

塑料的机械加工

SULIAO DE JIXIE JIAGONG

李瑞芬 主编 曹有为 副主编

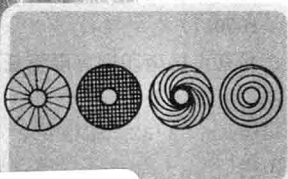
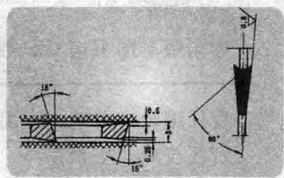
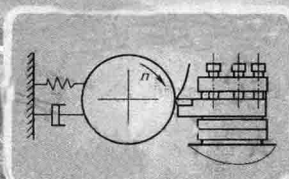


化学工业出版社

塑料的机械加工

SULIAO DE JIXIE JIAGONG

李瑞芬 主编 曹有为 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在论述塑料机械加工方法的基础上,重点分章详细阐述塑料的车削、铣削、孔加工(钻削)、螺纹加工、冲切加工及其他特种加工方法。书中列举了切削各种塑料的工艺参数,刀具结构的特点及设计参数、使用条件和主要尺寸。内容经典、翔实、实用性强、逻辑结构清晰、图文并茂、可读性强。对于塑料机械加工专业的师生、从事塑料加工企事业单位技术人员都具有极大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

塑料的机械加工/李瑞芬主编. —北京:化学工业出版社, 2014. 2

ISBN 978-7-122-19451-0

I. ①塑… II. ①李… III. ①塑料制品-切削处理
IV. ①TQ320. 67

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 003797 号

责任编辑:翁靖一 周 寒

装帧设计:韩 飞

责任校对:王素芹

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:北京市振南印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 9¼ 字数 261 千字 2014 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前言

随着科技的进步和工业的发展,生产和使用塑料,是节约能源和资源的重要举措。现代工业技术的发展对塑料的应用提出了越来越高的要求,而采用塑料类零件代替钢、铜和铸铁等零件的优势日益明显,因此塑料得到了更加广泛的应用。小到我们手中的塑料袋,大到汽车、家电等,到处都有塑料的踪迹。例如在电机、家用电器中做接线板、线路板和绝缘材料;在汽车、轴承、机床、仪表中做衬套垫片、球座、轴承保持器、传动蜗轮、齿轮、螺母、管接头及皮带轮等。尽管这些零件大多数是用注塑方法制成的,但是在一般情况下必须经过机械加工的方法方可获得精确而又经济的零件,例如对塑料零件采用机械加工的方法切除浇口、冒口、飞边等。对于板材、棒材等塑料零件,也需要采用切断和冲切等机械加工的方法进行加工。可见,塑料已经广泛地应用于工业、农业、国防及人们日常生活的各个领域,塑料工业已经成为发展迅速的重要行业之一。尤其,近年来塑料的机械加工技术被越来越多的人所重视,因此,编写此书就是为了满足日益广泛的社会需求。

本书由东北林业大学李瑞芬高级工程师担任主编,东北林业大学曹有为工程师担任副主编,较系统地介绍了传统的塑料机械加工工艺和方法、相关新技术和研究成果。共分为7章,第1章至第4章主要由李瑞芬编写,第5章至第7章主要由曹有为编写;李瑞芬负责全书的统稿,曹有为负责全书的校核;薛国磊协助收集和查阅了大量的文献,参与了部分书稿的编辑和校核工作;另外,王佳、王松、冯洋等也参加了编写工作,特别是在修改图表方面,在此一并表示衷心感谢!

