

浅谈汽车保险杠注塑工艺优化

陈睿, 万德俊, 王河为, 冯玉辉, 李文鹏, 倪海华

合众新能源汽车有限公司 浙江桐乡 314500

摘要: 随着社会经济的发展,科学技术的进步,汽车也逐渐成为人们的主要出行方式。随着环保意识的不断增强,汽车行业的轻量化、节能降耗已成为当前汽车行业的重要发展方向。塑料产品因为其优异的机械性能和较低的质量密度,使其更符合轻量化的要求而在汽车行业内得到广泛应用。在汽车塑料零件中,保险杠作为汽车造型最为突出的零件,其产品质量要求非常高,工艺过程复杂。结合实际生产要求,对保险杠注塑生产工艺进行优化分析。研究工艺参数对产品质量的影响,优化产品工艺参数,提升保险杠产品的生产质量和生产效率,对汽车保险杠产品开发和工业化生产具有指导意义。

关键词: 注塑工艺;保险杠制备;生产效率

随着中国汽车工业的迅速发展,目前的汽车市场对轻型和绿色环保的需求越来越大。汽车的排放与其自身的质量有直接的联系,减轻车辆的重量,就可降低车辆的能源消耗,减少排放。为减轻汽车的重量,人们开始寻求新的材料,以取代传统的金属。由于热塑性材料具有良好的韧性、易于加工、耐高温以及相对于金属的小密度,所以这种特性逐渐被人们所认识,并逐渐被用于汽车工业。随着科学技术的发展,人们对各种功能的需求也在不断开发,以适应各种场合的需要,而复合塑料制品在汽车零部件中的应用也日益增多,尤其是在汽车的内部装饰件中,塑料制品的使用是最多的。在汽车内部装饰件中,大多数部件的制造过程比较简单,采用的是单一的注塑成型技术。但是,在轿车车身装饰件中,保险杠的制造过程比较复杂,包括注塑、涂装、连接等工序。而且保险杠的生产周期相对较短,一般情况下,两三年后,汽车制造商都会对保险杠进行外形改型设计,以此来刺激消费者的购买欲望,所以在生产过程中,保险杠的

生产将会变得更加复杂。针对目前保险杠生产中存在的上述问题,企业进一步研究了保险杠工艺的工艺设计与工艺参数优化,从而提高工艺开发能力,提高产品质量,提高生产效率。

保险杠制品的制造工艺可划分为:制作光板件、涂覆件和焊件。注塑成型技术是当今工业生产中使用最多的一种工艺,它具有高的准确度、高的生产效率和能够采用自动化的工艺来完成产品的生产。然而,在注塑成型过程中,往往会出现产品的尺寸、外形等方面的问题,这就需要对保险杠的材质、模具结构和注塑成型工艺等进行设计。本文主要探讨了提高注塑成型过程稳定性、降低注塑缺陷、缩短注塑周期及提高注塑成型效率等问题。

原材料的选用

保险杠的原材料开发与优化已有很多年历史,其中PP-EPDM-T20是最常用的一种。改性聚丙烯,添加EPDM即橡胶,以提高其耐冲击性能。添加20%的滑石

粉，既能提高刚性，又能减少材料的收缩，从而使保险杠光板件的成批成型工艺更加稳定。保险杠是汽车零部件中的重要部件，它是安装在车身上的，为了保证车身的稳定，保险杠上有许多地方都是和车身相匹配的，这是一种严格的尺寸公差要求。这是考核的重点，与车身的间隙、面差等，都有严格的公差和匹配要求。如上文所述，确保保险杠产品的大小和稳定性是项目研发和量产中的重要因素。

在选择材料时，必须选择具有较小收缩率的材料，因为这种材料的收缩率越高，就越不利于进行大规模生产时的尺寸控制，在注塑成型后，由于制品温度过高，导致材料自身的收缩、弯曲、变形。在大部分的研究中，收缩速率的测定是在24~48h。

