

塑料滚塑制品缺陷分析及解决方案

徐洪波¹ 许迎军² 何杰¹ 肖德凯¹ 赵红玉¹ 吴 旻¹ 刘苏芹¹

(1. 中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031; 2. 山东九阳小家电有限公司, 济南 250118)

摘要 简要介绍了旋转滚塑成型的方法和用途, 指出了研究并解决滚塑制品缺陷的目的和意义。通过对滚塑制品较常见的几种缺陷的形成原因进行分析, 从制品原材料、模具结构设计、滚塑成型工艺等方面提出了旋转滚塑成型的基本要求, 同时提出了为获得高质量滚塑制品时应避免或减少各种缺陷的解决方案。

关键词 滚塑 旋转模塑 缺陷 成型工艺

滚塑成型工艺又称旋转模塑或旋转成型, 该成型方法是将模具沿两垂直轴不断旋转并使之加热, 模具型腔内的塑料在重力和热的作用下逐渐熔融粘附于模具型腔表面上, 经冷却定型后制得塑料制品。滚塑成型工艺常用于生产中空无缝、具有复杂形状的塑料制品, 在化工、机械、电子、轻工和军工等行业有广泛应用, 如摩托车、汽车等车辆燃油箱、储物箱、大中型中空容器、汽车零部件、耐腐蚀容器内胆等, 近年来也逐渐用于各种民用或军用产品包装箱、运输箱等制品的生产。

目前, 来自国外的大多数滚塑制品订单都直接表明采用线性低密度聚乙烯(LLDPE)滚塑专用料进行滚塑成型, 制品多是对滚塑技术要求较高的不同规格的清洗机外壳、割草机外壳、货物运输箱、储物箱、各种机械电子包装箱、内部有发泡层的双层保温箱、汽车零部件等。我国的滚塑成型技术和滚塑模具加工技术迅速提高, 但在滚塑产品设计环节方面与欧美相比尚存在差距。

滚塑成型工艺对制品质量起非常重要的作用。当产品设计、模具设计制造完毕后, 易导致制品缺陷的模具结构通常不会轻易改变, 从成型工艺上来设法解决滚塑制品缺陷就显得比较重要。目前国内介绍有关滚塑制品设计和滚塑工艺的资料较少, 产品设计者或工程制造者多数靠实际经验来设计、生产, 往往会给设计、生产带来不必要的麻烦。研究分析滚塑制品缺陷成因及解决方案, 对提高滚塑制品和滚塑模具结构设计技术水平具有重要意义。

1 滚塑制品缺陷分析及解决方案

1.1 气泡或孔洞

(1) 成因分析

滚塑时模具内的物料在受热过程中, 随模具的转动逐渐熔融、流动、粘附在热的模具内表面, 模具内部空气受热体积膨胀, 气压升高, 通过通气孔逐渐

向模具外部流动, 直至模具内外空气压力平衡, 反之亦然。同时, 模具型腔内保持着一定压强。在树脂熔融致密化的过程中, 滞留在粉末颗粒之间的气体被挤向塑料熔体的自由表面, 但由于熔体表面张力的存在, 气体不足以脱离熔体表面易形成气泡, 从而形成制品内表面的气泡和外表面的气孔, 严重情况下形成较大的孔洞^[2-3]。

如果熔体流动性好、模具升温速率慢、模具通气孔通畅, 则熔体中的气体可以顺利地逸出, 反之则熔体中的气体易滞留形成制品缺陷。当模具合模不严, 模具加热过程中型腔中的一部分气体会通过合模部位的缝隙向模具外部流动, 致使在模具相应部位的产品内部产生气孔或气泡; 在模具冷却过程中, 如果模具闭合不严, 因模具内外存在空气压力差, 空气会通过合模部位(分型面处)的间隙进入模具内, 在制品的外部产生气孔, 见图1。



