

# 芳纶浆粕在天然橡胶胶料中的应用研究

丁佳伟,杜华太,孙志勇\*,李斌,李辉,孙国华,马卫东

(山东非金属材料研究所,山东 济南 250400)

**摘要:**采用Kevlar 1F538,Kevlar 1F1710,Twaron 1091和Twaron 1095自制4种芳纶浆粕母胶,研究其对天然橡胶(NR)胶料各项性能的影响。结果表明,4种芳纶浆粕母胶均能够延长胶料的焦烧时间,缩短正硫化时间,提高硫化胶的硬度、100%定伸应力、拉伸强度、拉伸伸长率、撕裂强度和伸长疲劳性能,其中Twaron 1091芳纶浆粕母胶的综合效果最优,加入后胶料的焦烧时间延长了29.1%,硫化胶的拉伸强度提高了12.4%,撕裂强度提高了17.9%,伸张疲劳寿命延长了35.2%,且动态储能模量增大。

**关键词:**天然橡胶;芳纶浆粕;母胶;硫化特性;物理性能;伸张疲劳寿命

**中图分类号:**TQ332.1;TQ330.38<sup>+</sup>3

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-890X(2020)05-0356-06

**DOI:**10.12136/j.issn.1000-890X.2020.05.0356



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

天然橡胶(NR)主要由97%以上的顺式-1,4-聚异戊二烯组成,还有2%~3%的3,4-键合结构。NR的相对分子质量分布很宽,为双峰分布,低相对分子质量部分对加工有利,高相对分子质量部分对性能有利;大分子结构赋予NR诱导结晶性能,使之成为自补强橡胶,因此NR具有优异的抗冲击、抗刺穿和抗撕裂性能,且易与金属粘合,是现有大多数合成橡胶无法比拟的<sup>[1]</sup>。NR是重要的战略物资和化工原料,是用量最大的橡胶品种,其用量约占橡胶总用量的30%~40%。

芳纶浆粕是芳纶纤维的一种差别化产品,由芳纶短纤维经高度原纤化得来,主干纤维表面呈毛绒状,主纤长度为1.0~3.0 mm,直径约为10.0  $\mu\text{m}$ ,微纤长度为0.1~2.0  $\mu\text{m}$ ,表面粗糙,纤维的轴向尾端呈针尖状。原纤化过程是指从纤维表面分裂出细小微纤维的过程,经过多次原纤化处理,芳纶短纤维主纤上会分散出大量的超细微纤。芳纶浆粕具有芳纶纤维优秀的特性<sup>[2]</sup>,如高模量、高强度以及优良的热稳定性、化学稳定性、尺寸稳定性和韧性。

芳纶浆粕目前已经开始被工程界了解并进行

应用研究。J. S. Downey等<sup>[3]</sup>对比研究了对位芳纶浆粕与精切短纤维对NR胶料的补强效果,发现对位芳纶浆粕补强胶料的损耗角( $\delta$ )和损耗因子( $\tan\delta$ )均随对位芳纶浆粕用量的增大而减小,且胶料的滞后生热较低,对位芳纶浆粕的应用有利于低滚动阻力轮胎用胶料的配方设计。Park Nam等<sup>[4]</sup>将芳纶浆粕以氧化锌分散母胶的形式加入到NR中并研究其在防爆轮胎侧壁插层胶中应用,发现随着芳纶浆粕用量的增大(1,2和3份),侧壁插层胶的物理性能变好,压缩生热降低,压缩永久变形减小,但是实际用于侧壁插层胶时,添加1份芳纶浆粕效果最好,相应的防爆轮胎的稳定性提高。魏静勋等<sup>[5]</sup>将芳纶浆粕加入到载重子午线轮胎胎肩垫胶中,研究其应用效果,结果表明添加芳纶浆粕后胎肩垫胶的滞后损失降低约15%,100%定伸应力明显增大,压缩生热降低,耐久性能提高。杨齐等<sup>[6]</sup>研究了对位芳纶浆粕在轮胎胎面胶中的应用,结果表明对位芳纶浆粕可以提高胎面胶的抗撕裂性能、抗刺穿性能以及耐磨性能。高丽萍等<sup>[7]</sup>将芳纶浆粕母胶粒加入到全钢工程机械子午线轮胎胎面胶中,胎面胶的抗切割性能得到提高,平均使用寿命由100 d延长到120 d。吴卫东等<sup>[8-10]</sup>将芳纶浆粕应用于轮胎胎面胶中,降低了胎面胶的滞后损失,减弱了Payne效应,同时提高了强度。

