

阻坝扩张式复合机头结构参数对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响

张德伟^{1,2}, 汪传生^{1,2*}, 沈波^{1,2}, 李绍明^{1,2}, 边慧光^{1,2}

(1. 山东省高分子材料先进制造技术重点实验室, 山东 青岛 266061; 2. 青岛科技大学机电工程学院, 山东 青岛 266061)

摘要:研究阻坝扩张式复合机头的结构参数包括扩张比、扩张角、阻坝间隙、定型流道段长度、收敛角和过渡流道段长度对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响。结果表明:当扩张比为5、扩张角为150°、阻坝间隙为4 mm、定型流道段长度为50 mm、收敛角为120°、过渡流道段长度为30 mm时,短纤维补强橡胶复合材料的综合物理性能较好,且各向异性明显。

关键词:阻坝扩张式复合机头;扩张比;扩张角;短纤维;复合材料;物理性能

中图分类号:TQ330.1;TQ330.4⁺4 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2016)06-0356-05

短纤维补强橡胶复合材料发展于20世纪70年代,它将短纤维的刚性和橡胶的高弹性结合在一起,赋予橡胶制品高模量、耐切割、耐撕裂、低生热、低压缩永久变形等优良性能^[1],近年来得到深入研究和广泛应用^[2-10]。研究^[11-16]发现,如果短纤维在橡胶基体中适当取向,能够显著提高橡胶制品的性能,尤其对轮胎而言,如果实现短纤维径向取向,即短纤维的取向方向是沿着胎面胶厚度方向,则能显著提高轮胎的耐磨性和抗崩花掉块性,降低滚动阻力和行驶噪声。

目前,实现短纤维径向取向一般采用挤出成型方法。阻坝扩张式复合机头具有特殊的流道结构,能够实现短纤维补强橡胶复合材料的挤出成型并实现短纤维在橡胶基体中的径向取向^[3]。为寻求最佳的机头结构参数,实现短纤维补强橡胶复合材料的最佳挤出成型,本工作在正交试验的基础上,通过机头结构参数的对比试验,研究了机头结构参数对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响。研究的参数包括扩张比、扩张角、阻坝间隙、

定型流道段长度、收敛角和过渡流道段长度。

1 实验

1.1 原材料及配方

天然橡胶(SCR5) 100, 聚酯短纤维 3, 炭黑N330 37.4, 白炭黑 15, 氧化锌 3.6, 硬脂酸 2, 偶联剂TESPT 3, 增塑剂A 2, 防老剂RD 1.5, 防老剂6PPD 2, 防老剂PP-3 1, 硫黄 1, 促进剂NOBS 1.5。

1.2 试验设备

X(S)K-160型开炼机, 上海橡胶机械厂产品; X(S)M-1.7L型实验用密炼机, 青岛科技大学产品; 销钉机筒冷喂料挤出机, 内蒙古富特橡塑机械有限公司产品; QLB-D400×400×2(柱)型硫化试验机, 上海第一橡胶机械厂产品; UT-2060型拉力试验机, 优肯科技股份有限公司产品; GT-7016-AB型气压式自动切片机, GT-2012-D型磨耗试验机, 高铁科技股份有限公司产品。

1.3 试验过程及条件

(1) 在混炼试验平台上进行混炼胶的制备, 条件为: 转子转速 $70 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 冷却水温度 $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$, 压砣压力 0.6 MPa , 填充因数 0.6 , 混炼时间 150 s , 开炼机辊筒温度 $40 \sim 50^\circ\text{C}$ 。

(2) 在挤出成型试验平台上进行短纤维径向取向挤出成型, 条件为: 机筒温度 $(70 \pm 1)^\circ\text{C}$,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51175274); 山东省科技发展计划项目(2013TD16006); 山东省高等学校科技计划项目(J15LB73); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2013EMM002)

作者简介:张德伟(1983—), 男, 山东烟台人, 青岛科技大学在读博士后, 主要从事高分子材料加工机械成套设备及机电一体化方面的研究。

*通信联系人

机头温度 $(80 \pm 1)^\circ\text{C}$, 螺杆转速 $15\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

