

特约来稿

天然橡胶/杜仲胶并用胶的交联密度与结晶度的关系及其对性能的影响

徐志宇¹, 康海澜^{1,2}, 李东翰^{1,2}, 李政瀛¹, 方庆红^{1,2*}

(1. 沈阳化工大学 材料科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110142; 2. 沈阳化工大学 辽宁省橡胶弹性体重点实验室, 辽宁 沈阳 110142)

摘要:通过调整硫黄用量,研究天然橡胶(NR)/杜仲胶(EUG)并用胶的交联密度与结晶度的关系及其对并用胶性能的影响。结果表明:NR/EUG并用胶的交联密度与结晶度呈负相关;随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的交联密度增大, t_{10} 略有缩短, t_{90} 变化不大,硬度、耐屈挠性能和抗湿滑性能先提高后降低,滚动阻力和生热下降,储能模量波动减小;当硫黄用量为2~2.5份时,NR/EUG并用胶的交联密度和结晶度较大,物理性能、耐磨性能和抗湿滑性能较好。

关键词:天然橡胶;杜仲胶;硫黄;交联密度;结晶度;耐磨性能;耐屈挠性能;动态力学性能

中图分类号:TQ332.2/.6;TQ330.38⁺⁵

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2023)03-0163-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2023.03.0163



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

杜仲胶(EUG)是为数不多的具有橡塑二重性的高分子材料,不同于天然橡胶(NR)分子的顺式结构,EUG分子的反式结构更加规整,因此与NR相比,EUG不需要低温以及外力拉伸诱导条件就具有很高的结晶度^[1-3]。EUG在常温下表现为非弹性状态的硬性橡胶,其在较低温度下就能熔融^[4],易加工,软化点约为55℃,熔点约为65℃^[5-6]。EUG树在我国种植范围广、种植条件较为宽松,因此EUG的来源十分丰富。EUG因具有规整性较好的分子结构以及耐磨、耐腐蚀、绝缘性、热塑性好和耐水性等特点,被广泛用于汽车轮胎、航空航天、国防、船舶、化工、医疗等领域^[7-9]。

近年来,有关EUG和NR应用的研究报道较多。张蕊等^[10]研究了EUG/NR并用胶的结晶与动态力学性能,结果表明EUG中的微晶会对并用胶的性能产生影响。王潇^[11]研究了硫黄用量对反

式-1,4-聚异戊二烯(TPI)/NR并用胶物理性能的影响,但并未系统研究TPI/NR并用胶的交联密度与结晶度的关系及其对并用胶性能的影响。人们在硫黄用量对NR胶料松弛行为和形状记忆性能的影响方面也进行了相关研究。I. N. INDRAJATI等^[12]研究了硫黄用量对NR胶料松弛行为的影响,N. M. SETYADEWI等^[13]研究了硫黄用量对形状记忆NR胶料力学性能的影响。

本工作通过调整硫黄用量,研究NR/EUG并用胶的交联密度与结晶度的关系及其对并用胶性能的影响。

1 实验

1.1 主要原材料

NR,SCR WF,云南天然橡胶产业集团西双版纳景阳有限公司产品;EUG,山东贝隆杜仲生物工

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52073178);中国科学院战略性先导科技专项(A类)子课题(XDC06010206);辽宁省重点研发计划项目

作者简介:徐志宇(1996—),男,辽宁丹东人,沈阳化工大学硕士研究生,主要从事杜仲胶性能的研究。

***通信联系人:**(fqh80@126.com)

引用本文:徐志宇,康海澜,李东翰,等.天然橡胶/杜仲胶并用胶的交联密度与结晶度的关系及其对性能的影响[J].橡胶工业,2023,70(3):163-169.

Citation: XU Zhiyu, KANG Hailan, LI Donghan, et al. Relationship between crosslinking density and crystallinity of NR/EUG blend and their effects on properties[J]. China Rubber Industry, 2023, 70(3): 163-169.

