

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2025.01.002

PET片材爽滑抗粘连母料的开发与应用

张尚先,涂志刚,谢波

(广东开放大学/广东理工职业学院,广州 510091)

摘要: 聚对苯二甲酸乙二酯(PET)片材表面有较高的摩擦系数,导致材料容易附着在设备表面出现粘连现象,不利于PET片材的生产、二次加工、下游包装、贮藏和使用。为了解决这一问题,研究了爽滑抗粘连母料对PET片材摩擦性能、吸塑使用性能和光学性能的影响。抗粘连颗粒可以使片材表面凸起、减少接触面。爽滑剂可以降低摩擦系数。二氧化硅作为无机类抗粘连剂,能使片材形成稳定的抗粘连效果。复合蜡(包含不同熔点的几种蜡)可以在片材中形成爽滑梯度,有效降低摩擦系数。选择二氧化硅和复合蜡为主要成分开发了性能优异的爽滑抗粘连母料。测试结果表明,添加自制爽滑抗粘连母料可以显著减小PET片材的摩擦系数,表现出优异的滑动性能。在进一步的吸塑成型工艺过程中,自制爽滑抗粘连母料显著改善了PET片材的抗粘连效果,使吸塑后的杯子展现出优异的叠压取出性能。光学性能测试结果表明,自制爽滑抗粘连母料可在提升PET片材爽滑抗粘连性能的同时最大程度地削弱对PET片材光学性能产生的负面影响。自制爽滑抗粘连母料的使用性能达到或超过了同类优质进口母料的性能。

关键词: 聚对苯二甲酸乙二酯片材;爽滑抗粘连母料;摩擦系数;吸塑成型;光学性能

中图分类号: TQ325 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2025)01-0009-06

Development and application of slipping and anti-blocking masterbatch for PET sheets

ZHANG Shangxian, TU Zhigang, XIE Bo

(Guangdong Open University/Guangdong Polytechnic Institute, Guangzhou 510091, China)

Abstract : The surface of polyethylene terephthalate (PET) sheets inherently has a high friction coefficient, causing the material to easily adhere to equipment surfaces or stick to itself, which negatively impacts the production, secondary processing, downstream packaging, storage, and utilization of PET sheets. To address the issue, the effects of slipping and anti-blocking masterbatch on the friction coefficient, thermoforming process performance, and optical properties of PET sheets were investigated. Anti-blocking particles created surface protrusions on PET sheets, reducing the contact area, while slipping agents reduced the friction coefficient. Silicon dioxide, as an inorganic anti-blocking agent, formed a stable anti-blocking effect on the sheet. Composite waxes, consisting of several waxes with different melting points, created a slipping gradient within the sheet, effectively reducing the friction coefficient. A high-performance slipping and anti-blocking masterbatch was developed using silicon dioxide and composite wax as primary components. Testing results show that the addition of the custom-developed slipping and anti-blocking masterbatch significantly reduce the friction coefficient of PET sheets, achieving excellent slipping performance. In subsequent thermoforming processes, the custom masterbatch markedly improved the anti-blocking properties of PET sheets, enabling thermoformed cups to exhibit excellent stackability and removal performance. Optical testing results indicate that the custom slipping and anti-blocking masterbatch enhance the slipping and anti-blocking properties of PET sheets while minimizing its negative impacts on optical properties of PET sheets. The performance of the custom masterbatch is comparable to or exceeded that of high-quality imported masterbatches.

Keywords : polyethylene terephthalate sheet ; slipping and anti-blocking masterbatch ; friction coefficient ; thermoforming process ; optical property

基金项目: 2024年广东省普通高校重点科研平台和项目(2024ZDZX3046)

通信作者: 涂志刚,博士,高级工程师(教授级),主要从事高分子材料加工的研究

收稿日期: 2024-11-06

引用格式: 张尚先,涂志刚,谢波.PET片材爽滑抗粘连母料的开发与应用[J].工程塑料应用,2025,53(1):9-14.

ZHANG Shangxian, TU Zhigang, XIE Bo. Development and application of slipping and anti-blocking masterbatch for PET sheets[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(1): 9-14.

聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)是一种综合性能优异的工程塑料,具有无色、透明、无臭、无味、无毒、优越的力学性能、可回收再生利用的特性,被广泛应用于食品、饮料、化妆品、医药、电子产品等领域的包装^[1-4]。在众多包装形式中,吸塑包装是PET的重要应用领域之一。吸塑包装主要以PET片材为成型对象^[2]。由于PET片材本身表面摩擦系数较高,导致表面容易产生较大的附着力,从而附在设备表面出现粘连现象,不利于PET片材的生产、二次加工、下游包装、贮藏和使用^[2-4]。为了解决这一问题,在PET片材中加入爽滑剂和抗粘连剂可以使表面爽滑并降低表面摩擦系数,有效防止粘连现象^[3-4]。为了使用方便,爽滑剂和抗粘连剂通常被制成爽滑抗粘连母料,然后加入PET片材中^[4]。笔者针对PET片材,参考瑞士SUKANO公司生产的S-589型爽滑抗粘连母料(主要成分为二氧化硅与硬脂酸脂),创新地在母料中采用复合蜡以开发新型爽滑抗粘连母料,通过包含不同熔点的几种蜡,形成爽滑梯度,可以有效降低片材的摩擦系数。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PET颗粒:特性黏数为0.7~0.9 dL/g,中国石化仪征化纤股份有限公司;

二氧化硅:SYLOBLOC,美国Grace公司;

复合蜡:由不同烷基链长的脂肪酸酯配制,Glycolube VL,美国LONZA公司;

进口优质爽滑抗粘连母料:S-589,主要成分为二氧化硅与硬脂酸脂,瑞士SUKANO公司。

1.2 主要设备与仪器

PET片材挤出生产线:GW120-GF1200,GPM机械(上海)有限公司;

杯型吸塑成型机:自制;

场发射扫描电子显微镜(FESEM):JSM-7800 F,日本电子株式会社;

摩擦系数/剥离试验仪:PFT-F1,济南兰光机电技术有限公司;

Topsizer激光粒度分析仪:珠海欧美克仪器有限公司;

透光率/雾度测定仪:WGT-S,济南兰光机电技术有限公司。

1.3 PET爽滑抗粘连母料的制备

爽滑抗粘连母料的主要成分为二氧化硅(粒径

为3~10 μm ,质量分数为5%~10%)和复合蜡(质量分数为5%~10%),使用的载体树脂为PET切片。通过调整各成分的配比以及抗粘连剂(合成高纯度二氧化硅)的粒径,获得自制爽滑抗粘连母料1[#]、2[#]、3[#],详见表1。

表1 自制爽滑抗粘连母料的配比

Tab. 1 Formulations of self-made slipping and anti-blocking masterbatch

Samples	Key components	Mass fraction/%	Particle size/ μm
1 [#]	Silicon dioxide particles	7.5	3
	Composite waxes	7.5	
2 [#]	Silicon dioxide particles	7.5	5
	Composite waxes	7.5	
3 [#]	Silicon dioxide particles	7.5	8
	Composite waxes	7.5	

1.4 PET片材的制备

为了追踪和对比自制爽滑抗粘连母料对PET片材的性能影响,选择进口优质爽滑抗粘连母料作为比对的标准,制备了5种厚度相同的PET片材:1[#]、2[#]、3[#]片材分别添加1[#]、2[#]、3[#]自制爽滑抗粘连母料,4[#]片材添加进口优质爽滑抗粘连母料,5[#]片材不添加爽滑抗粘连母料。另外,为了便于评估各爽滑抗粘连母料的性能表现,采用企业常规生产PET片材的母料添加质量分数,即均为1%。

PET片材的制备主要包括以下工艺流程和参数。(1)原料结晶、干燥。将PET颗粒加热进行结晶,时间控制在3.5~4.5 h,温度为160~170 $^{\circ}\text{C}$,在结晶的同时干燥PET材料,确保含水率 $<0.005\%$ 。(2)熔融挤出。熔融PET材料,并通过挤出机挤出成片材,温度控制在240~275 $^{\circ}\text{C}$ 。(3)冷却定型。将挤出的PET片材通过三辊压延机进行快速冷却或切片,三辊压延机的上辊温度设置为30 $^{\circ}\text{C}$,中辊温度设置为45 $^{\circ}\text{C}$,下辊温度设置为60 $^{\circ}\text{C}$ 。(4)收卷产品。PET片材的厚度为0.24 mm。爽滑抗粘连母料直接以侧喂料方式,单独从喂料口加入。