试验过程中, 需标记胶料的挤出方向, 即短纤维的径向取向方向。

(3) 在硫化试验平台上进行挤出胶料的硫化, 条件为: $150^\circ\text{C}/20\text{ MPa} \times 25\text{ min}$ 。

试验过程中, 按标记的胶料挤出方向采取两种硫化方式, 一种为短纤维取向方向沿着模具模腔的长度方向, 另一种为沿着宽度方向。

(4) 进行测试试样的制备, 切片气压为 0.6 MPa 。

沿着短纤维的不同取向方向进行短纤维补强橡胶复合材料性能测试试样的制备, 如图1所示, 短横线示意短纤维及其取向排列方向, 其中试样(a)~(c)的测试记为S测试, (d)~(f)的测试记为V测试。

(5) 进行短纤维补强橡胶复合材料综合物理

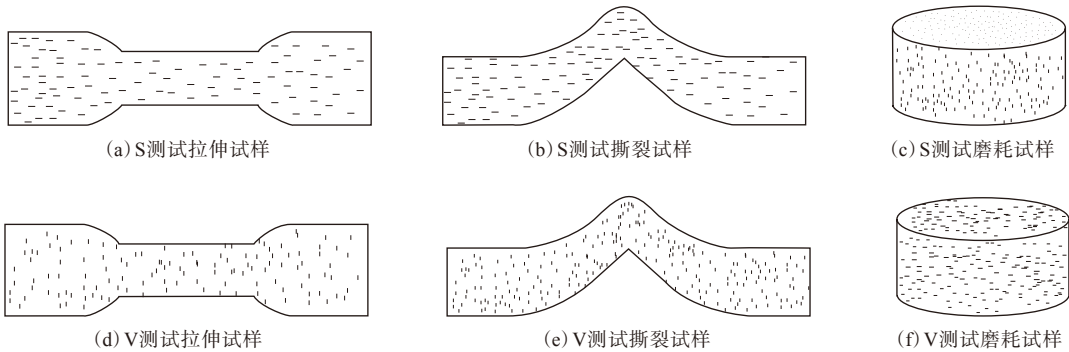


图1 各性能测试试样

性能的测试, 条件为: 拉伸速率 $500\text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, 夹持压力 0.6 MPa , DIN磨损行程 40 m 。

对每个待测性能参数均进行5次测试, 除去测试所得数据中的极大值和极小值, 对剩余3个测试值取算术平均值。

2 试验结果及分析

2.1 扩张比

扩张比对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响如表1所示。

表1 扩张比对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响

项 目	扩张比							
	S测试				V测试			
	2	3	4	5	2	3	4	5
300%定伸应力/MPa	8.81	9.57	11.06	12.85	10.83	10.12	10.04	9.23
拉伸强度/MPa	16.38	19.43	21.65	25.63	17.61	18.33	17.00	16.00
拉伸伸长率/%	542	573	620	661	606	581	552	513
撕裂强度/(kN · m ⁻¹)	65	76	83	91	70	62	58	51
拉断永久变形/%	17	18	21	25	20	20	19	18
DIN磨损量/mm ³	121.56	115.35	109.86	106.28	112.07	117.82	121.05	127.63

注: 扩张角 150° , 阻坝间隙 4 mm , 定型流道段长度 50 mm , 收敛角 120° , 过渡流道段长度 30 mm 。

从表1可以看出: 对于S测试, 短纤维补强橡胶复合材料物理性能均随扩张比的增大而优化; 对于V测试, 各项性能随着扩张比的增大而劣化, 且扩张比越大, 同一性能参数的S测试结果越优于V测试结果。

扩张比反映胶料经过阻坝结构后压力释放空间(即膨胀空间)的大小。由于短纤维在橡胶基体中径向取向的首要影响因素是挤出胀大, 因此必须要有足够的空间使短纤维随着胶料的胀大发生取向。若膨胀空间偏小, 则胶料的膨胀程度较小, 使短纤维的取向受限, 因此当扩张比较小(取值为2)时, 短纤维在橡胶基体中的径向取向程度较差, 使V试样中短纤维的排布方向与外力的加载方向相近, 试样能够承受较大的外力载荷, 而S测试试样中短纤维的排布方向与外力的加载方向相近垂直, 增加了应力集中的作用, 减弱了橡胶基体的承载能力, 因此V测试结果优于S测试结果; 当扩张比较大(取值为5)时, 短纤维在橡胶基体中的径向取

