

塑料成型加工丛书

塑料的机械加工

(第二版)

李瑞芬 主编



化学工业出版社
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料的机械加工/李瑞芬主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 1999.6

(塑料成型加工丛书)

ISBN 7-5025-2492-4

I. 塑… II. 李… III. 塑料制品-金属切削 IV. TQ320.
67

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 06500 号

塑料成型加工丛书

塑料的机械加工

(第二版)

李瑞芬 主编

责任编辑: 龚澍澄 虞 旻

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 11 $\frac{1}{2}$ 字数 323 千字

1999 年 6 月第 2 版 1999 年 6 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—5000

ISBN 7-5025-2492-4/TQ·1127

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

现代工业技术的发展对非金属材料的应用提出了越来越高的要求。而采用塑料类零件来代替钢、铜和铸铁类零件已日益显示出其卓越的优点，从而得到了更加广泛的应用。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、仪表工业中做衬套、垫片、轴承保持架、传动蜗轮、齿轮、管接头和皮带轮等。尽管这些年零件大多是采用注塑方法制成的，但是，在很多情况下必需经过机械加工方可获得精确而又经济的零件。即使不用机械加工的注塑零件也需要采用机械加工方法切除浇口、冒口、飞边等，对于以板材、棒材供货的各种塑料，也需要切断和冲切下料。因此，为满足该领域在塑料机械加工方面的广泛需求而编写出此书。

为保证编写质量，本书作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，此外，还做了很多试验。编写过程中，承蒙哈尔滨绝缘材料厂、哈尔滨电机厂、北京高压开关厂、沈阳高压开关厂、北京绝缘材料厂、哈尔滨绝缘材料厂和哈尔滨各有关塑料厂提供的宝贵资料，以及李维忠（哈尔滨工程大学）、李荣华和王德有（哈尔滨汽轮机厂）、王和平（哈尔滨手表厂）、李秀云（哈尔滨东光机械厂）等同志协助做了大量试验，在此一并深表谢意。

本书由李瑞芬统稿并编写第三章、第四章、第七章，郭艳玲编写第一章第3~7节、第二章，关小平编写第一章第1~2节、第五章、第六章、第八章第1~6节及第8节，范忠仁编写第五章第七节。由李瑞芬任主编。本书的主审李东升教授对全书初稿进行了认真的审阅，并提出了许多意见，基本被作者采纳。

本书中技术名词、术语、定义和符号均符合“ISO 标准”的规定，“ISO 标准”中没有规定的其他符号，则根据我国沿用的习惯，酌情予以选定。书中涉及的公差与配合标准均按现行国家标准处理，

对于计量单位均采用法定的计量单位。

由于作者水平所限，加之时间仓促，错误与不当之处在所难免，
诚恳地欢迎广大读者给予批评指正。

作 者

1998 年 8 月于哈尔滨

目 录

第一章 塑料切削的理论基础	1
第一节 塑料的分类、性质与应用	1
一、塑料的分类	1
二、塑料的性质	2
三、塑料的应用	3
第二节 切削加工的基本概念	6
一、切削运动、工件上的表面及切削用量	7
二、车刀切削部分的基本定义	8
三、刀具角度的参考平面	9
四、车刀的标注角度	9
第三节 切屑的形成过程及切屑种类	11
一、塑料切屑的形成	11
二、塑料切屑的类型	16
第四节 塑料的切削性能	19
一、塑料的切削性能	19
二、塑料切削性能的评定	20
第五节 切削力和切削热	26
一、切削力的来源和分解	26
二、切削功率 N	27
三、切削力的经验公式	28
四、影响切削力的因素	29
五、切削热的来源与传递	32
六、切削温度	32
七、切削温度对切削过程的影响	35
第六节 刀具的磨损和寿命	36
一、磨损过程和磨损形式	36
二、磨损机理	38

二、切削热固性塑料切削用量的选择及对加工的影响·····	121
三、车削精度·····	127
第三章 塑料孔的加工 ·····	128
第一节 钻头 ·····	128
一、扁钻·····	128
二、麻花钻·····	130
第二节 塑料的钻削过程 ·····	134
一、钻削要素·····	134
二、钻削力与扭矩·····	135
三、钻削过程特点·····	136
四、钻削塑料钻头几何参数的选择·····	137
第三节 塑料钻削时钻头的磨损 ·····	142
一、磨损部分·····	142
二、磨钝标准·····	143
三、影响钻头磨损的因素·····	144
第四节 热塑性塑料的钻削 ·····	148
一、聚乙烯的钻削·····	148
二、硬聚氯乙烯的钻削·····	151
三、聚苯乙烯的钻削·····	154
四、其他主要热塑性塑料切削用量的选择·····	159
第五节 热固性塑料的钻削 ·····	160
一、浇铸聚酯树脂和浇铸氨基树脂的钻削·····	161
二、含各种基材的热固性塑料的钻削·····	163
第六节 钻削塑料的钻头 ·····	173
一、钻削热固性层压塑料的钻头·····	173
二、钻削有机玻璃的钻头·····	181
三、钻削聚酰胺的钻头·····	181
四、金刚石环形钻头·····	181
第七节 塑料孔的铰孔和镗孔 ·····	182
一、铰孔·····	183
二、镗孔·····	184
第四章 塑料的铣削加工 ·····	187
第一节 铣刀的种类和用途 ·····	187

一、加工平面的铣刀	187
二、加工台阶和沟槽的铣刀	189
第二节 铣削要素和切削层要素	189
一、铣削要素	189
二、切削层的要素	190
第三节 铣削方式和铣削特点	192
一、铣削方式	192
二、铣削塑料的特点	194
第四节 铣刀的磨损	195
一、铣刀的磨损概念	195
二、硬质合金铣刀齿的磨损过程	195
三、硬质合金性质对刀齿磨损的影响	196
四、铣削时间对刀具磨损的影响	198
第五节 切削塑料的铣刀几何参数的选择	199
第六节 铣削力	203
一、铣削要素对铣削力的影响	204
二、铣刀几何角度和后刀面的磨损量对切削力的影响	210
三、被加工材料性质的影响	211
第七节 铣削热	213
一、铣削用量对切削温度的影响	213
二、铣刀的磨损对切削温度的影响	216
三、塑料中的基材对切削温度的影响	217
四、加工表面上不同深度上的温度	218
第八节 铣刀的设计	220
第九节 铣削用量的确定	226
一、铣削酚醛纸基层压塑料铣削用量的确定	226
二、铣削其他塑料时铣削用量的选择	228
第五章 塑料的切断	231
第一节 概述	231
第二节 圆锯和带锯的切断	233
一、锯齿形状	234
二、夹锯现象及防止方法	237
三、锯切层的几何形状	238

第三节 圆锯	241
一、圆锯的结构尺寸及其选择	241
二、锯切热固性塑料的圆锯	244
三、圆锯片锯身的松弛	245
四、圆锯片锯身的修正	248
五、圆锯片的安装	250
第四节 带锯	251
一、带锯的结构尺寸	251
二、带锯条锯身的松弛	254
三、带锯条的安装	255
四、带锯条的几何角度和切削速度的选择	257
第五节 用盘状铣刀的切断	258
第六节 用砂轮切断塑料工件	261
一、碳化硅砂轮	262
二、硬质合金砂轮	262
三、金刚石砂轮	263
第七节 高压液流切削塑料	265
一、高压液流切削原理	265
二、高压液流切削系统中各参数对切削的影响	267
第八节 CO ₂ 激光切削	282
第六章 塑料工件的螺纹加工	286
第一节 塑料螺纹的车削	287
一、平体形螺纹车刀	287
二、棱体螺纹车刀和圆体螺纹车刀	291
第二节 用丝锥加工螺纹	292
一、丝锥的组成部分及结构要素	292
二、切削速度和切削液的选择	296
三、丝锥的磨损	297
四、先进丝锥	297
第三节 加工塑料螺纹的其他方法	301
一、板牙	301
二、螺纹铣刀	302
三、磨削螺纹	303

第七章 塑料的冲切	305
第一节 冲切加工的特点及工序的基本分类	305
一、冲切加工的特点	305
二、冲切工序的基本分类	305
第二节 冲切原理	307
一、变形区域	307
二、分离过程	308
第三节 冲切力	309
第四节 冲切模	313
一、简单冲模	313
二、连续冲模	314
三、复合冲模	315
四、阳模和阴模	316
五、冲模参数对剪切应力的影响	320
六、冲模尺寸计算	323
第五节 冲切工艺	326
一、一般工艺条件	326
二、薄塑料板的多层冲切	329
三、厚塑料板的冲切	330
四、影响尺寸误差的因素	330
第六节 冲切时的排样	331
第八章 塑料的精加工	335
第一节 塑料的磨削加工	335
一、塑料磨削的常用方法	335
二、砂轮和砂带	340
三、磨削过程	344
四、塑料的磨削用量	346
五、磨削时的冷却润滑	348
第二节 塑料的锉削和刮削加工	348
一、塑料的锉削	348
二、塑料的刮削	350
第三节 塑料工件的抛光	351
第四节 塑料的滚研和喷丸加工	354

一、塑料的滚研.....	354
二、塑料的喷丸加工.....	355
第五节 塑料的热处理	356
参考文献	357

第一章 塑料切削的理论基础

第一节 塑料的分类、性质与应用

一、塑料的分类

塑料是以合成树脂为主要成分，在一定温度和压力下，可模塑成型的一种材料，它通常是以石油、煤、电石或天然气和农副产品为主要原料。为获得较高的强度和其他特殊性能，大多数塑料除纯合成树脂外，一般还添加增塑剂、热稳定剂等添加剂及木粉、织物纤维等有机物或玻璃纤维、云母等无机物。随着塑料材料的发展和成型加工技术的进步，塑料制品的应用范围日益扩大。塑料可用做各种机器中的机械零件和生产生活中的构件和各种器具，这些塑料种类繁多，目前已有 300 多种，常用的有 60 余种，但按其成型特性，可分为热塑性塑料和热固性塑料两大类。

(1) 热塑性塑料 这类塑料遇热熔化或软化，冷却后又变成一定形状。该过程可以多次反复可逆，这类塑料加工成型方便，而且在固体状态时也有一定可塑性，很适于二次机械加工。属于这类塑料的有聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯以及它们的共聚物；ABS（苯乙烯-丁二烯-丙烯腈三元共聚物）、聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯等，它们的共同特点是有较好的物理机械性能，成型简便，但其耐热性与刚性一般较差。

热塑性塑料又分为结晶性塑料和非结晶性塑料。结晶性塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺等。一般说来它们的分子排列规整有序，具有较大的机械强度，溶解性较差，透明度差，有较明显的熔点。非结晶塑料有聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、ABS 等，它们的分子排列无序，性能与结晶塑料相反。结晶性与非结晶性只是相对而言，典型的结晶聚合物，一般也只有 50% ~ 80% 的结晶度。此外，

外界因素如温度，压力等也对聚合物结晶度有很大影响。

(2) 热固性塑料 这类塑料在一定温度下，经过一定时间的加热或加入固化剂即可固化，在成型过程中发生化学反应，由线型高分子结构变成体型高分子结构。因此，固化后的塑料质地坚硬而不溶于溶剂中，加热也不能使之软化，不再有可塑性。如果温度过高，它们就会炭化，如酚醛塑料、不饱和聚酯、氨基塑料、环氧树脂、有机硅树脂、呋喃塑料和 PDAP（聚邻苯二甲酸二丙烯酯）等均属于这类塑料。热固性塑料的耐热性较好、尺寸稳定、不易受压变形、价格低廉，但机械强度较差。

二、塑料的性质

1. 塑料的优点

(1) 较高的比强度 若按单位重量来计算强度，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 Q235 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 通常塑料的相对密度为 $0.83 \sim 2.2\text{g/cm}^3$ ，只是钢铁的 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{4}$ ，是铝的 $\frac{1}{2}$ 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 $1/175 \sim 1/450$ 。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音。

2. 塑料的不足

(1) 耐热性较低 一般塑料只能在 $80 \sim 120^\circ\text{C}$ 温度下工作，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。而使切削区温度升高，刀具磨损加剧，并使加工材料软化，对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的材料。

(2) 热胀系数大 一般塑料的热胀系数大约是金属的 $3 \sim 4$ 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，给使用上造成一定的困难。

(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。

综合上述塑料的优缺点，可见塑料与金属有着截然不同的性质。因此，与金属切削加工相比，塑料切削加工时应有其特有的规律，且所用刀具与切削金属刀具也应有所区别。

三、塑料的应用

塑料及其制品的种类繁多，随着化学工业的发展，塑料品种和产

表 1-1 各种塑料的机械性能

塑料种类	热 塑 性 塑 料					硬 度 HB
	线膨胀系数 $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$ (1.85MPa)	拉伸强度 MPa	弹性模量 $10^4 \cdot \text{MPa}$	弯曲强度 MPa	
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
聚对苯二甲酸乙二醇酯	6.0 ~ 9.5	50 ~ 85	55.9	0.274	82.4 ~ 114.8	68 ~ 98(HRM)
聚四氟乙烯	10 ~ 12	55	13.7 ~ 24.5	0.0392	17.6 ~ 19.602	4.5
聚砒	3 ~ 5.5	100 ~ 105	49.1 ~ 68.7	0.196 ~ 0.392	65.7	124(HRR)

以玻璃纤维为基材的热塑性塑料

聚丙烯(含 30% 基材)	2.9 ~ 5.2	110 ~ 150	53.9 ~ 75.5	0.313 ~ 0.618	48.1 ~ 75.5	90(HRR)
聚酰胺(含 20% ~ 40% 基材)	1.2 ~ 3.2	160 ~ 260	107.9 ~ 154.9	0.686 ~ 0.912	—	65 ~ 85
聚碳酸酯(含 30% 基材)	2 ~ 3	135 ~ 140	122.6 ~ 163.8	—	163.8 ~ 184.4	93(HRM)

续表

塑料种类	线膨胀系数 $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$ (1.85MPa)	拉伸强度 MPa	弹性模量 $10^4 \cdot \text{MPa}$	弯曲强度 MPa	硬 度 HB
------	-------------------------------------	--	-------------	---------------------------------	-------------	-----------

以玻璃纤维为基材的热塑性塑料

聚砜(含30%基材)	5.5	—	98.1	0.294	176.6	10
------------	-----	---	------	-------	-------	----

热 固 性 塑 料

塑料种类	线膨胀系数 $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$	热变形温度/ $^{\circ}\text{C}$ (1.85 MPa)	拉伸强度 MPa	压缩强度 MPa	弯曲强度 MPa	硬 度 HB
酚醛	0.8~4.5	150~190	31.3~61.8	78.5~206	49~96.1	30
环氧	2~6	70~290	14.7~68.6	52.9~206	41.2~98.1	10~30
有机硅	—	—	—	—	24.5~73.5	30

以玻璃布为基材的热固性塑料

塑料种类	拉伸强度 MPa	弯曲强度 MPa	抗剪强度 MPa	弹性模量 $10^4 \cdot \text{MPa}$	成型条件	
					压力/MPa	温度/ $^{\circ}\text{C}$
酚醛	61.8~343.3	109.8~549.3	117.7~164.8	0.082~0.171	0.103~13.73	130~175
环氧	240.3~583.7	274.6~721	96.1~171.6	0.137~0.240	0.068~12.26	室温~190
聚酯	123.6~446.3	85.3~618	82.4~156.9	0.068~0.192	0~0.82	室温~150
有机硅	68.7~255	68.7~260.9	112.8~137.3	0.098~0.137	0.196~13.7	160~260

量不断增加，应用范围不断扩大，随着工业、农业、科学研究等事业的发展，对塑料制品的要求亦越来越高，而且现代机器制造上的一个基本动向就是大量地采用塑料零件。

塑料广泛地用于电机、电器工业中做绝缘材料，如各种绝缘板、轴的绝缘骨架，各种接线板等。

塑料在汽车及滚动轴承工业中可做衬套、垫片、轴承保持架、传动蜗轮、齿轮及行星齿轮垫片等。这些零件中有些可以注塑成型，有些需对毛坯进行切削加工方能做零件使用。

塑料在机床和仪表工业中可用于制造螺母、管接头、皮带轮和在机床导轨上粘贴塑料等。

在工业中广泛使用的塑料零件，大多数是用注塑方法制成的，但在很多情况下都需要进行切削加工，才能满足零件的使用要求。如：

① 对于以板材、棒料和管材供货的原材料，需进行切断、截料方能成为零件；

② 当产品批量较小时，有时用切削方法来代替传统的成型方法加工零件更为经济合理，因为这样可用本厂现有的金属切削设备；

③ 在很多情况下必须用机械加工方法，如只有用车削、钻孔、扩孔、磨孔和攻丝等方法进行切削加工，方能达到机器零件要求的尺寸精度和表面粗糙度 R_a 数值；

④ 清理塑料坯件的浇口、冒口、飞边、毛刺和注塑时产生的伤疤等，只有用机械加工方法才能达到目的。

由此可见，塑料在一次成型后，其机械加工不仅指钻削、切断，而且广泛地利用铣削、车削、磨削、粘结和冲切等加工方法，才能获得更精确、更复杂的零件。

第二节 切削加工的基本概念

由于塑料零件的形状和用途不同，所用的切削方法也不同，因而有切断、车削、铣削、冲切、钻削、磨削、螺纹加工和齿轮加工等方法。无论用任何一种刀具进行切削，其基本形式乃是车刀，因为任何一种刀具的切削部分均是由车刀组成或车刀演变而来的。尽管切削塑

式中 d_w ——工件待加工表面的直径, mm;

n ——工件单位时间内转数, r/min。

(2) 进给量 f 工件或刀具每转一转后, 二者沿进给运动方向之相对位移距离。对外圆车削其单位为 mm/r。

(3) 切削深度 a_p 已加工表面和待加工表面间的垂直距离, 单位为 mm。 a_p 的大小直接影响主切削刀的工作长度, 反映了切削负荷的大小。对于外圆切削来说,

$$a_p = \frac{d_w - d_m}{2}$$

式中 d_m ——已加工表面直径, mm。

(4) 切削厚度 a_c 每进给量 f 后, 主切削刃相邻两位置的垂直距离。单位为 mm。

(5) 切削宽度 a_w 主切削刃参加切削的长度。单位为 mm。当刀具刃倾角 $\lambda_s = 0$ 时,

$$a_c = f \sin \kappa_r \quad a_p = a_w \sin \kappa_r$$

二、车刀切削部分的基本定义

车刀由切削部分和刀杆两大部分组成。车刀的切削部分是由下列面和刃组成的 (图 1-2)。

(1) 前刀面 塑料切屑沿其流出的刀面。

(2) 后刀面 切削时, 刀具上和工件的加工表面相对着的刀面。

(3) 副后刀面 切削时, 刀具上和工件的已加工表面相对着的刀面。

前刀面、后刀面和副后刀面通常是平面, 但有时也可能是曲面。

(4) 主切削刃 前刀面和后刀面的交

线, 它完成主要的切除切屑工作。

(5) 副切削刃 前刀面和副后刀面的交线, 它配合主切削刃完成

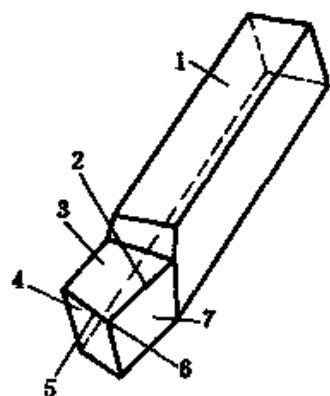


图 1-2 车刀的构造要素

1—刀杆; 2—主切削刃; 3—前刀面;

4—副后刀面; 5—副切削刃;

6—刀尖; 7—后刀面

切除切屑工作。

(6) 刀尖 主切削和副切削刃的交点。

主切削刃和副切削刃可是直线，也可以是曲线或空间曲线。

三、刀具角度的参考平面

刀具的切削角度，是刀具在同工件和切削运动相联系的状态下确定的角度，因此，需通过切削刃上某一选定点，做工件加工表面的切削平面、基面及主剖面，以构成刀具角度的参考平面，它们定义如下：

(1) 切削平面 P_c 。通过主切削刃上某一选定点切于工件加工表面的平面。

(2) 基面 P_r 。通过主切削刃上某一选定点，垂直于合成切削速度方向的平面。基面恒垂直于切削平面。

(3) 主剖面 P_0 。通过主切削刃上某一选定点，垂直于主切削刃在基面上投影的平面。

显然，切削平面、基面、主剖面组成一个直角坐标系，在该坐标系内可以对刀具的角度进行标注。

四、车刀的标注角度

1. 在主剖面 P_0 中测量的角度

(1) 前角 γ_0 前刀面和基面之间的夹角。它的大小表示前刀面的倾斜程度，见图 1-3。前角 γ_0 越大切屑沿前刀面流出越容易，和前刀面摩擦越小；产生的切削力越小；产生的热量少；刀具锋利，振动小，加工表面质量好且表面粗糙度 R_a 值也小。但当前角 γ_0 过大时，则使刀口强度下降；散热条件变差，反而使切削区温度升高，增加刀具的磨损，由上述分析可见，前角 γ_0 的合理数值应根据被切削材料的性质、刀具材料的种类和牌号、切削时的所采用的切削条件等进行全面考虑后再选择。前角 γ_0 可以为正值、负值或零。

(2) 后角 α_0 后刀面和切削平面之间的夹角。它的大小是表示后刀面往刀体内倾斜的程度。后角越大，后刀面往刀体内倾斜的越大，后刀面和加工表面之间的摩擦越小；刀口越锋利，已加工表面质量越好，表面粗糙度 R_a 越小。但后角 α_0 过大时，刃口强度会下降，并由于传热变差，而造成刀具寿命下降。所以，后角 α_0 也应有个合

理的数值，其数值大小应根据具体条件选择。通常后角 α_0 根据切削厚度 a_c 来选择。 a_c 越小则应选择较大的后角。后角不能是负值和零，只能为正值。

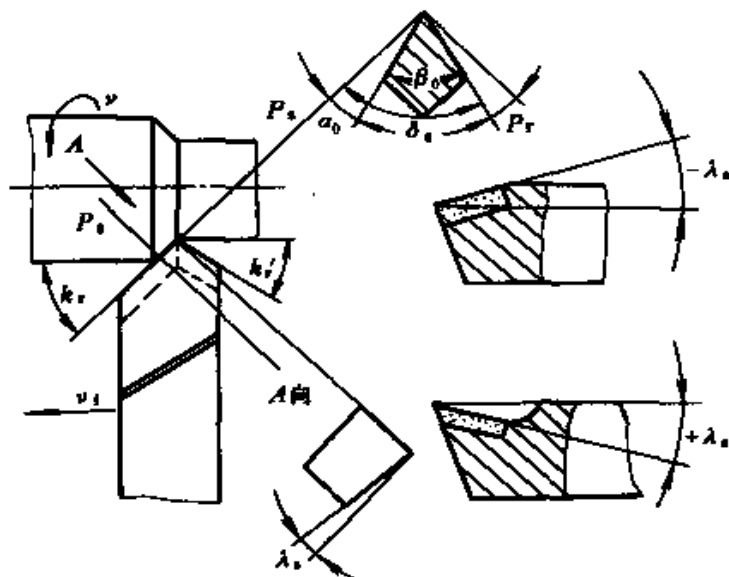


图 1-3 车刀的标注角度

(3) 切削角 δ_0 切削平面和前刀面之间的夹角。

δ_0 和 γ_0 互为余角，即 $\delta_0 + \gamma_0 = 90^\circ$ 。

(4) 楔角 β_0 前刀面和后刀面之间的夹角。它的大小说明刃口的强弱。 $\beta_0 = 90^\circ - \gamma_0 - \alpha_0$ 。

2. 在基面 P_r 中测量的角度

(1) 主偏角 κ_r 主切削刃在基面上投影与进给方向夹角，主偏角 κ_r 越大，切削厚度 a_c 则越大，切削宽度 a_w 越小，径向力 F_y 值越小，轴向力 F_x 越大，表面粗糙度值 R_a 愈大，致使被加工表面不光滑。主偏角 κ_r 主要根据机床、工件、夹具的系统刚度选取。当加工细长的塑料零件时，尽量选择大的主偏角 κ_r ，通常选 $\kappa_r = 90^\circ$ ，甚至选取 93° 。

(2) 副偏角 κ'_r 副切削刃在基面上的投影与进给方向所夹的角度。它的大小主要影响已加工表面粗糙度 R_a 值的大小，若要求已加

工表面光滑时, 尽量选择小值, 甚至选 $\kappa'_r = 0^\circ$, 使修光刃长度 $l_{\kappa'_r} = (1.2 \sim 1.5) f$ 。

3. 在切削平面 P_s 中测量的角度

刃倾角 λ_s 。主切削刃与基面的夹角。它的大小是表明主切削刃的倾斜程度的。我国根据国际 ISO 标准规定: 当刀尖最高时, 则定为 $+\lambda_s$; 刀尖最低时为 $-\lambda_s$; 主切削刃为水平时, 则 $\lambda_s = 0^\circ$ 。刃倾角 $\lambda_s \neq 0$ 时, 可以增大实际起作用的前角, 切削省力, 减少振动及产生的热量, 提高表面质量。

第三节 切屑的形成过程及切屑种类

一、塑料切屑的形成

1. 塑料切屑形成的实质

塑料的切削过程是指: 通过切削运动, 使刀具从工件上切除多余的塑料层, 形成切屑和已加工表面的过程。塑料切屑的形成过程, 是受切削刀具挤压而成, 工件材料的变形服从虎克定律。如图 1-4a 所示, 当类似刀具的压头以 F 力压在塑料工件上时, 被压的塑料开始产生弹性变形, 而后是塑性变形。当压力 F 达到塑料的剪切强度时, 则沿着滑移面 AO 滑移破坏。当使用前角 γ_0 和后角 α_0 的切刀切削塑料工件时 (图 1-4b), 其作用过程类似 a 图, 切刀继续运动, 则材料破坏并在 OMA 区内滑移, 最后变成切屑沿前刀面流出。由此可见, 塑料的切削过程是挤压过程。

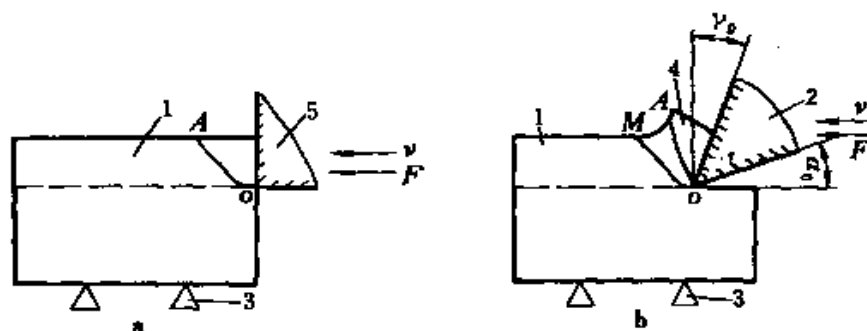


图 1-4 塑料切屑的形成

1—塑料工件; 2—刀具; 3—夹具; 4—塑料切屑; 5—压头

作用在切屑上的力如图 1-5 所示, a 图是切屑形成的情况和切削的有关参数, b 图是把切屑单独分离出来它的受力情况。

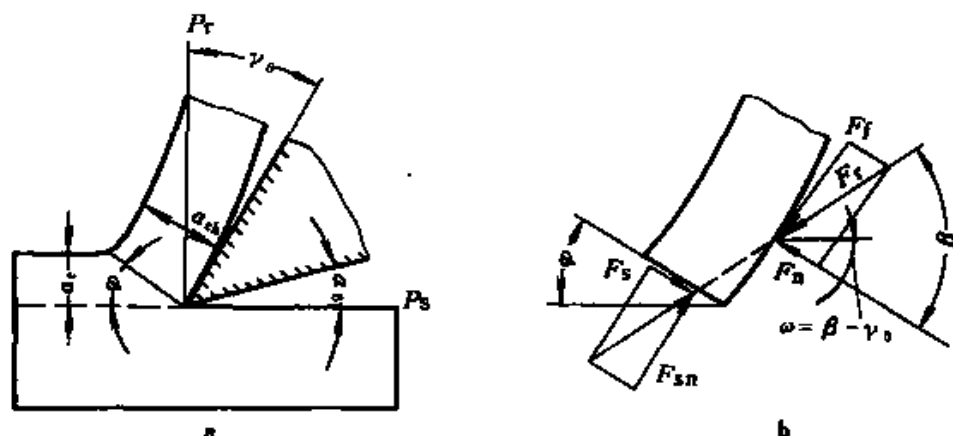


图 1-5 作用于塑料切屑上的力

前刀面对切屑作用力有法向力 F_n 和摩擦力 F_f 。在剪切滑移面上有剪切力 F_s 和法向力 F_m 。两组力的合力分别为 F_r 和 F_r' , 实际上 F_r 与 F_r' 并不在一条直线上, 稍稍有些偏离。这样, 其合力产生一力偶, 使切屑产生弯曲。 φ 是剪切角, 和工件材料及切削条件有关。合力 F 和法向力 F_n 的夹角 β , 其值 $\tan \beta = \mu$, 是摩擦角。 γ_0 是切刀的前角, a_c 是切削厚度, a_{ch} 是切屑厚度, a_w 是切削宽度。

刀具对切屑和工件的作用力如都画在切削刃的前方, 可得如图 1-6 的各力关系。

令 A_c 表示切削层的截面积, 则 $A_c = a_c \cdot a_w$; A_s 表示剪切面的截面积, 则 $A_s = \frac{A_c}{\sin \varphi}$

$$F_s = \tau \cdot A_s = \frac{\tau \cdot A_c}{\sin \varphi}$$

由图可知: $F_s = F_r \cdot \cos (\varphi + \beta - \gamma_0)$

$$F_r = \frac{F_s}{\cos (\varphi + \beta - \gamma_0)} = \frac{\tau \cdot A_c}{\sin \varphi \cdot \cos (\varphi + \beta - \gamma_0)}$$

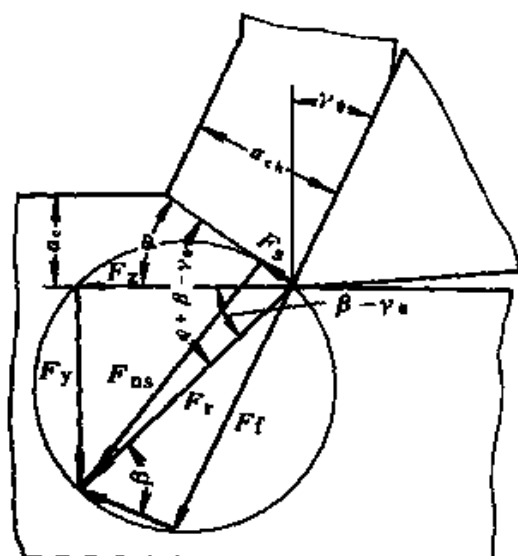


图 1-6 直角自由切削时力和角度的关系

因为: $F_z = F_r \cdot \cos (\beta - \gamma_0)$

所以: $F_z = \frac{\tau \cdot A_c \cdot \cos (\beta - \gamma_0)}{\sin \varphi \cdot \cos (\varphi + \beta - \gamma_0)}$

$$F_y = F_r \cdot \sin (\beta - \gamma_0) \\ = \frac{\tau \cdot A_c \cdot \sin (\beta - \gamma_0)}{\sin \varphi \cdot \cos (\varphi + \beta - \gamma_0)}$$

如果用测力仪测出各种塑料切削时切削力, 则

$$\frac{F_y}{F_z} = \operatorname{tg} (\beta - \gamma_0)$$

式中 γ_0 是已知的, 又因 $\operatorname{tg} \beta = \mu$, 这样可根据实验, 按着公式计算出切屑和前刀面的摩擦系数 μ 值。

由图 1-6 可见, 剪切角 φ 是切削合力 F_r 的函数。 φ 角应取使切削力 F_r 为最小值, 则

$$\frac{dF_r}{d\varphi} = d \frac{\tau \cdot A_c}{\sin \varphi \cdot \cos (\varphi + \beta - \gamma_0)} = 0$$

得
$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \frac{\beta}{2} + \frac{\gamma_0}{2}$$

上述求剪切角的公式称 M.E. Merchant 公式。

对剪切角的影响除 β 和 γ_0 外, 实验证明切削区域内的温度对它

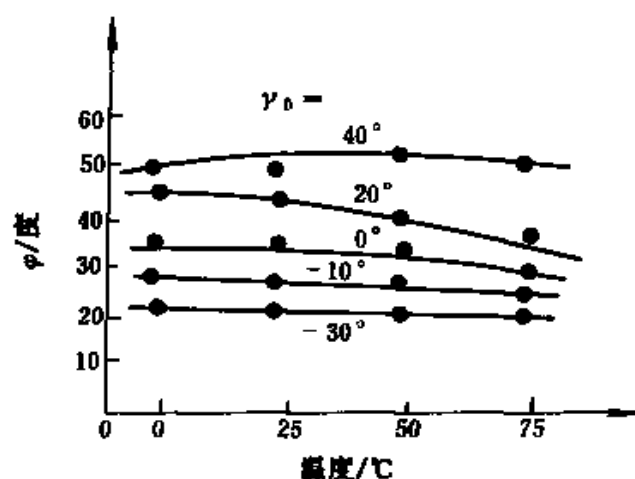


图 1-7 切削区的温度对剪切角 φ 的影响

也有一定的影响。图 1-7 是以切削速度 $v = 0.8\text{m/min}$ 和切削深度 $a_p = 0.1\text{mm}$, 切削聚甲基丙烯酸甲酯时, 切削区域内温度对剪切角 φ 的影响。由图可见, 切削区域内的温度有时对剪切角 φ 影响较大。例如当前角 $\gamma_0 = 20^\circ$ 时, 切削区域内的温度对剪切角 φ 的影响较为显著。

切削脆性塑料时, 当切刀进行挤压切削时, 工件内达到破裂强度后, 不产生滑移现象, 而如图 1-8 所示形成切屑。

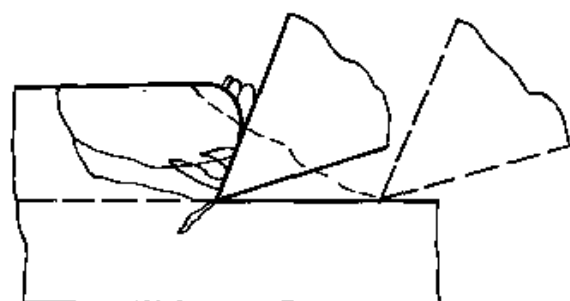


图 1-8 切削脆性塑料时切屑的形成

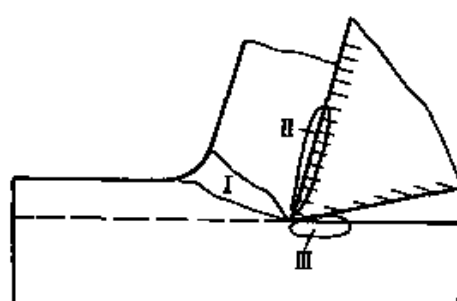


图 1-9 塑料切削时切削变形区

2. 变形区

在塑料切削时, 和金属切削类似, 变形首先发生在刃口前方的挤压区。在该区内塑料内部发生滑移, 通常称为滑移区, 即是第一变形区, 以 I 来表示。I 区是产生力和热的主要来源。如图 1-9 所示。切屑沿着切刀的前刀面流出, 由于前刀面对切屑的摩擦结果使切屑再次发生变形。切屑底层的塑料变形很大, 有时会使塑料变软, 且出现涂

抹现象，这个变形区通常称为第二变形区，以Ⅱ来表示。第三变形区系指刀具后刀面对已加工表面的摩擦区。在塑料切削时，由于塑料的弹性恢复较金属大，而切削刀具总是有个刃口半径 ρ ，其值最小时仍为 $5 \sim 7 \mu\text{m}$ ，必然有部分塑料被刃口压下。当刀具切过后，则又恢复和后刀面进行摩擦，这部分塑料变形也较严重，以Ⅲ表示。

在实际切削中，由于刀具前角 γ_0 不同，即将成为已加工表面塑料的变形情况也不一样，即刀具刃口的前方变形情况由于前角 γ_0 的不同而不同。图 1-10 指出切削聚四氟乙烯用不同的前角 γ_0 时，它们的变形是不相同的。图中以下述切削条件做实验： $v = 0.019\text{m/min}$ ， $a_p = 0.5\text{mm}$ 。从图中可清楚地看到，当前角 $\gamma_0 = 40^\circ$ 时，刃口前方的待加工塑料被提起；而 $\gamma_0 = 0^\circ$ 和 $\gamma_0 = -40^\circ$ 时，则前方塑料被压下。

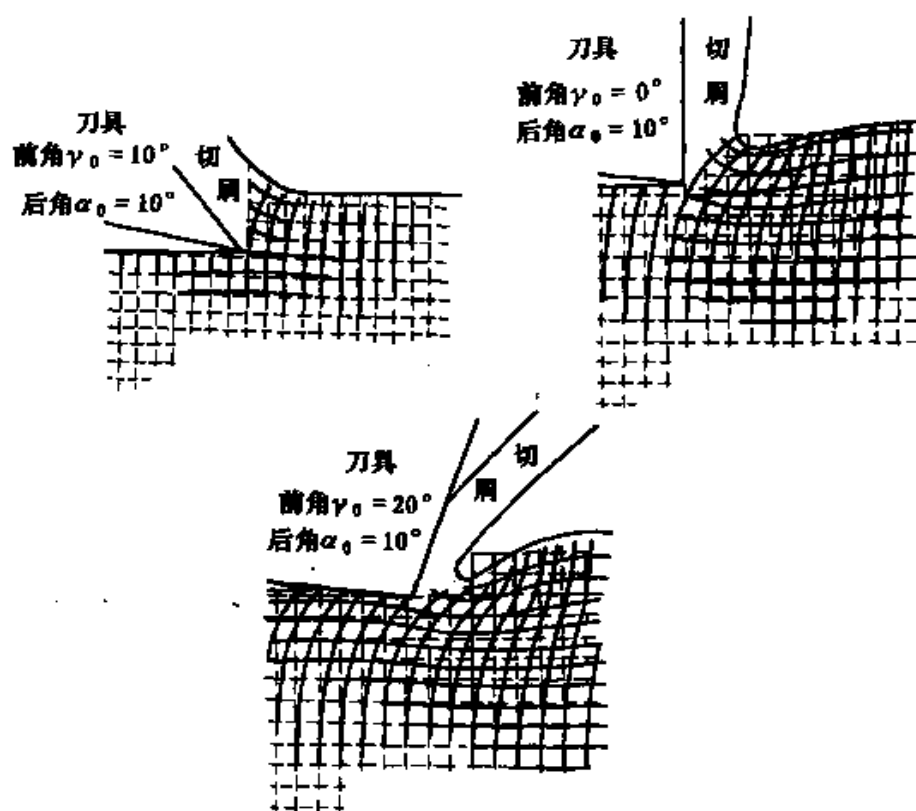


图 1-10 切削聚四氟乙烯塑料时前角对变形的影响
左上图 为前角 $\gamma_0 = 40^\circ$ ；右上图 为前角 $\gamma_0 = 0^\circ$ ；下图 为前角 $\gamma_0 = -20^\circ$

二、塑料切屑的类型

由于塑料的种类不同,切削条件不同,切削过程变形程度也不同,因而所形成切屑种类也不相同。在切削过程中,会形成不同形状的切屑。切屑种类反映了切削过程的特点,影响切削力的稳定性、加工表面质量和已加工表面粗糙度 R_a 值的大小。切屑种类总起来有下列类型。

1. 带状切屑

图 1-11 是用刀具前角 $\gamma_0 = 10^\circ$, 切削速度 $v = 0.2\text{m/min}$, 切削厚度 $a_c = 0.25\text{mm}$, 切削聚苯乙烯时形成带状切屑的情况。它的形状如带形, 内表面是光滑的, 外表面呈毛茸状。形成这种切屑时, 切削力变化较小, 已加工表面粗糙度 R_a 较小, 表面光滑。从图中可以看出剪切角 φ 值较大, 切屑受的应力小于材料的强度, 尽管切屑内部有滑移现象, 但未达到破裂。带状切屑易缠绕工件和刀具, 妨碍切削加工的正常进行, 并且这类切屑断屑比较困难。加工热塑性塑料和部分热固性塑料易形成这种切屑, 尤其是进给量较小、刀具前角 γ_0 较大和被加工材料塑性较大时易形成这类切屑。切削同一材料, 当使用的切削速度提高时易形成带状切屑。



图 1-11 带状切屑



图 1-12 简单不连续切屑

2. 简单不连续切屑

图 1-12 是在刀具前角 $\gamma_0 = -10^\circ$, 切削速度 $v = 0.8\text{m/min}$, 切削厚度 $a_c = 0.5\text{mm}$ 的切削条件下, 切削聚甲基丙烯酸甲酯时形成的切屑情况。

这种切屑呈不连续状态，剪切角 φ 较小。这时刀具对工件材料作用的剪切应力大于材料的强度极限而使切屑破坏。形成这种切屑时已加工表面粗糙度 R_a 较大，加工精度也很难保证。在用刀具前角 γ_0 较小，甚至是负值时，切削厚度 a_c 较大，切削塑性较小的塑料时易形成这种切屑。在生产上应尽量避免这种切屑。

3. 复杂不连续切屑

图 1-13 是在刀具前角 $\gamma_0 = -30^\circ$ ，切削速度 $v = 0.2\text{m/min}$ ，切削厚度 $a_c = 0.25\text{mm}$ 的切削条件下，切削聚苯乙烯产生的复杂不连续切屑。在这样的切削条件下，被加工材料除受剪切应力外，还受挤压应力。已加工表面粗糙度 R_a 值较大，并在已加工表面上形成明显的挤压痕迹。在生产中应尽量地避免形成这种切屑。

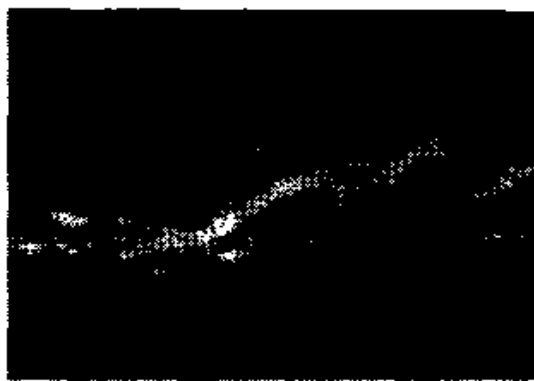


图 1-13 复杂不连续切屑

4. 破碎切屑

切削脆性塑料，例如在前角 $\gamma_0 = 40^\circ$ ，切削速度 $v = 0.2\text{m/min}$ ，切削厚度 $a_c = 0.25\text{mm}$ 的切削条件下，切削聚甲基丙烯酸甲酯塑料时，刀具刃口切入的情况（图 1-14）。这种塑料的塑性很小、拉伸强度低，刀具切入后，切削层内靠近切削刃和前刀面的局部塑料未经明显的塑性变形就在张应力状态下脆断，形成不规则的小碎块状切屑，同时使工件表面凹凸不平。当被切削的塑料越脆、切削厚度越大时，越易形成这种切削情况。这种情况，和金属切削时切削脆性材料铸铁相类似。

图 1-15 是用刀具前角 $\gamma_0 = 0^\circ$ ，切削速度 $v = 1430\text{m/min}$ ，切削深度 $a_p = 0.08\text{mm}$ 的切削条件下，切削注塑 SMS 等聚酯玻纤增强塑料时切屑的图片。从图片中可见，形成的破碎切屑呈锯齿形外观，很疏松也很脆，稍加力即可破碎，它类似用前锉板刀切削铸铁时形成的切屑形状。对大部分热固性塑料，例如酚醛塑料和氨基塑料等，以及部分

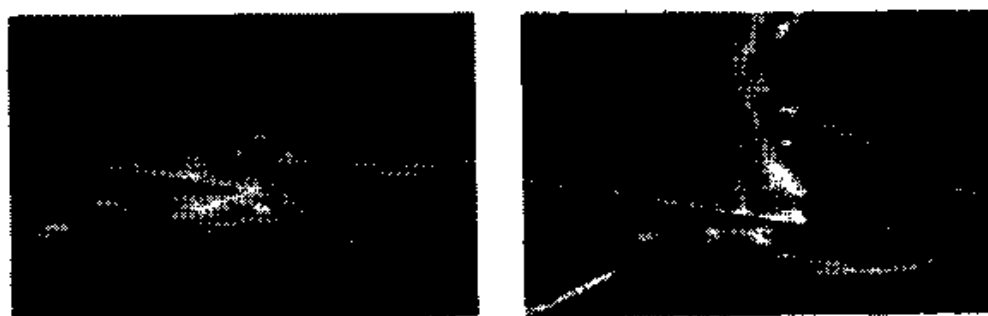


图 1-14 形成破碎切屑的情况

热脆性塑料，例如聚甲基丙烯酸甲酯进行切削实验，其切屑形成情况类似图 1-14，切屑形状类似图 1-15 或比其更碎。

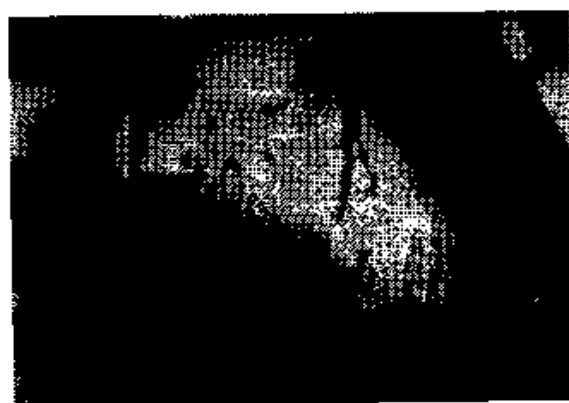


图 1-15 破碎切屑的形状

综合上述，塑料切屑形状和金属切屑形状不同，这是因为塑料和金属材料的差异而造成的。切削塑料形成带状切屑时，主要是在材料中引起高弹性，其剪切应力低于材料的剪切强度，在塑料切屑的内部仅产生塑料之间的滑移，没有破坏现象。不连续切屑是塑料由纯剪切而引起破坏或剪切和挤压，从而使材料破坏。破碎切屑主要是弹性破坏和脆性变坏所致。

切屑形状是随着刀具的几何参数、被加工塑料的性质和切削条件的变化而变化的。图 1-16 是切削注塑线型聚酯树脂时，切削速度 v 和切削深度 a_p 对切屑形状的影响。从图中实验结果可见，在同一切削深度 a_p 下，当切削速度 v 提高时，则由带状切屑逐渐的变为破碎切屑。切削速度 v 一定，当切屑深度 a_p 越大，也易形成破碎切屑。在生产实际中，对某种材料应通过实验的手段，选择适宜的切削条件，方能加工出高质量的工件。

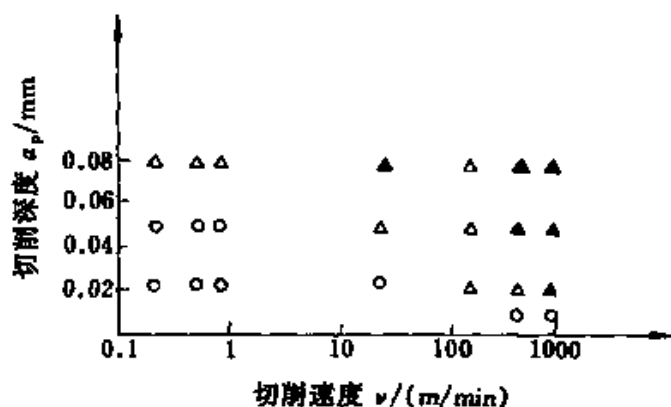


图 1-16 切削速度和切削深度对切屑形状的影响

○—带状切屑；△—不连续切屑；▲—破碎切屑

第四节 塑料的切削性能

一、塑料的切削性能

什么是切削性能？它是指一种塑料可被切削加工的难易程度。这里有三个主要指标来衡量切削性能：刀具寿命，表面质量和切削功率。因此，好的切削性能意味着功率消耗低，刀具磨损小和加工表面光滑。切削性能可被定量地表示为：

$$\eta_{c1} = \frac{V_m}{V_m \cdot N_{\text{切}} \cdot R_a}$$

式中 V_m ——单位时间切除掉的材料体积， mm^3/min ；

$N_{\text{切}}$ ——切削过程中的功率损耗， kgm/min ；

R_a ——加工表面的粗糙度参数， μm 。

当刀具磨损、功率消耗和表面粗糙度下降时切削性能因子 η_{c1} 变大。

假如 R_a 没有影响，切削性能的定义变为：

$$\eta_{c2} = \frac{V_m}{V_w \cdot N_{\text{切}}}$$

式中 V_w ——单位时间的刀具磨损量， mm^3/min 。

而且，假如刀具磨损同样可以忽略不计（因为可以选择合适的刀具材

料), 切削性能的定义又变为:

$$\eta_2 = \frac{V_m}{N_{\text{切}}}$$

同样, 由于 $N_{\text{切}}$ 等于主要切削力 F_z (N) 与切削速度 v (m/min) 的乘积, 即

$$N_{\text{切}} = \frac{F_z \cdot v}{6120}$$

(因为 $1\text{kW} = 102\text{kgm/s}$), 由于 V_m 在车削时等于 $2\pi R \cdot a_p \cdot v_f$, 这里 R 是工件半径, 用 mm 表示; a_p 是切削深度, 单位是 mm; v_f 是刀具进给速度, 单位是 mm/min; 那么上述公式变为:

$$\eta_1 = \frac{2\pi R \cdot a_p \cdot v_f \times 6120}{F_x \cdot V} = \frac{a_p \cdot v_f \cdot k}{F_x \cdot n}$$

式中 n ——工件转速, r/min;

k ——常数。

在正交切削时, v_f 可以忽略, 上述公式变为:

$$\eta_0 = k = \frac{a_p}{F_x}$$

$F_x/(a_w \cdot a_p)$ 等于在正交切削实验中, 整个能量与材料去除体积之比, 通常被称为单位切削力, 用 MPa 表示; a_w 是被切削的工件的宽度。因此可以说, 随着单位切削力下降, 切削性能变得越来越好。

为确定塑料的切削性能, 必须用仪器测量切削力、刀具磨损和表面粗糙度。

如表 1-2 所示, 在切削塑料时形成几种不同类型的切屑。连续切屑所占的百分比也可以用来评定塑料的加工性能。连续切屑的比例增加, 意味着切削性能变好。

二、塑料切削性能的评定

图 1-17 表明了所有形成的切屑中连续切屑的比例与切削速度的关系。这些数据是通过实验得到的。实验条件是: 切削速度从 $0.1 \sim 400\text{m/min}$, 使用刀具前角 $\gamma_0 = -20^\circ \sim 40^\circ$, 切削深度 $a_p = 0.01 \sim 0.2\text{mm}$ 。一般来说, 连续切屑产生的比例随切削速度的升高而下降。

表 1-2 几种塑料无切削液正交切削时的典型数据

材 料	a_p mm	γ_0 度	v m/min	F_z N	F_y N	r	φ 度	γ	τ_s MPa	σ_s MPa	σ_0 MPa	μ	P MPa	P_s MPa
聚乙烯	0.025	0	25.4	20.0	9.00	0.373	20.5	3.048	42.00	41.6	153.8	0.45	153.8	128.0
	0.05	0	25.4	32.5	10.0	0.532	28.0	2.412	43.39	43.5	125.0	0.308	125.0	104.5
	0.10	0	25.4	51.0	13.0	0.649	33.0	2.189	37.41	40.5	98.2	0.255	98.2	82.0
	0.20	0	25.4	88.0	17.5	0.702	35.1	2.126	34.07	35.7	84.2	0.198	84.2	72.3
	0.30	0	25.4	122.0	24.0	0.668	33.75	2.165	31.17	31.0	77.8	0.197	77.8	67.5
聚氯乙烯	0.05	30	110	24.0	7.00	0.833	51.1	1.19	79.80	55.5	120.0	0.245	120.0	95.3
	0.05	20	110	31.0	4.00	0.980	54.2	1.40	86.7	92.4	155.0	0.224	155.0	121.0
	0.05	10	110	35.0	2.00	0.943	48.0	1.68	92.5	91.7	175.0	0.118	175.0	156.0
	0.05	0	110	42.0	6.00	0.769	37.6	2.07	90.3	92.6	210.0	0.143	210.0	187.0
	0.05	10	110	46.0	10.5	0.581	27.5	2.69	78.2	79.7	230.0	0.142	230.0	210.0
聚苯乙烯	0.05	20	110	16.0	22.0	0.500	21.9	3.39	64.2	69.9	230.0	0.097	230.0	218.0
	0.10	20	0.2	22.5	1.40	0.714	41.6	1.52	62.0	48.6	118.0	0.295	118.0	94.4
ABS-M	0.50	20	0.2	82.0	16.0	0.909	51.1	1.41	52.4	44.1	86.0	0.158	86.0	73.9
	0.013	10	150	17.0	7.50	0.722	39.2	1.785	70.1	138.0	224.8	0.557	224.8	126.0
	0.026	10	150	31.5	8.00	0.722	39.2	1.785	81.0	109.0	208.3	0.411	208.3	144.0
	0.052	10	150	53.0	9.00	0.776	41.3	1.745	74.0	90.5	175.3	0.337	175.3	130.0
聚酰胺 尼龙 6	0.105	10	150	91.0	10.0	0.834	43.8	1.711	66.2	79.3	149.0	0.280	149.0	114.0
	0.050	10	10	36.0	8.00	0.909	46.8	1.69	68.6	86.6	180.0	0.415	180.0	116.0
	0.100	10	10	58.0	9.00	0.893	46.1	1.69	60.7	79.4	145.0	0.341	145.0	103.0
	0.150	10	10	82.0	10.0	0.893	46.1	1.69	59.6	76.0	137.0	0.305	137.0	101.0
	0.200	10	10	106.0	12.0	0.889	46.0	1.69	58.5	103.0	133.0	0.295	133.0	98.9

续表

材 料	a_p mm	γ_0 度	ν m/min	F_x N	F_y N	r	φ 度	γ	τ_s MPa	σ_s MPa	σ_0 MPa	μ	P MPa	P_s MPa
聚碳酸酯	0.020	20	200	28.0	5.00	0.690	40.3	1.55	94.0	117.0	232.0	0.580	232.0	150.0
	0.041	20	200	45.0	5.00	0.774	44.7	1.47	80.9	99.9	182.0	0.495	182.0	119.0
	0.082	20	200	75.0	5.00	0.812	46.6	1.45	80.9	74.8	151.0	0.290	151.0	117.0
	0.123	20	200	100.0	8.00	0.831	47.5	1.44	72.9	67.8	135.0	0.276	135.0	105.0
	0.247	20	200	167.0	30.0	0.852	48.5	1.43	66.8	62.8	112.0	0.173	112.0	95.4
乙缩醇树脂	0.020	10	400	26.0	3.00	0.667	36.6	1.85	94.8	89.0	217.0	0.298	217.0	175.0
	0.041	10	400	44.0	2.00	0.719	20.0	1.79	94.3	74.8	179.0	0.224	179.0	151.0
	0.082	10	400	70.0	0.00	0.770	41.2	1.75	70.5	61.7	142.0	0.176	142.0	123.0
	0.123	10	400	94.0	3.00	0.783	41.8	1.74	65.1	54.5	127.0	0.144	127.0	113.0
	0.011	20	400	11.0	1.50	0.688	40.2	1.55	88.3	97.9	202.0	0.526	202.0	137.0
聚丙烯	0.022	20	400	16.0	0.00	0.815	46.7	1.44	73.5	78.0	147.0	0.364	147.0	106.0
	0.045	20	400	28.0	2.00	0.882	49.9	1.42	67.3	69.3	126.0	0.285	126.0	95.4
	0.092	20	400	49.5	7.00	0.939	52.4	1.40	62.3	61.0	109.0	0.212	109.0	87.5
	0.182	20	400	87.5	10.0	0.863	49.0	1.43	60.1	47.0	99.3	0.158	99.3	55.6
	0.011	20	400	28.0	51.0	0.991	34.8	2.86	155.0	629.0	852.0	0.390	852.0	443.0
纸基层压 酚醛塑料	0.011	10	400	48.0	25.0	0.940	38.5	2.39	202.0	454.0	707.0	0.316	707.0	482.0
	0.011	0	400	41.0	15.0	0.982	44.5	3.00	193.0	407.0	604.0	0.366	607.0	387.0
	0.011	10	400	40.0	13.0	0.982	49.4	1.68	181.0	436.0	591.0	0.532	591.0	305.0

表中： a_p ——切削深度，mm； γ_0 ——前角，度；
 ν ——切削速度，m/min； F_x ——刀具运动方向的分力，N；
 F_y ——垂直于切削运动方向的分力，N； γ ——相对滑移系数；
 φ ——剪切角，度； σ_s ——剪切面法向应力，MPa；
 τ_s ——剪切面剪切应力，MPa； μ ——摩擦系数；
 P_s ——单位剪切应力，MPa； P ——单位切削力，MPa；
 r ——切削深度和切削厚度之比。

在实验中还发现，热固性塑料比热塑性塑料产生连续切屑的比例要少得多。

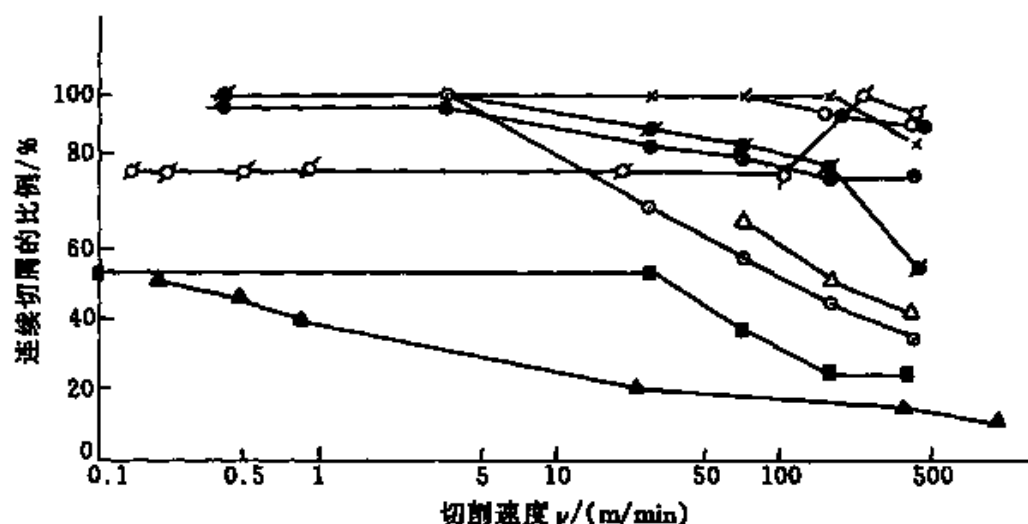


图 1-17 形成的所有切屑中连续切屑所占比例与切削速度的关系

○—聚碳酸酯；●—ABS-L；⊙—尼龙 6；△—乙缩醛；○—尼龙 610

■—0 纸基层压酚醛塑料；⊗—尼龙 66；▲—铸塑聚酯树脂；×—ABS-M 和 H 树脂

如前所述，单位切削力被用来评估塑料的切削性能。然而，单位切削力随切削深度、切削速度及刀具前角而变化，因此不同塑料的单位切削力之间比较是相当困难的。必须选择产生连续切屑的条件来计算单位切削力。在刀具前角为 0° ，切削速度为 $150m/min$ ，切削深度为 $0.05mm$ 时，我们切割了几种不同的塑料试件。结果在图 1-18 中给出。从图中可看出，热固性塑料的单位切削力总是比热塑性塑料大。虽然其他的热塑性塑料的单位切削力值大致相同，但聚乙烯和聚四氟乙烯的值却很小。值最小的是铸塑聚酯树脂，原因是不连续断裂切屑的产生，而切削条件并没有变化。除了铸聚酯树脂外，单位切削力越小，切削性能越好。

几种不同塑料能产生连续切屑的最大切削深度的值如图 1-19 所示。这些数据是在下列的实验条件下取得：前角 $\gamma_0 = 0^\circ$ ，切削速度

$v = 400\text{m/min}$, 能产生连续切屑的切削深度越大, 切削效率越高, 加工性能越好。

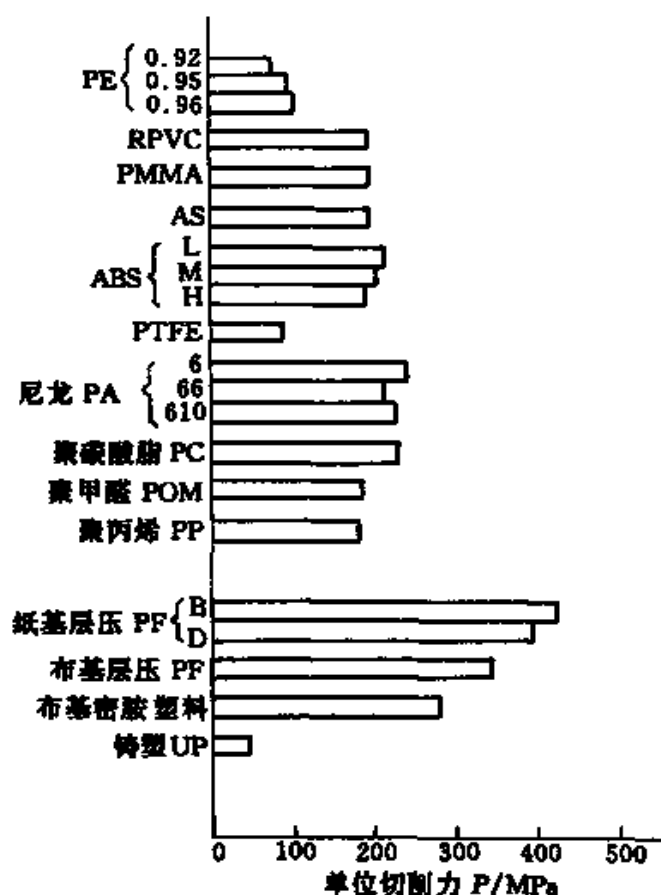


图 1-18 几种塑料单位切削力比较

刀具前角 $\gamma_0 = 0^\circ$, 切削速度 $v = 150\text{m/min}$, 切削深度 $a_p = 0.05\text{mm}$

从上述结果, 可总结出塑料切削性能的评定结果, 见表 1-3。切削性能越好, 产生连续切屑的范围越大, 表面粗糙度值越小, 精度越高; 越小的单位切削力产生的切削热越小, 刀具寿命越长。可以进行大切削厚度、高效率、高速度地加工称为该塑料具有良好的机械加工性能。

各种塑料的具体机械性能的评述在第二章中将详细讨论。

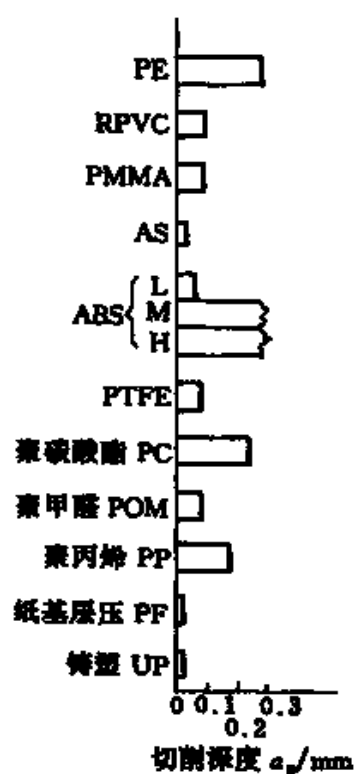


图 1-19 能产生连续切屑的最大切削深度

刀具前角 γ_0 , 切削速度 $v = 400\text{m/min}$

表 1-3 塑料切削性能的评定

切削性能评定	热塑性塑料	热固性塑料
优异	聚乙烯 ABS-M 和 H 聚四氟乙烯 尼龙 6 和尼龙 610 聚碳酸酯	
优与良之间	硬聚氯乙烯 有机玻璃 ABS-L 乙缩醛 聚丙烯 尼龙 66	
良好	AS	

续表

切削性能评定	热塑性塑料	热固性塑料
较好	聚苯乙烯	纸基和布基层压酚醛塑料
较差		纸基层压蜜胺塑料
差		玻璃基层压酚醛塑料 聚酯铸塑树脂 环氧铸塑树脂

第五节 切削力和切削热

如前所述，塑料加工时的切削力和切削热对其切削性能和使用性能的影响很大。这里就切削力和切削热产生的机理、影响因素及对塑料加工的影响加以讨论。

一、切削力的来源和分解

切削塑料时，在第一变形区内有弹性变形和塑性变形，在第二变形区内有切屑和前刀面的摩擦，在第三变形区内存在已加工表面和后刀面之间的摩擦。这些变形和摩擦产生的力作用于刀具的前刀面、后刀面和切削刃上。其合力的大小、方向和作用点很难确定。为了测量方便和实际生产的需要，可把它们分解如图 1-20 的三个分力。

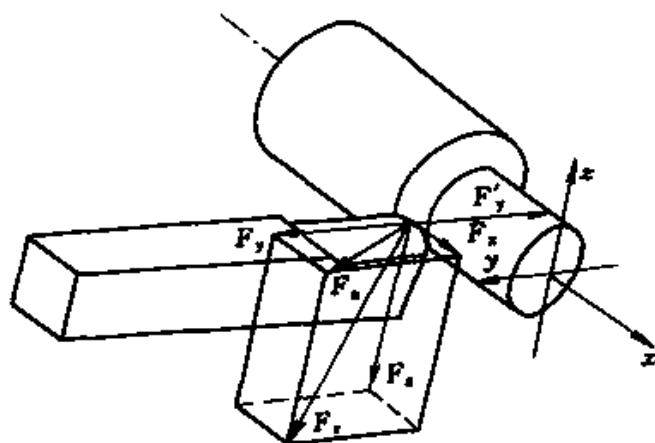


图 1-20 切削力的分解

(1) 主切削力 F_z 主切削力垂直于基面，和切削速度 v 的方向一致，又可称为切向力。主切削力 F_z 是计算切削功率及刀杆强度的依据。

(2) 径向力 F_y 该力和工件中心线垂直，沿工件的直径方向和 F_y 力大小相等方向相反的力 F_y' 作用于工件上，会使工件弯曲，影响加工精度。所以，在切削细长轴类刚度较差的工件时，应特别注意 F_y 值，如果它过大时，工件变形大，会造成废品。

(3) 轴向力 F_x 该力和刀具的进给方向相反，沿工件的轴线方向。它是计算带动刀具做轴向进给运动的机床走刀机构强度的依据。

根据图 1-20 所示的各分力和合力 (F_r) 之间关系可用下式表示：

$$F_r = \sqrt{F_z^2 + F_y^2 + F_x^2}$$

式中 $F_y = F_n \cdot \cos \kappa_r$; $F_x = F_n \cdot \sin \kappa_r$

F_n ——水平分力；

κ_r ——刀具的主偏角。

在实际切削中，主切削力 F_z 值最大，其次是径向力 F_y ，轴向力 F_x 最小。随着刀具几何参数、刃磨质量、磨损情况和切削用量不同， F_y 和 F_x 相对于 F_z 的比值大致是下述关系：

$$F_y = (0.2 \sim 0.7) F_z; \quad F_x = (0.1 \sim 0.6) F_z$$

二、切削功率 N

切削功率 N 是指切削塑料时在切削区域内消耗的功率。主切削力 F_z 是功率的主要来源。因为 F_z 力最大，并且和主运动速度 v 方向的夹角 $\alpha = 0$ ，主运动 v 最高。 F_y 力因为和进给方向垂直，所以不做功。 F_x 力和进给方向一致，但因进给速度 v_f 和 v 比起来很小，所以做的功很小，可以不计算在内。按着功率的定义，用力和其作用方向上速度的乘积即可求得，所以可按下式计算：

$$N = F_z \cdot v + F_x \cdot v_f$$

式中 v ——切削速度，m/min；

f ——进给量，mm/r。

若略去 v_f 所做的功，则功率可近似的按下式计算：

$$N = \frac{P_s \cdot V}{6120} \text{ kW}$$

根据切削功率选择机床的电动机功率时，还要考虑机床的传动效率。机床电动机的功率应当是：

$$N_E \geq \frac{N}{\eta_m}$$

式中 η_m ——机床的传动功率系数，通常取 $\eta_m = 0.75 \sim 0.85$ 。

三、切削力的经验公式

切削力的经验公式是用实验方法建立起来的。实验时用立式平行八角环三向测力仪，动态应变仪，DY-3 型电源供给器和 SC16A 型光线示波器，在 CM6140 型精密车床上对各种塑料进行切削，把数据处理后建立起来的。实验时，采用单因素实验法，即是固定其他因素，只改变一个因素的条件下，测出切削力，这样建立起来的公式为：

$$F_z = C_{F_z} \cdot a_p^{x_{F_z}} \cdot f^{y_{F_z}}$$

式中 F_z ——主切削力，N；

C_{F_z} ——主切削力系数，N。

当取 $a_p = 1$ ， $f = 1$ 时，在测力仪测得的切削力，它和被加工材料性质有关，例如对于酚醛玻璃布层压塑料 $C_{F_z} = 230\text{N}$ ；尼龙 66 塑料 $C_{F_z} = 170\text{N}$ ；

X_{F_z} ——切削深度指数，酚醛玻璃布层压塑料和尼龙 66 塑料

$$X_{F_z} = 1;$$

Y_{F_z} ——进给量指数，对于酚醛玻璃布层压塑料 $Y_{F_z} = 0.54$ ，尼龙

66 塑料 $Y_{F_z} = 0.75$ ；

a_p ——切削深度，mm；

f ——进给量，mm/r。

用上述公式计算出主切削力 F_z 后，则可用 $N = F_z \cdot v / 6120$ 公式来计算切削功率。

用求主切削力的同样方法，可列出径向力 F_y 和轴向力 F_x 的公

式为:

$$F_y = C_{F_y} \cdot a_p^{x_{F_y}} \cdot f^{y_{F_y}}$$

$$F_x = C_{F_x} \cdot a_p^{x_{F_x}} \cdot f^{y_{F_x}}$$

式中 C_{F_y} 、 C_{F_x} ——径向力和轴向力系数;

X_{F_y} 、 X_{F_x} ——径向力和轴向力的切削深度指数;

Y_{F_y} 、 Y_{F_x} ——径向力和轴向力的进给量指数。

四、影响切削力的因素

因为切削力是由变形和摩擦而产生的, 所以凡是影响变形和摩擦的因素都影响切削力。

1. 塑料种类的影响

工件材料的强度和硬度越高, 变形抗力就越大, 切削力也越大。若切削的强度、硬度相近时, 塑性大者, 因为切屑和前刀面摩擦大, 因而切削力也大。实验证明, 切削塑料的切削力一般为切削钢材切削力的 $1/6 \sim 1/4$ 。

2. 切削用量的影响

切削深度 a_p 和进给量 f 加大, 都使切削力增大, 但两者的影响

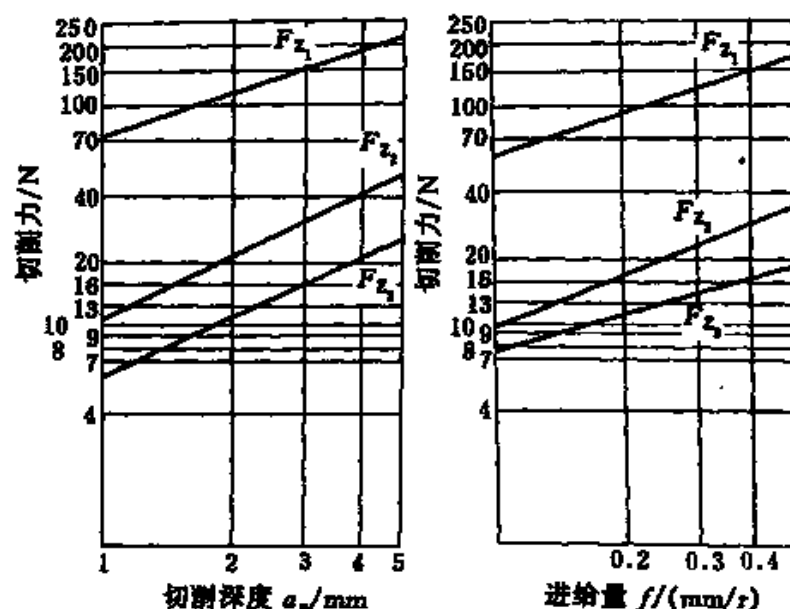


图 1-21 切削深度 a_p 和进给量 f 对主切削力 F_z 的影响

程度不同。

切削深度 a_p 和进给量 f 对主切削力 F_z 的影响如图 1-21 所示。

该图数据在以下实验条件下获得：刀具材料 YG8，刀具的前角 $\gamma_0 = 20^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 13^\circ$ ，主偏角 $\kappa_r = 90^\circ$ ，副偏角 $\kappa_r' = 5^\circ$ ，刃倾角 $\lambda_s = 0^\circ$ ，刀尖圆弧半径 $r_s = 0.25\text{mm}$ ，切削速度 $v = 50\text{m/min}$ 。分别切削钢材 (F_{z_1})、酚醛玻璃布层压塑料 (F_{z_2}) 和尼龙 66 (F_{z_3}) 时，把数据在双对数坐标上作图，则得 a_p 和 f 对主切削力 F_z 的影响曲线。从图中可见，在相同的切削条件下， a_p 对 F_z 的影响曲线斜率大于 f 对 F_z 影响的斜率。即是在 $F_z = C_{F_z} \cdot a_p^{X_{F_z}} \cdot f^{Y_{F_z}}$ 的公式中的 $X_{F_z} = 1$ ， $Y_{F_z} = 0.54 \sim 0.75$ 的原因，说明切削深度 a_p 对主切削力 F_z 的影响大

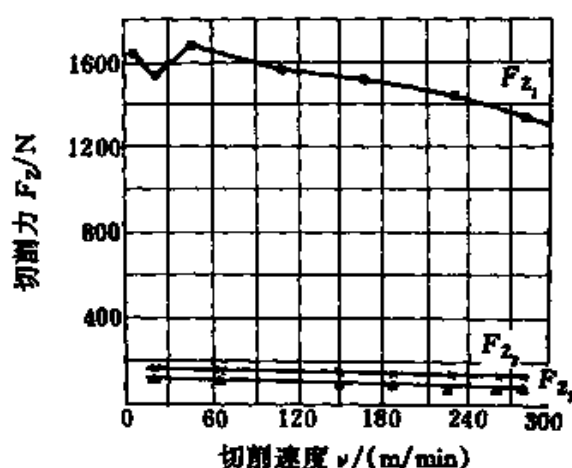


图 1-22 切削速度 v 对主切削力 F_z 的影响

于进给量 f 的影响。这样，在保证一定生产率的情况下，为了减少切削功率的消耗，应取大的进给量 f ，相应地减小切削深度 a_p 。

切削速度 v 对主切削力 F_z 的影响如图 1-22 所示，实验条件和图 1-21 相同。采用的切削深度 $a_p = 1.5\text{mm}$ ，进给量 $f = 0.2\text{mm/r}$ ， F_{z_1} 是代表切削 45# 钢的主切削力， F_{z_2} 是代表切削

酚醛玻璃布层压塑料的主切削力， F_{z_3} 是切削尼龙 66 的主切削力。从图中可见，切削速度 v 对切削力影响较小。和切削钢材比较起来，切钢时出现峰谷现象，而切削塑料时则为较平滑的曲线。切钢时的峰谷形状是因为钢材的切屑和刀具前刀面的接触区域，在高温、高压及摩擦力的作用下产生了积屑瘤，使实际工作的前角 γ_{∞} 增大，从而减小了切削力。当切削速度 v 达到一定值时，积屑瘤又会减小，实际工作前角 γ_{∞} 又会开始减小，切削力随之增加。切削速度 v 继续增高，

则因为没有了积屑瘤, 这时乃为标注前角 γ_0 。而切削酚醛玻璃层压塑料时, 不形成积屑瘤故没有峰谷现象。

3. 刀具角度的影响

图 1-23a 是切削聚碳酸酯树脂塑料时, 刀具前角 γ_0 对切削力大小的影响; 图 1-23b 图是切削酚醛纸基层压塑料时前角 γ_0 对切削力大小的影响。图中的实线和虚线分别表示主切削力 F_z 和径向力 F_y 的变化情况。从实验情况可见, 前角 γ_0 增大, 切削力减小。这是因为, 前角 γ_0 增大被切削塑料变形减小, 切屑对前刀面的正压力减小, 摩擦力减小, 总的切削力减小; 另外前角 γ_0 增大, 塑料的切屑变形程度下降, 切削力减小。这时, 切削较轻快, 产生的热量也较少。

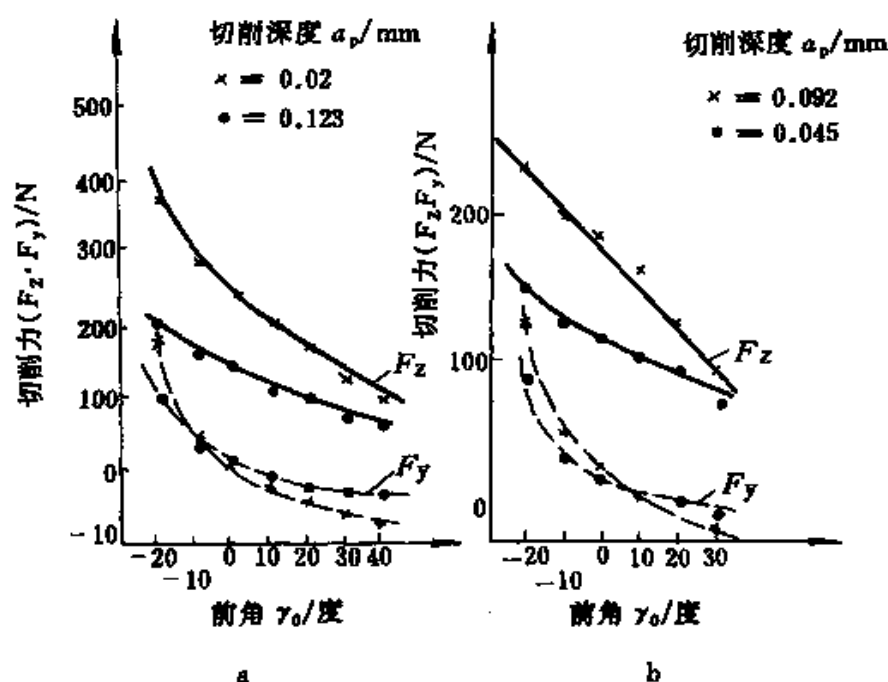


图 1-23 前角 γ_0 对切削力的影响

主偏角 κ_r 增大, 径向力 F_y 减小, 轴向力 F_x 增大。车削细长的塑料工件时, 应尽可能的选取大的主偏角 κ_r 。由于塑料的回弹性较大, 无论取 κ_r 多大, F_y 力总是大于 F_x 力的。

刃倾角 $\lambda_s \neq 0$ 时, 则实际工作前角 γ_{ae} 增大; 刀具的刃口半径 ρ

减小，刃口变得锋利；减少工件对刀具的冲击，使刀具、工件的振幅减小，可使已加工表面粗糙度 R_a 值减小，表面质量提高。

五、切削热的来源与传递

切削塑料时，切削热的来源主要有两个渠道：一是在刀具作用下，塑料的切削层发生弹性变形和塑性变形；二是切屑与前刀面已加工表面和后刀面之间的摩擦生热。如图 1-24 所示。

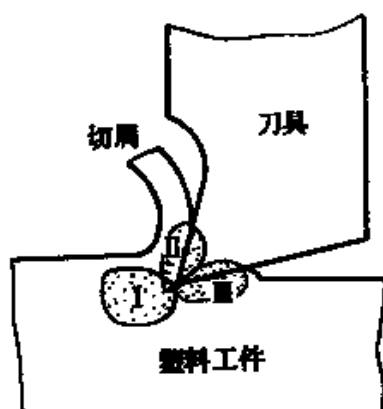


图 1-24 切削热的来源和传递

产生的热量传递给刀具、切屑、工件和介质（空气）。其热平衡方程式为：

$$Q \xrightarrow{\text{产生}} Q_{\text{弹变}} + Q_{\text{塑变}} + Q_{\text{前摩}} + Q_{\text{后摩}}$$

$$\xrightarrow{\text{传出}} Q_{\text{刀具}} + Q_{\text{切屑}} + Q_{\text{工件}} + Q_{\text{介质}}$$

塑料的导热系数很低，这样使切削区散热状况变差，这一特性和切削金属时不同。用 YT14 硬质合金外圆车刀，以切削深度 $a_p = 1.1\text{mm}$ ，进给量 $f = 0.32\text{mm/r}$ ，切削速度 $v = 50\text{m/min}$ 的切削条件下纵向车削聚苯乙烯时，切削热

传出比例为：传入切屑 57%，传入车刀 24%，传入工件 19%。可见切削塑料时，传入刀具的热量比切削金属时少的多。

六、切削温度

所谓切削温度系指切削区域内的平均温度。切削区域温度高低，决定于该处切削热量的多少和传递热的快慢。它直接影响刀具的寿命、已加工表面质量、切削形状和切削力的大小。切削温度可用热电偶来测量。实验表明，在切削热塑性塑料时，在距刀具的刃口和刀尖微小距离处温度最高。这是由于切屑和前刀面的摩擦产生的热量所致。切削热固性塑料时，最高温度是在靠近刀尖的后刀面上。

凡是影响变形和摩擦及热的传递因素都影响切削温度，它的高低和很多因素有关，分述如下。

1. 被切削塑料种类的影响

塑料的硬度和强度越高，所消耗的功率越多，产生的热量越多。

一般情况下，产生的热量越多，切削温度也越高。

塑料的热导率对切削温度也有较大的影响，例如聚乙烯和聚丙烯两种塑料尽管都是塑性较大的材料，但由于聚乙烯的热导率比聚丙烯大三倍，所以刀具前刀面温度比较低。

2. 刀具材料的影响

刀具材料的热导率大小是影响切削温度高低的重要因素。常用刀具材料的热导率列于表 1-4 中。

表 1-4 常用刀具材料的热导率

刀具材料	在下列温度时的热导率/W/(m·K)[kcal/(h·m·°C)]			
	20°C	200°C	500°C	900°C
T8A	36.7(42.7)	33.4(38.8)	26.1(30.3)	19(22.1)
T12A	33.4(38.9)	31.6(36.7)	25.6(29.8)	19.2(22.3)
M18Cr4V	19(22.1)	20(23.4)	20.7(24.1)	19.8(23.0)
YG6	52.6(61.2)	—	—	25.3(29.4)
YG8	20.1(23.4)	—	—	18.6(21.6)
金刚石	102 ~ 144(118.4 ~ 136.7)	—	—	—
陶瓷	1.5(1.8)	—	—	0.8(0.9 ^①)

① 在 1000°C 时。

分析表 1-4 可见，用金刚石刀具切削塑料，生产率可以很高。这不仅仅是金刚石刀具硬度高，切削刃可以磨得很锋利，而且还因为它的导热率高。

3. 切削用量的影响

大量的实验说明，无论是切削何种塑料，提高切削速度 v ，加大进给量 f 和切削深度 a_p ，都会使切削温度 θ 升高。

为了求切削温度 θ 的大小，可以用实验的方法求出数据，而后经过处理，建立数学公式。由于对切削温度测试方法不同，加工方法不同，切削塑料种类不同等因素的影响，其切削温度 θ 的计算公式也各异。

根据前苏联 A. В. Руяиель 和 A. А. Королев 的研究，车削不同牌号的酚醛玻璃布层压塑料，可分别用下列公式求其车削时的切削

温度。

车削 ЭФБ-Г 牌号时: $\theta = v^{0.34} \cdot a_p^{0.21} \cdot f^{0.26}$;

车削 II-2-5 牌号时: $\theta = v^{0.52} \cdot a_p^{0.25} \cdot f^{0.03}$;

车削 АГ-4С 牌号时: $\theta = v^{0.31} \cdot a_p^{0.19} \cdot f^{0.23}$

式中 θ ——切削温度, $^{\circ}\text{C}$;

v ——切削速度, mm/min ;

f ——进给量, mm/r ;

a_p ——切削深度, mm 。

实验表明, 进给量 f 对切削温度 θ 的影响是双重性的: 如果采用的进给量 f 可以获得带状切屑时, 则切屑温度 θ 随着进给量 f 的增大而升高; 但是, 采用的进给量 f 若形成不连续切屑时, 切削温度 θ 随着进给量 f 的增大而降低, 这是由于摩擦小的缘故, 因为在这种情况下, 被切离的切屑来不及加热。而且不连续切屑和前刀面的摩擦小, 产生的热量减少, 温度也就下降。

切削深度 a_p 由 0.5mm 增大到 10mm 时, 仅仅会使切削温度略有升高。这是由于切削深度 a_p 增大后, 散热情况得到改善的原因。

4. 刀具几何角度的影响

刀具的后角 α_0 增大时, 已加工表面和后刀面之间的接触面积减小, 摩擦力减小; 另外, 刀具刃口变得锋利, 因此切削温度 θ 下降。

对切削区的温度测量表明, 切削温度随着前角 γ_0 的增大而降低, 并且前角对于切削温度的影响程度大于后角的影响。例如采用切削用量 $v = 131.9\text{m}/\text{min}$, $f = 35\text{mm}/\text{min}$, $a_p = 4\text{mm}$, 若用前角 $\gamma_0 = -20^{\circ}$ 时, 切削温度 $\theta = 130^{\circ}\text{C}$; 而当采用前角 $\gamma_0 = 40^{\circ}$ 时, 则 $\theta = 100^{\circ}\text{C}$ 。

必须指出, 由于塑料的热导率小, 在外圆车削、钻削等加工时, 主切削刃上各点的切削速度不同, 所以沿切削层截面上各点的温度很不均匀。这样, 在车削和钻削中加大进给量 f , 切削厚度 a_e 增加, 导致切屑本身热量场分布的级差加大, 造成切屑收缩和伸长不均匀, 引起裂纹和气孔的数量增多, 尺寸加大, 并会变得很脆。由于上述原因, 在同样的切削条件下, 用各种测量温度的方法得出的结果大不相同。

七、切削温度对切削过程的影响

塑料的种类和牌号不同，它们的熔点也不一样。一般塑料的熔点是比较低的，最高的熔点不超过 300°C ，很多种塑料仅在 $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 左右就开始熔化。显然，当切削区域的温度达不到熔化温度时，被切削部分的塑料就会开始变软，致使已加工表面出现了涂抹现象，已加工表面质量变坏，甚至出现裂纹。尤其是在加工塑料中间装有金属导线的工件时，若产生涂抹现象，可能在金属导线的断面上涂抹上一层绝缘的塑料层，使工件不能导电，妨碍工件的正常工作。

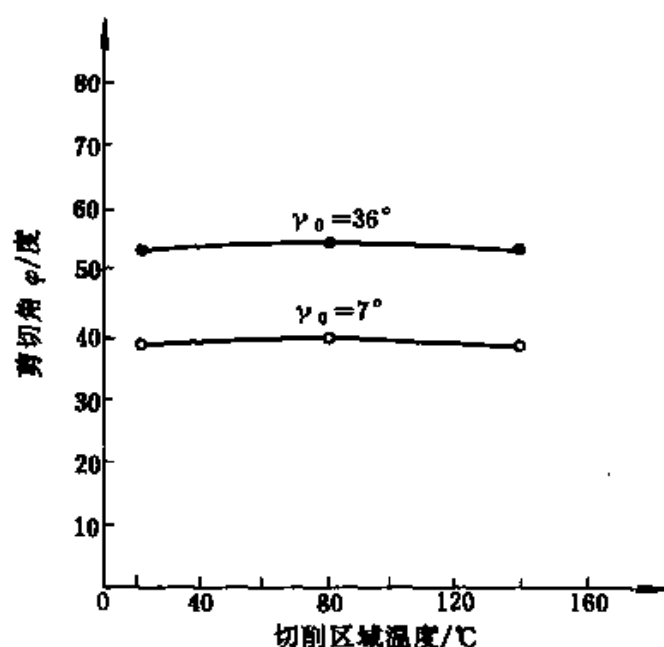


图 1-25 切削聚酰胺时温度对剪切角 φ 的影响

图 1-25 是用前角 $\gamma_0 = 36^{\circ}$ 和 7° 的刀具切聚酰胺时，剪切角 φ 随着切削温度变化情况。从图中可以看出，切削区域内的温度对剪切角 φ 的影响是很小的。这就是切屑的种类不随切削温度变化而变化的原因。但是，在剪切面上的剪切应力随着切削温度的增高而降低。图 1-26 是用切削速度 $v = 0.2\text{m/min}$ ，切削深度 $a_p = 0.1\text{mm}$ 切削聚甲基丙烯酸甲酯（实线），和切削聚苯乙烯（虚线）时切削温度对剪切应力影响关系曲线。可见切削温度提高，塑料内的剪切应力下降。这是因

为切削温度升高后，塑料变软的原因。

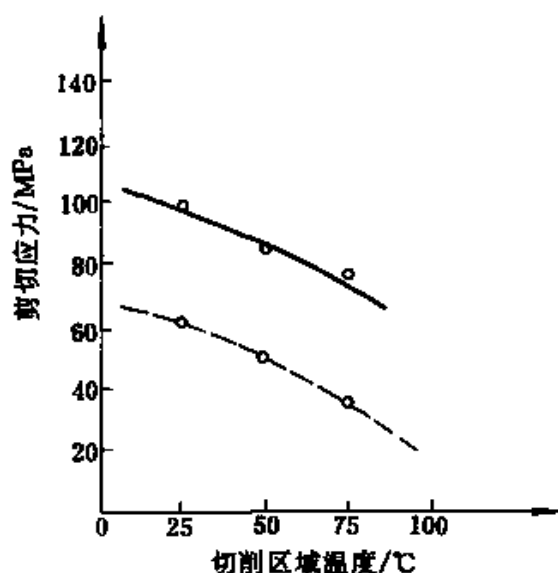


图 1-26 切削温度对剪切应力的影响

第六节 刀具的磨损和寿命

切削塑料时，刀具是在较大的切削力和热的情况下工作。切屑和已加工表面分别对前刀面和后刀面进行摩擦，前刀面和后刀面随着切削的进行都会逐渐地产生磨损。

一、磨损过程和磨损形式

切削塑料时，由于产生一定温度和切削力，所以切屑和前刀面、已加工表面和后刀面之间的摩擦和普通机件的摩擦有一定的区别。但它的磨损过程是类似于机件的磨损过程，如图 1-27 所示。和机件磨损相同，磨损曲线也分三个阶段。

(1) 初期磨损阶段（Ⅰ段） 刃磨后的新刀具，其后刀面与加工表面间的实际接触面积很小，压强较大，故磨损很快。另外，新刃磨后的刀具表面比较粗糙，也加速了刀具的磨损。所以，在初期磨损阶段内，在很短的切削时间里，磨损量很大。

(2) 正常磨损阶段（Ⅱ段） 在这一阶段内，随着切削时间增加，

磨损量以均匀的速度较缓慢地加大，这段线基本是直线，是刀具工作的有效阶段。

(3) 剧烈磨损阶段 (Ⅲ段) 当磨损量达到一定数值后，由于切削时间过长，切削温度剧增，硬度和强度下降，刀具磨损很快，继而刀具损坏。刀

具切削时，应在剧烈磨损阶段前进行重磨。如果超过这一阶段继续切削，就可能产生噪音和振动。甚至产生崩刃，造成刀具严重破坏。

和切削金属一样，切削塑料时刀具有三种磨损形式。

(1) 后刀面磨损 切削塑料时，后刀面均产生磨损，其磨损情况如图 1-28 所示。磨损的部位在参加切削的主切削刃和刀尖的后刀面区段上。在这一区段上被磨出后角为零的较为均匀的小棱面，其宽度以 VB 表示。由于塑料的弹性恢复较大，无论切削何种牌号的塑料，已加工表面对后刀面的磨损都较大；又因后刀面的磨损对加工精度、表面质量、切削力和切削热等都有较大的影响，而且后刀面磨损的大小测量比较方便，所以通常都以后刀面的磨损宽度 VB 作为刀具的磨钝标准。

切削时，如果形成不连续切屑，特别是切削在塑料中填加有强烈磨损性能的玻璃纤维基材的塑料，后刀面的磨损更为严重。

(2) 前刀面磨损 刀具的磨损形式如图 1-29 所示。在前刀面上距离刃口很近处磨出月牙洼。当形成带状切屑时，易形成这种形态的磨损。但应当指出，无论形成何种切屑，后刀面的磨损程度总是大于前刀面的磨损程度。

在切削时，大部分情况下，既产生后刀面的磨损，也产生前刀面的磨损。但无论发生什么形态的磨损，均以后刀面的磨损量 VB 为磨钝标准。

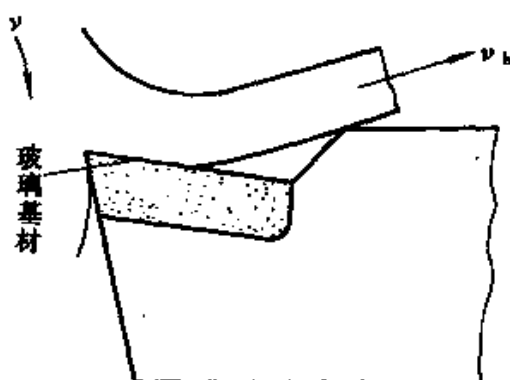


图 1-27 刀具磨损过程曲线

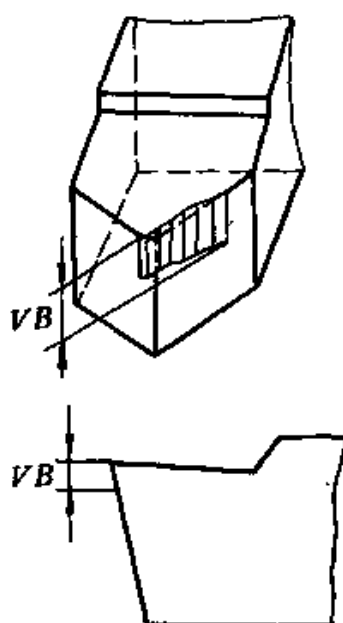


图 1-28 后刀面的磨损

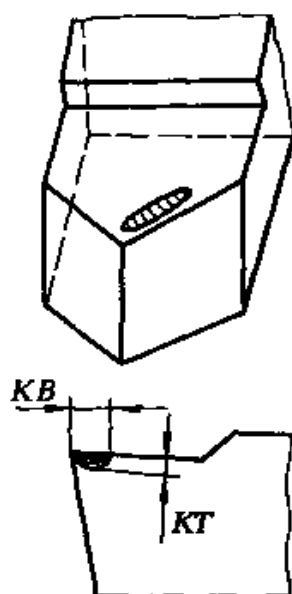


图 1-29 前刀面的磨损形式

二、磨损机理

1. 嵌入围损

切削塑料时，刀具的磨损机理首先和它的工作表面接触载荷条件有关。接触载荷使刀具的前刀面和后刀面造成了复杂的不均衡的应力状态，使得刀具表面发生破坏。刀具前刀面是由于切屑材料嵌入工件表面，后刀面是由于加工表面材料嵌入表面内而发生磨损。因此，如果研磨前刀面和后刀面，使切屑和工件材料压入的体积减小，就可提高刀具的耐磨性。这一磨损机理对硬质合金刀具具有特别重要的意义，硬质合金以其突起碳化物硬质点和切削物接触，这些硬质点底部粘牢在粘结剂钴（Co）上。被加工材料的微粒嵌入硬质合金硬质点中间，并以非常高的频率咬住和剪切硬质点，这一过程周期性的重复，逐渐降低了单个颗粒的粘固强度，逐渐使它们被剥离。

刀具材料表面层的周期性强度越差，抗蠕变性能越差，则带有微观剥落性质的局部疲劳损坏表现得越剧烈。因此，在塑料的低速切削区域内，切削温度低，高速钢刀具对于这类性质的磨损具有较高的耐

磨性，而硬质合金则差的多。随着切削速度增高，切削温度也升高，上述的过程起着决定性作用，致使硬质合金刀具剧烈地磨损。

2. 磨料磨损

在切削有机玻璃基材的塑料时，整个切屑、工件的硬度虽然低于刀具的硬度，但玻璃基材的硬度很高，图 1-30 中玻璃基材以 v_b 的速度划过刀具前刀面，多个玻璃基材这样划过，即可逐渐在前刀面上划出沟纹，从而形成磨损，即磨料磨损。这种基材在加工表面中也存在，所以在后刀面上也同样划出沟纹而造成磨损。

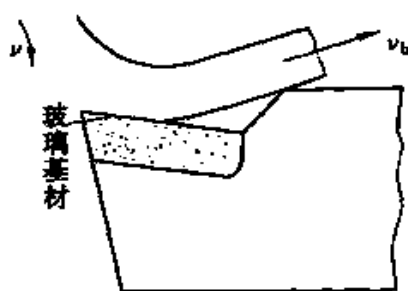


图 1-30 磨料磨损

另外，塑料中的玻璃基材也会对硬质合金粘结剂进行磨损，使碳化物颗粒脱落，造成前、后刀面的磨损。

当切削区域温度升高，特别是升到塑料降解温度时，上述磨料磨损过程显得更为显著。

应当指出，切削塑料时切削区域内的温度较低，所以不存在如切削金属那样的扩散磨损、化学磨损和相变磨损。

三、磨钝标准

刀具后刀面磨损到一定的宽度后，不能再继续使用，需要去磨刀，这个宽度的限度叫做磨钝标准，以 VB 表示，单位： mm 。

刀具磨钝标准有两种。一是按着刀具最大寿命规定的磨钝标准，即是磨损过程中，取正常磨损（Ⅱ段）的终点相对应的后刀面磨损量，称为合理磨钝标准，以 $VB_{合}$ 表示。另一种是根据被加工表面质量、表面粗糙度和表面降解等规定的磨钝标准，称为工艺磨钝标准，以 VB_I 表示， $VB_{合} > VB_I$ 。工艺磨损限度 VB_I 是根据具体情况而定。近年来，加工有机结构材料或含有有机成分的塑料时，刀具的工艺磨钝标准 VB_I 有减少到 $0.12 \sim 0.25mm$ 的趋势。许多工厂在重要工序上把工艺磨钝标准降低后，不仅改善了被加工工件的表面质量，而且提高了加工的工艺性。对于加工质量要求不高，而耐热性较高的塑料，

其工艺磨钝标准 VB_1 可增大至 $0.35 \sim 0.45\text{mm}$ 。

对于高速钢、合金工具钢和碳素工具钢等刀具材料，因为它们的寿命低，如果取 VB_1 较小是不合算的。若加工质量允许时，通常取 $VB_1 = 0.35 \sim 0.45\text{mm}$ 较为适宜。

实验证明，当工艺磨钝标准 VB_1 增大时，则切削温度升高较快。为了防止被加工材料变软，切削聚酰胺及其他热塑性塑料时，其工艺磨钝标准 VB_1 规定为 $0.05 \sim 0.10\text{mm}$ 。

在车削玻璃纤维层压塑料时，通常是以切削表面上无结构损坏的后刀面磨损为磨钝标准。实验证明，当工艺磨钝标准 $VB_1 > 0.2\text{mm}$ 时，则被加工工件表面呈现出疏松的纤维。所以，车削这类塑料， VB_1 不得大于 0.2mm 。

总的说来，工艺磨钝标准是根据被加工表面不产生缺陷为准而定的。这些缺陷包括：材料的降解、烧伤、胶合和开裂等现象；切削以玻璃纤维、棉布和纤维素为填料的塑料时，材料起毛并撕裂；在切断和钻孔时，边缘上形成毛刺和入、出口有分层和剥落现象。

四、刀具的寿命

1. 定义

刃磨后的刀具自开始切削直到后刀面的磨损量达到磨钝标准为止的总的切削时间称为刀具寿命。用 T 表示，单位以分钟计算。寿命 T 是净切削时间，不包括用于对刀、测量、快进、回程等非切削时间。

刀具磨钝标准 VB 和寿命 T 是衡量刀具磨损的两种度量方法。寿命 T 是表示用多少时间切削方能达到磨钝标准 VB 的量。但是，当 VB 确定后，寿命 T 并未确定，它是随着被加工材料性质、切削用量大小和其他切削条件的变化而变化的。

应当指出，刀具寿命和刀具总寿命含意不同。刀具总寿命表示一把新刀用到报废之前总的切削时间，它包括多次刃磨。因此，刀具总寿命等于刀具寿命乘以重磨次数。

刀具寿命 T 是个十分重要的参数，它不但是选择切削速度的重要依据，同时也是衡量工件材料可加工性、刀具材料的优劣和刀具几何参数是否合理的主要标志之一。

2. 刀具寿命 T 和切削用量 (v 、 f 、 a_p) 的关系

切削速度 v 、切削深度 a_p 和进给量 f 对刀具寿命 T 的影响可用实验方法求得。实验前先根据加工要求选定后刀面的磨钝标准，而后固定其他切削条件的情况下，改变切削速度 v ，得到相应的寿命 T ，如各相对应的值为 (v_1, T_1) ， (v_2, T_2) ， (v_3, T_3) ， (v_4, T_4) ，……等等，然后在双对数坐标上定出各点的位置，连接各点则得出图 1-31

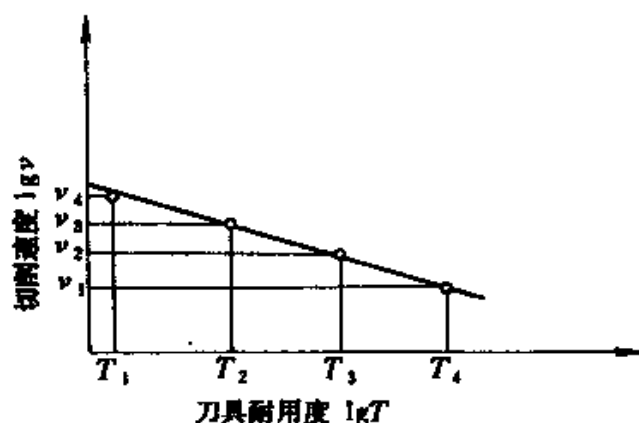


图 1-31 在双对数坐标上的 v - T 曲线

的 T - v 曲线。在一定的切削速度范围内，这些点基本上分布在一条直线上。故图中画为直线。这条在双对数坐标图上的直线可用下列方程表示：

$$\lg v = -m \lg T + \lg A$$

式中 $m = \operatorname{tg} \alpha$ ，即是直线的斜率； A 是当 $T = 1\text{s}$ （或 1min ）时直线在纵坐标上的截距。 m 和 A 均可以从图中求得。因此 v - T 关系式亦可用下式表示：

$$v = \frac{A}{T^m}$$

用同样的方法，也可以求出 a_p - T 、 f - T 曲线。

用镶 YG8 硬质合金刀片的外圆车刀（ $\gamma_0 = 10^\circ$ ， $\alpha_0 = 20^\circ$ ， $\alpha_0' = 20^\circ$ ， $\kappa_r = 45^\circ$ ， $\kappa_r' = 12^\circ$ ， $\lambda_s = 0^\circ$ ， $r = 3\text{mm}$ ）车削酚醛纸基层压塑料时，将归纳为下列关系式：

当 $v = 20 \sim 150 \text{m/min}$ 时, 关系式为:

$$v = 2.36 \cdot 10^4 \cdot T^{-1.13} \cdot f^{0.9} a_p^{-0.9}$$

当 $v = 150 \sim 500 \text{m/min}$ 时, 关系式为:

$$v = 5.64 \cdot 10^3 \cdot T^{-0.8} \cdot f^{-0.55} a_p^{-0.55}$$

归纳对各种塑料的切削实验, 可得出切削用量和刀具寿命关系式为:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot a_p^x \cdot f^y}$$

式中 C_v ——系数, 由被加工材料的物理机械性能, 刀具材料的切削性能和几何参数, 冷却润滑液及其他因素决定的;

T ——刀具寿命, min;

m ——寿命指数。

上述关系式适用于用 YG8 硬质合金车刀 ($\gamma_0 = 10^\circ$, $\alpha_0 = 20^\circ$, $\kappa_r = \kappa'_r = 45^\circ$, $\lambda_s = 0^\circ$, $r = 1 \text{mm}$), 以切削深度 $a_p = 0.2 \sim 1.0 \text{mm}$, 进给量 $f = 0.1 \sim 0.3 \text{mm/r}$ 切削各种塑料。式中各参数可在表 1-5 中查得。

表 1-5 切削速度和寿命关系式中的系数 C_v 和指数值

被加工材料	C_v	m	x	y
氟塑料	3732	1.1	0.36	0.68
聚氯乙稀硬塑料	9581	1.35	0.38	0.58
有机玻璃	147	0.38	0.33	0.45
酚醛棉布层压塑料	2650	1.02	0.55	0.44
尼龙 66	103	0.78	0.21	0.86

用 YG8 硬质合金车刀车削电工用酚醛纸基层压塑料, 切削速度和寿命关系可按下式计算:

$$v = \frac{3 \cdot 10^3}{T^{0.8} \cdot f^{0.4} \cdot a_p^{0.15}}$$

这个公式实验时切削参数的临界条件是: $v = 160 \sim 180 \text{m/min}$, $f = 0.16 \sim 1.00 \text{mm/r}$, $a_p = 1 \sim 5 \text{mm}$, $VB_1 = 0.4 \text{mm}$, $\alpha_0 = 20^\circ$, $\gamma_0 = 10^\circ$, $\kappa_r = 45^\circ$, $\kappa'_r = 15^\circ$, $\lambda_s = 0^\circ$, $r = 2 \sim 3 \text{mm}$ 。

无论是用硬质合金车刀, 还是用高速钢车刀, 都很容易车削以棉织物为基材的塑料。当进给量范围 $f = 0.1 \sim 0.5 \text{ mm/r}$, 切削深度 $a_p = 1 \sim 3 \text{ mm}$ 时, 其切削速度 v 推荐按下述公式计算。

若用镶 YG6 硬质合金刀片的车刀 ($\alpha_0 = 20^\circ$, $\gamma_0 = 8^\circ$, $\kappa_r = 45^\circ$, $\kappa_r' = 15^\circ$, $\lambda_s = 0^\circ$, $r = 4 \text{ mm}$) 时, 则切削速度 v 为:

$$v = \frac{2.52 \cdot 10^3}{T^{0.56} \cdot a_p^{0.7} \cdot f^{0.1}}$$

若用 W18Cr4V 高速钢车刀 ($\alpha_0 = 20^\circ$, $\gamma_0 = 10^\circ$, $\kappa_r = 45^\circ$, $\kappa_r' = 15^\circ$, $\lambda_s = 0^\circ$, $r = 4 \text{ mm}$) 车削时, 切削速度 v 为:

$$v = \frac{1 \cdot 10^3}{T^{0.46} \cdot f^{0.10} \cdot a_p^{0.64}}$$

用同样几何参数的硬质合金或高速钢镗刀对以棉织物为基材的塑料镗孔时, 切削速度亦可按上述相应公式计算。但需乘以一修正系数 K , 其值可在表 1-6 中查出。

表 1-6 镗孔时切削速度 v 的修正系数

镗孔直径/mm	75 以下	75 ~ 150	150 ~ 250	250 以上
修正系数 K	0.8	0.9	0.95	1.0

用同样的几何参数车削含有磨料成分的玻璃纤维基材的塑料时, 其切削速度 v 按下式计算:

用 $a_p = 0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$, $f = 0.1 \sim 0.2 \text{ mm/r}$ 时

$$v = \frac{476}{T^{0.18} \cdot f^{0.09} \cdot a_p^{0.02}}$$

用 $a_p = 1 \sim 3 \text{ mm}$, $f = 0.21 \sim 0.42 \text{ mm/r}$ 时,

$$v = \frac{187}{T^{0.18} \cdot f^{0.66} \cdot a_p^{0.09}}$$

对于切削速度 $v = 260 \sim 400 \text{ m/min}$ 范围内时, 车削玻璃纤维基材塑料时, 则切削速度 v 按下式计算:

$$v = \frac{226}{T^{0.11} \cdot f^{0.42} \cdot a_p^{0.19}}$$

但若用切削速度 $v = 100 \sim 300 \text{ m/min}$ 范围内时, 则:

$$v = \frac{209}{T^{0.25} \cdot f^{0.29} \cdot a_p^{0.22}}$$

总结所有刀具寿命 T 和切削用量关系可知, 切削速度对刀具寿命影响最大, 在一般情况下进给量的影响次之, 切削深度影响最小。所以, 在优选切削用量以提高生产率时, 通常选择的顺序为: 首先选用大的切削深度 a_p , 然后根据加工条件和加工要求先取允许的最大进给量 f , 最后才在刀具寿命或机床功率允许的情况下选取最大的切削速度 v 。

第七节 塑料零件已加工表面质量

一、已加工表面质量的涵义

塑料的已加工表面质量是塑料制品使用性能的重要方面。所谓加工表面质量, 是指塑料零件在加工后的表面层状态。它不可能是理想的光滑表面, 总是存在一定的微观几何形状偏差。表层材料在加工时受切削力、切削热的影响, 也会使原有的物理机械性能发生变化。因此, 表面质量包括以下两方面的内容:

1. 表面的几何形状特征

加工后的表面几何形状, 总是以“峰”、“谷”交替出现的形式偏离其理想的光滑表面。其偏差又有宏观、微观之分。一般以波距(峰与峰或谷与谷之间的距离) s 和波高(峰、谷间的高度) H 的比值可分为两种。

(1) 表面粗糙度 $s/H < 50$ 属于微观几何形状偏差 (图 1-32)。

(2) 表面波度 $s/H = 50 \sim 1000$, 介于宏观几何形状偏差 ($s/H > 1000$) 和表面粗糙度之间的周期性的几何形状偏差。它主要是加工过程中工艺系统的振动所引起的。

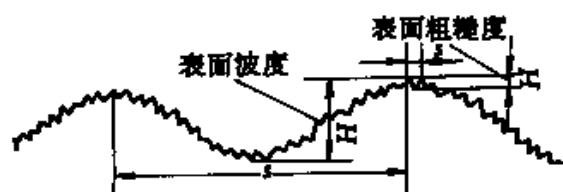


图 1-32 表面粗糙度和表面波度

评价表面粗糙度的高度特

性参数有 R_a 、 R_z 和 R_y 三个，其中最常用的是 R_a 。

2. 表面层的物理、机械性能

加工后的表面层，除粗糙度外，还有物理、机械性能的变化：

(1) 表面层的烧伤和裂纹 当切削过程中刀具与工件之间由于摩擦生热，或刀具克服塑料材料弹性、塑性变形所消耗的能量转变为热时，假如这个热量过大，表面温度很高，瞬间的高温过热使工件表面产生氧化焦化，工件表面呈焦糊状，称为烧伤，这种现象一般出现在热固性材料的切削过程中。

烧伤破坏工件的表层组织，导致分子间化学键的破坏，出现裂纹。另外，特别对一些易碎材料，进给量过大或加工过程中的冲击和振动，也会产生表面裂纹。

烧伤和裂纹使零件表面质量恶化，影响工件的使用性能。

(2) 表面的熔化和胶合 当产生过热时，超过材料的熔化温度，材料表面会发生熔化，塑料呈粘流态，在力的作用下与其他部分塑料产生粘接，叫胶合。


胶合使加工表面局部材料瞬间呈自由状态，加工表面质量和尺寸精度变差。

二、影响已加工表面质量的因素

1. 影响表面粗糙度的因素

(1) 几何因素的影响 切削时刀具在工件表面留下的残留面积，就是理论粗糙度。只有当刀具的负偏角 $\kappa_r' = 0$ 的切削时且修光刃长度为进给量 f 的 (1.2 ~ 1.5) 情况下，理论上的粗糙度才等于 0，理论粗糙度的计算见表 1-7。

表 1-7 残留面积高度计算公式

进给量范围	残留面积的形成	简 图	计 算 公 式
$f \leq 2r_t \sin \kappa_r'$	由刀尖的过渡刃圆弧部分形成		$H_{\max} = r_t - \frac{\sqrt{4r_t^2 - f^2}}{2}$ $\approx \frac{f^2}{8r_t}$

续表

进给量范围	残留面积的形成	简 图	计 算 公 式
$f > 2r_s \sin \kappa'_r$ $f \leq \frac{r_s}{\sin \kappa'_r}$ $[1 - \cos(\kappa_r + \kappa'_r)]$	由刀尖过渡刃圆弧部分和副切削刃形成		$H_{\max} = r_s [1 - \sin(\kappa'_r + \beta)]$ 式中 $\sin \beta = 1 - \frac{f}{r_s} \sin \kappa'_r$
$f > \frac{r_s}{\sin \kappa'_r}$ $[1 - \cos(\kappa_r + \kappa'_r)]$	由刀尖过渡刃圆弧部分和主、副切削刃形成		$H_{\max} = \frac{1}{\operatorname{ctg} \kappa_r + \operatorname{ctg} \kappa'_r}$ $[f - r_s (\operatorname{tg} \frac{\kappa_r}{2} + \operatorname{tg} \frac{\kappa'_r}{2})]$ $r_s = 0$ 时 $H_{\max} = \frac{f}{\operatorname{ctg} \kappa_r + \operatorname{ctg} \kappa'_r}$

从表中可以看出,除了刀具角度刀尖圆弧半径的影响,切削条件(如进给量)也是影响理论粗糙度的主要因素。

(2) 工件材料的影响 由于不同的塑料的热性能和机械物理性能不同,所以受温度、力和速度的影响也不同,弹性和塑性变形也不同。由于工件有弹性和塑性变形,表面的理论残留面积在刀具后刀面挤压摩擦下,会被挤歪或拉长,所以粗糙度的值比理论值要大得多。工件材料的塑性越大,粗糙度 R_a 值越大。

(3) 刀具材料的影响 刀具材料不同,与塑料表面的摩擦和产生的粘接力不同,因此影响热量产生和已加工表面工件材料和切屑的变形,从而影响已加工表面粗糙度 R_a 值和表面形态。

(4) 切削用量的影响 切削用量的选择,例如切削速度,每齿进给深度及工件进给速度等,都影响切屑的形成和表面粗糙度。

(5) 环境的影响 环境温度和冷却系统也会影响表面粗糙度及表面机械物理性能。

具体的情况将在下个问题中讨论。

2. 影响已加工表面烧伤、胶合、裂纹的因素

以前我们所讲的是单刃切削时刀具的几何参数对切屑的形成、切

削力、工件的变形和表面粗糙度等的影响。在多刃切削时，即用钻头、铣刀、圆锯片等刀具切削塑料时，其几何参数对表面质量、切削力和切屑变形的影响较为复杂，但由于多刃刀具是由单刃刀具演变而来的，所以亦可按单刃刀具切削时的选择方法来选择刃形。

图 1-33 是用圆锯片切断塑料板的简图。

一般认为每齿进给量 f_z 对表面质量的影响较大，但在圆锯片切断时，每齿进给量 f_z 是由切削速度 v 和进给速度 v_f 而定的。

实验表明，随着切削速度 v 和进给速度 v_f 的增大，零件的切断表面沿长度方向上出现碎裂现象。尤其切断易碎塑料，例如，切断蜜胺层压板或铸塑聚酯树脂时，这种现象更为多见。但是随着切削速度 v 增大和进给速度 v_f 的下降，在工件的已加工表面上会出现烧伤（热固性塑料）或熔化，胶合或退色（热塑性塑料）。