1.5 性能测试

(1)摩擦系数按照GB/T 10006-2021进行测试。

(2)透光率和雾度按照GB/T 2410-2008进行测试。

2 结果与分析

2.1 爽滑抗粘连剂的选择及表面处理

爽滑抗粘连的机理是抗粘连剂颗粒使片材表面凸起、减少接触面,爽滑剂降低摩擦系数。抗粘连剂通过在PET片材表面形成亚微观的凸起和凹

陷,降低接触面积,减小片材之间的附着力^[5-6],这有助于改善薄膜的表面性质,减少片材在使用和加工过程中的粘连现象,使其在垂直揭开或水平滑动时更加容易,且有利于吸塑工艺的脱模。选择抗粘连剂时需要考虑多个因素,包括成本、效果、粒径、硬度、安全性、杂质含量、与其他添加剂之间的相互作用等^[7-9]。常用的抗粘连剂包括无机类和有机类。其中,无机类抗粘连剂更便宜和实用,应用也更广泛^[9]。爽滑剂加入PET片材后,会在加工过程中从制品的内部迁移到表面。这个迁移过程使得爽滑剂在制品表面形成均匀的薄涂层,具有润滑作用,使得制品表面的摩擦系数降低^[5-6]。当制品表面与其它物体表层接触时,由于涂层的存在,它们之间的摩擦力显著降低。然而,爽滑剂如果使用不当或者过量,会增大片材的雾度,导致白雾状物质的迁移,从而给片材的光学性能带来负面影响^[6-7]。

为了达到PET片材的滑动性能和防粘连之间的最佳平衡,通常会将抗粘连剂与爽滑剂结合使用^[9-10]。抗粘连剂所形成的表面结构能够减少实际接触表面积,从而在一定程度上起到爽滑的作用。然而,当抗粘连剂的添加量过大,反而会产生相反的效果,即使PET片材摩擦系数增大、光学性能变差、雾度升高、透明性下降^[9-10]。因此,在选择和使用抗粘连剂时,需要仔细调控添加量,以确保在PET片材的滑动性能和防粘连及光学性能之间取得最优的平衡效果。

笔者选择和使用无机类抗粘连剂——二氧化硅,主要基于如下几个方面考量:首先,优选高纯度的二氧化硅,因为其折光率与PET相近;其次,二氧化硅颗粒的粒径和数量对抗粘连效果起到决定性的作用;另外,粒径的分布(即粒度)也对抗粘连效果产生显著影响,粒径分布窄,颗粒均匀性好,且以粒径 $5\text{ }\mu\text{m}$ 左右为最好,从而充分发挥该粒径下对片材抗粘连的有效效果。二氧化硅的粒径分布如图1所示。

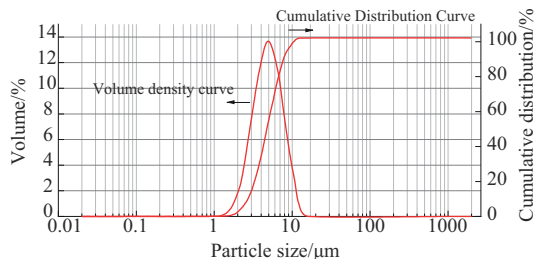


图1 二氧化硅的粒径分布

Fig. 1 Particle size distribution of silicon dioxide

示。

最后,通过在二氧化硅颗粒表面包覆一层酯类材料,可防止颗粒二次集聚。颗粒表面有机化后,颗粒表面模糊,改善与PET基体的相容性。图2为二氧化硅颗粒表面处理后放大1 000倍的形貌。由图2可见,颗粒处理后的表面与基体PET的光学特性各向一致同性,在确保爽滑抗粘连效果同时,可减少对片材光学性能的影响。