向程度较好,使S试样中短纤维的排布方向与外力的加载方向相近(径向取向程度越好,与外力的加载方向越相近),因此,其试样能够承受较大的外力载荷,其测试结果优于V测试结果,同时表现出了复合材料的各向异性特征。

若扩张比过大,即膨胀空间很大,理论上有利于胶料的膨胀及短纤维的取向,但这将导致胶料挤出成型后致密性下降,因此膨胀空间不宜过大。综合考虑试验结果,确定扩张比为5。

利于胶料的膨胀及短纤维的取向,但这将导致胶料挤出成型后致密性下降,因此膨胀空间不宜过大。综合考虑试验结果,确定扩张比为5。

2.2 扩张角

扩张角对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响见表2。

表2 扩张角对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响

项 目	扩张角(2α)/(°)							
	S测试				V测试			
	105	120	135	150	105	120	135	150
300%定伸应力/MPa	9.85	10.96	12.01	12.85	10.85	10.12	9.81	9.23
拉伸强度/MPa	19.14	20.86	22.51	25.63	18.61	18.02	16.98	16.41
拉断伸长率/%	594	616	644	661	583	566	536	513
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	70	77	84	91	66	60	57	51
拉断永久变形/%	21	22	24	25	20	19	19	18
DIN磨耗量/mm ³	117.38	112.77	110.76	106.28	114.62	119.21	122.19	127.63

注:扩张比 5,阻坝间隙 4 mm,定型流道段长度 50 mm,收敛角 120°,过渡流道段长度 30 mm。

扩张角反映胶料经过阻坝结构后在压力释放过程中胶料的速度矢量方向,或者表征为胶料压力释放的缓急程度。当扩张角较小时,S测试结果与V测试结果相近,可推测胶料的压力释放过程较缓慢,胶料在定型流道段内不能快速释放压力而膨胀,导致短纤维取向程度较差;若扩张角较大,S测试结果优于V测试结果,但当扩张角为180°时,

胶料经过阻坝间隙后能够快速释放压力并迅速膨胀,有利于短纤维的取向,但产生了定型流道段后端的胶料滞留区。结合试验结果,综合考虑确定扩张角为150°。

2.3 阻坝间隙

阻坝间隙对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响见表3。

表3 阻坝间隙对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响

项 目	阻坝间隙/mm							
	S测试				V测试			
	2	3	4	5	2	3	4	5
300%定伸应力/MPa	11.37	12.19	12.85	11.76	10.96	10.32	9.23	10.43
拉伸强度/MPa	20.48	23.15	25.63	21.06	17.15	16.22	16.41	18.32
拉断伸长率/%	632	649	661	641	556	530	513	549
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	80	85	91	81	60	57	51	60
拉断永久变形/%	21	25	25	22	21	19	18	20
DIN磨耗量/mm ³	111.08	108.32	106.28	110.72	119.85	122.56	127.63	116.66

注:扩张比 5,扩张角 150°,定型流道段长度 50 mm,收敛角 120°,过渡流道段长度 30 mm。

由表3可以看出,随着阻坝间隙的增大,短纤维补强橡胶复合材料性能的S测试结果先逐渐优于V测试结果,随后二者相互趋近。

阻坝间隙反映阻坝对胶料体流量的抑制能力,或者表征单位时间内通过阻坝间隙的短纤维数量。在一定剪切流场和拉伸流场的作用下,如果阻坝间隙较大,即单位时间内通过阻坝的短纤维数量较多,则降低了短纤维的平均取向程度,使得S测试结果与V测试结果相近。如果阻坝间隙太小,不仅影响挤出机的生产能力,而且使短纤维承

受较大的剪切流场作用而被剪断,降低了补强能力,也使S测试结果与V测试结果相近。综合考虑后,确定阻坝间隙为4 mm。

2.4 定型流道段长度

定型流道段长度对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响见表4。

从表4可以看出,定型流道段长度对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响与扩张比和扩张角试验相比,具有相似性。

