

## 摘 要

随着社会科技的发展，人们对产品外观要求越来越高，具有闪光效果的特殊色彩产品越来越受到推崇。传统的加工方案是采用喷涂工艺，但是喷涂加工一方面工序复杂，生产成本低，而且喷涂加工过程容易产生环境污染。因此在塑料基体中添加金属颜料进行共混注塑，可以提高制件的光泽度和闪光效果，有效的降低生产成本，提高市场的竞争力。

本文以高闪光铝与 ABS 树脂共混物为研究对象，通过实验与模拟技术相结合，探索工艺参数对共混物试样的力学性能的影响及如何改善熔接痕方面进行研究。主要内容包括以下几个方面：

第一，本文介绍了目前国内外关于工程材料共混注塑的理论及设备，并根据共混理论确定运用了挤出工艺对共混物进行挤出造粒。为共混物注塑做好前期准备，并运用正交试验设计方法深入研究不同的共混物百分比含量及工艺参数对试样的拉伸性能、冲击性能、表面硬度在内的综合力学性能的影响程度。采用正交试验的综合分析法对力学性能的各质量指标进行分析，得出兼顾各质量指标的最优工艺参数组合，并再次进行试验验证次工艺参数组合的准确性。并对各试样的断面进行 SEM 检测，分析其力学性能差异的原因。

第二，以高光注塑成型原理为理论基础，提出采用型腔局部加热技术改善共混物制件熔接痕，并设计制造一套模具进行试验验证分析。模具结构是在定模板上添加加热装置和热电偶温控系统，先选择纯 ABS 树脂进行局部加热试验分析，探索采用局部加热技术对于熔接痕的改善作用，再选择共混物进行局部加热试验，探索不同的型腔加热温度、熔体温度和共混物的百分比配方对制件表面熔接痕的影响。并与采用普通注塑成型相比，突出采用局部加热技术注塑成型的制件表面质量的优势。

第三，根据顺序注塑成型理论，建立轿车后保险杠三维造型，采用 CAE 软件对轿车后保险杠三点进浇顺序注塑成型的过程进行模拟分析，研究不同的阀浇口的开启的时间，对熔体前锋面的温度、粘度、流动速度、注塑压力及熔接痕位置的影响，实现对熔接痕的形成位置实施动态控制，使熔接痕处于外观不明显的位置或直接消除熔接痕，达到提高注塑制品质量的目的。对制品的实际生产设计具有一定的参考意义和应用价值。

**关键词：**共混注塑；力学性能；熔接痕；局部加热；顺序注塑

## Abstract

With the development of science and technology, people's requirements for the appearance of product is stricter and stricter, and flash special effect color product more and more be commended. The traditional processing program is to use spray technology, but spraying process, one the on hand, process complex high production costs, and spraying process easily produce environmental pollution. So adding metal in the plastics substrate pigments to injection molding, can increase the blending of parts gloss and flash effect, effectively reduce the production cost, improve market competitiveness.

In this paper, high flash aluminum and ABS resin blend is the research object. By using experiment and simulation technology, to explore the process parameters influence on the mechanical properties of blends of samples and how to conduct research to improve the weld line. The article involves the following areas:

Firstly, this article describes the blend of engineering materials at home and abroad on the theory and injection molding equipment, and in accordance with the use of blending theory to define the extrusion process of the blends for extrusion granulation. For preparation of blend injection, and the orthogonal experimental design method is used to deeply studied different blend percentage content and the process parameters on the influence degree of the comprehensive mechanical properties, such as tensile properties, impact resistance and surface hardness of the samples. Comprehensive analysis of orthogonal test method is used for analyzing the mechanical properties of the various quality indicators, to obtain the optimal parameter which take into account the best technology parameter combination of each target, and further verify the optimal parameter.

Secondly, taking the rapid heat cycle molding as basic of theory, improve weld line of blends parts by using localized heating technology of die cavity. The mold structure is given to add heating and thermocouple temperature control system in the fixed mould plate. At first, the pure ABS resin is chosen to carry on the localized heating experiment and explore the improving function of weld line by using local heating technology, then select blends to carry on experiment, to research the influence of the blend weld on the surface of the workpiece in different cavity heating temperature, melt temperature and the percentage formula. And compared with the ordinary injection molding, pointed out the advantage of local heating technology molding.

Thirdly, according to sequential injection molding theory, establishes the cars' hinder bumpers three-dimensional modelling of car's bumpers, and use CAE software to simulate the injecting with 3 gates. Studies the influence to the temperature of the melt striker, viscosity and flow velocity, injection pressure, and the position of weld line in different valve gate open time, to realize the weld line position is dynamic controled, and make the weld line in appearance is not obvious position or direct eliminating weld line, improving the quality of injection products purpose. There is the certain reference significance and application value. for actual production of products designed.

**Keywords:** Blend injection; Mechanical property; Weld line; Localized heating technology; Sequential injection molding

# Contents

|   |     |
|---|-----|
| <b>Abstract(Chinese)</b> .....  | I   |
| <b>Abstract</b> .....   | II  |
| <b>Contents(Chinese)</b> .....  | III |
| <b>Contents</b> .....   | VII |
| <b>Chapter 1 Introduction</b> .....   | 1   |
| 1.1 Project background and study meaning .....  | 1   |
| 1.2 The current situation and problems about this study .....                           | 2   |
| 1.2.1 Blending injection molding theory and technology research .....                   | 2   |
| 1.2.2 Blending injection application effect and weld line research.....                 | 3   |
| 1.3 Topic source and research content .....   | 4   |
| 1.3.1 Topic source.....   | 4   |
| 1.3.2 research content .....  | 4   |
| 1.4 Brief summary .....   | 4   |
| <b>Chapter 2 High flash aluminum and ABS blending and injection molding research</b> .. | 6   |
| 2.1 Plastic blends overview .....   | 6   |
| 2.1.1 The purpose of blending modification of engineering plastics .....                | 6   |
| 2.1.2 Method of blending modification of engineering plastics.....                      | 7   |
| 2.2 Blending theory and equipment.....  | 7   |
| 2.2.1 Extrusion principle .....   | 7   |
| 2.2.2 Extrusion process .....   | 8   |
| 2.3 Extrusion theory.....   | 9   |
| 2.3.1 Solid transportation theory .....   | 9   |
| 2.3.2 Molten theory .....   | 10  |
| 2.3.3 Melt transfer theory .....  | 10  |
| 2.3.4 Experimental choice of twin-screw extruder and parameters .....                   | 11  |



|  |           |
|--|-----------|
| 2.4 Blending injection molding and process.....  | 11        |
| 2.4.1 Blending injection molding.....  | 11        |
| 2.4.2 Blending injection molding process.....  | 12        |
| 2.4.3 Experiment of chosen injection model and parameters.....   | 14        |
| 2.5 Mathematical model of blending injection molding process and assumptions.....  | 15        |
| 2.6 The role of coupling agent.....  | 17        |
| 2.7 Brief summary.....   | 18        |
| <b>Chapter 3 The influence of Process parameters on mechanical properties of high flash aluminum and ABS blends.....</b> | <b>19</b> |
| 3.1 Injection molding process parameters.....  | 19        |
| 3.2 Based on orthogonal optimization of process parameters.....  | 20        |
| 3.2.1 Orthogonal experiment design introduction.....   | 20        |
| 3.2.2 Orthogonal design parameters.....  | 20        |
| 3.3 Experimental section.....  | 21        |
| 3.3.1 Experimental materials and equipment.....  | 21        |
| 3.3.2 Experimental pre-treatment.....  | 22        |
| 3.3.3 Tensile experiments data processing and analysis.....  | 23        |
| 3.3.4 Impact experiment data processing and analysis.....  | 27        |
| 3.3.5 Impact test specimens with weld line data processing and analysis.....   | 32        |
| 3.3.6 Comprehensive analysis and mechanical properties of validation.....  | 34        |
| 3.3.7 Blends standard hardness testing of samples.....   | 35        |
| 3.3.8 Sample sections of the SEM results.....  | 36        |
| 3.4 Brief summary.....   | 39        |
| <b>Chapter 4 The influence of local heating technology to weld line.....</b>   | <b>40</b> |
| 4.1 The formation mechanism and classification of weld line.....   | 40        |
| 4.1.1 The formation of weld lines.....   | 40        |
| 4.1.2 Weld classification.....   | 41        |
| 4.2 Measures to improve the weld line.....   | 41        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3 Using local heating technology to improve weld line .....                           | 42        |
| 4.3.1 Local heating technology .....  | 42        |
| 4.3.2 Mould manufacturing .....   | 43        |
| 4.3.3 Experimental materials and equipment .....  | 44        |
| 4.3.4 Experimental plan.....  | 45        |
| 4.3.5 Experimental results and analysis .....   | 45        |
| 4.4 Brief summary .....   | 50        |
| <b>Chapter 5 Sequential injection molding on the control of weld line.....</b>          | <b>52</b> |
| 5.1 Principle and characteristics of sequential injection molding .....                 | 52        |
| 5.2 Weld position control methods .....   | 52        |
| 5.3 Application example of sequential injection molding .....                           | 53        |
| 5.3.1 Moldflow software profile.....  | 53        |
| 5.3.2 Model car bumper .....  | 54        |
| 5.3.3 Car bumper of Sequential injection gate design.....                               | 55        |
| 5.3.4 Sequential injection molding process parameters on the influence of weld line ... | 56        |
| 5.3.5 Bumper molding quality.....   | 61        |
| 5.4 Brief summary .....   | 62        |
| <b>Conclusions and expectations.....</b>  | <b>63</b> |
| <b>References .....</b>   | <b>65</b> |
| <b>Paper during the period of Master’s study .....</b>                                  | <b>69</b> |
| <b>Original creation statement.....</b>   | <b>70</b> |
| <b>Acknowledgement .....</b>  | <b>71</b> |

# 第一章 绪论

## 1.1 课题研究的背景及意义

塑料制品因具有质量轻、比强度高、耐化学腐蚀性好、易加工成型等优良特性，被广泛应用于航空航天、电子电气、汽车、仪器仪表、建筑等各行各业。近十年来，世界塑料制品的生产量呈稳定增长之势，塑料制品的应用领域不断拓展<sup>[1]</sup>。国家也将继续实行拉动内需政策，家电、汽车、基础设施建设等塑料制品配套领域的高速发展，表明塑料工业仍处于一个稳步发展时期。然而，现代技术的进步和社会的发展，对塑料制品的要求不但是数量与日俱增，对其质量的要求也越来越高。如对塑料外饰的要求，不但要美观，还要耐磨以及人们对于环保，安全的意识逐渐增高，共混注塑成为未来注塑技术领域的又一热点。制造出满足人们需求的更高品质的产品，是时代的要求，也是社会进步的要求。

采用塑料或塑料共混物代替金属或其他一些传统的材料成为一种趋势。塑料代替金属这一巨大的潜能贯穿着整个工业，目前塑料代替金属应用已经占了总量的15%，尤其是汽车大型零部件材料都被塑料所代替<sup>[2]</sup>。

随着人们对产品的外观要求不断提高，不但要求注塑制品的性能满足使用要求，还要求其具有较高的表面光泽度及闪光效果。为了实现这种效果，传统的加工工艺一般采用在注塑后增加喷涂工艺来实现。但喷涂工艺存在以下不足之处：

①表面喷涂不均匀容易形成色差；

②生产工序多；如塑件喷涂需要经过打磨、去污、喷涂、烘干等多道工序才能完成。工序复杂，生产周期长。如某聚丙烯产品的涂装工艺流程含括二十余道工序：制品→打磨 洗净干燥→挂流水线→IPA脱脂, 600° C喷淋→室温水洗→去离子水洗, 室温→洁净空气吹干→80-900° C 烘干→转挂→离子化空气除静电→涂底漆→烘干 80~900C, 30min→冷却→打磨(必要时)→擦净→防静电, 离子化空气→涂面漆→晾干→烘干→冷却→检验包装；而且喷涂的溶剂大量挥发，环境污染严重，极易造成空气污染，危害工作人员的身体健康<sup>[3]</sup>。

③需要专门的设备、场地，投资成本高。

由于表面喷涂存在以上缺点，如采用金属颜料与塑料共混注塑成型的方法直接获得所需颜色和表面光泽的塑料制品，减少工序繁杂以及对环境的污染等问题。

目前应用比较广泛的金属颜料是高闪光铝。闪光铝粉颜料具有片状的几何结构。其粒径尺寸为 8—200  $\mu\text{m}$ ，厚度为 0.1—0.21  $\mu\text{m}$ 。铝鳞片表面非常光滑，且不透明，入射光在其表面几乎全反射。当观察角度与入射角度相等时，可看到闪耀的金属亮点，而在其他角度观察时，闪烁程度不同，同时高闪光铝颜料对可见光、红外光及紫外光都有很高的反射率，当制品可起到一定的隔热作用<sup>[4-6]</sup>。

ABS，学名是丙烯腈、丁二烯和苯乙烯的三元共聚物，A 代表丙烯腈，B 代表丁二烯，S 代表苯乙烯，是目前产量最多，应用最广泛的世界五大合成树脂之一。其性能具有良好的抗冲击强度和表面硬度，有较好的尺寸稳定性、一定的耐化学药品性和良好的电气绝缘性。它不透明，一般呈浅象牙色，能通过着色而制成具有高度光泽的其它任何色泽制品，广泛应用于机械、汽车、电子电器、仪器仪表、纺织和建筑等工业领域，是一种用途极广的热塑性工程塑料<sup>[7-9]</sup>。

本课题主要是研究闪光铝与 ABS 共混的工艺及熔接痕的研究。共混注塑工艺比一般的注塑工艺更加的复杂和更高的技术难度，通常的模具设计与注塑工艺方法一般只适合单一的成分或是两种及以上的聚合物共混改性的塑料制品，而共混注塑是在塑料原料中加入一定比例的高闪光铝颜料，其共混物的形态、流动性规律和熔接痕形成机理更复杂<sup>[40-12]</sup>。熔接痕是塑料成型加工中普遍的问题，几乎在所有的塑料成型加工中，都可能产生熔接痕。在注塑成型过程中，当采用多浇口或型腔中存在孔洞、嵌件、以及制品厚度尺寸变化较大时，塑料熔体在模具内发生两个方向以上的流动，在两股熔体相遇处就会在制品中形成熔接痕。熔接痕不仅影响到制品的外观质量，而且对制品的力学性能（强度和刚度）影响很大。特别是对于塑料与金属颜料的共混注塑的制品影响更为明显。但在制品满足某些性能的前提下，通过一次注塑成型就能使制品具有闪光效果及较好的光泽度，解决传统的注塑加喷涂工艺制造的产品容易出现表层掉漆，工序繁杂以及对环境的污染等问题，对促进绿色成型工艺具有推进作用<sup>[43]</sup>，所以其理论和工艺一直受着广泛的关注和重视。

## 1.2 国内外相关领域的研究状况

### 1.2.1 共混注塑成型理论和工艺方面的研究情况

在共混注塑成型理论方面的研究情况：国内外专家们主要集中研究解决：(1)不同成份的材料在共混过程中各部分的各部份的存在形态，而且是基于相近材料的混合注

塑成型,如在聚炳烯中添加纤维材料等;(2)在分子聚合物中混入其它材料时,注塑时熔体的流变规律,熔体的取向、结晶、缠绕、粘度等。如用毛细管流变仪研究了茂金属聚乙烯蜡改性聚乙烯共混体系的流变行为,探讨茂金属聚乙烯蜡用量对共混体系熔体流变行为、熔体黏度、非牛顿指数和流动活化能的影响;(3)不同材料的亲和度及其分散特性,如多元物质的共混共散理论等;(4)共混注塑成型与制品质量的关系特性等问题;如根据原有单一材料的物理化学特性,按照混合比例和成型工艺控制制品的质量研究等;(5)其它有关共混注塑成型的动能与功的研究等<sup>[14-17]</sup>。

在注塑工艺方面的研究:包括不同工艺参数(如注射速度、稳定、压力等)、不同注塑方式(如采用振动注塑等)、不同模具结构等对多元共混注塑成型的影响<sup>[18-19]</sup>。虽然闪光铝等金属颜料配色与塑料共混注塑工艺在国外已有研究和应用,但由于技术的保密等原因,有关这方面的研究成果极少见报道。

### 1.2.2 共混注塑的应用效果及熔接痕的研究

共混注塑应用效果举例:1.加纤 30%PA66 材料,在注塑成型后可彻底解决浮纤现象,表面光亮看不到纤维纹迹,直接可以镀铬处理,可替代 ABS 材料而胜过 ABS 的强度。

2.在材料基体中添加各种金属颜料、云母钛珠光颜料等具有特殊色彩颜料的填料,采用不同的挤出加工工艺和注塑工艺,能使共混物表面的具有金属颜料的闪光作用,达到金属感的效果。

3.在 ABS 材料中添加 10%的 PC 或 PMMA 材料,使产品表面增加光泽、透明度、硬度,表面平整度、尺寸稳定可代替金属生产高精密的零配件。

4.P. M. Karlsson、Liu H 等用甲基丙烯酸甲酯、20%的苯乙烯/马来酸酐包覆铝粉颜料的方法,提高铝粉颜料与塑料基体的相容性、分散性及抗腐蚀性<sup>[20]</sup>。

5.林峰,周密,肖望东,程金星,张小林等采用双螺杆共混方法研究 CaCO<sub>3</sub>(碳酸钙)改性 PP—SEBS(苯乙烯—乙烯/丁烯—苯乙烯共聚物)复合材料的力学性能,。结果表明,当 PP—SEBS 65 份、相容剂 5 份、CaCO<sub>3</sub>30 份时,弹性体的力学性能最佳。扫描电镜(SEM)分析显示,加入相容剂后,CaCO<sub>3</sub> 的粒子被 PP—SEBS 基体包覆,两相间粘合力增强,CaCO<sub>3</sub> 与 SEBS 之间的浸润有效改善,共混物的力学性能提高<sup>[21]</sup>。

6.G. E. Osman、N. Nugay 研究聚丙烯、尼龙 6 和滑石粉的三元共混复合材料形成的熔接痕性能及形态。在加载条件下,不同比例的填料会影响熔接痕的拉伸强度,通过

电子扫描显微镜 (SEM) 进行分析, 表明怎讲粘度分散相有利于加强熔接痕强度。

7. Solymossy、J. G. Kovacs 等研究在不同纤维含量的高聚物标准件的力学性能情况。在不同的熔融温度和保压压力下, 运用标准拉伸试验和冲击实验方法, 测试实验标准件的拉伸和无有熔接痕的注塑成型的聚丙烯和短玻璃纤维的力学性能, 并对断裂表面进行扫描电子显微镜分析, 实验的测试结果表明, 温度和注塑压力对拉伸及冲击试样的力学性能影响有限, 纤维长度是影响力学性能的主要因素, 随着纤维含量, 拉伸强度增加, 到达峰值后强度下降, 而纤维冲击性能随着纤维的含量而降低<sup>[23]</sup>。

## 1.3 课题来源及研究内容

### 1.3.1 课题来源

粤港关键领域招标项目: 汽车大型复杂零件精密注塑模具关键技术, 编号 2008Z51。

### 1.3.2 研究内容

采用正交试验法进行工艺参数优化。根据影响实验试样的力学性能的工艺参数个数建立正交实验表, 设定水平因素范围, 按照正交试验表进行共混注塑实验, 测试共混注塑的实验标准试样的力学性能, 采用综合平衡分析法得出力学性能最佳的工艺参数组合, 并对最佳工艺参数进行验证。

利用扫描电子显微镜观察高闪光铝在不同配比组分的拉伸、冲击试样断面的分布情况, 分析高闪光铝的分布情况对试样力学性能的影响。对存在熔接痕的冲击试样断面进行能谱分析, 验证高闪光铝粉在熔接痕处富聚。

设计制造一套存在多孔件的模具, 通过采用局部加热技术来改善或消除制件的熔接痕, 实验的工艺参数参照上一章节实验获得的共混物试样的最佳力学性能工艺参数组合。先选用纯 ABS 进行实验分析, 证明采用局部加热技术对熔接痕的改善作用, 再选用共混物进行试验, 并与采用普通注塑成型得到的共混物制品比较, 突出采用局部加热技术对熔接痕的改善作用, 提高制品的表面光洁度。

采用 CAE 模拟软件对轿车后保险杠三点进浇顺序注塑成型过程进行模拟。分析不同浇口的延迟开启时间对形成熔接痕的影响, 对形成熔接痕施行动态控制, 把熔接痕控制在不影响其外观质量位置、获得较高表面质量的制品。

## 1.4 本章小结

本章的绪论部分，阐述了本课题产生的背景，来源等。简要介绍了国内外关于共混注塑的成型理论、工艺方法及工程塑料共混注塑取得的一些研究成果的概述，并阐述了论文的主要研究内容，为下一步的研究工作指明了研究。

## 第二章 高闪光铝与 ABS 共混注塑工艺研究

### 2.1 工程塑料共混概况

工程塑料共混又称工程塑料共混改性，是由两种或两种以上的塑料、橡胶、添加剂掺混在一起，改变原塑料的性能，使其成为具有某些特殊性能塑料的方法，至今经历了 100 多年的历史<sup>[24-26]</sup>。广义的共混过程目的，在于减少混合体系的非均匀性，或者说是增加混合体系的均匀性。为达到这一目的，要靠混合体系各组分间的物理运动来完成。

聚合物共混是聚合物体系中的混合，也要靠各组分的物理运动来完成。于是，物理共混就成为最基本的共混方式。但是，化学反应在聚合物共混体系形成中的作用也不容忽视。在某些体系中，化学反应会伴随物理共混发生；在另外一些体系中，化学反应对聚合物对相体系的形成起着决定性的作用。因而，形成了如下聚合物共混方式的分类和共混概念的定义<sup>[27-28]</sup>。

#### 2.1.1 工程塑料共混改性的目的

工程材料虽然具有很多优良的性能，但与金属材料相比还存在某些不足与缺陷。工程塑料共混改性的目的如下<sup>[29-32]</sup>：

(1) 通过共混改性的方法改善原料的某些物理机械性能，如提高抗冲击性、尺寸稳定性、耐磨性，改善耐热性、耐化学药品性(耐溶剂性)，还有其它物理机械性能，如气密性、耐候性、阻燃性、阻尼性、粘结性、抗静电性、生物相容性等。

(2) 改善某些高分子材料的加工性能，如改善高分子材料的熔体流动性，即通过共混改变聚合物的熔体粘度，或是控制结晶聚合物的结晶行为。

(3) 降低生产成本。在保证材料使用性能的前提下，用无机填料与工程材料混料改性，既降低了材料的成本，减少生产工序，又改善了成型收缩与挠曲性。

(4) 赋予高分子材料某些特殊性能。一些应用场合需要使高分子材料具有某些特殊性能，如阻燃性、导电性、阻尼性等，可以通过添加相应特性的组分达到该特性的要求。

(5) 对于某些性能卓越，但价格昂贵的工程材料，通过共混，在不影响使用要求的条件下降低原材料成本，也可以利用废弃材料，既降低成本，又防止污染环境。

#### 2.1.2 工程塑料共混改性的方法



工程塑料共混物可通过采用物料法和化学法来获得。物理法又分为干粉共混法、机械共混法、溶剂共混法和乳液共混法<sup>[32-33]</sup>。

(1) 干粉共混法，是将两种或两种以上品种不同的细粉状高聚物在各种通用的塑料混合设备中加以混合均匀，形成均匀分散的粉状高聚物的方法。在某些情况下可直接用于压制、压延、注射或挤出成型，或经挤出造粒后再用于成型。

(2) 机械共混法，是将不同种类的聚合物加热到熔融状态混合而成，故又称熔融共混，主要是在开炼机密炼机、连续混炼机和挤出机上进行，是应用最广泛，最具工业价值的方法。

(3) 溶液共混法，是将不同的高分子材料在共同的溶液中溶解、混合，再去掉溶剂而制得。

(4) 乳液共混法，是将不同的高分子材料的乳液均匀混合后工凝聚而得到的共混体系。

## 2.2 共混理论及设备

### 2.2.1 挤出成型原理

挤出成型在塑料加工中又称为挤塑，在非橡胶挤出机加工中利用液压机压力于模具本身的挤出称压出。是指物料通过挤出机料筒和螺杆间的作用，边受热塑化，边被螺杆向前推送，连续通过机头而制成各种截面制品或半制品的一种加工方法<sup>[34]</sup>。