程公司产品;高耐磨炭黑N330,茂名石化公司化工一厂产品;活性氧化锌,台州市黄岩东海化工有限公司产品;硬脂酸,丰益油脂科技有限公司产品;环烷油KN4010,上海香萍实业有限公司产品;防老剂4010NA,中国石化集团南京化学工业有限公司产品;硫黄和促进剂NOBS,蔚林新材料科技股份有限公司产品。

1.2 试验配方

NR 70, EUG 30, 炭黑N330 50, 氧化锌 4, 硬脂酸 2, 环烷油 3, 防老剂4010NA 1, 促进剂NOBS 1.5, 硫黄 变量。

1.3 主要设备和仪器

X(S)K-160型两辊开炼机,上海双翼橡胶机械有限公司产品;XL-QD型平板硫化机,青岛亚东橡胶集团有限公司产品;UM-2050型门尼粘度仪和DIN磨耗试验机,中国台湾优肯科技股份有限公司产品;M-3000A型无转子硫化仪、GT-7016-AR型阿克隆磨耗试验机和GT-7011-O型屈挠疲劳试验机,中国台湾高铁科技股份有限公司产品;Q200型差示扫描量热(DSC)试验机和850型动态热机械分析(DMA)仪,美国TA公司产品;LX-A型邵氏硬度计,扬州市源峰检测设备有限公司产品;3365型万能拉力试验机,美国英斯特朗公司产品。

1.4 试样制备

将NR放入开炼机中塑炼(室温),塑炼完毕后适当调大辊距,加入炭黑和环烷油,同时将EUG放入另一台开炼机中塑炼(辊温为60℃),塑炼完毕后依次加入氧化锌、硬脂酸和硫黄等,并充分混合均匀,将EUG混炼胶加入NR混炼胶中再进行混炼,待其混匀后调小辊距,打三角包5—7次,调整辊距至2~3 mm,出片,胶片停放12 h。

混炼胶在平板硫化机上进行硫化,硫化条件为143℃/10 MPa× t_{90} 。

1.5 性能测试

(1) 门尼粘度按照GB/T 1232.1—2000进行测试;硫化特性按照GB/T 16584—1996进行测试,测试温度为143℃。

(2) 结晶度(X_c)采用DSC仪测试,先以10℃·min⁻¹的升温速率将温度从40℃升高至100

℃,保温5 min,再以10℃·min⁻¹的升温速率将温度降低至-75℃,保温5 min,最后以10℃·min⁻¹的升温速率将温度升高至100℃。按照下式计算结晶度:

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_{m0}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: ΔH_m 为EUG的熔融焓,J·g⁻¹; ΔH_{m0} 为100%结晶的EUG熔融焓,其值为125.9 J·g⁻¹。

(3) 交联密度(M_c)测试过程为:采用甲苯溶剂浸泡试样48 h,取出后吸干试样表面溶剂,称其质量;将试样置于真空干燥箱中,60℃干燥至恒质量。根据Flory-Rehner公式计算 M_c :

$$M_c = -1/v \left[\frac{\ln(1-v_2) + v_2 + \chi v_2^2}{v_2^{1/3}} \right] \quad (2)$$

$$v_2 = \frac{m_2/\rho}{m_2/\rho + \frac{m_1 - m_0}{\rho_s}} \quad (3)$$

式中: χ 为NR与甲苯的相互作用参数,取0.393; v 为甲苯的物质的量体积,cm³·mol⁻¹; v_2 为橡胶占试样的体积分数; m_0 为溶胀前并用胶的质量,g; m_1 为溶胀后并用胶的质量,g; m_2 为干燥后并用胶的质量,g; ρ 为并用胶的密度,g·cm⁻³; ρ_s 为甲苯的密度,g·cm⁻³。

(4) 邵尔A型硬度按照GB/T 531.2—2009进行测试;拉伸性能按照GB/T 528—2009进行测试,拉伸速率为500 mm·min⁻¹;阿克隆磨耗量按照GB/T 1689—2014进行测试;DIN磨耗量按照GB/T 9867—2008进行测试;耐屈挠性能按照GB/T 13934—2006进行测试。