前期设计优化

1.应用Moldflow进行模拟分析

Moldflow拥有一个强有力的物料资料库，它搜集了400个厂家和8479个牌号的物料性能参数，包括热性能参数、成型工艺参数、黏度及PVT等。不过，Moldflow的数据库，还有许多改性材料没有录入，比如保险杠之类的。因为数据库里没有合适的材料，所以只能选择一些物理性质相近的材料，这样会影响到分析的准确性。应用Moldflow方法进行工程设计，可以降低工程的后期生产风险，但在试模过程中仍存在着一定的缺陷，因此必须根据实际情况，对模具的加工参数进行调整，使其达到最优。利用Moldflow技术，不但能对早期产品的结构进行分析，还能为工程技术人员提供准确的数据信息，并能应用到模具的设计与生产中。利用Moldflow进行仿真和分析，可以有效地对产品的结构和模具进行仿真分析，对产品的风险进行正确辨识，制定出最优的方案，对产品的结构和模具进行优化，从而解决产品的质量问題。

2.取件方式对产品质量的影响

首先，要对产品的结构进行分析，以确定是动模或定模取件。由于保险杠制品的形状比较复杂，评价动模与定模取件的设计重点是在冲模过程中发动机罩面和轮口区的成型与模具的碰撞。

可以使用动模的先决条件：发动机盖部位的分

型线完全外分，若内分，拉伸变形的空间应至少为1:7；两边的尖角部位分型线外分，若内分倒扣数少于1mm，则应在尖角处增设制程拉条；分型线在轮嘴部位完全外分，若内分拉伸变形的空间小于1:10，则模具的结构达到强度的要求。

可以使用定模的条件：发动机罩部位的分型线完全向内分割，拉伸变形不小于1:7，在两边的尖角部位，分型线内分，倒扣量超过1mm。而在轮口区，若分型线完全向内分割，拉伸变形不能达到1:10，则动模制件的强度达不到要求。

就前保险杠而言，由于前保险杠的羊角构造，使得冲模冲程倒置，两边的羊角面积倒扣量为1.0mm，不能满足动模取件的需要，若采用动模，则会造成制品的脱模。即使倒扣数量过多，也不能将产品从模具中正确地剥离出来，从而对产品的外形、大小和生产节拍造成很大的影响。采用定模取件的方法，以确保制品外形及尺寸的稳定性。通常后保险杠、门框等产品因其外形较好，不易发生倒挂，可采取动模取件，具体可根据产品的数据结构进行分析。移动模取件可以更快、节拍更低和更高效。

3.机械抓手对产品质量的影响

随着制造业的发展，机械手自动取件已取代了传统的手工取件方法。手工取件的缺点主要如下。

1) 注塑机刚刚停机，零件表面温度较高，手工取件容易导致操作人员被烫伤，存在一定的安全隐患。

2) 塑料制品在高温下也是柔软的，手工取料时，会因受力不均而产生变形和扭曲，从而对制品的外形和大小产生严重的影响。

3) 会有被模具夹伤的危险。

所以，传统的手工取件方法，安全防护能力差，工作效率低，会给制品带来很大的质量问题。而自动取件方式，通过PLC与取件机械手臂相连接，形成一套自动取件机构，包括手部、手臂和躯干。驱动系统是由动力源、控制调节装置和辅助装置组成，通过支板将取件装置的横支架相连接，在支板上固定有下端为空心的联接螺栓，并和取件吸盘连接。联接螺栓的内部设有与气管路相通的通道以与取件吸盘相通。这样的自动取件机构可以大大提升生产效率和确保产品外观质量和尺寸的稳定性。

由于机械手的结构设计，在机械臂结构的设计中，定模取件要比机械手的结构更加复杂，而且体积也要大得多，为了减少在转换过程中更换机械手的工作压力，一般的定模取件机械手都会选择较轻的碳纤维作为机械手，但其造价也要高一些。动模取件的机械式抓具一般都具有结构简单、体积小、耗材少的特点，可以选用比较便宜的镁铝合金。在成本方面，碳纤维要比镁铝合金贵5~6倍。因此，若不是因为产品的结构太过复杂，不能进行动模取件，大部分人都会选择动模取件，以提高工作效率，方便取件。