粉末状或粒状物料由料斗进入料筒，在螺杆旋转作用下，通过料筒内壁和螺杆表面摩擦剪切作用向前输送到压缩段，在此段松散固体向前输送同时被压实；在压缩段，螺槽深度变浅，进一步压实，同时在料筒外加热和螺杆与料筒内壁摩擦剪切作用，料温升高开始熔融，压缩段结束；均化段使物料均匀，定温、定量、定压挤出熔体，到机头后成型，经定型得到制品或半制品。广泛应用于热塑性塑料和橡胶的加工，可进行配料、造粒、胶料过滤等，可连续化生产，制造各种连续制品如管材、型材、板材、片材、薄膜、电线电缆包覆、橡胶轮胎胎面条、内胎胎筒、密封条等，其生产效率高。在合成树脂生产中，挤出机可作为反应器，连续完成聚合和成型加工，在橡胶工业中压缩比不同的挤出机可以用来塑炼天然胶，不同材料的挤出机器的压缩比有些不同<sup>[32]</sup>。

一般根据所加工混合物的类型及共混物的形状，选定挤出机、机头和口模，以及定型和牵引等相应的辅助装置，确定挤出的工艺条件如螺杆转速、物料温度，以及机

头温度、牵引速度等。在挤出过程中，物料一般都要经过塑炼，但定型方法则有所不同。例如，挤出的塑料常需冷却定型，使其固化，本课题的高闪光铝与 ABS 共混物挤出后就需要进行冷却然后进行切粒，使高闪光铝粉更好的与 ABS 混合均匀。

挤出成型在聚合物的共混加工中有重要的位置，在注塑工艺过程中有包括挤出成型过程的约占热塑性塑料制品的一半以上，具有以下突出特点<sup>[35-36]</sup>：

- 1、可连续化生产。
- 2、生产效率高。
- 3、与注射机配合生产，适用加工大多数塑料和热固化性塑料。
- 4、投资少、见效快、安装调试方便。

## 2.2.2 挤出成型过程

挤出生产过程主要由主机和辅机两大部分构成。主机包括挤压系统、传动系统、加热冷却系统和控制系统四部分；辅机包括冷却和定形装置、牵引装置、切割装置等。根据物料在料筒中的运动、状态和性能的变化，其挤出过程可分为<sup>[37-38]</sup>：

### (1) 加料及固体输送段

在加料段，物料（固体粒子或粉末）由加料器进入机筒加料斗下方的螺杆后，螺槽并没有完全充满的，充满度（小于 1），物料在螺槽还是固体状态。在旋转作用下，螺杆随着运动阻力的增大而逐渐被充实。

### (2) 熔融段

熔融段是物料由固态转为熔融状态的过程。物料在机筒外部加热器、螺杆和机筒产生的剪切热以及物料之间产生的摩擦热的共同作用下，使物料的温度逐渐升高，物料开始熔融，大部分物料变为熔体，本段的充满度比固体输送段高，耗能最大。

### (3) 熔体输送段

在熔融输送段中，残留在熔融段的固相都熔融变为熔体，本段的螺杆是由大导程的正向输送螺纹元件构成的，物料未充满。

### (4) 混合段

在熔体输送段新加入的物料和熔体一起进入由捏合块组成的混合段，进行分布混合和分散混合。

### (5) 对空排气段

紧跟着混合段的是对空排气段，也是由大导程的正向输送螺纹元件组成，由于螺槽没有充满，存在较大的自由表面积，可将上游的物料熔融，混合时产生的气体和加料时带入的气体在机筒的对空排气段排出。

#### (6) 均化段

螺杆也是由大导程的正向输送螺纹元件组成，存在较大的表面积，有利于进一步把残留在物料中的气体排出。

#### (7) 计量段

螺杆导程变小，螺槽充满熔体，建立起压力，将已混合的物料由机头挤出造粒。

## 2.3 挤出成型理论

挤出成型理论是研究物料在螺杆挤出机的塑化挤出过程中，其状态变化和运动规律的工程原理。通过理论分析，提高共混物的塑化质量、降低能量消耗，为改进挤出成型工艺、改进设备提供理论依据。

根据挤出过程，挤出成型理论可概况为：固体输送理论、熔融理论和熔体输送理论<sup>[32]</sup>。

### 2.3.1 固体输送理论

物料进入机筒加料斗下方的螺杆后，在螺杆的选择作用下，固体向前输送，在加料段上，形成了固体输送区。目前关于固体输送区的理论有几种，较有代表性的是达涅耳 (Darnel) 和莫耳 (Mol) 于 1956 年提出的根据固体对固体摩擦的静力平衡为基础建立起来的固体输送理论。其基本假设：

- (1) 螺槽中被充实的物料像具有弹性的固体塞子一样移动。
- (2) 塞子与所有面（料筒表面、螺纹槽底面、螺纹两个侧面）相接触。
- (3) 塞子与各表面的摩擦系数是一个常数，作用于塞子的摩擦力  $F = f \cdot P$  符合库伦定律 ( $F$  为摩擦力， $f$  为摩擦系数， $P$  为正压力)，但在螺杆和料筒表面可以取不同的数值。
- (4) 忽略料筒和螺纹棱之间的间隙。
- (5) 螺槽的截面是矩形的，并且其深度不变。
- (6) 固体塞子的密度不变。

(7) 机筒转动而螺杆相对的静止不动。

### 2.3.2 熔融理论

熔融理论又称为融化理论，是建立在热力学第一流变学等基础上的一种理论。熔融是挤出成型过程中非常重要的一个阶段，不仅因为涉及固态物料如何转变为黏流态，而且跟挤出过程的混合过程密切相关，是整个挤出过程中能量消耗最大的阶段，因螺槽深度逐渐变浅，以及分流板、过滤网和机头的阻挡，使物料受到很高的压力而被进一步地压缩。同时，随着物料温度逐渐升高，机筒内表面相接触的物料的温度达到黏流温度而开始熔融，螺杆推着物料向前输送，熔融的物料量越来越多，而固体物料越来越少，直至物料全部熔融充满整个螺槽。

目前为止，由于受诸多因素的影响，熔融是挤出成型过程中最复杂的一个阶段。首先，熔融现象尚未弄清楚，很难建立起数学和物理模型。其次，挤出机的螺杆构型不同，被挤出物料的性质与螺杆的构型的关系密切，很难找出熔融的一般规律。第三，相比于固体输送和熔体输送的研究，熔融理论的研究涉及到能量方程，方程中的很多参量很难确定，方程求解困难。

目前，用于挤出过程熔融机理研究的是实验方法有三种：骤冷机筒、抽出螺杆实验法；剖分机筒实验装置法；透明机筒法。关于物理模型的建立也有三种：熔融过程示意图；熔融过程描述；简化假设条件。

### 2.3.3 熔体输送理论

熔体输送理论又称流体动力学理论或流动理论，是研究螺杆在均化段如何保证物料在熔融状态下进一步均化，使熔体均匀塑化，保证把定温、定压、定量的熔体连续的输送到机头。熔体的输送有两种情况，一种是螺杆充满熔体，另外一种为螺杆只有部分充满熔体，研究较广泛的是螺杆充满熔体。与前面两个理论相比，熔体输送理论建立的最早。早在1953年首先提出在两个无限大的平板之间，假定熔体为等温牛顿流体的条件建立起来，后来又进行了修正。熔体流动理论的基本假设为：

- a. 牛顿型流体，并已全部熔融且等温；
- b. 流动是稳定的；
- c. 压力只在 X, Z 方向上变化；
- d. 流体不可压缩；内部无流动；
- e. 重力忽略；

f. 机筒运动，螺杆相对静止。

物料在输送过程消耗的能量主要是物料在螺槽中前进时消耗的，还有部分消耗来自物料在螺棱与机筒内壁间隙中运动时消耗的。

### 2.3.4 实验选择的双螺杆挤出机及参数

表 2-1 双螺杆挤出机参数  
Table 2-1 Twin-screw extruder parameters

| 挤出温度(°C) |     |     |     |     |     |     | 螺杆转速     | 切粒转速      |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----------|
| 喂料       | 二段  | 三段  | 四段  | 五段  | 六段  | 机头  |          |           |
| 170      | 210 | 230 | 230 | 230 | 230 | 190 | 70 r/min | 100 r/min |

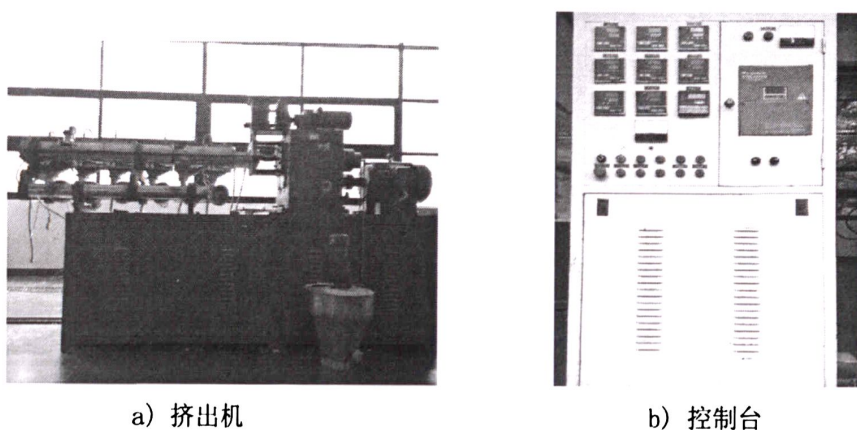


图 2-1 挤出机结构

Fig.2-1 The extruder structure

## 2.4 共混注塑成型及工艺

### 2.4.1 共混注塑成型

注塑成型是根据塑料的热物性性能，将物料从注塑机的料斗加入机筒内，在料筒的外置加热器加热下，物料熔融。螺杆随着马达向前旋转，物料在螺杆的作用下，沿着螺槽向前输送并压实，并在料筒的加热装置及螺杆的剪切作用下逐渐塑化、熔融和均化。在螺槽摩擦力及剪切力的作用下，熔融物料被推送到螺杆的头部，与此同时，螺杆在物料推力的反作用下后退，形成储料空间，完成一次塑化过程后，定量的注射到由锁模系统锁紧的模具型腔内，型腔内的物料经过一定的时间保压、冷却固化后，在锁模机构的作用下，开模顶出制品。完整的注塑成型过程大致可分为六个阶段：合模、注射、保压、冷却、开模、制品顶出，其循环过程如图 2—2 所示<sup>[39-40]</sup>。高闪光铝与 ABS 共混注塑过程跟一般的注塑成型过程一样经过这六个阶段的循环，还增加了注

塑前的预处理,要先通过挤出机进行共混搅拌造粒,因为 ABS 树脂在常温下是颗粒状,而高闪光铝是粉末状,两种物料在常温下是很难搅拌均匀的,为了使高闪光铝与 ABS 在注塑前能更均化的混合在一起,先通过挤出机进行挤出造粒,使高闪光铝在注塑前就 ABS 树脂混合在一起。

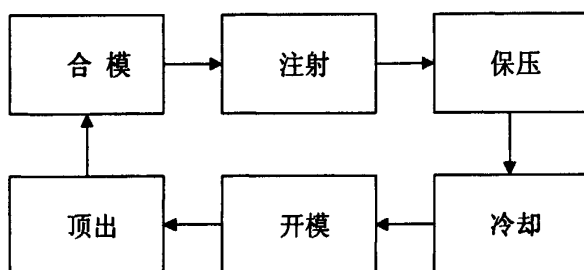


图 2-2 注射成型过程

Fig.2-2 Injection Molding Process

## 2.4.2 共混注塑成型工艺过程

完整的共混注塑成型工艺过程包括三方面:注塑成型前的准备、注射过程和制件的后处理<sup>[41-42]</sup>。制件的后处理一般是生产应该中需要的工序,本课题不研究。

### (1) 注塑成型前的准备

注塑成型前的准备工作主要是对高闪光铝和 ABS 树脂进行混合挤出造粒及干燥。在挤出机进行共混挤出造粒时,必须先对 ABS 树脂进行干燥,由于 ABS 树脂中存在吸水基团,在常温下,其吸水率是在 0.2%—0.4%,如果注塑成型前没进行干燥,ABS 树脂中的水分在塑化时会变成水蒸气,造成制品或半制品存在气穴、缩孔缩松等缺陷。而且水蒸气在挤出机或是注塑机中聚集,是注塑过程或是挤出过程的潜在危险,所以在挤出造粒前对 ABS 树脂进行干燥预处理,在 80℃-90℃的烘箱进行 2-4 小时的干燥去除水分。经过干燥处理后的 ABS 树脂与高闪光铝先进行搅拌混合,由于高闪光铝是粉末状的,为了使高闪光铝粉能更好的附着在 ABS 树脂上,在两者搅拌混合时加入少量的工业酒精,这样使高闪光铝粉更好的黏在 ABS 树脂上,防止高闪光铝粉在搅拌混合时沉淀。搅拌均匀的共混物加进挤出机的料斗中进行挤出造粒,根据需要造粒颗粒的大小,调节挤出机螺杆的转速和切粒机的切粒的速度,完成一次挤出造粒。如果要确保高闪光铝与 ABS 树脂混合的更均匀,可继续进行二次加工造粒。混合造粒完成后,再对造粒进行 2—4 小时的干燥,为下一步的注塑做好准备,完成注塑前的准备工作。

### (2) 注射过程

注射成型过程主要有加料、塑化、注射、保压、冷却、脱模等阶段。可归结为三个过程：温度控制、压力控制、成型周期。

注射成型过程中的温度控制是指料筒温度控制、喷嘴温度控制和模具温度控制。前两种温度是主要影响 ABS 树脂和高闪光铝在机筒中的塑化和流动，后一种温度主要是影响共混物的流动和冷却。ABS 树脂的成型温度是在 190℃-240℃，而高闪光铝的熔点是 660℃，在 ABS 树脂的成型温度范围内，高闪光铝仍是以固相混合在 ABS 树脂的黏流态中，所以根据成型工艺需要，在 ABS 树脂的成型温度范围内设定好料筒各段的温度及喷嘴的温度进行共混物的塑化。喷嘴温度的设定通常是略低于料筒设定的最高温度，目的是防止在直通式喷嘴可能发生熔料的“流涎现象”，但喷嘴温度也不能设定过低，否则将造成熔体的早凝将喷嘴堵塞、早凝料被注入模腔，降低制品的性能、导致料筒的座架不能移动等情况的发生。

压力控制主要包括塑化压力和注射压力两种，直接影响共混物的塑化及制品的质量。塑化压力是指用螺杆式注射机注射时，螺杆顶部熔料在螺杆转动后退时所受到的压力，也称背压，可以通过调节液压系统中的溢流阀来调整塑化压力。塑化压力的大小是随着螺杆的设计、制品质量的要求以及共混物种类的不同需要而改变的，当这三种情况和螺杆的转速都不变，塑化压力的增加会加强剪切作用，使熔体的温度提高，但塑化的效率会减小，逆流和漏流会增大，驱动功率增加。而且塑化压力增加会使熔体的温度均匀，共混物混合均匀和加强熔体中气体的排出。在保证制品质量的前提下，塑化压力是越低越好，具体数值根据塑料或共混物而定。

注射压力是以注塑机中柱塞或螺杆顶部对物料所施的压力为基准，通过油路的压力换算。在注塑成型过程中，注射压力的主要作用是克服熔融物料从料筒流向型腔的流动阻力，给予熔融物料充模的速率以及对其进行压实。

表 2-2 注射成型周期的时间组成

Tab.2-2 The component of injection molding cycle time

|                  |                                |                          |       |
|------------------|--------------------------------|--------------------------|-------|
| 成<br>型<br>周<br>期 | 注射时间                           | 充模时间(螺杆快速前移,推动物料塑化均匀等时间) | 总冷却时间 |
|                  |                                | 保压时间(螺杆前移注射停止后的停留时间)     |       |
|                  | 冷却定型时间(螺杆旋转、后退、预塑化、第二次注射用熔料时间) |                          |       |
|                  | 其他辅助时间(开模、闭模、涂脱模剂和安置嵌件等时间)     |                          |       |

注射成型周期是指完成一次注射成型生产所需要的各动作程序的时间总和。制品



的成型周期的时间长短，对注射机生产效率和设备利用率有直接的影响。因此，在生产工作底制品成型周期中各动作程序时间的选择中，应在保证注射制品质量的前提下，时间越短越好。

### 2.4.3 实验选用的注塑机的型号及参数

本课题选用的是震德塑料机械有限公司生产的注塑机，型号为 CJ80TB。主要是由四大部分构成，即注射系统、合模系统、液压系统和电气控制系统。

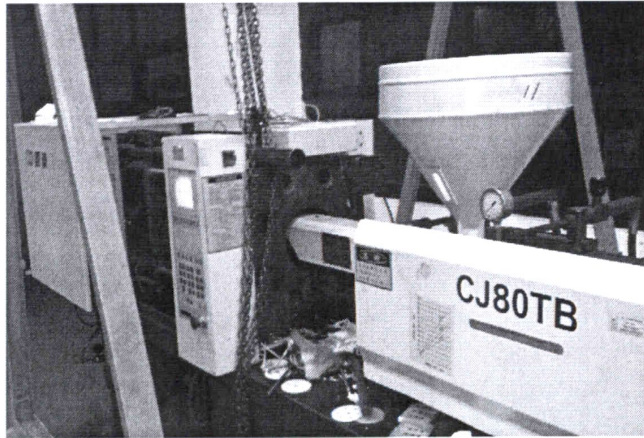


图 2-3 注塑机

Fig.2-3 The injection machine

#### (1) 注射系统

注射系统是注塑机最主要的组成部分之一，一般有柱塞式、螺杆式、螺杆预塑柱塞注射式 3 种主要形式，应用最广泛的是螺杆式。CJ80TB 型号注塑机的注射系统是螺杆式，其作用是把通过挤出机造粒的高闪光铝与 ABS 树脂共混物均匀加热塑化后，在一定的压力和速度下，通过螺杆将熔融塑料注入模具型腔中。注射结束后，对注射到模腔中的熔料保持定型。注射系统主要由注射系统由塑化装置和动力传递装置组成。

#### (2) 合模系统

合模系统的作用是保证模具闭合、开启及顶出制件。同时，在模具闭合后，供给予模具足够的锁模力，以抵抗熔融塑料进入模腔产生的模腔压力，防止模具开缝，造成制品的不良现状。合模系统主要由合模装置、调模机构、顶出机构、前后固定模板、移动模板、合模油缸和安全保护机构组成。

#### (3) 液压系统

液压传动系统的作用是实现注塑机按工艺过程所要求的各种动作提供动力，并满足注塑机各部分所需压力、速度、温度等的要求。主要由各自种液压元件和液压辅助元



件所组成，其中油泵和电机是注塑机的动力来源，各种阀控制油液压力和流量，满足注射成型工艺各项要求。

#### (4) 电气控制系统

电气控制系统与液压系统合理配合，可实现注射机的工艺过程要求（压力、温度、速度、时间）和各种程序动作。主要由电器、电子元件、仪表、加热器、传感器等组成。

表 2-3 CJ80TB 技术参数

Tab.2-3 The technical parameter of CJ80TB

| 名称             | 单位              | 容量          |       |        |
|----------------|-----------------|-------------|-------|--------|
| 理论注射容积         | cm <sup>3</sup> | 122         | 165   | 224    |
| 实际注射量          | g (克)           | 113         | 153   | 208    |
| 螺丝直径           | mm              | 31          | 36    | 42     |
| 射胶压力           | MPa             | 215         | 160   | 117    |
| 螺丝长度直径比        | —               | 23:01       | 20:01 | 17.2:1 |
| 螺丝行程           | mm              | 162         |       |        |
| 螺丝转速           | r/min(max)      | 155         |       |        |
| 锁模力            | kN              | 800         |       |        |
| 开模行程           | mm              | 320         |       |        |
| 模板尺寸           | mm×mm           | 520×480     |       |        |
| 连接柱内距          | mm×mm           | 360×310     |       |        |
| 模板最大距离         | mm              | 640         |       |        |
| 容模量 (最薄-最厚)    | mm              | 130—320     |       |        |
| 油压顶出行程         | mm              | 100         |       |        |
| 油压顶出力          | kN              | 31          |       |        |
| 油压系统压力         | MPa             | 16          |       |        |
| 油泵马达           | kw              | 7.5         |       |        |
| 电热量            | kw              | 6.5         |       |        |
| 温度控制区数         | —               | 3+1         |       |        |
| 油箱容量           | L               | 140         |       |        |
| 机械外形尺寸 (L×W×H) | m×m×m           | 3.9×1.2×1.8 |       |        |
| 机重             | Ton             | 2.52        |       |        |

## 2.5 共混注塑过程的数学模型及假设

由于共混注塑过程中，高闪光铝粉占有的百分含量较少，且在注塑过程中，闪光铝粉是以微粒状的存在，所以其充模过程可视为与一般的注塑过程相似。在建立充

模过程的数学模型时, 模具型腔的几何复杂性和共混物熔体在薄壁型腔中的流动可以看作非弹性、非牛顿流体在非等温条件下的广义 Hele—Shaw 流动, 认为熔体是完全连续的流体, 熔体的流动用流体力学处理, 结合注塑成型过程中的假设条件, 可对基本方程进行如下变化<sup>[42]</sup>。

连续性方程的基本形式为:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

基本假设: 忽略厚度方向上的速度, 根据假设条件, 进行简化为:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (2.2)$$

动量方程的基本形式为:

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial \rho}{\partial x} + \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) \quad (2.3)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \rho g_y - \frac{\partial \rho}{\partial y} + \left( \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) \quad (2.4)$$

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = \rho g_z - \frac{\partial \rho}{\partial z} + \left( \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) \quad (2.5)$$

基本假设: (1) 假设熔体在型腔中为薄壁流动, 是忽略厚度方向流速的二维流动, 同时流道中的流动看作是忽略径向、周向流速的二维流动。

(2) 流速、应力等变化与厚度方向上的变化相比较可忽略。

(3) 假定为定常状态, 忽略对流项。

(4) 熔体物料的前端以定常状态处理, 厚度方向的流动是连续分布的。根据假设条件, 进行简化, 可得到 Hele—Shaw 流动方程为:

$$\frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial z} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial z} \quad (2.7)$$

能量方程的基本形式为:

$$\begin{aligned} & \rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) \\ &= \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] - T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right) \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \\ &+ \sigma_x \frac{\partial u}{\partial x} + \sigma_y \frac{\partial v}{\partial y} + \sigma_z \frac{\partial w}{\partial z} + \tau_{xy} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \tau_{xz} \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \tau_{yz} \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) + Q \end{aligned} \quad (2.8)$$

基本假设:

- (1) 忽略厚度方向上的速度。
- (2) 流动方向上的热传导与热对流较小, 可忽略。
- (3) 平面内的速度取向壁厚方向上的速度取向小, 可忽略。
- (4) 忽略压缩作用产生的热量。
- (5) 内部产生的热量中, 只考虑结晶化热量。

根据假设条件, 可简化为:

$$\rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + J \left( \tau_{xz} \frac{\partial u}{\partial z} + \tau_{yz} \frac{\partial v}{\partial z} \right) + Q_{cr} \quad (2.9)$$

其中  $\rho$  为密度,  $t$  为时间,  $u$ 、 $v$ 、 $w$  分表为速度矢量沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三个坐标的分量;  
 $g_x$ 、 $g_y$ 、 $g_z$  分别为质量力在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向上的分量;  $T$  为温度,  $c_p$  为定压比热容,  $Q$   
 为单位质量流体的热源强度。

本构方程: 假定熔体是纯黏性流体, 本构方程可表示为:

$$\tau_{xz} = \eta \dot{\gamma}_{xz} = \eta \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2.10)$$

$$\tau_{xy} = \eta \dot{\gamma}_{xy} = \eta \frac{\partial v}{\partial x} \quad (2.11)$$

边界条件: 基本假设如下

- (1) 厚度方向上的速度假设为 0。
- (2) 熔体前端的压力为 0。
- (3) 模具与熔体的界面发生热交换。

## 2.6 偶联剂的作用

偶联剂是一种具有特殊结构的有机硅化合物。在它的分子中, 同时具有能与无机材料 (如玻璃、水泥、金属等) 结合的反应性基团和与有机材料 (如合成树脂等)

结合的反应性基团<sup>[40]</sup>。常用的理论有化学键理论、表面浸润理论、变形层理论、拘束层理论等。偶联剂作表面改性剂，用于无机填料填充塑料时，可以改善其分散性和黏合性，经偶联剂处理后可以与有机物产生很好的相容性。偶联剂有多种种类，可根据共混物的性质选择相应的种类，本实验选用是铝酸酯偶联剂。

铝酸酯偶联剂的亲无机端与亲有机端能分别与无机填料表面和有机树脂发生化学反应或形成缠结结构<sup>[46]</sup>，增强了无机粉体与有机树脂的界面相容性，所以在共混物中添加铝酸酯偶联剂，不仅可以改善共混物制件的加工性能，而且也可以明显改善制件的物理机械性能，降低吸水率，减少模具磨损，使闪光铝粉在 ABS 树脂中分散均匀，提高共混物的质量。

