

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.11.016

注射成型工艺对高铁轨距挡板稳定性影响

赵顺强¹, 常杰¹, 仇鹏²

(1. 河北铁科翼辰新材料科技有限公司, 石家庄 052160; 2. 中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所, 北京 100000)

摘要: 轨距挡板是高铁 WJ-8 型扣件轨道结构的重要组成部分, 该制品使用玻璃纤维增强聚酰胺 66 材料注射成型, 但在注射成型过程中往往会出现成型不足、凹痕、熔接痕、飞边、气泡、银丝、变形等一些质量问题。在保证注塑机的技术参数和模具结构均符合注射成型要求的前提下, 在注塑加工中通过对注射成型五大要素如温度、压力、速度、时间、位置的调整来改善制品塑化不良、浇口流痕以及尺寸等质量问题。经过工艺调整, 料筒温度提高 10℃、注塑压力提高 0.5~1.0 MPa、背压提高 0.5 MPa 可以解决塑化不良、浇口流痕等质量问题。

关键词: 高速铁路扣件; 轨距挡板; 注射成型; 产品质量

中图分类号: TQ320 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)11-0089-06

Influence of Injection Molding Process on Stability of High-Speed Railway Gauge Baffle

Zhao Shunqiang¹, Chang Jie¹, Qiu Peng²

(1. Hebei Railway Yichen Xincal Technology Co., Ltd., Shijiazhuang 052160, China;

2. Railway Engineering Research Institute, China Academy of Railway Sciences Co., Ltd., Beijing 100000, China)

Abstract: The track gauge baffle is an important part of the track structure of high-speed rail WJ-8 fastener. The product uses glass fiber reinforced polyamide 66 material for injection molding, but some quality problems such as insufficient filling concave mark, fusion mark, flying edge, bubble silver wire deformation often appear in the process of injection molding. In the technical parameters of injection molding machine and mold structure under the premise of all conform to the requirements of the injection molding, five elements such as temperature, pressure, speed, time and position in the injection molding processing were adjusted to improve poor plasticizing, gate flow marks as well as the size and so on quality issues. After process adjustment, the temperature of cylinder increasing by 10℃, the injection pressure increasing by 0.5–1.0 MPa and back pressure increasing by 0.5 MPa can solve the quality problems of poor plasticizing and gate flow marks.

Keywords: high-speed railway fastener; gauge baffle; injection moulding; product quality

扣件是高铁轨道结构的重要组成部分, 在保证铁路轨道稳定性、可靠性方面起着重要作用。WJ-8 型扣件由螺旋道钉、平垫圈、弹条、绝缘块、轨距挡板、轨下垫板、铁垫板、铁垫板下弹性垫板和预埋套管组成。此外为了钢轨高低位置调整的需要, 还包括轨下微调垫板和铁垫板下调高垫板。组装图如图 1 所示。

其中 WJ-8 型扣件系列^[1]中轨距挡板是该扣件系列的重要组成部分, 在扣件系统中位于钢轨两侧, 下方依靠轨枕支撑, 上方与钢轨一同被弹条扣压。当锁紧钢轨时, 弹条被施加外力, 由钢轨与轨距挡板

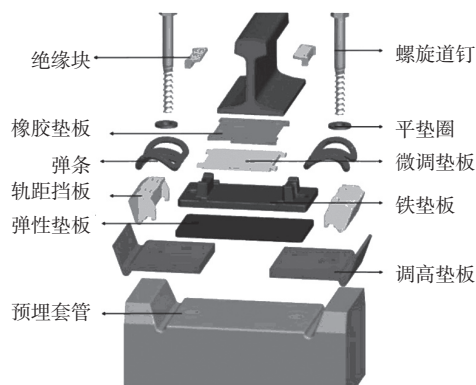


图 1 WJ-8 型扣件组装结构

通信作者: 仇鹏, 高级工程师, 主要研究方向为高分子材料配方设计、加工工艺、制品结构设计等

收稿日期: 2021-09-10

引用格式: 赵顺强, 常杰, 仇鹏. 注射成型工艺对高铁轨距挡板稳定性影响 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(11): 89–94.