**基金项目:**国防基础科研重点项目(JCKY2017208B013)

**作者简介:**丁佳伟(1995—),男,山东平阴人,山东非金属材料研究所在读硕士研究生,主要从事天然橡胶的改性研究。

\*通信联系人(sunzhiyong53@163.com)

本工作对芳纶浆粕进行一定的预处理,制备芳纶浆粕母胶,然后将其添加到NR胶料中,研究芳纶浆粕种类对NR胶料性能的影响,以期芳纶浆粕后续应用奠定基础。

## 1 实验

### 1.1 原材料

NR,一级烟胶片,马来西亚产品;氧化锌(I型),柳州中色锌品有限责任公司产品;硬脂酸(200型),山东金达双鹏集团有限公司产品;炭黑N330(湿法造粒),青州博奥炭黑有限责任公司产品;防老剂4010NA和RD,中国石化南京化学工业有限公司产品;古马隆树脂,淄博鲁中化工轻工有限公司产品;不溶性硫黄(IS-60),上海京海化工有限公司产品;促进剂DM和DTDM,天津市有机化工一厂产品;自制芳纶浆粕母胶,所用芳纶浆粕牌号为Kevlar 1F538和Kevlar 1F1710以及Twaron 1091和Twaron 1095,对其进行预分散处理。

### 1.2 试验配方

NR 100,炭黑N330 35,氧化锌 5,硬脂酸 1,防老剂4010NA 1,防老剂RD 1,古马隆树脂 2,硫黄 1,促进剂DM 1.2,促进剂DTDM 2,芳纶浆粕母胶(芳纶浆粕质量分数为0.2) 变品种、变量。

### 1.3 主要设备和仪器

пд30 315/315л型开炼机,俄罗斯产品;X(S) M-1型翻转式密炼机,青岛新华青橡胶机械有限公司产品;TY-100型橡胶真空硫化机,东毓油压机械股份有限公司产品;V-Sorb 2800S型比表面积分析仪,天津金埃谱科技有限公司产品;V-8000A型无转子硫化仪和GT-711-GLH型伸张疲劳试验机,中国台湾高铁检测仪器有限公司产品;Reho-MFR智能型无转子硫化仪,上海泛迅机电设备有限公司产品;LX-A型邵尔橡胶硬度计,江都市明珠实验机械厂产品;RGT-10A型电子万能试验机,深圳市瑞格尔仪器有限公司产品;DMA242型动态力学分析仪,德国耐驰公司产品。

### 1.4 试样制备

胶料采用两段混炼工艺混炼。

一段混炼工艺:在密炼机中首先加入NR塑炼

胶,压压砣混炼2 min;然后加入氧化锌、硬脂酸、防老剂4010NA、防老剂RD、古马隆树脂,压压砣混炼3 min;最后加入炭黑N330和自制芳纶浆粕母胶,压压砣混炼4 min,排胶至开炼机;胶料在开炼机上打卷3次,下片,胶片放置6 h后进行二段混炼。

二段混炼工艺:将一段混炼胶置于开炼机上,调整辊距至辊筒上有适量的堆积胶,加入硫黄和促进剂,吃料完后左右割刀各2次,薄通8次,打卷3次,下片。胶片放置24 h后进行硫化。

混炼胶在橡胶真空硫化机中硫化,硫化条件为145 °C/10 MPa×25 min。

XJ-0—4分别代表未添加芳纶浆粕母胶以及分别添加Kevlar 1F538, Kevlar 1F1710, Twaron 1091和Twaron 1095芳纶浆粕母胶的胶料。