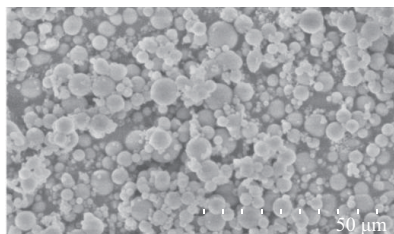


图2 二氧化硅颗粒表面处理后形貌($\times 1\,000$)

Fig. 2 Morphology of silicon dioxide particles after surface treatment ($\times 1\,000$)

选择和使用复合蜡作为爽滑剂。复合蜡由不同烷基链长的脂肪酸酯配制,不同熔点的几种蜡,可以形成爽滑梯度,从而有效降低片材的摩擦系数。

2.2 PET片材的摩擦性能

PET片材的摩擦系数是评估其表面滑动性能的重要指标,包括静摩擦系数和动摩擦系数^[11]。根据GB/T 10006-2021,静摩擦系数是指静摩擦力与法向力的比值,反映了PET片材表面的初步阻力;动摩擦系数是指动摩擦力与法向力的比值,反映了PET片材表面的滑动性能^[10-11]。在PET片材的生产和使用过程中,摩擦系数直接关系到片材的滑动性能、自动化生产设备的运行速度、吸塑等加工工艺中的运行性和脱模性能、成型效率和质量等^[10-11]。通常,摩擦系数低于0.2,说明PET片材的表面具有高滑动性能;高于0.4说明具有低滑动性能;介于两者之间说明具有中等滑动性能^[10-11]。

制备了1#~5#五种相同厚度的PET片材后,测试它们的静摩擦系数和动摩擦系数,结果见表2。1#~4# PET片材都添加了爽滑抗粘连母料,因此可测得摩擦系数;然而,5#片材由于未添加爽滑抗粘连母料,导致其摩擦系数过大,无法测量。这表明爽滑抗粘连母料可以有效地降低PET片材的摩擦系数。

1#~3# PET片材分别添加了1#、2#、3#自制的爽滑抗粘连母料,而4#片材添加了进口优质的爽滑抗粘连母料。比较摩擦系数可知,1#~4#片材的摩擦系数

表2 PET片材的摩擦系数比较

Tab. 2 Comparison of friction coefficient of PET sheets

Index	Sheet 1 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 2 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 3 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 4 [#] (Imported masterbatch 1%)	Sheet 5 [#] (No masterbatch 0%)
Static friction coefficient	0.359	0.180	0.360	0.220	Not measurable
Dynamic friction coefficient	0.244	0.164	0.188	0.197	Not measurable

都较低,其中添加了2[#]自制爽滑抗粘连母料的2[#]片材的静摩擦系数和动摩擦系数最低,低于0.2,表面具有高滑动性能。从对PET片材的摩擦系数影响的角度观察可知,2[#]自制爽滑抗粘连母料优于进口优质爽滑抗粘连母料。

爽滑抗粘连母料中的二氧化硅颗粒的粒径和数量对片材性能有显著影响。若粒径偏小,则难以产生有效凸起;若粒径过大,则容易造成PET片材外观的麻点,甚至容易脱落。相同比例母料添加量下,粒径过大还会导致颗粒数量减少,给片材的抗粘连性能带来负面影响。而5 μm的颗粒粒径,既能产生有效的凸起,又不至于脱落,同时在相同比例母料添加量下能确保有足够多的颗粒数量。因此,添加2[#]自制爽滑抗粘连母料的片材摩擦性能优于其他产品。

2.3 爽滑抗粘连性能对PET片材吸塑成型工艺的影响

PET片材被广泛应用于吸塑包装。吸塑工艺作为包装中广泛采用的热成型技术之一,具备环保、低成本、高效率以及适合自动化生产的特性^[2]。吸塑包装主要以PET片材为成型对象,经过加热软化后,对片材进行面拉伸,使其在模具轮廓面上形成所需形状^[2]。随后经过冷却、定型、切边、修整等工