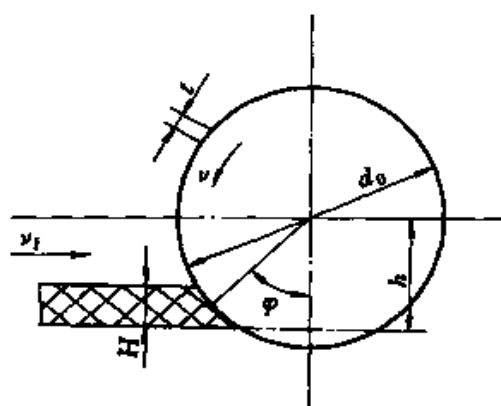


图 1-33 圆锯切断简图

- v —圆锯片切削速度， m/min ；
- v_f —工件进给速度， m/min ；
- t —锯齿齿距， m/min ；
- B —工件厚度， mm ；
- h —圆锯中心至工作台面距离， mm ；
- d_0 —圆锯片直径， mm 。



图 1-34 切断聚酯树脂时每齿进给量 f_z 对加工表面质量的影响

根据图 1-33 可得出 $f_z = v / (v_f \cdot t \cdot \sin \varphi)$ ，式中 $\varphi = \arccos(2h - b) /$

d_0 。可见, f_z 与 v 成正比, 与 v_f 成反比。从实验照片 (图 1-34) 可见, 随着 f_z 的增大, 工件的表面粗糙度 R_a 值增大, 且而其边缘的裂纹增加。图中从左至右, 是每齿进给量 f_z 逐渐增大而得的结果。

综上所述, 在切断塑料工件时, 首先应选择切削速度 v 和进给速度 v_f , 提供足够大的每齿进给量 f_z , 避免产生过热现象, 但 f_z 不能过大, 因为要尽量使表面粗糙度 R_a 小和边缘裂纹减少。

在切削条件中影响最大的是切削速度 v , 图 1-35 所示即是钻削有机玻璃时切削速度 v 对孔的表面质量的影响。

三、最佳切削条件的选择

1. 刀具几何角度与切削参数的选择

要想加工出较高表面质量的塑料工件, 下列因素必须加以考虑: 切屑的形态、刀具的形状、切削条件、塑料的机械性能、温度的变化和塑料的热性能等, 它们在加工中都起着很重要的作用。我们总是希望取得连续切屑, 避免发热, 减少工件材料在加工中的变形。为此, 我们希望刀具具有临界的或尽可能大的正前角, 以产生连续切屑和减小变形。临界前角有时又叫合理前角。切削条件的选择同样很重要, 特别是走刀量 f , 它是由进给速度决定的。如果 f 很大, 在已加工表面上会产生裂纹和残留面积。但如果走刀量 f 非常小时, 已加工表面会发生烧伤和胶合现象。因此, 在切削各种塑料时, 应当有个合理的走刀量 f 。

2. 切削热的影响

在塑料加工过程中应尽量减少过热产生, 因为它引起加工表面的烧伤或熔化。

由弹性和塑性变形产生的热, 与切削深度有关。图 1-36 给出了

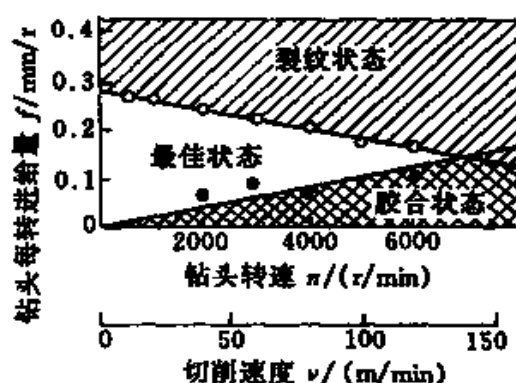


图 1-35 钻削有机玻璃时切削速度对孔表面质量的影响

切削深度和单位切削力的关系，图中，工件材料为聚碳酸酯，切削速度 $v = 200\text{m/min}$ ，使用四种不同前角的刀具。单位切削力即每单位面积的切削力或每单位体积的切削能量。随着切削深度的减少，单位切削力增加很快。单位切削力与单位体积产生的热成正比。

当切削深度很小时，磨削产生的热量，比车削塑料时大，见表 1-8。显然，选择切削条件时，选择最大切削深度，以便降低从塑性变形中产生的热。

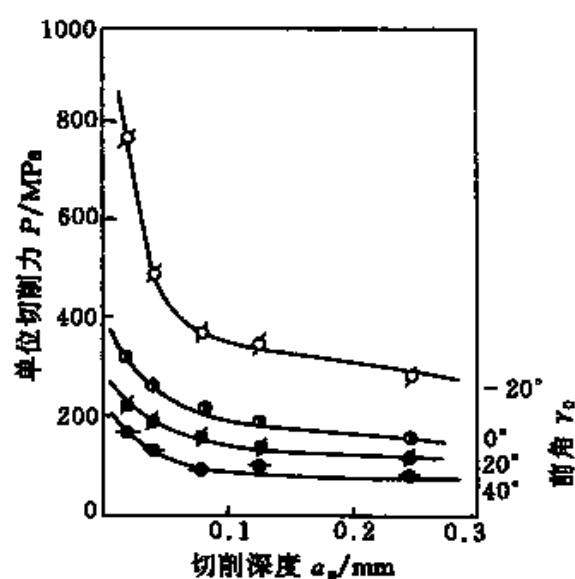


图 1-36 单位切削力与切削深度的关系

表 1-8 在加工纸基层压酚醛塑料时几种典型加工方法产生的热量

加工类型	切削深度/mm	产生的热量/ kJ/cm^3
车削	0.3	0.381
成型加工	0.03	0.598
砂轮切削	0.001 数量级	1.800
切刀磨削	0.001 数量级	28.889

第二个热源是摩擦热。首先，切屑底部与前刀面的摩擦要产生热。为减少这种摩擦热，前刀面应尽量光滑。此外，刀具后刀面与已加工表面也会摩擦发热。此种热产生也与塑料的弹性恢复及热膨胀性能有关。因此，刀具的后刀面也应制作得很光滑以减少摩擦热。同时，希望切削塑料用的刀具采用合理前角和大后角。

3. 切削液的影响

切削液是起冷却、润滑和冲洗等作用的。在塑料切削时使用切削液主要是降低切削区域的温度，使已加工表面不产生烧伤或胶合现象。

切削塑料时所用的冷却系统一般为压缩空气或冷却润滑液。

第二章 塑料的单刃切削

第一节 概 述

只有一个刃口的刀具叫单刃刀具。用单刃刀具加工塑料称塑料的单刃加工，主要有车、刨、刮、无齿锯加工等。所使用的设备一般采用加工金属或木材的设备，但是由于塑料的性能和金属或木材相差很远，所以，塑料的机械加工有它自己的特点。在单件或小批量生产时，最好利用具有无级主轴变速和进给变速的轻型设备。

在各类车床上可以加工：回转体的塑料工件，如盘形件、圆件、杆件、管件等。对这些工件进行车削外圆、成形表面、端面、内外锥形表面、螺纹和切断等，车削这些工件时，通常可用切削金属时用的附件，如三爪卡盘、四爪卡盘、花盘和顶尖等。在车削较细而又长的回转塑料工件时，由于塑料工件的刚性较差，为了防止变形，可以利用中心架或跟刀架进行加工。在万能车床上切削塑料工件时，若规定车刀的工艺磨钝标准 $VB_1 = 0.05 \sim 0.08\text{mm}$ ，可加工出 IT12 ~ IT13 级精度的工件。

同样，塑料也可以在各类刨床上进行加工，如刨平面、各种沟槽、成形表面等。塑料的刨切与车削相仿，但是，为了避免刨削退刀时刨刀的跳动，刨刀的后角一般较小， $\alpha_0 \approx 6^\circ \sim 8^\circ$ 。其他参数及其对制件质量的影响，与车刀相同。

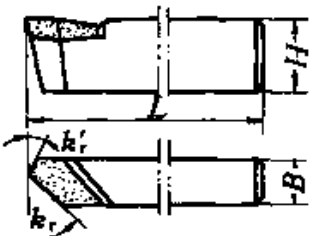
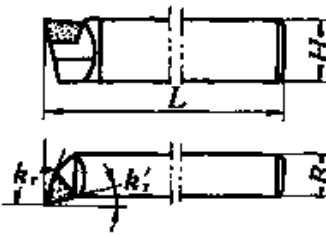
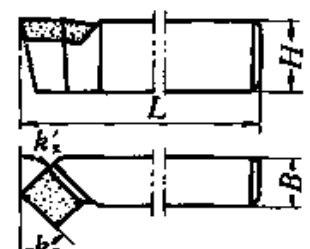
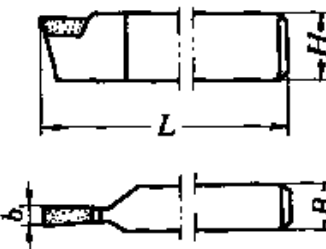
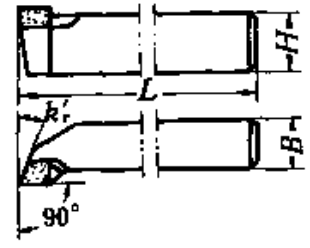
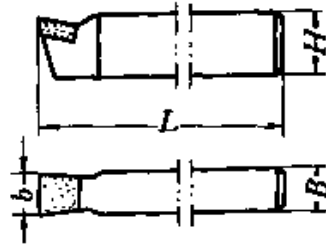
单刃切削各种塑料工件所使用的刀具类型和用途汇总起来列于表 2-1 中。

刀具的刀杆用普通结构钢制造。切削部分可用碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷材料或金刚石等制造。

碳素工具钢（主要牌号：T7A、T8A、T10A、T12A）在室温下硬度为 HRC62 ~ 65，价格便宜，可以刃磨得比较锋利，大约在 200 ~

250℃时才失掉室温下的硬度，导热系数和其他工具钢相当。但是，这类钢淬火后变形较大，所以可以用它来制造非尺寸刀具，如切断刀、外圆车刀，端面车刀等，但不能用来做成形车刀。由于这类刀具材料热硬性低，多用于加工时温度较低的刀具，如切削热塑性塑料的刀具。

表 2-1 车刀的基本类型及用途

名称	简图和用途	名称	简图和用途
直头外圆车刀	 <p>车外圆、倒角</p>	镗刀	 <p>镗孔，多用于镗盲孔； 切轴肩、凸台等</p>
弯头外圆车刀	 <p>车外圆、车端面、倒角</p>	切断刀	 <p>断刀、切槽</p>
90°偏车刀	 <p>车外圆、车台阶，多用于车细长轴</p>	精车刀	 <p>精车外圆</p>

合金工具钢（主要牌号 CrW5、CrWMn、9CrSi）和碳素工具钢比

起来，在室温下的硬度为 HRC62 ~ 65；热硬性为 250 ~ 325℃，即在这个温度范围内开始失掉室温下的硬度，所以切削速度比碳素工具钢稍高；它淬火后变形小。主要用来切削热塑性塑料，可以做成形刀具。

高速钢（W18Cr4V、W6Mo5CrV2）是应用最广泛的刀具材料。这类钢在室温下的硬度为 HRC62 ~ 67；在 600 ~ 650℃时才失去室温下的硬度，所以可利用较高的速度进行切削。它在淬火后变形小，并且可以刃磨得很锋利，所以可用它做各种类型的刀具。

硬质合金刀具材料，是钨的碳化物（WC）或钛的碳化物（TiC）和做为粘结剂的钴（Co）均匀搅拌后，通过高温高压的粉末冶金方法压制而成的刀片。硬质合金在室温下的硬度为 HRA89 ~ 91，热硬性为 850 ~ 1000℃，所以可以在很高的切削速度下进行切削；但它的工艺性差，不易制造，而且弯曲强度仅是高速钢的 1/3，冲击韧性差，在切削有强烈磨料磨损的玻璃纤维基材的塑料时，往往在刃口处出现 0.015 ~ 0.05mm 长度崩落现象。硬质合金主要有两大类，即钨钴类（YG 类）和钨钛钴类（YT 类）。切削塑料时，由于工件的导热性很差，为了降低切削区域内的温度，改善切削条件，提高加工质量和刀具的寿命，一般采用导热性好的 YG 类硬质合金。切削实验证明，利用 YG3X 和 YG6X 牌号的硬质合金切削塑料最适宜。X 是表示细粒的意思。

实验证明，在切削具有基材的塑料时，合金工具钢、高速钢和硬质合金刀具抗磨损能力为 1:2:3。

在国外广泛地采用金刚石刀具切削塑料。金刚石分天然的和人造的两种，它们都是碳的同素异晶体。人造金刚石是在高温高压下，借合金的触媒作用，由石墨转化而成。金刚石硬度极高，是目前已知的最硬物质，其显微硬度近于 HV10000（硬质合金的显微硬度 HV 1300 ~ 1800）。目前生产的人造金刚石颗粒一般在 0.5mm 以内。由于金刚石有上述性质，主要用于加工以玻璃纤维为基材的塑料。又因金刚石的机械性能较差，而且可以刃磨得非常锋利，所以主要用于精细车削。

单刃刀具可分为整体式和镶齿式两种，整体式刀具的切削部分和夹持（刀杆）部分使用同一种材料做成；镶齿式刀具的刀杆用廉价的结构钢制成，切削部分用较为贵重的硬质合金刀片或金刚石颗粒。

为了提高刀具的使用寿命和降低切削温度，最好是研磨刀具的前刀面和后刀面，或者在前、后刀面上涂耐热耐磨材料。经过研磨的前刀面和后刀面，不但减少了摩擦，降低了切削温度，而且可以使切屑顺利地排出。

镶齿式刀具又有三种形式：

焊接式——把切削部分用焊接方法焊于刀杆上；

机械夹固式——用机械夹固方法把切削部分夹紧于刀杆上；

机夹不重磨式——用机械方法夹紧刀片（切削部分），但刀片可以在一切削刃用钝后，松开卡紧机构，把刀片转位。

焊接式车刀，就是在刀杆上按着刀片的形状和车刀的用途开出刀槽，用焊料（如黄铜、紫铜、105[#]或107[#]焊片）将硬质合金刀片焊

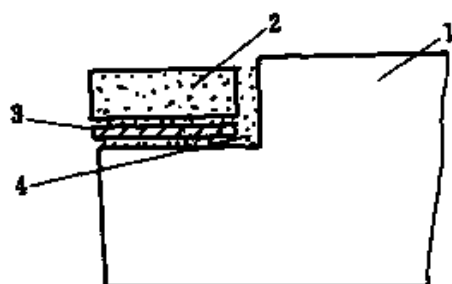


图 2-1 焊接式车刀示意图

1—刀杆；2—刀片；

3—焊料；4—无水硼砂

接在刀槽内，并按所选择的几何参数刃磨后进行使用的车刀，如图 2-1 所示。图中 1 是刀杆，在其上开槽。先把刀用四氯化碳洗净，撒上无水硼砂 4，在无水硼砂上放焊料 3，在焊料上再撒无水硼砂，而后把刀片 2 放在刀槽中加热。加热时温度应控制在高于焊料熔点 30 ~ 50℃ 为宜，以车刀侧面焊缝处出现一条亮的焊料熔液作为最佳焊接温度的标志。硬质合金焊接车刀的优点是结构简单，制造方便，并可以根据需要进行刃磨，硬质合金刀片利用也比较充分。目前，在开关、电机和绝缘等厂所用的车刀中焊接车刀仍占相当大的比例。这种车刀的缺点是它的切削性能主要取决于工人刃磨的技术水平，刀杆不能重复使用；焊后车刀易产生内应力。但是，应当指出，和切削金属不一样，切削塑料时产生的力比金属小得多，所以内应力对车刀的寿命影响量是比较小的。

机械夹固式车刀如图 2-2 所示。它是将硬质合金刀片用机械夹固的方法安装在刀杆上的车刀。机夹车刀只有一个切削刃，用钝后必须进行重磨。刀片用小后可分别调节两个螺钉使刀片在刀杆中占有一定位置。

机夹不重磨车刀如图 2-3 所示。它和普通机夹车刀的不同点在于刀片是多边形的，每边都是个切削刃，用钝后将刀片转位，即可用新的切削刃进行切削。机夹不重磨车刀的几何参数完全由刀片和刀槽保证，不受工人技术水平限制；切削性能稳定，加工质量好；不必重磨，可减少换刀时间；刀杆可重复使用；刀片可涂层，提高其寿命。

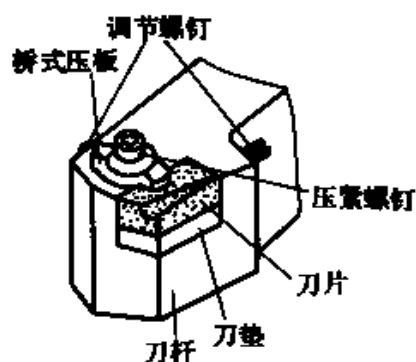


图 2-2 机夹车刀

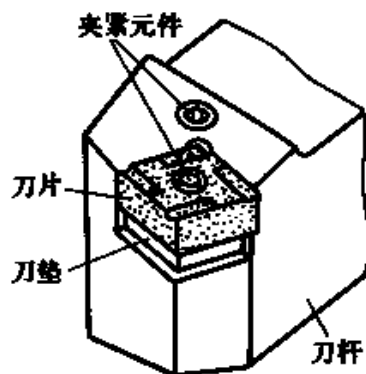


图 2-3 可转位车刀

第二节 热塑性塑料的单刃切削

切削聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、尼龙、氟塑料、有机玻璃等热塑性塑料时，由于它们具有特殊的性能，所以和切削金属、木材及热固性塑料不同。它们的切削具有特殊的规律和特点。

一、切削的特点

1. 切削力小

实验证明，在相同的切削条件下，切削 45* 钢的主切削力 F_z 是切削热塑性塑料的 14 倍，切削热固性塑料的主切削力 F_z 是切削热塑性塑料的 2 倍。例如用主偏角 $k_r = 45^\circ$ ，刀尖半径 $r = 2\text{mm}$ 的车刀，以

车削速度 $v = 100\text{m/min}$, 进给量 $f = 0.21\text{mm/r}$ 和切削深度 $a_p = 0.5 \sim 4\text{mm}$ 的切削条件车削聚酰胺塑料时, 测得的 $F_z \leq 167\text{N}$, $F_y = 25\text{N}$, $F_x \leq 9.8\text{N}$ 。可见切削力是微乎其微的, 所以在设计夹具夹紧这类塑料工件时, 和加工金属材料的同类夹具相比, 只需具有很小的夹紧力即可。另外, 大多数塑料的压缩强度均比其拉伸强度大, 一般大 2 ~ 3 倍, 这就是说, 塑料压缩断裂的能力, 恒大于拉伸断裂的能力。在塑料切削中, 可利用这种特性, 适当增大刀具的前角, 使刀具的形状和切削条件有利于塑料发生拉伸断裂, 以便减小切削力。

2. 热导率小, 切削区温度低

由于切削力小, 所以切削所消耗的功也少, 产生的热量少。但由于塑料的热导率仅是钢材的 $1/175 \sim 1/458$, 这样切削区域温度相应的有所提高, 但和切削钢材比较起来是很低的。例如, 在不同冷却润滑液和风冷的情况下, 精车聚酰胺塑料, 切削区域内最高温度为 120°C , 而粗车时切削区域内最高温度才为 200°C 左右。

3. 断屑难

在车削热塑性塑料时, 通常形成带状切屑, 它往往缠绕在工件上或刀具上, 影响切削工件的正常进行。有时带状切屑会积压成硬团, 在车刀由刀架伸出量较小的情况下它将压向工件, 影响加工精度, 甚至使切削工作不能进行, 因而这种切屑必须及时的排除。据一些外国资料介绍, 往切削区域输送高压压缩空气气流, 将切屑吹向排除方向, 同时也会冷却车刀, 提高了刀具的寿命。

4. 弹性模量小

热塑性塑料的弹性模量仅是普通碳钢的 $1/100$, 是热固性塑料的 80%, 切削时在切削力的作用下产生的弹性变形较大。这点对车削细长的热塑性塑料工件及刨切长的薄壁热塑性塑料工件显得十分重要。因为由于径向力 F_y 的作用会使被切削工件发生变形, 致使工件达不到要求的精度。车削细长的热塑性塑料工件, 应加中心架或采取其他措施保证加工精度。

5. 线膨胀系数大

据有关资料介绍, 热塑性塑料的线膨胀系数是热固性塑料和钢材

的四倍。在高速切削时必须考虑加工后的工件收缩量，尤其是用尺寸刀具切削时，这一点应十分注意。

6. 熔点低

热塑性塑料熔点低，当切削时切削区域内的温度达不到熔点时就开始变软，使被加工材料附于刀具的前刀面和后刀面上，影响正常切削；同时由于材料的软化，造成材料的涂抹现象，影响表面的光滑程度并有时使已加工表面产生裂纹。

二、几种常见热塑性塑料的单刃切削

1. 聚乙烯

聚乙烯这种众所周知的热塑性材料，具有良好的机械加工性能，可以在一般的切削设备上加工。如果在切削过程中对切削热产生的影响能加以解决，则该材料很易切削。

切削聚乙烯时，产生连续切屑。在高速切削时，产生连续剪切型切屑，在低速切削时产生连续带状切屑。切削力与其他塑料比较相对较小，通常，主切削力 F_z 正比于切削深度 a_p ，且随前角值由正到负的减少而增大，见图 2-4。

实验数据说明切削聚乙烯时，刀具设计中存在着合理前角 γ_{opt} ，所谓合理前角即保证 F_z 为最小并形成连续切屑的前角。刀具具有适当的角度或采用合理前角对切削聚乙烯十分重要。这主要是由于该材料具有高塑性，这种高塑性使得在加工过程中若不采用合理前角，则切削表面会产生回弹，而导致多维不精确切削。采用合理前角，可提高工件的加工精度和降低表面粗糙度

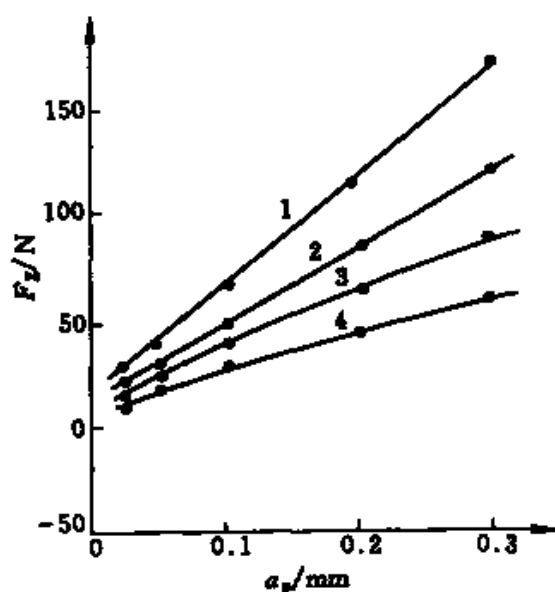


图 2-4 切削力与切削深度的关系

1— $\gamma_0 = -20^\circ$ ；2— $\gamma_0 = 0^\circ$ ；

3— $\gamma_0 = 20^\circ$ ；4— $\gamma_0 = 40^\circ$

R_a 值。切削聚乙烯时刀具的合理前角见图 2-5。

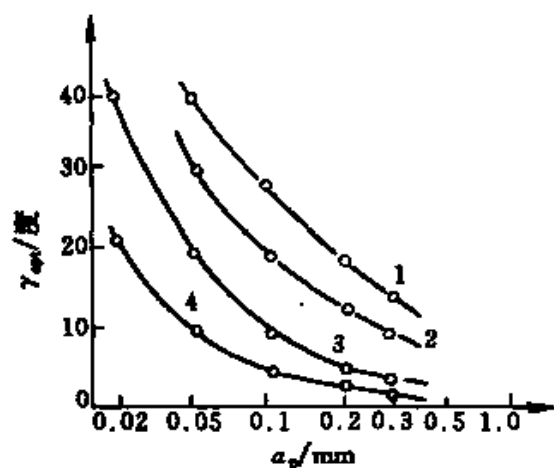


图 2-5 合理前角与切削用量的关系

1— $\nu = 25.4\text{m/min}$; 2— $\nu = 68.8\text{m/min}$;

3— $\nu = 166\text{m/min}$; 4— $\nu = 414\text{m/min}$

度达到 0.1mm 时, 切屑才由连续变为不连续。此外, 如果继续增大前角 γ_0 , 提高切削速度 ν , 硬质聚氯乙烯还会产生断裂切屑。但是, 当切削速度 ν 、切削深度 a_p 和前角适宜时, 均产生连续切屑。通过实验, 其结果可在图 2-6 查得。

总之, 由于加工聚乙烯时所需切削力很小, 同时, 在很大的切削范围内都可产生连续切屑, 所以聚乙烯具有良好的机械加工性能。在切削聚乙烯时, 只要用大的前角、后角及圆弧半径的刀具, 在高速切削及低速进给时, 就可获得高精度的光滑表面。



2. 聚氯乙烯 (PVC)

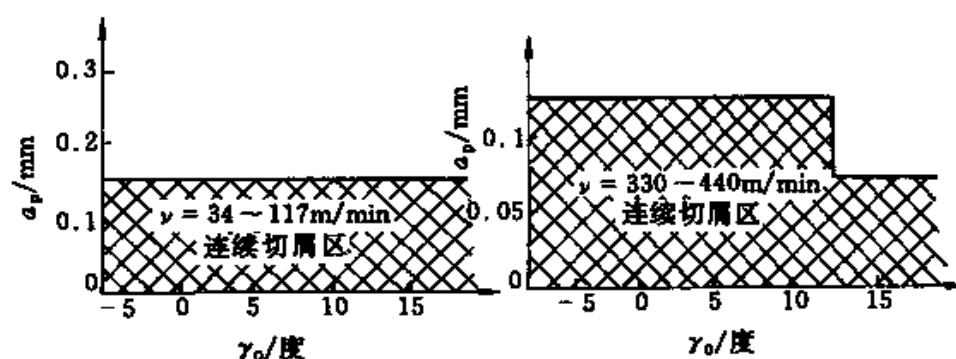
表 2-2 列出了不同切削条件下的切屑情况。可见一般情况下均产生连续切屑, 只有当切削深度

表 2-2

前角 γ_0 度	切削速度 $\nu/(\text{m/min})$	切削深度 a_p/mm	切屑图片
-5 ~ 0	330	0.025 ~ 0.05	
0 ~ 5	220 ~ 330	0.025	

续表

前角 γ_0 度	切削速度 $v/(m/min)$	切削深度 a_p/mm	切屑图片
10 ~ 15	330 ~ 440	0.025 ~ 0.05	
15	330 ~ 440	0.1	

图 2-6 前角 γ_0 、切削深度 a_p 对切屑形状的影响

和切削其他塑料一样，由于切削深度 a_p 的增加，导致工件材料对刀具的抗力和摩擦力及工件的弹性变形增大，所以切削深度 a_p 与主切削力 F_x 成正比的线性关系，且基本为直线，其实验结果绘于图 2-7 中。图中用切削速度 $v = 10m/min$ ，并采用前角 $\gamma_0 = -10^\circ \sim 30^\circ$ 的刀具作实验。显然，前角 γ_0 增大时，主切削 F_x 降低。

硬质聚氯乙烯在切削过程中，作用于工件上的应力随切削深度增加而降低，见图 2-8。且随前角从负到正的增加而降低，当前角很大

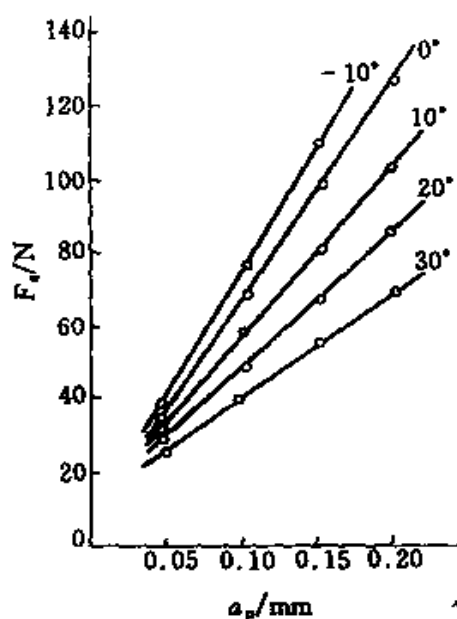


图 2-7 切削深度 a_p , 前角 γ_0 对主切削力 F_z 的影响
 $v = 10\text{m/min}$

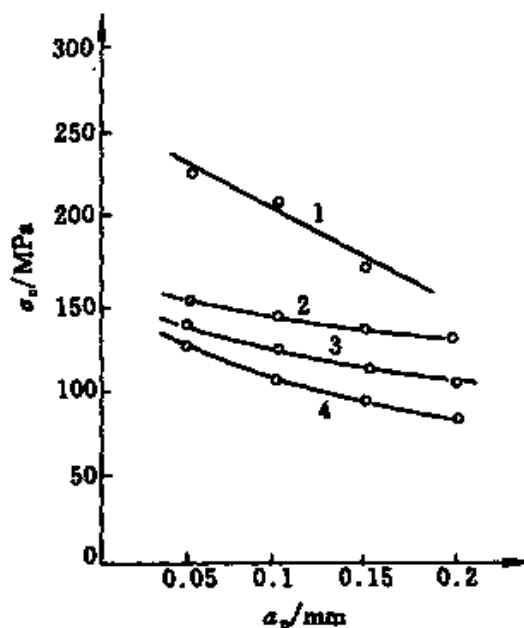


图 2-8 硬聚氯乙烯切削应力与切削深度及刀具前角的关系
1— $\gamma_0 = -20^\circ$; 2— $\gamma_0 = 10^\circ$;
3— $\gamma_0 = 20^\circ$; 4— $\gamma_0 = 30^\circ$

时，则已加工表面由压应力变为抗拉应力。所以硬质聚氯乙烯最好尽可能选择大的切削深度及正前角刀具，以减少切削应力，同时加工表面粗糙度也要加以考虑。

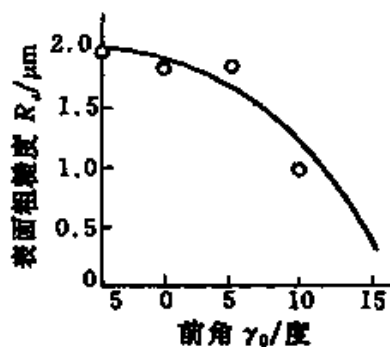


图 2-9 聚氯乙烯表面粗糙度与前角的关系

在正确地选择了硬质聚氯乙烯的切削条件下，很容易获得高的加工精度和光洁的表面。用高速钢刀具切削聚氯乙烯时，其切削速度为 330m/min 。切削深度 $a_p = 0.05\text{mm}$ ，进给量 $f = 0.05\text{mm/r}$ 时，其加工表面粗糙度 R_a 值随前角的增大而降低，如图 2-9 所示。

硬质聚氯乙烯加工表面质量还与刀具材料有关，当用金刚石刀具

加工时, 其表面粗糙度与切削速度无关; 而用硬质合金刀具加工时, 则表面粗糙度随切削速度的增加而降低, 见图 2-10。表面粗糙度与进给量的关系见图 2-11, 粗糙度 R_a 值随进给速度的增加而增加。

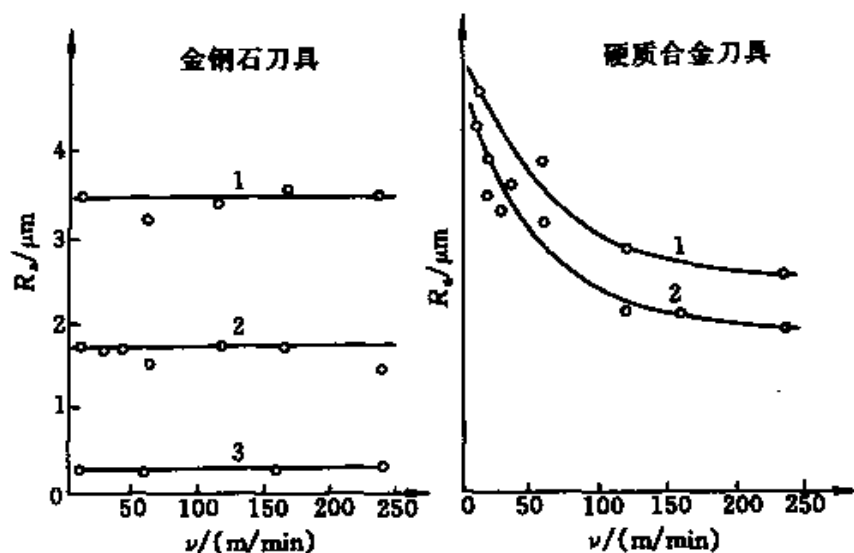


图 2-10 表面粗糙度与切削用量和刀具材料的关系
1— $f=0.11\text{mm}/\text{r}$; 2— $f=0.05\text{mm}/\text{r}$; 3— $f=0.023\text{mm}/\text{r}$

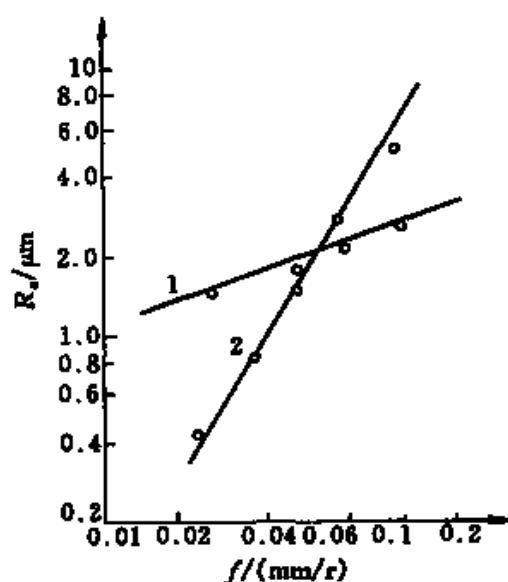


图 2-11 表面粗糙度与进给量的关系
1—硬质合金刀具; 2—金钢石刀具

在用硬质合金刀具加工聚氯乙烯时，后刀面磨损较小，且其磨损量随切削速度，切削深度，进给速度的增加而增加。图 2-12 显示了刀具磨损量与切削长度的关系。可见磨损值正比于切削长度值，同时可见，高的切削速度可产生低的磨损。

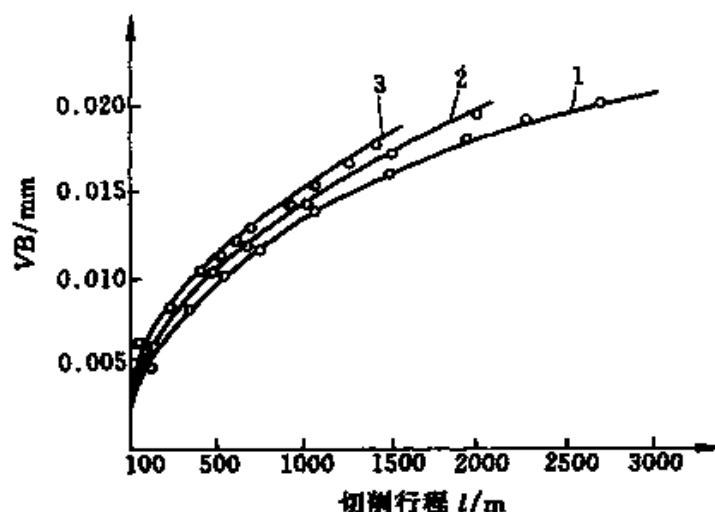


图 2-12 硬质合金刀具加工聚氯乙烯时切削行程与刀具磨损量的关系

1— $v = 150\text{m/min}$; 2— $v = 100\text{m/min}$; 3— $v = 75\text{m/min}$

用高速钢刀具加工硬质聚氯乙烯时刀具的磨损情况如图 2-13 所示，这种情况很特殊，在金属加工时不多见。从图中可知，采用 $\gamma_0 = 20^\circ$ 时较用前角 $\gamma_0 = 10^\circ$ 时刀具刃口变钝的快。

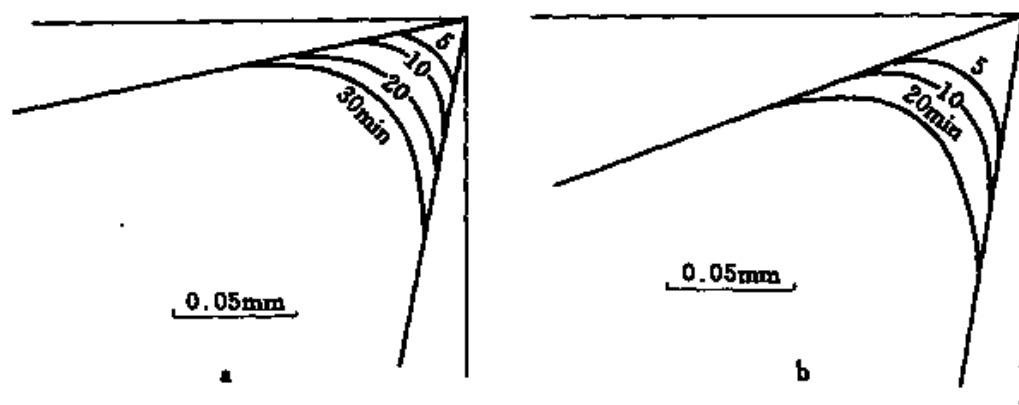


图 2-13 用高速钢刀具切削硬聚氯乙烯刀具刃口的磨损

a. $\gamma_0 = 10^\circ$; $v = 117\text{m/min}$; $f = 0.062\text{mm/r}$; b. $\gamma_0 = 20^\circ$; $v = 117\text{m/min}$; $f = 0.062\text{mm/r}$

在切削加工硬质聚氯乙烯时,当切削深度小于刀具刀刃口半径 ρ 时,没有进行切削,只是使工件表面受压,但无切屑产生;若切削深度大于圆角半径 ρ 时,则产生切屑,这种现象如图 2-14 所示。刀具的磨损过程和刃口半径的切削作用都是由聚氯乙烯材料的流变特性造成的。

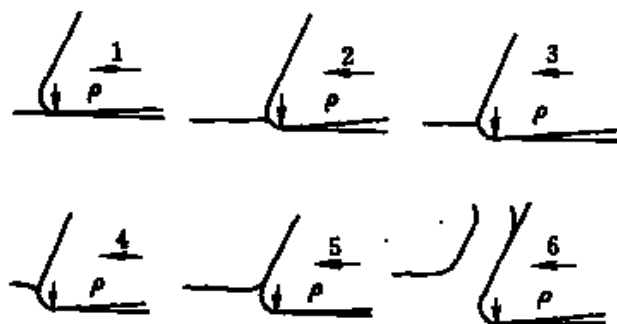


图 2-14 用圆弧刃刀具切削硬质聚氯乙烯
从 1 到 6, 切削深度逐渐增加, 当 $a_p > \rho$ 时, 开始形成切屑

Anmi 等人对硬质聚氯乙烯在高速钢刀具切削下, 其切削刃的磨损进行了细致研究, 发现加工表面粗糙度、加工表面上垂直力及切削热在加工过程中, 随刀刃半径的增大而增大。当后刀面磨损 VB_1 定为 0.1mm 时, 其关系式可表达为 $\nu T^{0.98} = 380$, 其中 ν 是切削速度 (m/min), T 是切削时间 (min)。

总之, 聚氯乙烯加工性能较好, 主要因为它的低切削应力, 光滑的加工表面及在很宽的切削条件下都能产生连续的切屑。

3. 聚苯乙烯

聚苯乙烯的机械加工性能较差, 但若选择好加工条件和切削刀具, 亦能获得较高的加工精度和表面粗糙度 R_a 值较小的工件。在塑料加工中, 如若形成连续切屑或连续剪切形切屑, 则工件精度较高表面也光滑。实验证明: 若切削深度 a_p 很小, 刀具前角不太大时, 则其切屑形状为紧凑的卷曲状带状切屑; 若用刀具前角 $\gamma_0 = 20^\circ$, 切削速度 $\nu = 0.8\text{m/min}$, 切削深度 $a_p = 0.5\text{mm}$ 时, 则形成连续剪切形切屑。

如果用刀具前角 $\gamma_0 = -15^\circ \sim -30^\circ$, 而且切削速度 $\nu = 0.2\text{m/min}$,

切削深度 $a_p = 0.25 \sim 0.5\text{mm}$ 时，则形成非连续断裂型切屑，这是因为刀具的前刀面对工件作用力大，致使形成切屑中其剪切力已大于工件材料的断裂强度的原因，如图 2-15 的切屑摄影图片所示。但是，在刀具前角非常大时，实验证明，这时也会形成非连续断裂切屑。由于上述切屑形态会造成已加工表面崩坑现象；另外，在大的负前角切削时，已加工表面产生很大的压应力，很大的正前角切削时，又会产生一定的拉应力，由于聚苯乙烯弹性回复大，所以这样的切削条件使工件的精度低，表面粗糙 R_a 值大。

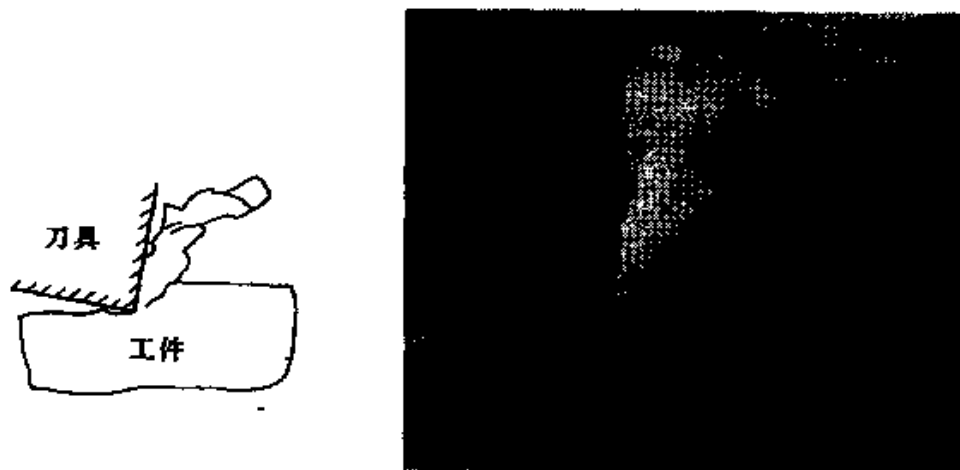


图 2-15 非连续断裂切屑

在生产中建议利用聚苯乙烯的最佳切削条件：切削速度 $v = 1\text{m}/\text{min}$ 以下，刀具的前角 $\gamma_0 = -10^\circ \sim 30^\circ$ ，切削深度 $a_p < 0.3\text{mm}$ 。各切削参数配合见图 2-16。

但应当指出，由于非连续型切屑一般是在高速切削下产生的，如果在加工以工件的表面质量为主要目的，所以在加工聚苯乙烯时应选小的切削深度和低切削速度。

由于聚苯乙烯在加工中常常见到产生胶合、龟裂和断裂等现象。胶合是由切削热而产生的，因而加工时要用冷却系统，但注意冷却系统不恰当时，工件会产生断裂现象。同时工件夹紧不当也会产生断裂，所以在加工时应利用弹性夹具或包橡皮的装夹方法为宜。

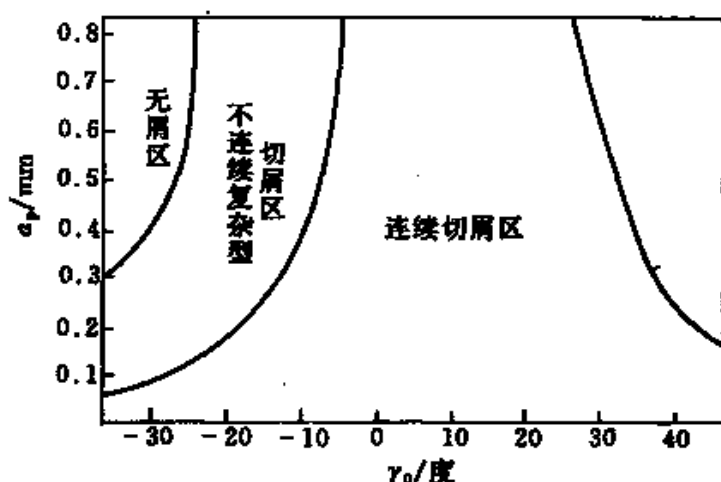


图 2-16 切屑类型与刀具前角和切削深度关系


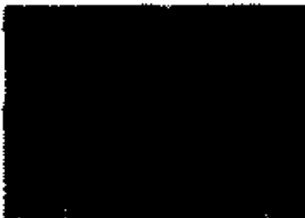



4. 聚苯乙烯共聚物

AS 树脂和 ABS 树脂都是苯乙烯的共聚物，能较大地提高聚苯乙烯的抗冲击强度和抗热性。

AS 树脂是丙烯腈和苯乙烯的共聚物。在切削 AS 树脂时，随着切削条件的变化产生多种不同类型的切屑。当切削刀具的前角 $\gamma_0 = -20^\circ \sim 40^\circ$ 的范围内变化，切削速度 $v = 0.4 \sim 400 \text{ m/min}$ 的范围内变化，切削深度 $a_p = 0.013 \sim 0.105 \text{ mm}$ 的范围内变化时，则可以得到以下五种类型的切屑：即连续剪切型、非连续剪断型、非连续复杂型、非连续断裂型和非连续胶合型。很明显，胶合型切屑不管连续与否，其产生的原因无疑是切削区过热，表 2-3 和表 2-4 列出了 AS 和 ABS 树脂在不同切削条件下获得的切屑类型。

当切削速度增加时，采用小的切削深度或在非常低的切削速度下，可获得连续切屑，当刀具的前角很大时，随着前角的增大，切屑有变成非连续断裂型的趋势，尤其是当采用大的切削深度和高的切削速度时，这种趋势更加明显。当采用大的负前角刀具切削，切削深度相对较小时，切屑有变成胶合型的趋势。这种趋势主要是由于在这种切削条件下，单位切削面积上所做的功增大，产生了大量的切削热造成的。





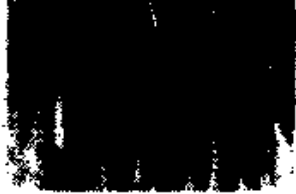

表 2-3 AS 树脂在几种不同切削条件下的切屑类型

切屑类型	切削速度 $v/(m/min)$	切削深度 a_p/mm	前角 γ_0 度	切 屑 图 片
连续切屑	3	0.026	0	
不连续简单剪切切屑	30	0.105	20	
不连续复杂切屑	400	0.052	-20	
不连续断裂切屑	150	0.105	40	
不连续胶合切屑	70	0.013	-20	

ABS 树脂是丙烯腈、丁二烯、苯乙烯三元共聚物，有三种不同的成分配比，所以有三种不同的抗冲击性，分别用 ABS-L、ABS-M、

ABS-H 表示低、中、高三种抗冲击性能。

表 2-4 ABS 树脂在几种不同切削条件下的切削类型

切削类型	ABS 类型	切削速度 v m/min	切削深度 a_p mm	前角 γ_0 度	切 屑 图 片
连续切削	H	400	0.105	40	
	H	0.4	0.013	-10	
	M	150	0.052	10	
不连续复杂切削	L	70	0.052	-20	
	L	400	0.105	30	
	M	400	0.026	-20	

在切削 ABS-L 时会产生与 AS 相同的切屑类型 (见表 2-4), 但产生连续切屑的加工条件的范围比加工 AS 树脂的宽, 而产生非连续切屑的加工条件的范围比 AS 树脂的窄。切削 ABS-M、ABS-H 树脂一般只产生连续剪切型切屑, 只有在用大的负前角 ($\gamma_0 = -20^\circ$) 刀具, 采用高速 ($v = 400\text{m/min}$) 切削时, 才会产生胶合型切屑。

切削 AS 和 ABS 树脂时, 其切削力随加工条件变化情况与其他塑料的情况相似。

像其他塑料一样, AS 和 ABS 树脂也有合理前角。合理前角随切削深度和切削速度的变化情况如表 2-5 所示。

表 2-5 AS 和 ABS 树脂的合理前角

切削深度 mm	树脂	不同切削速度下的合理前角/度			
		50 m/min	100 m/min	200 m/min	400 m/min
0.05	AS	25°	22°	18°	14°
	ABS-L	29°	26°	20°	14°
	ABS-M	30°	29°	25°	17°
	ABS-H	30°	29°	26°	20°
0.10	AS	23°	20°	15°	11°
	ABS-L	21°	18°	15°	13°
	ABS-M	24°	20°	16°	13°
	ABS-H	23°	20°	16°	11°

用图 2-17 所示为苯乙烯共聚物在切削速度、切削深度和刀具前角不同组合的加工条件下产生的切屑分区, 对于 ABS-M 和 ABS-H 产生不连续切屑的情况很少, 而对于 AS 树脂有较多的不产生连续切屑的合理状态。对于 AS 树脂, 当切削速度和切削深度增加时, 切屑很明显变成了断续状态, 但当采用负前角的刀具, 以小的切削深度加工时, 由于产生了过多的切削热, 而使切屑趋于胶合状态。

前述四种苯乙烯共聚物产生连续切屑占所形成的切屑的百分比率与切削速度有关。一般来讲百分率随切削速度增加而降低。对 AS 树脂从低速到 3m/min 的范围内其百分率为 100%, 当切削速度达到

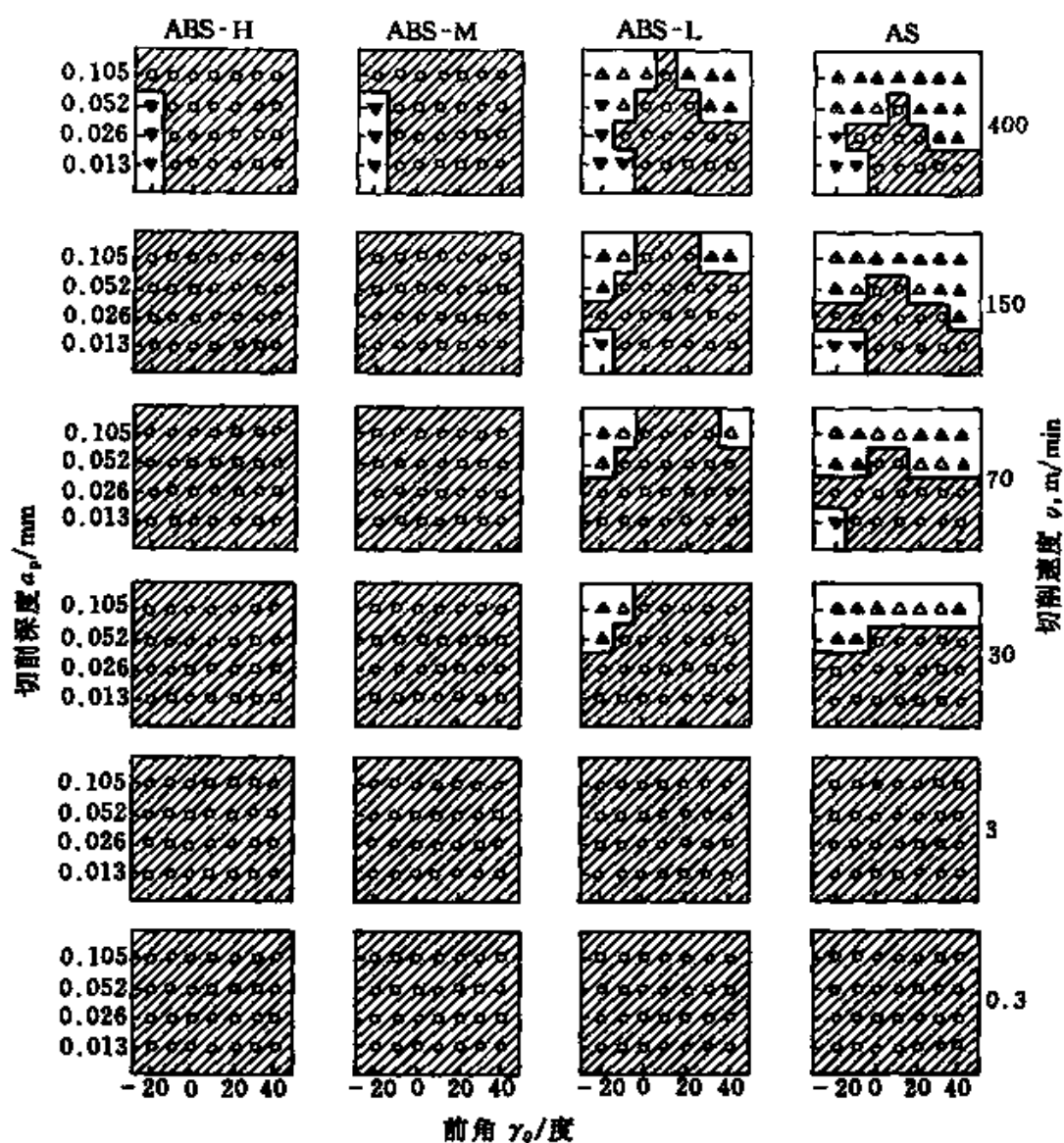


图 2-17 AS 和 ABS 树脂的最佳切削条件

○—连续剪切型；△—不连续简单剪切型；△—不连续复杂型；▽—不连续脱合型

400m/min 时，其连续切屑的百分率为 35%。对 ABS-L，其百分率的降低是较慢的。在切削速度为 400m/min 时达到 55%，相反对 ABS-M 和 ABS-H，当切削速度从很低升高到 150m/min 时，其连续切屑百分率持续为 100%，当切削速度达到 400m/min 时，其百分率仅降至 90%，从这种现象明显可以看出该四种苯乙烯共聚物的机械加工性能

的区别,当然形成连续切屑的切削条件好,表面质量好。

因此,可以得出如下结论:

- ① ABS-H 和 ABS-M 的机械加工性能极好;
- ② ABS-L 的机械加工性能很好;
- ③ AS 树脂的机械加工性能好。

5. 聚四氟乙烯 (PTFE)

由于聚四氟乙烯具有耐高温、抗化学腐蚀和低摩擦等特性,所以它在电子、机械、日用化工等领域得到了广泛应用。它不像其他热塑性塑料,聚四氟乙烯能形成自由流动的熔体,加之其熔点相当高,所以很难使它用注塑方法达到很高的精度,因此,聚四氟乙烯零件若要求达到很高的精度,就必须采用机加工方法获得。当零件形状很复杂或要求加工绝缘带时则机械加工是必然的加工方法。

聚四氟乙烯的切削性能主要受其流变和摩擦特性影响。在低速切削时产生连续切屑的同时产生很大的弹性变形,切屑无畸变。这与其他塑料或金属材料的切削过程相比很特殊,切屑属于连续流动型切屑,这种切屑一般是在切削速度低于 1m/min ,刀具的前角 $\gamma_0 > -30^\circ$ 时获得。由于聚四氟塑料具有高弹性,当用具有 -40° 前角的刀具加工时,几乎无切屑产生。

聚四氟乙烯被高速切削时还可以获得其他类型的切屑。当获得连续切屑时,加工表面的质量也很好;当切屑是非连续切屑时,加工表面的质量也不好。在用大前角刀具高速切削时切屑是连续的,当刀具前角变小或变成负值时,切屑变成非连续状,同时切屑表面的滑移量变大且有断裂现象。

在低速切削时,聚四氟乙烯切削时产生的切屑具有高弹性变形的特性,因此加工表面及切屑很光滑。然而,当刀具几何参数导致已加工表面产生较大垂直的拉伸和压应力时,则影响工件的尺寸精度和表面粗糙度。

切削聚四氟乙烯时,作用于工件上的平行切削方向的力 F'_x 和垂直切削方向的力 F'_y 与切削深度及刀具前角之间的关系如图 2-18 所示。切削力 F'_x 不仅在低速时与切削深度成正比,见图 2-18a,而且在高速时亦与切削深度成正比,见图 2-18b,而切削力 F'_y ,当前角由负增至正值时减少。

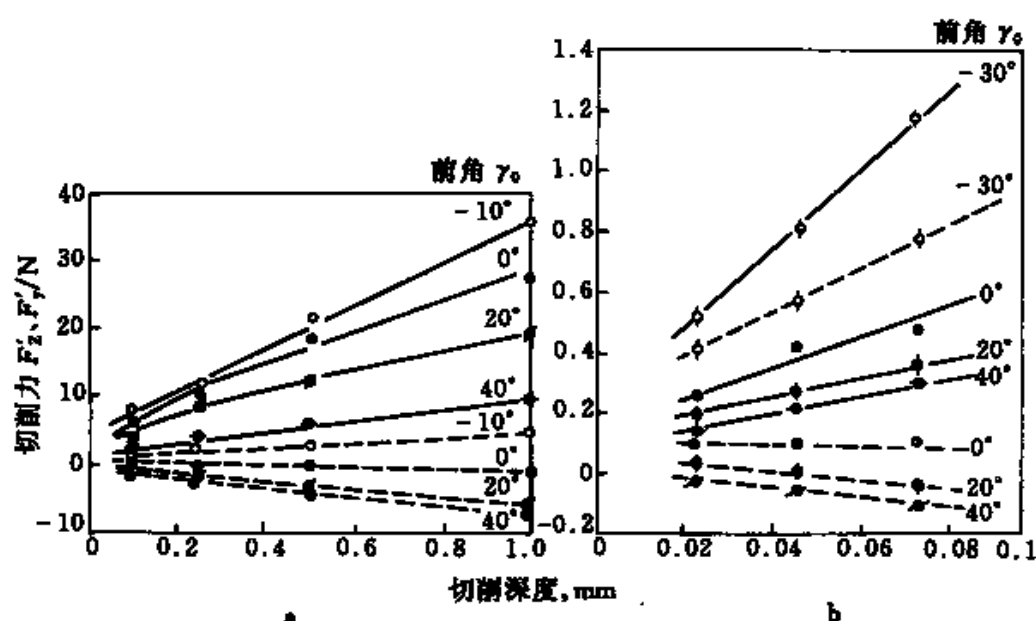


图 2-18 使用不同前角刀具加工聚四氟乙烯时
工件上的切削力与切削深度的关系

实线表示切削力 F_z ，虚线表示切削力 F_y ；

a. 低速切削 $v = 0.019\text{m/min}$ ；b. 高速切削 $v = 765\text{m/min}$

合理前角随切削深度的变化情况如图 2-19 所示。图中显示合理前角随切削深度的增加而减小，图中还显示合理前角几乎与切削速度无关。实际上合理前角只随切削速度增加而微量降低。在加工聚四氟乙烯时，使用合理前角非常重要，它可以避免对高弹性材料，由于作用工件上的垂直和拉伸力的作用致使工件尺寸精度和表面粗糙度 R_a 值下降。所产生的过度切削和不足切削。

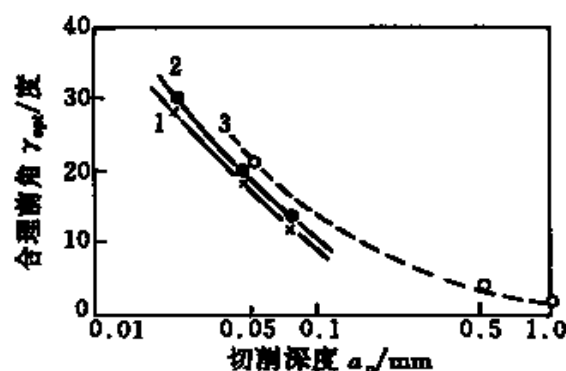


图 2-19 用三种加工速度加工
聚四氟乙烯时合理前角
与切削深度的关系

1— $v = 0.762\text{m/min}$ ；2— 218m/min ；3— 765m/min

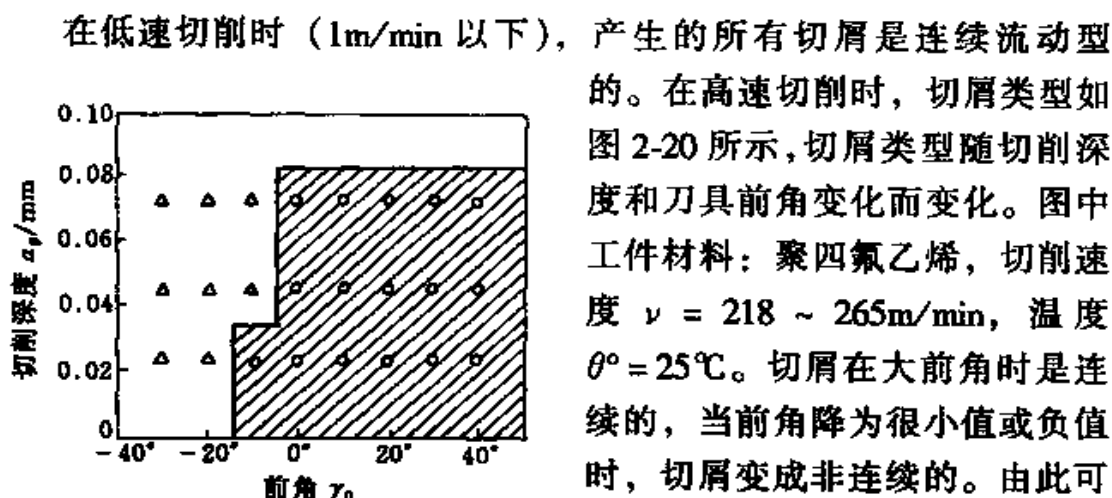


图 2-20 切削前角和切削深度对切屑类型的影响

△—不连续剪切型；○—连续剪切型

在低速切削时 (1m/min 以下), 前角的取值 $\gamma_0 = -20^\circ \sim 40^\circ$; 最好采用合理前角以减少弹性变形和回弹。

尽管聚四氟乙烯切屑与前刀面之间的摩擦很小, 但刀具使用后仍然可见磨损。包括含有若干不同填充物以提高材料性能 (尤其是耐磨性) 的多种聚四氟乙烯树脂, 目前已广泛应用。精密的切削技术要求降低刀具的磨损, 然而磨损却不能完全被消除, 原因是填充物也加快了刀具的磨损。

切削填充云母的聚四氟乙烯时, 刀具磨损情况如图 2-21 所示。其中图 2-21a 和图 2-21b 的切削条件是: 工件材料为填充云母的聚四氟乙烯, 切削速度为 100m/min , 切削深度为 0.5mm , 进给速度为 0.044mm/r 。从前刀面和后刀面的磨损量随切削时间的变化情况看出, 硬质合金刀具的寿命最长, 高速钢的寿命最短。图 2-21c 反映的是用硬质合金刀具加工聚四氟乙烯时, 切削速度对磨损的影响, 由此可知: 切削速度越高, 刀具寿命越短。图 2-22 所示为填充云母的聚四氟乙烯树脂的切削速度与后刀面磨损至 0.04mm 时的许用切削时间的关系曲线。如果用 v_T 表示刀具寿命为 T 时的许用切削速度, 则对于陶瓷刀具 $v_{20} = 58\text{m/min}$, 对硬质合金刀具 $v_{60} = 290\text{m/min}$, $v_{120} = 160\text{m/min}$ 。这意味着对陶瓷刀具, 当切削速度为 58m/min 时, 至少

在高速切削时, 切屑类型如图 2-20 所示, 切屑类型随切削深度和刀具前角变化而变化。图中工件材料: 聚四氟乙烯, 切削速度 $v = 218 \sim 265\text{m/min}$, 温度 $\theta^\circ = 25^\circ\text{C}$ 。切屑在大前角时是连续的, 当前角降为很小值或负值时, 切屑变成非连续的。由此可见, 对聚四氟乙烯的最佳切削条件是:

在低速切削时 (1m/min 以下)

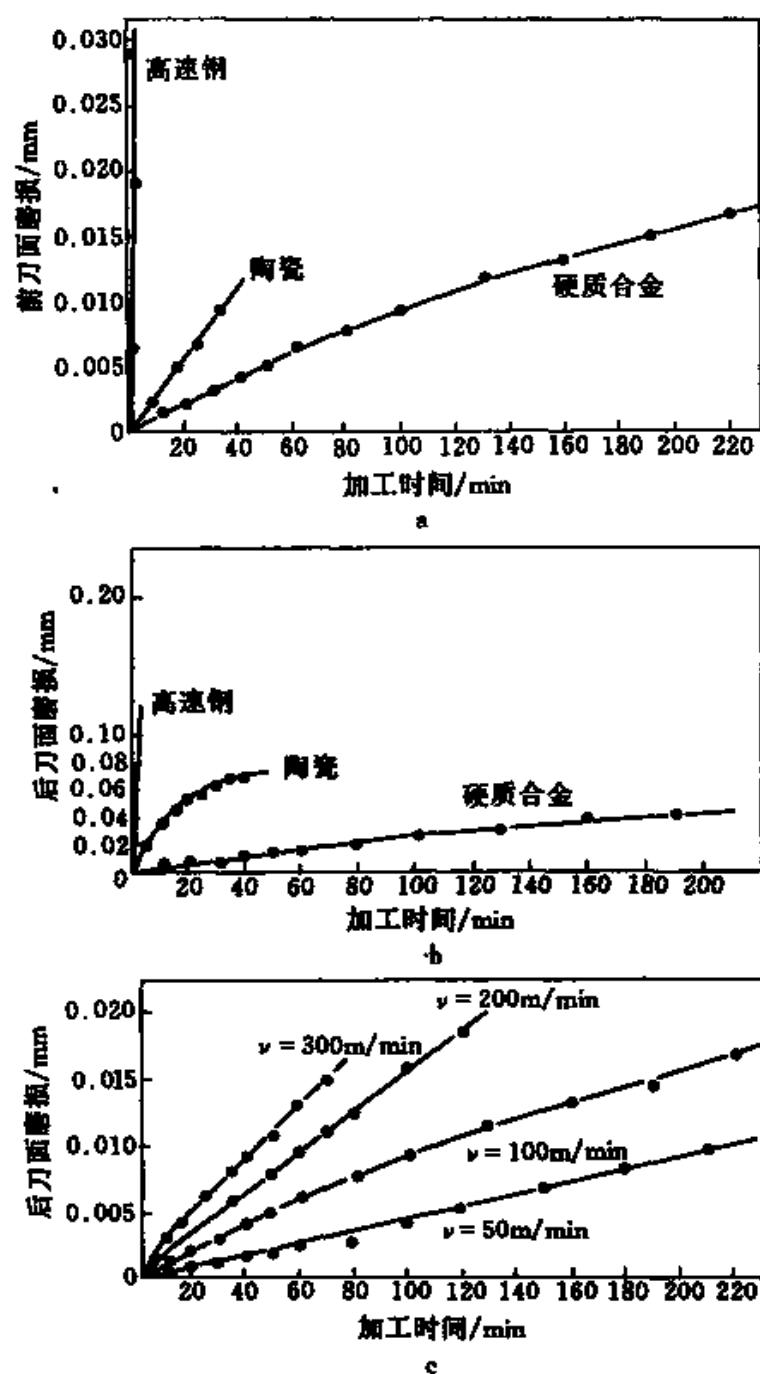


图 2-21 切削填充云母的聚四氟乙烯时, 刀具磨损情况

a. 刀具前刀面磨损过程; b. 刀具后刀面磨损过程;

c. 几种切削速度下硬质合金刀具的磨损过程

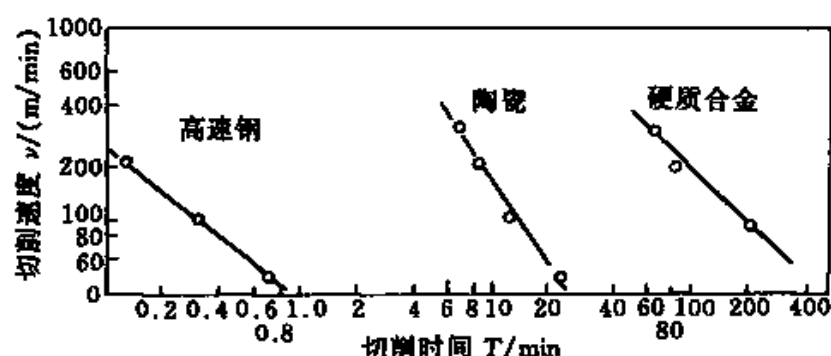


图 2-22 高速钢、陶瓷和硬质合金刀具的刀具寿命曲线

20min 内刀具不用重磨。同样，对于硬质合金刀具，当切削速度为 290m/min 时，刀具可在 60min 内不用重磨；当切削速度低于 160m/min 时，刀具可连续使用 2h。可见，当切削含有填充云母的聚四氟乙烯树脂时，使用硬质合金刀具更为理想，因为即使在高速切削的情况下，它仍然有很长的寿命。

用车削的方法加工聚四氟绝缘带过程中存在的主要问题就是必需保证加工时产生连续的切屑，因为车削就是从棒料中切下连续的带或条，切屑即为绝缘带，这时必须选好合理前角和切削深度。

一般来讲，聚四氟乙烯的机械加工性极好。因此其切削力值很小，并且形成带状切屑。

在加工聚四氟乙烯时应注意：

- ① 抛光前刀面，尽可能使其光滑以减少切屑与前刀面的摩擦；
- ② 尽可能增大后角以减少加工表面与刀具后刀面之间的摩擦；
- ③ 若可能，则使用合理前角，以减轻来自于材料高弹性所造成的过度切削和不足切削；

④ 尽可能保持室内温度高于或低于转变温度值。因为聚四氟乙烯在 18 ~ 25℃ 之间有一个相变点，伴随着相变材料体积发生变化，所以在转变点以下加工的尺寸在转变温度之上工作时不能保持不变，反之亦然。

6. 聚丙烯

聚丙烯是相当容易进行机械加工的，在相当宽的加工条件范围内加工聚丙烯，通常都产生很长的半透明的切屑。当刀具具有大的正前角且以大切削深度时，随切削速度的增加，切屑变成非连续断裂型，相反，尽管聚丙烯有相对较高的熔点，但当用负前角刀具以小切削深度、高切削速度切削时，切屑开始熔化。上述两种情况是加工聚丙烯时的特例。通常，几乎所有的加工表面都有较好的表面质量。

加工聚丙烯的合理前角如图 2-23 所示。图中显示了合理前角与切削速度和切削深度的关系，即合理前角随切削速度和切削深度的增加而降低。这与加工其他塑料的规律相同。

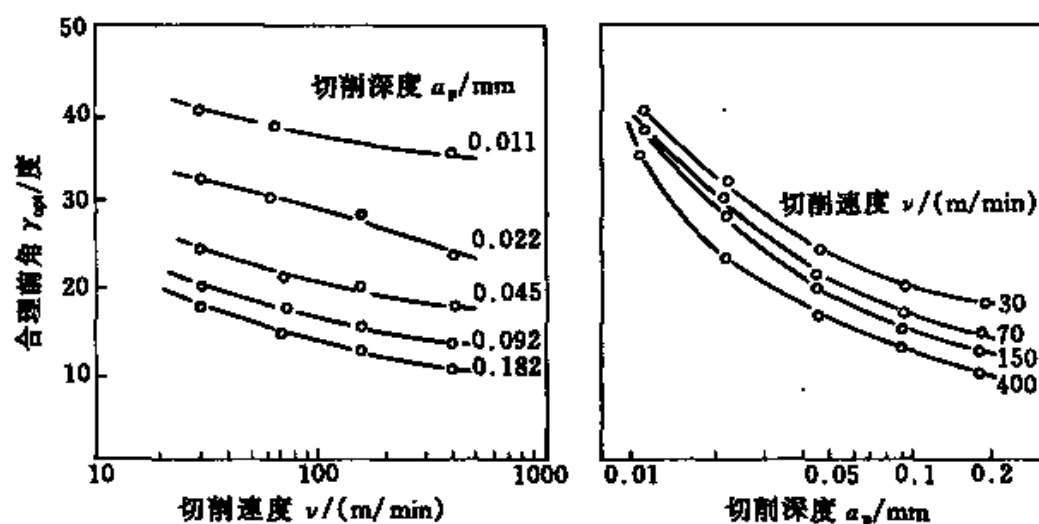


图 2-23 加工聚丙烯时合理前角与切削深度和切削速度的关系

在加工聚丙烯时，产生连续半透明切屑的加工范围是相当宽的，几乎所有的切屑都是连续型的，如图 2-24 所示。但不要同时选择大的正前角刀具和大的切削深度加工聚丙烯，也不要选择小的切削深度 a_p 和用负前角刀具以高的切削速度加工聚丙烯。这些切削条件将产生非连续的切屑。

一般来说，聚丙烯的机械加工性是相当好的。

7. 聚甲醛树脂

聚甲醛机械加工性能的突出特点是介于金属与塑料之间。它除了

具有高强度高硬度、极好的几何尺寸稳定性、弹性和韧性外，还具有抗高温和耐化学腐蚀等性能。

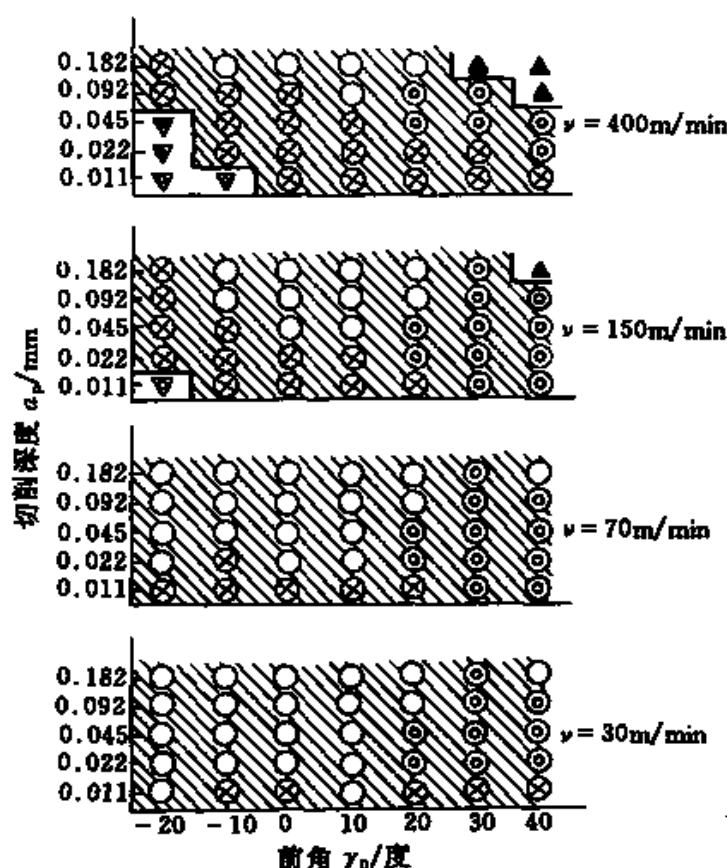


图 2-24 在各种条件下加工聚丙烯的切屑分类

连续型切屑：⊙—透明；○—剪切；⊗—剪切折断；

不连续切屑：▲—断裂；▼—胶合

切削聚甲醛树脂时，尽量用较小的切削深度，因为在小的切削深度下可获得连续光滑的切屑。当切削深度增加时，切屑变薄且呈断续条状。刀具的前角应尽量接近 $\gamma_0 = 0^\circ$ ，这时，即使切削深度较大时，切屑仍是连续的。

图 2-25 显示了当刀具采用三种不同前角时，切削速度和切削深度对切屑的影响。很明显，当切削速度和切削深度增加时，切削变成非连续状。

用近乎于 $\gamma_0 = 0^\circ$ 前角的刀具以很小的切削深度加工，在连续剪切作用下产生光滑切屑。这同金属加工一样。然而在大切削深度和大正前角和大负前角时，在工件上伴随着拉伸应力和压缩应力的复杂应力作用下产生非连续切屑。

加工聚甲醛树脂时，单位切削力随加工条件的变化而变化。切削应力随切削速度的增加而下降，随切削深度的增加而下降，随刀具的前角的增大而下降。因此，大的切削深度、高的切削速度和正前角都有利于减少应力。在同样的加工条件下，加工聚甲醛树脂产生的应力值介于聚碳酸酯和聚乙烯之间。

聚甲醛树脂的机械加工性很好，聚甲醛树脂在普通机床上很容易加工，一般不使用冷却液，因为切屑和刀具之间的摩擦系数很小，产生的摩擦热量很少。一个大后角的刀具和恰当的断屑装置将有助于获得更好的表面加工质量。

8. 聚甲基丙烯酸甲酯（有机玻璃）

这是一种已广泛得到应用的工程塑料，通常称为有机玻璃。尽管它很容易加工，但不恰当的切削条件却可导致很多麻烦。

不同的加工条件会使该塑料产生多种不同类型的切屑。如表 2-6

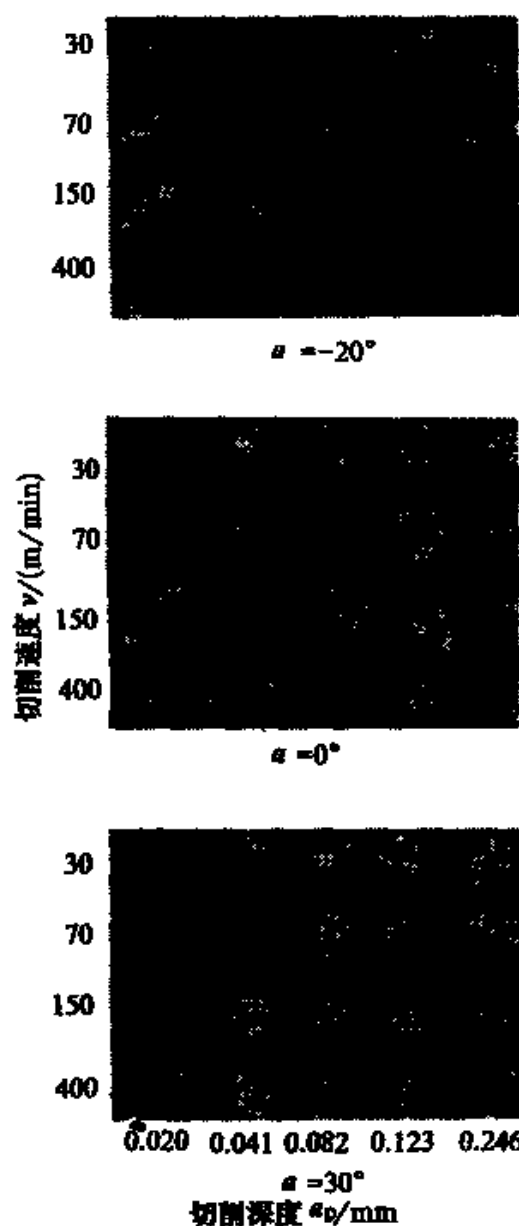



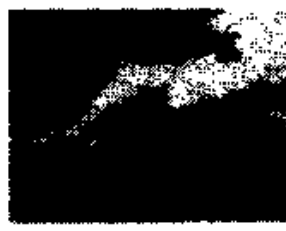



图 2-25 切削速度、切削深度、刀具前角对聚甲醛切屑形状的影响

所示, a、b 中由于切削深度较小, 所以在平稳的剪切作用下, 能产生连续的切屑, c、d、e 则由于切削深度较大和刀具前角的变化, 产生不连续的脆性断裂。表 2-5, a 和 b 图是在剪切应力作用下产生的

表 2-6

切屑类型及图片		前角 γ_0 度	切削深度 a_p/mm	切削速度 $v/(\text{m}/\text{min})$
连续切屑	(a) 	0	0.10	0.8
	(b) 	0	0.10	0.2
不连续切屑	(c) 	0	0.25	0.8
	(d) 	-30	0.25	0.2
	(e) 	40	0.25	0.2

切屑类型。前者沿简单的剪切面分离；后者发生在一个剪切区域内。两者均产生连续切屑，且切削表面相当光滑和精确。产生这种切屑的加工条件可用于获得最佳的表面质量。在这两种情况中，产生剪切平面型的过程更好一些，它比剪切区域型的切削过程产生的应力和变形更小。

在切削聚甲基丙烯酸甲酯时，切削力是随切削速度，切削深度和刀具前角变化而变化。其中，切削力 F_x 与切削深度成正比，而且随切削速度增加而略微降低，切削力 F_x 还随刀具前角的增加而有所降低。加工聚甲基丙烯酸甲酯的合理前角如图 2-26 所示。图中，实心点切削速度为 0.8m/min ，空心点切削速度为 0.2m/min 。

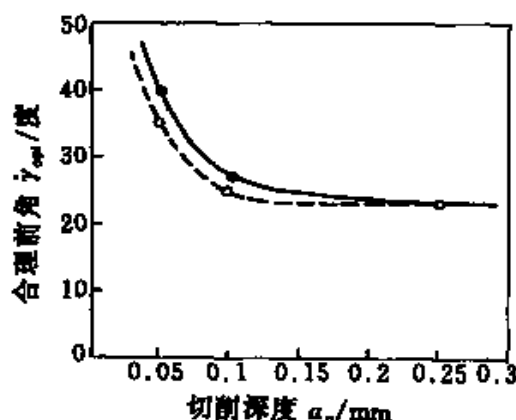


图 2-26 聚甲基丙烯酸
甲酯的合理前角

聚甲基丙烯酸甲酯在低速切削时，其切屑类型取决于切削深度 a_p ，前角 γ_0 和工件的温度。实验表明，用切削速度 $v = 0.2\text{m/min}$ ，在切削深度 a_p 很小时，刀具为小正前角或负前角时，则产生连续切屑。当用高速切削时，刀具采用大的正前角，则切屑为非连续切屑型。当切屑是连续时，其切削表面具有较高的精度和粗糙度 R_a 值小，不需要进一步精加工，当工件温度升高时，产生连续切屑的最佳切削条件的范围可以进一步加宽。但当切削深度和进给速度增加时，切屑将由连续型变为非连续的断裂型。所以大的切削深度一定要避免，尽管它可以提高生产效率和降低加工成本，但也会产生很粗糙的表面。

在精密车床用金钢石刀具、硬质合金刀具加工聚甲基丙烯酸甲酯，当用金钢石刀具加工时，切削速度和切削深度对切削加工表面粗糙度有很小或几乎没有影响，因为切屑没有粘结在刀刃上。然而用硬质合金刀具加工时，切削速度对加工表面粗糙度有明显的影响，因为有切屑粘结的趋势。切削速度对表面粗糙度的影响如图 2-27 所示。

图中前角 0° ，刀尖圆弧半径 0.5mm ，切削深度为 0.05mm 。

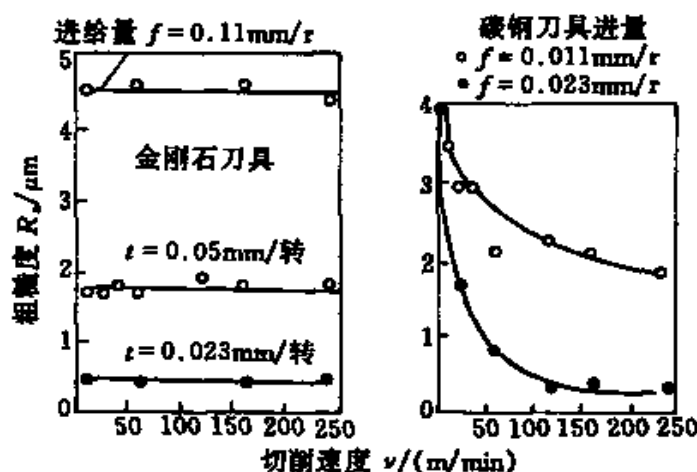


图 2-27 加工聚甲基丙烯酸甲酯时，金刚石与硬质合金刀具车削工件时表面粗糙度比较

9. 聚酰胺 (尼龙)

尼龙可被用做许多机械零件，目前被广泛用做诸如轴承、辊、凸轮、衬套、垫圈等零件。许多有商业价值的零件都是由具有标准形状的尼龙件，如棒料、盘形料和板材等，经过精密切削加工得到的。

我们对三种尼龙树脂进行正交切削试验。当刀具前角从 -20° 变到 40° 时，切削速度范围为 $0.4 \sim 400\text{m/min}$ ，切削深度为 $0.013 \sim 0.105\text{mm}$ ，有四种类型切屑产生。即：连续型、非连续剪切型，非连续复杂型和非连续断裂型。图 2-28 显示了在几种切削条件下，切削尼龙 6 和尼龙 66 所形成的典型切屑的情况。图 2-28a 是切削尼龙 6 时，以切削速度 150m/min 、切削深度 0.052mm 、刀具前角对所形成的切屑表面的影响情况。图 2-28b 是在切削尼龙 66 时，以切削速度 $v = 400\text{m/min}$ 、刀具前角为 $\gamma_0 = 40^\circ$ 时，切削深度对所形成的切屑表面形态的影响。尼龙很容易切削，因为在绝大多数加工条件下，都产生连续切屑。但当前角、切削深度和切削速度过大时，可产生不连续切屑。

同其他塑料一样，尼龙也存在合理前角，合理前角随切削深度和

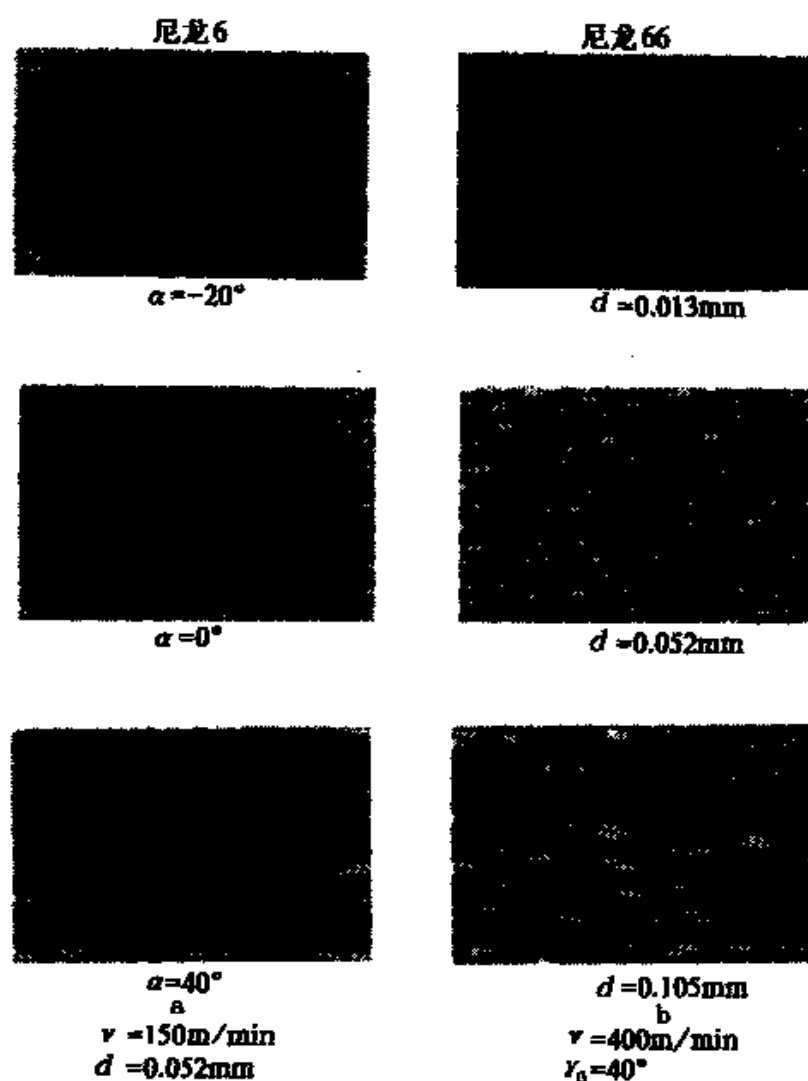


图 2-28 加工尼龙树脂时前角和切削深度对切屑类型的影响

切削速度的变化而变化。合理前角随切削深度和切削速度的增加而降低。具体数值可在表 2-7 中查得。

Okoshi 和 Kamogawa 使用金刚石和硬质合金刀具切削尼龙，在实验中对影响加工表面粗糙度的因素进行了分析。得知用金刚石刀具加工时，切削速度和切削深度对加工表面的粗糙度几乎没有影响，因此切屑与刀尖没有粘接现象。但当使用硬质合金刀具时，切削速度对粗糙度有明显影响，因为有粘结趋势。该结论由图 2-29 可以看出。

表 2-7 尼龙树脂的合理前角

切削深度 mm	不同切削速度下的合理前角				
	尼 龙	50 m/min	100 m/min	200 m/min	400 m/min
0.05	尼龙 6	31°	28°	24°	21°
	尼龙 66	30°	27°	22°	—
	尼龙 610	29°	27°	23°	20°
0.10	尼龙 6	25°	22°	17°	15°
	尼龙 66	25°	21°	15°	—
	尼龙 610	25°	22°	18°	15°

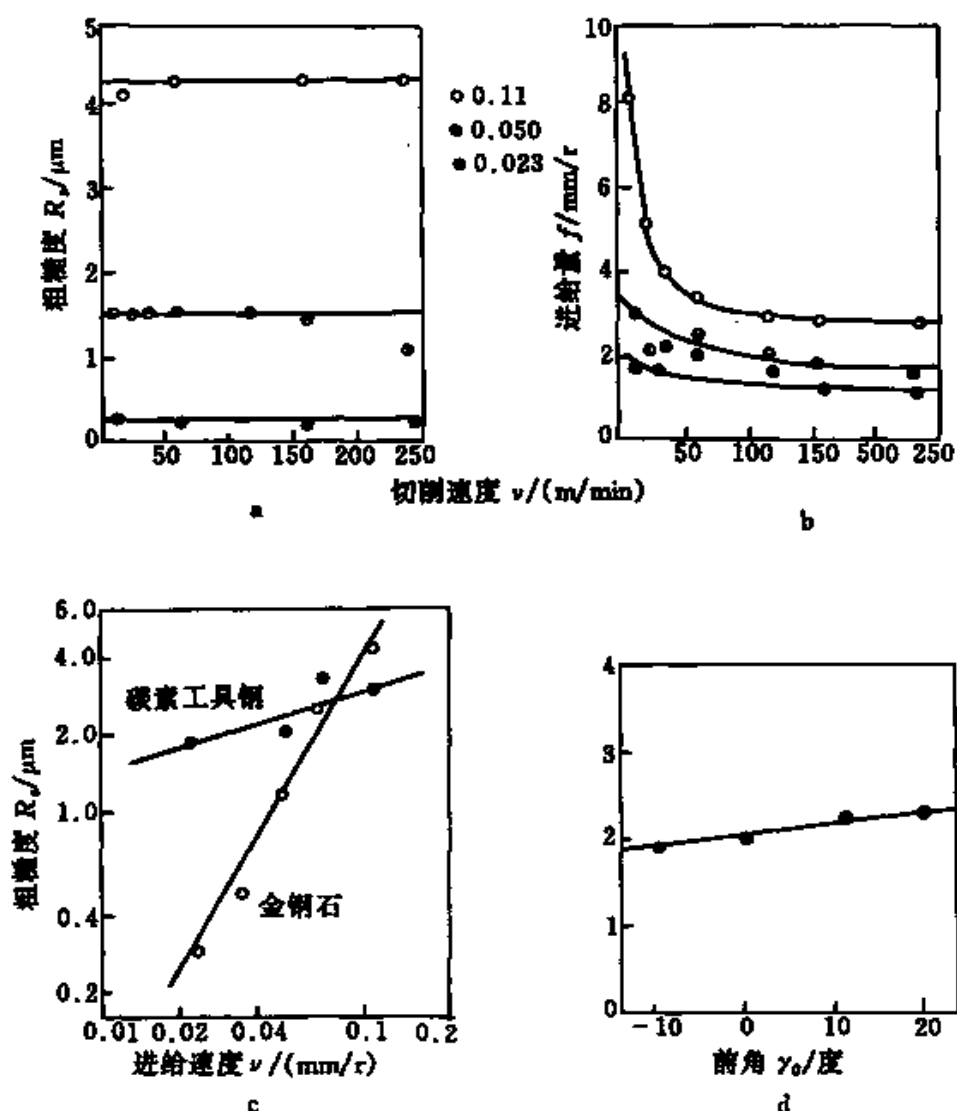
图 2-29 切削聚酰胺(尼龙)树脂时, 切削条件、
刀具材料、刀具几何参数对加工表面粗糙度的影响

图 2-29a 图是用金刚石刀具, b 图是用硬质合金刀具, 其切削条件是: 前角 $\gamma_0 = 0^\circ$, 刀具圆弧半径 $r = 0.05\text{mm}$, 切削深度 $a_p = 0.05\text{mm}$; c 图是用硬质合金刀具, 切削速度 $v = 118\text{m/min}$, 刀具圆弧半径 $r = 0.5\text{mm}$, 切削深度 $a_p = 0.05\text{mm}$; d 图是不用前角下加工表面粗糙度。

结论: 由于在很宽的加工条件下产生连续切屑, 加工表面光滑, 且刀具磨损很小, 所以尼龙有很好的机械加工性能。在尼龙中, 尼龙 66 的机械性能最差。尼龙有吸湿性, 这一点可以改变尼龙的特性, 尼龙的吸湿性同样影响它的尺寸稳定性。在机械加工后, 适当地退火处理可以减少材料内部的不平衡应力。尼龙极易变形, 所以加工时一定要小心, 防止用刀具把尼龙加工件推开。使用具有合理前角的刀具非常重要。在高速切削时应使用冷却液, 最好是可溶性油类冷却液, 而且冷却液本身要保持尽可能低的温度。

10. 聚碳酸酯

这种树脂具有非常好的抗冲击性、蠕变和耐酸性。

在加工聚碳酸酯时, 经常产生极长 (10 ~ 20m) 且坚韧的切屑, 但正如加工其他塑料产生的切屑一样, 该切屑随切削速度、切削深度、刀具前角的变化而变化。

在以 $v = 0.5\text{m/min}$ 这一极低的速度切削聚碳酸酯时, 除使用大的负前角刀具加工外, 其他形成的切屑几乎都是坚硬的、弯曲的连续切屑。当切削深度越小时, 切屑越弯曲、越小。

聚碳酸酯切屑的高速摄影显示出切屑是连续型的。切削聚碳酸酯的情形如图 2-30 所示。切削条件: 切削速度 $v = 0.03\text{m/min}$, 切削深度 $a_p = 0.246\text{mm}$ 。它是以极低的切削速度、用不同前角的刀具加工所获得的一组照片。这表明切屑的形成是基于前刀面的剪切作用。当刀具具有正前角时, 是一种连续作用; 当前角变负时, 变成不连续作用。

切削力随前角、切削深度、切削速度的变化情况与切削其他塑料的规律相似。

切削力随前角增大而减小, 主切削力 F_z 随刀具前角由负变正而

降低, 径向力 F_y 也降低。这就意味着, 在切削时, 负前角刀具往下压、正前角刀具向上掀工件, 在加工聚碳酸酯时明显存在合理前角。合理前角数值可于表 2-8 中查得。

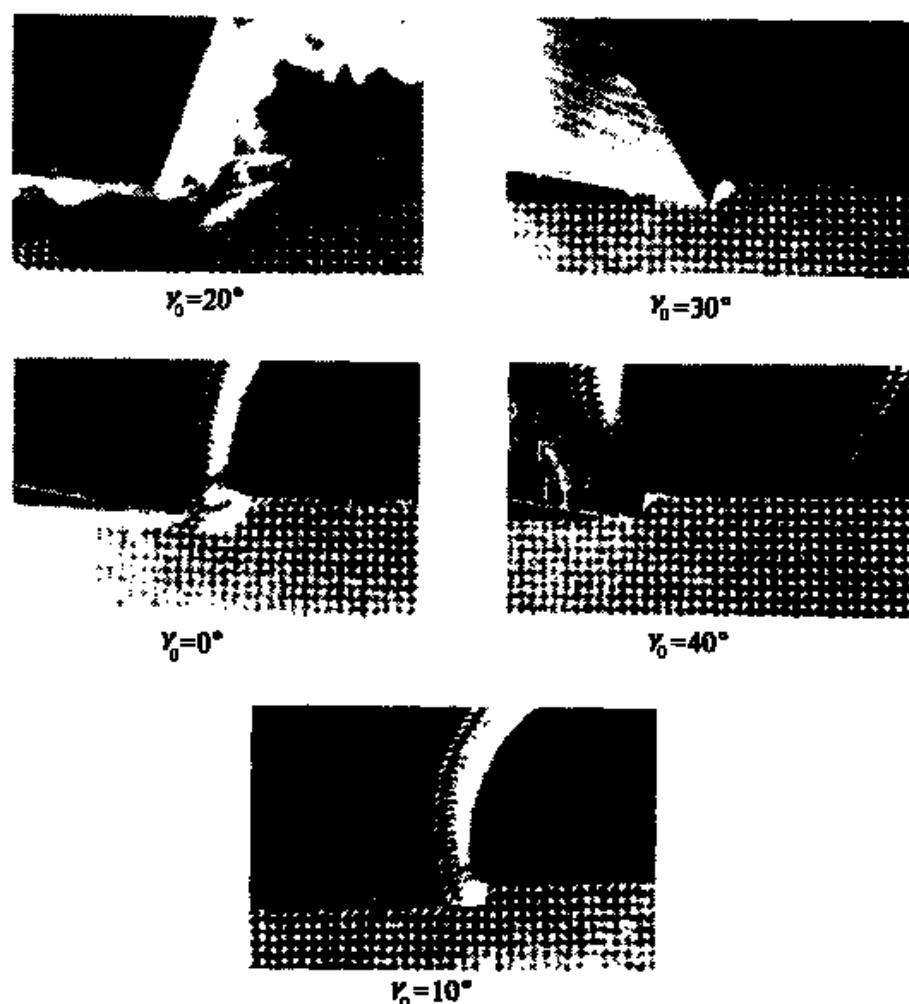


图 2-30 切削聚碳酸酯使用不同刀具前角时产生的几种切屑

表 2-8 聚碳酸酯的合理前角

切削速度/(m/min)	不同切削深度下的合理前角		
	0.05mm	0.10mm	0.15mm
50	30°	25°	21°
100	22°	19°	15°
200	25°	15°	11°
400	20°	11°	8°

实验证明, 聚碳酸酯产生不连续切屑的区域很窄, 所以除用前角为很大负值 ($\gamma_0 = 20^\circ$) 的刀具或以很大正前角的刀具以高速和大切削深度加工时产生非连续切屑外, 其他很宽的切削条件范围内都可产生连续切屑。因此, 使用表 2-8 所示的合理角将在加工时产生最佳结果。

切削时产生的单位切削力随加工条件变化而变化, 单位切削应力随切削深度增加而降低, 如图 2-31 所示。同时随前角由负变正的变化而降低。单位切削应力大小和切削条件有关, 它是随切削深度 a_p 和前角 γ_0 的增大而降低。图 2-31 是实验得出 a_p 对单位切削应力影响曲线; 而单位切削应力 σ_c 和切削速度 v 的关系可用式 $\sigma_c = 1/v^{0.08}$ 表示。

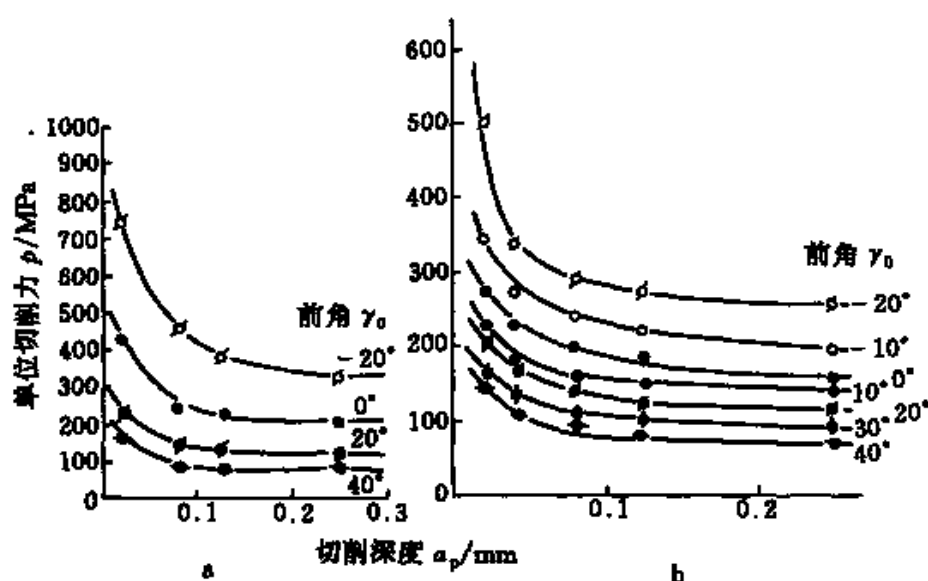


图 2-31 当以不同前角的刀具加工聚碳酸酯时
切削深度 a_p 对单位切削应力 σ_c 的影响

a. 切削速度 $v = 0.2 \text{ m/min}$; b. 切削速度 $v = 400 \text{ m/min}$

选择大切削深度、高切削速度和正前角有利于降低切削应力。聚碳酸酯单位切削应力的值与其他塑料相比是相当大的, 但在很宽的范围内都能产生连续切屑。因此聚碳酸酯的机械加工性也很好。

由于材料的高熔点，使聚碳酸酯像其他热塑性塑料一样，不产生胶合。然而正如前面所说，产生的切屑很麻烦，因为它们非常硬，弯曲且缠结在工件刀具和机床上。

第三节 热固性塑料的单刃切削

一、特点

切削酚醛、环氧、氨基等热固性塑料时，其工艺过程和基本规律和切削热塑性塑料大致相同。但是热固性塑料有其独特的特性，尤其是有玻璃纤维基材的塑料强度近于金属，所以又与切削热塑性塑料有些不同。

(1) 热固性塑料在一般情况下较热塑性塑料的耐热性高，并且有受压不变形的特点。如果单纯从切削温度方面来考虑，切削速度可以比切削热塑性塑料高。

(2) 热固性塑料的线膨胀系数仅是热塑性塑料的 1/5，比钢还低，所以在加工中可以不考虑切削热对工件加工精度的影响。

(3) 尽管酚醛塑料在一般情况下强度是很低的，但是如果加入适量的基材，制成层压或模压塑料，如酚醛玻璃纤维层压塑料，其强度就大大的提高。但切削时刀具受力大，而且因基材玻璃纤维形成强烈的磨料磨损，使刀具寿命下降，限制了切削速度的提高。

(4) 热固性塑料强度大、硬度高、磨料磨损严重和热导率低，切削区域的温度比热塑性塑料高。根据前苏联 И. Н. Коновалова 的研究，车削某些层压塑料时切削区域的温度可按下式计算：

$$\theta = 105 \cdot v^{0.29} \cdot f^{0.23} \cdot a_p^{0.24}$$

式中 v 、 f 、 a_p ——分别为切削速度、进给量和切削深度。

(5) 据某些研究证明，车削某些热固性塑料切削区域的最高温度 θ 可达 600℃。所以，切削时除了采用高速钢、硬质合金刀具材料外，还根据被加工材料性质，也利用金刚石车刀和陶瓷刀具加工热固性塑料。但应当指出，由于陶瓷刀具材料弯曲强度和抗冲击性能差，为了增强刀具的刃口强度，其前角和后角都要取小值，一般取 $\gamma_0 = 0^\circ \sim -5^\circ$ ， $\alpha_0 = 12^\circ$ 。

二、几种常见的热固性塑料的单刃切削

1. 热固性塑料层压板

热固性塑料由树脂和基础材料或填充物组成。前者可以是酚醛、尿素、环氧、硅酮或聚酯树脂，后者可以是纸、纤维、石棉、玻璃或尼龙。现在国内有超过 300 种的层压板。

这些层压的工业塑料的外表视觉缺乏美感。因此，总是用来装饰电视机的壳内或是汽车的内部。随着空间技术的发展，它们在电子仪器上的应用不断扩展，特别是用在人造卫星和外部空间探测器上。采用几种不同的填充物和不同的树脂胶合剂，可以得到很多的层压塑料。

不同层压板的加工方法随它的组成而不同。本节将讨论酚醛纸基、酚醛布基、蜜胺布基和酚醛玻璃基层压板，这几种层压板在工业中的应用较多。许多常见的加工方法，可用来加工塑料板、棒料和管材。这里将通过正交切削实验来选择加工条件和加工刀具的几何形状，特别是选择加工层压板的加工条件和刀具几何参数。层压板这种材料由于具有弹性变形、非均质性和热特性，所以具有复杂的物理特点。

直角切削层压板时产生几种切屑。用低速加工，采用不同的切削深度和刀具前角时，有的切屑是连续的，或弯曲或不弯曲；有的切屑是不连续的。当切削深度小，前角大时产生连续切屑。随着切削深度的增加和前角变负，切屑变为不连续。

当采用高速切削时，切削深度小，切屑从连续变为不连续。随着切削速度的增加，切屑变为针状或粉末状。

高速切削布基层压板时，切屑一般是不连续的，呈粉末状。

在 $v = 0.11\text{m/min}$ 的低速下加工纸基层压板时，切屑表面的形态如图 2-32 所示。前角和切削深度的作用可从图中看出。在切屑表面还可以观察到好多剪切痕迹。还可以发现伴随着剪切产生的断裂使连续切屑断开，变成了不连续切屑。因此，可得结论：在低速切削时，切屑的产生主要由剪切作用决定。

相反，在高速切削时，切屑截面有许多垂直的裂纹，并且裂纹距离较大，如图 2-33 所示，切削速度 $v = 400\text{m/min}$ 。因此可以说，高速切削时切屑的产生由复杂的剪切作用决定，一些情况下还伴随着脆性

断裂。很多实验表明，对热固性塑料因填料、树脂、切削速度 v 和切削深度 a_p 的不同，可能产生各种形态的切屑。有的情况不仅是刀具对工件材料的剪切作用，同时伴随着工件材料的崩碎情况，所以使剪切变得复杂。

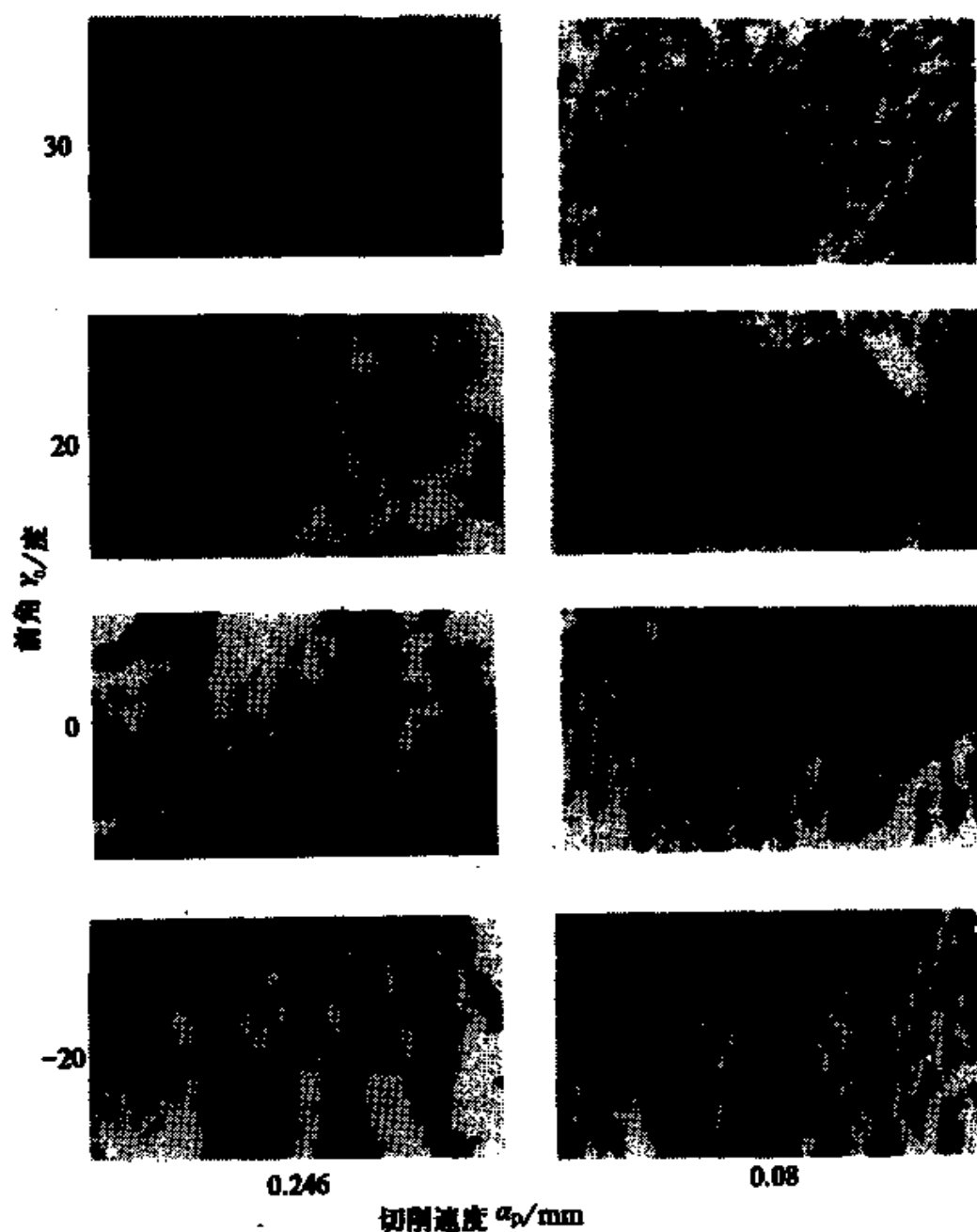


图 2-32 两种切削深度，四种不同刀具前角时，
切削纸基酚醛层压板时切屑的表面形态

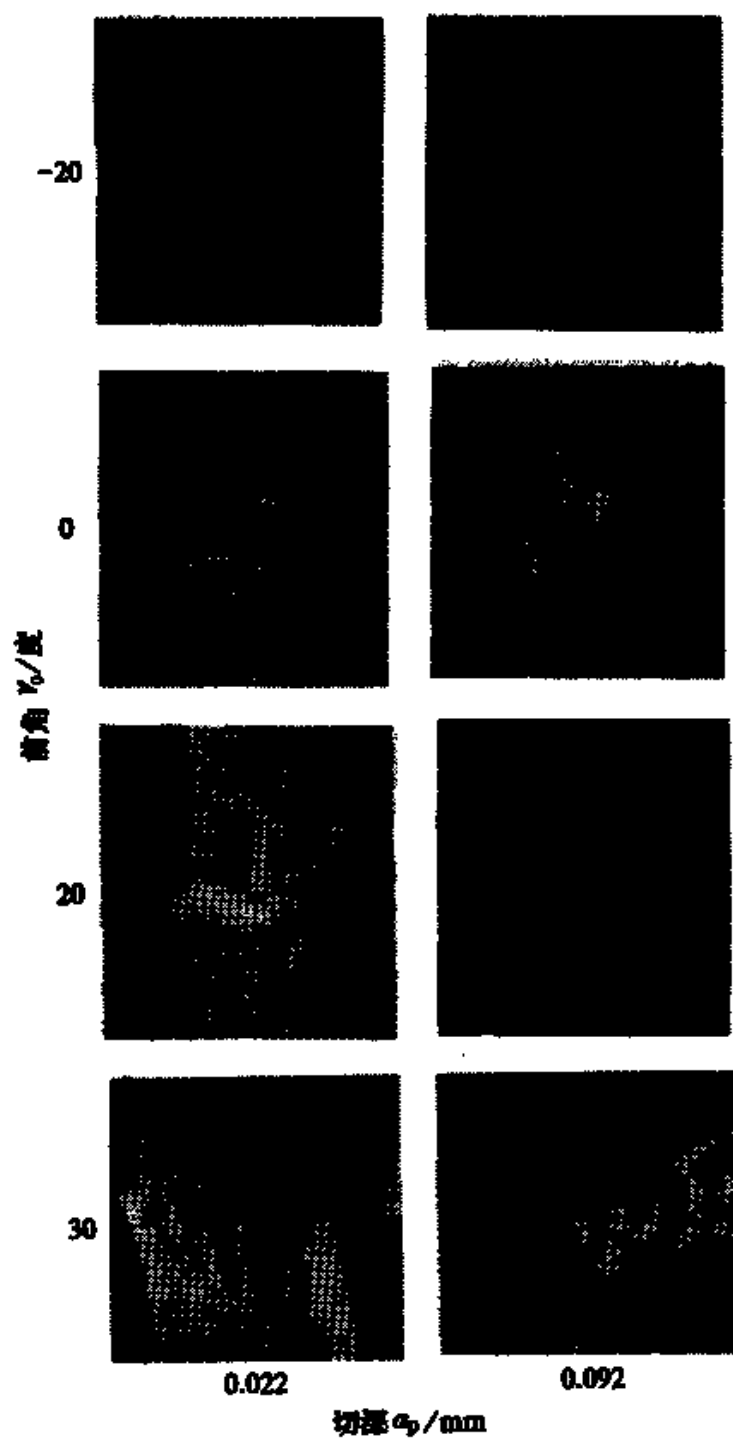


图 2-33 采用几种不同刀具前角和切削深度时，
加工纸基酚醛层压板形成的切屑的表面形态

同其他塑料一样, 切削酚醛层压板时也存在合理前角, 合理前角随切削深度和切削速度变化, 其具体数值可在表 2-9 中查得。

表 2-9 酚醛层压板的合理前角

切削深度 a_p/mm	当切削速度为				
	层压基	50 m/min	100 m/min	200 m/min	400 m/min
0.05	纸				
	A	36°	32°	28°	26°
	B	31°	27°	24°	22°
	C	24°	21°	18°	16°
	D	34°	32°	29°	27°
0.10	布	26°	22°	20°	18°
	纸				
	A	25°	20°	18°	16°
	B	21°	17°	16°	14°
	C	17°	15°	13°	11°
	D	23°	21°	18°	15°
	布	18°	14°	11°	10°

很显然, 刀具的合理前角不仅随层压板的种类变化, 也随切削条件, 如切削深度、切削速度等变化。

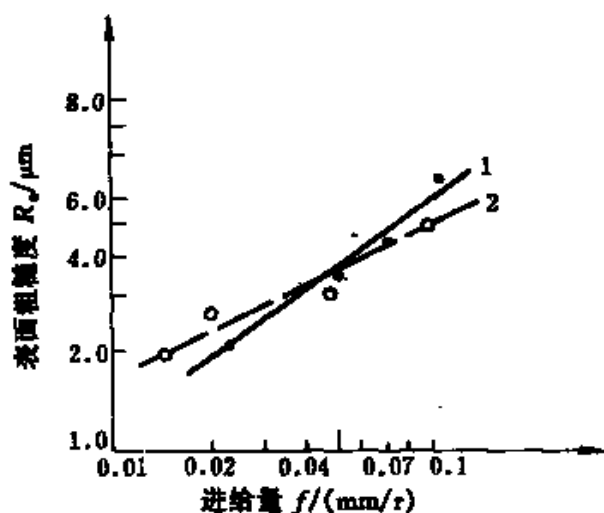


图 2-34 加工酚醛纸基压棒料时走刀量对表面粗糙度的影响

通过研究用金刚石刀具加工酚醛纸基层压棒料时的表面粗糙度, 发现粗糙度基本不受切削速度和刀具前角的影响, 然而, 粗糙度值随进给量 f 的下降而降低 (在车削中), 如图 2-34 所示, 图中切削速度 $v = 118 \text{ m/min}$, 切削深度 $a_p = 0.05 \text{ mm}$, 空心点为金刚石刀具切削, 实心点为硬质合金刀具切削, 实心点为硬质合金刀具

