

高强型可再生 HMLS 涤纶工业丝的 制备及其浸胶帘布开发

高君 吴警 徐云江 王君毅 殷娴 汪如发

浙江海利得新材料股份有限公司, 浙江 海宁 314419

摘要:为开发高强度的可再生高模低收缩(HMLS)涤纶浸胶帘布,以高黏度再生聚酯切片为原料,通过降低熔体温度、提高纺丝速度等优化措施,制备线密度为 1 100 dtex 的高强型物理法可再生涤纶工业丝和高强型化学法可再生涤纶工业丝,再经织造与浸胶工序,制备高强型可再生涤纶浸胶帘布产品,并与高强型原生涤纶浸胶帘布进行物理性能、耐疲劳性能及黏合性能的对比。研究表明,制备的高强型物理法可再生涤纶浸胶帘布的强力、尺寸稳定性、耐疲劳性能、黏合性能相较于高强型原生涤纶浸胶帘布的略显不足;高强型化学法可再生涤纶浸胶帘布则表现出与高强型原生涤纶浸胶帘布相近的性能,实现了预期的研发目标。

关键词: 高强; 涤纶浸胶帘布; 物理法再生; 化学法再生; 耐疲劳性能; 黏合性能

中图分类号: TS 156

文献标志码: A

文章编号: 1004-7093(2024)08-0028-08

Preparation of high strength recycled HMLS polyester industrial yarns and development of polyester dipped fabrics

Gao Jun, Wu Jing, Xu Yunjiang, Wang Junyi, Yin Xian, Wang Rufa

Zhejiang Hailide New Materials Co., Ltd., Haining 314419, Zhejiang, China

Abstract: In order to develop high strength recycled high modulus low shrinkage (HMLS) polyester dipped fabric, high viscosity recycled polyester chips were used as raw materials, by reducing melt temperature, increasing spinning speed and other optimization measures, high strength physical recycled HMLS polyester industrial yarns and high strength chemical recycled HMLS polyester industrial yarns with linear density of 1 100 dtex were prepared. High strength recycled polyester dipped fabrics were developed by weaving and dipping processes, and compared with high strength virgin polyester dipped fabrics, focusing on their physical properties, fatigue resistance and adhesion performance. The results showed that the strength, dimensional stability, fatigue resistance, and adhesion performance of high strength physical recycled polyester dipped fabrics were relatively poor compared to those of high strength virgin polyester dipped fabrics. However, the properties of high strength chemical recycled polyester dipped fabrics were similar to those of high strength virgin polyester dipped fabrics, and the expected goal was basically achieved.

收稿日期: 2024-05-29

作者简介: 高君, 男, 1974 年生, 高级工程师, 主要从事涤纶工业丝及浸胶帘布的研发及技术管理工作

通信作者: 吴警, 工程师, wj810469@163.com

Keywords: high strength; polyester dipped fabric; physically recycled; chemically recycled; fatigue resistance; adhesion performance

《橡胶行业“十四五”发展规划指导纲要》中明确指出,骨架材料行业必须致力于上下游全产业链的绿色发展。这一规划纲要的出台,不仅是对中国橡胶行业绿色发展的指导,更是对全球可持续发展战略的积极响应。在全球气候变化的大背景下,碳减排、碳中和已成为世界各国共同关注的重要议题。欧洲作为全球的先行者,率先提出了碳中和的中期目标,并计划到 2030 年,将欧洲温室气体排放量减少 55%,到 2050 年实现碳中和。这一目标的实现,将极大地推动全球绿色低碳循环经济的发展。我国在 2020 年 9 月召开的联合国大会上也明确提出,碳排放力争于 2030 年前达到峰值,努力争取 2060 年前实现碳中和^[1-2]。

在全球可再生材料研发领域,普利司通、米其林等知名轮胎企业已取得了令人瞩目的成就。米其林公司采用 Carbios 公司针对聚酯塑料废弃物的酶回收技术,成功制备出高强度轮胎用纤维,标志着其在实现 100% 可持续利用轮胎的目标上迈出了坚实的步伐^[3]。随着碳中和目标的提出,相关的技术标准与法律法规也逐步完善,这不仅对轮胎企业的生产模式提出了更高要求,而且对帘布供应商的技术水平和产品质量提出了更高要求。基于此,浙江海利得新材料股份有限公司与多家全球知名轮胎公司展开合作,共同研究开发高强度可再生高模低收缩(HMLS)涤纶浸胶帘布,以满足绿色低碳循环经济发展的需求。

