

环己烷混合液对定子橡胶摩擦磨损行为影响的研究

宋雪威, 吕晓仁*

(沈阳工业大学 机械工程学院, 辽宁 沈阳 110870)

摘要:研究丁腈橡胶(NBR)与氟橡胶(FPM)在环己烷与基础油(20#机油)混合液中浸泡溶胀和摩擦磨损行为。结果表明:在环己烷混合液中,随着浸泡时间的延长,NBR的质量、硬度和弹性模量变化较大,FPM的质量、硬度和弹性模量变化很小;随着混合液中环己烷比例和负荷的增大,NBR和FPM的磨损量和摩擦因数均增大,FPM的快速磨损转变点的负荷大于NBR;混合液中环己烷比例和负荷较小时,FPM的磨痕较轻;混合液中环己烷比例和负荷较大时,定子橡胶应选择性能更优的FPM,混合液中环己烷比例和负荷较小时,可以选择性价比高的NBR。

关键词:定子橡胶;丁腈橡胶;氟橡胶;环己烷;混合液;溶胀;摩擦磨损

中图分类号:TQ336.4⁺2;TQ333.7/.93

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2020)01-0023-07

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2020.01.0023



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

在石油开采中,由于高温、高压、砂石和腐蚀性等恶劣环境,螺杆泵定子橡胶常常发生溶胀、磨损和老化等现象,使其致密度减小,性能降低。定子橡胶的失效直接关系到螺杆泵的使用寿命,它必须具有良好的使用性能^[1-3]。目前螺杆泵定子橡胶主要有丁腈橡胶(NBR)、羧基丁腈橡胶、氢化丁腈橡胶(HNBR)、氟橡胶(FPM)以及NBR/聚氯乙烯(PVC)共混胶等^[4]。

近年来,人们十分关注橡胶材料在水和腐蚀性液体等介质中的溶胀老化现象及其对物理性能的影响。李美华等^[5]研究表明:NBR在不同甲醇比例的溶液中浸泡后尺寸变化率较小,物理性能显著下降;FPM在汽油中浸泡后各项性能的变化均较小。李国钦等^[6]将FPM、聚氨酯橡胶、NBR和HNBR的O形圈在M100甲醇汽油、M85甲醇汽油和93#汽油中浸泡,发现FPM的O形圈耐介质性最好。陈勇等^[7]研究表明,NBR在柴油中既有溶胀也有溶缩现象,因此NBR在柴油中浸泡后质量增大,体积却不一定增大。王慧明等^[8]研究表明,溶胀

过程中溶剂进入NBR交联网络结构的同时,增塑剂DOP被抽出,溶胀后NBR物理性能下降。橡胶在液体介质中的老化影响其摩擦磨损进程,在不同腐蚀介质中橡胶的摩擦磨损进程不同,目前关于不同程度腐蚀介质中橡胶摩擦特性的研究报道不多。

本工作采用螺杆泵定子橡胶常用的NBR和FPM为试验对象,以石油环烷烃中具有代表性的环己烷与基础油(20#机油)的混合液为腐蚀性介质,研究不同浸泡时间下两种橡胶的物理性能和摩擦磨损行为,以期为螺杆泵定子橡胶的选择提供理论依据。

1 实验

1.1 主要原材料

NBR,牌号N41,中国石油兰州石化公司产品;FPM,牌号2463,中昊晨光化工研究院有限公司产品。

1.2 基本配方

NBR配方为:NBR 100,炭黑 50,氧化锌 2.5,硬脂酸 2,增塑剂 10,硫化剂 1.5,促进剂 2。

FPM配方为:FPM 100,填充剂 40,吸酸剂

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50875178);辽宁省高等学校创新人才支持计划项目(LR2017022)

作者简介:宋雪威(1993—),男,辽宁辽阳人,沈阳工业大学在读硕士研究生,主要从事橡胶的摩擦磨损行为研究。

*通信联系人(xrlvsut@126.com)

10,防焦剂 0.5,硫化剂 3,促进剂 0.5,其他助剂 2.5。

1.3 主要设备和仪器

XK-160型开炼机和XLB-DQ 400×400×2型平板硫化机,青岛亚东机械有限公司产品;BS224S型电子天平,德国赛多利斯公司产品;LX-D型邵氏硬度计,北京沃威科技有限公司产品;MPV-200型往复式摩擦磨损试验机,山东普业机电有限公司产品;RH型弹性模量测量仪,扬州市韧恒机械厂产品;VHX-900F型数码显微系统,日本基恩士公司产品。