艺步骤,最终获得产品,例如塑料杯子的生产^[2]。

PET片材的滑动性能直接影响其在吸塑过程中与模具之间的摩擦系数,进而对成型速度和质量产生影响^[12]。通常而言,滑动性能越好,摩擦系数越小,PET片材更容易在模具中脱出,从而提高生产效率,同时获得更好的成型效果。此外,通过降低摩擦阻力,还可以减少能耗。

PET片材的抗粘连性能则决定了其在吸塑过程中与模具的黏附程度,进而影响成型的难易程度和脱模的顺畅性^[13]。一般而言,抗粘连性能越好,黏附程度越小,吸塑成型越容易,脱模也更为顺畅。

制备了1[#]~5[#]五种相同厚度的PET片材,通过吸塑工艺加工成杯子,将1[#]~5[#] PET片材拉伸十倍成型,并比较它们在吸塑拉伸后叠压取出效果,具体见表3。1[#]~4[#]片材都添加了爽滑抗粘连母料,吸塑拉伸后杯子叠压取出效果良好;而由于5[#]未添加爽滑抗粘连母料,片材无法拨开。这表明PET片材的爽滑抗粘连性能是影响吸塑工艺的重要因素。吸塑后,片材2[#]和片材4[#]加工的杯子叠压取出效果相当,且优于片材1[#],更是大幅度优于片材3[#]。从PET片材吸塑产品叠压取出效果的角度观察可知:2[#]自制爽滑抗粘连母料和进口优质爽滑抗粘连母料效果一样好。

表3 PET片材吸塑成型后产品叠压取出效果比较

Tab. 3 Comparison of effect of product stacking and taking out after plastic molding of PET sheets

Index	Sheet 1 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 2 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 3 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 4 [#] (Imported masterbatch 1%)	Sheet 5 [#] (No masterbatch 0%)
Thermoforming cup stackability and removal performance	Slightly rough	Smooth	Rough	Smooth	Difficult to peel off

2.4 PET片材的光学性能

PET的光学性能通常通过透光率和雾度来表征^[14]。根据GB/T 2410-2008,透光率是指透过试样的光通量与射到试样上的光通量之比,其值与PET片材的光学性能成正比;雾度则是指透过试样而偏离入射光方向的散射光通量与透射光通量之比,其值与PET片材的光学性能成反比^[15]。PET片材的爽滑抗粘连性能和光学性能是相互矛盾的^[14-15]。为了开发具有优越光学性能的PET片材,首先应确保满

足爽滑抗粘连性能的基本要求。

制备了1[#]~5[#]五种相同厚度的PET片材,并采用吸塑成型工艺,将PET片材拉伸十倍成型,比较它们在吸塑拉伸前后的透光率,具体见表4。由表4可见,除了片材1[#]和片材2[#]外,其他三种片材在吸塑拉伸后的透光率都有所下降。片材1[#]和片材2[#]在吸塑拉伸后的透光率均达到了100%,表明它们具有出色的透明度。片材5[#]是未添加任何母料的PET片材,在吸塑拉伸前后透光率变化不大。通过比较发

表4 PET片材吸塑拉伸前后透光率的比较

Tab. 4 Comparison of transmittance of PET sheets before and after thermoforming

Index	Sheet 1 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 2 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 3 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 4 [#] (Imported masterbatch 1%)	Sheet 5 [#] (No masterbatch 0%)
Transmittance before thermoforming/%	90.63	90.78	90.92	90.80	90.44
Transmittance after thermoforming/%	100.00	100.00	90.60	90.24	90.49

现:吸塑拉伸前1[#]~4[#]片材的透光率差异不大,但吸塑拉伸后片材1[#]和2[#]的透光率高于片材3[#]和4[#]。从PET片材吸塑拉伸后透光率的角度来看,1[#]和2[#]自制爽滑抗粘连母料提升了PET片材的透光率。

比较了1[#]~5[#]片材在吸塑拉伸前后的雾度,具体见表5。由表5可见,1[#]~4[#]PET片材由于都添加了爽滑抗粘连母料,因此,雾度值都大于0%;然而,未添