塑料的机械加工种类繁多,涉及的专业基础理论广泛。本书编者结合广大读者对塑料机械加工方面的实际需求而编写了此书。

在此，对本书做出贡献的各位前辈，尤其是范忠仁老师，深表谢意！为保证编写质量，本书编者充分收集了国内有关厂家的经验，并参考了大量的国内外文献资料，做了很多试验，从编写到出版得到了有关院校、设计院所和工厂等单位的大力支持和帮助，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，塑料的机械加工技术发展迅速，书中难免有欠妥之处，敬请广大读者和各位同仁批评指正。

编 者
2014 年 2 月

目 录

第 1 章 绪论

1

1.1 塑料的组成、分类与性能	1
1.1.1 塑料的组成	1
1.1.2 塑料的分类	2
1.1.3 塑料的特性	4
1.1.4 常用塑料及其应用	8
1.2 塑料切屑的形成过程及切屑的类型	11
1.2.1 塑料切屑的形成过程	11
1.2.2 塑料切屑的类型	14
1.3 塑料的切削性能	18
1.3.1 塑料的切削性能	18
1.3.2 塑料切削性能的评定	21
1.4 塑料零件已加工表面质量	24
1.4.1 已加工表面质量的含义	24
1.4.2 影响已加工表面质量的因素	26
1.4.3 最佳切削条件的选择	28

第 2 章 塑料的车削加工

31

2.1 概述	31
2.2 热塑性塑料的车削	35
2.2.1 热塑性塑料车削的特点	36
2.2.2 几种常见热塑性塑料的车削	37
2.3 热固性塑料的车削	65
2.3.1 热固性塑料的车削特点	65

2.3.2	几种常见的热固性塑料的车削	66
2.4	塑料的成型车削	74
2.4.1	塑料的成型车削	74
2.4.2	成型车刀的种类	74
2.4.3	成型车刀的廓形修正计算	76
2.4.4	成型车刀几何角度的选择	78
2.5	切削塑料的典型车刀结构	79
2.5.1	加工层压塑料的车刀	79
2.5.2	加工有机玻璃的车刀	80
2.5.3	加工尼龙的车刀	80
2.5.4	加工酚醛玻璃纤维层压棒料的切断车刀	81
2.5.5	陶瓷车刀	82
2.5.6	金刚石车刀	82
2.6	车刀几何参数的选择	84
2.6.1	切削热塑性塑料时刀具几何参数的选择	84
2.6.2	车削力的计算	91
2.6.3	切削热固性塑料对刀具几何参数的选择	94
2.6.4	车削力	96
2.7	切削用量的选择及对加工的影响	97
2.7.1	热塑性塑料切削用量的选择及对加工的影响	97
2.7.2	热固性塑料切削用量的选择及对加工的影响	99
2.7.3	车削精度	103

第3章 塑料的铣削加工

105

3.1	塑料铣削加工的基本概念	105
3.1.1	加工平面的铣刀	105
3.1.2	加工台阶和沟槽的铣刀	106
3.1.3	成型铣刀	107
3.2	塑料铣削加工的方式和特点	107
3.2.1	铣削方式	107

3.2.2	铣削塑料的特点	108
3.2.3	铣刀的磨损	110
3.3	铣刀几何参数的选择	114
3.4	铣削力	117
3.4.1	铣削要素对铣削力的影响	118
3.4.2	铣刀几何角度和后刀面的磨损量对铣削力的影响 ...	124
3.4.3	被加工材料的性质对铣削力的影响	125
3.5	铣削热	126
3.5.1	铣削用量对铣削温度的影响	126
3.5.2	铣刀的磨损对铣削温度的影响	130
3.5.3	塑料中的基材对铣削温度的影响	131
3.5.4	加工表面不同深度上的温度	132
3.6	铣刀的设计	133
3.7	铣削用量的确定	138
3.7.1	铣削酚醛纸基层压塑料铣削用量的确定	138
3.7.2	铣削其他塑料时铣削用量的选择	141

第4章 塑料的孔加工

143

4.1	钻头的几何参数	143
4.1.1	扁钻	144
4.1.2	麻花钻	145
4.2	塑料的钻削过程	149
4.2.1	钻削要素	149
4.2.2	钻削力与扭矩	150
4.2.3	钻削过程特点	151
4.2.4	钻削塑料钻头几何参数的选择	153
4.3	塑料钻削时钻头的磨损	157
4.3.1	磨损部分	157
4.3.2	磨钝标准	158
4.3.3	影响钻头磨损的因素	160

