e）用作黏性夹或溶剂的卡扣

1—加强筋；2—偏移移动限制筋；3—黏性连接处

15.4.2　悬臂卡扣连接工程学

卡扣悬臂主要是受到弯曲形式的载荷作用。安装力 R 基本上由两部分组成：因臂的偏差而形成的法向力 N 以及因摩擦而产生的力 F，如图 15-7（a）所示。

为了说明图 15-7（b）中径向分量（P）和水平方向分量（W）之间的关系，其表达式表述如下：

$$W = P\tan(\alpha+\rho) = P\,\frac{\mu+\tan\alpha}{(1-\mu)\tan\alpha} \tag{15-1}$$

式中，P 为偏转力；μ 为两种材料之间的动摩擦系数，并且可以通过图 15-8 得到 $\frac{\mu+\tan\alpha}{(1-\mu)\tan\alpha}$ 的值。所得到的值都将会被视作一个近似值，因为真正的摩擦系数是很难确定的。它可能会随着滑动速度、温度、法向载荷、空气环境、运动学、几何形状和表面情况及滑动历程的变化而变化。即使是对于同种材料（见表 15-1），

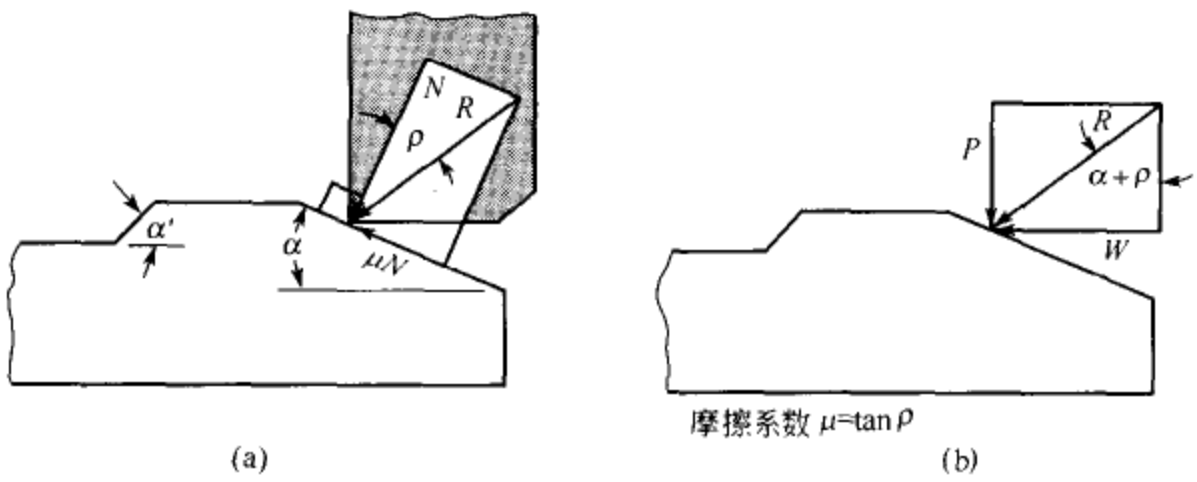


图 15-7　悬臂受力（图片来源于拜耳）

（a）$F=\mu N$；（b）摩擦系数 $\mu=\tan\rho$

据说它的摩擦系数也可能发生高达 100%的变化。对于大部分的应用来说，整个设计应该从 α 角在 15°～30°之间某一个值开始。由于材料的原因，因此不可能会组装 α 角大于 45°的零件。

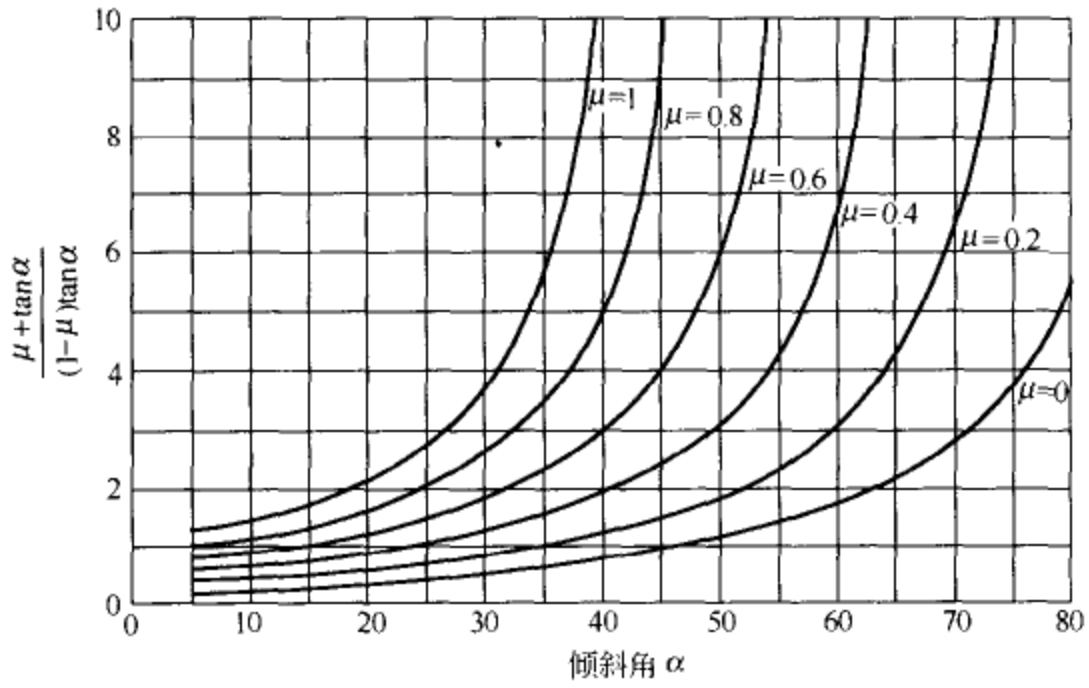


图 15-8　确定 $(\mu+\tan\alpha)/[(1-\mu)\tan\alpha]$ 值的图表

（图片来源于拜耳）

表 15-1　μ（不同种塑料在钢板上的摩擦系数）的推荐值

材　料	μ①	材　料	μ①
PTFE	0.12～0.22	SAN	0.45～0.55
PE(刚性)	0.20～0.25(×2.0)	PC	0.45～0.55(×1.2)
PP	0.25～0.30(×1.5)	PMMA	0.50～0.60(×1.2)
POM	0.20～0.35(×1.5)	ABS	0.50～0.65(×1.2)
PA	0.30～0.40(×1.5)	PE(柔性)	0.55～0.60(×1.2)
PBT	0.35～0.40	PVC	0.55～0.60(×1.0)
PS	0.40～0.50(×1.2)		

① 该数值取决于两个连接零件的相对速度、压力及表面质量。两种不同塑料之间的摩擦系数等于或稍小于表 15-1 里的值。而同种塑料的两个组件之间的摩擦系数则普遍较高。考虑到一些其他因素，这个系数应该加以修整，如括号内所示。

来源：拜耳。

维持力也可以通过利用挂钩的背部这种相同方式得到。其实我们可以发现，即使所使用的 α 角为 90°，但是失效还是很可能会发生的：因为作用在挂钩上的载荷就像作用在梁上的载荷一样不作用在同一条中心线上，这就会产生一个弯曲力矩以至引起挂钩回转及在内拐角或梁上发生失效。对于设计成能重新打开的扣件，一般都推荐使用 45°～60°的 α 角，除非像那种勿需轴向力就可以脱离的卡扣设计。

偏转力 P 取决于悬臂的横截面。表 15-2（a）中列出了决定偏转力值的大小的计算式及图 15-9 和图 15-10 中一些相关的几何因素。有关扣件悬臂的所有公式都将带有接纳扣件挂钩倒陷的对应构件看作是刚性的。在进行许用应变选择时，一般都要进行工程判断。表 15-2（a）里用到的符号和数字化注释都已在表 15-2（b）中给出。

表 15-2（a） 卡扣连接横截面设计有关计算式（来源拜耳）

设计类型		截面形状 A 矩形	B 梯形	C 环形	D 不规则截面
能够允许的偏转	1 整个长度上截面相等	$y=0.67\times\frac{\varepsilon l^2}{h}$	$y=\frac{a-b}{2a-b}\times\frac{\varepsilon l^2}{h}$	$y=K^{*}\frac{\varepsilon l^2}{r_2}$	$y=\frac{1}{3}\times\frac{\varepsilon l^2}{c^*}$
	2 y 方向所有尺寸减少到一半，例如 h、Δr	$y=1.09\times\frac{\varepsilon l^2}{h}$	$y=1.61\times\frac{a+b}{2a-b}\times\frac{\varepsilon l^2}{h}$	$y=1.61\times K^{*}\frac{\varepsilon l^2}{r_2}$	$y=0.55\times\frac{\varepsilon l^2}{c^*}$
	3 z 方向所有尺寸减少到四分之一，例如边 a	$y=0.86\times\frac{\varepsilon l^2}{h}$	$y=1.28\times\frac{a+b}{2a+b}\times\frac{\varepsilon l^2}{h}$	$y=1.28\times K^{*}\frac{\varepsilon l^2}{r_2}$	$y=0.43\times\frac{\varepsilon l^2}{c^*}$
偏转力	1,2,3	$P=\overbrace{\frac{bh^2}{6}}^{z}\times\frac{E_s\varepsilon}{l}$	$P=\overbrace{\frac{h^2}{12}\times\frac{a^2+4ab+b^2}{2a+b}}^{z}\times\frac{E_s\varepsilon}{l}$	$P=Z^{*}\times\frac{E_s\varepsilon}{l}$	$P=Z^{*}\times\frac{E_s\varepsilon}{l}$

表 15-2（b）　表 15-2（a）的符号和注释

符　号	注　释
y=（容许）偏转 （=倒陷） ε=物体外部根处的（容许）应变； 规定：ε 的绝对值=百分比/100 l=臂长 h=根部厚度 b=根部宽度 c=中性面纤维和界面纤维的距离（重心） Z=截面模量，$Z=I/c$，其中，I=轴向惯性矩 E_s=正割模量 P=（容许的）偏转力 K=几何因子（见图 15-9） φ=角	①当拉应力在一个比较小表面区域 b 时，这些公式就可以应用；但是如果发生在一个比较大的区域 a 时，那么 a 和 b 必须相互交换 ②如果拉伸应力发生在凸面上，就可以使用图 15-9 中的 K_2，如果发生在凹面，相应地使用 K_1 ③c 是承受拉伸应力面上外部纤维界面和重心（中性轴）之间的距离 ④应该为承受拉伸应力的表面确定截面的模量；对于 C 类型横截面的截面模量已经在图 15-10 中给出；像其他基本几何类型的截面模量可以从机械工程手册中找到；许可应力通常受到温度的影响要比相关的应变要多，在室温下，很容易确定许可应力相关的应变；作为一个非常重要的近似值，计算的结果很可能源于一个和温度无关的值，虽然这个等式显得非常陌生，但是它们只是根据容许的应变水平然后运用一些常规工程计算式进行分析

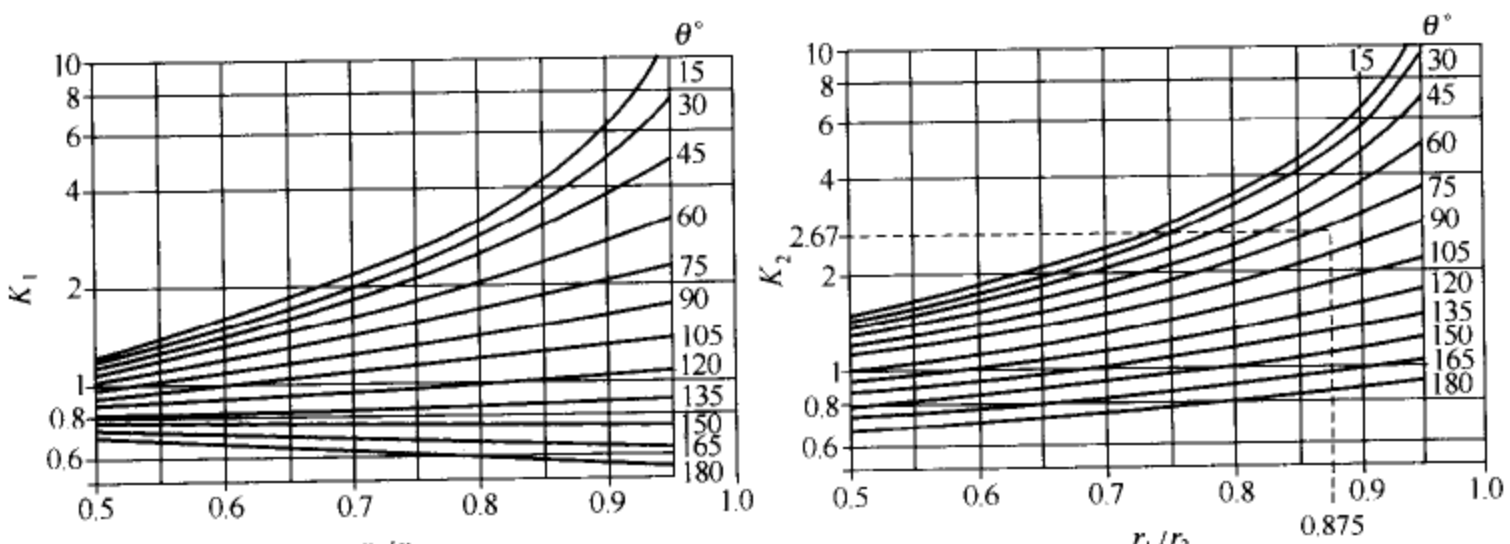


图 15-9　确定表格 15-2 中 C 类型横截面的 K_1 和 K_2 值的图表（图表来源于拜耳）

K_1 —拉伸载荷作用下的凹面；K_2 —拉伸载荷作用下的凸面

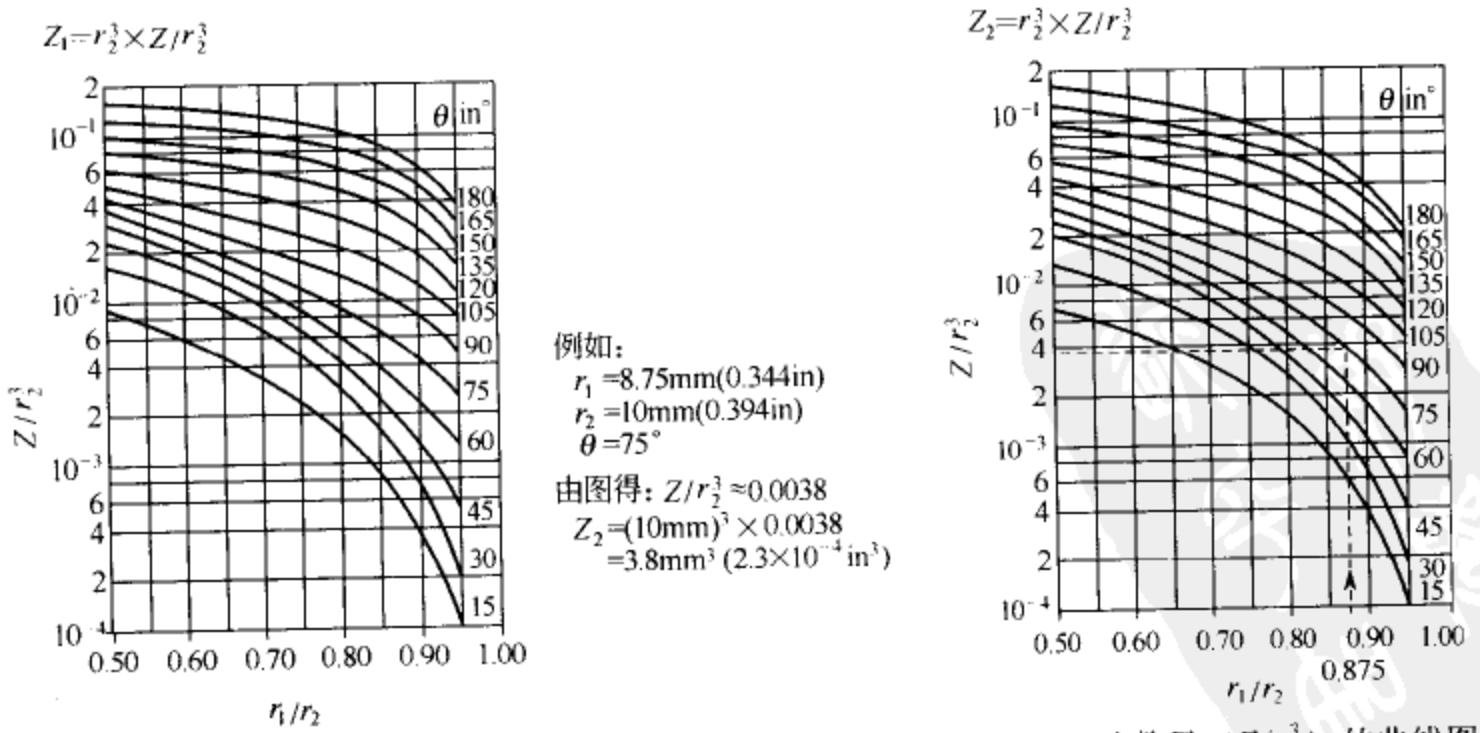


图 15-10　用来确定和推导表格 15-2 里 C 型横截面的截面模数（Z）的尺寸数量（Z/r_2^3）的曲线图；

Z_1 — 拉伸作用下的凹边；Z_2 —拉伸作用下的凸边（图片来源于拜耳）

表 15-2 给出了确定容许的偏转量和倒陷的计算式。对于横截面为矩形的直梁，它的加工成本是最便宜的。但是，它却会在臂的根基处产生了最大的应力集中。因此，就需要有更多的材料和一个更长的周期。这些要求，换句话说，增加了每个元件的成本；而且使用的扣件越多，成本因素也就会显得更加重要。

通过锥形梁，压力就可以得到更均匀地分散。因为锥形减弱了梁上的应变，并且允许比一个根部厚度相同的直臂扣件有更大的偏转量。相反，如果挂钩的厚度保持不变，那么这个梁就可以通过增加根部的厚度来变得更硬。梁无论在厚度上或宽度上都可成锥形。顶端的宽度可以减少到根部的 1/4；然而好的厚度比是 1∶2。这些就是表格 15-2 提供的计算式。

有时，使用不同的厚度比是非常有必要的。这个可以通过等式（15-2）来实现，从而代替直梁计算式中的几何因素 K：

$$y = K0.67\frac{\varepsilon l^2}{h} \tag{15-2}$$

式中，常数 K 可以从表 15-3 中得到。

表 15-3　式（15-2）中所使用的几何常数 K 的值

$h_{1.}/h_o$	K	$h_{1.}/h_o$	K	$h_{1.}/h_o$	K
0.33	2.137	0.56	1.515	0.79	1.190
0.34	2.098	0.57	1.497	0.80	1.179
0.35	2.060	0.58	1.479	0.81	1.168
0.36	2.024	0.59	1.462	0.82	1.158
0.37	1.989	0.60	1.445	0.83	1.148
0.38	1.956	0.61	1.429	0.84	1.138
0.39	1.921	0.62	1.413	0.85	1.128
0.40	1.893	0.63	1.399	0.86	1.118
0.41	1.863	0.64	1.382	0.87	1.109
0.42	1.834	0.65	1.367	0.88	1.100
0.43	1.806	0.66	1.352	0.89	1.091
0.44	1.780	0.67	1.338	0.90	1.082
0.45	1.754	0.68	1.324	0.91	1.073
0.46	1.729	0.69	1.310	0.92	1.064
0.47	1.704	0.70	1.297	0.93	1.056
0.48	1.681	0.71	1.284	0.94	1.047
0.49	1.658	0.72	1.272	0.95	1.039
0.50	1.636	0.73	1.259	0.96	1.031
0.51	1.614	0.74	1.247	0.97	1.023
0.52	1.593	0.75	1.235	0.98	1.015
0.53	1.573	0.76	1.223	0.99	1.008
0.54	1.553	0.77	1.212	1.00	1.000
0.55	1.534	0.78	1.201		

注：h_{L} 为卡扣端梁的厚度；h_o 为梁根部的厚度。

资料来源：Ticona LLC。

15.5　圆柱形、环形、周向或有环纹的卡扣连接

15.5.1　圆柱形卡扣连接设计

典型的圆形卡扣件具有食物储存器的特征，扣件盖在上面就是为了包住容器，而且很多其他应用现在都指定为圆柱形、环形、周向和有环纹的卡扣连接。虽然想法是用于不是很圆的形状，但从模具上取出零件并且进行组装变得越来越困难，整个形状变得越来越像方形或矩形。圆柱形装配件随打开的困难程度变化可以设计成不能重新打开或可重新打开的。图 15-11 就展示了这类卡扣连接的一些使用方式。

图 15-11（a）和图 15-11（b）展示了食物储存容器、打包及其他包覆作用的圆柱形卡扣连接。

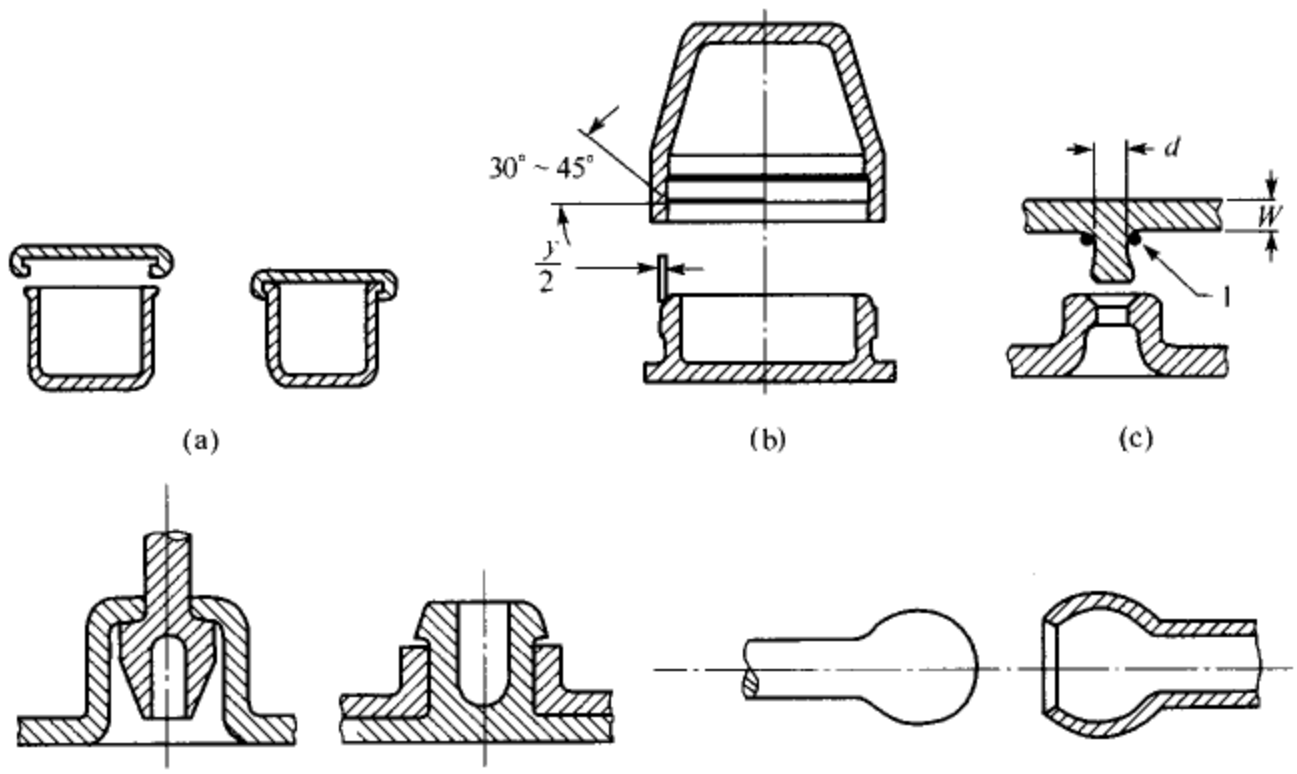


图 15-11　圆柱形卡扣连接

（a）打包用途；（b）包覆；（c）扣钮；（d）、（e）卡扣锁；（f）球和臼

1—橡胶 O 形圈；$d \leqslant 0.6W$

在应用中经常使用到像钢笔帽一样的小型圆柱形卡扣连接。甚至一些更小的也可以用作扣钮和锁［图 15-11（c）和图 15-11（e）］。当轴底部的直径 d 等于或略小于 0.6 倍壁厚时，就可以采用实心设计。如果直径比 0.6 倍壁厚大时，那么就应该采用图 15 11（d）或图 15-11（e）里边的去心设计。仔细观察这两个例子的导入角。经验表明，30°导入角是一个非常好的起始角。无论使用哪一种设计，轴底部的半径 r 不应该小于 $0.25W$，最好是 $0.5W$。最后是球-臼配合扣件，经常用在玩具和不贵的珠宝上［图 15-11（f）］。

在某些情况下，对于一个连续扣件来说，连接处产生的压力太大了。因此对于

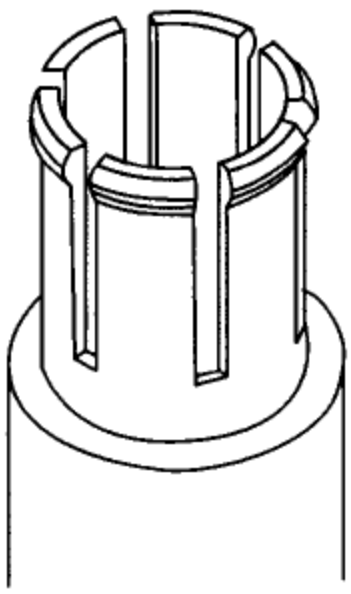


图 15-12　非连续圆柱形扣件
（来源于拜耳）

这些连接可以使用像图 15-12 里的一些非连续圆柱形扣件连接。但是必须指出的是，切口改变了从一个连续卡扣件到一系列悬臂的连接性质。它使得连接处的载荷主要是弯曲载荷。因此，悬臂卡扣连接所使用的计算式也将适合于非连续的圆柱形卡扣连接。但是对于圆柱形卡扣连接则不能使用这些公式。

15.5.2　圆柱形、环形、周向形或有环纹的卡扣连接的工程学问题

15.5.2.1　最大容许干涉

悬臂卡扣连接涉及到多种轴向应力，因为这些力都是轴对称的。因此在实施圆柱形扣件设计的第一步就是确定其最大的容许干涉量（I）。这也就意味着有关直径的总干涉，因此其中一边的干涉量就应该是那个值的一半，即 $I/2$。这个就可以通过简单公式（15-3）来决定（近似于筛选）：

$$I=\varepsilon d \tag{15-3}$$

式中，ε 为最大容许应变；d 为轴的直径。这个等式是以假设两个零件中的一个保持完全刚性为前提。

当一种材料的刚性要比另一种材料差时，那么此时也就希望它可以展现出各种形变甚至是所有的形变。然而，应变也会根据材料的相对硬度来进行成比例的分摊。例如，如果两个材料的硬度相等，那么就预期每种材料都得到一半的应变。

通过修正计算式（15-4）就可以实现尺寸组合快速筛选，然后决定是否超过了所允许的应变：

$$\varepsilon=\frac{I}{d}100\% \tag{15-4}$$

式中，I 为干涉量（总的）；d 为直径。

15.5.2.2　横向力和轴向力

对于大部分零件来说，圆柱形卡扣连接要比悬臂卡扣连接强度大。虽然它们可以通过加热扩大外部零件或通过冷却内部零件来减少装配力，但是实际上像压配一样，仍然要求有非常大的组装力。圆柱形扣件连接组装力的计算是所有计算式中较复杂的。原因就在于应力分布在一个较大面或范围内，大部分偏斜量都发生在管状连接件的一个相对较长的面上。由于受力作用区域的长度很难预测，所以计算结果只能视为近似值。然而，可以通过基于弹性体原理建立起来的无限长梁的理论公式来获得合理的近似值。

主要的方程都是以卡扣件位于管的末端的假设为前提建立起来。这些计算结果将会根据实际组件位置的不同而有所调整。图 15-13 描述了应力的分布情况；而扣

件到管道末端距离则由 δ 来指明。

靠近管道末端的扣件的径向力 P 可以通过以下公式获得：

$$P=ydE_s x \qquad (15\text{-}5)$$

式中，P 为径向力；y 为变形量（倒陷）；d 为连接处的直径；E_s 为正割模量；x 为几何因子。

卡扣连接件的几何刚度就由几何因子 x_N 来反映。当轴是刚性而外部管道是弹性时，这个因子就可以如下表述：

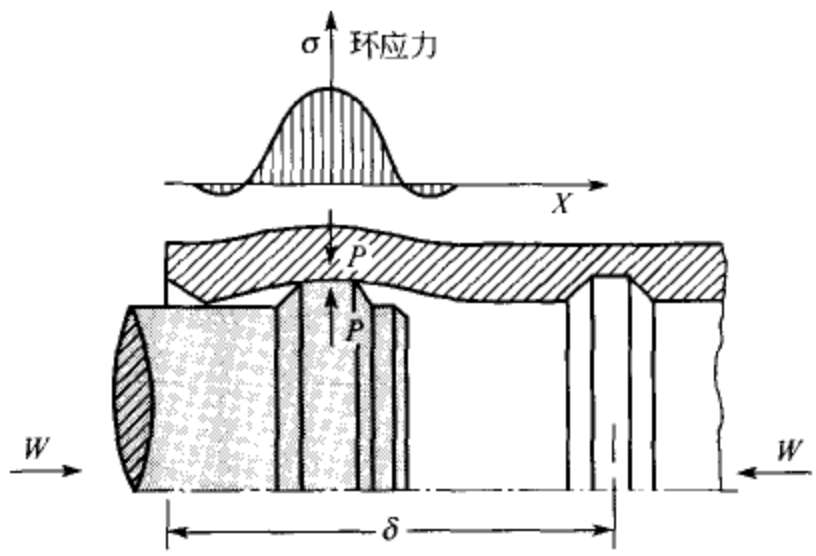


图 15-13　一个圆柱形扣件连接时的应力分布
（来源于拜耳）

$$x_N=0.62\frac{\sqrt{\dfrac{d_0}{d-1}\Big/\dfrac{d_0}{d+1}}}{\left[\left(\dfrac{d_0}{d}\right)^2+1\right]\Big/\left[\left(\dfrac{d_0}{d}\right)^2-1\right]+\nu} \qquad (15\text{-}6)$$

式中，d_0 为管道外部直径；d 为连接处直径；ν 为泊松比。

当外部管道是刚性而内部是弹性的状况时，因子（X_W）如下表述：

$$X_W=0.62\frac{\sqrt{\left(\dfrac{d}{d_i-1}\right)\Big/\left(\dfrac{d}{d_i+1}\right)}}{\left[\left(\dfrac{d}{d_i}\right)^2+1\right]\Big/\left[\left(\dfrac{d}{d_i}\right)^2-1\right]-\nu} \qquad (15\text{-}7)$$

式中，d 为连接处直径；d_i 为空心轴的内径。

参考图 15-14 里提供的图表，可以避免使用这些计算式。

通过使用以下公式，横向力 P 就可以用来转化为轴向力或连接力。

$$W=P\frac{\mu+\tan\alpha}{(1-\mu)\tan\alpha} \qquad (15\text{-}8)$$

式中，μ 为摩擦系数；α 为导角。

扣件连接点的位置将会影响式（15-8）的精确度。如果距离（δ）超过了式（15-9）里的值，那么扣件连接必须视为一个远距的扣件连接。

$$\delta_{min}\approx 1.8\sqrt{dt} \qquad (15\text{-}9)$$

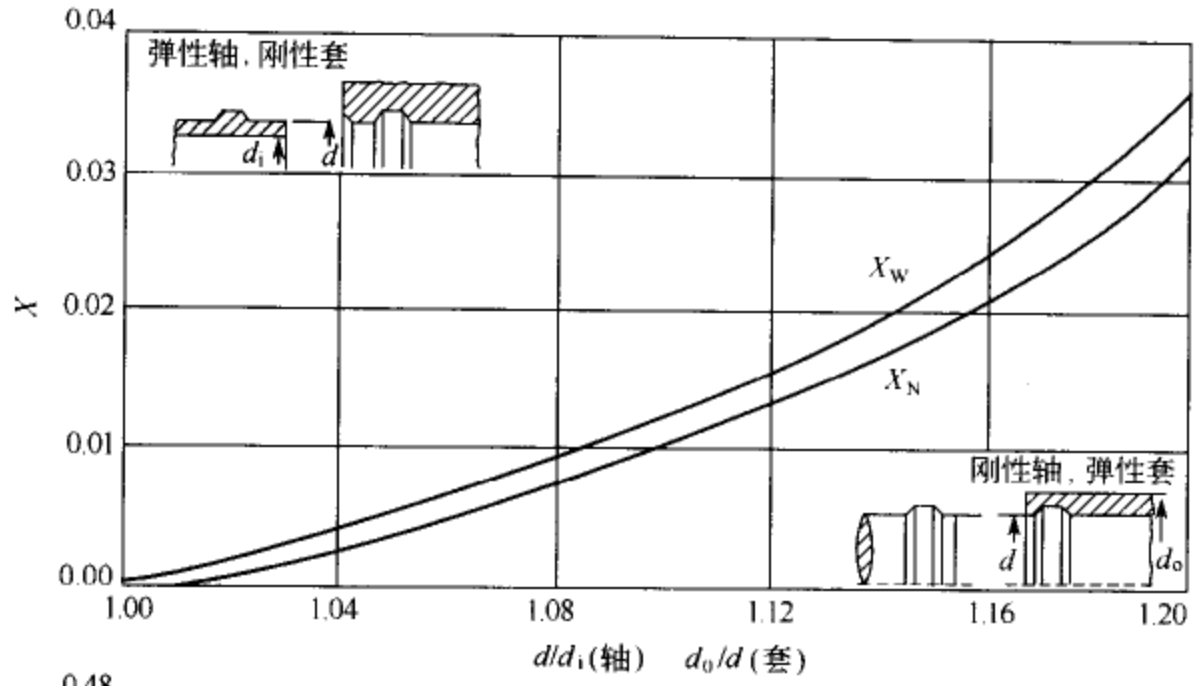
式中，d 为连接处直径；t 为壁厚。

对于一个远离管道末端的卡扣件来说，轴向力和横向力都应该增加一个系数 3：

$$P_{remote}\approx 3P_{near} \qquad (15\text{-}10)$$

并且

$$W_{remote}\approx 3W_{near} \qquad (15\text{-}11)$$



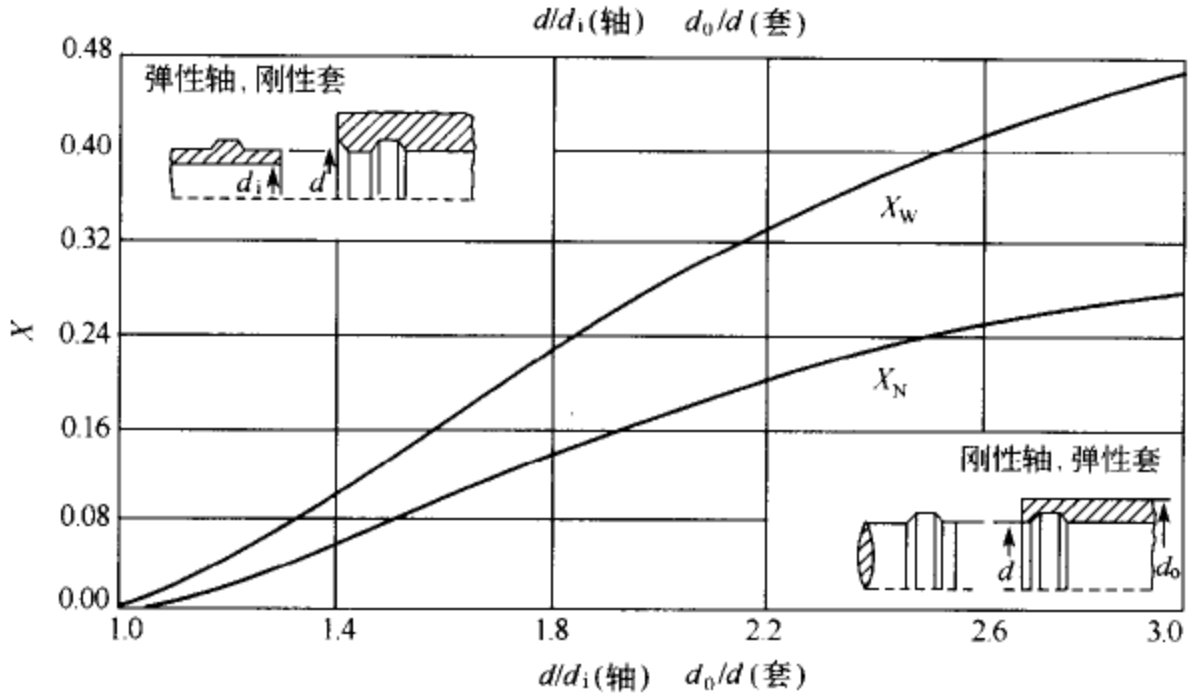


图 15-14　式（15-6）和式（15-7）中几何因子 X 的图

（来源于 Bayer）

这些都是通过实验得到的值（理论值为 4 倍）。对于位于管的末端和远程连接处最小 δ 的卡扣连接，可以通过增加到管末端的距离的比例来确定力的近似值。

$$P_{\text{remote}} = \frac{\delta}{l} P_{\text{near}} \tag{15-12}$$

和

$$W_{\text{remote}} = \frac{\delta}{l} W_{\text{near}} \tag{15-13}$$

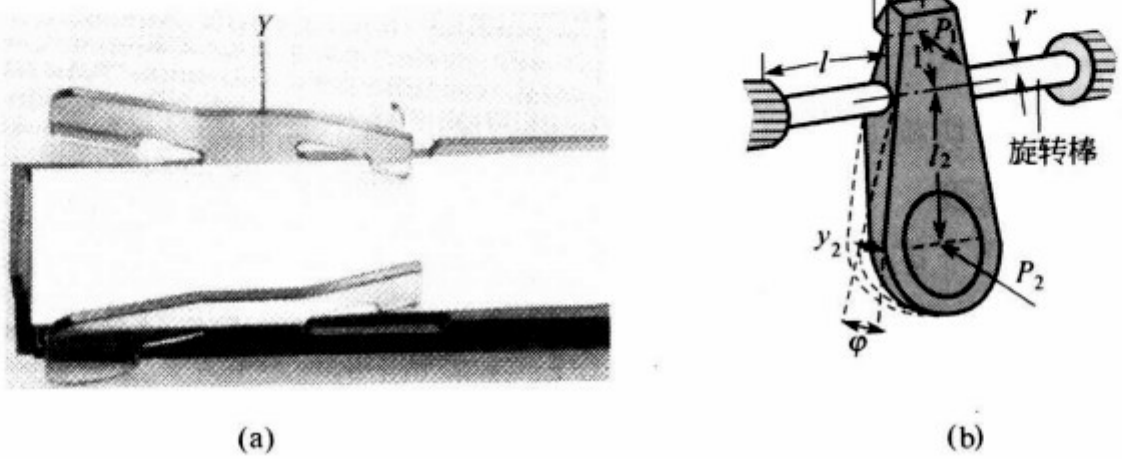
式中，l 为到管末端的距离。

15.6　旋转卡扣连接

15.6.1　旋转卡扣连接的设计

连接中最不常用的可能就是旋转卡扣连接。对于可重开应用来说，它是非常好

的方法，而且可以用来当作脱离装置或门闩装置。图 15-15 列举了两个都带有旋转棒的扣件臂例子。



(a)　　(b)

图 15-15　旋转卡扣连接

（来源于拜耳）

（a）绕 y 轴的卡扣连接摇臂；（b）带有旋转棒的卡扣连接臂

15.6.2　旋转卡扣连接的工程问题

在旋转卡扣连接中，剪切应力承载着主要的载荷。而我们所感兴趣就是力 P 及转动臂所需的距离 y。力可以施加在扣件连接处的弯曲处（位置 1），或加在同一水平上的另一端上（位置 2）。它们之间有一个成比例的关系，即：

$$\sin\varphi=\frac{y_1}{l_1}=\frac{y_2}{l_2} \tag{15-14}$$

式中　φ——扭转角，(°)；

y_1，y_2——偏转量；

l_1，l_2——水平臂长。

最大 φ 角可以由以下公式来确定：

$$\varphi_{pm}=\frac{180}{\pi}\times\frac{\gamma_{pm}l}{r} \tag{15-15}$$

式中　φ_{pm}——容许的最大扭转角，(°)；

γ_{pm}——容许的剪切应变；

l——旋转棒的长度；

r——旋转棒的半径。

容许最大剪切应变值的近似值：

$$\gamma_{pm}\approx(1+\nu)\varepsilon_{pm}\quad 或\quad \gamma_{pm}\approx 1.35\varepsilon_{pm} \tag{15-16}$$

式中　γ_{pm}——容许的剪切应变；

ε_{pm}——容许的应变；

ν——泊松比（对于塑料，该值近似为 0.35）。

力 P 可以通过式（15-17）计算力矩臂再除以长度（l_1 或 l_2）来确定。

$$P_1 l_1 = P_2 l_2 = \frac{\gamma G l_p}{r} \tag{15-17}$$

式中 G——弹性剪切模量；

γ——剪切应变；

l_p——极坐标下的惯性矩，$l_p = \pi \gamma^4 / 2$。

对于一个实心圆截面来说，在图 15-15（b）中所示情况，就有两个旋转棒。因此，在那种情况下，公式也就成为如下样式：

$$P_1 l_1 = P_2 l_2 = \frac{2\gamma G l_p}{r} \tag{15-18}$$

而一个较精确的剪切模量 G 的值就可以根据式（15-19）和正割模量推导得到。

$$G = \frac{E_s}{2(1+\nu)} = \frac{E_s}{2.7} \tag{15-19}$$

式中 E_s——正割模量；

ν——泊松比，$\nu = 0.35$。

15.7 易剥落卡扣连接

在注射成型行业术语中，“易剥落”即意味着一个零件可以直接从模具型芯上剥落下来，并不需要特别的机械装置（这个将在本章后面进行讨论）。这在很大程度上降低了模具的成本，并且缩短了成型的周期。因此，易剥落也是人们渴望实现的要求，而且易剥落卡扣连接是一种非常受欢迎的技术，尤其是在包装行业。

当卡扣连接发生在零件的外壁时，两个零件中的一个将会让其卡扣件的具体部分落在零件的外部，而另一个将会落在零件的内部，即型芯侧。后者有零件卡扣连接的具体部分，必须能够从模具上取下来。图 15-16（a）就说明了一种不能从型芯上脱落的卡扣件。图 15-16（b）则说明了脱落造成挂钩被剪切掉是如何发生的。因此，对于要求有 90°接合面的永久性卡扣连接来说是不易剥落的。因此，要想能够剥落，接合表面应有一定的角度和圆角过渡，如图 15-16（c）所示。具体数值取决于扣件的深度、壁厚及塑料的硬度。非常硬的材料就非常不适合于剥落了。

扣件能够脱离模具的凹处，即所谓的倒陷，直到从型芯上顶出［图 15-16（d）］。然而不幸的是，这样只会导致扣件在剥落时变形［图 15-16（e）］。换句话

说，即要工程师加强扣件的背部，如图 15-16（f）。可是这个过程很可能会增加壁厚，这样的结果可能会导致外部缩痕（见第 1 章）。

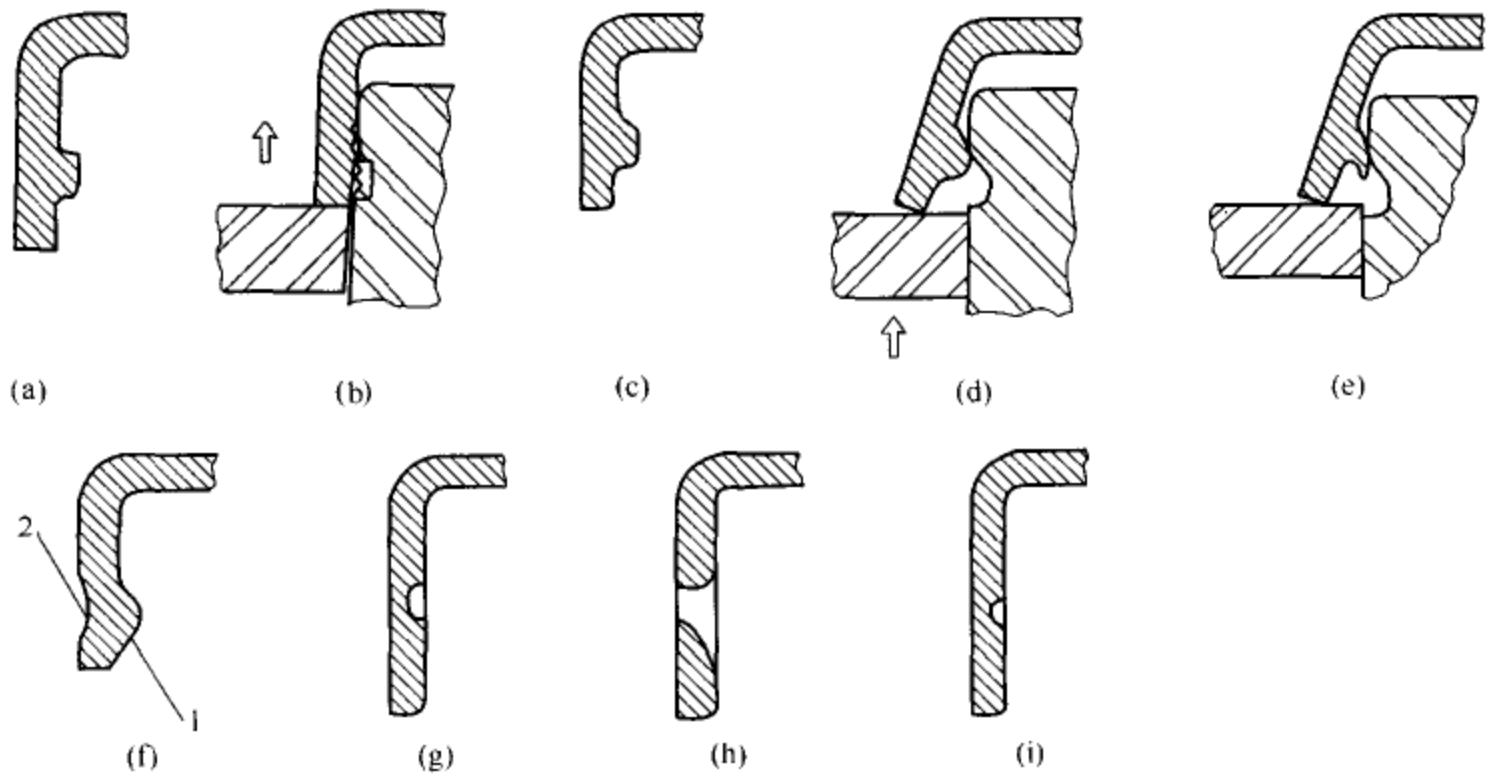


图 15-16　型芯处卡扣连接具体部分的模塑成型

（a）不良设计-扣件不能从型芯上剥落；（b）扣件从模具上顶出时被剪切掉；（c）较好设计；（d）扣件从模具中顶出；（e）顶出时扣件发生变形；（f）背凸扣件；（g）不易于剥落的凹陷；（h）软材料上易于剥落的凹陷；（i）软材料上易于剥落的凹陷

1　背凸；2　缩痕

当零件上从型芯上脱离的具体部分只是一个凹陷而非弹簧钩时，那么就会发生非常相似的情形。图 15-16（g）中的凹处是不易剥落的，而图 15-16（h）和图 15-16（i）中则易剥落，这主要取决于周围环境。

在顶出的一刻，塑料的刚度就决定了切口或挂钩能否脱离型芯。零件必须足够软，这样才能膨胀，并且在不发生永久变形的情况下脱离型芯（决定能够剥落的倒陷量公式可以在 18.3.4.1 节中找到）。这一点能否做到取决于聚合物、模具结构及成型条件。为了更好地了解卡扣连接成型的复杂程度，非常有必要了解一下注射成型工艺和模具的设计及结构。

15.8　注塑成型工艺

除了一些特别情况之外，卡扣连接都是由注射成型工艺生产。现代注塑成型机的基本原理如图 15-17 所示。将原料树脂倒进料斗，然后原料进入加热机筒。紧接着机筒内螺杆不停地旋转，把塑料向前输送到喷嘴。当机筒前端的熔融料达到注射所需的量时，整个螺杆将会向前移动，迫使熔融料通过喷嘴进入到模具里。

整个成型周期由五个阶段组成：合模、注射、冷却或保压、开模和制品脱模及

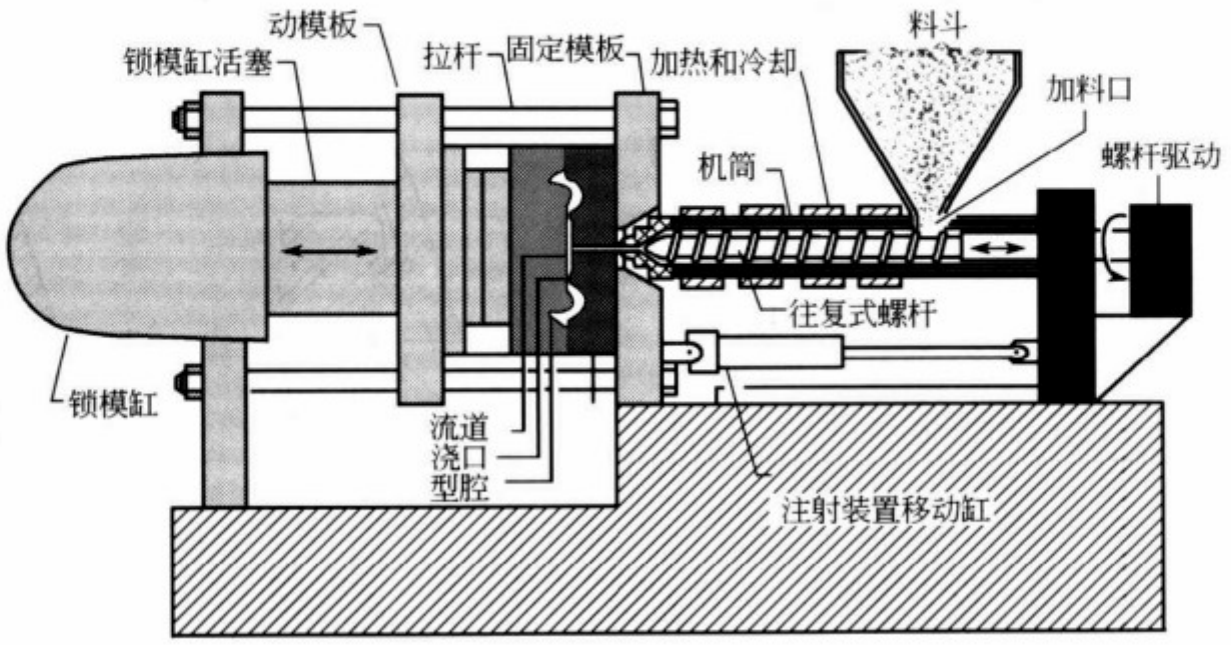


图 15-17　同轴式螺杆注塑成型机

（来自 R. E. Wright 的《注射传递模塑》，1995）

取出。总的概括如下。

（1）合模　模具的合模标志着整个循环的开始。

（2）注射　注射阶段只是循环的一部分，在这个过程中将熔融树脂充入到模具中。

（3）冷却或保压　在这个阶段中，塑料从熔融状态冷却到它有足够的刚性，且在不发生变形情况下能够承受脱模力。这个阶段可能会占据整个循环过程的70%～80%，这主要取决于零件的壁厚。

从扣件的角度考虑，阶段（3）在整个循环过程中是一个关键点。对于卡扣具体细节部分，冷却的时间必须要足够长，这样才能变得足够硬，以至于能够承受脱模力而不发生变形。但是，随着挂钩角度的减小及半径的增加，其目的是为了减小开模力，但实际上扣件壁上的固体材料包也会增加。换句话说，就是需要有更长的冷却时间。但是，零件的剩余部分在冷却的同时也会变得更加坚硬，这样很可能会因为太硬而不能膨胀，无法从模具倒陷上脱离下来。因此，有许多因素会同时起作用。

（4）开模　当零件固化足够，打开模具。

（5）制品脱模及取出　当模具打开时，注射机中顶出杆就会和顶出系统接触，顶出系统将零件从模具中顶出。通常，零件都是简单地从型芯上脱落。为了让扣件能够从倒陷上脱落，此时零件应足够软能够膨胀，那么脱模系统将会更复杂。这样会增加加工难度。

15.9　卡扣连接成型模具

15.9.1　注塑模基本结构

为了加深对复杂加工过程的了解，因此就需要有一点有关注射模结构及模具运

行方面的知识。首先，对于一个基本的二板模：图 15-18 显示的就是目前所使用的大量模具中较典型的一种，且就像模具生产的产品一样简单（大部分简单的工具只用来做一些原型的工作）。1 就是主流道衬套，在其上切有主流道。围绕在其边上的是定位环，目的是为了使模具和注射机固定板上的定位孔对齐（图 15-18 中 2）。衬套和定位环则全都安置在夹紧板上（图 15-18 中 3），即所谓的前模板，因为当模具不安装在注射机上时它就得靠它的另一面安放。型腔固定板（图 15-18 中 4）包含有型腔区和导向销（图 15-18 中 5），定位销能够装入到导向销套（图 15-18 中 10）。因此在模具每个角都有一套，目的就是为了在合模时能引导两个部分紧密地合在一块。有一对则是偏置的，目的是防止模具出现不正确合模而要进行维修。

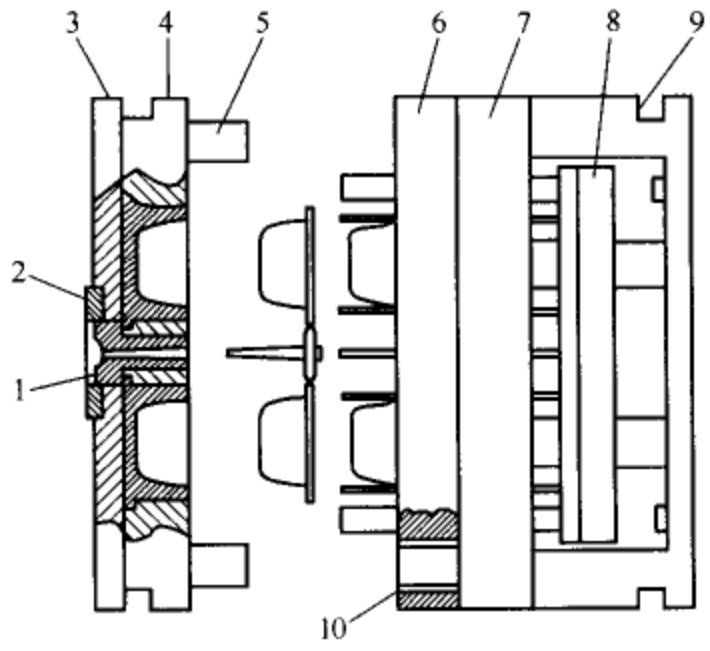


图 15-18　基本两板式注射模具

1—主流道衬套；2—定位环；3—夹紧板；4—型腔固定板（A 板）；5—导向销；6—型芯固定板（B 板）；7—支撑板；8　顶出板；9—顶出座；10　导向销套

（来自 From H. Belofsky 的《塑料：产品设计与工艺》，1995）

图 15-18 中的型芯固定板 6，即所谓的 B 板。为了能够容纳型芯，因此在其上切了一个口，同时也会在上面钻冷却水孔。它要承受整个注射压力的冲击，并且在顶出机构操作时得不到很大的支撑。它靠支撑板（图 15-18 中 7）支撑。

图 15-18 中 9 是一个围绕顶出腔的顶出座。这里只说明其中一件，事实上通常有三件：一个最底层夹紧板及两个支柱。在这空腔中运行的则是顶出板（图 15-18 中 8）和顶出杆安装板。顶出杆推着这些板向前运动，然后从模具上伸出来（无显示）。在这些板之间都可以找得到顶出制品的顶出杆及让模具回到原来位置的回程杆的顶端。有一种销就直接安放在浇口的下面并且被削剪过，目的就是为了能够留住制品，并且将冷料拔出，一般称为勾料棒。模具的中心必须有额外的支撑才能合紧；因此，支撑杆一般就分布在顶出空间的开放部分。

型芯和型腔块都各自布置各自相应的地方。习惯上通常将型芯放在模具的移动半模（因为零件收缩与型腔壁分离），并且套在型芯上（在这里顶出装置可以将其顶出）。但有时，一些特殊的设计也会要求将位置反过来。

当模具充填时，熔融的塑料就会顺着主流道进入到分流道系统进而到浇口位置，从这里就可以进入型腔。

当塑料顺着流道进入到制品空间时，这时系统中将会有一个非常重要明显的压力降。如果机筒内材料的压力达到 137.89MPa(20000psi) 时，那么在喷嘴处很可能会降到 103.42MPa(15000psi)。随着塑料流向型腔，压力损失也会更多，在浇口处很可能会降到 82.74MPa(12000psi)。但是经过浇口处后会产生一个额外的大压

力降使压力减小到 27.58MPa(4000psi)。这些只是样品值，根据材料、机筒的温度、流道系统、模具的温度及浇口的类型和大小的不同而发生较大的波动。对于较难注射成型的材料来说，实际机筒的压力很可能会在几千帕斯卡到 206.84MPa (30000psi) 范围内变动。因零件特征所需流道的不同，从而使得模具内的压力继续下降。

零件内部压力下降是由于熔体在充模时冷却而导致黏性增加所造成的。当熔体最后到达具有扣件细节的型腔时，那么此时的熔体情况对于那些设计因素能否发挥作用就非常重要。悬臂卡扣连接通常是长薄的结构，很难填充。因此较厚类型的结果很可能就会形成固体材料块，甚至超过了壁厚的 125%，其结果就是会产生较高的模塑成型应力。

如果型腔不是中间进料，那么通过扣件连接的圆柱形卡扣连接熔接痕处是比较脆弱的。那是因为边缘式浇口及沉积式浇口从型芯的一侧供料。原料绕着型芯流动，紧接着就会在另一边相遇，从而形成熔接痕。中间进料能让料从模具的顶部进料，而且能向下流到边上。因此，经过扣件就不会形成熔接痕。如果型芯不是开在型腔的中间，那么熔体就会在分界线处接合，从而形成了一个小熔接痕（熔体首先到达较厚边的底部，然后沿着型芯运动）。因此，为了避免产生一个较弱的连接件就需要有更好的模具结构。

15.9.2 易剥落模具的顶出系统和冷却系统

图 15-18 模具中的顶出系统由简单的顶出杆组成。不幸的是，这些顶杆会在塑料件上产生局部压力，从而导致变形扭曲，如图 15-19（a）所示，除非这个零件已经冷却得足够硬。但是如果冷却太久，很有可能会因为太硬而不能膨胀，进而不能从型芯上脱模。图 15-19（b）所示的推板就可以将顶出力分散到零件周围。因此，如果制模工对成型条件非常熟的话，那么零件就可以以一种较软的状态脱模。推板的成本比顶出杆要高，但是它能通过减少模具成型周期高达 35%来收回投资。

很明显，型芯的冷却方法对零件的冷却将会产生实质上的影响。图 15-19（a）里所描述的简单系统并没有提供型芯最优的冷却方法。它远离了热源即零件本身，经常以“moldment”名被提到。

观察图 15-19（b）模具型芯中的喷水口。这个是引领冷却水进入模具型芯中的多种冷却设施类型中的一种。如果不使用这种设施，那么型芯的温度就非常高，从而就会阻碍模具操作者建立一个能够在不发生扭曲变形情况下顶出制品的循环周期。它提供了一种非常重要的控制模具参数的方法。不正确的冷却方法往往会是导致零件失效的主要原因之一。

图 15-19（b）中的模具为一模两件。倒陷 1 非常接近零件的拐角处，而倒陷 2 则非常接近边缘。如果两个倒陷都有一样的深度，那么右边壁面的变形量就可能比倒陷 1 实现顶出变形量的两倍还要大（相对于内块 2），因为到拐角的相对距离或多或少已经成为了变形的中心点。