### 1.5 测试分析

(1)比表面积。采用V-Sorb 2800S型比表面积分析仪测试芳纶浆粕的比表面积。

(2)硫化特性。采用V-8000A型无转子硫化仪测试胶料的硫化特性,测试条件:频率 1.67 Hz,应变 7%,温度 145 °C。

(3)流变性能。采用Reho-MFR智能型无转子硫化仪对胶料(混炼胶)进行应变扫描,测试条件:频率 1.67 Hz,应变范围 7%~133%,温度 100 °C。

(4)物理性能。采用LX-A型邵尔橡胶硬度计和RGT-10A型电子万能试验机按照相应国家标准测试硫化胶的硬度和强度性能。

(5)伸张疲劳性能。采用GT-711-GLH型伸张疲劳试验机按照GB/T 1688—2008《硫化橡胶伸张疲劳的测定》测试硫化胶的伸张疲劳性能,使用I型裁刀裁样,裁切的方向与下片方向相同,每个配方截取6个试样进行试验,取平均值,测试条件:伸张应变 100%,温度 40 °C,频率 4 Hz。

(6)动态力学性能。采用DMA242型动态力学分析仪参照ASTM D 4065—2012《塑料动态机械特性的标准实施规程 程序报告及测定法》测试硫化胶的动态力学性能,试样尺寸为10.0 mm×5.0 mm×2.0 mm,测试条件:力 2.5 N,频率 3.33 Hz,振幅 100 μm,升温速率 3 °C·min<sup>-1</sup>,温度范围 -100~100 °C。

## 2 结果与讨论

### 2.1 芳纶浆粕的特性

4种芳纶浆粕的特性参数如表1所示。

表1 4种芳纶浆粕的特性参数

| 项 目                                     | Kevlar 1F538 | Kevlar 1F1710 | Twaron 1091 | Twaron 1095 |
|-----------------------------------------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| 主纤长度/mm                                 | 1.00~1.34    | 0.92~1.42     | 0.64~1.07   | 0.75~1.20   |
| 加拿大游离度                                  | 260±60       | 260±100       |             |             |
| 比表面积/(m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> ) |              |               |             |             |
| 产品指标值                                   | 5~11         | 5~11          | 12~15       | 5~8         |
| 实测值                                     | 6.92         | 6.48          | 15.01       | 6.35        |

从表1可以看出:各芳纶浆粕的主纤长度不同,Kevlar 1F538和Kevlar 1F1710的主纤长度较大,在1 mm左右,Twaron 1091和Twaron 1095的主纤长度较小,在0.8 mm左右;Kevlar 1F538的主纤长度范围与Kevlar 1F1710相比更小,二者比表面积相差不大;Twaron 1091的比表面积是另外3种芳纶浆粕纤维比表面积的2倍以上,4种芳纶浆粕的比表面积从大到小依次为Twaron 1091,Kevlar 1F538,Kevlar 1F1710和Twaron 1095。

加拿大游离度是表征滤水性能的指标,可以表征芳纶浆粕的原纤化程度,加拿大游离度越高则其芳纶浆粕的原纤化程度越低。从表1还可以看出,Kevlar 1F538的原纤化程度更高。