图1 较小气孔

孔洞的形成还与粉末颗粒的形状有关。当聚乙烯(PE)粉末颗粒带有细长尾巴或呈毛发状时, 在堆积过程中会形成搭桥, 滞留较多的空气。特别是在模具的拐角处, 粉末的搭桥会导致较大的孔洞形成^[3], 见图2。

(2) 解决方案

①调整通气管或起相同作用的金属乱丝卷制的长条至模具内部适当距离。通气管一般采用薄壁的金属氟塑料管, 其直径由制品尺寸和物料性能决定



图2 较大孔洞

(一般薄壁制品按每立方米模具设定 10 ~12 mm 孔径)^[4],管子长度根据制品型腔深度应保证其末端伸入到模腔中心或到合适位置。为避免模具旋转时树脂粉末从排气口溢出,通气管内要用玻璃丝、钢丝绒、石墨粉等充填。②模具适当缓慢升温、提高炉温(熔融温度)或延长加热时间,确保物料充分熔融和气体排出。③在模具内表面涂覆特氟龙(聚四氟乙烯)涂层替代各种脱模剂,保持模具内部干燥。④如果是嵌件因素影响,可对嵌件及其周围部分区域进行预热。⑤在产品、模具设计过程中,充分考虑以下有利于消除气泡或气孔的措施:采用熔体流动速率(MFR)较高的物料、采用密度较低的物料、改善模具壁厚均匀性、延长自然冷却时间、延缓喷雾(喷水)冷却^[1]、制品上的凸筋或突出部位不宜过窄或过高(对应于模具上的凹槽不能太窄、太深)等。

1.2 树脂包覆不良

(1) 成因分析

滚塑制品上一般有许多金属镶嵌件,通过滚塑形成制品上的一部分,以增强制品局部强度。在滚塑时,嵌件相当于模具上的一部分,使得此处模具壁厚增加,嵌件末端不易获得与模具同样的温度,导致嵌件上的树脂包覆不良。尤其是大型嵌件,如果嵌件结构设计不合理,使得嵌件传热性能不良,不能获得与模具同样的温度,更易导致树脂涂覆不均或达不到设计要求,降低嵌件与制品结合的程度。

旋转滚塑成型的转速通常较低,不同于制作铸型尼龙产品的离心浇铸,嵌件相对制品表面太高时出现树脂包覆不良的几率更高一些。

图3为粘附树脂的嵌件。由图3可以明显看出,嵌件上的塑料壁厚与制品壁厚差别很大,这与滚



图3 粘附树脂的嵌件

塑时嵌件传热性能不良和嵌件太厚有直接关系。嵌件的位置太靠近制品相邻的侧表面时,由于嵌件阻挡了物料的流动,会导致此处物料堆积少或嵌件与侧表面不能完全搭桥,制品易出现较大孔洞或嵌件包覆不严的缺陷。

特别指出的是,嵌件具有较好的传热性能不仅就其材料本身而言,其结构也应使嵌件具有较好的传热性能,如空腔不能太大或滚塑时设法用金属封堵大的空腔,在设计大型嵌件时尤其要考虑这一点。

(2) 解决方案

①使嵌件具有良好的传热结构,尽量消除不利于嵌件传热的因素。②在满足滚塑条件和嵌件强度需求的前提下,嵌件相对制品表面高度和体积尽量小。③嵌件上的止转或防拉槽的深度和宽度与滚塑要求相适宜。④滚塑时,视情况对嵌件进行预热会取得比较好的效果,对大型嵌件尤其有效。

1.3 壁厚不均

(1) 成因分析

滚塑成型工艺适于成型壁厚相对均匀的中空制品,不容易加工出壁厚突变的制品^[4],投料量的多少决定了制品的平均壁厚,其均匀性与模具本身的结构、滚塑成型工艺有关。

从制品和模具结构来说,一般在制品内凹的转角处(模具外凸)厚度较小,在制品外凸的转角部位(模具内凹)厚度较大,但如果制品外凸部位角度过小,易导致物料不能充满模具带来相应的孔洞等缺陷,所以制品不宜有尖角部位,通常用大的平滑圆弧过渡。