聚酯(我国的商品名为涤纶)切片再生技术主要分为物理法和化学法^[4]。物理法指废旧聚酯材料进行分拣、清洗和干燥等处理后,作为原料直接进行熔融纺丝的方法^[5]。化学法指利用化学反应将废旧聚酯材料解聚为聚合单体或聚合中间体,再经提纯分离等处理后,进行再生聚合和熔融纺丝的方法^[6]。本文基于全新的固相聚合装置,制备高黏度再生聚酯切片原料,再通过纺丝、织造、浸胶等工序,分别制备纱线线密度为 1 100 dtex/2 的高强型物理法可再生涤纶浸胶帘布和化学法可再生涤纶浸胶帘布^[7],并与相同线密度的高强型原生涤纶浸胶帘布进行物理性能、耐疲劳性能及黏合性能等的对比。

研究旨在为可再生涤纶浸胶帘布的研究开发提供参考,进而满足市场对这类产品日益增长的需求^[8]。

1 试验

1.1 试验原料

物理法再生聚酯切片,特性黏度为 0.748 dL/g,江苏赛维尔新材料科技有限公司;化学法可再生聚酯切片,特性黏度为 0.680 dL/g,浙江佳人新材料有限公司;原生聚酯切片,特性黏度为 0.672 dL/g,浙江海利得新材料股份有限公司。

1.2 设备与仪器

生产设备:连续式固相聚合(SSP)装置(大连海新工程技术有限公司),高速纺丝牵伸卷绕设备(日本 TMT 公司),直捻机(德国 Saurer Allma 公司),喷气织机(德国 Dornier 公司),二浴浸胶机(德国 Benniger 公司)。

测试仪器:全自动特性黏度测定仪(IV6400 型,杭州卓详科技有限公司),纱线捻度仪(YG155A 型,常州第二纺织机械有限公司),英斯特朗强伸仪(5965 型,上海英斯特朗试验设备贸易有限公司),干热收缩仪(TST2 型,奥地利 LENZING 公司),组合式多功能水平 X 射线衍射仪(XRD,Ultima IV 型,日本株式会社理学公司),硫化机(Lab Econ 600 型,荷兰 Fontijne 公司),帘线往复曲挠疲劳试验机(RTC-II 型,北京万汇一方科技发展有限公司),Belt 带式曲挠疲劳试验机(FT-4115 型,日本 Ueshima 公司)。

1.3 固相聚合流程及增黏切片的制备与性能测试

为实现再生增黏切片的制备,设计了一套全新的固相聚合设备,该套设备产能达 4 000 t/a,且能够同时满足原生聚酯切片及可再生聚酯切片的增黏需求。其主要由湿切片料仓、结晶器、预加热器、固相聚合反应器、干切片料仓及氮气循环与净化系统等构成。可再生聚酯湿切片首先通过气体输送装置精准输送至湿切片料仓,然后被传送至结晶器。在结晶器中,湿切片经热空气处理而结晶,其后经旋转喂料器转移至预加热器和固相聚合反应器^[9]。

固相聚合反应器采用先进的填充式设计,能够

形成自上而下的温度梯度,确保切片在加热过程中受热均匀且充分,有效防止因增黏过程中切片反应不充分而导致纺丝拉伸效率降低的问题。装置内部通入适量惰性气体——氮气,以持续带走缩聚反应过程中产生的乙二醇、水、乙醛等小分子物质,推动缩聚反应正向进行,促使低分子链逐步发生链增长反应,进而提高产品相对分子质量^[10]。

对聚酯湿切片进行固相聚合处理以制备增黏切片,设定聚合温度为 210~215 ℃,并在主反应器内维持 40~50 h 的反应时间。经固相聚合处理得到的聚酯增黏切片黏度达 1.168 dL/g,满足高标准要求。