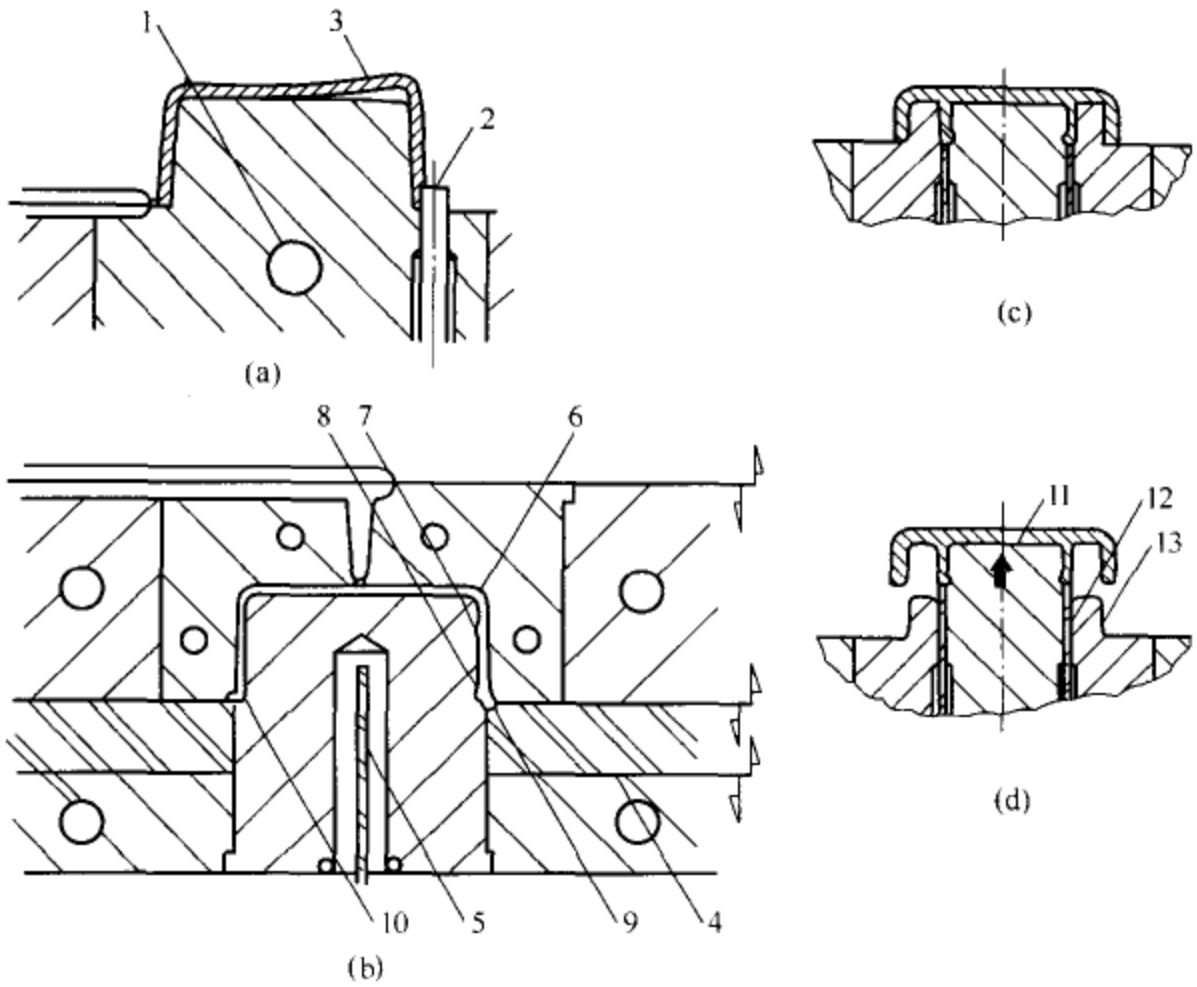


图 15-19　易脱落式模具的顶出和冷却系统

（a）顶出杆提供局部顶出力；（b）用于有倒陷的剥离板模具；（c）内筋处有倒陷的模具；（d）用于倒陷的上升装置

1　水道；2　顶出器；3　零件扭曲；4　剥离板；5　“喷水管”式型芯冷却系统；6　型芯；7　倒陷 1；8　倒陷 2；9　全半径唇缘；10　部分半径唇缘；11　上升装置；12　顶出套；13　型芯

简单地说，在脱模过程中，零件的变形会导致外径的扩大。这对于那些位于零件外部的扣件来说并不是什么问题，因为如图 15-19 所示，当模具打开时，型腔也就分开了。可是，对于如图 15-19（c）中所示的扣件内部结构，型芯就阻止了这种膨胀。在这些例子中，经常会用到如图 15-19（d）所示的所谓的“升降机”。这就需要有一个两步脱模系统，这样就可能促使模具的型芯截面将零件从和脱模系统有干涉的模具部分向外推出。理想化的顶出系统则应放在倒陷下面，如图 15-19（d）所示。因此，其他周围附近的地方也有成功的使用效果。在这种情况下，在顶出板位置就应使用顶出套，但是在不是圆的时候则使用顶出片。在模具中制造和维修这类系统的成本非常高。

因为在易脱落扣件从模具型芯上脱模时很多变量之间会相互影响，所以一般都推荐使用未硬化单型腔的模具，目的就是为了优化产品设计、模具设计、成型周期及材料选择。观察专用名词“单型腔模具”，其实它已经暗示了一种典型的方法，即毋须多重产品冷却、进料，而且脱模系统并不会提供有关基于高成本多型腔产品模具相关的可靠信息。

必须记住有用的应力-应变数据对于给定的情况一般都是非常明确的。模具的改变及熔融温度、湿度、壁厚（对于 3mm 标准试件）、浇口及几何构型的改变都将会产生不同的结果。就拿单型腔模具来说，不仅允许测试设计参数，同时它还会提供样品进行蠕变及其他加速老化影响的测试。所以一般都建议将测试工具制造成为“金属保险”（型腔在低边，型芯在高边）。这种设计就可以很简单地通过换金属件进行修改。这样消除了将金属和模具焊接然后拆解的必要性，能够大大降低成本。这些修改对于硬化处理的模具比较容易完成。

15.9.3 非脱落式模具的型芯

许多塑料往往因为太硬而不能从型芯上脱落。因此这就要求型芯进行分段，即“分离型芯”，它能够从中移走。

但是，在深入探讨这个课题时，必须知道顶出倒陷需要有一种简单的装置。即将它们安置在推出装置上面。图 15-20（a）显示了模具中处于脱模阶段的零件状况。图 15-20（b）中的推出装置已经向前运动，在这种情况下，零件并没有真正从模具中被推出，而是仍然留在推出装置上，接着就需要用机器人或用手将其拿走。这种方法允许扣件倒陷以最适度的成本成型，但它仅限用于产量较小的场合，因为高尖端复杂加工工具的成本将会被一个或两个型芯移走的成本所抵消。对于某些设计，就很可能使用二阶脱模系统进行制品脱模。顶出杆由专门的顶出板驱动，即包括倒陷的顶出杆在停止之后顶出板还能继续运动，从而使得这些零件从杆上脱落。

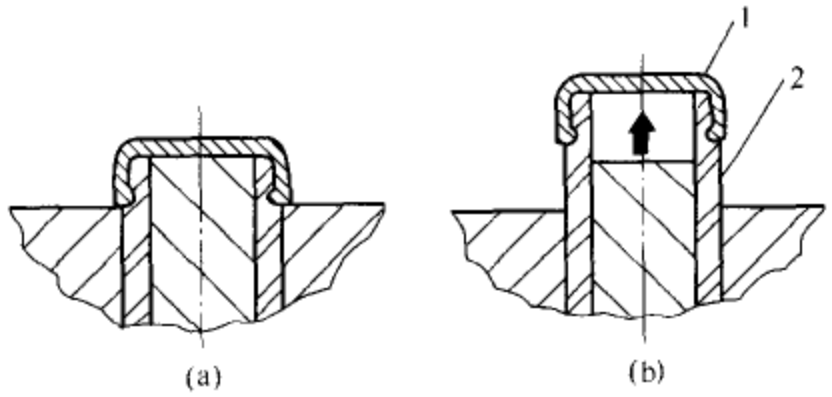


图 15-20 带有倒陷的非剥落式模具的型芯

（a）在顶出杆上-模塑成型；（b）在顶出杆上-顶出杆向前运动

1—模塑零件；2—顶出杆

生产悬臂扣件臂的方法可以在着手进行高成本扣件产品的结构制造之前先在原型模具上进行设计测试。当期望在原型零件中再现生产产品中的内应力时，制造非脱离式模具的所有特征就显得不是很重要。一个由手工操作而且没有冷却系统的模具生产出来的零件的模塑内应力可能会很大，因此，在低应力时失效或变形趋于更加稳妥。但是，因为原型模具过于粗糙，可能造成放弃成功设计。

图 15-21 显示了另一种方法，即通过使用由顶出机构驱动的模具元件来制造扣件的倒陷。该方法使用位于顶出支撑板的滑块上有一定角度的型芯刮板。那样的话，模具的垂直开模就可以转变为一个横向的运动，从而让扣件倒陷能够从模具上

自由脱落，进而允许顶出。注意刮板的横向运动必有一定的空隙，而且在这个位置不应该有其他制件细节，因为那会干涉这个运动。

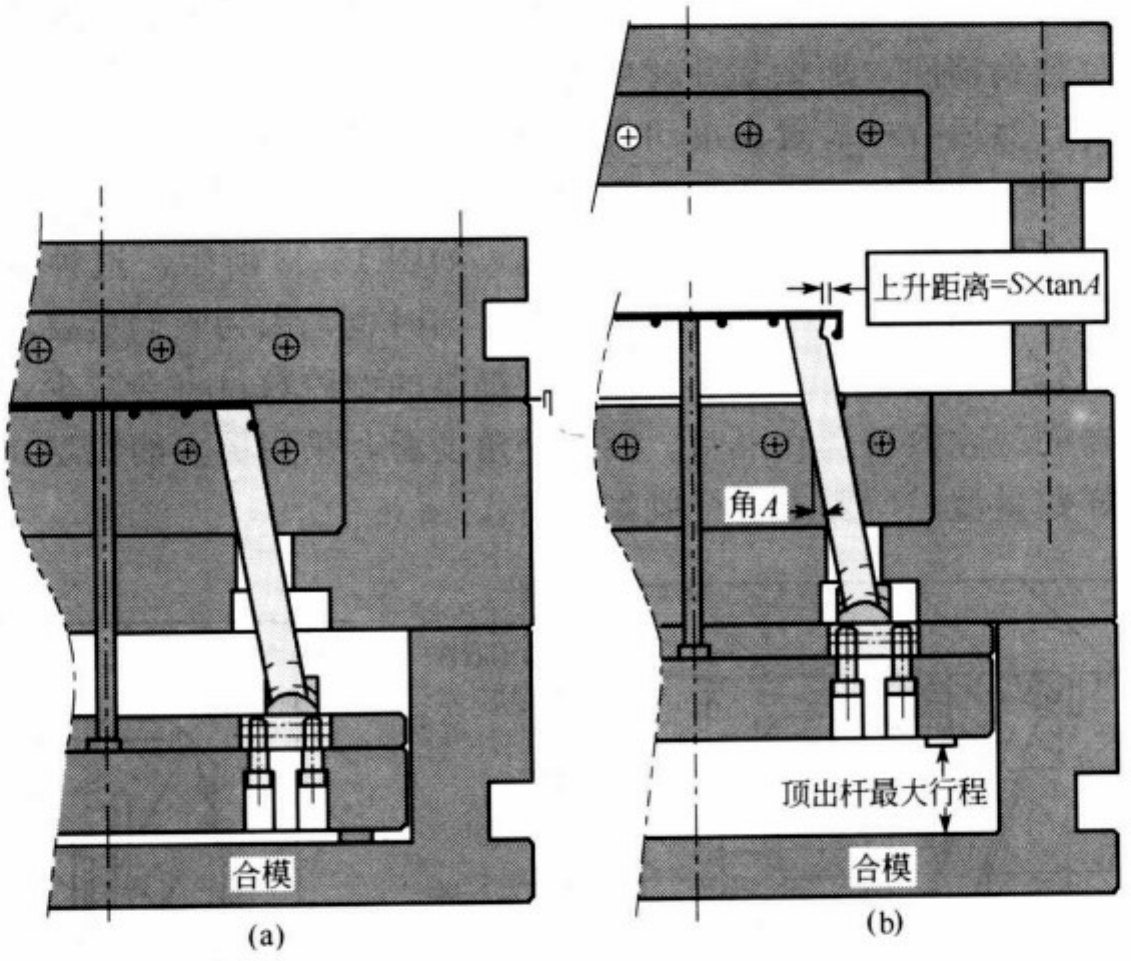


图 15-21　合模（a）和开模（b）时倾斜上升装置上的倒陷

（来源于 DME 公司）

还有另外一种分瓣型芯方法在工业上也普遍采用，但是它仅限用在型芯直径在 16.38～89.78mm(0.646～3.535in) 的圆形零件，而对于直径在 16.38～24.51mm 范围内型芯，只允许间断倒陷。这个将在第 18 章“螺纹：攻丝和模塑”里进行深入的讨论。

分瓣型芯的制造和保养成本很高。因此，扣件的成本评估就必须包括模具成本因素。

15.9.4　模具型腔内卡扣件的具体结构

由于设计原因，孔、凹陷或扣件臂等都将会设置在零件的外部。这样的特征将会使零件从型腔中移走变得非常困难，就犹如倒陷从型芯上脱出一样困难。对于扣件臂，可以通过移动简单模具的分型线来实现。图 15-22 展示了这种方法的一个实例。不幸的是，在分型线上会有潜在溢料，妨碍扣件的使用。因此，需要有一个安全边保证允许的应变来应对溢料增加的扣件变形。

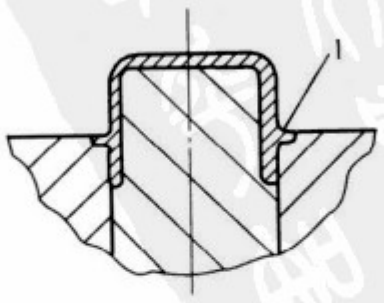


图 15-22　分型线上卡扣结构
1—卡扣塞上的可能飞边

如果扣件臂不能在分界线上形成，那么型腔就应该分隔成好几部分来使得零件能够取出。其中一种实现方法就是使用弹簧加载分瓣型芯的分瓣型腔模具。

这也将会在第 18 章里进行深入讨论。

真正的分瓣型腔是通过将型腔切割成滑块（即侧向运动）制作的。当模具开模时，偏角凸轮将会迫使型腔部分向边缘滑动。它们必须移动足够的距离才能清除扣件挂钩。一旦挂钩清除，那么零件就可以以一般方式顶出。当合模时，凸轮就迫使型腔回收组合，然后合模装置在滑动最后时刻能够提供锁模力。

有些情况下，型腔边缘往往都要求有切口或凹边。使用凸轮进行型腔分离这一类操作可以用来操作滑块在其边上做一个孔，如图 15-23 所示。这种机械结构非常贵，不仅仅是将它们安装到模具内的成本高，同时也是因为它们所要求的模具空间的原因。这就转变为给定尺寸模具底座上所提供的型腔数目将会减少，进而使给定尺寸成型机器的型腔数目受到限制。换一个角度看，采用更大的机型在一个简单模具上开有同样数量型腔所要求运行成本更高。

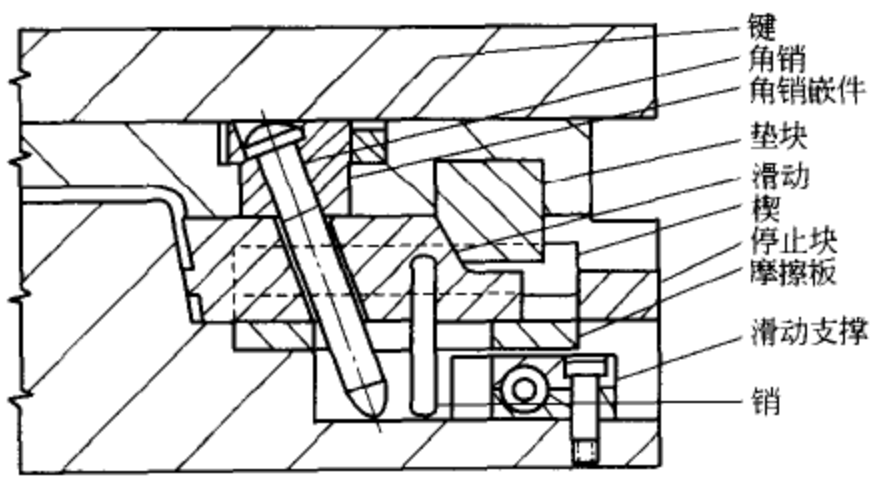


图 15-23 侧抽模具
（图片来源于 DME 公司）

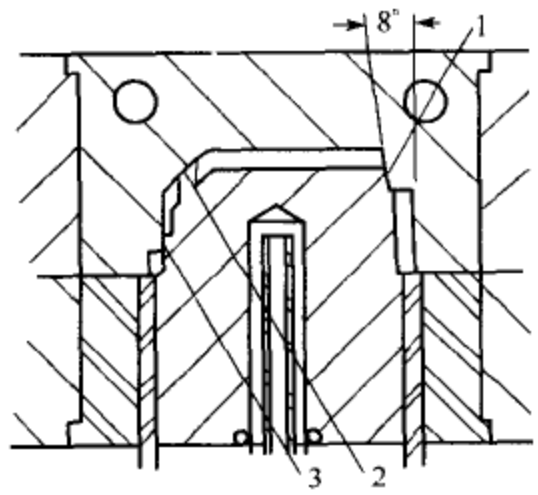


图 15-24 使用隔离成型边孔的模具
1—角隔离孔；2—45°隔离孔；3 壁厚减小上的最大角隔离

图 15-24 的左侧显示了一个 45°壁面。这个平滑壁面允许型芯和型腔面闭合，从而能产生一个孔（图 15-24 中 2）。这就是所谓的“隔离”。随着壁面角度增加并且趋于垂直时，那么维持壁面厚度将会显得非常困难，正如孔左侧所显示的那样。仔细观察可以发现，型腔上面部分和下面的型芯相对于左侧的壁面正在减小。这就允许型芯和型腔在孔处结合并且产生隔离（图 15-24 中 3）。图中所描述的壁面到水平方向的角度为 80°，很可能是这一类型隔离角的最高极限。当然，壁面也可能通过开口面的每一边来增加其名义上的重量来增加厚度。

另一种类型的“隔离”见图的右侧，即隔离在零件的角上，它允许在拔模斜度壁面上有隔离板。隔离角应该设置成 8°，因为钢板在 7°或更低时都能自锁。但这并不是说低角度就没有作用，而是意味着模具要承受着更大的磨损，这将会缩短它的寿命，并且会增加它的维修成本。这种想法其实可以用来在零件的底部制作一个扣锁，如图 15-25 所示。

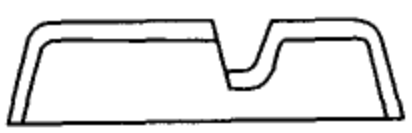


图 15-25 由关闭装置而产生的锁住装置的成型

15.10　结论

富有创造性的设计师和工程师已经发现使用卡扣连接几乎没有限制。在大多数情况下，这些应用都是成功的。然而，需要进行一定量的调整来实现所要求的水平。问题是既要有足够保持力又要避免过度变形，设计的成功取决于建立正确的“感觉”，这是一个不能用等式表达的性质。原则上，最好的方法就是设计轻型并且使用原型模具来测试这个设计。如果测试选用了两种或多种不同级别的树脂，那么就可以估算出扣件测试中性质方面的微小差异所引起的影响。如果一种给定材料由于其他原因，例如工艺或成本而不能被采用，那么就可以采用一种相似比例成分来为下次测试建立修改后的几何结构。从公式中可以很明显地发现，几何因素在扣件设计中扮演着很重要的角色。除了材料试验之外，设计者也可以在悬臂背部增加一个筋来增加刚度。

制造带有插件的原型模具是非常有必要的，因为这种插件能保证扣件的成型限制在公差范围内。但这是一个额外开支，同时它也是测试公差范围影响的一个方法。当这个不能完成时，工程师们更倾向于确立比它们实际所需求更严格的公差，因此就增加了产品周期而不是原型模具的额外成本。

定位在悬臂扣件装配中是一个关键的因素。扣件不应该用来将一个零件定位另一个零件。如果这样做了，那么小型零件就很可能会脱离即使当前是设计合理的扣件，大概因为零件已经移到某一边了。零件相对之间的定位主要是通过各自的定位筋或其他定位装置来完成。零件的定位对于扣件的影响是如此重要，以至于公差极限应该在模具内进行测试。

扣件的相对高度也是一个问题，如果到挂钩的距离太小，那么扣件就不可能接合。因此，公差的设置必须能够使得挂钩在短挂钩长度及长倒陷的距离的极端情况下能够接合。那就意味着所有的公差都保留有间隙。如果存在振动，那么这个间隙就可能会导致扣件的松动或叮当地响。扣件可以设计成受预载这样可以防止出现因振动而松动情况。但是，没有非常紧的公差就很难控制预载量。此外，预载增加就可能会涉及到蠕变及其他相关问题，如压配设计过程中遭遇的那些，虽然预应力普遍要比压配低。

当对样本测试进行鉴定时，就应该警惕应变痕迹（淡色条纹）或挂钩变形的存在。这些都是些警告信号，说明应变已经超过了极限。

首先应确认注射成型零件的尺寸。引起这类问题的最普遍原因是零件超过了公差范围。如果困难的原因来自于其他什么地方，最好的解决办法就是寻找一种塑料，能够接受较大应变。如果仍然失败，那么臂的截面就应该减薄或渐缩，或者是将臂加长。可是，因为这些措施涉及到模具重大的改变。所以它们也就代表着最后可以用的办法。

但有一个好消息是，一旦一个设计师或工程师制造了他（或她）自己第一个扣件，下一个设计就更容易。事实上，在制作完成几个之后，设计师们发现现有的扣件设计能够适合新的零件，这样就可以节省很多时间。

第16章　旋转焊接

16.1　旋转焊接介绍

旋转焊接最原始的形式就是大家所知道的旋转摩擦焊接，它可以通过普通的车床或钻床就能完成。事实上，多年来，大部分的旋转焊接都是由这些装备或在生产厂家定做的设备来完成的。

其基本原理非常简单，其中一个零件被夹住而另一个零件则靠紧它并旋转。仅有的变量是旋转零件的速度、与静止零件间压力及实现黏结所需的时间。通常，旋转不超过一圈，消耗时间少于2s。短暂的保压时间使零件连接处充分冷却，以便能从焊机上移走。事实上，所有的热塑性塑料包括结晶型都可以实现旋转焊接。

16.2　旋转焊接的优点及缺点

16.2.1　优点

（1）勿需附加的材料　旋转焊接不需要使用附加的材料，如紧固件、嵌件、电磁预制品、胶黏剂、溶剂。因此，它的成本就要比那些有这种需要的方法要少，并且拆卸成本也要低。

（2）易组装　旋转焊接仅仅要求两零件在焊机夹具上对齐，因此它非常适合自动组装。由于焊接时间很少有超过2s的，因此实现高生产率是很有可能的。

（3）多零件组合　在两个即将进行旋转焊接零件之间还可以加入其他的零件。

（4）永久性　旋转焊接是要建立永久性的组装，若打开就需要破坏零件。因为连接处是通过焊接连接的，所以在连接区域的蠕变、冷流、应力松弛及其他环境限制的影响也就不存在，虽然某些设计元素在载荷的作用下在任何一个地方都有可能会发生。由于材料的限制，因此线性热膨胀性和吸湿性的差异就很少考虑。

（5）密封性好　旋转焊接能够产生密封效果。

（6）节能　相对于其他焊接工艺，旋转焊接是比较节能的。这也就意味着勿需像热板焊接那样要将额外的热量从工作台移走。

（7）环境干净　与胶黏剂连接或溶剂连接系统不同，不需要通风设备来消除有毒烟气。

（8）操作快　要安装的零件不需要等其他零件冷却或处置好胶黏剂或溶剂就可

以着手其他操作。这个优点就使得这个工艺非常适合生产线自动组装。

（9）设备成本　样式最简单的惯性旋转焊机及机具相对较便宜。直接驱动型可以控制方向，但是所花的成本要大很多。

（10）尺寸局限　理论上旋转焊接的最大尺寸并没有什么限制。据说有记录的最大旋转焊接装配的尺寸是 1.2m(48in)。但是，这种尺寸的机器并没有得到广泛的应用，而且大部分的应用尺寸为 0.3m 或更小。

（11）超领域焊接　旋转焊机相对振动式焊机和超声波式焊机在组装某些特定形状方面有优势。在高应用场合，很可能需要安装超声波焊机，但是用旋转式焊接会更好，尤其是对于形状有一定轮廓或有开口，或者材料是结晶型热塑性塑料。

16.2.2　缺点

该方法同样也有许多缺点。

（1）形状局限　旋转焊接局限在用于圆形组件上，而且大部分应用场合都用到如图 16-1（a）所示的圆形零件。图 16-1（b）所示则是带圆形配合件的其他形状零件的焊接。

（2）工艺局限　注射成型是制造旋转焊接的接头细节的基本工艺；然而，往往只是其中一个零件才要求连接头细节。另一零件可以通过挤出得到圆形截面制品或通过其他热塑性塑料成型工艺加工在其上能钻孔的零件。

（3）定位困难　基本惯性旋转焊接不能使一个零件与另一个零件可靠定位。取向误差在±0.5°～±2.0°的模型其成本也就相应地从 50%增加到 300%，价格的增加与精度的增加相呼应。

（4）生产率的限制　旋转焊机每一个循环周期只能对一个零件进行焊接。

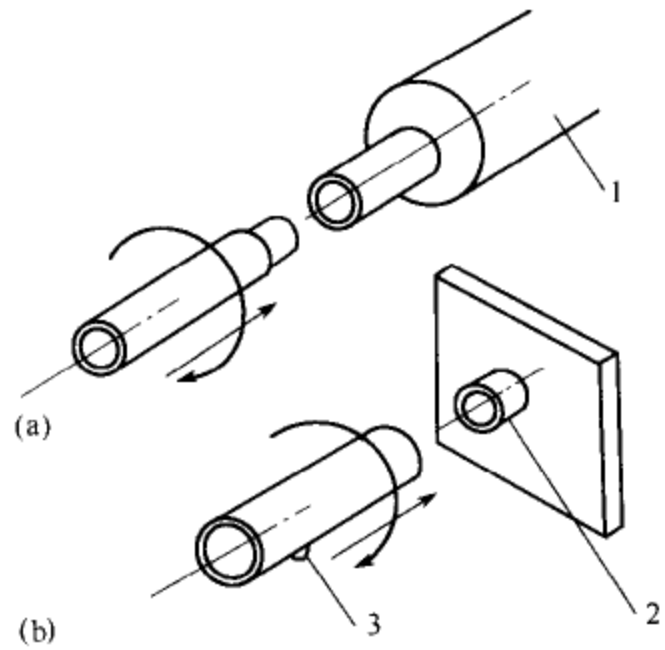


图 16-1　旋转焊接的原理

（a）圆对圆；（b）圆对方；

1—静止零件一般比较大；2—定位凸台；

3—细节定位很困难

16.3　旋转焊接工艺

旋转焊机主要是根据实现旋转的方法和旋转零件处理的方式两种情况来分类。驱动器的旋转可以通过惯性或直接驱动来实现。零件通过一步或两步到达它的位置。

在一步旋转焊机中，有两种装载零件方法。一种方法就是将两零件都安放在旋转焊机座的夹具上。推进头开始下降，与上面的零件接上，然后旋转进行焊接。这种技术对于那些小零件最适合。对于中到大型零件，一个放在夹具上，另一个就放

在推进头上。推进头开始下降旋转，并且将推进头上的零件压在较低位置的零件上面直到焊接。一步焊机可以是惯性驱动，也可以是直接驱动。

在两步焊接中，静止的零件放置在夹具上而要旋转的零件则放在第一个零件之上，如图 16-2（a）所示。推进头开始下降，抓起上面的零件开始旋转，如图 16-2（b）所示。在图 16-2（c）中，旋转推进头已经再次下降，并且紧贴固定不动的零件。两步式旋转焊接一般只使用直接驱动焊机来完成。惯性焊机的推进头在零件黏合在一起之前进行旋转。然后分开，而且惯性提供驱动力直到焊接使得推进头停止下来。小于 38mm 的零件就要求惯性焊机带有制动器。直接驱动焊机在推进轴和推进头之间有离合器。当焊接要停止驱动头时，离合器就会从轴上分离开来。惯性焊机大部分都用在直径小于 152mm 的零件；可是，它们也可以用在直径高达 305mm 的零件上。直接驱动焊机也可以做一些小零件，但是它对于大零件来说能够提供更好的控制。

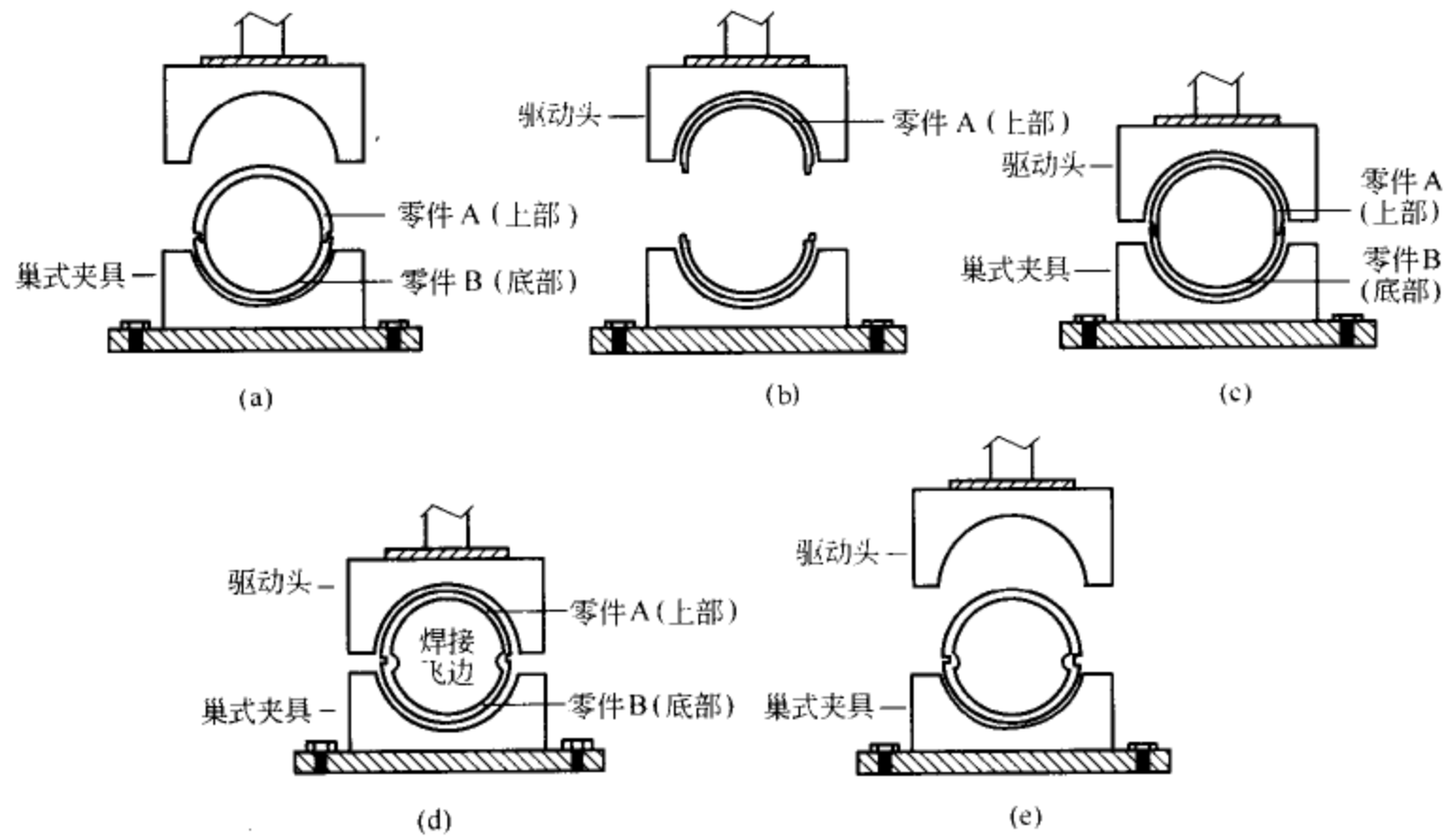


图 16-2　两步旋转焊接工艺

（来自 Sonics 和 Materials，inc）

（a）装载零件；（b）驱动头夹起上面的零件并且开始旋转；（c）上面的驱动头下降并且开始焊接；（d）组件冷却直到它可以移走；（e）组合后待移走的零件

如果不考虑推进头是怎样推进的或零件是怎样啮合的，其基本原理是一样的。当旋转零件接触到固定零件时，压力作用下产生的摩擦会导致表面熔融。当聚合物达到它的玻璃化温度之后，它将会到达一个稳定的状态，期间热量通过壁面消失。而这些散发的热量瞬间等于产生的热量。循环的这个部分依赖于它的应用，但通常要低于半秒时间。

接着旋转头就会因摩擦力或制动器的作用刹车（有赖于系统）到那个地方并且

要停留在那个位置直到组件冷却足够可以在不发生变形的情况下从夹具上拿下来，如图 16-2（d）所示。这过程通常需要额外一秒钟时间，整个加热和冷却循环周期通常低于 2s。但是，必须允许有额外的时间来加载或卸载零件。因此，典型的产品生产率基本上是每分钟 5～15 个组件。这也可以通过使用一个旋转机座来加速，因为机座在一边卸载和加载的同时另一边旋转。自动设备也是可以的。

为了惯性旋转焊接能够工作，旋转驱动器（如果应用需要也可以包括飞轮）就应该加速到能够产生足够动能建立一个有效焊接的速度。一旦达到所要求的速度，那么它就会从电机上脱离而且向下延伸，进而将这个零件进行焊接。在一定的压力下摩擦将会把动能转化热能，进而导致连接界面处熔融及焊接，正如刚讨论的情况。必须要有足够的压力才能在 1s 或 1s 之内将旋转停止。如果旋转延时过长，正在固化的聚合物将会发生剪切，其结果就是焊接强度将会下降。

主要的变量就是旋转零件的速度、连接处压力及焊接时间。速度范围应该在 9.1～15.2m/s 范围之内。在一些薄壁面小零件上曾经使用了 3m/s 的低速度，但是人们期望更高的速度。速度一般由以下公式得到：

$$v=\pi DN \tag{16-1}$$

式中　v——速度，m/s；

D——连接处的平均直径，m；

π——3.1416；

N——角速度，r/s。

连接点处的厚度越大，那么内、外径之间的速度差就越大。这看起来不像是一个问题，因为连接处的厚度是可以控制的。可是，需要注意避免出现需要两个半径差别很大的焊接面“油炸圈饼”设计。整个焊接的压力范围应该在 207～517N/cm^2 范围之内，并且要求在 0.1～0.3s 内停止旋转。

产生一些溢边是正常的。为了从视觉上消除溢料，因此就需要有一个溢料井。但是，过多的能量就会产生过多的溢料，而且减少溢料并不会削弱连接点。消除溢料有很多方法，以下是其中的几种。

（1）辅助操作　可以直接通过在焊机上旋转零件完成，此时，将切料工具或旋转刷和溢料接触。有时候会在一个较远的地方完成。

（2）翻滚　零件可在带有壳料、果壳或其他媒介物的滚筒里翻滚。在某些情况下，需要加一些氮气将零件的温度降到－46℃（－50°F），从而使溢料变脆。通过这种操作也可以将成型溢料消除。

弱连接或失败的焊接都会要求增加所提供的能量。这个通过改变焊接条件就可以完成。最简单的调整就是改变角速度。然而，焊接压力是可变的，而且太低的推力可能会导致弱连接，若压力太大则会使转头停下来，不能进行焊接。目标就是在保证时间尽量短的同时建立一个好的焊接。

对于惯性焊机，据估计，在焊接面上每平方厘米要承受的旋转驱动器重量约为 0.7～1.41kg。就从这一点，就需要尽快对旋转驱动器的速度进行更大的调整。只

要提供连接点设计合理的零件，惯性旋转焊机也可以产生好的、一致的焊接。

16.4 材料

任何真正的热塑性塑料都可以进行旋转焊接。从这个方面来说，其工艺过程与热板焊接及振动焊接非常的相似。旋转焊接尤其适用于那些用超声波焊接难以连接的结晶型热塑性塑料。对于使用超声波焊接和振动焊接，无定形类的树脂相比结晶型而言更加适用于焊接。然而，结晶型热塑性塑料尤其是聚烯烃用旋转焊接或振动焊接比超声波焊接更适宜。现在的普遍情况是大部分材料使用旋转焊接的同时也用振动焊接。可是，旋转焊接花费少，尤其是零件不需要定位时。表 16-1 为旋转焊接提供指导作用。不同种聚合的结合大部分情况上是不可行的。即使可行，一般连接强度较差。但是，若连接处设计成有倒陷时，获得的自由度更大。那么低熔点的聚合物将会流向倒陷，产生一个机械式的配合件。

表 16-1 热塑性塑料的焊接特性

材　料	旋转焊接特性	材　料	旋转焊接特性
ABS	好到极好	聚丁烯	差到适用
ABS/PC 合金	好	PC	好到极好
聚甲醛	适用到好	聚酯(热塑性)	
丙烯酸酯	好	PET	适用到好
丙烯酸类多元聚合物	好	PBT	好
丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈	好	PEEK	没有相关信息
无定形聚乙烯对苯二甲酸酯	差到适用	聚醚酰亚胺	好
丁二烯-苯乙烯	好到极好	聚醚砜	好到极好
纤维素	好	PE	差到好(与密度有关)
氟聚合物		聚酰亚胺	好
聚偏二氟乙烯 PVDF	好	聚甲基戊烯	没有相关信息
全氟烷氧基聚合物 PFA	差	聚苯醚	好
离子键聚合物	没有相关信息	聚亚苯基硫醚	好
液晶聚合物	适用到好	聚丙烯	好
尼龙	好到极好	聚苯乙烯(通用级)	好到极好
PBT/PC 合金	好	聚砜	好
聚酰亚胺	适用到好	聚氨酯	差到适用
聚芳酯	好	PVC(硬质)	好到极好
聚芳砜	好	苯乙烯-丙烯腈	好到极好

加了填充剂和增强剂的树脂，包括含有高达 33%玻璃填充剂的尼龙和聚甲醛，都非常容易进行旋转焊接。但是只要聚合物焊接，树脂本身的强度及连接的强度就会随着填充物的分量增加进一步的减小。而且，本工艺受脱模剂和表面污染物的影响比热平板焊接或超声波焊接要小，在某些方面受湿度影响也比较小，虽然具有高吸湿性的聚合物需要专门观察，并且对于某些应用很可能要进行专门处理或干燥。

16.5　旋转焊接的设计

16.5.1　总体设计考虑

对于一个要进行旋转焊接的零件的主要要求是在连接处要有一个圆形截面。它可以是球形的、圆柱形的或是在零件上有一个简单的洞。零件本身不需要是圆的，只需要连接处是圆的就可以。例如，矩形零件上的连接就可以是圆形凸台。这种零件会安放在静止夹具上。而要进行旋转焊接的零件则应该是圆的。这样围绕中心线达到平衡。此外，连接处下面的壁面要有足够的强度来抵抗焊接压力。容器最小旋转焊接壁厚范围在 0.38～1.50mm 之间。旋转焊接达到过的最大的壁厚是 6.35mm，然而连接处初始的接触面则为 1.5mm。

小零件可以使用摩擦驱动器，例如聚硅氧烷垫，如图 16-3（a）中所示。而对于大零件，则必须要预先做好准备，防止在焊接过程中出现零件在推进头里滑动。筋及凸台（所谓“看门狗”）可以用来夹住零件，而且如图 16-3（b）中所示的推进凸缘就可以用来和相应的驱动器连接。在某些情况下，一些平面边也可以通过图 16-3（c）中所示的齿形驱动器来驱动。

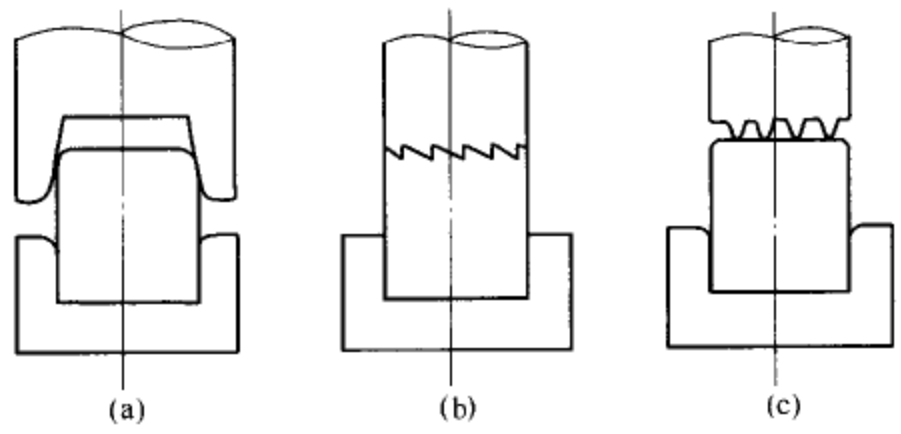


图 16-3　旋转焊接传动器

（a）10°驱动器，摩擦传动器；（b）驱动突缘；（c）齿形驱动

16.5.2　连接设计

好的旋转焊接连接应该能够在两个零件之间保持对齐，并且能够提供和一般零件壁厚一样或更大的焊接区域。在旋转焊接中基本上有三种连接，并且每一种都有较大的变化范围。这些就是楔-槽连接、剪切连接及嵌接。

最好的连接就是楔-槽连接设计［如图 16-4（a）、(c)］，因为它最能够容许有差错的。图 16-4（a）中的形式就是基本的楔-槽连接。它是一种安全的连接，但是在它两边都会有溢料。图 16-4（b）中的样式在其右侧就有一个溢料槽。在此例中，对于左侧来说溢料是可见的。图 16-4（c）中的裙边设计也可以用来隐藏溢料。

非常不幸的是，楔-槽连接是一种加工成本较高的连接，并且可能导致在成型

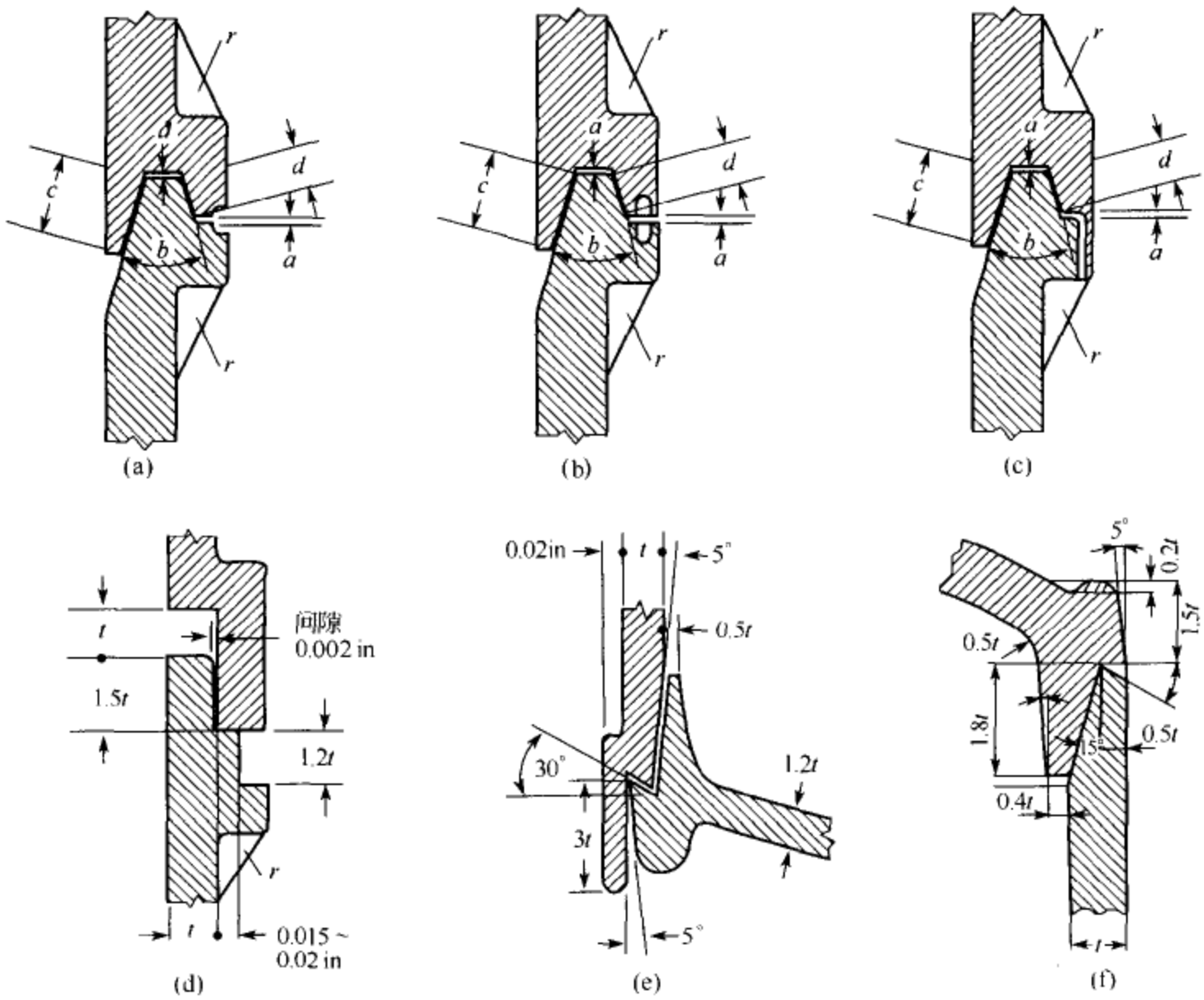


图 16-4　旋转驱动连接设计

（a）基本楔-槽连接；（b）带有溢料井的楔-槽连接；（c）带有裙边的楔-槽连接；
（d）基本剪切连接；（e）带有裙边的嵌接；（f）基本嵌接
a 焊接深度，应该是 $0.5\sim0.8t$；b 固定连接面的角度，必须 $\geqslant30^\circ$，
避免堵塞；c、d 总的焊接面，应该 $\leqslant2.5t$；r 用于夹紧的外围肋；t 壁厚

过程中吸入气体。因此，在某些场合就更愿意选用如图 16-4（d）中剪切连接。这是一种对于孔和凸台非常有用的一类组件。剪切连接必须要有足够的硬度或者工具支撑能够承受用来产生熔体的影响压力。嵌接就试图将前面两种连接组合在一起。嵌接的两种形式都展现在图 16-4（e）和图 16-4（f）中，前者带有裙边。仔细观察可以发现围绕在零件圆周上的肋（r），其目的就是为了控制它们的相对运动。

16.6　旋转焊接设备

16.6.1　基于钻床的旋转焊机

一台钻床可以用来装备旋转焊机。这种生产旋转焊机设备的方法有着最低的设

备成本。但是对于大规模生产来说，它并不意味着是最有成本效率的。钻床为了效率通常是通过气缸进行操作的，因而旋转焊接就可以通过手工操作来实现。即使这样，钻床方法只提供用在原型及生产率小的场合，对于大生产量，更偏向于用商用旋转焊机。

16.6.1.1　用于钻床式惯性焊接的工具

如图 16-5 所示，用于惯性焊接的工具有一个转动重物及一个驱动轮。对于最小零件，推进头就很可能通过轴承及飞轮之间的摩擦力来驱动。对于较大的零件，在工具中将会有离合器。一旦焊接完成，推进头就会在每个焊接周期之后恢复旋转。

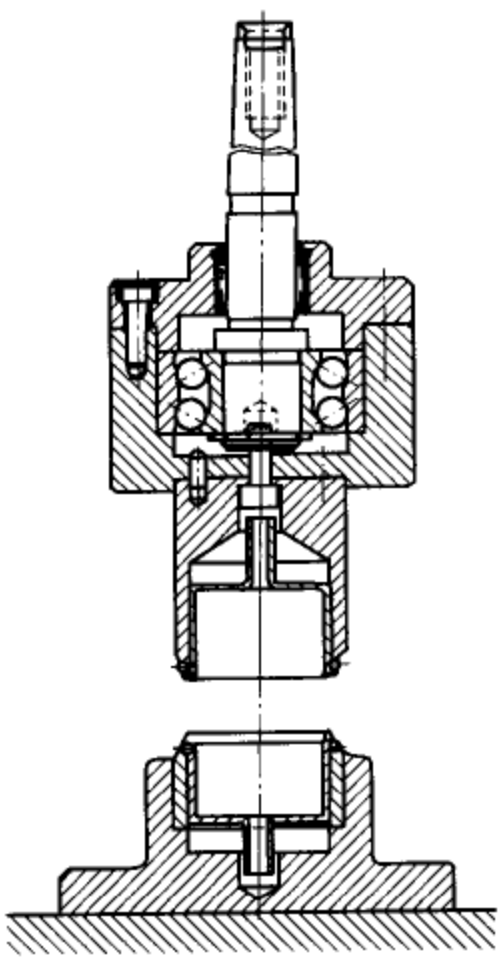


图 16-5　用于钻床的惯性工具
（来源于 Dupont Engineering Polymers）

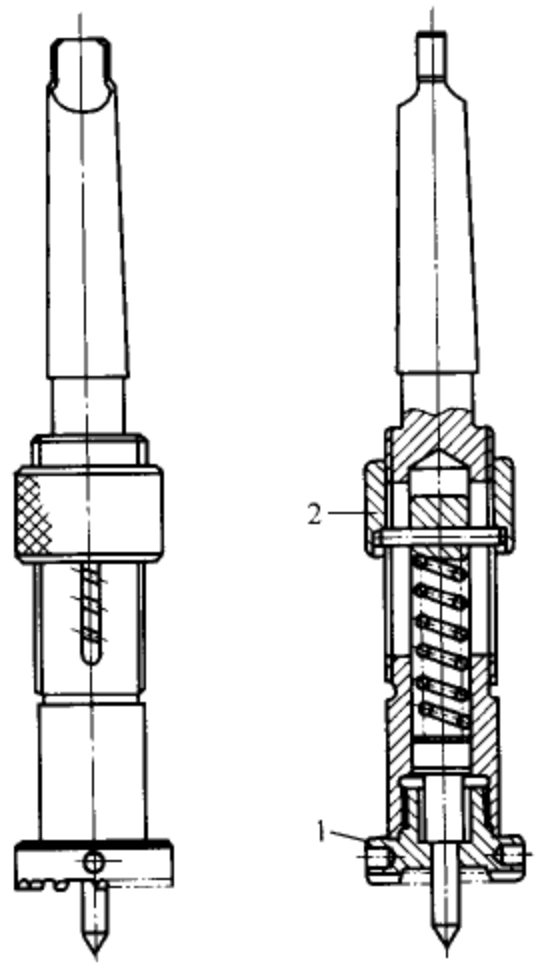


图 16-6　用于钻床的枢轴工具
1—齿状顶部；2—弹簧加载调整套
（来源于 Dupont Engineering Polymers）

16.6.1.2　用于钻床类枢轴（中心点）焊的工具

在图 16-6 中所示的中心点工具是另一种依靠钻床来进行旋转焊接的设备。其向下的压力就是通过一个弹簧作用在枢轴（中心点）上实现的，它可以通过调整从而给零件提供一定范围的载荷。枢轴（中心）支点不断的下降直到它在上面零件上找到一个接触点然后施加载荷。图中所解释的一类有齿轮的转头继续下降直到它啮合到上面的零件并且驱动它直到焊接的形成。紧接着就马上松开，让枢轴（中心）支点留在合适的位置，然后供压 0.5～1s 来让焊接固化。接着转头全面回收，从而能移走组合件及将新的零件放入到卡盘上。

16.6.2 商用惯性旋转焊机

除了钻床类之外，惯性旋转焊机是所有商业上可用的旋转焊机中最便宜的类型。在本书撰写时，这些焊机已经能够处理直径高达 305mm(12in) 的零件，而且推进头高度的调整量也高达 356mm(14in)。但是，它们并不能控制方向，而且对大型零件的焊接控制也有一定困难。图 16-7 中所示商用旋转焊机是一种带有控制阀 1 用来调节电机速度的空气驱动系统。接着空气就流向了气动机 2，接着空气压缩机驱动飞轮 3，即所谓的动力轮。驱动器 4 也属于转头部分。垂直运动往往是由安装在机架 6 上并可自己供气的气缸来控制的。它通过操作一个安装有驱动头并且受速度控制器 8 控制的锁定架 5 来完成。而零件仍留在砧座 7 中。控制按钮是一套双重安全控制器按钮 9 及发生危险时的急停钮 10。一个三步时间计时就是调节飞轮的开始时间、旋转时间及确保塑料在焊接后有足够的时间固化的停顿或冷却时间。

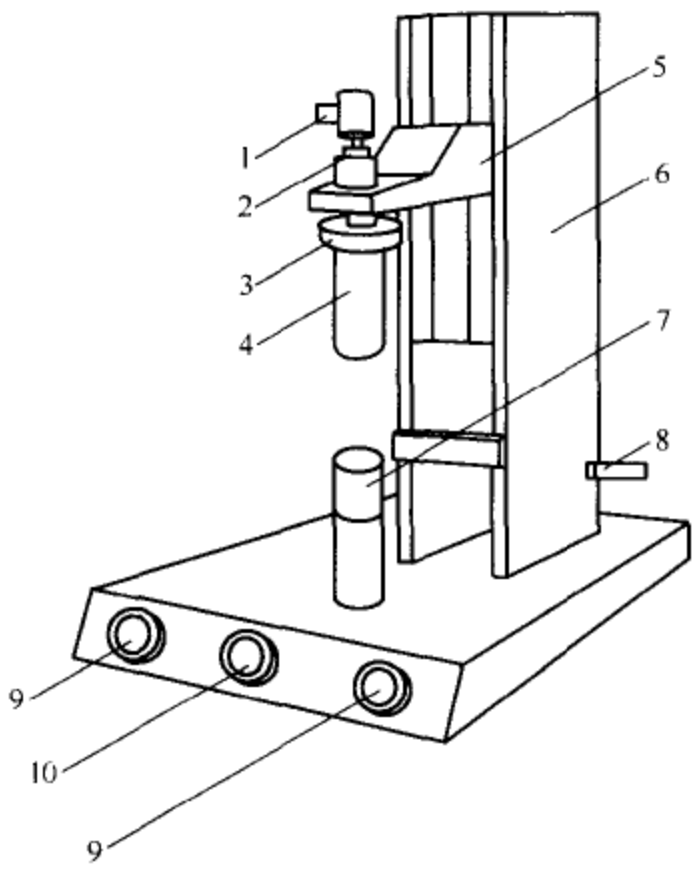


图 16-7 惯性旋转焊机

(来源 Forward Technology Industries, Inc)

1—电机控制阀；2—气动机；3—驱动飞轮；4—驱动器；5—高度调整锁定架；6—机架；7—放工件的砧座；8—速度向下控制器；9—双重安全控制器按钮；10—急停钮

当飞轮达到所要求的速度时，焊机就开始在较高位置加速并且停止供气。这时驱动器也可以下降来建立焊接，当焊接完成时就停止了。紧接着就撤回并且在停留位置停留，同时焊接好的零件就会移走，将新的零件放上以等下一次焊接的开始。飞轮和驱动器都取决于应用而且每次不同的工作都要改变；然而，转变并不需要有许多时间。高速生产可以通过使用一个转动平台来实现，这个旋转在焊接期间可以通过分离加载和卸载功能来优化机器的利用。

目前，带有电机的惯性旋转焊机在三个速度范围内都可以用。直径在 6～38mm 之间的小零件的最适合的运转速度在 0～16000r/min 的电机。直径在 38～102mm 中间范围的则可由转速在 0～4800r/min 的设备来代替，而直径在 102～305mm 的大零件则要求速度在 0～2400r/min 范围内的型号。图 16-8 就展示了一台惯性旋转焊机。

16.6.3 商用直接驱动旋转焊机

目前市场上大部分所使用的旋转焊机都是直接驱动类型。这种设计可以对所有

焊接尺寸范围实现更多的控制，并且可以定做任意尺寸的。标准工业类型则可以处理直径高达 229mm 及高度达 559mm 的零件。但是，定做样式则更容易得到。大多数应用都是在 305mm 以下，同时也有几个提到范围在 457～610mm 的样机。据说最大直径已经达到了 1219mm。低价位的样机不能控制方向；然而，那些能控制方向在 0.5～2°范围的成本要比最低价位惯性样机高出 30%～300%。直接驱动旋转焊机在处理零件时可用一步或两步式。

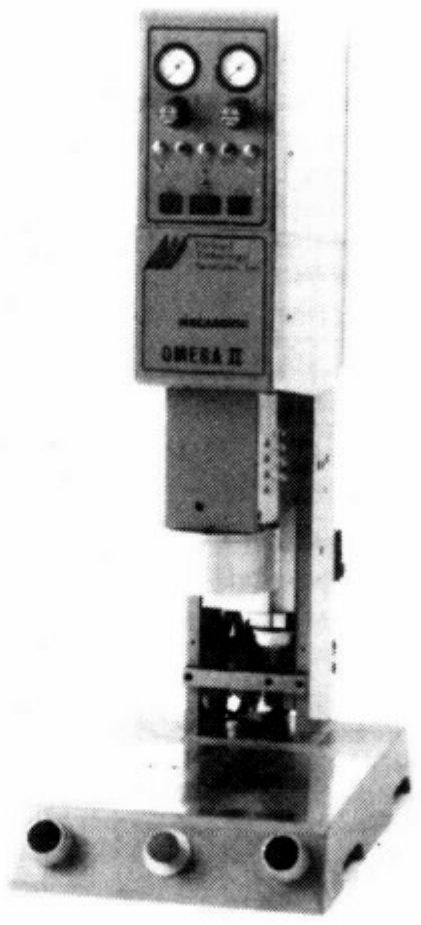


图 16-8　惯性旋转焊机
（来源 Forward Technology Industries，Inc）



图 16-9　直接驱动旋转焊机
（来自 Sonics 和 Materials，inc）

图 16-9 显示了一台直接驱动旋转焊机，总体布局上和图 16-8 所示惯性旋转焊机比较相似，但是它已经用电动机来代替气动马达，并且它的控制阀在驱动器的上面，而且没有了飞轮。标准类型电机的功率范围在 2～3hp，而定做类型通常是 5hp 或更高。这些值可以由它们所提供的扭矩来计算。和惯性焊机一样，垂直运动是由位于机架内的气缸来提供的。而转动的停止则通常使用制动器。

对于商用样机，使用双重操作按钮是标准的。三步计时控制拾起、旋转、保持都可以在标准样机上能找到，但是速度必须用手工操作。然而，对于某些样机已经有了带键盘、LED 显示屏的可编程逻辑控制系统，这需要额外成本。

16.7 资料来源

Branson Ultrasonics Corp., 41 Eagle Rd., P.O. Box 1961, Danbury, CT 06813-1961, (203) 796-0400, fax (203) 796-9838, www.bransonultrasonics.com

Dukane, 2900 Dukane Drive, St. Charles, IL 60174, (630) 584-2300, fax (630) 584-3162, www.dukane.com/us

Forward Technology, 260 Jenks Ave., Cokato, MN 55321, (320) 286-2578, fax (320) 286-2467, www.forwardtech.com

Manufacturing Technology Solutions, 14150 Simone Dr., Shelby Township, MI 48315, (586) 802-0033, fax (586) 802-0034, www.mts-telsonic.com

Mecasonic Div. of Forward Technology Industries, Inc., 13500 County Road 6, Minneapolis, MN 55441, (763) 559-1785, fax (763) 559-3929, www.forwardtech.com

Sonics & Materials Inc., 53 Church Hill Rd., Newtown, CT 06470, (800) 745-1105, (203) 270-4600, fax (203) 270-4610, www.sonics.biz

Ultra Sonic Seal Co., 200 Turner Industrial Way, Aston, PA 19014, (610) 497-5150, fax (610) 497-5195, www.ultrasonicseal.com

第 17 章　立锻/模锻/锤锻/冷锻/冷成型

17.1　立锻/冷成型的优点和缺点

立锻、模锻、锤锻及冷成型在拴紧方法上都比较相近，都是使用工具引起塑料变形。锤锻和冷成型是在冷状态下执行的，而立锻和模锻即可以在冷状态下也可以在热状态下进行。当在冷状态下进行立锻时，有时候也将其归入到冷锻行列。但是“冷”有时候也要加热，只不过达到的温度要低于塑料的熔点。此外，在冷成型中会产生热，而且可能达到使塑料熔融甚至分解的温度。这些永久性的紧固方法主要用在热塑性塑料，偶尔热固性塑料进行锤锻和冷成型。所有的热塑性塑料成型都可以经过模锻和冷成型到一定程度制造零件，但是只有注射成型可以制造。大多数情况下需要立锻、锤锻及冷锻的螺柱。

17.1.1　优点

（1）不同的材料　只要其中一个零件是一种易成型的聚合物，那么可以利用这些工艺对不同的材料（例如玻璃、金属或热固性塑料等）制成的零件进行装配。由于线性热膨胀系数的巨大差异所产生的高应力及变形可能与材料不同有关，所以警告读者要小心。

（2）配合速度　这些方法完成迅速，组装时间 1s 或 2s 都很普遍。

（3）组装设备的消除　由于不需要紧固件、胶黏剂、溶剂或电磁预成型件，连带这些项的成本一起消除。

（4）宽松的公差范围　当高强度的应用场合要求精确的尺寸控制时，低价组装可以在较松的公差范围内完成。

（5）可再循环的拆卸　虽然这些装配都不是可再开型，但是在回收时装配还是比较容易打开，尤其通过加热。

（6）低投资　立锻成本较低，而且几乎不需要任何的夹紧固定。

17.1.2　缺点

（1）永久组合　通过这些方法连接零件不是再重开型。因此，它们的应用只限在那些不要求检修的产品。

（2）回复性　材料在变形之后有恢复原来的形状的趋势。这就可能导致连接的松脱，不过加热就可以减小这个问题。

（3）外观　这些工艺特性决定其阻碍了高质量表面的实现。很明显，这只是一个主观上的表述，对于那些指出对于大部分材料可以通过加热来获得平滑、坚实的桩头的人来说还是很有争议的。而不同意见是即使平滑桩头也不具吸引力，那么只有较弱的平伸头可行。如果应用时小心一点，就可以发现加热可以提高外观。然而，注意力都放在外观上连接点的强度很可能会下降，因为防止出现溢料而降低包紧压力可能会导致头部下有空隙。

（4）填充材料　这些材料的使用将会影响接头的形成。由于浇口与接头相对位置关系不同，填充材料可能不容易流进柱头，因此就会留下头部“富含树脂”与零件其他部分特性不平衡的问题。

（5）刀具后角　一般不总是能够将成型工具放在使它发生作用的地方。手持式加热和超声波装置都可以用来在那些难以凹进的地方加工出粗糙的头部。

（6）工艺限制　螺栓成型的内在特性限制了大部分方法在由注射成型出来的零件上使用。

17.2　立锻

除了模锻之外，应用在这一章所讨论的所有方法的主要原因就是为成型桩栓。桩栓基本上也就是一个立柱，在其上面形成一个像铆钉一样用来连接两个或更多零件那样的镦头。但又不像铆钉，它是与零件一起模塑出来的，这样就节省了铆钉的成本。成型镦头的模具可以是冷的，或者经过热空气、电阻丝、超声波振动来加热。如果两个立镦之间的高度和距离之间的差距不是很大，那么就可以采用加热方法将多个立镦用一模具焊接在一起。

