

注塑制件熔接痕的形成、性能和预测^{*}

肖长江 刘春太 申长雨

(郑州大学工学院橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 450002)

摘要 概述注塑制件熔接痕的形成及其危害, 主要讨论塑料注塑制件中熔接痕的形成机理¹ 熔接痕影响区的形态结构、影响熔接痕处性能的因素, 以及工艺条件、模具几何条件对熔接痕处性能的影响等。在注塑模流动模拟的基础上, 结合计算机图形学知识, 利用计算机自动实现了注塑中熔接痕的自动识别。

关键词 注射成型 熔接痕 工艺优化

在注射成型过程中, 采用多浇口或当型腔中存在孔洞、嵌件以及制件厚度尺寸变化较大时, 塑料熔体在模具内会发生两个方向以上的流动, 当两股熔体相遇时, 就会在制品中形成熔接痕。熔接痕的存在不仅影响制品的外观质量, 而且对制件的力学性能(强度和刚度)影响很大, 特别是对多相材料如纤维增强塑料、多相共混聚合物等的影响更为明显。同时成型工艺条件对熔接痕的性能影响极大, 在不同的工艺条件下, 熔接痕影响区的强度可以是原始材料强度的 10% ~90%^[1]。因此, 近些年来, 对注塑制件熔接痕的分析受到普遍的关注, 这一方面是由于大型复杂制件的逐渐增多, 另一方面则是人们对制件外观和内在性能的要求越来越高。如何提高注塑制件熔接痕区域的性能成为当前研究的重点。

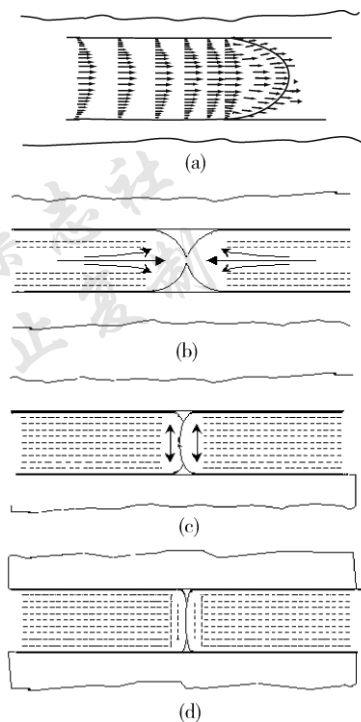
熔接痕影响区的性质主要由熔体流动前沿的流变状态和分子聚集态结构决定, 凡影响分子链缠结、结晶取向和分子热作用的因素都会影响熔接痕的强度。这些因素都和熔接痕形成过程中的分子活性有关, 依赖于材料特征和工艺条件。材料特征主要包括松弛时间、结晶形貌等, 而工艺条件包括注射速率、模具温度、熔体温度、注塑压力等。这些因素是相互耦合和相互作用的, 特别是对于不同的材料, 由于作用机理不尽相同, 人们往往无法判定起决定性作用的影响因素。

1 熔接痕的形成、形态和性能

1.1 熔接痕的形成机理

在注射成型过程中, 熔接痕的形成主要有两种情况: 一是采用多浇口时, 从不同方向流动的熔体相遇而形成熔接痕, 往往被称为冷熔接; 二是由于制品中存在空洞¹ 嵌件或者因制件壁厚发生变化等引起熔体分开再汇合而形成熔接痕, 称之为热熔接。

熔接痕的形成过程可分成几个阶段, 如图 1 所示。



a—熔体流动前沿的泉涌流动; b—熔体流动前沿的相遇;
c—熔接痕区域的分子取向; d—熔接痕区域的 V 形缺口

图 1 熔接痕的形成过程

(1) 当两股熔体前沿尚未汇合以前(图 1 a), 熔体前沿的压力为零, 而前沿的泉涌流动使熔体前沿的分子受到拉伸, 前沿的分子链取向平行于流动方向。对于前沿的弧形表面, 流动方向和分子取向沿自由表面的法向会影响到界面融合后分子的扩散。同时, 由于冷的模壁而形成的冷凝层中, 取向被冻结而形成了各向异性结构。