对湿切片与增黏切片的黏度、熔点、端基含量等进行测试,测试方法参照 GB/T 14190—2017《纤维级聚酯(PET)切片试验方法》。

1.4 高强型可再生与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝的制备与性能测试

为降低可再生聚酯切片中杂质对 HMLS 涤纶工业丝强力的影响,可采取降低熔体温度和提高纺丝速度等工艺优化措施^[11]。另外,考虑到纺丝速度提

高可能带来纺丝断头率增加的风险,针对 3 种不同类型切片的纺丝过程,详细记录各自断头情况。结果发现:高强型物理法可再生 HMLS 涤纶工业丝的断头频率为 5.0 次/d,高强型化学法可再生 HMLS 涤纶工业丝为 3.5 次/d,高强型原生 HMLS 涤纶工业丝为 3.3 次/d。基于理论分析和详尽的试验测试,获得优化的工艺参数如表 1 所示。参照 GB/T 14344—2022《化学纤维 长丝拉伸性能试验方法》,测试 2 种高强型可再生 HMLS 涤纶工业丝的拉伸断裂性能、定负荷伸长率、干热收缩率等关键性能,并与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝进行对比。

1.5 高强型可再生与高强型原生涤纶浸胶帘布的制备与性能测试

对高强型可再生与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝进行加捻,设定捻度为 430 T/m,再将加捻后的工业丝分别织制成质地均匀的坯布。随后,通过浸胶处理赋予坯布特定的功能,以制备具有特定性能的高强型可再生与高强型原生涤纶浸胶帘布产品^[12]。

表 1 高强型可再生与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝的优化工艺参数

Tab. 1 Optimize process parameters of high strength recycled and high strength virgin HMLS polyester industrial yarns

项目	高强型物理法可再生 HMLS 涤纶工业丝	高强型化学法可再生 HMLS 涤纶工业丝	高强型原生 HMLS 涤纶工业丝
增黏切片黏度/(dL·g ⁻¹)	1.184	1.171	1.168
熔体温度/℃	290	290	295
纺丝速度/(m·min ⁻¹)	6 000	6 000	5 800

在制备高强型可再生涤纶浸胶帘布过程中,采用与高强型原生涤纶浸胶帘布相同的生产线及浸胶工艺,以确保产品的一致性和稳定性。采用贝宁格浸胶机对坯布进行浸胶处理,浸胶处理速度设定为 100 m/min,高温区烘箱温度控制为 235~240 ℃。高强型可再生涤纶浸胶帘布和高强型原生涤纶浸胶帘布的断裂强力、断裂伸长率、定负荷伸长率、干热收缩率、黏合力等关键指标的测试参照 GB/T 19390—2023《轮胎用聚酯浸胶帘子布》;剥离黏合力与橡胶覆盖率的测试参照 GB/T 32109—2015《浸胶纱线和帘子布粘合剥离性能试验方法》;疲劳性能测试分别参照 GB/T 30315—2013《浸胶帘线往复曲挠疲劳试验方法》和 GB/T 33100—2016《浸胶帘线带式曲挠疲劳试验方法》。

2 结果与讨论

2.1 可再生聚酯切片与原生聚酯切片性能对比

为明确不同回收方式下可再生聚酯切片与原生聚酯切片在性能上的差异,将物理法、化学法可再生聚酯切片及其增黏产品的性能与原生聚酯切片及其增黏产品的性能进行对比,结果如表 2 所示。

由表 2 可知,物理法和化学法制备的可再生聚酯切片中二甘醇质量分数均超过了原生聚酯切片的。而二甘醇质量分数增大,聚酯切片的热稳定性下降。在纺丝熔体制备过程中,二甘醇质量分数过大可能会导致聚酯大分子链断裂,进而对可再生聚酯切片的可纺性产生不利影响^[13]。物理法和化学

表 2 可再生聚酯切片、原生聚酯切片及其增黏切片的性能对比

Tab. 2 Comparison of properties of recycled polyester chips, virgin polyester chips and their viscosity increasing chips

项目	物理法可再生聚酯切片	化学法可再生聚酯切片	原生聚酯切片
湿切片黏度/(dL·g ⁻¹)	0.748	0.680	0.672
湿切片熔点/°C	251.1	256.0	255.8
端羧基含量/(mol·t ⁻¹)	31.0	29.4	28.7
二甘醇质量分数/%	1.22	0.99	0.91
百粒切片质量/g	2.28	2.32	2.30
金属物质量分数/ (mg·kg ⁻¹)			
锑	262.42	252.66	202.11
钙	3.10	—	—
钴	0.10	2.56	—
铁	1.88	—	0.19
钾	0.67	0.53	0.13
镁	0.43	0.19	—
锰	0.06	2.62	—
钠	1.80	—	—
钛	15.27	0.02	—
间苯二甲酸质量分数/%	1.31	0	0
增黏切片黏度/(dL·g ⁻¹)	1.184	1.171	1.168
增黏切片熔点/°C	243.3	246.2	251.4
增黏切片端羧基含量/(mol·t ⁻¹)	18.4	12.5	11.3