以下几个标准就是用来确定哪一种成型镦头的方法最适合，其内容如下。

（1）强度要求　载荷类型（例如剪切或拉伸）及程度都必须明确。除了要使用桩栓的尺寸和类型之外，还必须确定所要求桩栓的个数。而且还可以做超声波焊头，这样可以一次成型多个桩头，但是首先必须让它们之间的距离和高度差不能太大。

（2）焊头或冲模的有效性及支撑　热和冷成型设备都要求直接与冲模相互作用，但是热成型锻头就可以通过手持装置进行制造，这些设备能力受限制更多。然而，不同的方法就要求有不同程度的压力。因此桩头下面的壁面必须得到支撑以免弯曲。

（3）材料限制　材料决定了一种给定方法的影响效果并且确定它的设计参数。超声波技术对材料尤其敏感。

17.2.1　桩柱的冷成型

理论上冷成型适用于所有热塑性塑料。但是它尤其适合聚甲醛、尼龙及其他耐冲击性优良的材料。有些热塑性塑料由于太脆而不适合进行冷成型。如果热固性塑料处于 B 状态、部分硫化、阶段硫化，那么就可以进行冷成型。

本质上，这些工艺依赖于超出屈服应力并导致其变成头部形状或其他形状所应用的压缩力。为了避免出现断裂情况，所以加载荷时应逐步进行，小心控制其力度。

塑料的冷成型和金属的冷成型非常相似；但是塑料变形及应变回复的性质，即所谓的“回弹性”，只介绍了时间依赖性强的一面。事实上，某些回复就发生在进行冷成型时的零件，不依赖于时间因素，尤其当装配暴露于冷成型过程产生的热量中时。然而，在成型后在变形段再维持压力一段时间，将会减少应变回复量，同时也会导致这个过程变慢。此外，在主应变方向也将会发生分子取向。沿分子取向方向上的强度增大而与之垂直的横向方向的强度减弱。温度对于回复也有影响，装配暴露于高温下，也会导致回复的发生。对于有这种暴露的应用，一般都推荐使用加热成型镦头，因为镦头并不会有丝毫回复，除非超过变形温度。如果要求使用一种相对较自由的镦头，那么就可应用热变形。除了这个回复性问题之外，经过冷成型的零件相对经过热变形的零件而言，更易于发生裂纹和化学侵蚀。

由于应用的不同，将会有一些和过程相关的加热。热塑性塑料的冷成型也是在升温的情况下完成的，但是这个温度低于熔融温度。然而，在这两种情况下，温度都可能达到材料的分解点。因为这种分解可能会导致失效，聪明的做法就是防止它的发生。简单的冷成型就可以通过从心轴压力机到多头自动机器中的任一种来完成。

图 17-1 显示了塑料桩柱的冷锻。弹簧加载导向套筒将两零件合在一起，镦头工具下降到桩柱上。就在立柱截面积最小并且得不到配合零件支持的点上就将会发生屈服和变形。图 17-1 中的铆钉壁是均匀的，但是也可以设计成锥形或环形的。

图 17-2 所示为连接两零件的塑料铆钉。图中铆钉的变形部分被掏出一个芯，从而制造出一个环形，因此也就减少了变形区域的横截面积。截面的减少对于变形来说也减少了形变所需的力，这也就减小了受配合零件支承的轴的部分弹性变形。也就降低使连接处松弛的弹性回复。本设计中头的铆钉也有一个轮廓鲜明的锻头，

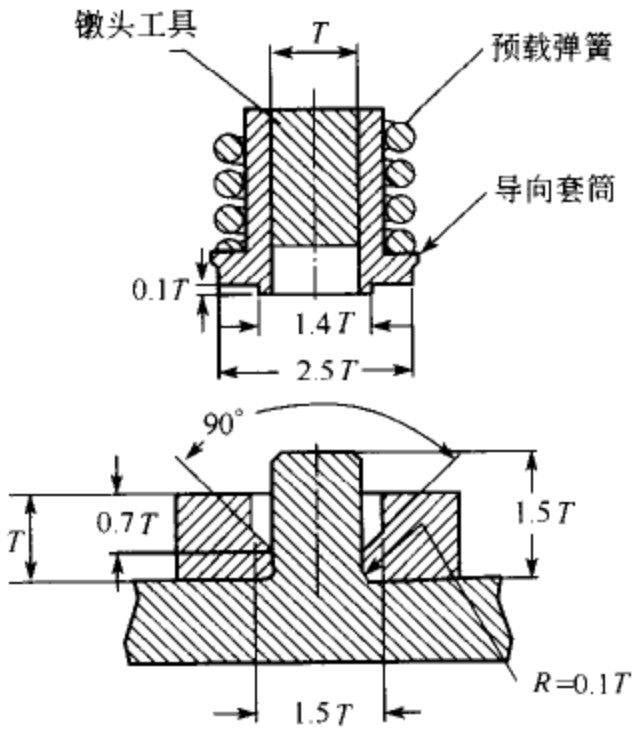


图 17-1　塑料桩柱的冷锻

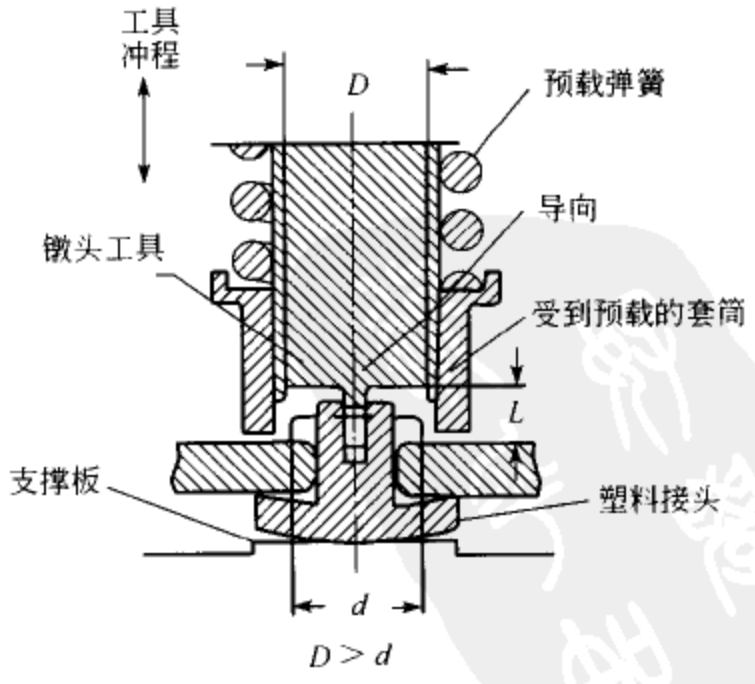


图 17-2　塑料铆钉的冷锻

目的是在受到压缩时，能够产生一个弹性效应。这种特征能够维持组件上的压力，防止它由于回复而发生松弛现象。

铆钉头的尺寸是由一系列的因素确定的。一旦加载到组件上的载荷的方向和数量得到确定，那么立柱的数量及它们的直径就可以从强度公式中得到确定。经过冷成型的镦头将会表现出约为材料剪切强度 50%的拉伸强度。立柱的直径决定了它的长度，正如它的长度在镦头变形过程中没有发生弯曲情况下不会超过直径的两倍。当长径比超过 2 时，那么冷成型过程就可以分两步进行了，首先应该快速打击成型，至到减小高度到一个可接受的水平。具有成型条件的实验就可以解决一个弯曲问题，因为合适的组装参数对于材料、组装速度及材料温度变化都很小。

17.2.2 热气锻/冷锻

当采用加热方法时，那么加热预变形材料的主要方法就是使用热气流。如图 17-3（a）所示，这里预变形为镦头的立柱正在通过来自管道热气流的喷射进行预热。气流的加热主要由一个内置加热器来完成。图 17-3（b）所示的冷成型压模，基本上是由气缸来驱动，下降到软化立柱表面进而成型镦头，并且在那个位置停留直到塑料固化。载荷的逐步加载必须要小心而且必须要有足够大的力才能实现变形，因为过载和超速都将会导致立柱的断裂。图 17-4 和图 17-5 显示了两种相互竞争的方法。该工艺需要 8～20s 的循环周期，但是它比较适合多点作业，它允许同一时间成型多个镦头。表 17-1 就展示了多种热塑性塑料使用这种方法的能力。

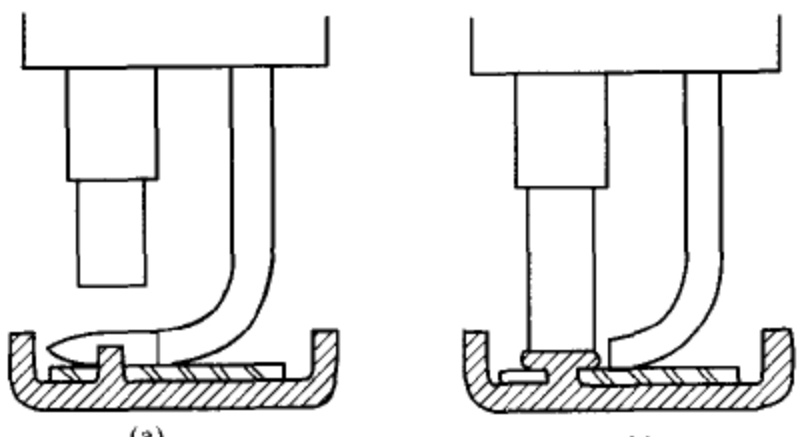


图 17-3 热气锻/冷锻

（来源于 Orbitform，Inc）

（a）立柱的预热；（b）冷锻

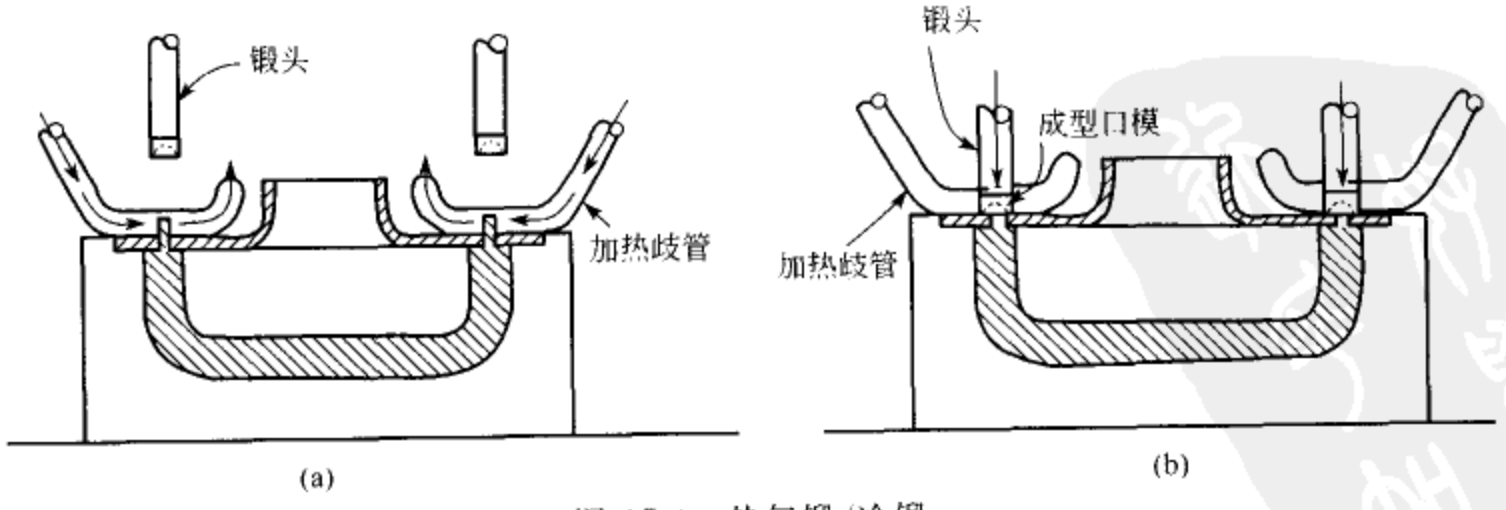


图 17-4 热气锻/冷锻

（来源于 Forward Technology Industries，Inc）

（a）立柱的预热；（b）冷锻

锤锻也是一种冷成型形式。它使用了在形状上和图 17-3 中所示非常相似的加热冲模。但是，在这种情况下，塑料是不加热的。锤锻方式只限于用在能够承受冲模冲击而不发生破碎的具有回弹性的热塑性塑料上。

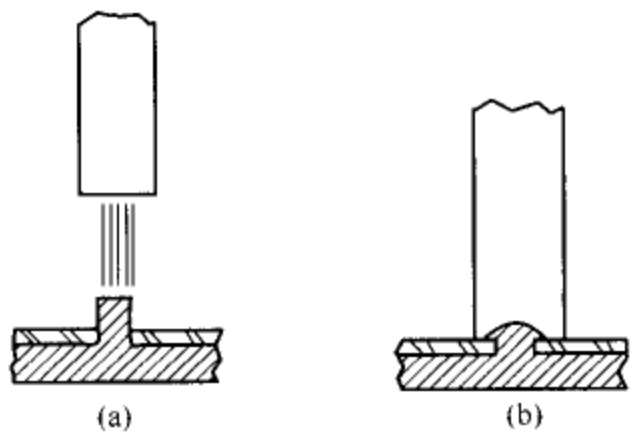


图 17-5　热气锻/冷锻
（来源于 Service Tectonics Inc.）
（a）立柱的预热；（b）冷锻

17.2.3　超声波冷成型

超声波可以用于冷成型。通常归类于“高压力方法”，这种方法使用超声波振动来熔化材料，使材料表面软化但没有熔融。然后在平面焊头上施加一个较大的压力，从而使软化的塑料变成如图 17-6 所示的蘑菇状。只要能控制好向下移动距离，零件就可以比较安全地连接在一起或者设定零件间允许的相对运动。像 ABS、耐冲击苯乙烯及聚烯烃具有高弹性的材料都非常适合这种方法，而且对于聚甲醛和聚碳酸酯也有效。

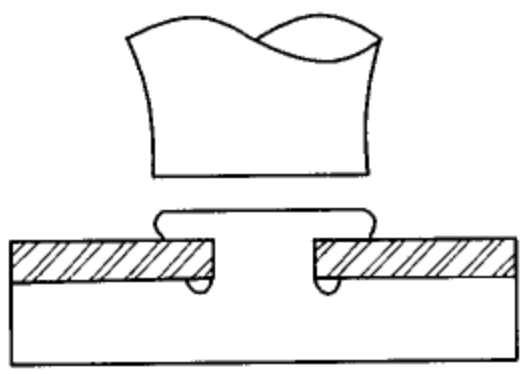


图 17-6　超声波冷成型
（来源于 Branson Ultrasonics Corporation，Danbury，CT）

立锻不仅应用于冷成型，这种方法也用于模锻、卷曲、折叠或其他成型热塑性塑料的方法。

17.2.4　立柱热压模成型（热锻）

加热可以使塑料的温度升高到它的熔融点以上。那样有助于建立紧凑的装配，并且可以减少材料的回复趋势而不再出现通常的材料的松弛。虽然可以使用电磁/感应来加热，但通常还是由一般加热模具或超声波振动来提供热量。

热压模的工作方式非常简单。压模首先要加热到足以使塑料表面发热的温度同时加压力形成立柱的镦头。必须注意的是，对于成型要提供足够的热量并且不发生分解。热压模不能像超声波设施那样关停；但是，它们非常适合某些材料——特别是带有大量玻璃纤维填充剂的材料。此外，它们不像超声波那样能破坏敏感电子元件；虽然它们有一定程度的弹性回复能力。各种塑料接受热锻的能力也列在表 17-1 中。

17.2.5　立柱的超声波热成型

高频率的超声波振动可以用来熔融桩柱的顶部，并且可以使它重新变形成为立柱的镦头。立柱头部形状可以加工成焊头的顶部，非常像热压模。当振动熔融塑料时，它会逐步形成立柱的头部。读者可以参考第 19 章“超声波焊接”，对熔融过程和超声波焊接设备有更详细的了解。

表 17-1 热塑性塑料的立锻和模锻特性

材　料	热空气/冷锻	热成型	超声波
ABS	极好	极好	极好
ABS/PC	极好	极好	好
ABS/PVC	没有相关的信息	好	好
聚甲醛均聚物和共聚物	差	好	适用到好
丙烯酸酯	好	好	适用
丙烯酸酯多元聚合物-XT 聚合物	没有相关的信息	好	好
丙烯酸酯/PVC	没有相关的信息	好	好
丙烯酸酯-冲击改性	没有相关的信息	好	适用
丁二烯-苯乙烯(BDS)	好	好	好
纤维素:CA,CAB,CAP	适用	好	好
氟聚合物	差到好	不适用	不适用
液晶聚合物	好	没有相关的信息	适用到好
尼龙	适用	好	适用到好
PC-PET	没有相关的信息	好	好
聚芳酯	没有相关的信息	好	适用
聚碳酸酯	极好	好	适用
聚酯			
PBT	好	好	适用
PET	适用到好	好	适用
聚醚(PEEK)	没有相关的信息	好	好
聚醚酰亚胺	没有相关的信息	好	好
PE			
LDPE,HDPE	好	极好	
UHMEPW	没有相关的信息	不适用	
聚甲基戊烯	没有相关的信息	极好	
聚苯醚(PPO)	好	极好	
聚亚苯基硫醚(PPS)	好	极好	
PP	好	极好	
PS			
通用级	极好	好	
冲击改性	好	好	
PVC			
柔性	没有相关的信息	不适用	
刚性	好	好	
SAN-NAS-ASA	好	好	
苯乙烯-马来酸-酐	没有相关的信息	好	
磺化聚合物	好	好	

使用超声波建造镦头的主要优点如下：不像冷压和热压模变形，超声波连接不会产生弹性回复；此外，这种方法相比其他方法在镦头的变形上能进行更好的控制。超声波可以提供工艺循环时间在 1s 之内，具有非常好的可重复性及过程控制。目前这些优点都存在，因为只有塑料铆钉的顶部熔融，而且在它连接铆钉之前就开始用超声波焊头来完成改进。超声波焊接通常通过高振幅和低压力来实现材料的熔融，并且流进焊头的型腔内。向下移动的速率必须进行严格控制，使其不会超过塑料的熔融速率；然而，铆钉还是很有可能破碎或变形。如果向下的压力太大或者是振幅过小都会有可能引起这种破坏。在连接铆钉之前开始用超声波振动，即所谓

“提前触发”，就有助于解决这类问题。

随着塑料的熔融，它就开始填充模具的轮廓，成型立柱的头部。当达到移动极限时，焊头就停留在那个位置。在连接处提供向下的压力直到头部足够冷却，焊头可以移走。如果焊头移走过快，那么已成型镦头很可能仍会留在立柱型腔里。

使用超声波成型立柱的材料是非常重要的。表 17-1 就列出了一部分采用超声波成型镦头的能力，同时也有加热和热气锻/冷锻技术。

17.2.6　激光立锻

激光能量也可以用来熔融塑料柱，从而可以通过压模来成型柱头。激光束直接通过透明的压模照到要熔接的塑料上，直到聚合物足够软化以如图 17-5 那种相似形式成型。接着开始向下压着立柱进而形成柱头。为了避免因压模的磨损而导致光束传播的损失，那么这种柱就不应该是由加了玻璃纤维填充剂的树脂制成。本应用要求有金属压模，它可以作为第二阶段。激光熔接可以用在大部分的聚合物，但是，只有那些能吸收激光能量的聚合物才可以用于激光立锻。这类设备主要来源是 Extol 有限公司，对于激光焊接的更多信息，读者可以参考第 21 章。

17.3　立锻设计

17.3.1　立柱

立柱决定了许多设计参数。它的直径决定了连接强度及即将使用镦头的类型。第一个问题就是立柱底部壁厚差超过 25%时不均匀冷却可能会造成的后果，它会导致较高的成型内应力，此现象直接通过裂缝和内陷等表现出来。应力将会降低镦头的强度，凹陷会毁损零件表面的质量。作为一个一般性的原则，这种情况可以通过限制立柱直径在公称壁厚的 50%之内就可以避免。当这个不可行时，就可以采用另一种替代方法即内部中空的镦头，这将在本章后面讨论。

图 17-7 展示了两种基本立柱设计。立柱的底部承受到压力可能导致镦头变形和产品使用时的失效。观察图 17-7（a）立柱底部的圆角，从中可以发现这么做的目的是为了在塑料内径中满足应力因素特征。在图 17-7（b）中立柱的底部深处圆角也达到相同的目的。如果没有在壁面做一个凹处，必须在相配合零件上建立倒角来避开那个圆角。这会增加模具的成本，增加程度依赖于零件的型芯部分。如果倒角在型芯侧，那么就可以通过翻转一个较大的型芯销进而较轻易实现。否则，必须使用额外一带有合模沿的型芯销。

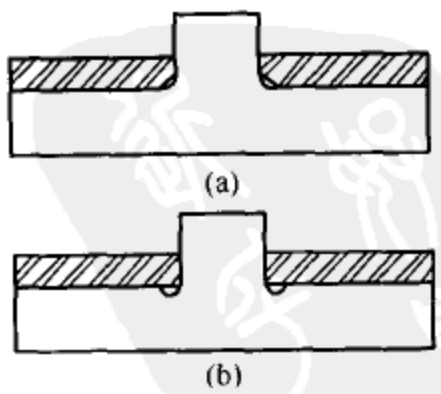


图 17-7　基本立柱设计
（来源于 Branson 超声波公司，Danbury，CT）
（a）表面柱半径；（b）凹坑立柱半径

任何情况下都有必要在配合零件顶部建立圆角。当立柱镦头成型时，那个半径就会在立柱底部形成一个半径。这样就会减少内拐角处的应力集中。如果这种特征对于一个给定的设计成本太高，其实可以在这个位置上设置45°的倒角，这样有很多益处。这些具体特征会增加模具成本，但是它会使所成型立柱的强度明显增强。

17.3.2 立柱头

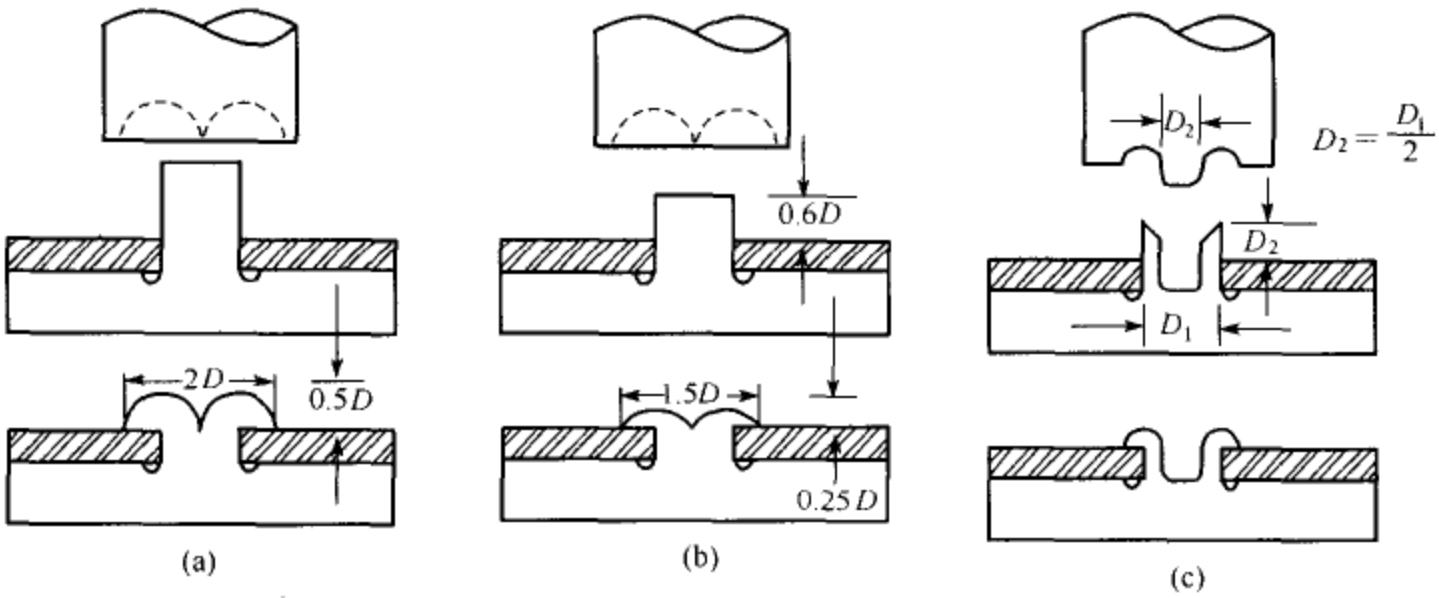
公差对成本和强度都有影响，这对大部分组装方法都是一个事实。在冷锻中，孔可能会过大，因为这对连接强度的影响相对较小。在热锻中，塑料熔融并且会渗透到立柱边上的缝隙，这样会丧失头部的材料并且减弱连接。但是，热锻中熔融材料会使内应力很小，因而本质上使连接强度更高。最强的镦头可以通过接近公差的热锻来实现。因为较宽松的公差范围，在头部下只能形成较小的接触面积，并且可能会导致一个松弛的配合。虽然那个问题可能是由于头部压力不够或时间太短造成的。当公差成为主要的成本驱动因素时，那么最经济的强度较大的立锻可能是放松了公差范围的热锻，但这将会伴随着从中可以得到大量的额外材料。

立柱头的尺寸应该设计成能够提供足够的材料来成型立柱的镦头。立柱型腔太大将会导致粗糙的或不规则的镦头成型，同时若太小就可能会在立柱头部周围造成过多的溢料。如果立柱尺寸不合适也可能发生同样情况，尺寸太大的立柱将会产生溢料，尺寸太小则形成畸形的镦头。

图17-8显示了最普遍压模头中的几种。对于大部分零件，这些都是根据超声波而设计的；但是，大部分还是可以用其他方法成功成型。成型压模头所用材料的数量决定了它的尺寸及立柱的尺寸。基本上有足够的材料来形成一个固体头。这些尺寸应该被视作一个开始点，正如为了避免两连接零件表面上材料的错位或通过压缩建立一个更坚硬的头部因此就需要有额外的立柱高度。但是，这额外增加的塑料，可能会导致看不见的溢料。

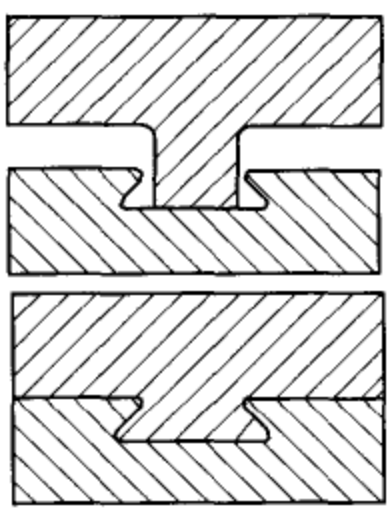
图17-8（a）描述了标准莲花形镦头设计。莲花头中心点开始熔融并且有助于减少成型压模所需的能量。首先必须仔细地将中心对在立柱顶部即平面的中心上，若不对齐其结果是形成不平衡的模头，在头部周围形成溢料，或在立柱底部形成塌陷。当成型完成时，头部应该变大到原来立柱直径的两倍。

莲花形的头部对于大多数热塑性塑料，包括少数较硬类型来说都是一种非常优秀的设计；但是它不适用于含有能带来磨损的填充剂，例如玻璃纤维和无机物的复合物，因为这些会过早磨损头上的点。结晶型及高压、高振幅、高引发剂压力下成型的高熔点热塑性塑料有时可以通过使用标准莲花型的镦头来避免脆性。这种设计普遍应用在立柱直径为1.6～4.0mm（0.063～0.156in）的镦头上，虽然标准超声波焊头顶端可用的范围为0.8～6.35mm（0.031～0.250in）。对于直径大于4.0mm（0.156in）及应用空间受限制的场合，那么就会使用如图17-8（b）所示较低形状结构。它比正常莲花形需要更少的能量及循环周期，但是在头部的材料就更少，其结果会导致镦头较弱。因为立柱顶部对于规则形莲花镦头来说是平整的，将莲花形



(a)　(b)　(c)

(d)　(e)　(f)



(g)

图 17-8　立柱结构

（来源于 Branson Ultrasonics Corporation，Danbury，CT）

（a）标准莲花形镦头；（b）浅莲花形的低镦头；（c）中空形镦头；（d）圆顶形立柱；（e）平坦形立柱；（f）滚花后立柱；（g）隐蔽立柱

立柱放入模具中比将立柱放入到带有锥形顶部的圆顶形镦头经济。

对于直径大于 4.0mm（0.156in）更适合的设计就是如图 17-8（c）所示中空镦头设计。它可以用较少的材料制造出一个较大、较强的连接头，连接头成型只需要较少的能量。当使用这种结构时，立柱的直径就必须至少是 4.0mm（0.156in），

目的就是为了当维持内径的最小中心直径为 1.5mm（0.059in）时确保有足够的材料。进行那种凹槽设计就是避免壁面遇到凹陷。凹槽壁面必须有拔模斜度便于脱模，并且内拐角要倒圆角减小应力集中。当镦头被视作一种不可再开形式的组合件时，那么中空模就可以钻掉代之以一个可以自攻螺丝，进而提供一种可再打开型。大部分情况下，内空柱的加工成本要比其他类型要高很多。

图 17-8（d）所示的圆形镦头适合用在直径非常小的立柱［＜3.18mm (0.125in)］、多镦头及那些对标准镦头有非常大磨损作用的玻璃纤维或无机填充材料组成的大直径立柱。同样也特别推荐用在结晶型热塑性塑料及那些易分解材料。代替头部的那一点，立柱可以做成锥形。这样主要可以消除那一点被磨损掉后压模要替换的必要，但是它增加了模具的额外成本，除非模头数量较大，否则成本不可能下降。圆顶曲线将倾向于将其自己和立柱中心对齐，其结果是模具位置要求的精度下降，而且公差范围变宽。盘型镦头和平型镦头是圆型镦头另外两种版本，为了提高强度，在头部可以提供更多的材料。所有这三种设计的结果是压模头高度等于直径的 1.5 倍，盘型和平型镦头直径是镦头两倍；简单的圆顶直径基本上是镦头直径的 2.23 倍。

对于某些对外观敏感的应用，可以使用图 17-8（e）所示平坦形镦头。利用平整焊头将过多材料压到一个沉孔内。若使用圆型立镦，那么必须使用锥形立柱。这很大程度上是一个较弱的设计，因为成型头部需要的材料太少，头的底部形成的材料楔较薄。连接零件厚度越薄，成型头部可用聚合物也就越少；最坏的情况是没有足够的材料来形成足够的强度。除了塑料缺乏之外，这种设计结构也可能会因为较尖的内拐角而导致在立柱的底部形成应力集中。平坦形镦头可以用在所有的热塑性塑料，但是只限用于轻载场合。

图 17-8（f）所示带有滚花的镦头很可能是最易于较粗略的对齐而快速完成的场合；手持式超声波加工工具和任意直径的立柱将会这样做。滚花压模的不足在于它不令人满意的外观和令人质疑的强度。但是若作为一种原型或低产量生产的装配则非常有用，因为通过手持式超声波焊机就可以轻易实现；但是，定位精度要求的不足同样让它也适合高产量、高速的应用场合。一种标准的尖端无论是正型还是负型，精细还是粗糙，都可用。

反向压模，即所谓的隐蔽立柱或机械互锁，如图 17-8（g）所示。立柱放在带有倒陷的连接孔内，并且在立柱上放置一个较便宜的焊头。对齐在这里并不关键。当立柱通过超声波振动熔融流进型腔时就会产生一个永久性隐蔽镦头或机械自锁。

17.4 模锻

模锻是应用在热或冷成型里的专有名词，将一个零件的整个壁面或部分壁面通过使用工具放入到另外一个零件或一部分零件里，从而建立了一个没有分子联结的配合。被放入的零件几乎都是由不同材料制成的（例如非塑料、热固性塑料或不能与先前零件焊接的热塑性塑料）。超声波热成型也用在成型管道的末端。模锻的主

要优点就是模具成本下降，因为没有了要增加成本的倒陷或者是和不同材料连接相关的立柱等。此外，它提供了一种毋须连接件或胶黏剂的紧凑装配，而且可以在很快的循环时间内完成。这个过程很快而且会产生应力集中最小。模锻可以是连续或分段式，这样减小能量消耗。具体概念如图 17-9 所示。

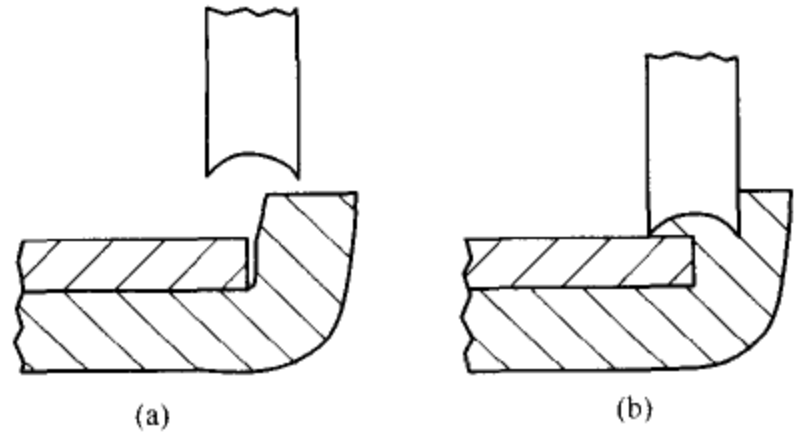


图 17-9　模锻

（a）模锻前；（b）模锻后

在图 17-9（a）中，展现了未模锻之前的组件。没有模锻，那么垂直壁面就要求有一个倒陷。组装的产生则是在图 17-9（b）中的模具下降并且移置要连接零件上的材料时就建立了。主要的工艺参数就是模锻工具的温度、塑料的温度、所用压力及作用时间的长度。使用超声波模锻比热压模快，而且不会像冷成型一样产生应力集中。当采用超声波进行模锻时，就需要有专门设计的加工工具。超声波焊头通过相对壁面的受控制的速度来施加压力，而且塑料冷流也就开始了。压模与壁面相遇的瞬间会经常使用提前触发来使得塑料开始熔融。

随后塑料会熔融，并且通过焊头的凹状槽像翻犁式盖在配合零件上。紧接着就会施加一个保压压力，防止在熔融截面冷却以前发生弹性记忆。当进行冷却时，连接零件也就会在相应位置上停留下来。

低到中等硬度的聚合物最适合进行超声波模锻，因为它们允许材料的冷成型在超声波振动开始之前进行。这些材料包括 ABS、纤维素、耐冲击聚苯乙烯、聚乙烯、聚甲基戊烯及聚丙烯。但是硬的热塑性塑料也可以进行模锻，不过难度较大一点。

较软的材料可以进行冷模锻，例如结晶型热塑性塑料或者韧性较好的无定形热塑性塑料，这些材料可以承受成型过程造成的大应变。但是，它们比热模锻呈现弹性回复的可能性要大得多。

17.5　资料来源

17.5.1　热锻

Forward Technology, 260 Jenks Ave., Cokato, MN 55321, (320) 286-2578, fax (320) 286-2467, www.forwardtech.com

Heraeus Noblelight, Inc., 2150 Northmont Parkway, Duluth, GA 30096, (770) 418-0707, (770) 418-0688, www.noblelight.net

Manufacturing Technology Solutions, 14150 Simone Dr., Shelby Township, MI 48315, (586) 802-0033, fax (586) 802-0034, www.mts-telsonic.com

Sonitek - Sonic & Thermal Technologies, Inc., 84 Research Dr., Milford, CT 06460, (203) 878-9321, fax (203) 878-6786, www.sonitek.com

17.5.2 热气体/冷锻

Hydra Sealer Div. of Forward Technologics, Inc., 13500 County Road 6, Minneapolis, MN 55441, (763) 559-1785, fax (763) 559-3929

Orbitform, Inc., 1600 Executive Dr., Jackson, MI 49203, (517) 787-9447, fax (517) 787-6609, www.orbitform.com

Service Tectonics Inc., 2827 Treat St., Adrian, MI 49221, (517) 263-0758, fax (517) 263-4145, www.padprinting.net

17.5.3 激光锻

Extol, Inc., 651 Case Karsten Dr., Zeeland, MI 49464, (616) 292-1771, fax (616) 748-0555, www.extolinc.com

17.5.4 超声波

参考第 19 章“超声波焊接”。

第 18 章　螺纹：攻丝和模塑

18.1　整体螺纹的优点和缺点

18.1.1　两种类型螺纹共同的优点

（1）毋须附加材料　除了螺杆本身之外，整个螺纹就不需要像插件、电磁预成型制品、胶黏剂或溶剂等附加材料。因此，没有必要将成本降得和那些没有螺钉的一样低，但这些螺纹比那些有附加材料要求的方法从本质上成本要低，并且回收拆卸的成本也会便宜。

（2）装配方便　将螺杆插入到带有螺纹的孔内是一种长期确定的装配方法，这种方法基本上不需要什么专门的训练。此外，实现这种功能的许多自动设备都得到了广泛的利用。因此这种方法非常适合于自动装配。

（3）不同材料　金属可以和塑料连接，但是和两种相近材料通过带有整体螺纹的螺钉进行相互连接则有非常大的不同。

（4）具有可再开性　整体螺纹通常选用可再开型。它们比那些需要自攻所产生的螺纹要好，因为这些螺钉在进行重复的开合时可能会破坏自攻螺纹孔。就这一点来说，模塑出来的螺纹就比那些攻丝出来的要好。

18.1.2　两种螺纹共同的缺点

（1）装配速度慢　相对其他装配方法，螺钉插入的速度是相对较慢的。

（2）热膨胀性　两种材料之间的线性热膨胀系数的巨大差异可能会导致螺纹或凸台应力开裂或螺钉变松。

（3）吸湿性　一些塑料会因吸湿而膨胀，膨胀到一定程度会导致螺纹变松。

（4）密封受限制　需加垫片才能实现密封。

（5）应力松弛　随着时间的延长，材料承受应力的能力会下降，尤其是在较高的温度时。应力松弛可能会导致塑料螺纹的开裂或产生纹裂。

（6）蠕变和冷流　螺钉在经历应变松弛后会发生松动。

（7）环境限制　化学作用或紫外线照射都可能会引起应力开裂导致螺纹失效。

18.2　在塑料上钻孔和攻丝

在塑料上钻孔和攻丝一般都被认作是一种局限于原型、短寿及那些体积较大、

形状笨拙或两者兼而有之的产品。因为这个过程与在零件上直接模塑成型螺纹相比要慢。但是模塑成型螺纹加工成本较高，所以使得大量零件生产在认定其工具投资之前出现了钻孔和攻丝零件数量增加的趋势。在某些情况下，使用先模塑出孔然后攻丝的混合技术是非常值得的。但是由于螺纹质量的要求，有必要再进行钻孔和铰孔来消除斜度。即使这样，也比钻出整个孔要节省时间。

有时候钻孔和攻丝可以根据底座上孔的定位精度（使用合适的设备）进行调整，但是攻丝螺纹达不到模塑螺纹相同的配合精度。其定位精度可以通过在零件表面模塑一个小凹坑来提高，这个小凹坑用来作钻孔的起点。带有钻套的钻头夹具经常用于更高精度，而且有些商业夹具装置都安装带有前置的钻头。此外，钻头在孔间移动的时间可以通过使用微处理控制设备能减少到手动操作时间的十分之一。然而，将有螺纹的插件放入到钻出来或是模塑出来的孔内可能会更有成本效益，因为这比攻丝所需的时间要少。此外，这种插件能够提供一种强度更好的金属螺纹。读者可以参考第 8 章“紧固件和嵌件”，其中将对带有螺纹的嵌件与自攻螺钉进行深入的讨论。

18.2.1 攻丝螺纹独一无二的优点

（1）形状自由　攻丝螺纹可以放入到大部分零件里而不需要考虑零件的形状，并且不会出现像许多焊接方法中出现的各种形状限制。攻丝螺纹并没有要求将具体的装配元件放入到模具里边（如果导向孔不在里面模塑成型）。

（2）工艺方法自由　通过任何工艺成型的零件，如果壁厚足够的话，都可以钻孔和攻丝。

（3）精确　通过一些精密机械工具可以获得定位最精确的孔。

18.2.2 攻丝螺纹特有的不足之处

（1）产品生产率　手工钻孔和攻丝比其他大部分装配方法要慢很多。生产率取决于螺纹的螺距、螺钉的长度及一次性可以钻孔及攻丝的孔数。

（2）强度　攻丝螺纹比模塑螺纹或者是通过插件而得到金属螺纹要弱。

（3）应力开裂　无论使用 ISO 螺纹还是 ANSI 螺纹，攻丝螺纹是一种典型的 V 形螺纹，它能够产生应力集中，导致最后应力开裂。

（4）清洁　屑片的产生及润滑剂的使用要求攻丝孔要进行清洁。

（5）材料局限　弹性材料比较难攻丝，如果不是不可能，那就应该攻丝。

（6）壁厚限制　薄壁就不能进行钻孔和攻丝，采用这种技术方法最小的壁厚会随材料不同而不同，较硬的聚合物处理的壁可以薄一些。

18.2.3 在塑料上钻孔

熟悉和金属打交道的有经验工程师在塑料上钻孔时将会发现有一些不同。第一个他们很可能会遇到的问题就是由于摩擦生热造成的熔融及孔的变形。一定程度上

这是因为塑料比金属传热慢所造成的。因此，对塑料钻孔时摩擦产生的热量将会导致钻头温度及相应材料界面温度急剧（动态）上升。塑料拥有的较高的热膨胀性将会进一步增加摩擦并且会加剧这种情形。当将这些变化和低熔点的塑料结合在一起的时候，那么熔融就会发生，并且会导致变形。即使钻出的孔的直径是正确的，最后也会受到影响。钝钻头就可能会因摩擦增加热量。

在塑料上钻孔由于其他原因也可能会发生扭曲变形。对于大部分零件来说，塑料比金属软。因此，孔在压力作用下就容易发生两种方式变形。钻头的压力也可以导致整个结构变形，产生一个扭曲的孔；导致孔壁在载荷作用下压缩。当移走钻头时壁面就会出现弹性回复，因此孔的直径就比钻头钻的孔径要小。

通常，带有木制和金属钻头的标准立式钻床可用于塑料；但是，它们会随机械加工性能不同而要有所变化。聚合物的硬度和刚度越大、润滑性能越好及熔点越高，那么它就越适合钻孔和攻丝。合适的操作步骤、钻头构造及冷却剂的使用都将会降低产生的温度。这些因素将会随塑料的不同而有所变化，并且将在第 5 章“按照材料选择装配方法”里对许多个别的材料作介绍。对于剩余部分，一般就是参数为 12°～18°的钻缘隙角以及一个内角为 60°～90°的点，对于大直径钻头，内角可以高达 120°。对于塑料来说，通过使用专门的钻头就可以获得最好的结果，这类钻头有一个或两个高级抛光、塘磨或镀铬的凹槽，狭窄的刀棱及大螺旋角来减小摩擦生热和快速消除碎屑。应该使用大到足以产生连续碎片，但是不足以导致脆性失效和不连续碎片的倾角。切割边长度上角度不等将会使孔变得太大，而且使用不合适的研磨钻头将会产生一个粗糙的或带有毛边的孔。再次研磨之后热处理不合适钻头将会碎裂。

通常实践是在一个测试件上进行。开始慢，然后增加转速和进给，直到出现污点、粗糙或毛边的孔、熔融或燃烧征兆，此时达到了极限。然后，后退一定的安全量，紧接着继续在当前零件上进行钻孔操作。进给速率应该在 30.5～61.0m/min（100～200ft/min）范围内。进给速率可以根据表 18-1 中的孔径而有所不同。粗进刀也可能会引起钻头碎裂。

钻孔速度随着材料硬度的增加和孔径的减小而增大。操作员必须留心粗糙孔或毛边孔，这可能是钝钻头产生的。除了产品不合格之外，继续使用钝钻头将很可能使得钻头坏掉。钻头上的毛边会使孔径变大。像这类问题可以通过使用加了碳化物的钻头来减少，这类钻头可以在高速情况下使用，并且不需要冷却。为了清理深孔里的碎屑，工具会经常性的移动。

对于塑料钻孔来说，冷冻压缩空气是较理想的冷却剂，因为它除了能进行冷却之外，还能吹走碎片。最重要的是，它不会污染零件，并且不需要用清除水、金属切削液和油。后面两种流体尤其不推荐使用，因为它们可能侵蚀某些聚合物，使其降解。流体也可能会导致零件从夹具、抓具、旋转架上滑落。

18.2.4　在塑料上铰孔

对于一个给定的应用，为了保证所需的精度和最终需求，要求进行铰孔。和钻

表 18-1　热塑性塑料和热固性塑料钻孔

材　料	布氏硬度数	条　件	速度/(ft/min)	进给/(in/r)								高速工具钢材料
				公称孔径 $\frac{1}{16}$in	公称孔径 $\frac{1}{8}$in	公称孔径 $\frac{1}{4}$in	公称孔径 $\frac{1}{2}$in	公称孔径 $\frac{3}{4}$in	公称孔径 1in	公称孔径 $1\frac{1}{2}$in	公称孔径 2in	
热塑性塑料												
聚乙烯 聚丙烯	$31R_R$～$116R_R$	挤出、模塑或浇铸	150～200	0.002	0.003	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030	M10,M7,M1
TFE-氟碳烃 丁酸酯 高抗冲苯乙烯 ABS	$83R_R$～$107R_R$	挤出、模塑或浇铸	150～200	0.002	0.004	0.005	0.006	0.006	0.008	0.008	0.010	M10,M7,M1
改性丙烯酸酯 尼龙 聚甲醛	$79R_M$～$100R_M$	模塑	150～200	0.002	0.003	0.005	0.008	0.010	0.012	0.015	0.015	M10,M7,M1
PC 丙烯酸酯	$80R_M$～$103R_M$	挤出、模塑或浇铸	150～200	0.001	0.002	0.004	0.008	0.010	0.012	0.015	0.015	M10,M7,M1
聚苯乙烯	$70R_M$～$95R_M$	挤出或模塑	150～200	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	M10,M7,M1
热固性塑料												
纸基或棉基	$50R_M$～$125R_M$	浇铸、模塑或填充	200～400	0.002	0.003	0.005	0.006	0.010	0.012	0.015	0.015	M10,M7,M1
玻璃纤维,石墨基和石棉基	$50R_M$～$125R_M$	浇铸、模塑或填充	200～250	0.002	0.003	0.005	0.008	0.010	0.012	0.015	0.015	M10,M7,M1

来源：机械数据手册，第二版，可机械化数据中心，Metcut 研究会，辛辛那提，OH，1972。

孔一样，铰刀要足够锋利以便能切下塑料，且不会出现变形。直凹槽铰刀可以用在通孔上，而在盲孔中就要使用螺旋凹槽钻刀，而且它们可以提供一个光滑切口和较出色的完成品。未做改变的标准的直或凹槽高速钢制铰刀可以使用 45°法向倒角和 5°的斜角。和钻孔一样，冷却会提高最终质量。表 18-2 提供了所选择材料的铰孔条件推荐值。

表 18-2　热塑性塑料和热固性塑料铰孔

材　料	布氏硬度数	条　件	高速工具钢							
			速度/(ft/in)	进给/(in/r)①						钢　材
				铰刀直径 $\frac{1}{8}$in	铰刀直径 $\frac{1}{4}$in	铰刀直径 $\frac{1}{2}$in	铰刀直径 1in	铰刀直径 $1\frac{1}{2}$in	铰刀直径 2in	
热塑性塑料										
聚乙烯										
聚丙烯	$31R_R$～$116R_R$	挤出、模塑或浇铸	250～300	0.006	0.008	0.010	0.010	0.012	0.015	M2、M7、M1
TFE-氟碳烃										
丁酸酯										
尼龙										
聚甲醛	$79R_M$～$100R_M$	模塑	250～300	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.015	M2、M7、M1
PC										
丙烯酸酯	$80R_M$～$103R_M$	挤出、模塑或浇铸	200～300	0.006	0.008	0.010	0.010	0.012	0.015	M2、M7、M1
热固性塑料										
纸基或棉基	$50R_M$～$125R_M$	浇铸、模塑或填充	200～250	0.003	0.003	0.004	0.005	0.005	0.005	M2、M7、M1
玻璃纤维、石墨基和石棉基	$50R_M$～$125R_M$	浇铸、模塑或填充	100～150	0.002	0.002	0.002	0.003	0.005	0.005	M2、M7、M1

材　料	布氏硬度数	条　件	碳　钢							
			速度/(ft/in)	进给/(in/r)①						钢　材
				铰刀直径 $\frac{1}{8}$in	铰刀直径 $\frac{1}{1}$in	铰刀直径 $\frac{1}{2}$in	铰刀直径 1in	铰刀直径 $1\frac{1}{2}$in	铰刀直径 2in	
热塑性塑料										
聚乙烯										
聚丙烯	$31R_R$～$116R_R$	挤出、模塑或浇铸	500～600	0.006	0.008	0.010	0.010	0.012	0.015	C-2
TFE-氟碳烃										
丁酸酯										
尼龙										
聚甲醛	$79R_M$～$100R_M$	模塑	350～450	0.004	0.006	0.008	0.010	0.012	0.015	C-2
PC										
丙烯酸酯	$80R_M$～$103R_M$	挤出、模塑或浇铸	300～400	0.006	0.008	0.010	0.010	0.012	0.015	C-2
热固性塑料										
纸基或棉基	$50R_M$～$125R_M$	浇铸、模塑或填充	250～300	0.003	0.003	0.004	0.005	0.005	0.005	C-2
玻璃纤维、石墨基和石棉基	$50R_M$～$125R_M$	浇铸、模塑或填充	150～200	0.002	0.002	0.002	0.003	0.005	0.005	C-2

① 基于六槽铰刀。

来源：机械数据手册，第二版，可机械化数据中心，Metcut 研究会，辛辛那提，OH，1972。

18.2.5 在塑料上攻丝

产生一样热量、清洗碎屑、工具维修和冷却参数等问题都会出现在塑料钻孔里；切割金属的标准丝锥板牙设计可以用于几乎不显现压缩和回复特性的硬塑料。除此之外，建议使用扩大攻丝。对于尺寸达到 3.2mm，推荐使用双槽式丝锥；对于更大的孔，更倾向于用三槽式而不是四槽式丝锥，因为这样碎屑更容易清除。凹槽应该抛光研磨以减少摩擦及发热。一般都推荐使用碳化螺丝丝锥，尤其是对于填充聚合物及量不太少的生产。一般不推荐使用比 1mm 螺距还细的螺纹或每英寸有 28 个螺纹的螺纹。至于更喜欢用粗螺纹那是因为粗螺纹内材料多，强度更大，而且清埋碎屑更容易。为了避免在孔的入口处产生开裂或碎裂，那么将进行攻丝的孔应该是沉孔或有倒角。

塑料上要进行攻丝的孔的直径应该较大，这样可以防止出现螺纹的剥落或破损。具体的量就取决于孔的大小和塑料的弹性回复特性。但是，一般的规则是孔必须大到能使得螺纹高度约为完整螺纹高度的 70%。

18.3 在塑料上模塑螺纹

18.3.1 模塑螺纹特有的优点

（1）效率　螺纹可以直接模塑在塑料零件上，因此完全省略了钻孔和攻丝操作。

（2）薄壁　螺纹可以直接模塑在那些不能承受钻孔和攻丝压力的壁面上。

（3）材料自由　螺纹可以塑造在那些因太软而不能承受钻孔和攻丝或不能承受和这些技术相关产生的热的材料上。

（4）强度　模塑螺纹比攻丝螺纹强度要大。

18.3.2 模塑螺纹特有的缺点

（1）模具局限　模塑螺纹有着非常严重的模具局限。

（2）模具成本　能塑造整体螺纹的模具的成本比那些使用其他方法在零件上制作螺纹的成本要高。

（3）工艺局限　虽然某些版本在传递模塑和压模中可行，但是制品的脱模或旋出一般除了注射模很难进行。

18.3.3 螺纹设计

模塑螺纹比攻丝螺纹强度要大，因此为了更好地应用整体螺纹，要调整额外的加工成本费用。此外，随着熔融塑料填充模具，一层紧密的“皮”开始在物料的最外层面形成了。它比那些型芯材料更稠密，并且也会形成一个湿气隔阂。模塑螺纹通常比攻丝螺纹的公差范围要小，并且不是由那些难以控制的高收缩的材料组成。

但是，对于模塑成型螺纹的效率仍然有很多限制，而且那些直径较大或长度大于 12.7mm 都应该用攻丝来代替模塑成型。填充材料的模塑成型很可能会在螺纹顶部缺少填充物，这样就会导致在那点强度较弱。

攻丝孔普遍都做成标准螺纹孔的样式，目的是为了能够安装普通螺钉，鉴于大部分模塑螺纹都用于封装之类应用场合，在这类应用场合中，它们必须符合标准瓶口螺纹或比较容易做成传统螺纹形式。这个性质对于整体螺纹非常重要，因为众所周知，塑料对切口非常敏感，并且标准螺纹的 V 形切口能做出完美的切口。因此，当螺丝拧紧时，产生的压力使其比较脆弱。

在螺纹孔放置刚刚所描述对于这类应力的脆弱性在一个薄壁结构例如凸起或瓶盖时就会成为一个特殊的问题。当模塑螺纹不可能没有熔接线时，与这种螺纹产生的高的环应力结合在一起，将会使 V 形螺纹成为一个冒险的形式。即 V 形螺纹比承受更高力的管螺纹情况更糟。当必须使用 V 形螺纹时，它们的根部应该倒圆角以使应力集中最小，而且顶部要变平以避免与相配合零件倒过圆角的根部发生干涉。对于由螺钉在凸起上产生的力的深入讨论，读者可以参考第 8 章“紧固件和嵌件”。不管计算值，每一个应用都应该在一个较长的时间周期内进行全面的测试，而且某些模具修改都必须能预期到。各种螺纹的准确设计可以在机械手册第 24 版（E. Oberg，F. D. Jones，H. L. Horton，H. H. Ryffel 和 R. E. Green 编辑，工业出版有限公司，纽约，NY，1992）中找到。

非常细的螺纹并不适合进行模塑成型。螺距为 0.80mm 或每英寸有 32 个螺纹都应该被视作为最小螺纹尺寸，而且模塑螺纹不应该超过完整螺纹深度的 75%。按照中等自由配合用于互相交换的零件来分类的一个二级配合，在国家标准技术委员会的手册 H-28 里进行了描述（前国家标准手册 H-28 局）。但是可以期望在低收缩材料产品上出现最细螺纹。如果只用于那些能严格控制的少量制品上就可以尝试用半精密的 3 级或中等的配合。尺寸稳定性较差的材料应该用较粗糙的 1 级配合，也就是所描述的用于快速和简易配合的宽松配合。这种材料做成的螺纹应尽量的短，以避免出现超出公差范围的累积效应。

当力太小并且对零件外表面的凹陷不太在意时，一般推荐使用图 18-1（a）所描绘的 V 形螺纹。在这种情况下，图中所画的表示最大塑料区域的圆的直径（D）等于或小于 1.25 的公称壁厚（W），这样就可以阻止在螺纹背面发生凹陷。

图 18-1（b）所示的圆形螺纹是一种强度更高的螺纹。不幸的是，在材料聚集最多的区域所画的圆的直径比较容易超过公称壁厚的 1.25 倍。

图 18-1（c）所示的修改过的锯齿形螺纹形式是一种折中的设计，这种设计力求获得最大的应用力及根据螺纹强度来限制塑料的堆积。因此，通过最厚区域所画圆的直径接近公称壁厚的 1.25 倍。这也适合标准瓶口螺纹形式，正如相同图示所描述那样。用于瓶口螺纹的标准必须要开发一种用于封装的螺纹形式。这些标准可以从以下组织中得到：

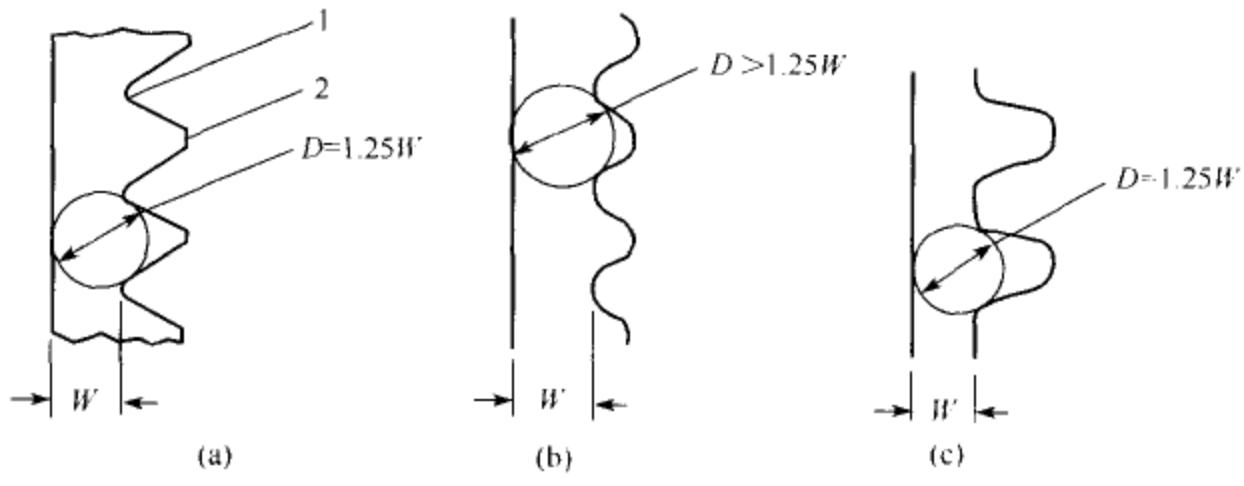


图 18-1　模塑螺纹形式

（a）V 形螺纹；（b）圆螺纹；（c）修整后的偏梯形螺纹

1　根部要倒圆角；2--顶部则要平坦

Glass 包装学院

1627K St. NW，Suite 800

华盛顿特区 20006

电话号码：（202）887-4850

传真号码：（202）785-5377

封装制造商协会只是 Glass 包装学院的一个附属委员会，在同一个位置可以找到。

修改过的锯齿形螺纹设计的起始点尺寸如图 18-2（a）中所示。从这一点开始，对于特定的应用，应该进行调整设计。在图 18-2（b）中，显现螺纹结合到离末端很短的距离。如果允许超出，那么在模具中将会形成一个钢制楔形。这将会断开；只留下一个破坏了的必须要进行修复的螺纹，而且很可能会在较短的时间内再次破裂。因此，螺纹离末端还有 0.75mm 时就应该结束，这样就可以避免这个问题。这种情况同

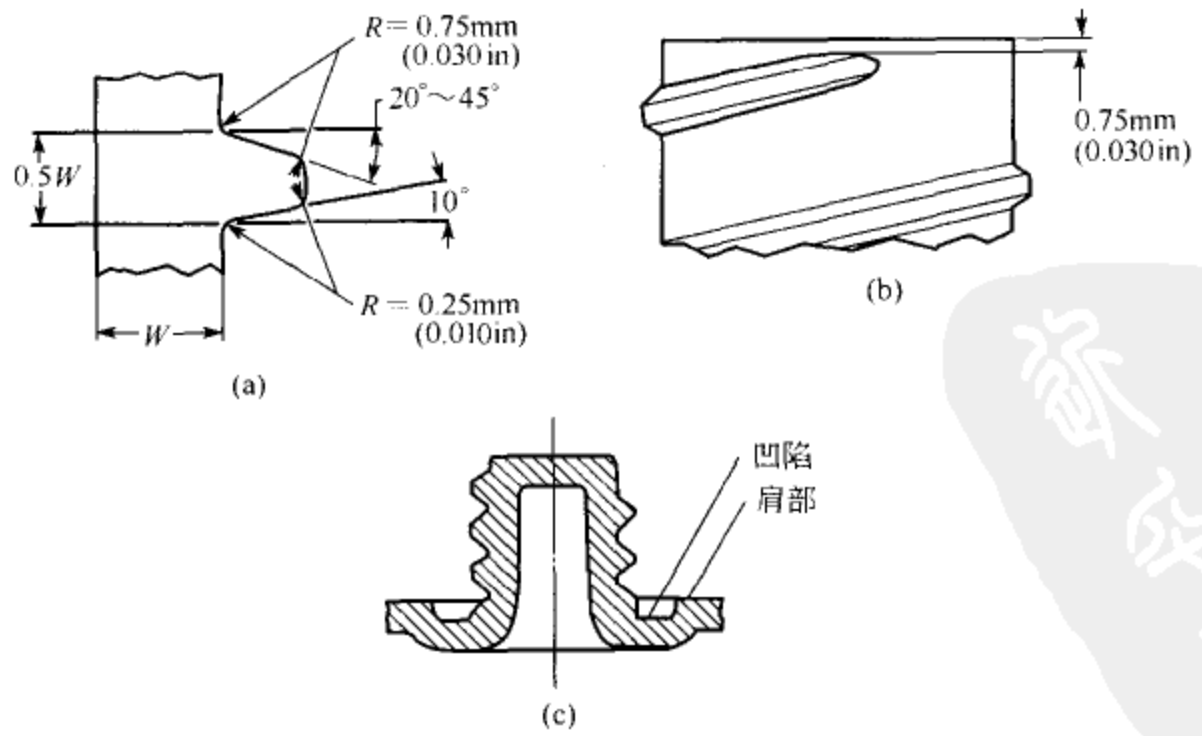


图 18-2　模塑螺纹设计

（a）螺纹形式；（b）螺纹开始；（c）螺纹根部设计

样地出现在螺纹的底部，当螺纹向肩部延伸时。如果必须要将螺纹延伸到肩部，那么将很有必要有一个凹槽让螺纹能离肩部较近地方结束，如图 18-2（c）。

18.3.4　用于模塑螺纹的模具

正如所预料的，模塑螺纹需要专门的工具。内螺纹可以通过三种方式制作出来。当它们还处于热的状态的时候就可以从型芯上脱模；它们可以由型芯来剖分；或者它们可以从型芯上旋下。产量非常少时，零件可以通过手动方式从型芯上旋下，此时型芯已经从模具中取出。使用双型芯，那么就可以将一个零件从一个型芯上取走时另外一个正在成型。