(5) 动态力学性能采用DMA仪测试,测试条件为:频率 10 Hz,温度范围 -100~100℃,升温速率 5℃·min⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 硫化特性

硫黄用量对NR/EUG并用胶硫化特性的影响如表1所示。

从表1可以看出:随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的门尼粘度总体呈微弱上升趋势,流动性略减弱,硫黄用量大于2.5份后并用胶的门尼粘度几乎不变,可见硫黄用量对并用胶门尼粘度

表1 硫黄用量对NR/EUG并用胶硫化特性的影响					
Tab. 1 Effect of sulfur dosages on vulcanization characteristics of NR/EUG blends					
项 目	硫黄用量/份				
	1.5	2	2.5	3	3.5
门尼粘度[ML(1+4)100℃]	40	42	45	43	44
硫化仪数据(143℃)					
$F_L/(dN \cdot m)$	1.47	1.58	1.55	1.46	1.62
$F_{max}/(dN \cdot m)$	12.02	15.36	16.54	17.06	18.73
$F_{max}-F_L/(dN \cdot m)$	10.55	13.78	14.99	15.60	17.11
t_{10}/min	3.88	3.33	3.33	3.07	2.97
t_{90}/min	11.33	9.70	10.75	9.78	11.27

的影响不大;NR/EUG并用胶的 F_L , F_{max} 和 $F_{max}-F_L$ 随硫黄用量的增大总体呈增大趋势,这是因为硫黄用量增大,并用胶的交联点增多,交联密度明显提高;NR/EUG并用胶的 t_{10} 随硫黄用量的增大而略有缩短,当硫黄用量为3.5份时,并用胶的 t_{10} 最短,但加工安全性仍在可控范围内;NR/EUG并用胶的 t_{90} 随硫黄用量的增大变化不大,说明硫黄用量不会影响并用胶的硫化速度。

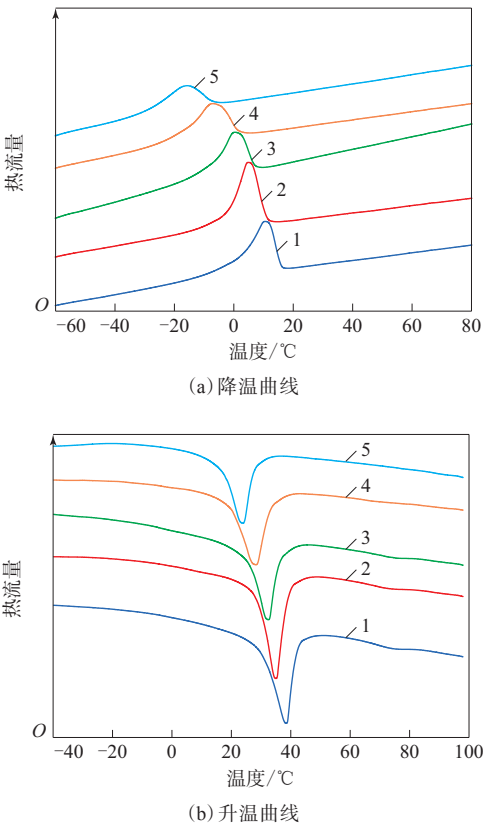
2.2 结晶性能与交联密度

不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的DSC曲线如图1所示。

从图1(a)可以看出,在硫黄用量为1.5份时,NR/EUG并用胶在约10℃处出现了明显的结晶峰,这是因为EUG分子链具有规整性,EUG与NR并用后仍可部分结晶。随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的结晶温度(T_c)从约10℃下降到约-20℃,结晶峰整体向低温方向移动,结晶焓(ΔH_c)从25.1 J·g⁻¹减小到15.0 J·g⁻¹,这是因为随着交联密度的提高,NR/EUG并用胶中EUG分子链运动的能力下降,EUG的结晶行为受到抑制,更难于结晶,结晶度降低。