Zhao Shunqiang, Chang Jie, Qiu Peng. Influence of injection molding process on stability of high-speed railway gauge baffle[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(11): 89–94.

共同承载,达到固定钢轨的作用。

轨距挡板分一般地段用轨距挡板和钢轨接头处用接头轨距挡板两种。一般地段用轨距挡板又分为 2[#]~12[#] 十一种规格,标准轨距时使用 7[#] 轨距挡板,其中 10[#]~12[#] 三种规格可用于钢轨接头处。不同型号区别如图 2 所示。

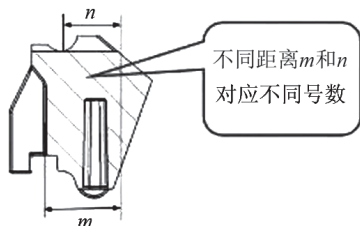


图2 轨距挡板不同型号区别

WJ-8 型扣件轨距挡板结构复杂,承载弹条的位置设置凸起,并结合弹条直径设计圆弧结构,防止弹条滑脱;按照轨枕形状设置斜面及支撑腿;在保证抗压强度的同时,为提高韧性、降低产品单重,设置多个避空孔,如图 3 所示。

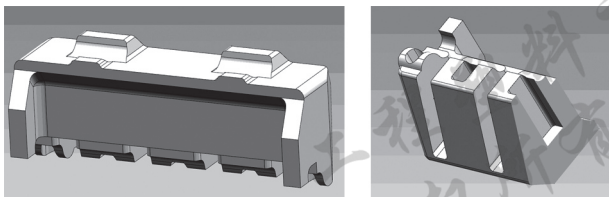


图3 轨距挡板结构

1 轨距挡板材料性能分析

WJ-8 型扣件轨距挡板,选用玻璃纤维 (GF) 增强聚酰胺 (PA) 66 (GFPA66) 注射成型^[2-3]。PA66 为结晶性高聚物,结晶度高,其熔体黏度对温度和剪切力变化都比较敏感。GFPA66 具有很高的拉伸强度、模量、弯曲强度^[4-5],这是因为 GF 在加工过程中会形成一定的取向,受到外力作用时,会分散应力,从而增强材料的强度^[6-7]。PA66 收缩率较大,一般在 1.5%~2%,加入 30%~35% GF 增强后收缩率为 0.7%~1%,且 GF 在产品中的分布和流向直接影响产品尺寸和性能^[8-10]。表 1 为高铁 WJ-8 型扣件轨距挡板对物料 GFPA66 的性能指标要求

表1 高铁 WJ-8 型扣件轨距挡板对物料 GFPA66 性能指标要求

项目	性能指标
密度/(g·cm ⁻³)	1.33~1.42
熔点/℃	255~270
拉伸强度/MPa	≥150
弯曲强度/MPa	≥200
冲击强度/(kJ·m ⁻²)	≥80
体积电阻率/(Ω·cm)	≥1×10 ¹⁴ (干态),≥1×10 ¹⁰ (湿态)
GF 质量分数/%	33~35

利用 GFPA66 物料注射成型轨距挡板时,为消除制品成型过程中产生的内应力,提高结晶度,加快制品结构形状尺寸稳定进程,需要进行调湿处理^[11]。调湿处理方法为:将注射成型的轨距挡板脱模后放在热水中,加热温度在 100~110℃ 范围内,制品在热水中既能隔绝空气进行防止氧化的退火处理,又可达到吸湿平衡,从而对制品的冲击强度和拉伸强度等性能起到改善作用。

2 轨距挡板注塑工艺分析

GFPA66 作为热塑性塑料具有在加热后膨胀、冷却后收缩的特性,当然加压后体积也将缩小。GFPA66 物料生产的轨距挡板从模具取出到稳定这一段时间内,尺寸仍会出现微小的变化。轨距挡板产品对尺寸要求精度高,在注塑加工过程中为了保证制品尺寸的稳定性,首先需要对原材料处理好,其次是模具结构设计要合理,最后需要合适的加工工艺。以下工艺调整均选用海天 530T 注塑机,材料选用神马华威 HW46S GFPA66。