无论用哪一种方法，都要求让内螺纹尽量短。就拿直接脱落式模具来说，螺纹越短，所产生的应变就越少。剖分型芯式模具对于螺纹则有一个空间的限制，而旋下模具必须等到所有螺纹旋出后才能进行下一个循环周期。在某些情况下，使用较长螺距的双头或三头螺纹来减少循环周期。

外螺纹也可以通过一些模具元件来制得，元件也会从模具上取出，但是对于可回收零件除外，在这种情况下，元件很可能是一型腔嵌件。对于外螺纹的概念，也就是作为一个可伸展型腔为大家所知，和用于成型内螺纹的剖分型芯非常相似。但是，外螺纹通常是在一个剖开式型腔内制作的。

18.3.4.1　成型内螺纹的脱模式模具

浅内螺纹或那些用有一定弹性材料做成的螺纹当它们还处于较热或相对较软时就可以从型芯上脱模。在这样做时，零件必须能在型芯螺纹上伸长。螺纹从型芯上脱模的这个能力是由零件所能承受的应变量所决定的。这个应变量根据以下公式确定：

$$\frac{D_M - D_m}{D_m} \times 100\% = S \tag{18-1}$$

式中　D_M——长轴直径；

D_m——短轴直径；

S——应变。

表 18-3 提供了一些通用封装材料的许用应变推荐值。

表 18-3　封装材料的许用应变推荐值

材　料	在 66℃(150°F)时的应变/%	材　料	在 66℃(150°F)时的应变/%
ABS	8	聚乙烯	
聚甲醛	5	低密度	21
丙烯酸酯	4	高密度	6
尼龙	9	聚丙烯	5

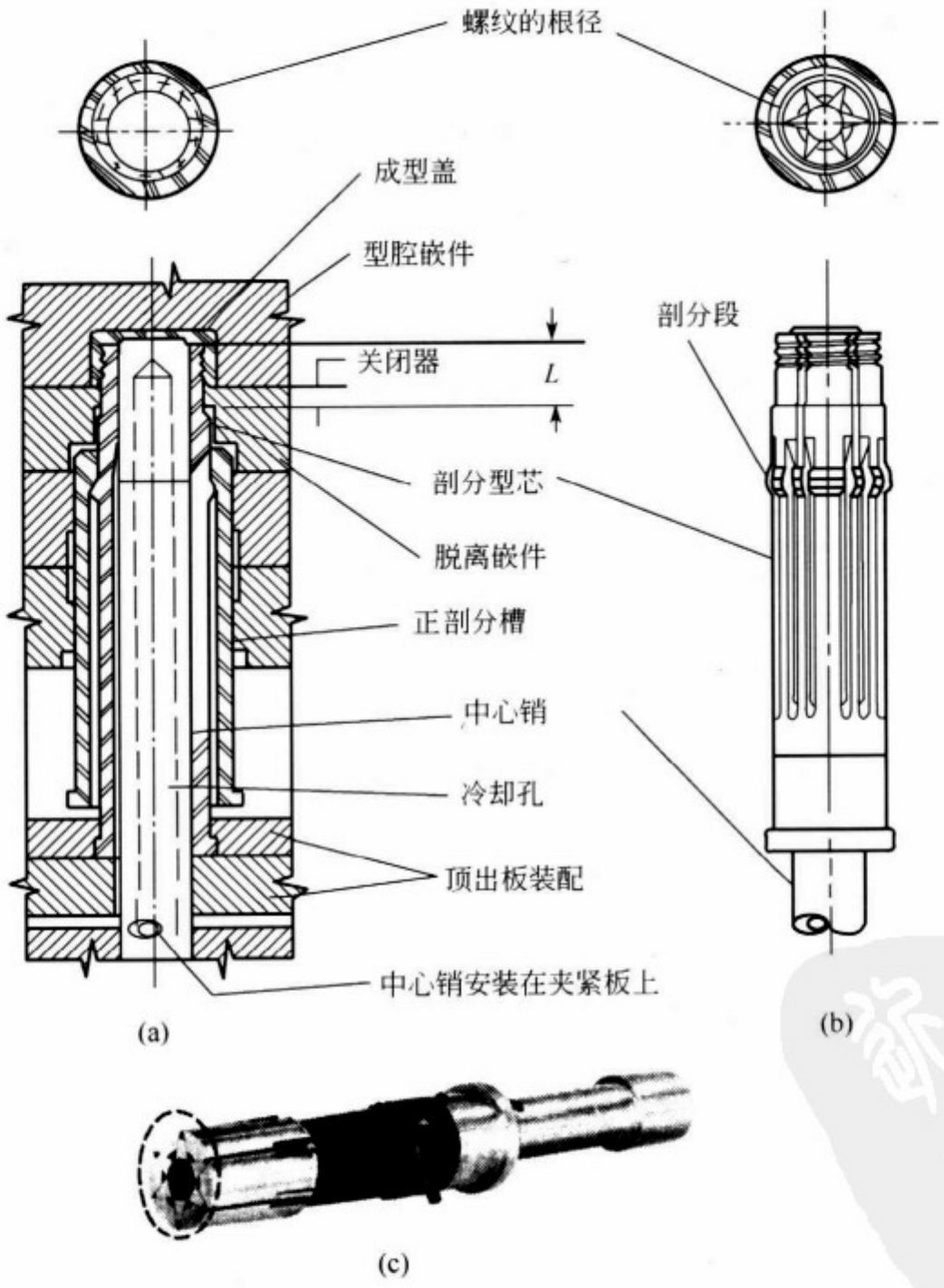
来源：R. D. Beck，塑料产品设计，Van Nostrand reinhold 有限责任公司，纽约，1990。

除了在表 18-3 所列之外的其他材料也可以脱模。例如，有许多专门用于这个目的特殊等级尿素和酚醛树脂。除了能承受应变的能力之外，决定一个零件能否脱模能力的关键因素是它从模具中顶出时的硬度。这取决于零件顶出时那一刻的温

度。目的就是为了允许零件在冷却足够后顶出时不发生永久性变形。相关的数字可以通过一个原型模具实验获得。作为起始点，一般都推荐4%的应变，而且模具应该有一个脱模板，并且要和产品模具冷却相等。一般都建议保持螺纹旋转圈数最小：许多应用场合，螺纹一圈就足够，而且大部分都少于两满圈。零件上的应力可以通过使用间歇式螺纹例如瓶盖的那些螺纹可以得到减小。虽然这种螺纹出现在市场上已经有好几年了，但是建议读者在使用时还是要小心，因为某些样式的间歇式螺纹很可能已受到专利保护。

18.3.4.2 成型内螺纹的剖分型芯式模具

封装件和其他圆形零件的型芯直径在16.4～89mm之间都可以通过剖分式型芯方式制得。在16.4～24.5mm范围内，只有间断式倒陷才可以。图18-3（a）显



(c)

图18-3 剖分型芯式模具

（来源于DME公司）

（a）非剖分的；（b）剖分的；（c）在切出螺纹之前的剖分型芯

示了处于非剖分位置的型芯。它的主要元件是一个实心的中心销和型芯套，在平面视图中所显示的型芯套已切成楔形。这些楔形都是由弹簧钢制成，而且中心销钉强迫它们进入到型芯的直径内。当顶出板向前运动时，型芯套就会从中心销上离开，并且楔形部分则会向内凹陷，如图 18-3（b）所示。这种剖分式型芯套确保了楔形部分能够向内凹陷。当它向前移动时，脱模式嵌件迫使零件离开型芯套。图 18-3（c)显示的提供了一个观察楔形部分的好视角。虽然制造和维修的成本较高，但是在脱落式模具不是很适合时，剖分型芯式模具比旋下式模具在小到中量应用中成本要低。

18.3.4.3　成型外螺纹的可扩展式型腔模具

对于外螺纹，型腔必须分开以便允许零件取出。其中实现的一个方法就是使用一种和加载弹簧剖分型芯模具有相同性质的扩展式型腔。这种概念有两种形式，图 18-4 描述了一种型腔侧即模具“A”侧有推料板的模式。如图 18-4（a）所示，推料板作用在加载弹簧型腔，目的是为了当模具合模时能够保持型腔闭合。当模具打开时，型腔就会弹开允许制品顶出，如图 18-4（b）所示。零件的顶出如图 18-4（c)所示。这种设计允许型腔保持静止，同时也要求推料板在模具的型腔一侧。推料板也可以位于型芯即模具的“B”侧，如图 18-5 所示；但是，这种方法要求型腔向前运动，从而使零件能够顶出。

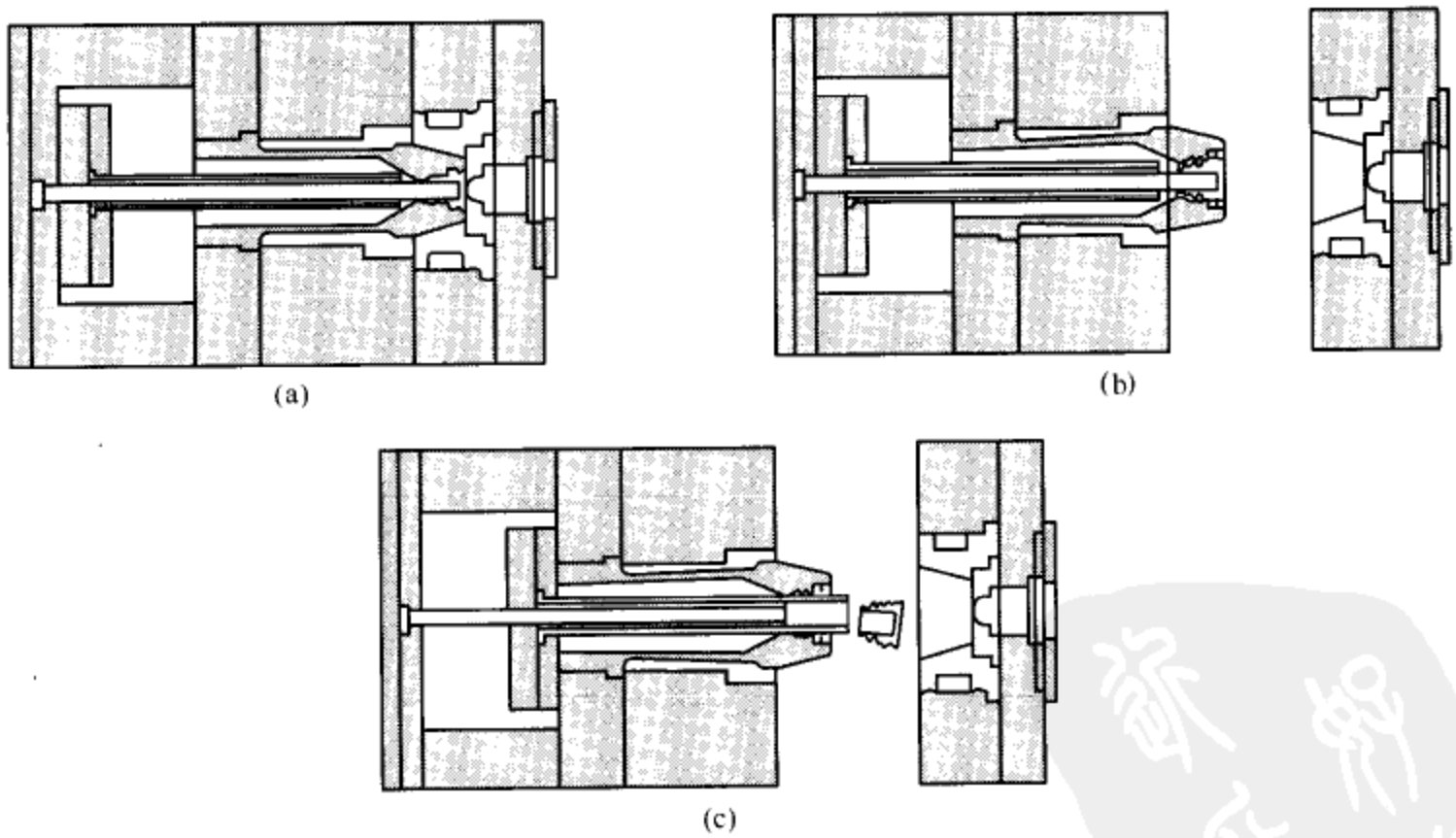


图 18-4　扩展式型芯模具

（来源于 DME 公司）

（a）合模；（b）开模，型腔扩大；（c）顶杆向前运动，零件顶出

18.3.4.4　成型外螺纹的对开式模具

图 18-6 中所示的模具设计成左边用对开式型腔成型带有螺纹的容器。容器上

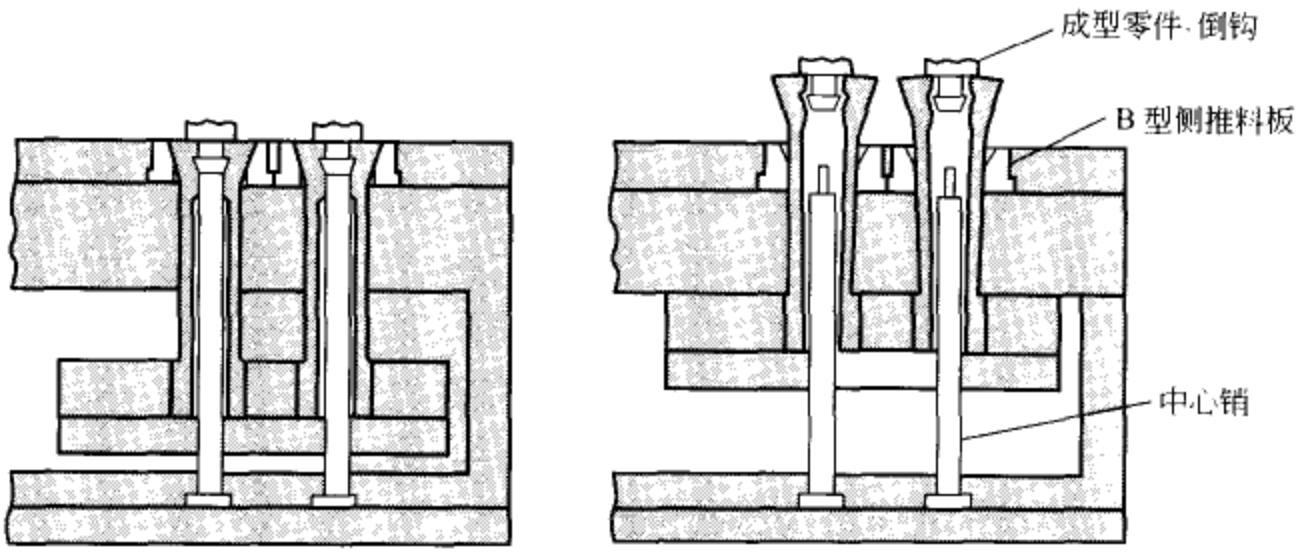


图 18-5　扩展式芯腔模具——“B”边推料板嵌件应用

（来源于 DME 公司）

（a）合模；（b）开模

的外螺纹将会在型腔内锁住并且阻止零件移动；因此零件要取出，型腔必须是对开式。此功能可以通过设置在“A”板上有一定倾角的凸轮来实现。凸轮操纵滑块形成带有螺纹细节的型腔。当在滑块和凸轮有一个相对运动时，滑块将会向外移动。它们必须移动足够距离才能卸下螺纹件。一旦型腔脱离开零件并且有足够的空间，容器就可以通过安装在底部大销钉的作用使它顶出。当模具闭合时，凸轮就会迫使滑块闭合，而且夹具会将它们锁在一个适当地方。型腔一般制造的精度都要求很高，而且必须结实得能够承受充模和锁模力，这一点非常重要。否则在螺纹上将会有溢料，要取出零件可能需要额外的清除操作。

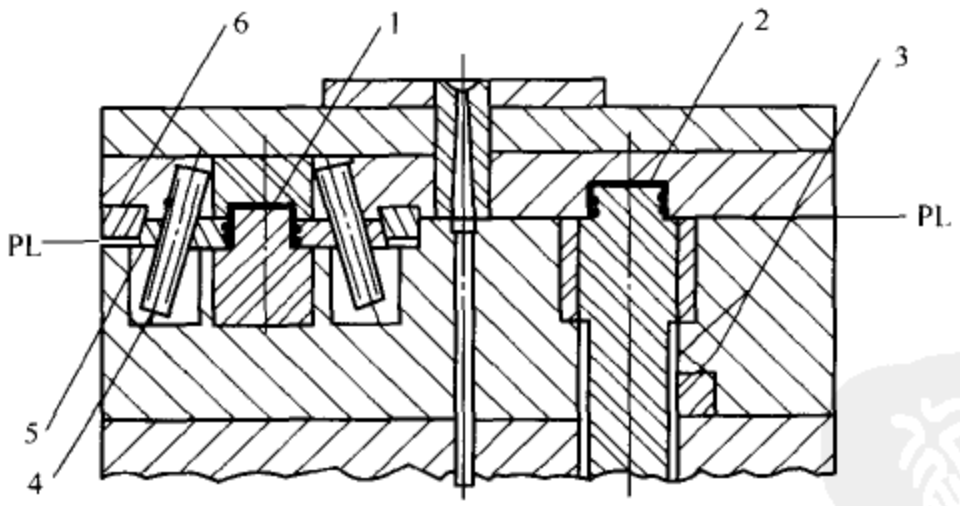


图 18-6　对开式芯腔和非旋下式模具

1—带有外螺纹的容器；2—带有内螺纹的盖；3—齿条和齿轮；

4—凸轮；5—带有螺纹细节的滑块；6—锁紧装置或楔形块

这种机构非常贵，不仅仅是将它们放入到模具中成本高，同时也是因为它们在模具底部占用的空间。这也就转化成了在给定尺寸模具的基座上型腔数量减少，换句话说，就是限制了可以布置在一个给定尺寸的成型机器上型腔的数量。从其他角度看，单位时间操作成本较高的大机器型腔数量相同且模具简单。

18.3.4.5　成型内螺纹的旋下式模具

用于大量应用场合并且制品不能从型芯上脱落的模具就是旋下式模具。图 18-6 中模具右边成型盖的模具就是这种模具。它如传统式模具型腔在“A”板上而型芯在“B”板上。在这种情况下，盖子将会夹在型腔里而型芯则通过两种方法中一种旋下。图 18-6 中右侧所显示的是一种气缸操纵齿条的齿条-齿轮系统，齿轮带动型芯转动。另一种操作旋下式型芯的方法是通过电机驱动齿轮带动型芯旋转。

18.3.4.6　旋下型夹盘式模具

另外一种将零件从模具中旋下的方式就是旋下式夹盘模具。在这种模具里，型芯保持不动，而且带有旋下卡盘的大推板放置到零件上然后将它们旋松。为了维持产品的生产率，这种类型的模具都会有两个型芯轮流进入到成型位置。这样在当一个进行成型的同时，另一个零件就可以从其型芯上移走。虽然初始投资会较大，但是这样的系统具有改善冷却、减少维护、零件受油或油脂污染少及消除旋下式型芯在模具上旋转时型芯受到的磨损等优点。

18.3.4.7　成型螺纹圈数少于一圈制品的模具

无论螺纹是内螺纹还是外螺纹，当它们只有不足一整圈螺纹时就可以使用成本较低的模具。这个可以通过使用关闭器来实现。内螺纹则是从一边型芯和另一边型芯在断面处沿着曲线的地方接合处形成的。螺纹结束的地方就是刚接触的地方，也就会产生所谓的关闭器。螺纹末端间的角度对于一个寿命长的工具来说至少是 8°。只要螺纹末端不发生重叠，就不会产生倒陷。不幸的是，这种方法不适用于瓶盖螺纹，因为型芯必须从两端进入。

对于外螺纹，关闭器位于型腔里。如果适用，就会允许使用没有对开式型腔的简单模具和较贵的机械装置。

18.4　资料来源

18.4.1　部分型芯和型腔

D.M.E. Company, 29111 Stephenson Hwy., Madison Heights, MI 48071, (800) 626-6653, (248) 398-6000, fax (888) 808-4363, www.dme.net

Roehr Tool Corporation, 14 South St., Hudson, MA 01749, (877) 563-1912, (978) 562-4488, fax (978) 562-3660, www.roehrtool.com

18.4.2　旋下式卡盘

Husky Injection Molding Systems Ltd., 500 Queen St. S., Bolton, Ontario, Canada L7E 5S5, (905) 951-5000, fax (905) 951-5384, www.husky.ca

第 19 章　超声波焊接

19.1　超声波焊接的优点和缺点

19.1.1　优点

超声波焊接是热塑性塑料的焊接方法之一，优缺点共存。事实上，热塑性塑料的焊接方法有多种。确定焊接方法时主要考虑的因素是焊接件的几何形状、节点载荷、尺寸、成型成本和装配成本。

然而，除了带有能量导向部分的两个塑件的焊接，超声波技术有很多方面的应用。它们可以用于点焊、铆接焊接、织物和薄膜封合和塑插焊接。第 8 章“紧固件和嵌件”中讲到了超声波在金属零件的镶嵌方面的应用，第 17 章“立锻/模锻/锤锻/冷锻/冷成型”中讨论了锻接焊接和模锻等。超声波用于金属的切割和焊接，不在本书讨论范围之内。超声波焊接的优点如下。

（1）没有附加材料　超声波焊接不需使用附加的材料，如紧固件、嵌件、电磁性预成型料、胶黏剂或溶剂。因此，这种方法比有上面要求的其他方法费用低，拆卸后重新焊接也比较便宜。

（2）装配容易　超声波焊接只要求在超声波焊机的夹具上对准两个零件，因此非常适合于自动装配。

（3）嵌入其他元件　在两个使用超声波焊接的零件之间可以嵌入其他的零件。但是，一定要谨慎，避免脆性零件被超声波振动损坏。

（4）永久性焊接　超声波焊接能实现永久装配，如果不损坏零件就不用重新打开。由于连接是通过焊接完成，在焊缝区不存在蠕变效应、冷流、应力松弛和其他的环境限制。焊接完成后，就不必考虑由于材料性能引起的热膨胀差异和吸湿（除尼龙外）问题。在理想状态下，焊缝强度可达到焊缝周围的强度。

（5）内部接头　对于尺寸小、表面平的零件，内筋可以采用超声波焊接。

（6）零件轮廓自由　不像旋转焊接和振动焊接，实际上，只要焊接面能被制成所要求的尺寸和形状限制范围内，超声波焊接技术就可以处理任意表面轮廓的零件。并且超声波焊接可以填堵孔洞。

（7）密封焊接　超声波焊接能够产生密封焊接。

（8）能耗低　跟其他的焊接方法相比，超声波焊接的能量功效是相当高的。这也就意味着焊接没有产生过多的热量，当使用其他的方法时必须把余热从工件上排除掉。

（9）净化空气　不像胶黏剂和溶剂焊接系统，不需要通风设备除去有毒气体

(除了 PVC)。

(10) 即时处理(速度快)　焊接完的零件能够立刻进入其他的操作，而不需要像胶黏剂或溶剂那样需要冷却固化。这个优点使超声波焊接适用于自动化生产线。

(11) 生产效率高　因为实际的焊接时间很少超过 1s，所以生产率可达到 20～60 个零件/min。

19.1.2　缺点

超声波焊接有以下缺点。

(1) 形状限制　两个零件间的连接面必须是平的或接近平的，并且接头表面非常靠近，有一个固定距离，使焊头容易接近。

(2) 工艺限制　注塑是制成超声波焊接需要的接头形式的主要方法，尽管压力热成型也能产生能量导向结构。需要精密的控制方法来产生必要的公差和平整度。一些挤出、滚塑成型、热成型的零件和那些由片状织物构成的塑件也可以用超声波焊接，通常大多数用点焊，不需要能量导向结构。纤维和薄膜用特殊的焊头和设备。

(3) 对电子元件有危害　超声振动能损坏一些电子元件或它们的装配，使用振幅较低的高频设备可以解决这个问题。

(4) 尺寸限制　最大的超声波焊机可以在 0.23m×0.3m (9in×12in) 的范围内施焊。然而，在纂写本书时那种型号的机器应用并不广泛，大多数应用小型设备。通常，焊接大型零件时使用多级超声波焊机。

(5) 一致性　超声波焊接从 20 世纪 60 年代中期就有记载。纵观历史，由于功率变化、表面不规则、材料差异和多模腔零件尺寸的变化，致使焊接件一直存在一致性问题。然而，微处理机控制设备的出现和在超声接头设计上的改进已经大大克服了这些问题。

(6) 材料限制　超声波焊接的材料受到相容性热塑性塑料的限制。这是一个需要很好解决的棘手问题。19.4 节将涉及到这个题目，可供读者参考。

(7) 噪声　超声波焊机通常发出尖尖的、高强度的、像汽笛一样的声音能扰乱操作者，所以操作者需要听力保护。可以利用声音屏蔽，高频设备操作声音较低。

(8) 设备费用　最简单形式的超声焊机价格并不是十分昂贵。但是，随着微处理控制器等的增加，焊机价格迅速增加。如果需要多级焊机，将会使投资十分可观。

19.2　常规应用

由于费用减少和新的成型技术的出现，超声波焊接已有越来越广泛的应用。因为超声波焊接速度快，效率高，没有环境污染，所以很多公司把它作为焊接方法的最佳选择。总之，对于尺寸适中和相容性材料的相对平滑的零件，超声波焊接是一种快速的、清洁的、永久性连接热塑性塑料零件的方法。

设计者和工程师已经开拓了超声波焊接技术的广泛应用领域。除两个零件的直

接焊接之外，超声波技术应用于锻接焊接和模锻焊接（见第 17 章“立锻/模锻/锤锻/冷锻/冷成型”）、螺纹嵌件的安装（见第 8 章“紧固件和嵌件”）、点焊、织物和薄膜的焊接。医疗行业使用超声波组装小型设备来进行药品包装并且传到人体。自动化行业使用超声波焊接汽车探照灯装置、仪表板、空气管道、车内装潢、车身部件、小型发动机元件。很多玩具、器具、电子行业的中小型元件都是通过这种方式组装。化妆品和食品行业运用超声波焊接开创了大范围的包装应用。

19.3 超声波焊接的原理

所有的振动都会产生声音，然而并不是所有的声音都听得见。超声波照字面上讲就是“超过声音”，它是一个用于解释机械振动频率所处范围的术语，这个范围已经超出了可听频谱，是听不到的。人类听力的近似界限约为 18000Hz，高于这个频率，人就无法听到。

在超声波焊接中，通过焊头在零件的接触表面引起分子和界面摩擦而产生振动。聚合物开始局部地软化，当阻尼因子增加时，自身反应加速，使得大部分振动能转化成热能。这样使塑料零件的温度升高到熔点。在振动停止之后，保压到产生分子键连接，焊缝充分冷却。

从原理上看，振动源离焊缝越近，接近焊缝的零件吸收的振动损失越少。当焊头被放在距离焊缝 6.25mm(0.25in)以内时，这种方法叫做近距离焊接。即使是薄壁和结晶或低硬度聚合物，使用近距离焊接也能获得极好的效果。近距离焊接如图 19-1(a)所示。

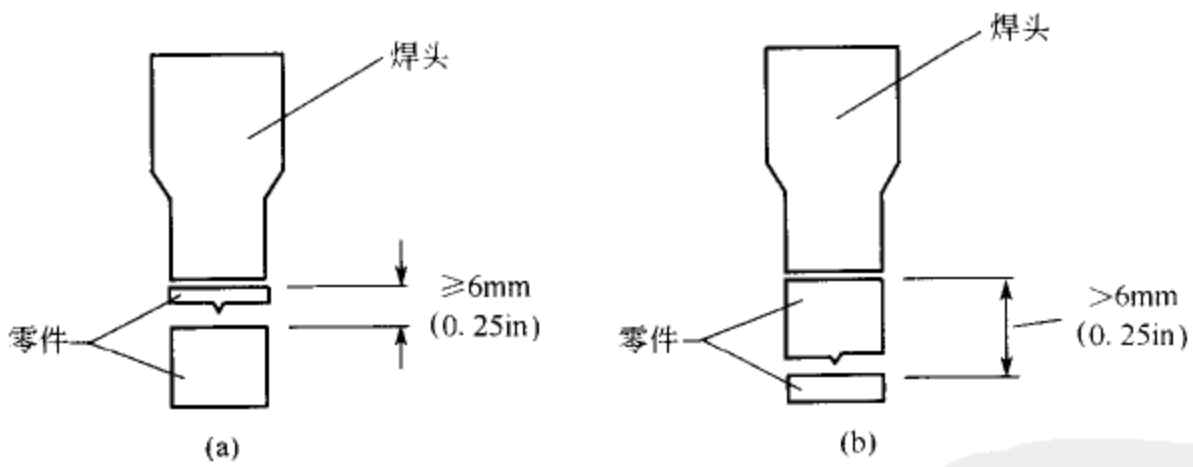


图 19-1 （a）近距离焊接；（b）远距离焊接

远距离焊接［图 19-1 （b）］用于较远距离，要求是无定形或高硬度的厚度较大的热塑性塑料零件。在最佳条件下，目前已经成功地实现了焊头距离焊接面远达 250mm （10in） 的远距离焊接。然而，远距离焊接需要的焊接时间长，比正常的振幅高，而且需要较高的焊接力才能达到与近距离焊接获得的相同质量。

19.4 超声波焊接材料

树脂是决定超声波焊接能量水平的一个关键因素。材料越硬，超声波振动从焊

头到焊接面的传递越成功。硬质无定形热塑性塑料具有无规则分子结构，能够有效地传递超声波振动，并且有微弱减小。因为树脂没有固定的熔点，所以它们还具有涉及范围很广的软化温度。当温度升高的时候，树脂逐渐软化，通过玻璃化温度由固态转化成黏流态，最后形成熔融态。反过来，冷却遵循相同的转变模式，这样材料容易流动也不会提前固化。无定形聚合物模塑后收缩水平非常低，允许在成型后立刻焊接，不会因为收缩引起应力。应该注意无定形聚合物的刚性越小，焊接所需要的振幅和能量就越大。某种意义上来说，聚合物太软就会严重阻碍超声波振动，使焊接不能进行。这种状况也是由密度减小伴随着材料发泡引起的，如结构发泡塑料。

结晶型热塑性塑料具有有序分子结构，在固态时吸收机械能。这使得振动从焊头向焊接面传递时大大地减弱。因此，从根本上说，如果远距离焊接能进行，也是很难实现的。从焊头到焊接面距离过远就会导致焊头处的塑料熔融，影响外观。结晶热塑性塑料还具有很高的熔化热和固定的熔点，并且要求在塑料熔融之前有非常高的热能来降解晶体结构。这样，聚合物在达到熔融温度之前都能保持刚性。然后立刻变成熔融态。最终结果是需要非常高的能量分解结晶结构，使聚合物熔融流动。因此，焊接这样的塑料，尤其是需要密封焊时，通常需要高的振幅和剪切焊口的设计。因为分子结晶速度非常迅速，所以冷却也是瞬间进行的。结晶热塑性塑料模塑后收缩非常严重，如果在模塑后 24h 焊接，在焊接面上会引起应力。无定形和结晶热塑性塑料的熔融特性差异如图 19-2 描述。

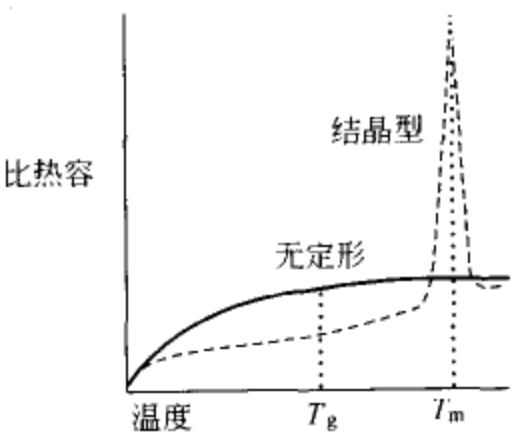


图 19-2　比热容-温度曲线图
（插图由 Branson 超声波公司，Danbury，CT 提供）

理想状态下，两种零件应该由相同的聚合物组成，这样可以确保焊缝两侧在相同的温度下熔化。有些情况下，要求两种零件材料不同。通常，假如不同的材料彼此的玻璃化温度差在 22℃（40°F）以内，而且它们的分子结构相似，这样是可以焊接的（如果温度差比这个大，熔融温度低的材料就会变得太软而不能在它完全软化之前和其他的聚合物产生摩擦热）。有几种组合的例子能够满足这个标准，聚碳酸酯和丙烯酸酯，聚苯乙烯和改性聚苯醚，然而两种材料最好在化学上是相容的。PE 和 PP 满足温度要求，但是它们在化学上不相容，所以不能焊在一起。共混物和合金拥有共同的组分，通常可以焊到一起。例如 ABS 和丙烯酸酯或聚苯乙烯可以焊接。

表 19-1 中描述了用于超声波焊接的各种热塑性塑料的相容性。黑色方块代表具有相容性。在大多数情况下，这些材料本身是完全相容的，然而树脂间的等级差别足以影响焊接性。通常要求，两种树脂的分子量相同，并且它们的熔融温度差在 22℃（40°F）以内。表 19-1 中空心圆代表部分相容，也就是说，并不是所有等级的树脂和混合物都是相容的。

表 19-1　热塑性塑料的相容性①

热塑性塑料	无定形树脂	ABS	ABS/聚碳酸酯合金(赛柯路800)	丙烯酸类聚合物	丙烯酸类多元聚合物	丁二烯-苯乙烯	树脂基亚苯氧化物(诺里尔)	聚酰胺-酰亚胺(托朗)	聚芳酯	聚碳酸酯	聚醚酰亚胺	聚醚砜	聚苯乙烯(通用级)	聚苯乙烯(橡胶改性)	聚砜	PVC(硬质)	SAN-NAS-ASA	半结晶树脂	聚甲醛	纤维素塑料(CA,CAB,CAP)	氟聚合物	离子键聚合物	液晶聚合物	尼龙	聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)	聚醚醚酮(PEEK)	聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	聚乙烯	聚甲基戊烯	聚苯硫醚(PPS)	聚丙烯
无定形树脂																															
ABS		■	■	■	○											○	○														
ABS/聚碳酸酯合金(赛柯路800)		■	■	○						■																					
丙烯酸类聚合物		■	○	■	○		○			○							○														
丙烯酸类多元聚合物		○		○	■								○				○														
丁二烯-苯乙烯						■							○																		
树脂基亚苯氧化物(诺里尔)				○			■			○			■				○														
聚酰胺-酰亚胺(托朗)								■																							
聚芳酯									■																						
聚碳酸酯			■	○			○			■	○				○																
聚醚酰亚胺										○	■																				
聚醚砜												■																			
聚苯乙烯(通用级)					○	○	■						■				○														
聚苯乙烯(橡胶改性)														■																	
聚砜										○					■																
PVC(硬质)		○														■															
SAN-NAS-ASA		○		○	○		○						○				■														
半结晶树脂																															
聚甲醛																			■												
纤维素塑料(CA,CAB,CAP)																				■											
氟聚合物																					■										
离子键聚合物																						■									
液晶聚合物																							■								
尼龙																								■							
聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)																									■						
聚醚醚酮(PEEK)																										■					
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)																											■				
聚乙烯																												■			
聚甲基戊烯																													■		
聚苯硫醚(PPS)																														■	
聚丙烯																															■

① 实心正方形，具有相容性，空心圆，在某些情况下具有相容性（通常是共混物）。

资料来源：Branson 超声波公司，Danbury，CT。

有些塑料是吸湿性的。因为水在温度达到 100℃（212°F）时沸腾，并且在焊接面以发泡或空隙的形式引起焊缝的多孔性，所以湿气的存在使得更难实现良好的超声波焊接。这削弱了焊缝的强度，引起降解，表面起霜使得零件很难实现密封。像这些吸湿性塑料，如果没有储存在装有干燥剂的密封的 PE 袋中，就应该在焊接前将其烘干，或者是在成型后立刻焊接。主要的吸湿性塑料有：尼龙、聚砜、聚碳酸酯、聚酯和包含这些聚合物的合金。

各种树脂用超声波焊接的能力随着超声波焊接的类型变化，是近距离焊接还是

远距离焊接，如表 19-2 所示。表格中的代码表示普通的热塑性塑料焊接的相对容易程度。除了材料因素以外，焊缝的设计、零件的几何尺寸、能量要求、振幅和导

表 19-2　树脂的焊接型

材　　料	焊接工况		模锻和立锻	嵌入	点焊	振动焊接
	近距离①	远距离②				
无定形树脂						
ABS	E	G	E	E	E	E
ABS/聚碳酸酯合金	E-G	G	G	E-G	G	E
丙烯酸类聚合物③	G	G-F	F	G	G	E
丙烯酸类多元聚合物	G	F	G	G	G	E
丁二烯-苯乙烯	G	F	G	G	G	G
树脂基亚苯氧化物	G	G	G-E	E	G	E-F
聚酰胺-酰亚胺	G	F				G
聚芳酯	G	F				
聚碳酸酯④	G	G	G-F	G	G	E
聚醚酰亚胺	G	F				
聚醚砜	G	F				
聚苯乙烯(通用级)	E	E	F	G-E	F	E
聚苯乙烯(橡胶改性)	G	G-F	E	E	E	E
聚砜④	G	F	G-F	G	F	F
PVC(硬质)	F-P	P	G	E	G-F	G
SAN-NAS-ASA	E	E	F	G	G-F	E
Xenoy(PBT/聚碳酸酯合金)	G	F	F	G	G	E
半结晶树脂⑤						
聚甲醛	G	F	G-F	G	F	F
纤维素塑料	F-P	P	G	E	F-P	E
氟聚合物	P					
离子键聚合物	F	P				
液晶聚合物	F	P	G-F			
尼龙④	G	F	G-F	G	F	E
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	G-F	P				
聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)		P				
聚醚醚酮(PEEK)	F	P				G
聚乙烯	F-P	P	G-F	G	G	G-F
聚甲基戊烯	F	F-P	G-F	E	G	E
聚苯硫醚	G	F	P	G	F	G
聚丙烯	F	P	E	G	E	E

① 近距离焊接是指从焊头接触面到焊缝的距离小于或等于 6.35mm (0.25in)。

② 远距离焊接是指焊头接触面到焊缝的距离大于 6.35mm (0.25in)。

③ 由于分子量较大，就更难焊接。

④ 湿气将会抑制焊接。

⑤ 由于半结晶型树脂结构，能量等级较高，其熔融温度和熔化热较高，所以通常要求振幅较高。

注：E 最好，G 好，F 一般，P 差。

来源：Branson 超声波公司，Danbury，CT。

向结构部分也对焊接容易程度起着作用。这些评定等级由设备制造商公布，不影响所能达到的强度。Branson 超声波公司指出，因为树脂的差异或许引起与表中所示的结果有略微的不同，表中的评定等级仅供参考。

19.4.1 添加剂和污染物

19.4.1.1 着色剂

着色剂即染料或颜料。除了白色和黑色着色剂以外，对超声波焊接性影响很小。主要的白色颜料二氧化钛是无机的化学惰性颜料。然而添加比例超过 5%，可以作为润滑剂而抑制焊接性。炭黑通常用作黑色着色剂，也会抑制焊接能力。为预防起见，应该对颜料样品进行试验来确定其影响。应该注意到在很多应用方面，有机颜料正取代金属基底颜料。

19.4.1.2 填充剂、增量剂和纤维增强材料

像玻璃纤维、滑石粉、碳酸钙、高岭土、木、钛、铝和碳纤维这些填充剂和增量剂的存在会对焊接性起反作用。通过添加 10%～20%的玻璃纤维使结晶型热塑性塑料变硬而更有效的传递机械能，这样就可以大大地提高它们的焊接性。然而，用一定比例的填充剂作为聚合物的替代材料时，焊接将不能进行。当填充剂含量达到 30%～40%的时候，因为在焊接面没有足够的聚合物，能量导向部分只是仅仅把自己嵌入到配合零件，所以填充剂将会严重抑制焊接性，其结果是不能保证焊缝的强度。尽管填充剂含量低一些时也能使零件出现焊痕，但还是有充足的理由要求降低填充剂的含量。

焊接面处的填充剂的百分含量非常重要，此处填充剂的百分含量会比整个零件所含填充剂的百分含量高。因为像长玻璃纤维一样的填充剂在模具填充的时候会集中在浇口区，然后被吹扫到空腔内，引起焊接面处的玻璃纤维浓缩。这叫做聚集或填充剂的浓缩作用。焊缝区的填充剂分布不均匀就会导致焊缝不匀称。用短玻璃纤维增强材料替换、重新定位浇口、改变成型条件、减少填充剂的含量就能够解决这个问题。

填充剂含量达到 10%对无定形热塑性塑料的焊接性几乎没有影响，用正常的方式就可以焊接。因为玻璃纤维和矿质填料用作磨料，增加焊头表面的磨损速率，而且会损坏导向部分，所以填充剂含量超过 10%就会增加费用。含量超过 20%，这种影响就会更显著。含填充剂的聚合物需要使用特殊的工具，像成型钢或碳化物覆盖的钛焊头和功率较高的设备。

19.4.1.3 阻燃剂

如果把无机氧化物或卤化有机元素，如铝、锑、硼、氯、溴、硫、氮和磷添加到树脂中，就会改变树脂的燃烧特性或抑制着火。阻燃剂的数量范围可以在很小百分比到 50%之间改变。和填充剂一样，如果使用的阻燃剂含量高，就会减少可用于焊接的树脂的数量。这会降低焊缝的强度，而且需要功率较高的设备在比正常振幅高的情况下操作，才能达到足够的强度。

19.4.1.4　发泡剂

发泡零件就在零件表层下具有微孔结构，随着泡孔逐渐增大，逐渐移向壁厚的中心。这些小孔扰乱了机械振动的传递，减少了焊接面可以利用的能量。这种影响取决于发泡剂的密度。零件密度降低得越多，零件的超声波焊接越困难。而且在焊缝区残留的没有反应的任何化学发泡剂都会引起发泡反应。

19.4.1.5　冲击改性剂

典型的橡胶冲击性改性剂也会降低树脂传递机械振动的能力。这样材料使用远距离焊接的可能性降低，而且需要增加振幅才可以使用远距离焊接。除此之外，由于使用大量的冲击性改性剂，在焊接面处焊接可利用的树脂的数量将减少。

19.4.1.6　润滑剂

因为润滑剂可以减小两种材料的摩擦系数，使其很难产生热量，所以使用润滑剂会影响塑料零件的焊接性。一定要避免使用能够增加流动性的添加剂，如石蜡、硬脂酸锌、硬脂酸铝、硬脂酸和脂肪酸。

19.4.1.7　脱模剂

和润滑剂一样，硅氧烷、氟碳、硬脂酸锌、硬脂酸铝也会影响焊接性。除此之外，脱模剂对树脂形成化学污染，抑制形成正确的化学键。在不使用脱模剂的情况下，确保零件从模芯脱掉的最好方法是采用 2°或更大的脱模锥角。如果不能采用锥角，必须使用脱模剂时，要保守使用，并且要限制零件的涂漆和印刷等级，这些最终都会妨碍超声波焊接，有时候也可以在装配前对零件进行非溶剂净化，使用脱模剂（见第 7 章，对于特殊溶剂的推荐标准“添加剂和连接溶剂”）。有些脱模剂会迁移，这和零件在注塑机上成型时无限制地使用脱模剂有关，这成为这一污染的来源。对于大多数焊接技术，清洁都会成为问题，为了避免对超声波焊接件进行清洁操作工序，必须保持超声波零件不受油脂的污染。

19.4.1.8　涂层零件

焊接有涂层的零件时对颜色的均匀度要有要求。用有涂层的 PC/ABS 和 PP 样品零件和没有涂层的相同材料的样品零件作焊接实验得到如上结论，用无定形和结晶热塑性塑料同样可以得到。而焊缝强度减小与涂层零件的超声波焊接有关。

19.4.1.9　增塑剂

增塑剂主要是在乙烯基树脂中使用，是使树脂变得更柔韧的添加剂，它会降低树脂传递机械振动的效率。效率降低就要求使用较高的振幅，这样使远距离焊接变困难了。目前已经批准在和人体内传输的物质有关的产品中使用 FDA 这种食品添加剂，人体内的物质不含金属，所以用不含金属添加剂比用含金属增塑剂（软化剂）要好。

19.4.1.10　回用料

回用料的使用影响塑料的物理性能，因此它对焊接特性有负面的影响，导致焊

缝不匀称。污染指数高的回用料不能降解，这对大多数应用是无关紧要的。对于特定的应用，因为使用回用料与那些用100%纯塑料所得到的结果不同，在投入使用前一定要对含有额定数量的回用料的样品进行测试。在某些情况下，不可以使用回用料。

19.5 超声波零件的设计

19.5.1 超声波焊接总体考虑

从总体观点出发，据说焊接的基本设计参数已经清楚地表明超声波焊接是焊接方法的最佳选择。那么有必要进一步说明这些要求，以便开拓零件设计的详细情况。

19.5.1.1 强度要求

首先，必须确立焊接强度多大。在很多聚合物中，恰当执行超声波焊接，能使焊缝强度几乎达到焊缝周围的强度。这种方法关键要考虑的是：是否要求密封。一旦确立了要求的强度和密封性，就可以选择材料和壁厚了。

19.5.1.2 外观要求

另一个主要的问题是焊缝的外观要求。一个零件需要固定，在另一个零件上要求适当放置焊头，这对零件的外形有显著的影响。如果需要一个极其吸引人的外观的话，那么就应该极其关心焊瘤问题。这些问题会在很大程度上决定接头的设计。

为了可以焊接，必须有足够的振动传递到焊接面才能引起摩擦使塑料熔化。在大多数可能的高效率焊接方法中，我们都希望能做到这一点。

19.5.1.3 刚度要求

刚性零件比那些刚性差的零件传递机械振动效率高。因此零件必须足够硬才能传递振动。零件的厚度取决于材料的组成和焊头与焊接面之间的距离。然而，不仅要关注振动零件，因为只是传递振动通常不会引起焊接，所以为了能够焊接，静止零件要尽可能的静止。可以用定位器对零件进行加固，在焊接过程中零件静止。因此，在设计焊接面时，应该考虑以下几个方面。

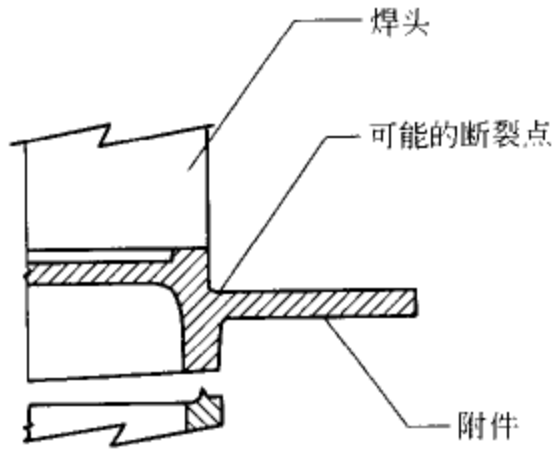


图 19-3 超声波焊接附件的设计

(1) 附件部分 焊接时会损坏从零件的一侧超出接头凸出来的附件，如耳柄、齿形或其他的附件部分，如图 19-3 所示。补强方法包括：增加附件根部的圆角半径来减小应力集中、改变成型条件、增加壁厚、缩短焊接时间、减小振幅、用外部夹具阻挡振动和使用高频焊机。

(2) 弯曲部分 当振动从焊头向焊接面传递的过程中，零件会发生弯曲，如图 19-4 (a) 中描述，发生阻尼效应，导致在弯曲处以下的焊缝强

度减弱。结晶聚合物比无定形聚合物受到的这种影响要大。

（3）孔或缝　因为超声波振动到达孔处会停止，所以振动零件中存在缝隙就会扰乱超声波振动从焊头到焊接面的传递通道，如图 19-4（b）所示。如果孔非常小并且材料是无定形聚合物，振动足以使孔的下面形成连续的焊缝。那就是接头强度最弱的地方，很难实现密封。对于结晶聚合物或孔较大，孔以下就不能焊接。我们知道劣质焊缝线都有相同的影响，并且存在焊缝线的地方强度最弱。

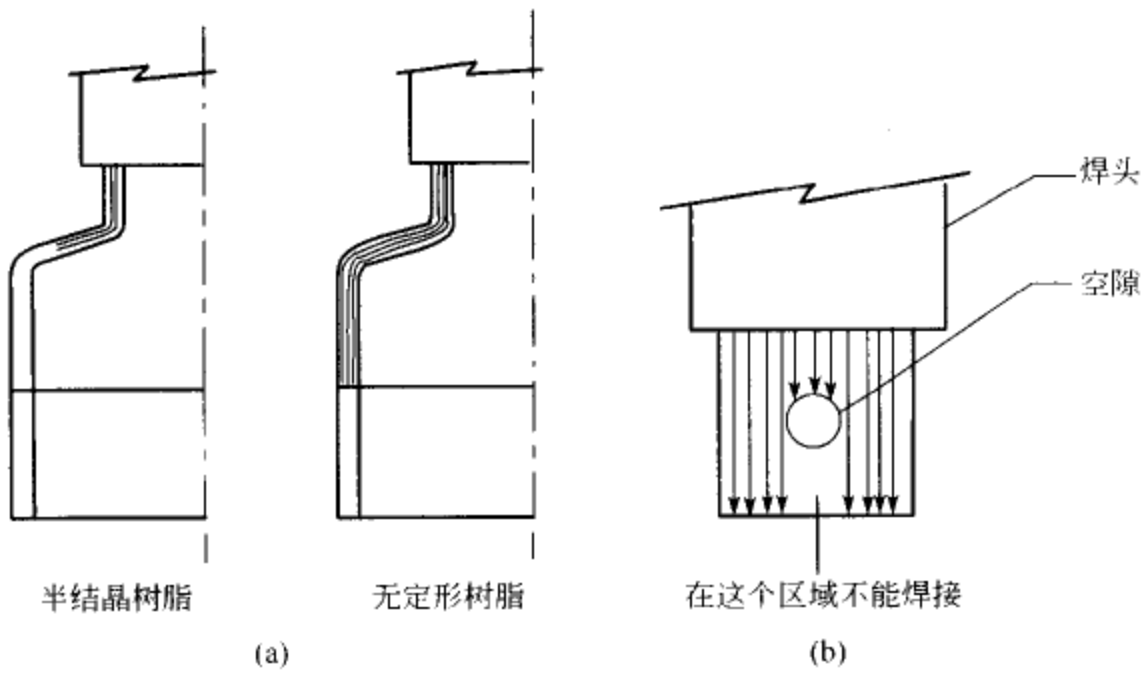


图 19-4　超声波零件设计（由 Branson 超声波公司，Danbury，CT 提供）
（a）弯曲的影响；（b）空隙的影响

（4）隔膜　图 19-5 描述了隔膜的影响，有时候是指“铸板凹陷”，当焊头接触扁平、环形零件的薄壁部分时，就会发生铸板凹陷。铸板凹陷会引起焊透。设计补强方法是使用内支撑肋或在浇口区处增加断面的厚度。有时重新布置浇口也是一种补强方法。补强方法包括增加或减小振幅（通常减小振幅），缩短焊接时间，或在焊头上加一节冲头。最后，改用高频设备也是一种解决方法。

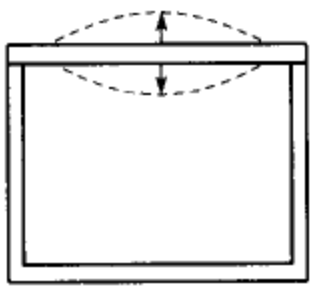


图 19-5　超声波焊件设计——隔膜设计（膜片设计）（由 Branson 超声波公司，Danbury，CT 提供）

（5）焊头位置　焊头到焊接面之间的距离决定了在焊接过程中振动能的损失。而且，应该把零件设计成能使焊头直接接近距离焊接面，如图 19-6 所示。这样有助于防止在传递机械振动时，零件产生印痕，而且有可能会需要把焊头倒悬在零件上。焊头和零件的接触面积必须比总的焊缝面积大，这样也可以防止表面出现印痕。图 19-6（a）表明零件上的突缘可以提供一个良好的偶联面。图 19-6（b）说明了如何把法兰加在能量导向接头上，使焊头可以直接放在焊接面上。

（6）内部尖角　在尖角处会产生应力集中，超声波机械振动传递到尖角处就会引起断裂或熔融（这个题目在第 2 章“高效装配设计”有详细讨论）。如果设计时排除不了尖角的使用，就需要减小振幅，使用高频设备或者寻找其他的阻尼振动方

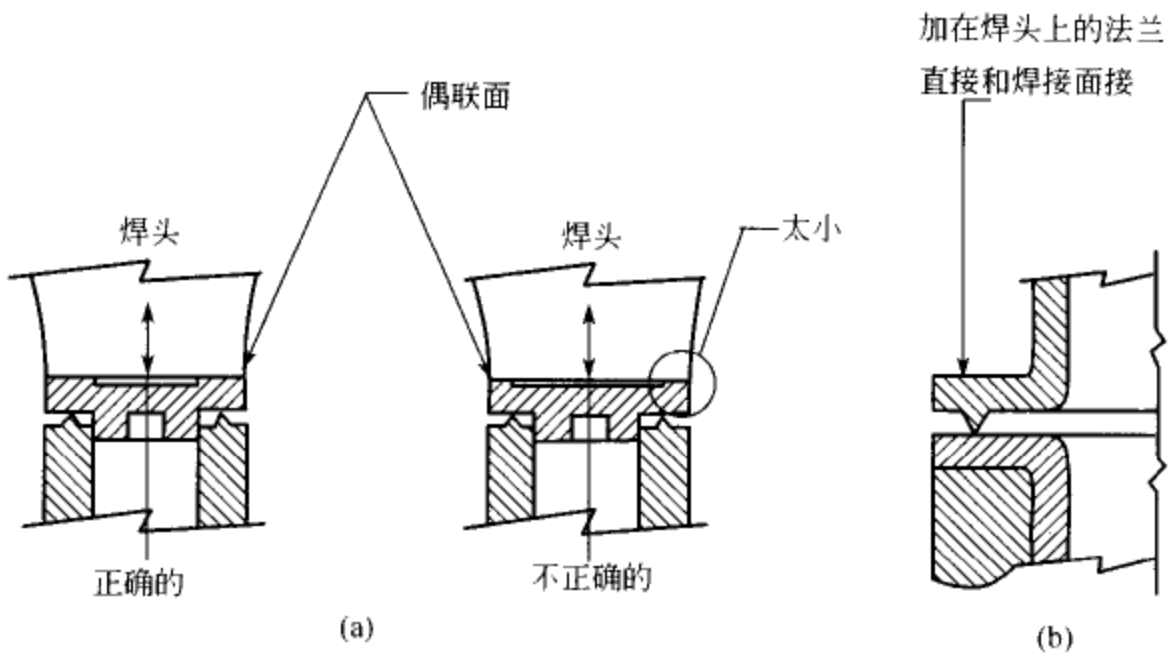


图 19-6 焊头位置

(a) 焊头接触面；(b) 法兰设计

法。也可以通过改变成型条件减小模塑应力。

(7) 内部件 如果放置在内部的元件必须直接跟零件接触，那么它们应该由彼此不能焊接的材料组成。如果那样不行的话，就要对其进行润滑，防止焊在一起。这个问题与内部元件太脆就会使超声振动中断有点相似。要解决这一问题应重新定位零件，引进阻尼材料或者减小振幅、压力，或缩短焊接时间。另外一种解决方法是使用有限的振动模式的高频焊机。

(8) 材料 在这章的前面已经讨论了零件的材料决定焊缝强度和焊接方法的有效性。

(9) 振动零件的刚性 振动零件必须是刚性足够的大才可以传递焊头输出的能量。否则，将会导致焊缝不均匀，或根本无法焊接。当机械振动没有充分传递到焊接面时，可以通过增加壁厚、使用刚性材料、加加强筋、修改零件减小振动传播的距离来进行补救。

(10) 静止零件的刚性 在定位器上静止的零件的刚性决定了产生摩擦所需要的能量。如果应该静止的零件也随振动的零件一起振动的话，就不能保证得到令人满意的焊缝。设计方法包括增加壁厚、改用刚性材料、加加强筋。然而，这个问题通常是由没有正确使用夹具引起的。而低温无定形塑料可以使用弹性卡具支撑，如软木塞或浇铸聚氨酯，高温高能量无定形材料和结晶聚合物应该使用硬质钢或铝制卡具支撑。对尖锐的焊接接头要求零件外壁上的支撑尽可能的靠近焊接区域，薄壁零件需要使用能量导向部分，以防止焊接过程中向外偏转。法兰的能量导向部分应该直接在法兰底部设置支撑，如图 19-6 (b) 所示。

19.5.2 接头设计基础

超声波接头设计的三个基本要素是：零件对中，传播距离上的均匀振动，最小的接触面积。下面逐一对其进行讨论。

19.5.2.1　零件的对中

超声波焊接的接头和卡具并不能确定零件的配合位置。零件的挠曲会引起零件错位，而且卡具的定位高度范围要足够，这一高度范围也会影响表面印痕的产生。定位销、对位棱、榫槽配件或零件其他的结构设计都可以用于零件对中。

19.5.2.2　均匀的振动移动距离

配合面最好保持一个平面，可以水平装在焊机上。为使焊缝强度均匀，超声波振动在焊头和焊接面之间的传播距离应该保持不变，如图 19-1 中的近距离焊接和远距离焊接。

图 19-7 中的焊头接触面高度的变化都不是我们所希望的。当焊接面偏离水平面的时候，就很难实现强度焊和密封焊。焊缝均匀性也会受到无意中的焊接面倾斜的影响，这种倾斜是由孔洞的变化，成型的零件变形，或在焊头、零件、卡具之间的不平行度引起的。因为在顶杆附近的表面通常有轻微的凹坑，所以在能量导向部分附近不应该设置顶杆。如果焊缝均匀性不很重要，则可以不必顾及误差，而且倾斜角达到 45°时也能够焊接。但是，如果与水平面有明显偏差就很难焊接了，这时需要使用特殊的定位工具。图 19-8 描绘了使用两个分开的焊头进行超声波焊接，焊缝就不在同一水平面上。

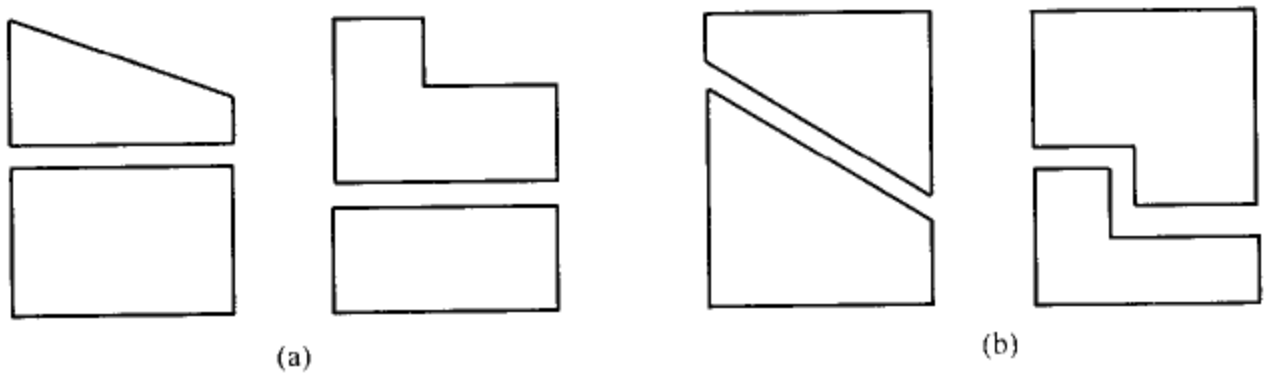


图 19-7　均匀的振动传播距离

(a) 角接触高度变化（角接触面应该是一个平行于焊接内表面的简单平面）；
(b) 焊接内表面高度变化（焊接内表面应该是一个平行于角接触面的简单平面）

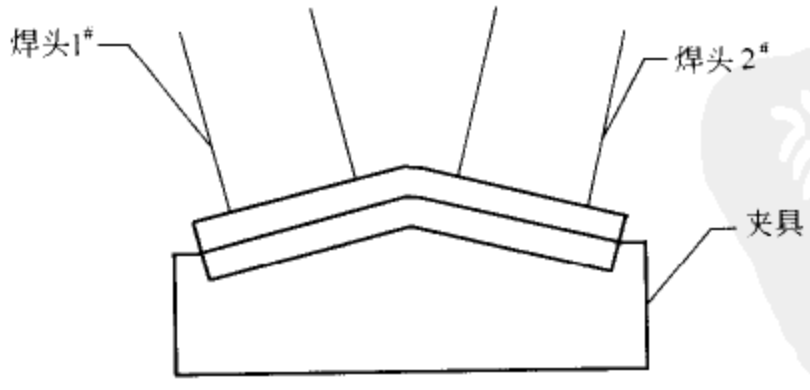


图 19-8　多平面焊接

19.5.2.3　最小初始接触面积

不管使用哪种类型的接头，基本的规则都是把超声波振动集中到很小的、均匀的初始接触面上。那就意味着能量导向部分的顶点必须非常尖锐。因为模具制造厂

把模塑半径控制在 0.1～0.2mm（0.004～0.008in），没有规定倒圆半径，或许他们没有认识到能量导向部分上尖端的重要性，作者发现值得强调“锐边-能量导向部分”设计的使用，并且一针见血指出能量导向的尖端部分的重要性。这样会使能量聚积，从而迅速实现焊接，减少了能量损耗。尽管这样，模具中塑料的流动性使得能量导向部分的顶端并不能达到绝对的尖。能量导向部分的尖端除了可以缩短焊接所需要的时间和减少能量外，很少引起焊缝的刮伤或焊瘤。