## 2.7 本章小结

本章主要是对工程塑料的共混情况进行概述，介绍了工程塑料共混改性的目的、方法及共混挤出的原理等，为高闪光铝与 ABS 共混注塑成型工艺打下理论基础，提出共混注塑过程的数学模型及假设，并简要介绍本论文实验用的注塑机、挤出机型号和加工参数及偶联剂在共混注塑中的作用。

## 第三章 工艺参数对高闪光铝与 ABS 共混物力学性能影响

### 3.1 注塑工艺参数

#### (1) 注射压力

注射压力是由注塑系统的液压系统提供的。液压缸的压力通过注塑机螺杆传递到塑料熔体上，塑料熔体在压力的推动下，经注塑机的喷嘴进入模具的主流道、分流道，并经浇口进入模具型腔，这个过程即为填充过程，或称为注塑过程。注射压力是为了克服熔体流动过程中的阻力，以保证填充过程顺利进行。

在注塑过程中，注塑机喷嘴处的压力最高，以克服熔体全程中的流动阻力。其后，压力沿着流动长度往熔体最前端波前处逐步降低，如果模腔内部排气良好，则熔体前端最后的压力就是大气压。影响熔体填充压力的因素很多，主要有材料因素、结构性因素、成型的工艺要素<sup>[46]</sup>。

#### (2) 注射时间

这里的注射时间是指塑料熔体充满型腔所需要的时间，不包括模具开、合等辅助时间。尽管注射时间很短，对于成型周期的影响也很小，但是注射时间的调整对于浇口、流道和型腔的压力控制有着很大作用。合理的注塑时间有助于熔体理想填充，而且对于提高制品的表面质量以及减小尺寸公差有着非常重要的意义。

在作模流分析时，只有当熔体完全是由螺杆旋转推动注满型腔的情况下，分析结果中的注塑时间才等于工艺条件中设定的注塑时间。如果在型腔充满前发生螺杆的保压切换，那么分析结果将大于工艺条件的设定。

#### (3) 熔体温度

熔体温度是影响注射压力的重要因素。注塑机料筒有 5~6 个加热段，每种原料都有其合适的加工温度。熔体温度必须控制在一定的范围内。温度太低，基体塑化不良，影响成型件的质量，增加工艺难度；温度太高，原料容易分解或是产生过烧现象。在实际的注塑成型过程中，注塑温度往往比料筒温度高，高出的数值与注塑速率和材料的性能有关，最高可达 30℃。这是由于熔料通过注料口时受到剪切而产生很高的热量造成的。在作模流分析时可以通过两种方式补偿这种差值，一种是设法测量熔料对空注塑时的温度，另一种是建模时将射嘴也包含进去。

#### (4) 保压压力与时间

在注塑过程将近结束时，螺杆停止旋转，只是向前推进，此时注塑进入保压阶段。保压过程中注塑机的喷嘴不断向型腔补料，以填充由于制件收缩而空出的容积。如果型腔充满后不进行保压，制件大约会收缩 25%左右，特别是筋处由于收缩过大而形成收缩痕迹。保压压力一般为充填最大压力的 85%左右，要根据实际情况来确定。

## 3.2 基于正交试验的工艺参数优化

### 3.2.1 正交试验设计简介

正交试验设计是 20 世纪 50 年代由日本的田口玄一博士创立的一种质量控制理论，是以概率论与数理统计为理论基础，从大量的试验点中挑选具有代表性、典型性的点进行试验的。这些有代表性的点具备了“均匀分散，齐整可比”的特点，是一种同时研究不同的工艺参数对制品质量影响的高效率方法。通过正交实验的极差分析可得出较优的工艺参数组合，达到工艺参数优化配置的目的<sup>[47]</sup>。

应用正交试验设计方法进行工艺参数优化具有显著的有点<sup>[48]</sup>：

- (1) 试验周期短，效率高。
- (2) 分析因素与指标的关系。通过分析当因素变化时，指标的变化情况，找出因素影响指标的主次关系。
- (3) 应用极差分析、方差分析等处理后可得到工艺参数的优化组合<sup>[47]</sup>。

### 3.2.2 正交试验参数的设计

在正交试验中，试验得到的结果称为响应，对试验结果产生影响的元素称为因素，一般用 A、B、C、D……表示，因素的不同取值范围称为水平。在本实验中，结合生产实际，影响共混物制件的力学性能的工艺参数主要有：熔体温度（A）、保压时间（B）、保压压力（C）、注射压力（D）、闪光铝份含量（E），其水平取值范围如表 3—1 所示。

表 3-1 试验因子与水平  
Tab. 3-1 Table of factor—level

| 实验因子       | 水平 1 | 水平 2 | 水平 3 | 水平 4 |
|------------|------|------|------|------|
| A 熔体温度/°C  | 200  | 215  | 230  | 245  |
| B 保压时间/s   | 2    | 4    | 6    | 8    |
| C 保压压力/bar | 30   | 50   | 70   | 90   |
| D 注射压力/bar | 20   | 40   | 60   | 80   |

| E 高闪光铝含量/phr | 2phr | 3phr | 4phr | 5phr |
|--------------|------|------|------|------|
|--------------|------|------|------|------|

本实验是五因素四水平，所以选用  $L_{16}(4^5)$  正交试验表进行试验，表头设计时，A、B、C、D、E 各因素按顺序分别排在表的前五列中，实验方案如表 3—2 所示，其中 phr 是指每 100 份(以质量计)ABS 树脂添加的高闪光铝的份数。

表 3-2 正交试验设计方案

Tab.3-2 The program of orthogonal experiment

| 项目 | A | B | C | D | E |
|----|---|---|---|---|---|
| 1  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2  | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3  | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 4  | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5  | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 6  | 2 | 2 | 1 | 4 | 3 |
| 7  | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 |
| 8  | 2 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 9  | 3 | 1 | 3 | 4 | 2 |
| 10 | 3 | 2 | 4 | 3 | 1 |
| 11 | 3 | 3 | 1 | 2 | 4 |
| 12 | 3 | 4 | 2 | 1 | 3 |
| 13 | 4 | 1 | 4 | 2 | 3 |
| 14 | 4 | 2 | 3 | 1 | 4 |
| 15 | 4 | 3 | 2 | 4 | 1 |
| 16 | 4 | 4 | 1 | 3 | 2 |

### 3.3 实验验证

#### 3.3.1 实验材料及设备

实验所选用的 ABS 树脂型号是镇江奇美化工有限公司生产的 PA-757k，铝颜料选用的是族兴铝颜料公司生产的 ZP7140 铝颜料，其平均粒径是  $D_{50} \mu\text{m}$ 。偶联剂选用国产铝酸酯-411 型号。

实验设备有电热恒温鼓风干燥箱，DHG-9076 型号，上海精宏实验设备有限公司；双螺杆挤出机，DV-707 型号，松下电工；电磁调速切粒机，IDIA-40 型号，无锡先锋电解槽；注塑机，CJ80TB 型号，震德塑料机械有限公司；微机控制电子万能（拉力）试验机，CMT 系列，深圳市新三思材料检测有限公司；悬臂梁冲击试验机，XJU-22 型号，承德市开发区德盛检测设备有限公司；扫描电子显微镜，S-3400N 型号，日立

公司；硬度测试仪，LX-A 型号，无锡前洲测量厂；力学性能测试标准试样模具一套。

### 3.3.2 实验前期处理

由于 ABS 树脂中存在吸水基团，在与闪光铝共混搅拌前先在烘箱中干燥 3 小时，去掉残留水分，再按 100/2/3、100/3/ 3、100/4/3、100/5/3 的比例采用机械共混法与闪光铝和铝酸酯在挤出机中进行共混造粒，在四种配比中，铝酸酯的含量保持不变。挤出机的工艺参数如表 2-1 所示。图 3-1(a-d)是不同成分含量的共混物经挤出造粒后的颜色，从图中可以看出，随着闪光铝份含量的增加，共混物的颗粒颜色逐渐变深。

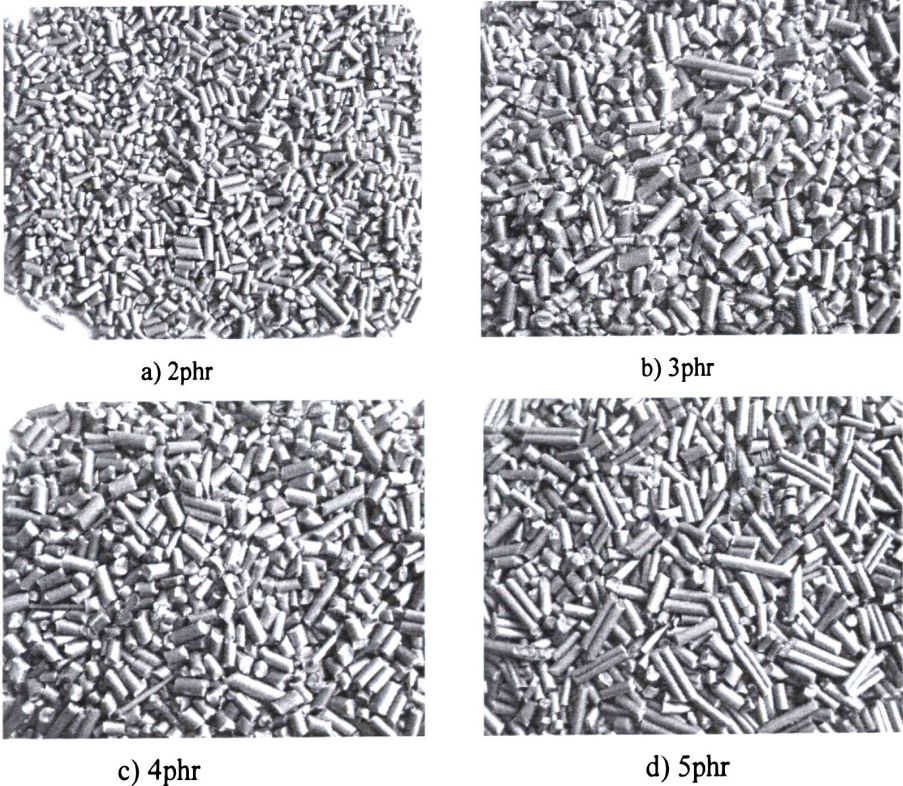


图 3-1 不同比例的共混物颗粒

Fig.3-1 The proportion of particles of different blends

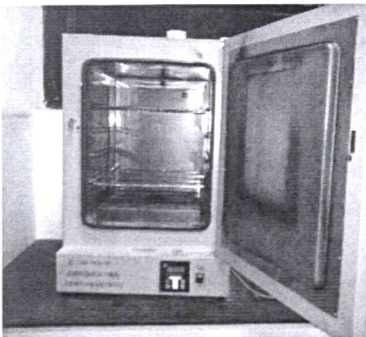


图 3-3 烘箱

Fig.3-3 The oven

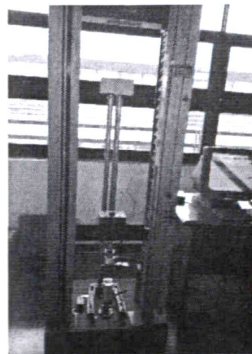


图 3-4 电子万能试验机

Fig.3-4 The material Testing Machine



共混物造粒后再在烘箱干燥 3 小时，确保共混物中没有残留水分，以免影响标准件的力学性能的测试。干燥后的共混物按照 L16 的正交试验表的设计进行力学性能标准件的生产，如图 3-2 所示。为了减少由于模具温度的不同造成的误差，对注塑的前十次样品不进行力学性能的测试，每种工艺参数条件下连续生产四次以上求其平均值。

### 3.3.3 拉伸实验的数据处理及分析

实验的拉伸和冲击的标准试样是按照国家标准 GB/T 1040—92，拉伸强度标准件哑铃形的原始标距  $G=80\text{ mm}$ ，试样宽度  $b=10\text{ mm}$ ，试样厚度  $d=4\text{ mm}$ ，拉伸速度  $5/\text{min}$ 。按照 L16 的正交实验表进行实验，为了减少因模具温度差异和原料成分不同而引起的误差，每种不同成分比例的前 10 次标准件不采用，相同工艺条件下的实验重复 4 次，减少实验误差。图 3-5 是标准拉伸试样的尺寸。

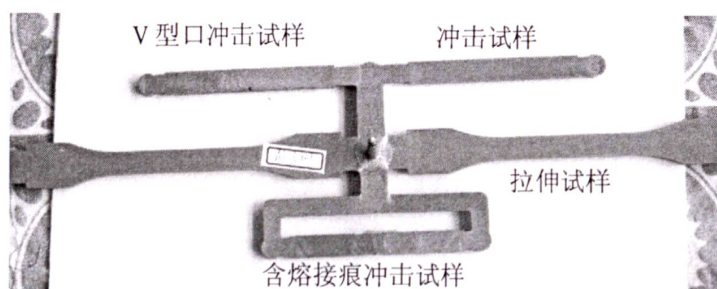


图 3-5 力学标准件

Fig.3-5 The standard parts

拉伸强度 ( $\text{Mpa}=1\text{N}/\text{mm}^2$ ) 的计算公式为:

$$\sigma = \frac{F}{b \times d} \quad (3-1)$$

式中  $F$ —最大负荷，单位  $\text{N}$ ;

$b$ —试样宽度，单位  $\text{mm}$ ;

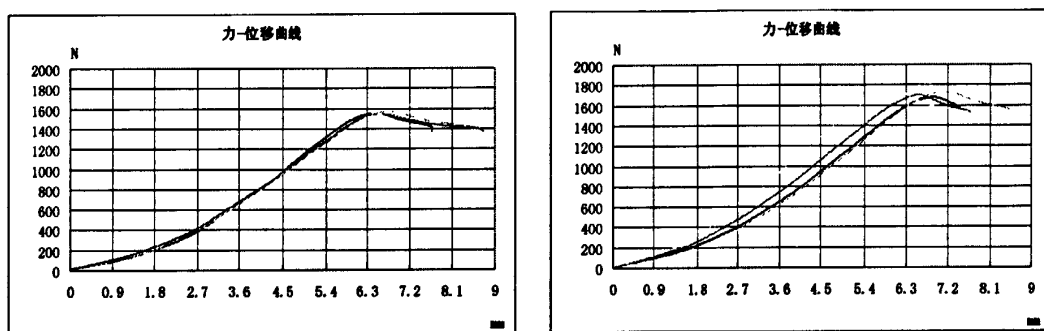
$d$ —试样厚度，单位  $\text{mm}$ ;

表 3-3 拉伸强度的测试结果

Table 3-3 The experimental results of tensile strength

| 项目 | 试样 1  | 试样 2  | 试样 3  | 试样 4  | 平均值 (MPa) |
|----|-------|-------|-------|-------|-----------|
| 1  | 40.21 | 39.63 | 40.33 | 39.46 | 39.9      |
| 2  | 37.03 | 36.95 | 36.98 | 36.77 | 36.93     |
| 3  | 41.35 | 42.83 | 41.16 | 41.14 | 41.62     |
| 4  | 36.22 | 36.58 | 36.24 | 37.15 | 36.55     |
| 5  | 38.85 | 38.74 | 38.85 | 39.32 | 38.94     |

|    |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 6  | 41.40 | 40.32 | 39.41 | 36.33 | 39.32 |
| 7  | 41.94 | 42.46 | 43.43 | 43.17 | 42.75 |
| 8  | 43.48 | 42.81 | 41.82 | 37.07 | 41.3  |
| 9  | 39.32 | 37.68 | 36.66 | 38.41 | 38.02 |
| 10 | 40.47 | 40.79 | 40.07 | 40.17 | 40.38 |
| 11 | 37.37 | 33.67 | 33.59 | 39.21 | 35.86 |
| 12 | 40.03 | 41.46 | 40.47 | 41.55 | 40.88 |
| 13 | 36.79 | 37.41 | 37.66 | 37.59 | 37.36 |
| 14 | 37.74 | 38.65 | 37.34 | 38.70 | 38.11 |
| 15 | 39.12 | 38.54 | 38.14 | 38.30 | 38.53 |
| 16 | 34.11 | 38.71 | 34.29 | 33.93 | 35.26 |



a) 项目 5 的拉伸过程的力与位移关系

b) 项目 7 的拉伸过程的力与位移关系

图 3-6 项目 5 和 7 的拉伸过程的力与位移关系

Fig 3-6 The relationship between the force and the displacement

为了直观表示各工艺参数与标准件力学性能的关系,可以利用极差分析法直观地获得各因素对指标的影响程度,寻求各工艺参数的最佳搭配。极差分析法是指计算出各因素在各水平上的平均值和极差,极差是一组数据中最大值和最小值之差,差值  $R$  越大,表示该因素对指标的影响程度越大,该因素越关键;差值越小,表示影响程度越不显著,因素对指标的影响不大<sup>[5-6]</sup>。

极差直观分析法的具体做法如下:

(1) 计算  $k_1, k_2, \dots, k_n$ 。  $k_1, k_2, \dots, k_n$  分别表示每个因素水平数相同的各次试验结果的总和。

(2) 计算  $\bar{k}_1, \bar{k}_2, \dots, \bar{k}_n$ 。  $\bar{k}$  为  $k$  的平均值。  $\bar{k}$  或  $k$  表示各因素的水平对试验指标影响的好坏。

(3) 计算  $T$  值。  $T$  值为所有试验结果的总和,以  $y_i$  表示试验考核指标,则

$$T = \sum y_i = k_1 + k_2 + \dots + k_n$$

(4) 计算极差 R。极差 R 分别为  $k_1, k_2 \dots, k_n$  或  $\bar{k}_1, \bar{k}_2 \dots, \bar{k}_n$  中的最大值与最小值之差。极差值大的因素，其大小对试验结果造成的差别大，为作用显著因素；极差值 R 小的因素往往是作用不显著的次要因素。

(5) 作因素水平与值的关系图，分析因素与指标的变化规律。

(6) 比较极差值 R，挑选影响指标的主次因素。

(7) 比较  $\bar{k}$  或  $k$  值，挑选最优方案（最佳的因素水平组合）。

(8) 若直观比较与计算分析得到的因素水平组合不一致，应追加验证试验。

本实验选用的是  $L_{16}$  五因素四水平的正交试验表，所以  $k_n$  中  $n=4$ ，其拉伸实验数据处理

为：对于熔体温度因素：  $k_1=39.9+36.93+41.62+36.55=155$ ，  $\bar{k}_1=155/4=38.75$

$k_2=38.94+39.32+42.75+41.3=157.56$ ，  $\bar{k}_2=157.56/4=40.578$

$k_3=38.02+40.38+35.86+40.88=155.14$ ，  $\bar{k}_3=155.14/4=37.785$

$k_4=37.36+38.11+38.53+35.26=149.26$ ，  $\bar{k}_4=149.26/4=37.315$

$R_1=\bar{k}_2-\bar{k}_4=40.578-37.315=3.263$

对于保压时间因素：  $k_1=39.9+38.94+38.02+37.36=154.22$ ，  $\bar{k}_1=154.22/4=38.555$

$k_2=36.93+39.32+40.38+38.11=157.74$ ，  $\bar{k}_2=157.74/4=38.685$

$k_3=41.62+42.75+35.86+38.53=158.76$ ，  $\bar{k}_3=158.76/4=39.69$

$k_4=36.55+41.3+40.88+35.26=153.99$ ，  $\bar{k}_4=153.99/4=38.497$

$R_1=\bar{k}_3-\bar{k}_4=39.69-38.497=1.193$

对于保压压力因素：  $k_1=39.9+39.32+35.86+35.26=150.34$ ，  $\bar{k}_1=150.34/4=37.585$

$k_2=36.93+38.94+40.88+38.53=155.28$ ，  $\bar{k}_2=155.28/4=38.82$

$k_3=41.62+41.3+38.02+38.11=159.05$ ，  $\bar{k}_3=159.05/4=39.763$

$k_4=36.55+42.75+40.38+37.36=157.04$ ，  $\bar{k}_4=157.04/4=39.26$

$R_1=\bar{k}_3-\bar{k}_1=39.763-37.585=2.178$

对于注射压力因素:  $k_1=39.9+42.75+40.88+38.11=161.64$ ,  $\bar{k}_1=161.64/4=40.41$

$k_2=36.93+41.3+35.86+37.36=151.45$ ,  $\bar{k}_2=151.45/4=37.862$

$k_3=41.62+38.94+40.38+35.26=156.2$ ,  $\bar{k}_3=156.2/4=39.05$

$k_4=36.55+39.32+38.02+38.53=152.42$ ,  $\bar{k}_4=152.42/4=38.105$

$R_1=\bar{k}_1-\bar{k}_2=40.41-37.862=2.548$

对于铝粉含量因素:  $k_1=39.9+41.3+40.38+38.53=160.11$ ,  $\bar{k}_1=160.11/4=40.027$

$k_2=36.93+42.75+38.02+35.26=152.96$ ,  $\bar{k}_2=152.96/4=38.24$

$k_3=41.62+39.32+40.88+37.36=159.18$ ,  $\bar{k}_3=159.18/4=39.795$

$k_4=36.55+38.94+35.86+38.11=149.46$ ,  $\bar{k}_4=149.46/4=37.365$

$R_1=\bar{k}_1-\bar{k}_4=40.027-37.365=2.662$

$T = \sum y_i = k_1 + k_2 + \dots + k_n = 621.71$

表 3-4 拉伸强度的极差分析结果

Table 3-4 The range analysis results of tensile strength

| 项目          | 熔体温度   | 保压时间   | 保压压力   | 注射压力   | 铝粉含量   |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $k_1$       | 155    | 154.22 | 150.34 | 161.64 | 160.11 |
| $k_2$       | 157.56 | 157.74 | 155.28 | 152.96 | 152.96 |
| $k_3$       | 155.14 | 158.76 | 159.05 | 159.18 | 159.18 |
| $k_4$       | 149.26 | 153.99 | 157.04 | 152.42 | 149.46 |
| $\bar{k}_1$ | 38.75  | 38.555 | 37.585 | 40.41  | 40.027 |
| $\bar{k}_2$ | 40.578 | 38.685 | 38.82  | 37.862 | 38.24  |
| $\bar{k}_3$ | 38.785 | 39.69  | 39.763 | 39.05  | 39.795 |
| $\bar{k}_4$ | 37.315 | 38.497 | 39.26  | 38.105 | 37.365 |
| $R$         | 3.263  | 1.193  | 2.178  | 2.548  | 2.662  |

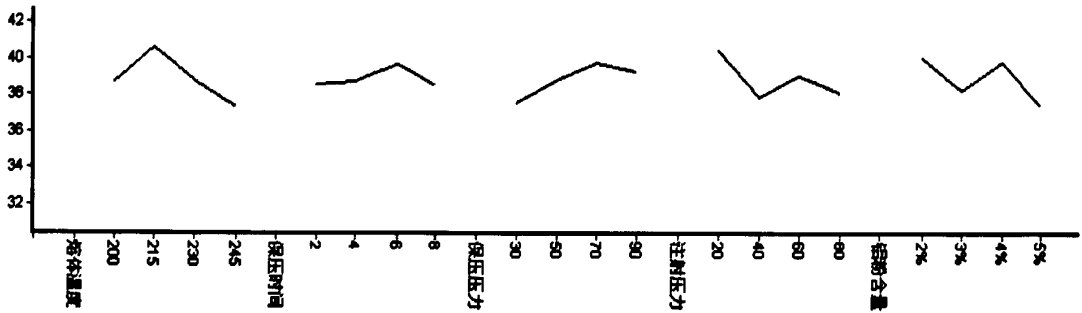


图 3-7 因素水平与指标的关系

Fig 3-7 The relationship between the factor-level and indicator

从表 3-4 可以看出, 随着熔体温度的变化, 其质量指标的变化趋势最大, 极差值  $R=3.263$ , 在五个因素质量指标的极差值中是最大的, 所以熔体温度是影响共混物标准件拉伸强度质量指标的最主要因素, 对拉伸强度的试验结果影响程度最大。闪光铝含量质量指标和注射压力质量指标的极差值差不多, 但闪光铝含量质量指标的极差值  $R=2.662$ , 比注射压力质量指标的极差值  $R=2.548$  稍大, 所以闪光铝含量质量指标排在第二位, 注射压力的极差值排第三位; 保压压力质量指标的极差值  $R=2.178$ , 排第四位; 保压时间质量指标的极差值  $R=1.193$ , 是五个因素质量指标中最小的, 对试验结果的影响程度最小。因此因素质量指标的主次顺序为: 熔体温度 > 铝粉含量 > 注射压力 > 保压压力 > 保压时间。从图 3-7 因素水平与指标的关系图可以看出, 当熔体温度为  $215^{\circ}\text{C}$ 、铝粉含量为 2phr、注射压力为 20bar、保压压力为 70bar、保压时间为 6s、各因素水平都处于质量指标的峰值上, 其质量指标是最好的, 因此拉伸强度的最佳工艺参数组合是  $A_2B_3C_3D_1E_1$ 。此工艺参数组合并不在所设计的正交实验表中, 需再次进行实验验证。