4.4	热塑性塑料的钻削	162
4.4.1	聚乙烯的钻削	162
4.4.2	硬聚氯乙烯的钻削	165
4.4.3	聚苯乙烯的钻削	168
4.4.4	其他主要热塑性塑料切削用量的选择	171
4.5	热固性塑料的钻削	171
4.5.1	浇铸聚酯树脂和浇铸氨基树脂的钻削	173
4.5.2	含各种基材的热固性塑料的钻削	177
4.6	钻削塑料的钻头	184
4.6.1	钻削热固性层压塑料的钻头	184
4.6.2	钻削有机玻璃的钻头	188
4.6.3	钻削聚酰胺的钻头	190
4.6.4	金刚石环形钻头	190
4.7	塑料孔的铰孔和铤孔	191
4.7.1	铰孔	191
4.7.2	铤孔	192

第5章 塑料工件的螺纹加工

196

5.1	车削加工塑料螺纹	197
5.1.1	平体形螺纹车刀	197
5.1.2	棱体螺纹车刀和圆体螺纹车刀	201
5.2	丝锥加工塑料螺纹	202
5.2.1	丝锥的组成部分及结构要素	202
5.2.2	切削速度和切削液的选择	206
5.2.3	丝锥的磨损	207
5.2.4	先进丝锥	207
5.3	塑料螺纹的其他加工方法	211
5.3.1	板牙	211
5.3.2	螺纹铣刀	212
5.3.3	磨削螺纹	213

6.1 冲切加工的特点及工序的基本分类	215
6.1.1 冲切加工的特点	215
6.1.2 冲切工序的基本分类	216
6.2 塑料冲切加工的原理	217
6.2.1 变形区域	217
6.2.2 分离过程	218
6.3 冲切力	219
6.4 冲切模	222
6.4.1 简单冲模	222
6.4.2 连续冲模	223
6.4.3 复合冲模	224
6.4.4 阳模和阴模	225
6.5 冲模参数对剪切应力的影响	228
6.5.1 冲孔尺寸对剪切应力的影响	228
6.5.2 冲孔直径与材料厚度的比值对剪切应力的影响	229
6.5.3 凸台参数对剪切应力的影响	229
6.5.4 冲切模圆角半径对剪切应力的影响	230
6.5.5 阴阳模的间隙对剪切应力的影响	231
6.5.6 冲孔形状对剪切应力的影响	231
6.6 冲模尺寸计算	232
6.6.1 不加热冲切	232
6.6.2 加热冲切	233
6.7 塑料冲切工艺	235
6.7.1 一般工艺条件	235
6.7.2 薄塑料板的多层冲切	237
6.7.3 厚塑料板的冲切	238
6.7.4 影响尺寸误差的因素	239
6.8 塑料冲切时的排样	239

7.1 塑料的磨削加工	243
7.1.1 塑料磨削的常用方法	243
7.1.2 砂轮和砂带	247
7.1.3 磨削过程	252
7.1.4 塑料的磨削用量	254
7.1.5 磨削时的冷却润滑	256
7.2 塑料的锉削和刮削加工	256
7.2.1 塑料的锉削	256
7.2.2 塑料的刮削	258
7.3 塑料的切断	259
7.3.1 用盘状铣刀的切断	259
7.3.2 用砂轮切断工件塑料	263
7.3.3 高压液流切割塑料	265
7.3.4 CO ₂ 激光切割塑料	284
7.4 塑料工件的抛光	287
7.5 塑料的滚研和喷丸加工	290
7.5.1 塑料的滚研	290
7.5.2 塑料的喷丸加工	291
7.6 塑料的热处理	292
7.7 塑料超声振动切削加工	293
7.7.1 超声振动切削机理	293
7.7.2 超声振动切削技术的优点	296