19.5.3 能量导向接头

19.5.3.1 对接接头

所有种类的接头设计的目标都是使焊缝接触面积达到最小。图 19-9 描述了这种目标的实际影响。我们并不希望平焊对接接头像图 19-9（a）中那样绝对的平面，因此焊接面上也会有空隙。如果焊缝面积大，使用简单的对接接头，就要求有足够的焊接时间和能量。这种类型的接头焊缝会引起过度熔融。正是由于这些负面效应，对接接头已经过时，目前很少使用。

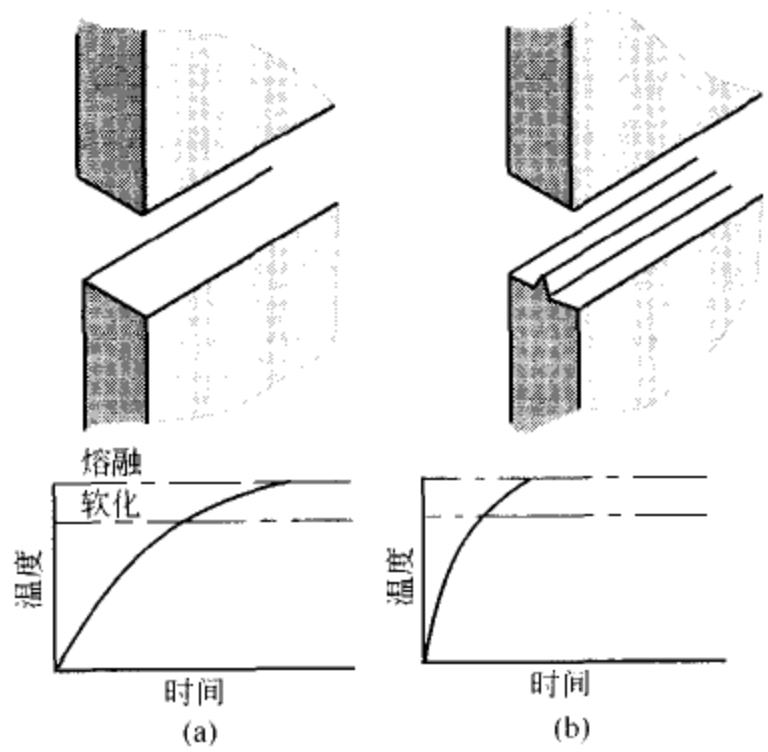


图 19-9 （a）对接接头；（b）能量导向部分

（Branson 超声波公司，Danbury，CT 提供）

能量导向部分是从一个装配零件上伸出来的 V 形筋［图 19-9（b）］，V 形顶点与配合零件的平面形成焊接面。用这种方法使能量集中，以便焊接面处的塑料迅速软化，熔融。在平衡状态，V 形点处的材料几乎处于弹性极限。用高频调节增加超出弹性极限的应力，产生永久变形。零件的内部分子摩擦使零件的界面温度升高，结果发生滞后损耗，从而大大缩短了装配时间。我们知道，当使用能量导向部分的时候，需要很短的时间和很少的能量就可以使塑料软化和熔融。基本的能量导向部分接头的尺寸由表 19-3 给出。

通常来讲，零件越小，要求的能量导向部分就越小。粗略地看，能量导向部分的宽度（W_j）不应该超过壁厚（W）的 20%～25%。硬质无定形聚合物可跨越焊接面熔融，而且在适当的温度下、熔融的聚合物需要的能量导向部分绝对是最小的，高度低到 0.13mm（0.005in）；而推荐最小高度为 0.25mm（0.010in）。像聚碳酸酯这样的熔融温度较高的无定形塑料和结晶聚合物，尽管绝对最小高度是 0.3mm（0.013in），实际上要求最小高度为 0.5mm（0.020in）。当能量导向部分的高度大于 0.75mm（0.030in）时，就需要考虑用两个能量导向部分代替一个能量导向部分。在那种情况下，两个能量导向部分的高度和应该等于焊缝宽度的 10%。能量导向部分

表 19-3　结晶型和无定形聚合物能量导向部分的基本尺寸

尺　寸	结晶型聚合物①		尺　寸	无定形聚合物②	
	in	mm		in	mm
W_j			W_j		
最小	0.015	0.4	最小	0.010	0.25
最大	0.050	1.3	最大	0.050	1.3
绝对最小	0.013	0.3	绝对最小	0.005	0.13
H			H		
推荐最小	0.020	0.5	推荐最小	0.010	0.25
最大	0.043	1.1	最大	0.025	0.6

① $W=(4\sim5)W_j$；$H=(0.5^{③}\sim0.866)W_j$。

② $W-(4\sim5)W_j$；$H=0.5W_j$。

③ 适用于最软的结晶聚合物。

太高会导致过熔和焊瘤，能量导向部分高度的不同会使焊缝不一致。

结晶型聚合物只是在能量导向部分底部交叉的宽度处获得最大的焊缝强度。因此，对于要求高强度焊或密封焊的结晶材料，最好使用尖锐接头（图 19-10）。当必须使用尖锐接头的时候，能量导向部分的夹角为 60°，这样可以增加能量导向部分的高度，使顶点更突出，因此推荐使用这样的尖锐接头。在焊接初始阶段，能量导向部分顶点逐渐渗入到配合零件的表面。因此能量导向部分很少暴露在外面，这会引起降解和提前固化。尤其是在使用硬度低的结晶聚合物，会得到强度很高的焊缝，而且会改善密封性。在使用硬度低的结晶聚合物时，能量导向部分顶点就没有足够的刚度，这时推荐使用 90°的夹角。玻璃纤维填充材料也最好使用 90°夹角。

当两个零件材料相同时，都使用能量导向部分也没关系。当材料不同时，熔融温度高和刚性大的零件设置能量导向部分。当共聚物或三元共聚物（例如 ABS）与均聚物（例如丙烯酸酯）焊接时，能量导向部分在均聚物零件上时，可以获得强度最大的焊缝。由于对接接头本身不提供定位和对中，使用卡具会造成划痕，所以现在使用一些其他定位设施如，定位销、轴套等。

19.5.3.2　接头布置

通常，如果零件内壁不需要连接，就把焊缝设置在零件的周边上。当要求密封的时候，焊缝必须沿着密封线来设置。然而，像图 19-11（a）所示的那些尖角能导致焊缝起泡、材料集中、应力形成，因而产生裂纹。图 19-11（b）描述的圆角半径（R_2）等于内壁厚（W）加上内半径（R_1）。当不需要密封的时候，可以不设置有角的结构，如图 19-11（c）所示。在某些情况下，可以使用像图 19-12（a）所示的间断式的焊接面。这会减少需要的能量和功率等级。当需要抵抗剥离力或减少从外部可见的焊瘤时，可以使能量导向部分旋转 90°，如图 19-12（b）所示。

把这种构思与能量导向部分结合起来，沿零件轮廓产生交叉设计，如图 19-12（c）所示。交叉设计可以提供更多的焊接材料，这样可以增加焊缝强度，而初始接触面积也最小。对于这些设计，能量导向部分的尺寸应该减小到标准能量导向部分的

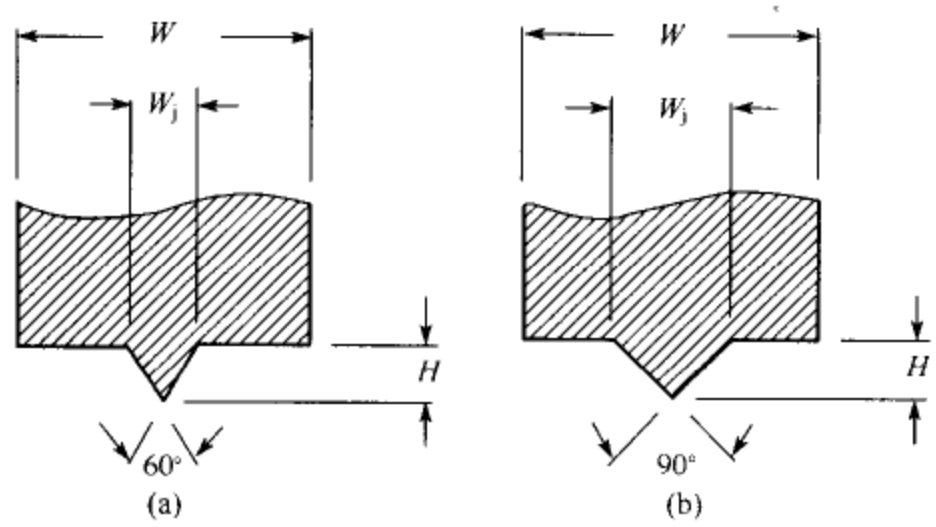


图 19-10　基本的能量导向部分接头设计

（a）结晶型聚合物；（b）无定形聚合物

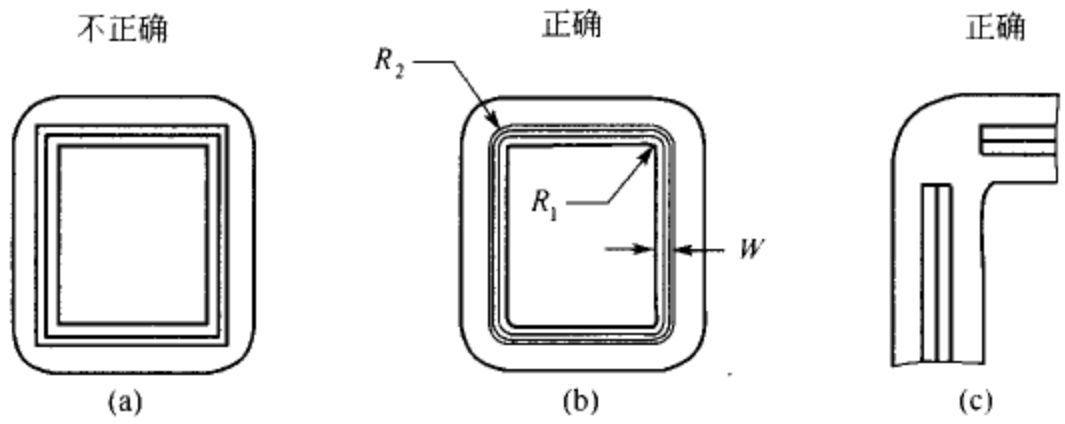


图 19-11　焊接面布置

（a）尖角（不希望）；（b）圆角；（c）断角

60%。对于气体密封和液体密封，推荐使用 60°夹角的锯齿状能量导向部分。因为这种设计焊瘤多，所以最好使用能够控制焊瘤产生的构型，如榫槽接头或台阶式接头。

19.5.3.3　纹理表面

Branson 超声公司已经取得纹理表面这个概念的专利权，如图 19-12（d）所示，他把纹理表面的使用许可权授予设备的购买商。设置纹理表面的原理是根据与能量导向部分顶点接触的配合面上有很多小凸起而来的，这些凸起部分本身也作为小的能量导向部分。凸起部分可以防止能量导向部分逐渐“侧滑”，提高加热过程的效率。另外，这些凸起对熔融材料产生屏障（隔离层），防止物料从焊缝区流出。最后，它们还有助于储存热量，减少焊瘤和焊渣，产生较大的连接面，增加连接强度。

使用纹理表面可以增加效率，从而使总的能量需求降低，而且可以使焊缝强度增加 3 倍。Branson 公司已经与一家公司合作制造了纹理模具，产生与能量导向部分高度相应的三倍加工深度，在表 19-4 中列出。从 Branson 公司可以获得更多的资料，该公司的通讯地址在本章最后的参考资料部分列出。

对于结构强度要求低的轻型接头，可以使用如图 19-12（e）所示的锥形能量导向部分。这种设计减小了焊接的总面积，因此使用很少的能量就可以使焊接迅速完成。而且锥形能量导向部分产生的热量少，收缩小，材料降解少。

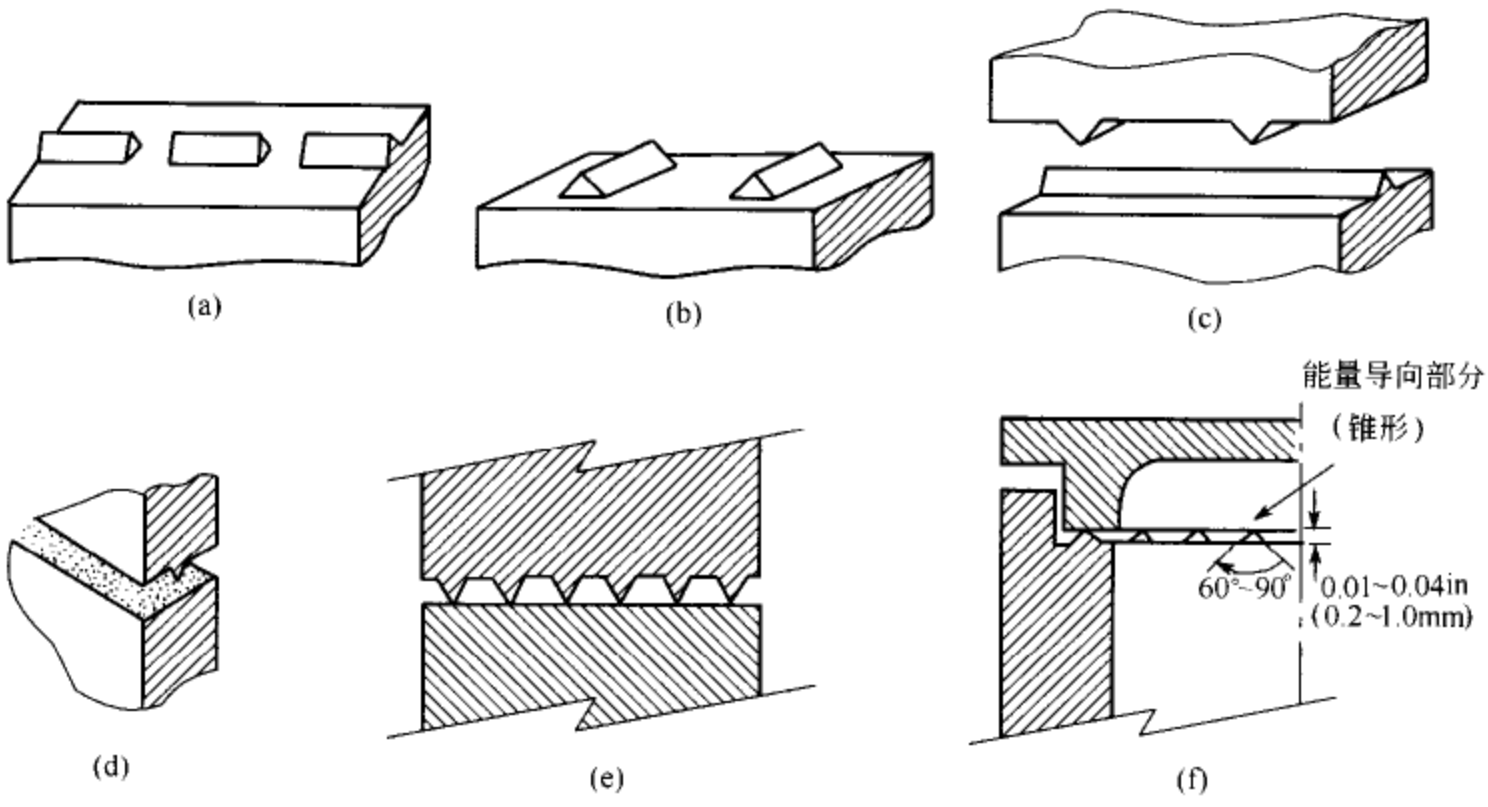


图 19-12　改进的能量导向部分

（Branson 超声波公司，Danbury，CT 提供）

（a）间断能量导向部分；（b）90°能量导向部分；

（c）交叉式能量导向部分；（d）变形表面；（e）、（f）锥形能量导向部分

表 19-4　纹理深度和能量导向部分的高度

纹　理	压花深度		能量导向部分高度	
	in	mm	in	mm
300	0.003	0.08	0.005～0.011	0.13～0.28
450	0.0045	0.11	0.012～0.017	0.30～0.43
600	0.006	0.15	≥0.018	≥0.46

19.5.3.4　台阶式接头

对接接头是一种非常有效的连接方式，但是它不能掩盖超声波焊接产生的焊瘤和过熔。设置一个外壁就能做到这一点，而且可以提供定位，提高抗剪切力。这种类型的接头叫台阶式接头，如图 19-13（a）所示，台阶式接头可以提供额外的距离，防止溢料外流，这样从外面就看不到了。而且焊缝延伸到外壁，提供额外的强度。尽管已经规定间隙配合［0.05～0.10mm（0.002～0.004in）比较好］，但是当两个台阶式零件联合使用时，台阶也可提供侧向定位。当外部熔融不是很重要时，台阶可以作为内部定位壁或内部定位筋对零件定位，如图 19-13（b）所示。前面描述的对接接头的情况也适用于台阶式接头。

第 2 章讨论了配合表面的主要视觉差减小了不完整性的影响，在“有效装配的设计”中，发现台阶式接头非常有用。除了第 2 章描述的凹坑，可以把这些接头分开设计。如图 19-13（a）中左图所示，通常把 0.25～1.5mm（0.010～0.060in）的“光影划线”添加到间隙为$\frac{W}{8}$台阶和配合凹陷之间。图 19-13（b）中的形式不应该使用光影

划线。只要基本原则保持一致，在很多结构中都可以使用台阶式接头。

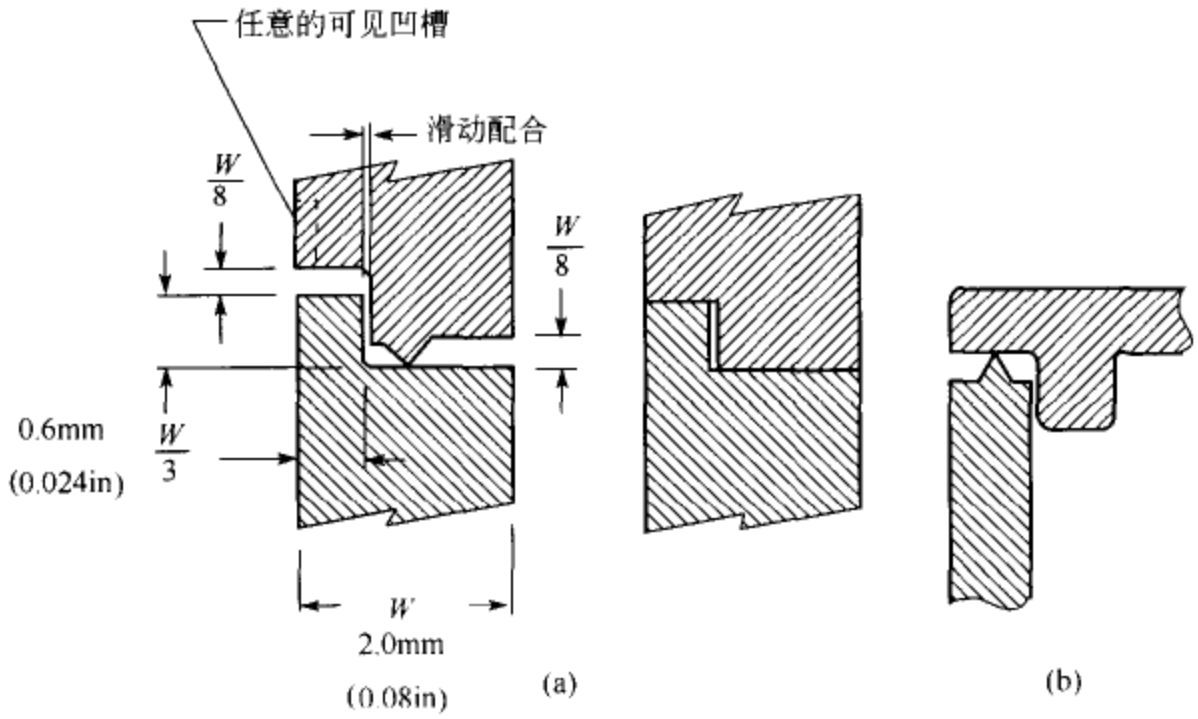


图 19-13 台阶接头

(a) 定位和掩盖溢料；(b) 内部定位

尽管台阶式接头和对接接头使用相同的能量导向部分，但是由于台阶式接头的平面部分只有对接接头的 2/3，所以焊接可以利用的空间受到垂直台阶的限制。这就是说，对于相同壁厚的无定形热塑性塑料零件，台阶式接头不如对接接头强度大（结晶型热塑性塑料基本可以达到相同的强度）。

19.5.3.5 榫槽接头

榫槽设计在零件两侧都有材料，因此可以消除溢流，并且一侧或两侧都可以提供定位。由于只有一半的壁厚可用于焊接，焊接强度似乎要比对接接头低。然而，有些焊缝抬高了焊口的两边，这样焊缝既可承受到剪切力又可承受到拉伸力。如果要实现密封，最好将焊缝设计成榫槽接头。

图 19-14 所示的接头详图就是榫槽接头。每边预留 0.05～0.10mm（0.002～0.004in）可以达到良好的滑动配合。这种类型的附件要增加模具和成型的额外费用。

19.5.3.6 薄壁零件的接头

图 19-15 表示了在焊接薄壁零件时使用的能量导向部分接头。然而如图中所示，至少有一个零件是注塑成型的，提供能量导向部分，而另一个零件可以是热成型的。本章后面论述了装配薄壁零件、片材、织物时使用的点焊接、螺柱焊接、连续点焊（跳焊）等其他的超声波焊接方法。

19.5.4 剪切接头

因为能量导向部分接头比剪切接头需要的能量少，所以对于无定形热塑性塑料最好选择能量导向部分接头。而且能量导向部分接头需要的焊接时间也只是剪切接头的 1/4～1/3。但是由于能量导向部分在形成焊缝之前会降解和重结晶，所以对

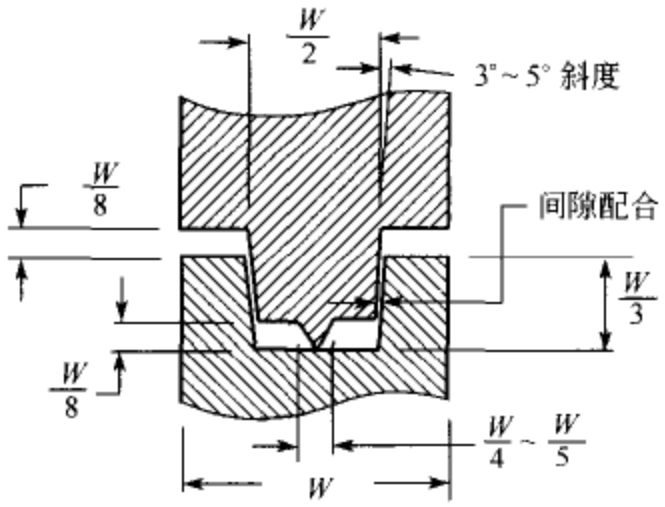


图 19-14　榫槽接头

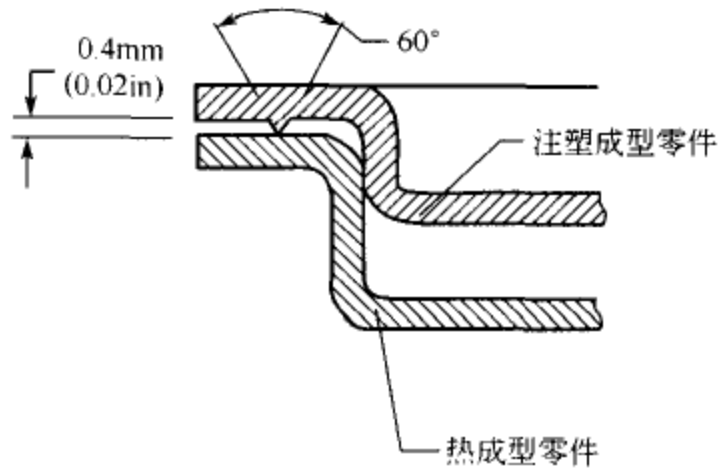


图 19-15　薄壁接头

于结晶型树脂，它未必是最好接头。当零件发生降解或再结晶时，焊缝强度就会降低，使得很难得到强度焊和密封焊。在焊接时，允许能量导向部分接头暴露在更多的空气中。对于尼龙会加速结晶，但是可能引起氧化降解。对于接头强度要求特别高的结晶型热塑性塑料，通常喜欢剪切接头设计。

图 19-16 描述了基本的剪切接头。实际上，剪切接头是一个小型的对接接头（注意到这就是前面所讲的角度设计的一个变化，在很多情况下成楔形），通常有一条引入线把两个零件引到一起。设计剪切接头是为了避免焊缝区露在空气中，防止由于氧化而引起提前固化和降解。剪切接头很适合在很小的温度范围内就可以熔融的结晶型材料。

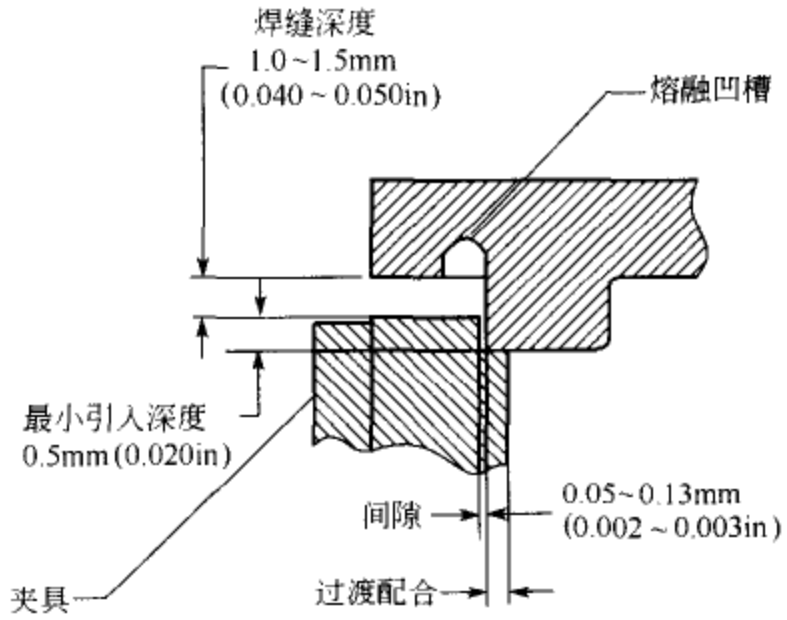


图 19-16　基本的剪切接头

焊接强度受焊接深度的影响要比过渡配合的影响更大一些。最佳焊接深度在 1.5～2.0mm（0.060～0.079in）范围内。1.25～1.5 倍零件壁厚的焊接深度足可以使焊缝强度达到零件本身的强度。注意前面的焊接中讲过熔融凹槽，也叫溢料井。对于外观应用，任意过熔都是不允许的，所以选择这种设计可以封住熔融物料。通过估计熔融材料的量，再加上 10%的安全余量来确定熔融凹槽的深度。一定要小心避免焊接过度，这样会损坏设备，也会产生水平度和对中不良的问题。

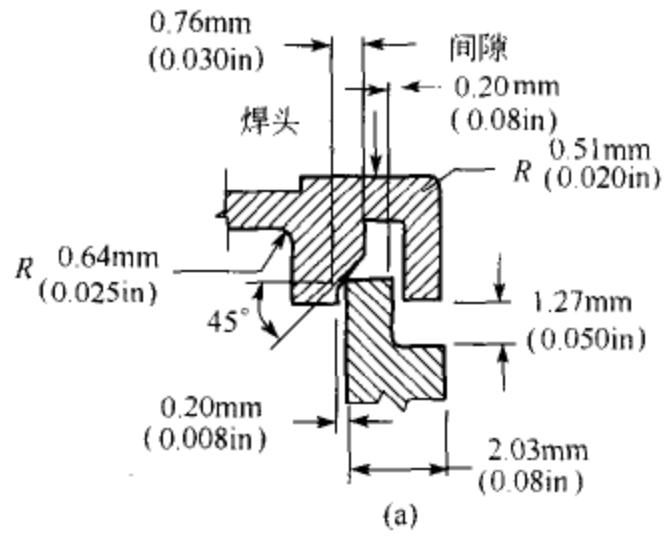
通过过盈把零件连接在一起，零件熔融取决于受到两个零件之间的过渡配合大小。表 19-5 给出了干涉配合的公差。干涉过大能够引起过渡熔融和溢料。剪切接头的容许误差非常精密，尤其对于结晶材料。这限制了使用剪切接头的结晶材料零件不能超过 90mm（3.54in），然而无定形材料零件可以更大一些。注意图 19-16 中的定位器伸到静止零件的顶端。这是为了增加零件的刚性，如果没有定位器的支撑，剪切接头就会产生向外的力，使零件偏转。

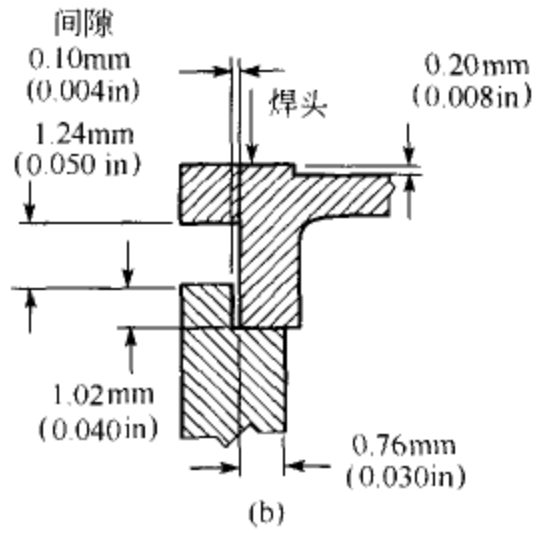
表 19-5　剪切接头干涉配合准则

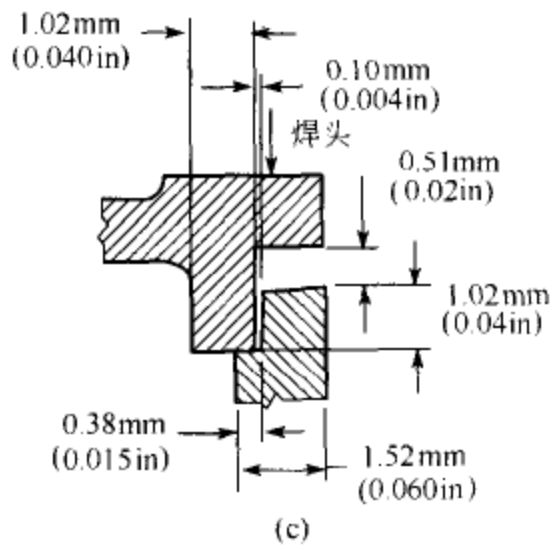
最大零件尺寸	每一侧的干涉量	零件尺寸公差
<18mm(0.75in)	0.2～0.3mm(0.008～0.012in)	±0.025mm(±0.001in)
18～35mm(0.75～1.5in)	0.3～0.4mm(0.012～0.016in)	±0.050mm(±0.002in)
>35mm(1.50in)	0.4～0.5mm(0.016～0.020in)	±0.075mm(±0.003in)

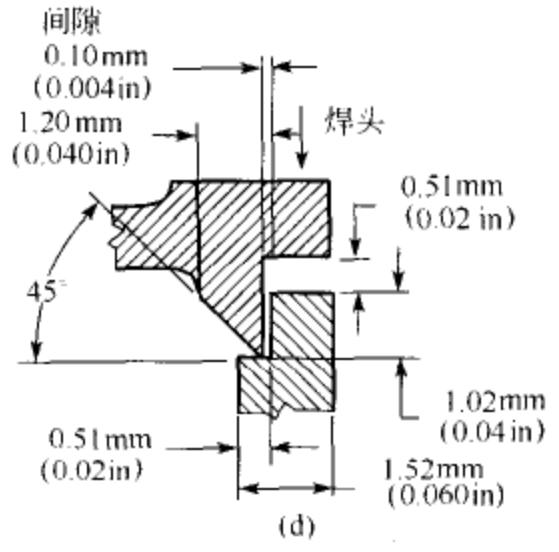
来源：Branson 超声波公司，Danbury，CT。

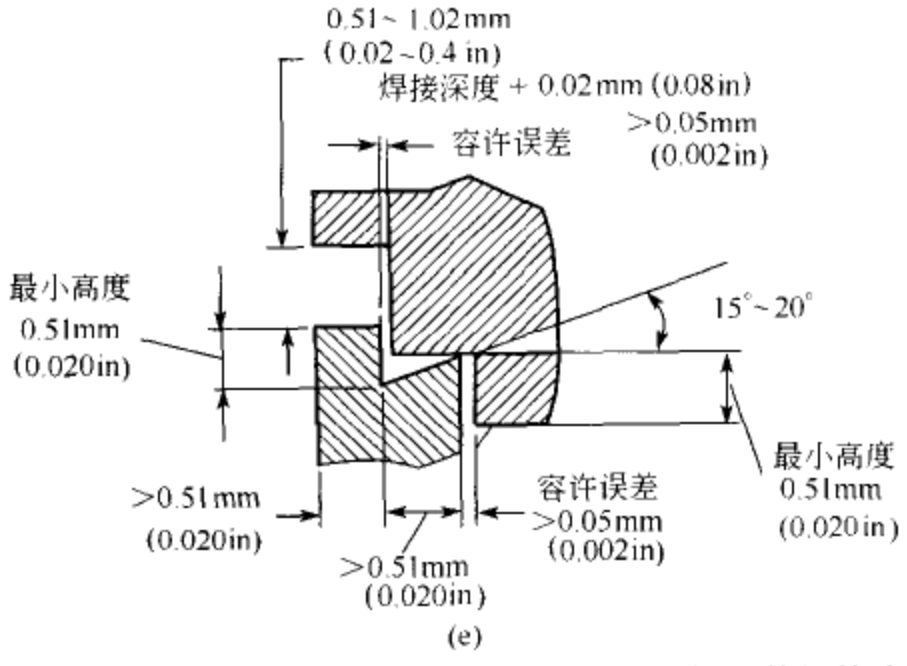
图 19-17 表示出了剪切接头的另外几种变型。图 19-17（a）、（d）、（e）设计成











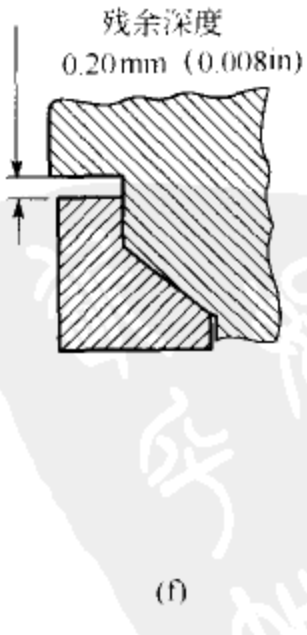


图 19-17　附加的剪切接头

（a）带有侧板的剪切接头，掩盖过熔；（b）能量导向部分壁根部有圆角的剪切接头-重载；（c）能量导向部分壁根部有圆角的剪切接头-轻载；（d）能量导向剪切接头；（e）滚压式接头-焊接前；（f）滚压式接头-焊接后

初始接触面很小的熔融区。图 19-17（a）表明零件外壁提供对中，并且掩盖熔融，而图 19-17（b）和（c）中的设计用焊头接触的表面上的凹坑控制振动，减小能量导向部分底部半径的应力系数。图 19-17（b）中的平接头可以提供强度高的焊缝，但是使用的能量等级也高，然而图 19-17（c）中的形式使用的能量等级低，但是强度不够大。

由于图 19-17（d）中的设计形式结合了能量导向部分和剪切接头的特性，有时也叫“能量导向部分剪切接头”。在这一设计中，能量导向部分主要受向下的力和内力，外力大大降低。图 19-17（e）中的形式也叫“滚压式接头”，通过增加焊缝长度可以产生高强度的接头。因为没有熔融物料被挤压到焊缝区以外，所以可以实现密封焊。

目前已经成功地使用双面焊克服剪切接头要求高误差精度的问题。将接头设计成图 19-18（a）所示的形式，在零件的一侧壁上损失的干涉在另一侧壁上又重新获得。当锥度角大于等于 2°时，在焊接部位就会产生边缘效应。因为控制熔融凹槽和能量导向部分比控制直径和保持圆形更容易，所以就出现了边缘效应这个概念。这种形式的径向误差为表 19-5 所示的 2～3 倍。然而由于这种设计会导致能量增加，所以要有选择的加以使用。

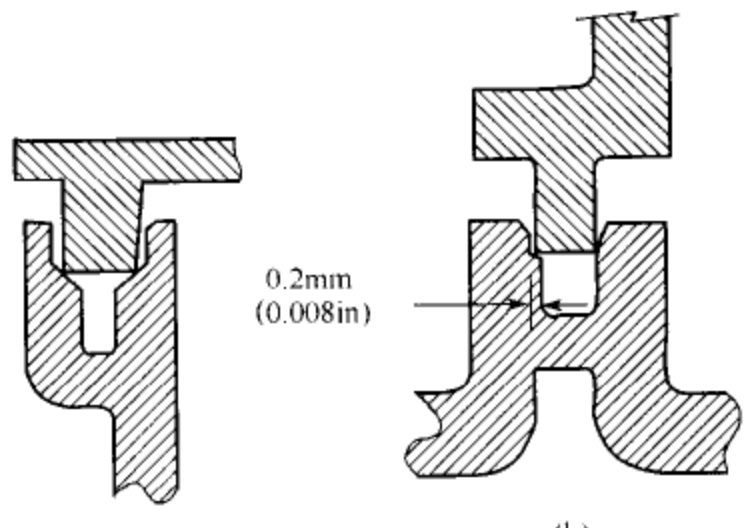


图 19-18　双面焊剪切接头
（a）双剪切；（b）单剪切

图 19-18（a）所示的设计是在外壁上，然而也可以用在内壁上。图 19 18（b）描述了一种单面焊形式，外观上与图 19-18（a）所示的双面焊接头相似，但是仅仅一侧使用剪切接头。

19.5.5　密封

当要求密封时，就必须在平面上设计连续焊缝。焊头和焊接面的距离必须是恒定的，而且要尽可能的短。零件在焊头和焊接面之间不能有缝隙，而且零件必须是直的，不能弯曲。如果焊缝必须有轮廓线的话，零件必须柔软才能焊接。

设计密封时材料的选择是关键。吸湿性树脂在成型后必须立刻焊接，或者把零件放在装有干燥剂的袋子里。因为湿气会引起发泡，损坏密封，所以在密封前需要把零件烘干。刚性无定形塑料是最好的。能量导向接头可以用于刚性无定形塑料。如果一定要使用结晶材料的话，推荐使用剪切接头。如果无法使用剪切接头，就可以在榫槽构型中使用能量导向部分接头，如图 19-14 所示。在进行密封焊前，要向设备厂家咨询。如果厂家认为是可行的，他们或许会推荐使用 90°夹角的能量导向部分。然而当材料是聚碳酸酯的时候，能量的控制器夹角为 60°，宽度为焊缝宽度

的 25%～30%。

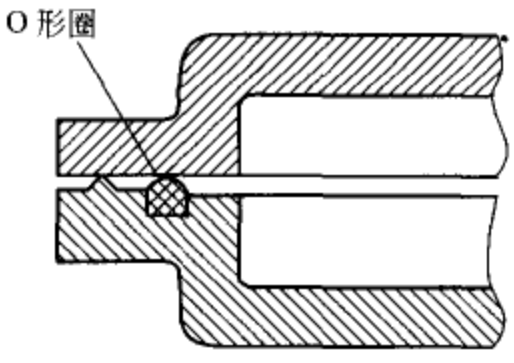


图 19-19　密封能量导向接头

如果零件轮廓不能产生连续的焊缝，或者如果设计的能力或用于满足密封要求的材料值得怀疑的话，就可以使用垫圈或 O 形圈，如图 19-19 所示。O 形圈仅仅在焊接结束时受到压缩。

19.5.6　扫描焊接

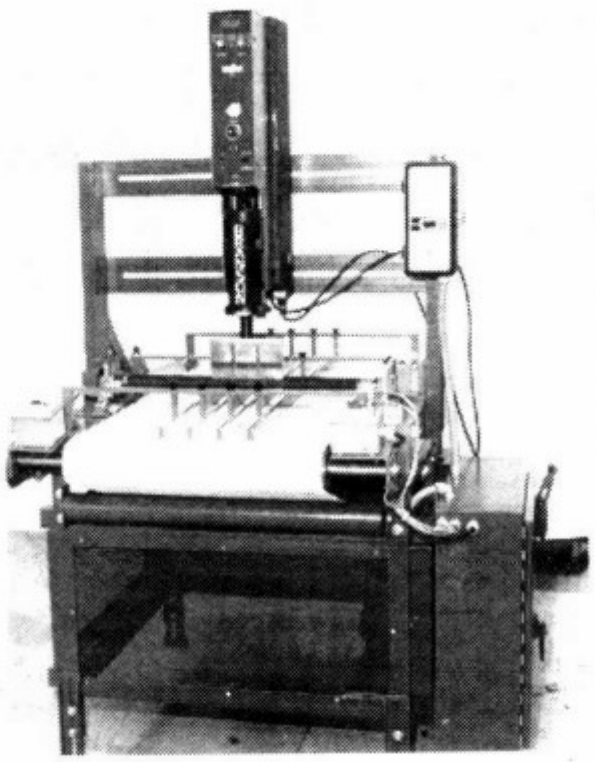
扫描焊接是一种速度非常高的焊接技术，应用于大型零件和生产率非常高的小型零件。当至少有一个焊接面是平的，而且材料是刚性的，可以使用扫描焊接。但是尽管薄膜和织物应用时也采用扫描焊接，它们的非聚合物成分不得超过 35%。在扫描焊接技术中，焊头是静止的，零件相对焊头移动。

图 19-20 所示的就是标准的扫描焊接。通过驱动轴上的传送带输送零件，驱动轴在焊机下以均匀的速率传送零件。而且驱动轴应方便焊头接近，减小阻力，当焊接刚性元件时，要避免零件“向上弯曲”，这时就应该设计像台阶式接头或榫槽接头一样的自动对中接头。而生产率是由不同的应用而定的，目前已经实现了高达 10.6m/min（35ft/min）的速度。有些零件的形状不适合标准扫描焊接使用的平台。圆形零件可以安装在转动平台上，如图 19-20（b）所示的是一种转动扫描焊接技术。

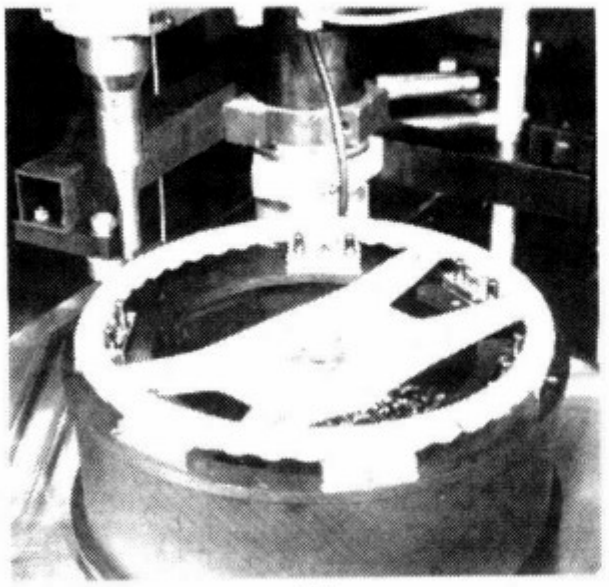
径向扫描焊接是一种近距离焊接技术，对于周围需要密封的零件可以使用这种焊接方式。对于径向扫描焊接，一个零件在平台上慢速转动，从垂直于它周线的焊机获得振动能。对于径向扫描焊接，零件不需要完全是圆的；然而在焊头经过的地方不能有任何锐边。在图 19-20（c）所示的应用中，可以实现密封。对于这项应用，表面速度达 9.14m/min（30ft/min），焊接时间是 1.2s。在使用扫描焊接时，零件尺寸不是确定性因素。

19.5.7　螺柱焊接、立锻、模锻和点焊

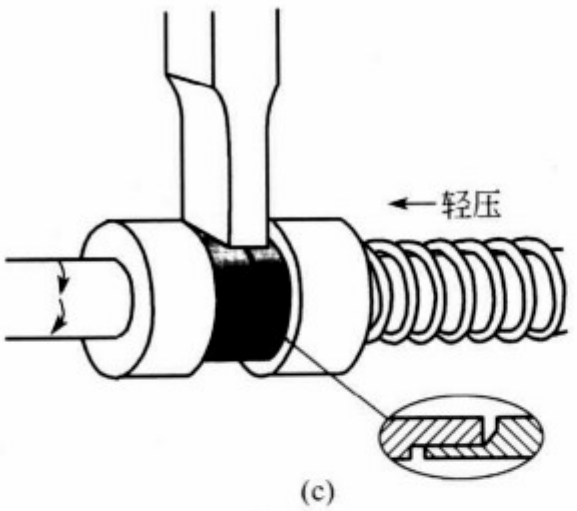
受焊接场地局限的情况下，螺柱焊接、立锻、模锻或点焊常用来取代连续焊。另外，尽管螺柱焊接可以容忍一些适当的错位，但是它们都要求把焊头直接放在焊缝上。这些方法在使用方式上是不同的。螺柱焊接仅适用于相似相容树脂构成的零件，螺柱与焊头的距离既要足够近，使通过单焊头就可以焊接；又要足够远，使已经焊接的螺柱和还没有焊接的螺柱之间能够产生足够的挠曲。而且螺柱静止在孔上。螺柱焊接比其他三种方法要求的误差更精确。立锻和模锻主要用于不同种材料焊接时，这是因为所有的焊接作用在一个零件上。当材料不相同时，可以用立锻、模锻和螺柱焊接与另一个零件配合焊接。对于相似相容塑料零件壁厚非常薄或使用的方法不能产生螺柱焊接要求的精确公差时，可以使用点焊接。例如挤出成型、热成型、滚塑成型或片材和薄膜零件的二次加工。



(a)



(b)



(c)

图 19-20　扫描焊接
(Branson 超声波公司，Danbury，CT 提供)
(a) 标准扫描焊接；(b) 转动扫描焊接；(c) 径向扫描焊接

这些方法的优点推广了它们的应用，包括不能使用连续焊接的大型零件，或连接不允许焊接的零件。缺点就是产生局部应力，所以即使使用 O 形垫圈，对于密封焊也并不建议使用这些方法。

19.5.7.1　立锻和模锻

除了使用超声波，也可以通过其他方式实现立锻和模锻，读者为了进一步讨论，可以参考第 17 章论述的“立锻/模锻/锤锻/冷锻/冷成型”。

19.5.7.2　螺柱焊接

图 19-21 (a) 表明了焊接前、焊接中、焊接后的螺柱焊接接头，观察与剪切接头的相似性。螺柱焊接以相同的方法工作，除此之外，它属于较小型焊接，并需要多次重复焊接。另外，通常把螺柱设计成导入的形式提供自对中，然而在孔的边缘上也可以使用倒角。对于直径≤12.5mm (0.50in) 的螺柱规定过盈配合量为0.2～0.3mm (0.008～0.012in)，可以提供很小的初始面积，使振动都集中在那个初始面上，有助于缩短焊接周期。螺柱直径较大就可以使用 0.4mm (0.016in) 的过盈间隙。焊缝强度是由螺柱直径和焊缝深度所确定的总的焊接面积决定的。注意在柱

栓根部设置了允许熔料进入的凹槽，把凹槽制成圆角以减少应力集中。

如果要求两个零件之间是分开的或者是两个零件之间有直板空间，就可以使用图 19-21 所示的接头形式。其中一个零件上要有排气，防止产生气体塌坑，气体塌坑会引起气压产生。这比在盲孔壁上打孔要好，在盲孔壁上打孔会大大削弱接头强度。孔壁的外径必须至少是螺柱直径加上公称壁厚的 2 倍。为防止偏转和折断，孔的边缘距零件边缘必须至少 3mm（0.125in）。

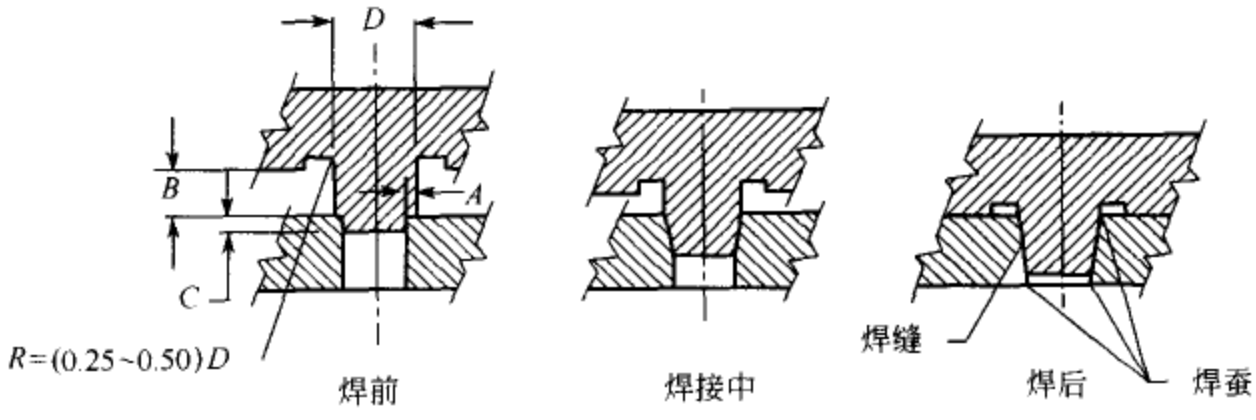


图 19-21　超声波螺柱焊接

（a）超声波螺柱焊接接头；（b）凸台或盲孔上的螺柱

(1)附件的嵌入　当在外部零件之间嵌入不同材料的附件时，就可以使用螺柱焊接。这种类型的应用如图 19-22 所示。在图 19-22（a）中，在螺柱上放了另外一个元件，并且与零件配合焊接在它的上面。螺柱的底部有凹槽是为了给超声波提供辐射空间。为了容纳溢料且允许零件平放，在配合孔的底部要设有熔料井。图 19-22（b）中使用模塑成型的塑料铆钉可以实现相同的目的。这种方法更适用于温度范围广，塑料零件和金属铆钉或螺钉之间的线性热膨胀系数差较大而会引起过多应力或者扣件松弛的零件。由于模制铆钉与配合塑料零件材料相同，没有相对差异，因而必须用其他的方法进行定位。

（2）低能耗螺柱　因为螺柱焊接接头实质上属于剪切接头，所以消耗的能量较多。当需要缩短焊接周期时，可以使用具有能量导向部分的螺柱降低能量需求，进而缩短焊接周期。图 19-23（a）所示就是在螺栓孔中使用具有能量导向部分的螺柱，在图 19-23（b）中螺柱末端有倒角。两种接头都要求精确控制公差，以确保

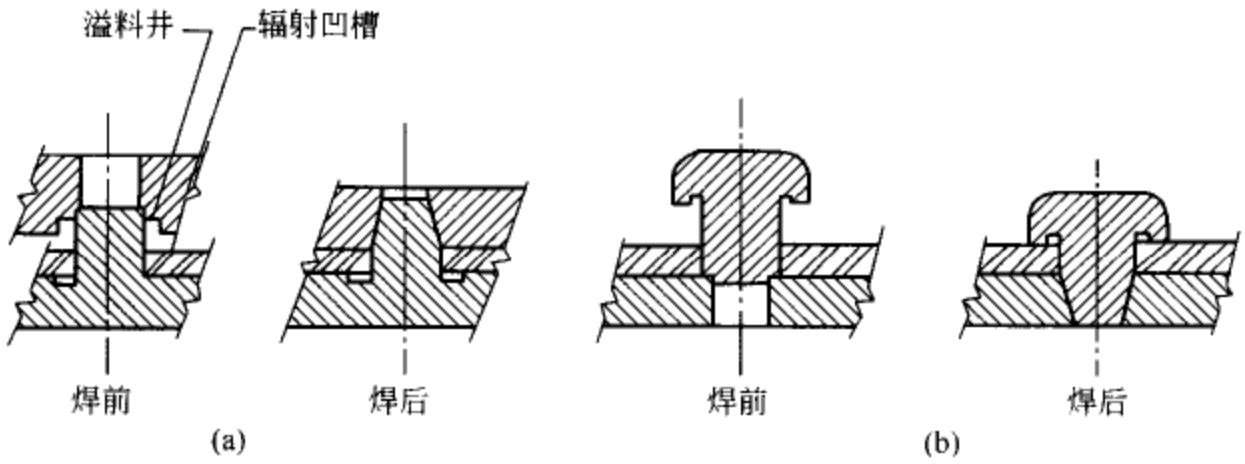


图 19-22　附件的嵌入

（a）整体螺柱；（b）模制铆钉

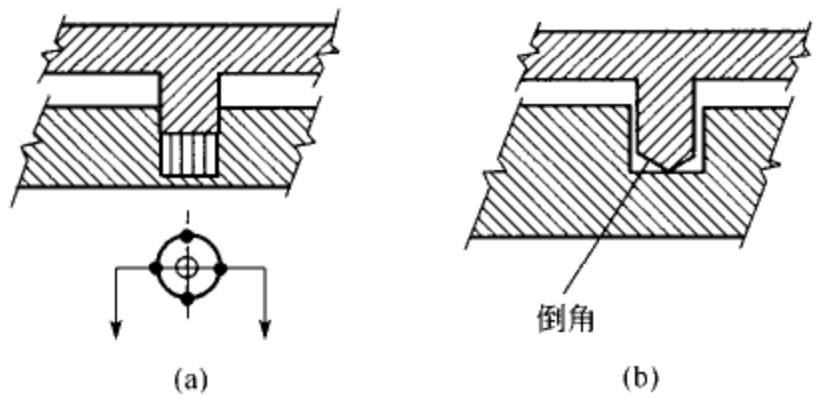


图 19-23　具有能量导向部分的螺柱

（a）垂直能量导向部分的螺柱焊接；

（b）具有能量导向部分的螺柱

得到连续焊缝。

（3）薄壁零件　公称壁厚≤1.5mm（0.060in）的零件为薄壁零件。如图 19-24（a）所示，薄壁零件要求用双台阶螺柱代替正常螺柱。然而当焊距减少 50%时也可以获得相同的焊缝强度。如果有其他的空间原因限制了焊距，就可以使用这种技术。

（4）活塞　在螺柱焊接应用中，在圆孔处塞一个活塞就可以使孔封合，如图 19-24（b）所示。当零件很薄时，也可以使用双台阶螺柱，如图 19-24（c）所示。

（5）螺柱布置　76mm（3in）范围内的螺柱可以用单焊头焊接。超出 76mm 以外的那些螺柱需要单独焊接。焊缝间距越大，就越难保证需要的公差范围。使用长圆孔的螺柱焊接可以克服这个问题，如图 19-25（a）所示。图 19-25（b）所示为中心孔定位，对于外部栓孔就可以有较大的尺寸偏差。

19.5.7.3　点焊

在没有外观要求的一侧使用点焊，焊接速度快、焊缝强度高。对于材料壁厚在 0.80～7.14mm（0.031～0.281in）范围内时，可用的标准倒角的直径为 12.7mm、19.05mm、25.4mm（0.50in、0.75in、1.00in）。如果再加上平面、表面均匀度要求，使得点焊接适用于挤塑、热成型、旋转注塑制得的零件。这些方法不能制得其他焊接方法所要求的接头，点焊还可用于薄板薄膜的焊接。对于塑料波纹板零件和

图 19-24　薄壁焊件接头设计和活塞接头设计

(a) 薄壁焊件的双台阶式螺柱焊接；(b) 单台阶活塞；(c) 双台阶活塞

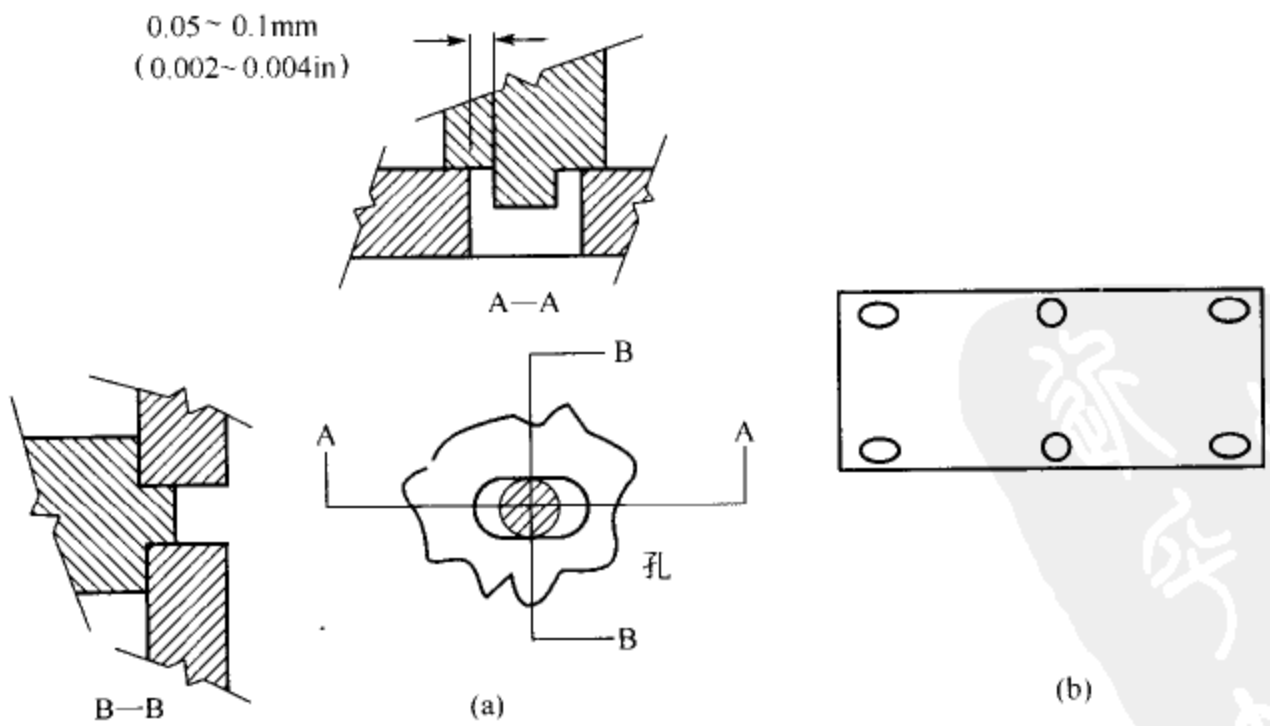


图 19-25　长圆孔的螺柱布置

(a) 设计详图；(b) 螺柱孔的布置（使用中心孔定位）

那些薄壁热成型零件可以使用点焊，此种方法价格更低廉。点焊焊接有助于热塑性塑料的焊接（见表 19-2），并且是用手持焊枪就可以焊接，所以点焊焊接适用于外形复杂的大型零件。

参考图 19-26，我们看到点焊焊接振动头穿过上层零件，使塑料熔融，并且部分穿过配接件。移走的材料在最先接触的表面形成一个圆环，即焊头的轮廓。在焊接面产生摩擦热，被焊头移走的熔融聚合物被迫进入到焊接面引起永久分子链。一般焊头直径为上层塑料零件厚度（T）的 3 倍，长度为 1.5 倍。

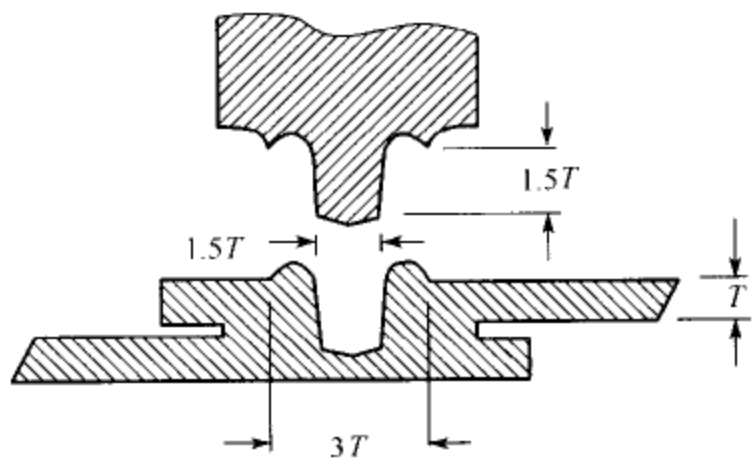


图 19-26　点焊接接头

对于点焊，焊头必须接近零件表面，我们不希望零件表面有焊痕产生，换个角度想，在焊头形成的轮廓上面使用平焊头。用这种方法，点焊接痕迹就受到焊头后部的限制，这样外表面就相对光滑一些，这叫倒焊或盲焊（如果焊接时间太长，平焊头仍然可以引起焊痕）。

19.6　织物薄膜密封

对于织物和薄膜密封，使用超声波热粘接技术能量低，速度快，所以竞争力更强。Branson 公司生产的产品更适合这种应用，同时以 22.9m/min（75ft/min）的速率剪切和缝合，如果改进设备，可以达到更高的速度。