### 3.3.4 冲击实验的数据处理及分析

冲击强度的测试是选用悬臂梁冲击试验方法。悬臂梁冲击标准强度准件的试样宽度  $b=10\text{mm}$ , 试样厚度  $d=4\text{mm}$ 。按照 L16 的正交实验表进行实验, 为了减少因模具温度差异和原料成分不同而引起的误差, 每种不同原料的前 10 次标准件不采用, 相同工艺条件下的实验重要 4 次, 减少实验误差。冲击强度的标准件分有两种: 无缺口试样和有 V 型缺口试验两种, 如图 3-4 所示。

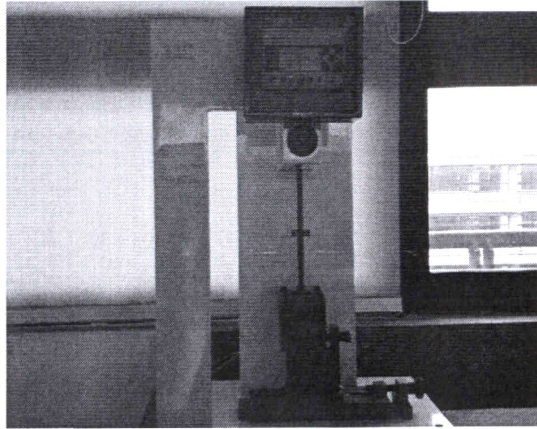


图 3-8 悬臂梁冲击试验机

Fig 3-8 The boom impact tester

无缺口试样冲击强度  $\sigma$  (KJ/m<sup>2</sup>) 由下式求得:

$$\sigma_n = \frac{A}{b \times d} \times 10^{-3} \quad (3-2)$$

V 型缺口试样冲击强度  $\sigma_n$  (KJ/m<sup>2</sup>) 由下式求得:

$$\sigma_n = \frac{A_k}{b_k \times d} \times 10^{-3} \quad (3-3)$$

其中  $A$ —破坏试样所吸收并经过修正后的能量, 单位 J;

$A_k$ —破坏缺口实验所吸收并经过修正后的能量, 单位 J;

$b$ —试样宽度, 单位 mm;

$d$ —试样厚度, 单位 mm;

$b_k$ —试样缺口底部剩余的厚度, 单位 mm;

表 3-5 无缺口冲击强度的测试结果

Table 3-5 The experimental results of impact strength of unnotch

单位: KJ/m<sup>2</sup>

| 项 目 | 试样 1  | 试样 2  | 试样 3  | 试样 4  | 平均值   |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1   | 45.78 | 39.1  | 44.53 | 44.3  | 43.3  |
| 2   | 35.88 | 38.5  | 45.45 | 42.7  | 40.63 |
| 3   | 47.31 | 47.88 | 44.53 | 45.78 | 46.38 |
| 4   | 40.58 | 39.09 | 39.17 | 42.08 | 40.23 |
| 5   | 35.88 | 40.68 | 36.45 | 39.68 | 38.17 |
| 6   | 44.83 | 49.55 | 40.58 | 40.28 | 43.81 |
| 7   | 43.78 | 44.28 | 44.08 | 41.78 | 43.48 |
| 8   | 43.3  | 56.05 | 43.83 | 49.88 | 48.27 |

|    |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9  | 43.3  | 39.68 | 44.53 | 41.48 | 42.25 |
| 10 | 54.4  | 55.4  | 51.8  | 49.23 | 52.7  |
| 11 | 30.53 | 19.65 | 24.68 | 28.38 | 31.76 |
| 12 | 44.53 | 44.88 | 49.23 | 49.55 | 47.05 |
| 13 | 45.19 | 45.88 | 44.58 | 40.28 | 43.98 |
| 14 | 30.53 | 19.65 | 24.68 | 28.38 | 25.81 |
| 15 | 57.73 | 61.78 | 53.43 | 59.55 | 58.13 |
| 16 | 42.4  | 45.32 | 43.05 | 40.58 | 42.95 |

表 3-6 V 型缺口冲击强度的测试结果

Table 3-6 The experimental results of impact strength of V-notch

单位: KJ/m<sup>2</sup>

| 项目 | 试样 1  | 试样 2  | 试样 3  | 试样 4  | 平均值   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 13.35 | 13.80 | 13.35 | 14.02 | 13.63 |
| 2  | 11.80 | 12.25 | 12.25 | 11.80 | 12.03 |
| 3  | 11.58 | 10.93 | 10.93 | 11.38 | 11.21 |
| 4  | 10.73 | 11.38 | 10.30 | 10.93 | 10.84 |
| 5  | 13.13 | 12.25 | 13.13 | 12.68 | 12.80 |
| 6  | 11.58 | 12.25 | 12.45 | 13.35 | 12.41 |
| 7  | 12.03 | 12.25 | 12.45 | 12.68 | 12.35 |
| 8  | 12.90 | 10.08 | 10.93 | 12.45 | 11.59 |
| 9  | 12.68 | 13.13 | 12.25 | 13.13 | 12.80 |
| 10 | 13.35 | 13.13 | 13.58 | 13.80 | 13.47 |
| 11 | 10.93 | 11.38 | 11.15 | 11.38 | 11.26 |
| 12 | 12.45 | 9.88  | 10.50 | 10.93 | 10.94 |
| 13 | 11.15 | 10.73 | 11.38 | 10.50 | 10.94 |
| 14 | 10.93 | 11.38 | 11.15 | 11.38 | 11.21 |
| 15 | 10.93 | 9.88  | 9.45  | 10.93 | 10.30 |
| 16 | 10.50 | 11.80 | 10.50 | 10.50 | 10.83 |

为了更好的分析各个工艺参数因素对冲击强度的影响程度,用极差直观法对无缺口和 V 型缺口样条的冲击强度进行实验数据的处理,其分析结果如下表所示。

表 3-7 无缺口冲击强度的极差分析结果

Table 3-7 The range analysis results of impact strength of unnotch

| 项目    | 熔体温度    | 保压时间    | 保压压力    | 注射压力   | 铝粉含量    |
|-------|---------|---------|---------|--------|---------|
| $k_1$ | 170.54  | 167.70  | 161.82  | 159.64 | 202.4   |
| $k_2$ | 173.732 | 157.74  | 183.98  | 164.64 | 169.312 |
|       | 173.76  | 179.752 | 162.712 | 180.2  | 181.22  |
| $k_3$ |         |         |         |        |         |

|             |         |        |         |        |         |
|-------------|---------|--------|---------|--------|---------|
| $k_4$       | 170.872 | 178.50 | 180.388 | 184.42 | 135.968 |
| $\bar{k}_1$ | 42.635  | 41.925 | 40.455  | 39.91  | 50.6    |
| $\bar{k}_2$ | 43.433  | 40.737 | 45.995  | 41.16  | 42.328  |
| $\bar{k}_3$ | 43.44   | 44.938 | 40.678  | 45.05  | 45.305  |
| $\bar{k}_4$ | 42.718  | 44.625 | 45.097  | 46.105 | 33.992  |
| $R$         | 0.805   | 4.201  | 5.54    | 6.195  | 16.608  |

表 3-8 V 型缺口冲击强度的极差分析结果

Table 3-8 The range analysis results of impact strength of V-notch

| 项目          | 熔体温度   | 保压时间   | 保压压力   | 注射压力   | 铝粉含量   |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $k_1$       | 47.712 | 50.172 | 48.128 | 48.132 | 48.988 |
| $k_2$       | 49.152 | 49.12  | 46.068 | 45.816 | 48.008 |
| $k_3$       | 48.468 | 45.12  | 46.812 | 48.312 | 45.5   |
| $k_4$       | 43.28  | 44.2   | 47.6   | 46.348 | 46.108 |
| $\bar{k}_1$ | 11.928 | 12.543 | 12.032 | 12.033 | 12.247 |
| $\bar{k}_2$ | 12.288 | 12.28  | 11.517 | 11.455 | 12.002 |
| $\bar{k}_3$ | 12.117 | 11.28  | 11.703 | 12.078 | 11.375 |
| $\bar{k}_4$ | 10.82  | 11.05  | 11.9   | 11.587 | 11.527 |
| $R$         | 1.468  | 1.493  | 0.515  | 0.623  | 0.872  |

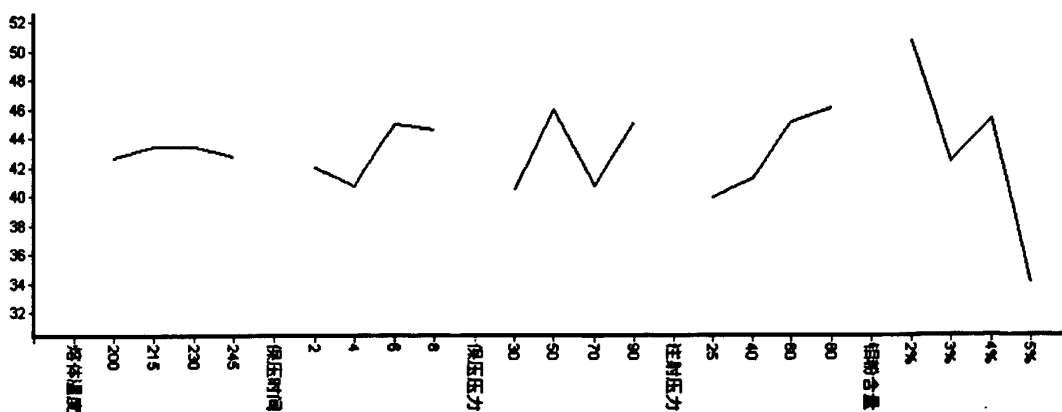


图 3-9 无缺口冲击强度因素水平与指标的关系

Fig 3-9 The relationship between the factor-level and indicator of unnotch



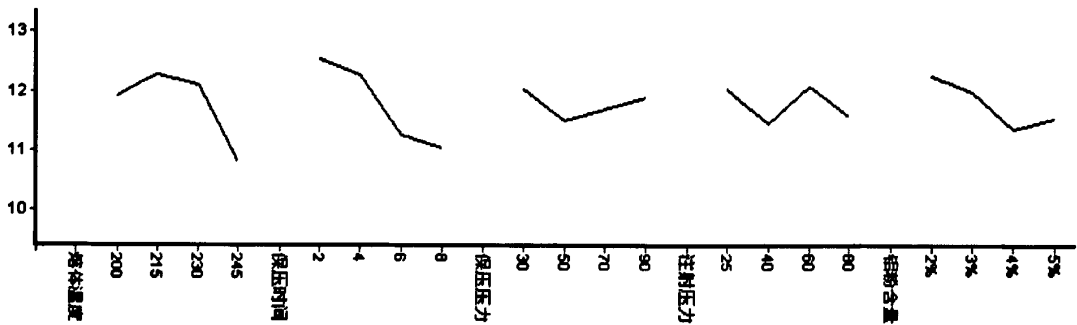


图 3-10 V 型缺口冲击强度因素水平与指标的关系

Fig 3-10 The relationship between the factor-level and indicator of V-notch

从表 3-7 可以看出,对于无缺口试样的冲击强度,随着高闪光铝粉含量的变化,其质量指标的变化趋势最大,即极差值  $R=16.608$ ,在五个工艺参数因素指标的极差中是最大的,所以高闪光铝粉的含量是影响无缺口标准件冲击强度质量指标的最主要因素,对无缺口标准件冲击强度的试验结果影响程度最大。注射压力质量指标的极差值  $R=6.195$  排在第二位;保压压力质量指标的极差值  $R=5.54$ ,排在第三位;注射压力质量指标的极差值  $R=4.201$ ,排在第四位;熔体温度质量指标的极差值  $R=0.805$ ,是五个因素指标中最小的,对试验结果的影响程度最小,因此各因素的影响指标的主次顺序为:铝粉含量>注射压力>保压压力>保压时间>熔体温度。从图 3-9 的因素与指标的关系图中可以看出,当高闪光铝粉含量为 2phr、注射压力为 80bar、保压压力为 50bar、保压时间为 6s、熔体温度 230℃时,各因素水平都处于指标的峰值上,其质量指标是最好的。因此无缺口标准件的冲击强度的最佳工艺参数组合是  $A_3B_3C_2D_4E_1$ 。此工艺参数组合并不在所设计的正交实验表中,需再次进行实验验证。

从表 3-8 可以看出,对于 V 型缺口试样的冲击强度,熔体温度和保压时间的质量指标变化趋势差不多,但保压时间的质量指标的极差值相对大了点,其极差值  $R=1.493$  在五个工艺参数因素指标的极差中是最大的,所以保压时间是影响 V 型缺口标准件冲击强度质量指标的最主要因素,对 V 型缺口标准件冲击强度的试验结果影响程度最大;熔体温度的质量指标的极差值  $R=1.468$ ,只比保压时间指标的极差少了 0.025,排在第二位;高闪光铝粉质量指标的极差值  $R=0.872$ ,排在第三位;注射压力质量指标的极差值  $R=0.623$ ,排在第四位;保压压力质量指标的极差值  $R=0.515$ ,是五个因素指标中最小的,对试验结果的影响程度最小,因此各因素的影响指标的次序顺序为:保压时间>熔体温度>铝粉含量>注射压力>保压压力。从图 3-10 的因素与指标的关系图中可以看出,当保压时间为 2s、熔体温度 215℃、高闪光铝粉含量为 2phr、注射压力为 60bar、保压压力为 30bar 时,各因素水平都处于指标的峰值上,其质量指标是最好的。因此

无缺口标准件的冲击强度的最佳工艺参数组合是 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>3</sub>E<sub>1</sub>。此工艺参数组合并不在所设计的正交实验表中，需再次进行实验验证。

### 3.3.5 含熔接痕标准件冲击实验的数据处理及分析

熔接痕的存在是塑料制件生产过程中几乎是不可避免的，由于熔接痕的存在，使制件的力学性能大大降低，通过对制件模具的改进、浇口位置的改变及工艺参数的优化，可以有效的改善熔接痕的力学性能。本实验主要是研究工艺参数对存在熔接痕的标准件冲击强度性能的影响。其冲击强度的计算公式与前面无缺口冲击强度的计算公式相同，但由于冲击过程熔接痕区域吸收的能量不同而测试的结果不同。

表 3-9 熔接痕无缺口冲击强度的测试结果

Table 3-9 The experimental results of impact strength of weld line  
单位: KJ/m<sup>2</sup>

| 项目 | 试样 1  | 试样 2  | 试样 3  | 试样 4  | 平均值   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1  | 7.2   | 7.4   | 7.2   | 7.4   | 7.3   |
| 2  | 6.6   | 6.6   | 7     | 6.6   | 6.7   |
| 3  | 7.20  | 9.45  | 7.2   | 6.8   | 7.67  |
| 4  | 8.00  | 9.03  | 7.8   | 8.0   | 8.21  |
| 5  | 7.40  | 7.8   | 7.4   | 7.8   | 7.6   |
| 6  | 8.00  | 8.45  | 8.0   | 8.23  | 8.17  |
| 7  | 7.40  | 6.2   | 6.8   | 7.2   | 6.9   |
| 8  | 7.40  | 7.6   | 7.6   | 8.7   | 7.83  |
| 9  | 16.08 | 13.13 | 15.85 | 15.85 | 15.23 |
| 10 | 10.93 | 11.58 | 12.45 | 13.13 | 12.02 |
| 11 | 8.10  | 7.81  | 7.52  | 7.01  | 8.13  |
| 12 | 5.83  | 6.4   | 6.4   | 6.6   | 6.31  |
| 13 | 8.2   | 8.5   | 8.23  | 8.0   | 8.23  |
| 14 | 8.0   | 7.8   | 7.5   | 7.0   | 7.58  |
| 15 | 8.43  | 9.03  | 8.23  | 8.23  | 8.48  |
| 16 | 8.23  | 8.0   | 9.08  | 8.4   | 8.43  |

表 3-10 熔接痕冲击强度的极差分析结果

Table 3-10 The range analysis results of impact strength of weld

| 项目             | 熔体温度   | 保压时间   | 保压压力   | 注射压力   | 铝粉含量  |
|----------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| k <sub>1</sub> | 29.88  | 38.36  | 32.02  | 28.088 | 36.56 |
| k <sub>2</sub> | 31.428 | 34.468 | 29.088 | 31.808 | 37.26 |

|             |       |        |       |        |        |
|-------------|-------|--------|-------|--------|--------|
| $k_3$       | 41.68 | 31.168 | 39.24 | 35.72  | 30.38  |
| $k_4$       | 32.72 | 31.708 | 35.36 | 40.092 | 31.508 |
| $\bar{k}_1$ | 7.47  | 9.59   | 8.005 | 7.022  | 9.14   |
| $\bar{k}_2$ | 7.857 | 8.617  | 7.272 | 7.952  | 9.315  |
| $\bar{k}_3$ | 10.42 | 7.792  | 9.81  | 8.93   | 7.595  |
| $\bar{k}_4$ | 8.18  | 7.927  | 8.84  | 10.023 | 7.877  |
| $R$         | 2.95  | 1.798  | 2.538 | 3.001  | 1.72   |

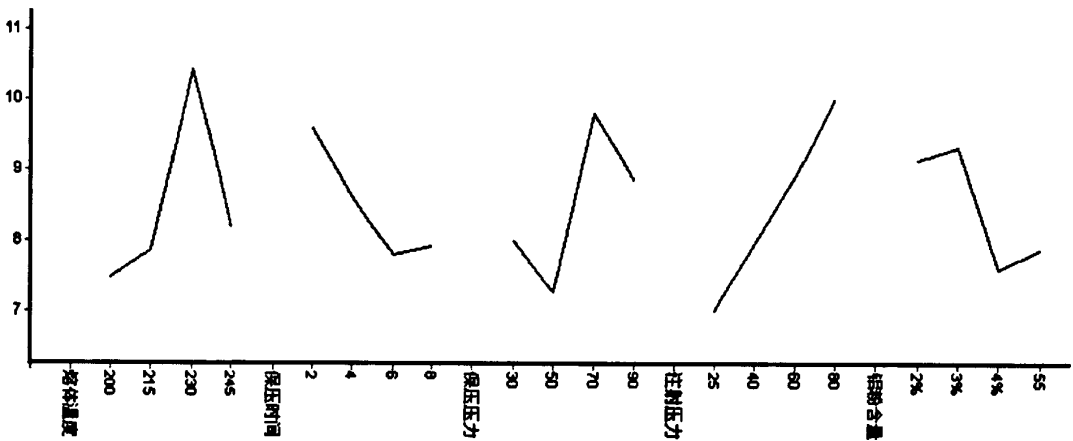


图 3-11 含熔接痕冲击强度因素水平与指标的关系

Fig 3-11 The relationship between the factor-level and indicator of weld

从表 3-10 可以看出，对于存在熔接痕的标准试样的冲击强度，注射压力的质量指标的变化趋势最大，极差值  $R=2.538$ ，在五个工艺参数因素指标的极差中是最大的，所以注射压力是影响存在熔接痕标准件冲击强度质量指标的最主要因素，对存在熔接痕标准件冲击强度的试验结果影响程度最大。熔体温度质量指标的极差值  $R=2.95$  排在第二位；保压压力质量指标的极差值  $R=2.538$ ，排在第三位；保压时间质量指标的极差值  $R=1.798$ ，排在第四位；高闪光铝粉含量质量指标的极差值  $R=1.72$ ，是五个因素指标中最小的，对试验结果的影响程度最小，因此各因素的影响指标的主次顺序为：注射压力 > 熔体温度 > 保压压力 > 保压时间 > 铝粉含量。从图 3-11 的因素与指标的关系图中可以看出，当注射压力为 80bar、熔体温度 230℃、保压压力为 70bar、保压时间为 2s、高闪光铝粉含量为 3phr 时，各因素水平都处于指标的峰值上，其质量指标是最好的。因此存在熔接痕标准件的冲击强度的最佳工艺参数组合是  $A_3B_1C_3D_4E_2$ ，此工艺参数组合为所设计的正交实验表中的第九项，符合正交实验设计。

### 3.3.6 力学性能的综合分析及验证

根据以上的对共混物标准试样的力学性能测试及数据的分析结果可知,有些质量指标的最佳工艺参数组合并不在所设计的正交试验表中,需要再对分析得出的最佳工艺组合进行验证,为了兼顾各项指标及节省实验时间,运用正交试验中的综合平衡法,找出兼顾每质量指标的较优工艺参数组合。

综合平衡法的基本做法是:首先对各单项指标进行分析,找出各单项指标的较优生产条件,然后将各项指标的较优生产条件综合平衡,得出兼顾各项指标都尽可能好的工艺参数组合。

综合平衡法的一般原则是:各指标的重要性不一样时,选取水平应保证重要的指标;当各指标的重要性相仿时,选取水平则应优先照顾主要因素或是根据多数的倾向。

表 3-11 各目标指标的最佳工艺参数组合

Table 3-11 The best technology parameter combination of each target

| 项目       | 熔体温度/°C | 保压时间/s | 保压压力/bar | 注射压力/bar | 铝粉含量/phr |
|----------|---------|--------|----------|----------|----------|
| 拉伸强度     | 215(1)  | 6(5)   | 70(4)    | 20(3)    | 2phr(2)  |
| 无缺口冲击强度  | 215(5)  | 6(4)   | 50(3)    | 80(2)    | 2phr(1)  |
| V型缺口冲击强度 | 215(2)  | 2(1)   | 30(5)    | 60(4)    | 2phr(3)  |
| 熔接痕冲击强度  | 230(2)  | 2(4)   | 70(3)    | 80(1)    | 3phr(5)  |

在表 3-11 中,括号内的数字表示此因素在最佳工艺参数中的主次顺序的排名。对于标准件的拉伸强度的最佳工艺参数组合,熔体温度是最主要因素,根据水平应保证重要的指标,故其水平取值是 215°C,其它三项目标指标中有两项的水平取值是 215°C;对于无缺口冲击强度的最佳工艺参数组合,高闪光铝粉的含量是最主要因素,水平值是 2phr,其它三项指标中有两项的水平值是 2phr,分别排在第二、三位;对于 V 型口冲击强度的最佳工艺参数组合,保压时间是最主要因素,水平值是 2s,其他三项指标的保压时间处于次要因素位置;对于熔接痕冲击强度,注射压力是最主要的因素,水平值是 80bar,其对无缺口冲击强度的作用相近;对于保压压力因素,在各指标中都不是主要因素,根据多数指标倾向,故水平值取 70bar;经综合平衡各因素在指标中的作用,最后得出兼顾各目标指标的工艺参数组合是:熔体温度 215°C、保压时间 2s、保压压力 70bar、注射压力 80bar、高闪光铝粉含量 2phr。为了证明此组工艺组合的正确性,需再次进行实验验证。

表 3-12 各目标指标的测试结果

Table 3-12 The experimental results of each target

| 项目        | 试样 1  | 试样 2  | 试样 3  | 试样 4  | 平均值   | 纯 ABS |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 拉伸强度      | 40.97 | 41.24 | 42.65 | 41.07 | 41.48 | 49.38 |
| 无缺口冲击强度   | 47.95 | 49.45 | 51.03 | 49.88 | 49.57 | 93.39 |
| V 型缺口冲击强度 | 16.08 | 16.30 | 15.63 | 15.15 | 15.79 | 18.08 |
| 熔接痕冲击强度   | 12.56 | 13.93 | 12.68 | 13.17 | 13.09 | 16.13 |

从表 3-12 可以看出, 利用经过综合平衡法分析得出的最佳工艺参数组合进行验证实验, 从各项指标的测试结果可以看出, V 型缺口冲击强度的验证值比其在正交试验表中的各项测试数据都大, 其余三项指标的验证值虽然不是其在正交表中的最大值, 都是比较靠前的值, 其综合效果是最好的, 所以综合兼顾各指标的最优工艺参数组合是 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>3</sub>D<sub>4</sub>E<sub>2</sub>。

### 3.3.7 共混物标准件的硬度测试

对于塑料制品的硬度测试一般采用邵氏硬度测试方法, 邵氏硬度根据材料的硬度情况可分为 A、D 两种, 塑料手感弹性比较大或者说偏软的制品, 用邵氏 A 硬度计测试, 对于偏硬的塑料制品, 用邵氏 D 硬度计进行测试。