1.4 试样制备

在开炼机上放入母胶后,加入炭黑和小料,共混8 min;然后加入硫黄和促进剂共混,打三角包、打卷各5次,下片。混炼胶在室温下停放12 h以上,在平板硫化机上硫化(120 °C/15 MPa×10 min)。

1.5 性能测试

(1) 按GB/T 1690—2006进行浸泡试验,将NBR和FPM浸泡于5种混合液[A(环己烷)、B(质量比为75/25的环己烷/基础油混合液)、C(质量比为50/50的环己烷/基础油混合液)、D(质量比为25/75的环己烷/基础油混合液)和E(基础油)]中,浸泡时间为0~7 d,测量溶胀前后的质量、邵尔A型硬度及弹性模量变化,取3次平行试验数据的平均值。

(2) 利用往复式摩擦磨损试验机对NBR和FPM在环己烷混合液中进行磨损试验,往复频率为0.5 Hz,距离为20 mm,负荷分别为25,50,75,100和125 N,摩擦时间为7 200 s。试验结束后分别用丙酮、酒精在超声波清洗器中清洗磨损试样10 min,再置于100 °C的烘箱中烘1 h。采用电子天平称量磨损前后的试样质量,取3次平行试验数据的平均值。

2 结果与讨论

2.1 浸泡前后橡胶质量变化量

图1示出了浸泡时间对NBR和FPM在环己烷混合液中浸泡前后质量变化的影响。

由图1可知:环己烷比例较大时,NBR和FPM的质量变化均随着时间的延长而先增大,后趋于

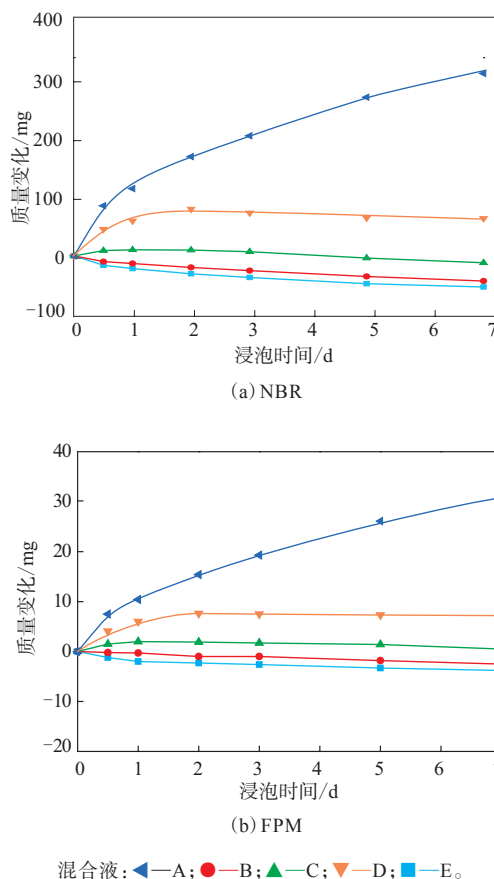


图1 浸泡时间对NBR和FPM质量变化量的影响

平稳;NBR的质量变化明显大于FPM,产生此现象的原因与溶解度参数(SP)相近则相溶的原则有关^[9],环己烷的SP值为8.2,NBR的SP值为8.7~8.9,FPM的SP值为6.2~7.1^[10],环己烷更容易渗透入NBR的交联网络结构。混合液中环己烷比例较小,即以基础油为主时,浸泡后期NBR质量出现负增长,主要是由于增塑剂析出导致,而FPM中由于存在氟原子,分子间作用力增大,致密程度高,因此增塑剂析出量较小,其质量随着时间的延长变化很小。