2.1 缺陷问题

注射成型产品质量受到塑料原料、注塑机、模具和注射成型工艺四方面因素影响^[12]。如塑料原料正确选定,注塑机的技术参数和模具结构均符合注射成型条件要求,那么加工制品质量优劣直接与注射成型工艺有关^[13-15]。

轨距挡板制品的质量包括内材质量和外观质量。内材质量主要是机械强度,而内应力的存在直接影响制品机械强度高低。产生内应力主要原因有制品结晶度和塑料成型中分子的取向性等。外观质量就是制品表面质量,但内应力大造成制品翘曲变形也会影响外观质量问题。制品的外观质量缺陷包括成型不足、凹痕、熔接痕、飞边、气泡、银丝、变形等,均与成型温度、压力、速度、时间和位置有关。

笔者主要对轨距挡板的外观质量影响因素进行分析。图 4、图 5 为问题产品,表 2 为产品初始注射成型工艺参数设置,图 6、图 7 为产品尺寸标准及成型模具型腔结构,表 3 为产品实测尺寸。

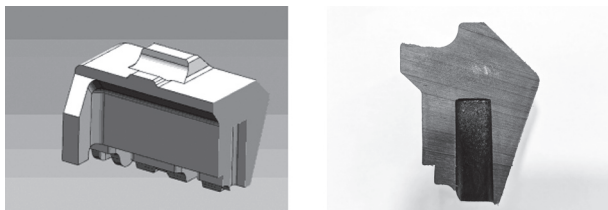


图4 调整前的轨距挡板产品有塑化不良现象

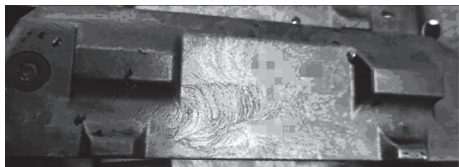


图5 调整前的轨距挡板产品有流痕现象

表2 初始注射成型工艺参数设置

工艺参数	数值
料筒加热温度 / °C	280 ~ 255
模温机温度 / °C	70 ~ 80
热流道温度	热喷嘴温度 / °C
	295 ~ 300
热流道温度	热流道板温度 / °C
	285 ~ 295
注射设定	压力 / MPa
	7.5 ~ 8.5
	速度 / (mm · s ⁻¹)
注射设定	时间 / s
	5 ~ 10
	压力 / MPa
保压设定	4 ~ 5
	速度 / (mm · s ⁻¹)
	20 ~ 25
保压设定	时间 / s
	40 ~ 50
	前冷却时间 / s
保压设定	40 ~ 50
	后冷却时间 / s
	55 ~ 65
保压设定	锁模力 / T
	130
	压力 / MPa
储料设定	10.5 ~ 11.5
	速度 / (mm · s ⁻¹)
	60 ~ 70
储料设定	背压 / MPa
	0.8 ~ 1.2

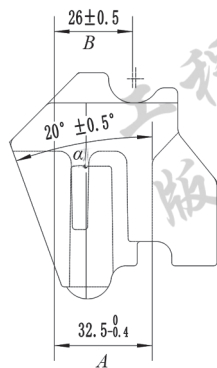


图6 轨距挡板尺寸标准

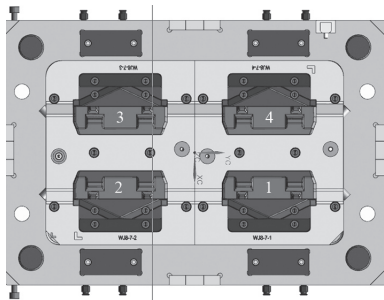


图7 轨距挡板模具型腔结构

表3 产品实测尺寸

模腔号	A / mm	B / mm	α / (°)
1	32.21	26.08	19°58'
2	32.18	25.91	20°04'
3	32.15	25.96	20°20'
4	32.22	26.12	20°12'