从图1(b)可以看出,在硫黄用量为1.5份时,NR/EUG并用胶在约38℃处出现明显的熔融吸热峰。随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的熔融温度(T_m)从约38℃下降到约25℃,熔融峰整体向低温方向移动, ΔH_m 从25.7 J·g⁻¹减小到17.1 J·g⁻¹,说明硫黄用量越大,在升温过程中晶格熔融越容易, T_m 越低。

不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的交联密度

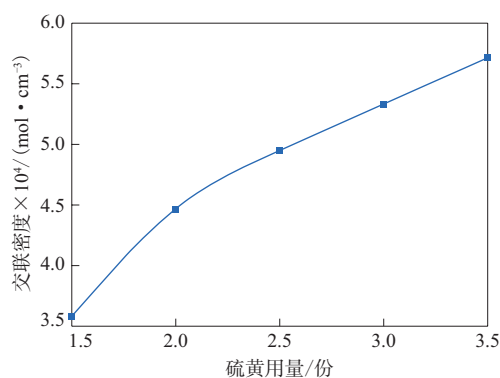


硫黄用量/份:1—1.5;2—2;3—2.5;4—3;5—3.5。

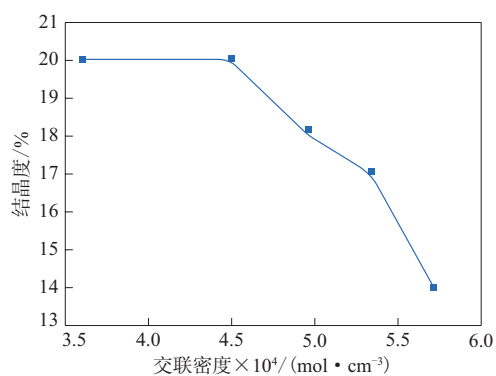
图1 不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的DSC曲线
Fig. 1 DSC curves of NR/EUG blends with different sulfur dosages
与结晶度的关系如图2所示。

从图2(a)可以看出,随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的交联密度呈明显上升趋势,这与 $F_{max}-F_L$ 随硫黄用量变化的规律相一致,这是由于硫黄用量增大,并用胶的多硫键增多。

从图2(b)可以看出,随着交联密度的升高,NR/EUG并用胶的结晶度呈现下降趋势,当硫黄用量为1.5~2份时,并用胶的结晶度变化不大,这是由于此时交联密度较低,交联网络对橡胶分子链有一定的限制作用,使得橡胶分子链在较低的温度下才能结晶,但交联网络对橡胶分子链运动的限制并不明显,因此结晶度并未明显下降。当硫黄用量大于2份时,随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的交联密度不断提高,结晶度也逐渐下降,这是因为交联密度达到一定程度后,交联网络对EUG的结晶起到了限制作用,使得结晶难度



(a) 硫黄用量与交联密度



(b) 交联密度与结晶度

图2 不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的交联密度与结晶度的关系

Fig. 2 Relationship between crosslinking densities and crystallinities of NR/EUG blends with different sulfur dosages

增大,结晶度也明显下降。可见,NR/EUG并用胶的交联密度与结晶度呈负相关。

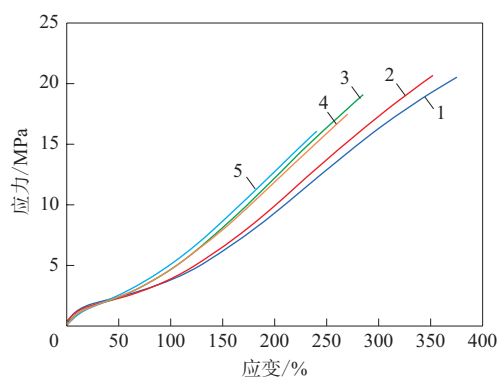
2.3 物理性能

不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的应力-应变曲线如图3所示。

从图3可以看出,在应变较小时,随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的模量增大,达到相同应变所需的应力减小。