### 2.2 胶料的流变性能

芳纶浆粕种类对胶料应变扫描曲线的影响如图1所示, $G'$ 为剪切储能模量, $\varepsilon$ 为应变。

从图1可以看出,随着剪切应变的增大,胶料的 $G'$ 迅速减小,这是因为大应变下胶料中的填料

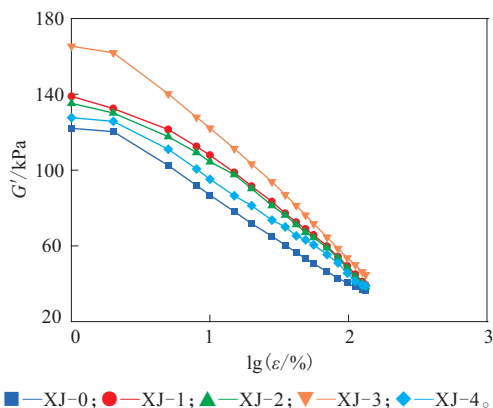


图1 芳纶浆粕种类对胶料应变扫描曲线的影响

网络被破坏,导致 $G'$ 减小,表现出Payne效应。Payne效应与填料网络结构以及填料-橡胶相互作用有关,一般来说,填料形成的网络越强,Payne效应越明显。添加芳纶浆粕母胶后,各胶料的 $G'$ 均增大,这是因为芳纶浆粕在橡胶中能够形成交织的填料网络,从而增大了胶料的弹性模量。 $G'$ 从大到小依次为添加Twaron 1091,Kevlar 1F538,Kevlar 1F1710和Twaron 1095芳纶浆粕母胶的胶料,这与芳纶浆粕比表面积的增大顺序一致。

### 2.3 胶料的硫化特性

胶料的硫化特性参数中 $t_{10}$ 越长,加工安全性能越好; $t_{90}$ 越短,生产效率越高; $F_{\max}$ 与 $F_L$ 的差值 $\Delta F$ 可以表征交联程度的高低。芳纶浆粕种类对胶料硫化特性的影响如表2所示。

表2 芳纶浆粕种类对胶料硫化特性(145 °C)的影响

| 项 目                                   | XJ-0  | XJ-1  | XJ-2  | XJ-3  | XJ-4  |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $t_{10}/\text{min}$                   | 3.85  | 4.67  | 4.78  | 4.97  | 4.03  |
| $t_{90}/\text{min}$                   | 11.77 | 10.80 | 11.02 | 11.20 | 9.72  |
| $F_L/(\text{dN} \cdot \text{m})$      | 0.99  | 1.09  | 1.08  | 0.99  | 1.17  |
| $F_{\max}/(\text{dN} \cdot \text{m})$ | 14.89 | 15.06 | 15.04 | 14.83 | 14.84 |
| $\Delta F/(\text{dN} \cdot \text{m})$ | 13.90 | 13.97 | 13.96 | 13.84 | 13.67 |

从表2可以看到:添加不同种类芳纶浆粕母胶后,胶料的 $t_{10}$ 均有所延长,其中添加Twaron 1091芳纶浆粕母胶的胶料 $t_{10}$ 延长了29.1%; $t_{90}$ 均缩短,其中添加Twaron 1095芳纶浆粕母胶的胶料 $t_{90}$ 缩短了17.4%; $\Delta F$ 变化不大,说明胶料的交联程度没有太大变化。总体而言,添加芳纶浆粕母胶能够起到延迟胶料硫化的作用,在保持交联密度基本不变的前提下提高胶料的加工安全性,同时也能缩短硫化时间,提高生产效率。胶料的焦烧时间延长是因为芳纶浆粕表面含有羧基、羰基、胺基等酸性基团,能够吸附促进剂,相当于减小了促进剂的用量,同时可能会阻碍自由基的形成,抑制双基硫的产生,从而起到延迟硫化的作用。

### 2.4 硫化胶的物理性能

芳纶浆粕种类对硫化胶物理性能的影响如表3所示。

从表3可以看出,添加4种芳纶浆粕母胶后,硫化胶的邵尔A型硬度、100%定伸应力、拉伸强度、拉断伸长率、拉断永久变形和撕裂强度均比未添

表3 芳纶浆粕种类对硫化胶物理性能的影响

| 项 目                                               | XJ-0 | XJ-1 | XJ-2 | XJ-3 | XJ-4 |
|---------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| 邵尔A型硬度/度                                          | 66   | 68   | 68   | 68   | 68   |
| 100%定伸应力/MPa                                      | 2.5  | 3.1  | 2.8  | 3.0  | 2.7  |
| 拉伸强度/MPa                                          | 25.1 | 26.4 | 28.1 | 28.2 | 28.2 |
| 拉断伸长率/%                                           | 537  | 548  | 608  | 617  | 603  |
| 拉断永久变形/%                                          | 20   | 22   | 30   | 26   | 32   |
| 撕裂强度(直角形)/<br>( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$ ) | 67   | 74   | 74   | 79   | 70   |