粗糙度值随刀尖圆弧半径的加大也有下降, 例如, 用硬质合金刀具

加工酚醛纸基层压塑料时,其切削条件 $v = 118\text{m/min}$, $f = 0.05\text{mm/r}$ 时,当刀尖圆弧半径为 2.0mm 时, $R_a = 1.7\mu\text{m}$,当刀尖圆弧半径为 0.5mm 时, $R_a = 3.6\mu\text{m}$ 。

切削玻璃基层压板与加工其他层压板相比,刀具的磨损比较大,如图 2-35 所示,当使用陶瓷刀具和硬质合金刀具时也是一样。图中切削深度 $a_p = 3\text{mm}$,进给速度 $f = 0.3\text{mm/r}$,刀具前角 $\gamma_0 = 6^\circ$ (YG 类刀具为 15° 前角),刀尖圆弧半径为 0.5mm 。加工玻璃基层压板的表面粗糙度也最大。所以在所有热固性塑料中,玻璃基层压板的机械加工性最差,尽量用金刚石刀具来加工。减少玻璃基层压板的切削速度比加工其他层压板时更重要。玻璃层压板通常是干加工。压缩空气的冷却非常有效,但产生的玻璃粉尘会落在人的皮肤上。皮肤刺激可通过使用乳化液和洗涤剂来消除,然而清洁的加工条件是最重要的。为改善基本的卫生条件和减轻皮肤的刺激,应提供多种粉尘处理的途径。最好的办法是采用吸尘系统。

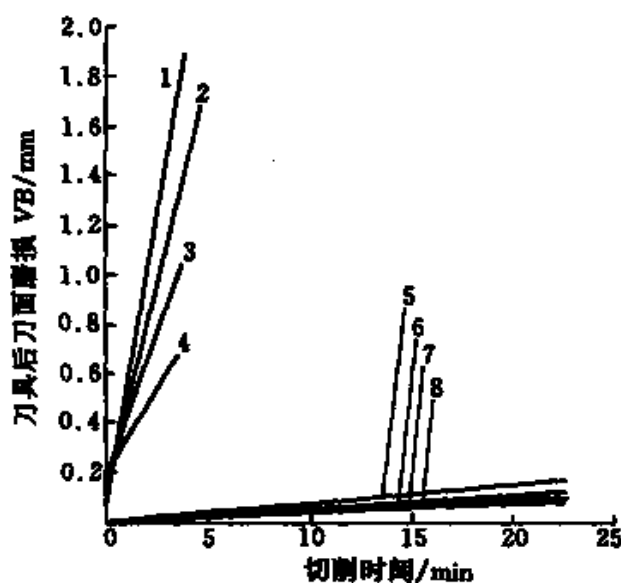


图 2-35 在车削酚醛层压棒料时陶瓷刀具和硬质合金刀具的磨损

1,5—陶瓷刀具; 2,6—YT 刀具;

3,7—YG 刀具; 4,8—YG 刀具

1~4 为玻璃布基层压板, 切削速度 $v = 180\text{m/min}$;

5~8 为纸基层压板, 切削速度 $v = 320\text{m/min}$

2. 铸塑热固性树脂

一些种类的热固性塑料,诸如酚醛聚酯或环氧树脂,以铸塑的形式被广泛应用。切削铸塑塑料的方法主要通过聚酯和环氧树脂来说明。简略地说,这些树脂在加工中非常容易碎裂,像玻璃和陶瓷一样。但如果选择了最佳切削条件,就能很容易地加工出没有裂纹、具有很小公差的工作。

当加工聚酯树脂时产生独特的切屑。一种形式是不连续的、不透明的、并且表面比较粗糙，另一种类似的切屑也是不连续的，但是透明的，表面光滑有些裂纹。

在切削铸塑聚酯树脂时，只有采用小切削深度时才产生连续切屑。当切削速度和切削深度都增加时，切屑才变为不连续。前角对切屑形成的影响较大，前角为正值时产生连续切屑，当为负前角时（ -20° ），则切屑呈有裂纹的不连续切屑。通过研究切削温度对切屑

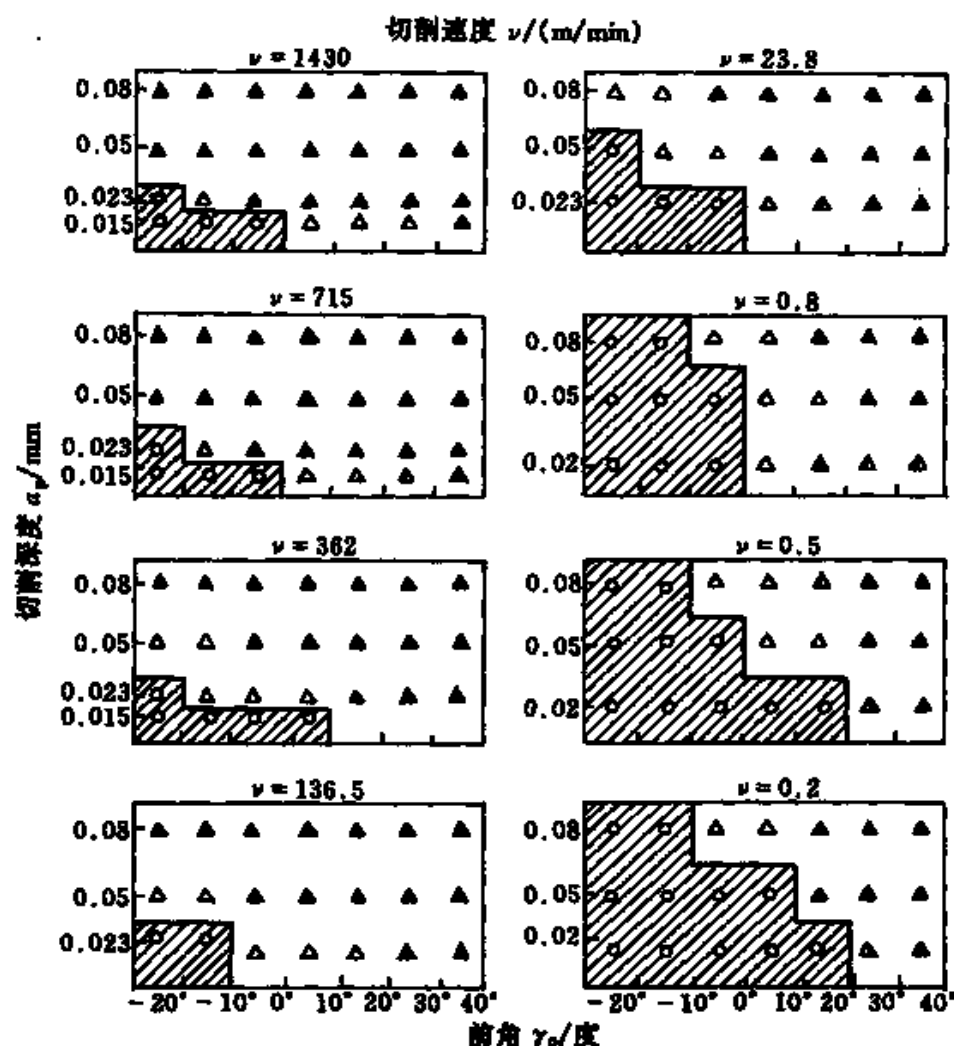


图 2-36 加工铸塑聚酯树脂时，在不同的切削速度下，
切削深度和前角对切屑形成的影响

○—连续剪切型；△—不连续复杂型；△—不连续简单剪切型；▲—不连续断裂型

种类的形成的影响,发现随着温度的增加,切屑从不连续变为连续。因此,高温将改善切屑的形成。

而且,切削力随切削温度的升高而降低。例如,在切削速度 $v = 0.8\text{m/min}$, 切削深度 $a_p = 0.05\text{mm}$ 时, 100°C 时的切削力是它在 25°C 时的 60%。

如前所述,铸塑聚酯树脂的合理前角不存在,因为即使使用大前角时,由于材料的易碎性,切屑也总是不连续断裂型的。切削条件对切屑的影响如图 2-36 所示。阴影部分指出了最佳切削条件。加工铸塑聚酯树脂时连续切屑的范围相当窄,因此在选择加工条件时要格外小心。

简言之,取刀具前角 $\gamma_0 = 0^\circ$ 或很小的负值,切削深度 $a_p < 0.02\text{mm}$, 才能得到连续切屑和较好的加工表面。

如图 2-37 所示,在切削铸塑环氧树脂时,切削深度 a_p 增大一定值时,表面粗糙度 R_a 值突然增大。其切削条件为:切削速度 $v =$

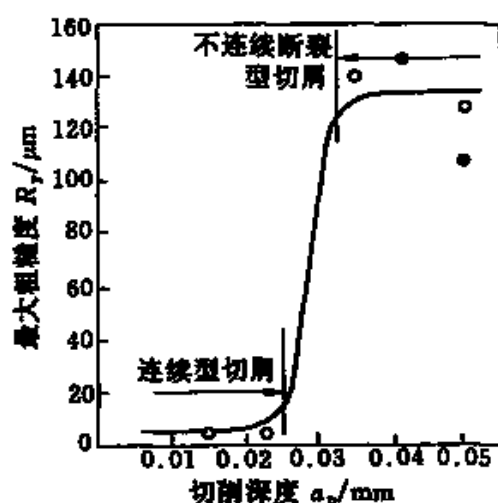


图 2-37 切削深度对加工表面粗糙度的影响

56m/min , 刀具前角 $\gamma_0 = 10^\circ$ 。这说明铸塑环氧树脂机械加工性能差。

3. 玻璃纤维强化塑料 (FRP)

玻璃纤维强化塑料在工业领域的应用不断拓展。加工玻璃纤维强化塑料最重要的问题是刀具磨损。当刀具有磨损时,使切削深度发生了变化,加工精度下降。切削力的增加导致产生切削热,使加工表面烧伤。所以要经过精加工来去除这些表面缺陷。当加工玻璃纤维强化塑料时,刀具经常要刃磨,这使加工费用增加。图 2-38 指出刀具材料对后刀面磨损量 VB 的影响,工件材料是玻璃纤维强化环氧树脂,切削速度是 100m/min , 前角 $\gamma_0 = 20^\circ$, 切深 $a_p = 0.034\text{mm}$ 。在几种不同的切削速度下 VB 与实际切削时间的关系如图 2-39 所示,图中刀具

材料 YT5, 前角 20° , 切削深度为 0.034mm 。很显然, 加工 5min 后或加工工件材料体积 200cm^3 之后, 刀具磨损相当惊人。切削速度增加, VB 的值增大。随着刀具的磨损, 切屑的种类发生变化, 刀具磨损后产生粉末状切屑。

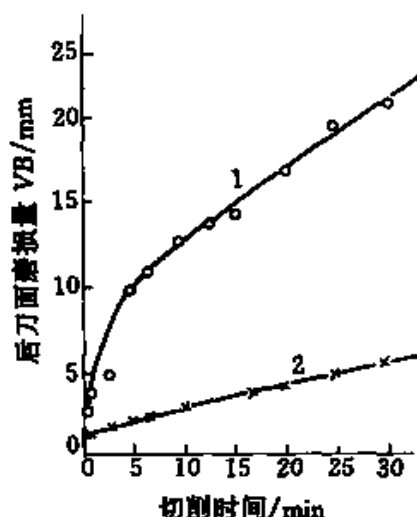


图 2-38 切削玻璃纤维强化环氧树脂
时刀具材料对后刀面磨损的影响
1—高速钢；2—YT类硬质合金

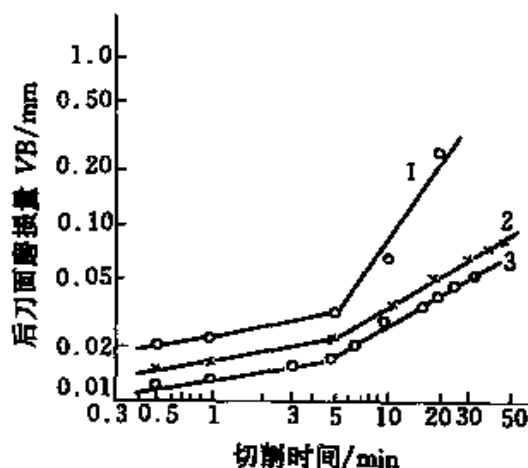


图 2-39 切削玻璃纤维强化环氧树脂
时切削速度对后刀面磨损的影响
1— $v = 300\text{m/min}$ ；2— $v = 200\text{m/min}$ ；
3— $v = 100\text{m/min}$

通过在很宽范围的切削速度里分析刀具磨损问题, 可知在切削玻璃纤维增强塑料时产生三种刀具磨损。第一种刀具磨损发生在低速切削时, 只依赖于工件和刀具的接触长度。第二种刀具磨损在高速切削时发生, 刀具磨损的值随速度的增加而增加。第三种刀具磨损发生在速度更高时, 刀具磨损的值相当大, 不依赖于切削速度和接触长度。这三种刀具磨损的过程可用流变学模型来解释。

玻璃纤维强化塑料的切削一般使用硬质合金或单晶金刚石刀具, 但如前所述, 硬质合金的磨损相当大, 只能用于切削速度非常低的情况。虽然单晶金刚石刀具的寿命长, 但加工条件受限制。通过加工含有 60% 重量玻璃的玻璃纤维强化环氧树脂, 进行两种刀具材料即金刚石复合刀具和硬质合金刀具的比较。发现金刚石复合刀具能够在切

削速度为 426m/min 时切削玻璃纤维强化环氧树脂, 而在此切削速度下, 硬质合金刀具只加工了 5mm 的长度就磨钝了。因此, 大批加工时硬质合金的加工速度应选择 38m/min 。加工 15 个工件, 加工长度总计为 32mm 时, 硬质合金的加工时间为 1.627min , 金刚石刀具为 0.267min 。复合金刚石刀具加工 8000 件后需要重磨, 硬质合金刀具加工 5000 件后需重磨。若详细计算刀具成本并将刀具成本均分到每个零件的加工上, 发现使用金刚石刀具要经济些。

第四节 塑料的成型车削

一、塑料的成型车削

加工成型的塑料工件, 应利用成型车刀, 它不但可以提高生产率, 而且还可以保证加工精度和降低成本。成型车刀的刃口形状是根据工件的廓形设计的。它可用在普通车床、六角车床、自动和半自动车床上加工工件的内、外回转成型表面和端面, 也可以用在刨床和插床上加工工件的直线形成的表面。

用成型车刀加工塑料工件时, 因工件的廓形基本决定于刃口的形状, 不依靠工人的技术水平, 这样不仅仅可以简化操作过程、减轻操作时的劳动强度和提高生产率, 还可以保证获得较准确的工件廓形。因此成型车刀是一种高效刀具。成型车刀重磨次数多, 使用寿命长。但是, 刀具的设计和制造较普通车刀复杂, 成本也高。因此, 它只有用于大批量的生产中才合算。

成型车刀大部分用高速钢或合金工具钢制造。

二、成型车刀的种类

1. 平体成型车刀 (图 2-40)

和普通车刀相似, 只是切削刃刃口和工件形状相附, 刀体结构类似于普通车刀。用于小批或单件简单的成型塑料工件的加工。如螺纹车刀就是这种刀具。

2. 棱体成型车刀 (图 2-41)

这种成型车刀利用燕尾夹于刀架上, 夹紧可靠, 刚性好, 寿命长, 加工产生的误差小。这种成型车刀适用于大批大量生产。

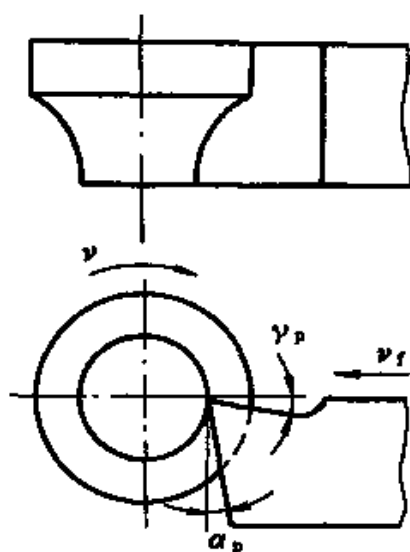


图 2-40 平体成型车刀

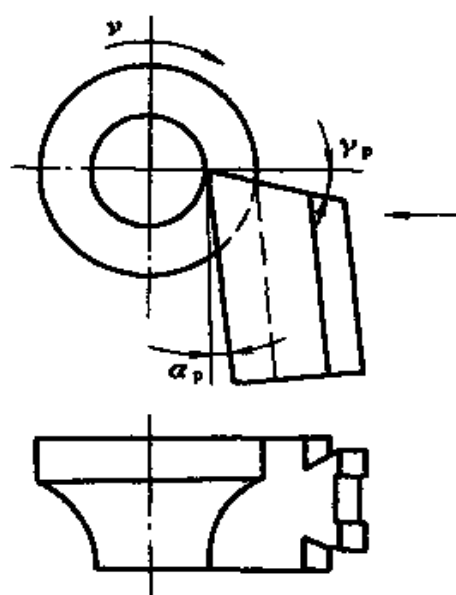


图 2-41 棱体成型车刀

3. 圆体成型车刀 (图 2-42)

圆体成型车刀制造简单, 寿命长, 但夹紧不如棱体成型车刀可靠。主要用于大批大量生产中, 多用于加工小的回转体工件。

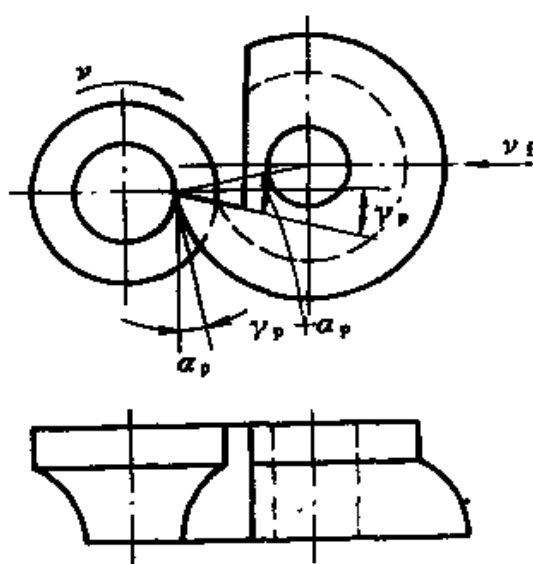


图 2-42 圆体成型车刀

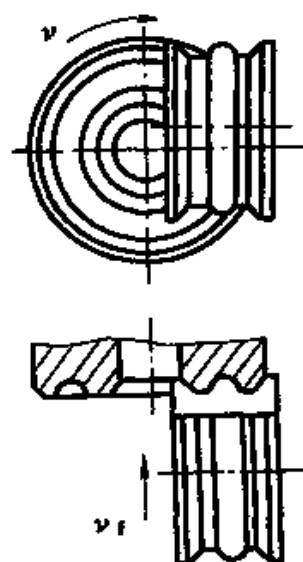


图 2-43 端面成型车刀

4. 端面成型车刀 (图 2-43)

端面成型车刀的夹紧方式和圆体成型车刀类似。主要用于制造端面需成型的塑料工件。用于大批大量生产中。

5. 内表面成型车刀 (图 2-44)

这种成型车刀主要用在大批大量生产中加工内回转成型表面。

三、成型车刀的廓形修正计算

只有成型车刀的前角 $\gamma_p = 0$ 和后角 $\alpha_p = 0$ 时, 刀具的法向剖面或轴向剖面上的廓形和工件的轴向廓形才完全相同。此时, 成型车刀的廓形无需修正, 刀具廓形完全等于工件廓形。但是, 这种成型车刀是不能工作的, 必须具有合理的前角和后角方能正常切削。因此, 刀具廓形必须进行修正计算。

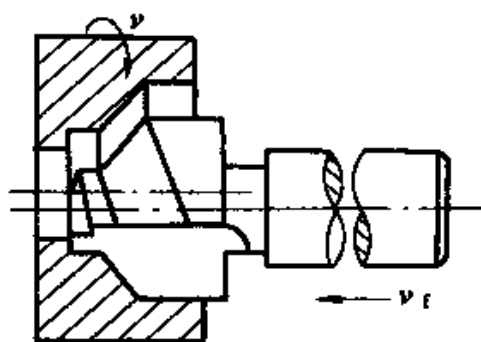


图 2-44 内表面成型车刀

1. 棱体成型车刀的廓形设计

刀具的廓形设计可用图解法, 也可用计算法。图解法简单, 但不准确。一般均用计算法求刀具的廓形。

从图 2-45 可见, 1、2、3、4 为工件廓形; 1'、2'、3'、4' 为切削刃投影; 1''、2''、3''、4'' 为刀具廓形。计算前已知工件尺寸和选定的前角 γ_p 和后角 α_p 。从图可见, P_2 、 P_3 及 P_4 可以通过前刀面上各相应点的距离 C_2 、 C_3 和 C_4 计算出来, 而 C_2 、 C_3 及 C_4 又由前刀面延长线上 A_1 、 A_2 、 A_3 及 A_4 来求出。

从图可顺序求出各刀刃点的廓形深度:

- (1) $h = r_1 \cdot \sin \gamma_p$
- (2) $A_1 = r_1 \cdot \cos \gamma_p$
- (3) $\sin \gamma_{p2} = h / r_2$
- (4) $A_2 = r_2 \cdot \cos \gamma_{p2}$
- (5) $C_2 = A_2 - A_1$
- (6) $P_2 = C_2 \cdot \cos (\gamma_p + \alpha_p)$

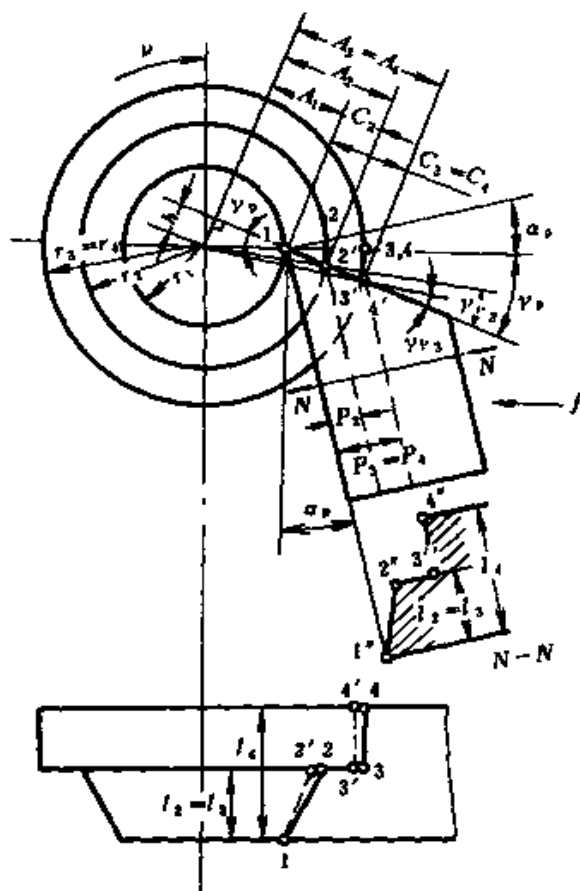


图 2-45 棱体成型车刀的廓形设计

$$(7) \sin \gamma_{p3} = h/r_3$$

$$(8) A_3 = r_3 \cdot \cos \gamma_{p3}$$

$$(9) C_3 = A_3 - A_1$$

$$(10) P_3 = C_3 \cdot \cos (\gamma_p + \alpha_p)$$

由此可知求任意点廓形深度的步骤为:

$$\sin \gamma_{pn} = \frac{h}{r_n};$$

$$A_n = r_n \cdot \cos \gamma_{pn};$$

$$C_n = A_n - A_1;$$

$$p_n = C_n \cdot \cos (\gamma_p + \alpha_p)$$

2. 圆体成型车刀的廓形设计

已知工件尺寸、刀具外圆半径 R_1 、前角 γ_p 和后角 α_p 。计算的要求是求出刀具廓形上各组成点的半径。

通过 1 点作前刀面的延长线。刀具中心 O_c 与该延长线的垂直距离为 h_c 。由图 2-46 可知:

$$h_c = R_1 \cdot \sin(\gamma_p + \alpha_p); B_1 = R_1 \cdot \cos(\gamma_p + \alpha_p)$$

沿刀具前刀面上各组成点 2'、3'……至点 1 的距离 C_2 、 C_3 ……等尺寸, 与棱体成型车刀的计算方法完全相同。由图可求出刀具 2'、3'……等点的半径 R_2 、 R_3 、……如下:

$$(1) B_2 = B_1 - C_2$$

$$(2) \operatorname{tg} \epsilon_2 = h_c / B_2$$

$$(3) R_2 = h_c / \sin \epsilon_2$$

$$(4) B_3 = B_1 - C_3$$

$$(5) \operatorname{tg} \epsilon_3 = h_c / B_3$$

$$(6) R_3 = h_c / \sin \epsilon_3$$

由上述计算可知, 当刀具上任意点的 C_n 求出后, 求半径 R_n 的步骤为:

$$B_n = B_1 - C_n; \quad \operatorname{tg} \epsilon_n = \frac{h_c}{B_n}; \quad R_n = \frac{h_c}{\sin \epsilon_n}$$

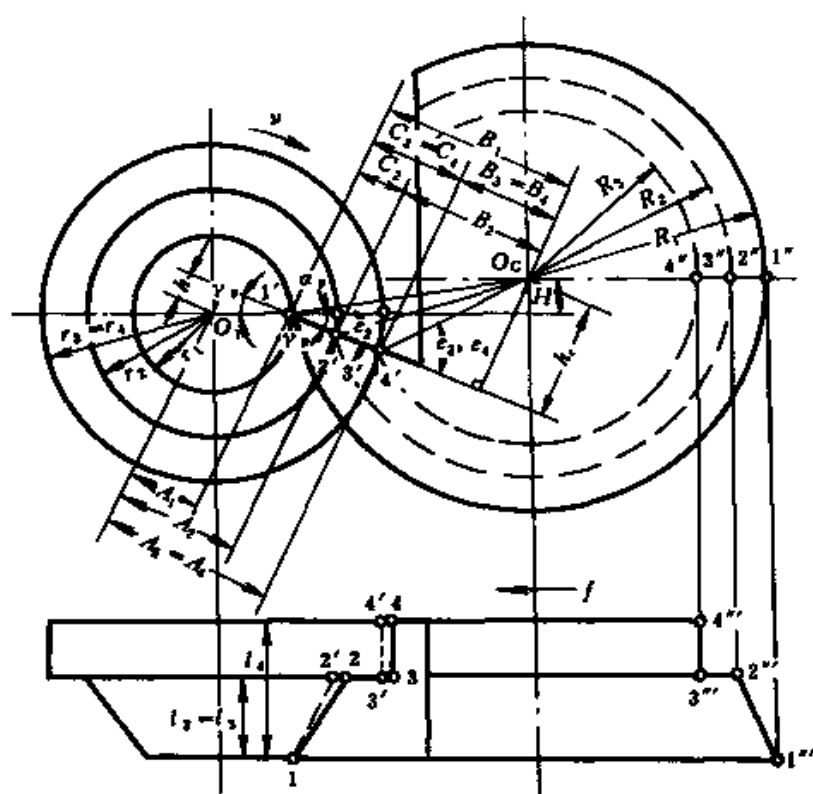


图 2-46 圆体型成型车刀的廓形设计

四、成型车刀的几何角度的选择

成型车刀和其他刀具一样，也应有合理的前角和后角。但成型车刀刃形较复杂，切削刃各段的主剖面方向不尽相同，所以不可能在切削刃各段的主剖面内磨出前角和后角，而在成型车刀的纵向剖面内将刀具制成一定的角度，但成型车刀的前角和后角规定在刀具的主剖面中测量。

由于成型车刀都以刀刃上离工件中心最近点为基准，故所谓前角和后角系指该点在纵剖面的前角和后角而言。这样，距工件中心线较远点的前角和后角都各不相同，并均较离工件中心线最近点的前角要小。但如果选最近点前角为零时，则其他各点的前角亦为零。由于切

削塑料产生的切削力小, 并且为了防止刃形畸变, 通常取前角 $\gamma_p = 0$ 。塑料的弹性回复较大, 为了提高已加工表面质量和刀具寿命, 故取后角 α_p 较大。例如用高速钢和合金工具钢制成的成型车刀通常取 $\gamma_p = 0$, $\alpha_p = 10^\circ \sim 20^\circ$ 。

第五节 切削塑料用的典型车刀结构

车刀是典型的单刃刀具, 本节对切削塑料用的典型车刀加以讨论。

塑料的种类繁多, 不同种类的塑料性质也不相同; 同时由于塑料工件用途不同, 所以对加工的要求也不一样。由于上述原因, 所以必须根据实际情况设计车刀结构和选择合理的几何参数。

一、加工层压塑料的车刀

各种基材(纸的、棉布的 and 玻璃布的)的层压塑料, 在车削时工

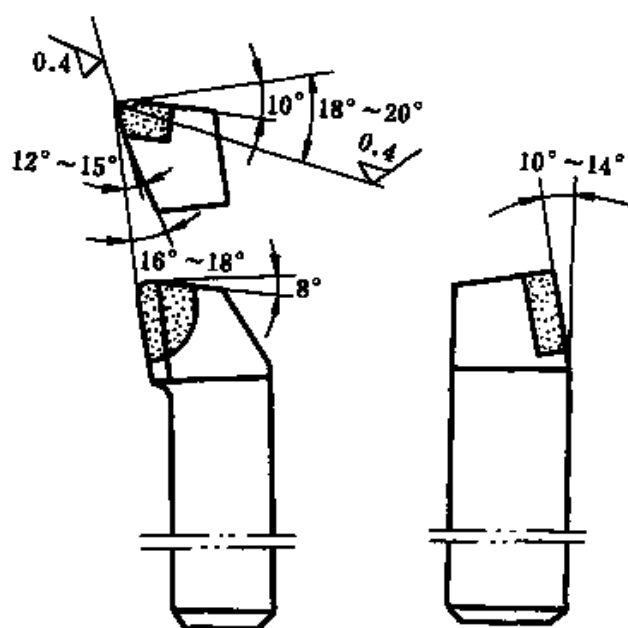


图 2-47 加工层压塑料的车刀

件表面存在易起毛、起层、开裂和剥落等缺陷。为了有效地防止缺陷产生, 车刀必须锋利并且使切削力尽可能的小, 使后刀面和加工表面摩擦小。为了满足上述要求, 采用较大的前角 $\gamma_0 = 18^\circ \sim 20^\circ$; 取较大的后角 $\alpha_0 = 12^\circ \sim 32^\circ$; 取刃倾角 $\lambda_s = 10^\circ \sim 14^\circ$, 如图 2-47。实验证明: 用 YG8 刀具材料, 切削速度 $v = 50 \sim 100 \text{ m/min}$, $f \leq 0.2 \text{ mm/r}$, $a_p = 0.3 \sim 1 \text{ mm}$, 在车削酚醛玻璃布层压塑料和酚醛棉布层

压塑料时可保证工件表面质量, 刀具的寿命较高。

粗加工时, 刀尖圆弧半径 r 取小些, 精加工取大些, 以便减少已

加工表面的残留面积高度,降低表面粗糙度 R_a 值。

二、加工有机玻璃的车刀

加工有机玻璃的车刀如图 2-48 所示,这种车刀是用废锉刀磨制而成,锉刀通常是用 T8A 或 T10A 做成。主要适用于在普通车床上精加工有机玻璃和硬聚氯乙烯塑料。

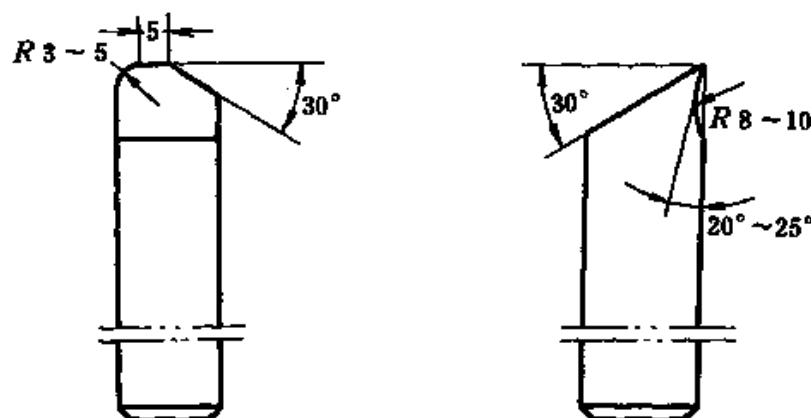


图 2-48 加工有机玻璃的车刀

精加工时,要求已加工表面粗糙度 R_a 值小,所以采用 $\gamma_0 = 20^\circ \sim 25^\circ$, $\alpha_0 = 30^\circ$,则刀具可刃磨得十分锋利。后角 $\alpha_0 = 30^\circ$,使后刀面和加工表面摩擦减小,使已加工表面质量得以提高。为了降低已加工表面的粗糙度 R_a ,取修光刃长度为 5mm,使已加工表面上的残留面积在理论上等于零。另外,要把前刀面和后刀面进行研磨。

这种车刀用 $v = 20\text{m/min}$, $f = 0.15 \sim 0.25\text{mm/r}$, $a_p = 0.15 \sim 0.2\text{mm}$,得已加工表面粗糙度 $R_a = 0.24\mu\text{m}$,不经抛光,即符合透明要求。

三、加工尼龙的车刀

切削尼龙塑料通常形成带状切屑,易缠绕工件和刀具,妨碍正常工作,所以排屑和断屑十分重要。建议采用图 2-49 所示的车刀,本车刀采用 $\lambda_s = -2^\circ \sim -3^\circ$,控制排屑方向,排屑顺利,切屑倾斜 30° 左右似流线顺利排出,不刮伤已加工表面;采用较大的前角 $\gamma_0 = 15^\circ$,刀刃锋利;刀片材料用 YG6,可以采用较高的切削速度。

在下列的切削用量: $v = 80 \sim 130\text{m/min}$, $f = 0.18\text{mm/r}$, $a_p = 2\text{mm}$ 情况下,可加工出 $R_a = 1.6\mu\text{m}$ 的表面。

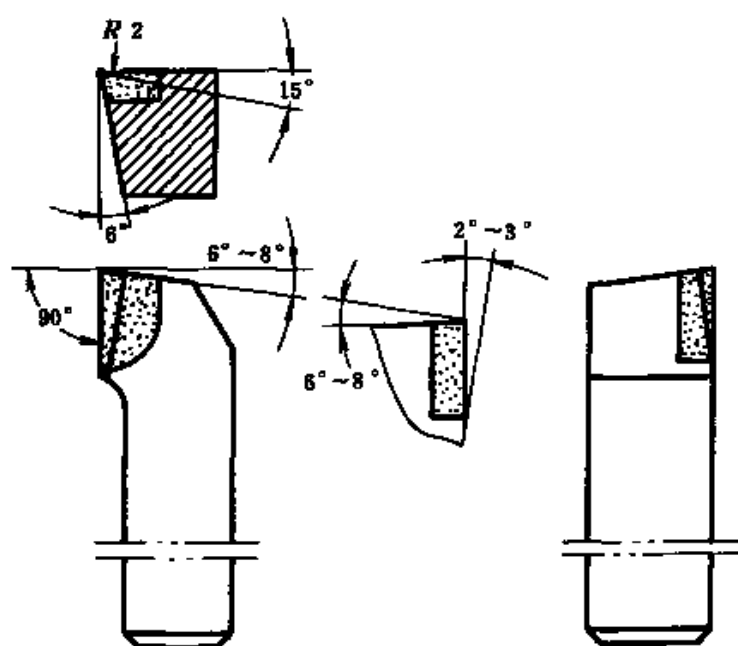


图 2-49 加工尼龙的车刀

四、加工酚醛玻璃纤维层压棒料的切断车刀

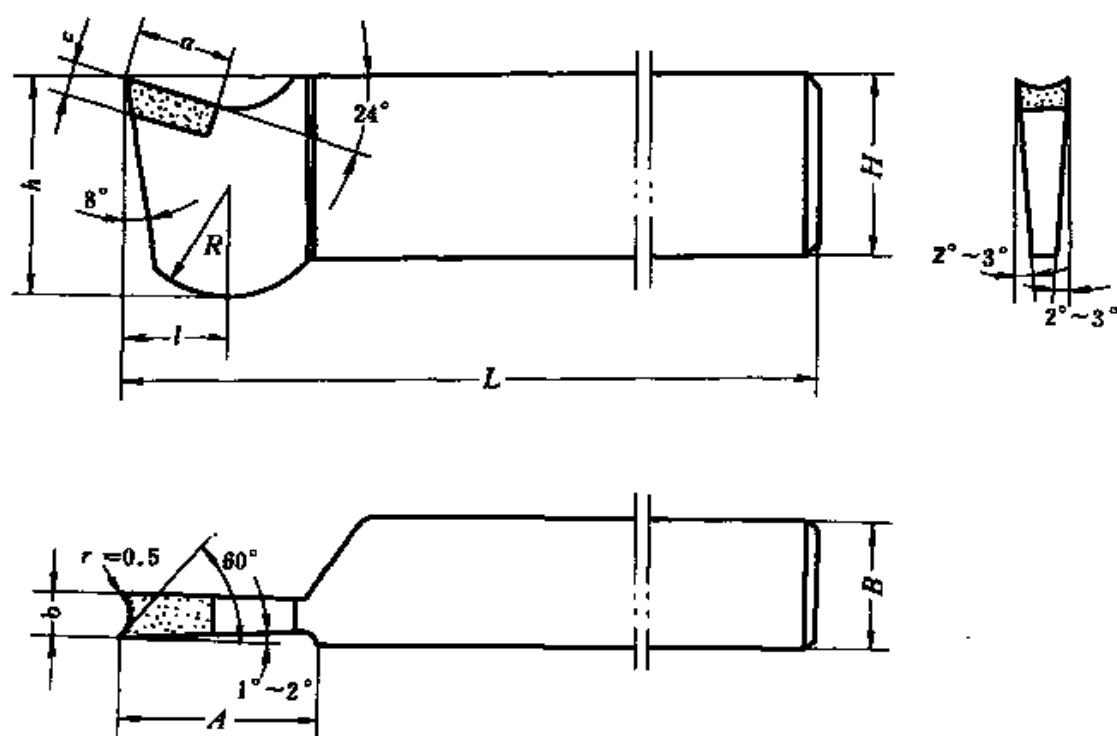


图 2-50 加工酚醛玻璃纤维层压棒料的切断车刀

B	H	L	A	h	l	R	刀片型号	a	b	c
16	20	120	24	32	12	18	C303	14	4.5	4
22	25	140	30	40	18	26	C305	17	5.5	5
25	30	150	35	45	18	26	C307	17	6.5	6

加工酚醛玻璃纤维层压棒料的切断车刀见图 2-50, 该刀用切断直径 $a_w = 25\text{mm}$ 的工件。刀片为 YG8 材料; 刀具的几何参数见图 2-50 图注(表); 切削用量: $v = 48 \sim 64\text{m/min}$, $a_p = 4.3 \sim 6.5\text{mm}$, $f \approx 3.2 \sim 2.4\text{mm/r}$; 刀具寿命 $T = 83\text{min}$ 。

五、陶瓷车刀

陶瓷刀片用粘结的方式粘在刀槽里, 这种结构形式刀具的寿命较高。刀槽不能有毛刺、飞边和台阶。刀具的几何参数和切削速度可从表 2-10 查得; 进给量根据加工要求而定: 精加工 $f = 0.05 \sim 0.2\text{mm/r}$, 半精加工 $f = 0.25 \sim 0.5\text{mm/r}$, 粗加工 $f \leq 2\text{mm/r}$; 切削深度 a_p 根据加工余量而定, 但不能超过 8mm , 如图 2-51 所示。

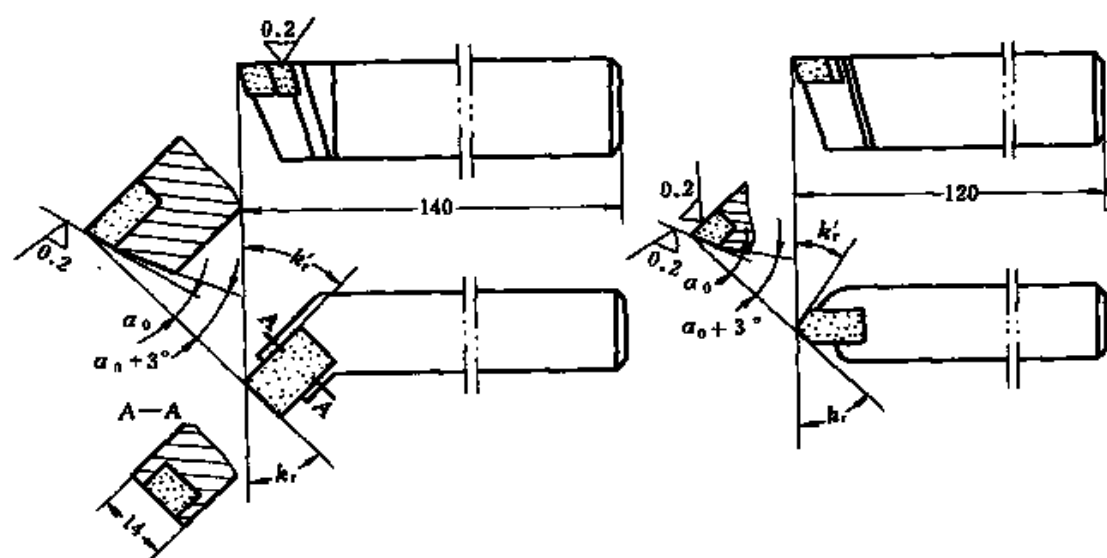


图 2-51 陶瓷车刀

表 2-10 陶瓷车刀的几何参数和切削速度

被加工材料	γ_0	α_0	κ_r	κ'_r	λ_s	刀尖半径 r	切削速度 v
	度					mm	m/min
氨基塑料	0 ~ -5	12	30 ~ 90	45	0	1	100 ~ 330
氟塑料	0 ~ -5	12	30 ~ 90	45	0	1	20 ~ 150
纤维树脂塑料	0	12	30 ~ 90	45	0	1	200 ~ 500

六、金刚石车刀

加工塑料的金刚石车刀可采用装配式和组合式两种结构, 如图 2-52a 和 b。装配式车刀的刀体 1 上装有焊有金刚石颗粒 5 的嵌块 4, 嵌块 4 由压块 2 与螺钉 3 固定; 组合式金刚石车刀的圆柱形刀体上铣出一段平面, 将用焊药钎焊着的粘有球粒金刚石的金属陶瓷的标准嵌块装在其直槽中。

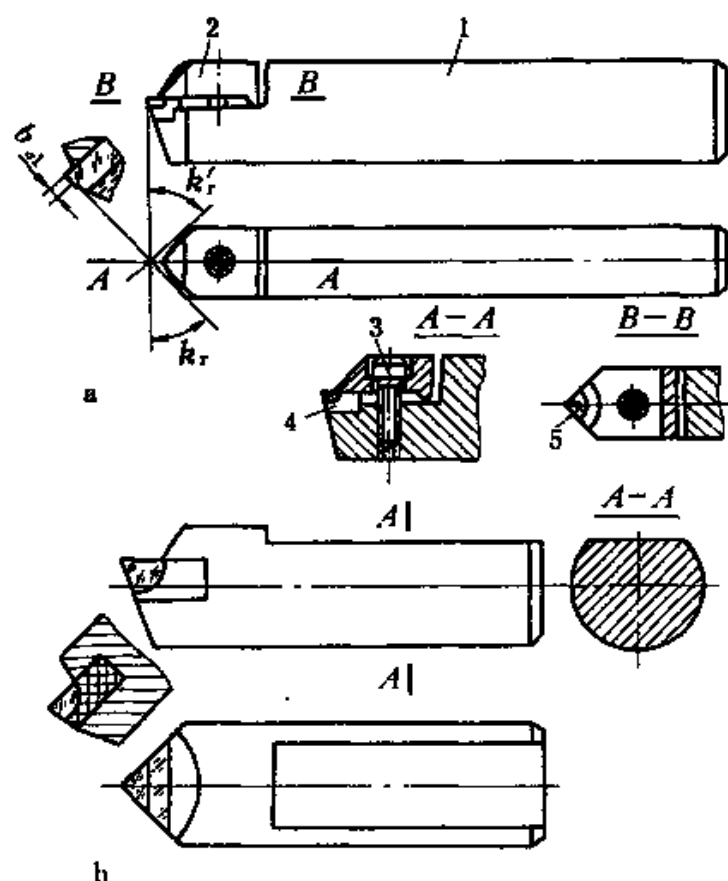


图 2-52 金刚石车刀的结构

在利用金刚石车刀车削塑料时，通常以很小的切削深度进行工作，但是一系列工序往往要求切除大量余量，这时由于天然金刚石的颗粒一般都很小，所以金刚石刀具的切削加工生产率在很大程度上受到切削深度偏小的限制。图 2-53 所示的多刃金刚石车刀按照分段吃刀原则进行切削，因此不存在这个缺点。刀体 1 上有三个孔，每个孔里装着镶有金刚石的圆形刀体 3，由螺钉固定。这种车刀的切削深度可达 6~7mm。

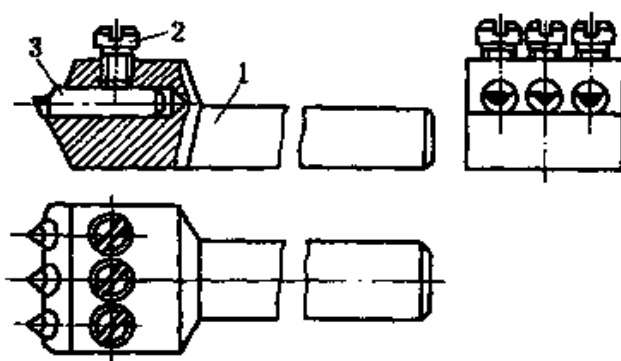


图 2-53 多刃金刚石车刀

第六节 刀具几何参数的选择

由于热塑性材料和热固性材料具有不同的加工性能和特性，所以所用刀具的几何参数是不同的，下面以车刀为例分别加以讨论。

一、切削热塑性塑料时刀具几何参数的选择

1. 车刀的几何参数

(1) 决定前刀面、后刀面、副后刀面、主切削刃和副切削刃空间位置的几何角度，即前角 γ_0 、后角 α_0 、楔角 β_0 、主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 和刃倾角 λ_s 。

(2) 前刀面和后刀面的形状，是平面、曲面或折面。

(3) 切削刃的形状有直线、折线或曲线。

(4) 刃区形式，在塑料切削中，由于切削力比较小而且材料的回弹性大，所以均采用锋刃形式。所谓锋刃即是切削刃刃磨得非常

锋利。

在设计车削热塑性的车刀时，根据被加工材料的特点，首先要保证加工质量，而后考虑提高生产率和降低成本。

2. 前角 γ_0 的选择

前角 γ_0 是表示前刀面相对于基面的倾斜程度的几何量。前角 γ_0 越大，车刀的前刀面倾斜越大，切屑流出越方便，产生的切削力越小，热量也少。但是前角过大时，会使刃口强度下降，传热截面积减少而致切削区内温度升高。所以，应根据不同被切削塑料的牌号和所用的刀具材料，以及加工要求（精加工或粗加工）和切削条件来选取其合理的前角值。

前角 γ_0 的大小也影响刀具对被加工材料作用力的方向和大小。

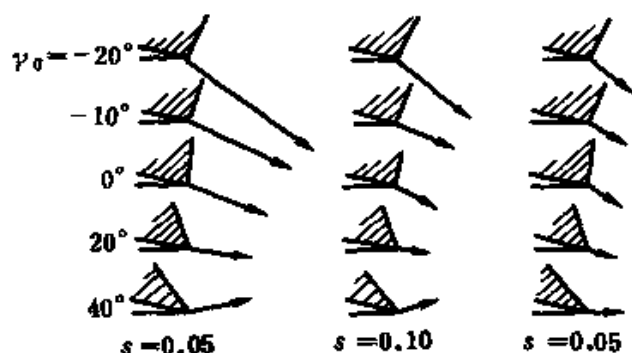


图 2-54 车削有机玻璃时
力的大小和方向

如图 2-54 所示是切削有机玻璃时前角对作用力大小和方向的影响。从图可见，前角由 -20° 逐渐增大至 $+40^\circ$ 时，作用力由大变小，并且其方向也发生了很大的变化，由作用于待加工表面内部而逐渐转变为把切屑掀起的力。实际切削中，其最佳方案是使切削力的作用方向和切削运动方向重合，这时的加工质量最好。实验证明，当进给量 $f = -0.25\text{mm/r}$ 时， $\gamma_0 = +20^\circ$ ； $f = 0.10\text{mm/r}$ 时， $\gamma_0 = +20^\circ$ ；或当 $f = 0.05\text{mm/r}$ 时， $\gamma_0 = +40^\circ$ 。这些组合作用力基本和切削运动方向重合。从作用力方向来分析前角 γ_0 对加工质量的影响，很显然前角是应选取大些，尤其是进给量小时前角更应大些。

前角的大小对切削过程中振幅的大小也有较大的影响。实验证明，前角越大时振幅越小。振动会使已加工表面质量下降，引起已加工表面的波纹，从这个角度来说，切削时也应选取较大的前角。

实际上,和车削金属一样,车削塑料时所选用的前角过大或者过小都不好,应当有个合理的前角 γ_{opt} 。切削各种塑料的合理前角 γ_{opt} 应根据下述原则来选择。

(1) 首先要保证已加工表面质量 如果被切削的塑料熔点低时,则应采用较大前角。否则由于前角小而使切削区域内的温度高,使被切削的材料变软,致使已加工表面产生涂抹现象而降低加工质量。例如氟塑料的耐热温度为 150°C ,聚苯乙烯的耐热温度为 80°C ,聚酰胺类(尼龙6)的耐热温度约 $55\sim 58^{\circ}\text{C}$ 。尽管氟塑料、聚苯乙烯的强度均比聚酰胺大,但按表面质量的要求,精加工时它们的合理前角 γ_{opt} 为:氟塑料选用 $\gamma_{opt} = 10^{\circ} \sim 15^{\circ}$;聚苯乙烯塑料选用 $\gamma_{opt} = 10^{\circ} \sim 20^{\circ}$;聚酰胺塑料选用 $\gamma_{opt} = 30^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 。

(2) 不同的加工要求时合理前角 γ_{opt} 不同 所谓加工要求是指精加工或是粗加工。精加工要求表面质量好,要求刀具刃口锋利,振动要小,因此合理前角 γ_{opt} 值应大些。粗加工时,由于切除切屑的截面积较大,产生的切削力相对也大,为了不使切削区域内温度过高,其合理前角 γ_{opt} 小些,一般 $\gamma_{opt} = 0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。

(3) 不同的刀具材料前角 γ_{opt} 不同 硬质合金车刀由于弯曲强度小,抗冲击韧性差,为了增强刃口强度,应选择较小的前角 γ_{opt} 。高速钢、合金工具钢和碳素工具钢车刀,由于弯曲强度好,抗冲击性能也好,所以可选择较大的前角 γ_{opt} 。

(4) 塑料品种不同前角 γ_{opt} 应有区别 车削金属时,工件材料的强度和硬度对前角影响很大。车削热塑性塑料时,尽管它们的品种不同,但前角变化不大。一般来说,易形成不连续切屑的塑料,则选择较小的前角。

(5) 成型车刀要选择较小的前角 用成型车刀车削成型塑料工件时,为了防止车刀刃形畸变,必须取较小的前角才能保证加工精度。有时取 $\gamma_p = 0^{\circ}$,但这时车刀的切屑条件不好,应在保证切削刃成型精度的前提下,设法增大后角。

总的说来,车削热塑性塑料选择前角时,必须保证车刀刃口的锋利。

精车热塑性塑料的外圆车刀前角 γ_{opt} 推荐按表 2-11 选择。

表 2-11 车削热塑性塑料时车刀的几何参数

被加工材料	刀具材料	γ_0	α_0	κ_r	λ_s	r mm
		度				
聚氯乙烯	YG6、YG8	10	20	45	0	≤ 3
	W18Cr4V	20	15 ~ 20	45	0	≤ 3
聚苯乙烯	W18Cr4V	15 ~ 20	10 ~ 14	45 ~ 65	—	$(2 \sim 3)f$
氟塑料	W18Cr4V	10 ~ 15	10 ~ 14	45 ~ 65	—	$2.3f$
聚乙烯	YG6	10 ~ 15	8 ~ 10	45	0	0.4 ~ 1.5
	W18Cr4V	15 ~ 20	10 ~ 15	45	0	≤ 3
聚酰胺	W18Cr4V	30 ~ 45	10 ~ 20	45	0	≤ 3
	YG3	3.0	16	45	0	1.2
聚甲基丙 烯酸甲酯	YG8	20	8 ~ 10	45	0	≤ 3
	W18Cr4V	20	10 ~ 20	45	0	≤ 3

3. 后角 α_0 的选择

后角 α_0 是表示车刀后刀面相对于切削平面的倾斜程度的，主要

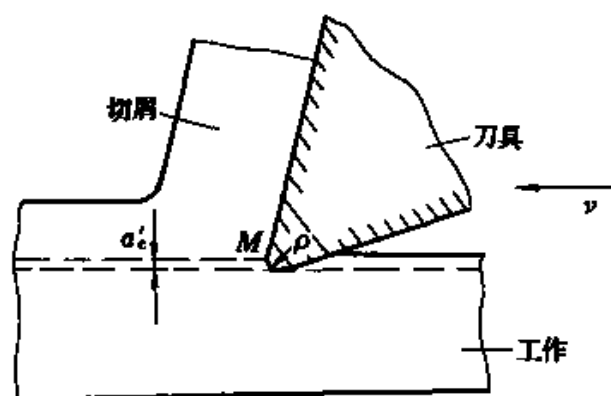


图 2-55 已加工表面形成过程

功用是减小后刀面和已加工表面之间的摩擦。实际切削时，刀具刃口半径并非绝对尖锐，如图 2-55 所示总是有个半径 ρ 。显然，在 M 点以上的塑料方能变为切屑，只有 a_c' 厚度的塑料被刃口压下去。刃口切过后被压下的塑料又弹性恢复而成已加工表面。后角小，弹性

恢复层同后刀面的摩擦面积增加。它是导致切削刃与后刀面磨损的主

要原因之一，也是产生切削热的主要来源之一。从上述角度来看，增大后角能减少摩擦，减少切削热的产生，提高加工表面质量和刀具的寿命。

从图 2-55 中可见，在前角 γ_0 一定时，后角 α_0 越大，则刃口半径 ρ 越小，切削刃越锋利。

在同样的磨钝标准 VB_1 下，后角大的刀具由开始使用到磨钝，所磨去的金属体积增大（图 2-56），这也是增大后角 α_0 可以提高刀具寿命的原因之一。

但增大后角 α_0 后，切削刃和刀头的强度削弱，导热面积和熔热体积减小，这是增大后角的不利方面，由于温度升高影响表面质量。后角 α_0 选择原则：

(1) 和前角一样，首先考虑加工表面质量。后角越大，表面质量越好，在其他因素允许的情况下，应尽量选取较大的后角。

(2) 被加工塑料线膨胀系数越大，选用的后角 α_0 应越大，这样才能减少由于加工表面膨胀而与后刀面产生的强烈摩擦。

(3) 粗加工时为了提高刃口强度和散热面积应选用较小的后角，精加工则选用较大的后角。

综合上述可见，在前角 γ_0 一定的情况下，切削塑料的后角 α_0 比切削金属后角要大，要保证切削刃刃口锋利。切削热塑性塑料的刀具后角，推荐按加工材料和刀具材料在表 2-10 中选取。

4. 主偏角 κ_r 的选择

主偏角 κ_r 是主切削刃在基面上的投影和走刀方向的夹角，它是表示主切削刃相对于走刀方向倾斜程度的。

如图 2-57 所示，当车刀的刀尖半径 $r = 0$ ，外圆车刀车削所留下的残留面积情况。它的高度 R_{\max} 为：
$$R_{\max} = \frac{f}{\operatorname{ctg} \kappa_r + \operatorname{ctg} \kappa'_r}$$
，并由残留

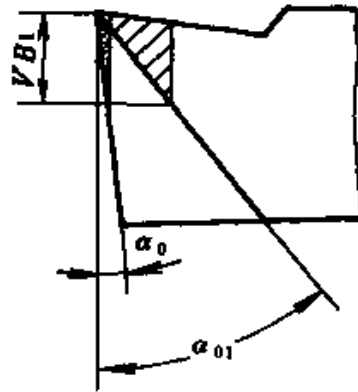


图 2-56 后角与磨损体积关系

面积 Δabc 计算出轮廓算术平均偏差 $R_a = \frac{|\Delta adc| + |\Delta egh|}{f} = \frac{2(\Delta ade)}{f}$
 $= \frac{R_{\max}}{4}$

$$\therefore R_a = \frac{f}{4 (\operatorname{ctg} \kappa_r + \operatorname{ctg} \kappa'_r)}$$

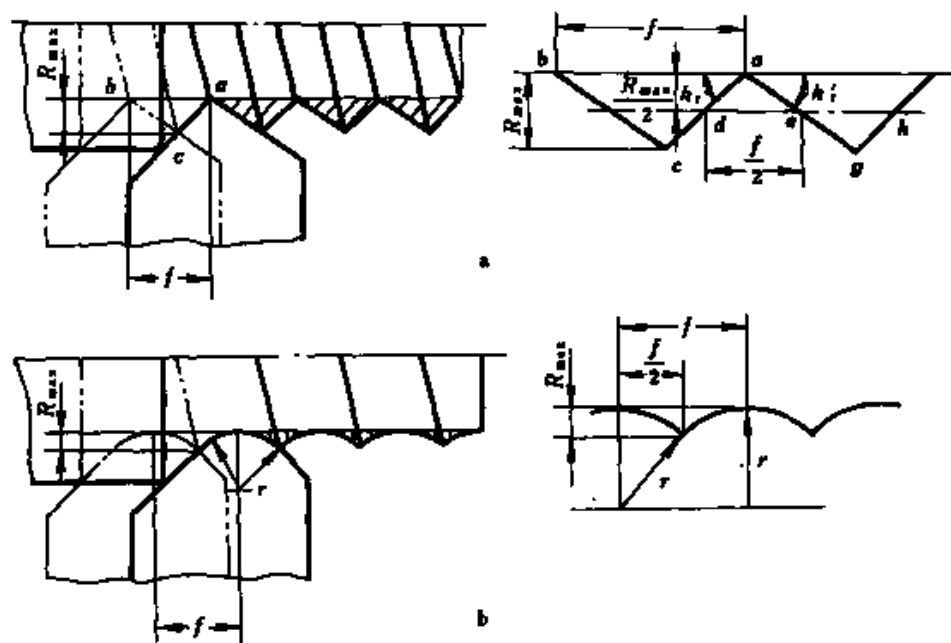


图 2-57 外圆车削的残留面积

$a-r=0$ 时; $b-r>0$ 时

若刀尖半径 $r>0$ 时, 经过运算则可得:

$$R_a = \frac{0.0321 f^2}{r}$$

由上述推导可见, 主偏角 κ_r 增大, 则被加工塑料工件表面粗糙度值 R_a 也增大。

另外, 主偏角 κ_r 还影响径向力 F_y 和轴向力 F_x 的大小。主偏角 κ_r 增大, 径向力 F_y 减小, 这点对车削细长轴类塑料工件时十分重要。车削细长轴取 $\kappa_r = 90^\circ$ 。

车削非细长轴工件, 推荐按表 2-10 的数值选取。

5. 刃倾角 λ_s 的选择

刃倾角 λ_s 是表示主切削刃相对于基面的倾斜量。

刃倾角 λ_s 可以改变切屑流出的方向。图 2-58 是刃倾角 $\lambda_s = 0$, λ_s 小于或大于零三种情况下切屑流出的方向。切削热塑性塑料通常形成带状切屑, 有时缠绕工件而妨碍加工正常进行。为了正常加工, 可以根据实际情况变换 λ_s 的大小和方向来控制切屑流出方向, 达到顺利排屑的目的。

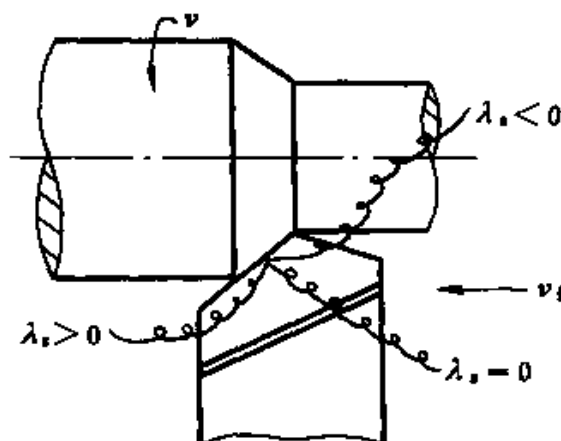


图 2-58 刃倾角 λ_s 对切屑流出方向的影响

当刃倾角 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时, 切屑不是垂直于主切削沿前刀面流出, 而是沿和主切削刃夹一定角度的方向流出, 即包含切屑流出方向和切削速度方向构成的平面称为流屑剖面。在流屑剖面内测量的角度称为实际切削角度, 也就是真正起作用的角度。通过几何运算可以得出表 2-12 的数值。可见在不改变刃口强度的情况下, 只要使 λ_s 的绝对值增大就可增大实际工作前角 γ_{os} 使切削力降低, 已加工表面质量得以提高。

表 2-12 刃倾角 λ_s 对实际工作前角 γ_{os} 的影响 (度)

λ_s	0	15	30	45	60	75
γ_{os}	10	13.11'	22.22'	35.57'	52.31'	70

当刃倾角 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时, 主切削刃是逐渐地切入被加工材料使切削工作平稳, 减少振动, 提高加工表面质量。

图 2-59 是 $\lambda_s = 0^\circ$ 和 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时切屑沿前刀面流出的情况。当 $\lambda_s = 0^\circ$ 时, 切屑垂直于主切削刃 AB 流出, 即沿 AC 流动; $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时, 切屑则

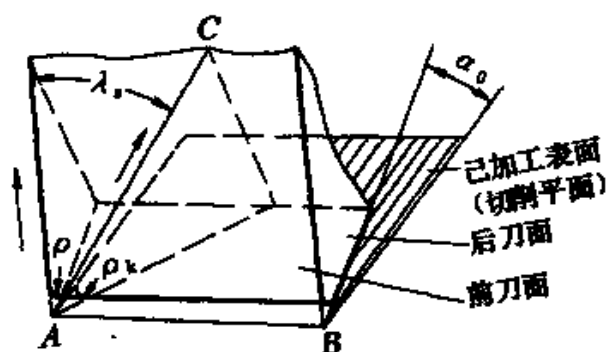


图 2-59 刀倾角 λ_s 对刃口作用半径 ρ_k 的影响

沿 AE 流出。两个流动方向的夹角为 λ_s 。这样在 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 时真正起作用的刃口半径由 ρ 变为 ρ_k 。从图中可以推导出 $\rho_k = \rho \cdot \cos \lambda_s$ ，即是 $\rho_k < \rho$ ，说明 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 的切削会使刃口锋利。

切削热塑性塑料产生的切削力很小，只是在需要改变切屑流出方向和断续切削

时方选 $\lambda_s \neq 0^\circ$ 。倾刃角 λ_s 的数值和符号是根据被切削塑料的性质和刀具材料的种类和牌号选取，其值可在表 2-11 中选取。

为了降低已加工表面的粗糙度 R_a 值，和提高刀具的寿命，刀尖半径 r 可按表 2-11 选取。

6. 研磨前、后刀面

切削热塑性塑料，尽管作用在前刀面上的正压力很小，但由于切削速度比较高，切屑对前刀面的摩擦产生的热量也较大；热塑性塑料的弹性回复较大，再加上切削速度较高，后刀面的摩擦更为严重，是产生热量的主要来源。所以，为了降低切削区内的温度，提高加工表面质量和刀具寿命，应对前刀面和后刀面进行研磨和精磨。

精磨在工具磨床上或砂轮机上进行，先用粒度为 $25^* \sim 40^*$ ，以陶瓷 (A) 为粘结剂的刚玉 (GB、GZ、GW) 砂轮进行粗磨前刀面和后刀面。而后用金刚石砂轮进行精磨。在难于精磨的部位可用碳化硼研磨膏进行研磨 (图 2-60)。刃磨时为了避免硬质合金的烧伤，磨削速度不得过高，并且使砂轮在磨削区处的速度方向朝着刀杆，避免刃口产生崩落现象。

图 2-60a 和图 2-60b 分别表示高速钢车刀和硬质合金车刀的刃磨和研磨部位。研磨后的副后角 α'_0 应比刀杆小 5° ，比未研磨的硬质合金表面小 2° ，刀尖圆弧半径 $r = 1.5 \sim 2\text{mm}$ ，其余尺寸和角度大小可参照图中标注。

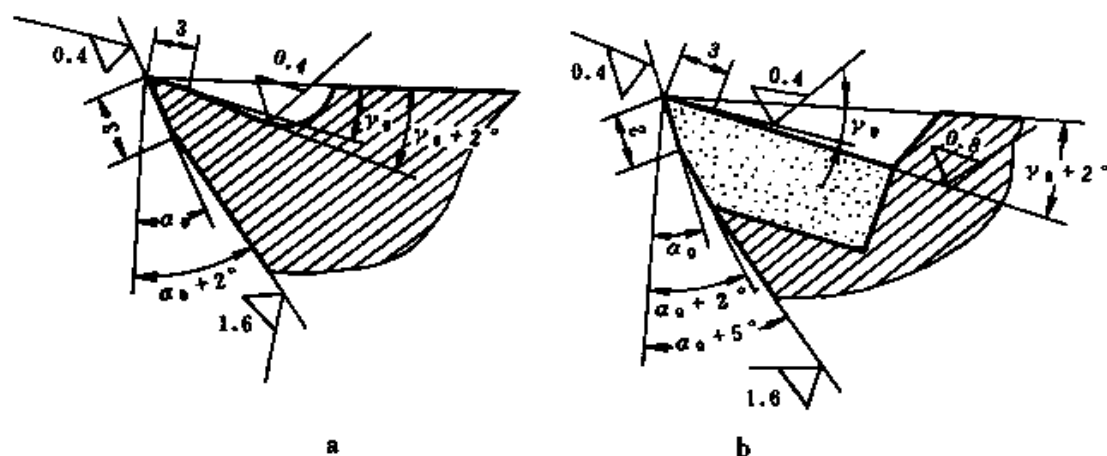


图 2-60 车刀前、后刀面的刃磨和研磨

二、车削力的计算

根据前苏联人 Л. Е. Батрин、Н. А. Резников 和 А. Е. Цирулина 的实验并建立起车削几种热塑性塑料的切削力公式如下：

$$\text{氟塑料: } F_z = (5.56f + 0.61a_p) \cdot K_{\gamma_0} \cdot K_{\alpha_0} \cdot K_{\nu}$$

$$\text{聚苯乙烯塑料: } F_z = 36.53 a_p^{0.84} \cdot f^{0.58} \cdot \nu^{-0.04} \cdot K_{\gamma_0} \cdot K_{\alpha_0}$$

式中 ν ——车削速度，m/min；

a_p ——切削深度，mm；

f ——进给量，mm/r。

K_{γ_0} 、 K_{α_0} 、 K_{ν} 和 K_{ν} 分别为 γ_0 、后角 α_0 、主偏角 K_r 和切削速度 ν 与为建上述公式所使用的几何角度不同时的修正系数，其值可于表 2-13 中查得。

车削外圆时必然产生偏差，其偏差值 δ 和工件的基本直径 d 的大小及被切削材料的性质有关。表 2-14 是被车削工件长度 L 和直径 d 之比小于 2 时，和如要是车削套筒工件时其壁厚 $b < d/8$ 的偏差值。但若是被车削的工件 $L/d > 2$ 和 $d/b > 8$ 的情况，则应在表 2-14 的 δ 值上乘以修正系数 K_L 和 K_b 。 K_L 和 K_b 值可在表 2-15 中查得。

工件在切削加工时，须从工件毛坯表面上切去某些塑料层，从而改变尺寸，得到适于要求的工件。加工过程中，被切去的塑料层称为加工余量。工件精车时，其加工精度和加工余量关系很大，塑料工件的加工余量可在表 2-16 中查得。

表 2-14 热塑性塑料外圆车削时的偏差 δ 值

单位: mm

基本直径 d	聚甲基丙 烯酸甲酯	聚苯 乙烯	氟塑料	基本直径 d	聚甲基丙 烯酸甲酯	聚苯乙烯	氟塑料
1~3	0.022	0.018	0.017	>50~80	0.086	0.080	0.094
>3~6	0.030	0.026	0.025	>80~120	0.100	0.096	0.115
>6~10	0.038	0.033	0.034	>120~180	0.120	0.115	0.140
>10~18	0.048	0.042	0.045	>180~260	0.140	0.130	0.170
>18~30	0.059	0.052	0.058	>260~360	0.160	0.155	0.200
>30~50	0.072	0.065	0.074	>360~500	0.180	0.165	0.235

表 2-15 车削偏差 δ 的修正系数

L/d	K_L	d/b	K_b
≤ 2	1	≤ 8	1
		≤ 10	1.2
≤ 3	1.3	≤ 12	1.5
		≤ 15	2.0
≤ 4	1.8	≤ 18	2.6

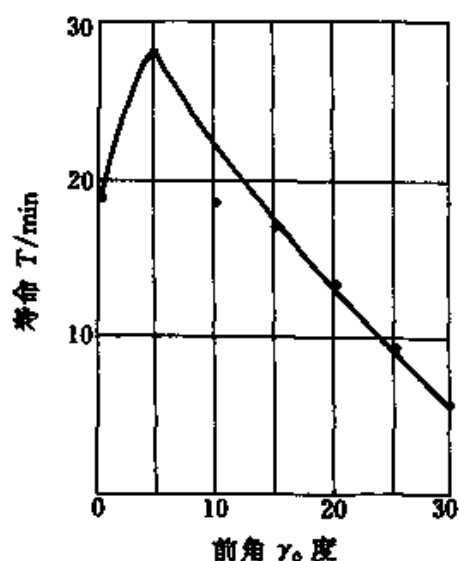
表 2-16 热塑性塑料工件的加工余量

单位: mm

基本直径 d	至 10	>10~ 18	>18~ 30	>30~ 50	>50~ 80	>80~ 120	>120~ 180	>180~ 260	>260~ 360	>360~ 500
$L/d \leq 2$	0.65	0.75	0.75	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2
$L/d =$ 2~4	1.00	1.00	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.5

三、切削热固性塑料对刀具几何参数的选择

车削热固性塑料时, 由于切屑和前刀面的接触面积小, 正压力也小, 摩擦力小, 并且为了提高刀具的刃口强度, 所以采用的前角 γ_0



通常要比车削热塑性塑料小些。实验证明，车削具有玻璃纤维基材的热固性塑料时，前角 γ_0 对刀具寿命 T 的影响如图 2-61 所示，该图的切削条件是： $v = 300\text{m/min}$ 、 $f = 0.21\text{mm/r}$ 、 $a_p = 1\text{mm}$ 。由图可见，前角太大、太小都会使刀具的寿命显著地降低。

切削热固性塑料车刀前角 γ_0 是根据被加工塑料性质和使用的刀具材料选择的，其值可在表 2-17

图 2-61 前角 γ_0 对刀具寿命 T 的影响 中查得。

表 2-17 切削热固性塑料的车刀几何参数

被加工材料	刀具材料	γ_0	α_0	k_r	k'_r	λ_s	r_n
		(度)					mm
酚醛纸 基层压 塑料	W18Cr4V	10 ~ 15	20 ~ 30	45	45	0	4 ~ 6
	YG6X	10	20	45	12	0	1 ~ 2
	YG2						
	YG8						
酚醛棉 布层压 塑料	W18Cr4V	10 ~ 12	20	45	45	0	3 ~ 4
	YG6X	8 ~ 10	16 ~ 20	45	45	0	2 ~ 3
	YG2						
	YG8						
纤维树 脂塑料	YT15	15 ~ 30	20	45	45	0	1.5 ~ 2
	YG6X	5 ~ 10	20	45	45	0	1.5 ~ 3
	YG2						
	YG4						
氨基塑料	YG6X	10 ~ 20	20	45	45	0	1.5 ~ 3
	YG2						
	YG6X						
酚醛玻璃纤维 层压塑料	YG6X	18	15	45	45	0	1.5 ~ 2

后角 α_0 的大小影响加工表面质量和刀具寿命。后角小时, 后刀面对加工表面摩擦大, 使已加工表面质量恶化, 在切削酚醛胶纸、棉布和玻璃纤维层压塑料时, 有起毛的现象; 同时, 由于加工表面对刀具的磨损大, 刀具寿命也下降。图 2-62 是车削以玻璃纤维为基材的塑料, 后角 α_0 对刀具寿命 T 的影响曲线。可见, 后角 α_0 同样有个合理的数值 α_{opt} , 后角选择的过大或过小同样会使刀具的寿命下降。

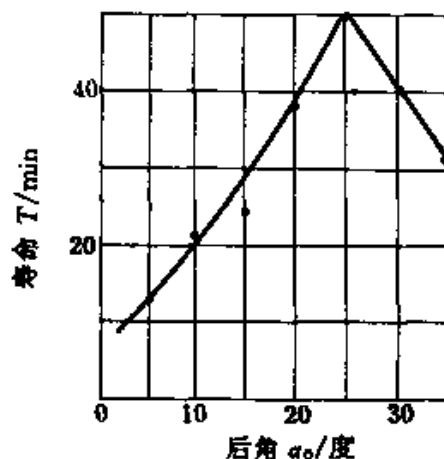


图 2-62 后角 α_0 对车刀寿命 T 的影响

硬质合金比高速钢的耐磨性好, 但是抗冲击性能和弯曲强度差, 所以硬质合金车刀的合理后角 α_{opt} 应比高速钢车刀的 α_{opt} 小 $2^\circ \sim 3^\circ$ 。其前角 γ_0 、后角

α_0 、主偏角 κ_r 、副偏角 κ'_r 、刃倾角 λ_s 和刀尖半径 r 均可按表 2-16 推荐的数值选取。

四、车削力

车削热固性塑料的切削力比车削热塑性塑料的力大。前苏联 C. B. Erosov 教授用 YG6 车刀车削纤维增强酚醛树脂、氨基和酚醛三种塑料进行实验, 建立了主切削力 F_z 的公式:

$$\text{纤维树脂塑料} \quad F_z = 94.2 a_p^{0.77} \cdot f^{0.43} (\text{N})$$

$$\text{氨基塑料} \quad F_z = 91 a_p^{0.62} \cdot f^{0.20} (\text{N})$$

$$\text{酚醛塑料} \quad F_z = 82.9 \cdot a_p \cdot f^{0.34} (\text{N})$$

我们利用高速钢 (W18Cr4V) 车刀, 对 3240 酚醛玻璃纤维塑料进行切削实验, 得主切削力的计算公式为:

$$F_z = 232.5 \cdot a_p \cdot f^{0.543} (\text{N})$$

从上述四个公式可见, 切削深度 a_p 对切削力 F_z 的影响大于进给量 f 的影响。

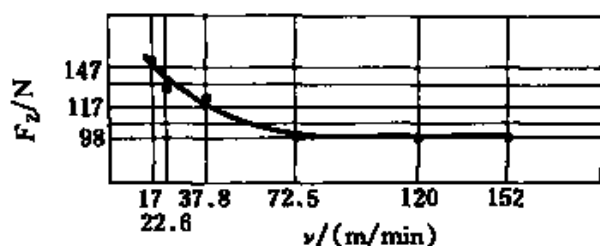


图 2-63 切削速度 v 对切削力 F_2 的影响

从图中可见，只有 $v = 15 \sim 45 \text{ m/min}$ 的范围内才有一定的影响，当 v 大于这一范围后就无大的影响了。

切削速度 v 对切削力的影响较小。图 2-63 是用 YG6 车刀，其 $\gamma_0 = 10^\circ$ ， $\alpha_0 = 20^\circ$ ， $\kappa_r = 45^\circ$ ， $r = 1.5 \text{ mm}$ ，并以 $a_p = 0.5 \text{ mm/r}$ ， $a_p = 2 \text{ mm}$ 的切削条件，车削氟塑料时切削速度 v 对主切削力的影响。从图

第七节 切削用量的选择及对加工的影响

一、热塑性塑料切削用量的选择及对加工的影响

切削用量系指切削速度 v 、切削深度 a_p 和走刀量 f 。选择合适的切削用量，对于保证加工质量、降低加工成本和提高劳动生产率具有重要的意义。在工件材料和刀具选定的情况下，加工一定的工件并选择好了使用的刀具情况下，切削用量的选择最富有灵活性和能动性。如果切削用量选择得恰当，就可能保证加工质量和提高生产率；倘若选择不当，则会造成废品，降低生产率，甚至造成生产事故。

选择合适的切削用量和采用合理的刀具寿命是相关的。是不是刀具寿命越高越好呢，在实际生产中并非如此。在一定的工艺磨损限度 VB_1 下，如果把刀具寿命定得过高，则要求采用较低的切削用量，这就相应地增加了工件的加工工时，生产率就比较低。若刀具寿命定得过低，虽然可以采用较高的切削用量，工件的加工工时可以缩短，但加工质量可能降低，换刀与磨刀的工时也会增加，使生产率下降。

选择合适的切削用量原则：

- ① 考虑被加工材料性质；
- ② 考虑加工性质——粗加工或精加工；
- ③ 考虑被加工材料的刚性；
- ④ 考虑刀具材料的性质。

在保证上述条件下再考虑提高生产率。

表 2-18 车削热塑性塑料的切削用量

被加工塑料	刀具材料	车刀寿命 ^① min	车削速度 ^② m/min	进给量 ^③ mm/r	切削深度 ^④ mm	表面粗糙度 R_a	冷却条件	附 注
聚氯乙烯硬 塑料	W18Cr4V	15~30 30~90 90~120	50~500 500~1000	0.5~0.4 0.1~0.5	2.0~5.0 0.5~1.0	1.6~0.8	压缩空气 5%乳化液	进给量小于 0.2mm/r 时 排屑不好
	YG6, YG8	20~60 60~120 150~360	300~600 600~1000	0.5~1.0 0.2~0.5	2.0~10.0 0.5~1.0	1.6~0.8		
	W18Cr4V	15~30 30~90 90~120	100~200 200~250	0.2~0.5 0.1~0.2	2.0~4.0 1.0~2.0	0.8~0.4	压缩空气, 水	须保证良好 排屑
聚乙烯、 聚丙烯	W18Cr4V	30~60 60~120 120~240	300~700 700~1000	0.5~1.0 0.1~0.2	3.0~5.0 0.5~3.0	1.6~0.8	压缩空气	
	W18Cr4V	60~90 90~180 180~360	50~110 110~200	0.1~0.2 0.02~0.08	1.5~4.0 0.5~1.5	0.8~0.4	5%乳化液	
聚苯乙烯	W18Cr4V	30~90 60~120 120~360	75~100 100~600	0.1~0.3 0.05~0.1	0.5~3.0 0.5~1.5	1.6~0.8	压缩空气, 冷却水	切削时此种 塑料容易剥 落
	YG8	30~90 60~180 120~480	300~500 600~800	0.3~0.5 0.1~0.3	1.5~0.3 0.5~1.5	1.6~0.8		

续表

被加工材料	刀具材料	车刀寿命 ^① min	车削速度 ^② m/min	进给量 ^③ mm/r	切削深度 ^④ mm	表面粗糙度 R_a	冷却条件	附注
氟塑料	W18Cr4V	30~60	×	×	×	0.8~0.4	—	—
		60~120 120~240	70~120	0.02~0.14	1~2			
尼龙 6	W18Cr4V	15~30				1.6~0.8	—	—
		30~90 90~120	×	×	×			
	YG6	20~60	×	0.05~0.3	0.1~0.4			
		60~120 150~360	40~50 150~200	0.41~0.92 0.2~0.41	15~40 0.5~1.5	1.6~1.8	—	—
高冲聚苯 乙烯 苯乙烯、丙烯 腈共聚物	A		76~107	0.38	3.8			
	B		120~136	0.38				
聚甲醛 ^⑤	A		120~152	0.05	3.8			
	B		136~152	0.13				
聚碳酸酯 ^⑤	A		76~91	0.2	3.8			
	B		136~152	0.3				

① 车刀寿命的上、中、下三行分别用于通用车床、半自动机床与自动机床；

② 车削速度、进给量与切削深度三栏的上行适用于粗车，下行适用于精车；

③ A 为高速工具钢车刀；B 为碳化钨工具钢。

用高速钢车刀和硬质合金车刀车削聚氯乙烯塑料和有机玻璃时,最高切削速度 v 可达 600m/min ; 车削聚乙烯塑料的最高切削速度 v 可达 700m/min ; 车削聚苯乙烯和氟塑料最高切削速度 v 可达 $70 \sim 120\text{m/min}$ 。但是车削尼龙类塑料时, 高速钢车刀用 $v = 40 \sim 50\text{m/min}$, 硬质合金车刀用 $v = 110 \sim 300\text{m/min}$, 因为尼龙类材料耐热性低, 采用过高的切削速度会使材料变软, 使已加工表面质量下降。

车削各种塑料, 进给量 f 根据被加工表面粗糙度选择。进给量过大则表面粗糙度 R_a 值增大。例如精车氟塑料, 通常取 $f = 0.02 \sim 0.14\text{mm/r}$, 精车聚苯乙烯取 $f = 0.1 \sim 0.2\text{mm/r}$, 有机玻璃取 $f = 0.05 \sim 0.1\text{mm/r}$, 聚氯乙烯取 $f = 0.1 \sim 0.5\text{mm/r}$ 。粗车热塑性塑料通常取 $f = 0.1 \sim 1\text{mm/r}$ 。

切削深度 a_p 对切削力影响较大, 所以当机床-工件-刀具-夹具刚性不足时, 可取小的 a_p 。切削深度 a_p 对工件的表面粗糙度影响不大。加工热塑性塑料通常取 $a_p = 0.4 \sim 1.5\text{mm}$ 。

根据选用的刀具材料、要求的表面粗糙度 R_a 值的大小和被加工材料的性质, 加工各种热塑性塑料的切削用量可从表 2-18 中查得。

在加工热塑性塑料时, 为了排屑和冷却润滑作用, 通常用压缩空气和水或者用 5% 的乳化液进行冷却。

二、切削热固性塑料切削用量的选择及对加工的影响

切削用量 (v 、 a_p 、 f) 同生产率、刀具寿命和已加工表面质量有直接关系。

车削热固性塑料, 车刀后刀面的工艺磨损限度 VB_1 是根据工件的已加工表面粗糙度确定的。在一般的情况下 $VB_1 = 0.4 \sim 0.7\text{mm}$, 在要求表面粗糙度 R_a 值小的情况下, 则取 $VB_1 = 0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。

在 VB_1 一定的情况下, 提高切削速度时, 刀具寿命下降。用 YG3 硬质合金车刀, 以 $a_p = 1.5\text{mm}$, $f = 0.21\text{mm/r}$ 车削各种热固性塑料得如图 2-64 切削速度 v 对刀具寿命 T 影响曲线。

切削速度对工件的表面粗糙度 R_a 值有一定的影响, 图 2-65 是切削速度 v 对表面粗糙度 R_a 值的影响曲线。从图中可见, 当利用 $v = 45 \sim 50\text{m/min}$ 时, R_a 值最小。但是, 用金刚石车刀切削时, R_a 值基

本不受 v 的影响。

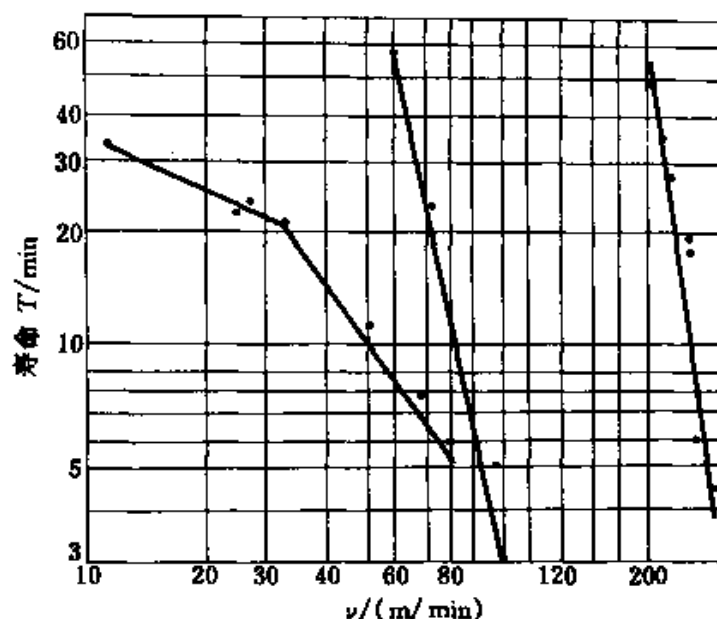


图 2-64 切削速度 v 对刀具寿命 T 的影响

前苏联人 Б.П.Щугульный 等对热固性塑料进行切削实验，得出最适宜的切削速度 v 按下式计算：

$$v = \frac{C_v}{T^x \cdot a_p^y \cdot f^z} \cdot K_{T_v} \cdot K_{C_v}$$

式中 C_v 、 x 、 y 和 z 分别为常数和指数，这些数值和被加工材料性质和刀具材料种类有关，可从表 2-19 中查得。 K_{T_v} 、 K_{C_v} 是修正系数，其值列于表 2-20 中。

进给量 f 和切削深度 a_p 增大，则切削力增大和切削

温度增高，刀具磨损当然会增大。但是，刀具磨损增加的较慢，如果用磨损比来表示磨损与进给量 f 和切削深度 a_p 关系，则通过实验可

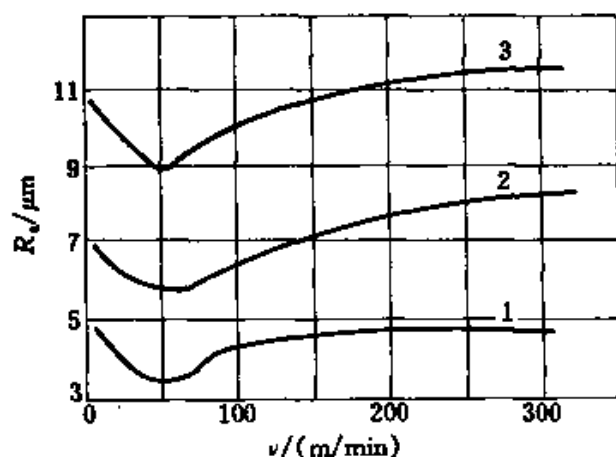


图 2-65 切削速度 v 对表面粗糙度 R_a 值的影响

得图 2-66。图中的 1 线表示车削以胶纸为基材的热固性塑料，2 线表示车削以石棉为基材的热固性塑料，3 线是车削 ITT 型热固性塑料，4 线是车削 ITTK 型热固性塑料。实验采用硬质合金车刀。

表 2-19 车削热固性塑料切削速度 v 的常数和指数

被加工材料	刀具材料	C_v	x	y	z
酚醛纸基层压塑料	W18Cr4V	1500	0.82	0.55	0.55
	YG6	3000	0.82	0.55	0.55
	YG8	2400	0.82	0.55	0.55
带有金属丝的酚醛棉布层压塑料	W18Cr4V	1600	0.56	0.64	0.1
	YG6	3260	0.56	0.64	0.1
酚醛棉布层压塑料	W18Cr4V	1000	0.46	0.64	0.1
	YG6	1516	0.56	0.70	0.1
	YG8	2130	0.56	0.70	0.1
	YG6X	2768	0.56	0.70	0.1
	YG3X	3050	0.56	0.70	0.1
	YG8	4400	0.56	0.70	0.1
	YG6X	5713	0.56	0.70	0.1
	YG3X	6300	0.56	0.70	0.1
纤维树脂塑料	YG6X	741	0.24	0.10	0.31
	YT15	741	0.24	0.10	0.31
	YG8	570	0.24	0.10	0.31
	陶瓷材料	11950	1.33	0.22	0.12
氨基塑料	陶瓷材料	2545	0.91	0.34	0.11
	YG8	426	0.30	0.26	0.38
	YG6X	554	0.30	0.26	0.38
氟塑料	YG3X	610	0.30	0.26	0.38
	陶瓷材料	325	0.84	0.17	0.15
酚醛玻璃纤维层压塑料	YG2	187	0.18	0.09	0.66
	YG8	376	0.36	0.20	0.45
	YG6X	478	0.36	0.20	0.45
	YG8X	524	0.36	0.20	0.45

表 2-20 根据车刀的寿命和加工类型定的修正系数

被加工材料		刀 具 材 料				
		YG8		YG6X		YG3M
		寿命 T 下的 K_T				
		30	45	60	90	120
酚醛纸基层压塑料		1.77	1.27	1	0.71	0.57
酚醛棉布层压塑料		1.47	1.17	1	0.80	0.68
纤维树脂塑料		1.18	1.07	1	0.91	0.85
氟塑料		1.23	1.09	1	0.89	0.81
酚醛玻璃纤维层压塑料		1.23	1.10	1	0.86	0.78

K_D				
外 圆 车 削		端面车削	切 断	镗 削
$\kappa_r = 45^\circ$	$\kappa_r = 60^\circ$	$\kappa_r = 90^\circ$		
1.0	0.9	0.8	0.7	0.9

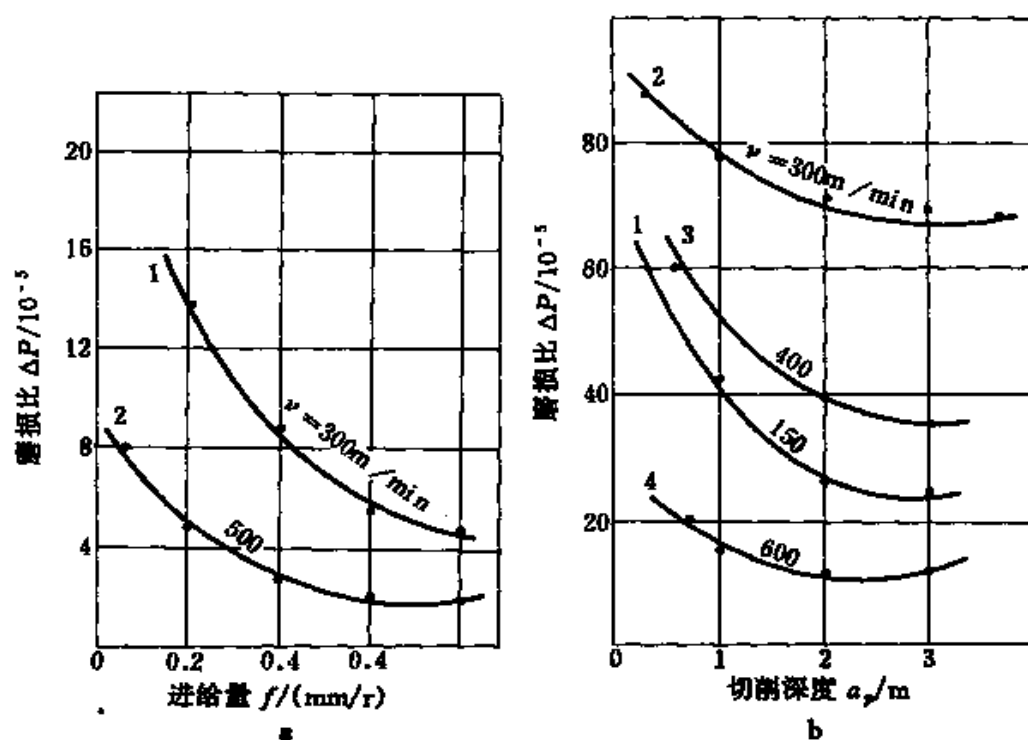
图 2-66 用硬质合金车刀车削热固性塑料时进给量 f (a 图) 和切削深度 a_p (b 图) 对磨损比的影响

表 2-21 车削热固性塑料的切削用量

被加工材料	刀具材料	刀具耐用度 min	切削速度 m/min	进给量 mm/r	切削深度 mm	表面粗糙度 R_a	切削时冷却	附 注
酚醛纸基层 压塑料	YG6	30~60	<u>70~150</u>	<u>0.2~0.35</u>	<u>2.0~3.0</u>	3.2~0.8	压 缩 空 气	由于材料可能剥落和烧 焦,车削速度受到限制
	YG8	60~90	150~300	0.1~0.2	0.2~0.5			
		90~180						
酚醛棉布层 压塑料	YG6	30~60	<u>80~160</u>	<u>0.1~0.5</u>	<u>3.0~5.0</u>	6.5~1.6	压 缩 空 气	—
	YG8	60~90	300~800	0.08~0.2	0.5~1			
		90~180						
酚醛模塑料	YG6	30~90	<u>400~600</u>	<u>0.08~0.25</u>	<u>1.5~3.0</u>	6.5~1.6	压 缩 空 气	加工有粉末状填料的塑 料时,进给量不得大于 0.1mm/r
	YG8	60~180	600~800	—	0.5~1.5			
		120~480						
氨基塑料	YG6	30~90	<u>200~400</u>	<u>0.05~0.15</u>	<u>1.5~3.0</u>	3.2~1.6	—	—
	YG8	60~180	500~600	—	0.5~1.0			
		120~480						
纤维增强酚 醛塑料	YT15	60~90	<u>300~400</u>	<u>0.1~0.2</u>	<u>3.0~5.0</u>	3.2~0.8	—	因材料可能烧焦,切削 速度受到限制
	YG6X	90~180	500~600	0.05~0.1	1.0~2.5			
	YG6	180~480						
酚醛玻璃纤 维层压塑 料	YG8						压 缩 空 气	—
	YG2	15~30	<u>200~250</u>	<u>0.1~0.5</u>	<u>1.0~4.0</u>	3.2		
		30~60	—	—	—			
		60~120						

注:横线上面为粗加工,横线下面为精加工。

表 2-22 车削热固性塑料时加工偏差 δ 值

单位: mm

被加工材料	基本直径 d/mm	1 ~ 3	> 3 ~ 6	> 6 ~ 10	> 10 ~ 18	> 18 ~ 30	> 30 ~ 50
酚醛胶纸层压塑料		0.025	0.031	0.036	0.042	0.048	0.054
酚醛棉布层压塑料		0.015	0.022	0.030	0.039	0.050	0.062
氟塑料		0.018	0.023	0.027	0.032	0.038	0.044
酚醛玻璃纤维层压塑料		0.013	0.018	0.023	0.029	0.036	0.045
被加工材料	基本直径 d/mm	> 50 ~ 80	> 80 ~ 120	> 120 ~ 180	> 180 ~ 260	> 260 ~ 360	> 360 ~ 500
酚醛胶纸层压塑料		0.061	0.068	0.076	0.085	0.092	0.100
酚醛棉布层压塑料		0.082	0.100	0.120	0.142	0.165	0.200
氟塑料		0.050	0.058	0.062	0.071	0.078	0.086
酚醛玻璃纤维层压塑料		0.055	0.065	0.076	0.088	0.100	0.107

表 2-21 是根据被加工材料的性质、刀具材料种类推荐切削热塑性塑料的切削用量。

三、车削精度

当 $L/d \leq 2$ 和 $d/b \leq 8$ 时 (式中 L —工件长度; d —工件直径; b —筒类工件的壁厚), 车削加工偏差可在表 2-22 中查得。当 $L/d > 2$ 和 $d/b > 8$ 时, 则需乘以修正系数, 其值可于表 2-15 中查出。

第三章 塑料孔的加工

在塑料的切削加工中，孔的加工在整个塑料的加工中占有很大的比例，应用也越来越广泛。孔加工多用在实心塑料制品上的钻孔，也常用在已加工孔表面的扩孔、铰孔等半精加工和精加工。大多数塑料毛坯是用模压、浇铸或注塑的方法制成的，毛坯上往往需要钻孔、切螺纹或其他类型的孔加工，才能使被加工的螺纹制件满足使用要求和达到所要求的尺寸精度及表面粗糙度参数值。特别是在单件小批量生产时，花费大量的资金，设计和制造较复杂的注塑机、压铸机和模具时，不如用钻削方法和必要的半精加工和精加工进行孔的加工经济。

由于塑料孔的加工多采用的是钻削加工，因此，本章着重阐述了塑料钻削加工时所用的刀具的结构、钻削过程的规律、钻削工艺方法和容易产生问题，并且针对相应的问题提出了合理改进措施。同时扼要地介绍了塑料的扩孔和铰孔。

塑料的钻削可在通用的金属切削加工机床上进行。如各类钻床、车床、铣床和镗床等。但塑料钻削和金属钻削有很多不同之处，因此在使用时应进行合理的参数选择。

第一节 钻 头

钻削塑料主要用的钻头可分为两种：扁钻（图 3-1）和麻花钻头（图 3-2）。目前用的最多的是麻花钻。因此在这节里重点介绍麻花钻的结构和切削部分几何参数。

一、扁钻

1. 扁钻的结构

扁钻有整体式和装配式两种结构，如图 3-1a、b。它的加工精度为 IT13 ~ IT10，表面粗糙度为 $R_a = 50 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。由于扁钻工作时的负

前角大，排屑困难，导向性差，重磨次数少，因而应用较少。但由于扁钻结构简单、制造容易、成本低、刚性好，容易采用硬质合金刀片，因而目前仍应用在钻微孔（ $d_0 < 1\text{mm}$ ）和钻浅的大孔（ $d_0 > 38\text{mm}$ ）的场合。大直径的扁钻，其成本低于麻花钻，因此在进行大直径的钻削加工中，选择扁钻进行钻削加工比较经济。整体式扁钻用于加工小直径的孔，装配式扁钻用于加工大直径的孔。

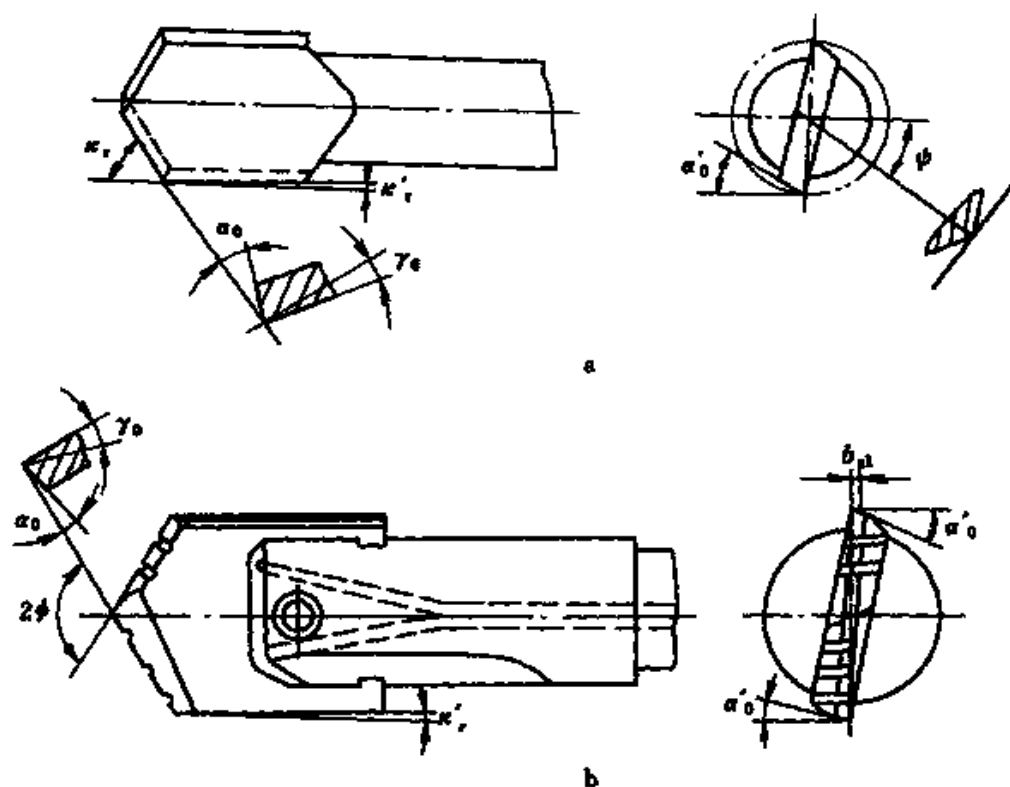


图 3-1 扁钻

a. 整体扁钻；b. 装配式扁钻

2. 扁钻的几何参数

扁钻的几何参数推荐如下：顶角 $2\varphi = 90^\circ \sim 140^\circ$ （加工软材料时取小值，加工硬材料时取大值）；前角 $\gamma_0 = 0^\circ \sim 10^\circ$ ；后角 $\alpha_0 = \alpha'_0 = 3^\circ \sim 10^\circ$ （加工粘和软的材料取大值，脆而硬的材料取小值）；横刃斜角 $\varphi = 55^\circ \sim 60^\circ$ ；刃带宽度 $b_{d1} = 0.2 \sim 0.5\text{mm}$ ；倒锥量 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ ，

圆锥形，直径越大采用的锥号越大；也有尾部做成方形的钻头。

2. 钻削运动

(1) 主运动 钻头的旋转运动（钻床）或工件的旋转运动（车床）。

(2) 进给运动 钻头沿轴线作直线进给运动（钻床），或工件沿钻头轴线作直线进给运动（铣床）。

3. 麻花钻头的辅助平面

(1) 基面 切削刃上任一点的基面，是通过该点，垂直于该点切削速度方向的平面。在钻削时，如果忽略进给运动，钻头就只有圆周运动，主切削刃上每一点都绕钻头轴线作圆周运动，它的速度方向就是该点所在圆的切线方向。从图 3-3 中可以看出，主切削刃上任意点的基面，是通过该点而又包含钻头中心线的平面。可见钻头基面在主切削刃上各点是随着切削速度方向不同而变化的。

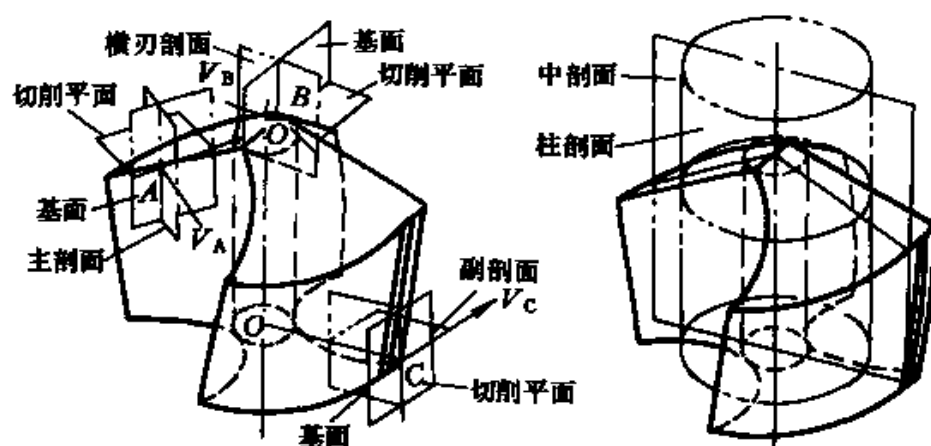


图 3-3 钻削塑料的钻头辅助平面

(2) 切削平面

主切削刃上任意点的切削平面，是包含该点切削速度方向而又切于该点加工表面的平面。切削平面和基面在空间相互垂直，而且主切削刃上各点的切削平面在空间的位置是变化的。

(3) 中剖面 通过钻头中心线并与两个切削刃平行的平面。中剖面只有一个。

(4) 柱剖面 主切削刃上任一点的柱剖面是通过该点并以钻头中心线为中心而做的圆柱面。主切削刃上各点的柱剖面是不同半径的同心圆柱面。

4. 麻花钻头的几何参数

麻花钻头的几何参数见图 3-4。

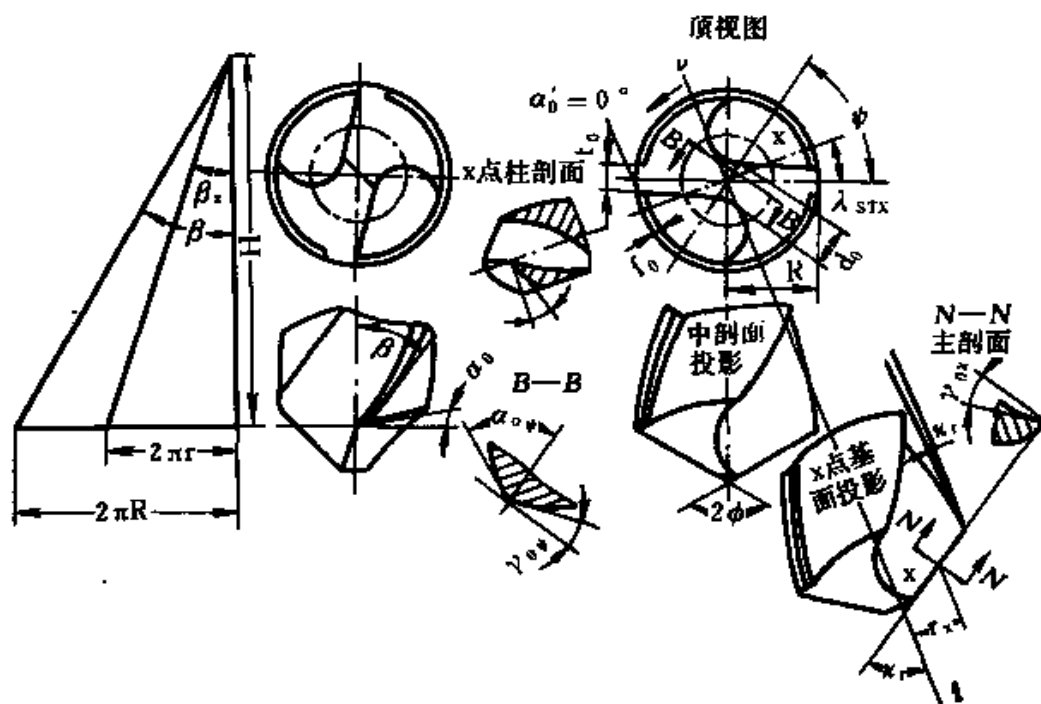


图 3-4 钻削塑料的麻花钻头几何参数

(1) 螺旋角 β 钻头的螺旋角 β ，是指螺旋槽上最外缘的螺旋线展开成直线后和钻头中心之间的夹角。主切削刃上各点的螺旋角均不相同，其任意点 x 的螺旋角 β_x 应为：

$$\tan \beta_x = \frac{r_x}{R} \cdot \tan \beta$$

式中 r_x ——主切削刃上任意点的半径；

R ——钻头最外缘的半径；

β ——钻头最外缘的螺旋角。

钻头主切削刃上某一点的螺旋角实际上就是钻头该点的进给前

角。因此螺旋角越大，切削刃越锋利，切削越省力，排屑越容易；但过大的螺旋角会削弱切削刃的强度，将使散热条件变差。钻头外缘处的螺旋角最大，越靠近钻心的螺旋角越小。标准麻花钻的螺旋角在 $18^\circ \sim 30^\circ$ 之间，应按钻头直径合理地进行选择。

(2) 顶角 2φ 钻头的顶角 2φ 是两主切削刃在中剖面上投影的夹角。切削塑料的钻头顶角 $2\varphi = 80^\circ \sim 90^\circ$ 。工具厂供货的钻头的顶角 $2\varphi = 118^\circ$ 左右，所以新钻头在用于钻削塑料前应进行修磨。

(3) 主偏角 κ_r 主偏角 κ_r 是主切削刃在基面上的投影与进给方向的夹角。由于主切削刃各点基面位置不同，故切削刃各点的主偏角是变化的。越接近钻头中心，其值越小。

(4) 前角 γ_0 主切削刃上任意点的前角 γ_{α} 规定在该点的主剖面中测量的前刀面与基面之间的夹角。钻头的前角 γ_0 是由相关的其他几何参数所决定，其值变化很大，通常钻头最外缘处的前角为 $+30^\circ$ ，越往中心越小，至靠近主刃和横刃相连处减少至 -30° 。所以钻头主切削刃上各点的切削情况都不一样，当前角 γ_0 变为负值时，切削条件开始变差，至和横刃相连处切削条件最差。

(5) 后角 α_0 主切削刃上任意点的后角 α_0 是规定在该点柱剖面中测量的，它是通过该点的切削平面和过这一点作后刀面的切面之间的夹角。后角 α_0 在外缘处最大，越靠近中心越小。后角 α_0 通常为 $8^\circ \sim 30^\circ$ 。钻头几何参数中所给定的后角，是指外缘处的后角。中心处后角加大后，可以改善切削条件。

(6) 横刃角度 钻头横刃在端剖面上的投影为直线。横刃各点的基面是一个平面，是通过横刃所做的垂直钻头中心线的平面。标准麻花钻头的横刃前角 $\gamma_{0\psi} = (-54^\circ \sim 60^\circ)$ ，而其后角 $\alpha_{0\psi} = 30^\circ \sim 36^\circ$ 。所以在钻削塑料时，横刃的切削条件最差，是钻削时轴向力的主要来源。

从上述分析可见，用标准麻花钻头钻削塑料时，将势必产生排屑困难，若是钻削形成带状切屑的塑料，尤为严重。钻头的外缘处易磨损，在钻削基材是强烈磨料磨损的塑料时，其外缘处磨损十分严重，在横刃处切削条件极差。标准麻花钻头副后角 $\alpha_0' = 0^\circ$ ，因此加工表

面摩擦严重。由于切削条件比较差, 所以被加工孔的表面粗糙度 R_a 值变大, 钻削力也较大。为了提高孔的精度和降低表面粗糙度 R_a 值, 应根据实际情况进行修磨钻头和采用适当的工艺方法。

第二节 塑料的钻削过程

一、钻削要素

钻削要素如图 3-5 所示。

(1) 切削速度 v 切削速度 v 是指钻头主切削刃上外缘处的线速度。

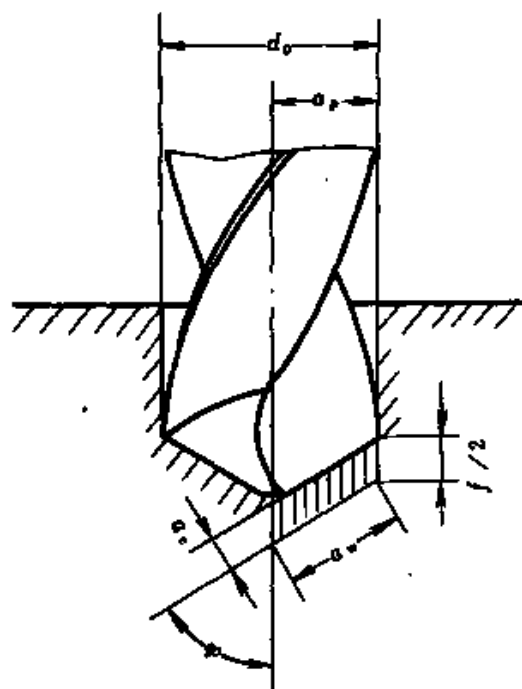


图 3-5 钻削要素

$$v = \frac{\pi \cdot d_0 \cdot n}{1000} \quad \text{m/min}$$

式中 d_0 ——钻头的外径, mm;
 n ——工件或钻头转速, r/min。

(2) 进给量 旋转类多齿刀具的进给量有三种表示方法。钻头或工件每转一转, 两者沿钻头轴线移动的距离, 称为每转进给量, 以 f 表示, 单位为 mm/r。钻头每转过一个刀齿, 它与工件的相对位移, 称为每齿进给量, 以 f_z 表示, 单位为 mm/z。在每分钟内, 钻头相对于工件的轴向位移量, 称为每分钟进给量或进给速度, 以 v_f 表示, 单位为

mm/min。它们之间的关系为:

$$v_f = n \cdot f = 2 \cdot n \cdot f_z$$

式中 n ——钻头或工件的转速, r/min。

(3) 钻削深度 a_p 在钻削实心材料时, 钻削深度 $a_p = d_0/2$, 单位为 mm。

(4) 切削厚度 a_c 切削厚度是在垂直于主切削刃在基面上投影方向量得的切削层厚度, 单位为 mm, 它等于:

$$a_c = f_z \cdot \sin \kappa_r = \frac{f \cdot \sin \kappa_r}{2} \text{ mm}$$

由于主切削刃上各点的 κ_r 不相等, 因此各点的切削厚度也不相等。为了计算方便, 可近似地用平均切削厚度表示为:

$$a_{cv} = f_z \cdot \sin \varphi = \frac{f}{2} \sin \varphi \text{ mm}$$

(5) 切削宽度 a_w 切削宽度是沿着主刃在基面上的投影方向测量出的切削层尺寸, 即是在基面上测得的主刃参加工作的长度。对于钻削

$$a_w = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} = \frac{d_0}{2 \cdot \sin \kappa_r} \approx \frac{a_p}{\sin \varphi} = \frac{d_0}{2 \cdot \sin \varphi}$$

当然, a_w 也是变化的。

(6) 切削面积 A_c 对于麻花钻, 一个刀齿的切削面积为:

$$A_c = a_c \cdot a_w = f_z \cdot a_p = \frac{f_z \cdot d_0}{4} \text{ mm}^2$$

二、钻削力与扭矩

在钻削塑料时, 所有切削刃 (包括两条主刃、两条副刃和一条横刃) 都要承受轴向力 F_x 、径向力 F_y 及切向力 F_z 的作用, 如图 3-6 所示。其中径向力对钻孔质量影响最大。如果径向力不

平衡, 会造成孔的扩大和偏斜。因而刃磨时应尽量使两条主刃的角度 (主要是 φ 角) 对称, 使两个刃瓣上的径向力能相互抵消。经合成后, 钻头各条刀刃上所受的力构成一个总的扭矩 M 和总的轴向力 F_y , 即:

$$M = M_0 + M_\varphi + M_{01}$$

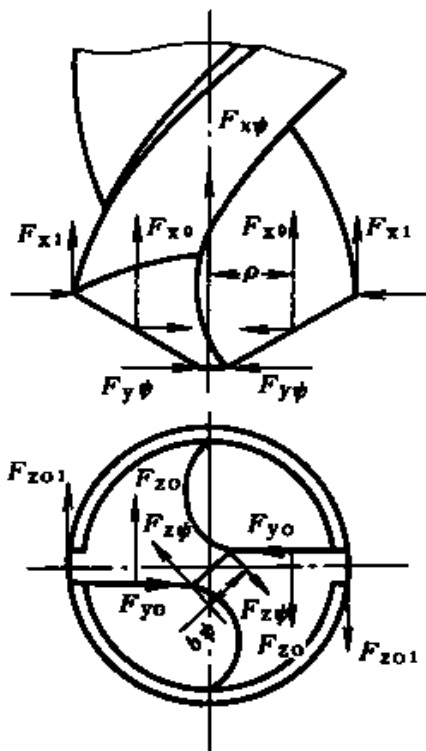


图 3-6 作用钻头上的力和力矩

$$F = F_0 + F_{\varphi} + M_{01}$$

M_0 为作用于主切削刃上的扭矩:

$$M_0 = 2F_{\alpha 0} \cdot R$$

式中 $F_{\alpha 0}$ ——作用于主切削刃上的圆周切削力;

R —— $F_{\alpha 0}$ 力的平均作用半径;

M_{φ} ——作用在横刃上的扭矩:

$$M_{\varphi} = F_{\alpha \varphi} \cdot b_{\varphi}$$

$F_{\alpha \varphi}$ ——作用在横刃上的圆周切削力;

b_{φ} ——横刃长度;