塑料的熔融和粘附能力主要与模具温度有关。模具温度高的地方,塑料较易先熔融并随模具的转动层层涂覆,粘附树脂会较多,而温度低的部位粘附的树脂相对较少,造成制品壁厚不均。

制品的壁厚还与旋转速度有关。旋转速度不均匀,容易造成壁厚不均,而且无规律性,所以一般采用能自动控制的恒扭矩或恒转速的电机来保证主副轴匀速旋转。

当制品某处部位与其它部位壁厚悬殊较大,模具不能修改时,需从工艺角度寻求解决办法。

(2) 解决方案

①把滚塑模具固定在模架上适当的位置,并调整模架的平衡。②主、副轴旋转速度保持比例均衡、速度均匀。③加热炉能保证在各个方向上使模具受热均匀。④加热和冷却过程中都换向一次,换向时

要迅速,一般正转、反转时间相同。⑤在期望制品厚度增大的部位,模具相应部分要进行预热或减小隔热因素的影响。⑥在期望制品厚度减小的部位,模具相应部位上加四氟乙烯板(见图4)或石棉垫隔热,使熔融物料不易粘附模具或持续堆积,以减小此部位的厚度。此方法还用来把隔热层衬在模具上,使模具内表面无法粘附树脂,期望获得开口部位,但这种方法制得的开口一般不是规整的。

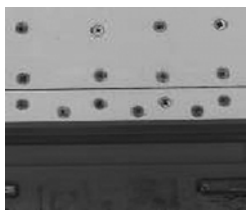


图4 模具上的聚四氟乙烯板

1.4 表面粗糙

(1) 成因分析

滚塑制品多数是由 $1\,090 \sim 1\,400\ \mu\text{m}$ (12 ~35 目) 或者更小粒径尺寸的树脂或液体塑料树脂制成^[2],国内一般用 $125 \sim 550\ \mu\text{m}$ (30 ~50 目) 的粉料。如果粒径偏大,当温度偏低、加热时间较短时,滚塑时树脂粉料在规定的时间内不能完全熔融,制品表面易出现麻坑(图5)、瘤状凸起(图6)、粒状凸起(图7)等表面不佳现象。如果粉料中有较大异物

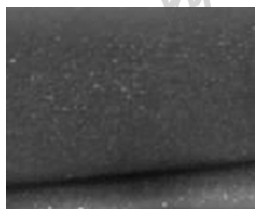


图5 表面麻坑

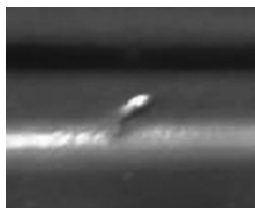
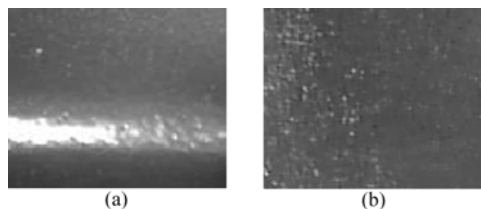


图6 表面瘤状凸起



a—内表面粒状凸起; b—外表面粒状凸起

图7 表面粒状凸起

混入,此时异物对熔融的树脂来说相当于结晶聚合物冷却结晶时成核剂的作用,当树脂冷却结晶时,在异物存在的地方易呈现瘤状凸起。当树脂粉末颗粒粒径偏小、转速选择不当或转速不均时,也易出现麻坑或粒状凸起等表面不良现象。这是由于较小的树脂颗粒较易积聚,熔融时形成相对较大的树脂团,把部分颗粒包容在其中,周围空间不能有效补充树脂形成,滚塑温度偏低时受各种因素影响时更易出现。