加芳纶浆粕母胶的硫化胶大。邵尔A型硬度和100%定伸应力表征硫化胶模量,表示硫化胶抵抗外力变形的能力,添加4种芳纶浆粕母胶的硫化胶的邵尔A型硬度均增大了2度,100%定伸应力提高。拉伸强度表征硫化胶抵抗拉伸破坏的极限强度,添加芳纶浆粕母胶的硫化胶的拉伸强度均提高,说明硫化胶抵抗破坏的能力增强,其中添加Twaron 1091和Twaron 1095芳纶浆粕母胶的硫化胶的拉伸强度提高幅度最大,为12.4%;添加Kevlar 1F538芳纶浆粕母胶的硫化胶提高幅度最小,仅为5.2%。添加Twaron 1091芳纶浆粕母胶的硫化胶的拉断伸长率从537%提高到617%,提高了14.9%,Kevlar 1F538芳纶浆粕母胶对硫化胶的拉断伸长率提高幅度最小。撕裂强度用以表征胶料抵抗撕裂破坏的能力,添加芳纶浆粕母胶的硫化胶的撕裂强度均提高,其中添加Twaron 1091芳纶浆粕母胶的硫化胶的撕裂强度达到 $79 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ ,比未添加芳纶浆粕母胶的硫化胶提高了17.9%,添加Twaron 1095芳纶浆粕母胶的硫化胶撕裂强度提高幅度最小,仅提高了4.5%。

图2所示为芳纶浆粕补强机理模型,芳纶浆粕具有特殊的三维结构,微纤上能够附着大量的橡胶分子链,这些微纤能起到物理交联点的作用,限制了橡胶大分子的运动,同时能够承担应力。硫化胶在受外力拉伸时,芳纶浆粕可以作为应力承受点,减小橡胶大分子的受力,从而使其不容易被破坏,硫化胶的拉伸强度和拉断伸长率得以提

高。同时,橡胶大分子可以在微纤表面产生滑移,使更多的大分子链参与了运动变形,所以硫化胶的拉断永久变形提高。硫化胶的邵尔A型硬度和100%定伸应力提高与此同理,由于芳纶浆粕可以承担应力,若想使硫化胶产生同等的变形,需要更大的力,也就是硫化胶的模量提高。硫化胶在撕裂时,芳纶浆粕能够起到阻挡裂纹扩展及偏转裂纹发展方向的作用,使撕裂能提高,从而提高了硫化胶的撕裂强度。

综合看出,硫化胶的物理性能与芳纶浆粕的比表面积有一定关系,比表面积越大的芳纶浆粕母胶对提高硫化胶物理性能的效果越好。

## 2.5 硫化胶的伸张疲劳寿命

未添加芳纶浆粕母胶以及分别添加Kevlar 1F538, Kevlar 1F1710, Twaron 1091 和 Twaron 1095芳纶浆粕母胶的硫化胶在100%应变下伸张疲劳次数分别为285 364, 337 300, 333 019, 385 846和320 178。可以看出,加入4种芳纶浆粕母胶均可以延长硫化胶的伸张疲劳寿命,其中延长幅度最大的是加入Twaron 1091芳纶浆粕母胶的硫化胶,延长了35.2%;加入Kevlar 1F538, Twaron 1095和Kevlar 1F1710芳纶浆粕母胶分别使硫化胶的伸张疲劳寿命延长了18.2%,16.7%和12.2%。