法可再生聚酯增黏切片的熔点低于原生增黏聚酯切片的,而低熔点会对聚酯切片的后续加工性能产生不利影响。由表 2 还可以看出,物理法可再生聚酯切片的端羧基含量明显高于原生聚酯切片的,而化学法可再生聚酯切片的端羧基含量则略高于原生切片的。研究表明,端羧基含量影响涤纶工业丝的物理性能^[14]。为确保高强度可再生 HMLS 涤纶工业丝的物理性能稳定,对可再生增黏聚酯切片的黏度实施精细控制,确保其黏度在(1.17±0.03) dL/g 范围内,以有效保证再生聚酯材料后续加工过程中的稳定性,以及最终产品物理性能的稳定^[15]。

在固相聚合工艺设计中,考虑到物理法和化学法可再生聚酯切片端羧基含量的差异,为避免物理法可再生聚酯切片在加工过程中因黏度过高、切片内外层反应不均匀,导致纺丝原材料经螺杆熔融后降解过度等潜在问题,并降低高温条件下副反应发生的风险,特将物理法的反应温度设定为比化学法的低 1.5 °C。这一设计旨在确保物理法可再生聚酯切片既能达到理想的聚合度,又能避免温度过高对其分子结构的破坏^[16]。化学法可再生聚酯切片由于端羧基含量相对较低,因而将其反应温度设定为与原生聚酯切片的一致,以确保聚合工艺的顺利

进行。

2.2 HMLS 涤纶工业丝生产工艺的优化

制备高强度可再生 HMLS 涤纶工业丝使用的设备与生产高强度原生 HMLS 涤纶工业丝的设备一致。纺丝设备主要由螺杆挤压机、纺丝箱体、计量泵、纺丝组件(喷丝板)、后加热器、冷却室、上油辊、牵伸辊、网络器和卷绕机等核心部件组成。生产过程中,干切片通过自重作用进入螺杆挤压机,并在其内部完成熔融过程。随后,熔体通过螺杆挤压机内的分配系统输送至计量泵,再经纺丝组件的过滤,最终从喷丝板的微孔中挤出并形成丝束。丝束通过后加热器后,在冷却室固化,形成连续、稳定的长丝。为赋予长丝平滑、柔软的特性,并增强丝束间的抱合力,对长丝进行上油处理。上油后的丝束再经多对牵伸辊的拉伸和定型后,由卷绕机进行卷装处理^[17]。

试验过程中发现,HMLS 涤纶工业丝的强力主要受熔体温度和纺丝速度这 2 个关键工艺参数的影响。因此,为制备具有高强度特性的可再生 HMLS 涤纶工业丝,本文针对这 2 个工艺参数进行深入探究。

2.2.1 熔体温度对 HMLS 涤纶工业丝物理性能的影响

纺丝试验过程中发现,降低熔体温度会导致

HMLS 涤纶工业丝黏度上升,相对分子质量增大,拉伸应力提高。此外,降低熔体温度,制备的 HMLS 涤纶工业丝的无取向非晶态含量减少,而伸长率与无取向非晶态含量之间呈一定的线性关系^[18]。因此,在特定的温度范围内,降低熔体温度,HMLS 涤纶工业丝强度增加,而伸长率则呈下降趋势。以高黏度聚酯切片为原料,设定纺丝速度为 5 800 m/min,分别在 3 种不同熔体温度下制备线密度为 1 100 dtex 的 HMLS 涤纶工业丝,所得 HMLS 涤纶工业丝的物理性能对比如表 3 所示。由表 3 可以看出,其他工艺参数不变的前提下,降低熔体温度,制备的 HMLS 涤纶工业丝的物理性能显著提高。

表 3 不同熔体温度下制备的 HMLS 涤纶工业丝的物理性能对比

Tab. 3 Comparison of physical properties of HMLS polyester industrial yarns prepared at different melt temperatures