剪切流场和拉伸流场的共同作用是影响短纤

表4 定型流道段长度对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响

项 目	定型流道段长度/mm							
	S测试				V测试			
	20	30	40	50	20	30	40	50
300%定伸应力/MPa	10.31	10.92	11.98	12.85	10.66	10.21	9.87	9.23
拉伸强度/MPa	19.12	22.07	23.55	25.63	19.37	18.56	18.01	16.41
拉伸伸长率/%	596	620	646	661	572	554	528	513
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	67	76	83	91	64	61	54	51
拉伸永久变形/%	20	22	24	25	20	20	19	18
DIN磨耗量/mm ³	117.35	113.61	110.20	106.28	112.46	117.09	122.87	127.63

注:扩张比 5,扩张角 150°,阻坝间隙 4 mm,收敛角 120°,过渡流道段长度 30 mm。

维径向取向的另一个重要因素,而定型流道段长度正是流场作用时间的反映。从测试结果可以看出,随着定型流道段长度的增大,S测试结果优于V测试结果,这表明短纤维的取向程度增大,但不能说明定型流道段越长越好。由于过长的流道延长了胶料在机头内的运动时间,容易导致胶料发生

焦烧,因此定型流道段不宜过长。综合考虑后,确定定型流道段长度为50 mm。

2.5 收敛角

收敛角对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响见表5。

从表5可以看出,收敛角的增大未对短纤维补

表5 收敛角对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响

项 目	收敛角(2β)/(°)							
	S测试				V测试			
	60	90	120	150	60	90	120	150
300%定伸应力/MPa	11.59	13.32	12.85	11.61	10.22	9.08	9.23	9.58
拉伸强度/MPa	22.01	24.67	25.63	22.28	17.58	17.66	16.41	17.92
拉伸伸长率/%	649	653	661	658	520	528	513	519
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	86	90	91	90	52	50	51	51
拉伸永久变形/%	25	25	25	24	18	18	18	18
DIN磨耗量/mm ³	106.87	108.03	106.28	108.71	125.58	126.07	127.63	125.33

注:扩张比 5,扩张角 150°,阻坝间隙 4 mm,定型流道段长度 50 mm,过渡流道段长度 30 mm。

强橡胶复合材料的性能产生较大影响,这主要是由于收敛角的变化对短纤维取向程度的影响程度较小。

收敛角大小反映胶料从过渡流道段进入阻坝的流动形式。若收敛角较小,胶料会比较平缓地从过渡流道段进入到阻坝中,胶料不能在有效时间内被压缩从而获得膨胀的内能,不利于短纤维的取向,表现为S测试与V测试结果相近;收敛角过

大(180°)时,虽有利于胶料在有效的时间内获得膨胀的内能,但造成过渡流道段与阻坝连接处形成胶料的滞留区。综合考虑后,确定收敛角为120°。

2.6 过渡流道段长度

过渡流道段长度对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响见表6。

从表6可以看出,过渡流道段长度对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响与收敛角试验结果

表6 过渡流道段长度对短纤维补强橡胶复合材料性能的影响

项 目	过渡流道段长度/mm							
	S测试				V测试			
	20	25	30	35	20	25	30	35
300%定伸应力/MPa	11.36	11.95	12.85	13.01	10.01	9.82	9.23	9.42
拉伸强度/MPa	24.85	25.01	25.63	25.88	16.81	17.06	16.41	16.21
拉伸伸长率/%	652	659	661	656	518	515	513	514
撕裂强度/(kN·m ⁻¹)	89	89	91	91	51	52	51	50
拉伸永久变形/%	25	25	25	25	19	18	18	18
DIN磨耗量/mm ³	108.32	107.71	106.28	105.02	126.83	126.74	127.63	128.19

注:扩张比 5,扩张角 150°,阻坝间隙 4 mm,定型流道段长度 50 mm,收敛角 120°。

相似。

过渡流道段的作用是使胶料在流道内的流动趋于稳定。由于从机头入口端到阻坝间流道的尺寸变化较大,若没有过渡流道段,胶料易发生紊流而影响短纤维的预轴向取向程度,因此过渡流道段不宜太短。如果过渡流道段过长,同样容易引起胶料在流道内的焦烧。综合考虑后,确定过渡流道段长度为30 mm。