硫黄用量对NR/EUG并用胶物理性能的影响如表2所示。

从表2可以看出:随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的硬度呈先提高后降低趋势,这是由于硫黄用量增大,并用胶的交联密度升高,硬度也随之升高,当硫黄用量超过2份时,EUG的结晶受到交联网络限制,结晶度下降,因此并用胶的硬度略有下降;NR/EUG并用胶的拉伸强度随硫黄用



注同图1。

图3 不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的应力-应变曲线

Fig. 3 Stress-strain curves of NR/EUG blends with different sulfur dosages

表2 硫黄用量对NR/EUG并用胶物理性能的影响

Tab. 2 Effect of sulfur dosages on physical properties of NR/EUG blends

项 目	硫黄用量/份				
	1.5	2	2.5	3	3.5
密度/(Mg · m ⁻³)	1.126	1.123	1.126	1.120	1.125
邵尔A型硬度/度	73	74	73	71	72
拉伸强度/MPa	20.3 ± 1.4	19.7 ± 1.8	20.0 ± 1.2	17.8 ± 1.7	16.3 ± 3.0
拉断伸长率/%	382 ± 31	334 ± 31	295 ± 15	266 ± 18	244 ± 41

量的增大呈先变化不大后下降的趋势,当硫黄用量为1.5~2.5份时,并用胶的拉伸强度几乎不变,这是因为此时EUG的结晶度并未有明显变化,当硫黄用量大于2.5份时EUG的结晶度下降明显,并用胶的拉伸强度也随之下降;NR/EUG并用胶的拉断伸长率随硫黄用量的增大而逐渐下降,这是因为并用胶的交联密度过大,阻碍了橡胶分子链的运动,使NR的拉伸诱导结晶受到影响,抵抗变形的能力降低。

2.4 耐磨性能

硫黄用量对NR/EUG并用胶磨耗量的影响如图4所示。

从图4(a)可以看出,随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的阿克隆磨耗量从0.26 cm³增大到0.59 cm³,这是由于随着硫黄用量的增大,并用胶的交联密度不断增大,阻碍了EUG的结晶,导致并用胶的强度下降,并用胶在磨耗过程中易发生

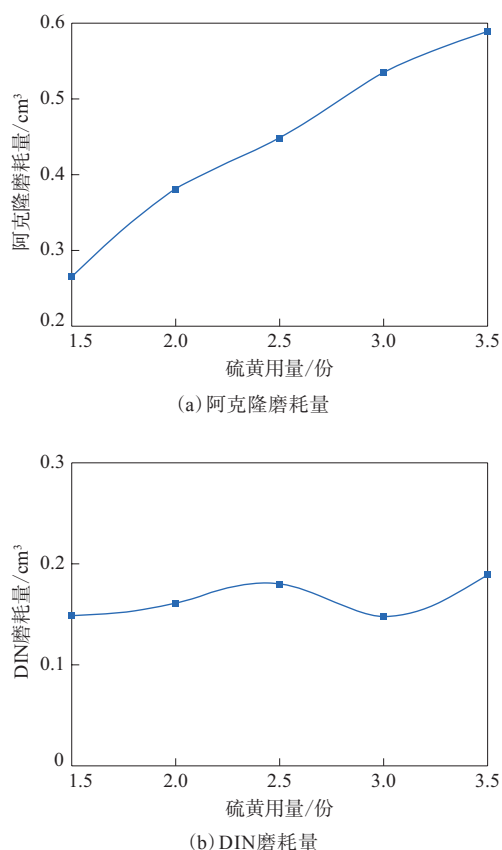


图4 硫黄用量对NR/EUG并用胶磨耗量的影响
Fig. 4 Effect of sulfur dosages on wear losses of NR/EUG blends

应力集中,因而易出现磨损。

从图4(b)可以看出,随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的DIN磨耗量没有明显变化,一直在 0.16 cm^3 上下波动,这可能与DIN磨耗时间较短有关。