从上述试验结果看,Twaron 1091芳纶浆粕母胶对硫化胶伸张疲劳寿命的延长最明显,延长效果是另外3种芳纶浆粕母胶的2倍左右,这与4种芳纶浆粕比表面积差异相似,表明比表面积大的芳纶浆粕对硫化胶疲劳性能的提高效果更好。硫化胶的伸张疲劳破坏是机械外力引发、氧化反应和力化学反应增长的过程<sup>[11]</sup>。张萍等<sup>[12]</sup>研究发现,炭黑填充硫化胶疲劳后其填料-橡胶相互作用发生破坏,疲劳后的填料网络结构由团聚体网络转变为链状网络。力是引发并促进硫化胶疲劳破坏发展的主要原因,芳纶浆粕在橡胶中形成的填料网络能够承担一部分外力,橡胶大分子链受力减小,外力引发分子链的断裂几率减小,同时伴随的力化学反应速度也将大大减慢,从而减缓疲劳破坏的发生。从另一个角度来说,芳纶浆粕的微纤与橡胶的结合一方面使裂纹产生所需要的能量增大,延缓了裂纹产生的速度;另一方面,由于微

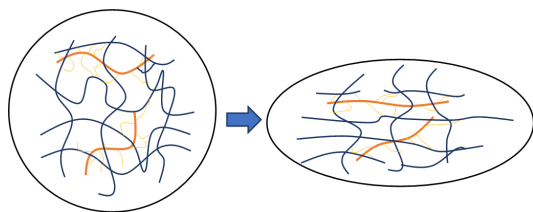


图2 芳纶浆粕补强机理示意

纤的存在,裂纹在发展过程中碰到微纤将会中止拓展或者改变拓展方向,增大了裂纹扩展所需的能量。

## 2.6 硫化胶的动态力学性能

芳纶浆粕种类对硫化胶动态储能模量( $E'$ )-温度曲线的影响如图3所示。

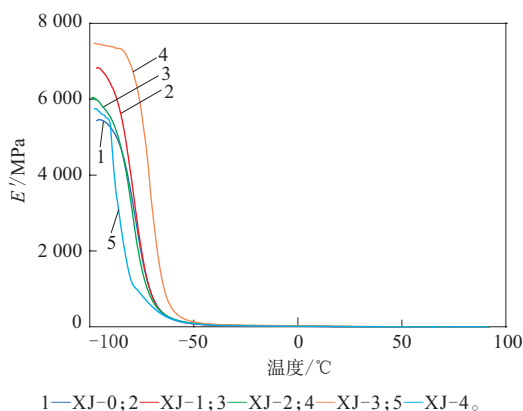


图3 芳纶浆粕种类对硫化胶 $E'$ -温度曲线的影响

从图3可以看出,除了Twaron 1095芳纶浆粕母胶外,加入其余3种芳纶浆粕母胶均会增大硫化胶在低温下的 $E'$ ,增幅从大到小依次为Twaron 1091, Kevlar 1F538和Kevlar 1F1710芳纶浆粕母胶。这也是芳纶浆粕比表面积增大顺序,即比表面积越大的芳纶浆粕母胶对硫化胶的 $E'$ 增大效果越显著。随着温度的升高,硫化胶的 $E'$ 逐渐减小,在温度低于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,添加Twaron 1091芳纶浆粕母胶的硫化胶 $E'$ 明显大于添加其他3种芳纶浆粕母胶的硫化胶;添加Twaron 1095芳纶浆粕母胶的硫化胶 $E'$ 降低较快,且小于未添加芳纶浆粕母胶的硫化胶;添加另外两种芳纶浆粕母胶的硫化胶 $E'$ 则与未添加芳纶浆粕母胶的硫化胶相当。温度高于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,硫化胶的 $E'$ 逐渐接近。分析认为温度升高使橡胶分子链更容易运动,硫化胶 $E'$ 降低。在高温区,芳纶浆粕母胶的加入增大了硫化胶的 $E'$ ,这是因为芳纶浆粕形成的填料网络对橡胶大分子的运动起到了一定的限制作用,橡胶分子链变形需要克服的力变大,所以 $E'$ 增大。