(2) 一旦熔体汇合(图 1 b), 熔体前沿处的压力增加, 流动停止, 两个自由表面相互接触并发生非线性的粘弹性变形。

^{*} 河南省青年骨干教师基金资助项目

(3) 由于扩散和分子运动, 接触表面的分子链开始松弛1 缠结和迁移, 这种缠结和迁移的结果是为熔接痕提供键接强度, 因此在熔接处熔体结合强度随着分子链缠结程度的增加而增大。

(4) 熔接处的取向因受挤压而垂直于流动方向(图 1 c)。

(5) 在大多数情况下往往会因滞留在型腔中的空气或在充模过程中产生的挥发物来不及排出而产生 V 形缺口(图 1 d)。

1.2 熔接痕的形态

熔接痕其实是一个区域, 它的形态与基体不同, 它的宽度由几毫米延伸到整个制件厚度, 这取决于材料和它的组成^[2]。在充模过程中, 分子链取向平行于流动方向, 在熔接处分子链段取向垂直于流动方向。

纤维增强注塑制件熔接痕区域的纤维取向如图 2 所示。在熔接痕区域, 整个厚度方向上的纤维取向

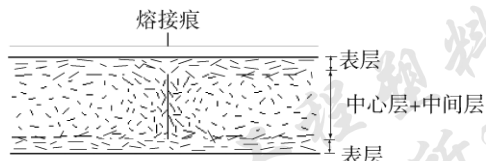


图 2 纤维增强注塑制件熔接痕区域的纤维取向

向几乎平行于熔接痕方向, 而在非熔接痕区域, 是典型的表层 - 中心层结构, 表层纤维取向平行于流动方向, 中心层纤维取向垂直于流动方向, 中心层的比例随制件的厚度增加而增大。纤维取向与分子取向一样, 是剪切流动和拉伸流动共同作用的结果。充模过程中, 表层由于较高的剪切速率引起纤维沿流动方向排列; 中心层由于熔体前沿的泉涌效应致使纤维取向垂直于流动方向。在研究玻纤增强 PA 66 的熔接痕时发现^[3], 在约占厚度 10% 的中心层, 纤维取向接近于垂直流动方向; 在厚度约 150 μm 的表层, 纤维取向是随机的; 而在表层和中心层之间约占厚度 80% 的中间层, 纤维取向平行于流动方向。随着纤维含量的增加, 熔接痕的宽度也增加, 但厚度的增加与纤维含量关系不大。而在熔接痕的过渡区, 纤维取向变化很快, 纤维中的一部分实际上是弯曲的, 因而使制件产生了微空洞, 虽然微空洞所占的体积很小(约 1%), 但它们对熔接痕力学性能影响很大。

在共混聚合物中, 每种材料在熔接痕区的结构特征都不同于原基体的相结构, 材料的力学行为与其它地方不同, 在含填料和增强剂的聚合物材料中,

强度的损失与分散相的纵横比有密切关系。D. F. Mielewski^[4]研究了 PP(含有抑制酚类抗氧剂)的熔接痕形态, 发现由于添加剂量少或根本不溶于基体, 当两股熔体会合时, 熔体的喷泉流动使添加剂积聚在熔接处, 引起熔接痕的强度显著降低。Y. G. Son^[5]研究了 PS/PPO/PA 共混物的熔接痕形态, 虽然混合物中有三种组分, 但由于 PS 与 PPO 的相容性很好, 所以混合物是两相的, PS 与 PPO 形成一个分散相, PA 则形成连续相。继而他们研究了含有 20% 分散相和 80% 连续相的两种共混物, 两者的不同在于分散相不同: 一种分散相是 90% 的 PS 和 10% 的 PPO, 其粘度低, 形成低粘度聚合物; 另一种是 10% 的 PS 和 90% 的 PPO, 其粘度高, 形成高粘度聚合物, 从而发现低粘度聚合物的 V 形缺口到制件中心, 有一层明显的与模壁相连的接触层, 并且从接触层可以观察到细小的分散相球状颗粒, 它的形成是由于分散相在流动前沿的拉伸流动中大的变形而解体所致。对于高粘度聚合物, 没有发现细小分散粒子, 只是在靠近制件表层处有一点轻微的变形。可以认为熔接痕的形态主要是由于分散相的变形1 解体1 松弛而形成的。