性能指标	熔体温度/℃		
	300	295	290
线密度/dtex	1 171	1 175	1 173
断裂强力/N	87.2	90.6	92.3
断裂强度/(cN·dtex ⁻¹)	7.45	7.71	7.87
断裂伸长率/%	13.2	12.5	11.9
4.0 cN/dtex 定负荷下的伸长率/%	5.6	5.3	5.1
干热收缩率/%	3.0	3.1	3.4

2.2.2 纺丝速度对 HMLS 涤纶工业丝物理性能的影响

HMLS 涤纶工业丝的纺丝速度通常为 5 500~5 800 m/min。纺丝试验过程中发现,适当提高纺丝速度有助于促进取向度的提高,从而使分子链的排布更规整,进而提升涤纶工业丝的力学性能。合适的纺丝速度不仅能够提高 HMLS 涤纶工业丝的模量,而且有利于其尺寸稳定性。但纺丝速度的提高也会带来纺丝断头率上升的风险。为此,设定熔体温度为 295 ℃,在 3 种不同的纺丝速度下分别制备线密度为 1 100 dtex 的 HMLS 涤纶工业丝,所得 HMLS 涤纶工业丝的物理性能对比如表 4 所示。由表 4 可以看出,其他工艺条件不变的前提下,随着纺丝速度的提高,制备的 HMLS 涤纶工业丝的拉伸性能提高,尺寸稳定性有所改善。

表 4 不同纺丝速度下制备的 HMLS 涤纶工业丝的物理性能对比

Tab. 4 Comparison of physical properties of HMLS polyester industrial yarns prepared at different spinning speeds

性能指标	纺丝速度/(m·min ⁻¹)		
	5 600	5 800	6 000
线密度/dtex	1 177	1 175	1 175
断裂强力/N	88.4	90.6	91.2
断裂强度/(cN·dtex ⁻¹)	7.51	7.71	7.76
断裂伸长率/%	12.8	12.5	12.0
4.0 cN/dtex 定负荷下的伸长率/%	5.5	5.3	5.1
干热收缩率/%	3.2	3.1	3.1
尺寸稳定性/%	8.7	8.4	8.2

2.3 高强型可再生 HMLS 涤纶工业丝与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝的物理性能对比

高强型可再生 HMLS 涤纶工业丝与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝的物理性能对比如表 5 所示。由表 5 可以看出,通过优化切片黏度、纺丝速度与熔体温度等生产工艺参数,制备的高强型可再生 HMLS 涤纶工业丝表现出良好的物理性能。其中,高强型化学法可再生 HMLS 涤纶工业丝的断裂强力与尺寸稳定性均达到了与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝相近的水平。高强型物理法可再生 HMLS 涤纶工业丝因切片中含有微量杂质,相较于高强型原生 HMLS 涤纶工业丝,其力学性能略显不足。

2.4 高强型可再生 HMLS 涤纶工业丝的结构特征

为探讨高强型可再生 HMLS 涤纶工业丝与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝结构性能上的差异,采用 XRD 对 3 种不同材质的线密度均为 1 100 dtex 的高强型 HMLS 涤纶工业丝进行晶粒尺寸、结晶度与取向度的对比分析,结果如图 1 和表 6 所示。由图 1 可以看出,2 种高强型可再生 HMLS 涤纶工业丝的晶体衍射曲线上均存在明显的衍射峰,表明 2 种材料均具有较高的结晶度。由表 6 可以看出,2 种高强型可再生 HMLS 工业丝的结晶度和取向度与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝的接近。

2.5 高强型可再生与高强型原生涤纶浸胶帘布的性能对比

2.5.1 物理性能

对 2 种可再生涤纶浸胶帘布进行物理性能测

表 5 高强型可再生与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝的物理性能对比

Tab. 5 Comparison of physical properties between high strength recycled and virgin HMLS polyester industrial yarns

项目	高强型物理法可再生 HMLS 涤纶工业丝	高强型化学法可再生 HMLS 涤纶工业丝	高强型原生 HMLS 涤纶工业丝
原丝端羧基含量/(mol·t ⁻¹)	20.1	19.8	22.3
线密度/dtex	1 173	1172	1 175
断裂强力/N	88.3	90.0	90.6
断裂强度/(cN·dtex ⁻¹)	7.53	7.68	7.71
断裂伸长率/%	11.3	11.8	12.5
4.0 cN/dtex 定负荷下的伸长率/%	5.3	5.4	5.3
干热收缩率/%	3.2	3.0	3.1
尺寸稳定性/%	8.5	8.4	8.4