芳纶浆粕种类对硫化胶 $\tan\delta$ -温度曲线的影响如图4所示。

从图4可以看出:硫化胶的 $\tan\delta$ 随着温度的升

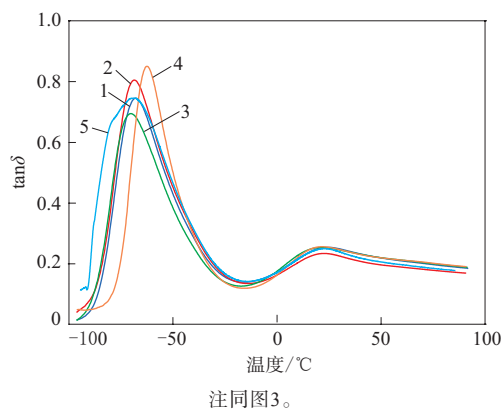


图4 芳纶浆粕种类对硫化胶 $\tan\delta$ -温度曲线的影响

高先增大后减小;芳纶浆粕母胶的加入不会影响曲线变化趋势。Kevlar 1F538和Twaron 1091芳纶浆粕母胶使硫化胶的 $\tan\delta$ 峰值增大,Twaron 1095芳纶浆粕母胶对硫化胶 $\tan\delta$ 峰值的影响较小,Kevlar 1F1710芳纶浆粕母胶减小了硫化胶的 $\tan\delta$ 峰值,Kevlar 1F538和Twaron 1095芳纶浆粕母胶能使硫化胶高温区的 $\tan\delta$ 减小。

芳纶浆粕在硫化胶中可能有两方面的作用:一是芳纶浆粕微纤限制了橡胶分子链的运动,导致硫化胶的 $\tan\delta$ 减小;二是芳纶浆粕的微纤与橡胶分子链之间产生摩擦,导致硫化胶的 $\tan\delta$ 增大。在温度很低(低于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ )时,NR处于玻璃态,运动单元被冻结, $\tan\delta$ 很小,在这个区域内,芳纶浆粕的比表面积越大,对橡胶分子链的限制作用越强,而芳纶浆粕-橡胶的摩擦几乎不存在,所以 $\tan\delta$ 最大的是添加Twaron 1095芳纶浆粕母胶的硫化胶, $\tan\delta$ 最小的是添加Twaron 1091芳纶浆粕母胶的硫化胶。随着温度的升高,橡胶分子链的自由体积增大,各运动单元开始逐渐“解冻”,此时橡胶分子链的运动滞后于外力作用,硫化胶的 $\tan\delta$ 增大。当硫化胶的 $\tan\delta$ 到达峰值时,橡胶分子链开始运动,但是完全跟不上外界作用力的速度,橡胶分子链之间的摩擦增大,此时芳纶浆粕-橡胶之间的摩擦作用占据了主导地位,添加Twaron 1091芳纶浆粕母胶的硫化胶 $\tan\delta$ 最大,添加Kevlar 1F1710芳纶浆粕母胶的硫化胶 $\tan\delta$ 最小。随着温度继续升高,橡胶分子链运动速度可以跟上外界力的变化,橡胶分子链之间的摩擦减小,硫化胶的 $\tan\delta$ 开始减小。至高温时,橡胶处于粘流态,橡胶分子链运动已经完全可以跟得上外界作用力变

化,此时添加Kevlar 1F538芳纶浆粕母胶的硫化胶 $\tan\delta$ 最小,这是由芳纶浆粕-橡胶之间的摩擦和芳纶浆粕对橡胶分子链的限制作用共同影响的结果。

### 3 结论

(1) Kevlar 1F538, Kevlar 1F1710, Twaron 1091和Twaron1095芳纶浆粕母胶均能延长NR胶料的焦烧时间,缩短正硫化时间,其中Twaron1091芳纶浆粕母胶作用效果最好,使胶料的焦烧时间延长了29.1%,有效改善了胶料的加工安全性,但会使胶料的 $G'$ 较大幅度增大。

(2) 芳纶浆粕母胶能够提高NR硫化胶的邵尔A型硬度、100%定伸应力、拉伸强度、拉伸伸长率和撕裂强度,其中Twaron 1091芳纶浆粕母胶的效果最优,相应硫化胶的拉伸强度提高了12.4%,拉伸伸长率提高了14.9%,撕裂强度提高了17.9%。