1.3 熔接痕处的力学行为

由于制件中存在熔接痕, 使得外观和性能受到严重的影响, 其主要原因有:

(1) 在熔体前沿接口处分子链段没有充分的缠结, 由于每种聚合物的松弛时间和玻璃化转变温度(T_g)不同, 使分子链的缠结程度不同, 在充模过程中, 有些聚合物松弛时间较长, 在凝固前没有完全松弛, 所以熔接痕处分子链的缠结程度不如本体, 从而使此处强度变弱。

(2) 分子链的取向对材料性能造成影响, 使材料的力学、光学、热学性能产生各向异性。由于原子之间以化学键结合, 而分子链之间以范德华力结合, 材料未取向时, 高分子链和链段无序排列而呈各向同性; 取向时在取向方向上, 原子之间的作用力以化学键为主, 而在与之垂直的方向上, 原子之间的作用力以范德华力为主, 表现为取向方向上的模量1 强度等远远大于垂直于取向的方向, 即熔接痕处的强度会显著变弱。

(3) 由于存在 V 形缺口, 易产生应力集中使聚合物材料的力学性能变差。

(4) 对于含填料1 增强剂的注塑制件, 由于填料1 增强剂与基体相互结合不好, 使得熔接痕处的

有效接触面积减小,同时粘度增大,分子链活性减小,在熔接痕处的相互扩散减弱。D. F. Mielewski^[4]发现含0.1%~0.5%热稳定剂的PP熔体的喷泉流动使添加剂积聚在熔接痕处,它至少造成50%的冲击强度损失;而含1%的热稳定剂至少造成75%的冲击强度损失。

(5) 对于纤维增强注塑制件,随着玻璃纤维含量增加,拉伸强度提高,而熔接痕处的强度则随纤维含量增加而减小^[2]。比如,在PP中添加20%的玻璃纤维,拉伸强度损失20%;添加40%的玻璃纤维,拉伸强度损失30%。添加40%玻璃纤维的PA66,拉伸强度损失50%。

1.4 提高熔接痕处性能的措施

熔接痕的存在会产生潜在的致命缺陷,影响熔接痕处性能的因素很多,如何提高熔接痕处的性能是工业界普遍关注的问题。

从材料本身的松弛时间、粘度、取向、分子量分布等方面来考虑选择合适的材料^[6]。松弛时间对分子链段的缠结起很重要的作用,在缠结过程中,松弛时间相对短的聚合物能得到较好的缠结,如PC的松弛时间一般比PS的短得多;而相对分子质量较低的聚合物有利于取向,也容易解取向;结晶型聚合物的取向结构稳定性优于无定形聚合物;复杂结构的聚合物取向较难,但是解取向也难;对于结晶型、半结晶型聚合物,熔接痕处的熔接强度还与结晶度有关,即与晶粒大小和晶粒的分布有关,小的晶粒且分布均匀会表现出较好的力学性能。

从模具和制件设计考虑^[1],可以通过增加制件厚度以利于压力传递和保持熔接时较高的熔体温度;可以通过调整浇口的位置、尺寸或降低塑料件厚度比,将熔接痕置于低应力区和非外观区;可以增大浇口和流道尺寸,以减小流动时的阻力;必要时还可在熔接区设置排气孔,以消除气穴,减少V形缺口的深度和斜度。