解决上述缺陷问题可以从注塑工艺的料筒温度、热流道喷嘴的温度、注射速度、注塑压力等多方面考虑,但是温度和速度的调整可能会影响产品内部空隙,压力的调整会影响产品的翘曲变形。在不影响整体尺寸变化的情况下,需统筹兼顾。

2.2 注射成型工艺对轨距挡板质量的影响

(1) 成型温度。

成型温度包含料筒温度、塑化温度、热流道温度、模具温度和塑料干燥温度等。

①料筒温度,就是塑料熔融温度。料筒温度设定过高,塑料熔融后黏度低,在同等注塑压力和流量下,注射速度快,成型制品易产生飞边、银丝、变色和发脆。料筒温度过低,塑料塑化不良,黏度高,在同等注塑压力和流量下注射速度慢,成型制品易成型不足,熔接痕明显,尺寸不稳定,制品中有冷料。因 PA66 是结晶型聚合物,所以熔点明显,在注塑时所选择的料筒温度同原材料本身的性能、设备、制品的形状因素有关。由于 PA66 的热稳定性较差,所以不宜高温长时间在料筒内停留,以免引起物料变色发黄,同时由于 PA66 的流动性较好,温度超过其熔点后就流动迅速,因此料筒温度设定一般为前区 275 ~ 320 °C,中区 265 ~ 300 °C,后区 255 ~ 290 °C [16]。

②热流道及其喷嘴温度。喷嘴温度设定高,喷嘴易流涎,造成轨距挡板制品中有冷料丝。喷嘴温度低则会造成模具浇注系统发生堵塞。

③模具温度。模具温度高,注塑压力和流量可设低一点,但在同等压力和流量下,轨距挡板制品仍易飞边,产生翘曲变形,制品粘模顶出困难等,制品成型收缩率增加。模具温度低,在同等注塑压力和流量下,轨距挡板制品易出现成型不足,以及气泡、熔接痕等。一般将模具温度设定为 60 ~ 100 °C,在模具设计时要注意冷却回路设计。

④塑料干燥温度。各种塑料有不同的干燥温度。在正常生产过程中 GFPA66 一般设定干燥温度 100 ~ 120 °C,烘干时间 4 h 左右。若原料中含过多水分和残余溶剂,注塑生产过程中轨距挡板制品易有银丝和气泡,制品强度也会下降。

(2) 成型压力。

成型压力包含预塑背压、注塑压力、锁模压力、保压、脱模和中子压力、射台压力等 [17]。

①预塑背压。背压高则储料密度高,在相等储料容积内储料量多,但料筒前端的熔料压力高、料温

高、黏度下降,熔料在螺杆槽中的逆流和料筒与螺杆间隙的漏流量增大,会降低塑化效率,增加周期时间,导致生产效率下降。背压低则螺杆后退过快,流入炮筒前端的熔料密度小,夹入空气多,会导致塑化质量差、射胶量不稳定,制品件重、尺寸变化大,且制品表面会出现缩水、气花、冷料纹、光泽不匀等不良现象。在设定储料位置后,再较大幅度调节背压,必须注意重新设定储料位置,否则易造成制品飞边或不足。适当的背压可以提高制品的质量,能将料筒内的熔料压实,增加密度,提高射胶量,保证制品件重和尺寸的稳定性,同时可以减少制品表面气花、表面缩水,提升熔料温度,塑化质量提高。

②注塑压力。不同品种塑料有不同的熔融黏度,非结晶型塑料随塑化温度变化而黏度变化较大。针对 GFPA66 原料来说,如注塑压力设定太低,射出量不足,会出现凹痕、熔接痕及尺寸不稳定。注塑压力太高则制品会出现飞边,粘模顶出困难。注塑压力一般设定为 6~11 MPa。