第 1 章

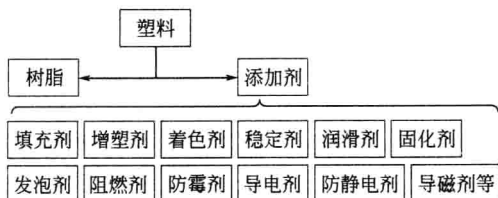
绪论

1.1 塑料的组成、分类与性能

1.1.1 塑料的组成

塑料的主要成分为树脂，树脂分为天然树脂和合成树脂，我们使用的塑料一般都是以合成树脂为主要原料制成的。树脂属于高分子聚合物，简称高聚物或聚合物。其中，具有弹性和塑性，在适当的溶剂中可以溶解，当温度升高时则软化至熔化状态（这种特性在聚合物成型前和成型后都存在），可反复成型，这样的聚合物称为热塑性聚合物。脆性大、弹性较高、塑性很低，成型前是可熔的，而一经硬化后成为不熔的固体，即使在高温下（甚至烧焦炭化下）也不会软化，这样的聚合物称为热固性聚合物。

塑料是以合成树脂为主要成分，加入适量的添加剂而组成的混合物。常用添加剂主要有以下几种。



(1) 填充剂（填料） 与塑料中的其他成分机械混合，不起化学反应，目的是为了减少树脂用量，降低成本或改善塑料的某些性能。

(2) 增塑剂 加入增塑剂以后，树脂分子间距变大，也就削弱

了树脂分子间的作用力，使树脂分子容易滑动，即改善了树脂的成型加工性能。常用的增塑剂有邻苯二甲酸酯类、癸二酸酯类、磷酸酯类、氯化石蜡等。其作用是可以改善塑料的可塑性及流动性。

(3) 着色剂 为塑料着色，主要起到装饰美观的作用，同时还能提高塑料的光稳定性、热稳定性和耐气候性。着色剂包括无机颜料、有机颜料和染料三类；着色要求为着色容易、与其他组分不起化学反应、成型中不因温度压力变化而变色分解、长期使用过程中能够保持稳定。根据着色要求和颜料及染料的区别，工业上一般采用颜料。

(4) 稳定剂 为了防止塑料“老化”，需要添加一些能稳定塑料化学性能的物质，称为稳定剂。塑料在成型、储存或使用过程中，因受外界因素（热、光、氧、射线等）作用而引起的性能变化称为老化。根据稳定剂的作用可分为热稳定剂、光稳定剂和抗氧化剂三类。

(5) 润滑剂 防止粘模和减少塑料对设备的摩擦，同时提高塑料的流动性和塑件表面的光泽度。常用的润滑剂有烃类、酯类、脂肪酸类、金属皂类。

(6) 固化剂 也叫硬化剂、交联剂，它的作用是促使合成树脂进行交联反应而形成体型网状结构，或加快交联反应速率。固化剂一般多用在热固性塑料中。例如在环氧树脂中加入乙二胺，在酚醛树脂中加入六亚甲基四胺。

(7) 发泡剂 在制作泡沫塑料制品时，预先将发泡剂加入塑料中，在塑料成型时放出气体，从而形成具有一定孔隙的泡沫塑料制品。常用的发泡剂有石油醚、碳酸铵等。

塑料添加剂除以上几种外，还有阻燃剂、防霉剂、导电剂、导磁剂、防静电剂等。

1.1.2 塑料的分类

塑料的分类体系比较复杂，各种分类方法也有所交叉，按常规主要有以下几种分类方法。

(1) 按使用特性可分为通用塑料、工程塑料和特种塑料三种。

① 通用塑料 一般是指原料来源丰富、产量大、应用面广、成型性好、价格便宜的塑料,如聚乙烯、聚丙烯、酚醛等。

② 工程塑料 一般指能承受一定外力作用,具有良好的力学性能和耐高温、耐低温性能,尺寸稳定性较好,可以用作工程结构的塑料,如聚酰胺、聚砒等,可分为以下两大类:

a. 通用工程塑料 聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、改性聚苯醚、热塑性聚酯、超高分子量聚乙烯、甲基戊烯聚合物、乙烯醇共聚物等;

b. 特种工程塑料 交联型如聚氨基双马来酰胺、交联聚酰亚胺、耐热环氧树脂等。非交联型如聚砒、聚醚砒、聚苯硫醚、聚酰亚胺、聚醚醚酮(PEEK)等。特种工程塑料具有较高物理机械性能,应用于工程技术领域。