2.5 耐屈挠性能

硫黄用量对NR/EUG并用胶耐屈挠性能的影响如图5所示。

从图5可以看出,随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的屈挠次数呈先增多后减少趋势。当硫黄用量为1.5~2份时,由于NR/EUG并用胶的交联密度较低,橡胶分子链较长,因此并用胶的耐屈挠性能较差;当硫黄用量为3~3.5份时,随着交联密度的不断增大,NR/EUG并用胶的强度下降且开始变脆,因而耐屈挠性能下降。当硫黄用量为2.5份时,EUG的结晶数量和交联密度都处于较

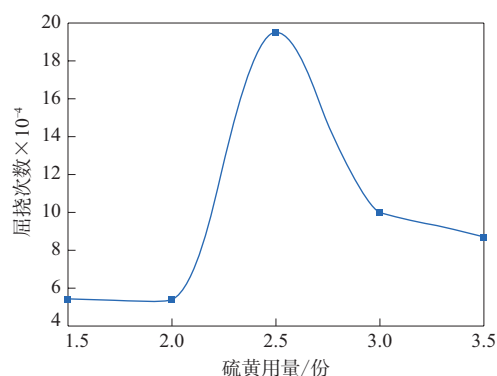


图5 硫黄用量对NR/EUG并用胶耐屈挠性能的影响
Fig. 5 Effect of sulfur dosages on flexibility resistance of NR/EUG blends

大状态,NR/EUG并用胶不易出现裂纹,其屈挠次数最多。

2.6 动态力学性能

不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的损耗因子($\tan\delta$)-温度曲线如图6所示。

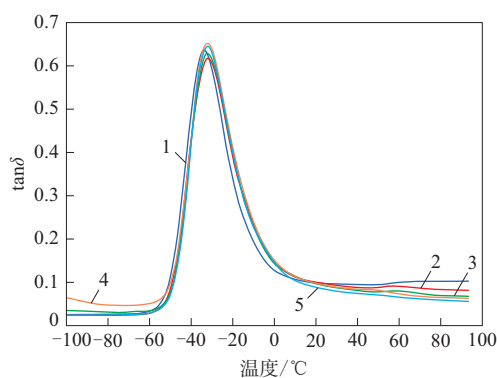
从图6(a)可以看出,随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的玻璃化温度(T_g)呈向高温方向移动趋势,这是因为硫黄用量增大,NR/EUG并用胶的交联密度提高,使橡胶分子链运动的能力下降,从而导致并用胶的 T_g 升高。

从图6(b)可以看出,随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶 0°C 时的 $\tan\delta$ 呈先增大后减小趋势,当硫黄用量为3份时并用胶的 $\tan\delta$ 最大,这说明随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的抗湿滑性能先提高后降低,当硫黄用量为3份时,并用胶的抗湿滑性能最好。

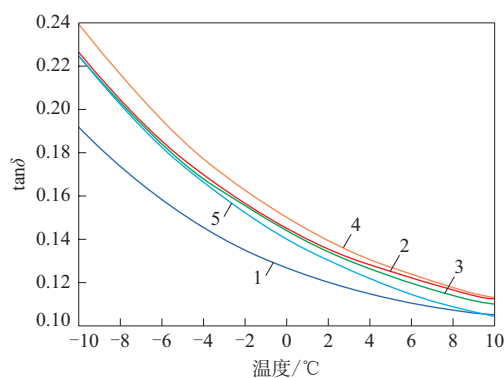
从图6(c)可以看出,随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶 60°C 时的 $\tan\delta$ 逐渐减小,这是因为硫黄用量增大,并用胶的交联密度提高,滞后损失减小,即滚动阻力和生热降低。