注塑压力对收缩率影响很大。注塑压力若大,收缩率变小,制品尺寸则大。即使在同一模腔内,注塑压力也因制品形状不同而异,因此产生收缩率差异。在多腔模的场合,各模腔内注塑压力容易产生差异,导致各模腔的收缩率也不相同。制品壁厚也影响收率,对于 PA66 结晶型塑料,要避免壁厚变化特别大。对于多腔模的情形,如果模腔壁厚有差异,收缩率也将产生差异。

③锁模压力。可根据模具型腔的投影面积大小和注塑压力高低而定。锁模压力不足制品易飞边,件重增加;锁模压力过大,开模困难。一般锁模压力设定不超过 140 T。

④保压压力。保压可继续给模具型腔补塑,确保制品饱满。保压压力设定过高,对产品脱模和抽插芯带来阻力大,制品易顶白、顶翘曲,另外模具流道浇口易被补充塑料胀紧,浇口断在流道内。压力过低则制品存在凹痕及尺寸不稳定。保压压力一般为注塑压力的 50%~60%,轨距挡板制件可设定为 3~7 MPa。保压时间过长或过短都对成型不利。过长会使得保压不均匀,塑件内部应力增大,塑件容易变形,严重时会发生应力开裂。过短则保压不充分,制件体积收缩严重,表面质量差。

⑤脱模和中子压力。设定脱模和中子压力原则是根据模具型腔面积大小和抽插芯的芯子投影面积大小,以及成型制品的几何形状复杂程度等的综合

情况来设定,将脱模和中子油缸压力设定在能推动制品即可。

(3) 速度。

速度为注射成型机速度,包含螺杆转速、注射速度、脱模和中子速度等。

①螺杆转速。除调节预塑速度外,主要受预塑背压影响。如预塑速度调得大,预塑背压又高,随螺杆旋转,原料在料筒内剪切力大,分子结构易被割断,制品有黑点和黑条纹,影响轨距挡板制品外观质量和强度,并且料筒加热温度不易控制。预塑速度设定过低,则预塑储料时间延长,会影响成型周期。

②注射速度。对注射速度要设定合理,否则影响产品质量,注射速度过快。制品带有气泡、烧焦、变色等;注射速度过慢,制品成型不足,有熔接痕等。一般设定为 40~80 mm/s。

③脱模和中子速度。不宜设定过大,否则顶出和抽芯动作过快,造成顶出和抽插芯不稳,制品易顶白。

(4) 时间。

在注射成型工艺中包括干燥时间、注射和保压时间、冷却时间等。

①干燥时间。就是对塑料原料的烘干时间,各种类别塑料均有最佳干燥温度和时间。GFPA66 烘干之前水分约为 0.28%,干燥温度 100~120℃,时间 4 h,烘干之后水分约为 0.17%。

②注射和保压时间。注塑机的控制方法均设有多级注射,可分级调压、调速和调注射塑料量,使射入模具型腔塑料速度达到恒速,并提高制品的外观和内材质量。所以注射工艺常用位置控制,不用时间控制。保压是用时间控制,如保压时间较长,制品密度大,内应力大,脱模困难,易顶白,成型周期延长。保压时间太短,制品易产生凹痕,尺寸不稳定。注塑时间一般设定为 5~15 s,保压时间设定为 40~70 s。

③冷却时间。可保证 WJ-8 型轨距挡板制品定型稳定,将注射入模具型腔内的塑料成型成制品后要有足够冷却定型时间,否则开模时制品易翘曲变形,顶出易变形和顶白。冷却时间过长,会延长成型周期而不经济。