(2) 解决方案

①针对滚塑制品体积大小和结构不同,选择适当粒径大小的粉料。②控制好加热、冷却温度和时间,并保持温度基本稳定。③确定合适的主轴转速和主、副轴转速比,并保持转速均匀。④避免原料中有异物或较大颗粒的相同物料混入。

1.5 颜色不均

(1) 成因分析

塑料树脂暴露在模具型腔的空气中,在高温下软化熔融,本身易氧化变色,树脂中的低分子化合物更是如此。在滚塑有色制品时,如果色粉选择不当(如选择了不耐高温的有机染料致使受热分解,或选择了质量不好的无机矿物颜料),通常都不能够获得令人满意的颜色。脱模剂喷涂过量对制品的彩饰也会产生不良影响。滚塑时模具温度控制不均,局部温度过高时,表面易呈现蓝色明亮反光现象或局部颜色偏深,见图8、图9。模具整体温度偏高时,制品颜色偏深偏亮;模具整体温度偏低时,颜色偏浅偏暗,通常都不能达到需求颜色,而且会使同一批制品存在严重色差,影响整批制品外观质量。



图8 明亮反光部位

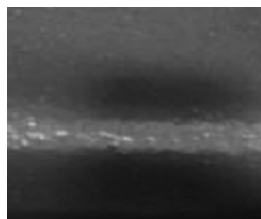


图9 颜色发深部位

(2) 解决方案

①使用能长时间耐高温的无机矿物颜料,粒径

比粉料粒径更小,一般为 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 甚至更小。②控制好加热、冷却温度和时间,并保持温度基本稳定。③避免使模具出现各部位加热不均的现象。④尽量不使用脱模剂,如不可避免,要注意适量。⑤考虑在原材料中使用具有抗老化性能的添加剂。

1.6 翘曲变形

(1) 成因分析

滚塑制品虽然是无压成型,较其它有压成型方法相比,不易翘曲变形,但滚塑制品一般都是形状复杂、壁厚不均匀、不完全对称的,使得制品不同部位间的冷却速率和收缩率不一致,在大的平面和壁厚差别较大的部位产生翘曲变形。PE 制品在滚塑成型后收缩率比较大,一般为 $2\% \sim 3\%$ ^[1],甚至高达 $3\% \sim 5\%$,尺寸精度较差,在局部线性尺寸较大的部位其收缩率甚至更高一些。

制品的收缩还与制品成型时的加热温度、冷却定型温度、冷却速率及制品脱模温度等因素有关,这些因素在滚塑成型过程中都不易精确控制。尤其是在制品脱模过程中,许多生产厂家为追求生产效率,制品温度在 $70 \sim 80^\circ\text{C}$ 甚至更高时就开始脱模,然后通过后定型处理来控制制品外形,由于脱模过程人为控制的因素太强,所以制品收缩更不易控制。

对制品最终外形尺寸和变形量要求比较严格的制品来说,除了在滚塑工艺上采取有针对性的措施外,后定型处理过程也比较重要。为了生产更高质量的制品,强调生产工艺的稳定性和均一性应该是贯穿整个制造过程的重要理念。

(2) 解决方案

①制品设计时尽量避免出现较大平面,可以使用加强筋、台阶、搭接(搭桥)或表面凹槽装饰等结构形式来减小平面面积,从而控制翘曲。②调整模具在模架上的位置,消除增大壁厚差别和影响加热与冷却均匀性的因素。③根据制品结构特点,制作带有活动部位的定型工装或固定式工装(见图 10),对制品进行后冷却定型阶段的定型。④对特殊形状