不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的储能模量(E')-温度曲线如图7所示。

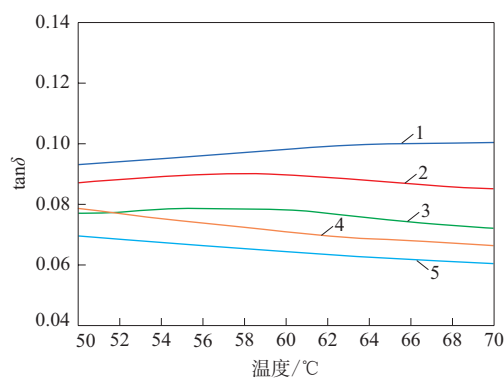
从图7可以看出:在 -45°C 时NR/EUG并用胶的 E' 出现明显下降,这是由于并用胶的玻璃化转变所引起,而在 50°C 时NR/EUG并用胶的 E' 也出现明显下降,这是由于EUG的结晶熔融所引起,且此时随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的 E'



(a) 全图



(b) 0 °C时的tanδ

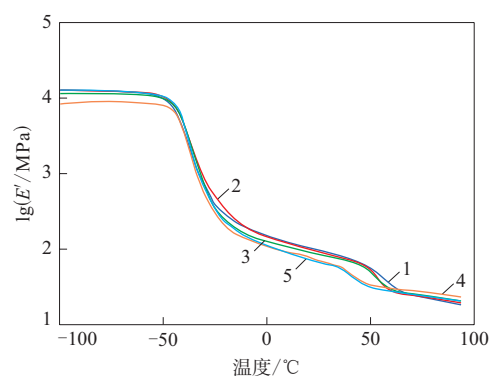


(c) 60 °C时的tanδ

注同图1。

图6 不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的tanδ-温度曲线
Fig. 6 tanδ-temperature curves of NR/EUG blends with different sulfur dosages

逐渐减小,这是由于EUG的结晶度下降所导致;随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的 E' 波动减小,在40~50 °C之间尤为明显,这是因为硫黄用量增大导致并用胶的交联密度提高,限制了EUG结晶的形成,并用胶中的结晶减少。



注同图1。

图7 不同硫黄用量的NR/EUG并用胶的 E' -温度曲线
Fig. 7 E' -temperature curves of NR/EUG blends with different sulfur dosages

3 结论

(1) 随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的门尼粘度变化很小, t_{10} 略有缩短,加工安全性略有降低, t_{90} 变化不大, F_L 和 F_{max} 呈增大趋势。

(2) 随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的交联密度增大,结晶峰面积减小,结晶度降低;结晶峰向低温方向移动,结晶难度增大。

(3) 随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的硬度先提高后降低,拉伸强度和拉伸伸长率降低,阿克隆磨耗量增大,DIN磨耗量变化不大,耐屈挠性能先提高后降低。

(4) 随着硫黄用量的增大,NR/EUG并用胶的 T_g 向高温方向移动,0 °C时的tanδ先增大后减小,60 °C时的tanδ逐渐减小,即抗湿滑性能先提高后降低,滚动阻力降低;NR/EUG并用胶的 E' 波动减小。

参考文献:

- [1] 朱峰,岳红,祖恩峰,等. 杜仲胶对三元共混硫化胶性能的影响[J]. 西安理工大学学报,2006,22(1):99-101.
ZHU F, YUE H, ZU E F, et al. The effects of gutta upon properties of vulcanizate of ternary blends[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2006, 22(1): 99-101.
- [2] 许振川,方庆红,杨凤,等. 杜仲籽壳过氧化氢预处理对杜仲橡胶提取率的影响[J]. 橡胶工业,2021,68(7):508-515.
XU Z C, FANG Q H, YANG F, et al. Effect of hydrogen peroxide pretreatment of eucommia seed shell on extraction rate of EUG[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(7): 508-515.