3 结语

(1) S测试和V测试的对比表明,短纤维在橡胶基体中的径向取向使短纤维补强橡胶复合材料具备了各向异性的特性,且S测试结果优于V测试结果,短纤维补强橡胶复合材料在短纤维取向的方向上性能越好。

(2) 综合分析阻坝扩张式复合机头的结构参数试验结果,其优化结构参数为:扩张比 5,扩张角 150°,阻坝间隙 4 mm,定型流道段长度 50 mm,收敛角 120°,过渡流道段长度 30 mm。

参考文献:

- [1] 钦焕宇. 国内外预处理短纤维综述及最新进展[J]. 中国橡胶, 2006, 22(13): 36-37.
- [2] 汪传生, 张德伟, 边慧光. 混炼参数对短纤维-橡胶复合材料性能的影响[J]. 功能材料, 2011, 42(8): 1448-1452.
- [3] Wang C S, Liu C J, Bian H J. Radial Orientation Mechanism and Experimental Research of Short Fiber in Tread Compound[J]. Journal

of Donghua University (Eng. Ed.), 2009, 26(6): 666-672.

- [4] Ohtani J, Kaoetmri K, Mama R, et al. Pneumatic Radial Tires with Light Weight and Improved Riding Feel [P]. JPN: JP 11129711, 1999-05-18.
- [5] Mormaga H, Nakamura F. Rubber Composites Containing Short Fiber for Tire Tread [P]. Europe: EP 940435, 1999-09-08.
- [6] Kanenan D, Shinoda Z, Harikae S, et al. Pneumatic Tires with Balances of Control Stability and Riding Comfortability and Their Manufacture [P]. JPN: JP 11334323, 1999-12-07.
- [7] Datta R N, Peters M. Approaches to Improve Cut/Chip/Chunk Resistance in Truck and Off-the-road Tread Compounds[A]. Symposiums of International Rubber Conference[C]. Beijing: 2004.
- [8] 李桂芳, 杨飘. 短纤维-橡胶复合材料在胶管中的应用[J]. 宁夏化工, 1994(1): 1-4.
- [9] 刘宗江. 尼龙短纤维/CR/EPDM复合材料在橡胶坝袋中的应用[J]. 合成橡胶工业, 1997, 20(5): 311-312.
- [10] 刘锦文. 聚酯短纤维在胶带中的应用[J]. 特种橡胶制品, 2003, 24(1): 25-40.
- [11] 汪传生, 侯垣圻, 李真. 短纤维补强橡胶复合材料在轮胎中应用的研究概况[J]. 橡塑技术与装备, 2009, 35(10): 16-19.
- [12] 李汉堂. 短纤维-橡胶复合材料的开发及应用[J]. 合成技术及应用, 2006, 21(2): 28-33.
- [13] 于海琴, 王金刚, 同良国. 短纤维补强橡胶复合材料研究进展[J]. 材料科学与工程, 2002, 20(2): 287-289.
- [14] R Datta, M Peters. 用芳纶短纤维降低重载轮胎胎面胶的滞后损失[J]. 涂学忠, 译. 轮胎工业, 2004, 24(4): 680-683.
- [15] 李汉堂. 短纤维补强橡胶在轮胎中的应用[J]. 橡胶科技, 2006, 4(1): 22-25.
- [16] 刘锦文. 聚酯短纤维在胶料中的定向处理及应用[J]. 特种橡胶制品, 2007, 28(5): 35-36.

收稿日期: 2015-12-11

Effects of Structure Parameters for Dam-Expansion-Complex Die on Properties of Short Fiber/Rubber Composites

ZHANG Dewei, WANG Chuansheng, SHEN Bo, LI Shaoming, BIAN Huiguang

(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: The effects of structure parameters of dam-expansion-complex die, including expansion ratio, expansion angle, dam clearance, molding channel length, convergence angle and transition channel length, on the properties of short fiber/rubber composite were studied experimentally. The results showed that, when the expansion ratio was 5, the expansion angle was 150°, the dam clearance was 4 mm, the molding channel length was 50 mm, the convergence angle was 120° and the transition channel length was 30 mm, the comprehensive physical properties of the composite were better, and the anisotropy of the composite was distinct.

Key words: dam-expansion-complex die; expansion ratio; expansion angle; short fiber; composite; physical property