

影响注塑制件内应力的因素

吴利英

(中国电子科技集团公司第 39 研究所, 西安 710065)

摘要 分析影响注塑制件内应力的主要因素, 针对造型设计、注塑机选用、模具设计、机械加工、注射成型工艺条件给出了相应的解决办法, 并指出热处理是降低或消除注塑制件残余内应力, 使其内部结构加速达到稳定状态的一个有效措施。

关键词 注塑制件 内应力 因素 成型工艺 热处理

塑料由于具有质量轻、比强度高、耐磨损、消音减振、电性能好及便于成型加工等优点, 在许多领域得到了广泛应用。但注塑制件有一个普遍存在的缺点, 即内应力。内应力的存在不仅会引起制件翘曲变形甚至开裂, 也会影响注塑件的光学性能、电学性能、物理力学性能和表面质量, 因此找出各种成型因素对注塑制件内应力影响的规律性, 以便采取有效措施减小制件的内应力, 并使其在注塑制件断面尽可能均匀地分布, 这对提高注塑制件的质量具有重要意义。特别是注塑制件在使用条件下要承受热、有机溶剂和其它能加速其开裂的腐蚀介质时, 减小注塑制件的内应力对保证其正常工作具有更加重要的意义。

1 影响注塑制件内应力的因素分析

注塑制件的造型设计不合理、模具设计不合理、成型工艺条件不正确、注塑机选用不当等都会使注塑制件内存在比较大的内应力。影响注塑制件内应力的因素很多, 也很复杂, 主要影响因素如图 1 所示。

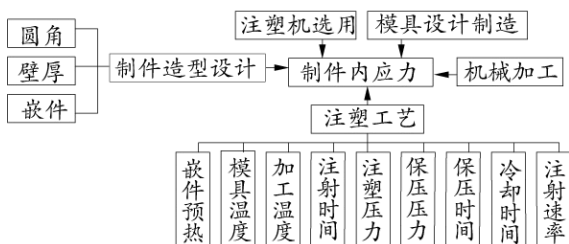


图 1 影响注塑制件内应力的主要因素

1.1 造型设计

(1) 圆角

注塑制件除了使用上要求采用尖角外, 各表面相交处应尽可能采用圆弧过渡。由于注塑制件形状和截面变化易使注射过程中熔料在尖角处的流态发生急剧变化而产生大的应力, 并残留在尖角处, 在有载荷或受冲击时会发生破裂, 甚至在脱模过程中由

于模塑内应力而开裂, 特别是注塑制件的内角处更易开裂。通常, 采用 $R 0.5 \text{ mm}$ 的圆角就能使注塑制件的强度大为增加。理想的内圆角半径应有壁厚的 $1/4$ 以上, 外圆角半径可取壁厚的 1.5 倍。

采用圆弧过渡既可以减小应力集中, 还可大大改善塑料的充模特性, 避免在转角处因受冲击而形成波纹或充不满模腔。

注塑制件设计成圆角, 使得模具型腔对应部位也呈圆角, 这样增加了模具的坚固性, 注塑制件的外圆角对应着型腔的内圆角, 它使模具在淬火或使用不致因应力集中而开裂, 提高了模具的使用寿命。但是在注塑制件的某些部位如分型面、型芯与型腔配合处等因不便做成圆角而只能采用尖角^[1]。

除相交表面的尖角外, 尖锐的螺纹牙也是严重的应力集中源, 采用倒圆角的螺纹可减少应力集中, 提高螺纹强度。

(2) 壁厚^[2]

注塑制件壁厚是结构设计时所要考虑的重要因素, 不合理的壁厚会给注塑制件带来很多缺陷。增加壁厚既可改善树脂的充模特性, 又可降低取向应力, 减小变形, 提高制件强度, 但同时收缩加大, 保压和冷却时间加长, 生产效率降低, 消耗材料多。较大的收缩应力还将造成制件表面产生凹陷或内部出现缩孔与气泡, 既影响外观又降低了强度; 如果注塑制件壁太薄, 会降低强度, 脱模时易破裂, 还不利于树脂的充模流动, 造成填充不足或出现明显的熔接痕, 严重影响制件质量。每种塑料根据充模能力都有一个最小壁厚。确定壁厚时在满足强度要求的前提下, 壁厚尽量取薄些, 可节省材料, 减轻注塑件重, 降低成本。

壁厚设计还应注意均匀一致, 否则将会由于收

缩应力引起注塑制件的翘曲、扭曲变形。同一制件中,若必须存在壁厚相差较大的情况时,连接处应逐渐过渡,避免截面的突变。

(3) 金属嵌件

由于金属嵌件冷却时尺寸变化与塑料的热收缩率相差很大,因此易使嵌件周围产生很大的内应力而造成注塑件开裂,某些高刚性的工程塑料如聚碳酸酯这种现象更明显。对于弹性和冷流动性大的塑料嵌件周围产生的内应力则较低。

