

高精度塑料零件的选材和机械加工

方 锦 贺子凯

(昆明理工大学材料与冶金工程学院,昆明 650093)

摘要 主要介绍高精度塑料零件的选材要求,研究塑料切削加工的特点,针对影响塑料切削加工质量的因素提出了具体的对策及经实践验证可改善和提高塑料切削加工质量的方法,探讨了铣切加工高精度塑料零件时的铣切工艺、铣切刀具和加工参数的选择原则。

关键词 塑料零件 选材 机械加工 铣切

随着科学技术的不断发展,在化工、电子电气、机械、仪器仪表等领域越来越多的金属零件被塑料零件所取代。塑料密度小,耐酸、碱及有机溶剂腐蚀,具有良好的绝缘性、耐磨性、减震性和自润滑性,可用于许多金属和其它非金属材料所不能胜任的场合。塑料的选材是塑料零件设计、制造的基础。在材料确定后,加工方法的选择很重要,塑料零件一般采用直接成型的方法生产,但高精度塑料零件由于几何形状复杂、尺寸精度要求较高,必须进行机械加工。加工塑料零件一般采用加工金属的设备。由于塑料的性能和金属相差较大,且塑料种类繁多,其种类不同性能有较大差异,所以塑料零件的机械加工有它自身的特点^[1]。笔者在分析影响塑料零件精度因素的基础上,提出了铣切高精度塑料零件时的铣切工艺、铣切刀具和加工参数的选择原则。

1 高精度塑料零件的选材

1.1 塑料零件的精度

塑料零件的精度是指塑料零件的实际尺寸或形状与设计尺寸或形状之间的差异,两者差异越小,说明零件的精度越高。塑料零件的精度可分为加工精度和使用精度两种。

(1) 塑料零件的加工精度 塑料零件的加工精度是指由于加工过程的原因而产生的尺寸公差或形变,这是决定塑料零件精度高低的主要因素。习惯上将塑料零件的加工精度分为8个等级,对于不同的塑料原料,其零件可达到的精度等级不同,具体可参见表1。由表1可以看出,塑料零件只能达到3级以下的精度。1、2级精度为精密级,塑料零件很难达到,一般不能采用。

(2) 塑料零件的使用精度 塑料零件的使用精度是指塑料零件在加工后产生的尺寸公差或形变。塑料零件使用精度的高低与塑料本身的性质有关,如吸水率、热膨胀性及蠕变性等。此外,应用环境对

表1 塑料零件精度等级的选用

类别	塑料名称	建议采用的精度等级		
		高精度	一般精度	低精度
A	聚苯乙烯 (PS) (丙烯腈/丁二烯/苯乙烯) 共聚物 (ABS) 聚碳酸酯 (PC) 聚苯醚 (PPO) 30% 玻璃纤维增强塑料	3	4	5
B	聚酰胺 (PA) 6、66、610、1010 聚甲醛 (POM) 氯化聚醚 硬质聚氯乙烯 (PVC-U)	4	5	6
C	聚丙烯 (PP) 高密度聚乙烯 (HDPE)	5	6	7
D	软质聚氯乙烯 低密度聚乙烯 (LDPE)	6	7	8

塑料零件的使用精度有很大影响,在高温、潮湿及外力等环境因素作用下会使其使用精度降低。

1.2 影响塑料零件精度的因素

(1) 塑料的吸水性 塑料吸水性的大小与其分子结构有关,分子中含有酯基或酰胺基结构的塑料,其吸水率偏大,如 PA、PC、POM、聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)、聚酯 (PES) 及 PPO 等。

塑料的吸水性影响塑料零件的使用精度。塑料零件在潮湿环境中使用时,由于吸水而引起尺寸增大。PA 的最大吸水率为 1.6%,而每 1% 的吸水率就会引起 1/4 ~ 1/3 的尺寸公差。

(2) 塑料的热膨胀性 热胀冷缩是物体的一般规律。衡量其热膨胀程度可用线胀系数表示。同金属相比,塑料的线胀系数大得多。例如,钢的线胀系数为 $1.2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$,而 LDPE 的线胀系数则高达 $10 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$,约为金属的 8.3 倍。因此,塑料的尺寸对温度十分敏感。

(3) 塑料的蠕变性 塑料的蠕变是指成型后的塑料零件在使用过程中由于受到应力的作用,塑料零件的形变随时间的增加逐渐增大而产生永久形变的现象。塑料的蠕变会引起塑料零件尺寸的变化,影响其尺寸精度。塑料蠕变受应力、温度及时间的影响,应力越大、温度越高、时间越长,其蠕变越大。

几种塑料蠕变性大小的顺序为: LDPE > HDPE > PA > 聚对苯二甲酸乙二酯(PET) > POM > PC > 聚砜(PSU) > ABS > PPO。