保险杠的生产优化

1. 注塑生产前期准备优化

在做好了前期的分析和准备工作后，就可以着手制作保险杠光板。首先，对模具的构造进行检验，并与清单中的各项内容进行对比，以确保模具的结构是否完好。同时，根据模具压力的需要，对模具进行试模。锁模力的选取一般采用经验公式和 Moldflow 分析所得的数值，以中间值为预入值，锁模力 T 的经验公式为： $T = (0.3 \sim 0.6) \times \text{投影面积} (\text{cm}^2)$ ，而系数的选取取决于浇口数量、原材料、零件壁厚及零件形状等。锁模力大小若选取不当，会引起零件制品的飞边，或因锁模力太小而不能成形，若锁模作用力过大，则会造成机器的超负荷损耗，造成资源的浪费，同时也会使液压元件长期处于高压状态，易老化，机械结构磨损过快。如果采用锁模力量较大的设备，则其吨位数目、造价也较高，若采用锁模力较大的设备来制造，则将设备的折旧费用分摊到各部件上，从而导致单位单价大幅上涨，从而导致资源浪费，降低利润。

注塑微粒在注塑成型前，必须经过烘干，然后将注塑颗粒送入干燥桶，在 $80 \sim 100^\circ\text{C}$ （不能温度太高），以免造成物料的高温分解，形成气体，影响到制品的力学性能。注塑颗粒若未烘干，或未达到规定的温度，将导致制品收缩、缺料及注塑制品出现水痕，同时会导致物料组成不均匀，从而影响制品的力学和涂料性能，对产品的外观品质有很大的影响。

2. 极差法优化注塑工艺参数

汽车保险杠产品在生产实践中，由于汽车厂家对整车匹配的重视，所以最容易出现的质量问题就是尺

寸和收缩。而造成尺寸问题的主要原因是制品的弯曲变形。所以，在注塑成型过程中，采用极差分析方法来确定最佳的成型工艺参数。

首先确定各工艺参数的范围，重点考察了五个工艺参数：熔体温度、模具温度、注塑速度、保压时间及压力等因素对翘曲变形及收缩的影响。选择的熔化温度为 $200 \sim 270^\circ\text{C}$ ，模具温度为 $30 \sim 90^\circ\text{C}$ ，注塑速率为 $700 \sim 1600 \text{cm}^3/\text{s}$ ，保压时间为 $15 \sim 35 \text{s}$ ，保压压力为 $50 \sim 85 \text{MPa}$ 。通过正交试验，探讨了注塑成型工艺对制品翘曲变形和收缩的影响。采用正交法和极差分析方法，可以看出，影响注塑过程中的翘曲变形和收缩指标，最重要的是模具的温度和熔体的温度。

3. 注塑工艺生产效率优化

模具温度、熔体温度对制品的品质有重要影响，而注射速度、保压时间等工艺参数对翘曲率和缩痕的影响不明显，但在注塑节拍过程中，这是一个时间比较长的参数。为提高注塑效率，降低注塑节拍，可根据注射速度、保压时间和冷却时间等因素来优化注塑速度，从而缩短注塑周期，提高注塑效率。

(1) 注射速度 材料的物理性质对注塑速度有很大的影响，一般来说，像保险杠这样的复杂形状的冲模，都是以最快的速度注入，当遇到结构交叉部位时，就会加速。总而言之，要根据物料的性质和产品的构造，对注射速率进行分段设置。

在最后阶段降低注塑速度能有效地减少注塑缺陷，如飞边、烧焦和困气。在保险杠制品中，由于注入速度太快，会产生气体，导致在制品的表面形成气泡，从而降低制品的致密性，继而引起产品的收缩，导致产品的尺寸变得更小，出现飞边、喷溅、流动及燃烧印等问题，引起熔体的夹气。如果注射的速度太慢，会导致产品的表面粗糙度增大，从而导致熔接线更加明显，而且还会出现冷却变形，在注塑后期，熔体的流动会被阻挡，很容易造成后期的缺陷和收缩。同时，产品的应力也会集中在浇口周围，在喷涂过程中，会出现局部的变形和压力线，从而影响产品的大小和外观。因此，在保证产品质量的前提下，尽可能地提高注塑速度，从而减低注塑机的节拍。

(2) 保压时间 保压是降低制品收缩、确保制品尺寸稳定性的一个重要指标，它能在规定的时间内向

模腔中注入一定的压力，并对压力和时间进行优化，从而提高成品的丰满程度。压力的设定取决于材料、浇口数量、壁厚及浇口尺寸等因素。

通常的压力保持时间是：

- 1) 保持压力的总时间=壁厚的平方×压力的保压因子。
- 2) 初始阶段压力保持时间不超过3s。
- 3) 第二个阶段的压力保持时间为+2s的初始压力。
- 4) 第三个阶段的压力保持根据浇口前端的收缩情况来确定。