(5) 位置。

部分注塑机有移模位置、脱模位置、储料和注塑位置控制。

①移模位置。从开模到闭模锁紧整个移动距离

叫移模位置,移模最佳位置只要能将制品顺利取出即可。开模距离过大,成型周期要长。

②脱模位置。只要控制从模具中顶出的位置能方便取下制品即可。

③储料位置。首先要保证成型制品的一次注射塑料量,其次要控制料筒内的存料量。储料位置控制超过一次注射量过多,制品易飞边,反之则制品成型不足。

④注塑位置。料筒存料量过多,塑料停留在料筒内时间长,制品易掉色,并影响成型制品强度。反之影响塑料塑化质量,并在保压时无料补充到模具中,制品成型不足有凹痕。

2.3 调整后的成型方案

针对以上注塑工艺分析,调整后注塑工艺参数见表4,成型产品外观见图8、图9,产品尺寸见表5。

表4 调整后的注射成型工艺参数

工艺参数		调整后
热流道温度	料筒加热温度 / °C	295 ~ 265
	模温机温度 / °C	85 ~ 95
	热喷嘴温度 / °C	310 ~ 320
	热流道板温度 / °C	295 ~ 305
注射设定	压力 / MPa	9.0 ~ 9.5
	速度 / (mm · s ⁻¹)	60 ~ 70
	时间 / s	5 ~ 10
保压设定	压力 / MPa	5 ~ 6
	速度 / (mm · s ⁻¹)	20 ~ 25
	时间 / s	45 ~ 55
	前冷却时间 / s	35 ~ 45
储料设定	后冷却时间 / s	55 ~ 65
	锁模力 / T	130
	压力 / MPa	10.5 ~ 11.0
	速度 / (mm · s ⁻¹)	60 ~ 70
背压 / MPa		1.2 ~ 1.8

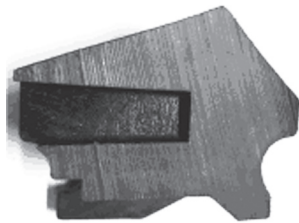


图8 调整后的轨距挡板产品无内部塑化不良现象

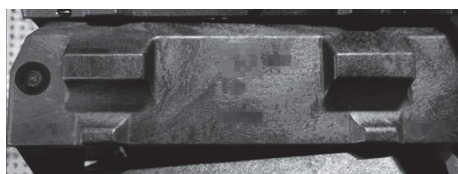


图9 调整后的轨距挡板产品无流痕现象

表5 调整工艺后产品尺寸

模腔号	A / mm	B / mm	α / (°)
1	32.38	26.08	19°50'
2	32.26	25.91	19°56'
3	32.28	25.96	20°14'
4	32.32	26.12	20°2'

3 结语

注射工艺调整不能单一从某点上入手,必须从注射工艺原理上入手,全面统筹兼顾考虑问题,从多方面逐个调整或多个问题一次调整。但调整方法和调整原理,要依当时生产的制品质量和工艺状况而定。

参考文献

- [1] 盛伟,付传锋. 高速铁路扣件系统的类型与应用[J]. 金属加工(热加工),2010(7):31-35.
Sheng Wei, Fu Chuanfeng. Type and application of the high-speed railway fastener system[J]. Metal Processing (hot machining), 2010 (7):31-35.
- [2] 郑宁来. 尼龙工程塑料在高铁中应用[J]. 国外塑料,2010,28(8):66.
Zheng Ninglai. Application of nylon engineering plastics in high-speed railway[J]. Foreign Plastics, 2010, 28(8):66.
- [3] 石建江,邓凯桓,蒋婷婷,等. 改性聚酰胺66在铁道器材中的应用[J]. 铁道建筑,2008(5):95-97.
Shi Jianjiang, Deng Kaihuan, Jiang Tingting, et al. Application of modified polyamide 66 in railway equipment[J]. Railway Construction, 2008(5):95-97.
- [4] 周庆丰,路学成,王鹏. 聚酰胺的高性能化及改性进展[J]. 塑料科技,2005(5):62-67.
Zhou Qingfeng, Lu Xuecheng, Wang Peng. High performance and modification progress of polyamide[J]. Plastics Technology, 2005(5):62-67.
- [5] 曲日华,王立岩,张龙云,等. 玻璃纤维增强尼龙66复合材料的结构与性能[J]. 合成纤维工业,2020,43(1):27-31.
Qu Rihua, Wang Liyan, Zhang Longyun, et al. Structure and properties of fiberglass-reinforced nylon 66 composites[J]. Synthetic Fiber Industry, 2020, 43(1):27-31.
- [6] 戴家桐. 短玻纤增强尼龙66复合材料的制造方法及比较[J]. 国外塑料,2013,31(6):41-43.
Dai Jiatong. Manufacturing method and comparison of short-glass fiber-reinforced nylon 66 composite materials[J]. Foreign Plastics, 2013, 31(6):41-43.
- [7] 郭宝华. 聚酰胺合金技术与应用[M]. 北京:机械工业出版社,