邵氏硬度的测试方法: 将邵氏硬度计插入被测材料, 表盘上的指针通过弹簧与一个刺针相连, 用针刺入被测物表面, 表盘上所显示的数值即为硬度值。

表 3-13 邵氏硬度的测试结果

Table 3-13 The experimental results of Shore hardness

| 项目 | 试样 1 | 试样 2 | 试验 3 | 平均值 (HD) |
|----|------|------|------|----------|
| 1  | 77   | 76   | 76   | 76.3     |
| 2  | 76   | 77   | 76   | 76.3     |
| 3  | 73   | 73   | 73   | 73.0     |
| 4  | 75   | 75   | 76   | 75.3     |
| 5  | 75   | 75   | 74   | 74.3     |
| 6  | 74   | 75   | 75   | 74.6     |
| 7  | 76   | 75   | 76   | 75.6     |
| 8  | 73   | 73   | 74   | 73.3     |
| 9  | 76   | 75   | 76   | 75.6     |
| 10 | 76   | 77   | 76   | 76.3     |
| 11 | 75   | 75   | 75   | 75.0     |
| 12 | 73   | 74   | 73   | 73.3     |

|       |    |    |    |      |
|-------|----|----|----|------|
| 13    | 75 | 75 | 75 | 75.0 |
| 14    | 75 | 74 | 74 | 74.3 |
| 15    | 73 | 74 | 74 | 73.6 |
| 16    | 77 | 77 | 77 | 77.0 |
| 纯 ABS | 79 | 79 | 80 | 79.3 |

从表中可以看出，在不同的工艺参数条件下，其邵氏硬度的测试结果是有所不同的，但差值不大，与纯 ABS 的硬度的测试结果相差也不大，因此，工艺参数对制件的硬度影响是不大的，可以忽略。

### 3.3.8 标准件断面的 SEM 检测及能谱分析

SEM 是指扫描电子显微镜，通过信号处理方法，可以获得高闪光铝粉在试样断面的形貌特征，为更好的分析高闪光铝与 ABS 塑料共混制件的混合规律提供参考依据。

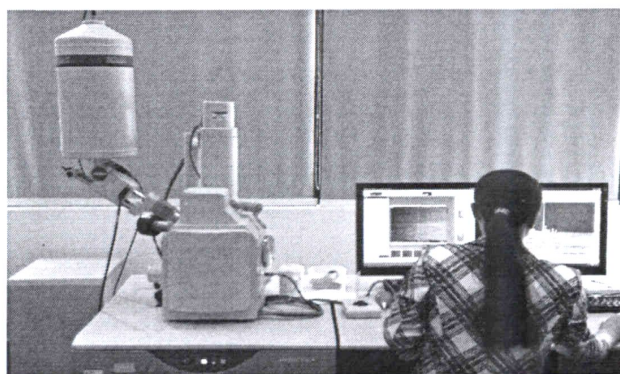
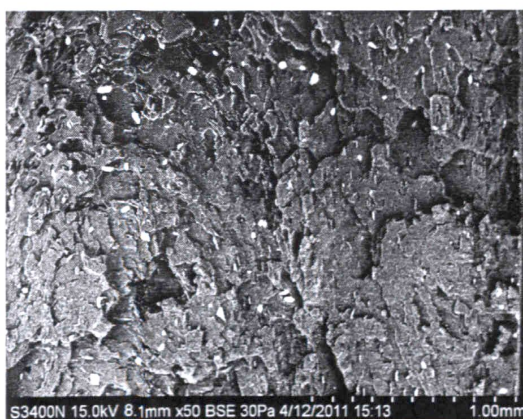


图 3-12 扫描电子显微镜

Fig.3-12 The scanning electron microscope

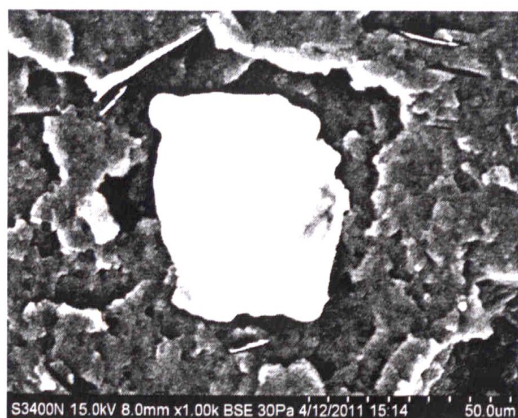


(a) 拉伸强度最好的断面形貌 x50

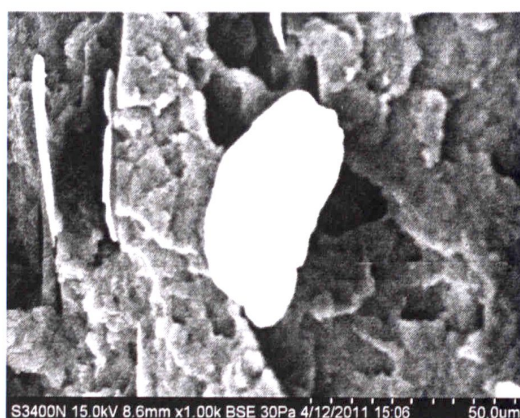


(b) 拉伸强度最差的断面形貌 x50





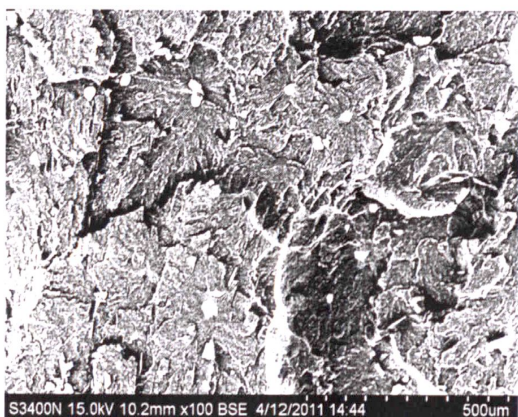
(c) 拉伸强度最好的断面形貌 x1000



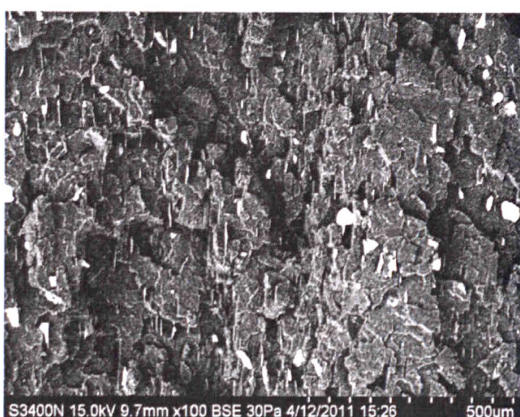
(d) 拉伸强度最差的断面形貌 x1000

图 3-13 不同拉伸强度的断面形貌

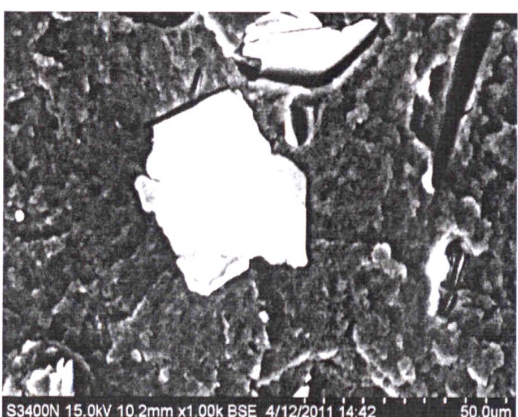
Fig.3-13 The shapes of section of different tensile strength



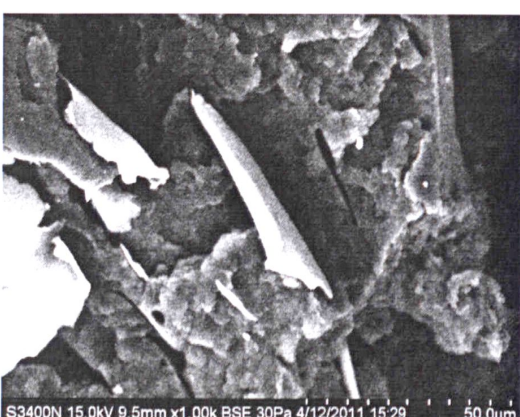
(a) 冲击强度最好的断面形貌 x100



(b) 冲击强度最差的断面形貌 x100



(c) 冲击强度最好的断面形貌 x1000



(d) 冲击强度最差的断面形貌 x1000

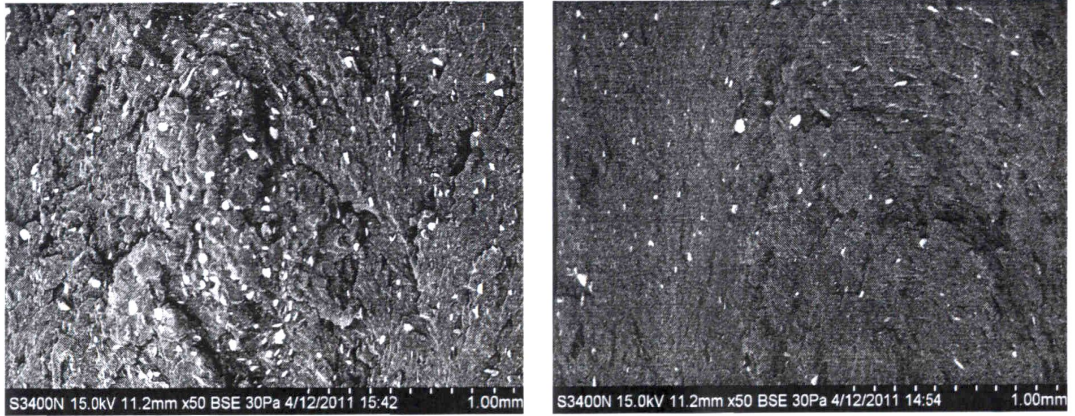
图 3-14 不同冲击强度的断面形貌

Fig.3-14 The shapes of section of different impact strength

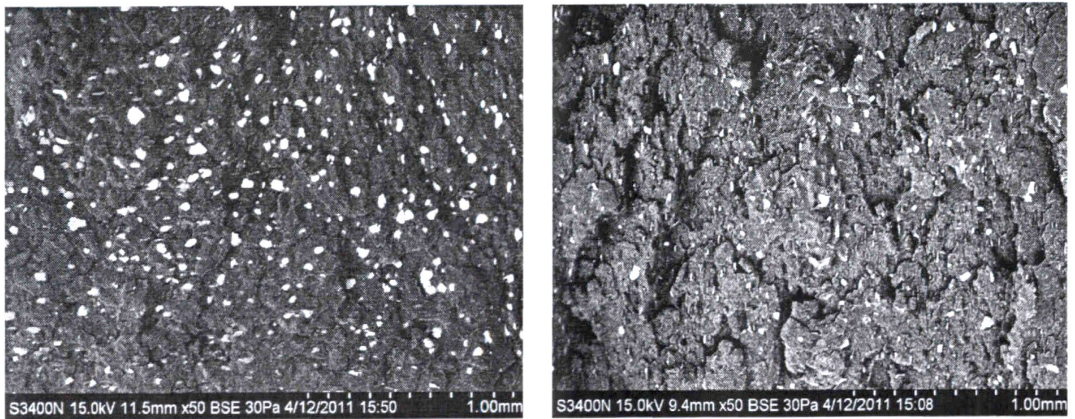
图 3-13、14 (a-d) 分别表示的是在正交试验表测试中，拉伸强度及冲击强度最好和最差的标准件的断面形貌，图中的白色亮点是高闪光铝粉，从图中可以看出，拉



伸强度和冲击强度最好的标准件的断面形貌中，高闪光铝粉在 ABS 树脂中的空间分布均匀，密集程度不高，而且大部分的闪光铝粉与 ABS 树脂熔接的较好，截面积大的那个面垂直于熔体流动的方向，且受剪切力作用力大，有利于闪光铝粉与 ABS 基体的熔合，提高共混物制件的力学性能。



(a) 熔接痕区域冲击强度最好的断面形貌 x50 (b) 非熔接痕区域冲击强度的断面形貌 x50



(c) 熔接痕区域冲击强度最差的断面形貌 x50 (d) 非熔接痕区域冲击强度的断面形貌 x50

图 3-15 不同熔接痕冲击强度的断面形貌

Fig. 3-15 The shapes of section in weld of different impact strength

从图 3-15a、b 可以很明显的看出，在相同的工艺条件下，标准件的熔接痕区域和非熔接痕区域的断面形貌有很大的区别，高闪光铝的分布情况有很大的区别。由于熔接痕区域是由两股熔体的前锋汇聚形成的，在注射压力及熔体的剪切力的作用下，游离在 ABS 熔体中的闪光铝粉聚集在熔接痕区域，使熔接痕区域的闪光铝粉富聚在此区域，其含量大大高于其他区域。聚集的闪光铝粉含量多，占据了熔接痕区域的大部分空间，相对的 ABS 熔体占据的空间就减少，使熔接痕区域的分子链接作用减弱，力学性能也相应的下降。在非熔接痕区域的断面，高闪光铝没有出现富聚现象。





## 第四章 局部加热技术对熔接痕的影响

### 4.1 熔接痕的形成机理和分类

熔接痕是塑件表面的一种线状痕迹，是由注射或挤出中两股或两股以上流料在模具中分流汇合，熔体在界面处未完全熔合，彼此不能熔接为一体，在熔体汇合处的制品表面上造成熔合印迹。熔接痕区域的力学性能远低于塑料件的其他区域，是整个塑料件中薄弱的环节，降低塑料制件的力学性能，从上章关于标准件有没有熔接痕的冲击强度的对比就可以很明显对比出来熔接痕的危害。塑料制件的几何形状复杂，模具型腔内塑料熔体分离成多股是不可避免的。熔接痕形成的常见原因有以下几种：①模腔内型芯或安放的嵌件使熔体分流；②同一型腔有几个浇口；③塑料件的壁厚变化；④熔体喷射和蛇形的射流<sup>[49-50]</sup>。

#### 4.1.1 熔接痕的形成过程

熔接痕的形成过程可以分成以下四个阶段：1)当两股熔体前沿尚未汇合以前，如图 4-1a 所示，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，它将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的结构。

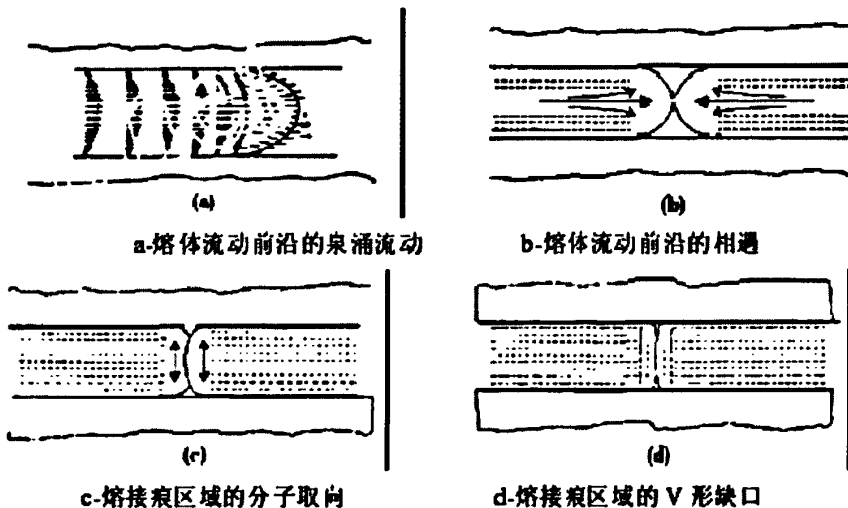


图 4-1 熔接痕形成的过程

Fig.4-1 The formation process of weld line

2)一旦熔体汇合，如图 4-1b 所示，熔体前沿处的压力增加，流动停止，两个由表面相互接触并发生非线性的粘弹性变形。

3)由于扩散和分子运动,接触表面的分子链开始松弛、缠结和迁移,由于这种缠结和迁移的结果是为熔接痕提供键接强度,一次熔接痕熔体结合强度随着分子链的缠结程度的增加而增加如图 4-1c 所示。

4)由于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往往会产生了 V 形缺口<sup>[51-52]</sup>,如图 4-1d 所示。

## 4.1.2 熔接痕的分类

根据交汇角的不同我们把熔接痕分为对接痕和并合痕。其界面如图 4-2 所示,熔体绕过嵌件汇合后形成对接痕和并合痕的过程。

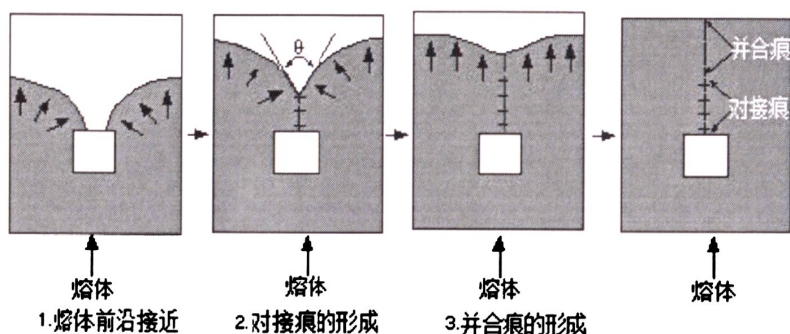


图 4-2.对接痕和并合痕

Fig.4-2 The formation process of weld line

根据熔体充模流动时两股料流前锋相熔接的形式,可分为冷熔接和热熔接。当成型薄壁大型制件时,通常采用多浇口注入的方式,当两股熔体以相对方向流动,最终迎头汇合形成的熔接痕称为冷熔接缝(图 4-3a);当熔体在流动中碰到障碍物(如嵌件)后,分成两股熔流,绕过障碍物,而后分开的熔流又重新汇合,在汇合时所形成的熔接痕称为热熔接缝(图 4-3b)。冷熔接是导致熔接痕力学性能降低的主要原因<sup>[53]</sup>。

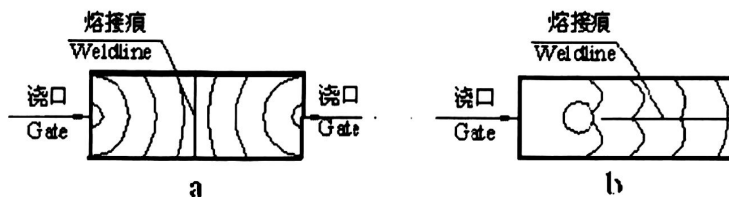


图 4-3 冷热熔接痕形成的过程

Fig.4-3The formation process of hot weld line and cold weld line

## 4.2 改善熔接痕的措施

### (1) 制品结构的改进

制件设计时,在满足使用要求的前提下,应尽量避免易产生熔体分流的结构;如

尽量保证制件壁厚均匀一致，无法避免厚度差的，应尽量控制在 30%以下；尽量少用嵌件和孔、槽等结构；在可能形成熔接痕区域内适当增加壁厚，利于熔体的融合，提高熔接痕强度。

## (2) 模具结构的改进

在模具结构设计过程中，因模具结构产生分支料流是在所难免的，尤其是大型注塑件。因此在模具设计过程中，在保证型腔充满和设备满足的条件下，尽量降低因浇注系统设计不当带来的缺陷。一般可采用多级分流道、多点同时浇注、增设排气槽、合理设置冷却水道、振动注射、顺序注塑、局部加热等方法来改善或消除熔接痕。

## (3) 成型工艺的改进

在某些制件上，成型工艺对熔接痕的力学性能起着重要的影响，通过注塑工艺的改进，能有效的提高熔接痕的力学强度。如 1) 适当的提高注射压力，延长注射时间，使形成痕的区域的分子结构能更好的链接。2) 注射压力大，注射速度快，使形成痕区域的熔体还来不及降温就已经汇合，注射速度慢，则有利于型腔内气体的排出。3) 在塑料基体中适当添加润滑剂，改善塑料熔体的流动性，使熔体能快速的填充型腔，减少温差。

## (4) 合理选择材料

在满足制件力学性能要求的前提下，尽量选用无定形韧性聚合物或半结晶性聚合物，避免选用无定形脆性聚合物；尽量选用表观粘度低、松弛时间短、分子量小、含有成核剂的材料。在必须选用填料或增强材料时，应尽量选用比表面积和长径比较小的填料或增强剂<sup>[54]</sup>。

## 4.3 采用局部加热技术改善熔接痕

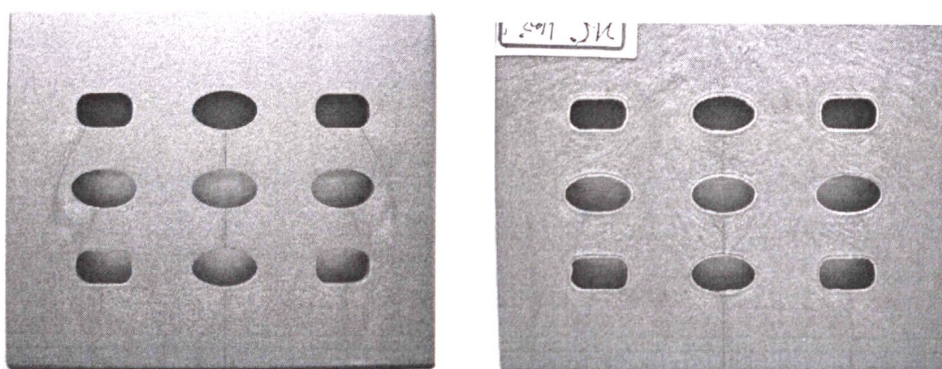
### 4.3.1 局部加热技术

局部加热技术是以高光注塑理论为基础，在开始注射前，对容易形成熔接痕区域的模具型腔部分用电热棒进行加热，用温度显示调节仪控制模具型腔加热部分的温度，等加热温度达到目标温度后再开始进行注塑，在保压过程中，温度显示调节仪继续维持设定的目标温度，在冷却阶段，打开冷却水路，同时关闭温度显示调节仪，停止加热，冷却开模，进入下一个循环。

与普通注塑成型相比，局部加热技术具有如下特点：1) 在注塑开始前对熔接痕区域的模具型腔先进行加热，使该部分的模具型腔的温度高于塑料的变形温度，消除了



该区域内在普通注塑过程中由于模具温度低，熔体前锋与型腔表面产生的凝固层，从而提高该区域内的熔体与型腔表面的复原性。2) 在保压阶段，普通注塑成型过程，模具温度开始下降，而采用局部加热技术，其加热区域的型腔温度保持不变，后者的温度梯度下降明显比前者小，因而其补缩性能也相对较好。3) 在熔接痕区域，普通注塑成型由于模具温度低，熔体前沿和型腔壁形成喷泉流状，喷泉前锋的温度相对较低，两股熔体前沿相遇后无法充分融合，使该处的制件强度下降。而采用局部加热技术，一方面保证了两股熔体相遇时充分汇合，另一方面保证了后续的保压补缩，从而保证了制件成型品质。4) 采用局部加热技术注塑成型的塑料制件的表面金属光泽比普通成型的光泽效果更好，如图 4-1 所示，图 a 是普通注塑成型的闪光铝与 ABS 共混物的制件，图 b 是采用局部加热技术的闪光铝与 ABS 共混物制件，图 b 中，制件的表面质量有镜面效果，对存在的熔接痕有明显改善，而图 a 则没有这样的效果。



a) 普通注塑成型的方形件

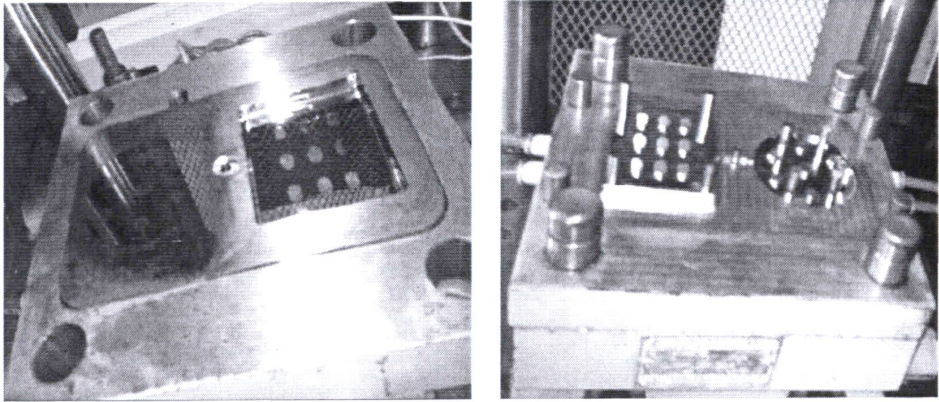
b) 局部加热技术的方形件

图 4-1 采用不同成型方法的方形件的表面质量

Fig.4-1 The surface quality of the square by plastics injection process

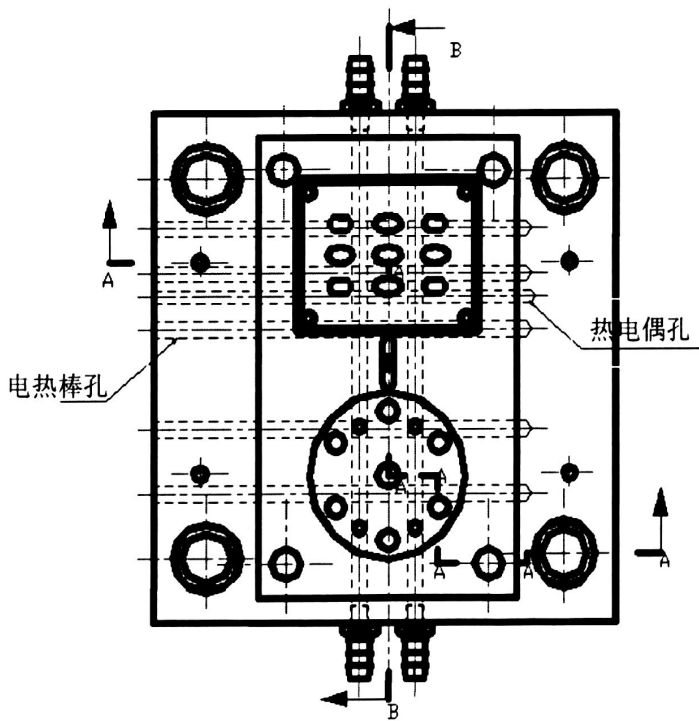
### 4.3.2 模具的制造

为了更好地分析采用局部加热技术对改善熔接痕的作用，设计模具进行验证，塑料制件应存在多孔洞，这样易于形成熔接痕，更能显示出局部加热技术对熔接痕的改善作用，模具是一模两件，制件分别为多孔方形件、多孔圆形件，如图 4-2 所示，由于两种制件都存在多孔洞情况，注塑时熔体形成分支，易于形成熔接痕。模具如图 4-3 所示，模具特点是型腔一分为二，定模板为凹模（图 4-3a），动模板为凸模（图 4-3b），采用点浇口进料，五根加热棒和一根热电偶是安装在定模板型腔内，定、动模板各有两排冷却水管，如图 4-3c 所示。



a) 定模板

b) 动模板



c) 俯视图

图 4-3 模具结构图

Fig. 4-3 The die structure

### 4.3.3 实验材料及设备

本实验所需的材料与设备除了与第三章的力学性能测试实验一样外，还有温度显示调节仪，姚奥特仪表有限公司，型号 TDA8001；热电偶、D8mm 塑料软管等。温度显示调节仪的电路图如图 4-4 所示，其工作原理是连接电源，在温控表上设定加热温度，加热棒开始加热，当热电偶测得加热区域的温度到达温控表所设定的温度时，交流接触器跳到接口 2，加热棒停止加热。当热电偶周围区域的温度低于温控表设定温