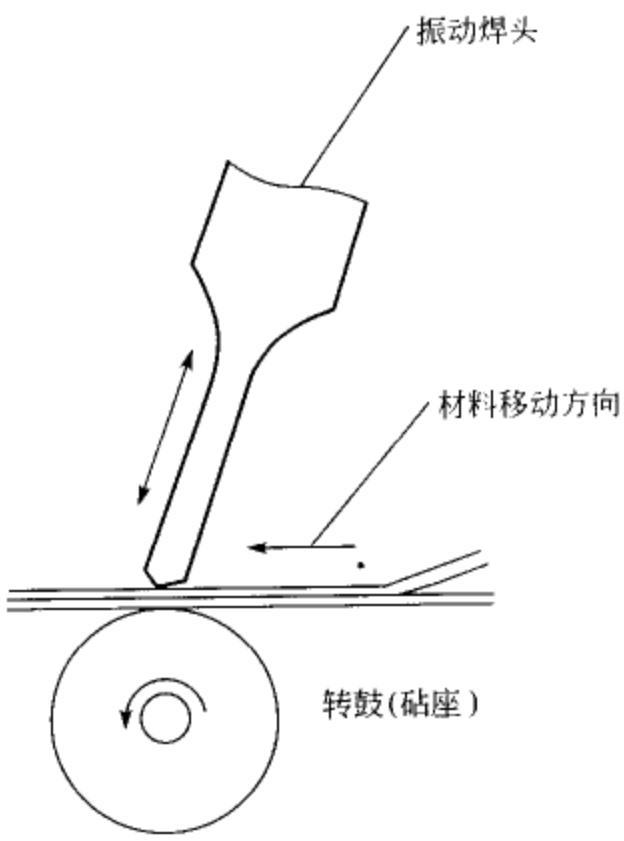


图 19-27　织物和薄膜的密封

织物和薄膜的密封如图 19-27 所示。织物从转鼓砧座和振动头之间通过时实现连接。转鼓表面有凸纹，通常是由钢制成。焊头的机械振动，焊头和转鼓表面之间的压力使得织物在接触点产生摩擦热。转鼓表面的凸纹是通过机加工而成的。由于只在接触点发生连接，所以要求织物的柔软度、透气性、吸收性都要高。薄膜和织物的超声波焊接应用包括：汽车元件、床上用品、地毯、服装、窗帘、鞋类、行李、雨衣、帐篷、工作服和各种纸尿裤。有几种标准的凸轮可以使用，并且常规的凸轮也很容易生产出来。焊接性随着材料的种类和焊接的形式而不同，如表 19-6 所示。因为在焊接织物和薄膜时，超声波焊头直接接近零件，所以表中评定等级不

同于相同材料的刚性元件焊接的评定等级。简单对其他可用超声波焊接的织物和薄膜作如下介绍。

表 19-6 织物和薄膜材料的密封性

材　　料	纺织物	无纺织物	针织品	涂层塑料	层压塑料	薄膜
聚酯	E-G	E	G	E	E	E
尼龙	E-G	E-G	G	G	G	G
聚丙烯	E G	E	G	G	G	E-G
聚乙烯		E		E-G	G	F-P①
PVC 聚氯乙烯	G-P			G-P	G-P	G-P②
丙烯酸酯	F-P					—③
聚氨酯				E-G		E-G④
聚偏二氯乙烯				E-G		
EVA 乙烯-乙酸乙烯共聚物				E-G		
Surlyn 烯烃离子聚合物				E-G		

① 因为聚乙烯塑料薄膜<0.13mm（0.005in）的低摩擦系数，并且在焊接过程中容易断裂和降解，通常认为其焊接性能最差。

② 由于 PVC 片材或织物在生产时使用的添加剂的种类多，所以焊接性很难预知。通常在硬质 PVC 中添加增塑剂来提高柔韧性。当增塑剂的含量增加时，就会抑制 PVC 的超声波焊接性。

③ 丙烯酸酯可以用超声波焊接或切割。由于丙烯酸酯脆度和强度低，通常不能达到令人满意的连续焊接。

④ 当热塑性聚氨酯（聚酯类基底）涂层材料用超声波焊接时，会达到很高的强度。热固性聚氨酯（聚酯类基底）吸收超声波能量会降解。

注：E 最好；G 好；F 一般；P 差。

来源：Branson 超声波公司，Danbury，CT。

（1）纺织物　纺织物是由长丝和纱有规则地交织而成的。线密度、热塑性塑料含量、织纹刚度、厚度的均匀性都会影响焊接性。焊接强度也随纱或长丝的取向而变。

（2）无纺织物　无纺织物是通过机械方法、热学方法或化学方法将纤维、纱或长丝相互结合而成的。厚度的均匀性和热塑性塑料的含量会影响焊接性。纤维的随意取向使其能达到优良的焊接强度。

（3）针织品　针织品是用长丝或纱连续编织而成的。编织样式、热塑性塑料的含量和织物结构的弹性都会影响焊接性。

（4）涂层塑料　当织物和薄膜覆盖在像聚氨酯和聚丙烯等热塑性塑料板上时，就叫做“涂层材料”。基底材料可以是非热塑性塑料，如纸板或涂层板。涂层厚度、涂层材料和基底材料性质都会影响涂层材料的焊接性。

（5）层压塑料　两层或更多层织物或薄膜的任意结合构成了层压塑料。为使层压塑料可以焊接，配合表面的熔融温度必须比其他层的熔融温度低。

（6）薄膜塑料　无论是吹塑、铸塑还是挤出成型，壁厚≤0.25mm（0.010in）热塑性塑料片材叫薄膜塑料。然而为使薄膜塑料可以焊接，薄膜厚度必须至少是0.013mm（0.0005in）。其他影响焊接性的因素是薄膜密度和构成薄膜的聚合物类型。

（7）共混物　对于棉花、亚麻、羊毛、丝绸、人造丝、醋酸酯、三醋酸酯的热

塑性塑料的共混物，当热塑性塑料含量最小为 65%时，可以用超声波焊接。热塑性塑料含量越大，可达到的焊缝强度就越大。

（8）人造纤维　根据纤维构造和焊缝选择，像丙烯腈和其他树脂的共聚物 PVC，可以实现很好的焊接。

通常认为聚酯是超声波焊接应用的最好材料。尼龙 6 和尼龙 66 都可以用超声波焊接，得到强度高的光滑焊缝。对于普通的纺织品应用，聚烯烃（PO）和聚丙烯（PP）比聚乙烯（PE）好一些，大多数聚烯烃（PO）都有很好的超声波焊接特性。另外重量最轻的聚烯烃纤维具有独特的毛细管特性，可以从纤维外表面吸收水分。对于聚酯薄膜的连接，超声波焊接是最好的选择方法。聚碳酸酯薄膜也可以用超声波焊接，一些其他的热塑性塑料很少遇到，所以在表中没有列出。为得到最佳结果，一些薄膜需要加缓冲板。

19.7　超声波焊接设备

19.7.1　基本原理

实现超声波焊接需要 7 个必要的组成部分。包括：机座、驱动设备、转换器、变幅杆、焊头、定位器和控制器。机座是由基础、机架、立柱构成的，是用来支撑执行部件的，执行部件是一个包括转换器、变幅杆和焊头的装置。安装在执行部件上的汽缸运用气体压力控制执行部件，使焊头接近零件。执行部件使焊头降低接触振动零件，施加需用的外力，当焊接完成的时候使焊头退回。驱动器或振荡器提供高频电能给转换器，转换器把电能转换成机械振动。变幅杆也叫增压焊头，可以改变振幅，既能提高又能降低焊头的振幅。焊头可以传递振动给零件。静止零件由定位器夹紧。图 19-28（a）所示为一台完整的超声波焊机。

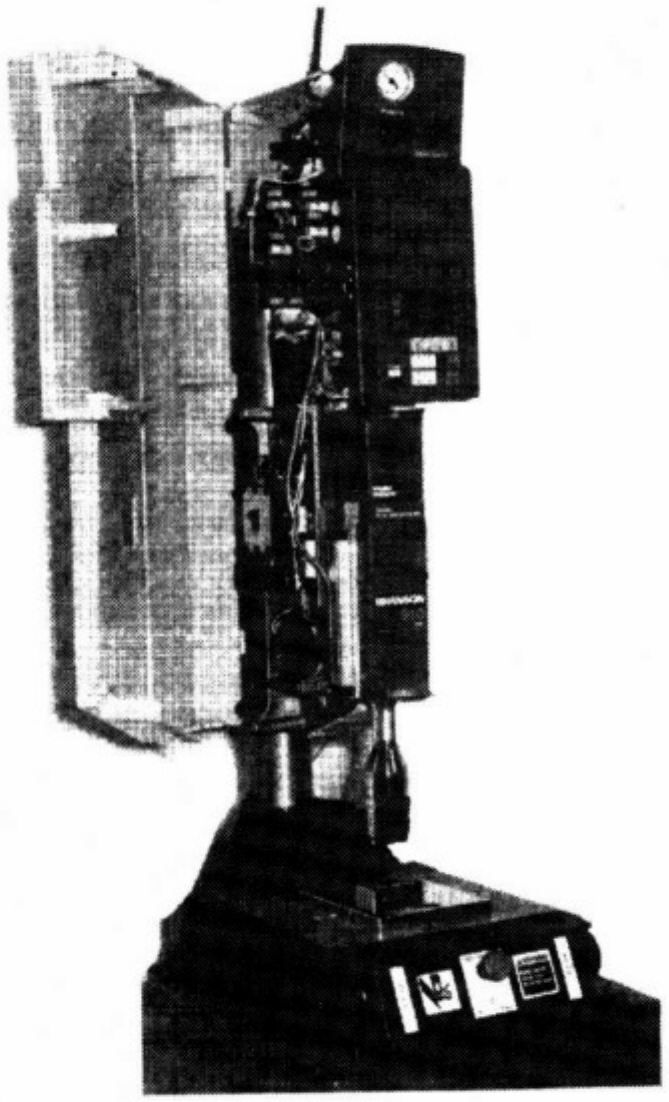
19.7.2　能量发生器

图 19-28（b）所示的能量发生器是单独的元件，但是执行部件安装在机座上。这就是“积木化设计”（典型设计），当执行部件合并到多功能装配流水线上时，也可以购买不带机座的执行部件。然而一些定型设备是执行部件、驱动器和机座一体的。基本上能量发生器把输入电压转换成高频电能传递给转换器。转换器将 120V 或 240V 的标准电压以 50/60Hz 的交流电输入到能量放大器的晶体管，根据焊接频率控制能量放大器的开关（例如，对于 20kHz 的系统，达到 20000 周期/s）（见 19.7.8 节）。将这些高能量信号传递到转换器或变送器，开始振动。供给电压的不稳定成为超声波发生器的一个传统问题，而具有线性载荷调节功能的发生器可以解决这个问题。

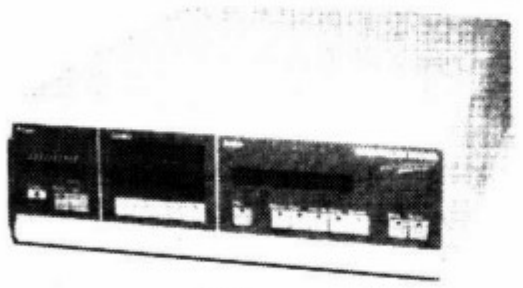
19.7.3　换能器

图 19-28（c）所示的在立柱顶部的换能器从发生器吸收电能转化成高频机械振

动。当对压电式陶瓷元件的反面施加交流电时，它们就随着电极从正极到负极的变化而膨胀和收缩。但是元件本身也随着电流以同样的频率振动，这些陶瓷元件夹在两个金属薄片之间。陶瓷元件是脆性的，如果坠落或受到连续应力，就会震裂。



(a)



(b)



(c)

图 19-28 （a）完整的超声波焊机；（b）独立的能量发生器；
（c）由转换器、变幅杆、焊头组成的“组件”（由顶部、中部、底部各自组成）
（Branson 超声波公司，Danbury，CT 提供）

19.7.4 变幅杆

也叫“增压头”、“阻抗变压器”、“振幅变压器”，变幅杆是半波长共振元件，它的功能是提高或降低振幅，因此，在焊接面能够产生所希望的振动量。如图 19-28（c）所示，变幅杆放置在转换器和焊头中间。为了能改变振幅，变幅杆在它的轴线或节点两侧具有不同的直径的（节点处很少或没有振动）。以小直径末端与焊头相连接的变幅杆可以提高振幅，而以大直径末端与焊头连接的变幅杆则会降低振幅。“偶连杆”也是一种变幅杆，它不改变振幅。

标准变幅杆使转换器输出的振动增加 0.5～2.5 倍（叫做“增量”）。可以制造出增量更大的常规变幅杆，但是必须谨慎使用，以免超出了焊头在不发生断裂情况下抵抗较高振幅的能力。变幅杆是可更换的，焊接过程中使用增量大的变幅杆，焊接结束时就使用增量小的变幅杆。制造变幅杆的典型材料不是铝就是钛。为获得最

佳性能，焊头-变幅杆组合元件在实际制造时需要非常小心谨慎。

19.7.5　焊头

在组件中最后一个是焊头，它是传递振动的调频半波长共振元件，变幅杆对其施加力和零件直接接触。通常它是由钛、合金钢或铝构成的具有半波长的金属元件。因为钛有高强度合金的最好的消声性能，并且是抵抗变形能力最强的焊头材料，所以振幅较高时就要选择钛焊头。钛焊头也是购买和加工费用最高的。钛焊头表面可以涂覆碳化物、镍或聚四氟乙烯提高它们的耐磨性。低振幅的嵌入式焊接时，要求材料具有高浓度磨蚀填充剂，这种情况下使用合金钢焊头就可以了，尽管合金钢焊头损失超声波能量更多。铝制焊头通常简单，价格低，具有低强度合金的最好的消声特性，并且购买和加工最便宜。镀铬、包覆碳化物或阳极氧化的铝焊头可以延长焊头的使用寿命。而且在焊头和零件之间镀铬和镀一层聚乙烯薄膜，通常可以防止由于从焊头到零件的氧化物的转移引起的焊痕。

焊头依焊机的频率膨胀和收缩（例如对于 20kHz 的装置，20000 次/s）。“焊头移动幅度”是指焊头完全伸长和完全收缩时头部的全行程，或者是说“最高点到最低点的距离”。因此，在最高点到最低点距离为 0.13mm（0.005in）之间移动的焊头就会有 0.13mm（0.005in）的焊头移动幅度。对于无定形热塑性塑料标准范围是 0.013～0.064mm（0.0005～0.0025in），结晶型热塑性塑料高达 0.13mm（0.005in）。当焊头移动到峰值中点时静止。焊头表面的移动速率称作“焊头速率”。

焊头与零件之间的配合对振动的高效传递非常重要，配合不正确会使焊接不均匀。焊头磨损、设备不对中、零件变形、孔与孔之间的变化和凸纹都会导致配合不好。为了把振动源放在最有效的位置，就必须降低焊头的表面粗糙度。

焊头的有些截面形状会使得振动增加。像图 19-29（a）中所示的直焊头完全不会使振动增加。在正方形和矩形结构中应使用直焊头。通常直焊头长度尺寸范围在 3～254mm（0.120～10in），最长的焊头大约是 600mm（24in）；但是长于 254mm（10in）的焊头会使焊接不均匀。长于 90mm（3.50in）的焊头用开槽减小横向应力。开槽通过破坏焊头的临界尺寸获得减小横向应力的作用，达到临界尺寸时，焊头会产生不希望出现的侧向运动和进入单独元件中的其他振动形式，这些振动都是边缘运动达到最小的纵向振动。

直焊头也可以制成圆盘形，可制成实体的或中空的。当焊头直径超过 90mm（3.50in）时，也需要开槽减小径向应力。目前已经制造出直径达 280mm（11in）的焊头。

图 19-29（b）所示的指数焊头的振动增量小，还会产生节点应力。指数焊头的渐进的锥度遵循指数曲线，内应力分布面积广。

图 19-29（c）所示的悬索曲面式焊头，它的长度遵循悬索曲面曲线，提供中等的振动增量，是指数焊头和增量高的台阶式焊头的折中方法。它可以应用极限应力

达到适当的高振幅。这种焊头非常适合于立锻和小型零件的焊接。

对于给定的振动输入输出比，台阶式焊头可以提供最高的增量，但是结果产生节点应力也很大［图 19-29（d）］。台阶式焊头分两个部分，每一部分是不同的，但都有均匀的横截面。最大应力发生在两个截面的半径处，当用不合适的变幅杆以过大的振幅驱动时，在半径节点处焊头最有可能失效。用台阶式焊头可以达到9∶1的增量比。

形状和尺寸异常的焊头会抑制半波长焊头接触产生足够的振幅来焊接零件。在这些情况下，复合焊头［图 19-29（e）］也叫组合焊头，就可以解决这个问题。组合焊头能够提供较高的振幅，但不引起过大的应力。几个独立的焊头也叫“焊嘴”，附在一个大的偶联焊头上，就构成了组合焊头。这些焊头结合在一起形成单一的、调频的、全波长焊头，组合焊头表面传递的振幅比一个焊头传递的振幅大得多。偶联焊头是由铝或钛制成的，个别的焊头是由钛或钢制成的。对于振幅或磨损问题大、多次镶嵌、立锻和螺柱焊接应用，就要使用复合焊头。组合焊头有时可以通过提供大的涂层零件避免使用多级焊机。

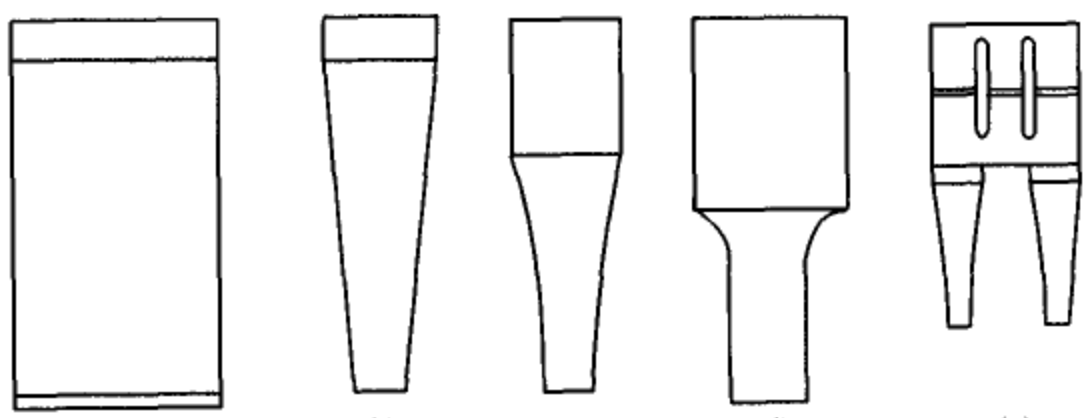


图 19-29　超声波焊头种类

（a）直焊头；（b）指数焊头；

（c）悬索曲面式焊头；（d）台阶式焊头；（e）全波复合焊头

19.7.6　定位器

定位器有两个作用：使配合件和振动件对中、支撑焊接面、抵挡振动件对其施加的压力，并且使超声能量有效的传递。如果上面的零件将焊头的振动传递到焊接面，较低的零件也振动的话，零件就可能产生划痕，也会由于摩擦减小引起所需要的热量增加。

图 19-30（a）描述了能量导向部分接头的定位器。注意定位器设计刚刚达到较低零件上部接头的下面。剪切接头的定位器［图 19-30（b）］伸到零件的最高点提供支撑，防止侧面偏转。然而其他的因素，如零件的材料，零件的几何尺寸和它的对称性，壁厚也会影响定位器的设计。生产要求如容易装载和迅速释放机理也会限定定位器的设计。

对于刚性、无定形热塑性塑料使用的定位器是由（至少部分）回弹材料组成，

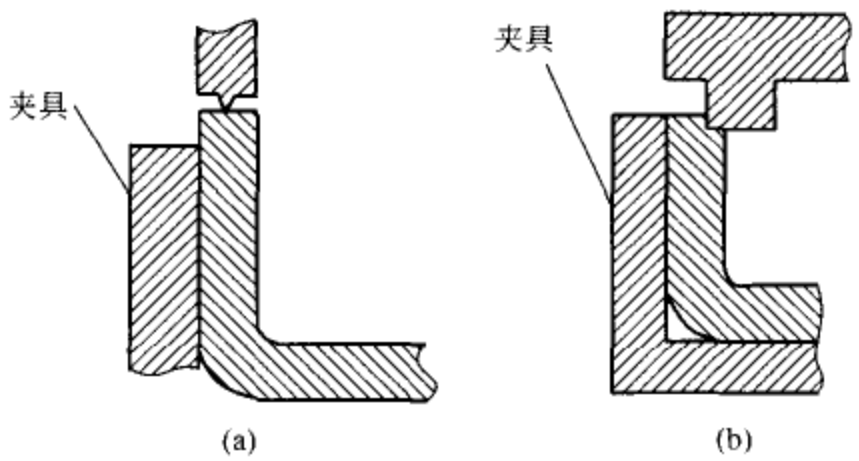


图 19-30　超声波夹具

(a) 能量导向部分接头；(b) 剪切接头

如浇铸或铸塑聚氨酯、氯丁橡胶、软木或聚四氟乙烯。这些材料会吸收更多的能量而减少焊痕和焊缝不一致，而且费用比刚性定位器要低。当定位器支撑的零件是由韧性很好的材料像结晶型热塑性塑料构成的时候，就要使用刚性定位器，如铝或不锈钢。如果对界面支撑不够，当通过过多的振动或焊头接触不均匀时，就会导致焊缝不均匀。对于镶嵌、铆焊、压花和点焊也可以使用刚性定位器。有时刚性定位器可以镀铬，以增加耐磨性和防止零件产生印痕。小型定位器模型有时也可由木材、环氧树脂、石膏制成。

19.7.7　控制器

需要控制的过程要素包括：焊接距离、焊接时间、焊接能量、焊接压力、保压时间、焊接组件增量（转换器、变幅杆和焊头）和驱动力。价格便宜的超声焊机基本上都有一套控制系统，仅仅能控制时间要素。操纵焊机并使其下降到零件处，按照预先调整的时间发生振动。这些要素都很重要，因为不合适的焊接速度、焊接时间和焊接压力会损坏内部元件，使焊缝不均匀，或者焊接过量或未焊透。保压一段时间后，执行部件退回。定时器可以控制焊接前、焊接中、焊接后的时间。其他的要素如行程、压力需要手动控制。这种“开路循环”系统描述了的超声焊机的基本控制要求，它非常适用于要求不是非常苛刻的场合。

微处理器控制设备提供很多焊接参数的调节程序。根据反馈信息对预定的参数进行微调，这样的系统叫“闭路循环”系统（实际上，它们只是部分闭路循环装置）。操作能力和操作模式是根据特定的设备制造商而定的。对于这种设备，可以对预先确定的可用界限设置五种操作模式。

(1) 连续的超声波　随着受控触发系统允许连续超声波学的使用，可以设置超声波的开关。

(2) 距离　既要控制焊缝熔融的预定高度，还要控制熔融高度。

(3) 能量　预先调节能量等级并保持不变来实现合理的装配。

(4) 时间　时间仍然是主要的控制因素，使用微处理器设备，调节相同的时间

要素。

(5) 时间/能量补偿　当设定控制器优先调节能量时，如果再预定时间内能量没有达到最低水平，时间会自动延长。

设备也会给操作者提供反馈信息，这些反馈信息可以用于装配条件的精度调节。一旦确定了一套合理的参数，它就储存在存储器内，为下一次的装配工作节省时间。另外可以创造“操作窗口”，当给定的焊接装配没有在这个范围内时，就会触发报警器。除了可控变量，显示器也会监控其他的几个参数。把控制器与打印机连接，就能得到每一个零件的参数，并完整地打印输出数据，作为统计分析使用。这些数据可以用来监控焊接过程，确定什么时候停止控制。微处理器控制超声波焊机的持续发展，使得过程的控制能力产生了飞跃性进步，并使难以焊接的工程热塑性塑料焊接成功。

老式的设备具有“仿形”的能力，就是在焊接过程中改变振幅和焊接力。近期对聚碳酸酯和聚酰胺所作的研究表明了用这种精致的仿形方法可以使其在性能上有重大改进。振幅仿形提高了焊接强度，但是没有降低聚合物的降解。焊接力仿形技术能降低28%～43%的生产周期，而且可以使用相对低模量的材料（如尼龙）提高焊接强度。振幅和焊接力仿形技术的结合能够提高焊接强度和降低生产周期。

19.7.8　设备频率

事实上，原先所有的超声波焊机都以20kHz的频率运转。当人们意识到20kHz设备的缺点时，就需要从事一些改进工作，于是开发了以35～40kHz的高频率运转的设备。这些高频装置体积较小，而且防噪声，它们动作柔和，在材料承受反作用力和在更高速焊接时具有更好的零件保护作用。转换器、变幅杆和焊头很小，因为35kHz或40kHz的波长大约是20kHz波长的一半。这样就可以把零件放置的彼此靠近，因此这种装置适合可利用空间小的自动化设备。使机构部分运动，不怎么需要整体移动。设备费用大约可以降低10%。

超声波高音是零件自身振动产生的噪声。因为35kHz或40kHz设备的高频振幅大约是20kHz的一半，传递到零件的能量也相应地减少，同时发出噪声。而且焊接时，使零件运动平缓，这减小了循环应力，使焊缝周围变热，损坏其他精密电子元件。然而随着能量减少，穿过零件传递超声波能量的能力也受到限制。这样对于35～40kHz的设备，焊头到焊接面的距离限制在大约6.35mm(0.25in)以内。

降低强度和增强控制传递机械振动的能力会改进过程控制和焊接质量。减小零件应力、材料的降解、结构发声器和更好的装配使能量耗散降低。对于熔融特性较好的材料，如丙烯酸酯、聚氯乙烯和玻璃纤维填充热塑性塑料，如果改进能量的控制就会缩短焊接周期。对于铆焊和点焊，使用高频设备会更有效。

使用40kHz的设备时有严格的尺寸限制。40kHz的焊头尺寸大约是20kHz的焊头尺寸的一半，因此，可以焊接的最大零件尺寸同样受限制。将尺寸较小的焊头

的各个单元进行机械连接就能焊接较大的焊接件。然而，可以焊接的零件的尺寸也受到高频设备 1000W 的最大功率的限制（由于转换器内晶体较小）。比较起来，20kHz 的焊机有 5000W 的最大功率（大多数焊机功率只有 1000W）。对于 20kHz 的焊机功率要求较大，使得能耗和操作费用升高。

除了这部分讨论的 20kHz、35kHz 或 40kHz 三种主要的频率，也可以使用频率为 15kHz，30kHz 和 70kHz 的焊机，并且对于特定应用能得到最佳结果。低频设备允许大振幅、大零件或长距离焊接。高频设备在焊接脆性零件时更精确，而且不会损坏附近的区域和元件，界于低、高频中间的设备可获得优化的性能。

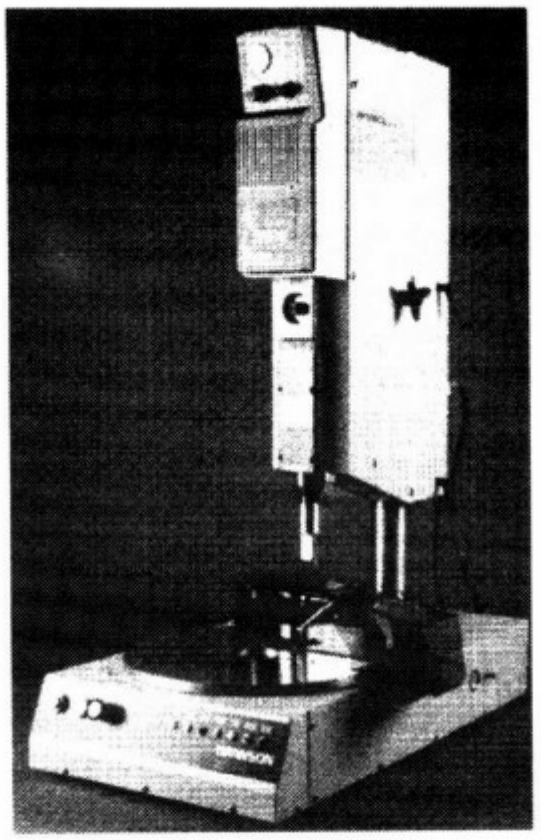


图 19-31　旋转的超声波焊接系统
（Branson 超声波公司，
Danbury，CT 提供）

19.7.9　超声波焊接的自动化

超声波焊接本身需要的时间很短，以致大部分时间浪费在零件的处理上。实际上可以使用旋转平台减少时间的损失，如图 19-31 所示。也可以把组合焊头结合起来应用到自动化生产线上。

19.8　资料来源

Branson Ultrasonics Corp., 41 Eagle Rd., P.O. Box 1961, Danbury, CT 06813-1961, (203) 796-0400, fax (203) 796-9838, www.bransonultrasonics.com

Dukane, 2900 Dukane Drive, St. Charles, IL 60174, (630) 584-2300, fax (630) 584-3162, www.dukane.com/us

Forward Technology, 260 Jenks Ave., Cokato, MN 55321, (320) 286-2578, fax (320) 286-2467, www.forwardtech.com

Herrmann Ultrasonics, Inc., 620 Estes Ave., Schaumburg, IL 60193, (847) 985-7344, fax (847) 985-1470, www.herrmannultrasonics.com

Manufacturing Technology Solutions, 14150 Simone Dr., Shelby Township, MI 48315, (586) 802-0033, fax (586) 802-0034, www.mts-telsonic.com

Mastersonics, Inc., 12877 Industrial Dr., Granger, IN 46530, (219) 277-0210, fax (219) 277-0210

Mecasonic, Div. Forward Technology Industries, Inc., 13500 County Rd. 6, Minneapolis, MN 55441, (763) 559-1785, fax (763) 559-3929, www.mecasonic.com

MS Plastic Welders, Inc., 37732 Hills Tech Dr., Farmington Hills, MI 48331, (248) 553-8330, fax (248) 553-8490, www.msplasticwelders.com

Sonic Ease, Inc., 210 Maple Pl., P.O. Box 87, Keyport, NJ 07735, (908) 739-9230, fax (908) 739-4540

Sonics & Materials Inc., 53 Church Hill Rd., Newtown, CT 06470, (800) 745-1105, (203) 270-4600, fax (203) 270-4610, www.sonics.biz

Sonitek - Sonic & Thermal Technologies, Inc., 84 Research Dr., Milford, CT 06460, (203) 878-9321, fax (203) 878-6786, www.sonitek.com

Sonobond Ultrasonics, Inc., 1191 McDermott Dr., West Chester, PA 19380, (800) 323-1269, (610) 696-4710, fax (610) 692-0674, www.sonobondultrasonic.com

Ultra Sonic Seal Co., 200 Turner Industrial Way, Aston, PA 19014, (610) 497-5150, fax (610) 497-5195, www.ultrasonicseal.com

第20章 振动焊接

20.1 优点和缺点

20.1.1 与超声波焊接比较

振动焊接可以描述为这样一种方法，由于焊件的尺寸的限制，在超声波焊接中断的地方可使用振动焊接。在原理上与超声波焊接有些相似。因此有很多相同的特性。另外，振动焊接设备的制造厂家也生产超声波焊接设备，两种方法可以互相补充。然而，由于振动焊接设备的费用相当大，通常只有不适于超声波焊接的场合才使用振动焊接。两种技术之间也有着明显的差别。

两种方法都可以通过高频振动产生热量，但是以不同的方式和不同的频率消耗这些热量。超声波焊接是垂直的，频率范围 15000～72000Hz，通过分子摩擦产生热量。振动焊接是水平的，振动频率在 120～300Hz 之间，当移动焊件，通过表面摩擦产生热量。振动焊接的焊件可以比超声波焊接的焊件大，并且不需要能量导向结构，能量导向结构大大限制了超声波焊件的加工方法，使其必须是由注塑法制得。实际上，所有由热塑性塑料构成的焊件都可以用振动焊接方法焊接；然而，热固性塑料焊件却不能用振动焊接法焊接。

热板（熔）焊接也可以与振动焊接相媲美，因为它的焊接强度和材料相容性几乎相等。热熔焊接设备费用低，有广泛的尺寸和形状适用范围。但与振动焊接比较，热熔焊接的焊接时间长、设备与夹具成本高、能耗大和维修费用高。

20.1.2 振动焊接的优点

（1）没有附加材料　振动焊接不使用附加材料，如紧固件、嵌件、电磁感应预成型件、胶黏剂或溶剂。因此，费用比其他的方法低，循环利用的费用也低。

（2）表面处理要求低　振动焊接对于表面质量要求相对不敏感。

（3）装配容易　振动焊接只要求两个焊件夹持在振动焊接机上。

（4）其他焊件的嵌入　在两个焊件之间，假使其他元件放置在不影响焊接的地方，可以利用振动焊接嵌入。

（5）持久性　振动焊接产生永久装配，不损坏焊件就不能使焊件拆开。在受轻载作用下，尽管在其他的位置可能发生蠕变效应、冷流、应力松弛和其他的环境限

制，但是当焊接接头产生后，在焊接区域不存在这些效应。一旦焊接完成，使用中可只考虑材料的限制，就不必顾及热膨胀系数差和吸湿性。在理想的条件下，可以使接头强度达到焊件周围的强度。

（6）内部连接　在某些情况下，当焊接遇到板的内壁时可以用振动焊接。

（7）形状自由　只要在要求的范围内一个水平的焊接面，振动焊接可以处理任意形状的焊件。振动焊接不取决于塑料传递振动的质量，因此振动焊接可以焊接超声波不能焊接的焊件，适合焊接那些易损坏、具有波状外形、焊件上有孔或者焊接表面不适合放置超声波焊头的焊件。

（8）密封　振动焊接可以产生密封。

（9）能量效率　相对于其他焊接方法，振动焊接能量效率高。就是说没有过多的热量需要从工作场所排出。

（10）净化空气　不像胶黏剂和溶剂连接系统，不需要通风设备来排除有毒的气体。

（11）立即处理　不需要等焊件冷却或胶黏剂或溶剂固化就可以直接进行其他的操作。

（12）生产率高　根据应用，每一次操作只作单一焊接装配，不需要考虑焊件的处理时间，所以振动焊接可以达到 4～30 个/min 焊件的高生产率。在每一次操作中焊接多个零件还可能达到更高的效率。

（13）焊件制备方法自由　实际上所有由热塑性塑料制得的焊件都可以用振动焊接。

（14）焊接大型焊件的能力　目前已具有能够焊接达 1016mm×2032mm（40in×80in）焊件的设备。1524mm（60in）的汽车保险杠已经成功地实现了振动焊接。

（15）控制精确　振动焊接对过程变量控制精确。

（16）迅速更换　振动焊接设备可以迅速地把焊件转移到下一循环的焊接。

（17）控制容易　这种方法很容易控制，并且不会因为过热而引起表面降解。

20.1.3　振动焊接的缺点

（1）形状要求　焊接表面必须是光滑的水平面。

（2）损坏电子元件　振动可以损坏某些电子元件或它们之间的连接。

（3）定位　定位销或其他的设备不能模塑到焊件中，两个焊件之间的调整要通过两个焊件的最后剩余空间来确定。

（4）材料限制　振动焊接的材料必须是可相容的热塑性塑料。

（5）噪声问题　振动焊接产生噪声（90～95dB），通常人们必须采取噪声屏蔽。这些措施可以使噪声降低到 80dB。

（6）设备费用　振动焊机比热板焊机费用高，并且也比超声波焊机或旋转焊机费用大得多，要限制使用，对大型焊件或构型不好的焊件应使用价格低廉的技术。

20.2　振动焊接过程

通常露营手册中描述了通过将两片干木放在一起摩擦产生火焰的方法。作者在使用这项技术上从没有成功过。然而，这个特别的创造者 Boy Scout 意识到问题是他在摩擦两片干木的时候，从没有达到每秒 120 个循环的速度。照自然状态，事实上这是在振动焊接之后的一个概念：压力加上摩擦共同产生热量。然而在振动焊接中，通常放在一起摩擦的焊件是由塑料构成的。

焊接周期以把焊件装到机器的下合模板上定位器或阴槽模板上开始计算，如图 20-1（a）所示。配合焊件放置在较低焊件的上面。接着把下合模板提升到振动板位置，在上部定位器处停止，如图 20-1（b）所示。定位器紧靠配合件安装，固定其位置。受到可控载荷的作用，两个焊件紧紧夹在一起，振动板上的焊件以频率为 120～300Hz，0.75～5.0mm（0.030～0.200in）的振幅振动，两个焊件之间的表面产生摩擦热。压力是很重要的，如果没有压力，就不会产生热量。焊接压力低可导致循环次数增加。通过改变焊接过程中的压力，可以使过程控制达到最优化。

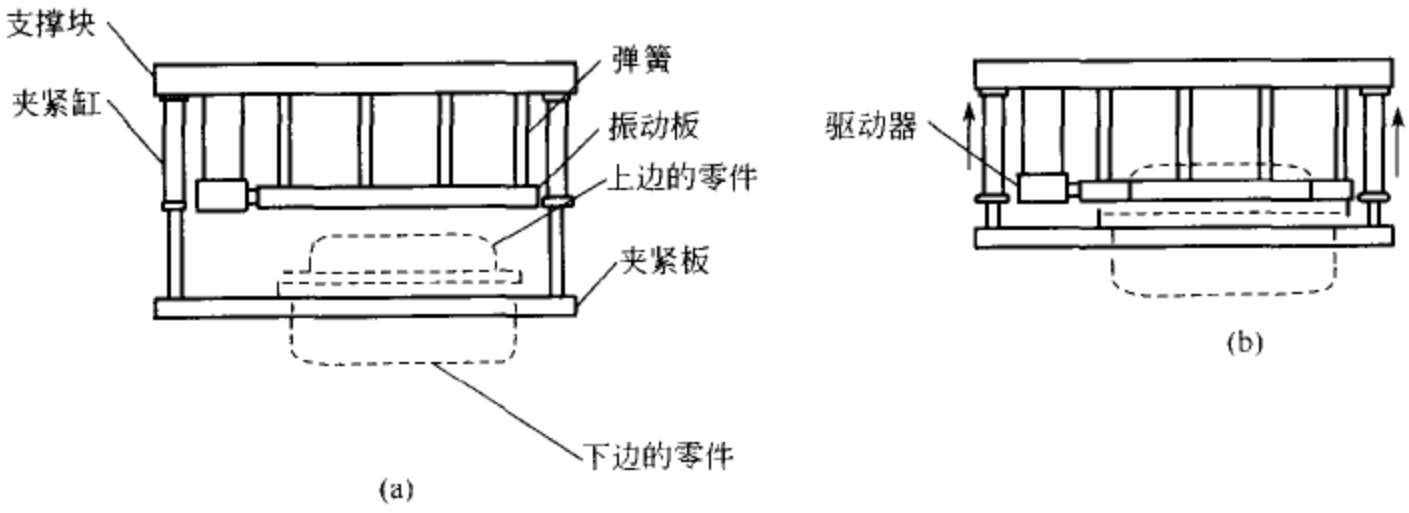


图 20-1　振动焊接工艺

（a）机器打开；（b）振动位置

振动焊接基本上有四个阶段。在第一阶段，刚性元件的振动产生库仑摩擦，在焊接面产生热量。在这阶段不发生渗透（焊件相对移动）。当温度达到玻璃化温度时，黏流发生。第二阶段开始，由于熔融聚合物的黏性损耗产生热量，聚合物的侧流使得发生渗透。在第三阶段，熔融聚合物和流体达到一个稳定的状态，在此阶段，由于溢料相当于产生热量，穿过焊件热量损失。在这一点，熔体侧向流动，并且焊接渗透随时间线性增加。这段时间是独立的，并且需要 0.5～10s 的时间，大约是焊接周期的 2/3。要求达到稳定状态的渗透随着焊件壁厚的增加而增加，而随焊接压力的减小而降低。当在焊接面产生足够的热量使材料熔融的时候，振动停止，第四阶段开始。因为合模压力使熔融聚合物流动直到固化，焊接渗透是连续的。当它们足够冷却可以处理时，把焊件夹紧在最终想要的位置上，这个阶段需要

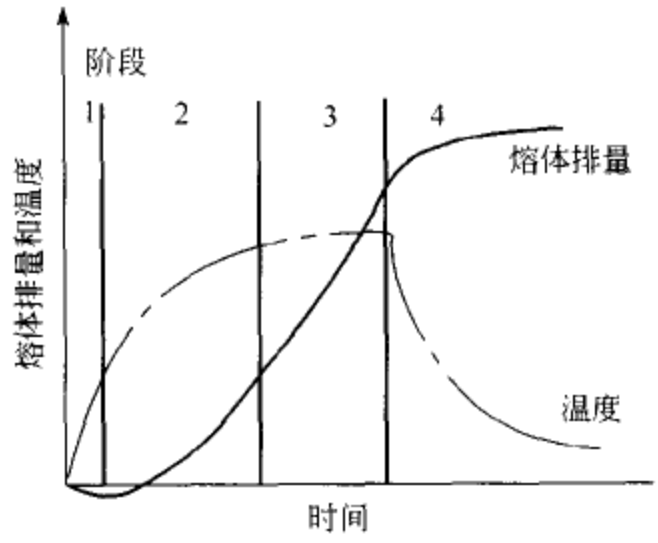


图 20-2 四个焊接阶段的熔体排量和熔融温度的关系
(PotentemH 和 Uebbing，M 的《振动焊接工艺的计算机辅助设计》，SPE ANTEC 技术论文，1992)

0.5～5s 的时间。合模是关键的，因为没有控制焊件侧向定位的方法，就会超出振动板的极限位置。当冷却阶段结束时，下合模板降低到初始的位置，一个完整的装配就结束了。设备开始准备新的循环。

四个阶段的熔体排量和熔融温度的关系如图 20-2 所示。焊接参数保持不变，焊接时间随着壁厚的增加而增加。根据焊件的构型，移走的材料在 0.38～0.75mm (0.015～0.030in)。需要移走的材料越少，循环时间越短，因为材料越多就需要越多的时间加热和冷却。要求移走的材料的数量受到焊接表面的平坦度的影响。翘曲越大，需要移走的材料越多，需要的时间越长。然而，由于这种方法适用于大中型焊件，用于安装和卸载机器的时间比其他方法长。

20.2.1 线性振动焊接

振动可以用于线性和旋转模式。线性焊接是目前最老式的、最普通的使用方法，很多机器使用线性焊接。线性焊接价格最合理，焊接的尺寸范围也比较广。焊件的移动方式取决于焊件的形状和焊件的刚性。驱动力施加在外部钝边上，如图 20-3（a）所示；也可以施加在焊件的凹坑处，如图 20-3（b）所示。内筋肋或中间壁的焊接要求使用如图 20-3（c）所示的定位方法，这种方法将压力施加在内部接头上。

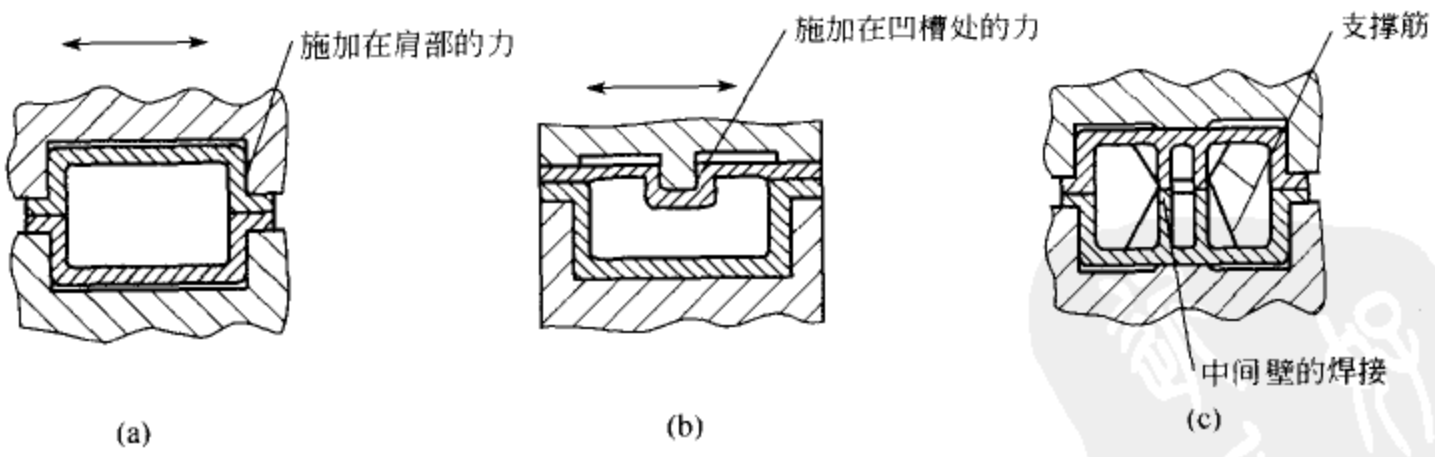


图 20-3 线性振动焊接的定位
(a) 外肩定位；(b) 凹陷定位；(c) 多个内筋定位

20.2.2 轨道振动焊接

轨道振动焊接是主要的旋转振动焊接方式，它的开创填补了中型机器市场的空

缺，可以处理焊件的直径达到 350mm（12in），而且可以接受其他普通振动焊接不能处理的焊件。这项技术是使两块板相对旋转的焊接，如图 20-4 所示。然而线性振动焊接最好以共振频率操作，轨道振动焊接以非共振频率操作。不像线性振动焊接，旋转振动焊接速率不均匀，因为旋转振动焊接必须在每一个操作循环结束时，接下来开始下一操作循环，轨道振动焊接是连续的。这降低了焊接时间，减少了能量的需求。要求的焊接振幅也降低，这样减少了焊接运动要求的空间，并且提供了更好的溢料控制。对韧性焊件影响小，提高焊缝强度。但是，轨道振动焊接属于敏感性应用，对于很多产品不能使用。

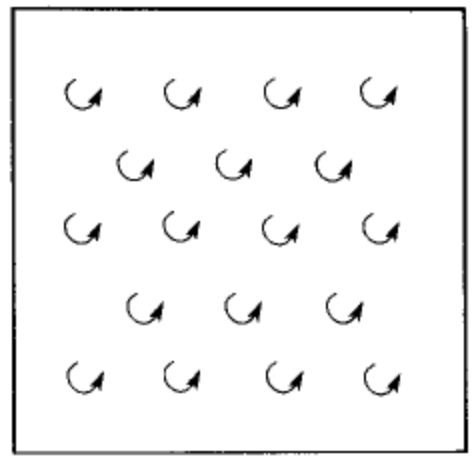


图 20-4　轨道焊接

20.2.3　角振动焊接

角振动焊接围绕一个支点作旋转运动。据称这项技术最适合圆形焊件和那些有相同半径的焊接面的焊件。然而根据作者的调查，目前还没有发现商业化生产的角振动焊机。

20.3　材料

事实上，所有的热塑性塑料都可以用于振动焊接。那样考虑的话，其焊接方法与热板焊接及旋转焊接相似。振动焊接尤其适用于结晶型热塑性塑料，而它们很难用超声波焊接。表 20-1 中间一列很清楚地列出了普通的热塑性塑料的振动焊接特性的等级。当使用超声波焊接时，无定形树脂比结晶树脂更容易焊接。然而，结晶热塑性塑料用振动焊接比超声波焊接更容易。摩擦因数低的材料要求更高的振动频率才能得到最佳的焊接质量。使用振动焊接方法已经成功地实现了热塑性塑料橡胶和弹性体的焊接。耐高温的工程热塑性塑料已经成功地实现了振动焊接。表格的最右一列表明了可以使用振动焊接的不同材料。当使用超声波焊接的时候，不同的材料的焊接受到无定形热塑性塑料的限制。

填充树脂和增强树脂很容易用振动焊接。只是聚合物焊接的时候，焊接强度就是树脂本身的强度，接头强度随着给定的填充剂百分含量的增加逐渐降低。特别指出，玻璃纤维可能会在焊缝中心伸出焊接表面。相反的，振动焊接受脱模剂的影响比热板焊接和超声波焊接都要小，而且受到水分含量的影响也稍微小一些，但是吸湿性高的聚合物（像尼龙）仍然需要谨慎焊接。由于水分的存在会导致形成水蒸气，从而在接头处产生气泡。焊件的预干燥可以抑制气泡的形成，缩短焊接时间。焊接压力高也可以防止焊接过程中产生气泡。尼龙 6 在相对湿度为 50%时，焊接强度降低为干燥时的一半。尼龙 66 稍微好一些，降低不到 1/3。

表 20-1 热塑性塑料的焊接性能

材　　料	振动焊接性能	具有相容性的异性材料
ABS	优异	ABS/PC、丙烯酸、SAN、PEI、PET、PPO、PC
ABS-聚碳酸酯合金	优异	ABS、PC、丙烯酸
聚甲醛	优异	
丙烯酸	优异	ABS、ABS-PC、丙烯酸类多元聚合物、P-AM-IM、PC、SAN
丙烯酸类多元聚合物	优异	ABS、丙烯酸、PS、SAN
ASA	一般	
丁二烯-苯乙烯	良好	
纤维素类塑料	优异	
氟聚合物	一般	
离子键聚合物	良好	
液晶聚合物	良好	
尼龙	优异	
PBT-聚碳酸酯合金	优异	PC
聚酰胺	一般～良好	
聚酰胺-酰亚胺	良好	
聚芳酯	优异	
聚碳酸酯	优异	ABS、丙烯酸、PPO、PC-PBT、PBT、聚砜、聚醚酰亚胺、PPO/PA
聚碳酸酯-聚酯合金	优异	
聚酯(PET、PBT)	优异	ABS、PC、PEI
聚醚醚酮(PEEK)	良好	
聚醚酰亚胺	优异	聚碳酸酯、ABS、PBT
聚醚砜	优异	
聚乙烯	良好～一般	
聚甲基戊烯	优异	
聚苯醚(改性)	优异～一般	PS、丙烯酸、PC、SAN、PPO-PA、ABS
聚苯醚-聚酰胺	优异	PPO、PC
聚亚苯基硫醚	良好	
聚丙烯	优异	
聚苯乙烯		
通用级	优异	PPO、丙烯酸类多元聚合物、SAN
橡胶改性级	优异	
聚砜	优异	
PVC(硬质)	良好	
SAN-NAS-ASA	优良	ABS、丙烯酸、丙烯酸类多元聚合物、PPO、PS

Dr V. K. Stokes 在振动焊接领域已经作了很多拓展工作。在 1995 年 5 月，他根据实验公布了表 20-2 中的数据。这些数据代表了 Stokes 完成的 9 种材料的组合后的强度占原始强度（1.0＝100%）的比例和失效标称应变。表格左上角处的 ABS 与 ABS 组合解释如下：使用的 ABS 的拉伸强度为 44MPa（6.4psi），失效应变为 2.2%。组合后焊接疲劳标称应变为 2.1%，强度达到原始强度的 0.9 即 39.6MPa（0.9×44＝39.6）。当使用两种不同的材料时，要按性能较弱的选择比例。

表 20-2　9 种热塑性塑料振动焊接可达到的强度[①]

材料的焊接强度及失效应变[②]		材料								
		ABS 44(6.4) 2.2%	ASA 32.5(4.7) 2.9%	M-PPO 45.5(6.6) 2.5%	M-PPO/PA 58(8.5) >18%	PC 68(9.9) 6%	PBT 65(9.5) 3.5%	PC/ABS 60(8.7) 4.5%	PC/PBT 50(7.3)	PEI 119(17.3) 6%
材料	ABS 44(6.4) 2.2%	0.9 2.1%		0.76 1.45%		0.83 1.7%	0.8 1.6%	0.85[③] 1.8%		0.65 1.14%
	ASA 32.5(4.7) 2.9%		0.46 0.9%							
	M-PPO 45.5(6.6) 2.5%	0.76 1.45%		1.0 2.4%	0.22 0.35%	0.24 0.4%				0
	M-PPO/PA 58(8.5) >18%			0.22 0.35%	1.0 >10%	0.29 0.75%				
	PC 68(9.9) 6%	0.83 1.7%		0.24 0.4%	0.29 0.75%	1.0 6%	1.0 1.7%	0.7[③] 1.8%	1.0 4.9%	0.95 2.75%
	PBT 65(9.5) 3.5%	0.8 1.6%				1.0 1.7%	0.96 3.5%			0.95 4.1%
	PC/ABS 60(8.7) 4.5%	0.85[③] 1.8%				0.7[④] 1.8%		0.85 2.3%		
	PC/PBT 50.(7.3)					1.0 4.9%			1.0 >15%	
	PEI 119(17.3) 6%	0.65 1.14%				0.95 2.75%	0.95 4.1%			1.0[④] 6%

① 注意，在室温下通过对 6.3mm（0.25in）厚的焊接样本，以每秒 10^{-2} 的应变速率做拉伸试验可以得到这些数据。大多数数据是在焊接频率 120Hz 时测得的。

② 材料栏中第 1 行为焊接强度，单位为 MPa（psi）；第 2 行为失效应变，单位为%（已有）。

③ 通过对 3.2mm（0.125in）厚的样本进行实验所得的数据。

④ 仅通过高频（250Hz 和 400Hz）焊接才能达到得高的强度。

来源：V. K. Stokes，基于热塑性塑料振动焊接的焊接强度数据，SPE ANTEC 技术论文，1995。

20.4　振动焊接零件的设计

20.4.1　基本考虑

如果两个焊件需要振动焊接，在焊接板上不允许有任何物质妨碍焊件的相对运动。凸台或壁厚的改变会妨碍焊件的相对运动。而且在焊接过程中要对接头进行支撑。最后，焊接表面的绝对最小宽度不能小于冲程或振幅的 80%。

应该注意，因为使用振幅低达 0.75～1.5mm（0.030～0.060in）的高频振动

(范围在 250～300Hz 之间) 可以实现焊接，已经成功地焊接了壁厚低达 0.75mm (0.030in) 的薄壁热成型焊件。如果振幅较低，就要求设计紧配合，如图 20-5 (a) 和图 20-5 (b) 所示，这些更适合小型焊件。凹槽中每侧透镜距其边缘的间隙仅为 0.64mm (0.025in)。

对于偏离水平面角度达 15°的接头可以使用振动焊接，如图 20-5 (c) 所示。注意这里描述的焊件是交叉构造。研究表明，使用两个方向可以达到很高的焊接强度。

(1) 注意，在室温下通过对 6.3mm (0.25in) 的焊接样本，以 10^{-2}/s 的应变率做拉伸试验可以得到这些数据。大多数数据是在焊接频率 120Hz 时测得的。

(2) 通过对 3.2mm (0.125in) 的样本进行实验所得的数据。

(3) 仅通过高频 (250～400Hz) 焊接就可以达到很高的强度。

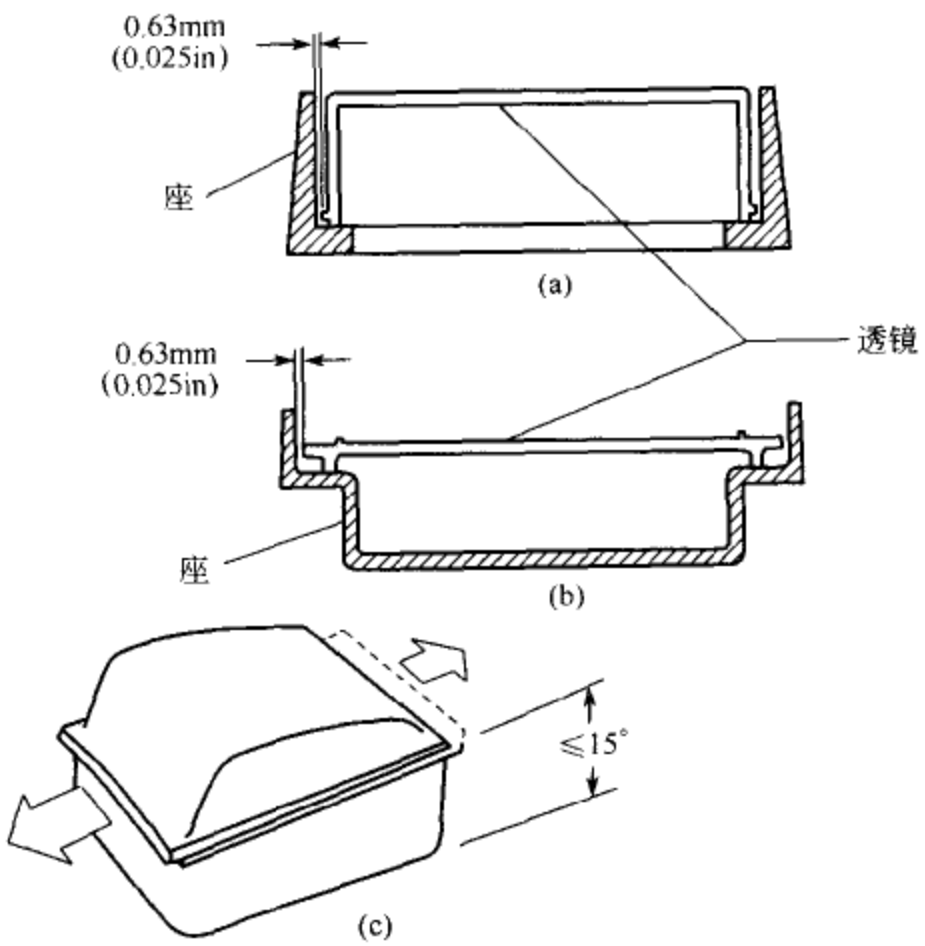


图 20-5　振动焊接的零件设计

(a) 平面安装汽车反光镜；

(b) 在凹槽内安装精密配合透镜；(c) 允许偏离水平面 15°

20.4.2　线性振动焊接接头设计

图 20-6 所示的基本的对接接头是振动焊接最早使用的接头形式。图 20-6 (a) 所示的法兰设计可以提供更大的焊接面积和更好的夹具，而且允许使压力的作用更靠近接头。对于非常薄的焊件和那些未支撑的焊件，可以通过在法兰的边缘添加加强筋提高强度，如图 20-6 (b) 所示。对于热成型焊件，增加一个水平回流槽结构会有更好的经济效益，如图 20-6 (c) 所示，因此模切焊件的费用并不高。

当焊件熔融 0.38～0.75mm (0.015～0.030in) 时，在焊接表面周围产生大量

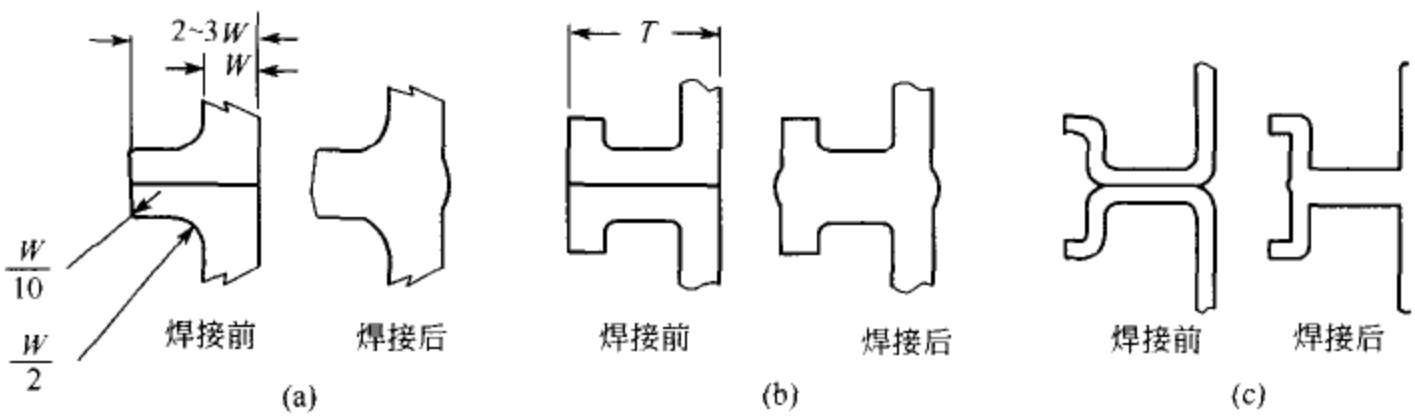


图 20-6　振动焊接的对接接头设计

（a）法兰式对接接头；（b）筋板法兰式对接接头（T—焊接表面，$T_{min}=0.8M$；M—行程）；（c）带有回流槽结构的热成型对接接头

的溢料。某种程度上，这可以通过振幅和频率来控制。当振幅较高时，材料移动速度快，就会沿着焊接面形成一个的很好的溢料边缘。使用基本的对接接头，仅通过频率高和振幅小有时就可以实现可接受的溢料水平。振幅越小就会导致受热面积越小，产生的溢料就越少。

当上面描述的方法都不适用的时候，就要求使用带有溢料井或熔坑的接头。带有溢料井的接头如图 20-7 所示。溢料井的尺寸应该至少比计算的溢料量大 30%，如图 20-7（a）所示的设计。