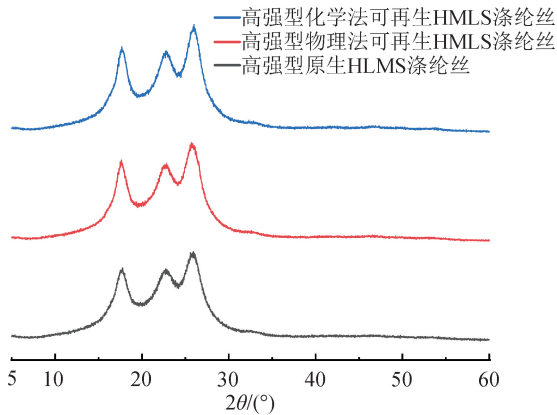


图 1 高强型可再生与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝的 XRD 图

Fig. 1 XRD diffraction patterns of high strength recycled and high strength virgin HMLS polyester industrial yarns

试,包括断裂强力、断裂伸长率、定负荷伸长率及干热收缩率等,并将测试结果与相同工艺条件下制备的高强型原生涤纶浸胶帘布的进行对比,结果如表 7 所示。由表 7 可以看出,高强型化学法可再生涤纶浸胶帘布的断裂强力与断裂伸长率均达到了与高强型原生涤纶浸胶帘布相近的水平,高强型物理法可再生涤纶浸胶帘布的断裂强力与断裂伸长率相对较低。就尺寸稳定性而言,高强型物理法及化学法可再生涤纶浸胶帘布均稍逊于高强型原生涤纶浸胶帘布。

对 3 种高强型涤纶浸胶帘布的强力及其从工业丝到成品的强力保持率进行对比分析,结果如图 2 所示。其中,强力保持率为浸胶帘布的断裂强力与

表 6 高强型可再生与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝的 XRD 测试结果对比

Tab. 6 Comparison of XRD results between high strength recycled and high strength virgin HMLS polyester industrial yarns

项目	高强型物理法可再生 HMLS 涤纶工业丝			高强型化学法可再生 HMLS 涤纶工业丝			高强型原生 HMLS 涤纶工业丝		
	(010)	(-110)	(100)	(010)	(-110)	(100)	(010)	(-110)	(100)
2θ/(°)	17.60	22.70	25.83	17.69	22.70	25.95	17.65	22.68	25.86
晶面间距/nm	0.503 5	0.391 4	0.344 6	0.501 0	0.391 3	0.343 1	0.502 1	0.391 8	0.344 2
半峰宽/rad	1.401	2.114	2.202	1.341	1.921	2.114	1.443	2.011	2.392
晶粒尺寸/nm	5.67	3.79	3.66	5.93	4.17	3.81	5.51	3.98	3.37
结晶度/%		49.88			50.52			46.64	
取向度/%		91.1			91.1			90.8	

其对应的 2 股涤纶工业丝的断裂强力的比值。从图 2 可以观察到,相较于高强型原生涤纶浸胶帘布,高强型物理法可再生涤纶浸胶帘布的强力及强力保持率略低,化学法可再生涤纶浸胶帘布则未表现出明显的差异。

2.5.2 耐疲劳性能

对 3 种浸胶帘布产品分别进行单线往复疲劳测

试及带式曲挠疲劳测试,评价其耐疲劳性能。其中,单线往复疲劳测试频率为 80 次/min,砝码质量为 1 kg,往复 10 万次;带式曲挠疲劳测试频率为 180 次/min,负荷为 800 N,往复 5 万次。3 种浸胶帘布产品的耐疲劳性能测试结果如表 8 所示。由表 8 可以看出,3 种浸胶帘布产品中,高强型物理法可再生涤纶浸胶帘布的耐疲劳性能相对较差,高强

表 7 高强型可再生与高强型原生涤纶浸胶帘布物理性能对比

Tab. 7 Comparison of physical properties between high strength recycled and high strength virgin polyester dipped fabrics

项目	高强型物理法可再生涤纶浸胶帘布	高强型化学法可再生涤纶浸胶帘布	高强型原生涤纶浸胶帘布
断裂强力/N	159.3	163.2	165.8
断裂伸长率/%	14.7	15.3	15.4
44.1 N 定负荷伸长率/%	4.38	4.41	4.24
1%定伸长负荷/N	14.9	14.8	14.4
5%定伸长负荷/N	49.7	49.2	50.8
干热收缩率/%	1.73	1.67	1.74
尺寸稳定性/%	6.11	6.08	5.98