为降低嵌件周围的内应力,应选用与塑料线胀系数相近的金属作嵌件,嵌件周围的塑料应有足够的厚度,顶部也应有足够厚的塑料层,并且嵌件不应带尖角、锐边。热塑性塑料注射成型时,将金属嵌件预热到接近物料的温度,可减小由于金属与塑料线胀系数不同而产生的收缩应力。对于内应力难以自消的塑料,可先在嵌件周围被覆一层高聚物弹性体或在成型后进行退火处理来降低内应力。在注塑制件注射成型后再装配或压入嵌件,可调节因嵌入嵌件而造成的内应力值,使制件不致破裂。

1.2 注塑机选用

注塑机选用不当,也会产生内应力。那种认为使用大容量注塑机成型小模具中的制件会减小内应力的说法是不正确的,有时会因为压力过高、喷嘴结构不合适造成较大的内应力。

1.3 模具设计

模具浇注系统和顶出机构设计不当都会使制件产生内应力。

(1) 浇注系统

模具浇注系统设计不合理如浇口大小不合适、流道太窄、主流道太长、浇口位置不合理都会造成内应力。

浇口尺寸太大,补料时间就会延长,会增大大分子的冻结取向和冻结应变,造成很大的补料内应力,特别在浇口附近内应力更大。小浇口的适时封闭能正确地控制补料时间,但浇口尺寸也不宜太小,过小的浇口会造成太大的流动阻力,也会造成取向应力。

主流道太长、流道太窄和流道槽方向的急剧转折都会使流动阻力增大,从而使进料时间延长,因此需增大注塑压力和保压压力,导致制件产生更高的取向应力。

浇口位置的选取除考虑制件外观和熔接痕外,还应尽量减少在流动方向上由于充模和补料而造成的定向作用。

(2) 顶出机构

顶出机构设计不当,使脱模力不平衡或型芯表面在脱模过程中形成真空或施加过大的脱模力,都会造成塑料制件产生强迫高弹形变形成内应力,甚至龟裂,严重时发生开裂。龟裂和开裂看上去相似,本质上有区别。龟裂不是空隙状的缺陷,同所加应力成平行方向排列,经过加热又能恢复到无龟裂的状态,所以能用热处理方法解决:把塑料制件置于低于热变形温度 5°C 左右充分加热约 1 h ,缓冷到室温。注射成型后立即热处理效果较好。防止顶出产生内应力需改善脱模条件,如仔细砂光型芯侧面;增加出模斜度;平衡顶出力;顶杆应布置在脱模阻力最大的部位如型芯凸台附近,以及能承受较大顶出力的部位如加强筋、凸缘、注塑制件端面等^[3]。

1.4 机械加工

热塑性塑料注塑件,除为切除大浇口冷凝料需进行锯、车和铣等机械加工外,当制件尺寸精度和形位公差要求很高而无法通过模具设计与调整工艺条件得到保证,或注塑制件上有难以一次成型的形状(如小而深的孔和螺纹等)时,成型之后也需要进行机械加工。常用的机械加工工艺有车、铣、刨、钻、锯、铰孔和攻螺纹等。由于塑料的粘弹性、散热差,会使塑料制件内部产生内应力,因此加工时应用专用刀具、采用较低的切削速度、小切削量和低进给速度,还应保证充分冷却,夹持时夹紧力不可过大。对于易产生内应力的注塑制件应进行热处理。

1.5 注射成型工艺条件^[4]

注塑制件由于成型工艺特点不可避免地存在内应力,但工艺条件控制得当就会使内应力降低到最小程度,保证制件的正常使用。相反,如果工艺控制不当,就会存在很大的内应力,不仅使塑料制件强度性能下降,而且在储存和使用过程中出现翘曲变形甚至开裂。需要控制的工艺条件有嵌件预热、模具温度、加工温度、注射速率、注塑压力、保压压力、注射时间、保压时间、冷却时间等。

(1) 金属嵌件预热

热塑性塑料注射成型时,应将金属嵌件预热到接近物料的温度,预热金属嵌件的目的在于减小金属与塑料冷却时收缩值的差距,从而降低由于二者线胀系数的不同而在嵌件周围产生的收缩应力。收缩应力是注塑制件内容易形成的内应力之一,这种内应力的存在,是带金属嵌件的注塑制件出现裂纹和强度下降的重要原因。实践表明,并非所有制件