确定三个阶段的压力保持时间，而分段式的作用是：第一段压紧时间（压强）可补偿浇口末端的收缩；第二个阶段的保压时间（压强）可弥补浇口的收缩和消除内应力；第三个阶段的保压时间（压强）对浇口的近端收缩进行补充，并阻止倒灌。

(3) 冷却时间 由于产品的冷却不充分，会使制品在从模具中被取出时，还没有完全固化，从而使取件发生变形及其他缺陷。但冷却周期过长，将会对生产效率造成很大的影响，导致注塑节拍降低，从而降低设备的利用率。同时，冷却时间还与模具的温度相关，较高的模具温度有助于提高熔体在模具中的稳定性，提高产品的外观品质，提高产品的尺寸稳定性和降低冷却后的收缩。但同时，模具的高温也会使冷却时间变长。

冷却时间取决于产品的厚度、材质、模具温度及浇口尺寸等，而对于像保险杠这样的薄壁厚的产品，根据 Moldflow 的早期仿真，冷却通道入口和出口的温差非常小，可以在10~25s内进行最优冷却，但却占据了整个注塑过程的1/4，因此，为了提高整体的生产效率，必须缩短冷却时间。若冷却时间太短，会造成缩模、粘模、脱模变形及脱模等缺陷。

结语

在项目的研发和量产中，确保保险杠产品的大小和稳定性非常重要。在选择材料时，应选择具有较小收缩性能的材料，以确保制品的尺寸稳定性。利用 Moldflow 进行仿真和分析，可以有效地对产品的结构和模具的设计进行仿真，对产品的风险进行正确辨识，制定出最优的方案，从而减少后期生产中出现的许多质量问题，提高模具的生产效率。研究结果显示，当

产品成型较复杂时，可以根据零件的分型线和倒扣数量来决定产品在模具上的动模取件或定模取件的方法，从而防止在以后的生产中因强力脱模而造成的质量问题。机械手夹具的设计要与取件方法相结合，对机械手的运动轨迹进行优化，可以减少制品的外观缺陷，如飞边。在实际注塑过程中，模具温度、熔体温度对制品翘曲变形和缩痕的影响最大，而保压时间、注射速度、冷却时间等因素对翘曲变形和缩痕的影响不大。但是这些工艺参数的节拍在整个注塑节拍中占有很大比例，对这些关键参数进行优化，可以提高生产效率。

参考文献

- [1] 彭培铭，张子林，王宇林，等.基于CCD和PSO的汽车制动插件注塑工艺参数优化[J].塑料，2022，51（1）：48-55.
- [2] 赵博文，王晶琦，郑凯，等.某车型前保险杠材料性能特征分析与匹配优化[J].北京汽车，2021（5）：28-32.
- [3] 王高坤，陆玉凯，陈静，等.基于FTA保险杠生产质量提升研究[J].塑料工业，2021，49（5）：69-72.
- [4] 廖生温，王可胜，王玉勤等.导管接头注塑成型工艺参数优化[J].塑料工业，2021，49（5）：58-64.
- [5] 王倩，郑国立，王智，等.保险杠的品质管理方案[J].汽车实用技术，2020（15）：175-177.
- [6] 季宁，张卫星，于洋洋，等.基于正交试验的防爆球注塑成型工艺参数优化[J].机械设计，2020，37（7）：74-79.
- [7] 张海祥，钟升辉，伍建琼.注塑工艺对薄壁注塑聚丙烯K2760性能测试的影响[J].塑料工业，2020，48（S1）：105-108.
- [8] 许宝武.新型建筑用碳纤维复合材料的注塑成型与工艺优化[J].合成材料老化与应用，2020，49（1）：55-56，102.
- [9] 段帅帅，张亚，李世中.注塑工艺制品质量影响因素及参数优化[J].塑料工业，2019，47（10）：86-88，115.
- [10] 钟升辉，薛宏魁，陈强，等.注塑工艺对均聚聚丙烯拉伸性能的影响[J].合成树脂及塑料，2019，36（3）：65-68. **AUTO1950**