加爽滑抗粘连母料的5[#]片材的雾度值为0%。这表明爽滑抗粘连母料会对PET片材的光学性能产生负面影响。吸塑拉伸前,在添加了爽滑抗粘连母料的片材中,4[#]片材的雾度值最低;吸塑拉伸后1[#]~4[#]片材的雾度都有所升高,其中2[#]片材的雾度值最低。从PET片材吸塑拉伸前后雾度的来看,2[#]自制爽滑抗粘连母料对PET片材光学性能的负面影响最小。

表5 PET片材吸塑拉伸前后雾度的比较

Tab. 5 Comparison of haze of PET sheets before and after thermoforming

Index	Sheet 1 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 2 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 3 [#] (Self-made masterbatch 1%)	Sheet 4 [#] (Imported masterbatch 1%)	Sheet 5 [#] (No masterbatch 0%)
Haze before thermoforming/%	1.61	1.65	1.47	1.02	0.00
Haze after thermoforming/%	2.44	1.88	2.52	2.88	0.00

以上结果表明,吸塑成型拉伸后,添加自制母料的片材保持较好的光学性能,这是由于抗粘连颗粒经过酯类物质的包覆后,能与基体PET之间形成良好的结合,有效防止了因拉伸造成颗粒与基体的分离而形成空隙,保持了颗粒与基体PET整体对光的各向同性。自制爽滑抗粘连母料主要影响PET片材的摩擦系数和光学性能,对力学性能的影响很小。比较了1[#]~5[#]五种PET片材的拉伸强度、断裂伸长率等力学性能指标,发现力学性能基本一致。

3 结论

(1)加入爽滑抗粘连母料有效降低了PET片材的摩擦系数,尤其是添加2[#]自制爽滑抗粘连母料的片材能够获得低的静摩擦系数和动摩擦系数,使2[#]片材表现出优异的滑动性能。

(2)在吸塑工艺方面,爽滑抗粘连母料的加入显著改善了PET片材的脱模效果,尤其是2[#]自制爽滑抗粘连母料的应用,使吸塑后的杯子表现出卓越的叠压取出性能。

(3)针对光学性能,通过吸塑拉伸前后的透光率和雾度测试,发现2[#]自制爽滑抗粘连母料对PET片材光学性能的负面影响最小,具有更高的透明度和较低的雾度。

(4)2[#]自制爽滑抗粘连母料的使用性能优于同类优质进口母料,可替代进口产品。

参考文献

[1] 陈铭哲. GB/T 41791-2022《塑料制品薄膜和薄片无取向聚对苯

二甲酸乙二醇酯(PET)片材》内容解读[J]. 塑料包装, 2023, 33(4): 13-17, 58.

CHEN Mingzhe. The content interpretation of standard GB/T 41791-2022 plastics-film and sheeting-non-oriented poly (ethylene terephthalate)(PET) sheets[J]. Plastics Packaging, 2023, 33(4): 13-17, 58.

[2] 周麒,何继敏,张禹,等. PET的填充改性及发泡成型进展[J]. 塑料, 2024, 53(5):118-123, 158.

ZHOU Qi, HE Jimin, ZHANG Yu, et al. Progress in filling modification and foaming forming of polyethylene terephthalate[J]. Plastics, 2024, 53(5):118-123, 158.

[3] 唐荣芝,罗春明,梁洁,等. 双向拉伸PET薄膜耐湿热性能研究[J]. 聚酯工业, 2023, 36(6):19-22.

TANG Rongzhi, LUO Chunming, LIANG Jie, et al. Research on wet-heat resistance of biaxially orientation PET film[J]. Polyester Industry, 2023, 36(6):19-22.

[4] 涂志刚,宋建辉,李新芳,等. 爽滑抗粘连母料在BOPET薄膜中的应用[J]. 合成树脂及塑料, 2021, 38(1):52-54, 60.

TU Zhigang, SONG Jianhui, LI Xinfang, et al. Application of slip and anti-blocking masterbatch for BOPET films[J]. China Synthetic Resin and Plastics, 2021, 38(1):52-54, 60.

[5] 王学军,庄心生,齐辉. 薄膜爽滑剂芥酸酰胺研究进展[J]. 塑料工业, 2022, 50(7):1-5, 11.

WANG Xuejun, ZHUANG Xinsheng, QI Hui. Research Progress on erucamide as film slip agent[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(7):1-5, 11.