之金属嵌件都必须在放入模具之前预热, 生产上只是在加工易产生内应力的塑料(如聚苯乙烯、聚碳酸酯、聚砜和聚苯醚等)制件或嵌件的尺寸较大时才需预热嵌件。

(2) 模具温度

提高模具温度,可以降低因内外收缩不均而产生的体积温度应力和大分子取向应力,也可以降低结晶塑料制件的结晶应力。但模温也不能过高,模温升高使冷却时间延长,降低了生产效率,同时封口压力降低。长时间冷却可能使启模前在制件内部形成负压,即由于冷却收缩使制件内外层之间产生了拉应力。此时就需要提高封口压力,为此必须延长保压补料时间,但会降低生产效率。

(3) 加工温度

提高加工温度可降低取向应力,但同时会使因收缩不均而产生的体积温度应力增加,同时也使封口压力升高,延长冷却时间才能顺利脱模。

(4) 注塑压力、注射速率和注射时间

增大注塑压力使取向应力和结晶塑料的结晶应力增加,同时使封口压力增大,也必须延长冷却时间才能顺利脱模,否则会造成脱模应力。但对聚苯乙烯和其它一些冷凝快的塑料还是用高的注射速率充模较为有利,因为冷凝快的塑料慢速注射需要更高的注塑压力来维持熔体的流动;注射时间不宜太长,模腔充满以后就相当于在注塑压力下保压了,也会使制件的取向应力增加。

(5) 保压压力和保压时间

冷却中的熔体在外压作用下产生的总形变中,有相当大一部分是弹性的,故使熔体在高压下冷凝会在制件中产生较大的内应力和大分子取向。压实后立即降压或补料过程中分步降压有利于大分子解取向,所以降低保压压力和缩短保压时间有利于取向应力的降低;延长保压时间仅在一定范围内取向度增大,浇口封闭之后再延长保压时间对取向度的变化就不再影响。虽然大分子的取向在充模和补料的时间内都能进行,但试验表明,非晶态塑料注塑制件内的取向主要是在充模时间内产生的,补料时产生的附加取向在总取向度中所占的比例较小,而结晶塑料如聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺和聚甲醛等则有所不同,制件内总取向度中补料时产生的附加取向所占比例较大。

(6) 冷却时间

当注塑压力、保压压力、熔体温度升高,浇口尺

寸较大时都会使封口压力升高,这时必须延长冷却时间才能使启模前模腔内的残余压力降到很低或接近于零,否则要将制件顺利地模具内顶出是很困难的。若强制脱模,制件在顶出时会产生很大的应力,以致制件可能被划伤,严重时会出现破裂。但冷却时间也不宜过长,否则不但生产效率低,而且制件内部压力降到零以后进一步冷却可能在制件内部形成负压,即由于冷却收缩使制件内外层之间产生拉应力。

合适的开模条件主要由模腔内的压力和温度来决定。必须将制件冷却到塑料的热变形温度以下,使其在启模之前有足够的强度和刚度。另外在启模之前还必须使模腔内的压力降至某个极限值之下(这个极限值一般由试验确定),就可以避免制件在顶出过程中发生划伤或破裂。

2 注塑制件内应力的消除方法

在注射成型或机械加工之后及时对注塑制件进行热处理,是降低或消除其内应力,使其内部结构加速达到稳定状态的一个有效措施。对于要求强度高、尺寸稳定性好的工程塑料制件,在加工过程中往往要进行不只一次的热处理。

热处理的方法是在加热介质中先将温度从室温升到一定温度(这个温度常称为热处理温度或退火温度),使制件在此温度下保持一定的时间,然后缓慢地冷却到室温。影响热处理效果最重要的工艺因素是热处理温度和热处理时间。在理论上热处理温度越高、热处理时间越长,制件的内应力就能在更大程度上被消除,其内部结构也就愈趋于稳定。但实际操作时温度却不能太高,温度过高容易引起制件在热处理过程中翘曲变形。一般认为,热塑性塑料注塑制件的热处理温度以低于热变形温度 5~10℃为宜。热处理时间则主要与塑料的性质与制件壁厚有关,高聚物大分子链的刚性愈大,制件的壁愈厚,需要进行热处理的时间就愈长。

正确选用加热介质对达到满意的热处理效果也很重要。用空气作为加热介质,有操作简便和处理后不需要清洗等优点。但空气热传导效率低,制件不容易加热均匀,并且还容易引起尼龙类和聚甲醛等塑料氧化变色。高沸点油作为热处理介质有传热快、制件加热均匀等优点,但操作比较麻烦,而且处理后的制件上存留的油斑有时很难除去。吸水性强的尼龙类塑料制件用水或乙酸钾的水溶液(沸点可达 121℃)作热处理介质比较好。用这种介质既有

利于防止制件在热处理过程中氧化变色,又能使其加速达到吸湿平衡。

热处理不一定能达到理想的效果,只能作为一种辅助工序,完全依靠热处理防止应力开裂的做法不可靠。必须从影响注塑制件内应力的几个主要因素方面采取有效措施,结合热处理方法才能取得满意效果。

参考文献

- 1 北京化工学院. 塑料成型模具. 北京: 中国轻工业出版社, 1987.
- 2 于同敏, 路全胜, 徐文波. 影响注塑制件设计的因素分析. 塑料科技, 1992(6): 39
- 3 陈中一. 实用塑料成型及故障处理手册. 上海: 上海科技文献出版社, 1993.
- 4 西北工业大学. 塑料成型工艺学. 西安: 西北工业大学出版社, 1988.