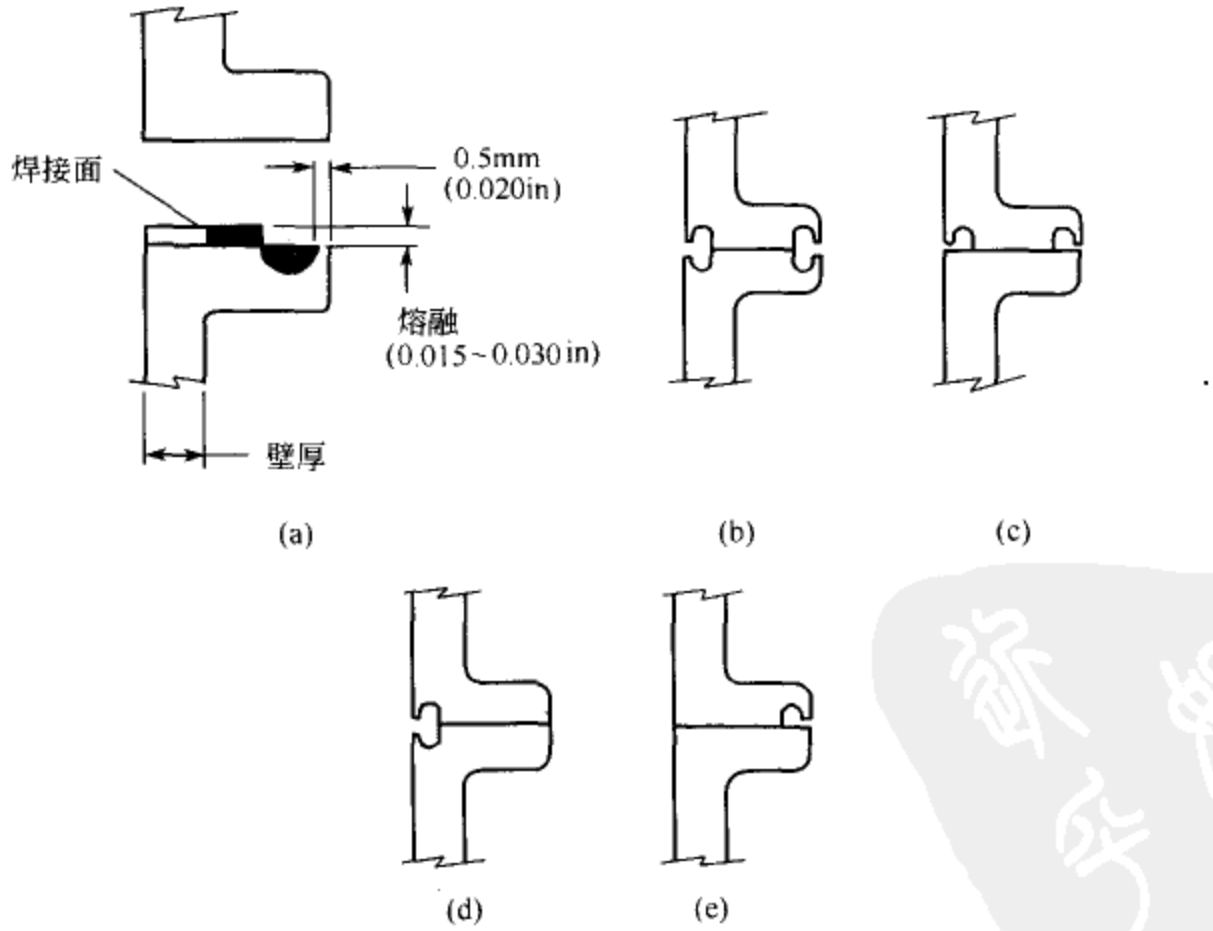


图 20-7　带有溢料井（熔炕）的接头

（a）溢料井详图；（b）内侧-外侧，对面；

（c）内侧-外侧，单面；（d）内侧，双面；（e）外侧，单面

当有更高的外观要求时，就可以使用图 20-8（a）所示的榫槽接头设计。这种榫槽接头随着焊接方法的类型改变，对于高频振动必须提供的最小间隙为 0.75mm（0.030in），低频振动最小间隙为 1.5mm（0.060in）。这样，在焊接之前通常要对焊件进行定位；然而它不能提供非常精确的位置。这种描述表明了在焊接位置的装配仍然要恰当地使用工具。图 20-8 中 1 所示为 2.50mm（0.100in）的标称壁厚，提供足够的刚性，确保振动穿过焊件。榫 2 和焊件有相同的壁厚，比想要的接头要长 0.50～0.75mm（0.020～0.030in）。焊接区 3 是焊接材料壁厚的一半。成型后榫的高度 4 应该等于榫的厚度，榫和焊口端部的间隙 5 必须足够使振动发生。榫的每一侧有溢料 6，这是榫多余的部分，不能成为焊件的一部分。

简单的对接接头不能对翘曲进行补偿。注意图 20-8（a）中 7 所示的角接头部分。夹持耳柄或反向法兰，是锁紧工具，有助于克服变形。如果不存在这个细节部分，在榫上面的定位工具 8 可以刻成凹槽来支撑焊件。这可以保持焊完的焊件形状完好。接头顶部的 30°角有助于把焊件拉到正确的位置。

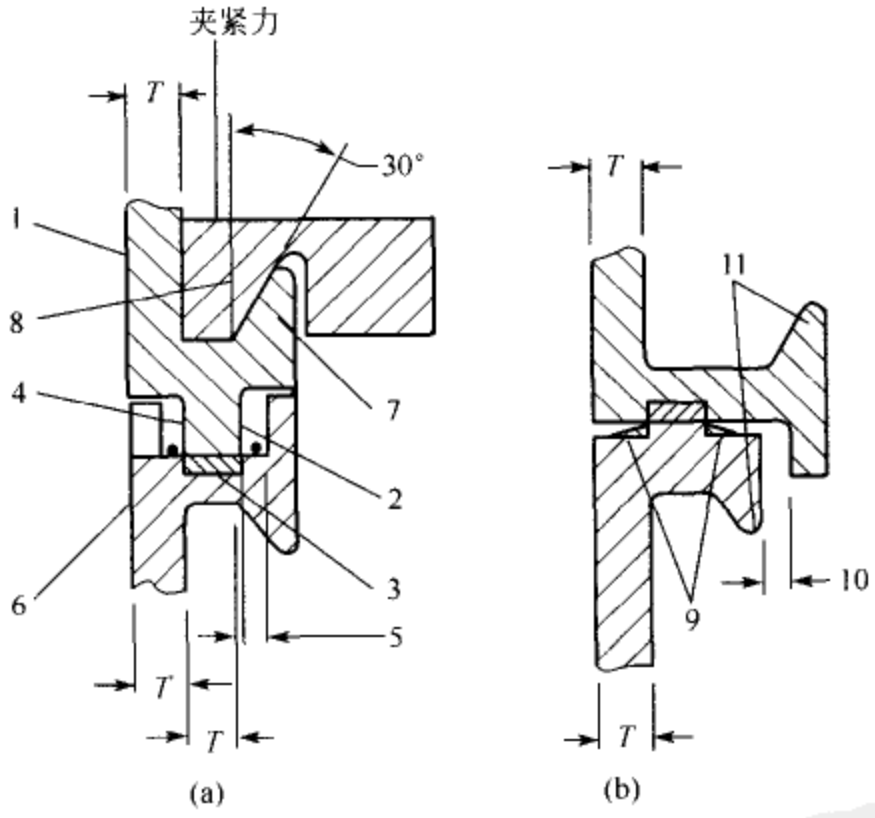


图 20-8　榫槽接头

（a）基本的接头夹紧力；（b）边缘榫槽接头

1　标称壁厚；2—榫；3　焊接区；4—成型后榫的高度；5—榫和焊口端部的间隙；6,9—溢料；7　角接头；8　定位工具；10　间隙；11—夹持耳柄

图 20-8（b）所示是一种裙座接头。9 所示为溢料，被裙座掩盖。要求 1.30mm（0.05in）的间隙（图中 10）。图中 11 所示为夹持耳柄。像图 20-9（a）所示的内部接头，外壁不开孔就不能接近支撑法兰的中心部分。可以采取如图 20-9（b）双壁的解决方法或图 20-9（c）的补强板。

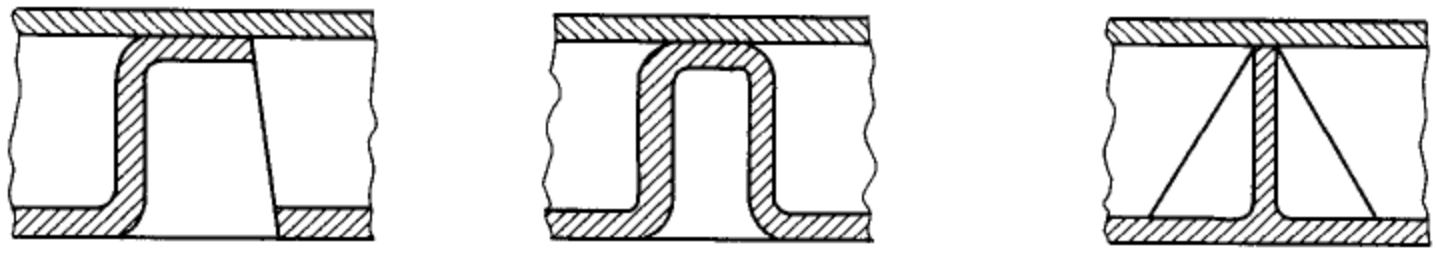


图 20-9　振动焊接的内部接头
（a）中心壁焊件；（b）双壁焊件；
（c）使用补强板的加筋焊件

20.5　设备

市场上那些有竞争力的设备型式具有各种构造；图 20-10 所示的这种振动焊机是由 5 个基本的部分组成的。

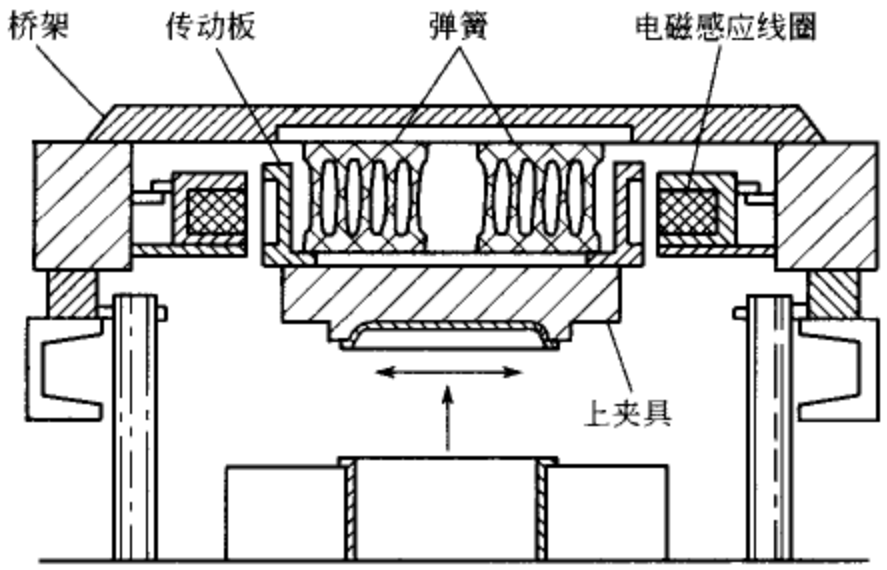


图 20-10　基本的振动焊机

（1）振荡器　振荡器是由振动板、弹簧和两个电磁感应元件组成的。振动板悬挂在弹簧上，也是共振元件，在每一次焊接完成之后，振动板返回重新调整。当电磁感应元件给予电压的时候，振动板夹住要振动的焊件，并使其振动。一些设备是通过机械或液压方式使振动板振动。

（2）夹具　夹持装置有一个下夹持板，通过液压油缸来操作夹持板，把它提升到与振动板相碰，提供焊接压力。夹紧载荷是变化的。

（3）定位装置　较低焊件在定位器上静止，定位器是为了每一次应用而定制的。用于振动焊接的定位器通常是一些简单的切削成的块状零件，与焊件的轮廓相匹配，是由铝或者是焊件本身材料铸塑聚氨酯构成的。对于高耐磨应用，有时使用镀铬钢定位器。这些定位器很容易替换，在很短的时间内就可以从一次焊接转换到下一次焊接。有些定位器被制造成一个焊件放在上方，另一个焊件放在下方。在每一次循环中整个平面都可以用来焊接；因此多个焊件也可以焊接，而且每一次操作

都可以达到最优化。

（4）控制装置　振动焊机有 6 个可控变量。包括焊接时间、保压时间、焊接压力、振幅、频率和电压。为了迅速改变焊接工作，使得快速取消许多预先的工作程序，可以利用闭环可编程控制器。能够提供多重和可变压力的设备现在已经广泛的使用。

（5）机架　机架用来支撑其他元件。很多机器随着外壳作为包装的一部分来出售。

20.6 资料来源

Bielomatik, Inc., 55397 Lyon Industrial Dr., New Hudson, MI 48165, (248) 446-9910, fax (248) 446-6244, www.bielomatikinc.com
Branson Plastic Joining Inc., 1001 Lehigh Station Road, Henrietta, NY 14467-9389, (716) 359-3100, fax (716) 359-1189
Branson Ultrasonics Corp., 41 Eagle Rd., P.O. Box 1961, Danbury, CT 06813-1961, (203) 796-0400, fax (203) 796-9838, www.bransonultrasonics.com
Dukane, 2900 Dukane Drive, St. Charles, IL 60174, (630) 584-2300, fax (630) 584-3162, www.dukane.com/us
Forward Technology, 260 Jenks Ave., Cokato, MN 55321, (320) 286-2578, fax (320) 286-2467, www.forwardtech.com
Manufacturing Technology Solutions, 14150 Simone Dr., Shelby Township, MI 48315, (586) 802-0033, fax (586) 802-0034, www.mts-telsonic.com
Mecasonic, Div. Forward Technology Industries, Inc., 13500 County Rd. 6, Minneapolis, MN 55441, (763) 559-1785, Fax (763) 559-3929, www.mecasonic.com
Sonics & Materials Inc., 53 Church Hill Rd., Newtown, CT 06470, (800) 745-1105, (203) 270-4600, fax (203) 270-4610, www.sonics.biz
Ultra Sonic Seal Co., 200 Turner Industrial Way, Aston, PA 19014, (610) 497.5150, fax (610) 497-5195, www.ultrasonicseal.com

第21章　激光焊接

21.1　优点和缺点

21.1.1　无接触、表面、直接、对接激光焊接

激光焊接是使用激光作为能量来源的红外线焊接。在使用激光之前是运用卤素和反光灯的红外线焊接，这最早出现在20世纪70年代。早期的这些系统没有比其他焊接技术显示出更突出的优点，并且在定位器处会造成热量累积，临界焦点，并且限制灯的寿命。在20世纪90年代早期，激光作为光源而引进，到20世纪末期发现了有很多应用。

可以使激光束直接射到吸收激光的塑料表面，使塑料熔化实现焊接，也可以使用透明的激光材料传输激光束，并且在焊接面处使用吸收激光的材料。热熔焊接方法也叫做“无接触焊接”、“表面焊接”、“直接焊接”或“对接焊接”，和热板焊接非常相似，激光的使用代替了热板。实际上，以热板焊机作为基础已经制造出一些激光焊接的机器。在两个零件之间放置侧向反射镜，如图21-1所示。通过吸收激光束，激光使每一个零件的焊接表面的塑料熔融。和热板焊接一样，把反射镜从两个零件之间移走，零件就会被压到一起。这种方法对两个零件的同时焊接有好处，并且可以掩盖焊缝处的任何降解材料。缺点是激光焊接是一种速度相对较慢的焊接方法，焊后留下很大的焊蚕，并且此种方法的成本很高。

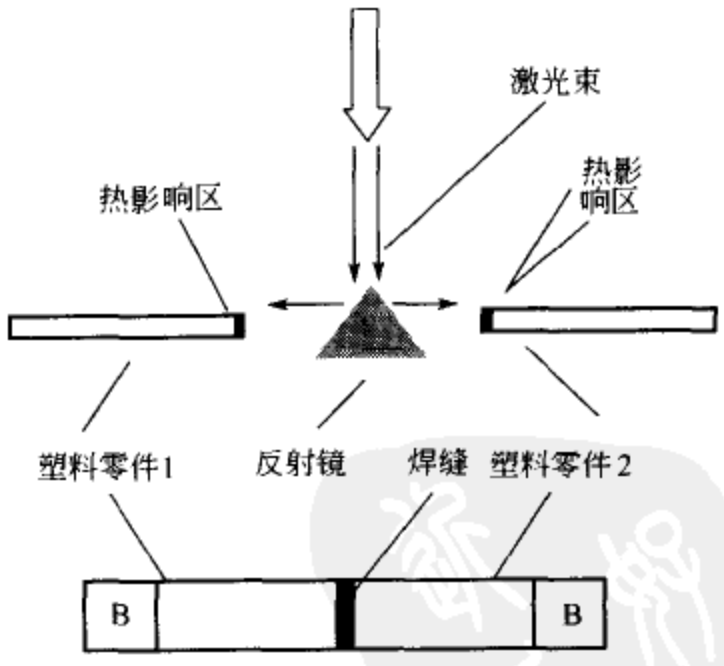


图21-1　无接触激光焊接
（SAE提供）

当要焊接的零件是由相同的热塑性塑料组成的时候，使用无接触红外线焊接最容易实现。两个零件以相同的速率、相同的温度发生熔融，并且熔融的材料相同。不同塑料的焊接也可以使用这种方法，焊接成功的程度不一样。热学性能的差异将会导致一个零件与另一个零件以不同的温度熔融，而且熔融深度也不同。因此，在熔融表面的聚合物的内部扩散受到限制，降低接头强度。两种塑料的热学性能差异越大，焊接强度就越差。有些聚合物彼此不能焊接。

这种焊接方法最初使用的是红外灯，现在对于有些场合仍然使用，如管道的对接焊（平对焊）。红外灯有很多优点：成本低、可产生大量光源、维修费用低、效率高、功率密度高、适合中长波应用，对使用的塑料的类型不敏感。缺点是红外灯寿命短，在定位器处产生热累积。另外，激光束很难调焦，这是最大的缺点。现在，对于表面焊接和直接焊接已经用激光代替了红外灯。表面焊接和直接焊接设备既要求有激光束分离设备，又要求对每一个零件发射激光，价格非常昂贵。因此，仅仅当其他的焊接技术都不适用的时候才使用激光焊接。

21.1.2 激光铆焊

激光能也可以用于熔融塑料螺柱，塑料螺柱用模具制得。激光束穿过透明的模具射到要焊接的塑料螺柱上，直到聚合物足够软化成型。然后用模具压下螺柱，形成铆焊的镦头。为了避免由于模具的磨损而引起的光线传播损失，塑料螺柱不能由玻璃纤维填充树脂制成。激光铆焊要求在第二阶段时使用金属模具。这种类型的设备由 Extol 公司（Extol. Inc）提供。

21.1.3 透射传输红外线激光焊接

透射传输红外线激光焊接（TTIr）是主要的激光焊接方法，在这部分重点讨论。由于其独特的性能，工程师对这种方法非常感兴趣。因此下面的讨论只适用于投射传输红外线激光焊接。

由于激光焊接方法非常适合零件的焊接，激光焊接比其他任意一种焊接方法得到的焊缝更接近完美。某种程度上，激光焊接是一种独特的无接触热塑性塑料焊接方法，在最终焊缝上不会留下焊蚕和焊渣。它是所有焊接方法中最精确的，而且热影响区非常小。在凹槽处也可以用激光焊接，这是其他焊接方法不能达到的。不幸的是，尽管和其他的焊接设备相比有很强的竞争力，但是设备费用仍然很高。激光焊接在费用上确实不能与其他焊接方法相比，但是利用激光焊接方法独特性质的组合可以为工程师实现其他焊接方法不可能达到的质量水平。

21.1.4 透射传输激光焊接的优点

（1）无接触焊接　激光焊接使用光滑玻璃板施加很小的力就可以压住零件，通常≤100lb，不需要接触焊接设备。因此，根本不会损坏零件表面，而且没有焊接压力可以损坏零件。

（2）皮下焊接　焊接发生在两个零件之间的表面。对于透明零件，几乎看不到焊缝，对于不透明的零件就完全看不到焊缝。焊缝就在零件的表面下或更深处。

（3）焊接精确　激光焊接的尺寸和位置都是非常精确的，没有振动传递到零件上。对于要求在激光和焊缝之间有相对运动的方法，就是激光运动。因此，激光焊接是最精确的焊接方法。

（4）热影响区最小　焊接点非常小，热影响区十分受限制。因此可以焊接非常

接近其他元件的零件而不影响这些元件，从而允许焊接事先放好的敏感性和脆性零件的部件装配。

另外，由于热变形和热降解极其受限制，就会减小残余应力。

(5) 不同塑料的焊接能力　满足要求的不同塑料彼此可以焊接。

(6) 降低成型费用　激光焊接不需要专门的接头形式，因此降低了使用工具的费用。

(7) 没有飞边　在激光焊接中，焊缝完全封闭，在大多数情况下不会产生飞边，不需要去除。也不会留下焊渣。

(8) 弹性体和不同材料的焊接　激光焊接有焊接弹性体的独特功能。也可以焊接 PEEK，LCP（液态结晶聚合物），COC（环烯共聚物）和 PEI（聚醚酰亚胺）。

(9) 韧性材料和韧性材料的焊接　除了焊接弹性体，激光焊接也可以用于薄膜之间的焊接。

(10) 韧性材料和刚性材料的焊接　薄膜和弹性体与挤塑和注塑成型的刚性零件也可以焊接。

(11) 没有附加材料　对于两种材料的焊接，其中一种是激光透明材料，另一种是吸收激光材料，焊接时不需要使用附加的材料，如扣件、嵌入件、电磁预制品、添加剂或溶剂。因此，除了最初的资本投资，激光焊接比那些使用附加材料的焊接方法费用低，并且拆卸后重复利用也不贵。

(12) 表面制备要求低　可以使用特殊的激光焊接技术，对表面制备差和表面误差达到±1mm (0.039in) 的零件进行焊接。然而，克服表面误差就会导致飞边产生。

(13) 其他元件的嵌入　在两个零件之间可以嵌入其他的元件进行激光焊接，并且这些元件可以放在比其他方法更靠近焊缝的位置。

(14) 永久性　激光焊接产生永久性装配，除非使用激光使焊接表面再熔化损坏零件才能重新焊接。如果其他的元件在受轻载作用下，尽管在别的地方也可能发生蠕变效应、冷流、应力松弛和其他的环境限制，但是当焊接接头产生时，在焊接面不会存在这些效应。使用中可只考虑材料的限制，一旦零件焊在一起，就不必考虑热膨胀差和吸湿性差别。在理想条件下，焊缝强度可以达到周围零件的强度。

(15) 内部接头　假如对于激光束有一条清晰的通道，就可以使用激光焊接内部接头。

(16) 形状自由　实际上，激光可以焊接任意形状的零件，只要水平的连接面在要求的高度范围内，激光就可以用于任何形状零件的焊接。根据使用的激光焊接的种类，允许的高度变化范围是 1～40mm (0.039～1.575in)。如果不要求连续焊缝，可利用的垂直自由度就更大一些。激光焊接并不取决于塑料传递振动的质量。因此，对于太脆弱、具有特定的断面形状、没有很适合超声波焊头表面的零件，使用超声波不能焊接就可以使用激光焊接。

(17) 密封焊　激光焊接可以产生气密焊缝。

(18) 能量效率　和热板焊接技术相比，激光焊接能量效率非常高。也就是指没有过多的热量需要从工作场所排除。

(19) 净化气体　不像胶黏剂和溶剂连接系统，激光焊接不会产生自由颗粒，所以不需要通风设备来排除有毒气体。

(20) 立即处理　不需要等待零件冷却和胶黏剂或溶剂固化就可以立刻对零件进行其他的操作。

(21) 生产效率高　根据应用，对于小型零件，如果每一次操作只作单一焊接装配，可以不考虑零件的处理时间，所以激光焊接可以达到 30～60 个零件/min 的高生产率，如果每次焊接多个零件，也可能达到更高的效率。大型零件需要的焊接时间长，然而这种技术仍然是比较具有竞争力的焊接方法。

(22) 方法自由　实际上每一种由热塑性塑料制得的零件都可以用激光焊接。

(23) 焊接小型零件的能力　已经使用激光焊接了 2～5mm (0.079～0.197in) 的零件。

(24) 焊接大型零件的能力　有些设备可以焊接达 250～400mm (9.843～15.748in) 的零件。如果不要求连续焊缝，大型零件也可以用激光焊接。

(25) 转换迅速　除了同时焊接技术，激光焊接设备可以迅速的以此焊接转移到下一循环的焊接。

21.1.5　透射传输激光焊接的缺点

(1) 材料限制　材料的可利用性受限制是当前激光焊接最大的缺点。激光焊接的材料受相容性热塑性塑料的限制，其中一种是激光透明材料，另一种吸收激光能。涂层被应用在焊接表面的最新发展，已经大大地扩展了材料的可行范围，但是平均费用增加。

(2) 形状限制　在编写本书时，尽管有一些方法能够处理高度上的变化，大多数成功的应用都是光滑水平焊接表面。

(3) 设备费用　将激光焊接的功率消耗和控制要求程度与其他焊接设备相比，激光焊接设备的费用要比其他焊接方法的设备大得多。从设备的规模上看，后者也是最常用的设备，当要求零件具有特殊性质或其他焊接方法不能实现时，就可以选择激光焊接技术。

21.2　激光焊接步骤

21.2.1　激光

实际上，激光这个术语是受激辐射式光频放大器（激光器）的缩写词。基本上，光源射到反射面上被反射，穿过“激光介质”。通过这种方式使光源反复加强

产生强烈的光束集中。

通常有三种类型的激光用于激光焊接：二极管激光、二氧化碳（CO_2）激光、钕钇-铝-石榴石激光（Nd：YAG）。如图 21-2 所示，二极管和 Nd：YAG 激光在接近红外线波长的范围内工作，而二氧化碳激光在红外线波长范围内起作用。图中曲线说明了典型的热塑性塑料的光吸收特性。高能二极管激光（HPDL）发出的激光波长范围在 600～1600nm 之间，但是，用于激光焊接的正常范围是 800～980nm。使用的波长取决于二极管的晶体结构。

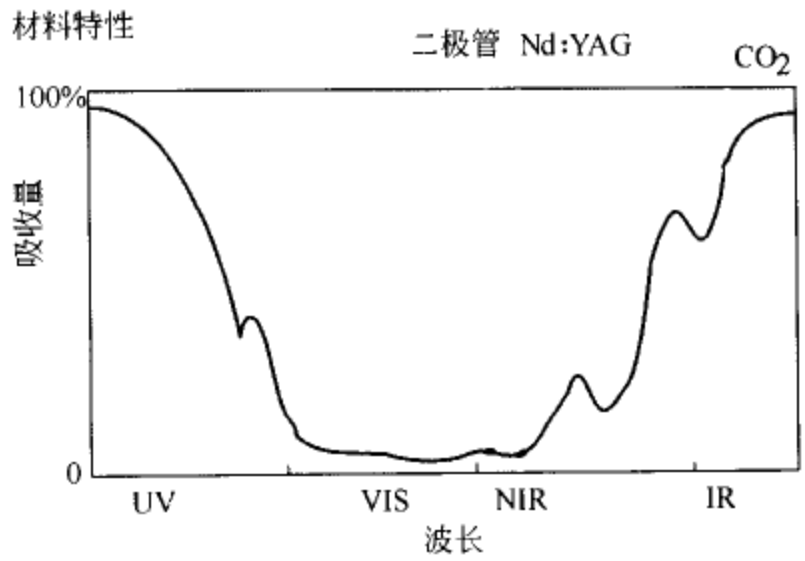


图 21-2　典型的热塑性塑料的吸收性-波长曲线

（Leister 技术提供）

如表 21-1 所示，二极管激光具有几种特性使它们成为很多塑料应用的首选激光。维修费用低、效率高（30%～50%），是用于激光焊接的最小的激光。这些激光一侧由镓（Ga）、铟（In）和铝（Al）组成，另一侧由磷（P）、砷（As）和锑（Sb）组成。

表 21-1　焊接塑料使用的激光

项　　目	CO_2 激光	Nd:YAG 激光	高能二极管激光
活性介质的类型	气体	固态	半导体
波长/nm	10600	1064	约 800～980
最大输出功率/kW	≤50	≤5	≥0.06，<1（标准组件）
光源强度/(W/cm^2)	10^6～10^8	10^5～10^8	10^3～10^5
效率/%	5～10	3～5（8DP①）	30～50
尺寸（头部）/(cm^3/W)	约 200	约 20～50	约 1
价格/($/W)	70	180（270DP①）	70
维修时间间隔/h	1000	800（灯）	免维修

① DP 为二极管抽运 Nd：YAG 激光。

来源：Leister 技术。

钕钇-铝-石榴石激光的工作波长为 1060nm，是塑料应用第二常使用的激光。二氧化碳激光的操作波长为 10600nm，对于大多数塑料焊接是不切合实际的。因此，激光焊接很少使用二氧化碳激光。对于厚壁零件，使用二氧化碳激光效果也不是很好，但是二氧化碳激光通常用于塑料薄膜的焊接。根据每瓦所需要的费用来看，二氧化碳激光几乎和二极管激光相同，但是它们与零件的距离远大于二极管激光，需要大量的空间。二氧化碳激光的效率在 5%～10%之间，但是输出功率比二极管激光大。

因为二极管激光比 Nd：YAG 激光效率更高，更简洁，费用更低，所以在很多

应用中已经取代了 Nd：YAG 激光，二极管光束可以通过光纤传输，并且它们更适合几何尺寸不同的零件。Nd：YAG 激光的效率在 3%～5%之间。用于塑料焊接的激光功率通常小于 100W。

有时激光也用于焊接金属。然而为了达到金属较高的熔融温度，金属的激光焊接要求聚集高功率的激光束，功率范围 150～1000W。另外，在金属焊接中通常要穿过材料挖一个螺栓孔，这在塑料焊接中要避免出现，目的是为防止聚合物的降解。在有些情况下，也可能实现金属和塑料的焊接。

21.2.2 基本的透射传输激光焊接方法

“透射传输”焊接这个术语来源于这样一个事实，激光穿过激光透明的上部零件到达吸收激光的下部零件的表面，如图 21-3 所示。在塑料的激光焊接过程中包括三个阶段：①加热阶段，激光能使吸收激光的聚合物的界面加热，零件膨胀，导致焊接压力升高。光束聚集，激光能量达到最大值，焊接面开始熔化形成一个熔融区。②熔融段开始，零件逐渐膨胀引起额外的体积增大，压力也相应升高。在这一点，有少量的焊接发生。③焊接阶段，产生足够的熔融材料，产生真正的焊接。

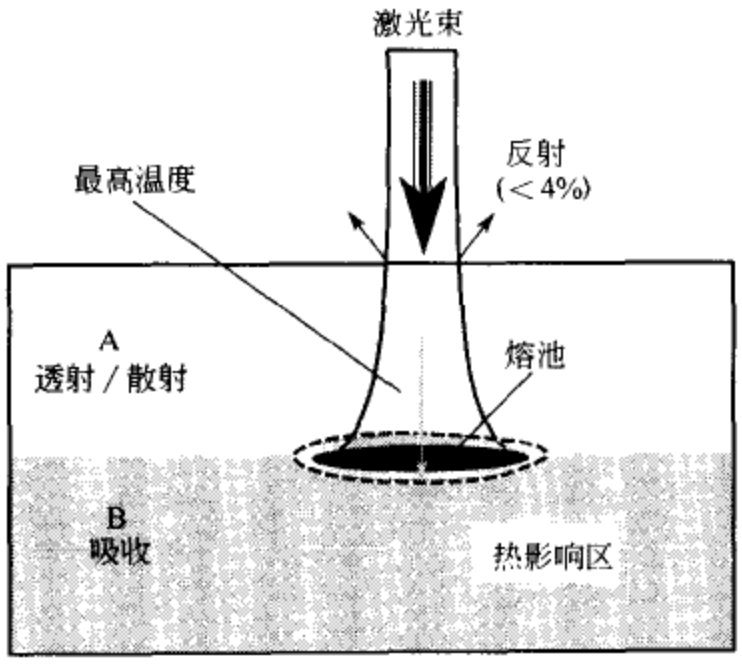


图 21-3 透射传输激光焊接
(SAE 提供)

塑料的熔融深度为 0.2mm (0.008in)，并且两个零件的熔融深度几乎相同。焊缝深度越大，中间冷却的速度越慢。这将导致内应力和残余应力升高。冷却阶段时间越长，焊蚕就会变得越宽。如果冷却时间太长，材料也会发生降解。通过材料的膨胀产生的压力将熔融区压在一起，就可实现混合，这受到外加夹紧力的限制，通常为 20～100lb。必须提供足够的外压，减小由于收缩和翘曲产生的间隙。随着材料的冷却，零件就焊在一起了。

当使用热板焊接和熔融焊接的时候，熔融的表面有凹槽。在这种情况下，凹槽的尺寸在 0.13～1mm (0.005～0.039in) 之间，但是很少应用。对于大多数应用，典型的焊接时间是 1～8s，大型零件时间更长一些。

在给定的波长下，两个零件必须有不同的光学特性。上部激光透明零件必须尽可能传递更多的波长，而下面的激光吸收零件必须尽可能多地吸收薄层内的激光。因为在焊接面吸收大量的激光能，这会使更多的能量有效结合。如果顶部零件吸收的能量太高，所需的能量就增加，并且在底部零件足够软化能够焊接之前，就可能会引起顶部零件降解。过多的反射也会导致焊接需要的能量增加。

对于激光在塑料焊接中的使用，有四种不同的方法：点焊或绕焊、准同时焊接、同时发生的直线焊缝焊接、Leister 专利方法面罩焊接。

21.2.3　点焊或轮廓线焊接

点焊或轮廓线焊接是所有的激光焊接方法中功能最强的。之所以这样描述，是因为点焊利用点能量，根据预先设计的路径，沿着焊接表面的轮廓线进行焊接。对于点焊，可以事先计划任意路径，这使得这种方法的可行性相当大，这是这种技术的一个主要优点。第二个优点是设备可以迅速从一个工序转向另一个工序，使得点焊或绕焊非常适合短周期或“瞬时”焊接。另外，对于这种类型的焊接，焊蚕宽度很容易修改，并且能量要求很低（通常＜60W，但是可以达到 500W）。能量需求可以通过焊蚕的尺寸、激光的速度、激光的类型和光学系统的效率来确定。设备操作者可以根据应用的需要，通过控制输入的安培数调整功率。

对于二极管激光，当激光光束从二极管发射出的时候就开始发散。然后使用反射镜和透镜将激光束对准，成形，聚焦到一点。光纤把激光传到工作区，在那又通过透镜重新调焦，引向焊接面。光点的尺寸在 0.6mm 到几毫米之间变化；但是对于大多数应用，推荐使用 1～2mm 的圆点。光点的尺寸是由透镜的焦距和透镜到焊接面的距离确定的，如图 21-4 所示。因此焊缝和光点的尺寸可以通过改变透镜的焦点和焊接面之间的距离来调整。如果激光的输出功率保持不变，光点的直径增加将会导致强度降低，这是因为能量的传递面积变大。为了使熔融的塑料足够而发生焊接，焊接的时间就需要更长一些。可以有选择地增加激光的输出功率。到达焊缝区的能量是通过激光供应的能量减去光学偶联效率的损失、激光的传播速度和光点的尺寸来确定的。

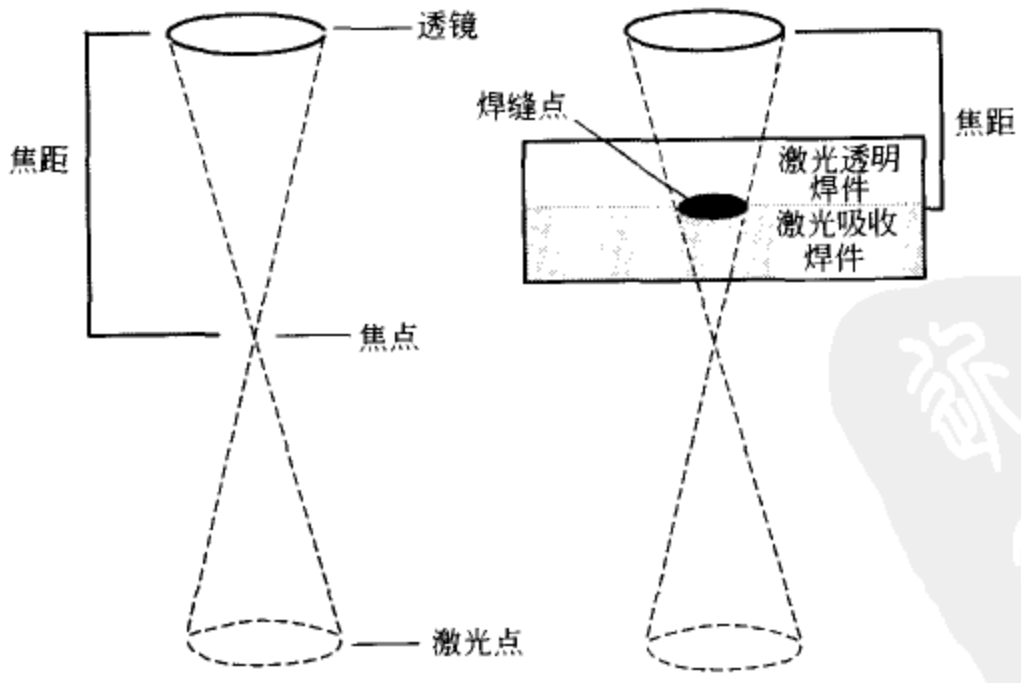


图 21-4　焊缝点的尺寸确定

（Leister 技术提供）

焊蚕的宽度要比光点的直径大。焊蚕的数量因材料而异，无定形聚合物的焊蚕比半结晶材料的焊蚕少。在后面这种情况，焊蚕比焊接点的直径大50%。

“轮廓”焊接这个术语用于二维轮廓焊接时表示处理中断的焊接表面的技术，如顶杆孔处的凹陷，目前垂直方向的尺寸控制是非常受限制的。然而对于不需要连续的焊缝和密封，Bielomatik 和 Leister 提供了安装机械手的激光设备，可以用和机械喷涂喷嘴相同的方法焊接三维尺寸轮廓的零件。就像使用传统的金属点焊一样产生周期性的点焊。这种方法可以进行三维尺寸的大零件的激光焊接。

21.2.4 同时操作的透射传输红外线激光焊接（STTIr）

这种激光焊接又叫直线焊缝焊接或闪光电弧焊（闪光焊）联焊，和前面所述的点焊或绕焊之间的差别的关键是焊接是同时发生的。对于同时发生的透射传输红外线激光焊接，整个焊接表面同时被加热、熔融、焊接。这种方法不需要移动零件，既可以得到快速焊接（根据尺寸需要1～10s），而且残余应力小。另外，表面误差大也可以产生高强度的焊缝。而点焊或绕焊的焊缝强度可以允许的表面误差低于1mm（0.039in），STTIr 在表面误差≥2mm（0.079in）时也可以保持焊缝强度。但是表面误差越大，需要的压力越大，产生的飞边也越大。对于组合弯曲的无支撑内部零件也可以焊接。但是，使用 STTIr 比点焊或绕焊所需的机械结构要大一些。

对于同时发生的透射传输红外线激光焊接，也要对从二极管发射出的激光束进行调整、成型、聚焦，这和点焊或绕焊一样。但是，STTIr 使用反射镜和透镜把激光束聚焦成直线或圆周，而不是一点，如图21-5所示。

可以用几个二极管作红外线光源。激光线由同时打开的一系列二极管组成，如图21-6所示。这种类型的设备可以焊接复杂焊接面的零件。2～5mm 的正方形、长方形、圆形零件都可以用线焊接。典型的 STTIr 焊缝线的宽度为1～2mm。

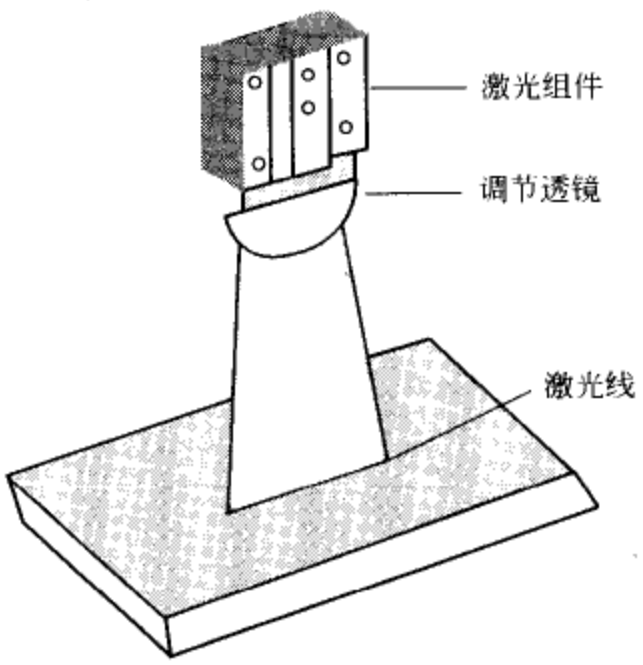


图 21-5 创造激光线
（SPE 提供）

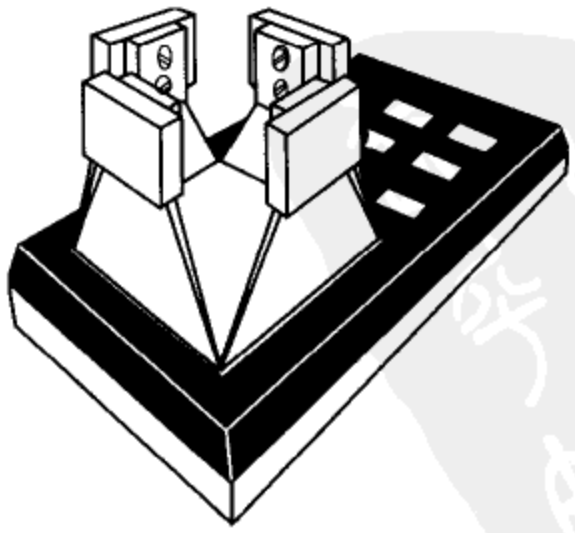


图 21-6 同时焊接
（Leister 技术提供）

21.2.5　准同步激光焊接

准同步激光焊接（QSLW）是使用单束激光以 10m/s 的高速传播实现点焊或轮廓焊接。以这样的速率，它可以与同时直线焊接相媲美。但是它也可以降低速度，实施点焊或轮廓线焊接。

如图 21-7 所描述的高速扫描反射系统使激光束通过透镜在焊缝长度上反复实现焊接。通过反射系统使激光束移动。用这种方式，焊缝表面几乎同时加热和熔融。这可以运用恰当的压力焊接变形的零件。准同步焊接技术可以产生密封焊。

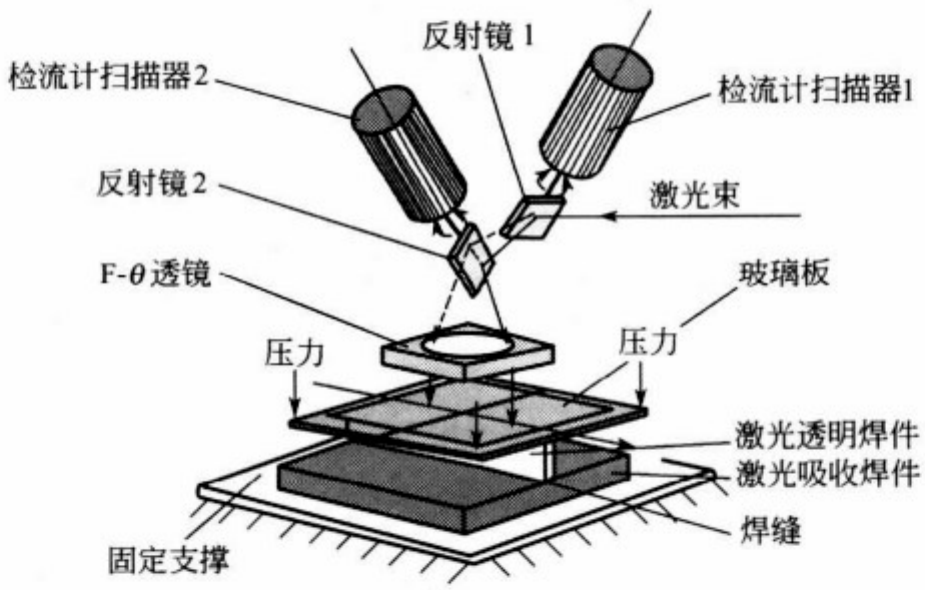


图 21-7　准同步焊接

（SPE 提供）

在近似 250W 的连续波操作中，使用具有最大输出功率的固态 Nd：YAG 激光。目前已经实现了仅 1mm 宽的极好的焊缝。这种系统可以焊接两种尺寸轮廓的零件，也可以焊接垂直轮廓达到±40mm 的零件。用这种方法可以焊接小到2mm×5mm 和大到 250mm×560mm 的零件，后者使用双激光。根据焊缝的长度，焊接时间需要 2～8s。Bielomatik 是准同时焊接设备的主要来源，并且已经拓展了这项技术的发展。Leister 提供了使用高功率二极管激光的相同方法。

21.2.6　掩膜焊接（Leister 公司专利方法）

掩膜焊接是把激光焊接和涂层技术相结合的焊接方法。当要求尺寸和形状变化的焊缝线非常精确时，就要选择掩膜焊接方法。使用 2μm（0.00008in）的分辨率就可以达到完全自动化掩膜焊接。在测微计范围内，要求位置和焊接非常精确的微流体设备，可以使用掩膜焊接来实现连接。通道宽度为 100μm 的设备已经用这种技术成功地实现焊接。掩膜焊接速度既快又可行，非常适合复杂结构的面连接。例如，100mm^2（0.155in^2）的产品的总的焊接时间在 12s 内，对于这种应用，实际焊接时间不超过 1s。

使用掩膜焊接方法，整个焊接面用激光线扫描，非焊接区域用薄膜罩住，因此

激光达不到此处，如图 21-8 所示。薄膜放置在玻璃板上面，固定在三轴板上，使得薄膜和零件在垂直方向或水平轴线准确对中。微型掩膜焊接的精确度可以控制在 2μm（0.00008in）以内，而且可以同时焊接宽度为 14mm（0.551in）的激光屏。大型掩膜焊接可以焊接宽度为 120mm（4.72in）的激光屏，达到 0.05mm（0.002in）的精确度。如果焊缝宽度较大，就必须执行轻微覆盖的多程焊接，留下一条缝。当使用其他的 TTIr 焊接方法时，要把零件放在透明玻璃板的下面，并且对其施加压力。激光发射波长在 808nm 和 980nm 之间时为大功率激光。80～120W 的功率使聚合物迅速加热和冷却。

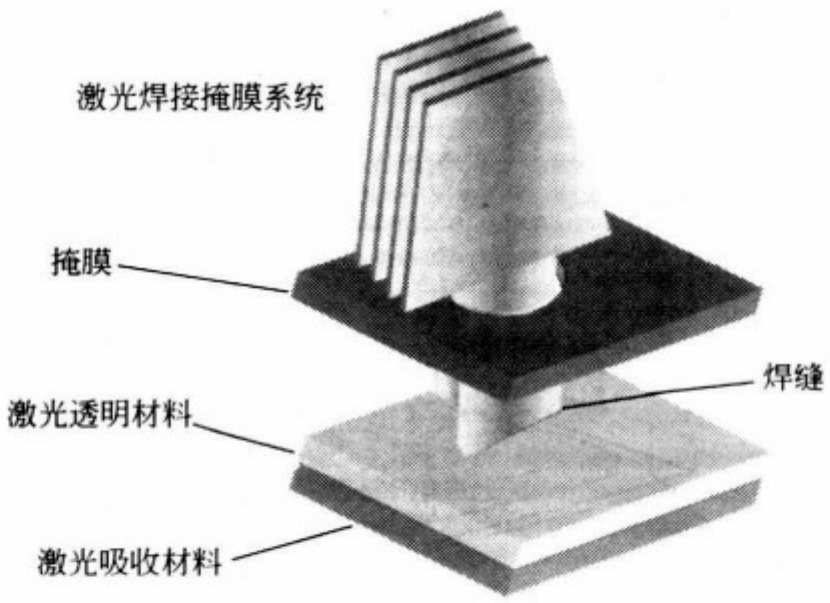


图 21-8　掩膜焊接
（Leister 技术提供）

掩膜必须由可以反射或吸收激光能的材料组成。可以由金属包覆的玻璃板制得，通过胶印方法将包覆材料移走，这样无论在哪都可以引起焊接，这给设计者在创建必须的焊缝轮廓线提供了相当大的设计自由度。

二极管激光和 Nd：YAG 激光用于多种焊接方法，并且每一种焊接技术都有自己的优点，如表 21-2 中所示。表中的信息非常准确，但实际上在编写本书时这些信息也是很通用的。针对特定焊接场合，对于表中给定的每种焊接性能是可以有相对变化的。

表 21-2　透射传输激光焊接的基本优点和限定

参数/方法	C	SI	QS	MA
激光类型				
二极管激光	+	+	+	+
Nd:YAG 激光	+		+	
相对成本	M	M/高	M/高	M
焊缝形状	3D	2D	2D	3D
焊接周期	M/L	S	S	S/M
塑料零件的尺寸	Any	L	L	
焊缝长度	Any			Any

注：C—轮廓线焊接；SI—同时焊接；QS—准同步焊接；MA—面罩焊接；L—大；M—中；S—小；Any—没有限制（Val A. Kagan 机动车工程师协会，2002-01-2011）。

21.3　激光焊接材料

21.3.1　影响激光焊接性能的材料特性

材料的适宜性在激光焊接中是一个比较敏感的问题，这比在其他任一种焊接方法中都要明显。理论上激光可以焊接所有激光透明的热塑性塑料。但是在使用激光焊接时，每一种聚合物对三种主要波长传递光线的能力是不同的。另外，由于填充剂、添加剂和着色剂的存在，给定的聚合物对激光束的灵敏度将会改变。

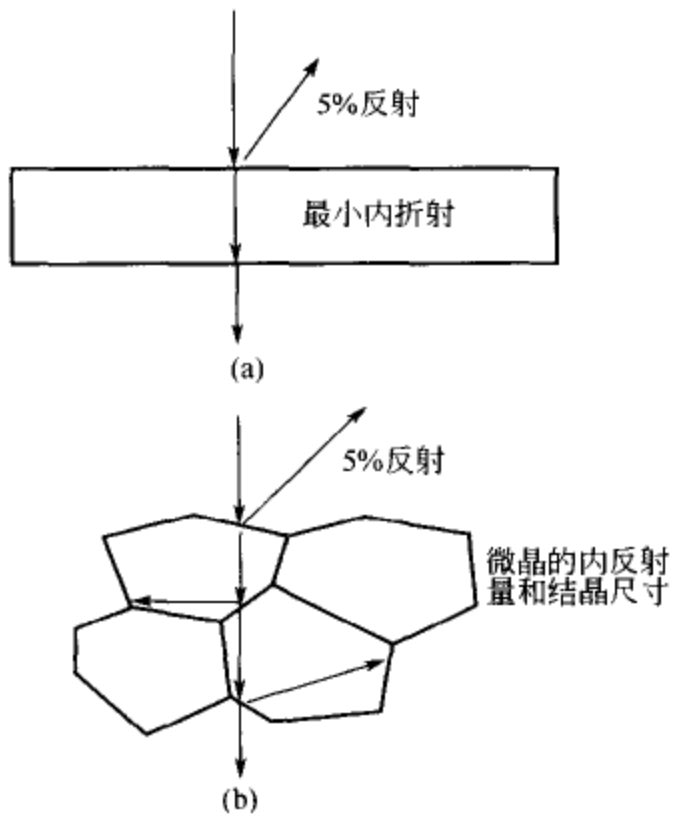


图 21-9　激光传输性质
（Leister 技术提供）
（a）无定形塑料；（b）半结晶塑料

影响塑料传输激光束能力的特性有透射、吸收和反射。图 21-9（a）表明了这三种性能，首先到达塑料表面的激光，少量的（大约 4%～5%）直接从塑料表面反射。对于无定形聚合物，假如没有填充剂、添加剂和染色剂存在，激光通过材料传播是对称的，并且有少量的折射。

半结晶材料具有结晶结构，可引起光的散射，如图 21-9（b）所示。在这种情况下，激光损失量随着结晶度和结晶尺寸而变化。结晶速率和球晶微观结构的尺寸越大，激光能的透射率越低。由于激光的散射，在焊接面或接近焊接面处结晶材料也会产生热。

影响聚合物激光焊接性的主要性质有激光能的透射率、反射率、吸收率。这些性质通常以百分数定义，如下：

$$\text{透射率（\%）：}\quad T=100\times\frac{I_t}{I_o} \tag{21-1}$$

$$\text{反射率（\%）：}\quad R=100\times\frac{I_r}{I_o} \tag{21-2}$$

$$\text{吸收率（\%）：}\quad A=100\times\frac{I_o-I_t-I_r}{I_o} \tag{21-3}$$

式中　I_t——激光束的透射强度；

I_o——激光束的入射强度；

I_r——激光束的反射强度。

通常反射率不是主要问题，对于大多数用于激光焊接的热塑性塑料的反射率在 4%～5%之间。在透射传输激光焊接中，对于上部的零件使用高透射率的材料是最

理想的，这样会使大多数激光能到达焊缝表面。对于无定形热塑性塑料透射率高，半结晶热塑性塑料的透射率是变化的，这种性质限制了半结晶材料的可焊厚度。通过增加或降低结晶度和球晶的数量修改半结晶聚合物来改变结晶程度。增加这些要素导致吸收率升高，而降低它们可以提高透射率。

在透射传输激光焊接中，对于下部的零件吸收率高的材料是最理想的，因为它们在焊接面吸收更多的能量，产生很薄的热表面层，这对激光焊接是最完美的。中间范围吸收率的材料可能成为一个问题，因为它们穿过材料厚度吸收激光能，使得整个厚度都产生热量。这些材料使得很少的能量穿过材料，因此在透射传输激光焊接中，上部零件很少选择这些材料。另外，在零件边缘并不吸收很多的能量，因此下部的零件也很少选择这些材料。

21.3.2 材料选择性质中的折射效应

折射并不影响激光应用，如果激光束不需要通过几层塑料板到达焊接表面的话，可以使激光束成90°角传输到焊接面。对于无定形塑料，折射是主要关注的问题，因为半结晶材料有结晶结构引起激光散射，如图21-9（b）所示。当应用这种技术不是以90°角射到焊接面上时，也需要考虑折射问题，如准同步激光焊接。那样的系统通过反射镜使光束偏转到达焊接表面。因此，光束以一定的角度射到焊接面。总的焊接面越大，角度就越大。

当光束从一种密度的介质传到另一种密度的介质中时就会发生折射。这种方法由Snell's定律解释（见图21-10）。对于上部的透射激光的零件材料，折射率是非常重要的，因为对于吸收率较低的材料，Snell's定律将影响接触激光束的地方。

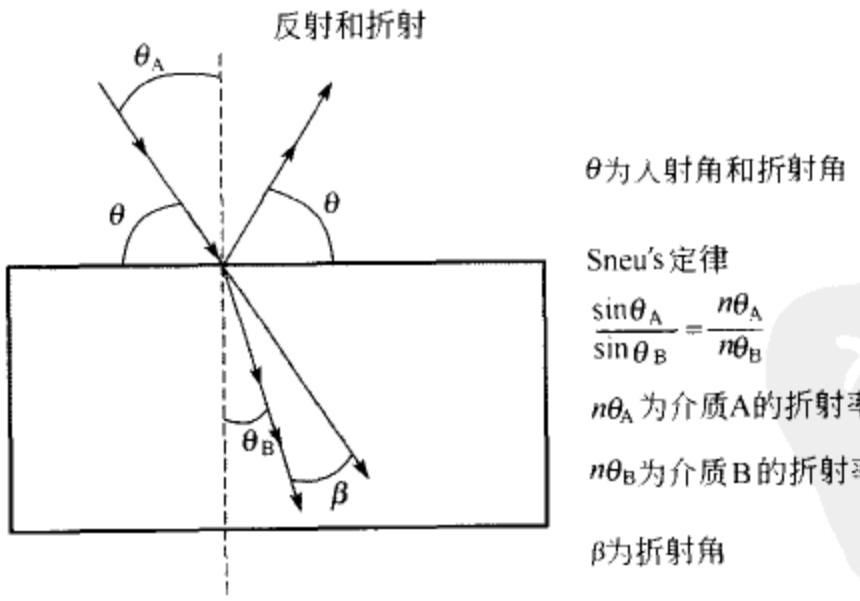


图21-10 反射和折射

（Leister技术提供）

Snell's定律：

$$\frac{\sin\theta_A}{\sin\theta_B}=\frac{n\theta_A}{n\theta_B} \tag{21-4}$$

式中　$n\theta_A$——介质 A 的折射率；

$n\theta_B$——介质 B 的折射率；

θ——入射角和反射角；

θ_A——$90°-\theta$。

折射角：

$$\beta=\theta_A-\theta_B \tag{21-5}$$

21.3.3　染色剂、填充剂和添加剂对激光传输的影响

像玻璃纤维增强材料这样的填充剂会降低透射率。Dr. Val Kagan，Robert Bray 和 Al Chambers 已经做了大量的工作，确定玻璃纤维和染色剂对聚酰胺激光吸收率的影响。图 21-11 表明当玻璃纤维的百分含量增加时，尼龙 6 的透射性由于激光散射而降低。当玻璃纤维的百分含量增加到 35%时，有效路径的长度大约增加 30%～45%。相应地，不含玻璃纤维和玻璃纤维含量 65%时激光能的透射率降低 20%～70%。实际上，材料本身的吸收性并不受影响，吸收率的任何改变是激光能散射的结果。玻璃纤维含量达 50%的填充材料已经实现了焊接，但是不能实现密封。

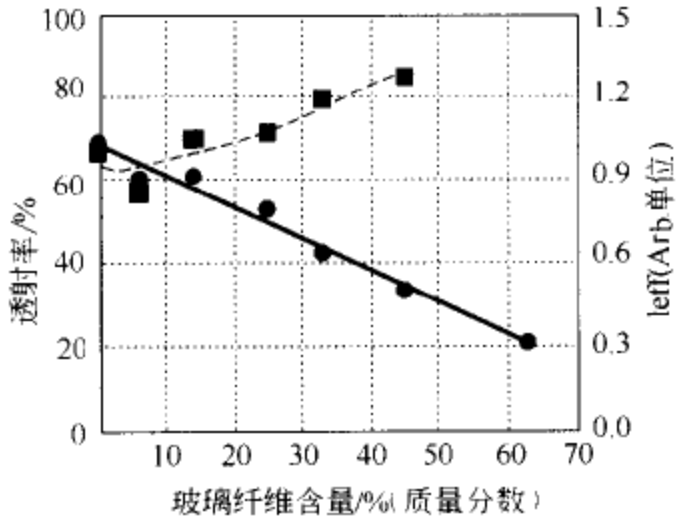


图 21-11　透射率和有效波长-玻璃纤维含量曲线

（SPE 提供）

颜料对激光传输的影响相当大。需要强调的是炭黑和二氧化钛（白色）能吸收激光能量。因此，含有这些颜料的染色剂使得激光能的吸收率增加，透射率降低。应该注意，很多颜色除了白色和黑色在某种程度上都包含这些颜料。

图 21-12 描绘了染上四种颜色的尼龙 6 连同无色的尼龙 6 的吸收性，波长穿透

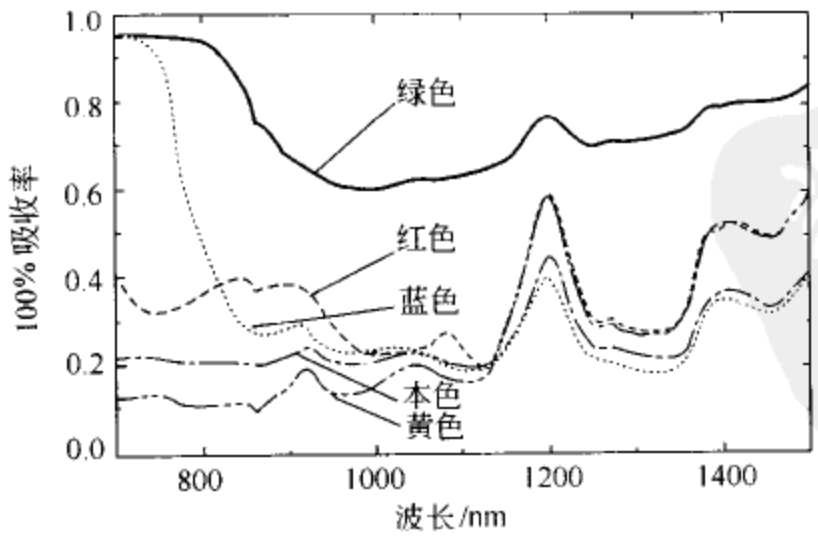


图 21-12　波长对吸收性的影响

（SPE 提供）

范围在 600～1500nm 之间。除了绿色染色剂，所有颜色的和无色的样本在波长范围内（大约 1000nm）激光能的吸收率接近 20%，使用二极管激光或 Nd：YAG 激光可以焊接。对于绿色染色剂曲线，光线穿过板吸收率要高一些，表明了在焊接波长范围内，激光能的吸收率大约为 60%。

对于给定的应用，颜色的要求将会影响激光焊接应用的适宜性，必须作为确定性因素之一。还应该注意，很多塑料在自然状态是琥珀色（黄色）。生产树脂厂家通常添加少量的绿色染色剂，使塑料具有“水光清澈”的外观。染料是由比颜料更细的颗粒组成，对激光透射性影响很小。可以使用透射光线的黑色或红色染料来生产全黑产品。

21.3.4 激光焊接透射材料

为了吸收激光能，一个零件必须是黑色、白色或含有大量的可以吸收的添加剂

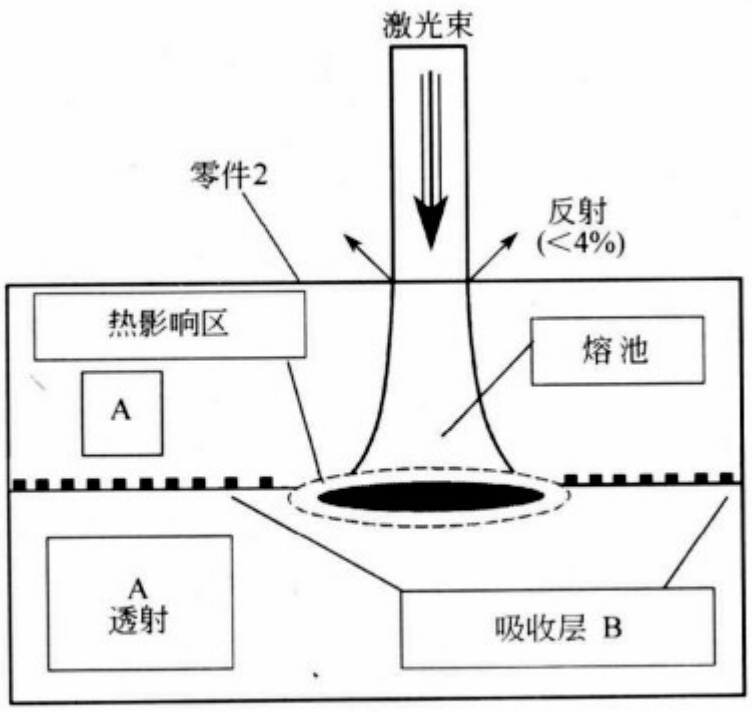


图 21-13 两种透射率塑料的透射激光焊接
（SAE 提供）

在塑料应用中，这种限定已经严重限制了透射激光焊接应用的适用性，尤其在医疗领域。最新成功地发展已经验证了含有激光吸收颜料的薄膜和涂层材料可以放在两种透射率材料之间，产生可焊接的表面。涂层材料在焦点上吸收激光能，产生足够的热量熔化焊接表面处两个零件的配合表面，如图 21-13 所示。