度时，交流接触器跳到接口 1，加热棒继续加热直到设定温度。

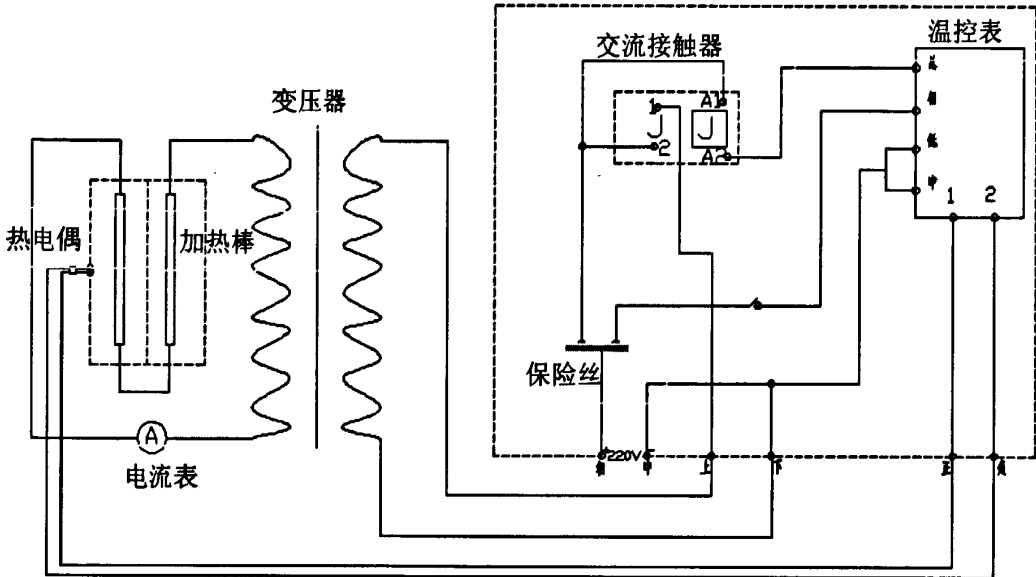


图 4-4 电路图

Fig. 4-4 The diagram

#### 4.3.4 试验方案

本试验的 ABS 与高闪光铝粉的配比、成型工艺参数是根据第三章中综合分析得出的熔接痕最佳工艺参数组合设定的，即 ABS、高闪光铝、铝酸酯按 100/3/3 的比例进行试验的，为增加试验的对比性及可靠性，多准备了另外两组配方，分别是 100/1/3 及纯 ABS 树脂。工艺参数的设定如表 4-1 所示，其中熔体温度设置两组。一般高光注塑成型的模具温控是控制在 150℃ 的，为了更好地研究模具加热温度的高低对熔接痕外观的影响，模具型腔局部加热温度分别设定为 80℃、100℃、120℃、140℃、160℃ 等五组试验。

表 4-1 工艺参数的设定  
Table. 5-1 The process parameters

| 熔体温度/℃ | 保压压力/bar | 保压时间/s | 注射压力/bar | 冷却时间/s |
|--------|----------|--------|----------|--------|
| 215    | 70       | 2      | 80       | 15     |

#### 4.3.5 试验结果及分析

试验的前期准备工作与第三章力学性能试验的前期准备一样。为了方便试验操作，先选用纯 ABS 为原料进行局部加热注塑试验分析。如图 4-5a-d 的多孔方形件所示，图 a 是定模板型腔局部加热温度为 80℃ 时的多孔方形件的表面质量，由于定模板型腔的



加热温度不高，制件表面光洁度不高，质感不光滑，存在的熔接痕并没有改善，综合效果一般。图 b、c 是定模板型腔温度加热到 100℃、120℃ 的方形件表面质量，由于加热温度升高，制件表面光洁度逐渐提高，镜面效果明显，制件质感光滑，不存在流痕现象，部分熔接痕消失，存在的熔接痕的划痕不明显，综合效果相对于型腔局部加热到 80℃ 时的效果有很大的提高。图 d 是定模板型腔温度加热到 140℃ 时的方形件表面质量，其表面光洁度更高，镜面效果更明显，而且所有的熔接痕的划痕消失不见，表面质量比没有采用型腔局部加热技术好很多，但由于型腔温度较高，制件的孔洞部分发生溢料形成毛边，对方形件的翘曲变形也产生一定的影响，但并不明显。多孔圆形件的试验效果跟方形件的一样。综合以上分析，采用型腔局部加热技术对提高制件表面质量，改善或减少熔接痕是可行的，具有研究价值的。

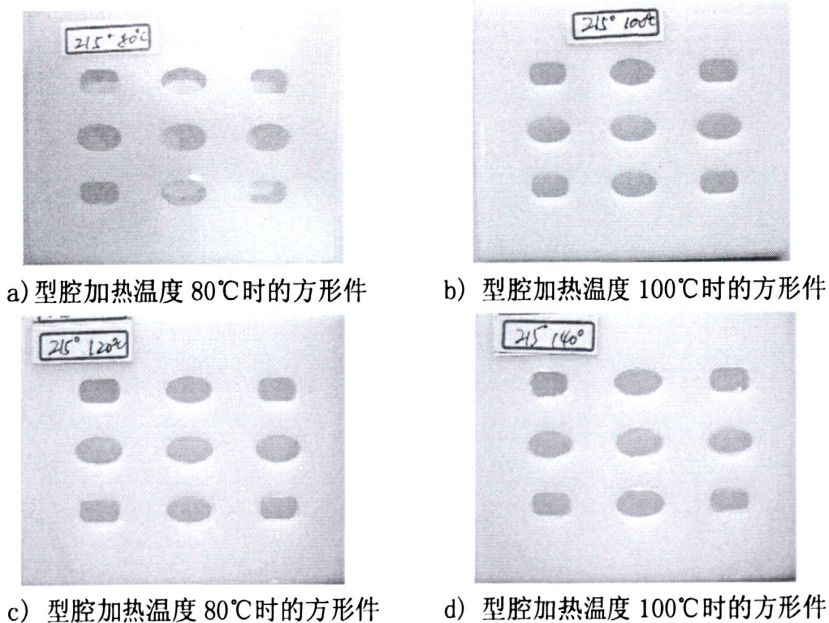


图 4-5 不同加热温度下的方形件表面质量

Fig.4-5 The surface quality of the square in different temperatures

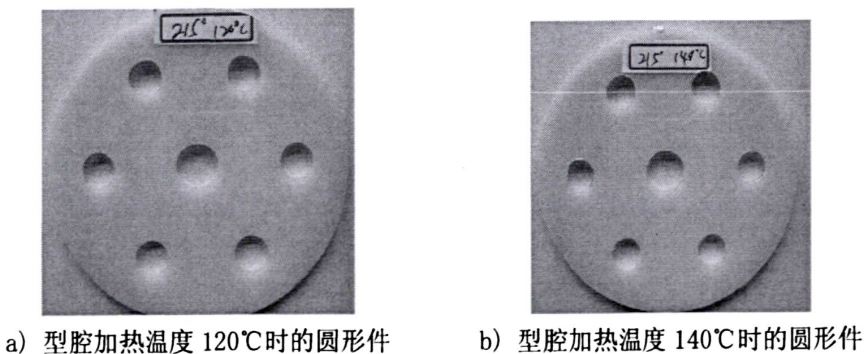


图 4-6 不同加热温度下的圆形件量

Fig.4-6 The surface quality of the circular piece in different temperatures



在含量百分比为 100/1 的 ABS 与高闪光铝共混注塑试验中,其圆形件的表面质量如图 4-7a-d 所示,图 a、b 是定模板型腔温度加热到 100 °C、120 °C 的圆形件的表面质量,其表面光洁度一般,比没有采用普通注塑成型的圆形件的光洁度要好,质感较光滑,圆形件表面的熔接痕得到很好的改善。图 c、d 是定模板型腔温度加热到 140 °C、

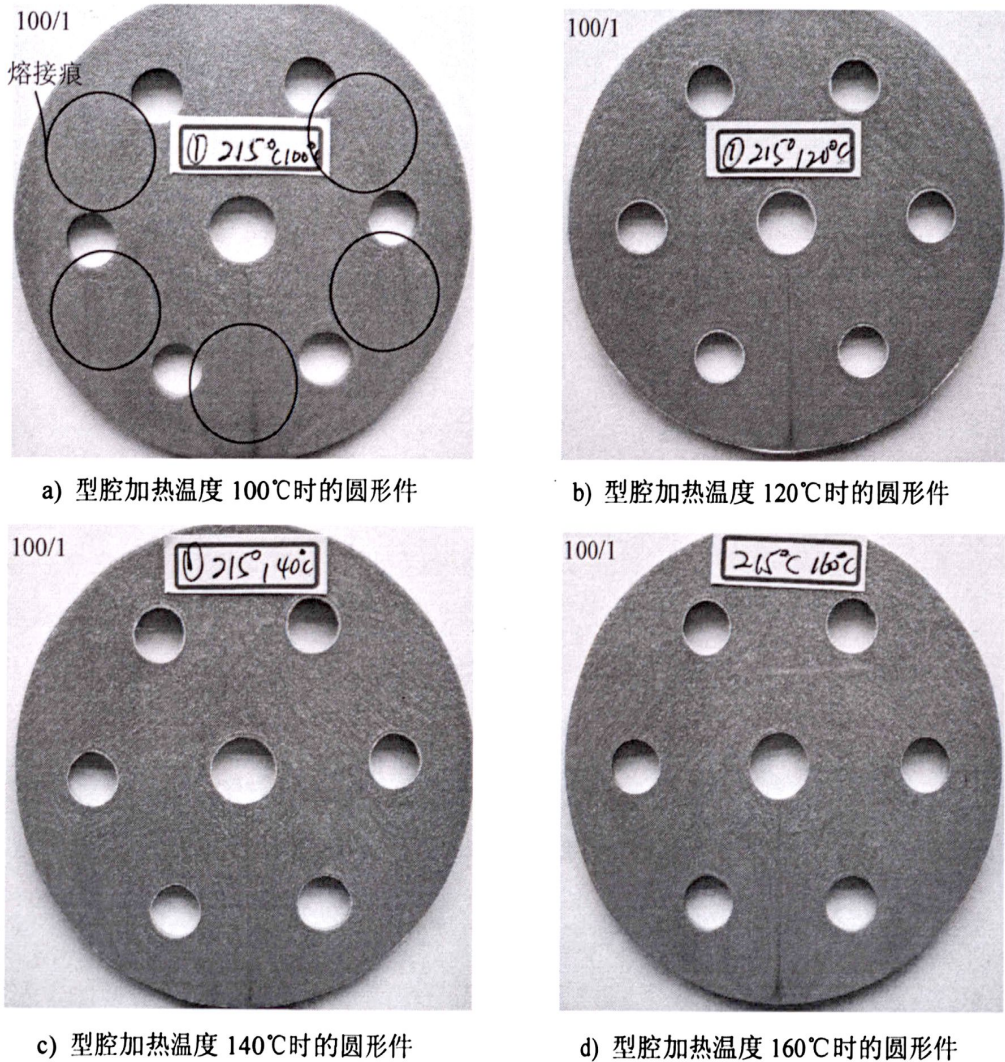
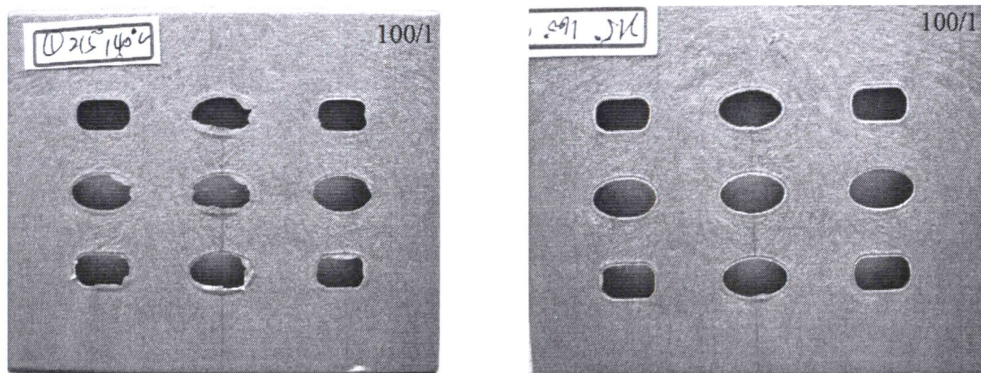


图 4-7 不同加热温度下的圆形件表面质量

Fig.4-7 The surface quality of the circular piece in different temperatures

160 °C 时的圆形件表面质量,其表面光洁度较高,质感光滑,制件表面熔接痕并不明显,与采用普通注塑成型的圆形件的熔接痕相比有很大的改善,镜面效果很明显。但由于型腔的冷却水路的密封性不好,加热时型腔内存在水蒸气,及型腔内的加热温度不均匀等因素的影响,圆形件表面存在流痕,但不影响其光洁度。而且在图 a-d 中,正下方的熔接痕都是相对比较明显的,这是由于此处的型腔没有加热棒,加热温度不够,由于可见型腔的加热温度对熔接痕的影响程度很高。方形件的表面质量情况与圆形件

的基本一样，跟采用普通注塑成型的方形件和圆形件的表面质量有很大的提高。

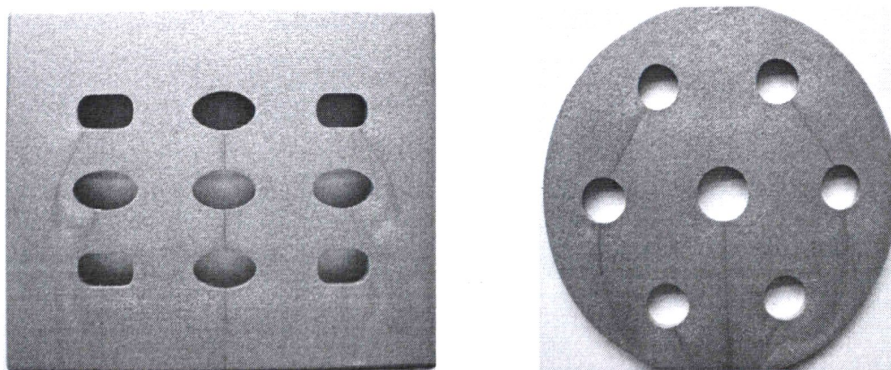


a) 型腔加热温度 140℃时的方形件

b) 型腔加热温度 160℃时的方形件

图 4-8 不同加热温度下的方形件表面质量

Fig.4-8 The surface quality of the square in different temperatures



a) 普通注塑成型的方形件

b) 普通注塑成型圆形件

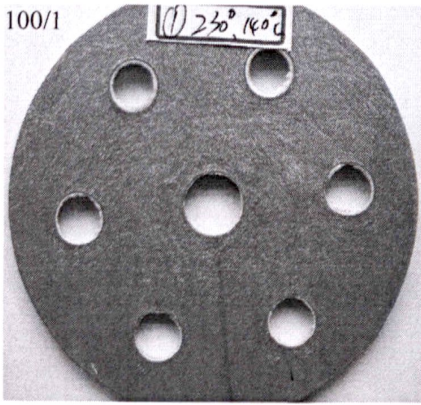
图 4-9 采用普通注塑成型的圆形件和方形件的表面质量

Fig.4-9 The surface quality of the square and the circular piece by ordinary plastics injection process

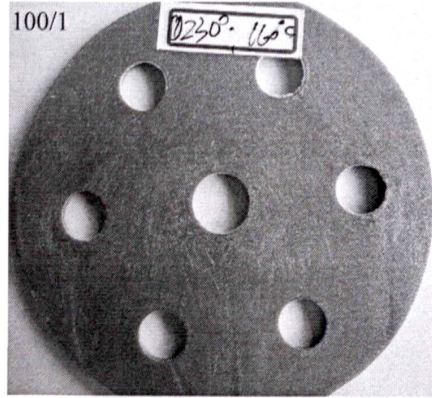
由于熔体温度是影响熔接痕的重要因素，为了更好的分析熔体温度对熔接痕的改善情况，再进行另外一组试验，熔体温度为 230℃，其他工艺条件保持不变，如图 4-10 所示，图 a、b 分别是型腔加热温度为 140℃、160℃的圆形件的表面质量，其表面光洁度跟熔体温度 215℃时差不多，但提高熔体温度，有利于提高熔接痕的强度。

在另外一种含量百分比为 100/3 的 ABS 与高闪光铝共混注塑试验中，由于高闪光铝的百分比增加，其制件的闪光效果也相应的提高，但由于这个原因，其熔接痕处的高闪光铝粉含量也较高，对其熔接痕处的强度有一定的影响的，因为配方比为 100/3 的制件在熔接痕处比较脆，用力对折很容易就折断，而配方比为 100/1 的制件在熔接痕





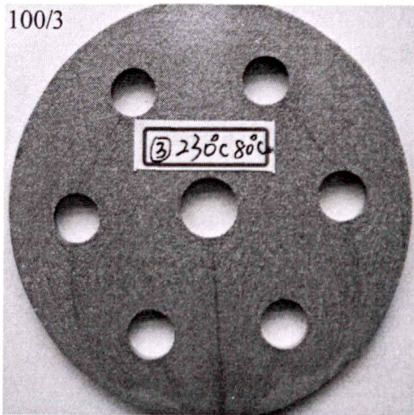
a) 型腔加热温度 140℃时的圆形件



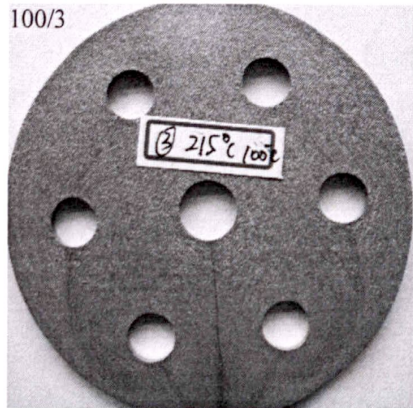
b) 型腔加热温度 160℃时的圆形件

图 4-10 不同加热温度下的圆形件表面质量

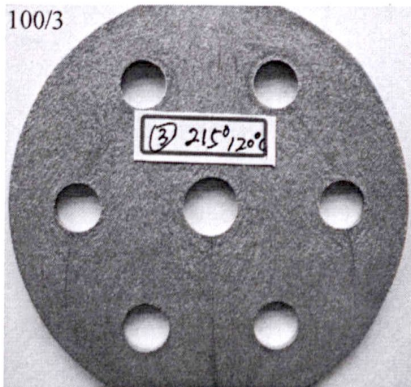
Fig. 4-10 The surface quality of the circular piece in different temperatures



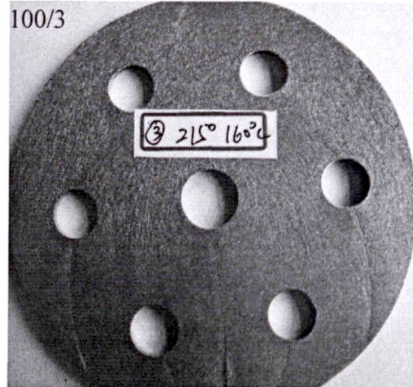
a) 型腔加热温度 80℃时的圆形件



b) 型腔加热温度 100℃时的圆形件



c) 型腔加热温度 120℃时的圆形件



d) 型腔加热温度 160℃时的圆形件

图 4-11 不同加热温度下的圆形件表面质量

Fig. 4-11 The surface quality of the circular piece in different temperatures

处用力对折是很难折断的。但其局部加热对制件表面质量和熔接痕的改善效果跟上一组配比是相似的。如图 4-11a-d 所示，图 a 是定模板型腔加热温度为 80℃时的圆形件，

由于型腔加热温度不高，其表面的光洁度一般，流痕比较明显，镜面效果不明显。图 b、c、d 是定模板型腔加热温度为 100℃、120℃、160℃时的制件表面质量情况，随着的加热温度的升高，圆形件的光洁度也随着提高，镜面效果愈明显，圆形件的正上方的熔接痕深度不明显，正下方的熔接痕由于加热温度不均匀，改善不明显。再次验证型腔的加热温度对改善熔接痕起着重要的作用。方形件的情况跟圆形件的相似。

当熔体温度为 230℃时，其制件的表面质量和熔接痕的改善情况与百分比为 100/1 的制件情况相似，但熔体温度提高，有利于提高熔接痕强度。图 4-12a、b 是配方比 100/1 的制件表面质量和熔接痕的情况。

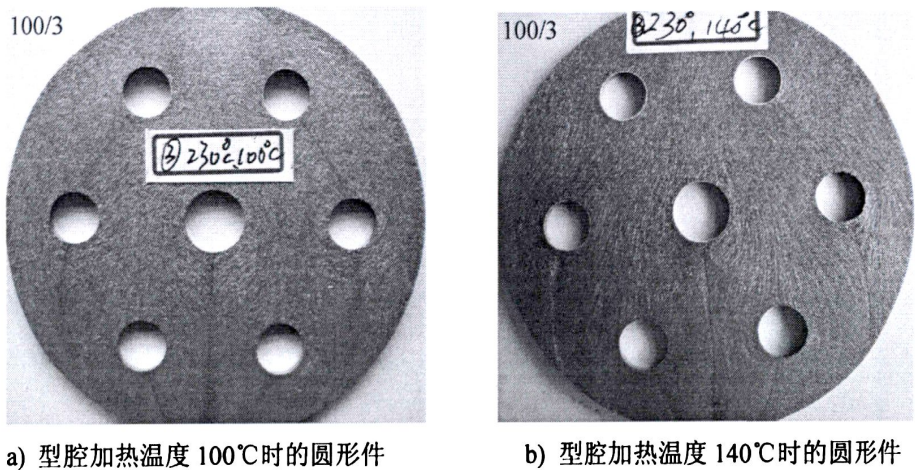


图 4-12 不同加热温度下的圆形件表面质量

Fig. 4-12 The surface quality of the circular piece in different temperatures

#### 4.4 本章小结

本章是以高光注塑成型原理为理论基础，通过采用型腔局部加热技术改善共混物制件熔接痕，并设计制造一套模具进行试验验证分析。通过试验结果分析得出以下结论：

1. 与普通的注塑成型相比，采用局部加热技术注塑成型的制件表面质量更好，随着加热温度的提高，其光洁度更高，镜面效果越明显。

2. 通过试验验证，采用局部加热技术能有效的改善或减少熔接痕，尤其是在纯 ABS 试验中，通过采用局部加热技术，制件的熔接痕基本消失，表面质量大大提高；而在共混物制件中，在加热温度均匀区域内，熔接痕得到很好的改善，且没有普通注塑成型时那么明显。