M_{01} ——作用在棱边上的扭矩:

$$M_{01} = F_{\alpha 01} \cdot d_0$$

$F_{\alpha 01}$ ——作用在棱边上的圆周切削力;

F_0 ——作用在主切削刃上的轴向力:

$$F_0 = 2F_{\alpha \varphi}$$

$F_{\alpha \varphi}$ ——作用在横刃上的轴向切削力;

F_{01} ——作用在棱边上的轴向切削力:

$$F_0 = 2F_{\alpha 01}$$

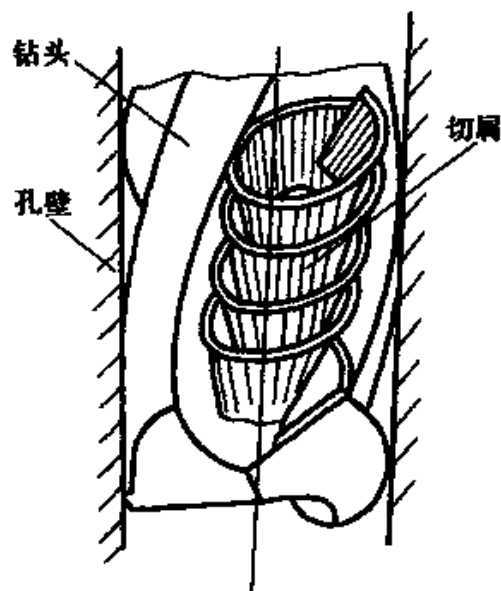


图 3-7 钻削塑料切屑的形成

实验证明, 轴向力主要是横刃产生的; 扭矩主要是由主切削刃产生的。

三、钻削过程特点

钻头是定尺寸刀具, 进行着半封闭切削, 塑料的钻削和金属不同, 它的传热性差、热膨胀系数大、软化温度低、弹性复原性能好, 所以和钻削金属相比有其独特的特点。

(1) 易产生涂抹现象 切屑的形成过程如图 3-7 所示, 钻头的外

表面和孔壁表面之间紧紧地靠在一起，一方面使孔的表面粗糙；另一方面由于塑料软化温度低，使变软的塑料涂抹在已加工表面上，易造成裂纹和使表面质量下降。

(2) 钻入钻出易产生毛刺 热固性塑料一般为多组分、非均相的复合物，有的中间夹有各种增强材料形成夹层塑料，在钻削时有时造成如图 3-8 所示的缺陷。

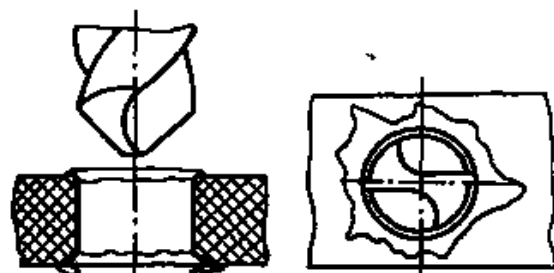


图 3-8 钻削塑料时钻入和钻出产生的缺陷

(3) 产生缩孔现象 钻削金属时易产生扩孔现象，但在钻塑料时，由于塑料的热膨胀系数大，钻后冷却的孔缩小。另外，塑料弹性回复大，当钻削时，因径向力 F_r 的作用使材料往外膨胀，钻削后材料弹性变形回复，而使孔收缩。钻削塑料孔的收缩量很大，有时可能达到 0.01 ~ 0.2mm，这样在钻削一定尺寸的孔时，必须选择直径稍大的钻头，表 3-1 所列的是某些塑料钻削后孔的收缩量。这些数值只适用于钻削孔的长度 L 与直径 d 的比值小于或等于 1.5 的情况，当其比值大于 1.5 时，应乘以修正系数。

表 3-1 钻削塑料时孔径的收缩量

单位: mm

基本直径	酚 醛 树 脂	以玻璃布基材塑料	酚醛纸基层压塑料	氟塑料	聚苯 乙烯	聚甲基丙烯酸甲酯	以棉织物为基材的层压塑料
1~3	0.039	0.038	0.042	0.060	0.056	0.039	0.035
3~6	0.044	0.049	0.051	0.078	0.074	0.044	0.047
6~10	0.059	0.060	0.060	0.096	0.060	0.060	0.059
10~18	0.071	0.072	0.070	0.107	0.110	0.071	0.072
18~30	0.084	0.088	0.082	0.120	0.125	0.084	0.088
30~50	0.098	0.105	0.096	0.163	0.160	0.098	0.192

四、钻削塑料钻头几何参数的选择

钻削塑料时，刀具的几何参数对孔的质量影响很大。

1. 螺旋角 β 的影响

螺旋角 β 实际上就是钻头在轴向剖面的前角，因此螺旋角越大，实际工作的前角就越大，切削刃越锋利，切削时越省力；由于螺旋角增大，螺旋槽的倾斜程度也加大，则切屑容易排除。

图 3-9 是用 $\phi 8.1\text{mm}$ 高速钢钻头，选用后角 $\alpha_0 = 15^\circ$ ，顶角 $2\varphi = 100^\circ$ ，进给量 $f = 0.05\text{mm/r}$ ，钻头转速 $n = 2000\text{r/min}$ 的条件下，钻削聚酯树脂材料时，被加工孔的入端和出端的外观图。

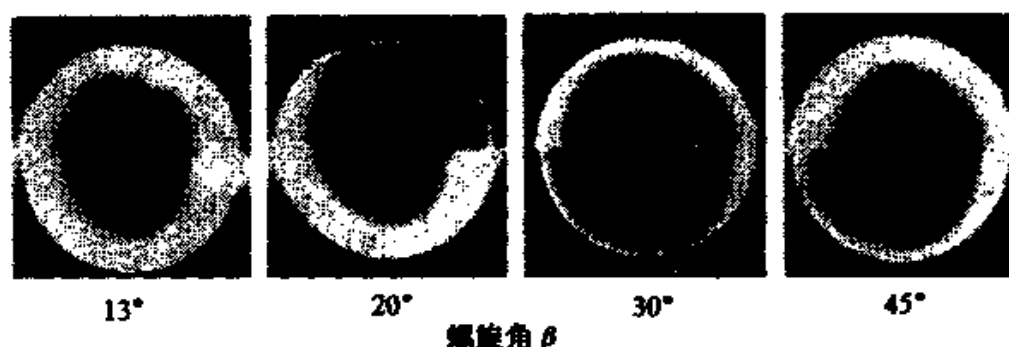


图 3-9 钻头螺旋角 β 对孔的入端和出端质量的影响

图的上半部是入端破坏情况，而下半部则是出端的破坏情况。从破坏的情况可以看出，当钻头螺旋角 β 增大时，则入端和出端的破坏情况均减小。这是因为螺旋角 β 增大时，前角 γ_0 也随之增大而使切削刃锋利，在入口和出口切削时作用在被加工材料的力减小，因此材料不易破坏。另外，当螺旋角 β 增大后，有利于切屑排出。但是螺旋角 β 也不能太大，这是因为螺旋角太大时，尽管可以得到质量较好的入端和出端，但是导致钻头强度的下降，并且在钻头的外缘处因前角过大，散热条件变化而使钻头的寿命下降。因此，钻削塑料时，钻头的螺旋角 β 应进行合理的选取。其合理的参数值可按表 3-2 或表 3-3 选取。

从钻头材料看，加工热固性塑料中的层压塑料时，使用镶有硬质合金 YG6 或 YG8 刀片的钻头最为理想。在仪表和机电行业中使用的纸基塑料、布基塑料和玻璃布塑料大多数是板材，在板材上钻的孔通常是 $L/d < 2$ 的浅孔，在这种情况下可以采用直槽钻头。在粉状热固

性塑料零件上钻 $L/d < 2$ 的浅孔、还可以用扁钻，但用扁钻加工纤维状塑料和层状塑料时其表面质量却较差。

表 3-2 加工热塑性塑料的钻头角度

单位：度

被加工塑料	顶角 2φ	螺旋角 β	前角 γ_0	后角 α_0
聚氯乙烯硬塑料	70 ~ 100	12 ~ 15	0 ~ 3	8 ~ 15
聚甲基丙基酸甲酯	70 ~ 90	10 ~ 12	0 ~ 2	10 ~ 15
聚酰胺	70 ~ 100	15 ~ 17	3 ~ 6	10 ~ 20
聚苯乙烯	45 ~ 60	12 ~ 15	0	8 ~ 15
聚乙烯	60 ~ 100	15 ~ 17	—	9 ~ 15
聚碳酸酯	80	27	—	9 ~ 15
聚甲醛	60 ~ 90	10 ~ 20	—	10 ~ 15

表 3-3 加工热固性塑料和层压塑料的钻头角度 单位：度

塑料种类	钻头材料	2φ	β	γ_0	α_0
酚醛胶纸层压塑料	W18Cr4V	70 ~ 80	10 ~ 17	10 ~ 15	10 ~ 15
	YG6、YG8	90 ~ 110	20	15 ~ 20	20
以棉织物为基材的热固性塑料	W18Cr4V	70 ~ 80	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15
	YG6、YG8	110 ~ 120	20	15	15 ~ 20
酚醛树脂	W18Cr4V	50 ~ 60	10 ~ 15	12 ~ 15	12 ~ 15
	YG6、YG8	115 ~ 120	20	10 ~ 15	20 ~ 25
环氧树脂	W18Cr4V	30 ~ 35	10 ~ 15	10 ~ 15	10 ~ 15
	YG6、YG8	50 ~ 60	20	10 ~ 15	15 ~ 20
以玻璃布为基材的热固性层压塑料	W18Cr4V	90 ~ 100	10 ~ 15	12 ~ 15	14 ~ 16
	YG6、YG8	100	20	10 ~ 15	15 ~ 20
以玻璃纤维为基材的热固性塑料	YG6、YG6X YG8	70 ~ 80	20	15	25
环氧酚醛层压玻璃布板	W18Cr4V	70	10 ~ 15	15	30
	YG6、YG6X、YG8	70	20	10	25
酚醛玻璃纤维层压	W18Cr4V	55 ~ 60	10 ~ 15	15	20
	YG6、YG6X、YG8	70	20	12	20

钻头的螺旋角 β 对孔表面的粘胶程度也有较大的影响。图 3-10 是用 $\phi 8.1\text{mm}$ 的钻头，顶角 $2\varphi = 120^\circ$ ，进给量 $f = 0.05\text{mm/r}$ ，钻头转速 $n = 2000\text{r/min}$ 的切削条件下，钻削不饱和聚酯树脂后，孔内壁的图片。在孔的轴向剖视图上可以看出，当利用螺旋角 $\beta = 15^\circ$ 进行钻削时，孔壁由于粘胶的影响使表面粗糙，孔壁呈凸凹不平状；当选用 $\beta = 37^\circ$ 进行钻削时，孔壁比较光滑。由此可见，螺旋角 β 越大，则被加工的孔壁越光滑，质量越好。这是因为 β 增大后，使切削力减小，产生的热量减少，在相同的切削条件下，温度低而不易造成粘胶现象。

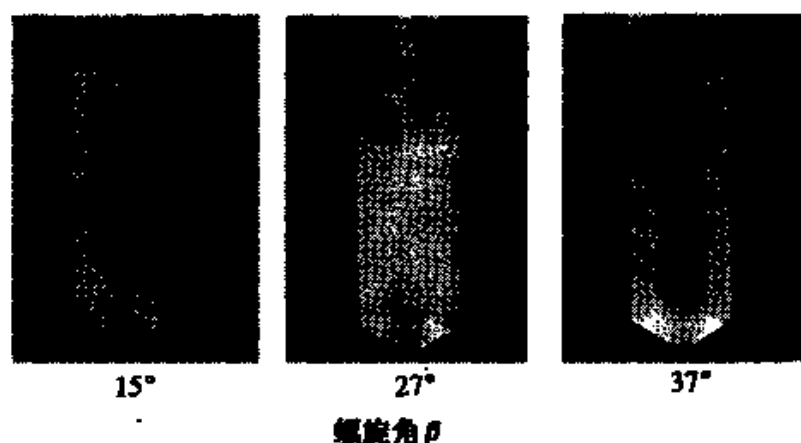


图 3-10 钻头螺旋角 β 对表面质量的影响

2. 顶角 2φ

顶角 2φ 减小时，可以增加切削刃参加工作的长度，使得单位切削刃长度上的负荷减小，并能增大外缘转角处的刀尖角 ϵ_r （见图 3-2），改善散热条件，提高了钻头的寿命。同时，顶角 2φ 减小，使轴向抗力也减小，但是，顶角 2φ 减小，切屑的平均变形增大，从而增大了扭力矩。因此应合理地进行选择。图 3-11 是钻削聚甲基丙烯酸甲酯时孔的周边裂纹情况。由图可见，顶角 2φ 增大时，使周边裂纹增大。这是因为当 2φ 增大时，切削厚度 a_c 增大，作用在单位长度切削刃上的力也就增大，当然刀具的反作用力，即作用给被切削塑料上的力增大，所以被加工工件周边破坏程度就会加大。钻削塑料用的

顶角 2φ 是根据被加工材料性质来选择的。加工热塑性和热固性塑料的顶角 2φ 值可分别从表 3-2 和表 3-3 中选取。

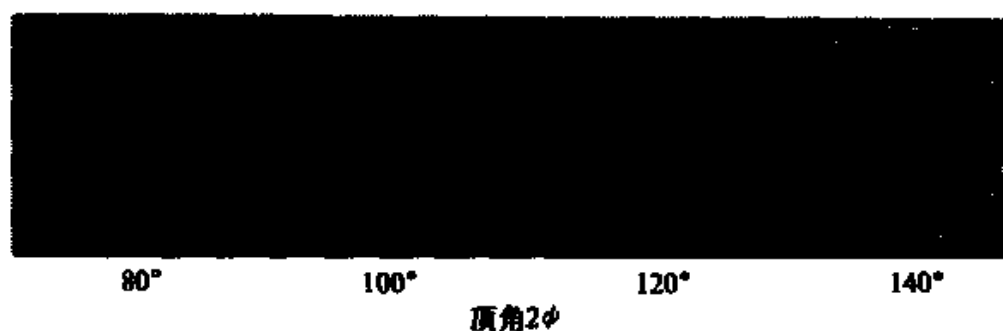


图 3-11 钻头顶角 2φ 对孔的周边影响

3. 前角 γ_0

钻头前角 γ_0 的大小直接影响切削力、切削温度、切削功率和钻头的强度，也影响散热条件和钻头寿命。由于热塑性塑料通常较热固性塑料强度低，所以钻削热塑性塑料时选择的前角 γ_0 较小。钻头的前角 γ_0 主要是根据材料的性质和刀具材料的性质来选择，其合理的角度值可分别从表 3-2 和表 3-3 中选取。

4. 后角 α_0

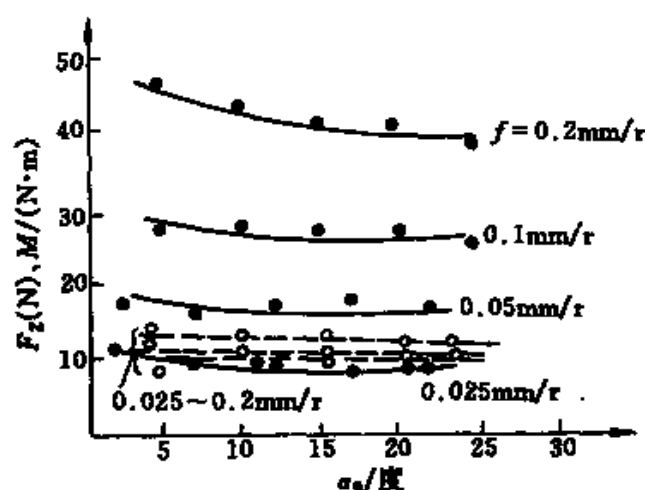


图 3-12 钻头后角 α_0 对钻削力和扭矩的影响

钻头的后角 α_0 主要影响着已加工表面的质量，后角 α_0 增大，可减少后刀面和已加工表面的摩擦，使切削刃变得锋利，切削省力，提高了制件的表面质量。图 3-12 是钻削不饱和聚酯树脂时后角值对切削力和力矩的影响曲线。实线表示轴向力 F_y ，虚线表示扭力矩 M 。从图中可以看出，随着后角 α_0 增大，切削力和扭力矩减小。但后角 α_0 也不能过大，过大会降低钻头的强度。在一定的切削条件下，钻头后角 α_0 值可从表 3-2 和表 3-3 中进行选取。

第三节 塑料钻削时钻头的磨损

一、磨损部分

钻削塑料时产生的温度比较低，因此，钻削塑料时，钻头磨损的主要原因是磨料磨损，其磨损过程及规律与车刀相同。但是由于钻头切削刃各点负荷是不均匀的，外缘处切削速度最高，因此钻头的磨损在外缘处最严重。

钻头磨损形式主要是后刀面的磨损，也发生前刀面磨损及横刃磨损，当后刀面磨损到一定程度时发生刃带的磨损（如图 3-13 所示）。刃带磨损严重时会出现外径减小和图 3-14 所示的顺锥。此时副切削

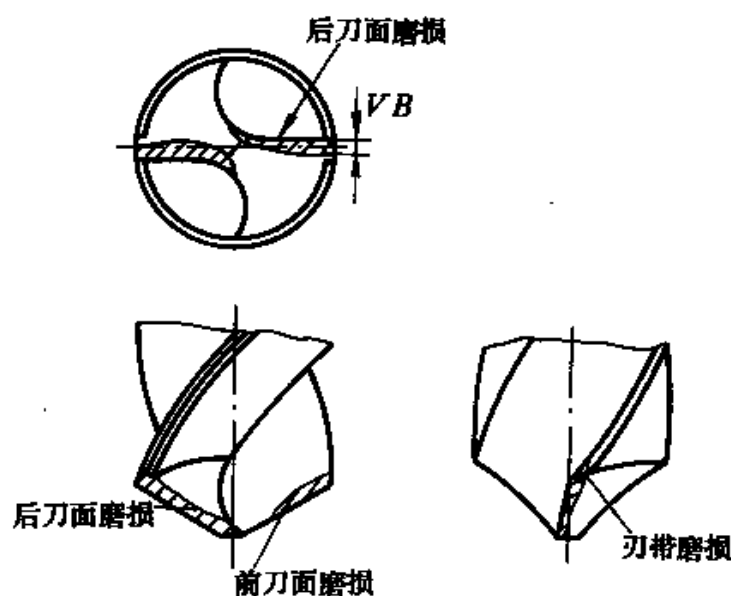


图 3-13 钻头磨损的形式

刃 AB 变为主切削刃的一部分，切下宽而薄的切屑，扭矩增加，产生热量增加，切削区温度的升高将会产生粘胶、涂抹、烧焦和臭味等现象。

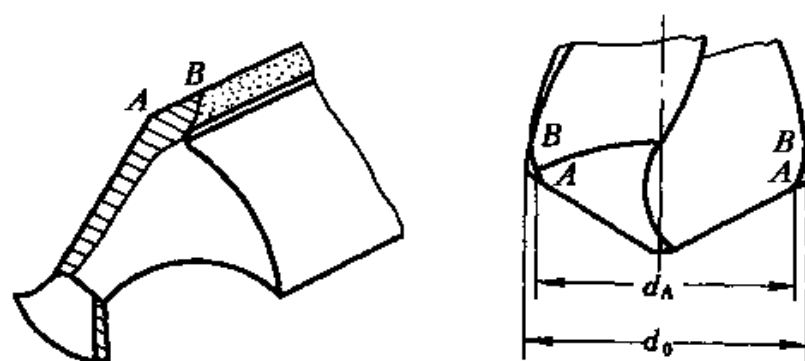


图 3-14 钻头刃带的磨损

二、磨钝标准

通常钻头的后刀面较前刀面、刃带（副后刀面）和横刃处磨损严重，这是因为塑料的弹性回复所致。另外，测量后刀面的磨损值比较方便，因此，一般都按后刀面的磨损尺寸来制订磨钝标准。钻削塑料的磨钝标准通常是根椐被加工孔的质量确定，即是工艺磨钝标准 VB_1 ，单位为 mm，其值取后刀面磨损带外缘处允许达到的最大磨损尺寸。磨钝标准 VB_1 是根据被切削的塑料的性质来确定的，加工热固性塑料时，钻头后刀面的磨钝标准推荐按表 3-4 选取。

表 3-4 钻削热固性塑料的磨钝标准 VB_1 单位：mm

被加工材料	刀具材料	磨钝标准/ VB_1
氟塑料	W18Cr4V	0.20
	YG8	0.15
氨基塑料	W18Cr4V	0.20
	YG8	0.15 ~ 0.25
酚醛玻璃纤维层压塑料	W18Cr4V	0.15 ~ 0.25
	YG8	0.12 ~ 0.14
酚醛棉布层压塑料	W18Cr4V	0.40
	YG8	0.11
酚醛纸基层压塑料	W18Cr4V	0.20
	YG8	0.09

钻头由开始切削一直到磨损量达到磨钝标准为止的总的切削时间称为刀具寿命，以 T 表示。

钻头的切削用量与刀具钝标准之间的关系主要是通过实验而得到的。例如用 W18Cr4V 钻头钻削酚醛玻璃纤维塑料时，关系式为：

$$v = \frac{13.53 \cdot d_0^{0.63}}{T^{0.56} \cdot f^{0.32}} \quad \text{m/min}$$

用硬质合金钻头时则为：

$$v = \frac{131.6 \cdot d_0^{0.73}}{T^{0.8} \cdot f^{0.43}} \quad \text{m/min}$$

上式适用范围为 $d_0 = 6 \sim 18\text{mm}$, $f = 0.06 \sim 0.2\text{mm/r}$, $v = 12 \sim 45\text{m/min}$ 。

又如，用硬质合金钻头加工玻璃纤维增强塑料时，寿命与进给量的关系式为：

$$T = \frac{23.74}{f^{0.84}} \quad \text{min}$$

上式适用范围为 $d_0 = 5 \sim 12\text{mm}$, $f = 0.1 \sim 0.3\text{mm/r}$, $v = 45\text{m/min}$ 。
钻头寿命与切削速度的经验公式为：

$$T = \frac{4300}{v^{0.775}} \quad \text{min}$$

上式适用范围为 $d_0 = 5 \sim 12\text{mm}$, $f = 0.2\text{mm/r}$, $v = 35 \sim 90\text{m/min}$ 。

塑料钻削的钻削用量是从保证必要的加工表面质量与刀具寿命出发而制定的。如同金属切削加工一样，加大进给量会增加加工表面粗糙度 R_a 值，增大切削速度与进给量会使钻头寿命下降。

图 3-15 和图 3-16 是用高速钢钻头钻削，切削速度 v 和进给量 f 对钻头寿命的影响。

从上述的两个图中可以看出，切削速度对钻头寿命的影响远比进给量对钻头寿命的影响大。因此为了提高钻头的寿命，必须合理地选择钻削用量。

三、影响钻头磨损的因素

酚醛玻璃纤维塑料因其基材是玻璃，玻璃对切削刀具有强烈的磨

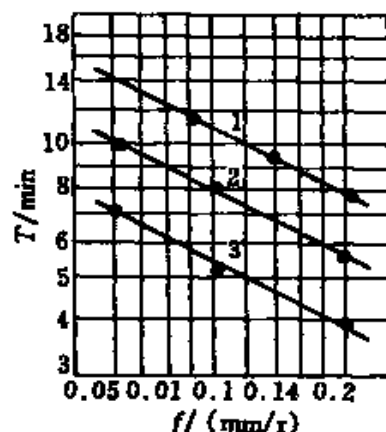
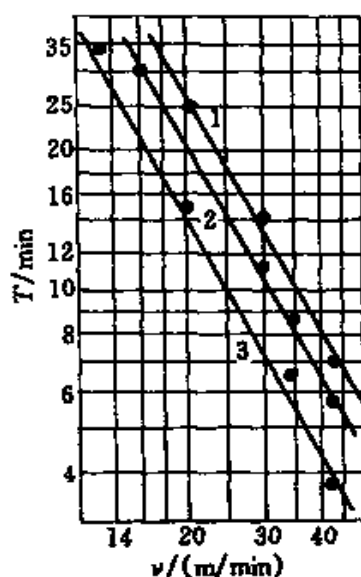


图 3-15 切削速度对钻头寿命的影响 图 3-16 进给量对钻头寿命的影响

1—酚基塑料；2—氨基塑料；
3—模压塑料

料磨损性能，所以钻削这类塑料钻头的磨损十分严重；另外，这种塑料在电机厂、开关厂以及其他工厂用做绝缘材料这方面应用十分广泛。作为用户，为了满足使用的要求，经常在有关的塑料材料上钻孔，所以研究钻削玻璃纤维层压塑料时钻头的磨损问题具有十分重要的现实意义。

影响钻头磨损因素很多，如被钻削材料的性质、钻削时的冷却问题、钻头的螺旋角 β 、前角 γ_0 、副后角 α_0' 、后角 α_0 和顶角 2φ 以及刀具材料等。这里我们仅研究易于控制和刃磨的顶角 2φ 和后角 α_0 对钻头磨损的影响，供有关工厂钻削此类材料或类似此类材料性质的其他塑料参考。

1. 顶角 2φ 的影响

图 3-17 是利用直径为 $\phi 9mm$ 的高速钢 (W18Cr4V) 钻头，切削用量： $v = 21.2m/min$ ， $f = 0.15mm/r$ ，分别以 $2\varphi = 40^\circ$ 、 60° 、 70° 的钻头，钻削厚度为 $s = 15mm$ 的酚醛玻璃纤维层压塑料，顶角 2φ 对后刀面的磨损量 VB 的影响曲线。从图中可以看出，各线之间无交叉。且

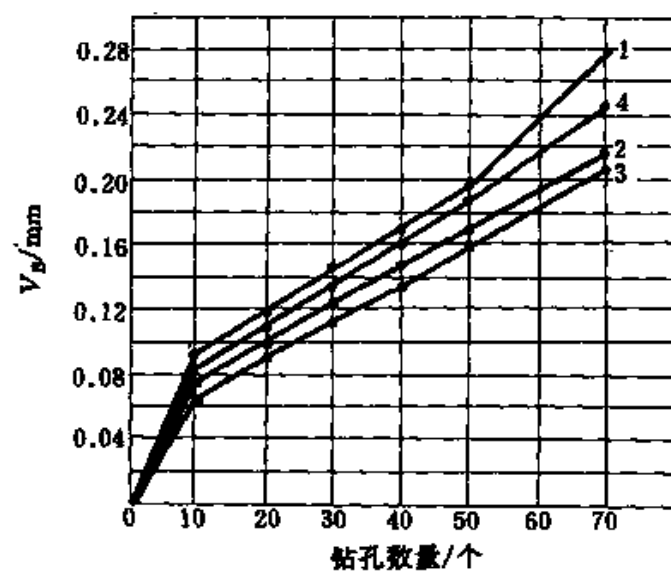


图 3-17 高速钢钻头顶角 2φ 对钻头磨损的影响

1— $2\varphi = 40^\circ$; 2— $2\varphi = 60^\circ$; 3— $2\varphi = 70^\circ$; 4— $2\varphi = 90^\circ$

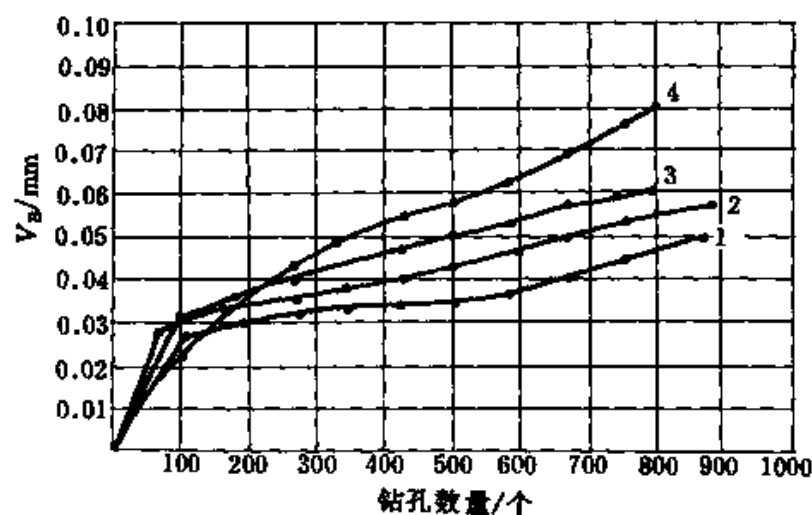


图 3-18 硬质合金钻头顶角 2φ 对钻头磨损的影响

1— $2\varphi = 70^\circ$; 2— $2\varphi = 90^\circ$; 3— $2\varphi = 130^\circ$; 4— $2\varphi = 150^\circ$

当 $2\varphi = 40^\circ$ 时, 钻头后刀面的磨损最重; $2\varphi = 70^\circ$ 时钻头后刀面磨损最轻。所以, 用顶角 $2\varphi = 70^\circ$ 的钻头钻削时, 刀具的寿命最高, 而用顶角 $2\varphi = 40^\circ$ 的钻头钻削加工时, 刀具的寿命最低。

图 3-18 是利用直径为 $\phi 9.5\text{mm}$ 的镶有 YG8 硬度合金刀片的钻头, 切削用量: $v = 35.2\text{m/min}$, $f = 0.2\text{mm/r}$, 分别以顶角 $2\varphi = 70^\circ$ 、 90° 、 130° 、 150° 的钻头, 钻削厚度 $s = 18\text{mm}$ 的酚醛玻璃纤维层塑料板, 顶角 2φ 对后刀面的磨损量 VB 的影响曲线。从图中可以看出, 各线之间有交线, 说明后刀面磨损宽度至 $0.028 \sim 0.038$ 后, 磨损快慢程度有些变化。且当 $2\varphi = 150^\circ$ 时, 钻头后刀面的磨损较严重; $2\varphi = 70^\circ$ 时, 后刀面磨损较小些。所以, 用硬质合金钻头钻削加工时, 选用顶角 $2\varphi = 70^\circ$ 时, 最为合理, 此时的刀具寿命最高, 而选用顶角 $2\varphi = 150^\circ$ 的钻头来进行钻削加工时, 这时刀具的寿命最低。

2. 后角 α_0 的影响

图 3-19 是利用直径为 $\phi 9.5\text{mm}$ 的镶有 YG8 硬质合金刀片的钻头, 切削用量: $v = 35.2/\text{min}$, $f = 0.2\text{mm/r}$, 刀具寿命 $T = 28\text{min}$, 钻削厚度 $s = 18\text{mm}$ 的酚醛玻璃纤维层压塑料板, 后角 α_0 对后刀面磨损宽度 VB 的影响曲线。从图上可以看出, α_0 为 25° 左右时, 钻头后刀面的磨损量最小。实验证明, 前角 γ_0 对钻头后刀面磨损也有一定的影响, 但没有后角 α_0 的影响大。

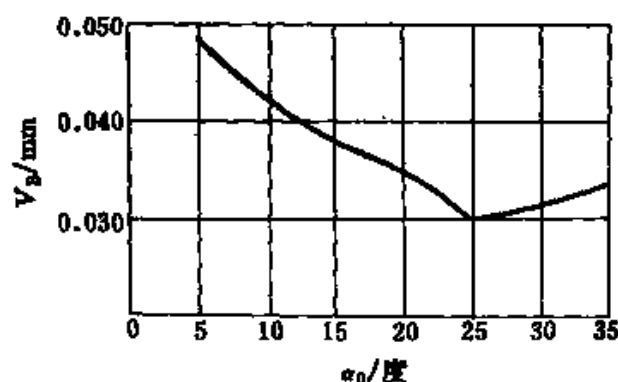


图 3-19 后角 α_0 对钻头后刀面磨损 VB 的影响

第四节 热塑性塑料的钻削

热塑性塑料线膨胀系数比热固性塑料和金属材料大的多，但它的耐热性、刚性和硬度要比热固性塑料和金属材料小的多，同时对刀具的磨损也不如热固性塑料和金属磨损严重，所以对这类塑料的钻削加工有其独特的特性。本节主要介绍聚乙烯、硬聚氯乙烯和聚酰胺等热塑性塑料的钻削特点和切削用量的选择。

一、聚乙烯的钻削

一般高压法所得聚乙烯的密度较低，通常为 $0.91 \sim 0.93\text{g/cm}^3$ ，高密度聚乙烯分子只含有很少的短链分枝，它有较高的分子量、密度和结晶度，所以质地密度较坚硬，密度通常为 $0.94 \sim 0.96\text{g/cm}^3$ 。聚乙烯耐热性较低，例如高密度聚乙烯在 120°C 时开始变软，所以当切削速度较高时，材料易产生粘胶现象。

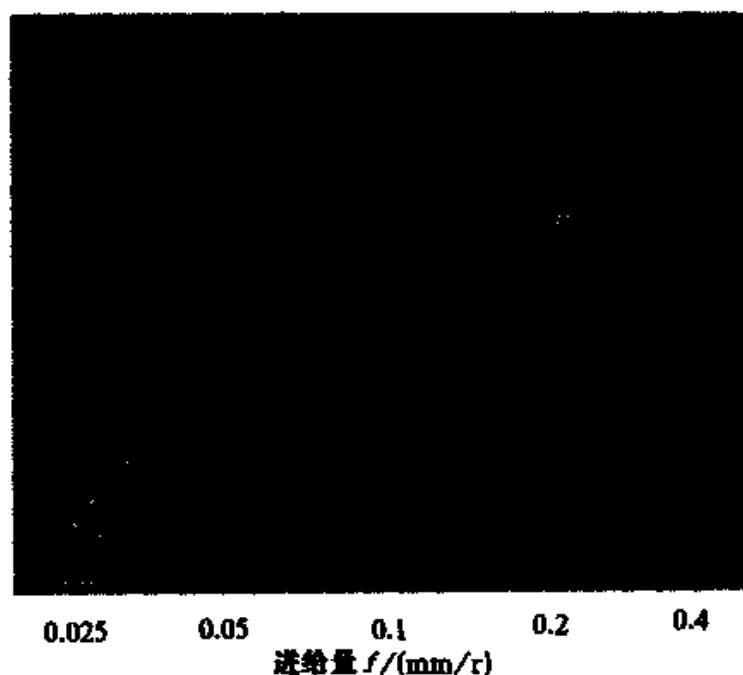


图 3-20 钻削聚乙烯时进给量 f 对切屑形状的影响

钻削热塑性塑料，通常形成带状切屑。切屑的形状随着进给量的

增加而逐渐形成螺旋形状。图 3-20 是利用直径 $d_0 = 8.1\text{mm}$ 的钻头，选用的参数为：顶角 $2\varphi = 120^\circ$ ，螺旋角 $\beta = 27^\circ$ ，钻头转速 $n = 2000\text{r/min}$ ，钻削密度为 0.95g/cm^3 的聚乙烯时切屑形状照片。从照片图中可见切屑成带状，并且随着进给量 f 的增大逐渐形成螺旋状， f 越大螺旋程度越显著。从实验中观察到，当形成螺旋形状的切屑时，孔的表面质量最好，且内表面无粘胶现象，在出口和入口处也无划伤现象。用密度 $d = 0.92\text{g/cm}^3$ 聚乙烯做钻孔实验，发现只是在小进给量和高切削速度情况下，在孔的内表面方可发现有少许的粘结现象。在同样的切削条件下，在钻削密度 $d = 0.95\text{g/cm}^3$ 或 0.96g/cm^3 聚乙烯时，尚未发现粘胶的现象。由此看来，密度越大，则钻孔的质量越好。

图 3-21 是在钻头转速 $n = 2000\text{r/min}$ 下，钻削不同密度的聚乙烯，进给量 f 和材料密度 d 对扭矩的影响。从图中可以看出，钻削聚乙烯时的扭矩是随着材料的密度 d 和进给量 f 的增加而增加。

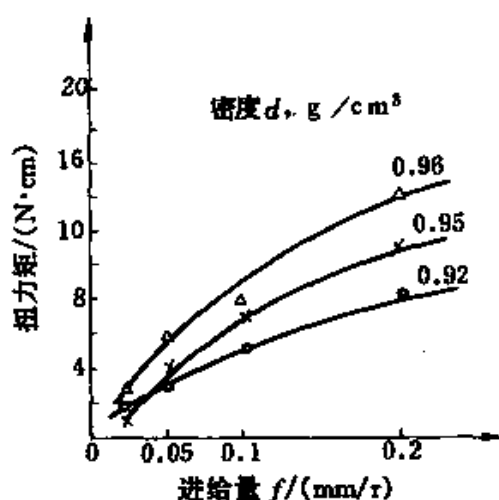


图 3-21 聚乙烯的密度 d 和进给量 f 对扭矩的影响

$\triangle - d = 0.96\text{g/cm}^3$, $\times - d = 0.95\text{g/cm}^3$,
 $\bigcirc - d = 0.92\text{g/cm}^3$

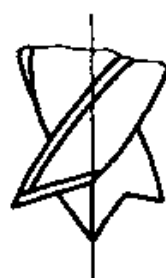


图 3-22 三刃钻头

通过实验证明，钻削聚乙烯时，在产生较小的切削力情况下，可

钻出一个无粘胶和划痕、内壁光滑的优质孔。且钻头最好用如图 3-22 所示的三刃钻头。各项参数应选为：钻头螺旋角 $\beta = 15^\circ \sim 17^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 9^\circ \sim 15^\circ$ ，切削速度 $v = 600 \sim 900 \text{ m/min}$ ，进给量 $f = 0.18 \sim 0.25 \text{ mm/r}$ 。为了保证钻削聚乙烯塑料时孔壁的人端和出端的质量，在钻削不同密度材料，推荐按图 3-23 和图 3-24 来选取切削速度 v 和进

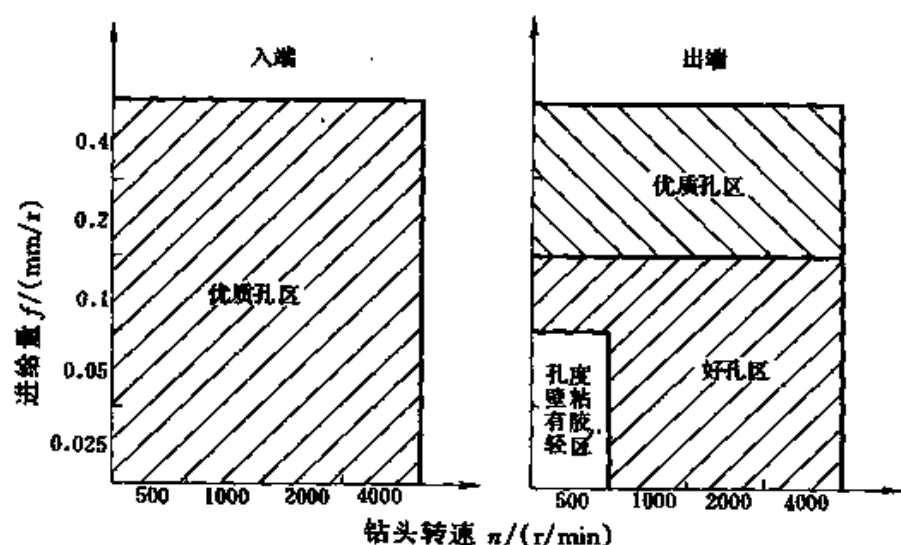


图 3-23 聚乙烯的钻孔的入端和出端最佳切削条件

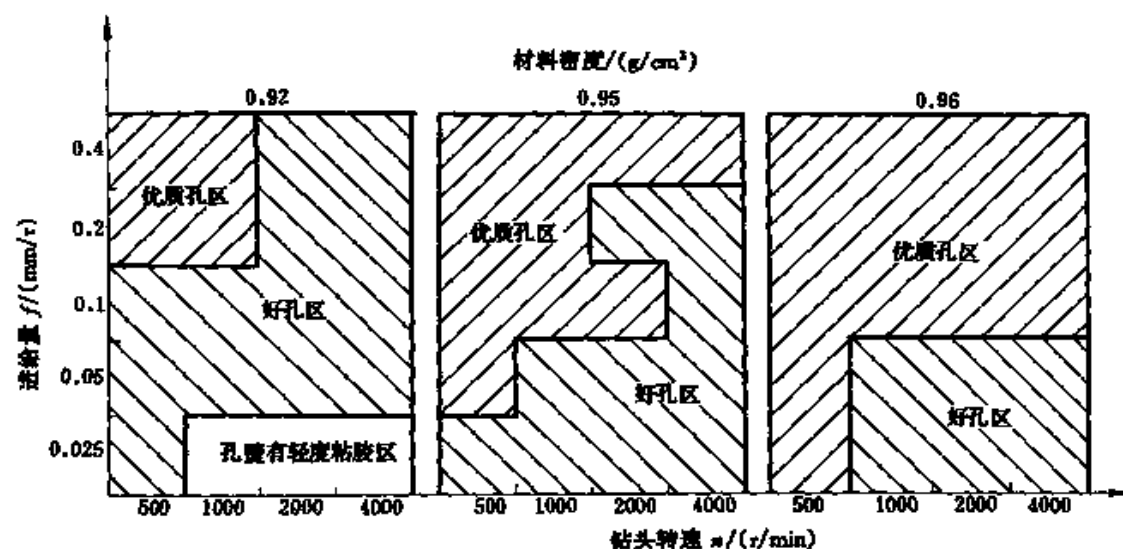


图 3-24 聚乙烯的钻孔孔壁切削最佳条件

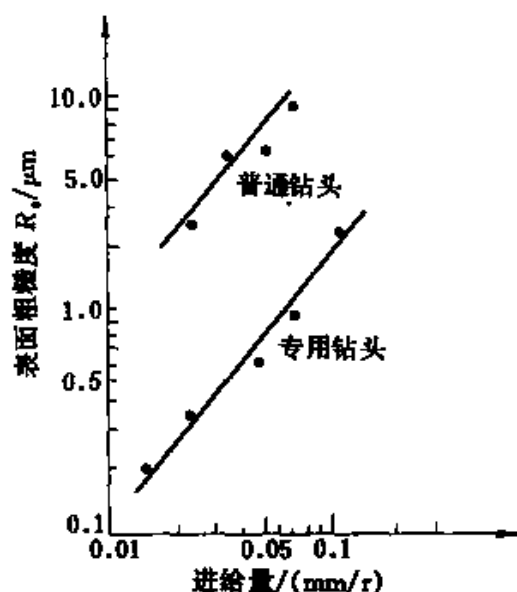


图 3-25 进给量对孔表面粗糙度的影响

强，化学稳定性能好，所以在工业上用它做离心泵，通风机及管道等工件，这些工件必须进行钻孔，孔的质量好坏直接影响机器的质量。所以，对硬聚氯乙烯钻孔的研究是十分重要的。硬聚氯乙烯的缺点是耐热性较低，在 55°C 温度时就开始软化。所以，钻削时易产生粘胶现象，影响加工孔的质量，在钻孔时必须加以注意。

图 3-25 所示的是用直径 $d_0 = 8.1\text{mm}$ ，螺旋角 $\beta = 27^{\circ}$ ，顶角 $2\varphi = 120^{\circ}$ 的钻头，钻削硬聚氯乙烯时所得的进给量对孔的表面粗糙度的影响。从图中可见，当进给量增加时，内孔表面粗糙度 R_a 值逐渐增大。

图 3-26 为钻削硬聚氯乙烯时进给量 f 对孔内表面温度的影响，钻头直径 $d_0 = 8.1\text{mm}$ ，螺旋角 $\beta = 27^{\circ}$ ，顶角 $2\varphi = 120^{\circ}$ 。从图中可见，

给量 f 。图 3-23 是在聚乙烯密度 $d = 0.95\text{g/cm}^3$ 的材料上钻孔得到的结果。两图用的钻头均为：钻头螺旋角 $\beta = 27^{\circ}$ ，顶角 $2\varphi = 120^{\circ}$ 所做出的结果。

二、硬聚氯乙烯的钻削

硬聚氯乙烯塑料简称 PVC。在聚氯乙烯树脂中加入不同的增塑剂、稳定剂和其他添加剂，就可制成各种形式的硬质或软质制品。硬聚氯乙烯的硬度仅为钢的 $1/5$ ，且机械强度高，对酸碱的抵抗力极

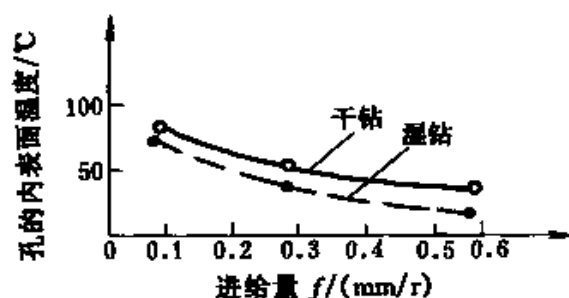


图 3-26 钻削聚氯乙烯时进给量 f 对内孔表面温度影响

当进给量 $f = 0.030 \text{ mm/r}$ 时，切屑呈现粘胶状被排出，即是孔壁已产生粘胶现象。当 f 增大后，切屑逐渐变为螺旋状，不产生粘胶现象。这是因为钻削硬聚氯乙烯时孔的内表面随着 f 的增大而下降。

图 3-27 是在钻头直径为 $\phi 8.1 \text{ mm}$ ，螺旋角 $\beta = 27^\circ$ ，顶角 $2\varphi = 120^\circ$ ，进给量 $f = 0.1 \text{ mm/r}$ ，速度为一恒定值，所拍摄的人端和出端质量情况的图片。从图片可见，无论在何种情况下，出端的质量都好于入端。

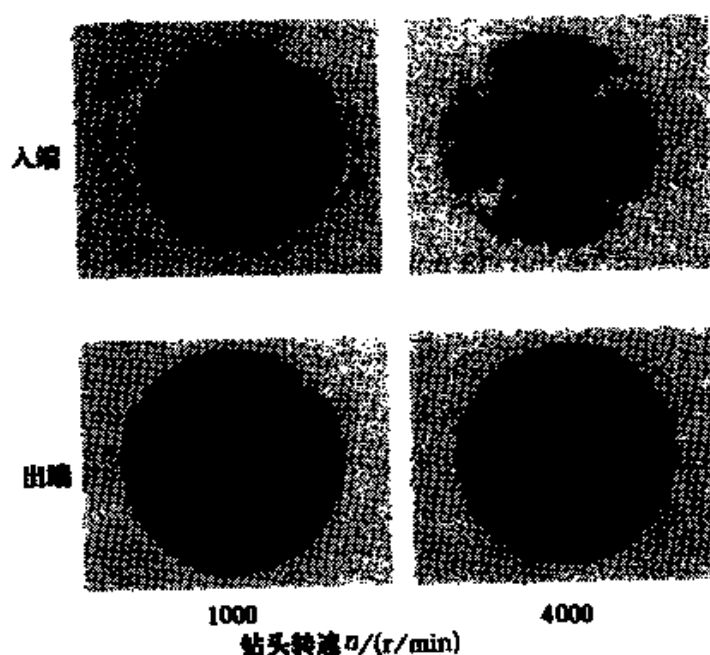


图 3-27 钻削硬聚氯乙烯时入端和出端质量

图 3-28 是用钻头直径为 $\phi 8.1 \text{ mm}$ ，螺旋角 $\beta = 27^\circ$ ，顶角 $2\varphi = 120^\circ$ ，钻头转速 $n = 2000 \text{ r/min}$ ，在不同的进给量条件下，干钻和用冷却液（湿钻）钻削硬聚氯乙烯时，孔的内表面质量的比较。通过实验得出，无论是干钻还是湿钻，进给量越小，粘胶程度越严重，当 $f = 0.025 \text{ mm/r}$ 时，孔的轴向剖面壁上呈较大的锯齿状凸凹不平，并且这种现象干钻较湿钻严重。很明显当 $f = 0.4 \text{ mm/r}$ 时，湿钻比干钻的质量好。所以，在钻削硬聚氯乙烯塑料时，应当选用冷却液，一般可用水、肥皂水或乳化液进行冷却。

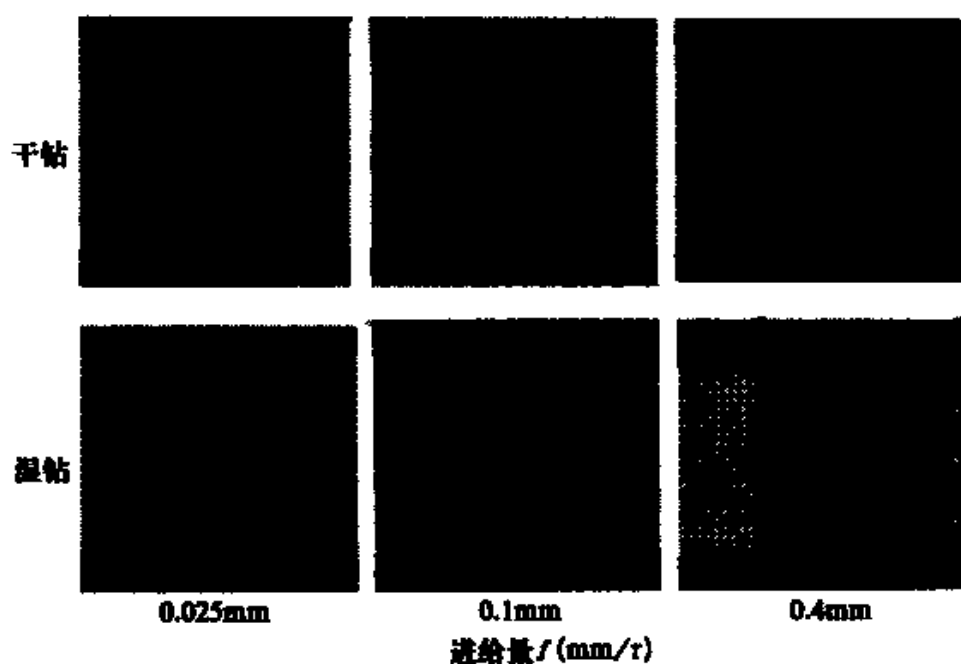


图 3-28 钻削硬聚氯乙烯时冷却液和进给量 f 对孔内壁质量的影响

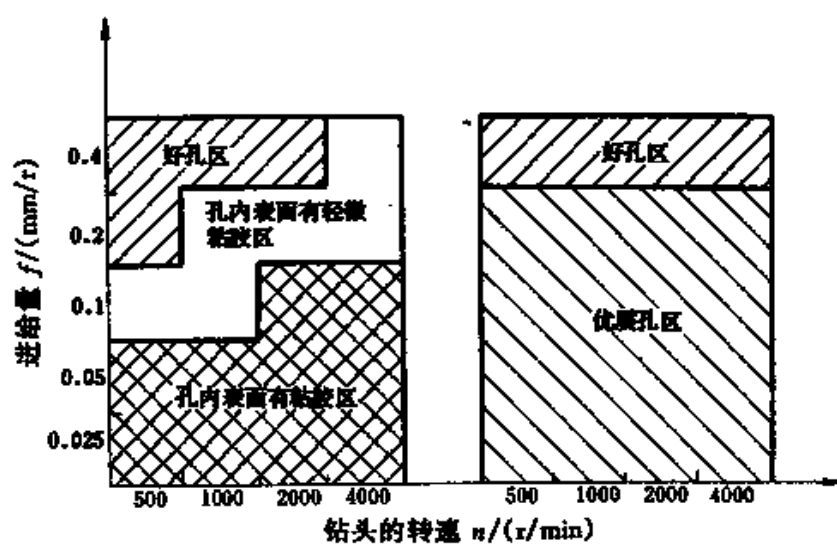


图 3-29 钻削硬聚氯乙烯时的最佳钻削条件

钻削硬聚氯乙烯的最佳切削条件可按图 3-29 来进行选择。这个图是选用钻头直径为 $\phi 8.1\text{mm}$ ，螺旋角 $\beta = 27^\circ$ ， $2\varphi = 120^\circ$ ，钻削聚氯乙烯所得到的实验结果。

总之，在硬聚氯乙烯材料上钻孔时，应尽量减少加工时产生的热量。如果钻孔的深度大于钻头直径时，则必须增大钻头的螺旋角，使切屑便于排出，另外，为了减少热量的产生，应当把钻头的横刃磨去 $2/3$ ，同时磨出副后角 $\alpha'_0 = 3^\circ \sim 5^\circ$ ；为了提高孔的表面质量和减少热量的产生要利用冷却液，如用水、乳化液或压缩空气进行冷却，都可获得较好的效果。

三、聚苯乙烯的钻削

聚苯乙烯有一定的机械强度，化学稳定性及电气性能都较优良，透气性好，着色性佳，并易于成型。但这种塑料耐热性太低，约为 80°C ，较脆，耐冲击强度低。聚苯乙烯主要用来制作仪表外壳，汽车罩，化学仪器零件等。

聚苯乙烯是塑料中难加工材料之一。在不加冷却液时进行钻削将发生严重的粘胶现象，所以在钻削时必须加冷却液。

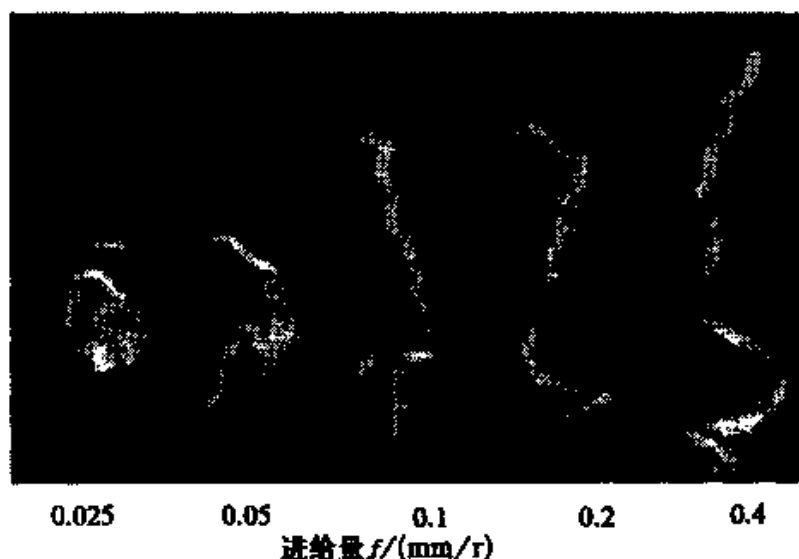


图 3-30 钻削聚苯乙烯时切屑形状

图 3-30 是用钻头直径为 $\phi 8.1\text{mm}$ ，螺旋角 $\beta = 27^\circ$ ，顶角 $2\varphi =$

120°, 以转速 $n = 2000\text{r/min}$ 的速度, 在不同的进给量 f 的条件下, 钻削聚苯乙烯所得到的切屑外观图片。很明显当进给量 f 减少到一定数值时, 即可出现粘胶的现象。但是当 f 足够大时, 切屑成为连续的, 不出现粘胶现象。当进给量 $f = 0.05\text{mm/r}$ 时, 若不用冷却液, 则切屑熔化并粘于钻头上, 如图 3-31 所示。在这种情况下, 如果采用冷却液, 则切屑就会成为连续的而不再产生粘胶现象, 如图 3-32 所示。这些切屑看起来似乎不连续, 但实际上基本是连续的。



图 3-31 切屑熔化并粘于钻头上

图 3-33 和图 3-34 是用钻头直径

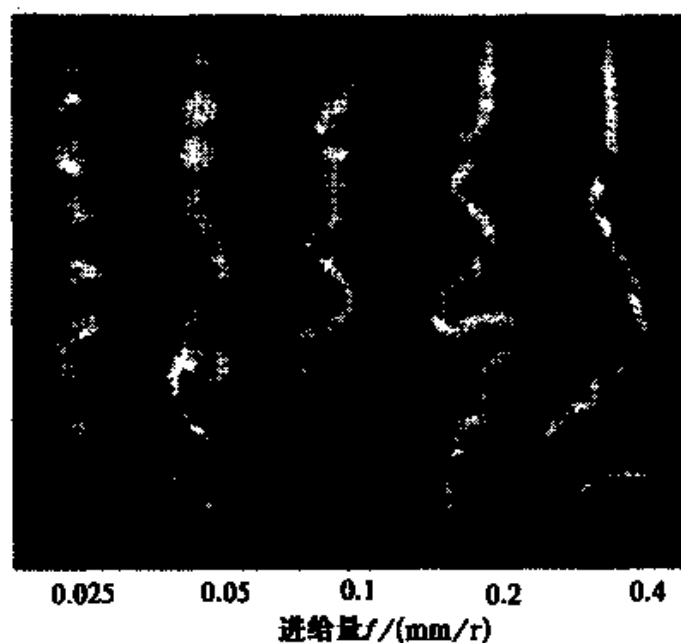


图 3-32 加冷却液时切屑形状

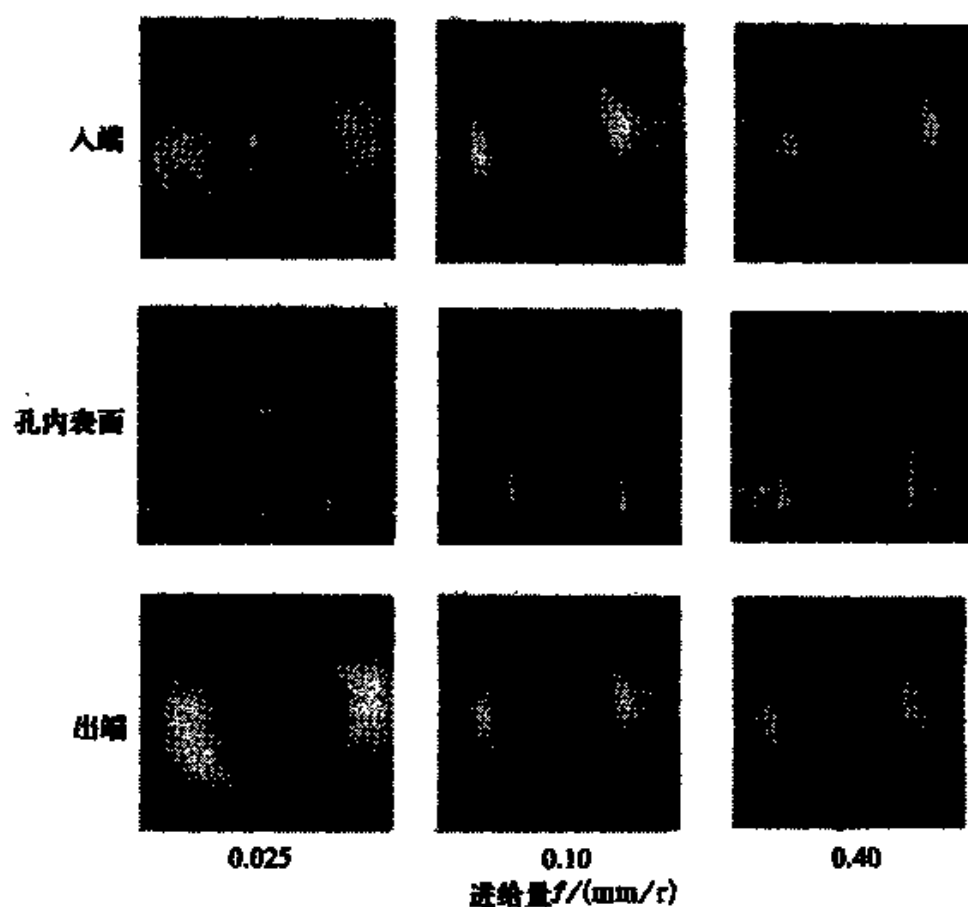


图 3-33 干钻时钻孔的入端、内表面和出端状态

$\phi 8.1\text{mm}$, 螺旋角 $\beta = 27^\circ$, 顶角 $2\varphi = 120^\circ$, 以转速 $n = 2000\text{r/min}$ 的速度, 分别在干钻和湿钻的条件下, 钻削聚苯乙烯时所得到的钻孔的入端、孔内表面和出端状态。在干钻的条件下, 可见孔的入端质量总比出端差; 当进给量太小时, 由于出现粘胶现象而使人端呈锥形; 由于粘胶作用, 在孔的内表面上可观察到进给的斑痕。当使用冷却液 (湿钻) 时, 上述弊病减小到最小程度, 如图 3-34 所示。比较干钻和湿钻这两个图, 很明显; 用冷却液比不用冷却液钻得的孔质量好。

图 3-35 和图 3-36 分别推荐了干钻和湿钻聚苯乙烯的最佳切削条件 (使用钻头直径 $d_0 = \phi 8.1\text{mm}$)。

总之, 钻削聚苯乙烯时应尽量用冷却液 (湿钻), 经验证明 5%

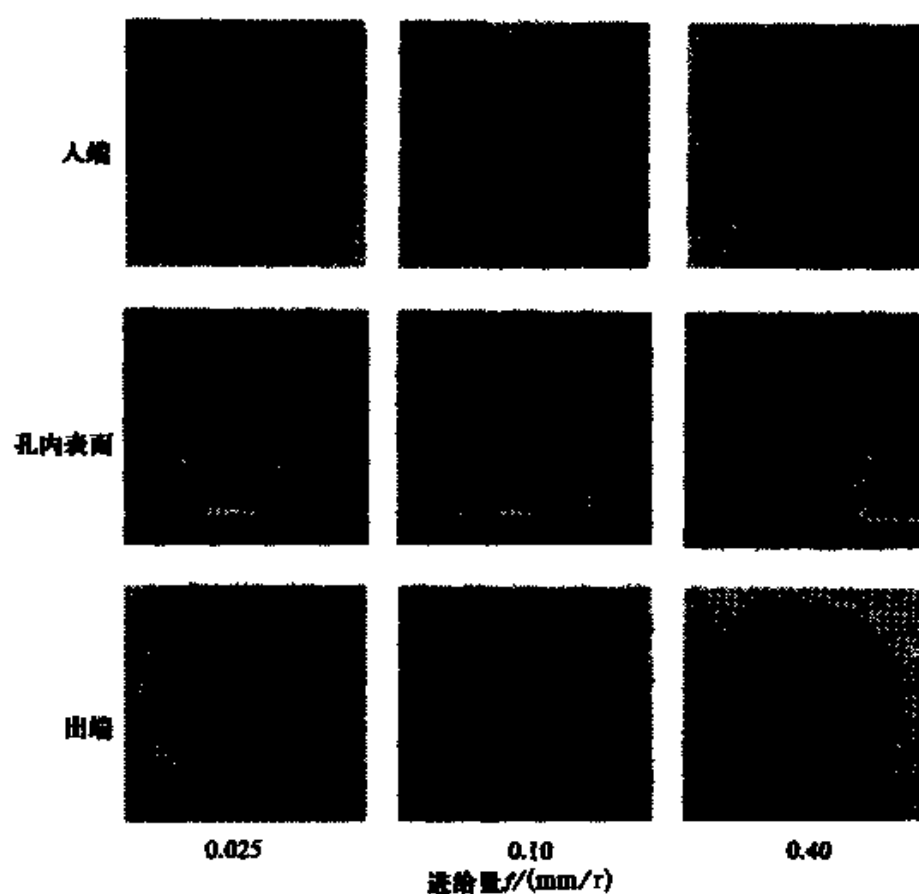


图 3-34 湿钻时孔的入端、内表面和出端状态

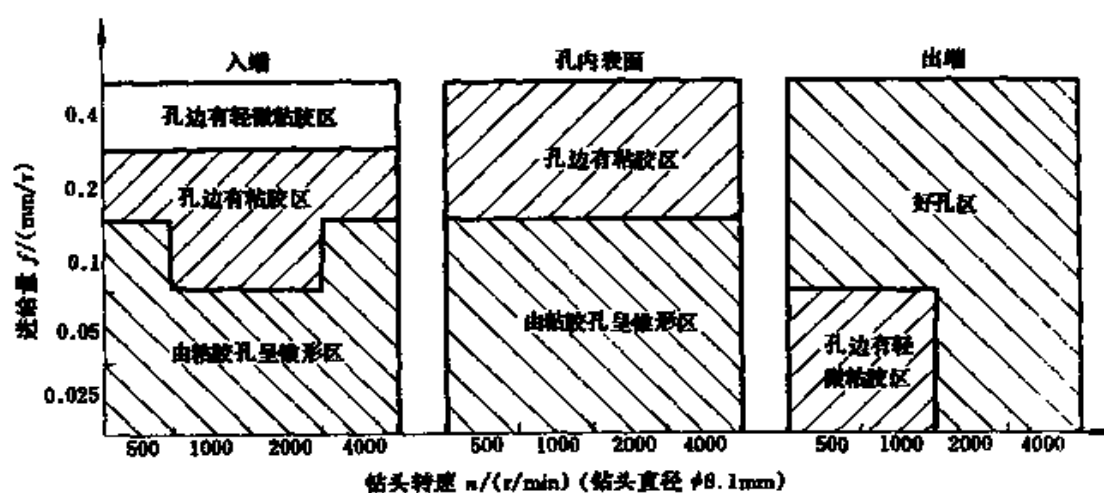


图 3-35 干钻聚苯乙烯时切削用量对孔的质量影响

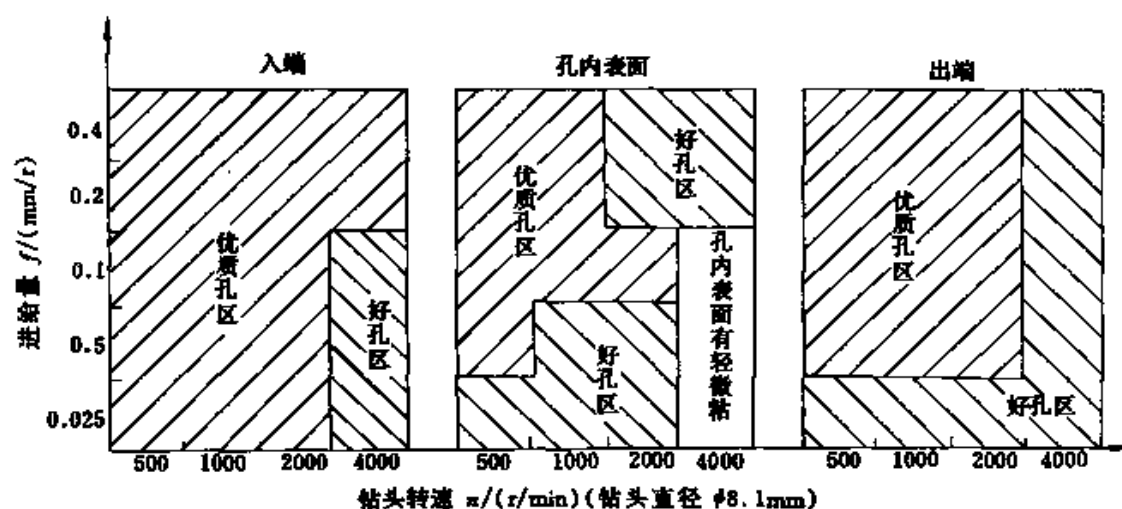


图 3-36 湿钻聚苯乙烯切削用量对孔的质量影响

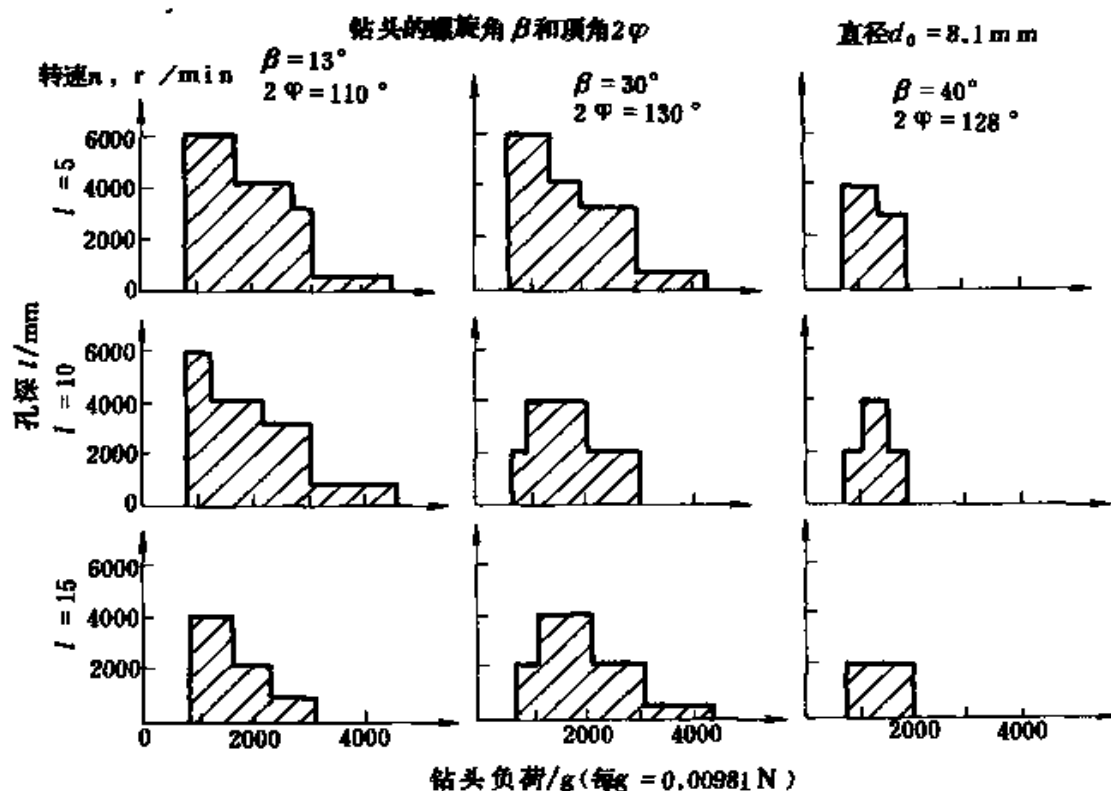


图 3-37 钻削有机玻璃的最佳切削用量

 $g=0.00981N$

的乳化液主要起冷却作用，尤其对聚苯乙烯的热膨胀系数较大以及热导率小的情况下，起到更好的效果；另外在这种乳化液中含有 5% 的矿物油，这种矿物油可使切屑和刀具之间的界面上存在间断的油膜，减少切屑和钻头螺旋面之间摩擦和加工表面对钻头后刀面及刃带对孔壁的摩擦，减少热量的产生，切屑也容易排除。钻削的进给量要选的适当，不能选的过小。为了排屑，应周期的将钻头从孔中退出来。

四、其他主要热塑性塑料切削用量的选择

(1) 有机玻璃 有机玻璃的切削用量可按图 3-37 来选取，图中影线部分即为最佳切削用量。

(2) 聚碳酸酯 聚碳酸酯的最佳切削用量如图 3-38，使用钻头直径 $d_0 = 8.1\text{mm}$ 。

(3) 聚酰胺（尼龙） 聚酰胺的最佳切削用量按图 3-39 来选（钻头直径 $d_0 = 8.1\text{mm}$ 时）。

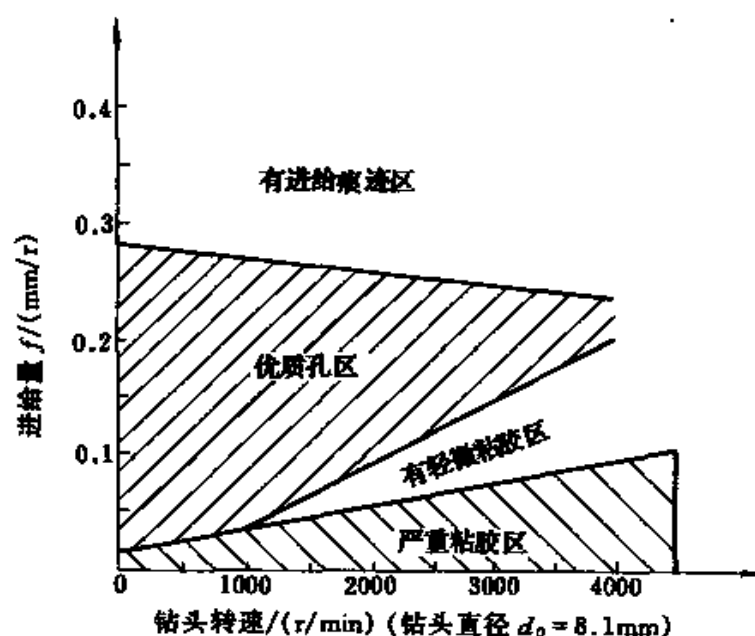


图 3-38 钻削聚碳酸酯的最佳切削用量

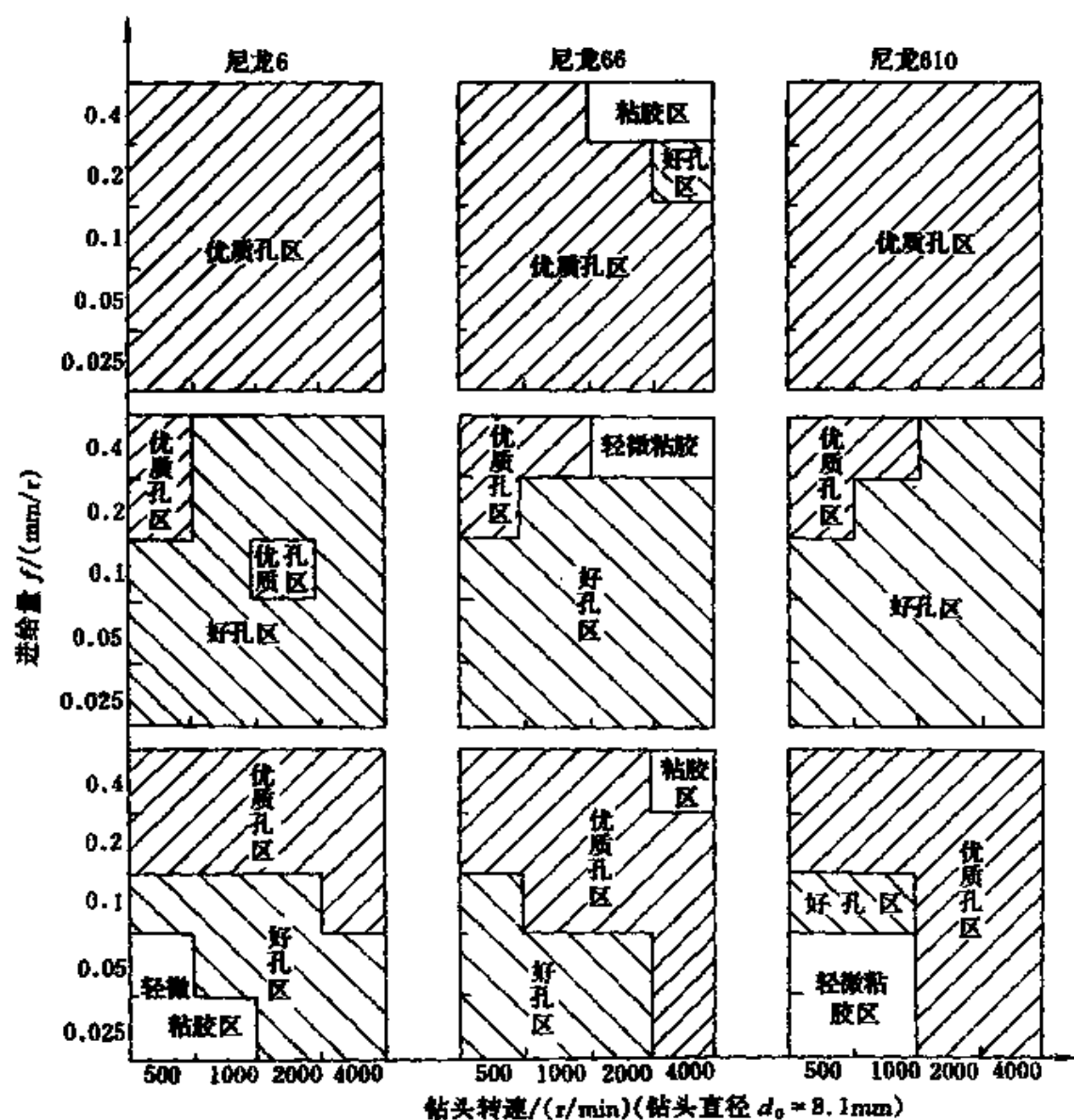


图 3-39 钻削聚酰胺的最佳切削用量

第五节 热固性塑料的钻削

钻削热固性塑料与钻削热塑性塑料不同，热固性塑料塑性很小，有的是非单一组织，有的中间夹有各种材料的夹层塑料，所以钻削时很容易形成破碎切屑。如选用冷却液进行冷却将形成糊状，使切削难

以进行，宜选用压缩空气进行冷却。由于很多热固性塑料的基材是玻璃布或玻璃纤维，对钻头会形成强烈的磨料磨损，使钻头磨损严重。钻削热固性塑料的钻头可以用高速钢或硬质合金标准钻头，也可以是只适用于某一种塑料的专用钻头。

热固性层压塑料的钻削加工性还取决于填料的特点。例如，布基层压塑料、酚醛胶纸板等属于各向异性塑料，它们的性质在很大程度上取决于夹层的方向。因此，在这类塑料上钻孔时，应力求使孔加工方向与夹层方向垂直，至少也应尽量避免填料层向与加工方向相同。如果填料层向与孔加工方向一致，工件很容易出现开裂或分层现象。钻削热固性塑料时，为防止出现裂纹，直径在 8mm 以上的孔应采取两次走刀，而且预加工孔径不应小于最终孔径的一半。

综上所述，钻削热固性塑料必须选用合理的切削用量，先进的钻头和适宜的工艺方法方能保证加工质量。

下面将分别叙述各种无基材的树脂（酚醛、环氧、聚酯、氨基等）和在各种树脂加有层状基材及其他基材的钻削特点、切削用量的选择。

一、浇铸聚酯树脂和浇铸氨基树脂的钻削

不饱和聚酯、氨基、酚醛和环氧树脂等热固性塑料与各种热塑性塑料比较起来，它们的耐热性较高，但机械强度较差，也比较脆，在外力的作用下易产生崩碎小块或裂纹。在浇铸不饱和聚酯树脂和氨基树脂工件上进行钻孔实验，当选择的切削条件和钻头的几何参数不适当时，发现沿孔的入端周边和出端周边产生裂纹。

图 3-40 是用钻头的螺旋角 $\beta = 20^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 15^\circ$ ，钻头转速 $n = 2000 \text{ r/min}$ ，以不同的顶角 2φ 和进给量 f 钻削铸塑不饱和聚酯树脂所得的照片。每张照片的上半部表示孔的入端情况，下半部表示孔的出端情况。从图中可见，当进给量 f 增大，顶角 2φ 增大时，无论是孔的入端还是出端的裂纹都增大。因为 f 增大后，则切削厚度 a_c 增大， 2φ 增大切削厚度 a_c 亦增大， a_c 增大后，作用于钻头单位长度的主切削刃上的力增大，当然钻头对被加工材料的反作用力也增大，由于热固性塑料强度低而且脆性大，故在周边易产生裂纹。为了防止裂纹，

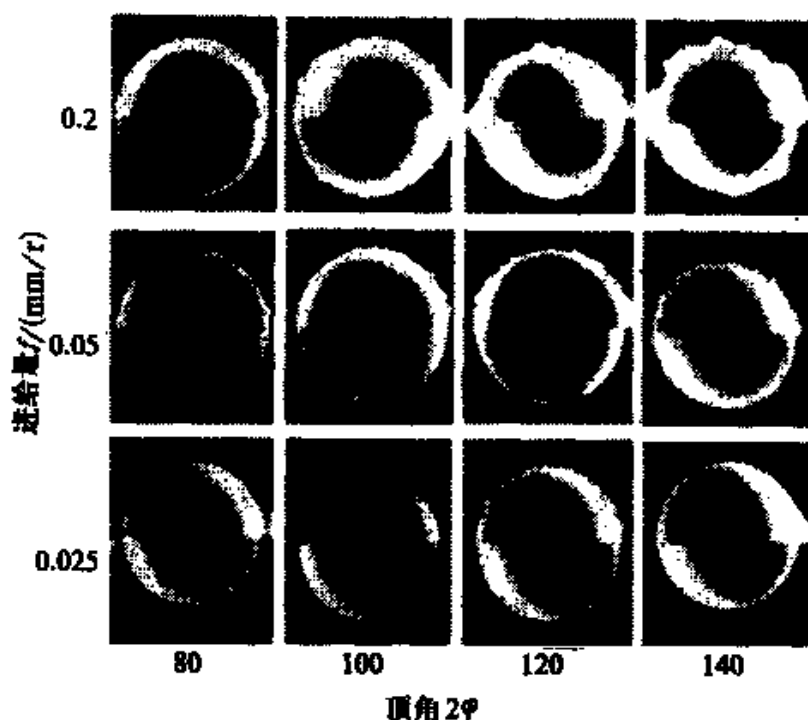


图 3-40 钻削浇铸聚酯树脂钻头顶角 2φ 和进给量 f 对孔的质量影响

可采用下述措施。

首先要合理的选择钻头几何参数和适宜的切削用量。图 3-41 是用钻头（钻头直径 $d_0 = 8.1\text{mm}$ ）的螺旋角 $\beta = 20^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 15^\circ$ ，钻头转速 $n = 2000\text{r/min}$ ，钻削浇铸聚酯树脂时，钻头顶角 2φ 和进给量 f 对孔的入端和出端的影响。

图 3-42 是在钻头的螺旋角 $\beta = 20^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 15^\circ$ ，钻头直径 $d_0 = 8.1\text{mm}$ ，顶角 $2\varphi = 80^\circ$ 的切削条件下，钻头转速 n 和进给量 f 对孔的质量的影响。

从上述分析可知，只要恰当地选择切削条件和钻头的几何参数，是可以钻出无裂纹的孔来。

其次是把被加工的材料适当的加温，使轴向力 F_x 下降，如图 3-43 所示的是铸塑不饱和聚酯树脂的温度对切削力的影响曲线图。

从曲线图上可以看出，随着被加工材料的温度的升高，轴向力 F_x 随之下降。而切削力下降，使孔的裂纹减少或不产生。另外，由

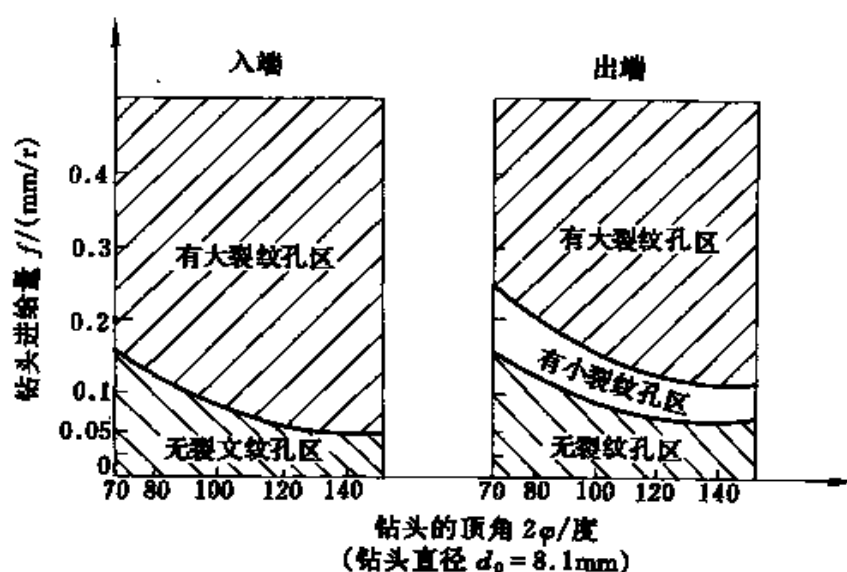


图 3-41 钻削浇铸不饱和聚酯树脂时钻头的 2φ 和 f 对孔的入端和出端质量的影响

于温度的升高而使材料的塑性升高，使材料不易产生裂纹。

氨基树脂也是使用较为广泛的一种热固性塑料。图 3-44 所示的是切削条件对钻削氨基树脂质量的影响。图 3-44a 是用钻头的螺旋角 $\beta = 36^\circ$ ， $2\varphi = 118^\circ$ 的条件下，钻头的转速 n 和进给量 f 对孔的内表面质量的影响，而图 3-44b 图是以同样的钻头，但固定钻头转速 $n = 465 \text{ r/min}$ ，改变其螺旋角 β 的情况下做出的。生产上可根据实际情况，互相配合地选择各参数，以达到获得优质孔的目的。

二、含各种基材的热固性塑料的钻削

有层状或纤维物质为基材的热固性塑料是一种复合材料。复合材料是由两种或更多种的物理和化学本质不同的物质，人工制成的一种多相固体材料。复合材料的最大优越性是它的性能比其各组成材料好的多。它具有如下特点。

(1) 它可改善或克服组成材料的弱点，充分发挥它们的优点。例如，玻璃和树脂的韧性和强度都不高，可是由它们组成的复合材料（酚醛玻璃纤维层压塑料）却有很高的强度和韧性，而且重量也轻。

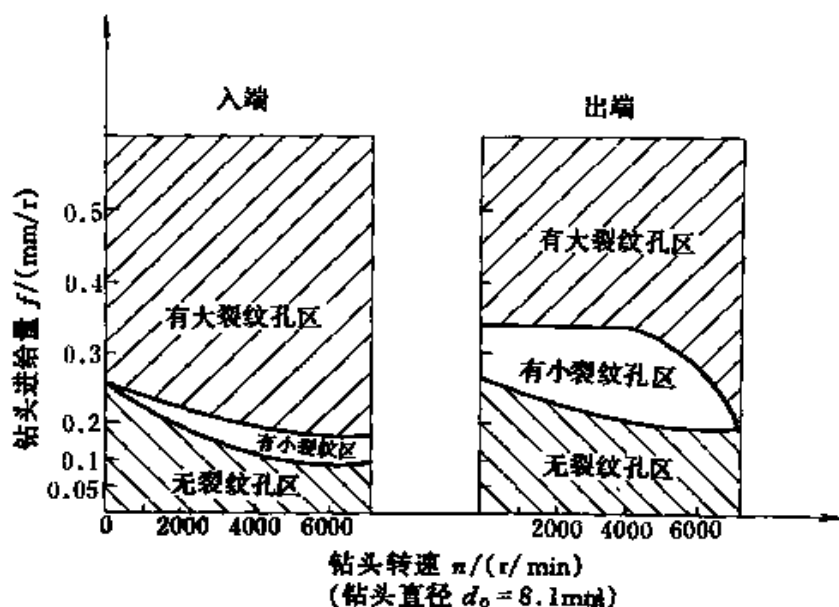


图 3-42 钻削浇铸聚酯树脂时钻头的转速 n 和进给量 f 对孔的入端和出端质量影响

(2) 它可按照构件的结构和受力要求，给出预定的、分布合理的配合性能，进行材料的最佳设计。例如，用缠绕法制造容器或火箭发动机壳体，使玻璃纤维的方向与主应力方向一致时，可将这个方向上的强度提高到树脂的 20 倍以上，最大限度地发挥了材料的潜力，并减轻了构件的重量。

(3) 它可制成单一材料不易具备的性能或功能，或在同一时间里发挥不同功能的作用。例如，由两层塑料和中间夹一层铜片所构成的复合材料，能在同一时间里，在不同方向上具有导电和隔热的双重功能，这种功能是单一材料所无法实现的。复合材料已在许多工业和技术部门得到广泛的利用。

以玻璃纤维为增强剂和以各种热固性塑料为粘结剂制成的复合材料，常用的热固性塑料有酚醛树脂、环氧树脂、不饱和聚酯树脂和有机硅树脂等。其中酚醛树脂应用的较早。酚醛玻璃纤维塑料和其他复合材料比较起来，质量轻、比强度高、耐腐蚀性能好，介电性能优越，成形性能良好。它的比强度比铜合金和铝合金高，甚至比合金钢

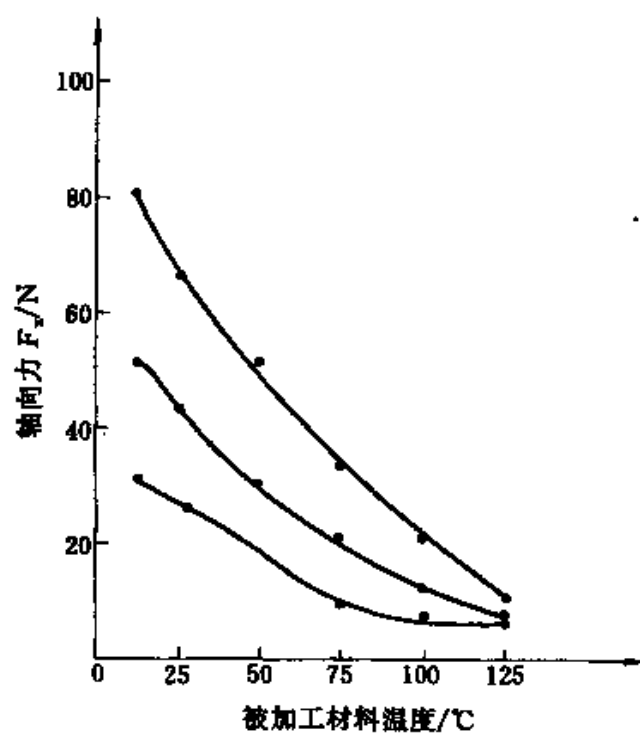


图 3-43 铸型不饱和聚酯树脂的温度对切削力的影响

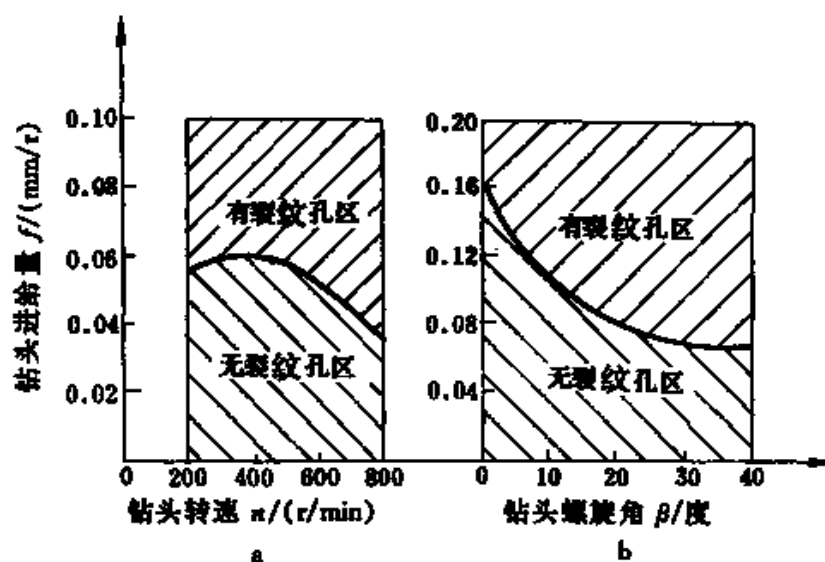


图 3-44 切削条件对钻削氨基树脂质量的影响

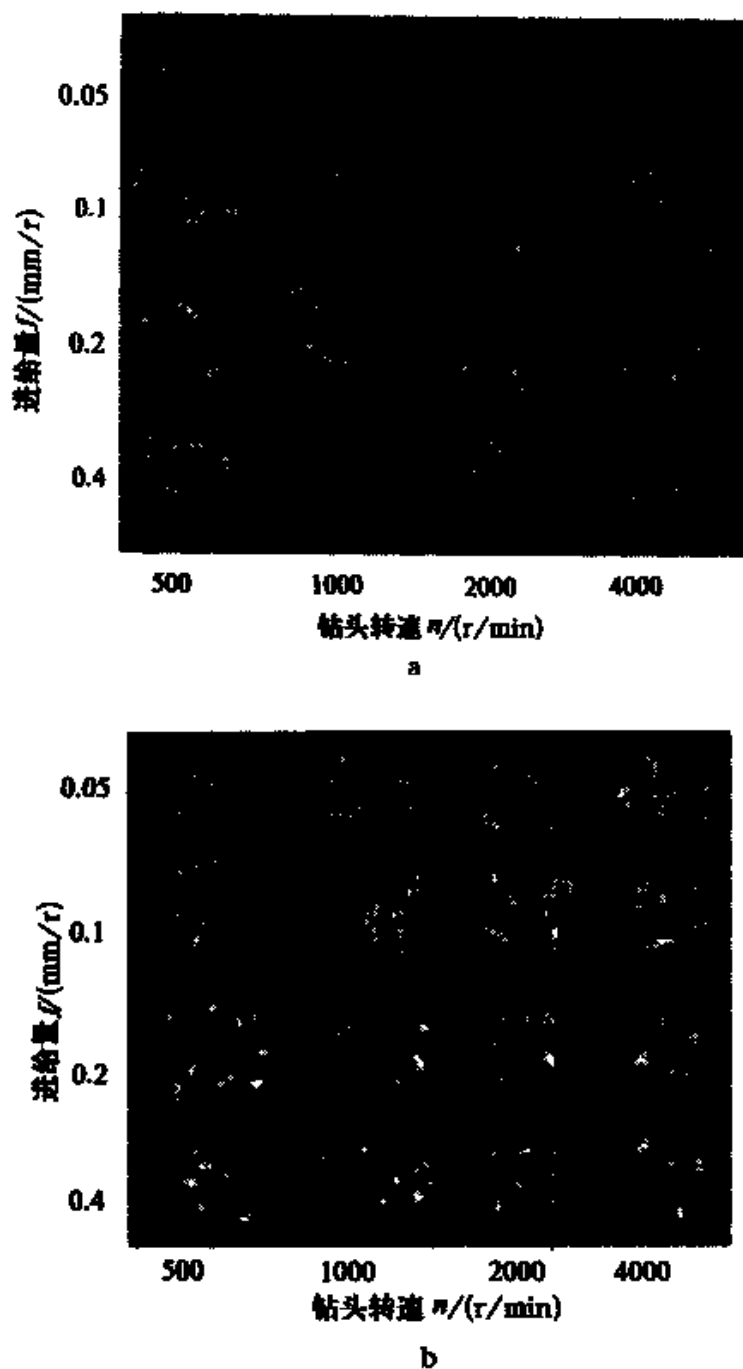


图 3-45 钻削热固性层压塑料时进给方向垂直或平行基材时得到的切屑形状

还高，耐热性也较高；在 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 温度下可长期工作，可耐瞬时超高温；但成型工艺性差，需要在高温高压下成形；收缩率大；吸水性

大；固化后较脆；刚度较差，只为钢的 $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{5}$ ；容易老化，容易蠕变。

在热固性塑料中，也经常以纸和棉布为基材做成各种复合材料，以适应工业上的需要。

以玻璃纤维、纸和棉布为基材，以热固性塑料为粘结剂的复合材料应用极为广泛，从各种机器的护罩到形状复杂的构件；从各种车辆的车身到不同用途的配件；从电机、电器上的绝缘抗磁仪表、器件，到石油化工中的耐蚀耐压容器、管道等，都有越来越多的不同取代的用途。在这些零件和部件上的钻孔，是一道最常用的工序，其质量的好坏直接影响着零件、部件和机器的机械性能。

对上述机件的钻孔，都类似在薄板上进行钻孔。由于它们是非单一的结构，钻孔时必须慎重。例如，在钻削时切削条件选择不当或钻头的几何参数选择不合理，会引起孔的入端和出端加厚、破碎、孔壁起毛、热胀、涂抹和烧焦等现象；也会造成排屑困难和切屑撕啃钻沟等不利影响，致使钻头的寿命下降。

在钻削热固性层压塑料时，钻头进给方向和基材平行或垂直对钻削过程有很大的影响。对钻削力进行测定可以得出，当进给方向垂直于基材时，扭矩矩先是增加，然后下降，这点和钻削其他塑料一样；而轴向力 F_x 则是迅速地增大到一个最大值，然后下降，当钻头的尖部到达薄板的底面时，则 F_x 力突然降低到零，继而反向增加。 F_x 力为负值表明在钻削结束后，由于孔的尺寸缩小，材料的弹性和热胀性使钻头受到摩擦所致。这时材料易受拉。

当钻头进给方向和基材垂直或平行基材时，扭矩矩波动范围较大；轴向力 F_x 达到最大值后，只是缓慢的降低。

图 3-45 是钻头进给方向和基材垂直或平行基材时分别得到的切屑形状。图 3-45a 是钻头进给方向垂直基材时所得到的切屑形状，从图中可以看出，所得到的切屑几乎是连续的切屑；图 3-45b 是钻头进给方向平行基材所得到的切屑形状，此条件下则得到破碎切屑，这就是扭矩矩波动的原因。从切屑角度来分析，连续切屑孔壁的表面质量比破碎切屑孔壁表面质量要好，即是钻头进给方向垂直于基材比平行

基材钻削的孔的质量好。在生产中，应当尽量避免钻头的进给方向和基材平行，如果必须平行时，为了保证加工质量，被加工工件应夹的很紧。

图 3-46 是用顶角 $2\varphi = 120^\circ$ ，螺旋角 $\beta = 27^\circ$ 的钻头，以不同的转速 n 钻削酚醛纸基层压塑料时得到的照片。从图中可明显的见到热胀和热裂的情况。用不同的转速 n 和不同的载荷在同一块塑料板上钻孔，而后进行其质量检查，可获得如图 3-47 所示的结果。由图可见，如果想要得到理想的钻削条件是比较困难的。在孔的入端几乎全有热胀现象，在孔的出端也找不到一个完好的孔。如果把钻头修磨成如图 3-48 所示，使钻头两主切削刃外缘处不等高，则就大大提高了孔的质量。用这种方法进行修磨的钻头在同样的切削条件下做实验，可得图 3-49 所示的结果，使孔的质量得到了改善，容易得到理想的孔。

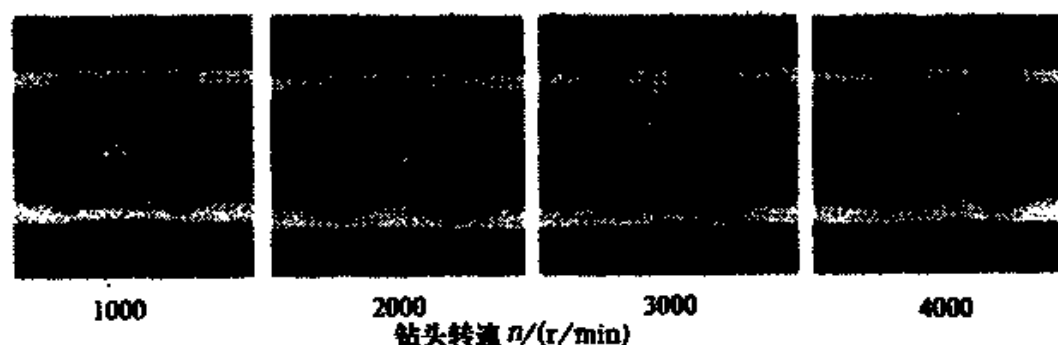


图 3-46 钻削酚醛纸基层压塑料时钻头转速 n 和载荷对质量的影响

在钻削酚醛棉布层压塑料时，通常形成不连续切屑，并且在孔的周边上几乎观察不到热胀和裂纹现象，因此，与钻削以浸渍纸为基材的热固性塑料相比，切削条件可以放宽点。图 3-50 是钻削酚醛棉布层压塑料时的最佳切削条件。实验时选用钻头顶角 $2\varphi = 120^\circ$ ，螺旋角 $\beta = 27^\circ$ 。但是，应当指出，钻削这种热固性塑料时进给量 f 对孔的质量有一定的影响。图 3-51 是以不同进给量 f ，用钻头转速 $n = 2000\text{r/min}$ 所得孔的质量照片。从图中可见，进给量 f 小时，孔的入

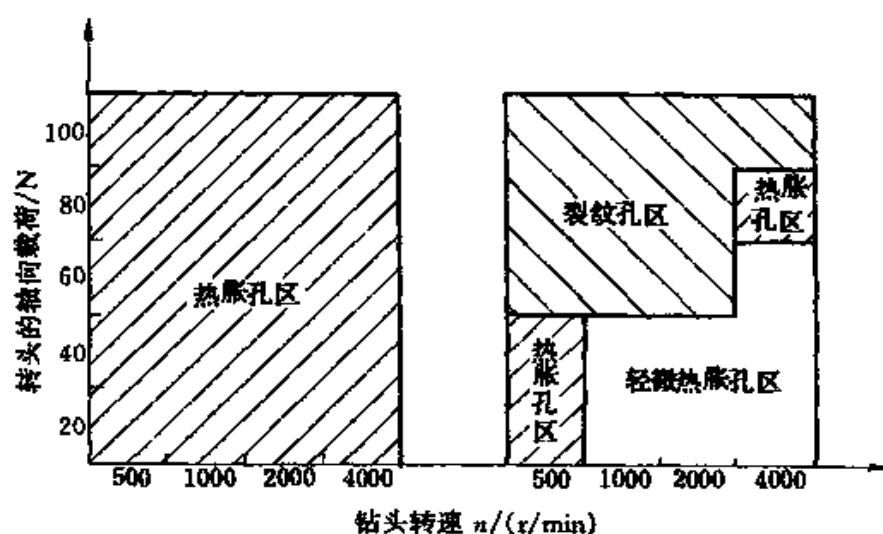


图 3-47 钻削酚醛纸基层压塑料最佳切削条件

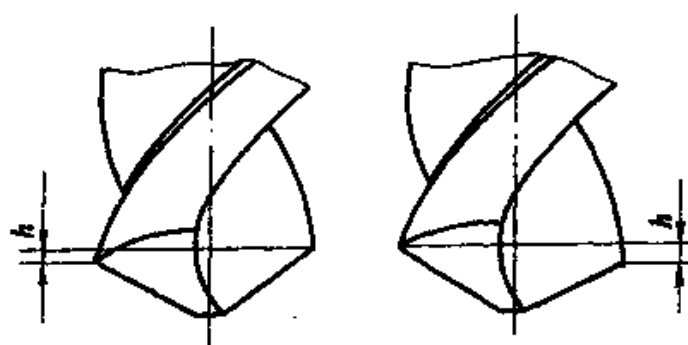


图 3-48 钻削酚醛纸基层压塑料用的钻头

端、出端及内表面较进给量 f 大时好。

随着电子装置性能和微型化的发展，多层印刷电路板已得到广泛的应用，因而对这类电路板的钻孔工作的研究有着十分重要的意义。

印刷电路板的钻孔，要求孔的内表面应尽可能保持光洁，不产生裂纹。而且孔径又非常小，并且在一块板上需要钻很多孔，这样就造成加工工艺的很多困难。

图 3-52 是用渗碳钻头钻削环氧树脂玻璃纤维层压塑料中间夹有铜板的电路板遇到的问题。从图 a 可以看出孔的内表面很粗糙；图 b

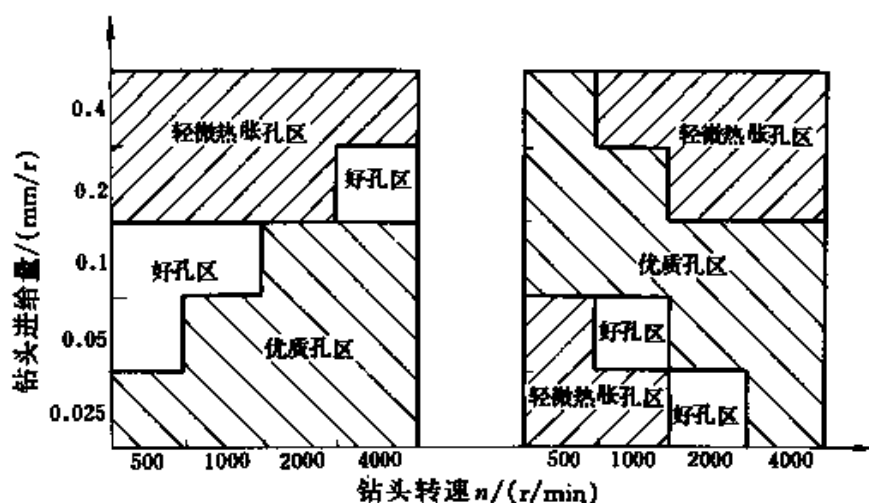


图 3-49 用修磨后的钻头钻削酚醛纸基塑料的最佳切削条件

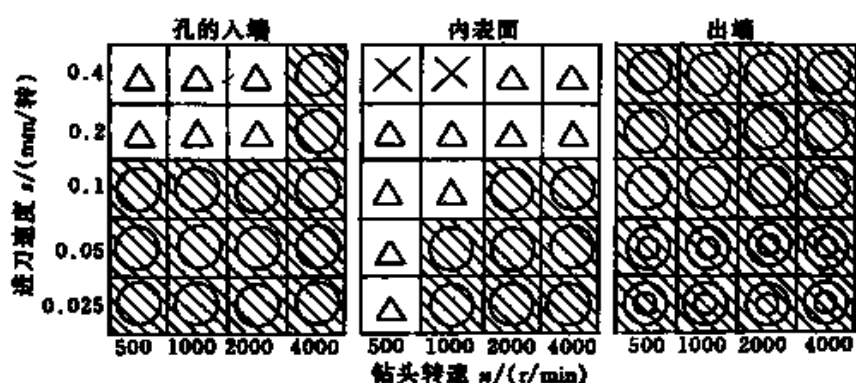


图 3-50 钻削酚醛棉布层压塑料的最佳切削条件

⊙—优；○—好；△—稍微热胀；×—热胀

可见铜板有明显的凹切现象；图 c 可清楚的看出铜板的切面象钉头一样的扩展；图 d 可看出白色的是铜层的切削表面，在白色的切削表面上可清楚的看出有黑斑和涂层，这是由于钻削时热效应作用，使环氧树脂变软涂于铜层上（称环氧树脂涂层）；图 e 可见沿孔边铜层的膨胀和毛刺。这些缺陷的存在，可能造成废品或产品质量的下降，影响产品使用效果。

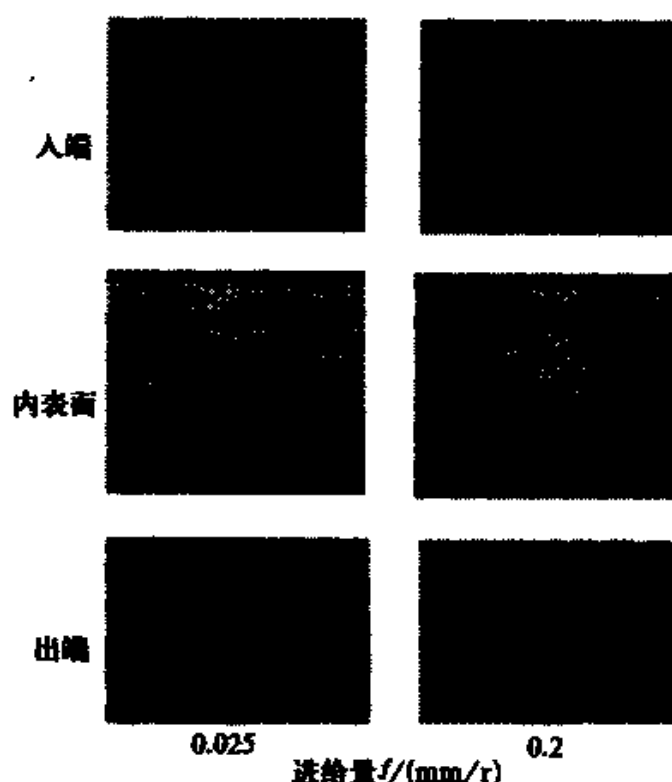


图 3-51 钻削酚醛棉布层压塑料时进给量 f 对孔的质量影响

产生上述缺陷，是由于钻头的几何参数不合理和工艺方法不适宜而造成的。

通过实验可知，钻削这种材料钻头的磨损很快。磨损主要发生在钻头的外缘、后刀面和前刀面，其中以后刀面的磨损为最严重。在切削时，由于弹性回复较大，所以对后刀面磨损很大。由于后刀面磨损的结果，切削温度会急剧的升高，当温度达到一定高度后，可使环氧树脂变软而形成涂层的缺陷。这样，为了得到满意的结果，应采用较大的后角，经验证明以 20° 为适宜。为了使后刀面耐磨和减少后刀面和切削表面之间的摩擦，在后刀面上涂上一层耐磨材料并加以研磨，它一方面可以提高钻头的寿命，同时也可以减少摩擦系数，因此减少或消除环氧树脂的涂抹现象。

在工作前，对钻头两个主切削刃和横刃的对称性要进行严格地测量，会使孔的质量得到很大的提高。必须控制两主切削刃之差和横刃

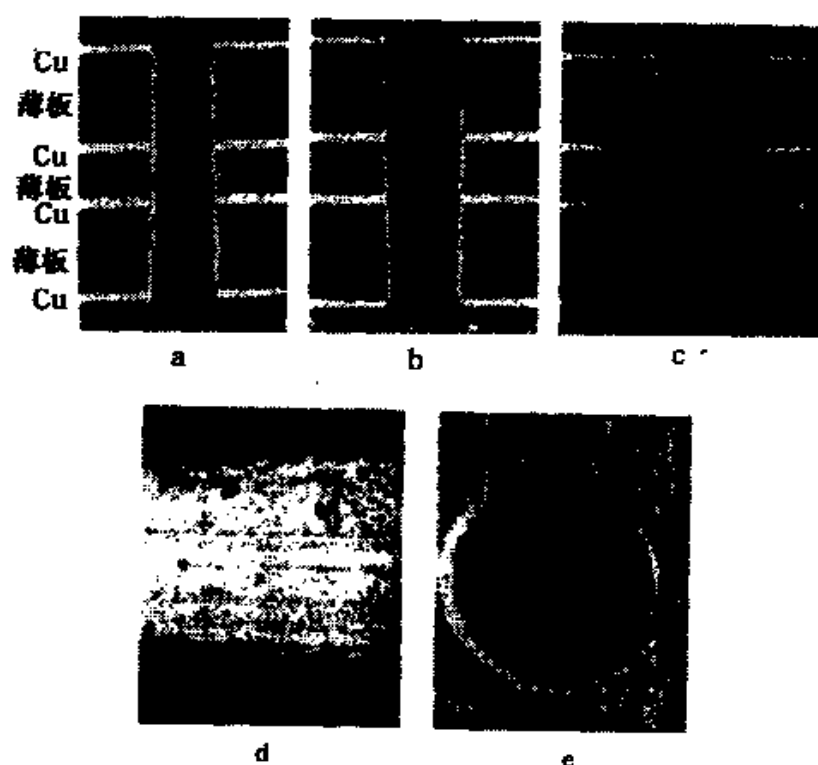


图 3-52 钻削环氧树脂玻璃纤维层压塑料中间夹铜板的
电路板产生的问题

的对称量在 0.01mm 以下。

为了排屑方便，应加大钻头沟槽的尺寸，可避免切屑的堵塞和减少切屑对钻沟面的磨损。

钻削的轴向力 F_z 主要来源于横刃的切削，因为横刃处是以 $(-54^\circ \sim -60^\circ)$ 的前角切削。横刃过长切削力大，切削温度升高，所以应当尽量减小横刃的长度。据有关资料推荐，钻削电路板把横刃磨去 $2/3$ ，钻削效果较好。此外钻削电路板时，切削用量对孔的质量影响很大，如图 3-53 所示。

值得提出的是，热固性塑料钻孔后往往会出现收缩现象，收缩量高达 0.05 ~ 0.15mm，因此，钻头直径应比加工孔径相应加大。玻璃布层压塑料钻孔后却发生孔的扩张现象（过一昼夜后稍有收缩，但

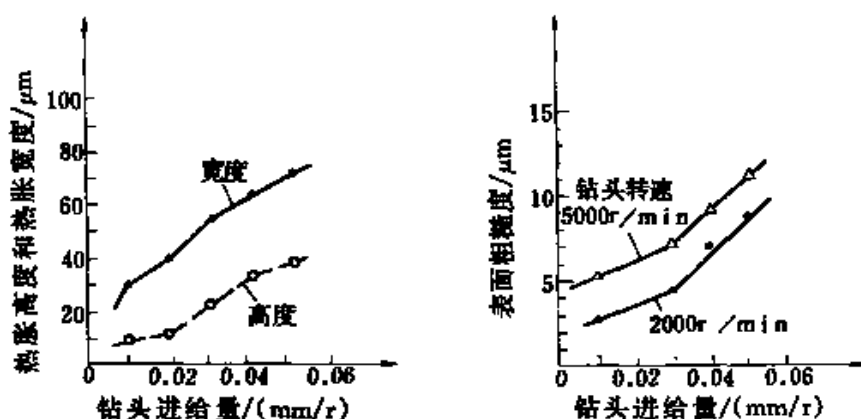


图 3-53 钻削电路板时切削用量对孔的质量影响

95%的孔仍比钻头直径略大), 孔径总比钻头直径略大, 孔加工精度相当于 IT9 ~ IT10 级。根据美国资料介绍, 钻削玻璃布层压塑料合理的经济精度为: $\phi 5\text{mm}$ 孔为 $\pm 0.1\text{mm}$, $\phi 5 \sim 10\text{mm}$ 孔为 0.15mm , $> \phi 10\text{mm}$ 孔为 $\pm 0.20\text{mm}$ 。而玻璃布层压塑料的孔的扩张量为: 环氧酚醛层压玻璃布板为 $0.005 \sim 0.02\text{mm}$, 酚醛玻璃纤维层压塑料为 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$, 航空用玻璃布层压板为 $0.02 \sim 0.04\text{mm}$ 。由此可见, 这些扩张量对加工精度影响不大, 在设计钻头时可以不考虑。

第六节 钻削塑料的钻头

加工塑料的钻头经常需要修磨切削刃, 以满足在各种塑料上钻出优质孔, 用手工刃磨, 很难保证两钻尖处于同一垂直于钻头轴线的直线上 (若不能这样, 则钻削中塑料下部分各层将分层), 因此, 钻头只能是使用专门夹具且在万能刃磨机床上刃磨。下面例举出钻削各种塑料时修磨钻头的实例。

一、钻削热固性层压塑料的钻头

据国外有关资料介绍, 钻削以纸、棉布和玻璃纤维为基材的热固性层压塑料, 推荐用图 3-54 所示的钻头, 其各部分的几何参数可从表 3-5 中查得。这种钻头是把横刃磨得很小。图 3-54a 图是钻尖高于修磨切削刃的高速钢麻花钻头。用这种钻头钻削玻璃布层压塑料、布

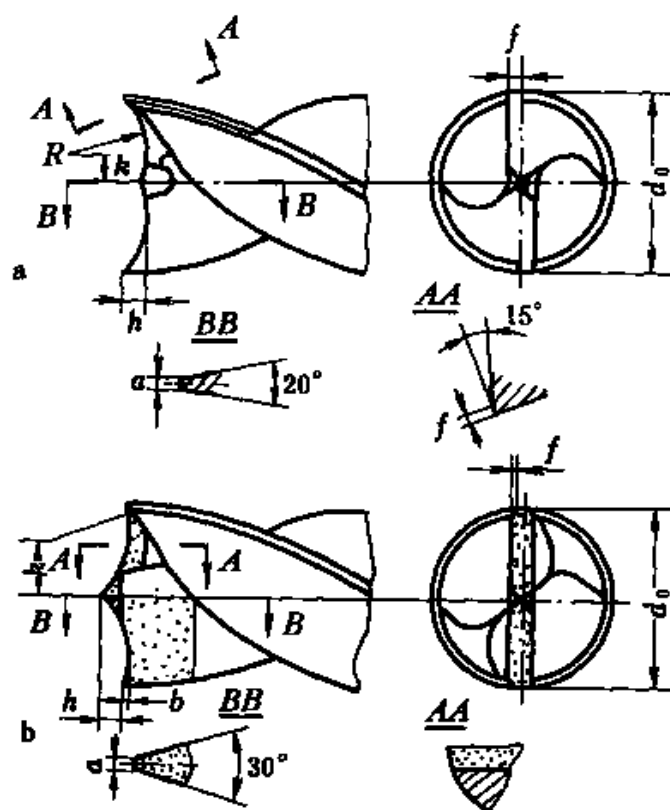


图 3-54 钻削热固性层压塑料的钻头

基塑料、纤维塑料能完全消除加工孔在钻头入口和出口处周缘的填料起毛现象，能提高表面质量，但位置精度不好。

图 3-54b 是钻尖低于修磨切削刃的硬质合金麻花钻。它可用于加工布基塑料，而玻璃布层压塑料只宜用这种结构的硬质合金钻头来钻削。这种结构的钻头的一个主要特点是每条切削刃在每个瞬间只切断一层填料的纤维，并不损坏它与基体材料之间的联接。当这种钻头磨钝后，被加工材料在钻头钻出处可能发生分层现象。