(3) 芳纶浆粕母胶能够延长NR硫化胶的伸张疲劳寿命,其中延长效果最显著的是Twaron 1091芳纶浆粕母胶,延长了35.2%,Twaron 1091芳纶浆粕母胶同时还增大了硫化胶的 $E'$ 和 $\tan\delta$ 峰值。Kevlar 1F538芳纶浆粕母胶对减小高温区硫化胶的 $\tan\delta$ 的作用较好。

### 参考文献:

- [1] 林广义,孔令伟,井源,等. 不同产地天然橡胶标准胶的微观结构和性能[J]. 橡胶工业,2018,65(6):605-611.
- [2] 王伟,马国富. 芳纶浆粕预处理方法的研究进展[J]. 特种橡胶制品,2003,24(1):54-56.
- [3] Downey J S, Tsimpris C W, Pollard A L, 等. Kevlar®对位芳纶浆粕增强橡胶的研究[J]. 轮胎工业,2012,32(7):417-422.
- [4] Nam Park, Jingyeong Seo, Kihyun Kim, et al. Sidewall-insert Compound Based on ZnO-treated Aramid Pulp Fibers for Run-flat Tires[J]. Composite Interfaces, 2016, 26(3):781-796.
- [5] 魏静勋,黎宁,廉杰,等. 芳纶复合帘线及芳纶浆粕在子午线轮胎中的应用[J]. 轮胎工业,2009,29(2):97-100.
- [6] 杨齐,张勋民,蒋化学. 对位芳纶浆粕在胎面胶中的应用[J]. 轮胎工业,2008,28(7):405-407.
- [7] 高丽萍,毛建清,黄凯,等. 芳纶浆粕母粒在全钢工程机械子午线轮胎胎面配方中的应用[J]. 轮胎工业,2018,38(8):481-484.
- [8] 吴卫东,赵冬梅,程安仁,等. 芳纶浆粕纤维在NR/BR胎面胶中的应用研究[J]. 轮胎工业,2007,27(8):472-477.
- [9] 杨青. 改性芳纶浆粕Sulfron D 3515在轮胎胎面胶中的应用[J]. 中国橡胶,2012,28(16):45-48.
- [10] 林浩,赵冬梅,程安仁. 短纤维对NR/BR基胎面胶力学性能的影响[J]. 世界橡胶工业,2007,34(9):13-16.
- [11] 苏俊杰,张文洁,姜瑞玉,等. 天然橡胶伸张疲劳结构演变及破坏发展机理分析[J]. 弹性体,2018,28(1):20-25.
- [12] 张萍,孙翀,宋新星,等. 基于伸张疲劳引发的填料-填料-橡胶相互作用演变[C]. 2015年全国高分子学术论文报告会论文摘要集——主题K 高分子加工. 北京:中国化学会高分子学科委员会, 2015.

收稿日期:2020-03-20

## Application of Aramid Pulp in NR Compound

DING Jiawei, DU Huatai, SUN Zhiyong, LI Bin, LI Hui, SUN Guohua, MA Weidong

(Shandong Institute of Non Metallic Materials, Jinan 250400, China)

**Abstract:** Four kinds of aramid pulp masterbatch were prepared by using Kevlar 1F538, Kevlar 1F1710, Twaron 1091 and Twaron 1095, and their effects on the properties of natural rubber (NR) compound were studied. The results showed that use of aramid pulp masterbatch could prolong the scorch time of the compound, shorten the optimal vulcanization time, and improve the hardness, modulus at 100% elongation, tensile strength, elongation at break, tear strength and tensile fatigue life of the vulcanizate. It was found that Twaron 1091 aramid pulp masterbatch was the best. The scorch time of the compound with Twaron 1091 aramid pulp masterbatch was prolonged by 29.1%, the tensile strength of corresponding vulcanizate increased by 12.4%, the tear strength increased by 17.9%, the tensile fatigue life was prolonged by 35.2%, and the dynamic storage modulus increased.

**Key words:** NR; aramid pulp; masterbatch; vulcanization characteristics; physical property; tensile fatigue life