③ 特种塑料 一般是指具有特种功能,可用于航空、航天等特殊应用领域的塑料,如氟塑料和有机硅塑料,具有突出的耐高温、自润滑等特殊功用。

增强塑料和泡沫塑料具有高强度、高缓冲性等特殊性能。增强塑料在外形上可分为粒状(如钙塑增强塑料)、纤维状(如玻璃纤维或玻璃布增强塑料)和片状(如云母增强塑料)。按材质可分为布基增强塑料(如碎布增强或石棉增强塑料)、无机矿物填充塑料(如石英或云母填充塑料)和纤维增强塑料(如碳纤维增强塑料)。

泡沫塑料可分为硬质、半硬质和软质三种。硬质泡沫塑料没有柔韧性,压缩硬度很大,只有达到一定应力值才产生变形,应力解除后不能恢复原状;软质泡沫塑料富有柔韧性,压缩硬度很小,很容易变形,应力解除后能恢复原状,残余变形较小;半硬质泡沫塑料的柔韧性和其他性能介于硬质和软质泡沫塑料之间。

(2) 按理化特性分类

① 热固性塑料 在一定温度下,这类塑料经过一段时间加热,再加入固化剂,即可固化。固化的塑料,质地坚硬,不溶解于溶剂

中,加热也不软化,不再有可塑性,如果温度过高则会分解。热固性塑料有酚醛、不饱和聚酯、氨基、环氧、呋喃、有机硅树脂和PDAP等。这类塑料的耐热性较好,不易受压变形。

② 热塑性塑料 这类塑料遇热熔化或软化,冷却后又变硬,此过程可以多次反复。热塑性塑料有聚氯乙烯、聚丙烯、聚乙烯、聚苯乙烯及其共聚体ABS、尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、氯化聚醚、聚苯醚和聚砒等。它们都具有一定的物理力学性能。还有些品种如氟塑料、聚酰亚胺等,具有非常好的耐腐蚀性、优良的绝缘性和较低的摩擦系数。热塑性塑料的耐热性和刚性较低。

(3) 按加工方法分类 分膜压、层压、注射、挤出、吹塑、浇铸塑料和反应注射塑料等。膜压塑料:多为性能与一般热固性塑料相类似的塑料;层压塑料:指浸有树脂的纤维织物,经叠合、热压而结合成为整体的材料;注射、挤出和吹塑塑料:多为性能与一般热塑性塑料相类似的塑料;浇铸塑料:是指能在无压或稍加压力的情况下,倾注于模具中能硬化成一定形状制品的液态树脂混合材料,如MC尼龙等;反应注射塑料:是将液态原材料加压注入膜腔内,使其反应固化成一定形状制品的塑料,如聚氨酯等。

(4) 其他分类方法

①按密度分类;②按聚合压力分类;③按分子量大小分类。

1.1.3 塑料的特性

(1) 塑料的优点

① 较高的比强度 若按单位质量来计算强度,则有些塑料(例如玻璃钢、层压塑料)是现代机械中强度最高的材料。以玻璃纤维为基材的塑料的比强度比一般钢高5倍,比高强度铝合金高2倍,比铸铁高10倍。

② 相对密度小 通常塑料的密度为 $0.83 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$,只是钢铁的 $1/8 \sim 1/4$,铝的 $1/2$ 左右。塑料的这一特性,对于要求减轻自重的航空、船舶及汽车制造工业等都具有特别的意义。