修磨切削刃钻头适用于在预制孔的基础上钻孔。它可防止由于工艺系统刚性差而使钻头轴心偏斜的现象，可保证纤维结构的塑料尤其是布基塑料钻孔时的周缘质量，即使钻头后刀面磨损量高达 $0.2 \sim 0.25\text{mm}$ 时，这种钻头也不会引起塑料起毛。

表 3-5 修磨切削刃钻头的几何参数

单位: mm

d_0	R	h	b	k	f	d_0	R	h	b	k	f
10	3	2.8	1	0.8	0.3 ~ 0.4	22	6.6	4.2	2.2	2	0.4 ~ 0.5
10.5						23	6.9	4.5	2.4		
11	3.3	2.9	1.2	1.0		24	7.2	4.6	2.4		
11.5						25	7.5	4.0	2.6		
12	3.6	3	1.2	1.2		26	7.8	5.0	2.6	2.5	
13	3.9					27	8.1	5.2	2.8		
14	4.2	3.2	1.4	1.4		28	8.4	5.4	2.8		
15	4.5	3.4	1.5			29	8.5	5.4	3.0		
16	4.8	3.5	1.6	1.5		30	9.0	6.0	3.0	3	
17	5.1	3.6	1.8			32	9.3	7.0	3.2		
18	5.4	3.8	1.8	1.8		40	12.0	7.2	4.0		
19	5.7	3.8	1.8			42	12.6	7.5	4.2		
20	6.0	4	2	1.8		45	13.5	8	5		
21	6.3	4.2	2.2			50	15	8.5	6		

用高速钢修磨切削刃钻头加工布基塑料时, 顶角 $2\varphi = 70^\circ \sim 90^\circ$, 钻头顶尖修磨角 $\varepsilon = 20^\circ$, 后角 $\alpha_0 = 15^\circ$, 副后角 $\alpha'_0 = 8^\circ$ 。

用硬质合金修磨切削刃钻头加工布基塑料时, $2\varphi = 70^\circ \sim 80^\circ$, $\varepsilon = 20^\circ$, $\alpha_0 = 15^\circ$, $\alpha'_0 = 8^\circ$ 。用硬质合金修磨切削刃钻头加工玻璃布层压塑料时, $2\varphi = 90^\circ$, $\varepsilon = 42^\circ$, $\alpha_0 = 20^\circ$, $\alpha'_0 = 12^\circ$ 。

图 3-55 是我国开关厂用的一种钻削热固性层压塑料薄板 (0.5 ~ 5mm) 的钻头。在近钻心处后刀面和沿横刃处的后刀面上磨出窄的平面, 使窄面上形成后角 $\alpha_0 \approx 0^\circ$, 用形成这小窄面压紧工件。塑料薄板的钻削较为困难, 由于塑料弹性大, 工件易跳动, 经常出现废品。而使用这种钻头加工时, 切削平稳, 工件不用卡紧。生产证明, 即使在钻头转速高达 $n = 1500\text{r/min}$ 、进给量 $f = 0.3\text{mm/r}$ 时也不易产生废品。

图 3-56 是钻削热固性层压塑料的另一种先进钻头, 它主要用来

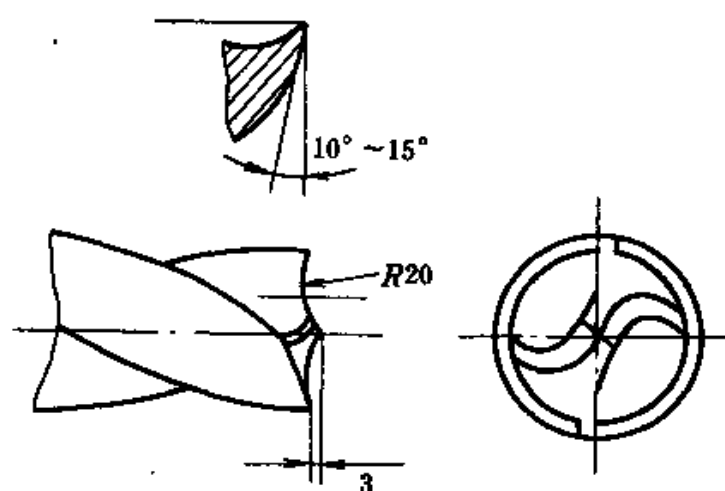


图 3-55 钻削热固性层压塑料薄板的钻头

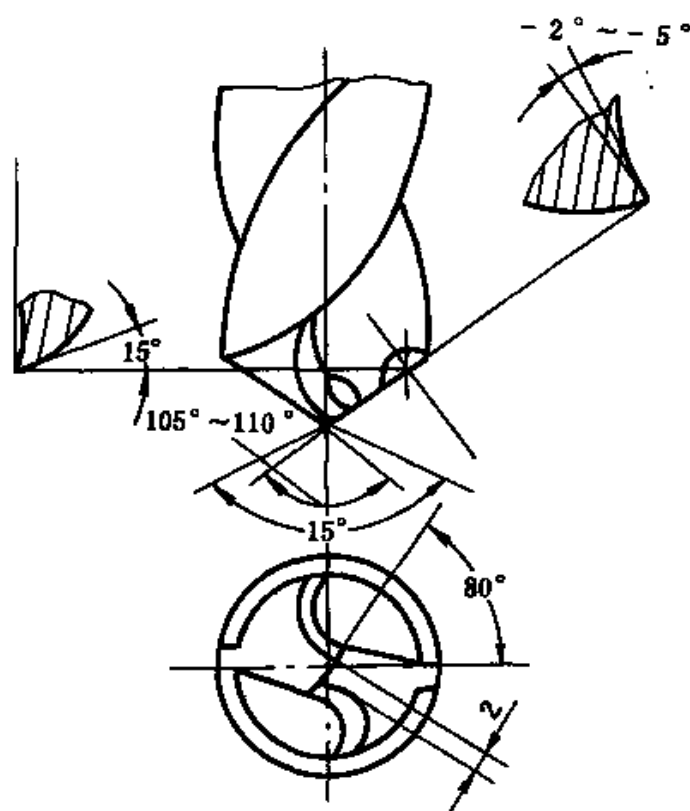


图 3-56 钻削以纸为基材的热固性层压塑料的钻头

钻削以纸为基材的热固性层压塑料。为了减少钻削的阻力，把钻头横刃修磨为 2mm，近横刃处前角 $\gamma_0 = 0^\circ$ ，把近外缘处的前角修磨成 $\gamma_0 = -2^\circ \sim -5^\circ$ 。这样横刃被修磨成一段锋利且前角为零。因此产生的热量少，提高了刀具的寿命。生产实践表明，在 15 ~ 50mm 厚的板材上钻削直径 $d = 15 \sim 32\text{mm}$ 的孔时，不用冷却液或高压风冷，加工出来的孔不起毛，没有烧焦现象，也没有因温度过高而产生发黄的缺陷。

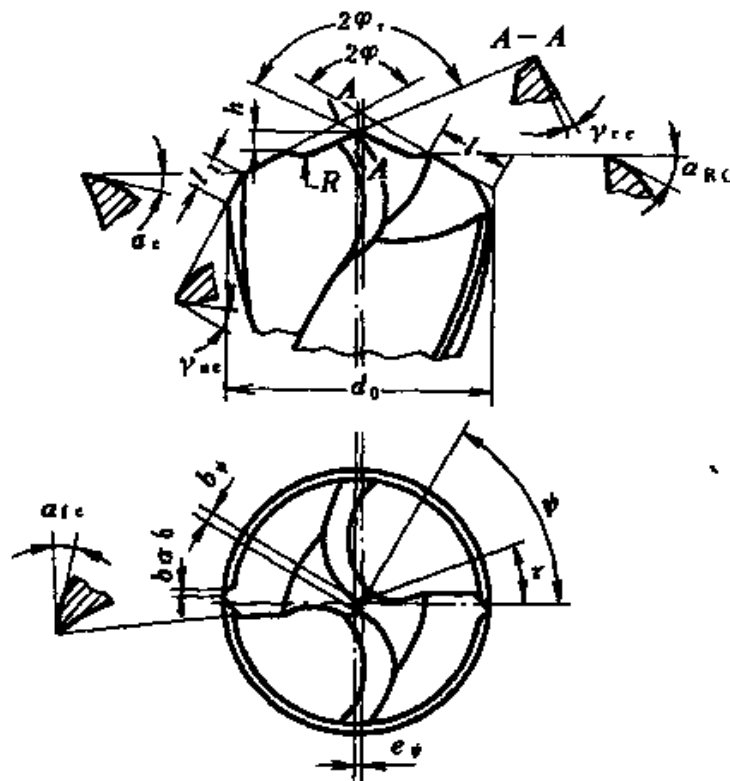


图 3-57 钻削高硅玻璃纤维基材的热固性层压塑料的钻头

图 3-57 是钻削高硅玻璃纤维热固性层压塑料的群钻。这种塑料和其他热固性塑料一样，弹性系数小，弹性变形大，传热慢，耐热性差。但由于在基材中含 SiO_2 达 90% 以上，在钻削中 SiO_2 相当于很硬的质点，起着强烈的磨料磨损作用，使切削刃磨损严重，这种塑料比其他热固性塑料可钻性都差，通常，钻削这种材料利用 YG8 或 YG6 硬质合金钻头，可提高切削用量，钻头寿命也较高。在不得已时，需

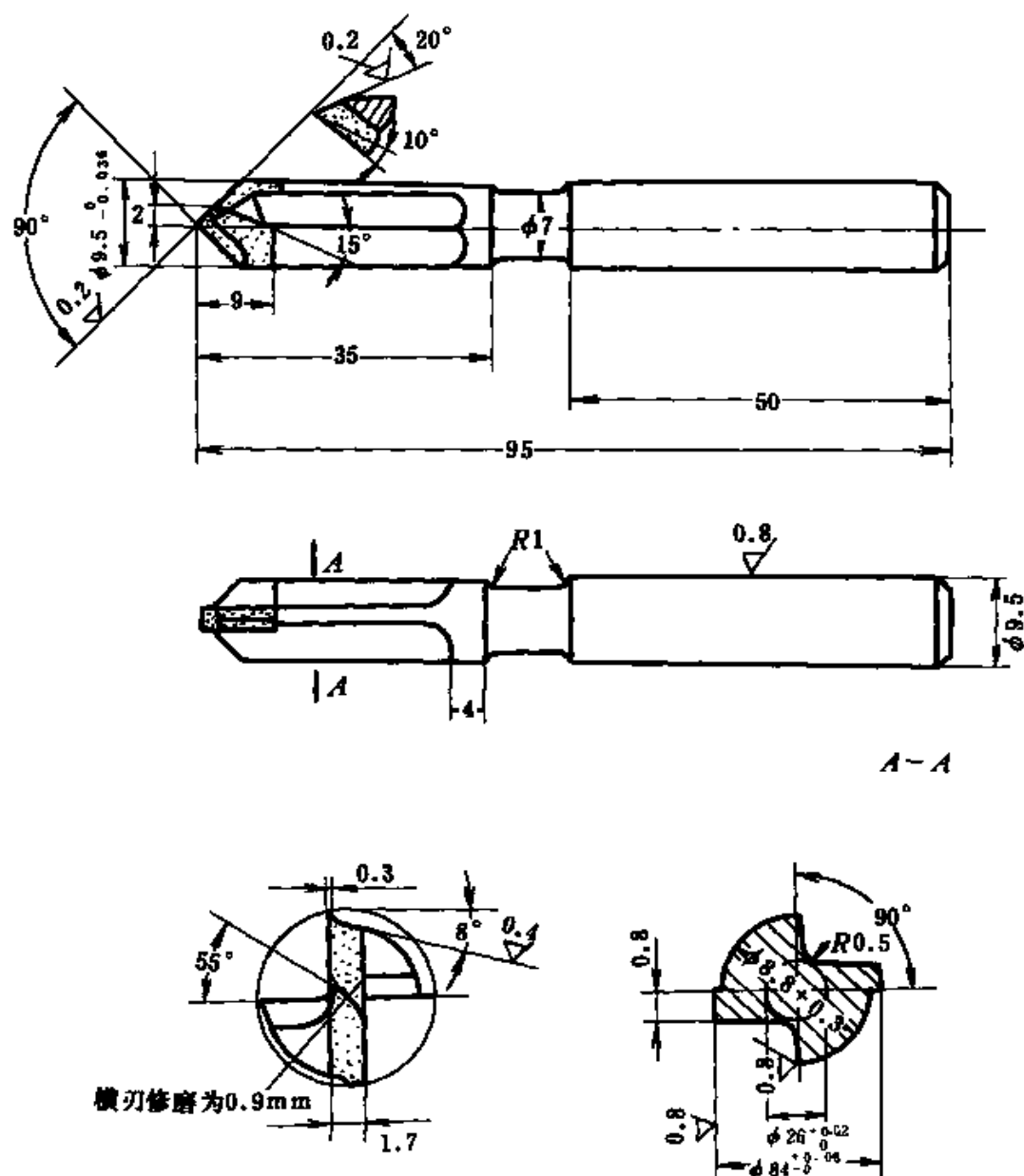


图 3-58 钻削酚醛玻璃纤维层压塑料的硬质合金直钩钻头

要采用普通高速钢钻头时, 则应从修磨几何形状入手。修磨后的几何参数为: $2\varphi = 120^\circ \sim 150^\circ$; $2\varphi_{\tau} = 135^\circ$; $\psi = 65^\circ$; $\tau = 25^\circ$; $\alpha_{fc} = 15^\circ$ (或 $\alpha_c = 10^\circ$; $\alpha_{Rc} = 18^\circ$; $\gamma_{rc} = -15^\circ$; $\gamma_{nc} = 22^\circ$; $h = 0.05d_0$; $R = 0.2d_0$; $b_{\psi} = 0.04d_0$; $l = 0.3d_0$; $l_1 = l/2$; $ba'_0 = 0.1\text{mm}$; 钻削这种塑

料时切屑呈破碎粉末状不易排屑，所以为了排屑方便，应选取较低的切削速度和较大的进给量，以便形成较大块的不连续切屑。图 3-57 所示的钻头主要特点是：

- ① 将外刃顶角加大到 $2\varphi = 120^\circ \sim 150^\circ$ ，小直径钻头取小值；
- ② 适当加大圆弧刃的圆弧半径 R 和尖高 h ，从而使圆弧槽较浅，刃尖处的刃尖角 ε 增大，应适当加大横刃长度 b_ψ ；
- ③ 为避免孔径收缩，将钻心尖磨出 $0.15 \sim 0.2\text{mm}$ 的偏心距，适当加大后角 α_{fc} 和圆弧后角 α_{Rc} ，以减少钻头后刀面的摩擦，有利于提高刀具寿命；
- ④ 适当修磨外缘转点处的前刀面，缩短刃带宽度，同时减小前角，并形成较大的负刃倾角，从而改善外缘转点的散热条件和减少刃带的摩擦。

使用这种群钻，建议采取切削用量 $v = 5\text{m/min}$ ， $f = 0.9 \sim 1.2\text{mm/r}$ ，这样还能减少切削热的形成，提高群钻的寿命。

在钻削酚醛玻璃纤维层压塑料时，利用镶有硬质合金刀片的直槽钻头效果也很好，其结构尺寸如图 3-58 所示。

这种钻头的刀片是用 YG6 或 YG8 硬质合金做成的，而刀体则是 40X 钢做的，热处理后的硬度 HRC40 ~ 45。

二、钻削有机玻璃的钻头

有机玻璃（聚甲基丙烯酸甲酯）导热性差，耐热性很低，切削温度不应超过 60°C ；如果在钻孔中，有微粒、碎末，或其他物体与孔壁发生摩擦，则会降低透明度；钻孔后，在内应力的影响下，往往产生所谓“银斑”状裂纹；切削时形成连续的带状切屑，切屑容易堆起，粘在棱边和螺旋槽上，堵住钻头的沟槽。为了得到透明的优质孔，推荐使用图 3-59 所示的群钻。图中的几何尺寸可从表 3-6 中查得。从表 3-6 中可见，钻头的倒锥较大，前角和后角都较大。在钻削时，为了降低切削温度应加冷却液或高压空气进行冷却。

三、钻削聚酰胺的钻头

聚酰胺（尼龙）是一种耐热性差、塑性大的热塑性塑料。由于切削温度升高，可能使切屑碎末粘在钻头的切削刃上，使孔内表面产生

裂纹。因此，将横刃修磨到 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ ，并使其高出切削刃。这样，产生的热量少，定心也好；修磨成分屑槽，切屑变窄而使它容易排除不至于粘在切削刃上，如图3-60所示。

四、金刚石环形钻头

金刚石环形钻头生产率高，寿命高，在层压板上加工大孔的质量好，适用加工磨料性能强的塑料，如玻璃纤维增强塑料、石棉水泥、人造云母等等，也可用来加工钢筋混凝土和其他耐火材料。但是，金刚石环形钻必须是在专门的高速钻床上使用，普通钻床的转速太低，不能满足这种钻头的要求。

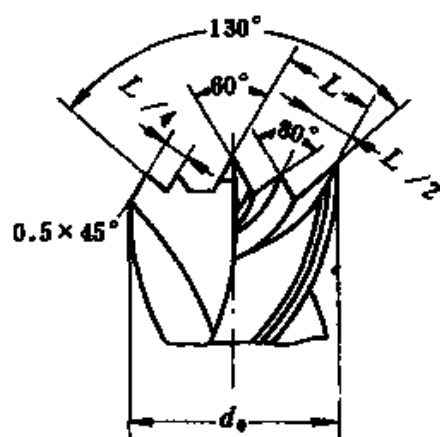


图 3-60 钻削聚酰胺的钻头

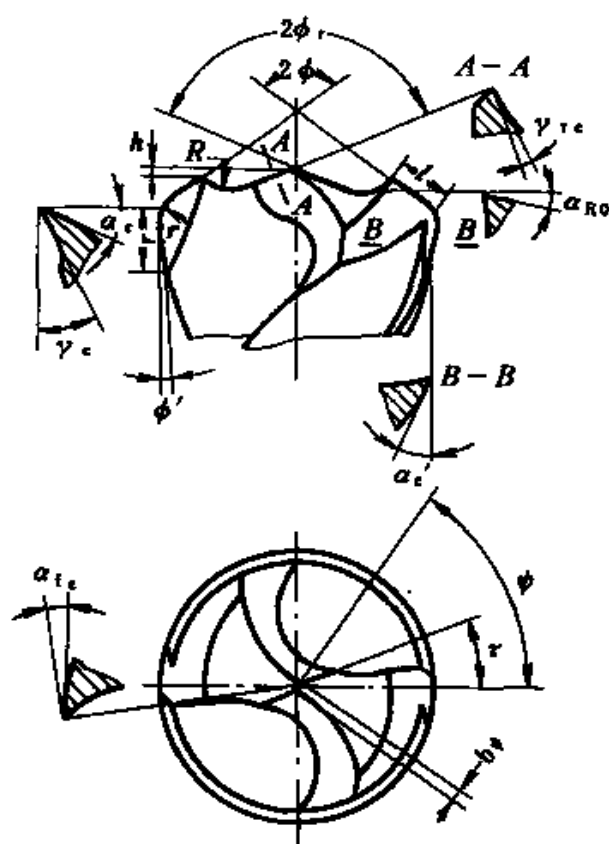


图 3-59 钻削有机玻璃的群钻

图 3-61 所示为前苏联研制的一种新型金刚石环形钻。该钻用于用手动机械进行加工的场合（如在船身上钻孔），寿命较高。在这四块扇形块上镀一层粒度为 400/315 或 315/250 的金刚砂 1，环形钻柄部 3 钻出空心槽，以输入压缩空气。压缩空气经过钻身端部的窄槽将切削区的切屑吹走，同时也起冷却作用。这一点对于不能使用冷却润滑液的玻璃纤维增强塑料来讲尤

其重要。

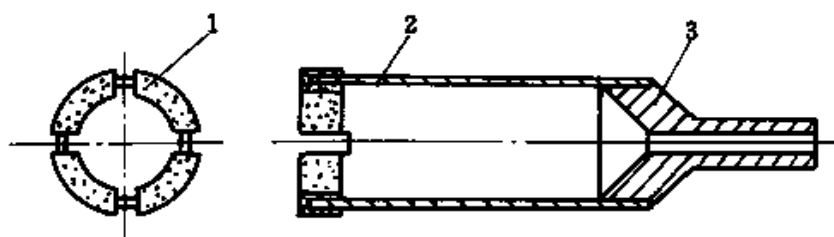


图 3-61 金刚石环形钻

1—金刚砂层；2—钻身；3—柄部

在实验室条件下，用直流电机和主轴转速可调速装置（3000 ~ 13000r/min）对环形钻的钻削用量和加工质量进行研究。在每次试验中，进给力均取 16N，钻削深度为 6mm（相当于常见的玻璃纤维增强塑料结构的中等壁厚），实验发现，随着钻头转速的提高，进给量可大幅度增加（对于不同的钻头直径，进给量分别可增加 1.6 ~ 2 倍）。就是说，只要能提高钻削速度，就可提高生产率。这对于许多型号的手工气动机械具有特别的意义，因为这些机械的主轴转速是可调的，在空程时可高达 17000 ~ 50000r/min，而在载荷情况下则降到 5000r/min 以下。

在其他条件不变时，钻头直径增大，进给量应有所减小，以减小摩擦功。

某船厂对直径为 5 ~ 16mm 的金刚石环形钻进行了生产试验。电机功率为 200 ~ 250W，空气消耗量 0.30 ~ 0.35m³/min，在负载情况下气动钻主轴转速为 6000 ~ 8000r/min，在进给量高达 200mm/min 时钻头仍能有效地工作，且其寿命比高速钢 W18Cr4V 钻头高 35 ~ 40 倍，加工表面粗糙度为 $R_a = 3.2 \sim 6.5\mu\text{m}$ ，孔的精度也符合要求。

第七节 塑料孔的铰孔和镗孔

在塑料孔的加工中，精加方法有扩孔、铰孔等。本节我们只简单介绍一下铰孔和镗孔。

一、铰孔

铰孔是在钻孔后提高孔加工精度的一种常见工序。使用的刀具有圆柱铰刀、锥形铰刀、可调直径铰刀及自动定心浮动铰刀。

铰刀可以是直槽的或螺旋槽的。如果用直槽铰刀铰孔，必须用顶尖顶住铰刀柄部的中心孔，起导向作用，否则铰出来的孔容易变成多边形。

铰孔时，为了提高铰孔精度，可采用粗精两铰刀铰孔，且在铰孔过程中使用冷却液。对于不宜使用液体冷却的塑料，应该在铰刀的容屑槽上涂抹机油进行润滑。

表 3-7 是加工 IT6 级精度的孔使用的钻头、粗铰刀和精铰刀尺寸。表中的精铰刀尺寸采取基孔制 IT6 级精度的公差。此外，同钻孔一样，铰孔时，由于塑料变形而发生收缩，对于不同的直径，收缩量在 0.01 ~ 0.05mm 范围内。设计较大直径时应注意考虑这一点。

表 3-7 塑料孔加工时钻头与铰刀直径 单位：mm

孔 径	铰前钻头直径	粗铰刀直径	精铰刀直径	孔 径	铰前钻头直径	粗铰刀直径	精铰刀直径
3	2.9	—	3h7	24	23.9	23.94	24h7
4	3.9	—	4h7	25	24.75	24.94	25h7
5	4.8	—	5h7	26	25.5	25.94	26h7
6	5.8	—	6h7	28	27.8	27.94	28h7
8	7.8	7.96	8h7	30	29.9	29.93	30h7
10	9.7	9.96	10h7	32	31.9	31.93	32h7
12	11.9	11.95	12h7	35	34.9	34.93	35h7
13	12.7	12.95	13h7	38	37.9	37.93	38h7
14	13.7	13.95	14h7	40	39.5	39.93	40h7
15	14.7	14.95	15h7	42	41.9	41.93	42h7
16	15.5	15.95	16h7	45	44.9	44.93	45h7
18	17.5	17.94	18h7	48	47.9	47.93	48h7
20	19.5	19.94	20h7	50	49.8	49.93	50h7
22	21.5	21.94	22h7				

铰孔时需要经常检查孔的尺寸，尤其是在加工玻璃布层压塑料等磨料性能强的材料上铰孔，铰刀切削刃容易磨损，或者铰刀被卡住甚至折断。

铰孔的切削用量范围是： $v = 15 \sim 100 \text{m/min}$ ， $f = 0.1 \sim 0.5 \text{mm/r}$ 。

二、铤钻

加工塑料的铤钻前端带有导向锥或导向轴，用于铤钻孔或圆柱形浅槽，它们的结构设计和制造工艺基本上与加工金属材料的铤钻相同。

加工热塑性塑料的铤钻可采用碳素工具钢或高速钢。图 3-62 所示是加工热塑性塑料的 W18Cr4V 锥形铤钻。工作部分硬度 HRC62 ~ 65，柄部硬度 HRC30 ~ 40，整个圆柱工作部分上的锥度不得超过 0.02mm。表 3-8 是这种铤钻的结构参数。

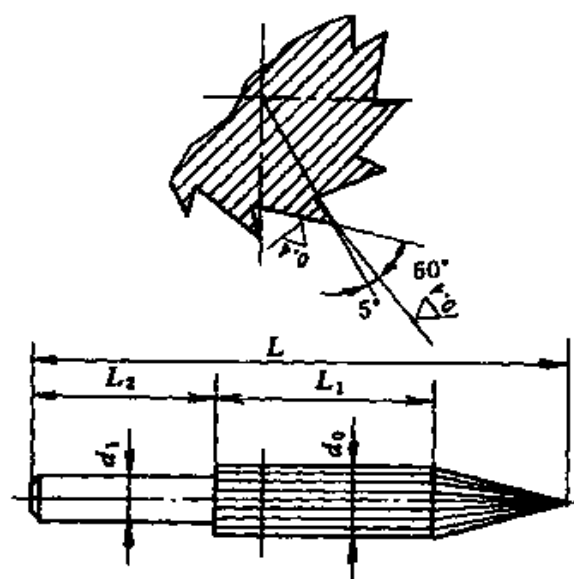


图 3-62 加工热塑性塑料的锥形铤钻

表 3-8 锥形铤钻结构系数

单位：mm

d_0	d_1	L	L_1	L_2	齿数 z (个)
6	6	100	40	35	8
7					9
8					10
9					11
10					12
11			35	40	13
12					14
13					15
14					17
15					19
16			30		20

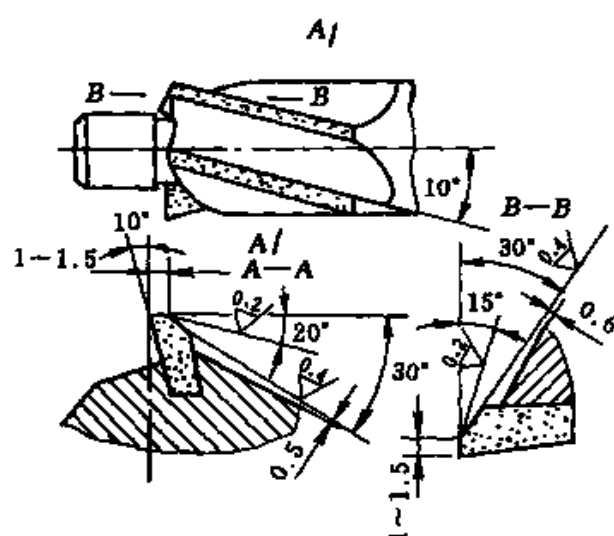


图 3-64 硬质合金铤钻

和研磨。螺旋槽铤钻的耐磨性比直槽铤钻好，切削用量 $v = 30 \sim 90\text{m/min}$ ， $f = 0.05 \sim 0.12\text{mm/r}$ 。

加工塑料的铤钻主要有以下几个特点：

① 前角 γ_0 和后角 α_0 较大；

② 加工金属的铤钻刀齿后刀面有 0.3mm 左右的刃带，而加工塑料的铤钻不应制出刃带，否则铤钻难以切入弹性大而硬度低的材料；

③ 为了保证铤钻有重磨的贮备量，将铤钻基本直径加大，加大量为孔加工公差 $1/3$ ；

④ 导向轴与被加工塑料上的孔之间的间隙应比加工金属时大。因为如果轴径太小，导向轴与被加工塑料（尤其是玻璃布层压塑料）的摩擦太大，温度升高，塑料膨胀，孔径收缩，导向轴易被楔住。

第四章 塑料的铣削加工

第一节 铣刀的种类和用途

铣刀是一种在圆周上或端面上具有多齿多刃的回转刀具。铣削加工的主运动是铣刀绕自身轴线的高速旋转运动，进给运动可以是直线运动，也可以是旋转运动，还可以是螺旋运动。铣削加工的进给运动大多数是由工件完成的。塑料的铣削加工是在铣床上用铣刀对塑料进行的切削加工。

在单件或小批生产中，可利用金属切削机床（如卧式、立式万能铣床、龙门铣床、仿形铣床和专门化铣床等）进行加工各种表面。但在大批大量生产的情况下，由于塑料和金属的性质不同，因此加工方法有很大差异，应当设计专门加工塑料的铣床，以适应塑料的切削加工。这种加工塑料的铣床的主运动速度和进给运动速度应比切削金属用的铣床高，并应设计专用的夹紧装置和回收及排除切屑与粉尘的装置。

铣削加工可以利用不同的铣刀，在相应的各种铣床上进行各种表面的加工。根据加工表面不同，大致可以分为以下四类铣刀。

一、加工平面的铣刀

(1) 圆柱形平面铣刀 如图 4-1a，圆柱铣刀大多用在卧式铣床上，加工时，铣刀轴线平行于加工面，可以铣削较窄的塑料工件的平面。其刀齿分布在圆柱面上，没有端面刀齿。刀具可分为整体和镶齿的两种。

(2) 端铣刀 如图 4-1b，端铣刀主要用在卧式铣床或立式铣床上，加工时铣刀轴线垂直于加工面，铣刀杆是悬臂的，可以铣削较大的塑料工件的平面。它可以分为整体和镶齿两种。镶齿的可分为：镶焊硬质合金刀片端铣刀、镶齿端铣刀和机夹可转位端铣刀。由于镶齿

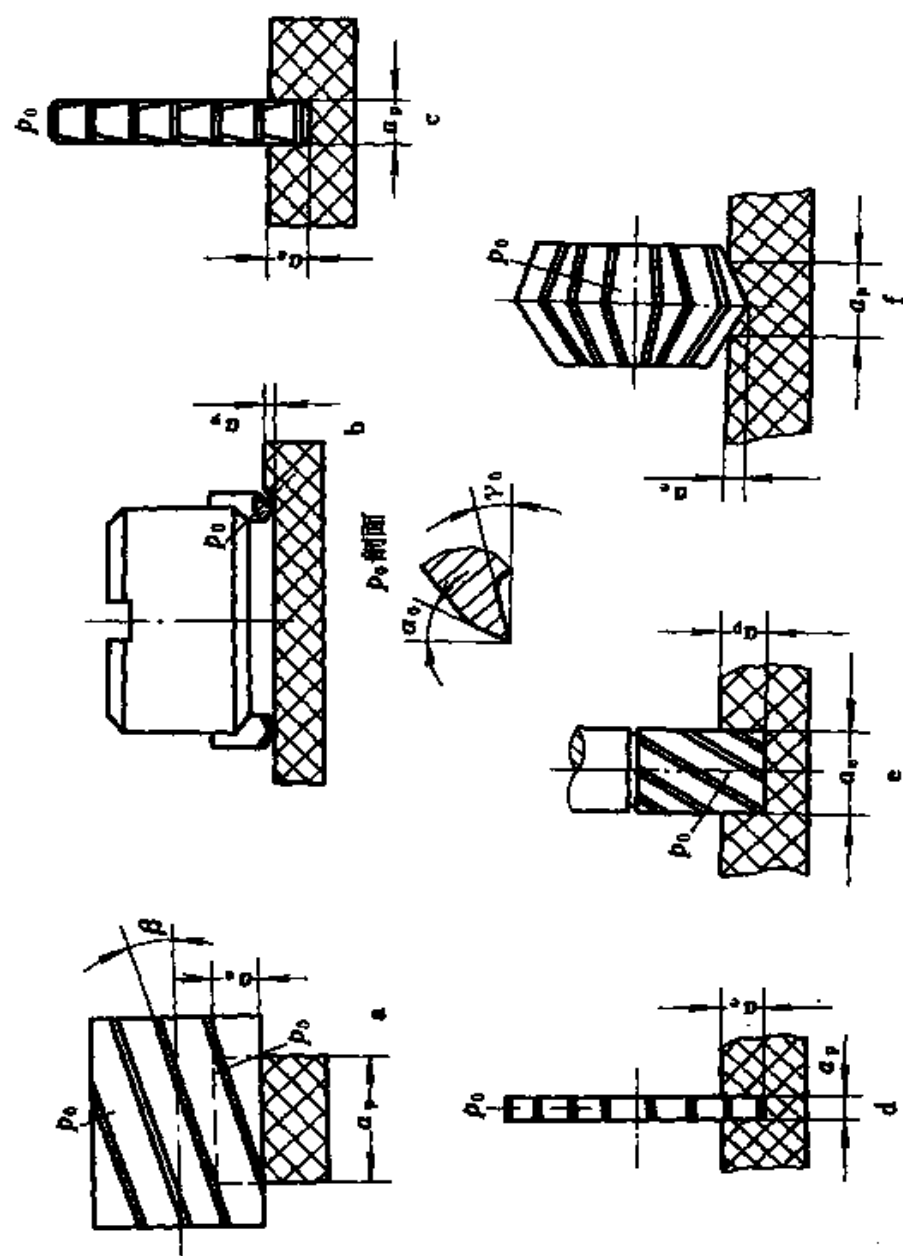


图 4-1 铣刀的种类及其加工的表面

端铣刀镶有硬质合金刀具材料，所以可以用高的切削速度进行铣削加工，因而生产率很高。

二、加工台阶和沟槽的铣刀

(1) 盘状铣刀 如图 4-1c, d 所示。

盘状铣刀可分为：三面刃、双面刃和单面刃三种。三面刃铣刀不仅在圆柱面上有切削刃，而且在两侧面上也有切削刃。主要用于加工沟槽和台阶，工件可以做纵向、横向及垂直进给运动。双面刃铣刀是在圆柱面上和在一个侧面上有切削刃，主要用于加工沟槽和与侧面齿相对应的台阶面，工件可以做纵向、垂直和与侧面齿相对应的横向进给。单面刃铣刀只有圆柱面上有切削刃。只能用于加工沟槽，工件只能做纵向和垂直进给。

(2) 立铣刀 如图 4-1e 所示。立铣刀在端面上和在圆柱面都有切削刃，用于加工垂直的台阶面、沟槽以及凹槽。

(3) 键槽铣刀 如图 4-1f 所示。键槽铣刀在圆柱面上和端面上都只有两个刀齿，主要用于加工圆头封闭键槽。

第二节 铣削要素和切削层要素

一、铣削要素

铣削要素包括铣削速度 v 、进给量 f 、铣削深度 a_p 和铣削宽度 a_e 。铣削要素的选取，对铣削过程、切削力、切削热、刀具磨损、生产率和加工表面的粗糙度等都有直接的影响。因此，在铣削加工时，应合理的选择铣削要素。

1. 铣削速度 v

铣削速度是铣刀做回转运动的圆周线速度：

$$v = \frac{\pi \cdot d_0 \cdot n_0}{1000} \text{ m/min}$$

式中 d_0 ——铣刀外径，mm；

n_0 ——铣刀转速，r/min。

2. 进给量 f

在生产中切削塑料工件的进给量有三种表示方法。

(1) 每转进给量 f_r 铣刀旋转一转, 铣刀相对于工件在进给运动方向上的移动量, 单位为 mm/min 。

(2) 每齿进给量 f_z 铣刀每转过一个刀齿, 铣刀相对于工件在进给运动方向上的移动量, 单位为 mm/z 。

(3) 每分钟进给量 f_m 铣刀工作 1min , 铣刀相对于工件在进给运动方向上的移动量, 单位为 mm/min 。

三者的关系是:

$$v_f = f_r \cdot n_0 = f_z \cdot z \cdot n$$

式中 n_0 ——铣刀转速, r/min ;

z ——铣刀刀齿数。

3. 铣削深度和宽度

(1) 铣削深度 a_p 指平行于铣刀轴线方向测量的切削层尺寸, 单位为 mm 。

(2) 铣削宽度 a_w 指垂直于铣刀轴线方向测量的切削层尺寸, 单位为 mm 。

二、切削层的要素

铣削时切削层要素有切削宽度 a_w 、切削厚度 a_c 和切削层总面积 $A_{c\Sigma}$ 。

(1) 切削厚度 a_c 铣刀相邻刀齿主切削刃运动轨迹间的垂直距离, 单位为 mm 。

(2) 切削宽度 a_w 是沿主切削刃测量的切削层尺寸, 即铣刀主切削刃的工作长度。单位为 mm 。

(3) 切削面积 A_c 和总切削面积 $A_{c\Sigma}$

① 切削面积 A_c 是每齿切削层截面积, $A_c = a_c \cdot a_w$ 。由于 a_c 、 a_w 是变化的, 因此 A_c 也是变化的。

② 总切削面积 $A_{c\Sigma}$ 是铣刀有 z_0 个刀齿同时参加切削时各切削齿切削面积之和。即:

$$A_{c\Sigma} = \sum_1^{z_0} A_c = \sum_1^{z_0} a_w \cdot a_c$$

对于端铣刀, 如图 4-2a, 切削总面积为:

$$A_{c\Sigma} = \sum_1^{z_c} a_c \cdot a_w = \sum_1^{z_c} (f_z \cdot \cos\theta \cdot \sin k_r) \cdot (a_p / \sin k_r)$$

$$= f_z \cdot a_p \sum_1^{z_c} \cos\theta$$

对于螺旋角为 β 的圆柱铣刀, 如图 4-2b, 由于 a_c 和 a_w 都是变化的, 故切削层的总面积为:

$$A_{c\Sigma} = \sum_1^{z_c} a_c \cdot a_w = \sum_1^{z_c} \int_0^{a_w} a_c \cdot da_w = \sum_1^{z_c} \int_0^{a_w} f_z \cdot \sin\theta \cdot da_w$$

由图 4-2b 中, 任取一齿, 可得:

$$da_w = \frac{d_0}{2} \cdot d\theta \cdot \frac{1}{\sin\beta}$$

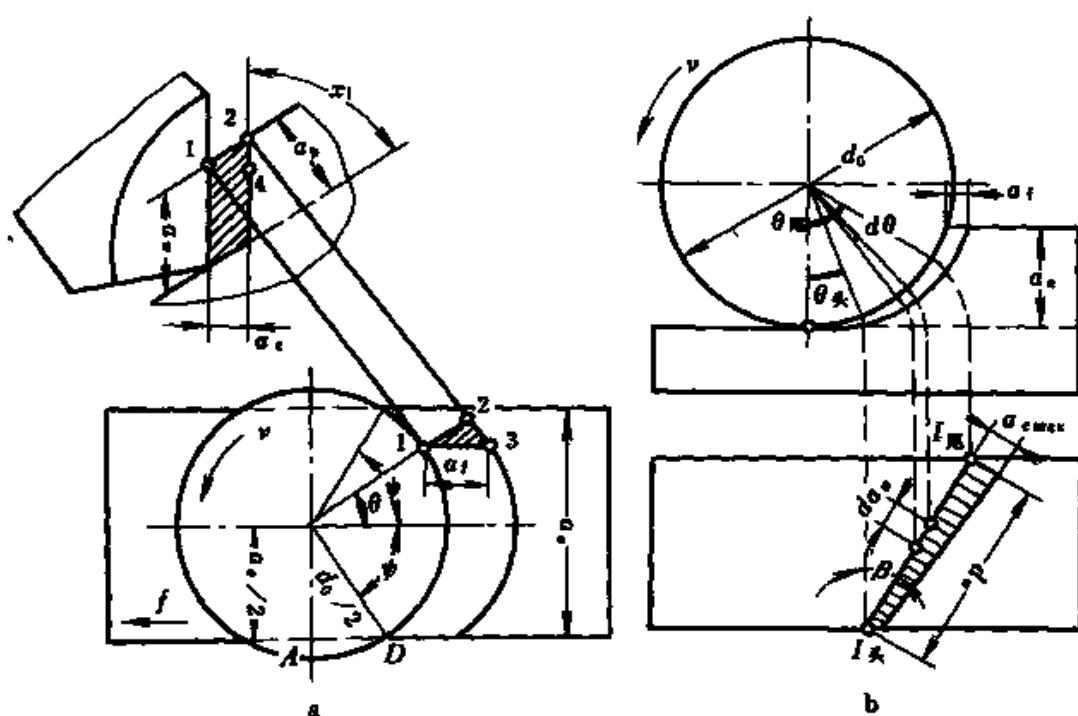


图 4-2 铣削时切削层的几何参数

所以

$$A_{c\Sigma} = \sum_1^{z_c} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} f_z \cdot \sin\theta \cdot \frac{d_0}{2\sin\beta} \cdot d\theta$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_1^z \frac{f_z \cdot d_0}{2 \sin \beta} (\cos \theta_{\text{头}} - \cos \theta_{\text{尾}}) \\
 &= \frac{f_z \cdot d_0}{2 \sin \beta} \cdot \sum_1^z (\cos \theta_{\text{头}} - \cos \theta_{\text{尾}})
 \end{aligned}$$

从上面计算可知，端铣刀和圆柱形平面铣刀铣削时切削面积总是变化的，同时，工作齿数越小，切削面积变化越大。为了计算方便，常采用平均切削面积 A_{avr} 来计算：

$$A_{\text{avr}} = \frac{z_w}{\nu} = \frac{a_e \cdot a_p \cdot f_m}{\pi \cdot d_0 \cdot n_0} = \frac{a_e \cdot a_p \cdot f_z \cdot z}{\pi \cdot d_0}$$

式中 z_w ——单位时间内切除的切屑量。它是衡量铣削加工生产率的重要指标。

第三节 铣削方式和铣削特点

一、铣削方式

1. 逆铣

图 4-3a 所示是切削速度 ν （铣刀的回转）和工件进给方向（工作台运动）方向相反时称为逆铣法。逆铣时的每齿切削厚度，从零开始切入，逐渐增至最大，由待加工面切离。由于刀刃不可避免的有刃口钝圆半径 ρ ，因此在切入处，切削厚度太小，刀齿不能立刻切入工件，必然在工件表面上滑移挤压而造成硬化层，而且后一刀齿都在前一刀齿形成的冷硬层上滑移挤压，所以刀齿后刀面磨损快，工件表面质量下降。逆铣时的水平铣削分力 F_H 和进给方向 ν_f 相反，铣床工作台的纵向进给运动一般是依靠工作台下部的丝杠和螺母来实现的，螺母固定不动，丝杠一面转动，一面带动工作台移动，逆铣时，由于作用在丝杠力 F_H 总是把丝杠螺纹的右侧面和螺母螺纹的左侧面贴在一起，故丝杠无窜动现象。

2. 顺铣

图 4-3b 所示是切削速度 ν （铣刀的回转）和工件进给方向，与工作台运动方向相同时称为顺铣法。顺铣时各刀齿切削厚度从最大切入，逐渐减小到切削厚度为零时切出，避免了刀齿在工件表面上的滑

移或挤压，从而减小了刀齿后刀面的磨损和工件表面的冷硬现象，从而提高了刀具的寿命。顺铣时水平力 F_H 作用于工件上，然后传给工作台，最后传给丝杠，由于走刀丝杠和螺母之间存有间隙，如图 4-3c 所示。使丝杠往前串动。旋转丝杠再带工作台做进给运动，又回到串动前状态，但又由 F_H 力作用又使丝杠往前串动。这样往复的串动，

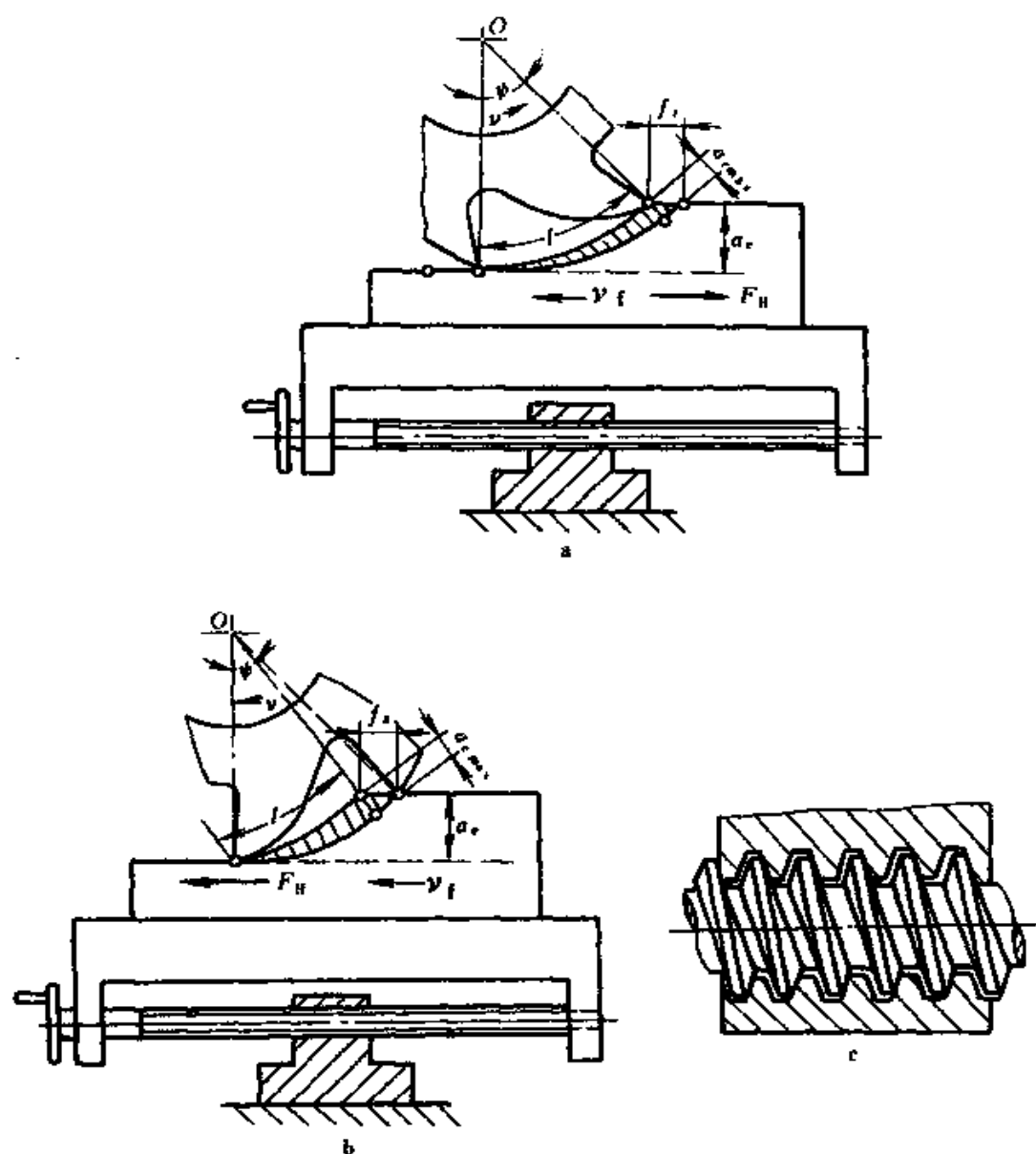


图 4-3 逆铣法和顺铣法

从而造成顺铣过程发生振动和进给不均现象,影响加工表面质量。为了消除振动和进给不均匀现象,必须消除丝杠与螺母之间的间隙,所以应在铣床的进给系统中装上液压传动系统或滚珠丝杠装置。

二、铣削塑料的特点

铣削加工实际上是多个小车刀组合在一起的加工,所以,在第二章论述的车削特点基本上是铣削的特点,但是铣削加工又有它的特殊性。

(1) 铣削加工是封闭切削,并非象车削那样切屑沿着前刀面排至刀体外,而铣削时切屑在刀齿未切离工件时,则是容于两齿间的容屑槽内。塑料切屑和金属切屑不同,在相同的切削用量下,塑料变成切屑后,体积膨胀比金属切屑大,所以,切削塑料的铣刀应加大容屑空间。加大容屑空间有两种方法:一是减少铣刀刀齿的齿数,生产实践证明,通常铣削塑料的铣刀刀齿数 $Z = 3 \sim 6$ 个,在 Walter 公司制造的铣刀取 $Z = 2 \sim 5$ 个,由减少齿数来使容屑空间加大;另外,若是用切削金属的铣刀切塑料时,应把容屑空间加大。当然,这样会使得刀齿强度下降,但由于切削塑料产生的切削力比金属的小,故对刀具寿命影响不大。

(2) 铣削某些塑料时,尤其是铣削以棉织物、玻璃纤维和纸为基材的各种热固性塑料时,应采用顺铣法,不能用逆铣法。用逆铣法铣削这些塑料时,易在加工表面上产生毛刺、崩落等现象的疵病,影响工件的加工质量。

(3) 由于铣削加工时,切削厚度 a_c 是变化的(图 4-3)。逆铣时, a_c 由 0 逐渐增大到 a_{cmax} ; 顺铣时, a_c 由 a_{cmax} 逐渐减小到 0。特别是在逆铣时,切入处的切削厚度为零,在刀口钝圆半径 ρ 远大于切削厚度 a_c 的一段切削路程上,切不下切屑,使刀齿在加工表面上有一段滑移距离,而造成已加工表面产生“银斑”现象,使工件表面质量下降。

(4) 铣削总面积 $A_{c\Sigma}$ 是变化的,所以切削力也是变化的,从而影响了切削的平稳性。另外,工作齿数的变化也是影响切削平稳性的一个原因。工作齿数减少,平稳性越差,铣削出的表面质量越差。

(5) 铣刀的切入过程是周期性的断续切削过程。因为每一刀齿在一转中只有很少的时间参加切削工作，有较长的时间在空气中冷却。这就提高了铣刀的寿命，但也有不利的一面，即刀齿切入塑料时因产生一段滑移和冲击，刀齿磨损加剧。

(6) 由于塑料的耐热性差，如果切削速度过高会造成切屑粘于刀齿上，使切屑由齿槽中排出困难。

第四节 铣刀的磨损

一、铣刀的磨损概念

在铣削过程中，铣刀从工件上切下多余的塑料，使切削层变为切屑，铣刀刀齿本身也同时逐渐被工件和切屑所磨损。由于铣刀后刀面总是产生磨损，而且后刀面的磨损很容易控制和测量，因此，规定铣刀后刀面上均匀磨损区的宽度 VB 值作为刀具的磨钝标准。加工以层状和纤维状基材的热固性塑料时，铣削用量应予以适当的限制，以免加工表面出现“银斑”和产生内应力。因此，铣削塑料时铣刀粗铣时工艺磨钝标准 $VB_I \leq 0.4 \sim 0.5\text{mm}$ ，精铣时 $VB_I \leq 0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。铣刀后刀面的磨钝标准 VB_I ，通常根据被加工表面质量来确定，即是工艺磨钝标准，以 VB_I 表示。

铣刀从刃磨后到切削使刀面的磨损达到磨钝标准为止所需的切削时间总量称为铣刀的寿命，以 T 表示，单位为分钟。磨钝标准 VB_I 和寿命 T 是衡量铣刀后刀面磨损程度的两种不同的表示方法。但是用寿命 T 表示比较方便。

二、硬质合金铣刀齿的磨损过程

图 4-4 是用铣床 X62W，单齿铣刀，铣刀螺旋角 $\beta = 0^\circ$ ，铣刀宽度 $B = 120\text{mm}$ ，前角 $\gamma_0 = 10^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 15^\circ$ ，铣刀回转直径 $d_0 = 110\text{mm}$ ，转速 $n = 750\text{r/min}$ ，铣削宽度 $a_e = 80\text{mm}$ ，铣削深度 $a_p = 2\text{mm}$ ，每齿走

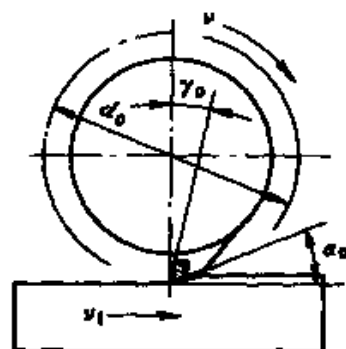


图 4-4 单齿铣刀的
磨损实验图

刀量 $f_z = 0.3\text{mm}/z$ ，对 3240 酚醛玻璃纤维增强塑料平面所进行铣削实验的示意图。

从实验中可以观察到，当铣削开始至 2~3min 时；铣刀刃口呈现出不规则的崩刃现象，其崩刃深度在 0.006~0.008mm 左右。这是在酚醛环氧玻璃纤维增强塑料中有硬而脆的玻璃纤维存在，致使刃口有微小的崩落。随着切削时间的延长，在刀齿参与切削区段的后刀面上形成宽度大致相等的磨损带，并且刃口开始变钝如图 4-5 所示。

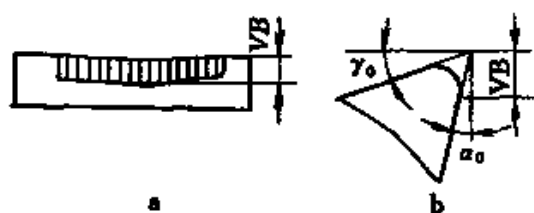


图 4-5 刀具的磨损过程

若刀齿材料选用 YG3 硬质合金，切削条件同上，连续切削 100min 时，后刀面的磨损带宽度 $VB = 0.12\text{mm}$ ，这时刃口开始变钝，由使用前的刃口半径为 $\rho = 0.007 \sim 0.010\text{mm}$ 变为 $\rho = 0.024 \sim 0.032\text{mm}$ 。根据实验和有关资料推荐：在切削其他工程塑料时， VB 和 ρ 的关系为： $\rho = (0.2 \sim 0.25) VB$ 。

三、硬质合金性质对刀齿磨损的影响

硬质合金种类和牌号不同，其性质亦不相同。例如 YT 类硬质合金的导热系数 $k = (20.9 \sim 62.8) \text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ ，而 YG 类的硬质合金的导热率 $k = (79.6 \sim 87.9) \text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ 。

热导率不同，对切削区域的影响亦不同。工程塑料的热导率极低，为降低切削区的温度，以便提高刀具的寿命和避免由于温度过高而造成已加工表面的烧伤和起层现象，所以通常选用 YG 类硬质合金作刀具材料。

用图 4-4 的铣削方式、铣刀的几何参数和切削条件，分别用 YT15、YG3、YG6 和 YG8 硬质合金铣刀铣削 3240 酚醛、环氧树脂基的塑料，铣刀齿的后刀面磨损量 VB 值和切削时间的关系如图 4-6 所示，从图中可以看出，用 YT15 硬质合金铣刀铣削 3240 酚醛环氧玻璃纤维增强塑料时，其后刀面的磨损量 VB 值在相同的切削时间内比 YG8、YG6 和 YG3 要高。

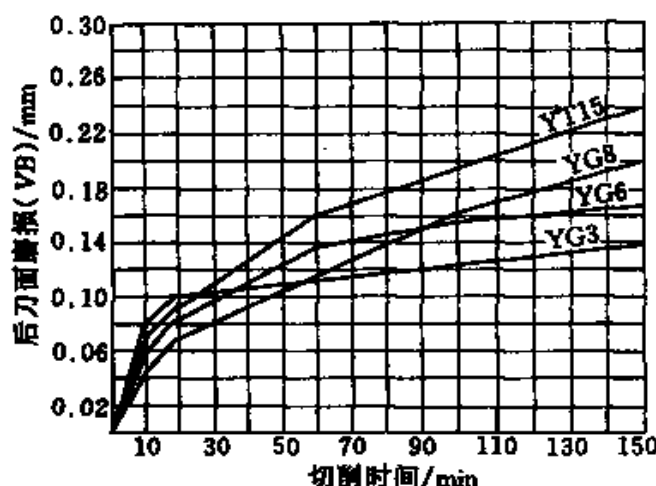


图 4-6 铣刀齿的后刀面磨损量 VB 值和切削时间的关系

在 YG 类硬质合金中，其牌号不同（成分不同），刀具的寿命也各异。从图中可见，该磨损曲线和切削金属时磨损曲线相似。在切削开始时，磨损曲线斜率较大。由于刃磨后新铣刀齿，其后刀面与加工表面间的实际接触面积很小，压强很大，故磨损较快。另外，新刃磨的后刀面上的表面粗度也加速了磨损。随着时间的延长，后刀面上被磨出一条狭窄的棱面，压强减小，故磨损量的增加也缓慢下来，所以这段的曲线斜率较小，是刀具工作的有效阶段，但是含钴量不同时，在初磨损阶段和正常磨损阶段的磨损斜率也有差别。在初磨损阶段，含钴量多，后刀面的磨损带窄。YG3 在铣削 10min 时，后刀面的磨损带 $VB = 0.08\text{mm}$ ，YG6 的磨损带 $VB = 0.06\text{mm}$ ，而含钴量最高的 YG8 的 $VB = 0.045\text{mm}$ ，这是因为含钴量高，其粘结剂多，对硬质相的碳化钨（WC）的粘结强度大的原因。随着切削时间的延长，大约 35min 左右时，YG6 的 VB 值就超过了 YG3 的 VB 值，大约在 55min 时，YG8 的 VB 值也超过了 YG3 的 VB 值。这时起主导作用的磨损原因是热效应，YG3 热导率最大（ $87.9\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ），YG6 次之（ $79.6\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ），YG8 热导率最小（ $75.4\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ ）。切削时间越长， VB 值的相差越大。例如在切削 100min 时，YG3 的 $VB = 0.12\text{mm}$ ；YG6 的 $VB = 0.155\text{mm}$ ；YG8 的 $VB = 0.16\text{mm}$ 。

四、铣削时间对刀具磨损的影响

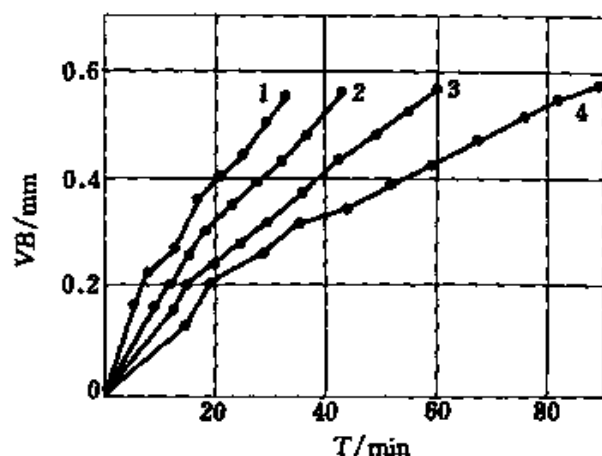


图 4-7 铣削酚醛纸基层压塑料时
铣刀后刀面磨损曲线

1— $v = 97 \text{ m/min}$; 2— $v = 76.5 \text{ m/min}$;

3— $v = 60.5 \text{ m/min}$; 4— $v = 48.5 \text{ m/min}$

图 4-7 是用高速钢槽铣刀，以不同的切削速度 v 铣削酚醛纸基层压塑料时刀具的寿命 T 和铣刀后刀面磨损量 VB 的关系曲线。把测得的结果绘在 T 和 v 的双对数坐标图上，得图 4-8。

图 4-9 是用硬质合金圆柱铣刀，以不同的切削速度 v 铣削酚醛纸基层压塑料时刀具寿命 T 和铣刀后刀面磨损量 VB 的关系曲线。

图 4-10 是根据图 4-9 的结果在切削速度 v 和刀具寿命 T 的双对数坐标上做出的 T - v 曲线。

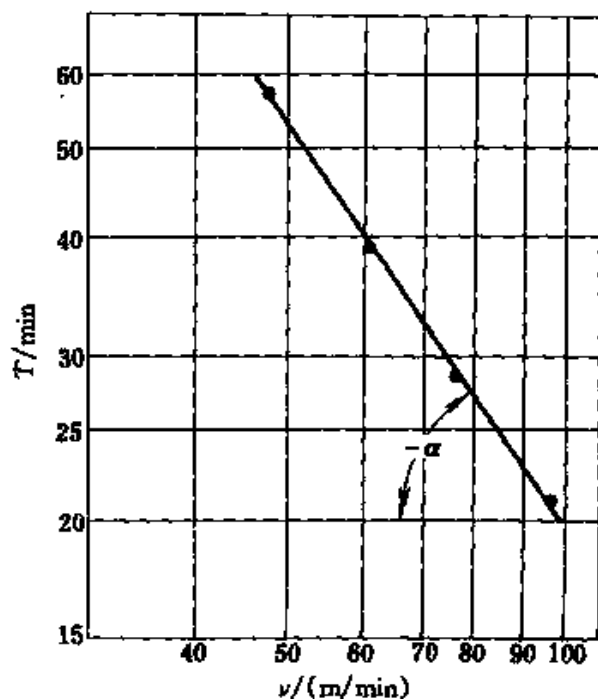


图 4-8 铣削酚醛纸基层压塑料的 T - v 曲线

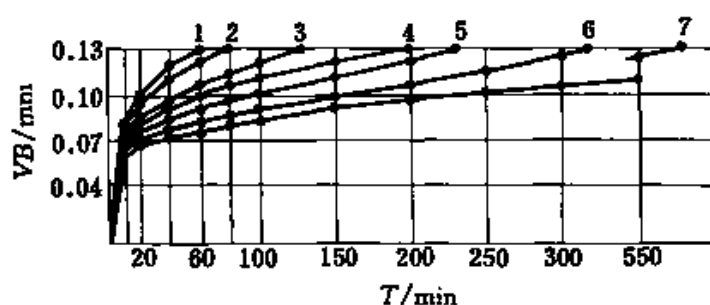


图 4-9 用硬质合金圆柱铣刀铣削酚醛纸基层压塑料 v 和 VB 的关系曲线

1— $v = 1270\text{m/min}$; 2— $v = 1060\text{m/min}$; 3— $v = 870\text{m/min}$; 4— $v = 670\text{m/min}$; 5— $v = 510\text{m/min}$; 6— $v = 350\text{m/min}$; 7— $v = 150\text{m/min}$; $f_z = 0.32\text{mm/z}$; $a_p = 2\text{mm}$; $a_c = 120\text{mm}$

图 4-10 并不象通常 $T-v$ 曲线那样是直线，而是斜率不同的折线。通常所用的公式

$$v = \frac{c_v}{T^m}$$

在 $v = 150 \sim 670\text{m/min}$ 范围内，则 $c_v = 1.150 \cdot 10^6$; $m = 1.43$; $v = 670 \sim 1270\text{m/min}$ 范围内，则 $c_v = 1.08 \times 10^4$; $m = 0.53$ 。说明当切削速度 v 超过 670m/min ，铣刀后刀面的磨损比较剧烈。

在铣削用量中。切削速度对铣刀的寿命影响最大。铣刀每齿进给量 f_z 对铣刀寿命也有较大的影响，但是 f_z 过大时，会造成刀齿切入和切出时有小的崩落现象，故限制了铣刀的进给量。这是因为，当 f_z 增大时，则作用于铣刀刃单位长度上的力增大的缘故。其他种类的硬质合金的铣刀也是如此，据有关资料介绍硬质合金端铣刀的 $f_z \leq 0.22\text{mm/z}$ 。

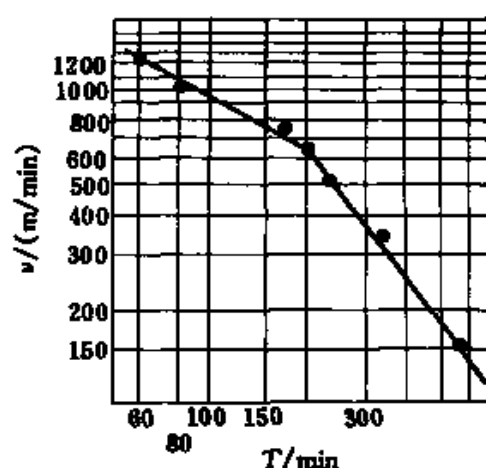


图 4-10 用硬质合金圆柱铣刀
铣削酚醛纸基层压塑料的 $T-v$ 曲线

第五节 切削塑料的铣刀几何参数的选择

在塑料的切削加工中，最常用的铣削刀具是圆柱铣刀和端铣刀。

因此在这一节里着重讨论圆柱铣刀和端铣刀的几何参数的选择。

1. 前角 γ_0

在塑料的切削加工中，端铣刀的前角规定在 P_0 平面中测量，端铣刀切削部分几何参数（图 4-11）。

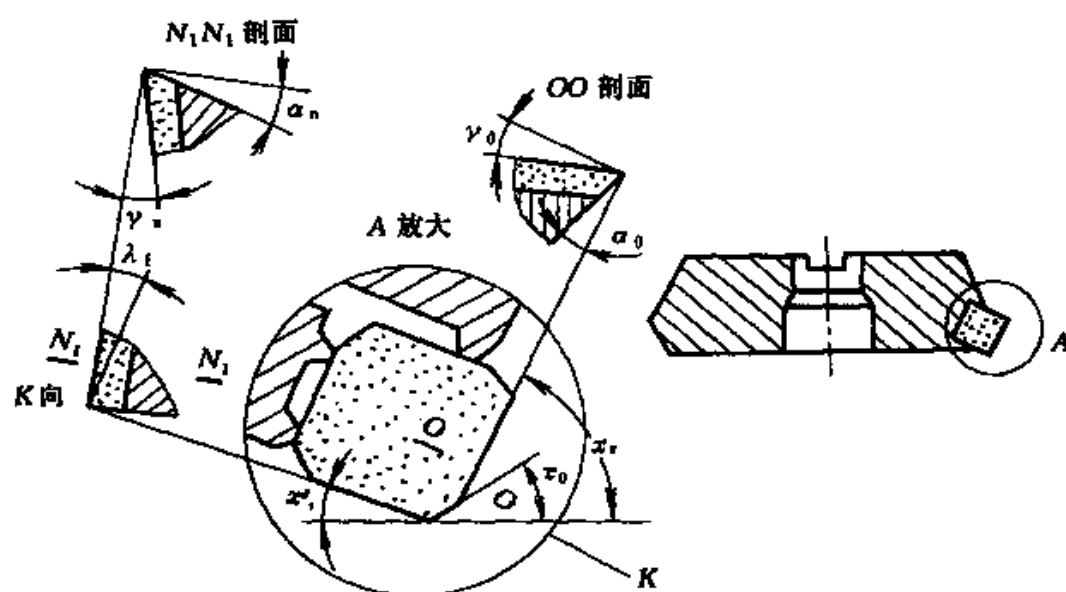


图 4-11 端铣刀切削部分几何参数

为了制造和测量方便，在塑料切削中，圆柱铣刀的前角规定在法剖面中测量，它和铣刀端剖面前角 γ_0 的换算关系（见图 4-12）为：

$$\operatorname{tg} \gamma_n = \operatorname{tg} \gamma_0 \cdot \cos \beta$$

式中 γ_n ——铣刀法剖面的前角；

β ——铣刀的螺旋角。

铣削热塑性塑料时，铣刀的前角应比铣削金属的大些。铣刀的前角应大于 6° ，如有机玻璃为 $8^\circ \sim 12^\circ$ 。

2. 后角 α_0

圆柱铣刀的后角规定在端剖面中测量。由于铣削切削厚度 a_c 小，铣刀磨损主要发生在后刀面上，适当的增大后角可以减少磨损。无论铣削热塑性塑料还是热固性塑料，它们的弹性回复都比金属大，为了提高刀具的寿命和已加工表面质量，后角 α_0 均选择的比切削金属时

的后角大，切削塑料时的后角应大于 10° 。

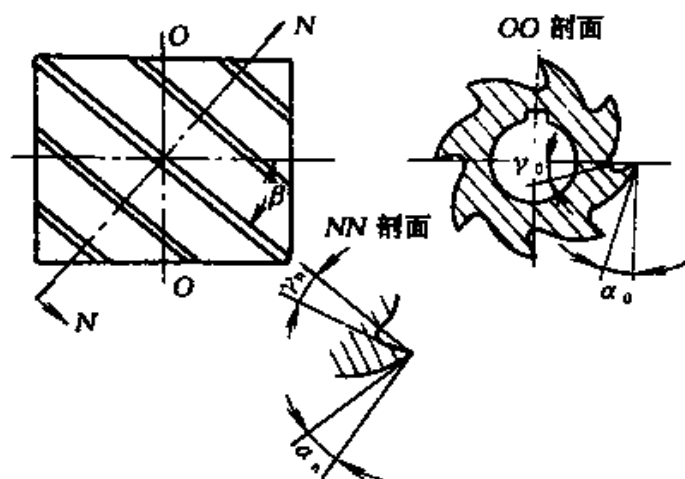


图 4-12 圆柱铣刀切削部分几何参数

3. 旋角 β

圆柱形铣刀和立铣刀的螺旋角就是车刀的刃倾角 λ_s ，所起的作用基本和车刀相同。螺旋角 β 可以增加同时参加工作的齿数，增加了切削平稳性，使得铣刀切削刃锋利并且增大了实际前角。因此有 β 角的铣刀可以改善铣刀的切削性能。据有关资料推荐，铣削热塑性塑料的铣刀螺旋角 β 可按铣铝（Al）选择。

4. 齿沟形式

切削金属用的铣刀齿背形式有三种（图 4-13）。

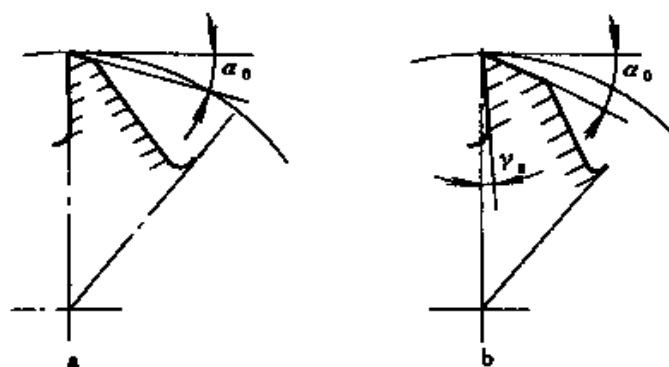


图 4-13 铣削塑料铣刀齿背形式

(1) 抛物线齿背式 抛物线齿背是按等强度梁设计的, 很少用, 只是在成形铣刀上用这种齿背。

(2) 拆线齿背式 拆线齿背强度好, 制造也简单, 多用于粗加工, 如图 4-13b 所示。

(3) 直线齿背式 直线齿背刀齿强度小, 但容屑空间大, 如图 4-13a 所示。切削塑料时, 由于产生的切削力比切削金属的小的多, 且切屑膨胀较大, 因此需要容屑空间大, 所以在设计切削塑料的专用铣刀时, 通常是选用直线齿背的。

铣削塑料的铣刀几何参数应根据被加工材料, 刀具材料和铣刀的种类进行选择。根据有关资料推荐的数值可按表 4-1 选取。

表 4-1 铣削塑料的铣刀切削部分几何参数

铣刀 种类	塑料名称	刀具材料	铣刀的几何角度 (度)			
			γ_0	α_0	k_r	k'_r
圆柱 铣刀	聚乙烯	W18Cr4V	25	25 ~ 30	$\beta = 20 \sim 22$	
	尼龙 6	W18Cr4V	8	16	$\beta = 20 \sim 22$	
	酚醛玻璃纤维层压塑料	W18Cr4V	8 ~ 10	16 ~ 20	$\beta = 20 \sim 20$	
		YG8	5	20 ~ 25	$\beta = 20 \sim 22$	
	酚醛棉织物层压塑料	YG6、YG8	5	18	$\beta = 20 \sim 25$	
		W18Cr4V	8 ~ 10	16 ~ 20		
	酚醛纸基层压塑料	YG6、YG8	5	18	$\beta = 20 \sim 22$	
盘状 铣刀	酚醛纸基层压塑料	YG6 ~ YG8	5 ~ 8	18 ~ 20	—	—
	酚醛棉织物层压塑料	YG6、YG8	5 ~ 8	18 ~ 20	—	—
端 铣刀	酚醛棉织物层压塑料	W18Cr4V	8 ~ 10	22 ~ 25	45	12
		YG6	8 ~ 10	22 ~ 25	45	12
	酚醛纸基层压塑料	W18Cr4V	8 ~ 10	22 ~ 25	45	12
		YG6	8 ~ 10	22 ~ 25	45	12
	酚醛玻璃纤维层压塑料	W18Cr4V	8 ~ 10	16	45	—
		YG6	5	16	—	—

续表

铣刀种类	塑料名称	刀具材料	铣刀的几何角度(度)			
			γ_0	α_0	k_r	k'_r
端铣刀	聚氯乙烯塑料	W18Cr4V	20	20	45	—
		YG8	10	20	45	—
	有机玻璃	W18Cr4V	10	20	—	—
	环氧树脂塑料	W18Cr4V	0~10	5~10	—	—
	酚醛纸基层压塑料	W18Cr4V	10	20	—	—
立铣刀	酚醛棉织物层压塑料	W18Cr4V	10	20	—	—
角度铣刀	酚醛纸基层压塑料	W18Cr4V	10	20	—	—
	酚醛棉织物层压塑料	W18Cr4V	10	15	—	—

第六节 铣 削 力

塑料铣削时, 由于每个刀齿的切削位置和切削面积是在不断的变化的, 作用在每个刀齿上切削力的方向和大小也不断的发生变化。但因变化不大, 通常可用一个定值来表示。将同时参加切削各刀齿所受的力相加, 其合力即为作用在铣刀上的铣削抗力 F_r , 铣削抗力 F_r 可按铣刀切向、径向和轴向三个方向分解, 如图 4-14 所示。

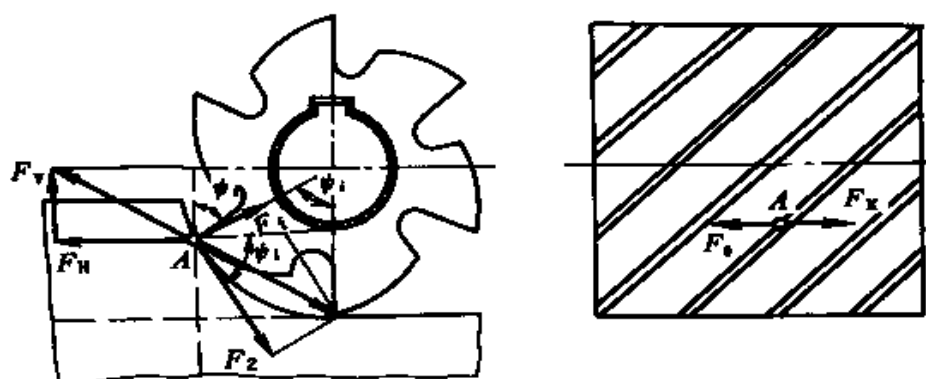


图 4-14 铣削力的分解

(1) 圆周切向分力 F_t 作用在铣刀圆周切线方向, 是消耗功率的主要铣削力, 是计算铣床电动机功率的依据。

(2) 径向分力 F_y 作用在铣刀径向方向的力, 可使铣刀杆变曲变形, 但不消耗功率。

(3) 轴向分力 F_x 作用在铣刀轴向方向的力, 可使铣刀产生轴向移动。

工件(铣床工作台)所承受的力 F'_r 与铣削抗力 F_r 大小相等, 方向相反, 它可沿铣床工作台纵向、横向和垂直方向分解成三个铣削分力:

(1) 进给分力 F_H (纵向分力) 作用于工件上并和铣床工作台进给方向平行。

(2) 垂直分力 F_v 作用于铣床工作台升降的方向上。由于铣床在这个方向上刚度较低, 所以该力易引起振动, 另外在逆铣时是把工件抬起的力。

(3) 横向分力 F_0 作用于铣床工作台横向运动方向上, 与铣刀的轴向力 F_x 大小相等、方向相反。

F_z 、 F_y 、 F_x 的合力是与 F_H 、 F_v 、 F_0 的合力大小相等、方向相反的两个力, 即:

$$F_r = \sqrt{F_z^2 + F_y^2 + F_x^2} = \sqrt{F_H^2 + F_v^2 + F_0^2} = |F'_r|$$

式中 F_r ——铣削力合力;

F'_r ——作用在塑料工件上的合力。

因为 $F_x = |F_0|$

所以 $\sqrt{F_z^2 + F_y^2} = \sqrt{F_H^2 + F_v^2}$

由于圆周切向分力 F_z 是计算铣削功率和扭矩的依据。

因此铣削功率 $P_m = \frac{F_z \cdot v}{1000} \text{ kW}$

扭矩 $M = \frac{F_z \cdot d_0}{2 \times 10^3} \text{ N} \cdot \text{m}$

由上述分析可见, 铣削塑料时作用在铣刀的 F_z 力和作用在工件上的 F_H 力是两个主要的切削力。

一、铣削要素对铣削力的影响

铣削要素是指铣削速度 v 、每齿进给量 f_z 、铣削深度 a_p 及铣削

宽度 a_e (见图 4-15)。

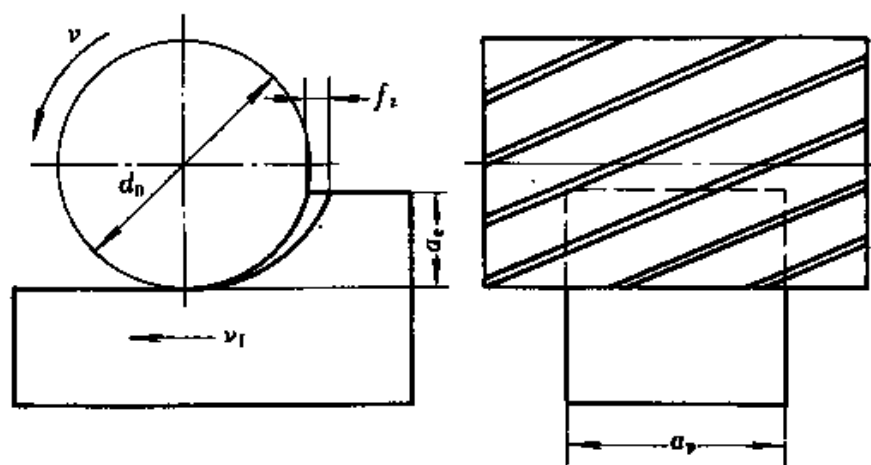


图 4-15 圆柱铣刀的铣削要素

1. 切削力的测试方法

切削力的实验方法很多,最简单的是单因素实验法。此方法是在所有的有关因素中,在只改变一个因素的条件下,测出切削力。然后进行相应的数据处理,建立经验公式。数据处理方法很多,本书只介绍用图解法处理。

实验选在卧式铣床上进行,用圆柱铣刀铣削酚醛纸基层压塑料,并把铣刀刃磨得锋利,并令其工艺磨钝标准 VB_1 不超过 $0.04 \sim 0.05\text{mm}$ 。在不同的铣削速度 v 、铣削深度 a_p 、铣削宽度 a_e 和每齿进给量 f_z 的条件下,测出不同的力 F_z 和 F_H 并列于表 4-2 中。

2. 铣削要素对切削力的影响

(1) 切削速度 v 的影响 在每齿进给量 $f_z = 0.32\text{mm/z}$, 铣削宽度 $a_e = 20\text{mm}$, 铣削深度 $a_p = 12\text{mm}$ 不变的情况下,使切削速度 v 在 150m/min 至 1270m/min 的范围内变化,在这范围内取 6 个点。在双对数坐标上做出 F_z 、 F_H 与 v 的关系曲线如图 4-16 所示。

由图可得出关系式:

$$F_z = C_{Fz} \cdot v^{-0.05}(\text{N})$$

$$F_H = C_{FH} \cdot v^{-0.04}(\text{N})$$

表 4-2 铣削要素对铣削力的影响

序号	切削速度 v m/min	每齿进给量 f_z mm/r	铣削宽度 a_e mm	铣削深度 a_p mm	F_z		M_K		F_H		F_H/F_z
					kgf	N	kg·m	N·m	k_t	N	
1	150				31.0	304.5	3.49	34.3	25.0	245.0	0.80
2	350				28.6	280.8	3.22	31.6	22.5	220.3	0.79
3	510				28.0	275.0	3.15	30.9	23.0	226.0	0.82
4	670	0.32	20.0	12.0	28.0	275.0	3.15	30.9	22.0	216.0	0.73
5	1060				27.0	265.0	3.04	29.8	22.5	220.3	0.83
6	1270				27.0	265.0	3.04	29.8	21.0	206.0	0.73
7		0.17			23.0	226.1	2.38	23.4	18.0	176.5	0.78
8		0.32			28.0	275.0	3.15	30.9	22.0	216.0	0.79
9	670	0.53	20.0	12.0	34.0	333.9	3.82	37.5	25.0	245.0	0.73
10		0.80			39.0	383.2	4.39	43.0	32.0	314.2	0.82
11		1.00			44.0	431.2	5.95	58.4	34.0	333.9	0.77
12		0.17			22.0	215.7	2.48	24.3	19.0	186.2	0.86
13		0.32			29.0	284.0	3.26	32.2	27.0	265.0	0.94
14	670	0.53	20.0	12.0	35.0	343.3	3.94	38.8	32.0	314.2	0.91
15		0.80			39.0	383.2	4.39	42.9	36.0	353.7	0.92
16		1.00			44.0	431.2	4.95	48.6	42.0	412.2	0.95
17			1.0		18.0	176.2	2.02	19.8	13.0	127.6	0.72
18			2.0		19.0	186.3	2.14	21.0	15.0	147.1	0.79
19	670	0.32	5.0	12.0	24.0	235.8	2.70	26.5	18.0	176.2	0.75
20			10.0		25.0	245.3	2.84	27.6	21.0	205.7	0.81
21			20.0		29.0	284.9	3.26	32.0	22.0	215.7	0.76
22				5.0	9.0	88.3	1.01	9.91	8.2	80.4	0.91
23				12.0	28.0	275.0	3.15	30.9	22.0	215.7	0.79
24	670	0.32	20.0	24.0	51.03	500.4	5.74	56.3	43.0	422.3	0.84
25				36.0	70.0	688.0	7.88	77.1	55.0	539.3	0.79
26				48.0	104.0	1020.7	11.74	114.7	78.0	764.0	0.75
27				60.0	128.0	1258.6	14.4	141.3	92.0	901.2	0.72
28					9.0	88.3	1.01	9.91	7.4	72.4	0.82
29					10.5	103.4	1.18	11.6	7.6	74.5	0.80
30	670	0.32	20.0	5.0	12.0	117.9	1.35	13.2	9.0	88.3	0.75
31					26.0	255.7	2.92	28.6	20.0	196.2	0.77
32					56.0	550.0	6.32	61.9	48.0	473.1	0.86

其原式为:

$$\lg F_z = \lg C_{F_z} + (-0.05) \lg \nu$$

$$\lg F_H = \lg C_{F_H} + (-0.04) \lg \nu$$

式中 C_{F_z} ——圆周切向力系数, 即是在切削速度 ν 为 0 时, 在切削力的坐标上的截距。在图中量得 $C_{F_z} = 375.49\text{N}$; C_{F_H} 为进给力 F_H 的系数, $C_{F_H} = 285.66\text{N}$ 。

式中的 -0.05 和 -0.04 分别为 F_z 和 F_H 力的斜率。在图中分别量出 F_z 和 F_H 与水平线的夹角 α , 并取其 α 角的正切值即求得出斜率值。

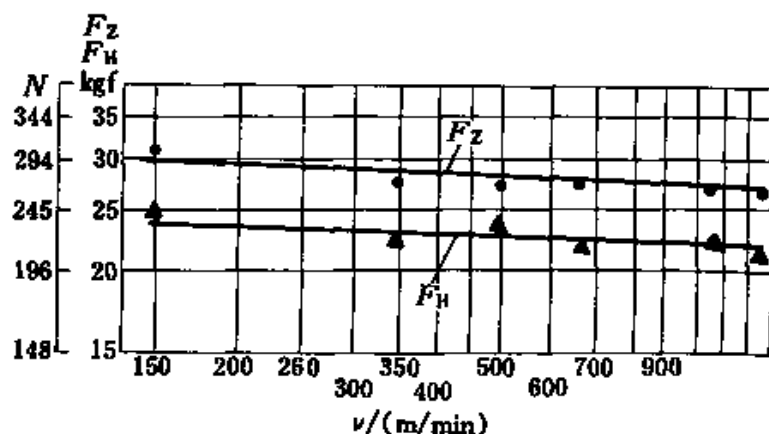


图 4-16 铣削酚醛纸基层压塑料的切削速度与切削力的关系

从图中可看出, 当切削速度 ν 增大时, 切削力稍有减小。这是因为当切削速度增高时, 使得切削温度升高, 使被加工材料中的酚醛树脂呈玻璃化现象, 大大的降低了它的弹性, 被加工材料对刀具后刀面的摩擦力下降, 从而影响了切削力下降。

(2) 每齿进给量 f_z 的影响 在表 4-2 中 7~11 号是利用顺铣法铣削时得到的数据; 而 12~16 号是逆铣法得到的数据。在切削条件: $\nu = 670\text{m/min}$, $a_e = 20\text{mm}$, $a_p = 12\text{mm}$ 不变的情况下, 改变每齿进给量 f_z , 并在铣刀每齿进给量 $f_z = 0.17\text{mm/z} \sim 1.0\text{mm/z}$ 范围内进行实验, 并取其中五个点。在双对数坐标上做出 F_z 、 F_H 与 f_z 的关系曲线

如图 4-17 所示。

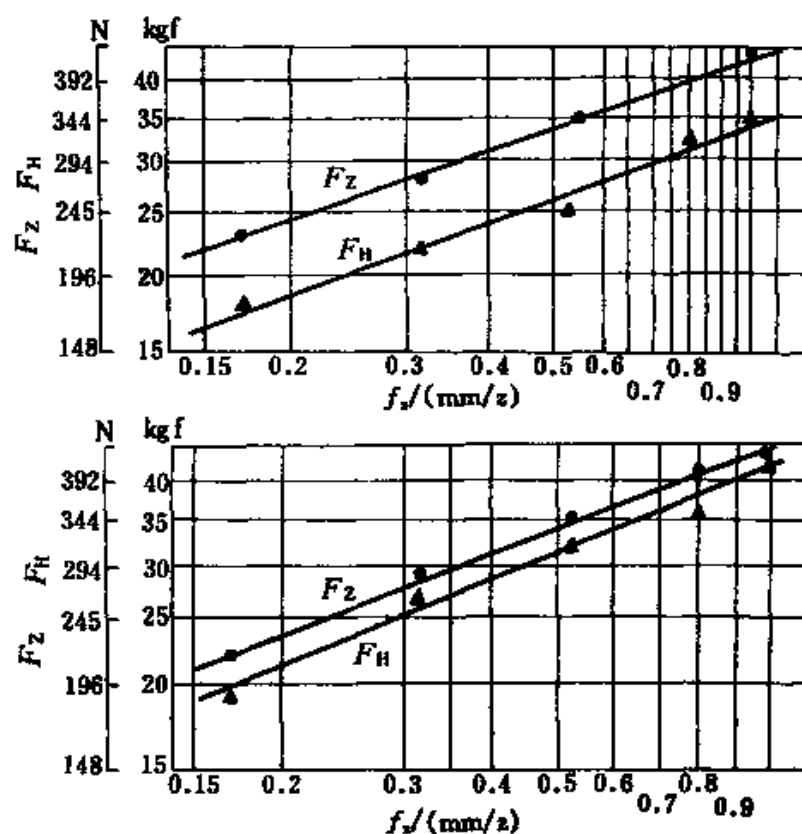


图 4-17 铣削酚醛胶纸层压塑料进给量 f_z 和力的关系

顺铣时, 圆周力 $F_z = 225.6 \sim 431.6\text{N}$, 进给力 $F_H = 176.6 \sim 284.5\text{N}$ 。根据这些数据绘图, 由此可得以下关系式:

$$F_z = C_{Fz} \cdot f_z^{0.34}(\text{kgf})$$

$$F_H = C_{FH} \cdot f_z^{0.36}(\text{kgf})$$

式中 C_{Fz} 、 C_{FH} 分别为圆周切向力和进给力系数, 由图可测得 $C_{Fz} = 410\text{N}$, $C_{FH} = 337.6\text{N}$ 。

逆铣时, 则得以下关系式:

$$F_z = C_{Fz} \cdot f_z^{0.34}(\text{N})$$

$$F_H = C_{FH} \cdot f_z^{0.37}(\text{N})$$

式中 $C_{F_z} = 422.6\text{N}$, $C_{F_H} = 425.3\text{N}$ 。

从上述分析可知, 逆铣时进给力比顺铣时大 15% ~ 18%。当进给量 f_z 增大时, 圆周力 F_z 和进给力 F_H 也随着增大。

(3) 铣削宽度 a_e 的影响 从表 4-2 中可见, 其他车削条件不变的情况下, 改变铣削宽度 a_e , 并在 $a_e = 1, 2, 5, 10, 20\text{mm}$ 的条件下进行实验, 则可得出 a_e 对 F_z 、 F_H 的影响曲线 (图 4-18)。

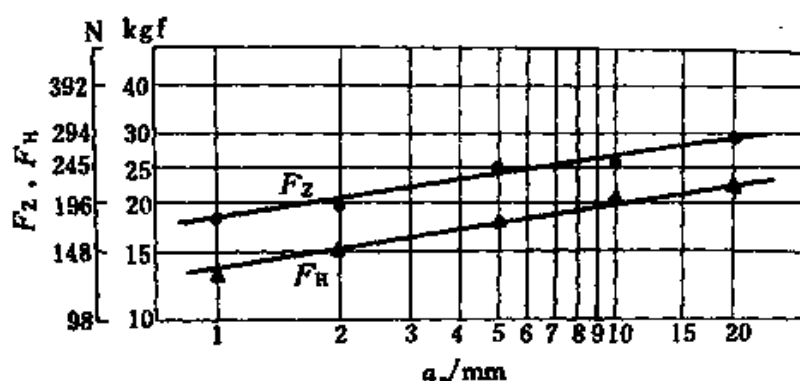


图 4-18 铣削酚醛纸基层压塑料铣削宽度 a_e 和力的关系

从图中可求出, 铣削宽度 a_e 对 F_z 和 F_H 的影响, 其关系式为:

$$F_z = C_{F_z} \cdot a_e^{0.15} \text{N}$$

$$F_H = C_{F_H} \cdot a_e^{0.17} \text{N}$$

式中 $C_{F_z} = 177.9\text{N}$; $C_{F_H} = 135.1\text{N}$ 。

将进给量 f_z 和铣削宽度 a_e 对切削力 F_z 和 F_H 的影响进行比较, 可以看出铣削宽度 a_e 对 F_z 和 F_H 的影响比进给量 f_z 对 F_z 和 F_H 的影响小 2 倍。

(4) 铣削深度 a_p 的影响 在其他条件不变的情况下, 改变铣削深度 a_p , 把得到的 (表 4-2) 中的相应的 F_z 和 F_H 值在双对数坐标上作图, 得图 4-19。由图可得 a_p 对 F_z 和 F_H 影响关系式为:

$$F_z = C_{F_z} \cdot a_p (\text{kgf})$$

$$F_H = C_{F_H} \cdot a_p (\text{N})$$

式中 $C_{F_z} = 20.3\text{N}$; $C_{F_H} = 15.2\text{N}$ 。

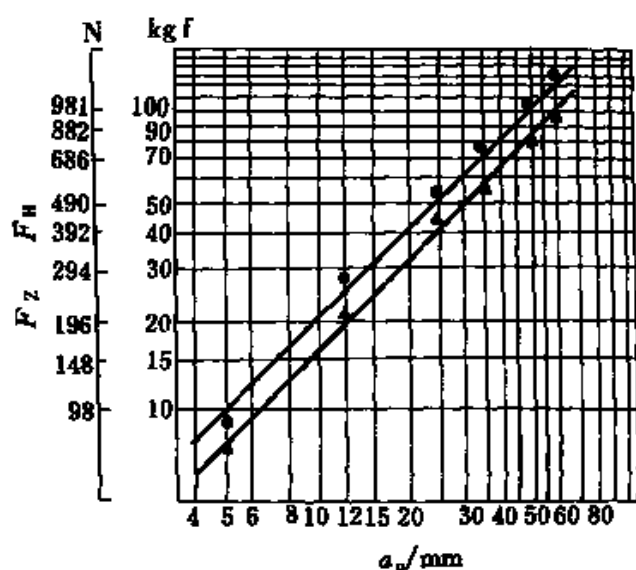


图 4-19 铣削酚醛纸基层压塑料铣削深度 a_p 和力的关系

铣削塑料时, 铣削深度 a_p 对 F_z 和 F_H 的影响比其他铣削要素 (v 、 f_z 、 a_e) 影响大, 这点和铣削金属材料相类似。

在铣削条件相同的情况下, 用三面刃铣刀进行铣削塑料时, 产生的圆周力 F_z 比圆柱铣刀产生的圆周力 F_z 大 10% ~ 15%。这是因为三面刃铣刀有三面侧刃进行切削工作, 而圆柱铣刀仅仅是圆周刃进行切削工作的原因。

二、铣刀几何角度和后刀面的磨损量对切削力的影响

实验条件: 选择镶 YG6 硬质合金刀片的铣刀, 铣刀直径 $d_0 = 225\text{mm}$; 切削速度 $v = 670\text{m/min}$; 顺铣 (或逆铣) 时每齿进给量 $f_z = 0.32\text{mm/z}$; 铣削宽度 $a_e = 20\text{mm}$; 铣削深度 $a_p = 12\text{mm}$ 。分别固定后角 α_0 和前角 γ_0 , 进行前角 γ_0 对切削力 F_z 及后角 α_0 对切削力 F_z 的影响实验。

1. 前角 γ_0 的影响

在后角 $\alpha_0 = 18^\circ$ 的条件下, 分别以前角 $\gamma_0 = -10^\circ$ 、 5° 和 25° 进行切削酚醛纸基层压塑料的实验, 测得的圆周力 F_z 绘于图 4-20 中。从图中可见, 当前角 γ_0 增大, F_z 虽然降低, 但是比较缓慢。因此, 在选用硬质合金铣刀铣削这类塑料时, 前角 γ_0 应选择 $5^\circ \sim 10^\circ$ 为宜。因

为继续增大前角，切削力降低很少，前角增大反而会使刃口强度下降，降低刀具的寿命。

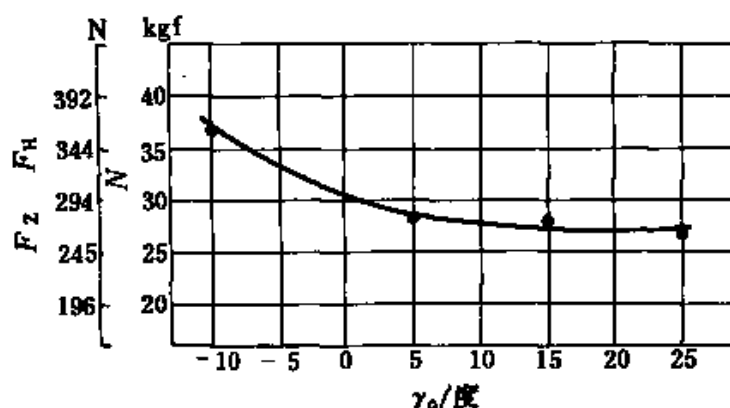


图 4-20 铣削酚醛纸基层压塑料的前角 γ_0 对力 F_z 的影响

2. 后角 α_0 的影响

在前角 $\gamma_0 = 5^\circ$ 的条件下，分别以后角 $\alpha_0 = 8^\circ$ 、 18° 和 25° 进行切削力的实验。测试结果表明，当后角 α_0 增大时，力 F_z 减小。因为后角 α_0 增大后，一方面使刃口锋利，另一方面使加工表面对后刀面摩擦减少所致。

3. 铣刀后刀面磨损的影响

铣刀以后刀面的磨损长度 VB_1 为磨钝标准。分别用 $VB_1 = 0$ 、 0.05 、 0.14 和 0.30mm 的铣刀铣削酚醛纸基层压塑料，进行 VB_1 对切削力的影响实验，其切削力的曲线如图 4-21。从图中可见，当铣刀的后刀面磨损量 VB_1 增大时，切削力也随着增大。这是因为，当后刀面磨损量增大时，后刀面和加工表面的接触面积也增大，摩擦力就增大，因此切削力就增大；另外，随着后刀面磨损增加，刃口的圆弧半径也随着增大，使刃口变钝，这是使切削力增大的另一个原因。

三、被加工材料性质的影响

被加工工件的材料强度、硬度越高，则圆周切削力 F_z 和进给力 F_H 就越大。这一规律可从表 4-2 中看出。如果以有机玻璃为准，则切削其他塑料材料的修正系数可从表 4-3 中查得。

在切削条件相同的情况下,各种塑料材料的切削力为有机玻璃的切削力乘以相应材料修正系数 $K_{\text{料}}$ 。

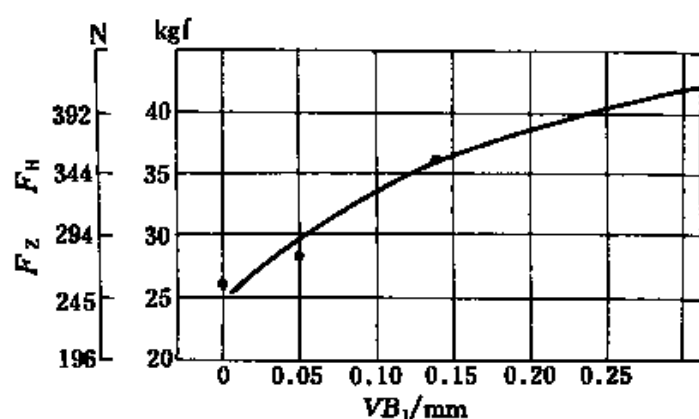


图 4-21 铣刀后刀面的磨损对切削力的影响

表 4-3 铣削不同塑料时切削力 F_z 和 F_y 的修正系数

材料种类	有机玻璃	酚醛棉织物 层压塑料	酚醛玻璃纤维 层压塑料	铝	铜
修正系数 $K_{\text{料}}$	1	0.9	1.2	2.5	6.0

通过上述分析,我们可以得出以下结论。

(1) 在铣削要素中,对切削力影响最大的是铣削深度 a_p 和每齿的进给量 f_z ,铣削宽度 a_e 对切削力的影响仅是每齿进给量的影响 1/2,铣削速度 v 对切削力的影响不大。

(2) 在铣刀几何参数中,前角 γ_0 对切削力影响最大,但在 γ_0 为正值时,影响很小,铣削酚醛纸基层压塑料的合理前角 $\gamma_{0\text{合}}$ 为 $5^\circ \sim 10^\circ$,因为此时的切削力比较小,刃口强度也较高。

(3) 当铣刀后刀面磨损量为 $VB = 0.15\text{mm}$ 时,切削力可增大 20% ~ 30%。

(4) 铣削有机玻璃、酚醛棉织物层压塑料、酚醛玻璃纤维层压塑料、铝和铜的切削力之比为 1:0.9:1.2:2.5:6.0。

(5) 铣削酚醛纸基层压塑料切削力的计算公式为:

$$F_z = \frac{30.5 f_z^{0.34} \cdot a_e^{0.15} \cdot a_p}{\nu^{0.05}} \quad \text{N}$$

$$F_H = \frac{21.5 f_z^{0.36} \cdot a_e^{0.17} \cdot a_p}{\nu^{0.04}} \quad \text{N}$$

第七节 铣 削 热

塑料的强度和硬度比金属小的多,所以铣削塑料产生的热量比铣削金属产生的热量少的多。但是影响加工质量的并不是产生热量的多少,主要是切削区域内的温度影响最大。因塑料的热导率比金属低得多,尽管产生的热量少,但切削区域内的温度是比较高的,有时会造成废品。例如用高速钢钻头和三面刃铣刀铣削塑料时温度是相当高的。

一、铣削用量对切削温度的影响

1. 铣削速度 ν 的影响

固定铣削宽度 $a_e = 20\text{mm}$, 每齿进给量 $f_z = 0.32\text{mm/z}$ 和铣削深度 $a_p = 12\text{mm}$, 以铣削速度 $\nu = 150$ 、350、510、670、1060 和 1270m/min 的数值做实验。采用图 4-22 所示的在工件内埋入电极和刀齿之间组成热电偶和图 4-23 所示的用组合刀齿热电偶的两种测温法,来测量用硬质合金铣刀铣削酚醛纸基层压塑料时切削速度 ν 对切削温度 θ 的影响,其测试结果绘制于图 4-24 中。图中 1 线是埋入电极法测得的结果; 2 线是用组合刀齿法测得的结果。由测得结果可见,无论用何种方法测温,切削速度 ν 对切削温度 θ 影响规律是相同的,即是影响很大。

由图 4-24 中的 1 线可得出用埋入电极法测得的切削速度和切削温度关系式:

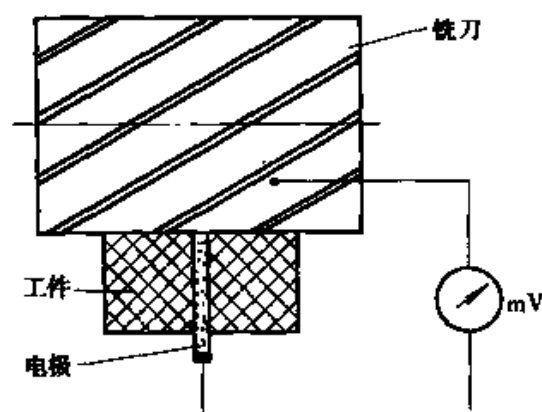


图 4-22 埋入电极测温法

$$\theta = 49.7\nu^{0.30}^{\circ}\text{C}$$

式中 ν ——切削速度, m/min。

式中的系数 49.7 是当 $\nu = 1\text{m/min}$ 时测得的切削温度。指数 0.30

是 1 线相对于纵向坐标的斜率, 或者说是 1 线和纵向坐标夹角的正切值。

用组合刀齿热电偶测得 ν 与 θ 的关系为:

$$\theta = 32.3\nu^{0.32}^{\circ}\text{C}$$

比较上述两式可见, 用两种方法测得的结果不相同。这是因为用组合刀齿热电偶测温时, YG8 和 YT15 两类硬质合

金刀齿, 其组成成分为 WC、TiC 和 Co, 这种化合物和元素做电极时需要的逸出功较大, 而且在刀齿之间常存在氧化膜, 所以比用逸出功较小的金属和刀体为电极的埋入电极热电偶法测得的结果低。

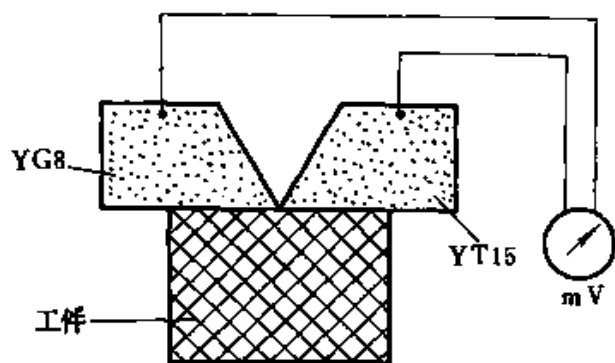


图 4-23 组合刀齿测温法

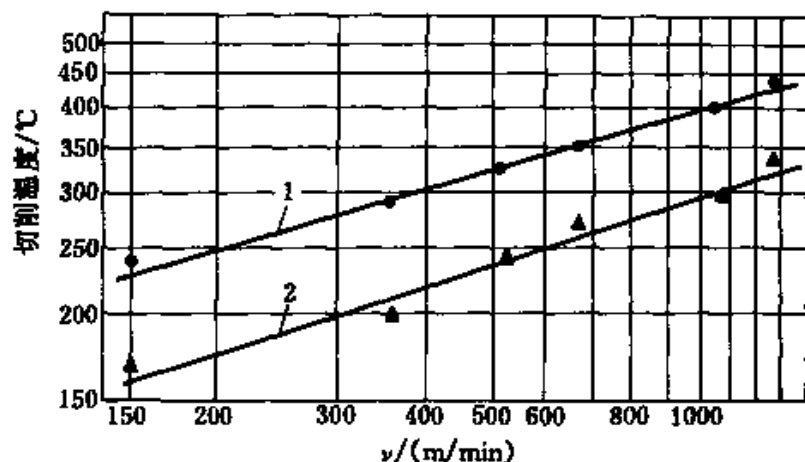


图 4-24 铣削酚醛胶纸层压塑料时切削速度 ν 对切削温度的影响

因为切削功的主要来源是切削时工件的弹性变形、刀齿的前刀面和切屑及后刀面和已加工表面之间的摩擦产生的。当提高切削速度

时,则在单位时间内因变形和摩擦产生的功增大,而刀具和工件的导热未增大,因此切削区域温度提高。

当切削速度 ν 提高 8~10 倍时,切削区域温度增加 2 倍。实验证明,铣削酚醛棉织物层压塑料和酚醛纸基层压塑料切削区域温度可达 350~430℃,上述实验是在后刀面的磨钝标准 $VB_1 = 0.12 \sim 0.14$ 下取得的。

2. 每齿进给量 f_z 的影响

固定其他切削条件,用每齿进给量 $f_z = 0.05 \sim 0.5 \text{ mm/z}$ 范围内做切削温度实验。切削酚醛纸基层压塑料,铣削宽度 $a_e = 20 \text{ mm}$,铣削深度 $a_p = 12 \text{ mm}$,用 YG15 和 Al 做热电偶的电极,记录 f_z 为各值时测得的温度,并将其绘制于图 4-25 中。图中 1 线是 $\nu = 670 \text{ m/min}$; 2 线是 $\nu = 150 \text{ m/min}$ 得到的测试结果。

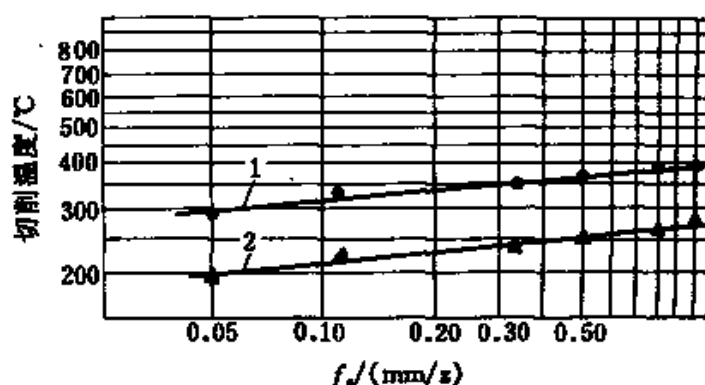


图 4-25 铣削酚醛纸基层压塑料每齿进给量 f_z 对切削温度的影响

根据图 4-25 进行相应的处理后,得数学关系式为:

$$\theta_{150} = 270 f_z^{0.1} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\theta_{670} = 385 f_z^{0.1} \text{ } ^\circ\text{C}$$

式中 θ_{150} , θ_{670} ——分别为 $\nu = 150 \text{ m/min}$ 、 670 m/min 的切削温度。

每齿进给量 f_z 对切削温度的影响比切削速度 ν 的影响小得多。

在保持相同生产率下,为了降低切削温度,应当降低切削速度,提高每齿的进给量。

由图可见, 当每齿进给量 f_z 由 0.05mm/z 增大到 0.5mm/z , 即提高 10 倍时, 切削区域的温度仅仅提高 20%。

3. 铣削宽度 a_e 的影响

固定切削速度 $v = 670\text{m/min}$, 顺铣每齿进给量 $f_z = 0.32\text{mm/z}$ 和铣削深度 $a_p = 12\text{mm}$ 的切削条件下, 分别利用铣削宽度 $a_e = 0.5$ 、1、2、5、10 和 20mm , 铣削酚醛纸基层压塑料, 用铝 (Al) 和 YG15 硬质合金刀具做热电偶电极, 测得的温度 θ 和铣削宽度 a_e 的关系绘制在图 4-26 中。

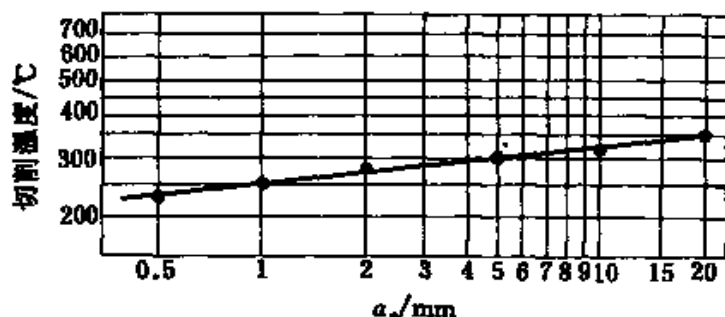


图 4-26 铣削酚醛纸基层压塑料时铣削宽度 a_e 对切削温度的影响

a_e 和 θ 的数学关系式为:

$$\theta = 253 \cdot a_e^{0.1} ^\circ\text{C}$$

通过上述可见, 铣削宽度 a_e 对切削温度影响较小。

4. 铣削深度 a_p 的影响

在固定其他切削条件的情况下, 分别利用铣削深度 $a_p = 5$ 、12、18 和 24mm 做铣削酚醛纸基层压塑料的实验, 测得的切削温度在 $340 \sim 350^\circ\text{C}$ 范围内变化, 由此可见, 铣削深度对切削温度影响不大。因为铣削深度 a_p 增大后, 工件和铣刀的接触长度也相应的增大, 散热面积增大, 故切削温度基本没有变化。

二、铣刀的磨损对切削温度的影响

在铣削各种塑料的过程中, 铣刀一方面从工件上切除切屑, 另一方面铣刀本身的后刀面也发生磨损。磨损后的铣刀变钝, 刃口半径 ρ 增大。当磨损继续扩大后, 铣刀的几何参数发生变化, 后刀面也变得

越来越粗糙, 并和已加工表面接触面积也扩大, 使切削区域内的温度升高。

用镶 YG15 硬质合金刀齿的圆柱铣刀铣削酚醛玻璃纤维层压塑料。在工件中埋入 (Al) 做电极, YG15 刀齿为另一电极组成热电偶。固定的切削条件为: 切削速度 $v = 150\text{m/min}$ 或 670m/min ; 每齿的进给量 $f_z = 0.32\text{mm/z}$; 铣削深度 $a_p = 12\text{mm}$; 铣削宽度 $a_e = 20\text{mm}$ 。用后刀面磨损量 $VB = 0, 0.05, 0.10\text{mm}$ 和 $VB = 0.10, 0.14, 0.30\text{mm}$ 两组的情况下做实验。把测得的结果绘于图 4-27 中, 图中 1 线和 2 线分别为 $v = 670\text{m/min}$ 和 150m/min 测得的结果。

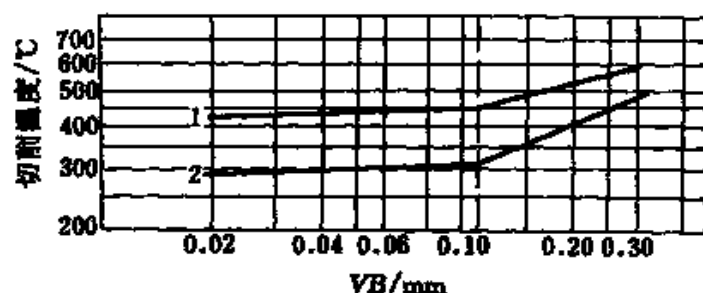


图 4-27 铣削酚醛玻璃纤维层压塑料时后刀面磨损量 VB 对切削温度的影响

从图 4-27 中可以看出, 当 $VB > 0.12\text{mm}$ 时, 后刀面磨损量 VB 对切削温度影响较大; $VB < 0.12\text{mm}$ 时, 则 VB 对切削温度影响甚小。

在 $VB > 0.12\text{mm}$ 时, VB 和切削温度 θ 的数学关系为:

对于 $v = 150\text{m/min}$, $\theta = C_1 (VB)^{0.05} \text{ } ^\circ\text{C}$;

对于 $v = 670\text{m/min}$, $\theta = C_2 \cdot (VB)^{0.03} \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

三、塑料中的基材对切削温度的影响

以玻璃纤维、纸和棉织物为基材的各种热固性塑料, 由于基材不同, 所以它们的强度和硬度也有差异; 并且不同的基材对刀具的磨损情况也不同, 所以切削区域的温度不同。图 4-28 是在相同的切削条件 ($a_e = 20\text{mm}$, $f_z = 0.32\text{mm/z}$, $a_p = 12\text{mm}$, $v = 150 \sim 1270\text{m/min}$, $VB_I = 0.05\text{mm}$, 用 Al-YG15 做热电偶来测量) 下, 切削不同基材的

热固性塑料时测得的切削区域温度变化情况。

图中 1 线是切削以玻璃为基材的热固性塑料温度变化情况；2 线是切削以纸为基材的情况。

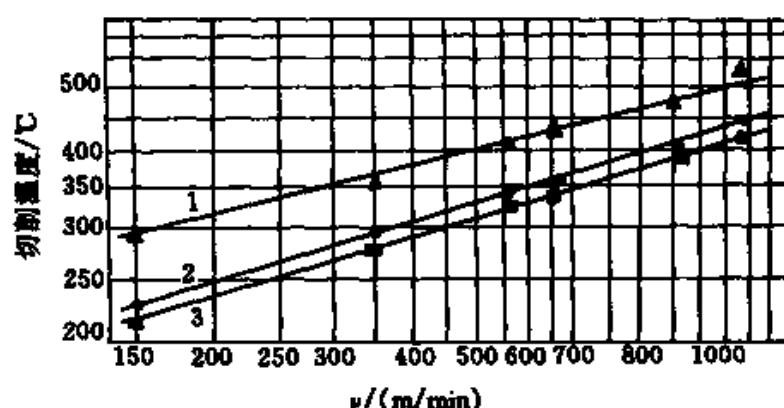


图 4-28 热固性塑料中的基材对切削温度的影响

从图中可见，以切削玻璃基材的热固性塑料产生的温度最高，其次是纸基材的，棉织物为基材的切削温度最低。玻璃基材比纸基材切削温度高 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ，纸基材比棉织物基材的切削温度高 $20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

四、加工表面上不同深度上的温度

图 4-29a 是对距离加工表面不同深度上测温系统示意图。图 4-29b 是以切削速度 v 等于 670m/min (1 线) 和 150m/min (2 线)；每齿进给量 $f_z = 0.32\text{mm/z}$ ；铣削宽度 $a_e = 20\text{mm}$ ；铣削深度 $a_p = 12\text{mm}$ 的切削条件，铣削酚醛纸基层压塑料时，距离表层不同深度 Δ 时温度分布情况。