3. 为了提高熔接痕区域的强度，在条件应许下应尽量提高熔体温度，利于熔接痕区

域的熔体的链接。

4.在满足制件外观颜色及闪光效果的前提下,尽可能的减少高闪光铝的含量。因为闪光铝含量越多,聚集在熔接痕处的铝粉含量就越多,使熔接痕的强度下降。



## 第五章 顺序注塑对熔接痕位置的控制作用

由上章节的可知，局部加热技术对制件熔接痕有明显的改善作用。在大型件的注塑时，制件熔接痕的存在是不可避免的，此时可采用顺序注塑，通过控制阀浇口的开启时间来控制熔接痕的位置，使熔接痕处于制件外观不明显的位置，提高制件的外观质量。

### 5.1 顺序注塑原理及特点

顺序注塑是在原来每个普通热流道浇口处加一个可以控制的阀门，利用时序控制程序控制阀浇口的开启、关闭，实行对流道的定时、定量、顺序注射，使模具内的熔体按顺序进入型腔的不同位置，降低注射成型压力和残余应力，获得平稳流速熔体，使制品的强度和表观质量等得到提高，因此又称为顺序阀浇口技术，是解决大型件熔接痕的最有效方法之一，广泛的应用于汽车保险杆、大型平板塑料件、电子微型薄壁件等大型件的熔接痕问题的解决方面<sup>[55-56]</sup>。

在进行顺序注塑成型时，控制阀浇口开闭的阀针驱动装置有液压驱动、气压驱动和弹簧驱动等。液压驱动阀针可以准确地控制补料时间，在高温高压下能提早快速封闭浇，降低塑件的残余应力，增强制件的稳定性，其不足之处就是制件在生产过程容易因泄露而被弄脏；采用气压驱动具备了液压驱动的有点，而且不会因泄漏而发生污染等安全问题；弹簧驱动是依靠注射压力及弹簧的弹力的平衡关系是先阀浇口的自动开闭，具有精度高、可靠性强、安装便捷、维护简单、成本低等优点<sup>[57]</sup>。

和一般的注塑成型工艺相比，顺序注塑成型工艺具有以下优点：

1) 可控制不同流道熔体汇合时前锋面的温度、压力等参数，从而避免熔体在型腔中流动时因前锋面的温度梯度大而易形成熔接痕的影响；

2) 可控制进浇点的开启数量和时间，可减少制品内应力，防止高温对制品带来的降解影响；

3) 有效控制熔体的流动方向及流量，改变熔接痕的质量、调整熔接痕的形成位置；

4) 降低成型设备的要求，减少成型周期。顺序注塑能有效的降低锁模力、注射压力等对设备的要求，而且可以同时进行一模多件注塑，减少成型的周期。

## 5.2 控制熔接痕位置的方法

熔接痕的形成是受模具结构、浇口位置、制件形状、成型工艺参数等因素影响的。在实际的生产过程中，熔接痕位置的控制主要解决方法是依靠设计人员的设计经验，通过反复的修模和改变注塑成型的工艺参数来调整熔接痕的位置和长度，大大增加了生产周期和成本，得到的结果也不一定满意。

钟浩东和等益民提出运用遗传算法对熔接痕的位置和长度进行优化，使熔接痕的位置远离选定的敏感区域，且熔接痕的长度最短。优化的方法是以 Visual C++6.0 语言为编制环境，利用 MFC 平台开发基于遗传算法的熔接痕位置和长度优化的程序。该程序调用 Moldflow 的模拟发分析数据进行编码翻译，提取分析结果，计算出目标函数值，按照遗传算法的搜索路径进行多代搜索，最终获得优化后的熔接痕的位置、长度、最佳浇口位置及最佳工艺参数组合<sup>[58]</sup>。

另外一种熔接痕位置控制方法是通过采用模糊理论来实现的，是由 Chen.M.Y 等提出的，通过将理论知识 If...Then 语句建模糊产生规则，并以此为基础来调节浇口位置和制件厚度来实现熔接痕位置的控制，克服传统熔接痕位置控制方法依赖经验及效率低等缺点，但次方法目前只能针对简单的几何模型，实际运用推广价值不高<sup>[59]</sup>。

还有一种方法是通过改变浇注系统的尺寸来实现熔接痕位置的有效控制，由 Zhai.M 等提出的，其方法是以浇口位置和流动尺寸作为设计变量，熔接痕位置作为设计约束，分步对目标问题进行优化，先确定浇口位置，在确定最近流道尺寸，即先将制件分区，以最小注射压力为目标函数，以平衡填充优化各个分区的浇口位置，编制最大压力梯度搜索程序，加速寻优过程。等浇口位置确定后，反复调节浇注系统的尺寸，评价实际熔接痕和期望熔接痕的一致性程度，达到把熔接痕控制在制定区域内<sup>[60]</sup>。

## 5.3 顺序注塑的应用实例

### 5.3.1 Moldflow 软件的简介

Moldflow 软件是由美国 Moldflow 公司开发设计的塑料模流分析软件，一直是塑料 CAE 软件市场的主导地位。目前，Moldflow 软件包括三大部分：快速试模分析 (MPA)、高级成型分析 (MPI) 和品质控制专家分析软件 (MPX)。

MPA (Moldflow Plastics Advisers): 这是一款普及型模流分析软件，它能够快捷的测试产品工艺性及优化模具的设计。可以读取任何 CAD 模型，通过仿真分析，冷却

系统设计评估、翘曲预测和成本评估等。

MPI (Moldflow Plastics Advisers): 这是一款专业性模流分析软件, 可以在计算机上对整个注塑成型过程进行模拟分析, 包括最近浇口位置、填充、保压、冷却、翘曲、流道平衡、最佳成型工艺、纤维取向、结构应力和收缩分析等。在产品的设计阶段可以对产品进行模拟分析, 找出可能存在的缺陷, 提高一次试模的成功率, 达到降低成本, 缩短生产周期的目的。

MPX (Moldflow Plastics Xpert): 这 Moldflow 公司专门为优化注塑生产过程而设计的, 用于自动试模、优化注塑参数和注塑产品质量控制。MPX 直接与注塑机控制器连接, 进行工艺优化和监控, 满足注塑生产的要求, 事工艺工程师和试模工程人员可以系统的进行试模, 找到一个优化工艺条件窗口并实现生产过程的实时监控, 有效的优化产品生产周期。

本实例主要用到 Moldflow 软件的 MPI 功能模块, 其基本流程是建立模型→设定参数→分析结果, 其中建立模型和设立参数称为前处理, 分析结果称为后处理<sup>[61]</sup>。

### 5.3.2 轿车保险杠模型的建立

本文是以轿车保险杠为实例进行顺序注塑的模拟分析, 首先用 UG 软件对保险杠进行三维造型建模, 保险杠大小为  $1775\text{mm} \times 415\text{mm} \times 240\text{mm}$ , 其三维造型如图 5-1 所示。

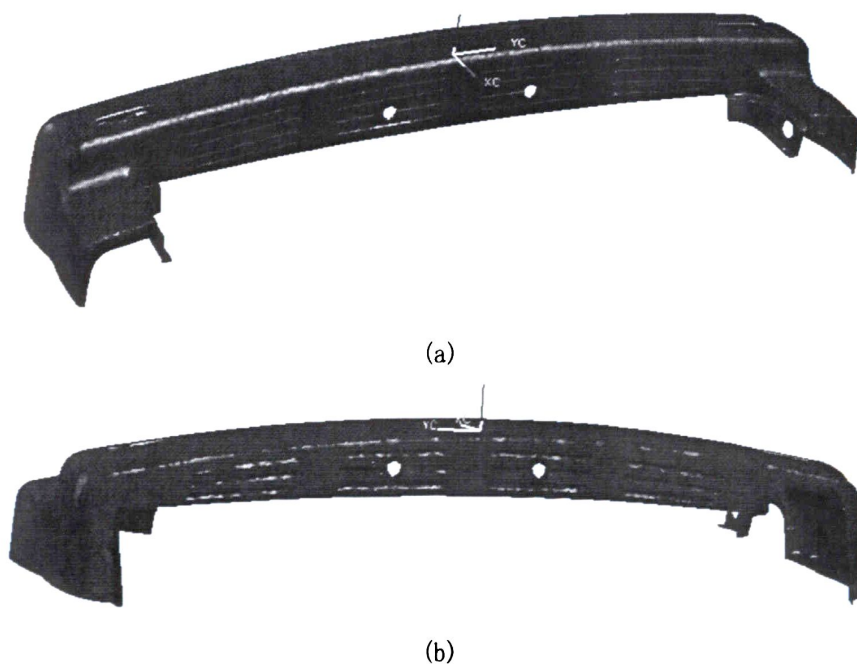


图 5-1 保险杠的三维图

Fig. 5-1 The three-dimensional of bumper



在 UG 软件中把保险杠的三维图转换成 STL 文件导入 Moldflow 软件中，对保险杠修补后进行网格划分，网格划分选 Fusion 网格，网格边长为 7.2mm，共生产 87460 个三角形，图 5-2 是生成网格后的保险杠造型。利用网格缺陷诊断工具对不符合条件的网格进行诊断和修复，为了模拟的准确性，尽量降低网格的纵横比，图 5-3 是对网格修复后的网格统计情况。

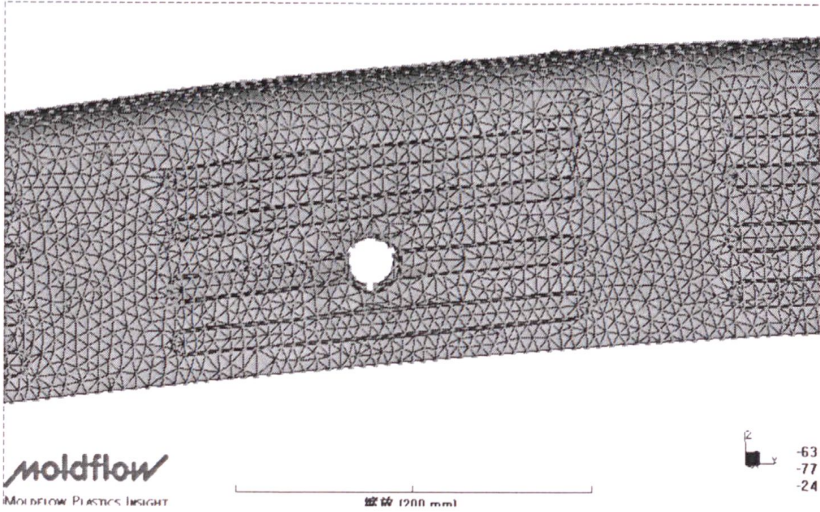


图 5-2 生成网格的保险杠造型

Fig. 5-2 The Shape of bumper in generated mesh

| 网格统计        |                         |
|-------------|-------------------------|
| 柱体          | 0                       |
| 连通区域        | 1                       |
| 网格体积        | 3379.68 cm <sup>3</sup> |
| 网格面积        | 17053.9 cm <sup>2</sup> |
| 边详细信息-----  |                         |
| 自由边         | 0                       |
| 共用边         | 131190                  |
| 交叉边         | 0                       |
| 配向详细信息----- |                         |
| 配向不正确的单元    | 0                       |
| 相交详细信息----- |                         |
| 相交单元        | 0                       |
| 完全重叠单元      | 0                       |
| 复制柱体        | 0                       |
| 三角形纵横比----- |                         |
| 最小纵横比       | 1.156000                |
| 最大纵横比       | 11.970000               |
| 平均纵横比       | 1.885000                |
| 匹配百分比-----  |                         |
| 匹配百分比       | 86.8%                   |
| 相互百分比       | 79.7%                   |

关闭

图 5-3 网格统计

Fig. 5-3 The mesh Statistics

### 5.3.3 轿车保险杠顺序注塑的浇口设定

现在的大型汽车塑料制品普遍采用热流道技术，可以提高材料的利用率，但不能有效的调整控制熔接痕的位置及质量<sup>[62]</sup>。采用热流道针阀式浇口和时序控制器相结合的顺序注塑，通过时序程序控制不同浇口的开闭时间来控制熔体在制品不同位置的注射压力、温度和充填时间，实现注塑成型。图 5-4 所示保险杠采用针阀式热流道技术进行顺序注塑模拟分析，在成型条件许可的情况下，针阀式热流道的浇口数量不宜过多，一方面可以降低模具的成本，一方面可以降低时序控制程序的复杂程度。为了保证熔体的流动平衡，根据保险杠的对称结构，采用三浇口进行模拟分析，三浇口的开闭顺序可有如下三种方法：

- a)按顺序打开各浇口，即：浇口 1 → 浇口 2 → 浇口 3，或相反顺序；
- b)先开中间浇口再开两端浇口，即：浇口 1 ← 浇口 2 → 浇口 3；
- c)先开两端浇口再开中间浇口，即：浇口 1 → 浇口 2 ← 浇口 3；

显然，上述方法中，a)方法只有一个浇口工作，各部分熔体温度不平衡，熔体流程长，注射压力大且分布不平衡，注塑时间等不足，所以大型的薄壁注塑件（而且呈长型）一般不采用该方案；b)方法和 c)方法在注塑时两股塑料熔体最后汇合时的情形类似，但是熔体汇合的位置不同（实际包含了注塑温度和压力等参数的综合影响）对熔接痕的影响不同，为此我们仅对 b 方法进行模拟。

为了分析不同浇口延迟打开时间对形成熔接痕的影响，在 b 方法的浇口顺序开启时间上建立 2 套方案，方案 1：中间浇口处于常开状态，浇口 1 和浇口 3 同时延迟开启，延迟开启的时间间隔 0.4s；方案 2：浇口 2 处于常开状态，浇口 1 和浇口 3 延迟开启的时间不同，延迟开启的时间间隔 0.4s，模拟分析两组实验数据。

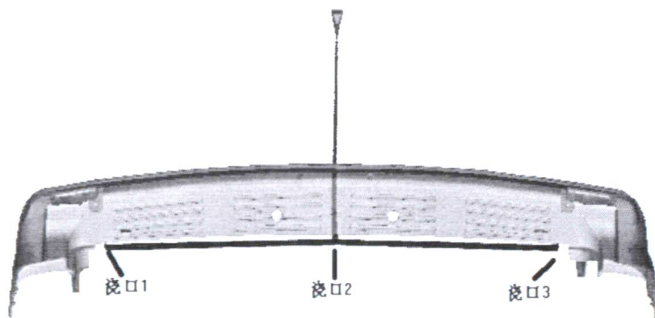


图 5-4 保险杠的顺序注塑系统

Fig. 5-4 Sequential feeding system of bumper

### 5.3.4 顺序注塑工艺参数对熔结痕的影响

#### (1).填充时间的影响

为获取注射时间的初步信息,先利用 Moldflow 中的 MPI 进行最佳成型窗口分析,如图 5-5 所示,当注塑时间为 7s 时,成型窗口是显示黄色的,代表是可行的成型条件,因此,设注塑成型时间为 7 秒,浇口 1 和浇口 3 同时开启的时间和熔结痕形成的平均时间如下表 5-2、表 5-3 所示,进行模拟的工艺参数如表 5-1 所示:

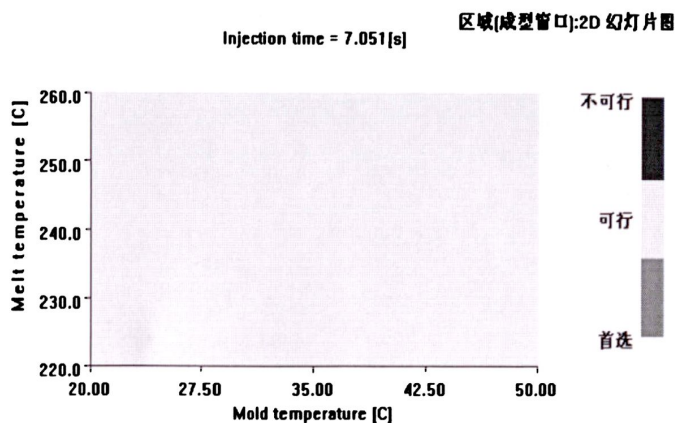


图 5-5 注塑时间成型工艺

Fig. 5-5 The molding process of injection time

表 5-1 顺序注塑的工艺参数

Table.5-1 Process parameters of Sequential feeding

| 熔体温度/°C | 模具温度/°C | 保压时间/s | 冷却时间/s |
|---------|---------|--------|--------|
| 240     | 30      | 20     | 20     |

表 5-2 方案 1 浇口开启时间与形成熔结痕平均时间的关系

Table 5-2 The relation between gate turn-on time and the average time of weld line formation

| 项目                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 浇口 1、3 延迟打开的时间/s  | 0.4  | 0.8  | 1.2  | 1.6  | 2.0  | 2.4  | 2.8  | 3.2  | 3.6  |
| 浇口 1、2 形成熔接痕的时间/s | 4.30 | 4.21 | 4.17 | 4.20 | 4.07 | 3.96 | 3.90 | 3.83 | 3.87 |

表 5-2、3 中两组数据显示:在第一组数据,对于同一浇口(纵向比较)不论是浇口 1 还是浇口 3,阀浇口打开越早,熔接痕形成的平均时间越长,随着阀浇口 1 和浇口 3 延时开启的时间越长,在两阀浇口之间形成的熔接痕的位置分别向左右两边移动,有利于我们控制熔接痕的位置。且熔接痕形成的平均时间并不是浇口开启时间差的完全等同对应关系。在第二组数据,由于浇口 1 和浇口 3 延时开启的时间不同,浇口 1 在延迟时间区间[0.4s, 2.0s],阀浇口打开越早,熔接痕形成的平均时间越长,而浇口 3

在时间区间[2.4s, 4.0s]的情况刚好相反, 这是由于阀浇口延时一定时间后, 两股流动熔体前锋面温度梯度差异及不同开启时间导致注射压力不同引起的, 从而使制品存在大量残余应力, 是引起翘曲变形的原因之一。

表 5-3 方案 2 浇口开启时间与熔结痕平均时间的关系

Table.5-3 The relation between gate turn-on time and the average time of weld line formation in project 2

| 序号 | 浇口 1 打开时间/s | 浇口 1 与浇口 2 之间熔接痕形成的平均时/s | 浇口 3 打开时间/s | 浇口 3 与浇口 2 之间熔接痕形成的平均时间/s |
|----|-------------|--------------------------|-------------|---------------------------|
| 1  | 0.400       | 3.63                     | 2.400       | 4.36                      |
| 2  | 0.800       | 3.49                     | 2.800       | 4.49                      |
| 3  | 1.200       | 3.39                     | 3.200       | 4.50                      |
| 4  | 1.600       | 3.37                     | 3.600       | 4.61                      |
| 5  | 2.000       | 3.36                     | 4.000       | 4.66                      |

## (2). 注射压力的影响

为了测定熔接痕处的压力, 我们选择了两个关键的特征点 (pressure at end of fill 和 pressure at V/P switchover), 这两个时间点是评定流动是否平衡的重要节点, 在这两个时间上熔接痕位置的壓力如表 5-4、5 所示:

表 5-4 方案 1 浇口开启时间与压力的关系

Table.5-4 The relation between gate turn-on time and pressure of project 1

| 项目                      | 0.4s  | 0.8s  | 1.2s  | 1.6s  | 2.0s  | 2.4s  | 2.8s  | 3.2s  | 3.6s  |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pressure at end of fill | 17.46 | 17.38 | 16.92 | 16.72 | 16.29 | 16.51 | 16.85 | 16.78 | 17.52 |
| Pressure at V/P point   | 16.76 | 16.75 | 16.24 | 16.22 | 15.78 | 15.95 | 16.16 | 16.44 | 17.01 |

表 5 方案 1 浇口开启时间与压力的关系

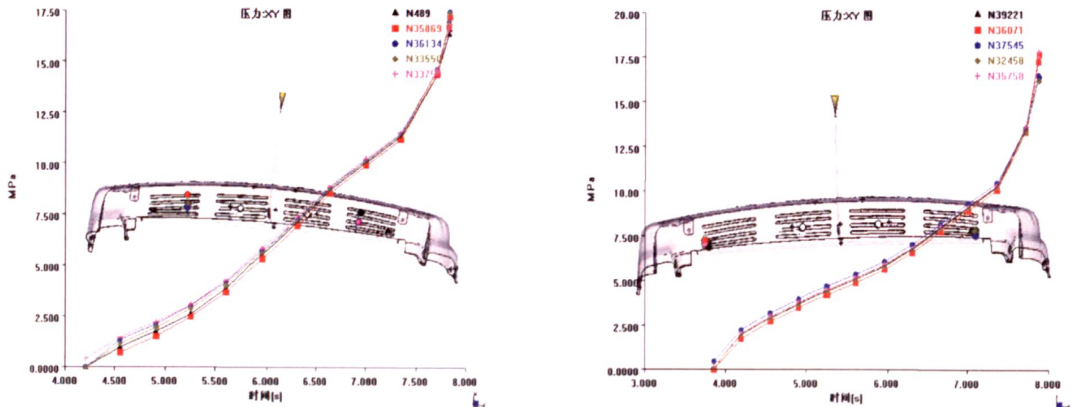
Table.5 The relation between gate turn-on time and pressure of project 2

|                         | 0.4s  | 0.8s  | 1.2s  | 1.6s  | 2.0s  | 2.4s  | 2.8s  | 3.2s  | 3.6s  | 4.0s  |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Pressure at end of fill | 19.58 | 21.15 | 22.20 | 23.13 | 23.77 | 16.66 | 17.38 | 17.72 | 18.01 | 18.31 |
| Pressure at V/P point   | 20.11 | 21.55 | 22.53 | 23.39 | 23.96 | 17.03 | 17.74 | 17.99 | 18.24 | 18.54 |

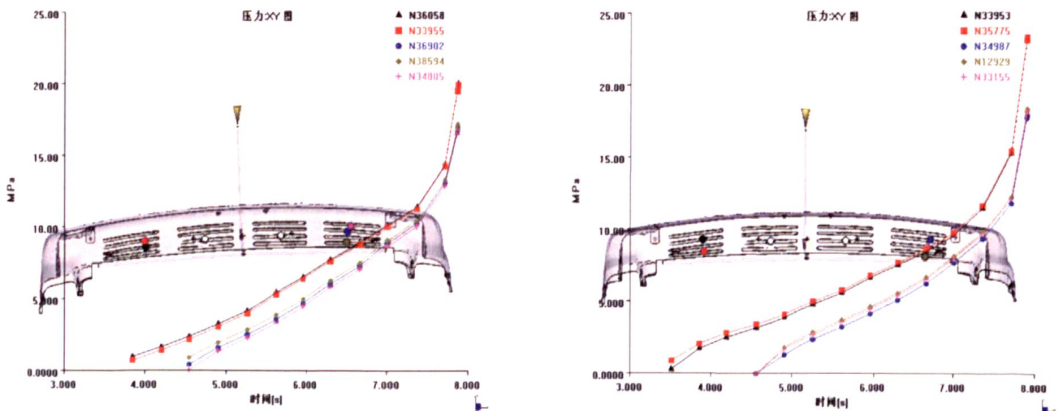
表 5-4 中的数据表明: 在 0.4 秒到 2.0 秒时间段, 先打开的浇口所形成的熔接痕处的压力随打开时间的延长而减小, 而 2.4 秒到 4.0 秒两个时间段里, 后打开的浇口所形



成的熔接痕处的压力随打开时间的延长而增大，但所形成熔接痕处的压力变化幅度并不明显，有利于熔体流动平衡。而表 5 中的数据刚好相反，产生这种现象的原因是由于先生成的熔接痕处的过保压，而在后生成的熔接痕处的熔体择优趋向性流动。另外，在给定形成熔接痕的平均时间的情况下，注塑成型压力是和阀浇口的开闭情况紧密相关的。而且方案 1 中的平均最大注射压力 50 MPa 左右，方案 2 中的平均最大注射压力 53 MPa 左右，都比普通注塑的最大注塑压力 57 MPa 小，降低了注塑压力的要求。



a-方案 1 浇口在 0.4s 时的熔接痕处压力      b-方案 1 浇口在 3.6s 时的熔接痕处压力  
图 5-6 方案 1 浇口开启时间与熔接痕处压力分布  
Fig. 5-6 Pressure:XY Plot of project 1



a-方案 2 浇口在 (0.4, 2.4) s 时的熔接痕处压力      b-方案 2 浇口在 (1.6, 3.6) s 时的熔接痕处压力  
图 5-7 方案 1 浇口开启时间与熔接痕处压力分布  
Fig. 5-7 Pressure:XY Plot of project 2

图 5-6a 和图 6b 分别表示方案 1 阀浇口 1 和阀浇口 3 在 0.4s 和 3.6s 打开时间时熔接痕处的压力分布规律，从图中压力曲线可知，方案 1 的阀浇口 1 和阀浇口 3 是同时开启的，其两边形成熔接痕处的压力曲线基本重叠在一起。图 5-7a 和图 7b 分别表示方案 2 阀浇口 1 和阀浇口 3 (0.4s, 2.4s) 和 (1.6s, 3.6s) 打开时的熔接痕处的压力分布