Gentex. Corp 在“透明焊缝™”上注明涂层是可以利用的。“透明焊缝™”使用二极管激光和 Nd：YAG 激光在波长范围内能够吸收近红外光线。事实上，它是一个溶剂基系统，作为激光吸收材料的载波。涂层放置在两个零件的一个表面上，溶剂迅速蒸发（1～2s）。使用喷墨法或针式分配装置在几微米厚的薄层中注射涂层材料，墨水含有蓝色染料吸收激光能。染料有另外一个优点，辨别工作片的涂层位置。在焊接时，蓝色消失，节点变得很清晰，如图 21-14 所示。根据 USP 细胞毒素试验，墨水是无毒的，另外正在做相容性试验。

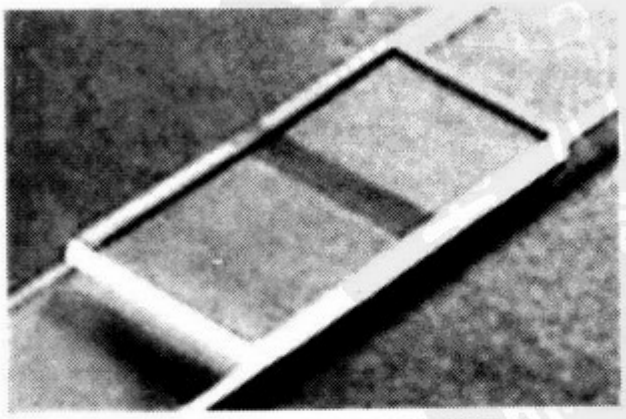


图 21-14 透明焊缝搭接焊缝
（Gentex 公司提供）

Gentex 已经测试了如图 21-14 所示的一种搭接焊缝的强度，和周围材料强度一样或者已

经超过周围材料的强度。他已经测试了某些材料焊缝强度，聚碳酸酯为 7705psi，聚甲基丙烯酸甲酯为 2119psi，聚乙烯薄膜为 1929psi，周围材料不发生失效，在焊接区域也没有。在著述本书时，表 21-3 所列的所有材料已经成功使用了“透明焊缝™”。然而对其他的材料也用这种方法作过，对于每一种塑料，墨水需要单独配制，因为不同的载波溶剂对所使用的塑料要避免化学腐蚀。

表 21-3　成功运用透明焊缝焊接的聚合物（Gentex 公司提供）

聚　合　物	聚　合　物
ABS①	聚乙烯对苯二甲酸酯①
聚甲醛①	PETG
丙烯酸树脂	PCTG
醋酸纤维素	聚酯
环烯烃类聚合物	聚醚酰亚胺
乙烯醋酸乙烯共聚物(EVA)	聚醚嵌段氨基化合物
PFA	聚乙烯-LDPE,MDPE,HDPE,UHMWPE①
ECTFE	聚酰亚胺
THV	聚苯醚(改性级)①
FEP	聚苯乙烯
离子键聚合物-Surlyn(瑟林)	聚氨酯
PEEK①	PVDC
聚酰胺	PVDF
聚酰胺-玻璃纤维增强级①	聚砜
聚碳酸酯	TPE
聚丁烯对苯二甲酸酯①	PVC

① 感光底层厚度受限制。

21.3.5　激光焊接塑料的相容性

除了表 21-3 所列的聚合物，聚酮、聚丙烯、聚砜和苯乙烯-丙烯腈共聚物已经成功使用了激光焊接。在某些情况下，不同的材料也可以用激光焊接。为了能够焊接，两种材料必须具有相同的聚合物结构和搭接软化范围。PET 栅网、PBT 和丙烯酸酯都成功地与聚碳酸酯焊接；尼龙和 PC/ASA 实现焊接，不同类型的塑料也可以互相焊接。已经作了聚碳酸酯、丙烯酸酯、ABS、PS（聚苯乙烯）和 SAN（苯乙烯-丙烯腈共聚物）的多种焊接试验。图 21-15 说明了多种塑料激光焊接的相容性。

警告读者，对于给定聚合物的唯一要求就是可以激光焊接的，由于激光能透射率受到限制，上板厚度也受到限制。在写本书的时候，这个领域有广泛的发展空间；因此，这一章要随时代的发展而发展。对于当前情况，认为这一章尚不完善，建议接触聚合物制造商来了解给定树脂的激光焊接性。

材料组合

项目	透射率	ABS	PMMA	PA6	PA66	PA12	PA11	PC	SAN	PS	PE	PP	POM	PET	PBT	TPU
吸收率																
ABS		w	w	n	n	n	n	—	p	p??❶	n	n	?❶		—	v
PMMA		p	w	n	n	n	n	p??❶	p	n??❶	n	n	n		n	
PA6		n	n	w	p	p	p	n	n	n	n	n	n	n	n	n
PA66		n	n	p	w	p	p	n	n	n	n	n	n	n	n	n
PA12		n	n	p	p	w	p	n	n	n	n	n	n	n	n	n
PA11		n	n	p	p	p	w	n	n	n	n	n	n	n	n	n
PC		—	p	n	n	n	n	w	p??❶	p??❶	n	n	n		—	
SAN		p	p	n	n	n	n	p??❶	w	p??❶	n	n	n		n	
PS		p??❶	n?❶	n	n	n	n	p??❶	p??	w	n	n	n		n	
PE		n	n	n	n	n	n	n	n	n	(w)	p	n		n	
PP		n	n	n	n	n	n	n	n	n	p	(w)	n		n	
POM		n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	(w)		n	
PET				n	n	n	n							(w)	n	
PBT		—	n	n	n	n	n	—	n	n	n	n	n	n	(w)	
TPU		p		n	n	n	n	p?❶					p?❶			?❶

注：w 可焊接；p 可能的；n 不可焊接的或没有试验的；—焊缝强度差。

图 21-15 激光焊接材料的相容性

（Leister 技术提供）

21.4 接头设计

激光焊接的一个最明显的特征是不必设计要求精确配合的接头。激光焊接的大多数接头是平搭接接头，如图 21-15 所示。可以允许的平面度公差为±1mm。也就是说，我们只需要考虑两个零件的位置关系，这是所有的焊接方法都需要考虑的。

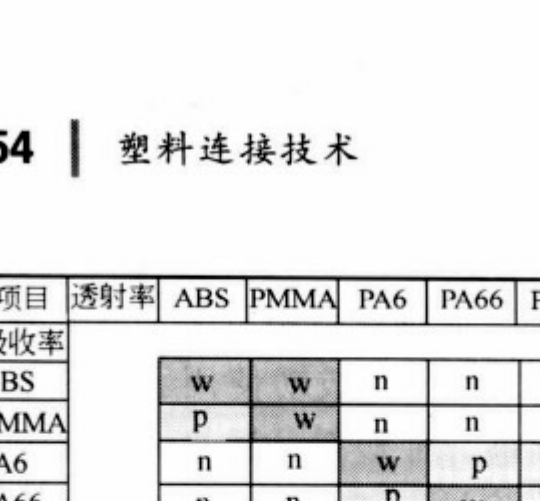


图 21-16 对接焊

（SPE 提供）

图 21-15 所示的那些热板焊接接头设计，也可以用于激光焊接；然而这些接头的使用受到焊接形式的限制，在这些焊接形式当中，激光穿过透明零件的传播距离比较小，目的是为了避免光束发散。因此，图 10-5 所示的对焊接不可以用于激光焊接，并且对焊接头设计应该被图 21-16 所示的接头设计取代。

21.5 设备

市场上具有竞争力的各种机型的激光焊接设备稍微有些不同，图 21-17 所示的透射传输激光焊机，由六个基本的部分组成。

（1）激光 可以是三种类型中的一种（二极管激光、二氧化碳激光、Nd:YAG 激光），这在 21.2 节已经论述过。功率由振荡器提供，振荡器将线性电压和

❶ 原书如此。——译者注。

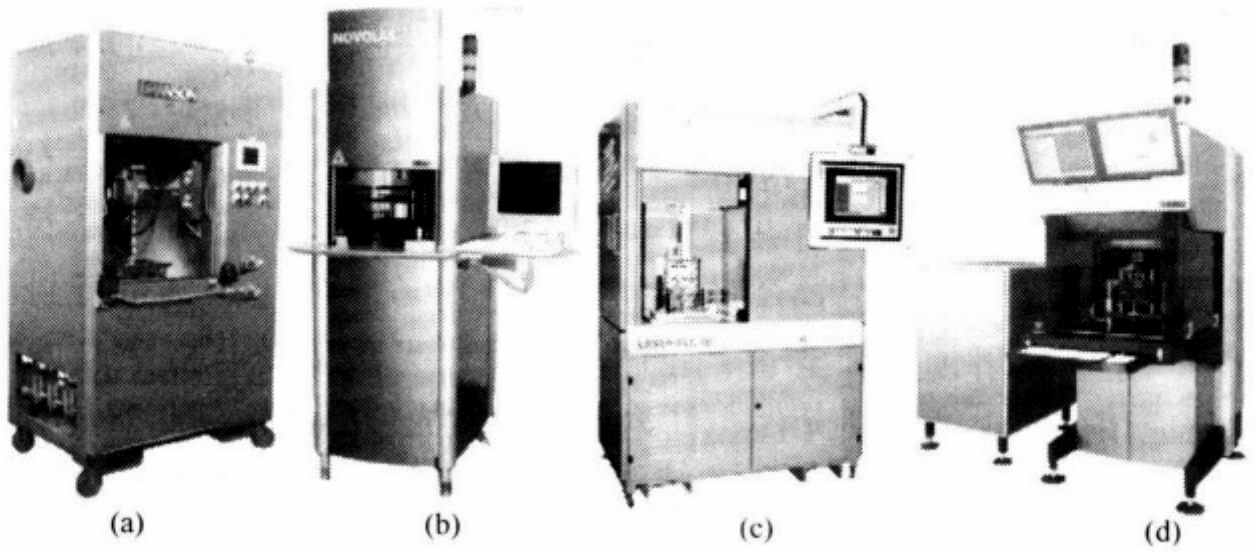


图 21-17　透射传输激光焊机

（Leister 技术提供）

（a）同步操作焊机；（b）焊机外形；（c）准同步操作焊机；（d）掩膜焊机

频率转换成激光所要求的电压和频率。

（2）夹紧装置　夹紧装置有一个上部夹紧板，由液压油缸操纵，使其降低接近下部夹紧板，提供焊接压力。夹紧载荷是可变化的。

（3）定位器　下部的零件静止放在定位器上，定位器是为不同的零件而特制的。激光焊接的下部定位器通常具有和零件轮廓相匹配的简单的轮廓。上面的定位器随系统类型而变化。对于二极管或 Nd：YAG 激光系统，通常零件保持静止，激光移动；对于小型零件可以是零件移动，激光静止。对于二氧化碳激光，激光保持静止，零件移动。具有特殊表面形状的定位器需应用传感技术。运动由机械手控制。

（4）控制装置　机器的位移和工艺参数通常由个人计算机控制。典型的计算机控制包括控制焊接时间、焊缝压力、熔融凹陷和激光功率。除了同时焊接，计算机也可控制机械手移动路径和传播速度。

（5）机架　机架是给其他部件提供支撑的结构。

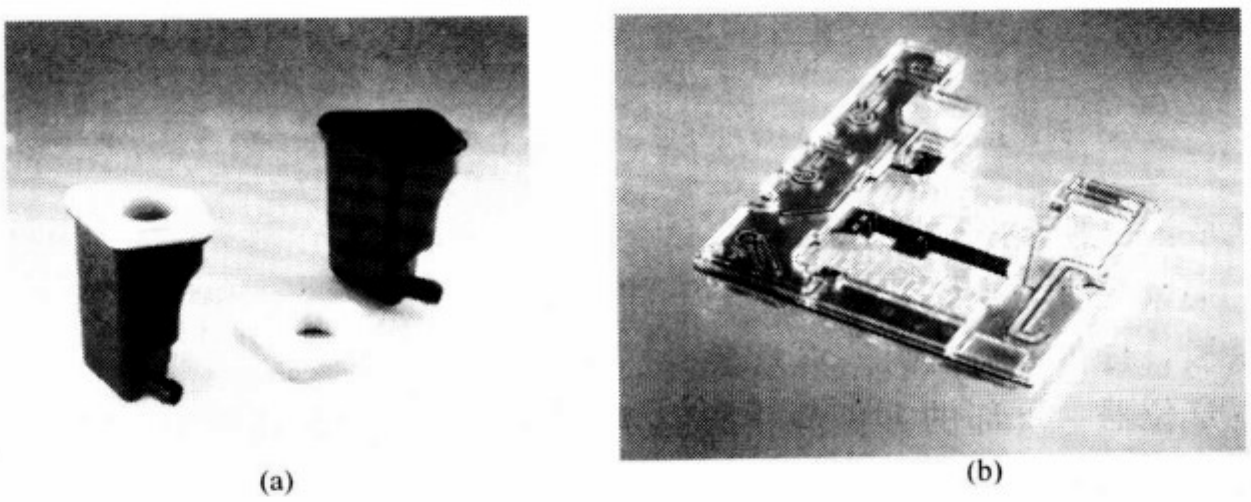
（6）屏蔽装置　为了保护操作者免遭射线和强光，将激光焊接设备屏蔽起来。大多数设备都提供摄像机，使操作者可以观测焊接过程。

21.6　应用

每一种焊接技术都有最适合的特定应用。超声波焊接最便宜，因此，超声波焊接方法是设计者首先考虑的，除非零件是圆形的，要用旋转焊接。如果对于超声波焊接，零件太大，就要考虑使用振动或热板焊接。因为振动能量成本比热板焊接低，所以如果可以使用振动设备，或者新机器的预算成本也可以接受，就可以选择振动焊接。尽管热板焊接能量成本比较高，但因为零件的轮廓和焊接强度要求高，迫使设计者使用热板焊接。

对于要求精度等级高或那些不能容忍表面熔痕和焊渣的应用，就要选择激光焊接。其他特殊的性质有：在不能接受其他方法要求的工具的凹槽处的焊接能力、弹性体的焊接能力、缺少热量或振动的焊接、敏感元件焊接。

当今，大多数激光焊接已经应用到汽车行业和医疗行业。汽车应用包括控制液压油箱、制动液压油箱、后视灯装置、油管元件、显示器。对于 VW New Beetle 公司，操纵功率的液压油箱的两个元件是使用透射传输激光焊接进行封合的［图 21-18（a)］。医学应用包括真空管、腔体、透镜、无法接受自由微粒的静脉内设备。其他的应用包括电池电话元件、气体分析器、光传感器。密封气体分析器如图 21-18（b）所示。零件都是由 ABS 组成的，上面的零件是透明的。



(a)　(b)

图 21-18　激光焊接应用

（Leister 技术提供）

（a）用于 VW new beetle 的功率控制液压油箱；（b）气体分析器

因为制造厂家正在不断探索激光焊接新技术以获得更有竞争力的优势，所以透射传输激光焊接应用的发展还处于保密状态。但是这项技术上市已经好几年了，应用在很多方面，涉及范围很广。激光焊接就像兵工厂设计师使用的一项颇有价值的新型武器，设计师们将发现更多塑料连接的应用。

21.7　资料来源

Bielomatik Inc. USA, 55397 Lyon Industrial Drive, New Hudson, MI 48165, (248) 446-9910, fax (248) 446-6244, www.bielomatikinc.com

Branson Ultrasonics Corp., 41 Eagle Rd., P.O. Box 1961, Danbury, CT 06813-1961, (203) 796-0400, fax (203) 796-9838, www.bransonultrasonics.com

Dukane, 2900 Dukane Drive, St. Charles, IL 60174, (630) 584-2300, fax (630) 584-3162, www.dukane.com/us

Extol, Inc., 651 Case Karsten Dr., Zeeland, MI 49464, (616) 292-1771, fax (616) 748-0555, www.extolinc.com

Forward Technology, 260 Jenks Ave., Cokato, MN 55321, (320) 286-2578, fax (320) 286-2467, www.forwardtech.com

Gentex Corporation, 324 Main Street, Simpson, PA 18407, (570) 282-8631, fax (570) 282-8555, www.gentexcorp.com

Heraeus Noblelight, Inc., 2150 Northmont Parkway, Duluth, GA 30096, (770) 418-0707, (770) 418-0688, www.noblelight.net

LaserQuipment, 28220 Southwest Boberg Rd., Wilsonville, OR 97070, (503) 454-4200, (503) 682-7151, www.laserquipment.com

Leister Technologies LLC, 1253 Hamilton Parkway, Itasca, IL 60143, (630) 760-1000, fax (630) 760-1001, www.leister.com

Rofin-Sinar Inc., 40984 Concept Dr., Plymouth, MI, 48170, (734)455-5400. fax (734)455-2471, info@rofin.com

Sonotronic, Inc., 3741 Venture Drive, Suite 335, Duluth, GA 30096, (770) 232-4539, www.sonotronic.com

参 考 文 献

Amodel PPA Resins Engineering Data, Amoco Polymers Inc., Tech. Bulletin AM-F-50060
Application Design, DuPont Polymers, Tech. Bulletin A-23013-20M (1961)
Assembly Magazine, Sept. 1982
Baker, A., *Threaded Fasteners to the Rescue*, Design News, Cahners Publishing Co. (Feb. 1996)
Basdekis, C. H., *ABS Plastics*, Reinhold Publishing Corp., New York (1964)
Bauman, J. and Park, J., *Optimization of the Spin Welding Parameters for an Air Induction Part*, SPE ANTEC Tech Papers (1996)
Beall, G. L., *Designer's Guide to Pressure Forming*, Plastics Design Forum Magazine (Sept./Oct. 1985)
Beall, G. L., *Product Design for Rotational Molding* (Nov./Dec. 1984)
Beall, G. L., *Remove Speculation from Specification of Molded Parts*, Plastics Engineering Magazine (Sept. 1980)
Beck, R. D., *Plastic Product Design*, Van Nostrand Reinhold Co. Inc., New York (1980)
Behnfeldt, M. J. and Bouyoucos, J. V., *Variable Frequenty Technique for Vibration Welding of Plastics Parts*, Plastics Machinery and Equipment Magazine (1978)
Belofsky, H., *Plastics: Product Design and Process Engineering*, Hanser Gardner Publications, Cincinnati (1995)
Berins, M. L., editor, *Plastics Engineering Handbook* , Fifth Edition, The Society of the Plastics Industry, Inc., Chapman & Hall, New York (1991)
Blitshteyn, M., *Surface Treatment of Plastics*, Tantec, Inc. (Nov. 1992)
Bodnar, M. J., *Bonding Plastics*
Botelle, J. D., *Post Molding VS Molded-In Inserts*, University of Wisconsin
Buchman, A., Sidess, A., Dodink, H., *Fatigue of Adhesively Bonded Thermoplastics*, SPE ANTEC Tech Papers (1996)
Carpenter, R., *Design Opportunities Utilizing In-Mold Techniques*, SPE ANTEC Tech Papers (1988)
Celcon-Acetal Polymer, Hoechst-Celanese, Tech. Bulletin CE-1A (Dec. 1995)
Characteristics and Compatibility of Thermoplastics for Ultrasonic Assembly, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin PW-1
Characteristics of Thermoplastics for Ultrasonic Assembly Applications, Ultra Sonic Seal (1984)
Chen, S.C., Hsu, K. S., Jeng, M. C., Hsu, K. F., *Numerical Simulations and Experimentals Studies of the Co-Injection Molding Process*, SPE ANTEC Tech Papers (1993)
Chookazian, S. M., *Electromagnetic Fusion Welding for Thermoplastic Assembly*, SPE ANTEC Tech Papers (1990)
Coldforming Plastic Studs, Appliance Manufacturing Magazine (June 1994)
Crawford, R. J., editor, *Rotational Moulding of Plastics*, Research Studies Press Ltd., Taunton, Somerset, England (1992)
Cycolac Design Guide, General Electric Company Tech. Bulletin CDC-540A (2/94) RTB10M
Cycoloy Design Guide, General Electric Company Tech. Bulletin CLY-400 (9/92) RTB
Dalton, S., *The Story of Hot Air Staking*, SPE ANTEC Tech Papers (1988)
Design Handbook for DuPont Engineering Polymers — Module I General Design Principles — DuPont Polymers Tech Bulletin 201742B (9/92)
Designing for the Environment – A Design Guide for Information and Technology Equipment, American Plastics Council (1994)
Designing Joints for Ultrasonic Welding, Dukane Corporation/Ultrasonics Div. Tech. Bulletin

9125-A-73
Designing Premature Failure Out of Injection Molded Parts – Miles Inc. Tech. Bulletin 516 (4M) 4/93
Designing With Fiberglass Reinforced Plastics, Molded Fiber Glass Company, Ashtabula, OH (1989)
Designing With Plastic – The Fundamentals – Hoechst Celanese Tech. Bulletin 93-320/10M/0294
Design Issues For Living Hinges, Montell Polyolefins (Dec. 1995)
Desmond, W. X., *Emaweld*™ *Applications in the Automotive Industry*, SPE ANTEC Tech Papers (1985)
Dratschmidt, F. and Ehrenstein, G. W., *Polymer Thread Joints Under Dynamic Load*, SPE ANTEC Tech Papers (1995)
DuBois, J. H. and John, F. W., *Plastics*, Reinhold Publishing Corp., New York (1967)
DuBois, J. H. and Levy, S., *Plastics Product Design Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., New York (1977)
DuBois, J. H. and Pribble, W. I., *Plastics Mold Engineering*, Revised Edition, Reinhold Publishing Corp., New York (1965)
DuPont Zytel Design Handbook, DuPont Polymers Tech. Bulletin E-44971
Dym, J. B., *Injection Molds and Molding*, Van Nostrand Reinhold Co., New York (1979)
Ellsworth Adhesive Systems Catalog
Emaweld™, Emabond Systems, Ashland Chemical Co. Tech. Bulletin 1688
Facts For Spin Welding, Mecasonics Div. of Forward Technologies Tech. Bulletin 389032
Ford, R. L. and Driscoll, S. B., *Ultrasonic Welding with Amplitude Profiling*, SPE ANTEC Tech. Papers (1995)
Froment, I. D., *Vibration Welding Nylon 6 and Nylon 6/6 – A Comparative Study*, SPE ANTEC Tech. Papers (1995)
Gallagan, S. T., *Material and Additive Factors in Ultrasonic Assembly*, SPE ANTEC Tech. Papers (1985)
Genc, S., Messler, Dr. R. W., Jr., Gabrielle, Dr. G. A., *Issues in the Selection of Locking Features in Integral Attachment Design Using Snap Fits*, SPE ANTEC Tech. Papers (1997)
Giese, M. and Ehrenstein, G. W., *Identification of Phase 3 in the Vibration Welding Process*, SPE ANTEC Tech. Papers (1993)
Giese, M. and Ehrenstein, G. W., *Vibration Welding of Random Glass Mat Reinforced Thermoplastic Composites*, SPE ANTEC Tech. Papers (1992)
Gomes, K., *The Development and History of Taptite Thread Rolling Screws*, University of Wisconsin (1991)
Goodman, S. H. and Schwartz, S. S., *Plastics Materials and Processes*, Van Nostrand Reinhold Co., New York (1982)
Green, R. E., *Machinery's Handbook*, Industrial Press Inc. (1992)
Grewell, D. A., *Amplitude and Force Profiling: Studies in Ultrasonic Welding of Thermoplastics*, SPE ANTEC Tech Papers (1996)
Grewell, D. A., *Weldability of ABS and Testing of Weld Strength at Various Strain Rates; A Study in Ultrasonic Welding*, SPE ANTEC Tech. Papers (1997)
Grewell, D. A., Benatar, A., Park, J. B., *Plastics and Composites Welding Handbook*, Hanser Publishers, Munich (2003)
He, F. and Benatar, A., *Effect of Amplitude and Pressure Control on the Strength of Ultrasonically Welded Thermoplastics*, SPE ANTEC Tech. Papers (1996)
Hebert, L. P., Girard, P., Gaudreault, M., Salloum, G., *Effects of Inserts on Shrinkage in Injection Molded HDPE Disks*, SPE ANTEC Tech Papers (1991)
Helms, J. E., Yang, C., Pang, S. S., *Analysis of a Taper – Taper Adhesive Bonded Joint in a Composite Flat Plate*, SPE ANTEC Tech Papers (1994)

Herrmann, T., *Seam Design in Ultrasonic Welding*, Kunststoffe German Plastics (1987/7)
How to Bond Plastics, Loctite Corp., Newington, CT
Inserting Metal into Plastic, Ameritherm Inc. Tech.Bulletin Vol. 2, No. 1 (Sept. 1996)
Joint Designs For Hot Plate Welding, Plastics Design Forum Magazine (Nov.-Dec. 1992)
Joint Design for Ultrasonic Welding, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin PW-3
Joint Designs for Ultrasonic Welding, Sonics and Materials, Inc. Tech. Bulletin (1989)
Joint Designs for Ultrasonic Welding, Ultra Sonic Seal Tech. Bulletin (1987)
Kagan, V. A., *Innovations in Laser Welding of Thermoplastics: This Advanced Technology is Ready to be Commercialized*, Society of Automotive Engineers, 2002-01-2011
Kagan, V. A., *Laser Transmission Welding of Semi-Crystalline Thermoplastics – Part II: Analysis of Mechanical Performance of Welded Nylon*, SPE ANTEC Tech. Papers (2000)
Kagan, V. A., Bray, R., Chambers, A., *Forward To Better Understanding of Optical Characterization and Development of Colored Polyamides for the Infra-red/Laser Welding: Part I – Efficiency of Polyamides for Infra-red Welding*, SPE ANTEC Tech. Papers (2001)
Kagan, V. A., Woosman, N. M., *Efficiency of Clear-Welding Technology for Polyamides*, SPE ANTEC Tech. Papers (2002)
Kaminsky, S., *Plastic Welding Techniques for Equipment Fabrication, Repair*, Plant Engineering (Jan. 23, 1969)
Karamuk, E., Wetzel, E. D., Gillespie, J. W., Jr., *Modeling and Design of Induction Bonding Process for Infrastructure Rehabilitation with Composite Materials*, SPE ANTEC Tech Papers (1995)
Kirkland, C., *Automolding 2000: Four World Class Processes For World Cars*, Injection Molding Magazine (Feb. 1997)
Kocheny, S. A., Zybko, J., *Three Approaches in Utilizing High Power Diode Laser to Join Thermoplastics*, SPE ANTEC Tech. Papers (2002)
LaBounty, T. J., *Spin Welding, Up-Dating an Old Technique*, SPE ANTEC Tech Papers (1985)
Lamb, D., *Fastener Strategy Considerations*, Appliance Manufacturer Magazine (Aug. 1996)
Landrock, A. H., *3M Adhesive Answer Book for Product Assembly*, 3M
Larson, R. F. and Larsen, G. C., *The Next Generation of PC Software for Traditional and FEA Snap-Fit Design*, SPE ANTEC Tech Papers (1994)
Lexan Design Guide, G. E. Plastics Tech. Bulletin CDC-5361 (2/94) RTB-15M
Lincoln, B., Gomes, K., Braden, J. F., *Mechanical Fastening of Plastics*, Marcel Dekker, Inc., New York (1984)
Lokensgard, E., *Effects of Process Conditions and Internal Lubricants on the Pull-Out Resistance of Threaded Inserts in Polypropylene*, SPE ANTEC Tech Papers (1994)
Lokensgard, E., *Time Lapse Effects On Pull-Out Resistance of Threaded Inserts in Polypropylene*, SPE ANTEC Tech Papers (1995)
Luscher, A. F., Bonenberger, P. R., Gabrielle, Dr. G. A., *Attachment Strategy Guidelines for Integral Attachment Features*, SPE ANTEC Tech Papers (1995)
Luscher, A. F., Bonenberger, P. R., Gabrielle, Dr. G. A., Messler, Dr. R. W., Jr., *A Classification Scheme for Integral Attachment Features*, SPE ANTEC Tech Papers (1995)
Macosko, C. W., *RIM Fundamentals of Reaction Injection Molding*, Carl Hanser Verlag, Munich (1989)
Machining, Finishing and Fastening, Monsanto Plastics Div., 1013A
Malloy, R. A., *Molding Options for Snap Fit Assembly*, Plastics World Magazine (May 1997)
Malloy, R. A., *Plastic Part Design for Injection Molding*, Hanser Gardner, Carl Hanser Verlag, Munich (1994)
Malloy, R. A., *What's the Best Assembly Method*, Plastics World Magazine (March, 1997)
Malloy, R. A., Orroth, S. A., Arnold, E. S., *Self Threading Screw Boss Design*, SPE ANTEC Tech

Papers (1985)
Maniscalco, M., *SnapFit Software Closes the Loop*, Injection Molding Magazine (Jan. 1997)
Massey, F. L., *Boss and Fastener Design Specifications for SMC Materials*, 32nd Annual Technical Conference, Reinforced Plastics/Composites Institute, The Society of the Plastics Industry, Inc. (1977)
Materials Compatible with Ultrasonic Fabric and Film Sealing, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin FF-5
McChesney, C. E. and Groteau, G. P., *Knit Line Strength of Reinforced Polyphenylene Sulfide Injection Moldings*, SPE ANTEC Tech Papers (1993)
Michaeli, W. and Brinkman, S., *Multi-Component Injection Molding – Influence of Process Parameters on the Adhesion of Rigid-Flexible Combinations*, SPE ANTEC Tech Papers (1995)
Monsanto Plastics Design Guide
National Institute of Standards and Technology Handbook
Nieh, J. Y. and Lee, L. J., *Morphological Characterization of the Heat Affected Zone in Hot Plate Welding*, SPE ANTEC Tech Papers (1993)
Nordgren, J. A., *Joining with Adhesives*, Adhesive Systems, Industrial Tape and Specialties Div., 3M (1994)
Noryl Injection Molding, General Electric Co. Tech. Bulletin CDX-81C (6/88) RTB
Oberg, E., Jones, F. D, Horton, H. L., Ryffel, H. H., Green, R.E. Ed., *Machinery's Handbook*, 24th Edition, Industrial Press, Inc., New York (1992)
Plastics Are Recyclable, Society of Plastics Engineers, Inc. (1994)
Plastics Design Manual, Pub. No. 7138A, Monsanto Company, St. Louis (1994)
Plastics Joining Techniques, A Design Guide, Miles Inc. Tech. Bulletin KU-F3023 (10) 1993
Plastic Snap Fit Joints, Miles Inc. Tech. Bulletin 505.KU-F-2049 (10) L (1992)
Poslinski, A. J. and Stokes, V. K., *Analysis of the Hot Tool Welding Process*, SPE ANTEC Tech Papers (1992)
Potente, H. and BruBel, A., *The Problem of Stress Cracking in Heated Tool Butt Welded Tail Lights Made of PMMR and ABS*, SPE ANTEC Tech Papers (1996)
Potente, H. and Uebbing, M., *Computer-Aided Layout of the Vibration Welding Process*, SPE ANTEC Tech. Papers (1992)
Potente, H. and Uebbing, M., *The Effects of Moisture on Vibration Welding*, SPE ANTEC Tech. Papers (1994)
Potente, H. and Uebbing, M., *Vibration Welding of High Temperature Plastics*, SPE ANTEC Tech. Papers (1993)
Potente, H., Fiegler, G., Becker, F., and Korte, J., *Comparative Investigations on Quasi-simultaneous Welding on the Basis of the Materials PEEK and PC*, SPE ANTEC Tech. Papers (2002)
Rahut, Dr. H., *Assembling Plastic Parts with Adhesives*, Plastics Design and Processing (April, 1971)
Rantz, L. E., *Proper Surface Preparation: Bonding's Critical First Step*
Rao, N. S., *Design Formulas for Plastics Engineers*, Carl Hanser Verlag, Munich (1991)
Rogers, J. K., *Why Instrument Panel Redesign is Essential*, Modern Plastics Magazine (Feb. 1991)
Romani, K. and Zhao, W., *The Development of Residual Stresses During Thermoplastic Adhesive Bonding to Metals*, SPE ANTEC Tech Papers (1997)
Rosato, D. V., *Rosato's Plastics Encyclopedia and Dictionary*, Carl Hanser Verlag, Munich (1993)
Rose, P.W. and Liston, E., *Gas Plasma Technology and Surface Treatment of Polymers Prior to Adhesive Bonding*, SPE ANTEC Tech Papers (1985)
Rotheiser, J. I., *The Bigger Picture*, Plastics Engineering Magazine (Jan. 1997)
Ruffini, R. S. and Nemkov, V. S., *Materials for Effective Magnetic Flux Control and*

Concentration in Induction Heating Processes, Industrial Heating Magazine (Nov. 1996)
Rubin, I. I., editor, *Handbook of Plastic Materials and Technology*, John Wiley & Sons, Inc., New York (1990)
Rubin, I. I., *Injection Molding Theory and Practice*, Wiley – Interscience, NY (1972)
Sawyer, W. G., Blanchet, T. A., Knapp, K. N. II, Lee, D., *Friction Modeling and Experimentation for Integral Fasteners*, SPE ANTEC Tech Papers (1997)
Simo, J., Ellwood, P. A., Taylor, H. J., *Pollutants From Laser Cutting and Hot Gas Welding of Polymer Based Materials*, SPE ANTEC Tech Papers (1994)
Sirkin, A. L., *Mira Spring Polypropylene Hinge*, Enjay Chemical Co., Tech. Bulletin ELD-60633
Skeist, I., *Handbook of Adhesives*, Von Nostrand Reinhold Co., New York (1962)
SMC Design Manual - Exterior Body Panels, SMC Automotive Alliance, Bloomfield Hills, MI (1991)
SMC Design Manual, The Composites Institute, Society of the Plastics Industry, Inc. (1991)
Snyder, M. R., *Design Flexibility Spurs Molding of Multicomponent Parts*, Modern Plastics Magazine (June 1997)
Spahr, T., *Snap-Fits for Assembly and Disassembly*, University of Wisconsin (1991)
Staking Configurations, Dukane Corporation/Ultrasonics Div., Tech. Bulletin 9839-B-78
St. John, M. and Park, J. B., *Ultrasonic Weldability of Painted Plastics*, SPE ANTEC Tech. Papers (1997)
Stokes, V. K., *Cross-Thickness Vibration Welding of Thermoplastics*, SPE ANTEC Tech. Papers (1992)
Stokes, V. K., *Experiments on the Hot-Tool Welding of Dissimilar Thermoplastics*, SPE ANTEC Tech. Papers (1993)
Stokes, V. K., *Joining Methods for Plastics and Plastic Composites: An Overview*, SPE ANTEC Tech. Papers (1989)
Stokes, V. K., *Strength and Bonding Mechanisms in Vibration Welded Polycarbonate*, SPE ANTEC Tech. Papers (1989)
Stokes, V. K., *Thickness Effects in the Vibration Welding of Polycarbonate*, SPE ANTEC Tech. Papers (1989)
Stokes, V. K., *Toward a Weld-Strength Data Base for Vibration Welding of Thermoplastics*, SPE ANTEC Tech. Papers (1995)
Stokes, V. K., *Vibration Welding of Thermoplastics, Part I: Phenomenology of the Welding Process*, Polymer Engineering and Science (1988)
Stokes, V. K., *Vibration Welding of Thermoplastics, Part II: Analysis of the Welding Process*, Polymer Engineering and Science (1988)
Structural Adhesives Guide for Industrial Product Design and Assembly, 3M Industrial Specialties Div. (1990)
Tarahoni, S., *Collapsible Core Analysis and Part Design Feasibility for Injection Molding with Collapsible Cores*, SPE ANTEC Tech Papers (1991)
Taylor, N., *The Ultrasonic Welding of Short Glass Fibre Reinforced Thermoplastics*, SPE ANTEC Tech. Papers (1991)
Textured Surface Technology, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin #59 (May 1992)
Temin, S. C. *Adhesion and Solvent Bonding, Handbook of Plastic Materials and Technology*, Rubin, I. I. (Ed.), John Wiley & Sons, Inc., New York (1990)
The Integral Hinge, Enjay Chemical Co., Tech. Bulletin PLA-63-850
Thomas, D. W. and Potter, J. P., *Making Even Better Plastic Welds*, Laramy Products Co., Inc. (1993)
Thompson, R., *Processor Rules for Good Adhesive Assembly*, Plastics World Magazine (May 1985)
Topping, M., *Electromagnetic Welding of Thermoplastics and Specific Design Criteria*, Ashland

Chemical Co.
Tres, P. A., *Designing Plastic Parts for Assembly*, Hanser Gardner, Carl Hanser Verlag, Munich (1994)
Ultrasonic and Vibration Welding Characteristics and Compatibility of Thermoplastics, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin PW-1
Ultrasonic Insertion, Branson Ultrasonics Corp. (Jan. 1991)
Ultrasonic Installation of Inserts in Thermoplastic Components, Ultra Sonic Seal Co. Tech. Bulletin (July 1991)
Ultrasonic Installation of Inserts in Thermoplastic Components , Sonics and Materials, Inc., Tech. Bulletin
Ultrasonic Radial Scan Welding, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin #17
Ultrasonic Spot Welding, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin PW-9
Ultrasonic Staking, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin PW-6 (Jan. 1989)
Ultrasonic Staking and Spot Welding of Thermoplastic Assemblies, Sonics and Materials, Inc. Tech. Bulletin (April 1993)
Ultrasonic Staking and Spot Welding of Thermoplastic Assemblies, Ultra Sonic Seal Co. Tech. Bulletin (1985)
Ultrasonic Staking — Troubleshooting, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin #8 (Nov. 1989)
Ultrasonic Stud Welding, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin PW-5
Ultrasonic Welding Characteristics of Textiles and Films, Branson Ultrasonics Corp. Tech. Bulletin P10-7
Understanding Thermoplastic Part Warpage, LNP Engineering Plastics Tech. Bulletin (Spring 1995)
Valox Design Guide, General Electric Co. Tech. Bulletin VAL-500 (6/88) RTB
Varadan, V. K., Varadan, V. V., Schaffer, T. L., *Microwave Enhanced Solvent Welding*, SPE ANTEC Tech Papers (1992)
Viscio, D. P., *A Survey of Metal Threaded Inserts for Insertion into Plastics*, Heli-Coil Products, Div. of Mite Corp.
Watson, M. N., *Improvements to Productivity With the Butt Fusion Process for Joining Plastic Pipes*, SPE ANTEC Tech Papers (1990)
Weick, P., *Threaded Closure Molding: An Alternative Approach*, SPE ANTEC Tech Papers (1989)
Wegener, M. and Michaels, W., *Influence of Thermal Extension Mismatch in the Adhesive Joining of Different Materials*, SPE ANTEC Tech. Papers (1991)
Wetzel, E. D., Don, R. C., Gillespie, J. W., Jr., *Modeling Thermal Degradation During Thermoplastic Fusion Bonding of Thermoset Composites*, SPE ANTEC Tech Papers (1994)
Wolcott, J. S., *Designing Parts for Ultrasonic Assembly*, SPE ANTEC Tech Papers (1990)
Wright, R. E., *Injection/Transfer Molding of Thermosetting Plastics*, Hanser Gardner, Carl Hanser Verlag, Munich (1995)
Wright, R. E., *Molded Thermosets*, Hanser Gardner, Carl Hanser Verlag, Munich (1991)
Yeh, H. J., Schott, C. L., Park, J. B., *Experimental Study on Hot-Air Cold Staking of ABS and Polypropylene Samples*, SPE ANTEC Tech Papers (1997)

封面
书名
版权
前言
目录
第１章　　快速指南和效率手册
１．１　效率手册
１．２　快速指南
１．２．１　胶黏剂（第７章）
１．２．１．１　液态：溶剂基、水溶基和厌氧基的胶黏剂
１．２．１．２　乳香
１．２．１．３　　热熔焊接
１．２．１．４　压敏黏合
１．２．２　紧固件和嵌件（第８章）
１．２．３　铰链连接（第９章）
１．２．４　热板／热口模／熔融焊接和热金属丝／电阻焊接（第１０章）
１．２．５　热气体焊接（第１１章）
１．２．６　感应焊接（第１２章）
１．２．７　嵌件成型（第１３章）
１．２．８　多零件成型（第１３章）
１．２．９　压力配合／受力配合／干涉配合／收缩配合（第１４章）
１．２．１０　溶剂连接（第７章）
１．２．１１　卡扣连接（第１５章）
１．２．１２　旋转焊接（第１６章）
１．２．１３　立锻／模锻／锤锻／冷锻／冷成型（第１７章）
１．２．１４　模塑螺纹（第１８章）
１．２．１５　攻丝螺纹（第１８章）
１．２．１６　超声波焊接（第１９章）
１．２．１７　振动焊接（第２０章）
１．２．１８　激光焊接（第２１章）
１．３　按照尺寸选择装配方法
１．４　按照连接时间选择装配方法
第２章　　高效装配设计
２．１　避免零件变形
２．２　内角应力
２．３　筋和凸台
２．４　拔模斜度
２．５　　收缩
２．６　配合
２．６．１　塑料装配的作图惯例
２．６．２　装配公差的重要性
２．６．３　针对塑料零件的特殊拔模斜度方法
２．６．４　制定公差范围的步骤
２．７　塑料零件中更松的配合公差的设计方法
２．７．１　　三点定位
２．７．２　　中空凸台
２．７．３　滚压加强筋
２．７．４　柔性加强筋
２．７．５　内／外配合
２．７．６　阶梯装配
２．８　大型制品的更松的公差范围
２．８．１　现场钻孔
２．８．２　带有垫圈的大孔
２．８．３　交叉槽

2．8．4　功能分离
2．8．5　拐角间隙
2．9　半燕尾连接
2．10　尽可能地降低外观不重合度的影响
2．11　装配用塑料产品设计清单
2．12　测试
第3章　降低装配成本
3．1　概述
3．2　采用微型化减少零件数目
3．2．1　通过材料来组合零件
3．2．2　通过工艺来组合零件
3．3　大型化方式来减少零件
3．3．1　复合材料成型工艺
3．3．2　共挤成型
3．3．3　共注成型
3．3．4　多部件或双色共注成型
3．4　减少紧固件
3．4．1　一个紧固件连接多个零件
3．4．2　压力配合和卡扣配合
3．4．3　集成铰链
3．4．4　通过组合消除紧固件的理念
3．5　整体设计
3．5．1　设计的总体考虑
3．5．2　螺纹设计
3．5．3　工艺性考虑
3．5．4　加工考虑
3．5．5　实施
3．5．6　面向整体的设计
第4章　拆卸和回收设计
4．1　概述
4．2　拆卸设计
4．2．1　重复开启的装配
4．2．2　永久性装配
4．3　回收设计
4．3．1　简化
4．3．2　装配方法选择
4．3．2．1　可重复打开的方法
4．3．2．2　永久的方法
4．3．3　材料的选择
4．3．4　添加剂
4．3．5　污染
4．3．6　减少材料
4．3．7　认证和拆卸说明书
第5章　按照材料选择装配方法
5．1　热塑性塑料与热固性塑料
5．2　无定形与结晶（半结晶）热塑性塑料
5．2．1　成型后收缩率
5．2．2　线性热膨胀系数
5．2．3　焊接性能
5．2．4　溶剂密封性
5．3　热固性塑料
5．4　按照材料选择装配方法
5．4．1　所选材料的性能及与装配相关的数据
5．4．2　胶黏剂

5．4．3　SPI标准的使用
第6章　按照工艺选择装配方法
6．1　概述
6．2　吹塑
6．2．1　工艺
6．2．2　装配考虑
6．3　铸造、浇铸以及灌铸
6．3．1　工艺
6．3．2　装配考虑
6．4　共挤成型
6．5　共注成型
6．6　冷压成型
6．6．1　工艺
6．6．2　装配考虑
6．7　压制成型
6．7．1　工艺
6．7．2　BMC：预制整体模塑料
6．7．3　SMC：片状成型料
6．7．4　装配考虑
6．8　挤出成型
6．8．1　工艺
6．8．2　共挤出工艺
6．8．3　装配考虑
6．9　缠绕成型
6．9．1　工艺
6．9．2　装配考虑
6．10　气体辅助注射成型
6．11　气控压塑结构发泡成型
6．12　注塑成型
6．12．1　工艺
6．12．2　装配方法
6．13　叠铺成型和喷射成型
6．13．1　工艺
6．13．2　装配考虑
6．14　机加工
6．14．1　工艺
6．14．2　热塑性塑料
6．14．3　热固性塑料
6．14．4　装配考虑
6．15　拉挤成型
6．15．1　工艺
6．15．2　装配考虑
6．16　反应注塑成型（RIM）
6．16．1　工艺
6．16．2　装配考虑
6．17　树脂传递模塑（RTM）
6．17．1　工艺
6．17．2　装配考虑
6．18　滚塑成型
6．18．1　工艺
6．18．2　装配考虑
6．19　结构发泡成型、气体辅助结构发泡成型以及共注塑成型
6．19．1　工艺
6．19．2　装配考虑

6．20　热成型
6．20．1　工艺
6．20．2　薄片热成型
6．20．3　厚片热成型
6．20．4　压制热成型
6．20．5　其他的成型工艺
6．20．6　装配
6．21　双片热成型工艺
6．21．1　工艺
6．21．2　装配考虑
6．22　传递模塑成型
6．22．1　工艺
6．22．2　装配考虑
6．23　工艺的选择
6．23．1　热塑性开放式零件
6．23．2　热固性开放式零件
6．23．3　中空零件
6．23．4　异型材
6．23．5　超高强度零件
第7章　胶黏剂和溶剂连接
7．1　优点与缺点
7．1．1　优点
7．1．2　缺点
7．2　基本理论和术语
7．3　塑料表面湿润性的测量方法
7．3．1　接触角测量
7．3．2　湿润张力测量（ASTM　D-2578-73，聚乙烯和聚丙烯薄膜的湿润张力）
7．3．3　粘接率测试（试行标准ASTM　D-2141-63　R）
7．3．4　水蔓延试验
7．3．5　染色残留测试
7．3．6　墨水保留测试
7．4　表面处理
7．4．1　溶剂清洗
7．4．1．1　溶剂浸泡
7．4．1．2　溶剂擦拭
7．4．1．3　溶剂喷洗
7．4．1．4　蒸汽脱脂
7．4．1．5　超声蒸汽脱脂
7．4．1．6　液体超声清洗
7．4．2　研磨方法
7．4．2．1　干磨
7．4．2．2　干喷砂法
7．4．2．3　湿喷砂法
7．4．2．4　湿研磨剂冲刷
7．4．2．5　清洗剂擦洗
7．4．3　表面能处理和工艺参数选择
7．4．3．1　化学处理
7．4．3．2　电晕处理
7．4．3．3　等离子处理
7．4．3．4　火焰处理
7．4．3．5　工艺参数的选择
7．4．4　表面处理保存期限
7．5　粘接设计

7.5.1 剪切应力
7.5.2 拉伸应力
7.5.3 裂开应力
7.5.4 剥离应力
7.5.5 胶黏接头设计
7.5.5.1 承载接头或无载接头
7.5.5.2 搭接接头
7.5.5.3 对接接头
7.5.5.4 螺钉和胶合
7.6 胶黏剂
7.6.1 丙烯酸树脂
7.6.2 厌氧胶黏剂
7.6.3 氰基丙烯酸盐胶黏剂
7.6.4 环氧树脂
7.6.5 热熔体
7.6.6 酚醛
7.6.7 聚氨酯
7.6.8 多硫化物
7.6.9 压敏胶黏剂
7.6.10 聚硅氧烷
7.6.11 溶剂基胶黏剂
7.6.12 水基胶黏剂
7.7 溶剂
7.8 胶黏剂和溶剂装配技术
7.8.1 固定装置
7.8.2 夹紧装置
7.8.3 应用方法
7.8.3.1 毛细管法
7.8.3.2 浸渍或浸泡的方法
7.9 胶黏剂和溶剂系统的选择
7.10 专业术语
7.11 资料来源
第8章 紧固件和嵌件
8.1 优点和缺点
8.1.1 使用紧固件的优点
8.1.2 使用紧固件的缺点
8.2 紧固件设计基本考虑
8.2.1 蠕变影响
8.2.2 应力松弛的影响
8.2.3 缺口敏度
8.2.4 抗龟裂
8.2.5 刚度注意事项
8.2.6 线性热膨胀系数的差别
8.2.7 潮湿对性能的负面影响
8.2.8 夹紧力
8.2.8.1 应变法
8.2.8.2 扭矩法
8.2.9 抗振动
8.3 塑料中使用紧固件的方法
8.3.1 压入式紧固件
8.3.2 自攻螺钉
8.3.2.1 塑料螺纹的强度
8.3.2.2 展成螺纹螺钉和切削螺纹螺钉
8.3.3 特种螺钉

8．3．3．1　窄螺纹牙形
8．3．3．2　改变齿高
8．3．3．3　不对称螺纹牙形
8．4　自攻螺钉的选择
8．4．1　成本标准
8．4．2　失效／驱动率和差值
8．4．3　强度标准
8．4．4　切削螺纹或展成螺纹
8．4．5　攻丝或模塑成型螺纹
8．5　螺纹嵌件：优点
8．6　凸台帽
8．7　螺旋线圈嵌件
8．8　自攻丝嵌件
8．9　压入式嵌件
8．10　胶接嵌件
8．11　膨胀嵌件
8．12　模塑嵌件
8．13　超声波嵌件
8．14　热装嵌件
8．15　感应嵌件
8．16　真空密封
8．17　螺柱
8．18　嵌件设计考虑
8．19　U形或J形夹
8．20　T形螺母
8．21　机制螺钉
8．22　攻丝板和螺柱板
8．23　塑料螺钉
8．24　螺钉头和垫圈
8．25　凸台设计
8．25．1　设计标准
8．25．2　凸台缩痕
8．25．2．1　挖芯
8．25．2．2　定位
8．25．2．3　支撑
8．25．2．4　材料
8．25．2．5　表面处理
8．25．3　熔接痕
8．26　自攻螺母
8．27　螺旋螺母
8．28　压入式螺母
8．29　弹簧夹
8．30　推入式紧固件
8．31　铆钉
8．32　资料来源
8．32．1　紧固件和嵌件
8．32．2　螺纹嵌件
8．32．3　热装设备
8．32．4　感应安装设备
8．32．5　超声波安装设备
第9章　铰链连接
9．1　优点和缺点
9．1．1　优点
9．1．2　缺点

９．２　单件集成铰链
９．２．１　　活动铰链
９．２．１．１　活动铰链设计
９．２．１．２　活动铰链成型要点
９．２．１．３　活动铰链其他成型工艺
９．２．２　米拉弹簧铰链
９．２．３　标准铰链
９．２．４　　平面铰链
９．３　两片集成塑料铰链
９．３．１　球－窝型铰链
９．３．２　拉片与销两片集成连接器
９．３．３　钩眼集成连接器
９．４　三片集成铰链
９．４．１　拉片与销三片集成铰链
９．４．２　钢琴铰链
９．５　弹簧锁
９．５．１　卡扣
９．５．２　Ｒａｔｈｂｕｎ弹簧
９．６　铰链的数量和使用的位置
第１０章　热板／热口模／熔融焊接和热金属丝／电阻焊接
１０．１　优点和缺点
１０．１．１　　简介
１０．１．２　优点
１０．１．３　缺点
１０．２　材料
１０．３　工艺
１０．４　热板焊接类型
１０．４．１　低温热板焊接
１０．４．２　高温热板焊接
１０．４．３　非接触热板焊接
１０．５　热板焊接接头设计
１０．６　装备
１０．７　热金属丝／电阻焊
１０．８　资料来源
第１１章　热气体焊接
１１．１　优点和缺点
１１．１．１　优点
１１．１．２　缺点
１１．２　加工方法
１１．２．１　点焊
１１．２．２　永久热气体焊接
１１．２．３　　高速焊接
１１．２．４　挤焊
１１．３　接头设计
１１．４　焊接实践
１１．４．１　外观问题
１１．４．２　裂纹问题
１１．４．３　变形
１１．４．４　熔合问题
１１．４．５　焊穿
１１．４．６　　气孔
１１．４．７　烧焦
１１．５　焊接测试
１１．５．１　非破坏性测试

11.5.1.1 视觉检查
11.5.1.2 泄漏测试
11.5.2 破坏性测试
11.5.2.1 拉伸试验
11.5.2.2 弯曲试验
11.5.2.3 焊条取出试验
11.5.3 化学试验
11.5.4 火花试验
11.6 应用
11.7 资料来源
11.7.1 焊条
11.7.2 焊接设备
11.7.3 焊条和设备
第12章 感应／电磁焊接
12.1 概述
12.2 优点和缺点
12.2.1 优点
12.2.2 缺点
12.3 设备
12.4 加工方法
12.5 线圈
12.5.1 单圈线圈
12.5.2 束发夹线圈
12.5.3 多圈线圈
12.5.4 分流线圈
12.5.5 其他形式的线圈
12.5.6 线圈定位
12.5.7 磁通量集中器
12.6 材料
12.6.1 聚合物
12.6.2 电磁材料
12.6.2.1 模塑预成型
12.6.2.2 热熔电磁材料
12.6.2.3 液态电磁材料
12.7 接头设计
12.8 封装
12.9 薄膜和片材
12.9.1 间歇密封
12.9.2 连续密封
12.10 塑料中插入金属
12.11 资料来源
第13章 嵌件和多零件成型
13.1 概述
13.2 嵌件成型
13.2.1 嵌件模塑成型的优点
13.2.2 嵌件模塑成型的缺点
13.2.3 螺纹嵌件的设计
13.2.4 带螺纹嵌件模具设计考虑
13.2.5 用户设计的嵌件
13.2.6 外露件：嵌件比模具大
13.2.7 真空密封
13.2.8 嵌件准备
13.2.9 修饰性嵌件
13.3 多零件模塑成型

13.3.1 概述
13.3.2 多零件模塑成型的优点
13.3.3 多零件模塑成型的缺点
13.3.4 工艺
13.3.5 材料
13.4 资料来源
第14章 压力配合／受力配合／干涉配合／收缩配合
14.1 优点和缺点
14.1.1 优点
14.1.2 缺点
14.2 压力配合工程
14.2.1 工程符号
14.2.2 几何因子
14.2.3 由温度改变带来的变化
14.2.4 环应力
14.2.4.1 塑料凸台中的金属轴
14.2.4.2 同种材料的轴和凸台
14.2.4.3 不同塑料制成的轴和凸台
14.2.4.4 快速法
14.2.5 装配力和拆卸力
14.2.6 由装配引起的尺寸变化
14.2.7 关系
14.2.8 方程限制
14.3 安全因子
14.4 加工
14.5 材料选择
14.6 零件设计
14.6.1 重载压力配合
14.6.2 轻载或可打开型压力配合
14.6.3 非圆形的配合
第15章 卡扣连接
15.1 优点和缺点
15.1.1 优点
15.1.2 缺点
15.2 综合应用
15.3 一般工程原理
15.3.1 允许的动应变
15.3.2 角应力集中
15.3.3 当两个零件都是弹性体时的工程调整
15.3.4 有限元分析
15.4 悬臂卡扣连接
15.4.1 悬臂卡扣连接设计
15.4.2 悬臂卡扣连接工程学
15.5 圆柱形、环形、周向或有环纹的卡扣连接
15.5.1 圆柱形卡扣连接设计
15.5.2 圆柱形、环形、周向形或有环纹的卡扣连接的工程学问题
15.5.2.1 最大容许干涉
15.5.2.2 横向力和轴向力
15.6 旋转卡扣连接
15.6.1 旋转卡扣连接的设计
15.6.2 旋转卡扣连接的工程问题
15.7 易剥落卡扣连接
15.8 注塑成型工艺
15.9 卡扣连接成型模具

15.9.1 注塑模基本结构
15.9.2 易剥落模具的顶出系统和冷却系统
15.9.3 非脱落式模具的型芯
15.9.4 模具型腔内卡扣件的具体结构
15.10 结论
第16章 旋转焊接
16.1 旋转焊接介绍
16.2 旋转焊接的优点及缺点
16.2.1 优点
16.2.2 缺点
16.3 旋转焊接工艺
16.4 材料
16.5 旋转焊接的设计
16.5.1 总体设计考虑
16.5.2 连接设计
16.6 旋转焊接设备
16.6.1 基于钻床的旋转焊机
16.6.1.1 用于钻床式惯性焊接的工具
16.6.1.2 用于钻床类枢轴（中心点）焊的工具
16.6.2 商用惯性旋转焊机
16.6.3 商用直接驱动旋转焊机
16.7 资料来源
第17章 立锻／模锻／锤锻／冷锻／冷成型
17.1 立锻／冷成型的优点和缺点
17.1.1 优点
17.1.2 缺点
17.2 立锻
17.2.1 桩柱的冷成型
17.2.2 热气锻／冷锻
17.2.3 超声波冷成型
17.2.4 立柱热压模成型（热锻）
17.2.5 立柱的超声波热成型
17.2.6 激光立锻
17.3 立锻设计
17.3.1 立柱
17.3.2 立柱头
17.4 模锻
17.5 资料来源
17.5.1 热锻
17.5.2 热气体／冷锻
17.5.3 激光锻
17.5.4 超声波
第18章 螺纹：攻丝和模塑
18.1 整体螺纹的优点和缺点
18.1.1 两种类型螺纹共同的优点
18.1.2 两种螺纹共同的缺点
18.2 在塑料上钻孔和攻丝
18.2.1 攻丝螺纹独一无二的优点
18.2.2 攻丝螺纹特有的不足之处
18.2.3 在塑料上钻孔
18.2.4 在塑料上铰孔
18.2.5 在塑料上攻丝
18.3 在塑料上模塑螺纹
18.3.1 模塑螺纹特有的优点

18.3.2 模塑螺纹特有的缺点
18.3.3 螺纹设计
18.3.4 用于模塑螺纹的模具
18.3.4.1 成型内螺纹的脱模式模具
18.3.4.2 成型内螺纹的剖分型芯式模具
18.3.4.3 成型外螺纹的可扩展式型腔模具
18.3.4.4 成型外螺纹的对开式模具
18.3.4.5 成型内螺纹的旋下式模具
18.3.4.6 旋下型夹盘式模具
18.3.4.7 成型螺纹圈数少于一圈制品的模具
18.4 资料来源
18.4.1 部分型芯和型腔
18.4.2 旋下式卡盘
第19章 超声波焊接
19.1 超声波焊接的优点和缺点
19.1.1 优点
19.1.2 缺点
19.2 常规应用
19.3 超声波焊接的原理
19.4 超声波焊接材料
19.4.1 添加剂和污染物
19.4.1.1 着色剂
19.4.1.2 填充剂、增量剂和纤维增强材料
19.4.1.3 阻燃剂
19.4.1.4 发泡剂
19.4.1.5 冲击改性剂
19.4.1.6 润滑剂
19.4.1.7 脱模剂
19.4.1.8 涂层零件
19.4.1.9 增塑剂
19.4.1.10 回用料
19.5 超声波零件的设计
19.5.1 超声波焊接总体考虑
19.5.1.1 强度要求
19.5.1.2 外观要求
19.5.1.3 刚度要求
19.5.2 接头设计基础
19.5.2.1 零件的对中
19.5.2.2 均匀的振动移动距离
19.5.2.3 最小初始接触面积
19.5.3 能量导向接头
19.5.3.1 对接接头
19.5.3.2 接头布置
19.5.3.3 纹理表面
19.5.3.4 台阶式接头
19.5.3.5 榫槽接头
19.5.3.6 薄壁零件的接头
19.5.4 剪切接头
19.5.5 密封
19.5.6 扫描焊接
19.5.7 螺柱焊接、立锻、模锻和点焊
19.5.7.1 立锻和模锻
19.5.7.2 螺柱焊接
19.5.7.3 点焊

19.6 织物薄膜密封
19.7 超声波焊接设备
19.7.1 基本原理
19.7.2 能量发生器
19.7.3 换能器
19.7.4 变幅杆
19.7.5 焊头
19.7.6 定位器
19.7.7 控制器
19.7.8 设备频率
19.7.9 超声波焊接的自动化
19.8 资料来源
第20章 振动焊接
20.1 优点和缺点
20.1.1 超声波焊接比较
20.1.2 振动焊接的优点
20.1.3 振动焊接的缺点
20.2 振动焊接过程
20.2.1 线性振动焊接
20.2.2 轨道振动焊接
20.2.3 角振动焊接
20.3 材料
20.4 振动焊接零件的设计
20.4.1 基本考虑
20.4.2 线性振动焊接接头设计
20.5 设备
20.6 资料来源
第21章 激光焊接
21.1 优点和缺点
21.1.1 无接触、表面、直接、对接激光焊接
21.1.2 激光铆焊
21.1.3 透射传输红外线激光焊接
21.1.4 透射传输激光焊接的优点
21.1.5 透射传输激光焊接的缺点
21.2 激光焊接步骤
21.2.1 激光
21.2.2 基本的透射传输激光焊接方法
21.2.3 点焊或轮廓线焊接
21.2.4 同时操作的透射传输红外线激光焊接（STTIr）
21.2.5 准同步激光焊接
21.2.6 掩膜焊接（Leister公司专利方法）
21.3 激光焊接材料
21.3.1 影响激光焊接性能的材料特性
21.3.2 材料选择性质中的折射效应
21.3.3 染色剂、填充剂和添加剂对激光传输的影响
21.3.4 激光焊接透射材料
21.3.5 激光焊接塑料的相容性
21.4 接头设计
21.5 设备
21.6 应用
21.7 资料来源
参考文献