从工艺条件考虑,影响熔接痕处强度的工艺参数主要包括熔体温度、模具温度、注塑压力和注射速率等。由于聚合物分子运动强烈地依赖于温度,升高温度能加速其分子的运动和松弛过程,加速分子扩散和缠结,使材料的粘度降低,从而使分子链有较好的缠结,提高熔接处的强度;较高的模具温度能保证熔体在凝固以前不至于冷却得太快而有较充足的缠结,使熔接处强度提高;对于结晶型聚合物来说,其形态不仅依赖于取向,还取决于结晶程度,而结晶

程度又依赖于冷却速率;高的注塑压力和保压压力能使熔接痕处更进一步压实,增加熔接处的强度,对于像PC、PSU类聚合物,高的注塑压力能降低流动温度,使之尽快地充模,以便熔体前沿的冷却降到最低,提高熔接痕处的强度。

此外,还可利用其它的一些方法和技术来提高熔接痕处的性能,如在模具型腔熔接痕处,用一个或多个往复的活动阀作用于熔接痕,从而促进熔接痕局部的混合,提高熔接痕处的分子链段的缠结,从而提高熔接痕处的强度;对于某些共聚体系,加入另一种的共聚物能提高熔接痕处的强度,例如在PS/PE体系中加入少量的(丁二烯/乙烯)共聚物也能显著提高熔接痕处的力学性能。

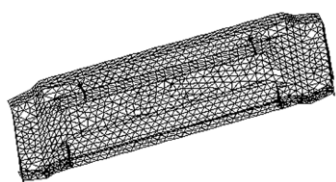
2 熔接痕位置预测

近些年来,对注塑制件熔接痕的分析又重新得到了普遍的关注。这一方面是由于大型复杂制件逐渐增多,另一方面是人们对制件外观和内在性能的要求越来越高。但在实际生产中往往无法消除熔接痕,只能尽量降低它对制件性能的负面影响。对设计和工艺人员来说,一方面通过调整浇口位置和制件尺寸等方法来保证熔接痕不出现在制件外观明显的位置以及低强度区域,另一方面通过改善工艺条件如提高温度和保压压力等来提高熔接痕处的强度。因此,在模具制造之前准确预测和优化熔接痕的位置对于模具设计人员来说至关重要。

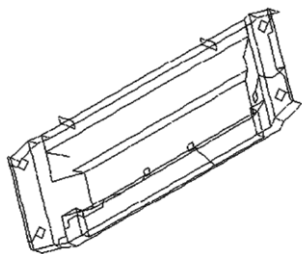
注塑模流动模拟技术的出现为获取这种信息提供了可能,流动分析的目的是预测熔体流经流道、浇口直到充满型腔的过程。利用流动分析可以得到熔体到达型腔内任一点的时间,并可利用计算机根据流动分析结果自动识别熔接痕位置,通过改变浇口位置、制品厚度、浇注系统设计来优化熔接痕位置。这也是注塑模流动分析在注塑模设计中应用的一个典范。

图3给出利用流动分析自动识别汽车空调制件熔接痕位置的应用实例。据此,它的浇口位置应设在制件的中部。

熔接痕的存在可能会引起表面质量问题和结构强度问题,但是可以通过制件设计、模具设计来优化它的位置,通过调整工艺条件来优化它的性能。移动熔接痕的主要措施有:(1)通过改变浇口位置以改变熔体在型腔中的填充模式;(2)通过改变制件的厚度尺寸以改变熔体在型腔中不同分支的充填速度;(3)通过改变浇注系统的设计以改变熔体在不



(a)



(b)

a—制件有限元模型; b—自动识别熔接痕的预测位置

图 3 汽车空调制件的熔接痕预测

同分支的流量分配。

3 结语

在注射成型加工中, 熔接痕的性质是由熔体流动前沿的流变状态和分子聚集态结构所决定的, 凡影响分子链的缠结、结晶、取向和分子热运动的因素都会影响到熔接痕处的强度。熔接痕的存在可能会引起表面质量问题和结构强度问题, 但是往往却无