总括上述对切削温度的研究可得下述结论：

(1) 铣削各类塑料时切削区域的温度比在相同条件下铣削金属切削区域温度低的多；

(2) 尽管切削速度很高，有时可达 $1000 \sim 1500\text{m/min}$ ，但在铣刀后刀面磨损限度 $VB < 0.12 \sim 0.14\text{mm}$ ，在工件的已加工表面上看不到破坏和烧焦现象；

(3) 在铣削用量 (v 、 f_z 、 a_p 、 a_e) 中，切削速度 v 对切削区域

内的温度影响最大；

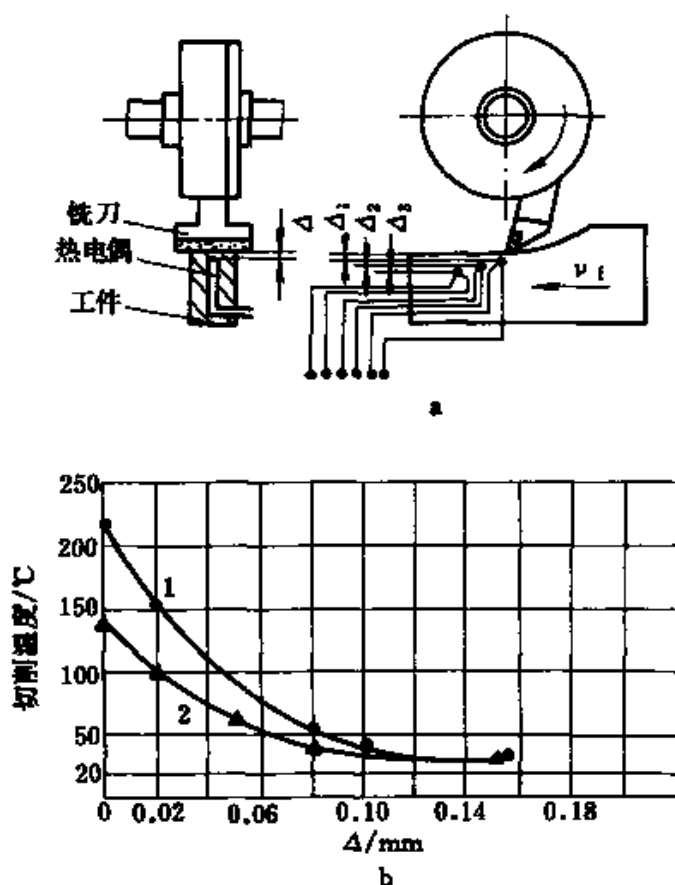


图 4-29 加工表面上不同深度上的温度

(4) 铣削酚醛纸基层压塑料时，铣削用量对切削区域的温度影响可用下式表示：

$$\theta = 41.46\nu^{0.3} \cdot a_p^{0.1} \cdot f_z^{0.1} \text{ } ^\circ\text{C}$$

铣削深度 a_p 对切削温度影响甚小。

(5) 对于各种基材的热固性层压塑料，基材的性质对切削区域温度有一定的影响，影响最大的是玻璃纤维基材；

(6) 切削产生的热量只能传到已加工表面以下 0.1~0.3mm 深度处，在已加工表面以下 0.02mm 处的切削温度仅是表层温度的一半。

第八节 铣刀的设计

目前在我国塑料铣削加工中,不但利用金属切削机床和利用金属的切削刀具,而且在我国工具制造厂家和机械制造厂的工具车间还设有专门用于加工塑料的铣刀。但是,加工塑料的铣刀和加工金属的铣刀有所不同,根据塑料的特殊性质,加工塑料的铣刀应具有以下特点:

(1) 加工塑料的铣刀在刃磨成大前角、后角、副后角和主偏角时要简便、可行;

(2) 由于加工塑料产生的切削力比加工金属产生的切削力小的多,所以加工塑料的铣刀可根据实际情况选用较大的直径;

(3) 铣削热塑性塑料时,通常产生膨松的带状切屑,所以需要较大的容屑空间,为此,一方面应尽量减少铣刀齿数,另一方面要选用适宜的齿背形式;

(4) 在铣削具有基材的塑料时,尤其是以玻璃纤维为基材的热固性塑料,工件对刀具的磨料磨损相当严重。

根据铣削各种塑料的特性而设计的铣刀介绍如下。

1. 双刃沟槽铣刀

图 4-30 所示的这种结构的铣刀主要用于加工有机玻璃。刀具用 W18Cr4V 高速钢制造,只有两个切削刃,容屑空间大。把容屑槽进行抛光,切屑在容屑槽内流动时阻力小。铣刀可以垂直进给,也可以做纵向进给。铣刀的结构尺寸可在表 4-4 中查得。

表 4-4 双刃沟槽铣刀的结构尺寸

单位: mm

d_0	d_1	d	L	l_1	l_2	R	R_1	k	f	l
6	2.6	12	100	20	6	2.5	1.2	1.1	0.4	8
8	3.4	12	100	25	7	3.25	1.5	1.4	0.5	10
10	4.2	12	100	35	8	4.1	1.9	1.8	0.6	10
12	5.1	12	115	50	10	4.9	2.3	2.1	0.7	12

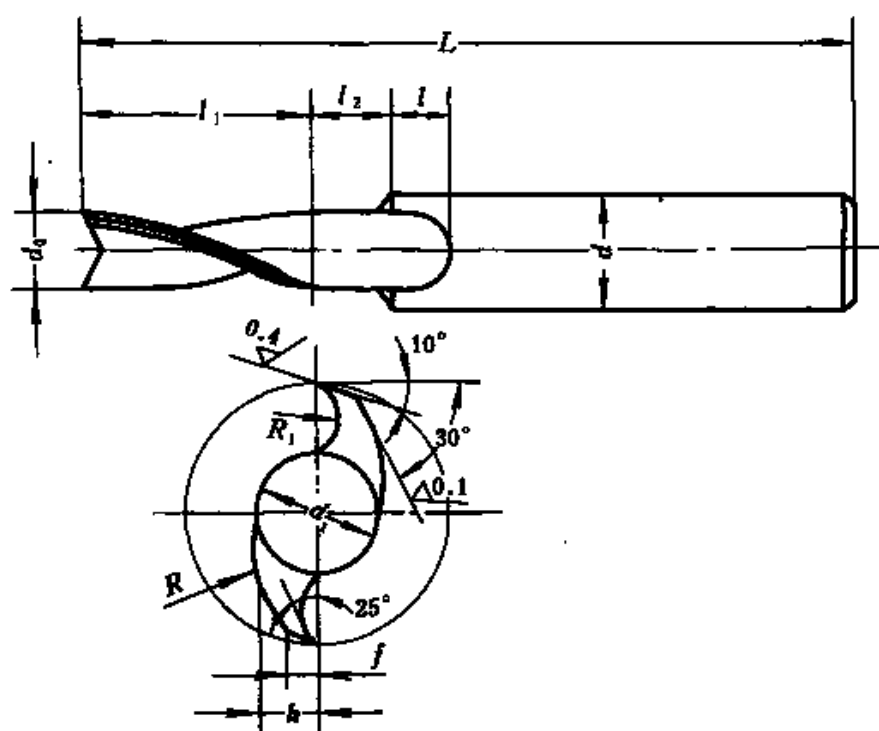


图 4-30 双刃沟槽铰刀

2. 铰削层状和纤维基材的热固性塑料的专用铰刀

图 4-31 所示的这种铰刀是美国 Lear siegler 公司研制成功的。铰刀包括工作部分 1 和柄部 2。在工作部分的一半上，磨出螺旋槽 3 和螺旋角为 60° 的切削刃 4；在另一半上磨出方向相反、螺旋角相同的螺旋槽 7 和切削刃 8。铰刀的端部可磨成类似钻头的型式，它有横刃 5 和切削刃 6，也可以磨成平面的形式。

切削刃 4 和 8，螺旋角 3 和 7 大体上在工作部分的中段汇合。注意，选择螺旋槽宽度时，应注意不要使两条切削刃相交，也就是说二者之间应有间隔。

凸角 9 和 10 与凹入部分 11 和 12 分别形成切削刃 13 与 14。沿着铰刀整个工作部分制出一条或几条与轴线平行的排屑槽 15，其槽深应超过螺旋槽 3 和 7 的深度。每条排屑槽均通过铰刀的所有切削刃。

加工时，塑料板的厚度应小于刀具工作部分的长度。这样在被铰工件的中心形成切削刃两个刃段的汇合区为 Z。切削过程中，切削刃

将剪切到塑料板的底部，而使切出的塑料纤维向着 Z 区集中。由于各条切削刃在 Z 区是互相盖过的，就能保证塑料板面在全宽上加工质量良好。凹入部分的存在，尤其是当转数增大时使切削变得轻快。锋利的切削刃能确保塑料纤维是被切断而不是受到刮擦。

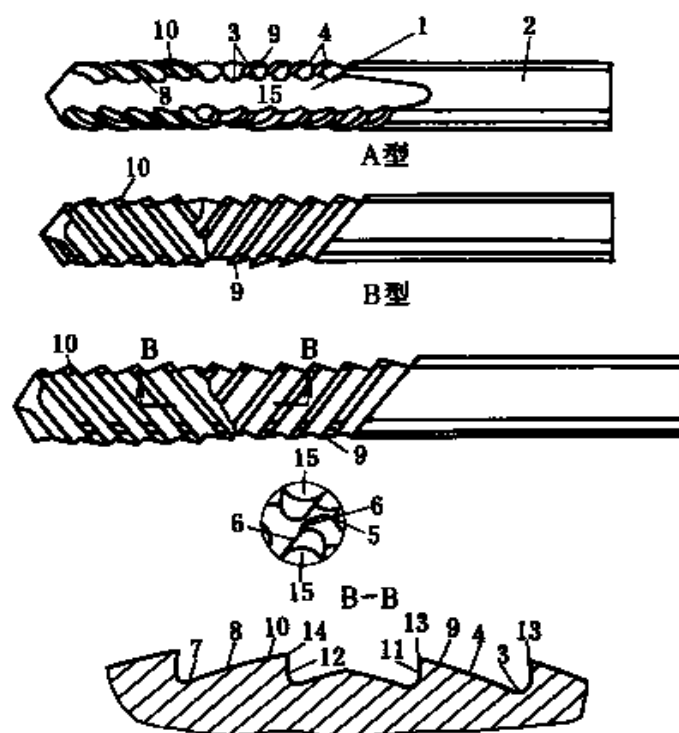


图 4-31 铣削基材为层状和纤维状热固性塑料的专用铣刀

切削刃的数量与长度取决于被切层的长度、被加工材料的结构等。

3. 万能双刃铣刀

图 4-32 所示的铣刀是前苏联哈尔科夫列宁工业大学研制的，在单件小批生产中使用非常方便。铣刀的直径可以利用改变刀齿位置的方法进行调整，调整范围为 100 ~ 300mm。刀齿的最大宽度为 70mm。在铣刀刀体上开两条矩形通槽，每个槽中可安装一个棱体形刀齿 2。矩形刀槽的一端用角铁 3 堵死，角铁 3 用螺钉 7 和柱销 8 固定在刀体 1 上。在角铁 3 上制有紧固螺钉 6 的圆孔与调整螺钉 4 的螺孔，调整

刀齿 2 时，同时拧动紧固螺钉 6 和调整螺钉 4，使两刀齿达到需要的直径，再用螺钉 5 固定调整螺钉 4。应当注意，两刀齿的伸出量应保证相等，方可防止两齿径向圆跳动的误差。为了防止刀齿和刀体上矩形槽靠不紧和在端面方向移动，把半球形盖用四个螺钉 11 紧固在刀体 1 上，在半球形盖上装有圆头螺钉 9，螺钉 9 的顶端压紧刀齿 2 的侧面，使刀齿受力均匀。刀齿 2 可根据加工的要求更换，装成圆柱铣刀（Ⅰ齿）、成形铣刀（Ⅱ齿）、盘形铣刀（Ⅲ齿）和角度铣刀（Ⅳ齿）进行各种相应形状的铣削加工。

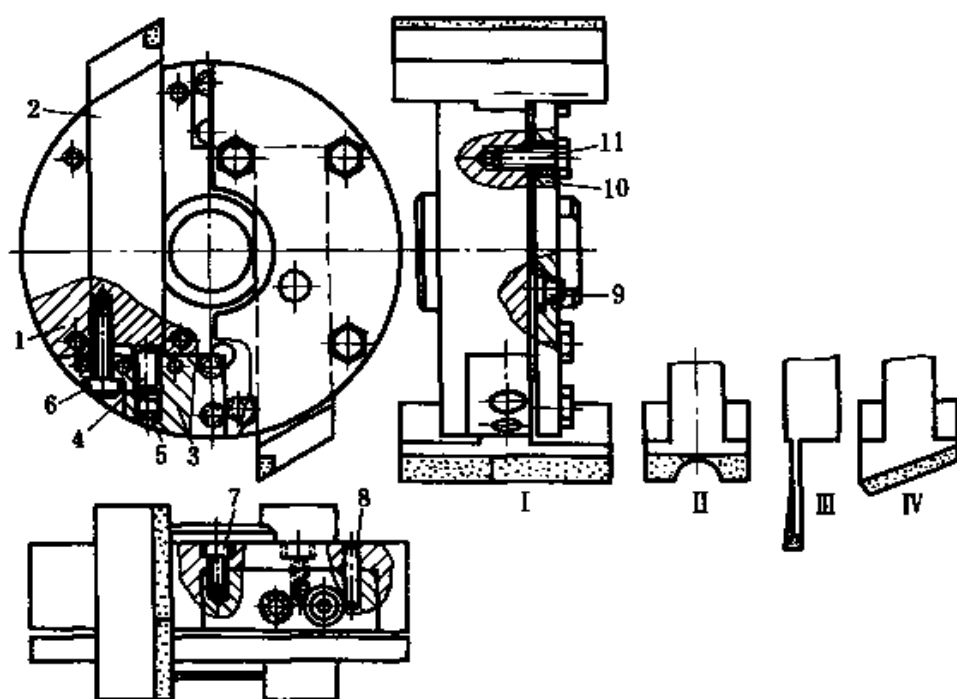


图 4-32 万能双刃铣刀

由于刀齿的前刀面不通过刀体的中心线，而是平行于刀体的中心线，刀尖距中心距离为 e （图 4-33），因而工作过程中的工作前角 γ_{∞} 和后角 α_{∞} 应和单刀齿刃磨时前角 γ_0 和后角 α_0 相差一个 μ 角。如图 4-33 所示 μ 角的数值按下式计算：

$$\sin \mu = \frac{2e}{d_0}$$

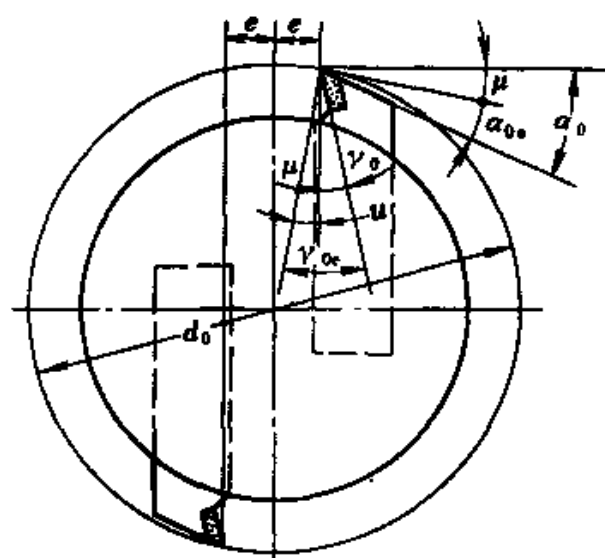


图 4-33 铣刀的工作角度

式中 e ——单刀齿与刀体中心线的位移量, mm;

d_0 ——铣刀直径, mm。

工作角度和刃磨角度关系按下式计算:

$$\gamma_{oe} = \gamma_0 + \mu$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_0 - \mu$$

由上述分析可见, 实际起作用的前角 γ_{oe} 在不影响刀具刃口强度的情况下加大了; 而实际起作用的后角 α_{oe} 减小了 μ 值, 这点在设计单刀齿的刃

磨角度 α_0 必须特别注意。所选取的 α_0 应等于根据切削条件选择的后角和 μ 角之和, 这样方能保证刀具的正常切削。

4. 单齿铣刀

单齿铣刀 (图 4-34) 是一种装配式铣刀, 用机械夹固的方法把刀齿 2 夹紧于刀体 1 上。

单齿铣刀的结构特点如下。

(1) 刀齿 2 是机夹式的, 可以更换, 可根据加工要求更换成圆柱形、盘形、角度和成形铣刀。

(2) 刀齿可从刀体上卸

下来, 在刀体外进行刃磨, 这样不但简化了刃磨, 还可以刃磨成任意角度。尤其是可以刃磨成任意的副偏角 k'_r 和副后角 α'_0 , 这两个角度由于刀体的关系是很难在体内刃磨的。

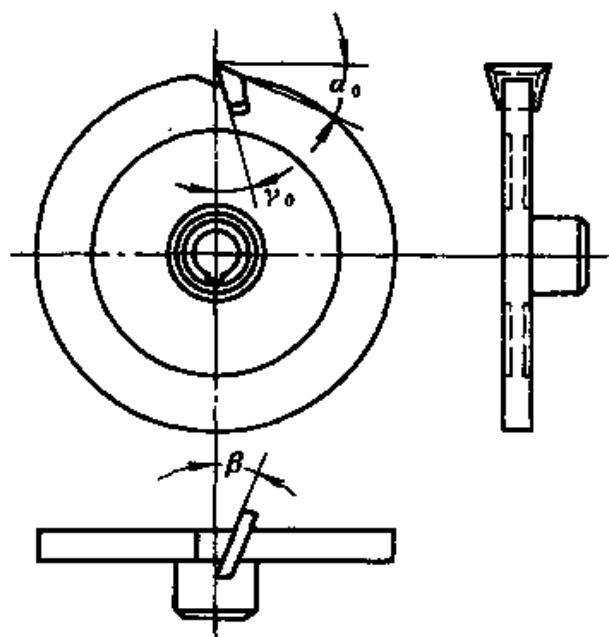


图 4-34 单齿铣刀

(3) 更换或调整刀齿时, 不用把铣刀从铣床上卸下来, 可节省时间。

(4) 这种铣刀钢性大, 因此避免了多齿铣刀刀齿的径向跳动, 这样可保证加工精度和 R_a 值。

(5) 刀齿用机夹方法装于刀体上, 而不用焊接法, 这样可消除因焊接而造成的硬质合金刀片硬度下降的缺陷, 刀片内部不产生内应力、裂纹, 提高了刀具的寿命。

(6) 使用简单, 成本低。

5. 加工成形沟槽用的铣刀

图 4-35 所示的这种铣刀的主要用途是加工成形沟槽。这种铣刀共有 12 个刀齿, 左侧 6 个, 右侧 6 个, 相间排列。右刀齿 1 和左刀齿 2 用销子 4 紧固于刀体 3 上。销子中心线和刀体轴线的倾斜角为 15° , 刀齿的底面相对于刀体轴线倾斜角为 12° 。小刀齿的刀体用 15# 钢制造, 刀片用 YG6 焊在小刀体上。铣刀刀体用 50# 钢制造。其他几何参数见图 4-35。

第九节 铣削用量的确定

一、铣削酚醛纸基层压塑料铣削用量的确定

根据实验可得出用各种铣刀铣削酚醛纸基层压塑料时, 铣削用量分别计算如下:

1. 高速钢立铣刀和三面刃盘铣刀

(1) 计算公式:

$$v = \frac{68 \cdot d_0^{0.5}}{T^{0.7} \cdot f_z^{0.4} \cdot a_p^{0.07}} \quad \text{m/min}$$

式中 d_0 ——铣刀直径, mm;

f_z ——铣刀每齿进给量, mm/z;

a_p ——铣削深度, mm;

T ——铣刀寿命, min;

v ——切削速度, m/min。

(2) 例题 用高速钢立铣刀铣削沟槽, 其已知条件为: $T =$

40min, $a_p = 30\text{mm}$; $f_z = 0.10\text{mm/z}$, $d_0 = 30\text{mm}$, 求切削速度 ν 。

根据公式计算如下:

$$\nu = \frac{68 \cdot d_0^{0.5}}{T^{0.7} \cdot f_z^{0.4} \cdot a_p^{0.07}} \text{ m/min} = \frac{68 \times 30^{0.5}}{40^{0.7} \times 0.1^{0.4} \times 3^{0.07}} \\ = 65.3 \text{ m/min}$$

2. 高速钢角度铣刀

(1) 计算公式 当每齿进给量 $f_z = 0.1 \sim 0.4\text{mm/z}$ 时:

$$\nu = \frac{897 f_z^{0.33} \cdot d_0^{0.35}}{T^{0.55} \cdot a_p^{0.30}} \text{ m/min}$$

当每齿进给量 $f_z = 0.4 \sim 0.8\text{mm/z}$ 时:

$$\nu = \frac{440 d_0^{0.35}}{T^{0.55} f_z^{0.40} \cdot a_p^{0.30}} \text{ m/min}$$

(2) 例题 用高速钢角度铣刀铣削酚醛纸基层压塑料, 已知条件: $T = 30\text{min}$, $a_p = 30\text{mm}$, $f_z = 0.3\text{mm/z}$, $d_0 = 125\text{mm}$, 求 ν 。

根据给定的 f_z 来选择公式计算如下:

$$\nu = \frac{897 \cdot f_z^{0.33} \cdot d_0^{0.35}}{T^{0.55} \cdot a_p^{0.30}} \text{ m/min} = \frac{897 \times 0.3^{0.33} \times 125^{0.35}}{30^{0.55} \times 3^{0.30}} \\ = 363\text{m/min}$$

3. 高速钢圆柱铣刀

(1) 计算公式

$$\nu = \frac{675}{T^{0.18} \cdot a_e^{0.03} \cdot f_z^{0.06} \cdot d_0^{0.11}}$$

式中 a_e ——铣削宽度, mm。

(2) 例题 用高速钢圆柱铣刀铣削酚醛胶纸层压塑料的平面。已知条件: $T = 60\text{min}$, $a_e = 3\text{mm}$, $f_z = 0.10\text{mm/z}$, $d_0 = 100\text{mm}$ 。求 ν 。

根据公式计算如下:

$$\nu = \frac{675}{T^{0.18} \cdot a_e^{0.03} \cdot f_z^{0.06} \cdot d_0^{0.11}} = \frac{675}{60^{0.18} \times 3^{0.03} \times 0.10^{0.06} \times 100^{0.11}} \\ = 217 \text{ m/min}$$

4. 硬质合金圆柱铣刀和盘铣刀

(1) 计算公式:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot f_z^y \cdot a_e^x} \quad \text{m/min}$$

式中 C_v ——切削速度 v 的系数;

m ——寿命 T 的指数;

y ——每齿进给量的指数;

x ——铣削宽度 a_e 的指数。

各系数和指数按表 4-5 选取。

表 4-5 系数 C_v 与指数

系数和 指数	切削速度 v / (m/min)			
	圆柱铣刀		盘状铣刀	
	150 ~ 670	大于 670 ~ 1300	150 ~ 500	大于 500 ~ 900
C_v	$1.28 \cdot 10^6$	$1.11 \cdot 10^6$	$2.49 \cdot 10^7$	$9.83 \cdot 10^3$
m	1.43	0.53	1.80	0.50
y	0.33	0.12	0.47	0.13
x	0.57	0.21	0.68	0.19

(2) 例题 用硬质合金圆柱铣刀铣削酚醛纸基层压塑料。已知条件: $T = 350\text{min}$, $a_e = 2\text{mm}$, $f_z = 0.3\text{mm/z}$, $d_0 = 145\text{mm}$, 刀具材料 YG4。求 v 。

根据公式计算如下:

$$v = \frac{c_v \cdot K_{d_0} \cdot K_u}{T^m \cdot f_z^y \cdot a_e^x} \quad \text{m/min} = \frac{1.28 \times 10^6 \times 1.1 \times 1.0}{350^{1.43} \times 0.3^{0.33} \times 2^{0.57}} \\ = 323 \text{ m/min}$$

式中 K_{d_0} ——铣刀直径的修正系数, 对于直径为 145mm 的铣刀,

$$K_{d_0} = 1.1;$$

K_u ——刀具材料的修正系数, 对于 YG4 材料, $K_u = 1.0$ 。

二、铣削其他塑料时铣削用量的选择

铣削热塑性塑料的铣削用量推荐按表 4-6 选择。

铣削热固性塑料的铣削用量推荐按表 4-7 选取。

已加工表面粗糙度和铣削用量有较大关系。表 4-8 是用高速钢立铣刀在不同的铣削用量条件下, 所得的表面粗糙度。

表 4-6 热塑性塑料的铣削用量

被加工塑料	刀具寿命 min	切削速度 ^① m/min	进给量 ^① mm/z	铣削宽度 mm	已加工表面 粗糙度 R_a 值 μm	备注
聚氯乙稀	$\frac{90 \sim 120}{120 \sim 180}$	$\frac{300 \sim 550}{600 \sim 800}$	$\frac{1.0 \sim 2.0}{0.5 \sim 1.0}$	$\frac{8 \sim 12}{3 \sim 8}$	3.2 ~ 0.80	无冲击 铣削
尼龙 6	$\frac{60 \sim 120}{120 \sim 180}$	$\frac{100 \sim 140}{150 \sim 180}$	$\frac{0.2 \sim 0.25}{0.05 \sim 0.12}$	$\frac{3 \sim 5}{1 \sim 2}$	1.6 ~ 0.80	—
聚乙烯	$\frac{60 \sim 120}{120 \sim 180}$	$\frac{400 \sim 600}{700 \sim 1000}$	$\frac{0.25 \sim 0.30}{0.08 \sim 0.20}$	$\frac{3 \sim 5}{1 \sim 2}$	1.6 ~ 0.80	用螺旋 齿铣刀
聚苯乙烯	$\frac{60 \sim 120}{120 \sim 180}$	$\frac{150 \sim 200}{250 \sim 400}$	$\frac{0.3 \sim 0.5}{0.08 \sim 0.20}$	$\frac{3 \sim 5}{1 \sim 2}$	3.2 ~ 0.80	—
聚酰胺 树脂	$\frac{60 \sim 120}{120 \sim 180}$	$\frac{125 \sim 150}{180 \sim 300}$	$\frac{0.08 \sim 0.1}{0.03 \sim 0.05}$	$\frac{3 \sim 5}{1 \sim 2}$	1.6 ~ 0.4	逆铣
有机玻璃	$\frac{60 \sim 120}{120 \sim 180}$	$\frac{30 \sim 60}{60 \sim 120}$	$\frac{0.2 \sim 0.4}{0.1 \sim 0.20}$	$\frac{1 \sim 3}{0.5 \sim 1.0}$	0.8 ~ 0.2	—
尼龙 66	$\frac{60 \sim 120}{120 \sim 180}$	$\frac{300 \sim 500}{500 \sim 700}$	$\frac{0.1 \sim 0.4}{0.05 \sim 0.10}$	$\frac{1 \sim 2}{0.5 \sim 1.0}$	3.2 ~ 0.80	—

① 刀具寿命一栏的上、下行分别为万能铣床和半自动铣床上用 W18Cr4V 铣刀的寿命。铣削速度和进给量的上行指粗铣, 下行指精铣。

表 4-7 热固性塑料的铣削用量^①

被加工塑料	刀具材料	刀具 寿命 min	切削速度 m/min	进给量 mm/z	铣削 宽度 mm	已加工表面 粗糙度 R_a μm	备注
酚醛树脂	YG6、YG8	$\frac{30 \sim 60}{50 \sim 150}$	$\frac{150 \sim 250}{250 \sim 350}$	$\frac{0.4 \sim 0.8}{0.2 \sim 0.25}$	$\frac{5 \sim 7}{2 \sim 3}$	1.6 ~ 0.8	顺铣
氨基树脂	YG6、YG8	$\frac{30 \sim 60}{60 \sim 150}$	$\frac{150 \sim 250}{250 \sim 350}$	$\frac{0.4 \sim 0.8}{0.1 \sim 0.25}$	$\frac{5 \sim 7}{3 \sim 5}$	1.6 ~ 0.8	—
以棉织物 为基材热固 性塑料	W18Cr4V	$\frac{60 \sim 120}{120 \sim 150}$	$\frac{100 \sim 200}{200 \sim 350}$	$\frac{0.3 \sim 0.4}{0.1 \sim 0.2}$	$\frac{6 \sim 8}{3 \sim 5}$	1.6 ~ 0.8	—

续表

被加工塑料	刀具材料	刀具寿命 min	切削速度 m/min	进给量 mm/z	铣削宽度 mm	已加工表面粗糙度 R_a μm	备注
以纤维材料为基材的热固性塑料	W18Cr4V	$\frac{60 \sim 120}{120 \sim 150}$	$\frac{150 \sim 200}{200 \sim 350}$	$\frac{0.2 \sim 0.3}{0.08 \sim 0.15}$	$\frac{5 \sim 7}{2 \sim 4}$	3.2 ~ 1.6	形成大量粉尘
酚醛玻璃纤维层压塑料	YG6、YG8	$\frac{30 \sim 90}{90 \sim 120}$	$\frac{200 \sim 300}{350 \sim 500}$	$\frac{0.1 \sim 0.15}{0.05 \sim 0.1}$	$\frac{3 \sim 5}{1 \sim 2}$	3.2 ~ 1.6	工作地须有吸尘装置

① 说明同表 4-6。

表 4-8 铣削有机玻璃的铣削用量和表面粗糙度 R_a 值关系①

铣 削 用 量				可达到的表面粗糙度 R_a 值 μm
切削速度 v m/min	进给量 f_z mm/z	铣削宽度 a_e mm	铣削深度 a_p mm	
11.3	0.1	3	10	0.2
49				0.2
103				0.2
156				0.4
195				0.4
61.5	0.02	3	10	0.2
	0.06			0.2
	0.10			0.2
	0.30			0.4
	0.50			0.4
61.5	0.1	0.5	10	0.1
		1.0		0.1
		2.0		0.1
		3.0		0.2
		5.0		0.8
		8.0		0.8

① 用立铣刀加工时, 刀具几何参数: $\gamma_0 = 7^\circ$, $\alpha_0 = 13^\circ$, $\beta = 35^\circ$, $d_0 = 30mm$ 。

第五章 塑料的切断

第一节 概 述

各种塑料通常以板材、型材和棒料供货，为了获得各种用途的零件，经常需要切断。切断塑料的方法很多，常用的方法见图 5-1 所示。一般塑料板材可用锯或剪刀切断，在带锯机上用带锯或在圆锯机上用圆锯切断，或在剪床上剪断，也可在铣床上用锯片铣刀进行切断。圆棒料可在车床上用切断车刀切断。近年来，已日益推广用金刚石砂轮和热金属丝进行切断。切断塑料时，通常在木材切削机床或金属切削机床上进行。在木工机床上切断时，通常用带锯和圆锯做刀具，刀具材料一般用高速钢。圆锯也可镶硬质合金刀片；带锯也可用

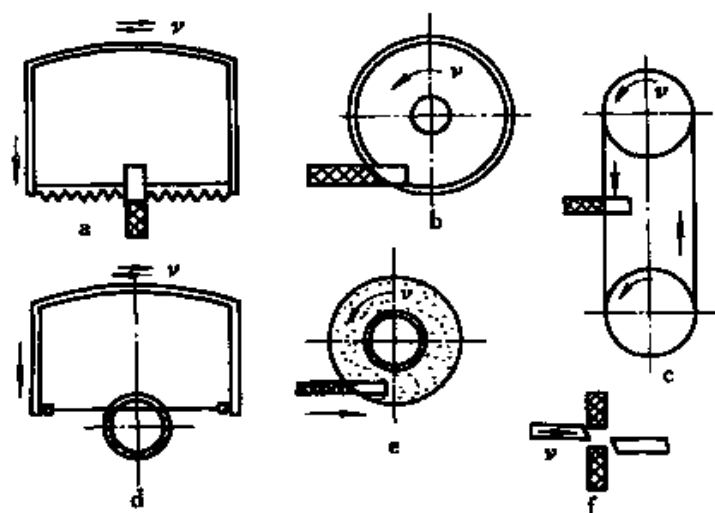


图 5-1 切断塑料的方法

a. 弓锯；b. 圆锯；c. 带锯；d. 热金属丝；e. 金刚石砂轮；f. 剪断

上用圆锯切断，或在剪床上剪断，也可在铣床上用锯片铣刀进行切断。圆棒料可在车床上用切断车刀切断。近年来，已日益推广用金刚石砂轮和热金属丝进行切断。切断塑料时，通常在木材切削机床或金属切削机床上进行。在木工机床上切断时，通常用带锯和圆锯做刀具，刀具材料一般用高速钢。圆锯也可镶硬质合金刀片；带锯也可用

适应由高速运动带来的频繁弯曲工作特性的 65Mn 钢。在金属切削机床上切断时，所用的刀具通常用碳素工具钢，高速钢或硬质合金制造。碳素工具钢的耐热性很低，仅仅是 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，比高速钢的耐热性 ($500 \sim 650^{\circ}\text{C}$) 差的多。但是碳素工具钢的热导率 ($41.87\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$) 比高速钢的热导率 ($16.75 \sim 25.1\text{W}/(\text{m}\cdot\text{k})$) 高的多，切削塑料时切削区域的温度不高，并且塑料的热导率十分低，为了使切削区域温度不过高，所以有些用于切削塑料的切断刀可用碳素工具钢制造。

在单件生产并要求加工质量不高的情况下，可用锯切断，可切断的厚度比较小，在不预热的情况下不能大于 3mm。手锯和剪刀切断的厚度可参考表 5-1 中推荐的数值。

表 5-1 用手锯和剪刀剪断塑料板材厚度 单位: mm

初剪断材料	可剪断材料的最大厚度	
	不预热	预热
酚醛纸基层压塑料	0.8	3.0
酚醛棉织物层压塑料	0.8	3.0
酚醛石棉布层压塑料	1.5	3.0
酚醛玻璃纤维层压塑料	3.0	9.0

各种基材的层压热固性塑料板材在剪断前最好预热至 $120 \sim 130^{\circ}\text{C}$ ，这样，可以消除剪切时的缺陷。

当剪切厚度为 $2 \sim 2.5\text{mm}$ 的热塑性塑料（聚氯乙烯和聚乙烯等）板材时，不要预热，因为这种材料预热会使它在切口处变软而扭曲。但要想预热切断，必须在具体的加工条件下经过实验，找出最适宜的温度，方可进行加工。

切断硬而脆的塑料（聚苯乙烯、有机玻璃等）不应当用剪刀剪切，如切断有机玻璃板材件推荐用切亚麻的带锯。

切断某些热塑性塑料，例如切断聚甲基丙烯酸甲酯和泡沫塑料，可用图 5-1d 所示的热金属丝进行切削。切削泡沫塑料，金属丝直径一般为 $0.1 \sim 0.15\text{mm}$ ，金属丝电阻大，但电压不能超过 36 V，其温度可达 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。切断成型泡沫时可用和加工件形状相似的加热刀具

切成，刀具加热至 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ ，切下速度 $v = 0.07 \sim 0.09\text{m/min}$ 。这种切断方法的缺点是使切割表面产生内应力和烧伤现象。

在成批大量生产中，用圆锯或带锯切断塑料薄板（见图 5-1c 和 5-1d）。用带锯切断塑料板材加工质量比手锯的加工质量好，但是表面比较粗糙，常常需要经过辅助加工，圆锯加工质量比带锯加工质量好，并且加工的表面也比较光滑。

图 5-1e 是用砂轮进行切断的方法，它可以获得表面粗糙度 R_a 小的表面，也是进行表面修饰的最常用的方法。这种切断方法是消耗在刀具上费用最低的加工方法。

第二节 圆锯和带锯的切断

锯是切断塑料最常用的刀具。锯的种类很多，一般可分手工锯和机械锯两类。常用于切断塑料的手工锯有：架锯、细齿锯、钢丝锯等；而常用于切断塑料的机械锯有圆锯和带锯。

尽管锯的种类很多，形状各异，但他们都有共同的特点，锯的一边或外缘具有用作切削的锯齿。锯是一种多刃工具，每个锯上有很多个锯齿，每个锯齿都可以看作是一把单独的刀齿。每个锯齿上都有三个切削刃，即一个端刃（主刃）和两个侧刃，如图 5-2 所示。工作时所有锯齿共同切出一个锯口，称为锯路，从而达到切开或切断的目的。

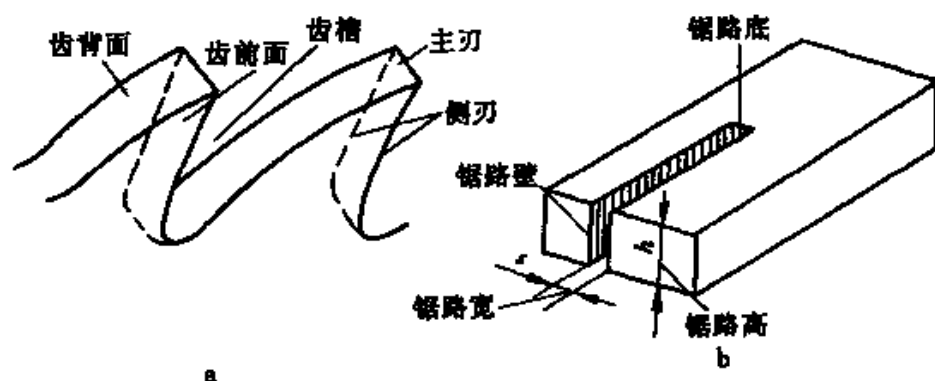


图 5-2 锯齿刃口和锯路

a. 锯齿刃口 b. 锯路

一、锯齿形状

1. 带锯锯齿形状

图 5-3 所示的是三种常见的带锯齿形。图 5-3a 中，锯条厚 $b = 0.6 \sim 0.9\text{mm}$ ，锯宽 $B = 10 \sim 60\text{mm}$ ，齿距 $t = 6 \sim 12\text{mm}$ ，前角 $\gamma_0' = 5^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 35^\circ$ ，这种类型的带锯用于薄塑料板或要求加工质量较高的切断加工。图 5-3b 的锯条厚 $b = 0.9 \sim 1.2\text{mm}$ ，锯宽 $B = 50 \sim 175\text{mm}$ ，齿距 $t = 30 \sim 50\text{mm}$ 。I 型的前角 $\gamma_0 = 25^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 20^\circ$ ；II 型的 $\gamma_0 = 30^\circ$ ， $\alpha_0 = 15^\circ$ 。图 5-3c 是宽齿形锯，锯条厚 $S = 1.4 \sim 2.2\text{mm}$ ，锯宽 $B = 230 \sim 350\text{mm}$ ，齿距 $t = 50 \sim 80\text{mm}$ ， $\gamma_0 = 25^\circ$ ， $\alpha_0 = 12^\circ$ 。这种带锯主要用于大型塑料工件的切断。

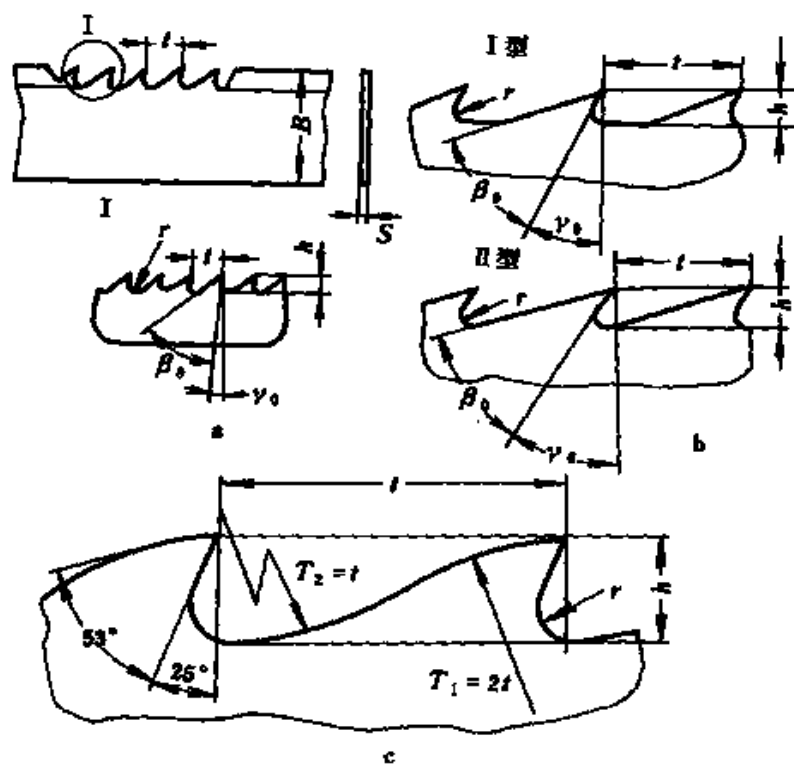


图 5-3 带锯锯齿形状

上述三种型式的带锯，齿尖应在一条线上，在 1000mm 范围内的公差不能大于 0.4mm 。齿距 t 的允许偏差：图 a 为 $\pm 0.03\text{mm}$ ，图 b 为

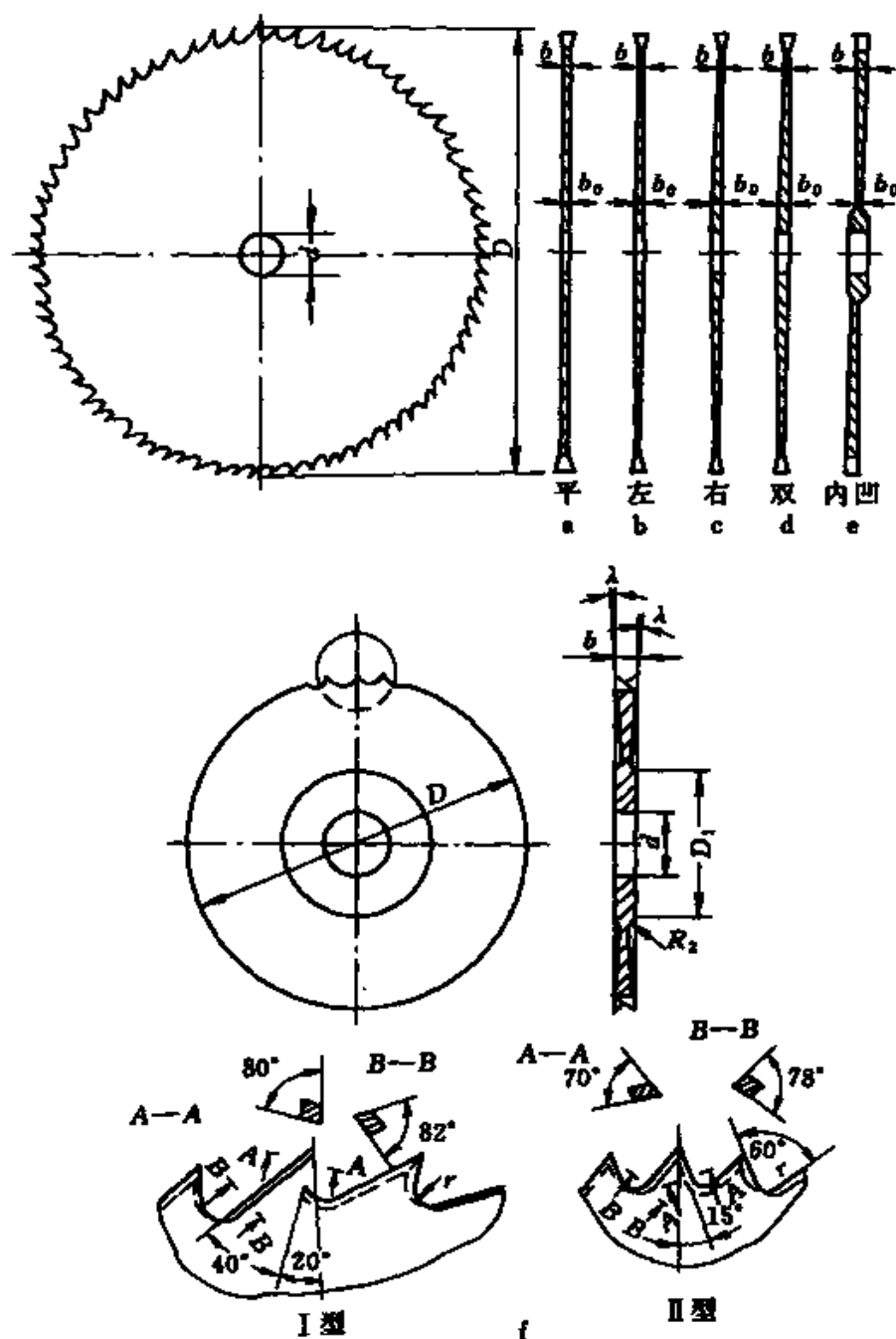


图 5-4 圆锯片种类

$\pm 0.5\text{mm}$, 图 c 为 $\pm 0.7\text{mm}$, 齿高 h 的偏差不应超过 $\pm 0.3\text{mm}$ 。各种类型的带锯角度允许的偏差为 $\pm 2^\circ$ 。

带锯的齿背形状通常有直背 (图 5-3a、b) 和凸背 (图 5-3c) 两种, 直背齿背主要用于切断软的热塑性塑料。凸形齿背的带锯, 因刀齿强度较好, 容屑空间小、排屑情况和切削锋利度不如直线齿背, 故多用于切断热固性塑料。

2. 圆锯片种类和齿的形状

图 5-4 所示为圆锯片锯身断面形状。图 5-4a 所示为平锯片, 是目前我国应用最多的圆锯片; 图 5-4b、c、d 所示为锥形圆锯片, 主要用于切薄塑料板; 图 5-4e 所示为刨削圆锯片, 主要用于切口表面质量要求高, 粗糙度小的塑料工件的锯切。

圆锯的锯齿齿形如图 5-5 所示。图 5-5a 有两种型式, 其中一种型式的圆锯直径较大, 它的直径 $d_0 = 200 \sim 1600\text{mm}$, 锯片厚 $b = 1.4 \sim 5.5\text{mm}$, 齿数 $z = 24 \sim 72$, 前角 $\gamma_0 = 0^\circ \sim 10^\circ$, 后角 $\alpha_0 = 20^\circ \sim 25^\circ$; 另一种型式的直径 $d_0 = 125 \sim 250\text{mm}$, 锯的厚度 $b = 1 \sim 1.8\text{mm}$ 。图 5-5b 也有两种型式, 即: $d_0 = 360 \sim 1600\text{mm}$, $b = 2 \sim 5.5\text{mm}$, $z = 72 \sim 120$ 和 $d_0 = 125 \sim 1600\text{mm}$, $b = 1 \sim 5\text{mm}$, $z = 36 \sim 120$ 。

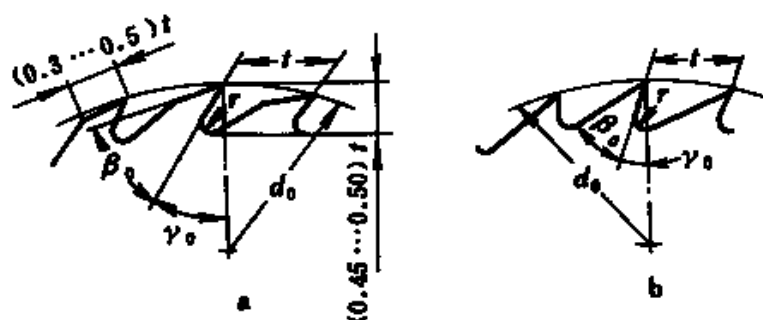


图 5-5 圆锯齿齿形

刃磨后圆周上齿尖的径向跳动量: 直径 $d_0 \leq 500\text{mm}$ 时为 0.2mm ; $d_0 = 500 \sim 800\text{mm}$ 时为 0.3mm ; $d = 800 \sim 1000\text{mm}$ 时为 0.4mm 。

图 5-5a 所示为折背齿，其前角 $\gamma_0 = 0^\circ \sim 10^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 20^\circ \sim 25^\circ$ ，主要用于切断各种热固性塑料和以纸、棉织物、玻璃纤维为基材的层压塑料。

图 5-5b 所示为直线背刀齿，其前角 $\gamma_0 = 10^\circ \sim 20^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 20^\circ \sim 25^\circ$ ，主要用于切断各种热塑性塑料。

二、夹锯现象及防止方法

在锯切塑料时，由于侧刃的前角 $\gamma_0' = 0$ ，后角 $\alpha_0' = 0$ ，侧刃对锯路壁将产生很大压力而使其发生弹性变形。锯条过后，锯路壁的弹性变形恢复，实际锯路的宽度小于锯片厚度，如图 5-6a 所示。因此，在锯切塑料时，锯路壁必然对锯片产生很大的压力，使锯身摩擦发热，甚至不能工作，这种现象称为夹锯。

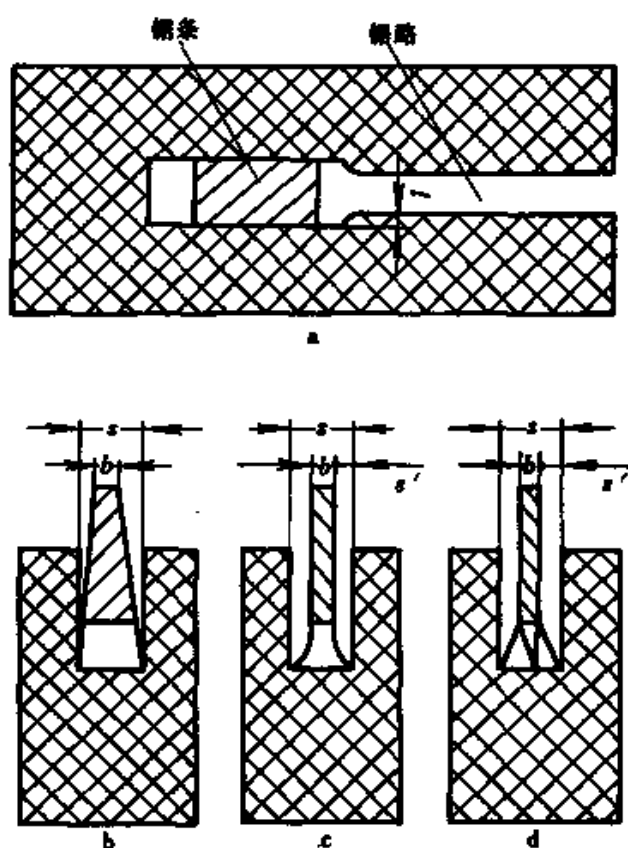


图 5-6 夹锯现象和防止方法

防止夹锯现象的主要方法是加宽锯路，使锯路宽度大于锯身的厚度，通常有三种方法：

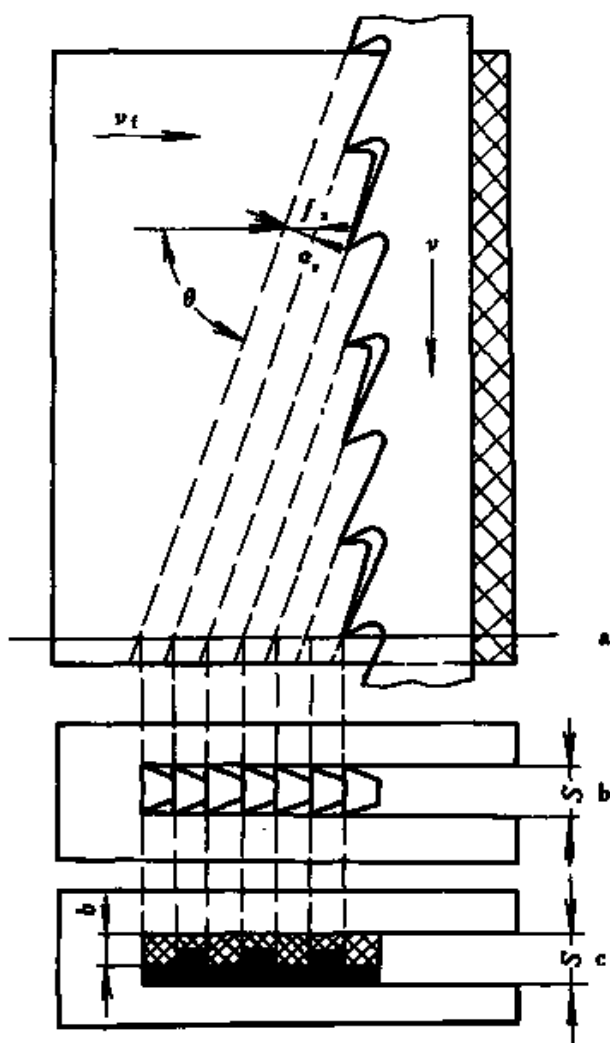


图 5-7 压料齿和拨料齿切削层形状

(1) 将锯身制成梯形断面，使齿缘的厚度大于齿身的厚度（图 5-6b）。

(2) 将齿尖压扁，使齿尖的宽度大于锯身的厚度。此法称为压料法（图 5-6c）。

(3) 将齿尖相间的向左右拨弯，以增大锯路宽度。此法称为拨料（图 5-6d）。

设压扁或拨弯的宽度为 s' ，则称 s' 为压料或拨料量。设压料或拨料后的锯路宽度为 s ，锯的厚度为 b ，则锯路宽度为：

$$s = b + 2s'$$

压料量或拨料量 s' 的大小主要是由被加工塑料的弹性回复量决定的。例如切断热塑性塑料，则 s' 大些；而切断热固性塑料，由于弹性回复小， s'

稍小些；当切断有各种基材的热固性塑料时， s' 最小。

三、锯切层的几何形状

1. 带锯锯切

每齿进给量 f_z ：相邻两切削刃切削轨迹间沿进给运动 v_f 方向量得的长度，单位为 mm（图 5-7a）。

用压料齿的锯切断塑料，每个齿都在锯路的全宽上切下切屑（图 5-7b）。切下切屑横断面可以近似地看作长方形，面积 $F_{\text{压}} = f_z \cdot s$ 。

切屑厚度 a_c 为每进给 f_z 后相邻两锯齿切削轨迹的垂直距离，单位为 mm。设进给速度 v_f 的方向与切削轨迹之间的夹角为 θ ，则切削厚度 $a_c = f_z \cdot \sin\theta$ 。

用拨料齿锯锯切塑料时，每一个锯齿都不是在锯路的全宽上切下切屑。如图 5-7c 所示，右偏第一齿切下靠锯路右壁的小长方形塑料；宽度等于 b_1 ，小于锯路宽度 s 。靠锯路左侧壁上则剩下未被切下的小塑料块，宽度等于 $s - b_1$ 。左偏第二齿切下靠锯路左侧的面积为：第一齿剩下的小方块面积 $f_z \cdot (s - b_1)$ 和由于进给量 f_z 切下面积为 $b_1 \cdot f_z$ ，其形状为 L 形。如果拨料两侧不产生误差，则每个锯齿切下面积相等。

拨料齿锯切工件的表面比用压料齿锯切表面粗糙，因为：

- (1) 拨料齿的切痕深；
- (2) 在锯切各种基材的层压塑料时，拨料齿撕裂基材玻璃纤维，棉织物和胶纸的纤维，在锯路壁上造成的凹痕较深；
- (3) 拨料齿齿尖受力不平衡，使锯身在锯切过程中容易偏斜，影响锯切质量。

2. 圆锯锯切

图 5-8 所示的是圆锯锯切情况，被切的塑料工件作等速直线运动 v_f ，圆锯以圆周速度 v 做等速回转，切削轨迹为短幅摆线。在实际计算中近似的当作圆弧曲线。设 z 为锯片的总齿数， t 为齿距。则 $z \cdot t = \pi \cdot d_0$ ，所以主运动速度为：

$$v = \frac{\pi d_0 n}{1000} = \frac{z \cdot t \cdot n}{1000} \quad \text{m/min}$$

式中 n ——圆锯每分钟转数。

设 f_r 为圆锯每转的进给量，则和每齿进给量 f_z 关系为：

$$f_r = f_z \cdot z$$

进给速度 v_f 和主运动速度 v 之比为：

$$\frac{\nu_f}{\nu} = \frac{\frac{f_z \cdot z \cdot n}{1000}}{\frac{z \cdot t \cdot n}{1000}} = \frac{f_z}{t} < 1$$

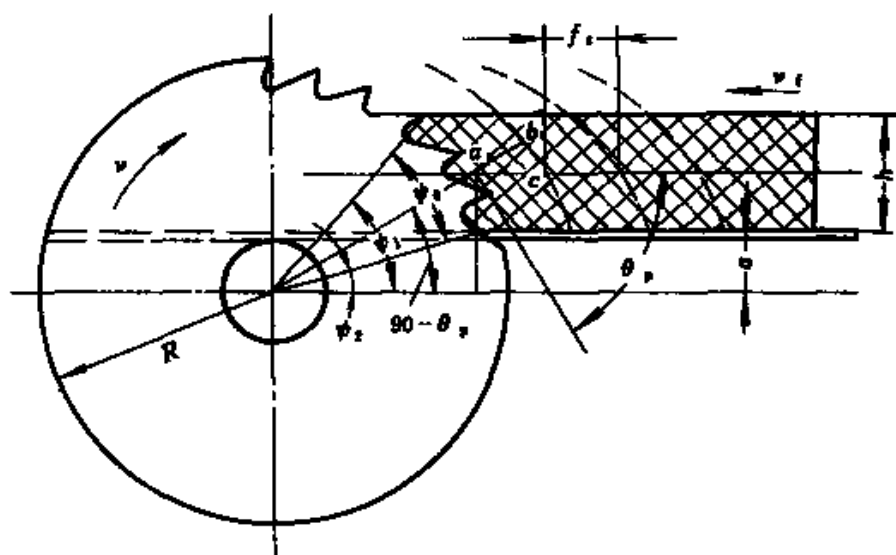


图 5-8 圆锯的锯切

进给运动 ν_f 和主运动 ν 之间的夹角称为动力迂角，以 θ 表示。圆锯锯切时，动力迂角是变化的。锯路最高点的 θ 角最小，锯路最低点 θ 角最大。计算时取平均值 θ_p ，即是锯路高度中点的 θ 角作为平均动力迂角。平均动力迂角 θ_p 可按下式计算：

$$\cos \theta_p = \frac{a + \frac{h}{z}}{R} = \frac{2a + h}{2R}$$

$$\theta_p = \arccos \frac{2a + h}{2R}$$

如要近似的把切削轨迹看作圆弧，则切削长度 l 应为：

$$l = \frac{2\pi R}{360} \varphi_0$$

式中 φ_0 ——圆锯和塑料工件的接触角，可按下式计算：

$$\varphi_0 = \varphi_1 - \varphi_2$$

所以

$$l = \frac{2\pi R}{360} \left(\arcsin \frac{a+h}{R} - \arcsin \frac{a}{R} \right)$$

在图中三角形 abc 可以近似的看作直角三角形, $ab = ac$, $ac = f_z$, 所以

$$a_c = f_z \cdot \sin \theta$$

可见圆锯切断时, 切削厚度 a_c 是变化的, 锯路最高点的切削厚度最小, 而锯最低点切削厚度最大。

第三节 圆 锯

一、圆锯的结构尺寸及其选择

圆锯是锯切塑料工件应用最广泛的一种锯。圆锯用于切削塑料的种类有: 平圆锯片、单面右偏锥形圆锯片、单面左偏锥形圆锯片、双面锥形圆锯片和刨削圆锯片等。锯断各种塑料主要选择平圆锯片和刨削圆锯片。刨削圆锯片加工质量比较好, 表面比较光滑。

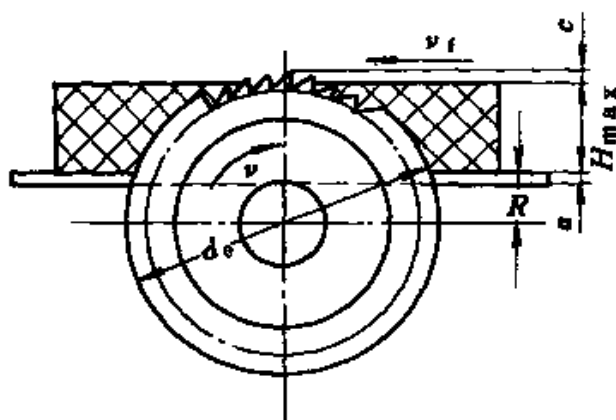


图 5-9 圆锯片外径的确定

圆锯的几何参数有锯齿的几何形状和锯身的尺寸。锯身的尺寸主

要有: 外径 d_0 、内径 d 和厚度 b 。

选择圆锯外径 d_0 主要考虑: 机床结构、锯片的切削性能和锯片的寿命。

首先根据机床的结构, 确定圆锯片的最小直径 d_{0min} 。例如图 5-9 所示, 当机床的主轴在工作台下面时, 圆锯片最小直径 d_{0min} 应按下

式计算：

$$d_{0\min} = 2 (H_{\max} + R + a + c)$$

式中 H_{\max} ——最大锯路高度，也就是锯切塑料工件的最大厚度，mm；

R ——夹紧圆锯片垫圈半径，一般不大于 $2.5 \sqrt{d_0}$ ，mm；

a ——机床工作台台面厚度，mm；

c ——锯齿齿顶露出被加工塑料件的高度，通常取 10mm 左右。

我国生产的平圆锯片外径为 150 ~ 1500mm，刨削圆锯片外径为 200 ~ 500mm，两种锯片直径都是每隔 50mm 进一级。

表 5-2 是切断以胶纸为基材的各种层压塑料工件所推荐的圆锯片直径 d_0 和厚度 b 。

表 5-2 粗切纸基材塑料时圆锯片的尺寸

单位：mm

被切断材料	直径 d_0	厚度 b
胶纸和棉织物为基材的层压塑料板厚度		
1.5	250	1.5
3.0	350	2.5
大于 5.0	350 ~ 400	3.0 ~ 6.0
纸基层压塑料棒材和管材直径		
25 以下	350 ~ 380	1.5
大于 25	400 ~ 450	2.5

应当指出，按公式确定的最小圆锯片直径只能用一次，重磨以后，直径小于按公式计算的最小直径就不能用了。所以，考虑到锯片的磨损，锯片的初始直径应大于最小直径，即是初始直径等于最小直径加磨损余量：

$$d_0 = d_{0\min} + 2\Delta$$

式中 Δ ——磨损余量。

从使用总寿命考虑，对于某一台机床来讲，小直径的锯片比大直径的锯片使用总寿命要短些。但因小直径锯片比较薄，在这台机床上

用到不能用时，还可以在其他要求锯片直径较小的机床上继续使用。大直径的锯片由于比较厚就不能在磨损后用于其他机床上。所以，从这个角度来说，小直径锯片总寿命并不短。

半圆锯片的厚度 b 和直径 d_0 有关， d_0 越大 b 越大，这样可以保持圆锯片具有必要的稳定性。圆锯片的厚度 b 可按下式近似的计算：

$$b = k \sqrt{d_0}$$

式中 b ——圆锯片的厚度，mm；

d_0 ——圆锯片的外径，mm；

k ——系数， $d_0 = 150\text{mm}$ 时取 0.065； $d_0 = 650 \sim 1200\text{mm}$ 时取 0.075； $d_0 = 1200 \sim 1800\text{mm}$ 时取 0.11。

同一直径的锯片，有几种不同厚度，如果锯片材料好，或者切断热塑性塑料，可以选取同一直径级锯片中的薄锯片。常用的锯片厚度在 $0.9 \sim 4.2\text{mm}$ 范围内变化，其中锯厚小于 1.1mm 的锯片，每隔 0.1mm 进一级；大于 1.1mm 的锯片，每隔 0.2mm 进一级。

刨削圆锯片的厚度，比同一直径的半圆锯片要厚，厚度为 $1.8 \sim 3.2\text{mm}$ ，每隔 0.2mm 为一级。

圆锯片的内径均根据机床主轴直径选择，但必须安装紧密。

实验表明，在切断以胶纸为基材的层压塑料时，其切削速度 $v = 2500 \sim 3200\text{m/min}$ ，圆锯片的齿数 $z = 10 \sim 12$ 个。

被切断塑料板材每分钟进给量根据塑料板厚度选择，其关系如表 5-3 所示。

表 5-3 切断塑料板材时每分钟进给量的选择

塑料板厚度/mm	进给量/(mm/min)	塑料板厚度/mm	进给量/(mm/min)
≤ 2	2800 ~ 3000	10	4100
4	14000	12	3000
6	8000	14、16、18	2500
8	5000	20	2000

圆锯的参数，见表 5-4。

表 5-4 圆锯参数

塑料材料	材料厚度 H/mm	齿 节 n	锯割线速度 $v/(m/\text{min})$	进锯速度 $v_f/(m/\text{min})$
ABS, 韧性聚苯乙烯	< 6	16 ~ 23	600 ~ 1500	0.6 ~ 3.0
硬聚氯乙烯, 醋酸纤维素	< 6 6 ~ 25	20 ~ 35 12 ~ 20	1200 ~ 1500 910 ~ 1200	1.5 ~ 6.0
聚苯乙烯, 聚碳酸酯, 聚苯醚	< 6 6 ~ 25	39 12 ~ 20	1800 910 ~ 1200	0.3 ~ 3.0
聚酰胺, 聚甲醛	< 6 6 ~ 25	20 ~ 35 12 ~ 20	1200 ~ 1500 910 ~ 1200	0.6 ~ 3.0
聚乙烯, 聚丙烯, 聚四氟乙烯	< 6 6 ~ 25	20 ~ 35 12 ~ 20	910 600	0.6 ~ 6.0
聚丙烯酸酯	< 6 6 ~ 25 > 25	47 ~ 59 47 39	3000 2100 1900	1.5 ~ 6.0
硝酸纤维素	—	16 ~ 32	4000	—
三聚氰胺, 脲醛, 酚醛, 醇酸	< 6 > 6	39 ~ 47 20 ~ 39	3000 1800	0.3 ~ 1.5

注：齿节 n ，规定为每 100mm 的齿数，它和齿距 t 的关系为： $n = 100/t$ 。

二、锯切热固性塑料的圆锯

图 5-10 所示是锯切以纸、棉织物和玻璃纤维为基材的层压热固性塑料的圆锯片。对于不同加工的要求，圆锯片的尺寸也不同，其值可于表 5-5 中查出。

表 5-5 切断热固性层压塑料圆锯片结构尺寸

加工的要求	圆锯转速 r/min	圆锯齿数 个	直径 d_0	a	H	b	b_1
			mm				
板材粗加工	2150	100	405	3.18	9.50	6.25	2
板材精加工	2300	200	405	1.6	7.15	4.0	2
切断棒料工件	2850	100	305	1.6	6.35	2.40	1.6

三、圆锯片锯身的松弛

圆锯片虽有正确结构尺寸和合理的几何参数，但亦不能完全保证加工质量和刀具的寿命。对供货的圆锯片首先必须进行仔细的检查，锯片应当平整，用平尺在锯身移动，若尺面和锯身接触处不露光线方算合格。除此以外，还应对新供货的圆锯片或者用过一定时间的圆锯片，使用前要松弛锯身的中部，并修正锯身上的缺陷。这是为了保证锯片在锯切过程中必要的刚性，不至于发生压曲现象，防止过度振动，保证锯片在锯切时的平稳性和安全性。

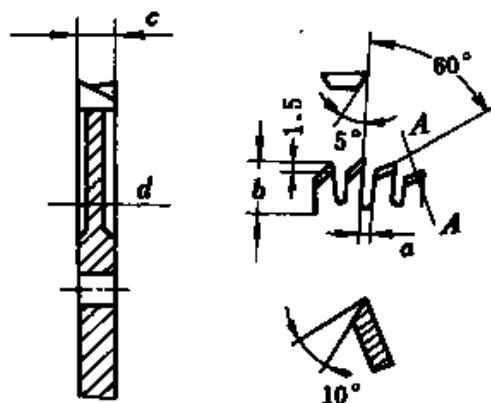


图 5-10 切断热固性塑料圆锯片结构尺寸

1. 松弛锯身的原因

圆锯片在锯切塑料过程中，必然由于产生切削热而使温度升高，在圆锯片各径向尺寸上温度分布是不均匀的，在锯片的外缘处温度较高，而在直径小的地方温度较低。所以锯片外缘处由于温度高而使膨胀加大，因而降低锯片外缘的刚度，在严重的情况下，会引起热弹性压曲。

图 5-11 是由热压曲时的圆锯片上的应力分布。圆锯片的直径 $d_0 = 760\text{mm}$ ， σ_t 为切向应力， σ_r 为径向应力。即是当锯片的中心部位和齿槽底之间温度差为 20°C 左右时就引起压曲，使圆锯片周边产生切向压应力。

图 5-12 是圆锯片的锯身中部松弛后应力分布情况。锯身中部松弛后，使锯片周边得到切向拉应力，抵消锯切时由于温度分布不均匀而引起的切向压应力。

图 5-13 是圆锯片旋转时，由于离心力引起的在圆锯片上的应力分布。由图可见，离心力使锯片产生拉应力，其切向拉应力大小和转

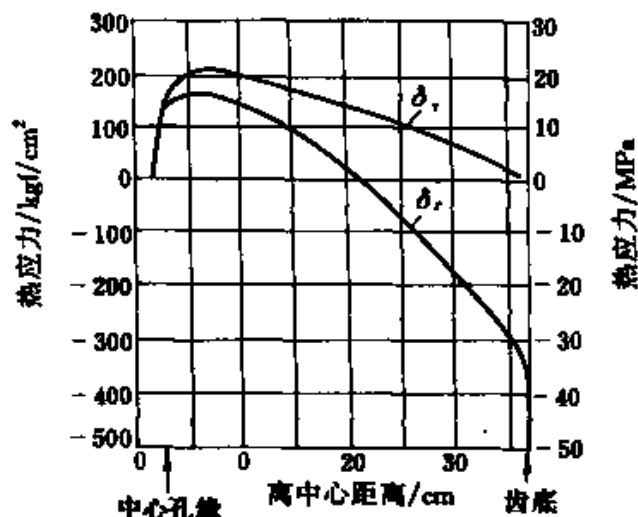


图 5-11 引起热压曲时的圆锯片上的应力分布

速的平方成正比。这样，增加锯片的转速可防止热压曲，这是圆锯片进行空转时的情况。如果进行切削时，随着转速的增高，锯片周边的温度也增高，并且在锯片不平衡的情况下，旋转引起振动，锯片的温度也会急剧增高。所以，提高锯片转速，也就能提高热压曲极限温度，但随着转速的提高而提高的锯切温度容易超过极限温度，引起压曲的可能性

很大，这时有必要使松弛量加大。

2. 锯身的松弛方法

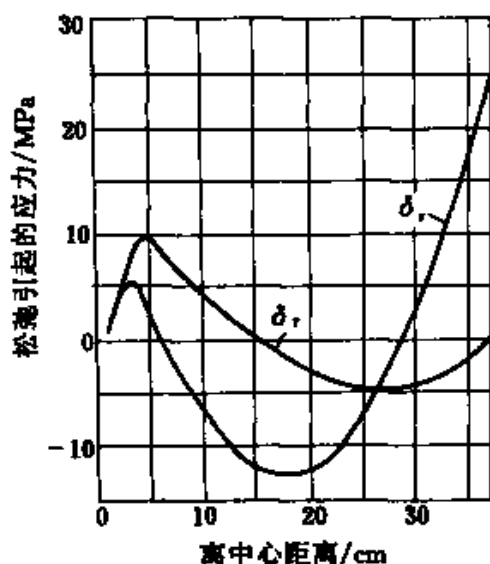


图 5-12 锯身中部松弛后圆锯片的初始应力分布

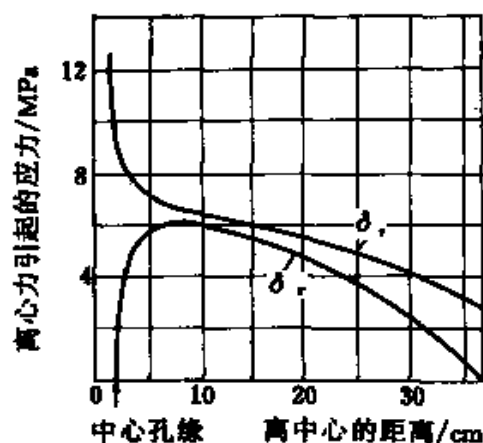


图 5-13 旋转时圆锯片上的应力分布

圆锯片中部的松弛，目前主要用锤在铁砧上进行，也可在辗压机上滚压。

锤锻的部位是距齿尖和夹盘 $0.1R \sim 0.2R$ 的中间部位进行。如图 5-14 所示，锤锻点分布要均匀，可按放射线排列。要注意各锤点锤击力要均匀，两面的锤击力也要均匀。

为了保证锯切塑料时锯片周边的刚性，除用锤锻方法外，还有些其他方法，如图 5-15 所示可在圆锯片上挖不同形状的孔。但必须注意，在锯身上所挖的孔相对于中心线应对称，而且尺寸相等，否则会造成因锯片质量不均匀，锯片各处受离心力不相等，引起动态不平衡。

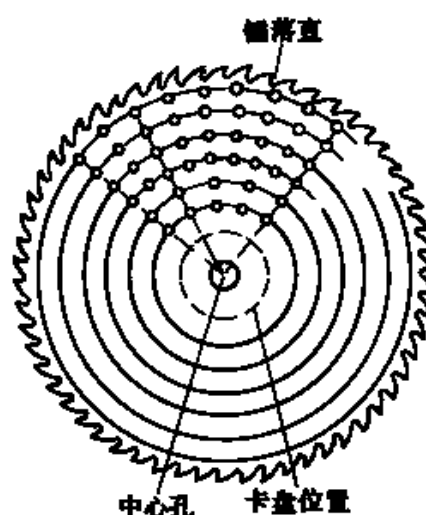


图 5-14 锻锤击点部位

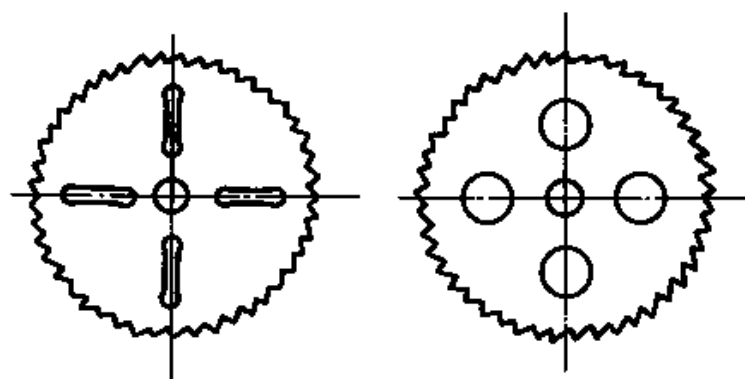


图 5-15 挖孔圆锯片

3. 松弛程度

松弛程度是用松弛挠度来表示。如图 5-16，直径中央的矢量 Hd_0

和半径中央高 H_R 来表示。

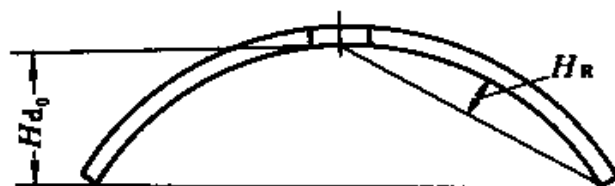


图 5-16 圆锯片的适张度

在通常情况下，锯片直径 d_0 越大，转速越高，锯片越薄，在锯切过程中锯片周边的稳定性越差，因而适张度应该越大。进给速度 v_f 越大，塑料的硬度和强度越高，锯齿的负荷越大，则更不容易保持锯片周边的稳定性，适张度也应大些。冬天散热快，适张度就要小些。

一般情况下，适张度可

按下式计算：

$$Hd_0 = 75 \times 10^{-8} \cdot \frac{d_0 \cdot n}{b}$$

式中 d_0 ——锯片的直径，mm；
 n ——锯片的转速，r/min；
 b ——锯片的厚度，mm。

根据有关资料介绍，锯片直径 d_0 和适张度关系如图 5-17a、b 所示，图 5-17c、d 为锯片转速和适张度关系。

四、圆锯片锯身的修正

由于在锯片松弛时锤击不当，在锯切过程中局部发热，或者热处理不均匀等原因，使锯身产生一些局部的缺点。为了消除这些缺点，应当进行修正。锯片缺陷不同，修正的方法也不同。

1. 松块

在松弛锯身时，如果在某处锻锤过甚，使该处比周围其他部分都松。则使它两面都凹陷。修整的方法是沿锯片径向锤打凹陷部分的两侧。

2. 凸块

表现形式是在锯身的同部位一面凸起而另一面则凹陷。产生的原

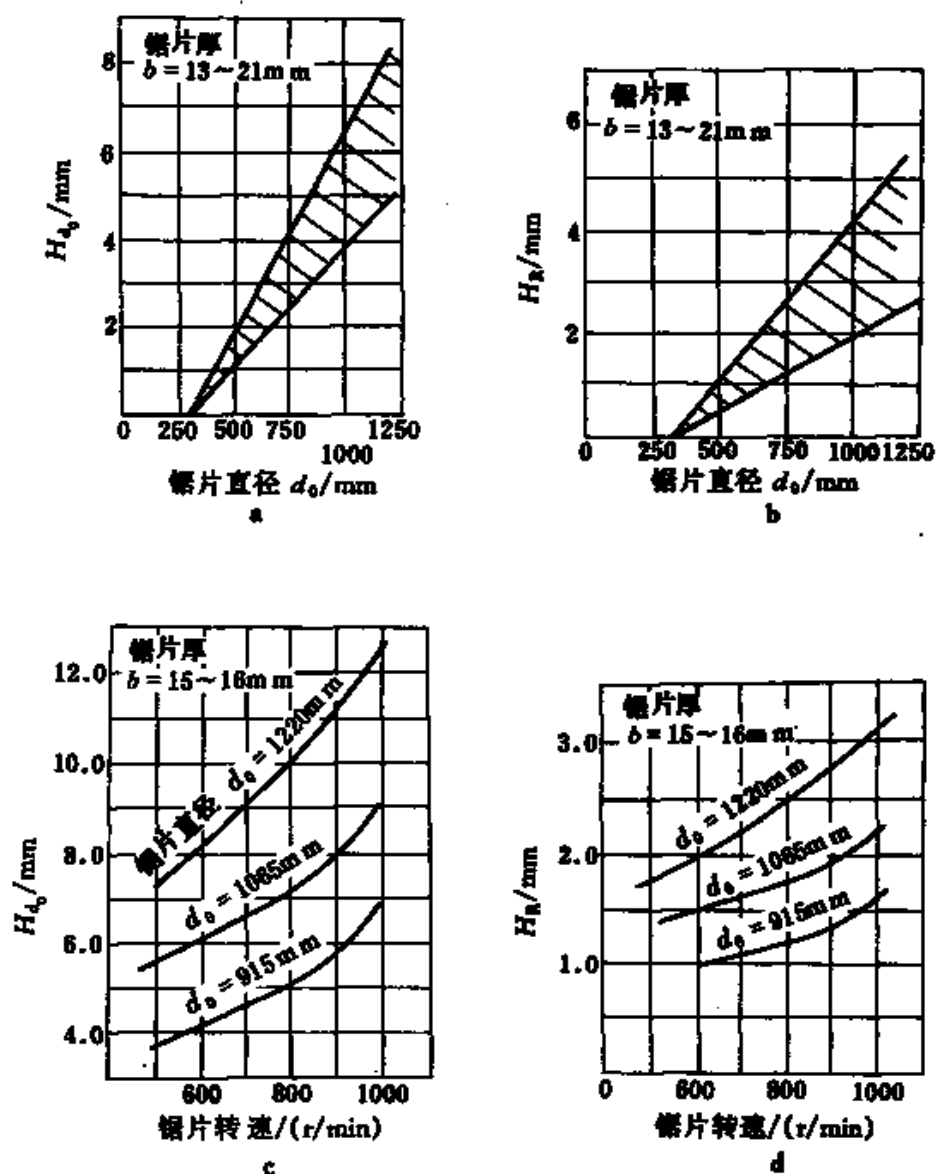


图 5-17 锯片直径和转速与适张度关系

因：在同一部位上两面锤锻均匀，凹陷面锤锻过甚，另一面则锤锻不足；另一原因是在锯切过程中局部发热过高，使其伸展，以致超过弹性极限，冷却后又不能回复原状。这两个原因都可使单面金属伸长。

修整时，视凸块大小而定，如是小凸块则可在锯面凸部下面垫纸，再用锤轻击该处；如是大于 30mm 的大凸块，则可在凸部旁边逐渐轻击，逐渐排除。

3. 紧块

它是锯片两面凸起，使该处金属紧缩。形成原因是该处松弛不足或未松弛。修整方法是把锯片直接放于铁砧上，由紧块内缘向中心锤薄或者用砂轮磨光。

4. 扭曲

它的特征是向齿缘部分延伸的变形，沿径向方向外凸里凹或外凹里凸，并有时凸中有小凹，凹中有小凸。变形特点是金属伸长扭曲。这种缺陷较难修复，一般可用十字锤沿着凸起部分锤击。

5. 中部过松

因为在松弛过程中，中部锤击过甚，或者中部和被切塑料摩擦过大发热伸展所致，为消除这一缺陷，可锤锻周边，以适应中部过松。

五、圆锯片的安装

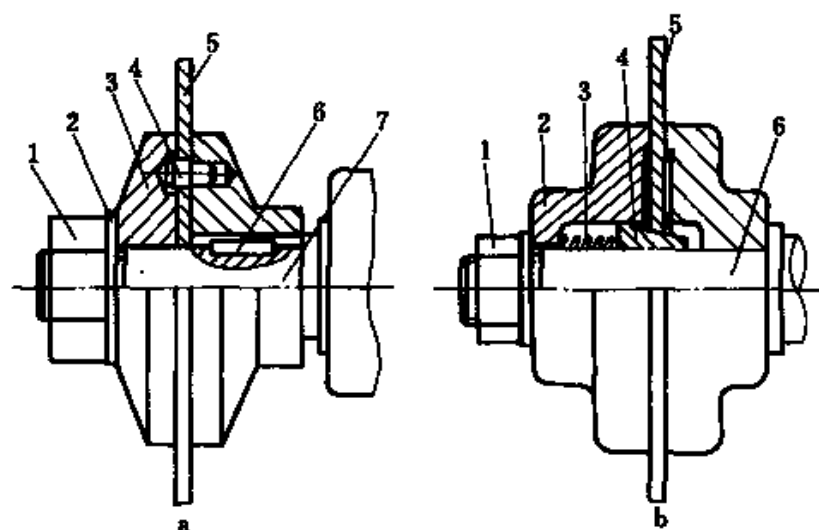


图 5-18 圆锯片的安装

图 5-18 是常用的圆锯片安装方式。图 5-18a 是用螺帽 1 推动垫圈 2, 把夹紧圆盘 3 压入销钉 4 中, 销钉 4 用于传动由主轴 7 通过键 4 传来的动力, 使圆锯片 5 旋转进行切削工作。图 5-18b 图同样是用螺帽 1 夹紧, 旋转螺帽 1 使夹紧盘 2 夹紧圆锯片 5。圆锯片 5 靠摩擦力传给之力矩进行切削工作。锥形体 4 是用来安装内孔径稍大的圆锯片, 弹簧 3 用以推动 4, 使它永远靠近圆锯片的内孔壁上。

安装圆锯片的要求: 夹紧盘的夹紧平面应严格垂直于主轴中心线; 安装后的圆锯中心线和主轴中心线应有一定的同心度的要求; 夹紧必须可靠。

第四节 带 锯

一、带锯的结构尺寸

带锯的切断厚度比圆锯片的切断厚度大, 可切断大于 25mm 的塑料板材, 其生产率也比圆锯高。切断塑料的带锯条结构尺寸有锯条的长度、宽度和厚度。

1. 锯条长度 L

带锯条长度 L 由锯轮直径、两锯轮的中心距及锯条焊接时接头长度决定的。其最大长度 L_{\max} 用下式计算:

$$L_{\max} = \pi D + 2l_{\max} + g$$

式中 D —— 锯轮直径, mm;

l_{\max} —— 两锯轮最大中心距, mm;

g —— 锯条接头长度, mm; 如果用对焊方法接头时, 则 $g = 0$; 如果用搭接方法接头, g 值可按表 5-6 选取。

带锯锯条的接头一般放在两齿的中间位置。

表 5-6 带锯锯条接头长度

单位: mm

锯条厚度	18	19	20	21	22
接头长度 g	10	10	13	13	13

2. 带锯锯条的厚度 b

确定锯条的厚度 b 主要考虑三个因素：一是被锯切的塑料损耗；二是锯切生产率；三是锯条强度。

从减少塑料损耗角度来说，锯条越薄越好。从提高锯切塑料的生产率角度来说，锯条越厚越好，这样可提高锯条的强度，可使用较大的切削速度和进给量。从保证锯条强度来考虑，应考虑几种应力：张紧力造成的应力；锯条随锯轮回转时离心力所造成的应力；切削力；制造锯条时辗压所造成的内应力；锯条随锯轮回转时反复弯曲和伸直而造成的弯曲交变应力。

(1) 切削力 在切断各种塑料时所产生的切削力，使锯条产生张应力。切削力的大小可利用车削力的方法来计算。

(2) 离心力产生的应力 由于回转产生离心力，它所产生的应力可按下列式计算：

$$\sigma = 0.001 \frac{\rho}{g} \cdot \frac{v^2}{R} \text{MPa}$$

式中 ρ ——刀具材料的密度，工具钢的密度 7.8g/cm^3 ；

g ——重力加速度，等于 9.8m/s^2 ；

v ——切削速度， m/min ；

R ——锯轮半径， mm 。

当 $v = 30 \sim 50\text{m/min}$ 时， $\sigma = 5.89 \sim 19.62\text{MPa}$ 。

当 $v = 100\text{m/min}$ 时， $\sigma = 78.48\text{MPa}$ 。

(3) 张紧力产生的应力 按锯条的全宽平均计算通常为：

$$\sigma = 29.43 \sim 78.48\text{MPa}$$

对于大锯机张紧力取大值，被加工塑料强度高者取大值。

(4) 温度应力 锯条在切削时，切削齿上产生较高的温度，而锯条的背部温度较低，这样锯条上因温度不同而产生应力，可按下列式计算：

$$\sigma_t = E \cdot \mu(t_1 - t_2)$$

式中 E ——钢的弹性模量， MPa ；

μ ——钢的线膨胀系数， $1/^\circ\text{C}$ ；

t_1 ——锯条锯齿的温度,℃;

t_2 ——锯条背部的温度,℃。

当温度差为 15℃ 时, $\sigma_t = 41.2\text{MPa}$ 。

由于温差而产生的应力在工作中不断的变化, 这样它也是使锯条产生疲劳破坏的一种应力。

(5) 弯曲应力 带锯条在锯轮上被弯曲, 在锯片的厚度方向上靠锯轮的表面产生压应力 (图 5-19 的 R 处), 而在半径为 $R + \delta$ 的外表面则产生拉应力, 锯条中线部分不产生应力。锯条

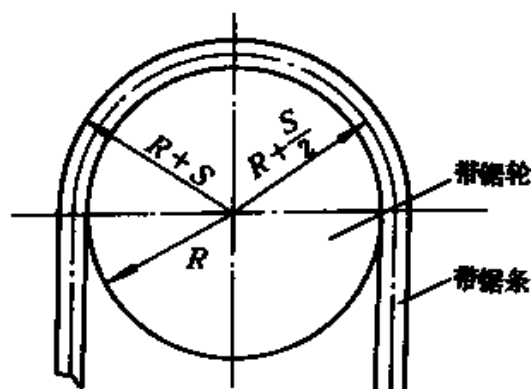


图 5-19 锯条在锯轮上弯曲

外缘承受的最大拉应力可按下面方法计算:

如图 5-19 所示, 设锯轮半径为 R , 直径为 D , 锯条厚度为 b , 则锯条最外缘的绝对伸长量为:

$$\Delta l = \pi(R + b) - \pi\left(R + \frac{b}{2}\right) = \frac{\pi b}{2}$$

相对伸长量为:

$$\Delta = \frac{\Delta l}{\pi\left(R + \frac{b}{2}\right)} = \frac{\pi b}{2\pi\left(R + \frac{b}{2}\right)} = \frac{b}{2R} = \frac{b}{D}$$

外缘的弯曲应力为:

$$\sigma = E \cdot \Delta = E \cdot b/D$$

当弹性模量 $E = 215820\text{MPa}$ 时, 如果 $b/D = 0.001$, 则:

$$\sigma = E \cdot b/D = 215820 \times 0.001 = 215.8\text{MPa}$$

作用在锯条上的所有应力, 以弯曲应力为最大。作用在锯条上的全部应力之和应小于工具钢的许用应力。通常碳素工具钢的许用应力 $\sigma_b = 294 \sim 343\text{MPa}$ 。由于有的应力难于准确计算和确定, 而弯曲应力

最大,同时由于弯曲应力周期性变化是产生疲劳破坏的主要原因,所以,在实际工作中,常用限制弯曲应力值来确定锯条的厚度。工作中使弯曲应力小于 216MPa,这时锯条厚度 b 可按下式来选择:

$$b = (0.001 \sim 0.007) D$$

式中 D ——锯轮的直径, mm。

二、带锯条锯身的松弛

带锯条在使用前也应当对锯身的中部进行松弛,并检查和修整缺陷。其目的是为了保证在锯条切削时的平稳性和安全性。带锯条锯身的修正内容和方法与圆锯片锯身的修正一样,不再重述,下面只叙述带锯条锯身的松弛问题。

1. 松弛的原因

带锯条切削时,锯条在切削热的作用下,在锯条的宽度上产生温度差,引起切削齿一侧松弛伸长,结果不能保证切削边的刚度,亦不能保证正常的锯切。严重时会出现颤动以至压曲而产生断裂的危险。如果使用前先松弛锯身的中部,则上锯后锯切边的拉应力大于中部和后部,锯切时适当抵消由于锯切热引起的压应力,保证正常的应力状态,保证锯切边所需的刚度。

为了防止锯切时锯条从锯轮后边脱落,有的带锯机的上锯轮向前倾斜;有的锯轮后边缘做成凸弧状。锯条中部和外边缘松弛,除了为使锯切边有更大的拉应力外,也是适应锯轮所处状态所必要的。

2. 辗压松弛法

目前我国辗压带锯条都是在压锯机上进行。

新锯条和旧锯条辗压方法不同。辗压旧锯条主要是修正缺陷和调整锯背的挠度及适张度。

新锯条的辗压按下列步骤进行。

(1) 粗辗压 粗辗压主要使锯条达到所要求的适张度和锯背有一定的挠度。

粗辗压有两种方法。一是一软两硬的辗压方法(图 5-20a),所谓软是指辗压区,硬是非辗压区。它是在距齿底距离为 $c = (5\% \sim 12\%) B$ 和距锯背为 $d = (5\% \sim 13\%) B$ 的中间部分辗压,可见在锯条的侧

面上有两部分未辗压，一处辗压。这种工艺方法简单，并易于掌握。一般情况下，不易出现裂口，每次辗压使用的时间较长。但锯条的抗冲击性能较差，不宜用于高速切削塑料。应当注意，这种辗压法的锯条适张度不得过大，不然齿根部将发生裂口。

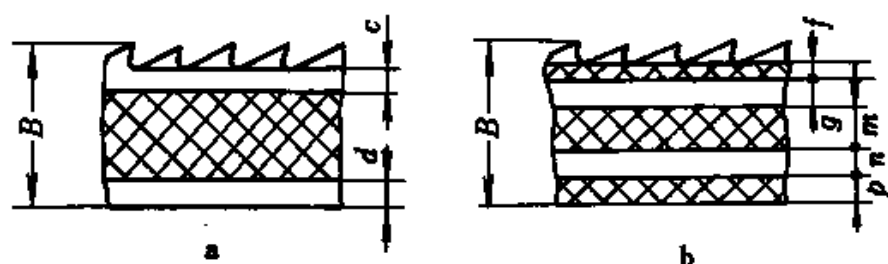


图 5-20 粗辗压部位

图 5-20b 是三软两硬辗压法。先用滚压轮滚压 f 区域，相隔 $g = 15 \sim 19\text{mm}$ 再辗压 m 区域，再相隔 $n = 9 \sim 13\text{mm}$ 辗压锯条的背部 p 区域。由于齿根和齿背经过辗压，可减少这部分的拉伸应力，使用中不易出现裂纹，抗冲击力强，工作平稳，适应高速切削，可提高生产率。但若经多次刃磨后，刀齿底部的辗压部分逐渐减小或接近消失时，齿根部会突然出现大裂纹。另外，这种辗压法要求的技术高。

应当注意，辗压时每辗的压力要均匀，不得中途改变压力，否则张应力不均匀，甚至会造成变形。

(2) 精辗压 经过粗辗压后适张度基本达到要求，然后用磨齿机进行磨齿形。粗磨齿后的带锯条，因粗磨齿时作用力较大而使锯条发生变形。另外，因锯条制造中存在误差，锯身的各部分厚度、硬度、宽窄有差异，使锯身的适张度和挠度不完全均匀。所以，粗磨齿以后的锯条必须进行精确的辗压，使锯条的适张度和锯背挠度均匀而满足要求。

三、带锯条的安装

带锯条装在锯轮上时，应使锯切边伸出锯轮侧缘之外，伸出量约

等于齿高。

锯条要有适当的张紧力 T 。有这种张紧力，才能使锯切边有一定的刚度；并使锯条与锯轮之间有一定的摩擦力，以防止跑锯，并带动锯条正常运转。

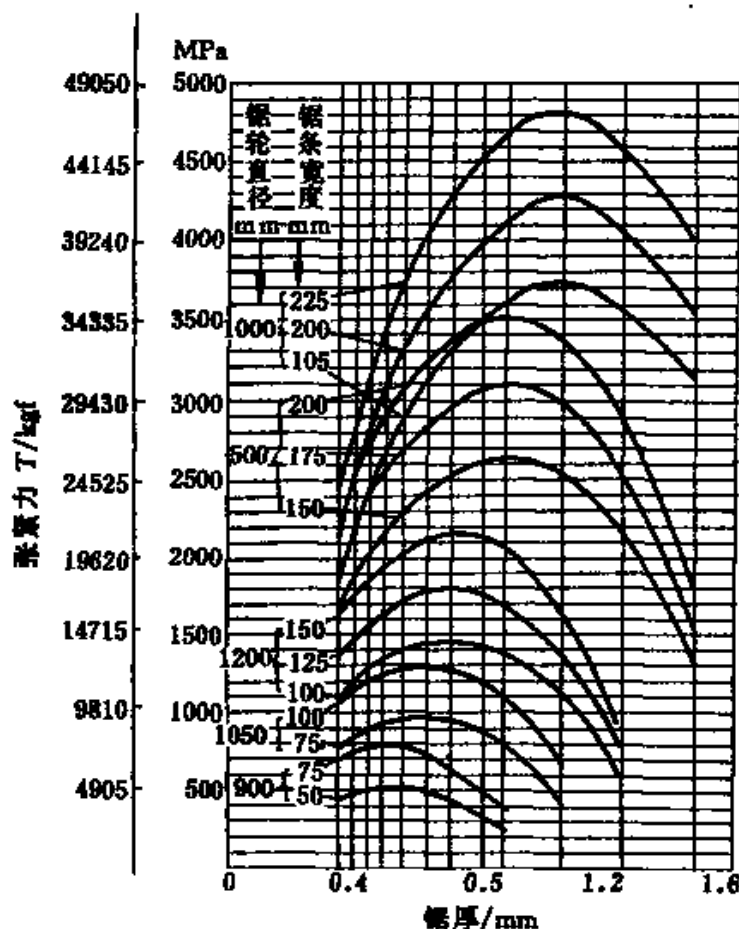


图 5-21 锯条的张紧力

带锯条张紧力的大小可按图 5-21 查得，也可按下式计算：

$$T = \sigma_T \cdot B \cdot b$$

式中 σ_T ——张紧力造成的应力，MPa；

$$\sigma_T = -45.1 \times 10^4 \cdot D^{1.022} \cdot b + 386.5;$$

B ——锯条宽度，mm；

b ——锯条厚度，mm。

故： $T = (-45.1 \times 10^4 \cdot D^{1.022} \cdot b + 386.5) \cdot B \cdot b \text{ MPa}$

四、带锯条的几何角度和切削速度的选择

在锯切各种塑料时，无论锯条的齿背形式如何，也无论齿距多大，锯齿的后角 α_0 均取为 $30^\circ \sim 40^\circ$ ，而前角 γ_0 均取为 $5^\circ \sim 8^\circ$ 。锯切热固性塑料切削速度选为 $1500 \sim 2000 \text{ m/min}$ ，而锯切热塑性塑料则选为 1200 m/min 。锯切较硬的塑料时，最好用齿距为 $5 \sim 7 \text{ mm}$ 的锯条，而切热塑性塑料则用齿距为 3 mm 的锯条。

锯切各类塑料时，根据切断塑料件的厚度、齿距，选择切削速度。

带锯参数，见表 5-7 和表 5-8。

表 5-7 带锯参数

塑料材料	材料厚度 S/mm	齿节 n	锯割线速度 $v/(\text{m/min})$	进锯速度 $v_f/(\text{m/min})$
ABS, 韧性聚苯乙烯	< 6	16 ~ 31	600 ~ 910	0.6 ~ 3.0
硬聚氯乙烯, 醋酸纤维素	< 6	39	300 ~ 460	1.5 ~ 6.0
	6 ~ 25	20 ~ 39	225 ~ 300	
聚苯乙烯, 聚碳酸酯, 聚苯醚	< 6	39 ~ 55	225 ~ 300	0.3 ~ 3.0
	6 ~ 25	23 ~ 39	600 ~ 910	
聚酰胺, 聚甲醛	< 6	31 ~ 39	1200 ~ 1800	0.6 ~ 3.0
	6 ~ 25	16 ~ 31	910 ~ 1200	
聚乙烯, 聚丙烯, 聚四氟乙烯	< 6	47 ~ 62	1500	0.6 ~ 6.0
	6 ~ 25	31 ~ 39	1200	
聚丙烯酸酯	< 6	55	3000	1.5 ~ 6.0
	6 ~ 25	23 ~ 39	2100	
	> 25	8 ~ 16	1500	
三聚氰胺, 脲醛, 酚醛, 醇酸	< 6	39 ~ 47	1800	0.3 ~ 1.5
	> 6	16 ~ 31	1200	

表 5-8 酚醛层压板的带锯锯割

材料厚度 S/mm	齿 节 n	锯割线速度 $v/(\text{m}/\text{min})$
3 ~ 50	39	680
50 ~ 75	31	480
75 ~ 110	23	360
> 110	23	180

第五节 用盘状铣刀的切断

在切削金属的卧式铣床上，用切削金属的盘状铣刀切断塑料工件，亦有广泛的应用。所用铣刀直径 $d_0 = 200 \sim 300\text{mm}$ ，铣刀的厚度 $b = 3 \sim 5\text{mm}$ ，切削速度 $v = 600 \sim 1000\text{m}/\text{min}$ 。

切断塑料时形成的切屑较金属切屑体积大，为了改善容屑状况，对标准盘状铣刀推荐每隔 4 ~ 5 个齿磨掉一个齿。用盘状铣刀切断塑料时，可镶硬质合金刀齿，这样可以提高刀具的寿命，提高切削速度，从而提高了生产率。

图 5-22 是切断最常用的错齿硬质合金盘状铣刀。

由于是错齿的，所以铣刀的两侧面均有切削刃，切断的表面粗糙度 R_a 值小，表面光洁；铣刀圆柱面上的主切削倾斜角 $\lambda_s = 15^\circ$ （即是车刀的刃倾角），可使切削轻快，提高刀具的寿命。

图 5-23 是切削刃为椭圆形高速钢盘状铣刀。齿高 $h = 3 \sim 4\text{mm}$ ，

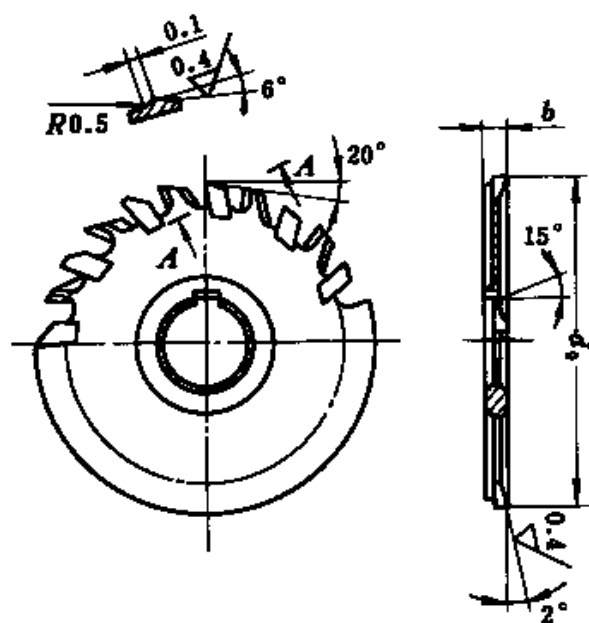


图 5-22 错齿硬质合金盘状铣刀

齿槽深 $H = 10 \sim 12\text{mm}$ ，每间隔 15° 布置一个切削齿，每间隔 45° 磨掉一个切削齿。

切断以纸为基材的热固性层压塑料，硬质合金盘状铣刀前角 $\gamma_0 = 5^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 18^\circ$ ；而用高速钢盘状铣刀时，则前角 $\gamma_0 = 10^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 16^\circ$ 。

在卧式铣床上切断各种塑料板材时，可把薄的塑料板材叠加在一起进行切断。这时必须把塑料板夹紧，不得在切削力的作用下有松动现象。要利用顺铣方法进行加工，因顺铣产生的切削力使塑料板材压向工作台，逆铣时切削力会把塑料板抬起，并在板面上造成毛刺和崩落现象。切断叠在一起的塑料板总厚度不能超过 40mm 。要用三面刃盘状铣刀时，采用前角 $\gamma_0 = 10^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 20^\circ$ ，副偏角 $k_r' = 5^\circ$ 。

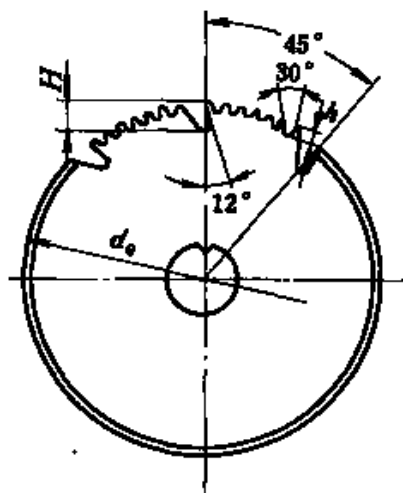


图 5-23 椭圆刃盘状铣刀

用高速钢三面刃盘状铣刀切断以胶纸为基材的热固性塑料时，推荐切削速度 $v = 250 \sim 360\text{m/min}$ ，而切断以棉织物为基材的热固性层压塑料时，则用 $v = 250 \sim 500\text{m/min}$ 。如果使用切削速度超过推荐的数值时，易把工件烧损或变黑。

生产实践证明，切断各种基材的热固性层压塑料时，最好用镶硬质合金刀齿的盘状铣刀，这种铣刀的切削速度可按下式计算：

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot f_z^y \cdot a_p^x}$$

式中 C_v ——系数。硬质合金盘状铣刀 $C_v = 3802$ ；高速钢盘状铣刀 $C_v = 212$ ；

m 、 y 、 x ——为指数。其相对应的值， $m = 0.74$ 和 0.87 ， $y = 0.39$ 和 0.12 ， $x = 0.12$ 和 0.03 ；

f_z ——每齿进给量, mm/z ;

a_p ——切削深度, mm 。

切断各种塑料的切削速度和进给量亦可按表 5-9 选取。

表 5-9 用盘状铣刀切断各种塑料的切削速度和进给量

被加工材料	盘状铣刀材料			
	高速钢		硬质合金	
	切削速度 m/min	进给量 mm/r	切削速度 m/min	进给量 mm/r
以棉织物为基材的热固性层压塑料	110 ~ 200	0.1 ~ 0.5	150 ~ 280	0.1 ~ 0.5
以胶纸为基材的热固性层压塑料	110 ~ 180	0.3 ~ 0.5	150 ~ 240	0.3 ~ 0.4
以玻璃纤维为基材的热固性层压塑料				
CT	130 ~ 750	0.03 ~ 0.05	180 ~ 360	0.05 ~ 0.15
CT3Φ	150 ~ 600	0.02 ~ 0.04	250 ~ 800	0.05 ~ 0.12
AT-4C	100 ~ 350	0.02 ~ 0.05	150 ~ 550	0.02 ~ 0.06

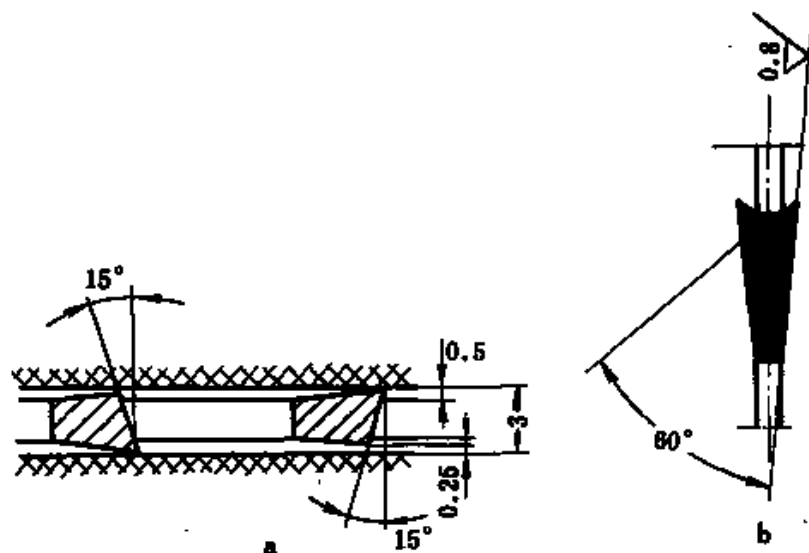


图 5-24 盘状铣刀切削齿的布置和切削刃形状

为了降低被切断塑料工件的切断面的表面粗糙度值,可采用图 5-24 所示的齿的布置和切削刃的形状。图 5-24a 是相邻两齿错开排列形式,刀体是用 45[#] 钢制造的,刀齿是用 YG6 硬质合金做的,要求圆周切削的径向跳动量不能大于 0.20mm。图 5-24b 是把主切削刃磨成凹形,使主切削刃和副切削刃相接处锋利,故使切断面表面光滑。

用盘状铣刀切断酚醛玻璃纤维层压塑料有其独特的特点。通常用含钴少的 YG 类硬质合金,例如用 YG2、YG6,铣削用量可按表 5-10 选取。

表 5-10 用盘状铣刀切断酚醛玻璃纤维层压塑料的铣削用量

铣削 深度 mm	盘状铣刀材料									
	高 速 钢					硬 质 合 金				
	在相应进给量(mm/s)下的切削速度					在相应进给量(mm/s)下的切削速度				
	m/min					m/min				
	0.05	0.07	0.1	0.2	0.3	0.05	0.07	0.1	0.2	0.3
5	40	38	37	33	32	490	435	375	285	245
10	39	37	36	32	31	455	400	350	265	225
15	38	36	34	33	30	430	380	330	350	215

切断酚醛玻璃纤维层压塑料时,铣刀寿命 T 和切削速度 v 、每齿进给量 f_z 以及铣削深度 a_p 有关,据有关资料介绍,其关系式为:

和速切速度 v 的关系: $T = 1175 \cdot 10^2 / (1.35v)$

和每齿进给量 f_z 的关系: $T = 12.67 / f_z^{0.52}$

和铣削深度 a_p 的关系为: $T = 61.2 / a_p^{0.16}$

在所有情况下,盘状铣刀的寿命均可达到 90 ~ 120min。

第六节 用砂轮切断塑料工件

在我国和其他国家,现在广泛地采用砂轮切断塑料工件的加工方法,切断各种塑料板材应用得更为广泛。用砂轮切断塑料,不管是热塑性塑料,还是热固性塑料,都能取得很好的效果,对磨蚀性很强的玻璃钢,也有其独特之处。如果将砂轮两面做成带有网状的突出物,

并用金属薄膜覆盖，其效果更为理想，因为这种砂轮在锯割时，摩擦系数小，导热快，所以和金属圆锯片相比，切割速度快，不仅有较高的生产率，而且可以大大地提高已加工表面质量和降低砂轮的磨损。

一、碳化硅砂轮

切割塑料的砂轮通常是用碳化硅制成的，其组成材料见表 5-11；其结构如图 5-25 所示。

表 5-11 砂轮配料情况

材 料	用 量	材 料	用 量
#36 碳化硅	100	#175 粉末环氧树脂	11
#180 氧化铝	5	氧化镁	3
酚醛树脂（液体）	8		

砂轮切割塑料的条件，随塑料种类的不同而异，通常用尝试误差法决定。砂轮的直径，视板材厚度加以选择。厚度大的取大值。

在切割布质层压酚醛塑料，以及石棉、石棉布、玻璃布增强的塑料时，砂轮切割的线速度可为 3000 ~ 6000m/min，进料速度由塑料的性质和厚度决定， $v_f = 0.01 \sim 0.6\text{m/min}$ 。

二、硬质合金砂轮

这种砂轮的磨料是硬质合金颗粒，粘结剂是黄铜。因磨料是耐热性和耐磨性很

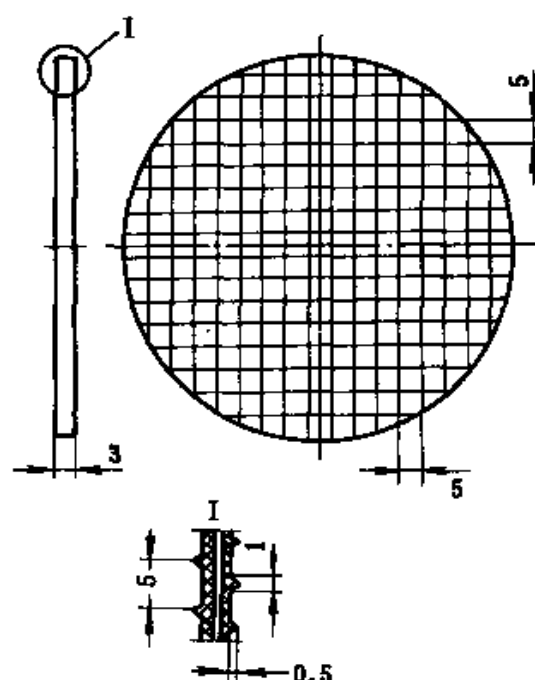


图 5-25 硬质合金散热砂轮

高的硬质合金，以黄铜做粘结剂砂轮的强度和耐磨性均很高，所以它

适于进行切断，加工沟槽和打塑料工件的毛刺。

一种具有良好导热性的硬质合金砂轮结构如图 5-25 所示，两侧面的表面做成相距为 5mm，高度为 0.5mm，底宽为 1mm 的网状凸起，砂轮的中部有空的。主要用来切断以玻璃为基材的各种热固性塑料，由于散热好，工件的热变形大，可防止工件的弯曲。

用砂轮切断塑料工件时，必须加切削液，通常用水或乳化液作切削液。

用砂轮切断塑料和用圆锯片相比，主切削力 F_z 小。图 5-26 中曲线 1 是用圆锯片切断时，主切削力 F_z 变化的情况，而曲线 2 则是用砂轮时的情况。圆锯片切断时随着时间的增加切削力增长的很快，说明圆锯片磨损的快。砂轮切断时，力随着砂轮的磨损增长的很小，说明砂轮磨损很小。据有关资料介绍，在同样切削条件下的圆锯片和砂轮磨损比为 12:1 至 20:1。另外，用砂轮切断的工件表面质量比圆锯切断的要好。

三、金刚石砂轮

金刚石分天然和人造两种，都是碳的同素异构体。人造金刚石是在高温高压条件下，借合金的触媒作用，由石墨转化而成的。金刚石硬度极高，是目前已知的最硬物质，其硬度接近于 HV10000（硬质合金的硬度仅为 HV1300 ~ 1800）。

用人造金刚石细颗粒做磨料，用青铜做粘结剂制造成的砂轮，其寿命和切削速度都比碳化硅、硬质合金砂轮高。由于金刚石砂轮寿命高，磨料颗粒锋利的切削刃不易磨钝，所以用金刚石砂轮切断，表面粗糙度值较其他加工方法小。

对于锯割玻璃钢，和金属锯割相比，普通砂轮确有独到之处。但是，它的强度不足，时有碎裂，碎片飞出后容易伤人，不够安全，而且在

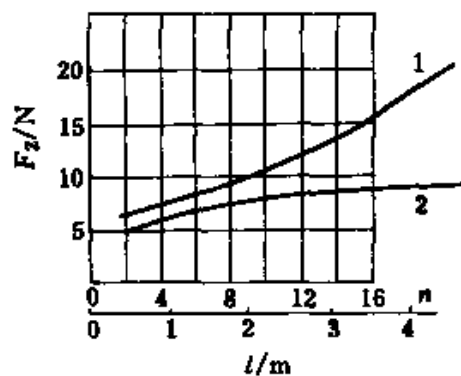


图 5-26 用圆锯和砂轮切断时切削力的变化情况

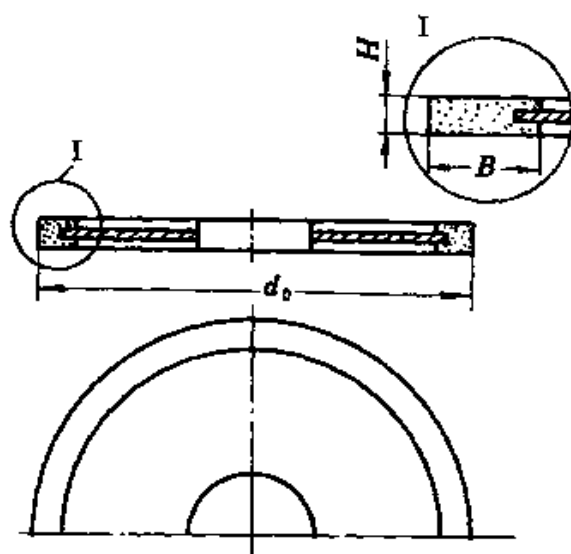


图 5-27 金刚石砂轮的结构

使用中, 砂轮片磨损大, 砂轮两面磨损情况又不均匀, 造成偏心。所以新用时, 切割质量稍好, 用久了, 切缝变成曲线形, 致使砂轮两侧面受力相差很大, 导致破坏。使用人造金刚石砂轮, 则可避免这些问题, 它的切割速度快, 质量好, 不易损坏, 切缝小 (约 3mm)。人造金刚石砂轮与普通砂轮的比较见表 5-12。

用金刚石砂轮切断以纸、棉织物和玻璃为基材的热固性塑料时, 切削速度可采用 $50 \sim 70\text{m/s}$, 切削厚度为 10mm 的板材时, 进给量可用 $3 \sim 5\text{m/min}$ 。

图 5-27 是切断用的金刚石砂轮结构, 其直径 $d_0 = 200 \sim 350\text{mm}$, 轮缘径向宽度 $B = 10 \sim 15\text{mm}$, 厚度 $H = 1\text{mm}$ 。