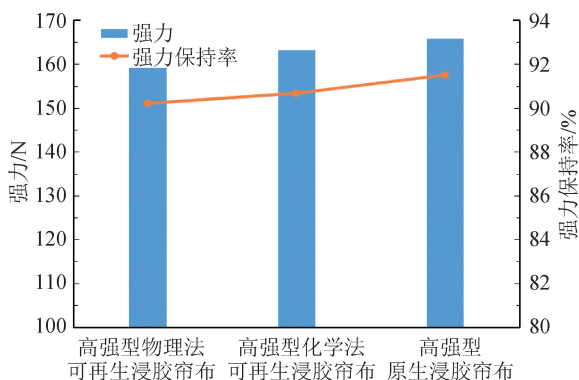


图 2 高强型可再生与高强型原生涤纶浸胶帘布强力及强力保持率对比

Fig. 2 Comparison of strength and retention rate between high strength recycled and high strength virgin polyester dipped fabrics

型化学法可再生涤纶浸胶帘布表现出与高强型原生涤纶浸胶帘布相近的耐疲劳性能。

2.5.3 黏合性能

除断裂强力外,涤纶浸胶帘布与橡胶的黏合强度也是一项重要的性能指标。为探究可再生涤纶浸胶帘布的这一性能,本文对高强型可再生涤纶浸胶帘布与高强型原生涤纶浸胶帘布分别进行 H-抽出黏合力和黏合剥离力测试,并对测试结果进行对比,结果如图 3 和图 4 所示。可以看出,高强型物理法可再生涤纶浸胶帘布的黏合性能相对较差,高强型化学法可再生涤纶浸胶帘布表现出与高强型原生涤纶浸胶帘布相近的黏合性能。

表 8 高强型可再生涤纶帘布与高强型原生涤纶浸胶帘布耐疲劳性能对比

Tab. 8 Comparison of fatigue resistance between high strength recycled and high strength virgin polyester dipped fabrics

项目	高强型物理法可再生涤纶浸胶帘布	高强型化学法可再生涤纶浸胶帘布	高强型原生涤纶浸胶帘布
疲劳测试前断裂强力/N	159.3	163.2	165.8
单线往复疲劳测试后断裂强力/N	135.9	142.1	145.7
单线往复疲劳强力保持率/%	85.3	87.1	87.9
带式曲挠疲劳测试后断裂强力/N	144.8	149.7	153.2
带式曲挠疲劳强力保持率/%	90.9	91.7	92.4

3 结论

本文探讨了再生聚酯切片与原生聚酯切片在物理性能上的差异。通过生产工艺的优化,制备高强型可再生 HMLS 涤纶工业丝及其浸胶帘布,并与高强型原生 HMLS 涤纶工业丝及其浸胶帘布进行对比分析,探究其物理性能、耐疲劳性能及黏合性能的差异,得到下述结论。

(1)与原生聚酯切片相比,物理法再生聚酯切片中的端羧基含量及二甘醇和间苯二甲酸质量分数均有所提升,同时,金属元素如镉、铁、钾等含量亦显著增加,这些微量杂质的存在,会对后道加工环节中增黏切片的品质以及涤纶工业丝的性能产生一定的影响。

(2)鉴于再生聚酯切片与原生聚酯切片在性能上存在一定的差异,为提升可再生 HMLS 涤纶工业丝产品质量,在纺丝工序采取降低熔体温度、提升纺

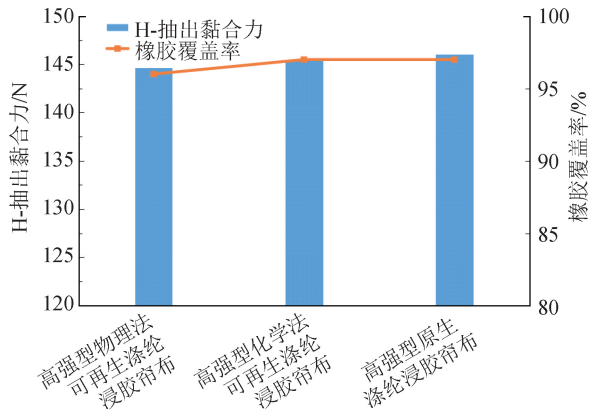


图 3 高强型可再生与高强型原生涤纶浸胶帘布的 H-抽出黏合力对比

Fig. 3 Comparison of H-adhesion between high strength recycled and high strength virgin polyester dipped fabrics