FACTORS EFFECTING INTERNAL STRESS OF INJECTION MOLDING PRODUCTS

Wu Liying

(The 39th Institute of CETC, Xi'an 710065, China)

ABSTRACT The main factors effecting internal stress of injection molding products are discussed. The measures that should be taken are provided in allusion to different instances such as appearance design, select of injection molding machine, moulding conditions. And it is pointed out that heat treatment is an effective way to decrease or clear off the residual internal stress and accelerate to the stabilized status of internal structure.

KEYWORDS injection products, internal stress, factors, molding technology, heat treating

PolyOne 加强开发和工业化生产 PP 纳米复合材料

美国 PolyOne 公司在 2004 年 3 月推出 PP 纳米复合材料 Maxxan LST 后, 计划进一步开发和生产更多牌号以满足市场需求。PolyOne 公司与纳米粘土生产厂 Nanocor 公司合作开发 PP 纳米复合材料, 目前仅有 1 个通用牌号 Maxxan LST 5571, 计划未来几个月内将推出高刚性和高耐热性牌号, 目前主要在美国生产, 未来 6 个月内在欧洲也将开始生产, 并在 2004 年夏季宣布 Maxxan LST 5571 第一个工业化应用成果。PP 纳米复合材料应用市场为汽车外装饰和仪表板材料。此外, 小型器具外壳和电动工具厂家对 PP 纳米复合材料良好的刚性和耐冲击性也十分感兴趣。目前 Maxxan LST 价格是标准 PP 的 3 ~5 倍。(唐伟家)

高流动性注塑级 K 树脂

美国 Chevron Phillips 化工公司新推出 2 个高流动性注塑级 K 树脂[(乙 烯/苯乙烯) 共聚物], 牌号为 BK-10 和 BK-15, 在同样加工温度和压力下比以前牌号的注塑流动长度长 20%。BK-10 和 BK-15 都具有良好的刚性、韧性、表面光泽和像玻璃一样的透明度, 着色性都良好。另外, BK-15 有良好的脱模性, BK-10 和 BK-15 断裂伸长率为 200%, 柔软性良好, 熔体流动速率为 15 g/10 min, 能成型长宽比大的长型薄壁制品。制成的医疗制品耐 γ 射线或电子束辐照, 可与环氧乙烷接触, 已通过美国 FDA 21 CFR 177.1640 法规要求, 符合美国药典 VI-50 级对材料质量的要求, 这对 OEM 和医疗器械厂都是十分重要的。(唐伟家)

北京普利宏斌化工材料有限责任公司

本公司为中科院化学所关系企业, 技术力量雄厚; 是美国大湖化学公司(世界上产量领先的溴系阻燃剂生产厂)在中国(港澳台地区除外)的经销商。在北京、上海、广州设有仓库, 常年提供现货服务!

1. 阻燃剂: 十溴联苯醚(DE-83R)、十溴二苯乙烷(环保阻燃剂)、四溴苯酐、四溴双酚 A(适于 ABS)、聚溴化苯乙烯(PBS-64HW)(适于尼龙, 热稳定性好, 不析出)、苯氧基四溴双酚 A 碳酸酯齐聚物(BC-58/BC-52)(适于 PC/PBT/PET/PC/ABS 合金, 且热稳定性好)、磷酸酯系列(无卤阻燃 PC 用)阻燃剂、三氧化二锑(闪星牌)、偏锑酸钠。

2. 抗氧剂和光稳定剂: 1010、168、DLTP、UV531、UV944、UV770、UV328。

3. 弹性体及界面相容剂(进口): 乙丙胶、POE、SBS、EMA、EAA、ACR、聚酯弹性体 TPEE、超韧尼龙增韧剂、PC/ABS 合金相容剂、接枝 PP、接枝 PE。

4. 其它各种工程塑料及化工材料。

地址: 北京市海淀区上地信息路 1 号国际科技创业园 1 号楼 802 室 邮编: 100085

电话: (010) 82895069 82895070 82895071 82895072 传真: (010) 82895068

http://www.polyadd.com E-mail: ustczh@sina.com sales@polyadd.com