- 2010
- Guo Baohua. Polyamide Alloy Technology and Application[M]. Machinery Industry Press, 2010.
- [8] 江青松. 纤维增强聚合物复合材料注塑成型与理论研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2017.
- Jiang Qingsong. Injection molding and theory study of fiber-reinforced polymer composites[D]. Nanchang: Nanchang University, 2017.
- [9] 吴明明, 崔永生, 李双雯, 等. 尼龙/玻纤复合材料耐磨性能[J]. 工程塑料应用, 2020, 48(7): 111–115.
- Wu Mingming, Cui Yongsheng, Li Shuangwen, et al. Wear resistance of nylon / glass fiber composite[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(7): 111–115.
- [10] 黄绍军, 蒋似梅, 梁小良, 等. 玻纤含量对玻纤增强尼龙 66 复合材料性能的影响[J]. 工业技术创新, 2020, 7(6): 6–9.
- Huang Shaojun, Jiang Simei, Liang Xiaoliang, et al. Effect of glass fiber content on the enhanced properties of the nylon 66 composite[J]. Industrial Technology Innovation, 2020, 7(6): 6–9.
- [11] 郑迎春. 浅谈尼龙吸湿特性在生产过程中的应用[J]. 电动工具, 2016(4): 25–29.
- Zheng Yingchun. Application of nylon hygroscopic properties in the production process[J]. Electric Tool, 2016(4): 25–29.
- [12] 王亚妮, 杨绍昌. 尼龙注塑件工艺分析与模具设计[C]. 第十八届中国科协年会——分 6 军民融合高端论坛论文集. 中国科学技术协会学会学术部, 2016: 330–336.
- Wang Yani, Yang Shaochang. Process analysis and mold design of nylon injection molding parts[C]. 18th Annual Meeting of China Association for Science and Technology——6 High-end Forum for Military-civilian Integration. Academic Department of Chinese Association of Science and Technology, 2016: 330–336.
- [13] 李伟, 钱秀洋, 费又庆. 短切碳纤维增强尼龙 66 复合材料注塑成型工艺模拟[J]. 复合材料学报, 2017, 34(4): 584–590.
- Li Wei, Qian Xiuyang, Fei Youqing. Simulation of enhanced nylon 66 composite[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2017, 34(4): 584–590.
- [14] 陈永杰, 石治国. 浅析尼龙 1010 注塑件冲击强度的影响因素[J]. 黑龙江科技信息, 2013(27): 87.
- Chen Yongjie, Shi Zhiguo. Analysis of the impact strength of nylon 1010 injection molding parts[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2013(27): 87.
- [15] 张甲敏, 祝勇. 尼龙 1010 注塑制品工艺设计[J]. 塑料工业, 2006(9): 29–32.
- Zhang Jiamin, Zhu Yong. Nylon 1010 injection plastics process design[J]. China Plastics Industry, 2006(9): 29–32.
- [16] 王学文, 董春. 尼龙 66 管材生产工艺探讨[J]. 工程塑料应用, 1996, 24(2): 18–21.
- Wang Xuewen, Dong Chun. Discussion on production process of nylon 66 pipe [J]. Engineering plastic applications, 1996, 24(2): 18–21.
- [17] 徐铖, 程智虎, 陆金桂. 聚酰胺 66 齿轮注塑工艺参数优化设计方法研究[J]. 机械传动, 2018, 42(1): 69–72, 149.
- Xu Cheng, Cheng Zhihu, Lu Jingui. Study on optimization of injection parameters of polyamide 66 gear[J]. Mechanical Drive, 2018, 42(1): 69–72, 149.