- [3] 冷泽健,岳盼盼,陈婕,等. 天然杜仲胶的改性及应用研究进展[J]. 生物质化学工程,2021,55(6):49-58.
LENG Z J, YUE P P, CHEN J, et al. Research progress on modification and application of natural eucommia ulmoides gum[J]. Biomass Chemical Engineering, 2021, 55(6):49-58.
- [4] 林春玲,岳红,朱峰,等. 杜仲胶/天然橡胶/顺丁橡胶并用胶的工艺研究[J]. 中国胶粘剂,2008,17(2):40-44.
LIN C L, YUE H, ZHU F, et al. Study on technology of vulcanization gutta-percha/NR/BR blend[J]. China Adhesives, 2008, 17(2):40-44.
- [5] TANGPAKDEE J, TANAKA Y, SHIBA K I, et al. Structure and biosynthesis of trans-polyisoprene from eucommia ulmoides[J]. Phytochemistry, 1997, 45(1):75-80.
- [6] ANANDAKUMARAN K, HERMAN W, WOODWARD A E. Noncrystalline component in dilute-solution-grown crystals of trans-1,4-polyisoprene[J]. Macromolecules, 1983, 16(4):563-567.
- [7] 杜红岩,谢碧霞,邵松梅. 杜仲胶的研究进展与发展前景[J]. 中南林学院学报,2003,23(4):95-99.
DU H Y, XIE B X, SHAO S M. Prospects and research progress of gutta-percha[J]. Journal of Central South Forestry University, 2003, 23(4):95-99.
- [8] 冯志博,张继川,张天鑫,等. 杜仲橡胶的研究现状与发展前景[J]. 橡胶工业,2017,64(10):630-635.
FENG Z B, ZHANG J C, ZHANG T X, et al. Research status and development prospect of eucommia ulmoides gum[J]. China Rubber Industry, 2017, 64(10):630-635.
- [9] 何子锋,吴晨静,马勇,等. 杜仲橡胶在全钢载重子午线轮胎胎面胶中的应用[J]. 轮胎工业,2021,41(7):438-441.
HE Z F, WU C J, MA Y, et al. Application of eucommia ulmoides gum in tread compound of TBR tire[J]. Tire Industry, 2021, 41(7):438-441.
- [10] 张蕊,杨凤,方庆红. 杜仲/天然共混硫化胶的结晶与动态力学性能[J]. 高分子材料科学与工程,2015,31(9):106-111,116.
ZHANG R, YANG F, FANG Q H. Crystallization and dynamic mechanical properties of eucommia ulmoide gum/natural rubber blends[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2015, 31(9):106-111, 116.
- [11] 王潇. 反式-1,4-聚异戊二烯/天然橡胶并用胶的阻尼与低温性能研究[D]. 广州:华南理工大学,2014.
- [12] INDRAJATI I N, SETYORINI I. Relaxation behavior of natural rubber composites based on Mooney stress relaxation and rheometer data[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 541(1):012009.
- [13] SETYADEWI N M, INDRAJATI I N, DARMAWAN N. Mechanical properties and curing characteristics of shape memory natural rubber[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 541(1):012012.

收稿日期:2022-10-06

Relationship between Crosslinking Density and Crystallinity of NR/EUG Blend and Their Effects on Properties

XU Zhiyu, KANG Hailan, LI Donghan, LI Zhengying, FANG Qinghong

(Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142, China)

Abstract: The relationship between the crosslinking density and crystallinity of natural rubber (NR) / eucommia ulmoides rubber (EUG) blend and their influence on the properties of the blend were studied by adjusting the sulfur dosage. The results showed that the crosslinking density of NR/EUG blend was negatively correlated with the crystallinity. With the increase of sulfur dosage, the crosslinking density of NR/EUG blend was increased, the t_{10} was slightly shortened, the t_{90} changed little, the hardness, flexural resistance and wet skid resistance increased at first and then decreased, the rolling resistance and heat build-up decreased, and the fluctuation of the storage modulus decreased. When the sulfur dosage was 2~2.5 phr, the crosslinking density and crystallinity of NR/EUG blend were larger, and the physical properties, wear resistance and wet skid resistance were better.

Key words: NR; EUG; sulfur; crosslinking density; crystallinity; wear resistance; flexural resistance; dynamic mechanical property