[6] 聂海平,吴剑,吴国岚. 爽滑剂和防粘开口剂在塑料薄膜中的应用[J]. 塑料助剂, 2017(3):19-22.

NIE Haiping, WU Jian, WU Guolan. The application of slipping

- and anti-sticking agent in plastics film[J]. *Plastics Additives*, 2017 (3):19–22.
- [7] 陈攀,申晓燕. 基于正交试验设计的薄膜爽滑剂析出因素研究[J]. *石油化工技术与经济*, 2020, 36(4):19–23.
- CHEN Pan, SHEN Xiaoyan. Study on the precipitation factors of film slip agent based on orthogonal experiment design[J]. *Technology & Economics in Petrochemicals*, 2020, 36(4):19–23.
- [8] 毕大鹏,李家政,潘明旺. 塑料包装薄膜粘连性研究及其应用现状[J]. *保鲜与加工*, 2009, 9(6):11–15.
- BI Dapeng, LI Jiazheng, PAN Mingwang. Research and application status of blocking plastic film[J]. *Storage and Process*, 2009, 9(6): 11–15.
- [9] 刘晓艳,张莉琼,赵素芬,等. 爽滑抗粘连母料在BOPP薄膜中的应用[J]. *合成树脂及塑料*, 2015, 32(1):54–55, 66.
- LIU Xiaoyan, ZHANG Liqiong, ZHAO Sufen, et al. Application of slip and anti-adhesion masterbatch to BOPP film[J]. *China Synthetic Resin and Plastics*, 2015, 32(1):54–55, 66.
- [10] 袁世财,杨秀玲,张德龙,等. PVC吹塑薄膜开口性能的改进[J]. *聚氯乙烯*, 2022, 50(5):7–9.
- YUAN Shicai, YANG Xiuling, ZHANG Delong, et al. Improvement of antiblocking property of PVC blown film[J]. *Polyvinyl Chloride*, 2022, 50(5): 7–9.
- [11] 李新芳,李育雄,涂志刚等. 爽滑母料对双向拉伸聚丙烯烟包装膜性能的影响[J]. *化工新型材料*, 2022, 50(2):274–277.
- LI Xinfang, LI Yuxiong, TU Zhigang, et al. Influence of smooth masterbatch on property of BOPP film for cigarette package[J]. *New Chemical Materials*, 2022, 50(2):274–277.
- [12] 张娟,赵允,钟锦标,等. 爽滑剂在塑料螺纹盖中的应用现状[J]. *塑料制造*, 2016(5):64–67.
- ZHANG Juan, ZHAO Yun, ZHONG Jinbiao, et al. Application of the slipping agent in the plastic screw cap[J]. *Plastics Manufacture*, 2016(5):64–67.
- [13] 任晓兵. 开口爽滑剂在低密度聚乙烯薄膜中的应用[J]. *当代化工*, 2017, 46(1):173–176.
- REN Xiaobing. Application of anti-blocking and slip additives in LDPE film[J]. *Contemporary Chemical Industry*, 2017, 46(1): 173–176.
- [14] 张莉琼,刘晓艳,赵素芬,等. BOPP薄膜表面张力的测试与分析[J]. *塑料*, 2016, 45(3):100–102.
- ZHANG Liqiong, LIU Xiaoyan, ZHAO Sufen, et al. Test and analysis on surface tension of BOPP film[J]. *Plastics*, 2016, 45(3): 100–102.
- [15] 涂志刚,熊立贵,陈利伟,等. 添加剂对BOPP薄膜光学性能的影响[J]. *包装工程*, 2020, 41(31):139–144.
- TU Zhigang, XIONG Ligui, CHEN Liwei, et al. Effects of additives on optical properties of BOPP films[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(31):139–144.
- [16] 黄捷,王波,杨金明. 高光泽度聚丙烯的研究[J]. *现代塑料加工应用*, 2017, 29(4):17–20.
- HUANG Jie, WANG Bo, YANG Jinming. Research on high gloss polypropylen[J]. *Modern Plastics Processing and Applications*, 2017, 29(4):17–20.