的制品,还可以结合简单的定型工装,往制品内部通入压缩空气,强制制品整形定型,效果较好。⑤采取合理的冷却措施,尽量使制品各部位冷却速率一致。

1.7 表面不光亮

(1) 成因分析

成型温度偏高或偏低都不能带来令人满意的表面质量。前面说过,滚塑温度偏低或过高除了带来颜色色差外,表面亮度同样不能达到要求。

有的制品要求表面光亮,模具表面较易抛光时容易达到;但有的产品表面需要各种皮纹、图案等饰纹效果,模具基本不可能抛光,生产时制品与模具粘附力较大不易脱模,当强脱时就易造成制品拉伤或使制品表面拉毛而发白。为了制品脱模方便,有时候需喷涂脱模剂,如使用不当,会大大影响表面质量,造成产品废品率较高。

(2) 解决方案

①在模具内表面涂覆聚四氟乙烯涂层。在装卸模过程中要注意保护涂层不被磕碰,可使用很长时间,能有效降低每件制品分摊的表面处理费用,这也是目前滚塑模具工业较常用的方法。图 11 为表面喷涂有特氟龙涂层的模具内表面。

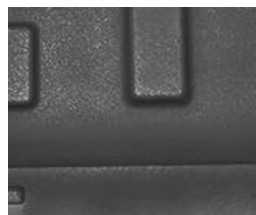


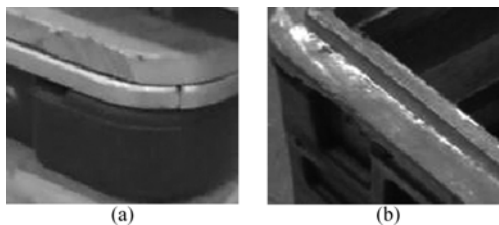
图 11 涂有特氟龙层的模具内表面

②采用适当的成型温度。生产过程中注意制品颜色变化,根据颜色深浅和明暗判断成型温度的高低,然后在设定的成型工艺要求的温度基础上进行调整并保持。③尽量选择油性脱模剂,用量保持适量,不可过多,防止制品表面出现花白现象。④选择合适的颜料颗粒细度,常用的颜料颗粒粒径一般为 $10 \sim 20 \mu\text{m}$,甚至更小。

1.8 嵌件外露

(1) 成因分析

嵌件外露,有的情况下可以理解为树脂包覆不良,但有时不是这种情形。制品脱模后由于继续冷却收缩,会使滚塑制品上的螺母镶嵌件外表面高出产品表面,影响外观或使用。当嵌件与制品侧面靠得太近或嵌件固定端面与模具表面距离设计不合理,滚塑过程中它们会相互干涉时,造成嵌件根部不



a—带有活动部位的定型工装; b—固定式定型工装

图 10 定型工装

能有效填充粉料,出现类似注塑时的充模不满现象,也易造成嵌件外露,这种情况出现的原因一般是制品或嵌件结构设计不好。

(2) 解决方案

①成型前在模具与嵌件之间加一适当厚度和大小的垫片,既能弥补成型后由于制品收缩带来的缺陷,又不影响制品外观。②嵌件结构设计要做好,嵌件固定端面与模具内壁之间的距离要适当或与模具内表面平齐,防止出现类似注塑时充模不满的现象。

导致制品出现一种或几种缺陷的原因不是孤立的,往往与多种因素有关,需要工艺人员根据出现的缺陷问题,从工艺路线的各个环节进行综合分析,先从主要成因方面考虑解决办法,再结合其它非主要成因的解决办法,尽可能一次解决,就会少走弯路,滚塑出质量较优的制品。

2 结语

(1) 进行滚塑制品和模具设计时,从模具材质、

结构设计、加工工艺、制品原材料、结构设计等方面综合考虑,尽可能采用能避免缺陷的技术手段,从根源上避免出现不可逆转的失误。

(2) 滚塑生产过程中,从原材料性能(包括物理力学性能和加工工艺性能)、加工设备、加工工艺和产品的后处理定型等多方面综合考虑,正确分析并解决可能出现的各种缺陷,能获得高质量的滚塑产品。

参考文献

- [1] 陈昌杰,李惠康.塑料滚塑与搪塑[M].北京:化学工业出版社,1997:27-39.
- [2] M. J. 戈登(小).塑料制品工业设计[M].苑会林译.北京:化学工业出版社,2005:89-90.
- [3] 张恒.塑料及其复合材料的旋转模塑成型[M].北京:科学出版社,1999:34,132.
- [4] 格伦 L. 比尔.旋转模塑——设计、材料、模具及工艺[M].马秀清译.北京:化学工业出版社,2005:64,129.