1.3 高精度塑料零件的选材原则

(1) 从塑料的吸水性考虑 对于在潮湿环境中使用的塑料零件,湿度会影响高吸水性塑料零件的精度。因此,应尽可能选择低吸水性塑料,如 LDPE、HDPE、PP 及聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)等,而不宜选用高吸水性塑料,如 PA、POM 及聚丙烯腈(PAN)等。

(2) 从塑料的热膨胀性考虑 对于在高温环境中使用的塑料零件,塑料线胀系数的大小对其精度影响较大。因此,对高温下使用的高精度零件,应尽可能选择线胀系数小的塑料,如 PVC、PA1010、PC、PBT、聚酰亚胺(PI)、PES、PSU、聚苯硫醚(PPS)、PPO、聚四氟乙烯(PTFE)、聚苯酯等及热固性塑料。

另外,对塑料进行填充和增强改性可明显降低塑料的线胀系数,从而提高其零件精度。填充和增强改性一般可使其线胀系数降低 50% ~ 80%,如 PC 中加入 30% 的玻璃纤维,其线胀系数可由 $7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ 降低到 $3 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$,下降 60% 左右。

(3) 从塑料的蠕变性考虑 在使用环境中受重载荷作用的塑料易产生较大的蠕变。塑料的蠕变值越大,其零件产生的形变越大,精度越低。因此应选用蠕变值小的塑料加工高精度塑料零件,如 PSU、ABS、PPO、PI、PPS、聚苯酯、聚醚醚酮(PEEK)及热固性塑料等。尽可能少选 HDPE、PA、PET、POM、PC 及氟塑料等,它们的蠕变值都比较大。另外,填充和增强改性可明显降低塑料的蠕变性,提高零件的精度。因此,加工高精度塑料零件时应尽可能进行填充和增强改性。

2 塑料零件的机械加工

由于塑料的物理、力学性能与金属有较大的差异,所以塑料零件的加工机理与金属零件的加工机理不同,这样就使得切削参数、刀具材料等的选择原则也有较大的区别。笔者通过分析塑料的性能对其切削加工性的影响,以及切削参数对工件加工质量

和刀具使用寿命的影响,提出了切削参数合理选择的原则^[2]。

2.1 铣切工艺的选择

(1) 粗、精加工分开 对加工精度要求较高的塑料零件,粗、精加工应分开进行。即粗铣时按效率优先的原则,尽可能在允许的变形范围内选择能提高生产效率的加工参数,但必须保证留 0.1 mm 左右的加工余量用于精加工。精铣的工艺方法可保证零件的表面粗糙度。精铣时,应选择高转速、低进刀量、低进刀速度、大后角铣刀以保证零件的表面质量。粗、精加工分开,可避免因粗加工引起的各种变形,包括粗加工时夹紧力引起的弹性变形、切削热引起的热变形及粗加工后内应力重新分布引起的变形;对于某些零件,工艺分得更细,应增加数道半精加工工序,目的是为了保持零件的精度及尺寸稳定性。另外,粗、精加工分开,加工设备也可得到合理的使用,即粗加工机床可以充分发挥其效率,精加工机床可长期保持机床的精度。

(2) 粗、精加工之间增加去应力工序 内应力是引起塑料零件变形的主要因素之一,为了防止零件变形,除应严格进行热处理,即将塑料零件加热到高于它的玻璃化转变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冷却至室温,使零件具有较好的内部组织外,在粗、精加工之间,最好增加一道去应力工序以最大限度地消除零件内部的应力。去应力后的零件在随后的精加工中能够较好地保证形状和尺寸要求。

2.2 铣切刀具和加工参数的选择

(1) 铣刀 刀具材料主要有高速钢、硬质合金、金刚石等。铣切热塑性塑料时,可选用前两种材料的刀具。加工玻璃纤维增强塑料时,宜选用金刚石材料的刀具。比较而言,采用高速钢的刀具比采用其它材质的刀具更锋利,但其使用寿命低于硬质合金刀具。

(2) 铣刀前角和后角

铣刀前角的大小直接影响铣切效果。前角大可减小切削变形、切削力及切削热,降低切削温度,减小刀具刀口钝圆半径,使刀刃锋利,同时能提高塑料零件的加工质量。但前角过大会削弱刀具的强度,使刀具的使用寿命和零件加工质量降低,不利于加工过程中产生的热量散发,造成刀具和零件温度升高。因此合理选择刀具的前角很重要,应综合考虑塑料品种、刀具材料及加工性质 3 方面的因素^[3]。