规律，在图中可以看到先打开的阀浇口产生的熔接痕处的压力比后打开浇口的熔接痕处的压力高，这表明先打开的阀浇口产生的熔接痕的质量理论上应该比由后打开的阀浇口产生的熔接痕要高。但从熔接痕的形成机理来看，两股熔体汇合后，分子链之间的缠结和取向只是一个很短的过程，所以说对熔接痕质量产生影响的只是一个很小的时间段的压力，可以把影响熔接痕质量的因素归结为熔接痕形成时的压力梯度和温度。从压力-时间曲线图可以看出，浇口打开越早，熔接痕的质量相对较好。

(3) 熔体温度的影响

众所周知，影响熔接痕质量的主要因素是熔接痕形成时的熔体流动前沿温度，一般来讲，前沿温度越高，则生成的熔接痕的质量也越好。从熔体在型腔内的流动机理和 moldflow 的分析结果看，由于熔体流动过程中的剪切生热和流动时熔体受到的阻力，熔体的流动速度在一定的流程范围内与熔体流动的距离是呈反比关系的，而和熔体的温度在一定的流程范围内与熔体流动的距离是呈正比关系的。图 5-8 为四组熔接痕处的熔体前沿前温度的等高线图。

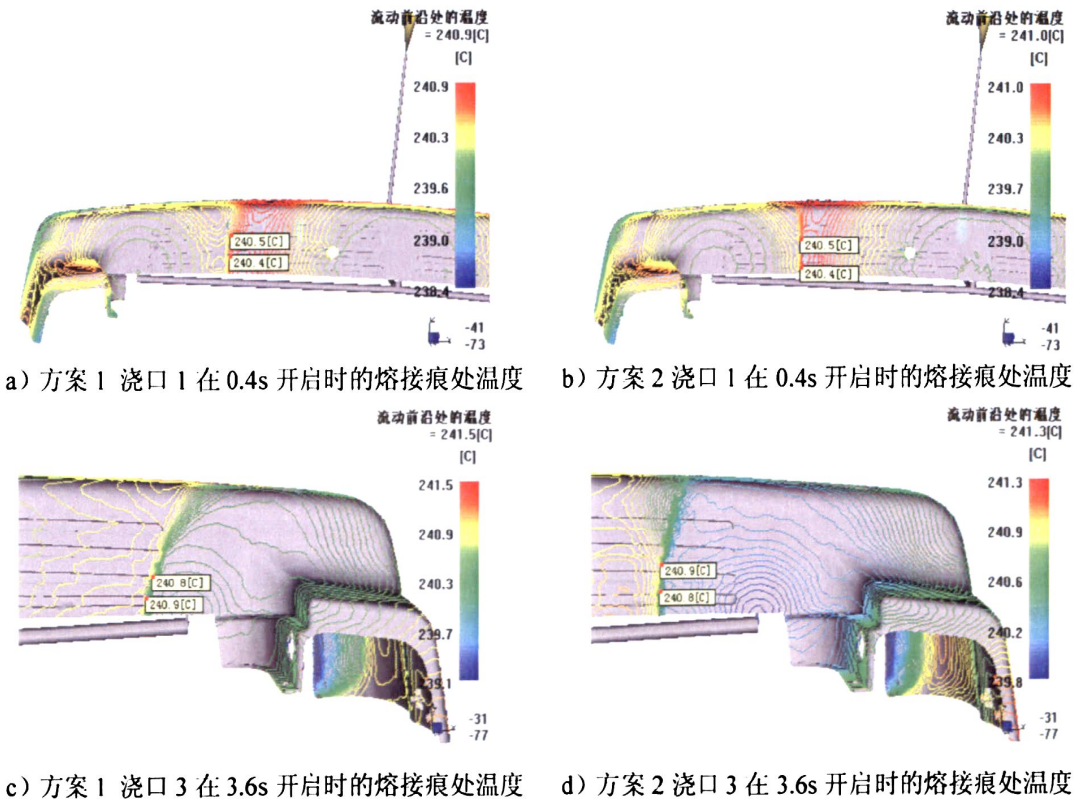


图 5-8 两种方案在熔接痕处的流动前沿处温度

Fig .5-8 The two project of temperature at flow front of weld

从图 5-8 的 a,b 两图我们可以看到在打开时间为 0.4s 时熔接痕处的最高温度相同， $t=240.5^{\circ}\text{C}$ ,图 c, d 打开时间为 3.6s 时  $t=240.9^{\circ}\text{C}$ ,温度相差不多，但就熔接痕两侧熔体的

温度差而言，打开时间为 3.6s 时的温差远大于打开时间为 0.4s 时的温差。

综合以上分析可以看出，虽然阀浇口打开时间越早形成熔接痕时的熔体温度相对较低（相差很小），但形成熔接痕时两股熔体的温度差和速度差都要显著降低，有助于生成高质量的熔接痕，这在方案 2 体现比较明显；而方案 1 由于阀浇口 1 和阀浇口 3 是同时延迟开启的，在不同的开启时间，影响熔接痕质量的温度和压力影响并不明显，在熔接痕强度满足实际需要的时候，可以通过调整阀浇口的开启时间，将熔接痕控制在不影响外观的地方。

### 5.3.5 保险杠的成型质量

从图 5-9、10 中可以看出，通过合理的调整阀浇口的延迟开启时间，顺序注塑成型比普通注塑成型的气泡明显少很多，保险杠表面质量光滑，没有产生明显的熔接痕。这是由于当中间浇口（浇口 2）的熔体刚好流过两侧浇口时，同时打开两侧浇口（浇口 1、3），使新的较热的料流进入原熔体的内部，保持原有流动前锋，使两股熔体向同一方向流动填充，有利于将腔中的空气排出，所以在普通注塑成型中由两股熔体会合时所产生的气泡和熔接痕在合理的顺序注塑成型中没有出现，采用顺序注塑的制品质量明显比普通的注塑成型的效果好得多。

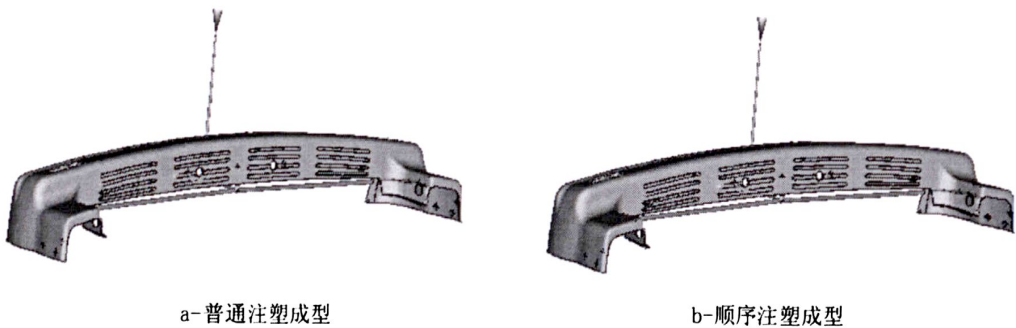


图 5-9 气泡对比

Fig. 5-9 Comparison of air traps

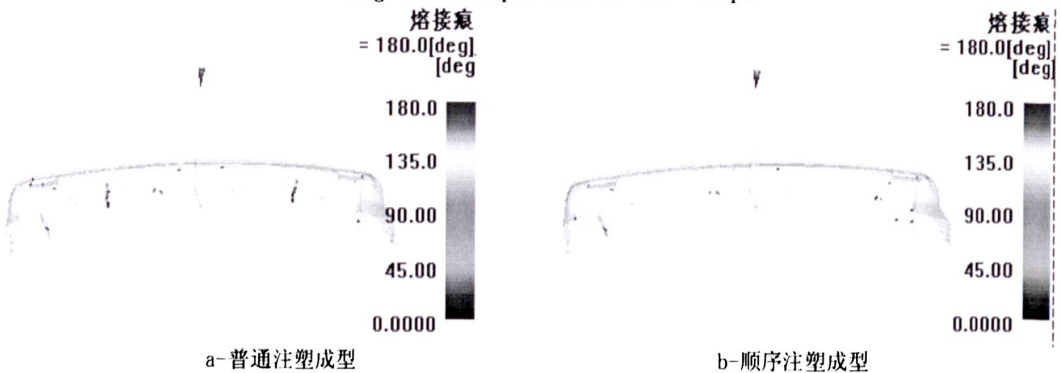


图 5-10 熔接痕对比

Fig. 5-10 Comparison of weld lines

## 5.4 本章小结

本节介绍了顺序注塑成型的原理、特点及现有的控制熔接痕的方法。并以轿车保险杠为例，进行顺序注塑的 CAE 分析，得到了下面的一些结论：

1.通过采取延迟不同浇口的开启的时间，可控制各浇口注塑熔体前锋面的温度、粘度、流动速度和此时的注塑压力等，对熔接痕的形成位置实施动态控制，提高熔体汇合时的熔合品质或使熔接痕处于外观不明显的位置，达到提高注塑制品质量的目的。

2.上面的两组实验数据显示，如果两侧浇口是同时延迟开启时，浇口注射压力变化比较平稳，有利于熔体的流动状态，保持流动平衡，减少制品的残余应力。

3.利用 CAE 软件对顺序注塑阀浇口开启时间的仿真分析，可以直观观察到制品熔接痕消失和气泡减少，对制品的实际生产设计具有一定的参考意义和工程价值。



## 结论与展望

### 总结

本文以工程塑料共混改性理论为基础,介绍高闪光铝与 ABS 树脂共混物注塑工艺过程,并运用正交试验法确定各工艺参数对高闪光铝与 ABS 树脂力学性能的影响程度,确定最优的工艺参数组合。同时以高光注塑理论为基础,研究采用局部加热技术对改善共混物制件的熔接痕的作用;采用 CAE 仿真技术,以轿车保险杠为实例,研究顺序注塑对控制熔接痕位置的作用。总结全文,主要工作和研究成果包括以下几个方面:

1.借鉴国内外关于工程塑料共混的制备方法及其偶联剂的选择,提出运用铝酸酯偶联剂作为高闪光铝与 ABS 塑料共混的偶联剂,增强共混物的相容性。以挤出成型理论作为基础,对高闪光铝和 ABS 树脂共混物进行挤出造粒,为下一步的试验部分做好前期准备。

2.运用正交试验设计方法分析不同的工艺参数对高闪光铝与 ABS 共混物的力学性能影响,力学测试试验包括拉伸试验和冲击试验,冲击试验的试样又分为无缺口冲击试验、V 型冲击试样和含熔接痕冲击试样三种。根据试验测试结果,不同试样的质量指标的影响因素主次程度各不相同,通过正交试验的综合分析法对各质量指标进行综合分析,得出兼顾各质量指标的最优工艺参数组合是:熔体温度 215℃、保压时间 2s、保压压力 70bar、注射压力 80bar、高闪光铝粉含量 2phr。并通过试验验证此组工艺组合的准确性。对试样熔接痕断面进行 SEM 检测,熔接痕区域的高闪光铝粉含量比其他区域的含量要高得多,这也是导致熔接痕区域力学强度低的主要原因。

3.以高光注塑成型原理为理论基础,通过采用型腔局部加热技术改善共混物制件熔接痕,并设计制造一套模具进行试验验证分析。与普通的注塑成型相比,采用局部加热技术注塑成型的制件表面质量更好,随着加热温度的提高,其光洁度更高,镜面效果越明显。在纯 ABS 试验中,通过采用局部加热技术,制件的熔接痕基本消失,表面质量大大提高;而在共混物制件中,在加热温度均匀区域内,熔接痕得到很好的改善,没有普通注塑成型时那么明显。而且在满足闪光效果的前提下,尽量提高熔体温度,减少高闪光铝的含量,有利于熔接痕区域的熔体的链接,增强其力学强度

4.采用 CAE 软件对轿车后保险杠三点进浇顺序注塑成型的过程进行模拟分析,结果表明:通过采取延迟不同浇口的开启的时间,可控制各浇口注塑熔体前锋面的温度、

粘度、流动速度和此时的注塑压力等，对熔接痕的形成位置实施动态控制，提高熔体汇合时的熔合品质，降低注塑压力、直接消除熔接痕或把熔接痕控制在不影响其外观质量位置，达到提高注塑制品质量的目的。对制品的实际生产设计具有一定的参考意义和工程价值。

## 展望

本文研究及所得到结论，对高闪光铝与 ABS 树脂共混注塑工艺及熔接痕的研究有一定的理论和实际指导意义，尤其是关于共混物的力学性能测试和局部加热技术试验操作，但由于本人能力、时间及经济有限，所以工作中不可避免地存在这一些问题，在后续的研究工作中，将可以从以下几方面拓展：

1.在共混物的力学方面的研究，可以尝试多中配比进行试验测试，如将高闪光铝的含量控制在 1phr 以下，选取其他种类的偶联剂或是填料，进一步增强共混物的相容性。可以尝试改变共混物的原料，采用其他原料进行研究分析。同时增加耐热性、耐腐蚀性、光洁度测试等项目测试，进一步研究共混注塑制件的优势。

2.在共混进行挤出造粒时，可以进行多次的挤出造粒，让高闪光铝与 ABS 均匀的混合，使研究结果更加完善。

3.对局部加热模具进行改造，使模具的加热温度更均匀。并对加热区域进行温度场的 CEA 分析，建立温度场与熔接痕之间的关系模型。同时可以采用多种注塑工艺相结合方式来改善熔接痕区域铝粉的含量，如在熔接痕区域添加加热设备和振动设备，或是采用局部加热技术和干涉注塑技术，使熔接痕区域的铝粉含量不再富聚，从而提高熔接痕区域的强度，解决熔接痕问题

4.进一步研究熔接痕的形成机理，能用参数来表征熔接痕的外观。

## 参考文献

- [1] 孙安垣, 闫焯, 杨超, 谈桂春, 等.我国改性塑料行业的发展前景[J].工程塑料应用, 2011,39(2): 5~8.
- [2] 邓如生. 共混改性工程塑料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [3] 刘登良. 塑料橡胶涂料与涂装技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [4] 黎明庆.浅谈闪光铝涂料用颜料—闪光铝粉及云母钛颜料[J].广州化工, 2001, 29(1): 19~22.
- [5] 刘鹏, 徐霞明.云母基珠光颜料的研究进展[J].材料导报, 2005, 19 (6): 36~38.
- [6] 刘小杰, 黄婉霞, 张月, 等.珠光颜料的最新研究进展[J].材料导报, 2006, 22 (6): 280~282.
- [7] 黄金霞, 陆书来, 刘宇权, 等. ABS 树脂市场分析及预测[J].弹性学, 2009, 19 (4): 64~69.
- [8] 郝立辉. ABS 树脂生产现状和发展的方向浅谈[J].科学技术, 2010, 3: 1~1.
- [9] 谈敦礼, 李琰, 陈红, 等.常见 ABS 树脂的性能对比[J].甘肃石油和化工, 2009, 2: 20~26.
- [10] 王国全.聚合物共混改性原理与应用[M].中国轻工业出版社.2007.
- [11] 沈家瑞 贾德民.聚合物共混物与合金[M].华南理工大学出版社, 1999.
- [12] 邓如生.共混改性工程[M].化学工业出版社, 2003.
- [13] 侯静强,周晓东,王秋峰.聚合物共混体系原位增强机制的形成与强化[J].现代塑料加工应用.2008,18(4):54~57.
- [14] Y.G.Son,K.H.Ahn,K.H.Char.Weldline morphology of injection moldedmodified poly-(phenylene-oxide)/polyamide-6 blends[J].Polymer Engineering and Science 2001, 40 (3): 554~564.
- [15] D.Jarus,J.W.Summers A .Hiltner.Weld line strength of poly(vinyl chloride)/polyethylene blends[J].Polymer,Vol.41(2000):3057~3068.
- [16] F.Mielewski,D.R.Bauer,etal.Poly(p-phenylenesulfide)-basenano-formationDelamination of organically modify layered filler viasolid-state processing[J].Polymer Engineering and Science 1998. Vol.38(12):2020~2028.
- [17] R.M.Criens,Mosle,H-GKnit-Lines in Injection Molding and Mechanical Behavior

- Criens, Carl Hanser Verlag, Failure of Plastics[J].1986: 415~429.
- [18].K.Tomari and S.Tonogai.Fracture Toughness of weld Line in Polystyrene Injection Moldings[J].Polymer Engineering and Science.1999,30(15):996~1001.
- [19] 杨风霞、王雪静、王爱荣、蔡忠义. 注塑件熔接痕强度预测及提高新技术[J]. 工程塑料应用 2009年, 37(5): 45~49.
- [20] Karlsson P M, Esbjornsson N B, Holmberg K. Admicellar polymerization of methyl methacrylate on aluminum pigments[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2009, 337(2): 364-368.
- [21] 林峰, 周密, 肖望东, 程金星, 张小林. PP—SEBS / CaCO<sub>3</sub> / SEBS—g—MAH 共混改性研究[J]. 现代塑料加工应用. 2008, 20(2): 17~20.
- [22] Osman G. Ersoy, N. Nugay. A new approach to increase weld line strength of incompatible polymer blend composite: selective filler addition [J]. Polymer 45, (2004): 1243~1253.
- [23] B. Solymossy, J. G. Kovacs. The examination of weld line properties in injection molded PP composites[C]. Materials Science, Testing and Informatics iv, 2008. 589: 263~267.
- [24] 顾书英, 任杰. 聚合物基复合材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [25] 吴培熙, 张留城. 聚合物共混改性[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996.
- [26] 王玉来. 聚丙烯酸酯增韧改性[D]. 天津: 天津大学, 2004: 6.
- [27] 王家龙, 张雅娟, 张新波. ABS 共混合金研究进展[J]. 2008, 34(6): 11—13.
- [28] 傅强. 聚烯烃注射成型——形态控制与性能[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [29] C. P. PapadoPoulou, N. K. Kalfoglou. ComPsonofeomPatibilizereffectivenessforPET/PP blends: their mechanical thermal and morphology characterazation [J]. Polymer, 2000, 41(7): 2543~2555.
- [30] 俞喜菊, 郑震, 陆甲明, 等. SEBS/HDPE 共混物加工性能及力学性能的研究[J]. 塑料工业, 2006, 34(7): 39~42.
- [31] 郭静, 李楠, 高清, 等. 聚醚酯胺酯对 PA6 纤维的抗静电改性研究[J]. 合成纤维工业, 2008, 31(2): 16~19.
- [32] 耿孝正. 塑料混合及连续混合设备[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
- [33] 邓如生. 共混改性工程塑料[M]. 北京: 化学工业出版社.

- [34] 耿孝正, 张沛.塑料混合及设备[M].北京:中国轻工业出版社, 1992.
- [35] 耿孝正, 张沛.塑料混合及设备[M].北京:中国轻工业出版社, 1992.
- [36] 赵素合, 张丽叶.聚合物加工工程[M].北京:中国轻工业出版社, 2001.
- [37] Z.塔莫尔.I.克莱因编著.塑化挤出工程原理[M].夏廷文等译.北京:中国轻工业,1984.
- [38] Z.Tadmor; C.G.Gogos.聚合物加工原理[M].耿孝正等译.北京:化工出版社, 1990.
- [39] 杨卫民, 丁玉梅, 谢鹏程, 等.注射成型新技术[M].北京:工业出版社, 2008.
- [40] 梁锦雄.注塑技术培训教程[M].北京:机械工业出版社, 2009.
- [41] 陈世煌, 陈可娟, 等.塑料注射成型模具设计[M].北京:国防工业出版社, 2007.
- [42] 申长雨.注塑成型模拟及模具优化设计理论与方法[M].北京:科学出版社, 2008.
- [43] 刘春太, 申长雨, 肖长江, 王利霞, 等.注塑模充模过程动态分析[J].应用力学学报, 2002, 19(3): 31~34.
- [44] 君轩.偶联剂[J].世界橡胶工业,2008,50~50.
- [45] 李玉英, 李艺.铝酸酯偶联剂在几种非金属矿粉体中的表面改性应用研究[J].广西轻工业, 2008, 4: 13~14.
- [46] 张玉龙, 齐贵亮等.塑料注射成型 300 问[M].北京:中国纺织出版社, 2008.5.
- [47] 赵选民.试验设计方法[M].北京:科学出版社, 2006.
- [48] 杨合, 詹梅等.材料加工过程实验建模方法[M].西安:西北工业大学出版社, 2008.12.
- [49] 芦亚萍.熔接痕的形成机理及控制方法[J].模具工业, 2006, 32(12):61~64.
- [50] 徐小青, 丁圣银.注塑模塑料熔体填充过程的流程图模拟研究[J].模具工业, 2006, 34(3):40~44.
- [51] 冯良为.塑件熔接缝形成的理论研究[J].模具工业, 2001, (1): 34~36
- [52] 周华民, 李德群.基于成形模拟的注塑件熔接缝确定与评价[J].中国机械工程, 2004, 15(21): 1961~1964.
- [53] 曾令琴.注塑件熔接痕的改善措施及数值模拟[D].太原:太原科技大学, 2009.
- [54] 林莅莅.大型注塑件熔接痕形成机理及控制研究[D].重庆:重庆大学, 2008.
- [55] 冯良为, 岑运福, 杨军.塑件熔接缝形成的理论研究[J].模具工业, 2001(1): 34—36.
- [56] 巫修海.热流道时序阀浇口消除熔接痕研究[J].工程塑料应用, 2009 (12): 65-67.
- [57] 谭文胜, 周建忠.基于阀式浇注技术的注塑件熔接痕控制[J].工程塑料应用. 2006, 34(7): 37—39.



- [58] 钟皓东, 邓益民.基于遗传算法的注塑成型熔接痕长度和位置的优化[J].塑料工业, 2006, 34(11):27-32.
- [59] Chen M.Y.,Chen Y.C.,Chen S.C.To Apply Fuzzy Theory in the Control of Weld Line of Plastic Injection-Molding[A].Proceedings,2004,12:1137-1142.
- [60] Zhai M.,Lam Y.C.,Au C.K.Runner sizing and weld line positioning for plastics injection molding with multiple gates[J].Engineering with Computers,2006,21(3):218-224.
- [61] 周其炎.Moldflow 5.0 基础与典型范例[M].北京: 电子工业出版社.
- [62] 章柱衡, 肖小亭等.轿车保险杠顺序注射成型 CAE 分析[J].工程塑料应用.2010, 38(10): 31-35.

## 攻读学位期间发表的学术论文

- [1] 章柱衡, 肖小亭, 朱海燕.轿车保险杠顺序注射成型 CAE 分析[J].工程塑料应用, 2010, 38(10): 31-35.
- [2] 朱海燕, 肖小亭, 张婧婧, 章柱衡.ABS/铝粉共混物注塑件翘曲变形的模拟分析[J].工程塑料应用, 2010, 38(11): 35-38.
- [3] 章柱衡, 肖小亭, 张婧婧.工艺参数对高闪光铝与 ABS 共混塑件的力学性能影响, 2011 年广东省锻压年会论文集: 130-135.

## 致 谢

本篇论文的研究工作是在我的导师肖小亭教授的悉心指导下完成的。三年的研究生学校期间，许多学习方法和研究思路都是得益于肖老师的指导和启发，在实验研究方面，也提供了许多帮助和关怀，令我终生难忘。导师学识渊博、治学严谨、为人朴实、真诚，使我感受深刻，受益无穷。在此论文完成之际，谨向肖老师和廖老师致以崇高的敬意和真诚的感谢！

感谢材料加工课题组各位老师：孙友松教授、章争荣教授、张鹏教授、张婧婧老师等，他们在我课题研究中，给了许多意见和建议，也提供了各种资料，解决了很多疑惑。感谢学院实验室的肖思农老师、余业球老师、刘易凡老师、刘丽英老师和严老师对我论文实验的支持和帮助。

感谢杨东、龙双柏、宋财福等师兄，他们在我们论文的起步阶段给予很多基础性的指导和建议。感谢刘丹、朱海燕、王前进、刘勇、郑淼焱、钟建灵、王丽珠、禹威、方雅、杨磊、杨祥伟、杨毕学、王献、李新波、闵生等同学三年来的陪伴及交流。感谢谭利广、温华典、黄里成、冼灿标、陈真、闵成勇、陈巧玉、章凯等师弟师妹在研究生期间生活上和课题实验上给予的帮助和支持。本文的许多思想是和以上众多老师、师兄、同学、师弟师妹们讨论获得的，他们的意见给了我很多的启发。

感谢养育我，关爱我和寄厚望于我的亲人，特别感谢父母多年的养育之恩和默默无私的奉献，感谢他们二十多年来给予我无私的关怀和无微不至的呵护。感谢我的女朋友对我的支持和鼓励，你们无私的关怀和鼓励是我不断进取的动力源泉。

最后，对在百忙中抽出时间评审论文的各位教授、专家表示感谢！

章柱衡

二零一一年五月

于广州大学城工学三号馆