INVESTIGATION AND SOLUTION OF DEFECTS ON PLASTIC PRODUCTS BY ROTATIONAL MOLDING PROCESSING

Xu Hongbo¹, Xu Yingjun², He Jie¹, Xiao Dekai¹, Zhao Hongyu¹, Wu Jiong¹, Liu Suqin¹

(1. CNGC Institute 53, Jinan 250031, China; 2. Shandong Joyoung Appliances Co. Ltd., Jinan 250118, China)

ABSTRACT The method and application of rotational molding were introduced. The intention and signification of solving defects of rotational molding products were presented. The basic demands of raw materials, mould structure and technology of rotational molding were proposed by analyzing the cause of major defects of rotational molding products. Simultaneously, in order to obtain the high quality products, the solution of avoiding or reducing defects was put forward.

KEYWORDS rotation, rotational molding, defect, molding technology

兰化开发出热灌装瓶盖专用料 HDPE L5202

日前,兰州化工研究中心橡塑加工应用研究所开发的热灌装瓶盖专用料 HDPE L5202 试生产成功。检验结果表明,产品的各项技术指标均达到进口同类产品水平。试产的 500 t 热灌装瓶盖专用料很快将发往用户单位。

近年来,兰州化工研究中心围绕中国石油的塑料主营业务发展,把科研工作的重心放在提高现有生产装置效能上。该中心根据市场需求,先后开发出拥有自主知识产权的透明 PP、高熔体棚膜专用料等 6 个塑料新牌号产品。这些新产品投入工业化试生产后,有效地改善了兰州石化公司的聚烯烃产品结构,增强了产品竞争力。此次热灌装瓶盖专用料 HDPE L5202 的试产成功,为进一步提高兰州石化公司的经济效益打下基础

目前,我国对热灌装瓶盖专用料的需求量呈快速增长的势头,仅华东地区的年需求量就达到万吨以上,所需的产品基本上都从国外进口。兰州石化公司热灌装瓶盖专用料 HDPE L5202 新牌号的试生产成功,拉开了高品质国产热灌装瓶盖专用料替代进口产品的序幕。据悉,热灌装瓶盖专用

料 HDPE L5202 的售价较通用料提高了 250 元/t 以上,具有良好的市场前景和显著的经济效益。(石化信息)

威格斯公司推出新型复合材料 TF-60C

英国威格斯公司近日推出一种新型 VICTREX T 系列复合材料,命名为 TF-60C,是采用 VICTREX PEEK 聚合材料、Celazole 聚苯并咪唑(PBI)及碳纤维增强技术生产的一种专有共混产品。

这种产品具有高强度、高模量、低蠕变等特点,是综合特性最佳的高性能材料之一,非常适合要求极高的半导体/电子行业应用,如旋涂、蚀刻及 PVD 工艺中的焊接工具、装载盒、晶圆转运箱及泵房部件等。

该产品在 300℃ 的高温下仍具有出色的力学性能,是金属和不可熔融加工高温塑料如聚酰亚胺(PI)等的理想替代材料。“T 系列产品无需二次加工,并且可以重复利用,进而提高成型产量”,威格斯公司全球产品经理 Mark Maddern 先生介绍。

TF-60C 复合材料的主要特性包括:卓越的耐高温性能、压缩强度,出色的拉伸强度和弯曲性能。(佳机电网)