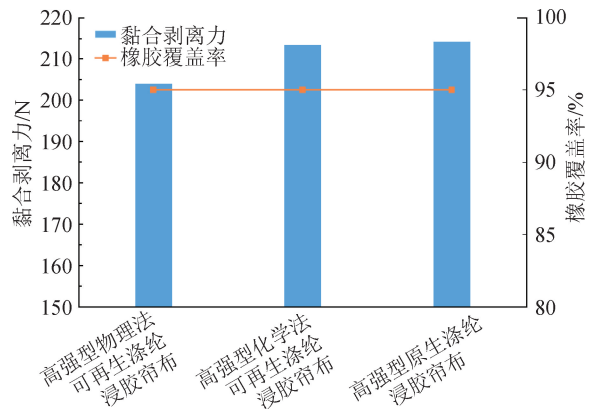


图 4 高强型可再生与高强型原生涤纶浸胶帘布的黏合剥离力对比

Fig. 4 Comparison of adhesion peeling force between high strength recycled and high strength virgin polyester dipped fabrics

丝速度等措施,能够适当提高可再生 HMLS 涤纶工业丝的结晶度与取向度,使其物理性能接近高强型原生 HMLS 涤纶工业丝。

(3)相比于高强型原生涤纶浸胶帘布,高强型物理法可再生涤纶浸胶帘布的强力、尺寸稳定性、耐疲劳性能及黏合性能等略逊色。高强型化学法可再生涤纶浸胶帘布的性能则与高强型原生涤纶浸胶帘布的相近。

综上,通过对纺丝及浸胶工序的优化,能够制备出与高强型原生涤纶浸胶帘布性能相近的高强型可再生涤纶浸胶帘布,满足轮胎企业的应用需求。随着可再生材料研发与应用的日益深入,未来高强型可再

生涤纶浸胶帘布有望获得更多轮胎制造企业的关注。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] 顾青. 再生涤纶在加工生产中的现状分析[J]. 轻纺工业与技术, 2024, 53(1): 52-56.
- [2] 李翠平, 张新军, 李鹏. 轮胎全生命周期碳中和技术的发展[J]. 橡胶工业, 2024, 71(1): 75-79.
- [3] 腾凤冬. Carbios: 再生高强度聚酯纤维用于轮胎制造[J]. 国际纺织导报, 2022, 50(7): 15.
- [4] 周楠. MWCNTs/SiO₂@环氧扩链剂的设计制备及其对回收聚酯的增强增韧改性[D]. 杭州: 浙江大学, 2022.
- [5] MAJUMDAR A, SHUKLA S, SINGH A A, et al. Circular fashion: properties of fabrics made from mechanically recycled polyethylene terephthalate (PET) bottles [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2020, 161: 104-109.
- [6] THIOUNN T, SMITH R C. Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste [J]. Journal of Polymer Science, 2020, 58(10): 1347-1364.
- [7] 卫婷, 陈瑞, 汤方明, 等. 高模低缩型聚酯工业丝凝聚态结构与应用特性的关联机制[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2024, 50(3): 32-38.
- [8] 李志武, 刘希华, 张玉友, 等. 高性能轮胎用对位芳纶橡胶骨架材料的开发[J]. 产业用纺织品, 2021, 39(7): 22-24.
- [9] 王君毅. 高强型高模低收缩涤纶工业长丝的研发[J]. 轮胎工业, 2014, 34(10): 609-614.
- [10] 姬洪, 陈康, 宋明根, 等. 阻燃共聚酯固相缩聚反应结晶动力学研究[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2021, 47(1): 1-6.
- [11] SHOJAEI B, ABTAHI M, NAJAFI M. Chemical recycling of PET: a stepping-stone toward sustainability [J]. Polymers for Advanced Technologies, 2020, 31(12): 2912-2938.
- [12] 黄凯. 高模量低收缩聚酯工业丝和浸胶帘布的工艺研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2004.
- [13] 金鑫, 张德强, 梁靓, 等. 浅析聚酯生产中二甘醇控制的可行性方法[J]. 合成纤维, 2023, 52(6): 13-16.

(下转第 44 页)