试验证明,加工塑料零件时,随刀具前角的增大,切削阻力会减小,这是因为大多数塑料的压缩强度大于拉伸强度,从力学角度分析,刀具的前角越大,塑料越易发生拉伸断裂。故加工塑料零件时,刀具前角应选大些;但加工玻璃纤维增强塑料等时,冲击力较大,为保证刀具强度,前角应取小些,甚至取负值。

刀具材料不同,前角的选择也不相同。高速钢的弯曲强度和冲击韧性较大,可承受较大的切削力,前角可取更大的数值,以减小切削力。铣切工艺不同,前角的选择也不同。粗加工时,切削深度和进给量都较大,造成切削力大,为减小切削力,前角应大些;精加工时,铣切速度一般较高,产生的切削热较大,为改善刀具的散热条件,降低切削温度,前角可取小些。

铣刀后角的大小对铣切效果的影响也较大。后角取大值可减少刀具后刀面与塑料零件之间的摩擦,并能使刀具刃口的钝圆半径减小,刃口锋利,易切入零件。但后角过大会使刀刃强度降低,刀具散热能力下降。选择铣刀后角主要考虑切削厚度,切削厚度大(如粗加工),切削力大,为减小切削力并保证刀具有足够的强度,前角应取大值,后角应取小值;切削厚度薄(如精加工),摩擦及刀具磨损主要发生在后刀面上,且切削力不大,刀具强度足够,后角应取大些以减小后刀面的摩擦,减少切削热,并使刀刃锋利。铣切塑料常用铣刀的前、后角见表2。

表2 铣切塑料常用铣刀的前、后角

塑料名称	前角 / (°)	后角 / (°)
PVC-U	10 ~15	10 ~15
PTFE	0 ~15	15 ~30
POM	0 ~15	10 ~25
聚丙烯酸酯	0 ~10	10 ~25
PA	5 ~15	5 ~10
PC	0 ~10	2 ~5
PS	0	0 ~5

(3) 铣切速度 由于塑料的线胀系数大,热敏性强,加工中铣刀与零件会摩擦生热,对于一般塑料

而言,采用油冷或水冷方法可以达到散热的目的,但是在受热情况下一些吸水性较强的塑料如 PA 或 POM 不能采用油冷或水冷的方法,只能通过控制铣刀的转速来控制生热量以减小变形。

高转速有利于塑料零件表面加工粗糙度的改善,但由于摩擦热与转速成正比,因此转速越高,生热量越大,塑料的受热变形也越大,尺寸稳定性就越低。铣刀旋转速度慢,生热量小,零件变形小,但铣切加工零件表面质量差,生产效率低。经过反复试验证明,选择 600 ~1 200 r/min 的铣刀转速能保证铣出的零件表面粗糙度好,并且变形小。

(4) 铣刀进给量和切削深度^[4] 铣刀进给量和切削深度增大,可缩短铣切加工时间,提高生产效率。但随着进给量和切削深度的增加,切削力会显著增大,易使塑料零件产生变形,影响加工质量,甚至使零件报废。塑料零件表面粗糙度还会随进给量的增大而增大,故应选择合适的进给量和切削深度。铣切塑料常用铣刀的进给量和切削深度见表3。

表3 铣切塑料常用铣刀的进给量和切削深度

塑料名称	切削速度 / mm · min ⁻¹	进给量 / mm · r ⁻¹	切削深度 / mm
POM	120 ~180	0.1 ~0.25	0.12 ~0.5
PA	150 ~180	0.05 ~0.38	0.12 ~0.5
PC	150 ~300	0.12 ~0.5	0.12 ~0.5
PTFE	90 ~225	0.05 ~0.25	0.12 ~0.5
PS	230 ~300	0.03 ~0.1	0.12 ~0.5

3 结语

在加工高精度塑料零件时,应根据塑料的性能、加工条件及加工要求,选择合适的刀具材料,合理选择刀具的参数,从而减小切削力,降低切削温度,保证加工质量,提高生产效率。

参考文献

1 王文广.塑料材料的选用.北京:化学工业出版社,2001.
2 潘祖仁.高分子化学.北京:化学工业出版社,1997.
3 韩荣第,于启勋.难加工材料切削加工.北京:机械工业出版社,1996.
4 杨国文.塑料材料.成都:成都科技大学出版社,1987.

MATERIAL CHOOSING AND MACHINING OF HIGH ACCURACY PLASTIC PARTS

Fang Jin, He Zikai

(Faculty of Materials and Metallurgical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

ABSTRACT The request to choose material for high accuracy plastic parts are mainly introduced. The cutting characteristics of plastics are researched, and the concrete countermeasures are put forward according to factors influencing cutting quality. The practiced methods to enhance cutting quality of plastics are also introduced. The principles of choosing milling technology, cutting tool and machining parameters are discussed.

KEYWORDS plastic part, material choosing, machining, milling