表 5-12 人造金刚石砂轮与普通砂轮的比较

对比项目	金刚石砂轮	普通砂轮
锯割速度/(m/min)	200 ~ 600	50 ~ 100
锯割质量	锯缝直, 但速度过快时, 有刀纹	新锯锯缝平直光滑, 用过后, 锯缝很快变成曲线
锯割效率	比砂轮锯提高 10 ~ 20 倍	低
锯缝宽度/mm	3	6 ~ 7
操作情况	操作方便, 未发现破坏情况	易碎裂, 不安全
寿命	总锯割面积, 可达 50m^2 以上	顺利时, 2m^2
成本/元/片	500 ~ 1000	9
来源	困难	容易, 可自制

第七节 高压液流切割塑料

在人们的概念中，一提到切削工序不外乎是选择新型的刀具材料、合理的几何参数、适宜的切削用量、改进刀具的结构和采用新颖的冷却方式等等。但是，无论采取什么措施，都不能完全解决刀具的磨损问题，若选择各切削参数适当，只是可能提高刀具的寿命而已。继近年来出现的超声波加工、电蚀加工、等离子切割、激光切割和磁铁粉末切割的同时，70年代末起，美国、前苏联、澳大利亚和加拿大等国先后研究成功高压液流切割的新切削方法。这种方法可用于切割各种塑料、大理石、花岗石、橡胶和毛皮等等，亦可用于切割各种金属。本节主要介绍这种新型的加工方法。

一、高压液流切割原理

高压液流切割的原理是：液体在高压泵的作用下，以 $100 \sim 310\text{MPa}$ 的高压从喷射切割器的喷嘴射出，和被加工材料接触时丧失动能，从而对材料产生巨大压力，致使材料断裂。

高压液流切割方法的特点是：

- ① 可以切断任何性质的材料；
- ② 不用机械的切削刀具；以高压液流做刀具，它本身不会变钝，也无需重磨，也不需要制造；
- ③ 形成切削的废料大大减少，不浪费材料；
- ④ 切割的精度较高和表面粗糙度值较低；
- ⑤ 切痕细，不损伤周围材料；
- ⑥ 能切割不同尺寸和不同形状的工件；
- ⑦ 喷嘴用人造蓝宝石制造，形状似一颗玻璃珠，经久耐用，事实上不会损坏；
- ⑧ 大大减少噪音，完全消除工作地的尘染。

高压注流切割的生产率由液流压力、喷嘴直径、喷嘴至工件的距离，被切割工件的性质和工件厚度决定的。

根据伯努利方程，高速液流与任何固体接触时的动量变化可按下式计算：

$$F = mv$$

式中 v ——液流流动速度，可按 $v = 14\sqrt{p}$ 式计算；

p ——液流压强；

m ——流体质量，其值按下式计算：

$$m = \frac{\gamma}{g} \cdot f \cdot v = \rho \cdot \frac{\pi d_c^2}{4} \cdot v = \rho \cdot Q$$

γ ——液体相对密度；

g ——重力加速度；

f ——喷嘴出口处的截面积；

ρ ——液体密度；

d_c ——喷嘴直径；

Q ——液体流耗体积；按 $Q = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \cdot v$ 式计算；

因此， $F = \rho \cdot \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \cdot v^2 = \rho \cdot Q \cdot v$

由上式可见，液流对材料的作用力和从喷嘴射出的液流速度成正比。实验证明，液流速度沿轴向离喷嘴口逐渐下降；同时，如图 5-28 所示，在同一轴向截面内，距轴线越远则速度越小。因为，当液流由喷嘴喷出后进入空气介质中，尽管空气的密度仅为水的密度 1/800。

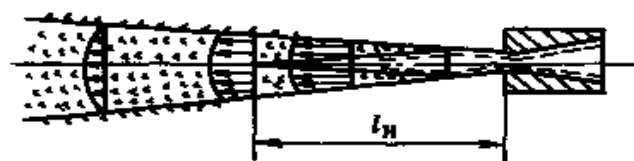


图 5-28 高压液流图

但是空气总是从液体表面开始逐渐地往液流内渗入，一方面使液流表面疏松，同时空气对液流表面有摩擦力，致使液流表面的液体流速下降。但是，在液流的核心仍然保持着刚从喷嘴口射出时的运动速度和

密度，等于常量。不过，离喷嘴口越远，这个液流核心的水柱直径就越小，最后减少到零。通常用 l_H 表示从喷嘴口到液流核心的水柱直径为零这段水柱长度，称其为初始长度。在初始长度中，液流核心的轴向液压、速度和液流密度为定值。超过这个长度之后，流速与动能都按双曲线规律锐减。初始长度 l_H 主要由液流压强、喷嘴的结构、直径和喷嘴的内表面粗糙度来决定的。

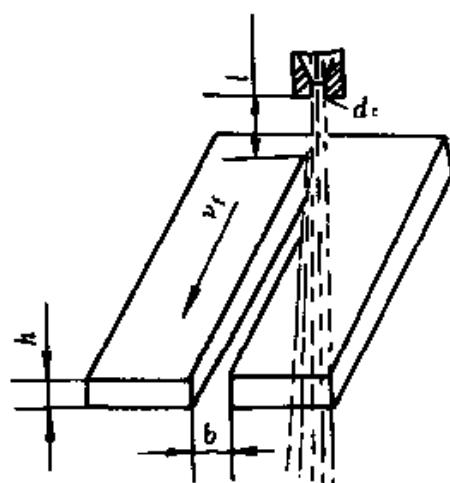


图 5-29 高压液流切割薄板时参数

图 5-29 所示为用高压液流切割薄板时参数。图中 h 为被加工工件的厚度， b 为用高压液流切割后的切口宽度， v_f 为工件相对于高压液流的进给速度。

二、高压液流切割系统中各参数对切削的影响

在任何机械加工中生产率都是首要问题，这里讨论高压液流切割塑料的生产率问题。

实践证明，影响高压液流切割效率的因素有：

- (1) 高压液流参数 压强、喷嘴直径、工件材料到喷嘴的距离 l ；
- (2) 被加工材料的机械性能 实验证明被加工材料的拉伸强度对生产率影响最大；
- (3) 被加工材料的厚度和切口宽度 切口宽度是由喷嘴直径和工件到喷嘴口的距离决定的。

生产率的主要标志是工件相对于高压液流的进给速度 v_f 的大小，从上述可知，各种参数和 v_f 可用下述函数关系表示：

$$v_f = F(p, d_c, l, \sigma_b, h)$$

式中 l ——被加工材料到喷嘴口的距离，mm；

σ_b ——被加工材料的拉伸强度极限，MPa；

h ——被加工材料厚度, mm;

p ——高压液流压强, MPa;

d_c ——喷嘴口直径, mm。

通常切割塑料工件时, 一般取 $d_c = 0.076 \sim 0.635\text{mm}$ (常用值为 $0.12 \sim 0.29\text{mm}$), 取 $p = 100 \sim 220\text{MPa}$ 。此时切除切屑呈微粒状, 其直径在 $0.001 \sim 0.04\text{mm}$ 之间; 表面粗糙度 $R_a = 12.5\mu\text{m}$, 没有裂纹和崩落现象产生。应当指出, 喷嘴口直径越小, 液流压强 p 越大, 则生产率越高, 表面粗糙度 R_a 值越小。

喷嘴口到被加工材料的距离 l 对生产率和表面加工质量有很大的影响。当 l 增大时, 材料相对于高压液流的进给速度先是保持恒定, 当 l 增大到一定数值后, 则 v_f 必需随着 l 的增大而减小。可见, 应当有个能保证最大进给速度 $v_{f\max}$ 的最大 l_{\max} 。 l_{\max} 是由喷嘴直径 d_c 和液流压强 p 决定的, 压强 p 越大, 喷嘴口直径越小, 则 l_{\max} 可以取大些; 同样进给速度可以取得大些。

喷嘴口直径 d_c 若增大时, 可以在较长的距离 l 上保持高生产率; 但是, 另一方面, 随着 d_c 的增大, 进给速度 v_f 也应相应地下降。实践证明, 允许采用最大进给速度 $v_{f\max}$ 的最大距离 l_{\max} 可用喷嘴直径来表示, 即 $l_{\max} = (33 \sim 67) d_c$ 。如果距离 l 继续增大, 这时切口宽度也随着增大, 同时切口的几何形状和加工表面质量也随着变差。

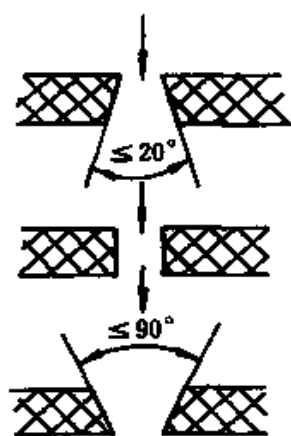


图 5-30 高压液流切割的三种切口

图 5-30 是用高压液流切割塑料板材时获得的三种不同的切口形状。被切割的材料厚度 $\delta = 2\text{mm}$ 的酚醛纸基层压塑料板, 高压液流使用的液体是浓度不大的乳化液。形成图 5-30 所示的切口

形状, 其参数为 $d_c = 0.12\text{mm}$, $p = 220\text{MPa}$, $l = 4\text{mm}$, 切口呈梯形, 倾斜角 $\leq 20^\circ$, 底面有崩落与局部起皮现象, 图 5-30 所示的切口形状,

其参数是 $d_c = 0.21\text{mm}$, $p = 200\text{MPa}$, $l = 8\text{mm}$, 切口呈矩形, 两侧面平滑, 上下底面均无崩落或起皮现象。图 5-30 所示的, 其参数是 $d_c = 0.29\text{mm}$, $p = 180\text{MPa}$, $l > 8\text{mm}$, 切口呈倒梯形, 倾斜角最大可高达 90° 。

在高压液流切割设备上若增加喷嘴的数目, 让它们沿着轴向方向上一个接一个地依次工作, 则可以大大提高某些非金属材料 (例如煤炭、花岗岩、大理石等) 的切断效率, 这时必须同时相应地增加设备的功率。例如用相邻间隔为 $(2.5 \sim 3)d_c$ 的喷嘴, 喷嘴口直径均为 $d_c = 0.12\text{mm}$ 的乳化液高压液流, 切割各种塑料板时, 比只用一个 $d_c = 0.12\text{mm}$ 的液流的效率高许多 (见表 5-13)。使用的参数为 $p = 180\text{MPa}$, $l = 5\text{mm}$ 。

表 5-13 用一个和两个喷嘴进行高压液流切割的效率比较

被加工材料名称	用一个喷嘴的进给速度 $v_f/(\text{m}/\text{min})$	用两个喷嘴的进给速度 $v_f/(\text{m}/\text{min})$	提高效率 %
硬聚氯乙烯板	5	9	80
酚醛纸基层压塑料板	3.5	6	72
酚醛玻璃布层压塑料板	3	5	67

从切割质量看, 硬聚氯乙烯塑料板的切口平坦, 上部略呈倒圆; 而酚醛纸基层压塑料板和酚醛玻璃层压塑料板的上下两面均有少量的崩落现象。

实践证明, 多次重复进行高压液流切割 (例如分五次切割) 效率并不高, 切口宽出 $2 \sim 3$ 倍, 表面粗糙度 R_a 值显著增大, 并且起皮, 起毛现象也很严重。这是因为先次切割时遗留下来的水阻碍新的液流的射入, 就仿佛水枕一样, 抵消新的液流作用力。因此, 切割的厚度越大, 需要克服水的阻力也越大, 结果, 到达被切的新鲜表面时液流动能也就消耗殆尽了。

实验证明, 喷嘴口到工件之间的距离 l 影响着高压液流的动力参

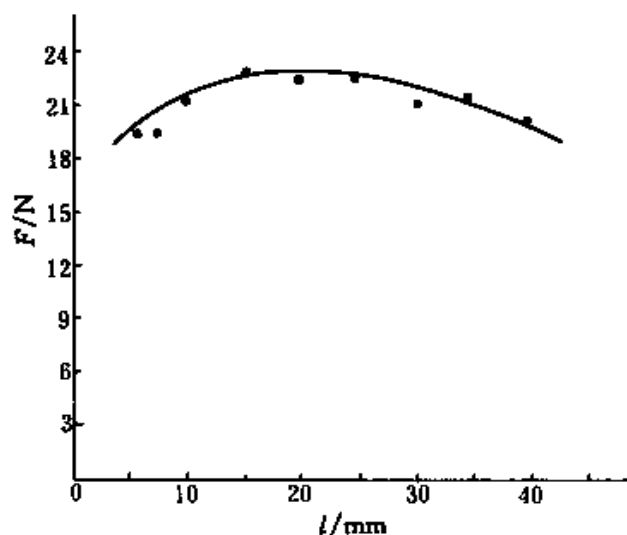


图 5-31 喷嘴与材料之间的距离 l 和作用 F 的关系

数。图 5-31 是用高压液流切割酚醛玻璃纤维层压塑料板时液流对工件的作用力 F 随着 l 变化的情况。由图可见，随着距离 l 的增加，作用力先是增大，达到最大值后，近似地按直线规律逐渐下降，这就是说，液流形成作用力最大值不是在喷嘴出口处，而是在离喷嘴口为 l_{opt} 的最佳距离处。并且随着高压液流压强的增大， l_{opt} 有缩小的趋势。 l_{opt} 的大小同液流各参数之间的关系

的经验公式为：

$$l_{\text{opt}} = 148 \left(\frac{p}{100} \right)^{0.55} \cdot d_c^{0.75} \cdot e^{-1.1} \text{ mm}$$

式中 p ——高压液流的压强，MPa；

d_c ——喷嘴的直径，mm；

e ——自然对数的底数，为 2.71828。

为了确定按上式求得的 l_{opt} 对最大作用力 F_{max} 的影响，对于液流压强 $p = 80 \sim 220 \text{ MPa}$ 和三种不同的喷嘴直径进行了实验，其结果如图 5-32 所示。图中的 1 线为利用喷嘴直径 $d_c = 0.29 \text{ mm}$ 得到的结果；2 线— $d_c = 0.21 \text{ mm}$ ；3 线— $d_c = 0.12 \text{ mm}$ 。从图可见，随着液流压强的增大，最大作用力近似地按直线规律加大；而随着喷嘴直径 d_c 的增大，即是喷嘴口出口截面积增大，液流压强对作用力的影响也增大，即曲线的斜率增大。

最大作用力的计算可按式进行：

$$F_{\text{max}} = 126 \left(\frac{p}{100} \right)^{1.15} \cdot d_c^{1.75}$$

式中 p ——液流的压强, MPa;
 d_c ——喷嘴口直径, mm。

高压液流切割的生产率在很大程度上取决于被加工材料的机械性能。为此, 应主要研究对物体表面的轴向作用力 F_z 的影响, 因为它决定着切屑形成的性质, 被加工材料的再加工性。这个力相当于机械加工中的切削力。

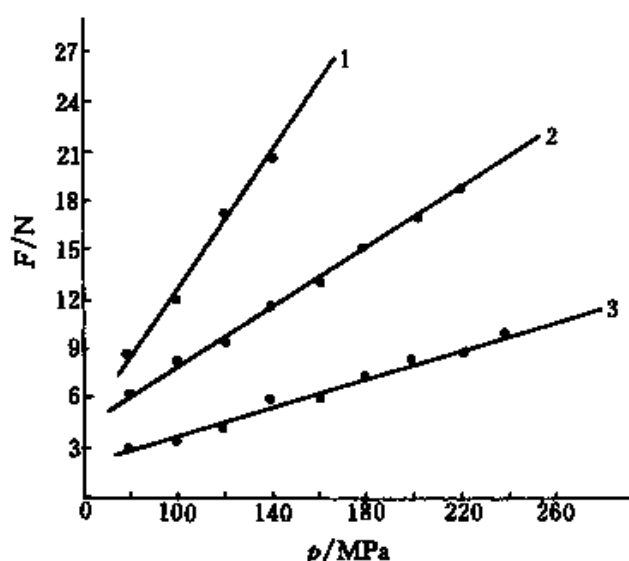


图 5-32 不同液流参数对最大作用力 F_z 的影响

实验证明, 这个切削力与被加工材料的冲击韧性和弯曲强度之间的关系不大 (相关系数分别为 0.41 和 0.56), 而与拉伸强度和压缩强度关系最为密切 (相关系数分别为 0.95 和 0.82); 此外, 切削力 F_z 与材料的弹性模量及其硬度的关系也较密切 (相关系数分别为 0.75 和 0.7)。可见, 利用高压液流切割时的可加工性在很大程度上同被切割材料的一系列机械性能 (拉伸强度 σ_b 、压缩强度 σ_{bc} 、弹性模量 E 、布氏硬度 HB) 有关, 而其中影响最大的是拉伸强度 σ_b 。图 5-33 是切削力 F_z 和材料拉

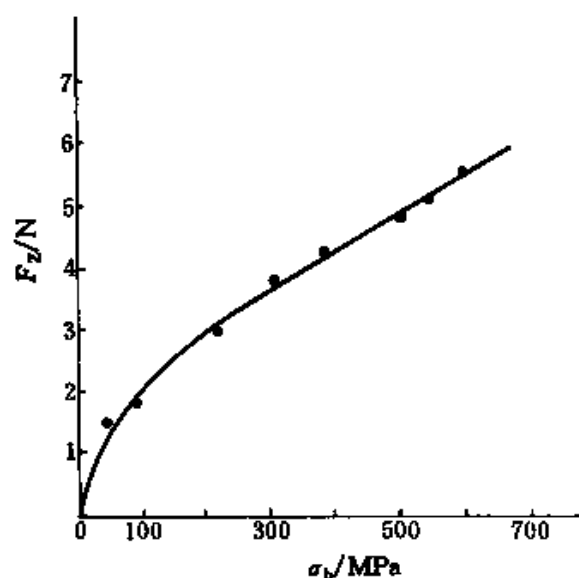


图 5-33 切削力与材料拉伸强度的关系

图 5-33 是切削力 F_z 和材料拉

伸强度 σ_b 之间的关系曲线, 其经验公式为:

$$F_z = 2 \cdot \left(\frac{\sigma_b}{1000} \right)^{0.5} \text{ N}$$

式中 σ_b ——材料的拉伸强度, MPa。

分析上图与公式可以发现, 液流切割时被加工材料的机械性能对可加工性的影响和用盘形铣刀、圆锯片等切削刀具进行切断时大不相同的。对于玻璃纤维为基材的层压酚醛塑料尤其是这样。如果说机械加工时材料的强度特性越高, 其可加工性也越好; 但是, 在用高压液流切割时, 材料强度特性越高, 其可加工性反而越差, 因为这时切削力增大, 能容也随之增大的缘故。这是因为机械加工时还需要考虑到被加工材料的磨料性能和材料与切削刀具之间的摩擦系数。另外, 被切削的材料强度的增加会导致切削力加大, 仍有助于提高切削刀具的寿命, 可以提高切削用量。而用高压液流切割时根本不存在着刀具寿命问题, 主要是随着材料机械性能的提高, 切削层中的变形加大, 因此相应地要求增加破坏应力, 从而加大了切削力。但是, 当载荷恒定不变时, 增大使材料微粒发生破坏的变形会延长破坏单位体积材料的时间, 从而降低生产效率, 也就是使加工性变差。

高压液流切割的物理过程是这样的: 任何固体都可以大致看成是充满了大小不一的裂纹的体系, 裂纹小至原子大小, 大到微观裂纹甚至肉眼可以看得见的宏观裂纹。这些裂纹对材料的强度与破坏的性质具有很大的影响。在外力作用下, 这些裂纹会导致材料的破坏, 而在所有外力中, 影响最大的是拉伸力。因此, 切削力 F_z 与抗拉强度 σ_b 的关系最为密切。

实验证明, 在目前采取的液流参数范围内, 用液流切割塑料板材的切削力大致为 $F_z = (1.3 \sim 30) \text{ N}$ 。例如, 当 $P = 220 \text{ MPa}$, $d_c = 0.12 \text{ mm}$ 时, $F_z = 7.8 \text{ N}$, 仅为盘铣刀切削力的 $1/5 \sim 1/4$ 。实验还证明, 当 $F_z/F_{\max} = 0.75 \sim 0.85$ 时, 切口的质量最好, 而且消耗的能量也最少。

另外, 用乳化液作为高压液流切割非金属材料, 若固定喷嘴到材

料的距离 l_{opt} ，实验的结果证明，增大液流的压强 p ，则切削力 F_z 下降。利用喷嘴直径 $d_e = 0.12\text{mm}$ ，压强 $p = 140\text{MPa}$ ，以乳化液做高压液流，切割厚度 $\delta = 2\text{mm}$ 的塑料板材时，测得的切削力 $F_z = 4.3\text{N}$ ；而当液流的压强增加到 $p = 220\text{MPa}$ ，即增加 54% 时，则测得的切削力 $F_z = 1.95\text{N}$ ，下降了 55%，同时切口的质量也有明显的提高。这是因为，液流压强 p 增大后，提高了液流的运动速度，提高了液流的动能和活性，从而提高了单位切削压力，减少了材料破坏所需要的时间。当进给速度 v_f 是一定时，减少液流和加工材料的接触时间，则导致了切削力 F_z 的减少；

同时也减小被切除材料微粒的尺寸，这样就改善了加工切口的质量。实验证明，当其他参数固定时，当 $p = 140\text{MPa}$ 时，切屑的基本尺寸为 $0.01 \sim 0.08\text{mm}$ ，有个别微粒还稍大；当 $p = 220\text{MPa}$ 时，切屑呈面粉状，十分细小，基本尺寸仅为 $0.001 \sim 0.004\text{mm}$ 。反之。随着液流压强的减小，切削力逐渐增大到接近最大作用力的程度。当 $F_z > 0.85 F_{\text{max}}$ 时，就不可

能进行高质量的切断了，液流和被加工材料相互作用时偏离铅垂方向，往往不能沿全长切透，而是周期性地留下若干处未切断的部分。图 5-34 是切削力与喷嘴口直径的关系曲线。图 5-35 是切削力与液流压强的关系曲线。

如果进一步降低液流的压强 p ，则切削力 F_z 趋向接近于最大 F_{max} ，当液流压强 p 趋近于 0 时，则切削力 F_z 也趋近于 0。由此可见， F_z 与 p 之间的关系是一个超越方程式，可写为：

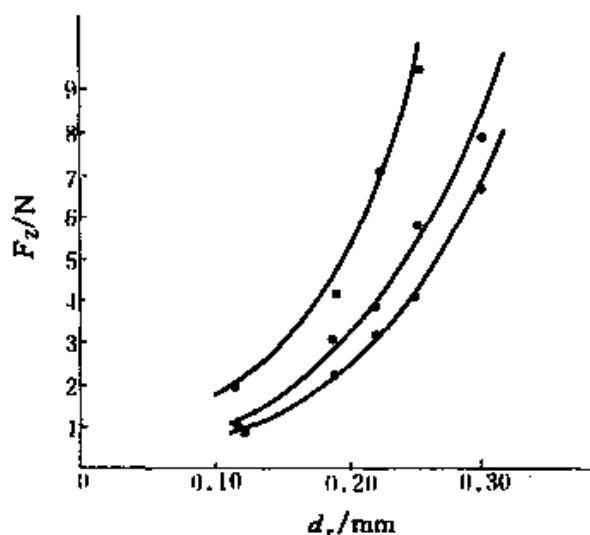


图 5-34 切削力与喷嘴口直径关系
硬聚氯乙烯塑料（上曲线）；酚醛纸基层压塑料（中曲线）；酚醛玻璃纤维层压塑料（下曲线）

$$F_z = 180 \left(\frac{p}{100} \right)^{5.2} \cdot e^{-4 \left(\frac{p}{100} \right)} N$$

式中 p ——液流的压强, MPa;

e ——自然对数的底数, 为 2.71828。

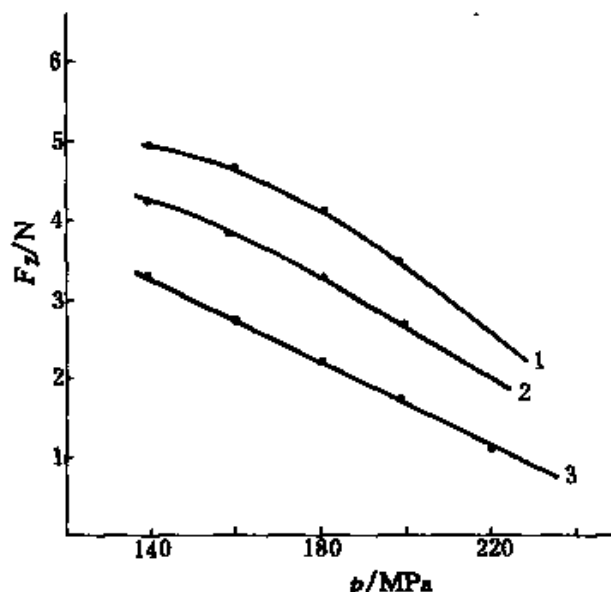


图 5-35 切削力和液流压强的关系

1—硬聚氯乙烯塑料; 2—酚醛纸基层

压塑料; 3—酚醛玻璃纤维层压塑料

从图 5-35 可以看出, 切削力 F_z 随着喷嘴口直径 d_c 增大按抛物线方程的规律递增, 其方程式为:

$$F_z = 270 d_c^{2.2} N$$

式中 d_c ——喷嘴口直径, mm。

根据伯努利方程, 液流的动力参数主要取决于经过喷嘴口的液体流量和喷嘴口的直径。随着喷嘴口直径的增大, 在液流动能增加的同时, 切口宽度和液流与被加工材料的接触面积也增大, 这样就增加了单位时间切除材料的体积, 同时也增加了材料的破坏力。

此外, 被切割材料的厚度 h 和材料的进给速度 v_f 对于切削力 F_z 影响很大。在液流压强 p 和喷嘴口直径 d_c 固定不变时, 则切削力 F_z 随着工件材料厚度 h 增大而增加, 其方程式为:

$$F_z = 0.93 h^{1.1} N$$

式中 h ——被切割的工件材料厚度, mm。

若被切割材料的强度提高, 可以提高切削力, 但不会改变这个关系的性质, 例如当 $p = 220 \text{ MPa}$, $d_c = 0.12 \text{ mm}$, $v_f = 1 \text{ m/min}$ 时, 切割硬聚氯乙烯板材的厚度为 $h > 6 \text{ mm}$ (此时 $F_z = 0.66 F_{\max}$), 而酚醛纸基层压塑料的加工厚度则为 $h = 6 \text{ mm}$ ($F_z = 0.86 F_{\max}$), 但对于强度较大的酚醛玻璃纤维层压塑料, 允许的加工厚度仅为 $h = 4 \text{ mm}$ ($F_z =$

$0.83F_{\max}$)。 F_z 之所以随着 h 的增加而增大,是由于液流与被加工材料两侧面接触面积增大,从而使单位时间内切除的材料体积增加。

当材料厚度 h 开始增大时,边缘液流的动能主要是靠新到来的液流来补充。只是由于液流与材料的接触面积增大了,也就是被破坏材料的体积增大了,故 F_z 也增大了。随着厚度 h 进一步增大,新到的液流已来不及完全补偿先前液流消耗的能量,而被加工材料则继续以恒定的进给速度 v_f 迎着液流进行,这样就增加了沿液流轴向的加工厚度,也增加了沿径向的加工宽度,结果增加了总的接触面积,从而使被切除材料体积剧增,因此切削力也按椭圆线规律急剧上升。如果材料厚度继续增加,单位时间内应被切除的材料也将剧增到如此程度,以至于为了切透板材所需要的补充液流工作部分的动能的时间变得接近于甚至超过板材移动一个等于液流直径的距离所需要的时间。在这种情况下,液流就不可能切透材料,而只能切到一定的深度。可见,液流切除材料的体积只能和液流的动力参数相对应,这时,切削力 F_z 达到最大值,并且等于液流对切削表面的作用力,上边提到的液流切割厚度 $h = 4\text{mm}$ 的酚醛玻璃纤维层压塑料就属于这种情况。

被加工材料相对于液流的进给速度 v_f 对切削力 F_z 的影响比材料厚度 h 略小。随着进给速度的增大,切削力 F_z 按抛物线规律增大,该曲线与纵坐标轴之间的夹角与材料类型有关,材料强度越高,夹角就会越大。

进给速度 v_f 增大时,液流沿径向和被切割材料接触的面积增大,所以切削力 F_z 也随着增加,其关系可用下面方程式表示:

$$F_z = 2 \cdot v_f N$$

式中 v_f ——材料的进给速度, m/min 。

综上所述,可得切削力 F_z 和液流参数、被加工材料的机械性能、进给速度和材料的厚度之间的经验公式:

$$F_z = 0.143 \left(\frac{p}{100} \right)^{5.2} \cdot d_c^{2.2} \left(\frac{\sigma_b}{100} \right)^{0.5} \cdot h^{1.1} \cdot v_f^{0.75} \cdot e^{-4 \left(\frac{p}{100} \right)} N$$

式中 p ——液流的压强, MPa ;

d_c ——喷嘴口的直径, mm ;

σ_b ——被加工材料的抗拉强度, MPa;

h ——被加工材料的厚度, mm;

v_f ——被加工材料的进给速度, m/min;

e ——自然对数的底数, 为 2.71828。

切割塑料板材的生产率是用被加工材料的进给速度 v_f 来表示, 当然 v_f 越大, 生产率越高。而进给速度 v_f 的大小取决于液流的参数、材料的厚度和其机械强度等因素。

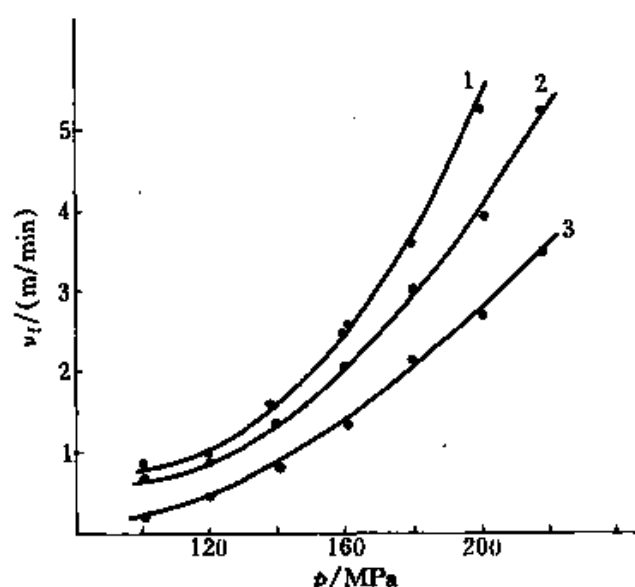


图 5-36 液流压强 p 对进给速度 v_f 的影响

1—硬聚氯乙烯塑料; 2—酚醛纸基层压塑料;

3—酚醛玻璃纤维层压塑料

液流压强 p 对进给速度 v_f 的影响如图 5-36 所示。由图可见, 液流压强 p 越大, 则允许的进给速度 v_f 越大, 并且 p 越大时, 其曲线斜率也越大。这是因为 p 增大时, 液体的流速和单位时间的流量越大, 即增大了液流的动能, 从而加速了使被加工材料脱离基体的过程, 因而可以加大进给速度 v_f 。同时, 实验证明, 液流强度增加一倍, 进给速度可以增

加几倍, 可见用增加液流强度 p 的方法提高生产率是合理的。

液流强度 p 对进给速度 v_f 的影响亦可用下面的经验公式表示:

$$v_f = 0.25 \left(\frac{p}{100} \right)^{3.6} \text{ m/min}$$

图 5-37 是喷嘴口直径 d_e 对进给速度 v_f 的影响。由图可见, 喷嘴口直径 d_e 对 v_f 的影响呈双曲线形, 两者成反比关系。例如喷嘴口直径由 0.12mm 增大到 0.29mm 时, 即增大 1.4 倍, 生产率却几乎下降

50%。这是因为，尽管随着喷嘴直径的加大，液流的动能和活性质量增加，但切口也成比例的增加了宽度，同时增加了液流与被加工材料的接触面积，即增加了材料破坏时的阻力。喷嘴口直径和进给速度 ν_f 的关系亦可用下面的经验公式表示：

$$\nu_f = 3.45 d_c^{0.27} e^{-5.5 d_c} \quad \text{m/min}$$

式中 d_c ——喷嘴口直径，
mm；

e ——自然对数底数，
为 2.71828。

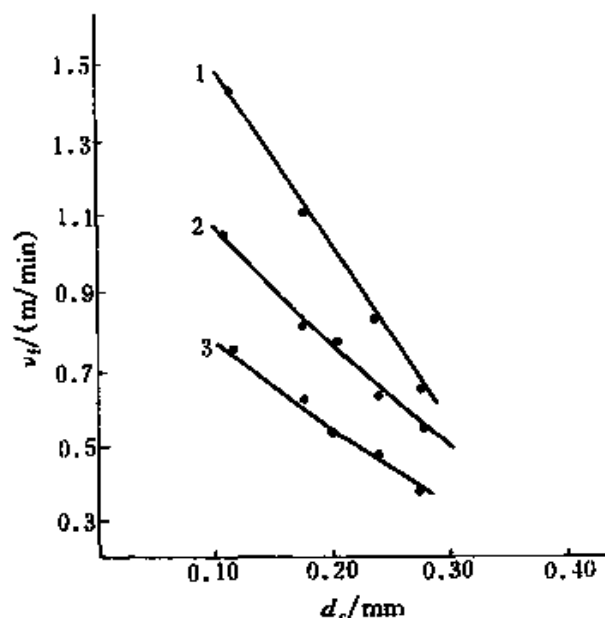


图 5-37 喷嘴口直径 d_c 对
进给速度 ν_f 的影响

图 5-38 是被加工材料厚度 h 对进给速度 ν_f 的影响。由图可见，被加工材料厚度 h 对进给速度 ν_f 的影响呈双曲线关系，即 h 增加， ν_f 下降。例如当用液流切割酚醛纸基层压塑料板时，板材厚度由 1mm 增大至 7mm 时，进给速度锐减到 1/14。

图 5-39 是被加工材料的拉伸强度 σ_b 对进给速度 ν_f 的影响。从图可见 σ_b 对 ν_f 的影响亦呈双曲线形，即 σ_b 增大 ν_f 下降。但是 σ_b 对 ν_f 的影响比 h 对 ν_f 的影响要小的多。例如，硬聚氯乙烯的 $\sigma_b = 55\text{MPa}$ ，而酚醛玻璃纤维层压塑料的 $\sigma_f = 540\text{MPa}$ ，几乎相差 10 倍，但进给速度仅仅为 5:1 左右。

塑料的拉伸强度对进给速度，生产率和切削力的影响较小，这是由液流切割本身的特点决定的。例如，用高压液流切割以各种材料为基材的塑料时，由于破坏力局限于极小范围内，又由于液流速度极高 ($> 500\text{m/s}$)，基材以微米数量级的细小颗粒被切除，这相当于玻璃纤维的直径。这就是说，液流切割时克服的并不是整个被切割材料的抗

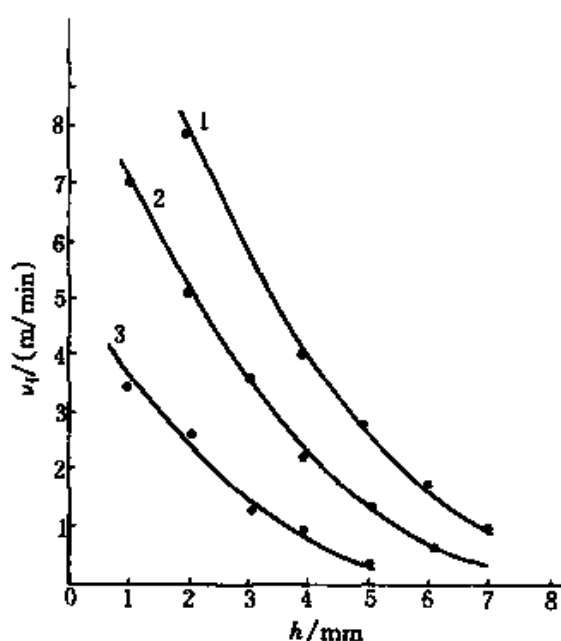


图 5-38 被加工材料的厚度 h 对
进给速度 v_f 的影响
1—硬聚氯乙烯塑料；2—酚醛纸基层压塑料；
3—酚醛玻璃纤维层压塑料

力，而只是其个别基材的高分子聚合物的抗力。显然，单个高分子的强度比整个塑料整体强度低得多。

还应当指出，高压液流切割时具有一种选择能力。这就是说，切屑不是沿着由刀具几何形状决定的滑移表面，而是沿着方向和大小不断改变的平面形成的。这些平面的位置通常恰恰在材料的薄弱地段，如划痕、微观裂痕、微孔隙及其他应力集中的区域。当液流渗入上述裂痕时，材料内部形成一股巨大的瞬时压力，从而使个别细小颗粒分割出来。但是，这个压力毕竟比整个材料的拉伸强度或压缩强度要小

得多。

这样，根据实验数据的数学处理，确定了进给速度与加工厚度的关系式为：

$$v_f = 12.9 h^{-1.3} \quad \text{m/min}$$

式中 h ——被加工材料的厚度，mm。

进给速度与被加工材料强度的经验公式则为：

$$v_f = 5.37 \left(\frac{\sigma_b}{100} \right)^{-0.45} \quad \text{m/min}$$

式中 σ_b ——被加工材料拉伸强度，MPa。

把所有上述公式综合起来，液流切割板材时的进给速度的经验公式为：

$$\nu_f = 2.52 \left(\frac{p}{100} \right)^{3.6} \cdot d_c^{0.27} \cdot \left(\frac{\sigma_b}{100} \right)^{-0.45} \cdot h^{-1.3} e^{-5.5d_c} \quad \text{m/min}$$

根据液流压强解此方程, 可得液压系统中工作压强的经验公式:

$$p = 0.07 \nu_f^{0.28} \cdot d_c^{-0.075} \cdot \left(\frac{\sigma_b}{100} \right)^{0.125} \cdot h^{0.36} \cdot e^{1.53d_c} \quad \text{MPa}$$

用高压液流切割的能量消耗是重要的研究项目, 它的指标是用单位能容 E 来表示, 其表示方法为:

$$E = \frac{P}{A} \quad \text{kW} \cdot \text{h/m}^2$$

式中 E ——单位能容, $\text{kW} \cdot \text{h/m}^2$;

P ——形成高压液流消耗的功率, $P = \frac{p \cdot Q}{612}$, kW ;

Q ——每分钟通过喷嘴的液流量, L/min ;

A ——单位时间内加工有效表面面积, $A = \frac{h \cdot \nu_f \cdot 60}{1000}$, m^2/h 。

h ——被加工材料的厚度, mm ;

ν_f ——进给速度, m/min 。

图 5-40 是液流压强 p 对单位能容 E 的影响曲线。由图可见, 在 p 处于 100MPa 范围内时, 单位能容 E 的数值很大, 可高达 $38.8\text{kW} \cdot \text{h/m}^2$, 这说明液流形成的单位切削力还不足以实现有效的破坏; 而当压强由 100MPa 增大到 220MPa 时, 液流的功率与动能增加, 则使得单位时间内有效加工面积的增长比消耗于形成液流的功率增长得快。当 $p = 220\text{MPa}$ 时, 单位能耗只有 $2.52\text{kW} \cdot \text{h/m}^2$, 是 $p = 100\text{MPa}$ 时单位能耗 $E = 38.8\text{kW} \cdot \text{h/m}^2$ 的 $1/15$ 。

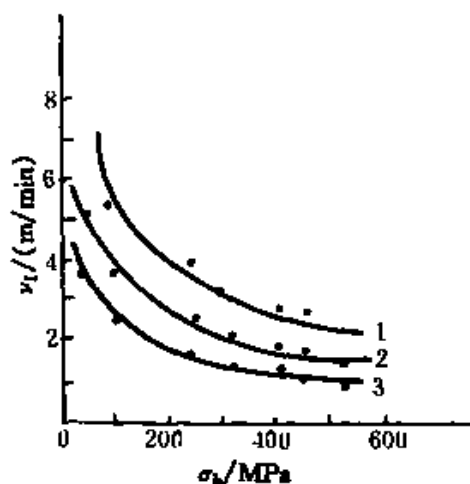


图 5-39 被加工材料拉伸强度 σ_b 对进给速度 ν_f 的影响

1—硬聚氯乙烯塑料; 2—酚醛纸基层压塑料;
3—酚醛玻璃纤维层压塑料

图 5-41 是喷嘴口直径 d_c 对单位能容的影响。从图可见, 当喷嘴口直径增大时, 单位能容按照接近于直线的抛物线规律剧增。经验证明, 为了减少单位能耗和提高生产率, 通常把喷嘴口直径 d_c 控制在 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 范围内。

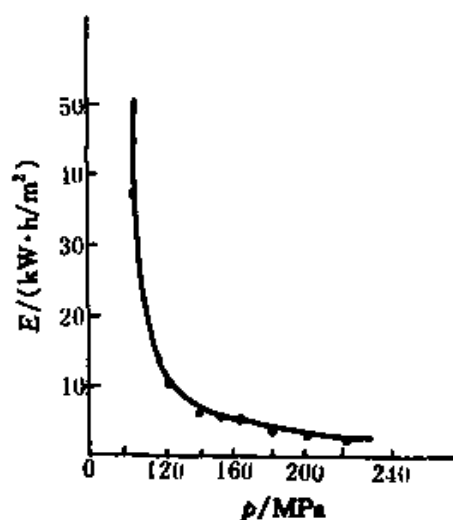


图 5-40 液流压强 p 对单位能容 E 的影响

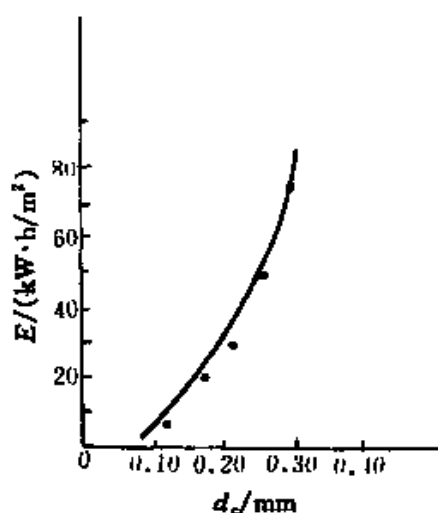


图 5-41 喷嘴口直径 d_c 对单位能容的影响

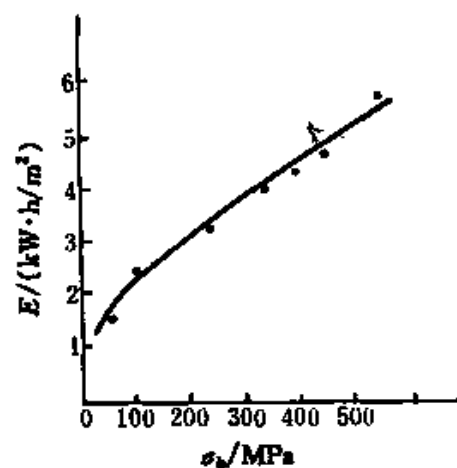


图 5-42 加工材料的机械性能对单位能容的影响

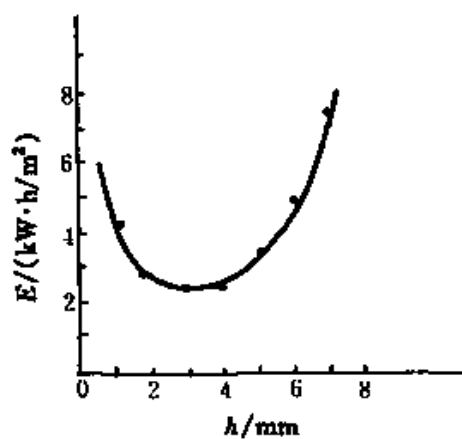


图 5-43 切割厚度 h 对单位能容的影响

图 5-42 是加工材料的机械性能对单位能容的影响。当被加工材料的拉伸强度增加时，切除单位体积材料所消耗的能量也增加，从而就增加了单位能容，所以曲线如图所示，但是被加工材料的机械性能对单位能容的影响较小。

图 5-43 是被加工材料的厚度 h 对单位能容的影响，从图可见，当被切割的材料厚度 h 由 1mm 增加到 3mm 时，单位能容是逐渐减小；而从 3mm 增至 7mm 时，则单位能容又逐渐的增加。所以，从节约能源观点来说，切割各种塑料，在常用的液流压强 p 和喷嘴口直径 d_c 范围内，最佳的切割厚度 $h = 2 \sim 4\text{mm}$ 。

综上所述，用高压液流切割各种金属和非金属的软硬材料时，对液压系统工作参数的计算步骤如下：

根据被加工材料先选定液流工作压强 p 和喷嘴口直径 d_c 。则液流的速度按下式计算：

$$U = 14\sqrt{p} \quad \text{m/s}$$

式中 p ——液流的压强，MPa。

$$\text{单位时间喷嘴口液体流量：} Q = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \cdot \nu \quad \text{cm}^3/\text{s}$$

d_c ——喷嘴口直径，mm；

ν ——喷嘴口处液流速度，m/s。

$$\text{消耗功率 } P: P = \frac{p \cdot Q}{612}, \quad \text{kW}$$

式中 p ——液流的压强，MPa；

Q ——单位时间的流量， cm^3/s 。

$$\text{高压液缸的体积 } V_H: V_H = \frac{\pi \cdot D_H^2 \cdot L}{4} \quad \text{cm}^3$$

式中 D_H ——高压液缸内径，cm；

L ——活塞工作行程，cm。

$$\text{喷嘴射出的时间 } t: t = \frac{V_h}{Q}$$

$$\text{低压液缸内径 } D_L: D_L = \sqrt{\nu_f \cdot D_H^2} \quad \text{mm}$$

式中 ν_f ——工件的进给速度，m/min。

$$\text{低压液缸体积 } V_L: V_L = \frac{\pi \cdot D_L^2 \cdot L}{4} \quad \text{cm}^3$$

$$\text{液流泵的生产率 } q_L: q_L = \frac{V_L \cdot 60}{t \cdot 1000} \quad \text{L/min}$$

应当指出,为了保证液流连续不断地通过喷嘴,液流切割装置至少应备有两个依次工作的扩程器,因而液压泵的效率应该增加一倍。此外,切削力数值一般都很小,所以在确定液压装置的进给传动功率时,应将被加工材料的自重以及在进给传动的运动部件中的摩擦因素考虑进去。

目前采用的高压液流切割器功率为 150kW 以上,每分钟通过喷嘴的流量为 80L。

随着工业的发展,高压液流切割将得到更快的发展和广泛的利用。据一些资料介绍,在美国市场上已出现了用电脑控制的全自动液流切割系统,越来越多地用于塑料、电子、化工、建材、特种工艺和机械生产等部门。据各国专家预测,到 90 年代中期,高压液流喷射切割工具就会成为一种相当普遍的重要生产设备。

第八节 CO₂ 激光切割

激光是一种光能高度集中的平行光束,激光是单色光,它的方向性好,用激光照射塑料,可以使塑料在瞬间内熔化,气化,从而达到切断的目的。由于激光加工无切屑产生,因而属于无屑加工方法。

激光加工塑料具有如下特点。

(1) 非接触式加工 在加工过程中无刀具磨损,所以无需换刀和磨刀;加工过程中作用在塑料上的力很小,所以所需夹具简单,装夹时间短,夹紧力小,塑料的加工变形小。

(2) 优良的加工质量 激光光束很细,加工缝隙很小(约 0.025 ~ 1.2mm),全部输入的热能很小,所以热影响区的深度很小,可获得光滑无烧伤表面,所以不再需要精加工。

(3) 经济实用 用激光加工塑料速度非常快,有人曾做过比较,用激光切割 3mm 厚的有机玻璃是用普通加工方法(如锯、磨等)加

工所用时间的 $1/6$ ；由于效率高，能量消耗小，所以成本低；激光切割可以切出各种曲线，所以工艺适应性好。

激光器的种类很多，但对于塑料的切割来说，最适宜的要算是 CO_2 激光器，因为 CO_2 激光的波长是 $10.6\mu\text{m}$ ，而塑料对 $10.6\mu\text{m}$ 波长的激光有很强的吸收性，光能被迅速转变成热能，能量损失小，效率高，所以 CO_2 激光对切割厚度为 $0.02 \sim 40\text{mm}$ 塑料件非常有效；并且 CO_2 激光器结构简单，价格低。

用 CO_2 激光切割塑料时，必须根据塑料的切割厚度，选择适当的喷嘴。喷嘴的结构如图 5-44 所示，喷嘴对加工质量和效率的影响显著，如图 5-45 所示，调节进气口气体的流速与流量，可以获得光滑的、高精度切口，并可以显著地提高加工效率。

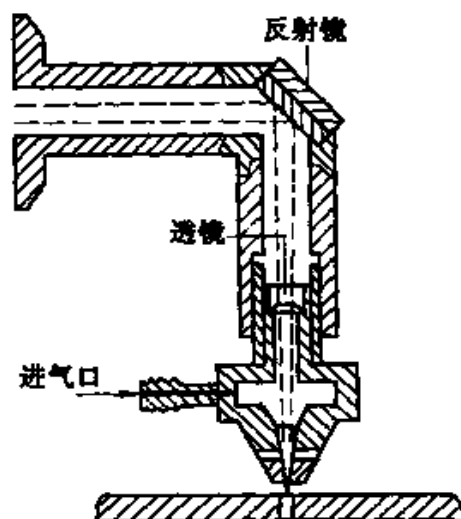


图 5-44 喷嘴的结构

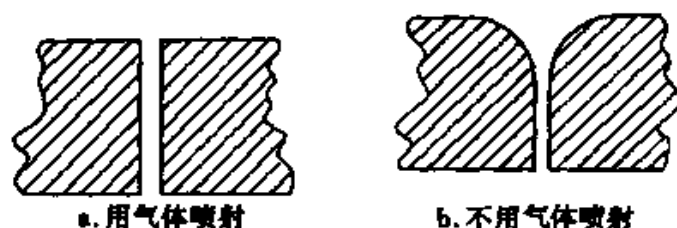


图 5-45 气体喷射激光切割

实际上，激光并不是完全的平行光束，对焦点型 CO_2 激光器，它

的扩角为 θ ：

$$\theta \approx 0.94 \sqrt{\frac{\lambda}{L}}$$

式中 λ 为波长， L 是共振器的长度， θ 的单位为弧度。

有透镜聚焦激光的情况如图 5-46 所示，图中 d 为最小直径， b 为焦点深度， CO_2 激光的 d 和 b 的关系式为：

$$d \approx 13.5 \frac{f}{\theta}$$

$$b \approx 13.5 \left(\frac{f}{\theta} \right)^2$$

式中 f 为透镜的焦距， b 和 d 的单位为 μm 。

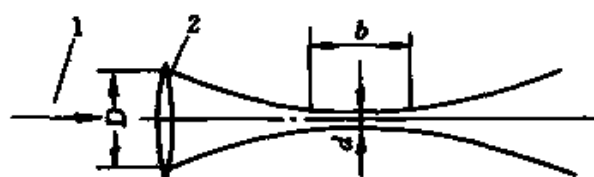


图 5-46 透镜聚光

1—激光；2—聚光透镜

d 为透镜射入激光部分的直径

因此，用激光加工时，应注意激光的功率，透镜的焦距、焦点的位置、照射的时间以及进给速度的选择。表 5-13 列出的是不同功率的 CO_2 激光切割各种塑料的厚度与切割速度的关系。

从表 5-14 中可以看出，绝大部分塑料都可以采用激光

加工，一些种类的复合塑料很难用一般加工方法加工，可以采用高速激光加工系统进行有效加工。一些高性能复合材料（如：硼环氧树脂、石墨环氧树脂等）有很高的强度，但是都极难加工。用金属刀具加工，加工件的棱角失真，且刀具极易磨损，而用激光切割则会产生清晰的边棱。

然而，有些塑料，如 PVC 树脂，在激光加工过程中会有刺激性气体放出；酚醛、环氧等热固性塑料，在激光加工过程中会有气泡出现，影响加工质量。对这些塑料，不宜采用激光加工。

表 5-14 部分塑料激光切割实例

塑料材料	厚度 mm	切割速度 m/min	切缝宽度 mm	照射能量 W
聚丙烯酸树脂	1.5	15	—	350
	2.0	7.2	0.4	350
	3.1	1.83	—	300
	4.0	2.3	0.4	200
	6.0	1.2	0.4	200
	8.0	0.6	0.4	200
	10.0	0.4	0.4	200
	25.4	0.1	—	200
	30.0	0.15	0.5	400
ABS	2.5	0.38	0.5	250
聚乙烯	4.0	0.96	0.5	45
聚丙烯	1.5	5.625	—	150
	5.0	0.2	0.7	35
聚氨酯	15	0.42	—	150
	40.0	0.7	0.5	35
聚氯乙烯	0.2	10.0	0.5	80
	3.2	3.6	—	300
	10.0	0.45	—	160
聚酰胺	0.5 (8层)	1.7	—	150
聚酰胺	0.8	5.0	—	200
	1.7	0.12	—	80
聚酯 (玻璃纤维)	2.0	0.75	0.8	100
环氧树脂 (玻璃纤维)	2.0	2.2	0.5	200
聚四氟乙烯	0.8	6.0	—	200

第六章 塑料工件的螺纹加工

塑料螺纹制件广泛应用在电气工业、化工工业、高频设备、金属切削机床工业和某些特殊精密仪表等方面。

电气工业上所使用的部件往往都是由两个或两个以上的零件结合而成的，并且要求零件之间相互绝缘，要用金属螺钉连接，必然增加一些绝缘零件，使结构变得复杂化。如用塑料螺钉或螺栓，则可使结构变得简单得多。

化工设备或容器，若用不锈钢螺钉或螺栓连接，则需用较多的贵重金属。因此成本费用高。如用塑料制成的螺钉或螺栓，则可节省贵重的金属材料，所以降低了成本。

高频淬火炉和高频电机等设备，要求所用的零件无磁性，以防止连接件因涡流而引起“自烧现象”。由于塑料无磁性，故选用塑料零件最好。

某些特殊精密仪表，要求其中个别紧固零件无导磁性，以防止有不必要的“电磁效应”，因此选用塑料螺钉最为合适。

金属切削机床的丝杠螺母副是直接影响机床加工精度的重要部件，所以对制造螺母的材料有一些要求。首先要求螺母材料对丝杠不起磨损作用，或者对丝杠的磨损量很少，从而使丝杠保持良好精度，延长它的使用寿命；此外，还要求螺母有一定的强度和刚性，使它不致产生过多的变形或引起机床进给时的爬行，这一点对精密机床则要求更高。过去使用的是用青铜制造的，因此成本很高，若用具有优良的耐摩擦、磨损性能的塑料代替用青铜制作的螺母，则可节省很多的青铜，降低成本。更重要的是采用塑料螺母还可以延长丝杠的使用寿命，如 C620、C6136A 车床对开螺母已使用尼龙 66 制造的，经使用证明效果良好。

综上所述，对于塑料工件的螺纹加工的研究是十分重要的，由于

塑料与金属的性质不相同, 故切削塑料螺纹与切削金属螺纹也不相同。

第一节 塑料螺纹的车削

车削塑料螺纹的车刀是一种廓形简单的成形车刀, 它可用在普通车床、六角车床、自动和半自动车床上来加工内、外螺纹和圆锥螺纹。

一、平体形螺纹车刀

平体形螺纹车刀如图 6-1 所示, 当它的前角 $\gamma_p = 0$ 时, 其前刀面形状即是螺纹在轴向剖面内的槽形。它的结构简单, 容易磨得很精确, 通用性强, 可用来加工各种形状和各种尺寸的内外螺纹, 应用十分广泛。

图 6-1a 是用于车削外螺纹的高速钢车刀, 亦可在其切削部分焊上 YG 类硬质合金刀片, 但这时应将刀杆改用结构钢。

图 6-1b 是用于车削内螺纹的车刀, 其切削部分可用高速钢或 YG 类硬质合金做成。

图 6-1c 是装有可转位硬质合金刀片并可调位的螺纹车刀。

无论是外螺纹车刀还是内螺纹车刀, 车刀切削刃的廓形必须和待车螺纹的廓形相一致, 否则被切螺纹的廓形将产生畸变, 尤其是切削弹性回复较大的热塑性塑料更应注意, 否则会造成废品。

螺纹车刀要按刃磨量规刃磨, 刃磨后用油石修整干净。为了保证螺纹车刀廓形不失真, 车刀的前角通常取为零度, 安装螺纹车刀时, 要按如图 6-2 所示进行调整, 用调整规使车刀严格对准工件中心线并

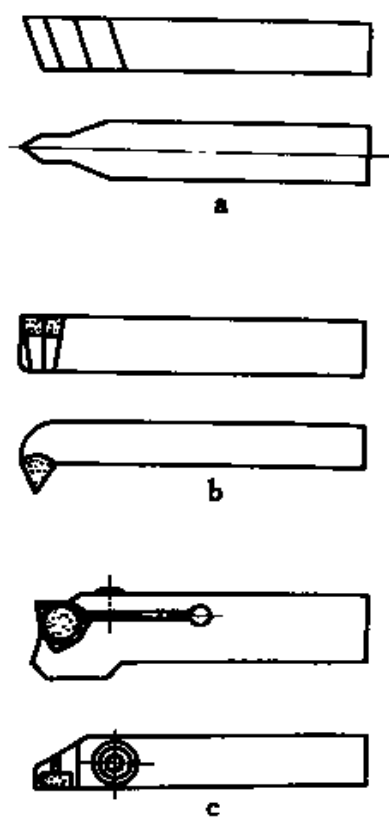


图 6-1 平体形螺纹车刀

和它垂直。

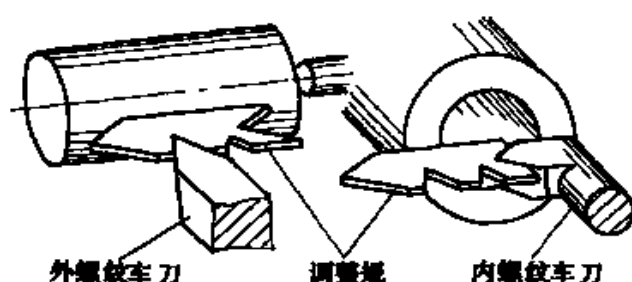


图 6-2 螺纹车刀的调整

在车削螺纹时，由于有进给运动，车刀左右两切削刃的工作前、后角将发生变化。因此螺纹车刀的工作情况和普通车刀及成形车刀有些不同，它的进给量 f 应等于螺纹的导程 s ，比普通外圆切削大；而一般的成形车刀，通常只有径向进给，而无轴向进给运动 v_f 。所以螺纹车刀工作时的前角与后角将受到螺纹升角 μ 的影响，如图 6-3 所示，在设计时必须加以考虑。螺纹升角越大，螺距越大，螺纹中径越小，这种影响越大，当用前角为零的车刀车削螺纹时，车刀左侧刃的工作前角 γ_{feL} 为正值，即等于螺纹升角 μ ，而车刀的右侧刃的工作前角 γ_{feR} 为负值，即等于负的螺纹升角 μ ，即

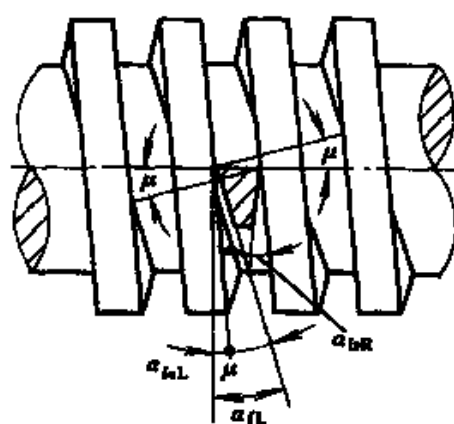


图 6-3 螺纹车刀的前角
和后角变化

在设计时必须加以考虑。螺纹升角越大，螺距越大，螺纹中径越小，这种影响越大，当用前角为零的车刀车削螺纹时，车刀左侧刃的工作前角 γ_{feL} 为正值，即等于螺纹升角 μ ，而车刀的右侧刃的工作前角 γ_{feR} 为负值，即等于负的螺纹升角 μ ，即

$$\gamma_{feL} = \mu \quad \gamma_{feR} = -\mu$$

螺纹车刀的工作后角和刃磨后角也不一致。由图 6-3 中可以看出，螺纹车刀的左侧的刃磨后角 α_{feL} 和右侧

刃的刃磨后角 α_{feR} 分别为：

$$\alpha_{feL} = \alpha_{feL} + \mu \quad \alpha_{feR} = \alpha_{feR} - \mu$$

式中 α_{feL} ——车刀左侧刃的工作后角；

α_{feR} ——车刀右侧刃的工作后角；

μ ——工作螺纹升角，可按下式计算：

$$\tan \mu = \frac{s}{\pi d}$$

式中 s ——螺纹导程, mm;

d ——螺纹直径, mm。

图 6-4 所示的是车削右旋螺纹的情况。为了保证工作时车刀的左侧刃有足够的后角。车刀的左侧的刃磨后角 α_L 必须加大, 右侧刃的刃磨后角 α_R 可适当减小。

由图 6-4 中可见, 车刀左侧刃的工作前角为正值, 而右侧刃为负值。为了改善螺纹车刀两侧刃的切削条件, 可把车刀安装成左右两侧刃的工作前角都等于零, 如图 6-4b 所示。在保证刀刃强度的条件下, 为了得到大一些的前角, 亦可磨制成如图 6-4a、4c 所示的前刀面。

在粗车各种塑料螺纹时, 为了保证车刀的寿命, 一般取螺纹车刀的顶刃前角 $\gamma_p = 5^\circ$ 。这时, 如果把顶刃与工件中心线等高安装, 则两侧刃不在工件的轴向平面内且又呈直线形, 因此, 在螺纹轴向平面内的所切的牙形将产生畸变而不呈直线, 必须进行修正计算。这时, 侧刃在主剖面 P_0 中的前角 γ_0 可按下式计算:

$$\tan \gamma_0 = \tan \gamma_p \cdot \sin \alpha_t / 2$$

式中 γ_p ——车刀顶刃上的前角;

α_t ——工件的廓形角。

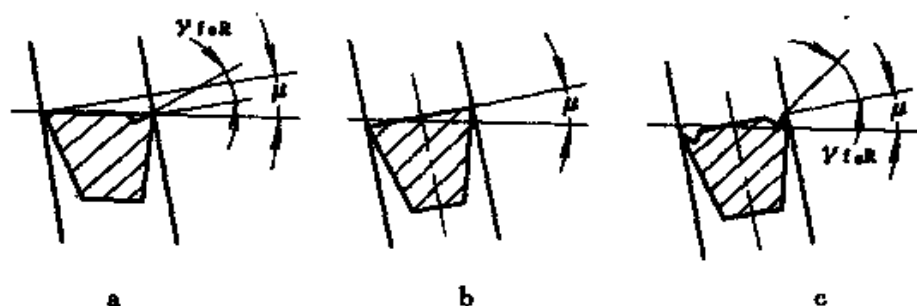


图 6-4 螺纹车刀前角变化

为了得到正确的工件螺纹牙形角 α , 螺纹车刀的廓形角 α_t , 在 $\gamma_p > 4^\circ$ 时, 其值可按下式计算 (见图 6-5):

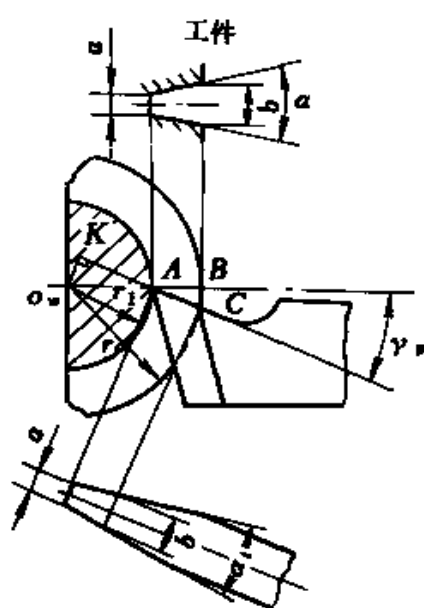


图 6-5 螺纹车刀廓形角的修正

$$\lg \frac{\alpha_1}{2} = \lg \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{r - r_1}{\sqrt{r^2 - r_1^2} \cdot \sin \gamma_p - r_1 \cos \gamma_p}$$

式中 r ——螺纹外圆半径, mm;

r_1 ——螺纹内圆半径, mm。

通常可近似的按下式计算:

$$\lg \frac{\alpha_1}{2} = \lg \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \gamma_p$$

当 $\gamma_p < 4^\circ$ 时, 车刀廓形角变化造成工件牙形误差较小, 可不进行修正。

切削各种层压塑料螺纹时, 为了使牙形材料不起层和崩落, 通常取前角 $\gamma_p = -5^\circ \sim -10^\circ$ 。

螺纹车刀的顶刃后角与侧刃后角对刀具寿命影响最大。车削螺纹时, 由于材料的弹性回复量较大, 应当尽量选取较大的后角。但后角过大时, 导致刃口处传热变差, 反而降低了刀具的寿命。生产实践证明, 螺纹车刀顶刃后角取 $15^\circ \sim 18^\circ$, 两侧刃后角取 $8^\circ \sim 10^\circ$ 。

车削螺纹的切削用量可根据被加工塑料性质、刀具材料的种类和加工要求来进行选择。

进给量 f 应等于螺纹导程 S 。

每次走刀的切削深度可根据螺纹牙形高度选择。推荐每次走刀的切削深度为:

粗车时, 第一次走刀 $0.1 \sim 0.15\text{mm}$; 第二次走刀 $0.4 \sim 0.5\text{mm}$;

精车时, 可走一次或两次刀, 每次的切削深度为 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$; 可进行 $1 \sim 2$ 次修整走刀, 每次的切削深度为 0.05mm 。

车削螺纹的切削速度不能过高, 过高时不但使螺纹的表面质量下降, 而且可降低刀具寿命。用 YG8 硬质合金螺纹车刀切削酚醛玻璃纤维层压塑料螺纹时, 切削速度推荐按表 6-1 选取。

车削各种基材的热固性层压塑料螺纹时, 要使用 YG 类硬质合金螺纹车刀; 车削热塑性塑料螺纹时用高速钢螺纹车刀, 采用的切削用

量为：切削速度 $v = 10 \sim 20\text{m/min}$ ，每次走刀切削深度应不大于 $0.18 \sim 0.25\text{mm}$ 。

表 6-1 用 YG8 硬质合金螺纹车刀切削酚醛纤维玻璃
层压塑料螺纹的切削速度

切削深度 a_p mm	切削速度 $v/(m/min)$		切削深度 a_p mm	切削速度 $v/(m/min)$	
	公制螺纹	其他螺纹		公制螺纹	其他螺纹
0.1	49	72	0.4	34	61
0.2	46	69	0.5	29	58
0.3	40	64	0.75	32	48

螺纹车刀后刀面的磨钝标准根据加工要求而定。粗加工时， $VB_{\perp} = 0.3\text{mm}$ ，精加工时 $VB_{\perp} = 0.15\text{mm}$ 。

车削螺纹时加冷却润滑液可使刀具的寿命提高 $10\% \sim 15\%$ ，降低切削力和提高已加工表面质量。加工酚醛玻璃纤维层压塑料螺纹时，可用水做冷却润滑液。

二、棱体螺纹车刀和圆体螺纹车刀

棱体螺纹车刀和圆体螺纹车刀见图 6-6 所示。

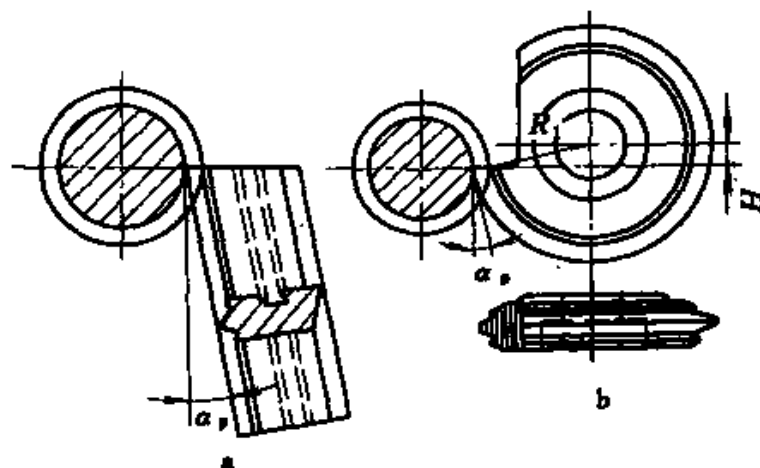


图 6-6 棱体形螺纹车刀 a 和圆体形螺纹车刀 b

平体形螺纹车刀结构简单，制造容易，应用极为广泛。通常用于

单件小批生产。在大批大量生产中,最好采用棱体形或圆体形螺纹车刀。棱体形和圆体形螺纹车刀刃磨方便,只需刃磨刀具的前刀面即可得到所需要的廓形;并且重磨次数多,刀具总寿命长。其廓形计算、几何参数的选择和切削用量的确定,均按平体形螺纹车刀进行计算。

第二节 用丝锥加工螺纹

丝锥是加工内螺纹的标准刀具之一。丝锥结构简单,使用方便,故应用极为广泛。对于小尺寸的内螺纹,用丝锥攻丝几乎是唯一有效的加工方法。加工塑料用的丝锥和加工金属用的丝锥基本相同,但因塑料和金属的性质不同,所以加工塑料用的丝锥的几何参数也不同于加工金属用的几何参数。

丝锥的种类很多,按用途和结构的不同,主要有手用丝锥、机用丝锥、螺母丝锥、拉削丝锥、梯形螺纹丝锥、管螺纹丝锥和锥螺纹丝锥等。

一、丝锥的组成部分及结构要素

丝锥的本质是一螺栓。是能直接获得螺纹尺寸的一种螺纹刀具。为了形成切削刃和容屑槽,因此在端面磨出了切削部分,并沿纵向开有沟槽。形成前刀面和容屑空间。除此之外,为了在丝锥的每个牙齿上均匀分布切削厚度,应将丝锥的前端做成锥形,即是切削部分。为了有良好的切削性能,在切削部分制造成所要求的后角,一般后刀面是铲制成螺旋面的。

各种丝锥都是由工作部分和柄部组成,如图 6-7 所示。工作部分又分为切削部分 l_1 和校准部分 l_2 ,它主要由刀齿、容屑槽等组成。柄部 l_2 包括颈部以及夹持部分,柄部一般有方尾,用以装夹丝锥并传递扭矩。

1. 切削部分

切削部分担负丝锥的整个切削工作,呈圆锥形,是丝锥的主要部分。它磨有锥角 $2\kappa_r$,以便使切削负荷均匀地分配在几个刀齿上。由于丝锥的切削负荷较其他刀具(如铰刀等)大,而它的端剖面强度却

又较弱，因此必须正确选择切削锥角或切削部分长度等参数，以解决丝锥的负荷、强度与容屑之间的矛盾。

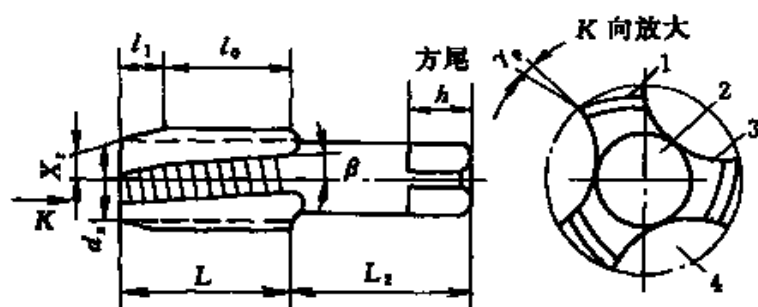


图 6-7 丝锥的结构

1—后刃面；2—芯部；3—前刃面；4—容屑槽

图 6-8 为丝锥切削部分切入工件时的情况，由图可知，切削部分的长度 l_1 与锥角的关系如下：

$$\operatorname{tg} k_r = H/l_1$$

式中 H ——螺纹齿高。

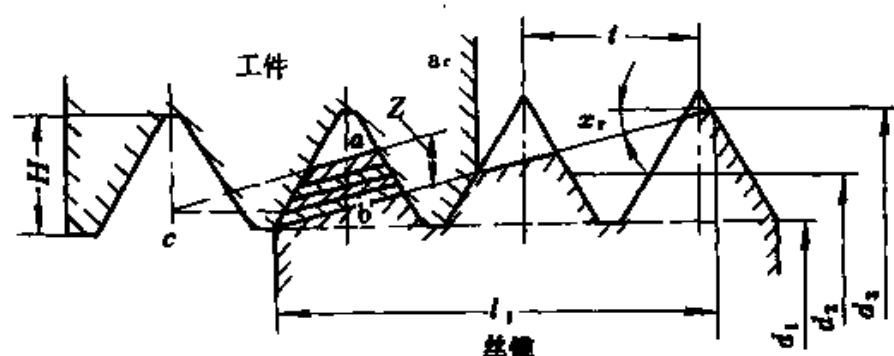


图 6-8 丝锥切削部分工作情况

当丝锥转一转时，每个刀齿都前进了一个螺距，丝锥在径向所切下的切削厚度 $a_c Z$ (Z 为丝锥的槽数) 可按下式计算：

$$a_c Z = t \operatorname{tg} k_r$$

或

$$a_c = t \operatorname{tg} k_r / Z$$

式中 a_c ——每齿的切削厚度, mm;

t ——丝锥的螺距, mm;

Z ——丝锥的槽数, 个;

k_r ——切削锥角, 度。

由切削厚度公式可以看出, 切削厚度不仅与螺距、牙高和槽数有关, 而且和切削部分的长度有关。如果切削部分的长度 l_1 越短, 锥角越大, 则切削厚度越厚, 单位切削力下降, 扭矩较小; 但 l_1 短也有一定缺点, 即表面粗糙, 导向性差。通常, 在攻制各种塑料的内螺纹时, 高速钢丝锥取 $k_r = 8^\circ \sim 12^\circ$; 硬质合金丝锥取 $k_r = 20^\circ \sim 25^\circ$ 。但是 k_r 角过大, 导向性变差, 已加工表面粗糙度 R_a 值增大。用丝锥攻制各种塑料时, 每齿的切削厚度 $a_c = 0.02 \sim 0.15\text{mm}$, 当 $a_c < 0.02\text{mm}$ 时切削工作比较困难, 而 $a_c > 0.15\text{mm}$ 时则会导致所切削螺纹的表面粗糙度 R_a 值增大。

2. 校准部分

丝锥的校准部分具有完整的齿形, 用以校准和修光螺纹的牙形, 并起导向作用, 同时还是切削锥重磨后的储备部分。为了减少摩擦, 它的大径和中径向柄部做成倒锥。

3. 容屑槽数与槽形

容屑槽数 Z 与丝锥的类型、直径、被加工螺纹的精度及塑料的性质有关。槽数越少, 容屑空间越大, 切屑越不易堵塞, 切削厚度 a_c 也越大。在车床上加工小尺寸的塑料内螺纹时, 最好取容屑槽数 $Z=2$, 同时采用石蜡和煤油混合液或普通的乳化液做冷却润滑液 (如果工件材料耐水性能好的话)。除此之外, 用切削金属的丝锥攻制塑料工件时, 则应每间隔一个齿切掉一个齿。这种丝锥可使扭矩降低一半, 同时也降低了工件和刀具的温度, 使塑料螺纹表面质量和刀具寿命都得到提高。用于切削各种塑料内螺纹的丝锥槽数一般为 $2 \sim 4$ 个。

为了制造方便, 一般丝锥均制成直槽。但为了使易膨胀的塑料切屑排屑方便, 避免堵塞现象, 提高加工质量, 目前趋向于做成螺旋槽丝锥。尤其是对盲孔或凹槽和缺口的螺孔, 效果更为显著。切削通孔右螺旋螺纹时, 为了使切屑向下流出, 以免损伤已加工表面, 应将丝

锥做成左旋槽，如图 6-9a 所示。加工盲孔右螺旋孔时，为了使切屑向上排除，避免堵塞孔底，丝锥做成右旋槽，如图 6-9b 所示。若用直槽丝锥切削通孔螺纹时，为了改善切削条件，使切屑向前排出，以免阻塞在容屑槽中，可将切削部分前端修磨成带刃倾角 λ_s 的丝锥，如图 6-9c 所示。

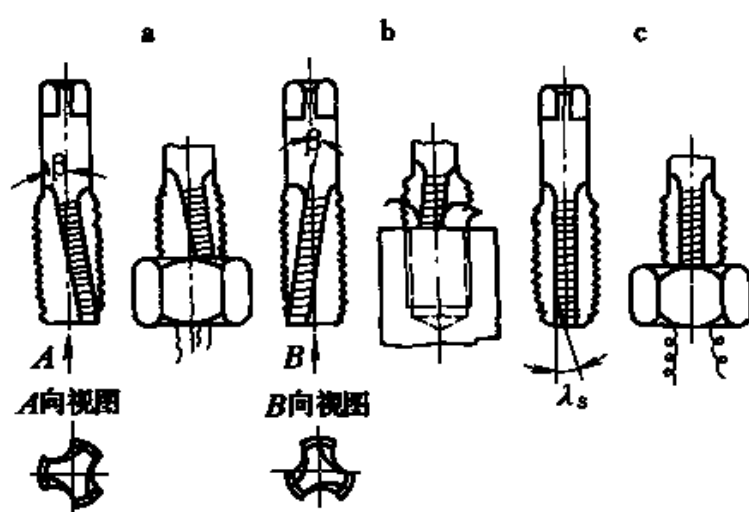


图 6-9 丝锥的容屑槽方向

4. 前角 γ_p 和后角 α_p

丝锥的前角和后角都近似地在端剖面内标注和测量，如图 6-10 所示。丝锥的前角和后角应根据被加工塑料的性质、被加工螺纹的精度等级和刀具材料种类来选择。

高速钢丝锥前角 γ_p 可按表 6-2 推荐的数值来选取。

丝锥的后角 α_p 根据被加工塑料弹性回复量和刀具材料种类来选择。高速钢丝锥通常取后角 $\alpha_p = 6^\circ \sim 8^\circ$ ；硬质合金丝锥取 $\alpha_p = 8^\circ \sim 10^\circ$ 。加工热塑性塑料取大值，加工热固性塑料取小值。

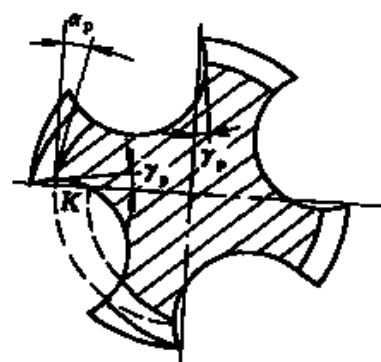


图 6-10 丝角的前角和后角

硬质合金丝锥前角 $\gamma_p = 0^\circ \sim 5^\circ$ 。

为了减小摩擦，丝锥每在 25mm 长度上直径缩小 0.05mm。

生产实践证明容屑槽经过研磨后，或经过氮化和镀铬都显示了很好的效果。由于塑料加工后具有较大的回弹量，因此丝锥尺寸应适当增大，对于热固性塑料，中径应大于 0.04 ~ 0.05mm，对于以纤维状基材的各种塑料，中径应大于 0.05 ~ 0.1mm。这时螺纹的预制孔应相等于螺母内径的上限尺寸。为了丝锥顺利出入，预制孔事先应倒出等于 1.5 倍螺纹深度的棱边。

表 6-2 高速钢丝锥前角 γ_p 的选择/ (度)

塑 料 种 类	螺 纹 精 度 等 级		
	6 级	6 级 (细牙)	7 级
酚醛塑料	-15 ~ -10	10 ~ 15	—
氟塑料	—	—	-5 ~ 15
聚甲基丙烯酸甲酯	—	—	0
酚醛棉织物层压塑料	-15 ~ 0	0 ~ 5	-5 ~ 15
酚醛玻璃纤维层压塑料	-10 ~ 0	-10 ~ 0	-5 ~ 0
酚醛胶纸层压塑料	-15 ~ 10	0 ~ 5	5 ~ 10

二、切削速度和切削液的选择

攻丝时的切削速度是根据被加工螺纹精度等级、塑料的性质、刀具寿命和刀具材料种类而进行选择的。在加工 6 ~ 7 级精度的塑料螺纹时，用高速钢丝锥时的切削速度以 3 ~ 10m/min 为宜，用硬质合金丝锥时的切削速度以 20 ~ 30m/min 为宜。生产实践证明，如果超出推荐的切削速度，则会降低加工精度并且表面粗糙度 R_a 值增大。同时也降低了刀具的寿命。

攻丝时使用冷却润滑液主要的目的是通过冷却降低切削区域温度，通过润滑作用改善切削条件，减少切屑和前刀面及已加工表面和后刀面之间的摩擦，从而提高刀具寿命和降低螺纹的表面粗糙度 R_a 值。各种冷却润滑液根据被加工塑料种类、切削速度和螺纹精度等级选择，推荐按表 6-3 来选取。

表 6-3 攻丝时切削速度和冷却润滑液的选择

塑料种类	切削速度 $v/(m/min)$	冷却润滑液	螺纹精度等级
氟塑料	18~67	蓖麻油、矿物油	6 级
酚醛棉织物	2~8	酒精、石蜡、猪油	6 级
层压塑料	8~67	蓖麻油	7 级
酚醛玻璃	2~16	水	6~7 级
纤维层压塑料	2~12	蓖麻油	6 级
	12~67	矿物油	6~7 级

三、丝锥的磨损

丝锥的切削齿一方面从工件上切下切屑，同时它也被塑料所磨损。切削齿的前刀面和后刀面都发生磨损，由于塑料的回弹量较大，有的塑料磨料磨损比较严重，故后刀面的磨损量大于前刀面的磨损量。由于后刀面的磨损量大小直接影响螺纹的表面粗糙度，且后刀面磨损量也便于测量。因此，通常都以后刀面的磨损量数值做为磨钝标准。

和加工金属一样，加工塑料时也是切削速度对丝锥磨损影响最大。实验证明，切削速度由 $2.5m/min$ 提高到 $15m/min$ 时，后刀面的磨损量增加一倍。磨损主要发生在切削部分的最后一个齿，即是切削部分和校准部分相接的哪个齿。为了保证加工质量，后刀面的工艺磨钝标准 VB_{\perp} 规定为 $0.15 \sim 0.20mm$ 。

四、先进丝锥

1. 先进丝锥

图 6-11 所示，是在酚醛玻璃纤维层压塑料上攻制 M3 内螺纹的机用丝锥。由于这种塑料的性质和金属的性质相差较大，其磨料磨损较严重，所以采用下述的结构：

- (1) 图 6-11a 图是机用丝锥的结构图。
- (2) 图 6-11b 是有两个容屑沟槽的丝锥。

其他几何参数和三个容屑沟槽丝锥相同，只是刃瓣宽度 $b = (3 \sim 4)t$ ，(t 为螺纹的导程)。

(3) 图 6-11c 是有三个容屑沟槽的丝锥。除图中已标注的尺寸外, $c=0.5d_0$, 式中的 d_0 为丝锥的外径; 刃瓣宽度 $b=(1.5\sim 2)t$, 切削部分的后角 $\alpha_p=6^\circ\sim 8^\circ$; 切削部分长度 $l_1=(2\sim 4)t$, 工作部分长度 $l_2=(12\sim 15)t$ 。

2. 硬质合金丝锥

高速钢丝锥主要用于加工热塑性塑料, 加工热固性塑料内螺纹时最好用硬质合金丝锥。图 6-12 为硬质合金丝锥的结构图。图 6-13 和图 6-14 分别为攻制中等尺寸螺纹和攻制大尺寸螺纹的硬质合金丝锥。

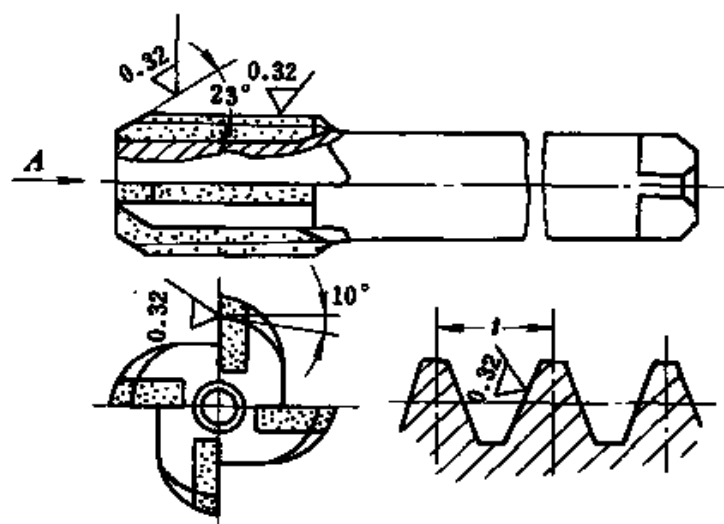


图 6-12 硬质合金丝锥

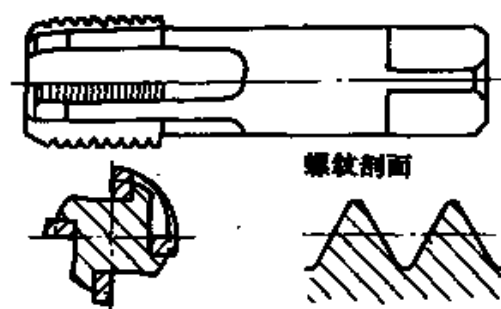


图 6-13 攻制中等尺寸的
硬质合金丝锥

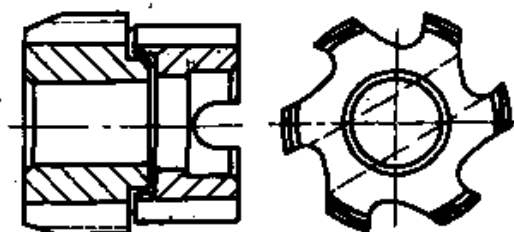


图 6-14 攻制大尺寸螺纹的
硬质合金丝锥

硬质合金丝锥比高速钢丝锥导热系数大，摩擦系数小，而且磨损也较小，产生的扭矩较小，能得到较好的螺纹廓形。

3. 装配式丝锥

装配式丝锥的结构如图 6-15 所示。这种结构的丝锥主要用于加工以玻璃纤维为基材的热固性塑料内螺纹，并能获得高精度的螺纹。

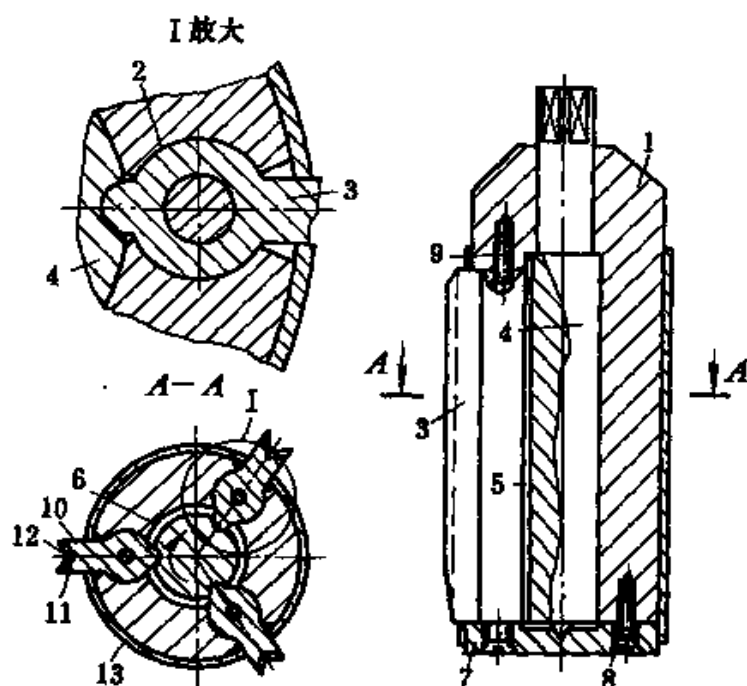


图 6-15 攻制塑料内螺纹的装配式丝锥

装配式丝锥的刀体上开出槽 2，并将特制的螺纹刀片 3 安装在槽里，并要求在槽里能够转动。螺纹刀片 3 和柄部 4 接触，柄部是用间隙 5 装在刀体 1 中的轴向孔 6 里。

柄部用螺钉 8 压紧盖 7 固定。螺纹刀片 3 通过螺钉心轴 9 安装在刀体 1 与压紧盖 7 中间。每个螺纹刀片都制造成两条切削刃 10、11 并开有纵向槽 12，因此螺纹刀片的工作表面就分成了两部分。丝锥上有用来罩住刀体 1 的外罩 13，并可绕轴转动。

假定柄部 4 是顺时针旋转着，当螺纹刀片 3 与被加工工件接触的瞬间，螺纹刀片与柄部 4 相互作用并沿着逆时针方向向刀体 1 转动。

在继续旋转过程中由切削刃 10 切出螺纹，而切削刃 11 与被加工工件之间不发生作用，纵向槽 12 可改善排屑状况。当螺纹刀片 3 转动时，外罩 13 也随之转动，这样有利于防止切屑掉进刀体 1 的空腔。当丝锥反向旋转时，上述过程循环重复进行，这时是由切削刃 11 切削螺纹，而车削刃 10 不参加切削工作。在刀体上装外罩可防止切屑进入刀体，从而延长丝锥的寿命。

第三节 加工塑料螺纹的其他方法

一、板牙

板牙是加工或校正外螺纹的标准刀具之一，它的基本结构是一个螺母，在螺纹周围钻几个排屑孔，形成了切削刃。螺纹的廓形是内表面，板牙宜采用热处理变形小的合金工具钢制造。由于螺纹的内表面是后刀面，因此很难进行磨削，并且板牙在热处理后的变形很难修正，所以加工出的螺纹精度较低。

由于板牙结构简单，使用方便，是目前加工塑料外螺纹工件应用广泛的一种刀具。

圆板牙的结构如图 6-16 所示，其各部分的功能如下。

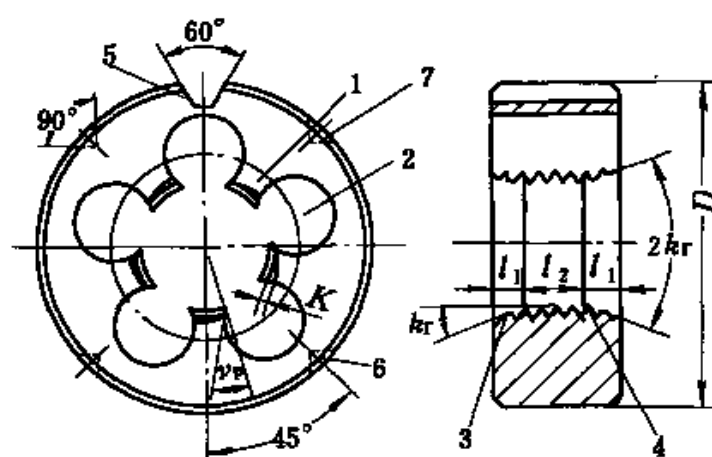


图 6-16 圆板牙的结构

(1) 刀瓣 1 它的外形像梳刀，是板牙的工作部分；

(2) 排屑孔 2 用于排屑，容屑和形成前刀面；

(3) 切削锥部 3 负责切削工作。

切削内螺纹并承担全部的切削负荷，主偏角 $2k_r$ 减少时，切削锥部长度增加，切屑变薄。但 $2k_r$ 角不宜过大， $2k_r$ 角过大将造成板牙在切削过程中不稳定，使板牙容易从工件上滑离，加工塑料时一般取 $2k_r = 50^\circ \sim 60^\circ$ ，当螺纹需要直铰至工件肩部时，板牙的 $2k_r$ 角可增大到 90° 。

为了增加板牙使用次数，可把板牙的二端做成带有切削锥部，其 $2k_r$ 角可以相等，亦可不等，一般取 $l_1 = (1.5 \sim 2.5)t$ ，其中 t 为螺距。

(4) 导向部分 4 导向部分是完整的内螺纹，其长度取决于被加工螺纹的精度。 l_2 越长，热处理后螺纹螺距误差越大，加工的螺纹精度越低。当螺纹的精度要求高时，可取 $l_2 = (3 \sim 3.5)t$ ，要求精度低时，可取 $l_2 = (4 \sim 4.5)t$ 。由于加工塑料时的弹性回复较大，故板牙的中径值应制得稍小 $0.04 \sim 0.07\text{mm}$ 。

(5) 调节槽 5 当板牙磨损后，可用砂轮将此槽切开，如图 6-16b 所示，以调节板牙直径。

(6) 紧固孔 6 位于板牙圆周上下面的两个锥孔，其中心线通过板牙中心，板牙工作时就是用此孔将板牙固紧在板牙套中。

(7) 调节孔 7 板牙圆周上上面的两个锥孔，其中心线与板牙的径向线偏离一个距离 C ，当板牙的校准部分磨损超差后，可切开 60° 调节槽 5，拧紧外圆周上的调节螺钉，则可迫使板牙孔径收缩。调节尺寸时，可用标准样规或通过试切决定调节量。

二、螺纹铣刀

螺纹铣刀可加工各种圆柱形内、外螺纹；也可加工锥形内、外螺纹。因一般都是在半自动机床上进行加工，故能多机床管理，生产效率较高。但由于铣刀本身的结构及工作条件的限制，加工精度较低，只适用于加工一般精度的螺纹。

螺纹铣刀可分为盘形螺纹铣刀和梳形螺纹铣刀两大类。

盘形铣刀主要用于铣切螺距较大、长度较长的外螺纹。其工作情

况如图 6-17 所示。加工时，铣刀轴线与工件相错一个工件螺纹升角 λ 。铣刀旋转是主运动，同时沿工件轴线移动，工件则作慢速转动，从而形成螺旋运动。

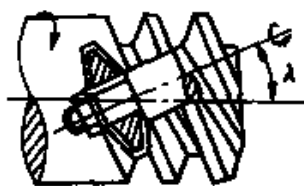


图 6-17 盘形螺纹铣刀工作情况

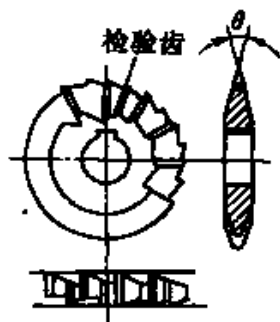


图 6-18 盘形螺纹铣刀

盘形螺纹铣刀的结构如图 6-18。这种铣刀多制成交错尖齿结构，每一刀齿只有顶刃和一个侧刃参加切削工作。尖齿结构可保证在相同条件下有更多的刀齿数目，从而保证铣削的平稳性，提高生产率。

因塑料和金属相比有其独特的性质，所以用以加工塑料的盘形螺纹铣刀的结构和几何参数也有其独特的特点。

三、磨削螺纹

在塑料螺纹加工中，为了保证螺纹的加工精度和一定的表面粗糙度数值，可采用磨制的方法。例如，加工以玻璃纤维为基材的各种热固性层压塑料螺纹，选用切削速度 $v = 5 \sim 6 \text{ m/min}$ ，用硬质合金车刀进行干切，加工长度为 20mm 的 M12 ~ M16 螺纹，尽管选用很小的进给量，而由螺纹顶部剥落而产生的废品竟高达 50%，并且一把车刀只加工一个工件就要重磨一次，这样刀具寿命很低。后来改用砂轮磨制螺纹就消除了上述缺点。

在普通车床磨制螺纹，应使用专用的夹具。图 6-19 是用砂轮磨制螺纹的车床夹具。夹具由：底板 1、尺寸垫板 2、基座 3、螺栓 4、过渡垫板 5、导轨 6、总轴 7 和金刚石 8 所组成。

工作时，用绕轴线转动的底板 1 和尺寸垫板 2 使砂轮倾斜一个 α 角， α 角为螺纹升角。砂轮的转速 $n_{\text{砂}} \approx 2400 \text{ r/min}$ ，工件的转速

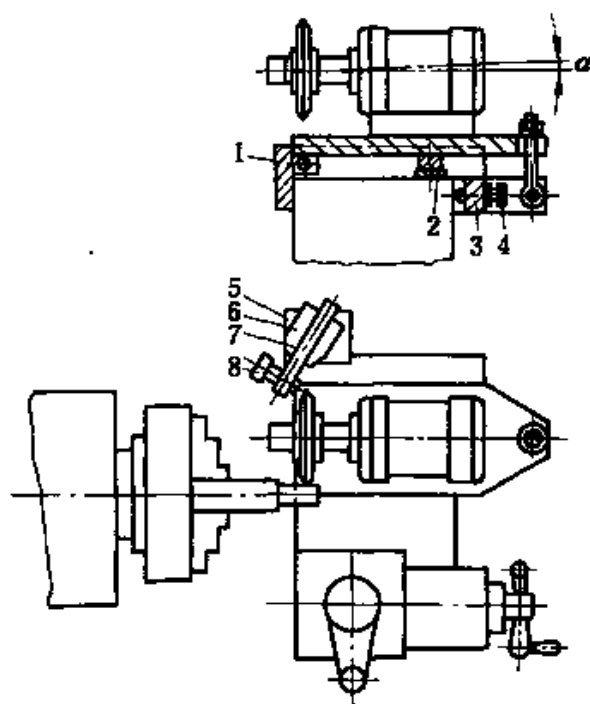


图6-19 在车床上砂制砂轮的夹具

$n_{\text{工}} = 8 \sim 11 \text{ r/min}$ 时，砂轮的顶部每经修磨一次，可磨制 20 ~ 25 个工件，并且不出现废品。砂轮顶部修磨是用倾斜 60° 的金刚石笔 8 沿顶部高度 2 ~ 2.5mm 处进行的。金刚石笔靠总轴 7 里的螺纹传动来移动到所需要的距离，以满足修磨的需要。

第七章 塑料的冲切

塑料的冲切是利用装在冲床上的冲模，对板料进行冲压并使之产生分离，从而获得毛坯或工件的加工方法。冲切可分为冲裁、冲孔、切口、剖切、修边等，但用得最多的方法是冲裁和冲孔。

第一节 冲切加工的特点及工序的基本分类

一、冲切加工的特点

目前塑料的冲切已得到广泛的应用，与塑料切削加工等加工方法比较，具有下述优点。

(1) 可冲切出用其他加工方法难以加工或无法加工的形状复杂的工件，产生的废料较少；制造的工件具有足够高的尺寸精度和较小的表面粗糙度参数值；可冲切小型工件，亦可冲切大型工件。

(2) 冲切生产率高，冲切大型工件可达每分钟几件，高速冲切的小型件则可达每分钟上千件。

(3) 冲切操作简单，便于组织生产。

(4) 在成批大量生产的条件下，冲压件的成本较低。

(5) 冲压工艺过程便于机械化和自动化，生产效率高。

冲切加工的主要缺点如下。

(1) 模具制造周期长，费用高。因此在小批量生产中受到一定的限制。

(2) 冲压适于批量生产，且大部分工序是手工操作，这样如果不重视安全生产和缺乏必要的防护装置，就易发生事故。

二、冲切工序的基本分类

(1) 落料工序（图 7-1a），用冲模沿封闭曲线冲切，冲下部分是工件，剩下部分是废料。

(2) 切断工序（图 7-1b），用剪刀或冲模沿不封闭曲线切断，多

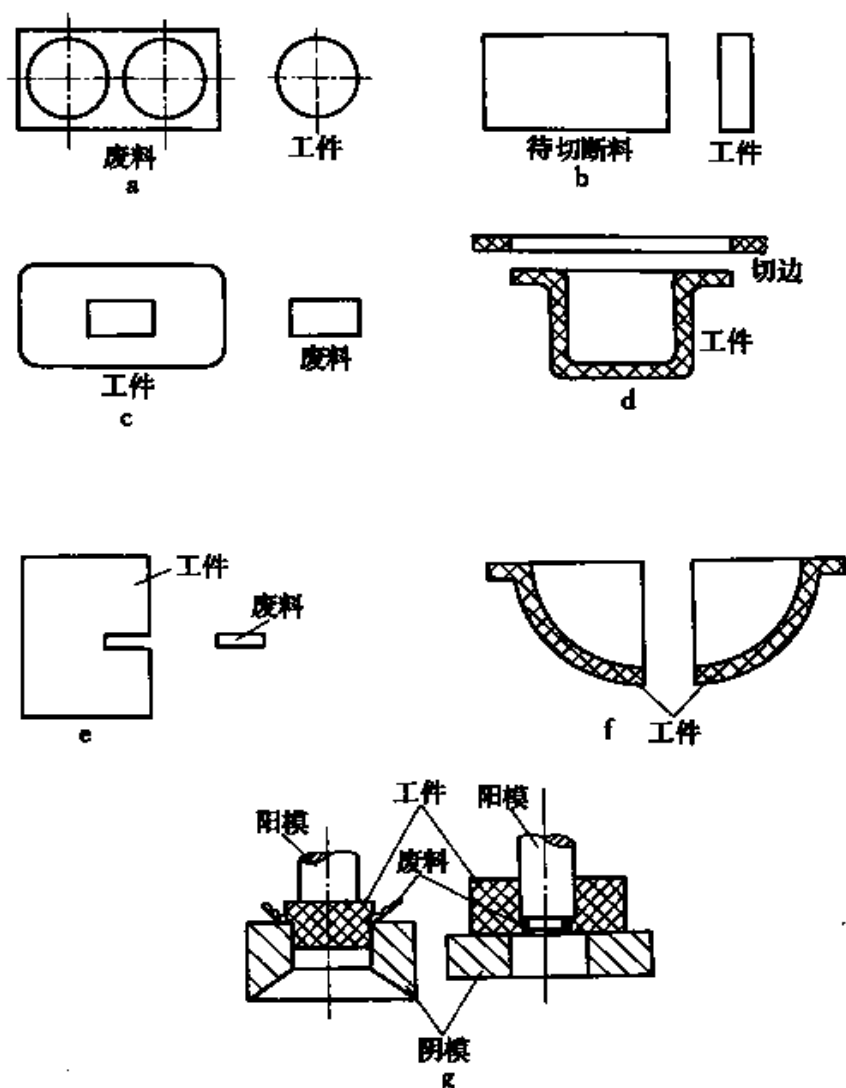


图 7-1 塑料冲切的基本工序

用于加工形状简单的板材工件。

(3) 冲孔工序 (图 7-1c), 用工件所需要的形状和尺寸的冲模进行冲切, 冲下部分是废料, 剩下部分为工件。

(4) 切边工序 (图 7-1d), 是将成形后的塑料工件的边缘修切整齐或者切成一定形状。

(5) 切口工序 (图 7-1e), 是用和工件上切口尺寸相同的冲模冲切, 冲下部分是废料, 剩下部分是工件。

(6) 剖切工序 (图 7-1f), 是将半成品的塑料坯件切成两个或数个工件。

(7) 修整工序 (图 7-1g), 是在塑料工件落料和冲孔之后, 将工件边缘部分进行修正, 以提高塑料工件的精度和表面质量。

第二节 冲切原理

一、变形区域

塑料板在冲切过程中, 在阴阳模一对刀刃之间的范围内, 按其受力方向, 可分为六个特点的变形区域 (图 7-2)。

区域 1, 是最大的变形区, 形状类似椭圆, 椭圆的长轴和连接工具刀刃的直线的中心相交, 轴线的倾角是变化的, 它和变形条件 (如间隙值和压紧力) 有关。沿着这一区域的长轴, 发生拉伸变形, 沿着短轴发生压缩变形。在第三个方向上, 当间隙较小时, 发生压缩变形, 当用正常间隙和大间隙冲孔时, 发生拉伸变形。

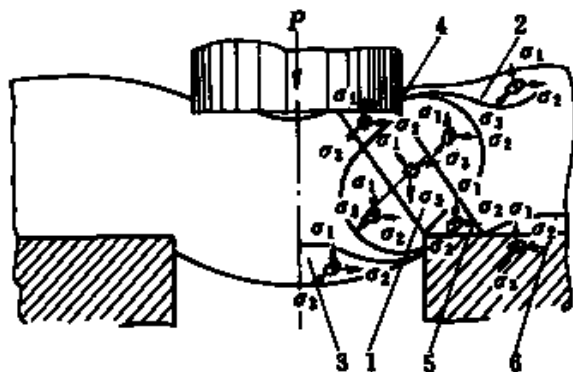


图 7-2 变形区的划分

区域 2, 环绕着阳模, 位于长轴的延长线上。在靠近阳模刀刃的地方, 沿着两个轴产生拉伸变形, 沿着和阳模运动方向相重合的第三轴, 产生压缩变形。

区域 3, 位于材料出口处, 靠近阴模刀刃。在这一区域中, 在三个轴上均产生拉伸变形, 这是对塑料材料强度产生是不利的变形图解。

区域 4, 位于阳模刀刃下方, 其宽度取决于环状接触带的大小, 在这一区域中, 在三个轴上均产生压缩变形, 这是对塑料材料的强度最有利的变形图解。

区域 5, 位于阴模上方, 靠近环状接触带的地方, 在二个轴上产

生压缩变形，而沿着平行刀刃的第三轴上，则产生拉伸变形。

区域6，位于试样内部，和区域2相邻。

二、分离过程

一般认为，塑料板（热塑性塑料或热固性塑料）在冷状态下的冲切破坏过程，要经过三个阶段，即弹性变形阶段，预破坏区的强烈形成阶段和脆性破坏阶段。

1. 弹性变形阶段

弹性变形阶段如图 7-3a 所示，当阳模压向板材时，首先板材弯曲，使板材产生弹性变形。阳模继续往下压，弹性变形程度增大，当板材内的应力达到强度极限时，此时即完成了弹性变形这一阶段。在此状态下，阳模下的材料略有弯曲，阴模上的材料则向上翘。阳模和阴模的间隙越大，弯曲和上翘越严重。

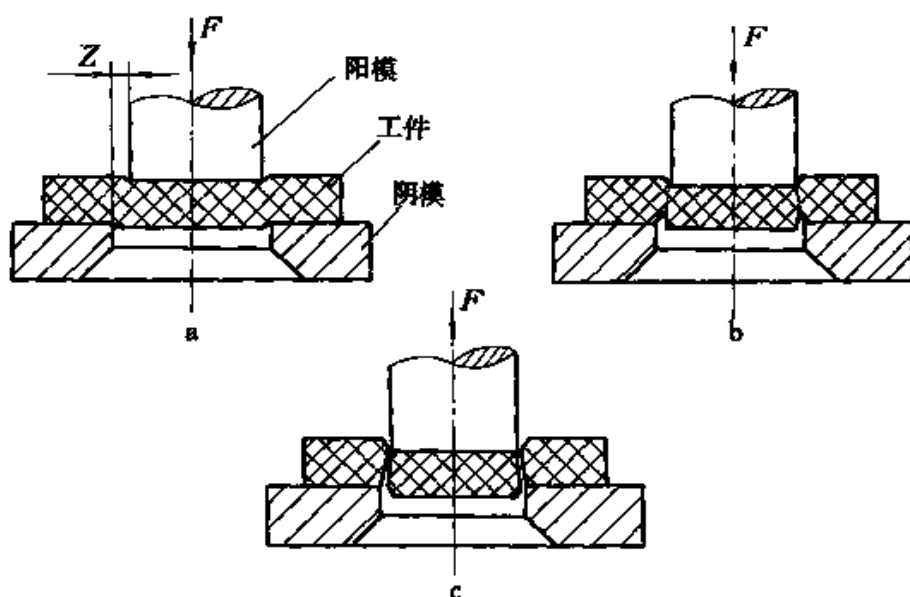


图 7-3 冲切时的变形过程

2. 预破坏区的形成阶段

预破坏区的形成阶段如图 7-3b 所示，随着冲切力的继续增大，阴阳模切削刃附近的应力也随着增大，特别是那些位于阳模下方及其周围区域（区域2），靠近阴模（区域3）和阴模刀刃上方的材料，弯

曲得更大,当冲切塑性较大的塑料时,则发生塑性变形,直至达到材料的屈服极限时便开始产生裂纹,形成了破坏区;当冲切脆性的塑料时,当力继续增加达到材料的断裂强度时,此时树脂和基材开始分离,形成了破坏区。由于阳模和阴模之间存有间隙,在这个阶段除产生剪切变形外,还产生弯曲和拉伸变形。间隙越大,弯曲和拉伸变形也越大。

3. 脆性破坏阶段

脆性破坏阶段如图 7-3c 所示,当冲切力增加到一定程度时,阳模进入到材料内而达到某一临界深度后,就开始了脆性破坏阶段,这个阶段,伴随着冲切压力的急剧下降。

在冲裁和冲孔时,阴阳模之间的间隙,阳模与卸料器之间的间隙,压紧力的大小,被冲材料的温度等,是影响冲切过程的主要因素。

第三节 冲 切 力

冲切力是选择冲床的规格和进行模具强度设计的一个重要依据。冲切力是指冲床主轴上所承受的轴向力。即包括阳模和阴模剪切塑料板材的力,压紧塑料板材的力,卸下工件的力和推料力及推废料的力。

1. 剪切塑料力的计算

阳模和阴模剪切塑料时,所需的力可按下式计算:

$$F = kC\sigma_s$$

式中 F ——剪切力, N;

C ——被冲切塑料板材的周边长, mm;

s ——被冲切塑料板材厚度, mm;

σ_s ——塑料板材的剪切强度, MPa;

k ——考虑到实际生产中的各种因素而给出的修正系数。

$$K = k_1 k_2 k_3 k_4 k_5$$

式中 k_1 ——和被冲切件尺寸有关的系数;

k_2 ——和被冲切件形状有关的系数;

k_3 ——考虑阳模直径和材料厚度之比影响系数；

k_4 ——考虑阳模形状的系数；

k_5 ——和材料温度有关的系数。

k_1 、 k_2 、 k_3 、 k_4 和 k_5 各个系数，列表 7-1 ~ 表 7-3 中。

表 7-1 k_1 值

塑 料 种 类	冲 孔 的 直 径/mm			
	0.5~3	3~5	5~10	>10
酚醛纸基层压塑料	1.6	1.3	1.1	1.0
酚醛棉织物层压塑料	1.4	1.3	1.2	1.0
酚醛玻璃布层压塑料	1.2	1.1	1.05	1.0
以玻璃纤维为基材的塑料	1.5	1.3	1.2	1.0
有机玻璃	1.3	1.1	1.05	1.0
聚氯乙烯	1.3~1.4	1.2	1.0	1.0

注：(1) 用预热的阳、阴模冲切时，所列系数应乘以 0.9；(2) 在低于 100℃ 冲切时所列系数乘以 1.1~1.5；(3) 冲切加热后的塑料时， $k_1=1$ 。

表 7-2 k_2 、 k_3 、 k_4 值

k_2		k_3		k_4	
非圆孔周长/mm		d_0/h		阶梯阳模	管式阳模
<30	>30	<0.5	≥ 0.5	$d_1/d_0=0.7\sim 0.8$	
1.08~1.1	1	0.85~0.9	1	0.5	0.4~0.7

注：(1) 同表 7-1 注释①和②；(2) d_0 —阳模直径， d_1 —凸台直径， h —塑料板厚。管式阳模刃口愈锋利，应取小值。

表 7-3 k_5 值

塑 料 种 类	材料温度 ℃	冲 孔 的 直 径/mm			
		0.5~3	3~5	5~10	>10
酚醛纸基层压塑料	110~125	1.2~1.1	1.0~0.9	0.85~0.8	0.8~0.7
酚醛棉织物层压塑料	80~100	1.0~0.9	0.9~0.85	0.85~0.8	0.8~0.7
酚醛玻璃布层压塑料	80~100	1.0	0.95	0.9	0.85
以玻璃纤维为基材的塑料	80~100	1.0	0.92	0.85	0.2
有机玻璃	70~80	0.9	0.85~0.8	0.6~0.5	0.4
聚氯乙烯	100	0.6	0.5	0.5~0.4	0.4
硝酸纤维素	70	0.55	0.5	0.45	0.4~0.3

注：同表 7-1 注释的 (1) 和 (2)。

2. 压紧力的计算

压在被冲切件上的压紧力可按下式计算:

$$F_1 = A\sigma_1$$

式中 F_1 ——压紧力, N;

σ_1 ——冲切面上的单位压紧力, MPa;

A ——被冲切工件的面积, mm^2 。

部分塑料的单位压紧力 σ_1 值列于表 7-4 和表 7-5 中。

表 7-4 冲切热塑性塑料时的单位压紧力 σ_1/MPa

塑料种类		冲切材料厚度/mm		
		<1	1~2	2~5
有机玻璃	不预热	7.87~9.81	11.77~17.65	17.65~29.43
	预热	0.98~1.47	1.47~2.45	2.45~3.92
硝酸纤维素		1.47~1.96	1.96~2.45	—
聚氯乙烯		1.96~2.94	2.94~3.92	3.92~5.88
聚乙烯		0.49~0.98	0.98~1.17	1.17~1.47
氟塑料		0.29~0.49	0.49~0.78	0.78~0.98

3. 从阳模上卸下工件力的计算

$$F_2 = k_6 F$$

式中 F_2 ——从阳模上卸下工件所需要的力, N;

F ——剪切塑料的力, N;

k_6 ——比例常数。

k_6 值见表 7-6。

4. 推料力和推废料力的计算

$$F_3 = k_7 F$$

式中 F_3 ——推出工件和废料所需要的力, N;

F ——冲切时剪切塑料的力, N;

k_7 ——比例常数。

k_7 值见表 7-7。

表 7-5 冲切热固性塑料时的单位压紧力 σ_1 单位: MPa

塑料种类	切 断	材料厚度 s/mm										在厚料上冲切 形状复杂的孔
		冲切形状简单工件 尺寸 $< 100 \times 100\text{mm}^2$					冲切形状复杂的工件 尺寸 $< 100 \times 100\text{mm}^2$					
		< 1.5	1.5 ~ 3	< 1	1 ~ 2	2 ~ 3.5	< 1	1 ~ 2	2 ~ 3.5	3 ~ 5	5 ~ 10	
酚醛纸基层压塑料	1.96 ~	3.92 ~	19.62 ~	14.71 ~	11.77 ~	21.58 ~	17.65 ~	14.71 ~	19.62 ~	29.43 ~		
	5.88	9.81	24.52	19.62	17.65	29.43	24.54	19.62	29.43	39.24		
酚醛棉织物层压塑料	0.98 ~	1.96 ~	11.77 ~	11.77 ~	9.81 ~	16.67 ~	14.71 ~	12.75 ~	19.62 ~	21.58 ~		
	1.96	2.94	21.58	14.71	13.73	21.58	20.60	16.67	29.43	29.43		
酚醛玻璃布层压塑料	1.96 ~	2.94 ~	11.77 ~	11.77 ~	9.81 ~	14.71 ~	13.73 ~	9.81 ~	19.62 ~	21.58 ~		
	2.94	3.92	14.71	12.75	12.75	15.67	14.71	13.73	21.58	24.52		
以玻璃纤维为 基材的塑料	—	—	9.81 ~	8.82 ~	7.84 ~	11.77 ~	11.77 ~	11.77 ~	17.65 ~	18.63 ~		
			11.77	9.81	9.81	13.73	12.75	12.75	19.62	21.58		

表 7-6 比例常数 k_6 值

冲 切 的 条 件		热固性塑料	热塑性塑料
不预热材料厚度, mm	<2	0.07~0.09	0.05~0.06
	2~3	0.09~0.14	0.06~0.08
在厚塑料板上连续地或用阶梯式阳模冲孔		0.07~0.12	0.04~0.05
冲切印刷板		0.15~0.2	—

注：如冲切材料预热，应在 k_6 值上乘以 0.6~0.7。

表 7-7 比例常数 k_7 值

塑 料 种 类	冲 切 材 料 厚 度/mm		
	<2	2~5	5~10
热固性层压塑料	0.02~0.03	0.03~0.05	0.05~0.15
热塑性塑料	0.005~0.02	0.02~0.03	0.03~0.08