法消除它们, 只能通过制件设计、模具设计来优化它的位置, 并通过调整工艺条件来优化它的性能。

熔接痕处的性能主要依赖于温度和压力, 理想情况下, 应该使熔接时的温度接近注射温度。当然, 优化熔接痕的位置和性能时也会引起其它问题, 例如, 改变浇口位置和浇注系统设计可能会引起流动不平衡, 因此在设计时需要综合考虑。

参考文献

- 1 申长雨. 塑料模具计算机辅助工程. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.
- 2 Fisa B, Rahmani M. Weldline strength in injection molded glass fiber-reinforced polypropylene. *Polym Eng Sci*, 1991, 31(18): 1330
- 3 Meddad A, Fisa B. Weldline strength in glass fiber reinforced polyamide 66. *Polym Eng Sci*, 1995, 35(11): 893
- 4 Mielewsski D F, Bauer D R, Schmitz P J. Weldline morphology of injection molded polypropylene. *Polym Eng Sci*, 1998, 38(12): 2020
- 5 Son Y G, Ahn K H, Char K H. Weldline morphology of injection molded modified poly(phenylene-oxide)/polyamide-6 blends. *Polym Eng Sci*, 2001, 40(3): 554
- 6 Brahimi B, Aitkadi A, Aji A. Weldline and mechanical properties of injection molded polyethylene/polystyrene/copolymer blends. *Polym Eng Sci*, 1994, 34(15): 1202

FORMATION, PERFORMANCE AND PREDICTION OF WELD MARK IN INJECTION MOLDING

Xiao Changjiang, Liu Chuntai, Shen Changyu

(NERC of APPT, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT The formation and damage of weld mark in the injection part are reviewed. The forming mechanism and morphology of weld mark are discussed; the influencing factors on the performance of weld mark are introduced. The locations of weld mark are predicted by computer based on flow simulation. Implementation of such an algorithm is based on the computer graphic knowledge and flow simulation of the injection molding.

KEYWORDS injection molding, weld mark, processing optimization

新型塑钢门窗在山东问世

国家专利产品——奥宇牌塑钢共挤节能保温门窗日前在山东龙口奥宇家居有限公司问世, 并投入批量生产。该产品是采用 PVC 结皮微发泡异型钢衬共挤成型的塑钢门窗的更新换代产品, 保温节能性能好, 耐温范围广 (- 30 ~ 70℃), 经暴雨和暴晒不发生变色、变质、脆化、老化等现象, 不导电、不自燃, 完全符合防火的安全要求, 适用范围广, 操作方便, 使用寿命长, 是钢制门窗的 10 倍。专家认为, 它的问世使我国塑钢门窗的制造技术有了质的飞跃。 (存云)

美国连年增拨军用纳米技术开发费用

近年来美国越来越重视纳米技术的开发与应用。据悉, 2003 年美国将给国防部拨款 2.01 亿美元研究经费, 用于继续开发军用纳米技术, 这比 2001 年的 1.23 亿美元和 2002 年的 1.8 亿美元有明显增长。

负责科研的美国国防部部长助理克里夫认为, 在原子水

平上建立的军用纳米技术将对军事技术发展产生巨大影响。军用纳米技术研究一般分纳米电子技术、纳米材料和生物纳米工艺 3 个方向。利用纳米技术可以制造超小体积、超轻量化的电子仪器 and 零部件, 可以研制出具有特殊性质的材料, 还可研制分子般大小的人工智能装置。目前已经在美国海军舰艇上得到应用, 美国海军使用了一种纳米防护服, 十分结实、可靠、长久耐用。

(华信)

新型脲醛树脂托辊面世

一种广泛应用于煤矿、冶金矿山及化工等行业输送机使用的新型脲醛树脂托辊产品, 日前在中国春风实业集团冀州市通达矿山设备厂研制成功, 并获得了国家专利技术。

该产品与目前普遍使用的铸铁托辊相比, 具有抗静电、阻燃性能好及使用寿命长等特点。在同等条件下, 其耐磨损性和耐腐蚀性好, 防尘、防水性能比同类产品高 10% 和 45% 以上, 并且具有质轻、使用安全可靠等优点。

(林琳)