③ 优越的化学稳定性 一般塑料对酸、碱等化学物质均有良

好的抗腐蚀能力。这对化工设备及其他抗腐蚀性设备来说具有特殊的重要意义。化学稳定性最好的是氟塑料、聚乙烯、聚丙烯和酚醛塑料。

④ 良好的电绝缘性 几乎所有的塑料都具有良好的绝缘性,极小的介质损耗以及优良的耐电弧特性。所以可大量用于电机、电器与电子工业中。

⑤ 优良的减摩和耐磨性 有很多塑料摩擦系数很小,可以做减摩材料,在各种摩擦条件下能正常工作。例如用聚四氟乙烯(PTFE)、聚四氟乙烯填充的聚甲醛和低压聚乙烯做各种无油润滑活塞环、密封圈、轴承及机床导轨涂层等。聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯等塑料有良好的耐磨性,可用来做轴承、齿轮、蜗轮及汽车的万向轴节等零件。也有些塑料对异物有埋没性,这对于在有磨粒或杂质存在的恶劣条件下工作的摩擦零件尤其适宜,可避免对金属的刮伤。

⑥ 极低的热导率 通常塑料的热导率只有钢的 $1/450 \sim 1/175$ 。可用泡沫塑料、带气孔的聚苯乙烯、聚乙烯、聚氯乙烯等做绝热材料。

⑦ 优良的吸振和消声作用 塑料的这一性能对于高速运转的机械意义很大。这一性能可以使装有塑料轴承和塑料齿轮的机械减少噪声。

(2) 塑料的缺点

① 耐热性较低 一般塑料只能在 $80 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 下工作,当受力较大时,只能在 $60 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 左右的条件下工作。少数塑料如氟塑料,聚酰亚胺等可以在 150°C 以上工作。上述性能,影响塑料零件的应用。

导热性差是个优点,也是个缺点。由于导热性差,切削时产生的切削热不易传出从而使切削区温度升高,刀具磨损加剧,并使加工材料软化,某些塑料会产生半熔化状态,使加工表面造成涂抹现象,即在已加工表面上涂抹上一层薄薄的半熔化状态的被切削材料。

② 热膨胀系数大 一般塑料的热膨胀系数是金属的 $3 \sim 4$ 倍,

这样使零件在切削和使用时尺寸变化较大,影响尺寸的稳定性,限制了塑料零件的利用,也给切削加工造成一定的困难。尤其是用定尺寸刀具切削,必须考虑材料的膨胀量。

③ 蠕变性 塑料零件在工作时,在载荷的作用下会慢慢地产生塑性变形,影响使用。

④ 老化现象 塑料长期在日光、大气、机械应力作用下,会产生氧化、变色、开裂及机械强度下降的现象。对长期使用的零件应格外注意。

工程上常用塑料的物理机械性能可在表 1-1 中查出。

表 1-1 工程上常用塑料的物理机械性能

热 塑 性 塑 料						
物理机械性能 塑料种类	线膨胀系数/ ($\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)	热变形温度 (1.85MPa) / $^{\circ}\text{C}$	拉伸强度 /MPa	弹性模量 / $\times 10^4$ MPa	弯曲强度 /MPa	硬度 /HB
聚乙烯	12.6~18	30~55	6.87~ 23.55	0.117~ 0.0931	24.5~ 28.5	40~ 70(HA)
聚丙烯	10.8~11.2	55~65	34.3~ 39.2	0.107~ 0.156	41.2~ 54.9	60~ 70(HD)
硬质聚氯乙烯	5~6	55~75	44.1~49.1	0.323	78.5~88.3	14~17
聚苯乙烯	3.6~8.0	90~105	49.1~58.9	0.275~ 0.412	76.7~78.5	65~ 80(HRM)
聚甲基丙烯酸甲酯	5~9	85~100	49.1~75.5	0.235~ 0.343	82.4~ 117.7	10~18
聚酰胺	8~12	60~105	44.1~83.4	0.117~ 0.304	77.5~ 127.5	8~10
聚甲醛	10.7~10.9	110~125	49.1~58.9	0.245	88.3~98.1	10~11