注：所列 k_7 值，适用于阴模颈口高为 5mm 的情况，当颈口高度增加或减少时， k_7 值应增加或减少 10%~20%。

第四节 冲 切 模

冲切使用的机械设备很多，大致可分为剪床和冲床两大类。冲切塑料时，一般使用冲压金属的机械设备。冲切模是安装在冲床上来对塑料进行冲切加工的，可分为简单冲模、连续冲模和复合冲模三种。

一、简单冲模

在冲床上一次行程中只能完成一道冲切工序的模具称为简单冲模（单工序模）。图 7-4 是一种简单冲模的结构形式。

单工序模结构简单、制造容易、成本低。但对于需多工序加工的零件，制件精度低。常用于精度要求不高的冲切加工。

如图 7-4 所示冲模，阴模 2 和卸料板 7 用螺钉固定在下模板 4 上，下模板用螺栓固定在冲床的工作台上。阳模 1 用上压板 6 固定在上模

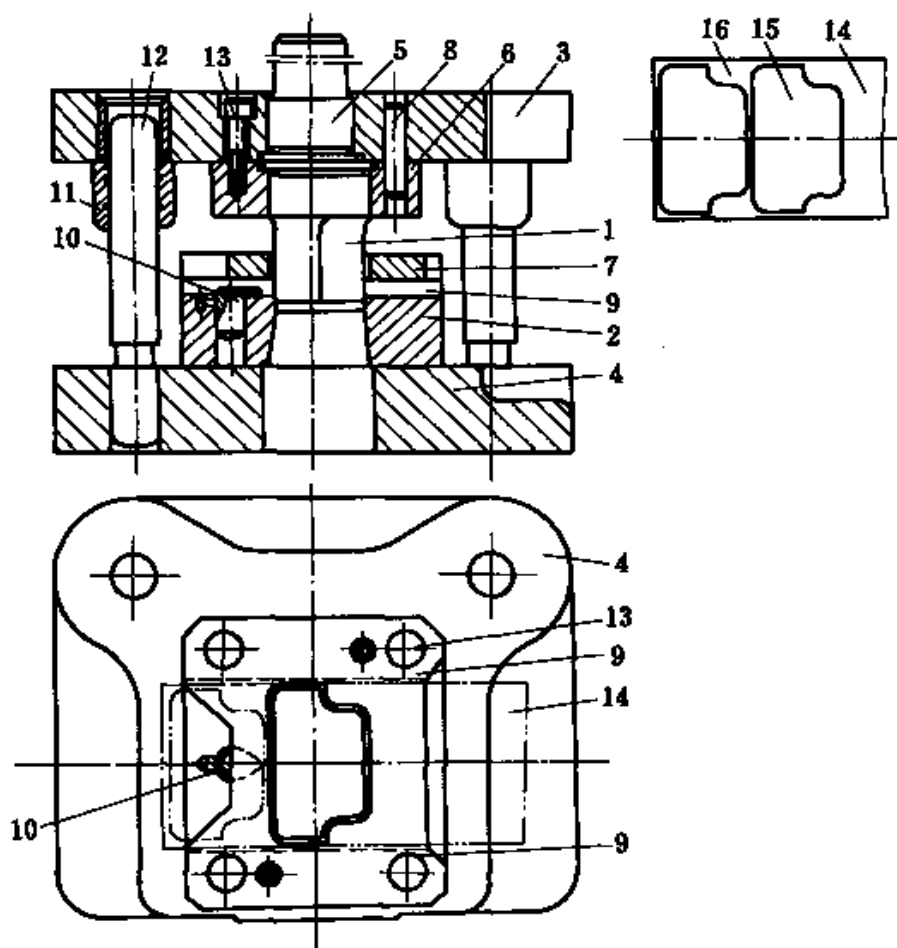


图 7-4 简单冲模

板 3 上，上模板则通过模柄 5 和冲床的滑块连接。因此，阳模可以随滑块做上下运动。为使阳模向下冲切时能对准阴模，并保持阳模与阴模之间的均匀间隙，通常采用导柱 12 和套筒 11 的结构。条状塑料板 14 在阴模上沿两个导尺 9 之间送进，至到碰到挡料销 10 为止。当阳模冲下的工件 15 进入阴模孔后，余下的废料 16 则夹在阳模上，随同阳模一起回程向上时，碰到卸料 7 被推下。定位销 8 和螺钉 13 把上压板 6 固定在上模板 3 上。

二、连续冲模

在冲床一次行程中，在模具的不同位置上同时完成数道冲切工序

的模具。连续冲模所完成的冲切工序均匀分布在塑料板的送进方向上。图 7-5 是一种连续冲模的结构形式。

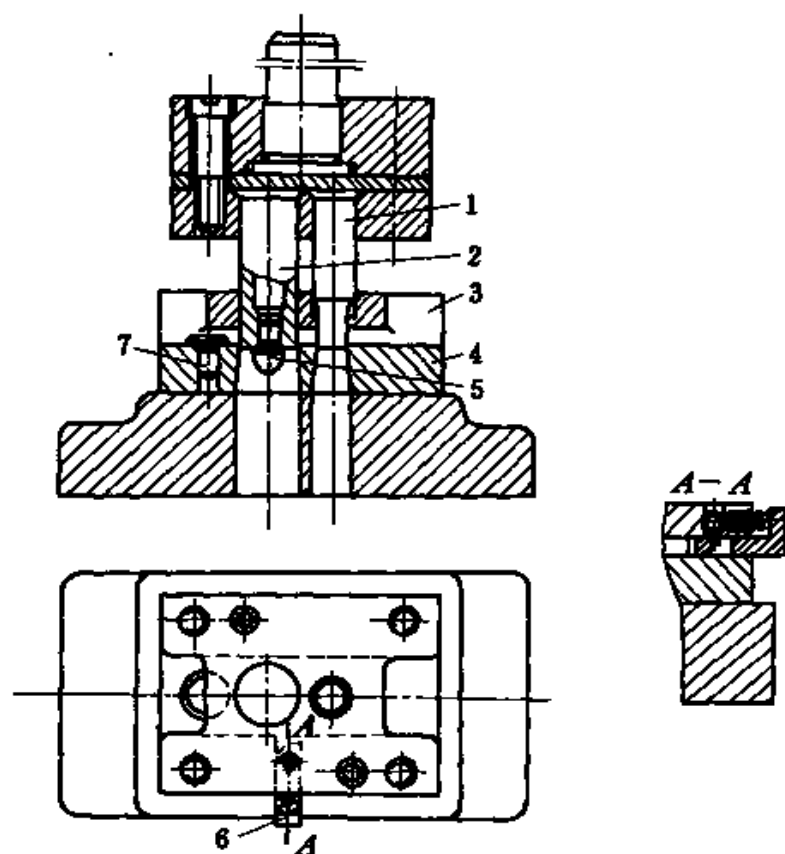


图 7-5 连续冲模

图 7-5 所示的模具是由冲切阳模 1、落料模 2、阴模 4、固定挡料销 7、导正销 5、临时挡料销 6 和导板 3 组成。工作时先用手按入临时挡料销 6，限定塑料板的初始位置，然后进行冲切加工。临界挡料销在弹簧的作用下可以自动复位。然后将塑料板再送进一个步距，用固定挡料销 7 初步定位，在落料时装在落料模 2 端部的导正销 5 可保证塑料板的正确位置。导板 3 兼起卸材的作用。

三、复合冲模

复合冲模是在冲床上一次行程中完成的数道工序在模具的同一部分。复合冲模的突出特征是具有一个兼作冲孔凹模和落料凸模的凸、

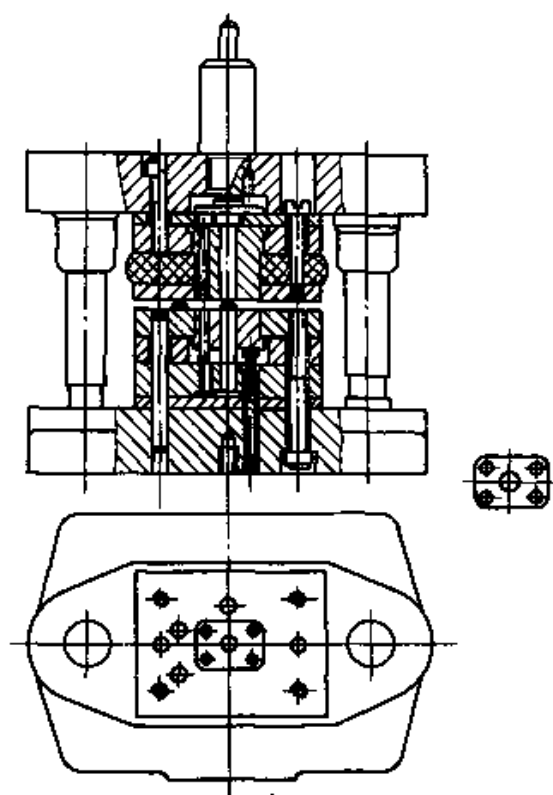


图 7-6 正装复合冲模

凹模。按落料凹模所在位置的不同，复合冲模可分为正装式及倒装式两种型式。落料模装在下模的复合冲模称为正装复合冲模。图 7-6 为一正装冲孔、落料复合冲模，每次冲切完成后，冲孔废料由打料装置 3 从凸凹模孔内推出，卡在凹模内的制件则由顶件装置 7 向上顶出。卸料装置除将废料从凸凹模上卸下外，还起压料作用，以保证工件平整，正装式复合冲模在每次冲切完了，要同时清除冲孔废料及工件。

连续冲模和复合冲模均属多工序冲模，多工序冲模可减少模具及设备数量、生产率高。可冲切形状复杂的制件，

其制件制造精度高。操作方便安全，易于实现机械化、自动化，但模具制造复杂、成本高、轮廓尺寸大。适用于精度要求较高的制件的大批量生产。

四、阳模和阴模

安装在冲模上的阳模和阴模也是各种各样的，不过大体可分为两大类。一类是阳模根据工件形状要求制造，而阴模则用垫板。这类阳模和阴模可用于加工各种形状的聚氯乙烯人造革、硬聚氯乙烯、有机玻璃和各种基材的热固性层压塑料；另一类阳模和阴模都单独制造，如图 7-7 所示。对于制造的阳模、阴模和卸料孔的工作表面粗糙度的要求为：冲切热固性塑料时 R_a 值不得大于 $0.4\mu\text{m}$ ，冲切热塑性塑料时 R_a 值不得大于 $0.1 \sim 0.2\mu\text{m}$ 。阳模进入阴模的深度，不应超过 $0.5 \sim 0.8\text{mm}$ 。阳、阴模之间的间隙直接影响着塑料制件的加工质量、

尺寸精度和冲模的使用寿命。如果阳、阴模之间的间隙合理，则上下出现裂缝相互重合，所得断面光洁，略带斜度，如图 7-8a 所示。如间隙过小，上下两面裂纹不重合，隔着一定的距离，互相平行，最后在其间形成毛刺和层片，如图 7-8b 所示。若间隙过大，对薄料会使材料拉入间隙中，对于厚料则会形成很大的塌角，如图 7-8c 所示。如间隙分布不均匀，则在被冲切的工件周边上质量不相等。

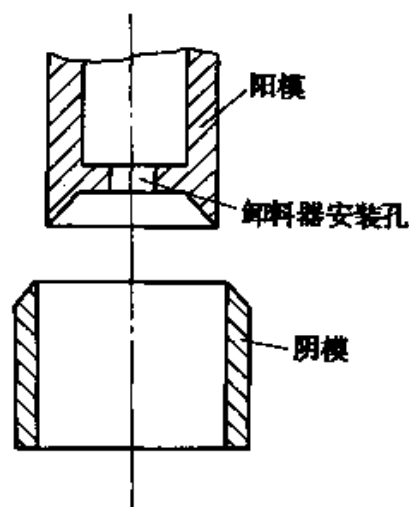


图 7-7 圆形阳模和阴模

阳模和阴模间的间隙还会影响工件的尺寸精度。实验证明，落料时，当间隙小到一定的界限，被落料下来的工件尺寸会大于阴模口的尺寸；冲孔时，当间隙小到一定限度，被冲切孔的尺寸会小于阳模尺寸。

另外，阳模和阴模间隙的大小直接影响着模具的使用寿命。间隙过小，使刃口磨损加剧，寿命下降；间隙过大，使刃口端面上的压力分布不均匀，容易崩刃，也降低了使用寿命。

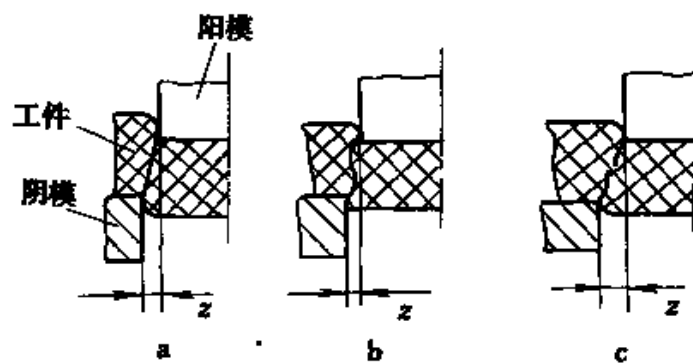


图 7-8 阳、阴模的间隙对加工质量的影响

据有关资料推荐，落料时和冲孔时阳模和阴模之间的双面间隙 $2z$ 可在表 7-8 ~ 表 7-10 中选取。

表 7-8 冲切有机玻璃、聚乙烯、氟塑

料的双面间隙值

单位: mm

材料 厚度	冲孔时的双面间隙			冲切非孔工件时双面间隙					
	最小值	不同孔径时的 最 大 值		最小值	不同工件尺寸的最大值				
		< 10	< 50		< 10	< 50	< 100	< 150	< 200
< 0.6	0.015	0.02	0.025	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035
< 0.65	0.02	0.025	0.030	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04
< 0.8	0.025	0.03	0.035	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045
< 1.0	0.03	0.035	0.040	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05
< 2.0	0.045	0.055	0.065	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
< 3.0	0.065	0.075	0.085	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12
< 4.0	0.085	0.09	0.10	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	0.16
< 5.0	0.12	0.14	0.16	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
< 6.0	0.14	0.16	0.18	—	—	—	—	—	—
< 7.0	0.16	0.18	0.20	—	—	—	—	—	—
< 8.0	0.18	0.20	0.25	—	—	—	—	—	—
< 9.0	0.20	0.25	0.30	—	—	—	—	—	—
< 10.0	0.25	0.30	0.35	—	—	—	—	—	—

表 7-9 冲切以纸为基材的层压塑料的双面间隙值

单位: mm

材料 厚度	冲孔时的双面间隙			冲切非孔工件时双面间隙					
	最小值	不同孔径时的 最 大 值		最小值	不同工件尺寸的最大值				
		< 10	< 50		< 10	< 50	< 100	< 150	< 200
< 0.5	0.01	0.015	0.02	0.008	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03
< 1.0	0.02	0.025	0.03	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04
< 1.5	0.03	0.035	0.04	0.024	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05
< 2.0	0.04	0.045	0.05	0.030	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
< 3.0	0.06	0.07	0.08	0.045	0.055	0.065	0.075	0.085	0.095
< 4.0	0.05	0.09	0.10	—	—	—	—	—	—
< 5.0	0.10	0.12	0.14	—	—	—	—	—	—
< 6.0	0.12	0.14	0.16	—	—	—	—	—	—
< 8.0	0.16	0.18	0.20	—	—	—	—	—	—
< 9.0	0.18	0.20	0.22	—	—	—	—	—	—
< 10.0	0.20	0.22	0.25	—	—	—	—	—	—

表 7-10 冲切以玻璃纤维、玻璃布、石棉布、棉
织物为基材的双面间隙值

单位: mm

材料 厚度	冲孔时的双面间隙			冲切非孔工件时双面间隙					
	最小值	不同孔径时的 最 大 值		最小值	不同工件尺寸时的最大值				
		< 10	< 50		< 10	< 50	< 100	< 150	< 200
< 0.5	0.02	0.025	0.03	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04
< 0.8	0.025	0.030	0.035	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045
< 1.0	0.03	0.035	0.04	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05
< 1.2	0.035	0.04	0.045	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05	0.06
< 1.5	0.045	0.05	0.055	0.04	0.045	0.05	0.055	0.06	0.09
< 2.0	0.055	0.06	0.065	0.05	0.055	0.06	0.065	0.07	0.12
< 2.5	0.065	0.075	0.08	0.06	0.07	0.075	0.08	0.085	0.15
< 3.0	0.080	0.085	0.09	0.07	0.08	0.09	0.10	0.15	0.20
< 4.0	0.10	0.105	0.15	—	—	—	—	—	—
< 5.0	0.15	0.20	0.25	—	—	—	—	—	—
< 6.0	0.20	0.25	0.30	—	—	—	—	—	—
< 8.0	0.25	0.30	0.35	—	—	—	—	—	—
< 10.0	0.30	0.35	0.40	—	—	—	—	—	—

为了保证冲切质量, 阳模, 特别是阴模的刃口应保持锋利。据有关资料推荐, 在冲切 2000 ~ 2500 个工件后, 应将阴模刃口再刃磨去 0.05 ~ 0.08mm。新的或者刃磨后的阴模刃口, 应通过开空车或腐蚀的方法, 使刃口稍钝一些, 但阳模的钝口半径不得超过 0.02 ~ 0.03mm。

在冲切正方孔、正六边形孔或矩形孔等孔时, 可采用图 7-9 所示的无自动清除废料的阶梯式阳模, 图左侧是带有固定预冲凸台, 其他

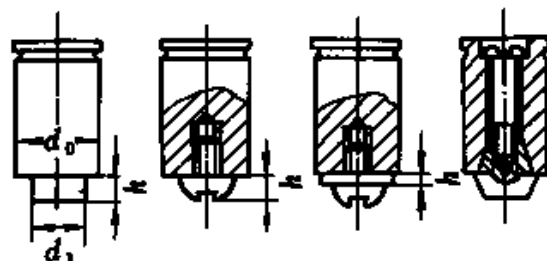


图 7-9 无自动清除废料的阶梯式阳模

三种是带有可换预冲凸台， d_0 是主阳模直径， d_1 是凸台直径， h 是凸台高度。

图 7-10 是带有自动清除废料的阶梯式阳模。

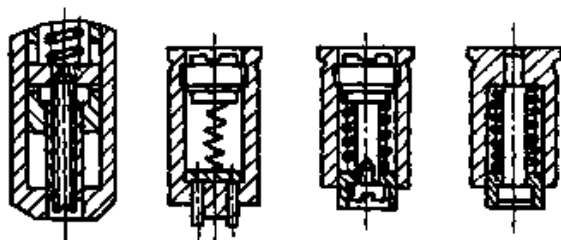


图 7-10 自动清除废料的阶梯式阳模

阶梯式阳模的几何形状，取决于被冲材料的种类和厚度，以及冲孔的形状。预冲凸台的端面形状，通常应当尽可能接近于主阳模（阳模基体）的形状。

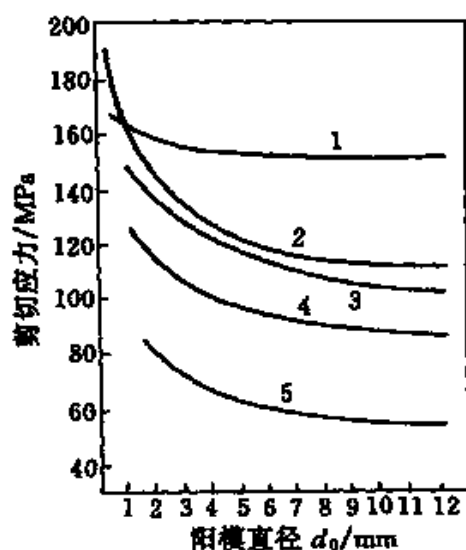


图 7-11 冲孔尺寸与剪切应力的关系

- 1—层压板(玻璃布), 厚度 $s = 2.15\text{mm}$;
- 2—层压板(纸), 厚度 $s = 2\text{mm}$;
- 3—层压板(布), 厚度 $s = 2.25\text{mm}$;
- 4—有机玻璃, 厚度 $s = 2.2\text{mm}$;
- 5—硬聚氯乙烯, 厚度 $s = 3\text{mm}$

阶梯式阳模，可以是单阶，也可以是多阶。应根据被冲材料的种类及厚度等加以选择。

五、冲模参数对剪切应力的影响

1. 冲孔尺寸对剪切应力的影响

图 7-11 是不同塑料的冲孔尺寸和剪切应力的关系曲线，从曲线图上可以看出，就同一种塑料来说，剪切应力随冲孔尺寸的减小而增加。但各种塑料的变化幅度是各不相同的。

2. 冲孔直径与材料厚度的比值

对剪切应力的影响

实践证明，当材料厚度加大时，剪切应力减小，反之，剪切应力增加。因为，在这种情况下，起主要作用的并不完全是材料的厚度，而是冲

孔直径与材料厚度的比值, 即 d_0/s , 如图 7-12 所示的是被冲材料为纸的层压板, 厚度 $s = 3 \sim 8\text{mm}$, 冲孔直径 d_0 与材料厚度 s 比值与剪切应力的关系曲线图。

3. 凸台参数对剪切应力的影响

图 7-13 是当预冲凸台高度 $h = 0.85\text{mm}$ 时, 剪切应力 σ_s 与比值 d_1/d_0 的关系曲线图

(d_1 是预冲凸台直径, d_0 为阳模直径)。由图中可见, 如果仅仅从减小冲孔力(剪切应力)的角度出发,

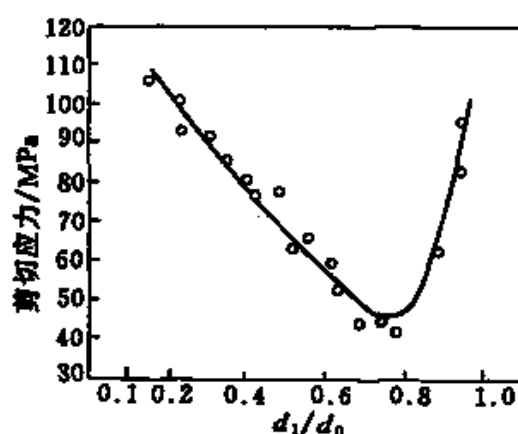


图 7-13 预冲凸台直径 d_1 和阳模直径 d_0 的比值与剪切应力 σ_s 的关系

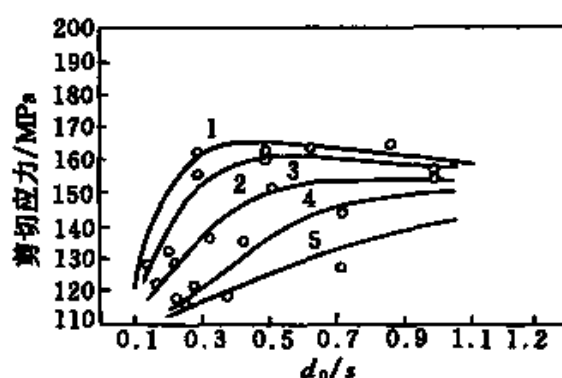


图 7-12 比值 d_0/s 与剪切应力的关系

冲孔直径 d_0 为: 1—0.92mm; 2—1.55mm;
3—1.73mm; 4—2.24mm; 5—2.85mm

当 $d_1/d_0 = 0.7 \sim 0.8$ 时, 最为合适。如果从孔的质量来看, 经验证明, 当 $d_1/d_0 = 0.6 \sim 0.65$, $h = 0.85\text{mm}$ 时, 孔的质量较好。

由上述的讨论可以得知, 剪切应力不仅与预冲凸台直径 d_1 、阳模直径 d_0 及预冲凸台高度 h 有关, 而且还与被冲切材料的厚度 s 等有关, 较为合理的几个参数的比值列入表 7-11 中。

表 7-11 较合理的几个参数比值

塑料厚度 s/mm	d_1/d_0	h/s
< 3	0.5 ~ 0.65	0.8
3 ~ 8	0.56 ~ 0.6	0.4 ~ 0.5

4. 冲切模圆角半径对剪切应力的影响

图 7-14 是冲模刃口圆角半径 r 与剪切应力 σ_s 的关系曲线, 被冲切的材料为纸的层压板, 阳模直径 $d_0 = 6\text{mm}$ 。图 7-14a 表示用于阴模时的曲线, 由 7-14b 表示用于阳模时的曲线。

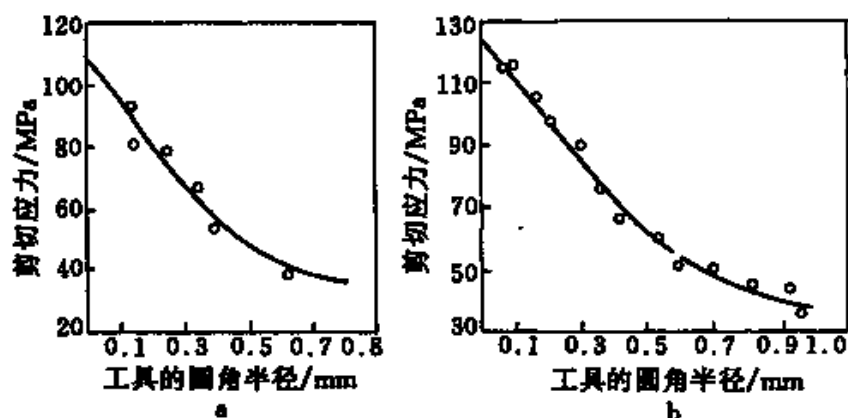


图 7-14 冲模刃口圆角半径与剪切应力的关系

从图 7-14 的曲线图中可以看出, 塑料冲孔和金属冲孔不同, 塑

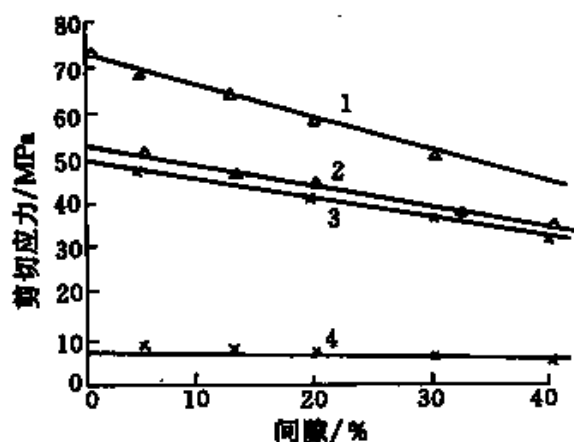


图 7-15 单面间隙值与剪切应力的关系

冲切材料: 1—有机玻璃; 2—聚碳酸酯;

3—硬聚氯乙烯; 4—高密度聚乙烯

0.01m/min。冲切时的材料温度为 20°C 。由图中可见, 当单面间隙加大时, 剪切应力有所减小, 但减小的幅度并不大。如果间隙很大, 将

料冲孔时的剪切应力, 是随着圆角半径的加大而降低。但是, 不能只考虑剪切应力, 还必须考虑制件的质量, 因此不允许刃口太钝 (即圆角半径太大), 而要使阴模刃口具有必要的锐度。图 7-14a 用于阴模, 图 7-14b 用于阳模。

5. 阴阳模的间隙对剪切应力的影响

图 7-15 是单面间隙值与剪切应力的关系。冲切速度为

产生许多不利影响。因此，单面间隙也不能太大。

6. 冲孔形状对剪切应力的影响

一般说来，孔形复杂，易于产生应力集中，致使剪切力下降。表 7-12 列出了部分冲孔形状与剪切应力的关系。

表 7-12 冲孔形状与剪切应力的关系

冲孔形状	阳模周长 mm	孔的面积 A' mm^2	剪切应力 σ_s/MPa		
			层压板（纸）		层压板（布）
			$s = 1.5\text{mm}$	$s = 2\text{mm}$	$s = 0.8\text{mm}$
圆孔	29.85	71.58	138	130	131
六角孔	30.03	62.0	124	121	128
椭圆孔	30.08	59.21	128	126	124
方孔	30.0	56.25	125	121	124
矩形孔	30.03	52.28	119	118	118
三角孔	30.05	43.9	117	114	116
十字孔	30.15	42.38	109	103	112
月牙孔	30.0	30.0	126	119	121

六、冲模尺寸计算

1. 不加热冲切

由于塑料的塑性较大，冲孔用的冲模（阳模）尺寸要大，而落料模（阴模）的尺寸要小。

冲切不加热塑料时，阴模基本尺寸按下式计算。

$$d_m = (d_0 - T) + T_D$$

式中 d_m ——阴模的基本尺寸，mm；

d_0 ——工件的基本尺寸，mm；

T ——工件的公差，mm；

T_D ——阴模的制造公差，mm。

工件的公差 T 一般为 0.08 ~ 0.25mm，根据冲切的面积和厚度而定，一般取每毫米厚度为 0.064mm。

阳模的基本尺寸按下式计算：

$$d_D = (d_0 + T/2 + \Delta) - T_d$$

式中 d_D ——阳模的基本尺寸, mm;
 d_0 ——工件的基本尺寸, mm;
 T ——工件的公差, mm;
 T_d ——阳模的公差, mm;
 Δ ——材料的自然收缩量, mm。

当材料厚度为 $s = 2.5 \sim 3\text{mm}$ 时; Δ 值可按表 7-13 查取。冲切薄板时, Δ 值忽略不计。

表 7-13 被冲切塑料板材的自然收缩量 单位: mm

塑 料 种 类	收缩量 Δ , 相当于材料厚度的百分数		
	冲 切 孔 径 mm		
	1 ~ 3	3 ~ 5	≥ 5
酚醛纸基层压塑料	16 ~ 10	10 ~ 9	9 ~ 6
酚醛棉织物层压塑料	18 ~ 12	12 ~ 10	10 ~ 8
玻璃纤维为基材的层压塑料	18 ~ 14	14 ~ 10	10 ~ 5
玻璃布为基材的层压塑料	20 ~ 15	15 ~ 10	10 ~ 7
有机玻璃	10 ~ 8	8 ~ 6	6 ~ 3
硬聚氯乙烯	12 ~ 10	10 ~ 7	7 ~ 4
氟塑料	25 ~ 20	20 ~ 12	12 ~ 10

阳模和阴模的公差 T_d 和 T_D 可按表 7-14 中查得。

2. 加热冲切

在塑料进行加热冲切时, 温度和自然收缩量是影响制件分布的两个基本因素。

冲切加热后的塑料板材时, 其阳模和阴模的制造尺寸按下式计算:

$$d_D = (d_0 + T/2 + \Delta_1) - T_d$$

$$d_m = (d_0 - T/2 + \Delta_2) - T_D$$

式中 Δ_1 ——冲切加热后孔的平均收缩量, mm。

Δ_1 可按下式计算:

$$\Delta_1 = Cl - \Delta_3$$

表 7-14 阳、阴模的制造公差

单位: mm

塑料板 材厚度	工 件 尺 寸									
	> 10		10 ~ 50		50 ~ 100		100 ~ 150		150 ~ 200	
	T_d	T_D	T_d	T_D	T_d	T_D	T_d	T_D	T_d	T_D
0.5	0.004	0.006	0.005	0.008	0.007	0.01	0.080	0.015	0.010	0.020
0.6	0.006	0.008	0.007	0.011	0.010	0.015	0.015	0.022	0.020	0.030
0.8	0.007	0.010	0.010	0.015	0.014	0.020	0.020	0.030	0.027	0.040
1.0	0.008	0.012	0.012	0.017	0.017	0.025	0.025	0.037	0.033	0.050
1.2	0.009	0.014	0.014	0.022	0.020	0.030	0.030	0.045	0.040	0.060
1.5	0.010	0.016	0.017	0.025	0.024	0.035	0.036	0.057	0.053	0.080
1.8	0.012	0.018	0.019	0.029	0.027	0.040	0.046	0.070	0.070	0.100
2.0	0.014	0.020	0.021	0.032	0.030	0.045	0.054	0.080	0.080	0.120
2.5	0.017	0.025	0.026	0.042	0.034	0.050	0.060	0.090	0.093	0.140
3.0	0.020	0.030	0.040	0.055	0.040	0.060	0.070	0.100	0.100	0.160
4.0	0.023	0.035	0.045	0.067	0.053	0.080	0.080	0.120	0.120	0.180
5.0	0.027	0.040	0.050	0.075	0.060	0.090	0.093	0.140	0.130	0.200
6.0	0.030	0.045	0.055	0.082	0.070	0.100	0.100	0.160	0.150	0.220
8.0	0.034	0.050	0.060	0.090	0.080	0.120	0.120	0.180	0.160	0.240
10.0	0.040	0.060	0.075	0.110	0.100	0.140	0.130	0.200	0.180	0.260

Δ_2 可按下式计算:

$$\Delta_2 = Al - \Delta_3$$

式中 A 、 C ——温度影响的收缩系数;

l ——工件尺寸;

Δ_3 ——塑料弹性引起的尺寸变化, mm。

表 7-15 列出冲切以纸和棉织物为基材的层压塑料时, A 、 C 、 Δ_3 的平均数值。

若收缩量 Δ_1 小于 $T/2$ 时, 则阳模的制造尺寸可按下式计算:

$$d = (d_0 + T) - T_d$$

冲切加热后的塑料时, 阳、阴模之间的间隙可以增大到 20% ~ 30%。

在冲切非层压塑料时, 阳阴模的制造尺寸可以根据层压塑料板公式计算, 但应将 Δ_3 值减小 25% ~ 40%。

表 7-15 A、C、 Δ_3 值

塑料种类	塑料板厚度 mm	A	C	Δ_3
以纸为基材的层压塑料板	1.0	0.0020	0.0025	0.03
	1.5	0.0022	0.0030	0.05
	2.0	0.0025	0.0035	0.07
	2.5	0.0027	0.0040	0.10
	3.0	0.0030	0.0050	0.12
以棉织物为基材的层压塑料板	2.0	0.0020	0.0026	0.08
	2.5	0.0025	0.0030	0.12
	3.0	0.0028	0.0036	0.15

第五节 冲切工艺

一、一般工艺条件

1. 剪切应力与材料温度的关系

图 7-16 是剪切应力与材料温度的关系曲线。选用的冲模为：

12.11 × 2.5mm² 的矩形孔，板厚 $s = 3\text{mm}$ ，冲切速度是 20m/min，间隙为被冲件板厚 s 的 4.3%。由图中可以看出，在其他冲切条件相同的情况下，剪切应力是随塑料材料温度的升高而减小。

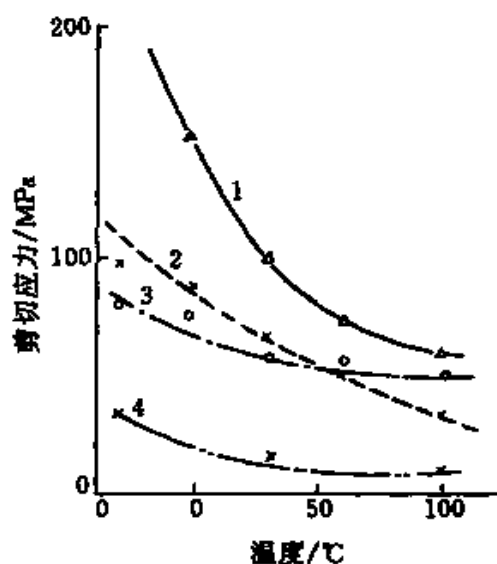


图 7-16 剪切应力与材料温度的关系

被冲材料为：1—有机玻璃；2—聚氯乙稀；3—聚碳酸酯；4—聚乙烯

2. 剪切应力与冲切速度的关系

图 7-17 是剪切应力与冲切速度的关系曲线。材料温度为 30℃，间隙为被冲件板厚的 4.3%，从图中可以看出，冲切速度增加，剪切应力稍有增加。

3. 剪切应力与冲程的关系

剪切应力与冲程的关系如图 7-18 所示。

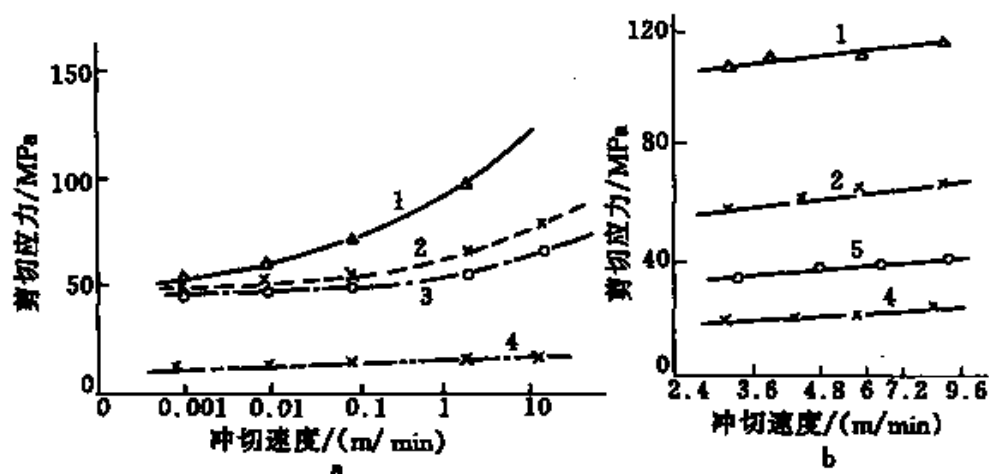


图 7-17 剪切应力与冲切速度的关系

冲切材料为：1—有机玻璃；2—硬聚氯乙烯；3—聚碳酸酯；4—聚乙烯；5—聚苯乙烯

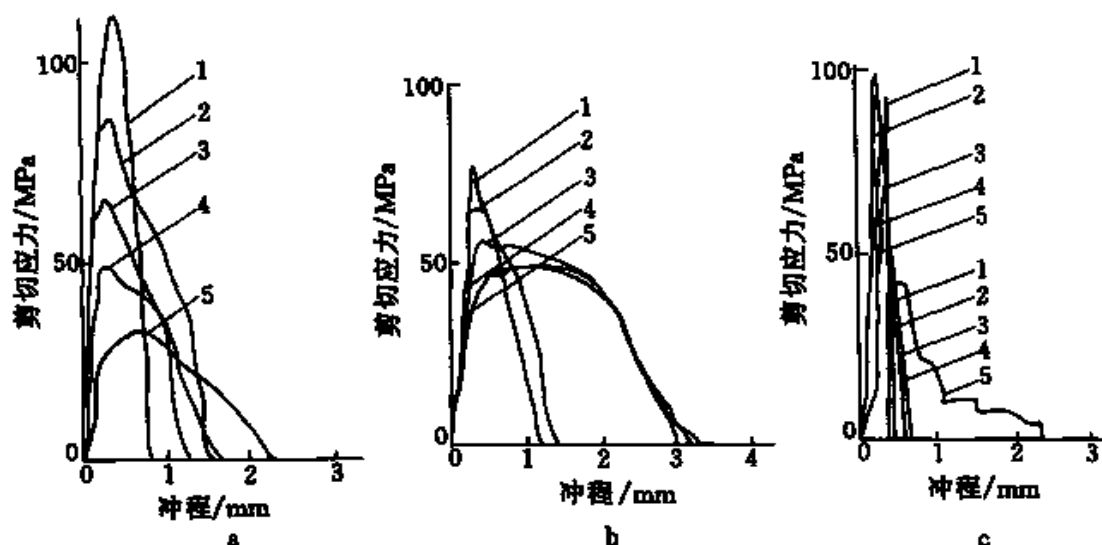


图 7-18 剪切应力与冲程的关系

a 图中 1— -30°C ；2— 0°C ；3— 30°C ；4— 60°C ；5— 100°C

b 图和 c 图中 1— 15m/min ；2— 2m/min ；3— 0.1m/min ；4— 0.01m/min ；5— 0.001m/min

图 7-18a 是在不同的温度下冲切速度为 2m/min ；间隙为 0.043s 时，硬聚氯乙烯的剪切应力与冲程的关系曲线图。从图中可以看出，在冲程为 0.5mm 左右，剪切应力最大。

图 7-18b 和图 7-18c 是在不同的冲切速度下；冲切时的间隙为

0.043s; 材料的温度为 30℃, 硬聚氯乙烯和甲基丙烯酸酯的剪切应力与冲程的关系曲线图, 在图中可以看出, 在冲程为 0.5mm 左右时, 剪切应力最大。

由图 7-16~图 7-18 可见, 不管冲切速度、材料温度怎样变化, 在冲程为 0.5mm 左右, 剪切应力为最大值。

4. 参考工艺条件

各种塑料材料的冲切工艺条件如表 7-16。

塑料在常温下的冲切范围如表 7-17。材料厚度取决于弹簧的力量。若材料预热, 温度提高, 厚度随之增加。

表 7-16 参考工艺条件

塑料材料	材料厚度 s/mm	材料温度/℃	冲切速度 m/min	搭边值/mm ^①		边缘外观
				冲裁	冲孔	
高密度聚乙烯	1	-2~2	3.9~4.8	0.8	0.8	变形
	2	-2~4	4.5~8.4	1.5	1.4	
	4	-3~3	9~9.6	2.3	2.3	
聚苯乙烯	1	10~60	3.3~3.9	0.8	0.7	裂纹 变形
	2	20~80	4.2~5.1	1.0	1.0	
	4	20~80	~5.4	2.0	1.0	
有机玻璃	1	68~71	3.3~4.2	4.5	4.0	裂纹
	3	68~72	3.6~5.4	4.5	4.0	
	4	68~72	3.9~6.6	4.5	4.0	
	1	20~50	2.4~7.2	0.6	0.5	
聚氯乙烯	2	20~50	2.7~4.8	0.8	0.9	环状裂纹 变形
	5	20~50	3.6~5.4	2.2	3.0	
	20	90~109	—	—	—	
酚醛层压板	0.5	130~140 ^② 10~15 ^③	3.6~4.2	0.6	0.9	裂纹
	1	130~140 15 ^③	3.6~4.2	1.5	1.9	
	2	130~140 15~20 ^③	3.6~4.2	—	—	

① 排样式, 相邻制件之间的最小距离, 即废边的最小尺寸。对不重要的制件, 最好采用无废边排样。② 加热的温度 (℃)。③ 加热时间。

表 7-17 常温下塑料的冲切范围

材料厚度 s/mm	圆孔直径/mm	方孔边长/mm
5~8	>2.8	>3

二、薄塑料板的多层冲切

多层冲切，可以制造各种毛坯垫板、垫片以及其他衬垫等不重要的制件。

聚氯乙烯塑料、聚氯乙烯人造革、其他人造革以及厚度在 1mm 以下的其他材料，均可用多层冲切法制造制件。

多层材料冲切时，先是下面破坏，然后是上面。而且，与单层冲切相比，冲切应力一般减少 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 。图 7-19 所示不同厚度的酚醛层压板（布）多层冲切的剪切应力与层数的关系曲线，纵坐标表示剪切应力，图中 A 点，是假定冲切单层材料时的剪切应力值。对于其他塑料材料，也有类似的关系曲线，从图中可以看出，剪切应力随着冲切层数的增加而降低。经验证

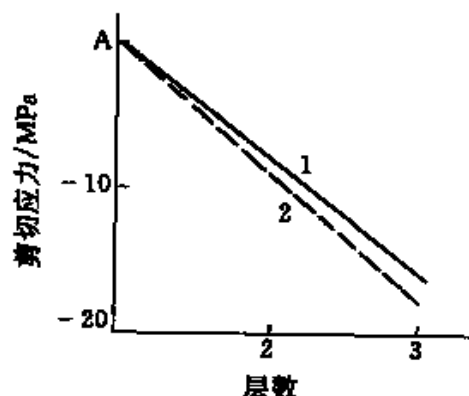


图 7-19 多层冲切的剪切应力
与冲切层数的关系
1—0.55mm; 2—0.8mm

明，在冲切 2~3 层时，剪切应力的降低最为突出。在冲切 4~5 层或更多层时，剪切应力与冲切层数的关系曲线，渐近于横坐标。对于大多数材料来说，冲切 2~3 层时剪切应力仅占冲切单层时的 40%~50% 左右。

表 7-18 列出了一些材料在多层冲切时的剪切应力 σ_s 值。

表 7-18 多层冲切时剪切应力

材 料	厚度 s/mm	剪切应力 σ_s/MPa			
		层 数			
		2	3	4	50
聚氯乙烯人造革，漆布	0.05~0.9	30~25	22~20	20~15	15~12
硝酸纤维素	0.5~1	50	40	42	38
聚乙烯	0.1~1	50~30	40~35	35~30	30~25
硬聚氯乙烯	0.4~1.5	70	55	40	30

多层冲切, 可以使用一般的冲切设备, 而且, 冲模 (阳模和阴模) 的几何尺寸, 也和单层冲切时相同, 但模具必须保持锐利。在冲切前, 应将毛坯或条料叠放在一起, 并加以固定, 以免错位。

三、厚塑料板的冲切

对于厚塑料板的冲切, 可以采取两个措施, 一是材料加热, 二是使用阶梯式阳模。

在冲切大孔时, 可以分三道工序完成。

(1) 先用带单阶梯阳模或多阶梯阳模, 在欲冲孔的角落里, 冲出形状和大小不一的孔。

(2) 在间隙较大的模具上将孔冲成。

(3) 修边。修边工序, 需根据对剪切表面的要求, 或将材料预热, 或在预热的修边模上进行。

四、影响尺寸误差的因素

在冲模等设备因素确定后, 影响制件尺寸误差的因素, 主要是塑料品种, 材料厚度, 材料固定方式, 冲切温度等。

图 7-20 是冲孔直径等于 32mm 时, 聚氯乙烯 (图 7-20a)、聚丙烯 (图 7-20b)、聚碳酸酯 (图 7-20c) 的尺寸误差和间隙的关系曲线。这里所指的尺寸误差, 是指制件的最大外径与阴模尺寸的差值。

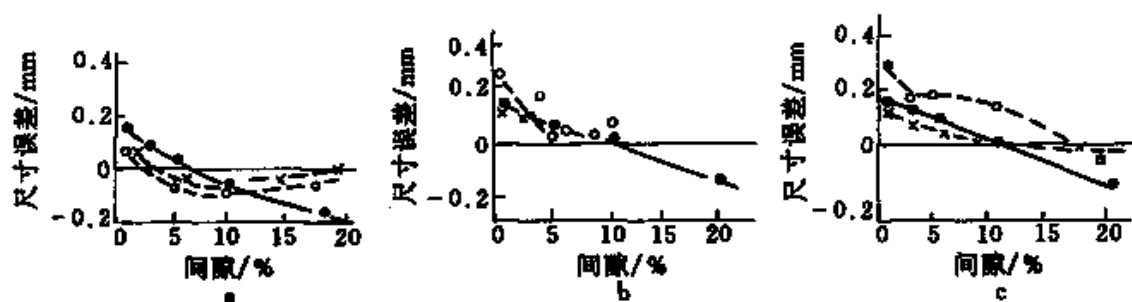


图 7-20 尺寸误差与间隙的关系

●—自由支持 (材料自由放置, 不加固定); ○—材料固定 (周围固定);
x—全固定 (周围固定阴模内亦有弹簧托板)

图 7-21 是在不同的冲切速度下, 冲切直径 10mm, 自由支持, 间隙为被冲件板厚 s 的 5%, 聚氯乙烯 (图 7-21a)、聚丙烯 (图 7-21b)、

聚碳酸酯 (图 7-21c) 的尺寸误差和温度的关系曲线。

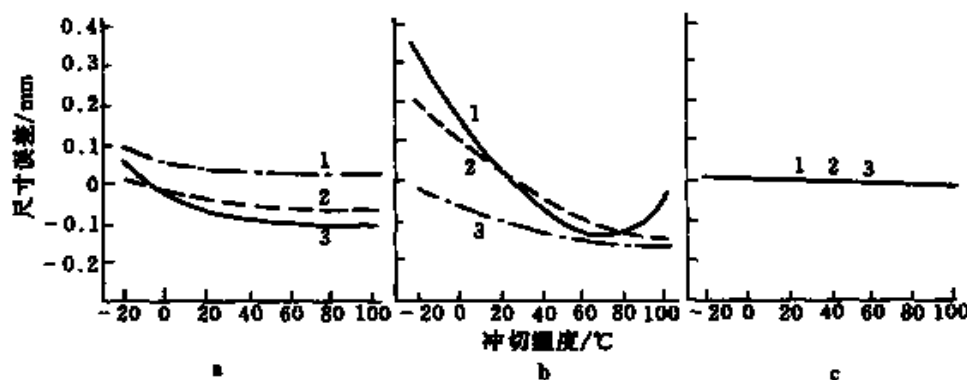


图 7-21 尺寸误差与温度的关系

1—0.05m/min; 2—0.5m/min; 3—28m/min

第六节 冲切时的排样

冲切塑料板材时, 合理排样可保证最经济的材料利用率、高的生产率、好的工件质量、模具简单和操作方便, 材料的利用率可用下式表示

$$\eta = \frac{q \times n}{Q} \times 100\%$$

式中 η ——材料的利用率;

q ——每个塑料工件的重量, kg;

Q ——被冲切的塑料板材的重量, kg;

n ——每张塑料板材冲切出的工件数量, 个。

通常排样可分为有工艺余边和无工艺余边两种。有工艺余边废料较多, 但是可获得较为光洁的切口以及减少工件的毛刺和扭曲。图 7-22 所示是有边排样的示意图。图 7-22a 是单行直排形式, 主要用于圆形、方形、矩形等制件; 图 7-22b 是单行斜排形式, 主要用于椭圆形、T 型、Γ 型及 S 形等制件, 如果把这些工件直排会有较多的废料; 图 7-22c 是直对排, 主要用于梯形、三角形、半圆形、T 形、III 形、II 形等制件, 这些工件如要直排和斜排将会有较多废料; 图 7-22d 是斜对排形式, 主要用于 T 形等制件; 图 7-22e 是混合排形式,

主要用于冲切材料和厚度相同或形状类似的制件，适用于大批量生产；图 7-22f 是多行排形式，主要用于冲切小件、大批量生产的圆形、方形、矩形、六角形等形状的制件。

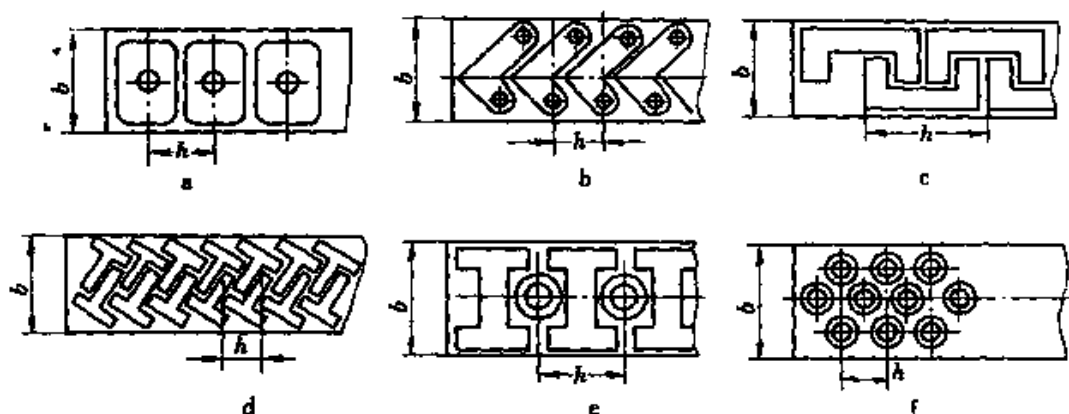


图 7-22 有工艺余边的排样

只有当工件切口的精度要求不高时，才可以应用无工艺余边的排样，如图 7-23 所示。图 7-23a 是单行直排形式，主要用于矩形工件的冲切；图 7-23b 是单行斜排形式，用于冲切 Γ 形或其他复杂外形工件，这些工件在外形上允许有不大的缺陷；图 7-23c 是直对排形式，主要用于冲切梯形工件；图 7-23d 是斜对排形式，主要用于 T 形等制件；图 7-23e 是混合排样形式，用于冲切两个外形相互嵌入的工件；

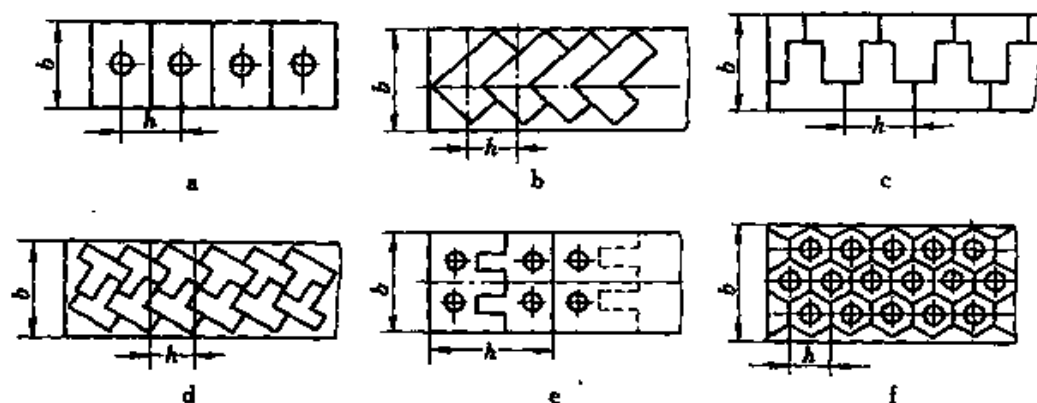


图 7-23 无工艺余边的排样

表 7-19 冲切塑料板材时余边宽度尺寸/mm

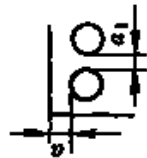
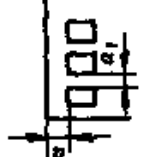
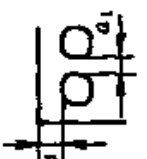
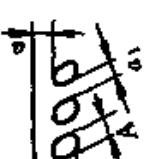
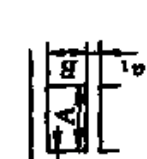
塑料种类	板材厚度	a		a ₁		a		a ₁		a		a ₁	
		a	a ₁	a	a ₁	a	a ₁	a	a ₁	a	a ₁	a	a ₁
酚醛纸基层压塑料	至 1	3.0~2.8	2.7~2.5	 孔径 $d=0.8\sim 5$		 尖角方孔		 圆角方孔		 $A \times B \leq 100 \times 100 \text{ mm}^2$		 $A \times B > 100 \times 100 \text{ mm}^2$	
	1.2~2.0	1.4~1.6	1.5~1.4										
	2.0~3.0	1.2~1.1	1.2~1.1										
酚醛棉织物层压塑料	至 1.5	2.4~1.8	2.3~1.6	2.5~2.0	1.8~1.6	2.5~1.7	2.5~2.0	1.8~1.6	1.8~1.6	1.8	1.7	1.8	1.7
	1.5~3.0	1.2	1.2	1.3	1.2	1.3	1.2	1.1	1.1	1.6	1.6	1.6	1.6
以玻璃纤维为基材的塑料	至 1.5	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5
	1.5~3.0	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1	1.5	1.4	1.5	1.4
酚醛玻璃布层压塑料	至 1.5	1.8	1.7	2.2	2.0	2.2	2.0	—	—	—	—	—	—
	1.5~3.0	1.5	1.4	2.0	1.8	2.0	1.8	—	—	—	—	—	—

图 7-23f 是多行排样形式，主要用于冲切大批量生产中尺寸较小的矩形、方形及六角形工件。

有余边的冲切，余边数值的大小，主要由被冲切塑料种类、板材厚度、落料或工件的形状和尺寸而确定的。余边数值过大，会降低材料的利用率；过小会引起毛刺的增大，降低模具寿命，影响冲压工作的连续进行。表 7-19 推荐几种形状的余边宽度，供生产中参考。

第八章 塑料的精加工

在很多情况下，注（铸）塑件和模压件还需要进一步加工才能使用，如需清除飞边或浇口径、圆角、修正尺寸或抛光表面等。所有这些加工都属于塑料件的精加工。塑料零件精加工常用的方法有：磨削、铣削、滚研、抛光等。

一般的金属零件精加工方法均可应用于塑料零件的精加工，但因被加工的材料有本质的差异，所以金属零件精加工方法应用在塑料零件上并不一定能获得满意的结果，并且加工用量和加工介质的选择也有较大差异，因此，塑料精加工具有特殊性。

实验表明，合理地选择加工方法、加工参数和加工介质就可以获得高质量、经济实用的塑料产品。

第一节 塑料的磨削加工

塑料工件的磨削是一种普遍应用的切削加工方法。用砂轮或砂带可以清除塑料制品的废边，表面缺陷，制作斜面，修正尺寸及粗化的表面和圆角等。它能使塑料工件加工表面获得较高的精度和较低表面粗糙度参数值，是精加工或半精加工工序。

一、塑料磨削的常用方法

塑料磨削通常分机磨和手工磨两种，在机磨中又包括砂轮磨和砂带磨，磨削方法有干磨和湿磨两种，用粗砂轮（如粒度到 80 号）时，通常采用干磨方法。用细砂轮时，宜用湿磨，手工打磨时一般采用湿磨法。如果采用湿磨法磨削塑料工件，磨削后的制品必须进行清洗和干燥。

1. 砂带磨削

热塑性塑料制品，可以采用砂带或砂轮（包括油砂轮）打磨，但以用砂带居多，如图 8-1 所示。在图 8-1 中，a 是磨外圆；b 是磨平

面；c是无心磨削；d是自由磨削；砂带磨削一般是精加工塑料工件抛光前的最后一道工序（图 8-1e）。通常先使用粗糙些的砂带磨削，当磨到需要的尺寸后再用更精细一些的磨粒砂带磨削以获得所需要的表面粗糙度。

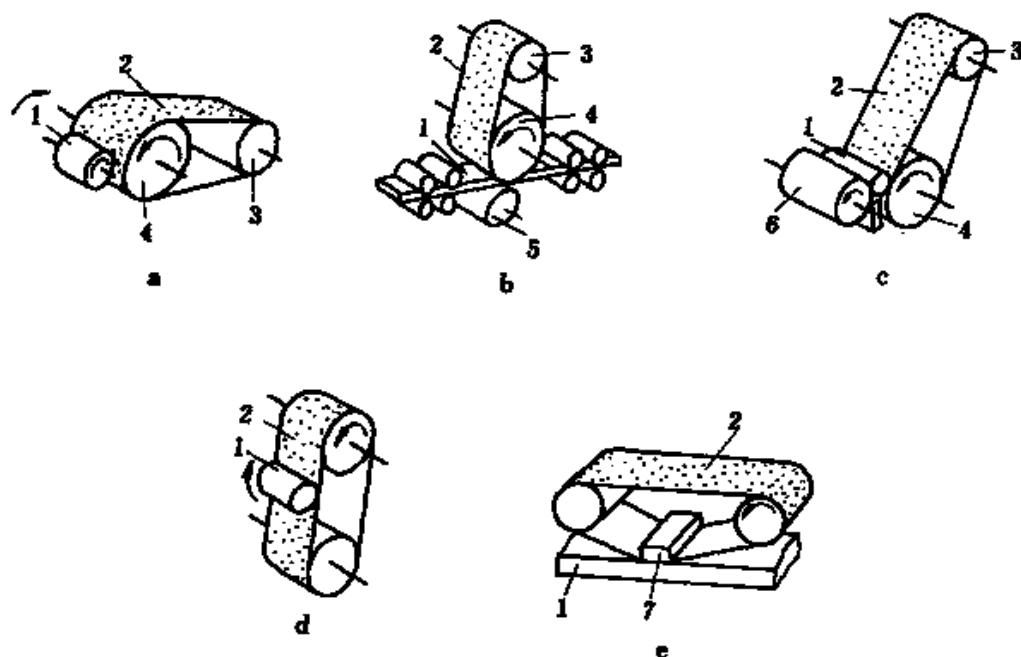


图 8-1 砂带磨削的几种形式

1—被磨削工件；2—砂带；3—从动辊；4—主动辊；5—支承辊；6—加压辊；7—压块

砂带的磨料是碳化硅，用耐水粘合剂将其粘附于带基上，磨料按粒度分成若干型号，如 50, 60, ……，200, ……，600……等，号愈大，颗粒愈小。一般选用 30~240 号。

热塑性塑料比热固性塑料更适于使用精细的磨粒砂带。用砂带磨削热塑性塑料工件时，一定要使用冷却液，并使用较低的进给速度以减少磨削热和防止砂带阻塞。冷却液要注意过滤，防止脱落的磨料或其他杂质进入而划伤工件表面。砂带运动的线速度，一般为 600~1500m/min，但常用的是 1200m/min。

热固性塑料工件，一般用于磨法，可以用砂带，也可以用砂轮，采用砂带时，其线速度为 900~1200m/min。

图 8-2、图 8-3 所示为使用两种磨粒尺寸的砂带，对五种不同的塑料进行磨削试验的结果。

图 8-2 显示了当进给压力是 0.05MPa 和磨削速度近 2000m/min 时，其磨削量随磨削时间的变化，即磨削量与磨削时间成正比，且粗糙的砂带磨削量更大，图中 1 括号区粒度为 60 号，2 括号区粒度为 240 号。图 8-3 显示了进给压力和磨削速度对磨削量的影响，即进给压力越大，磨削速度越大，磨削量越大。

图 8-4 显示了砂带磨削 20min 后表面粗糙度情况，即磨粒越精细的砂带获得的表面越光滑，图 8-4 的切削条件为：切削速度 $v = 2000\text{m/min}$ ；进给压力 $F = 0.05\text{MPa}$ ；磨削时间 $t = 20\text{min}$ ，白色部分是由粒度 60 号砂带磨得，黑色部分是由粒度 240 号砂带磨得。

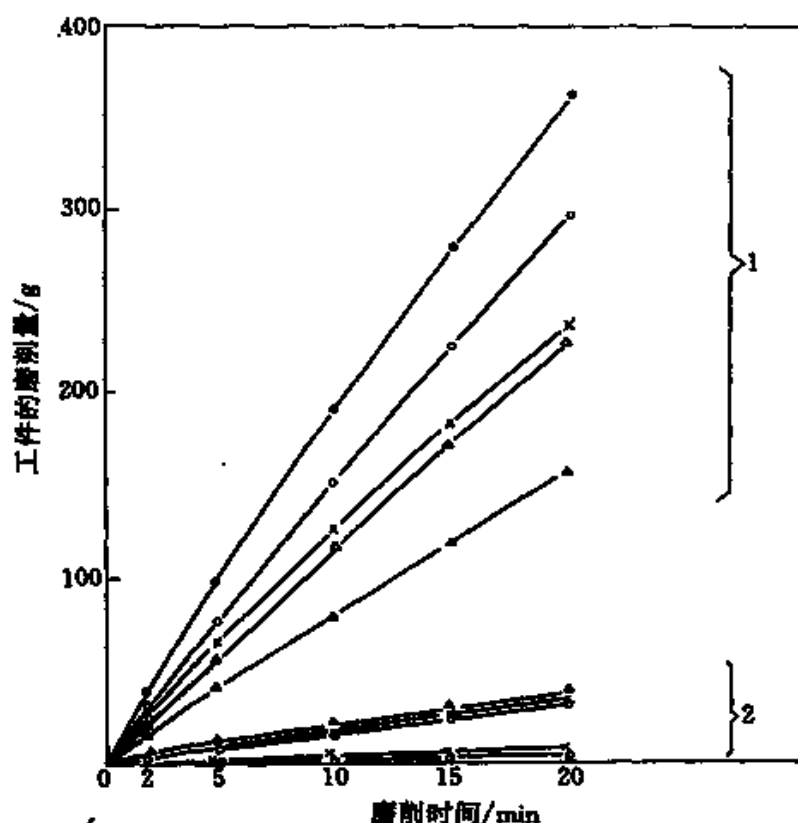


图 8-2 采用 2 种砂带时各种塑料的磨损量和磨削时间的关系曲线

●—硬聚氯乙烯；○—聚丙烯；x—聚碳酸酯；
△—以纸为基材的酚醛层压塑料；▲—聚酯树脂树脂区

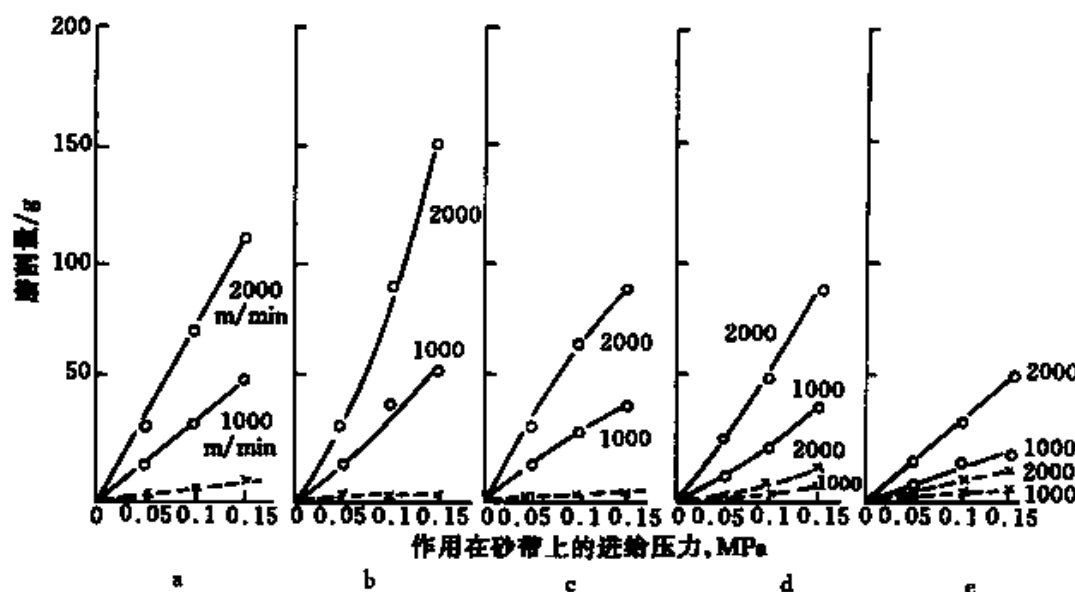


图 8-3 进给压力和磨削速度对磨削量的影响

注：磨削时间为 2min，实线是由粒度号 60 的砂带磨削得到的数据，
虚线是由粒度号 240 的砂带磨削得到的数据

但在用精细磨粒砂带加工热塑性塑料时，尽管有足够的冷却液，

砂带阻塞仍时有发生。这种趋势随砂带速度和进给压力的增加而增大。用砂带磨削塑料工件，由于砂带宽，磨削面积大，所以生产率高，因为砂带的磨粒锋利，磨削发热少，散热条件好，磨削温度低，所以不致使工件材料变软和烧焦。另外，砂带柔软，能贴住成形表面进行磨削，可磨削各种复杂的成型表面。

2. 砂轮磨削

加工金属零件的磨床均可用于加工精度要求较高的塑料工件。像平面磨床和无心外圆磨床都经常用于加工塑料工件。用砂轮磨削热塑性塑料是相当困难的，因为砂轮的线速度高，磨削时温度高，而热塑性塑料熔点低，所以影

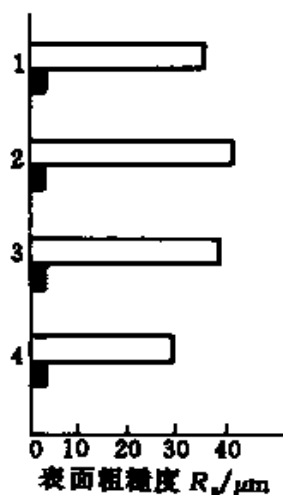


图 8-4 几种层压塑料的表面粗糙度的比较

响表面质量，且易导致阻塞砂轮表面。

对于那些含有磨料填充剂（如石棉、玻璃、云母等）的热固性塑料在磨削加工时要特别注意，因为一般的砂轮很难加工这样的材料，但用精度较低且磨粒间隔较大的砂轮却十分有效，磨削时要配以大量的冷却液，以防止过热和砂轮过载。氧化铝磨粒砂轮更适用于磨削塑料。砂轮和磨削条件的选择需要具体分析，而砂轮磨粒的尺寸由零件加工精度决定。在磨削热塑性塑料时，必须用足够的冷却液，这一点十分重要。

表面涂有天然的块状金刚石颗粒的天然金刚石砂轮或人造金刚石砂轮经常用于磨削玻璃纤维强化塑料。用于磨削塑料的金刚石砂轮，其金刚石磨粒尺寸在 $180 \sim 350\mu\text{m}$ 之间变化，磨粒的尺寸的大小必须符合被加工零件的特点，如材料的厚度及其玻璃纤维含量等。粗大磨粒可用于去除大的加工余量，细小的磨粒用于磨削光洁的边角。

3. 手工磨削

在某些场合，如加工面不大，或小型制品的研磨，可以用砂布或砂纸，手工打磨。

砂布是用粘合剂把磨料（氧化铝）均匀地粘合在坚实布质底板上制成，其规格见表 8-1。

表 8-1 砂布规格举例

习惯代号	4/0	3/0	2/0	0	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
磨料粒度号数	240	180	150	120	100	80	60	46	36	26	24
尺寸/mm	228 × 280 或 228 × 5000 (卷状)										

砂纸有木砂纸和水砂纸。木砂纸是干砂纸；不用于塑料打磨，水砂纸是湿砂纸，是以牛皮纸做底板，用树脂或桐油来粘合氧化铝或碳化硅等磨料制成。其规格见表 8-2。

表 8-2 水砂纸规格举例

习惯代号	100	120	150	180	220	240	260	280	300	320	360	400	500	600
磨料粒度号数	60	80	100	120	150	160	170	180	200	220	240	280	M40	M28

手工打磨时，将水砂纸包在较软的物体上（如海绵、毛毡等），用水或肥皂水做润滑剂，以圆周运动的方式，对其表面轻轻研磨，可以去除表面划痕或斑纹等缺陷。

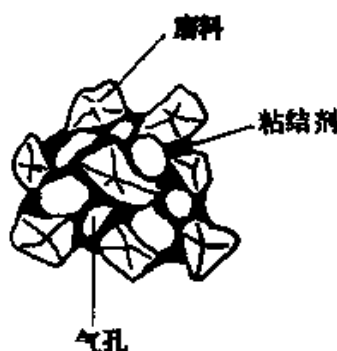


图 8-5 砂轮的结构

二、砂轮和砂带

1. 砂轮

砂轮是由磨料、粘结剂和气孔组成的疏松体。如图 8-5 所示。磨料的性质和颗粒的大小，粘结剂的性质和砂轮结构的疏松程度，是决定砂轮性能的主要因素。

(1) 磨料 用于磨削塑料工件的磨料有：氧化物类、碳化物类和高硬磨料类三种。

氧化物类通常称为刚玉类，以 G 表示，其主要成分是 Al_2O_3 ，另含有少量的 SiO_2 和 Fe_2O_3 。

碳化物类磨料主要以碳化硅 (SiC)、碳化硼 (B_4C) 为主，其中包括少许的 Fe_2O_3 、C 和 SiO_2 材料。由于含各种成分不同，故又分为很多种。因是碳化物，以 T 来表示。TH 表示黑色碳化硅，TL 表示绿色碳化硅，TP 表示碳化硼。

高硬磨料类包括人造金刚石（以 JR 表示）和立方氮化硼（以 JLD 表示）。

人造金刚石硬度很高，但是比较脆，导热系数高。由于切削塑料时产生的切削力小，切削区域内的温度不能过高，所以用金刚石砂轮加工塑料是最适宜的磨料。

碳化物类磨料硬度仅次于金刚石的磨料，它亦适于磨削塑料和木材等非金属材料。

刚玉类磨料价格便宜，最好做研磨塑料的研磨膏，也可以作为砂轮的磨料磨削塑料工件。

(2) 粒度 砂轮的粒度是指磨料的粗细，即是磨料的颗粒大小。粒度的大小用粒度号表示，即筛网每英寸上的孔数。例如 80 号粒度是指磨粒刚好可通过每英寸长度上有 80 个孔眼的筛网。

当磨粒的直径小于 $40\mu\text{m}$ 时, 这些磨粒称为微粉。它的粒度以微粉的尺寸大小来表示。如尺寸为 $28\mu\text{m}$ 的微粉, 其粒度号称为 W28。

磨料的粒度对磨削生产率和加工表面粗糙度影响较大。为了降低塑料工件的表面粗糙度参数值, 应选用颗粒较细的砂轮, 即是粒度号大的砂轮。但应当指出, 在磨削塑料工件时, 为了避免发热过多引起塑料的变软或烧焦, 以及为了避免堵塞砂轮, 在保证表面粗糙度参数值的情况下, 尽可能选择粒度号小的砂轮。

除用砂轮磨削塑料工件外, 在某些情况下可用砂带进行加工。砂带的磨料粒度也是根据工件表面粗糙度参数值选择, 最常用的是 60 号、80 号和 100 号, 在精磨时可选 280 号的粒度。

(3) 硬度 砂轮的硬度是指在外力作用下被粘结着的磨粒脱落的难易程度。硬度高时, 磨粒不易脱落; 硬度低时, 磨粒容易脱落。常用砂轮硬度等级见表 8-3。

表 8-3 砂轮硬度等级及代号

大级	名称	超软	软			中软		中	中硬			硬	超硬		
	代号	CR	R			ZR		Z	ZY			Y	CY		
小级	名称	超软	软1	软2	软3	中软1	中软2	中1	中2	中硬1	中硬2	中硬3	硬1	硬2	超硬
	代号	CR	R ₁	R ₂	R ₃	ZR ₁	ZR ₂	Z ₁	Z ₂	ZY ₁	ZY ₂	ZY ₃	Y ₁	Y ₂	CY

磨削各类塑料工件, 为了减少产生的热量, 降低切削区域的温度, 必须保持磨粒的锋利性, 使磨钝的磨粒及时脱落, 所以应选择较软的砂轮。通常选用软 (R_1 、 R_2 、 R_3) 和中软 (ZR_1 、 ZR_2) 砂轮。

(4) 粘结剂 粘结剂的作用是把磨料粘结在一起, 组成有一定形状和强度的砂轮, 粘结剂的性能会影响砂轮的强度、耐热性。粘结剂可分为无机、有机和金属三种。无机粘结剂是由粘土、滑石和其他天然的硅铝酸盐材料烧结而成, 通常称陶瓷粘结剂, 用 A 为代号, 陶瓷粘结剂价格便宜, 性能稳定、脆性大, 不能受剧烈的振动, 砂轮回转速度只能达 35m/s 。

有机粘结剂包括树脂粘结剂 (代号 s) 和橡胶粘结剂 (代号 x)。由于是有机物, 所以耐热性、耐酸性较差。例如酚醛和环氧树脂粘结

剂在磨削区域温度达到 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 时, 粘结剂的粘合能力显著下降, 砂轮硬度下降亦较大, 磨粒易于脱落, 砂轮损耗较大; 由于抗腐蚀性能差, 不宜采用含碱的切削液; 砂轮存放久也会变质, 因此, 一般规定树脂粘结剂砂轮, 从出厂之日算起存放期为一年, 若超期使用, 需重新检查试转合乎要求后方可使用。树脂粘结剂弹性好, 强度高, 适于切割和开槽的加工。橡胶粘结剂多数采用合成橡胶, 比树脂粘结剂弹性大, 气孔小, 具有很好的抛光性能; 耐热性较差, 温度在 $150 \sim 165^{\circ}\text{C}$ 就软化, 砂轮寿命低, 遇油易变形, 不宜用油性切削液。这种粘结剂的砂轮宜于切断和抛光塑料工件。

金属粘结剂主要是青铜粘结剂 (代号 Q), 主要用于制造金刚石砂轮, 用于磨削以玻璃纤维为基材的热固性塑料。

(5) 组织 砂轮组织表示砂轮中的粘结剂、磨料、气孔三者的体积比例关系, 用磨料所占的百分比来表示, 占的百分比大, 则组织紧, 反之组织松。在磨削过程中, 砂轮中的气孔可以容纳切屑, 还可以将切削液或空气带入磨削区域, 因而能降低磨削区的温度, 减少工件的热变形, 避免产生塑料变软和烧焦。所以在磨削塑料工件时, 通常利用松组织的砂轮。砂轮组织可分为三大级, 即紧密, 中等和疏松, 如图 8-6 所示。并可细分为 13 级, 见表 8-4。



图 8-6 砂轮的组织







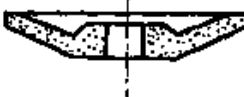
(6) 砂轮的形状和尺寸 砂轮的形状和尺寸是根据磨床和工件磨削表面的要求来选择。常用的砂轮形状代号和用途见表 8-5。

(7) 标志 一般砂轮端面上印有反映砂轮特性的标志, 其书写顺

表 8-4 砂轮的组织号

级 别	紧 密				中 等				疏 松				
组 织 号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
磨料占砂轮体积的百分比/%	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38

表 8-5 常用砂轮的形状、代号及用途

种 类	代号	断 面 形 状	主 要 用 途
平形砂轮	P		磨外圆、内孔、平面及无心磨等
双斜边一号砂轮	PSK ₁		磨齿轮及螺纹
单面凹砂轮	PDA		磨内圆、端面；外径较大者用于磨外圆
薄片砂轮	PB		切断及开槽
筒形砂轮	N		端磨平面
碗形砂轮	BW		刃磨刀具，磨导轨等
碟形一号砂轮	D1		刃磨刀具，大尺寸的可用于磨齿轮

序和方法是：磨料、粒度、硬度、粘结剂。砂轮名称代号、尺寸（外径×厚度×内径）。例如，砂轮标志为 GZ80[#] ZR₂AP300×40×75，35m/s，表示磨料是棕刚玉，80号粒度，中软2，陶瓷粘结剂，中等组织，平形砂轮，其外径300mm，厚度40mm，内径为75mm，允许最大线速度为35m/s。

2. 砂带结构

砂带的构造如图 8-7 所示, 由基体、粘结剂和磨粒组成。基体一般有牛皮纸基、布基(斜纹布、尼龙纤维、涤纶纤维)和纸-布基等。纸基砂带表面平整, 磨出塑料工件表面粗糙参数值低。布基砂带强度高, 适于制造负荷大、高效率的砂带。纸-布基砂带则既可磨出表面粗糙度 R_a 较小的工件, 又可承受较大的负荷。

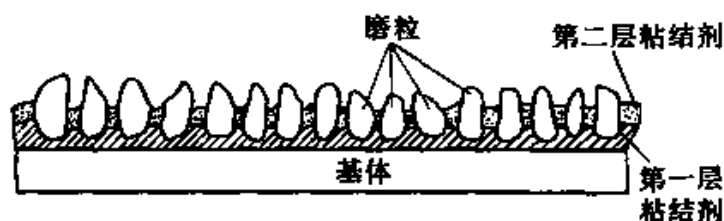


图 8-7 砂带的构造

粘结剂分两层, 第一层把磨粒粘于基体上, 第二层把磨粒间位置固定。粘结剂有树脂和动物胶两种。树脂粘结强度高, 耐热性好, 耐水, 适于制造高速、重负荷砂带; 动物胶怕水, 粘结强度低。现在多数工厂用以树脂为粘结剂的砂带。

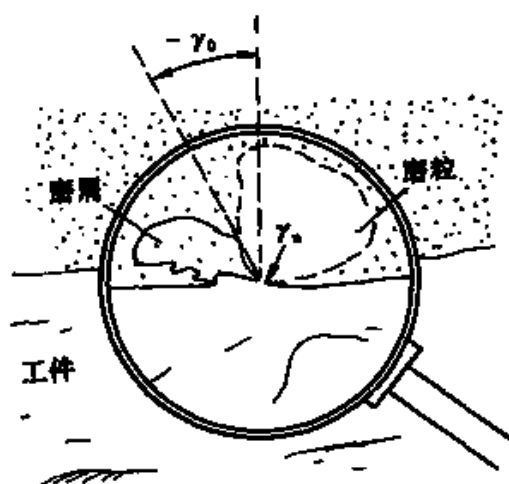


图 8-8 磨屑的形成

砂带仅有一层粒度均匀的磨粒, 经过静电植砂, 使其锋刃向上, 切削刃具有较好的等高度, 因而切削效率高, 磨削表面质量好。

三、磨削过程

磨削是用分布在砂轮表面上的磨粒通过砂轮和被磨工件的相对运动来进行切削的。图 8-8 所示为一个磨粒在切削并形成磨屑的示意图。

在磨削过程中, 由于磨粒在砂轮表面上所分布的高度是很不规则的。其中比较锋利且比较凸出的

磨粒可以获得较大的切削厚度，而成形如图 8-9 所示的切屑。但当磨粒与工件初接触时，由于磨粒具有较大的负前角和较大的切削刃钝圆半径，故磨粒没有切削作用，直至磨粒的切削厚度增大至临界值后才开始切下切屑。

仔细观察切下来的切屑，可以看到带状切屑、挤裂切屑和一些熔化的、氧化烧尽的切屑灰烬。图 8-9 中蝌蚪形切屑则是由于在磨削温度的作用下，切屑的一端熔化而形成的。



图 8-9 磨下的切屑

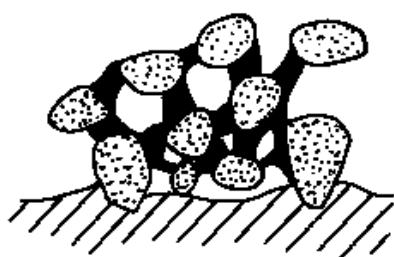


图 8-10 隆起现象

仔细观察磨削后的表面，可以发现磨削表面有精细的毛茸面，主要是由于磨屑没有完全被切离及材料隆起。

在砂轮表面上有一些磨粒较钝，或虽然是新磨粒，但切削深度太小，在磨削过程中，磨粒的切削厚度未能达到临界值，因而不能形成切屑。这时，磨粒只在工件表面上刻划出痕迹来，而工件材料则被挤向磨粒的两旁而隆起，如图 8-10 所示。

砂轮表面的磨粒分布也是有高有低的。在磨削过程中，有些磨粒切削工件形成切屑，有些磨粒仅在工件表面上刻划出痕迹，还有一些磨粒既不切削也不刻划工件，而只是与工件表面产生滑擦。因为磨削速度很高，这种滑擦会产生很高的温度，会引起被磨表面的熔化、烧伤等缺陷。因此，磨粒与工件之间的滑擦作用对磨削表面质量影响较大。

除了在被刻划出的沟痕两旁发生明显的隆起现象外，即使是被磨粒切削过的地方也有隆起现象产生，如图 8-11 所示。这是因为磨粒具有负前角，切削刃有较大的钝圆半径以及磨粒切入工件的深度较小等原因，在磨削过程中，工件变形不仅发生在剪切面方向，而且在磨

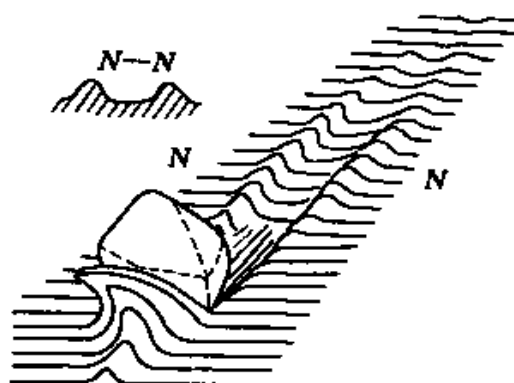


图 8-11 隆起产生的机理

粒侧面产生，这样使剪切变形的面加宽了。因此，仅仅是磨粒所切出的沟内那部分材料才成为切屑。在沟痕两侧的材料虽经受了塑性变形，却并不成为切屑，而在沟的两侧出现残余的隆起。

隆起现象对磨削表面粗糙度有较大的影响。试验表明，隆起程度随磨削速度的增加而下降，这是因为，塑性变形的传播速度是一定的，

磨削速度的提高使塑性变形来不及发生，当磨削速度超过塑性变形的传播速度后，隆起现象就消失了。

四、塑料的磨削用量

磨削用量是指砂轮的回转线速度 v 、塑料工件的回转线速度 v_w 、切削深度 a_p 、工件的纵向进给量 f_s （见图 8-12）。

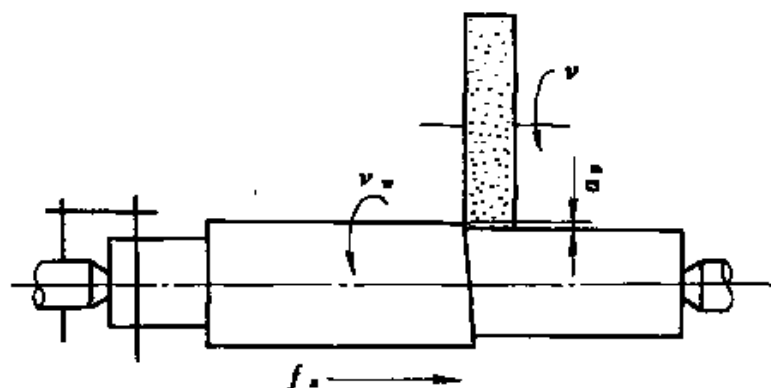


图 8-12 磨削用量

磨削用量的选择原则通常是：在保证工件表面质量的前提下尽量提高生产率。即是说，磨削用量是在保证磨削温度较低，磨削表面粗糙参数值较小的条件下，尽量取较大的切削深度 a_p 、纵向进给量 f_s 和工件的回转速度 v_w 。

在保证砂轮强度的情况下，磨削塑料的砂轮回转速度 v 通常取

30~35m/s。但磨削热塑性塑料时,由于它的耐热性差,所以取切削速度 $v = 20 \sim 25\text{m/s}$ 。

在用刚玉类砂轮磨削回转体塑料工件时,推荐用以下磨削用量。

切削深度 a_p 粗加工 0.07~0.2mm

 精加工 0.01~0.05mm

纵向进给量 f_a 热塑性塑料 1~3m/min

 热固性塑料 3~5m/min

工件转速 v_w 2~5m/min

砂轮转速 v 热塑性塑料 20~25m/s

 热固性塑料 30~35m/s

用树脂和橡胶做粘结剂的刚玉类砂轮,通常取切削速度 $v = 10.15\text{m/s}$ 。用刚玉类砂轮磨削平面时,其磨削用量可参照外圆磨削用量选择。

用刚玉类砂轮磨削各种塑料工件可按表 8-6 选取。

表 8-6 外圆磨削塑料工件的磨削用量

塑料名称	砂轮转速 $v/(m/s)$	工件转速 $v_w/(m/min)$	砂轮转速 $v/(m/s)$	工件转速 $v_w/(m/min)$	砂轮特性
热固性塑料					
氟塑料	30~35	2~2.5	25~30	1~2	TL, $R_1 \sim R_2, A$
氨基塑料	30~40	2~3	28~35	2~3	TL, $R_1 \sim CR_1, A$
以棉织物为基材的热固性塑料	25~30	1.5~3.0	25~35	1.5~3.0	TL, $R_1 \sim CR_1, A$
以石棉为基材的热固性塑料	30~35	2~4	25~35	2~4	TL, $R_1 \sim R_2, A$
以玻璃纤维为基材的热固性塑料	30~35	1.5~3.0	30~35	1.5~2.5	TL, $CR_1 \sim CR_2, A$
以胶纸为基材的热固性塑料	25~30	2~4	20~35	1.5~3.0	GB, $CR_1 \sim CR_3, A$
热塑性塑料					
聚苯乙烯塑料	20~30	1.5~2.5	20~25	2~3	GZ, $R_1 \sim R_2, A$
聚甲基丙烯酸甲酯塑料	20~25	1.5~3.5	20~25	2~3	TH, $R_1 \sim R_2, A$
聚氯乙烯塑料	20~25	1.5~4.0	25~28	2~3	TH, $R_1 \sim R_3, A$

注: (1) TL、TH、GB、GE 分别表示绿色碳化硅、黑色碳化硅、白色刚玉和棕色刚玉;

(2) R、CR 表示砂轮的硬度为软和超软, 其下角标是表示级别;

(3) A 表示陶瓷粘结剂。

用金刚石砂轮磨削以玻璃纤维为基材的热固性塑料平面时,磨削量可选择的高些:切削速度 $v = 40\text{m/s}$, 切削深度 $a_p = 0.3\text{mm/两行程}$, 横向进给量 $f_a = 8\text{mm/min}$, 纵向进给量 $f_r = 2.5\text{mm/双行程}$ 。

五、磨削时的冷却润滑

磨削热塑性塑料工件时,通常用水做切削液,而磨削热固性塑料时,则用压缩空气或含油为 2% ~ 5% 的乳化液。用以树脂为粘结剂做成的金刚石砂轮磨削塑料时可以用不用切削液。

第二节 塑料的锉削和刮削加工

锉削加工和刮削加工是塑料制品精整加工常用的方法,可以达到美化塑料制品,改善制品质量和性能的目的。

一、塑料的锉削

锉削多被用作模塑制品和板材的修平、除废边、去毛刺、修配尺寸、锉斜边及制曲面等。清除溢边,如有可能最好用转鼓滚光法。但有些制品因结构原因必须用锉削才能将厚的或薄的溢边去除、钻孔和攻丝等机械加工后留下的毛刺,也需用锉削来清除。

锉刀的规格很多,其形状、尺寸及锉齿的粗细各不相同。对塑料的锉削来讲,选择合适的锉刀是一个非常重要的问题,因为锉刀的形状、大小和锉齿样式决定了锉削的速度及难易程度,同时也影响着锉后加工表面的质量。

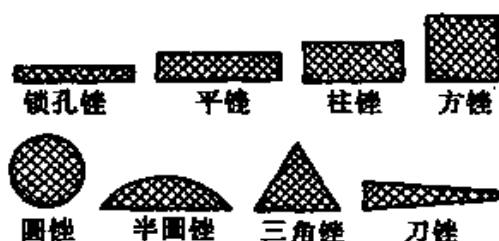


图 8-13 塑料常用锉刀的形状(横截面)

选择锉的类型必须与塑料的硬度、脆性、揉曲性及耐热性相适应。锉的大小及形状应由被锉的制品的大小、形状来决定。常用的锉刀的形状如图 8-13 所示。平锉用于锉平面,圆锉和半圆锉用于锉孔的内表面及圆槽。锁孔锉和刀锉用于各种极细的槽缝;各种棱锉用于

沟和槽。锉刀要经常用毛刷清洗,使其保持清洁,以防阻塞。

清除溢边用的锉应当锉齿尖利,锋口坚固,具有圆形齿槽以减少

碎屑堵塞，并有适当的倾斜度，以利清除碎屑。

热塑性塑料很易锉削。并且可以作为最后的精加工。但一般用于加工金属的锉刀加工热塑性塑料并不能让人满意，主要是由于它的过分阻塞；而用于锉削如铝、镁等软金属的锉刀锉削热塑性塑料却十分有效，因为这种锉刀具有刮削作用。

对于软质热塑性塑料如：聚乙烯、聚丙烯、乙酸纤维，乙酸丁酸纤维等，应避免使用细锉以防塞齿，通常选倾角为 45° 的单纹剪齿形粗锉（平的或半圆的）为好，粗齿和长角的锉刀，有利于锉屑的自落。

对于较硬的热塑性塑料如：聚氯乙烯类、聚丙烯酸酯类，聚苯乙烯及苯乙烯共聚物等，锉纹不会被堵塞，但它使用剪形锉。

锉削板、片材的边缘时，宜采用铣齿锉，锉刀与被锉边缘，最好成 20° 角度。

热塑性塑料的溢边用三角刮刀代替锉刀清除更为有效。

热固性塑料模制工件也都需要一些修整工作，以清除铸压飞边等。锉削量受作用在锉刀上的压力及锉削速度有关。图 8-14 所示是锉削纸基酚醛塑料单位时间锉削量与锉削速度和作用在锉刀上的压力的关系。由此可见，锉削量随切削速度和压力的增加而增加。

锉除溢边时应使它整块地裂下，不要在离工作物体本身很远的地方锉起，以避免锉裂。锉削时应用锉刀坚稳地推压溢边，使它在靠近工件本身的地方折裂，然后锉光表面。

锉削热固性塑料时，用实验方法选择锉刀，在清除模塑制品凸面的废边，板材的边角，锯切的毛口，或开切斜面时，采用铣齿锉刀的

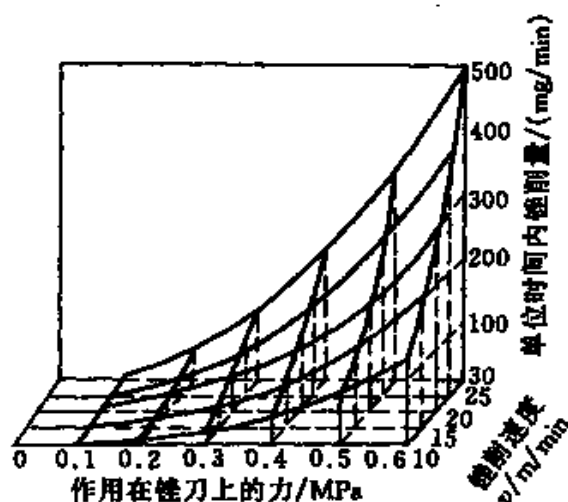


图 8-14 锉削以纸为基材的酚醛塑料时，每单位时间的锉削量，锉削速度与作用在锉削刀上的压力关系

中锉纹锉刀。在锉削精制品或微小模塑制品时，可选用较细锉纹的锉刀进行修整。

锉刀的设计是只供往一个方向锉工件的，所以，在锉削时，只能在一个方向上施加压力，在返回时，应放松。如果返回时也施加压力，则会加速锉刀的磨损。但当锉削较精致的制品时，在锉刀往返时都施加平稳的压力，可以得到较好的表面质量。如加工表面许可，锉面的两端两侧都应使用，以使锉刀的磨损均匀。

锉削热固性塑料时，锉刀的磨损很快。锉刀的使用寿命会因锉刀的选择、使用和维护不当而大为缩短。许多树脂和填料能使锉削刀具磨损迅速。锉刀的存放对锉刀的寿命也有很大影响，决不能将锉刀和其他工具堆放在一起或随意放置，以避免损伤锉齿的锋刃，锉刀存放时，要将锉刀竖放在锉刀架上，并放在干燥处，以免生锈。

在大批量生产时，圆形或筒形制品的废边，可以采用半自动化的方法来清除，其方法是将制品夹持好，并沿其轴心旋转，利用踏板将已装好的锉刀推至制品的废边上，即能达到目的。

对小型圆形制品（如钮扣，瓶盖等），也可以根据同样的原理，通过全自动操作，达到清除废边的目的。然而；只有当这类塑料小制品的硬度较高，又能耐热时，才采用锉削。在一般情况下，应尽可能采用转鼓法清除废边，而不用锉削方法。

二、塑料的刮削

塑料的刮削和金属刮削在原理上是相同的，但所使用的工具和操作有较大差异。

塑料刮削可分手工刮削和机械刮削。刮削时，刮刀的负前角推挤刮削表面，它不单起着切削作用，而且还起着压光作用。因此，刮削表面组织，比其他机械加工的表面组织严密，表面粗糙度低。

塑料刮刀可用钢锯条或木工刨刀等磨制，当在砂轮上磨好后角后，用普通磨刀砖磨平，并用加工刃口的工具光整，并光整出卷刃（或用油石磨成）。这个卷刃在刮削塑料时，起着非常大的作用。

塑料刮刀的结构，如图 8-15 所示，磨角 γ 均为 70° ，操作用刮刀的前倾角 α 约为 20° 。

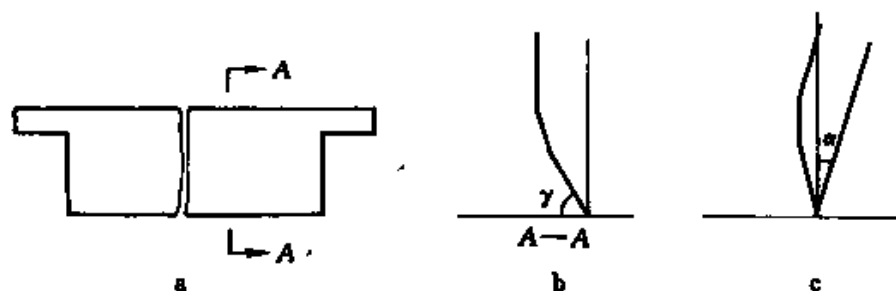


图 8-15 塑料刮刀结构示意图

a. 正面图; b. A-A 面放大图; c. 操作时的角度

对于有机玻璃, 通过刮削, 表面粗糙度可以达到 $0.8\mu\text{m}$ 。

但是, 这种手工刮削工具, 只适用于小平面的刮削, 对于大平面的刮削, 就无法保证质量, 为此, 可采用机械刮刀。

机械刮刀, 是用对称的两把刀安装在旋转夹头上, 用约 $3000\text{r}/\text{min}$ 的速度旋转, 进刀由丝杠控制。

第三节 塑料工件的抛光

当要消除制品表面的冷疤、斑痕和微量的废边或者要使塑料制品表面成为镜面, 则需对塑料件进行抛光。抛光是用表面附有磨蚀物料或抛光膏的旋转抛轮, 对塑料件表面进行作业, 统称为塑料抛光。抛光也可以用于结构较复杂的较大制件的打光。抛光一般分成三个步骤: 灰抛、磨削抛光、增亮抛光。

灰抛主要用于去除表面缺陷, 所使用的抛光盘通常是由棉布圆片交叠而成, 叠厚 $10.16 \sim 12.7\text{cm}$, 在灰抛中, 抛光物料为浮石砂浆, 浮石料的规格可选择粒度号为 100 至 150。塑料件轻靠抛轮且保持一定的运动以防止烧伤, 抛轮运转不要太快, 以保证砂浆的持续进料。

磨削抛光是将制品的粗糙表面加工成平滑表面。抛光加工过程与灰抛相似, 不同的是抛轮运转时是干的, 抛光时, 抛光剂用于抛光轮表面的一侧; 另一侧保持原样; 塑料件首先夹持着对着有抛光剂的一侧进行抛光加工, 然后调至另一侧, 把抛光剂擦掉。

所有的干抛光过程需要有一个通风系统, 合适的金属罩把抛光盘

尽可能罩起来，且与排气管相连，废气通过灰尘收集器，而不要直接排入大气。

增亮抛光是将平滑的表面抛光成光泽的表面，增亮抛光所使用的抛轮，比前两种抛光法所用的抛轮更柔软，可用呢绒，抛光物料大多为脂膏一类，也可以用高级牙膏。

抛光轮通常用毛毡、棉布、呢绒、麻、皮革等材料做抛光轮，且要求抛光轮有一定的“弹性”和“刚性”，弹性是指抛光轮的“仿形”能力，是使抛光加工适应性广的重要条件。“弹性”大的抛光轮能按工件形状变形以扩大抛光时的接触面，但是“弹性”太大，则抛光效率降低。为了得到较大的抛光量，抛光轮还应具有一定的“刚性”，抛光轮的“刚性”和抛光轮材料的柔软性有直接关系，并和抛光轮重量和旋转速度有关，抛光轮重量大，速度高，离心力大，则抛光轮的“刚性”越强。抛光轮的“弹性”和“刚性”除和制造材料有关外，还和它的缝合方式以及缝和网纹间隔有关。如图 8-16 所示 c 图为旋涡状缝合方式，制造和使用都比较方便，应用最广，a 图为放射弧状，b 图为棋盘格状，d 图为同心圆状的缝合方式，缝合网纹间隔尺寸大的抛光轮，其弹性亦大，间隔尺寸小的“刚性”大。为了改善抛光轮的性能，可用上蜡，上浆和树脂处理等方法进行处理。

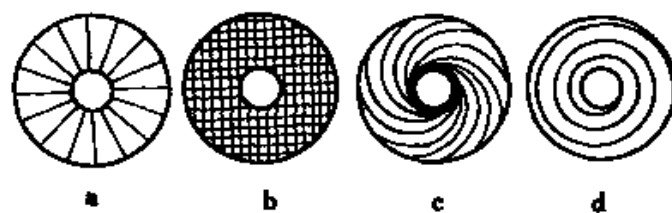


图 8-16 抛光轮的缝合方式

抛光材料种类很多，它们有金刚砂 (Al_2O_3 , Fe_3O_4)、碳化硅 (SiC)、熔融氧化铝 (Al_2O_3)、板状硅藻岩 (SiO_2)、微晶无水硅酸 (SiO_2) 和氧化铬 (CrO_2) 等，各种抛光物料要严格过滤。

在热塑性塑料的灰抛和抛光中，一定要避免过热，以免制品表面发生软化和变形而呈波浪状，所以，不能使用过硬的抛光轮，过高的

速度。零件和抛光轮间的压力也不能太大。

注塑的聚乙烯件可以进行抛光且增亮。抛光轮和抛光剂的选择决定于要去除的表面缺陷的种类。若要避免表面熔化，制品一定要持续旋转且装夹适宜。

为获得更高的抛光面，丙烯酸件经砂纸打磨后，一定要用附以动物脂和抛光物料的棉布抛轮抛光。丙烯酸件一定要保持不停的运动以防止摩擦产生的过热，且与抛光轮之间的压力不要太高，其速度可为 $540 \sim 600 \text{ m/min}$ ，然后再使用干净、柔软的法兰绒抛光轮继续抛光。此时，不加动物脂和抛光物料，法兰绒抛光轮直径为 $250 \sim 300 \text{ mm}$ ，速度为 $600 \sim 720 \text{ m/min}$ 。烧结是抛光中摩擦热产生的表面缺陷。当抛光在某一点持续很长时间或压力很大时产生。抛光过程产生的热可在丙烯酸件表面产生热应力，该应力在日后可能导致开裂，退火可避免这种危险，当需要更高精度的抛光时，一定要注意这一点。

聚乙烯的灰抛是以 $W0.5 \sim 2.5$ 的湿浮石放在松棉布抛轮上，以大约 $1200 \sim 300 \text{ m/min}$ 的线速度进行，零件在灰抛后，抛光前一定要清洗且烘干，抛光时，不要使温度超过 80°C ，否则会产生裂纹或胶结，同时注意压力不要太大，抛轮的刚度不要太大。

尼龙的灰抛采用通风抛轮，其速度 $950 \sim 1300 \text{ m/min}$ ，抛光物料是浮石砂浆。由于湿浮石不易粘在棉布上而容易甩脱，故抛轮必须有罩。尼龙的抛光最佳速度范围 $1200 \sim 1800 \text{ m/min}$ ，在干燥条件下，极易产生静电，需要一定的设备以避免产生静电冲击。

对于热固性塑性，要清除其表面缺陷、机械加工痕迹，以及砂带留下的不规则表面，宜采用无脂抛光剂的棉布抛轮，定时地将棒形的无脂抛光剂涂在旋转盘上以产生并保持抛光面，这种涂膏的抛轮具有类似金钢砂布表面的快速磨削面，依靠它的弹性能使形状不规则的部分磨光而不产生变形和缺陷。虽然每个工件条件和材料各不相同，但通常是用粒度号为 220 无脂抛光剂涂在园片大小一致的松棉布抛轮上，以 1500 m/min 的线速度进行。

磨削抛光是在最后增亮抛光前使粗砂磨面变成半光面的一个工序，如对光泽度要求不很高，那么磨削抛光就可以作为最后的一道工

序了。热固性塑料的磨削抛光应使用由快速抛光粉与脂膏为主所配成的抛光膏。不含游离脂的干燥棒形抛光膏对抛光很适用，产生灰尘也很少。根据清除的缺陷的性质。可采用缝合的，袋形的或相同大小的圆布片制成的松抛轮。线速度范围为 $1200 \sim 1800 \text{m/min}$ 。

增亮抛光膏主要是将最细的抛光粉如研细的氧化铝放在粘结脂中配制而成，这种粉料比磨削抛轮的细而含脂量小，一般用线速度为 $1200 \sim 1500 \text{m/min}$ 松棉布抛轮。

如果用了含脂过多的抛光膏，则可用洁净、干软的抛轮将残留软脂膜擦去，使光亮的表面露出来。

在塑料件进行抛光时，建议使用的抛光膏：

- (1) 石蜡 65% 和氧化铬 35%；
- (2) 石蜡或硬脂酸的甘油酯 20%，氧化铬 76%，甘油酸 1.8%，碳酸氢钠 0.2% 和石油或索拉油 2%；
- (3) 石蜡或硬脂酸的甘油酯 24%，氧化铬 72%，甘油酸 1.8%，碳酸氢钠 0.2% 和石油或索拉油 2%。

第四节 塑料的滚研和喷丸加工

一、塑料的滚研

将磨料和塑料工件同时加入转筒，利用转筒的滚动，对塑料工件表面进行修整处理称为滚研。滚研加工是用于修磨圆边角，去除飞边，浇口的残余部分和抛光表面（也称滚光）。这是一种最简便的加工方法，设备低廉且只有一名工人装卸工件即可。工件放于转动的滚筒内，用填充物和磨光剂或抛光剂研磨一段时间（ $2 \sim 3 \text{h}$ ）。木块、毡块、果核碎片等均可做为填充物而研磨剂一般包括细砂、油、磨粒、木屑等。滚研已成功地用于研磨热固性塑料，但现在也开始用于研磨热塑性塑料，如聚甲基丙烯酸甲酯、聚四氟乙烯、聚苯乙烯、尼龙等。

滚研主要有两种方法：湿法和干法。前者主要用于去除多余的残留块，后者可用于各种目的（包括滚光），水平和倾斜放置的滚筒多用于湿法抛光，水平滚筒通常是六边形或八边形，而斜滚筒是棱锥形的具有 $8 \sim 12$ 个边。尽管斜滚筒易于装卸，但水平滚筒更多地被采

用。因为其具有更大的容量和更佳的抛光作用。滚筒用钢制成，且镶有木制、橡胶、毛毡等制成的衬套。水平滚筒速度范围为 $20 \sim 38 \text{ r/min}$ 。这取决于滚筒的容量及待研物的多少。在干法滚光中，滚筒的速度通常保持在 $28 \sim 32 \text{ r/min}$ 。

装于滚筒内的零件数量取决于滚筒的大小、零件的大小、形状、重量、易损性和最终的精度要求。

一般来说，简单形状如球形，方形易于滚研且少有损坏；同样数量的轻型零件比重型零件更容易进行滚研加工；形状相似或大小相近的零件比形状复杂或大小悬殊的零件更易于滚研加工。加工的对象决定了加工的数量，如果滚筒内的零件数量合适，可获得好的加工表面，如果滚筒内的零件数量过少，则残留物去除慢。

滚筒的旋转速度非常重要，若转动太快，则得不到所希望的摩擦作用，相反却易于造成零件的损坏。因为滚筒转速快，零件则被带到滚筒上部后又落下来，这可导致很大的冲击而损坏塑料零件。然而，转速过低又不能在零件间产生足够的摩擦。为解决这一矛盾，振动滚研和高速行星运动滚研方法快速发展起来，有效地提高了研磨作用。但聚乙烯，聚丙烯零件很难用滚研方法去除飞边。

二、塑料的喷丸加工

塑料的喷丸加工是用数以百万计的细小喷丸喷射或轰击模塑件，用冲击力去除飞边的方法。通常有两种喷射方式，一种方法是用压缩空气推进喷丸，另一种是用高速转轮发射喷丸。喷丸通常是厚度不超过 $0.15 \sim 0.20 \text{ mm}$ 的塑料颗粒和农作物粒籽，如坚果壳和水果核等。喷丸轰击时要有足够的能量才能去除飞边，所以一定要注意喷丸不能有尖角或易破裂出尖角，以免划伤塑料工件。

喷丸速度可根据喷丸的大小和种类在 $3000 \sim 4200 \text{ m/min}$ 之间变化。速度越大，表面越粗糙、喷丸的损坏也越大。

去除热固性塑料零件的飞边很容易。然而当材料变软时，喷丸加工变得很困难。在塑料工件去飞边加工中，最好使用冷却介质，如干冰，以降低材料的温度使其变脆。

塑料件的飞边与模具的结构设计有关，因此使用正确设计的模

具,可以使零件形成的飞边非常薄,有时稍微改变一下模具设计,就可以使精加工成本大大降低。

总之,在合适的条件下,塑料的喷丸加工比滚研加工还要经济。当需要加工有星彩的表面时,用磨粒的喷丸加工对塑料也非常有效。

第五节 塑料的热处理

塑料的热处理系指将塑料制件加热到大于它的玻璃化温度以上的某一温度,保温一段时间,然后在相应的介质中逐渐的冷却至室温的工艺过程。塑料热处理的目的:减小和消除制件的内应力,避免使用时产生变形和裂纹;对于结晶性塑料,热处理可以提高结晶度,因而可以提高塑料的各种性能;可使塑料质地密致,尺寸收缩完全,使尺寸稳定;热固性塑料经过热处理后,可使其固化更趋完全,提高基材和树脂的粘结牢固性。例如,通过挤压法生产的无定型塑料管,如若不进行热处理,在使用过程中在一定温度下甚至在室温时,往往要发生收缩,使长度不断缩短。当收缩应力大于塑料管强度时,则开裂破坏。如将塑料管在使用前进行热处理,既可消除内应力,又可收缩完全,从而防止了使用中可能发生的应力开裂和尺寸不稳定。

某些典型的结晶性塑料,其定型后结晶会引起尺寸变化和由收缩不均匀造成翘曲等缺陷。塑料的这种缺陷可通过控制成型加工条件或把塑料件置于模型中或自由状态下进行热处理得以矫正。但有些塑料,例如聚碳酸酯、均聚甲醛和 PPO 等易形成较大的内应力,往往用热处理方法不能消除内应力,并有时会损伤材料,应特别注意。热处理层压塑料时,为了防止温度过高而脱层,应在垂直层的方向加力。某些塑料的热处理温度、保温时间和热处理介质可在表 8-7 中查得。

表 8-7 某些塑料的热处理工艺

塑 料 名 称	加热温度/℃	保温时间/h	热处理介质
聚甲醛、尼龙	150	0.4	油
聚丙烯酸酯	80 ~ 95	< 0.8	空气
聚碳酸酯	130 ~ 135	0.8	水
聚苯醚	120	0.4	甘油

参 考 文 献

- 1 丁浩主编. 塑料加工基础. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- 2 [英] A.B. 格兰维尔. 塑料工程手册. 北京: 轻工业出版社, 1975
- 3 栾华编. 塑料二次加工基础知识. 北京: 轻工业出版社, 1984
- 4 工程塑料应用. 上海: 上海人民出版社, 1971
- 5 周泽华主编. 金属切削原理. 上海: 上海科学技术出版社, 1985
- 6 袁哲俊主编. 金属切削刀具. 上海: 上海科学技术出版社, 1985
- 7 范忠仁, 陈世忠编. 刀具工程师手册. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1985
- 8 Akira Kobayashi. Machining of Plastics. ROBERT E. KRIEGER PUBLISHING CO. INC., 1981
- 9 习宝田编著. 木材切削. 北京: 中国林业出版社, 1986
- 10 乐兑谦主编. 金属切削刀具. 北京: 机械工业出版社, 1993
- 11 范忠仁编著. 非金属切削刀具. 北京: 机械工业出版社, 1990
- 12 杨广勇, 王育民编著. 金属切削原理与刀具. 北京: 北京理工大学出版社, 1994
- 13 范忠仁, 陈世忠. 工程塑料的切削研究. 机械工艺师, 1984
- 14 范忠仁. 切削工程塑料时几何参数的选择. 东北林业大学学报, 1998, (4)
- 15 范忠仁, 董希仁. 层压热固性塑料的钻削. 机械工艺师, 1993, (3)
- 16 范忠仁, 李瑞芬. 用高速钢铣刀加工酚醛环氧玻璃纤维塑料刀具磨损的研究. 机械工程师, 1992, (4)
- 17 郭艳玲, 李瑞芬, 范忠仁. 酚醛玻璃布层压塑料钻削参数的合理选择. 机械工艺师, 1994, (12)
- 18 范忠仁. 新型塑料刀具. 机械工艺师, 1986
- 19 北京永定机械厂群钻小组著. 群钻. 上海: 上海科学技术出版社, 1982
- 20 刘淑琴编著. 木工刀具. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1984
- 21 范忠仁编. 塑料的机械加工. 第一版. 北京: 化学工业出版社, 1989
- 22 陆剑中, 孙家守主编. 金属切削原理与刀具. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 23 王允禧主编. 金属工艺学. 北京: 高等教育出版社, 1985
- 24 韩克筠编著. 金属材料可切削性与刀具. 江苏科学技术出版社, 1980
- 25 国斌主编. 汽车车身制造工艺学. 长春: 吉林人民出版社, 1985
- 26 周开华等译. 精冲技术. 北京: 国防工业出版社, 1980
- 27 范忠仁, 韩相春. 硬聚氯乙烯钻削质量的探讨. 机械工艺师, 1993, (3)
- 28 机械工程手册编委会. 机械工程手册. 北京: 机械工程手册出版社, 1978
- 29 Young, A E, Wilson J H. Plastics and Rubber Processing. 1978.
- 30 Kobayashi A. Plastics Technology. Ohm Publishing Co., 1962

- 31 Edahiro Y. Japan Plastics. 1974
- 32 李企芳主编. 难加工材料的加工技术. 北京: 北京科学技术出版社, 1992
- 33 朱派龙等. 高压水射流技术原理和应用前景. 电加工. 1997. (6)
- 34 陈传荣. 高速水喷射加工. 电加工. 1996, (6)
- 35 Schmidlin J A. Why not waterjet?. *Modern Machine Shop*. 1997, (3)
- 36 Tonshoff H K, Kros F, Marsenell C. High-pressure water peening — a new mechanical surface-strengthening process. *Annals of the CIRP*, 1997, 46 (1)
- 37 上海红军塑料厂等. 工程塑料的应用. 上海: 上海人民出版社, 1971
- 38 范忠仁编著. 金属切削原理与刀具. 哈尔滨: 东北林学院出版社, 1977
- 39 Подураев, В. Н. Тихонова, Л. Г. Резание пластмасс, москва: Машиностроение, 1969
- 40 Основский, Э. И. Суворов, В. Д. Механическая обработка и отделка изделий из пластмасс, москва: Химия, 1976
- 41 Петрова, Н. А. Механическая обработка стеклопластиков, Ленинград: ленинград, 1965
- 42 Семко, М. Ф. Механическая обработка пластмасс фрезерование. москва: машиностроение, 1965
- 43 Тихоморов, Р. А. Никольев, В. И. Механическая обработка пластмасс. москва: машиз, 1979
- 44 Булковский, П. И. Петрова, Н. А. Иашиностроение, 1969
- 45 Капиловская, М. С. Исследование режимов резания при точение гетинакса. Труды ВНИИТ Электромаши, 1962
- 46 Исеев А. И. Обработка пластических масс резанием пластические массы в машиностроение. изд. АН СССР, 1955
- 47 Кушцов, В. В. Механическая обработка термореактивных пластических. москва: ЦДНТИ, 1962
- 48 Якунин, Н. К. Подготовка круглых пил к работе. Лесная: промышленность, 1980
- 49 С. В. Егоров, А. В. Кузнецова. Рациональное фрезерование текстолита и стеклотекстолита. Вестник машиностроения. 1953, 10, с: 41
- 50 Hein H. Das. *Plastzuberbeiter*. 1968 2, S: 113 ~ 116
- 51 *Modern Plastics*. 1968, 45 (8): 124 ~ 125
- 52 Бобынин Б. Н. Техно логия штамповки Неметаллических материалов. москва: МАШГИЗ, 1962
- 53 Лдиги Г. И, Хесин А. П. Штамповка слоистых пластиков (гетинакс, текстолт). Москва: Зоткин, 1957
- 54 Бобынин, Б. Н. Штамповка листовых пластмасс. москва: МАШГИЗ, 1962