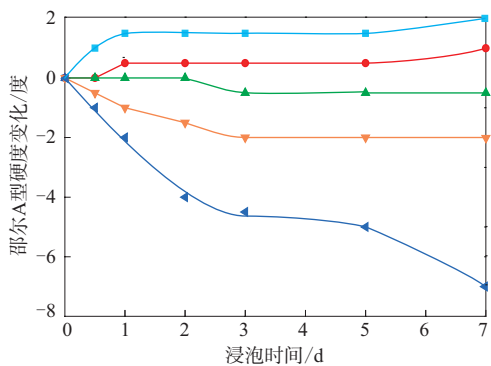
表1示出了NBR和FPM在混合液中浸泡后颜色的变化情况。从表1可以看出:随着混合液中基础油比例的增大,NBR和FPM的颜色逐步加深;NBR在环己烷中浸泡1 d后,颜色发生了一定变化,而FPM几乎没有变化;浸泡7 d后,两种橡胶的颜色都加深,NBR加深的程度大于FPM。NBR和FPM颜色的变化反映了物质析出与介质渗入,从而较好地证实了图1中的结果。

表1 NBR和FPM在混合液中浸泡后颜色的变化

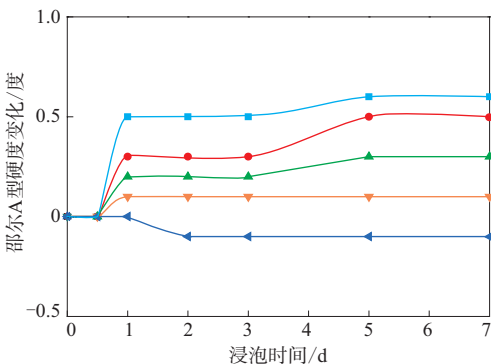
浸泡时间/d	A	B	C	D	E
NBR					
1	微黄	浅黄	较黄	黄色	深黄
7	较黄	较黄	黄色	深黄	深黄
FPM					
1	无色透明	微黄	较黄	黄色	深黄
7	微黄	浅黄	较黄	黄色	深黄

2.2 浸泡前后橡胶硬度变化

图2示出了浸泡时间对NBR和FPM在混合液中浸泡前后邵尔A型硬度变化的影响。



(a) NBR



(b) FPM

注同图1。

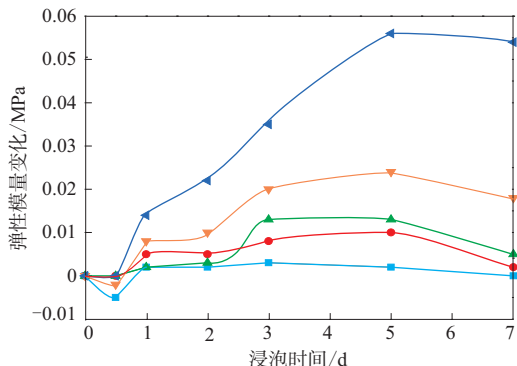
图2 浸泡时间对NBR和FPM邵尔A型硬度变化的影响

从图2可以看出,混合液中环己烷比例较大时,随着浸泡时间的延长,NBR的邵尔A型硬度变化程度增大,而FPM的邵尔A型硬度略有变化。分析认为,环己烷分子与橡胶分子网络接触后,两者间的作用力大于橡胶分子之间的作用力,破坏了交联点,因此硬度变化;由于进入NBR的环己烷比FPM多,导致NBR硬度变化更大。混合液中环己烷比例较小时,NBR和FPM的邵尔A型硬度变化都

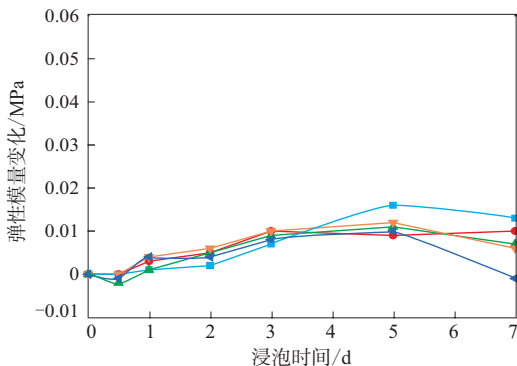
随着时间的延长而先增大,后趋于平稳,这可能是由于基础油进入橡胶内部后,发生了结构化反应,支化交联使橡胶表面硬度变化^[11]。

2.3 浸泡前后橡胶弹性模量变化

图3示出了浸泡时间对NBR和FPM在混合液中浸泡前后弹性模量变化的影响。



(a) NBR



(b) FPM

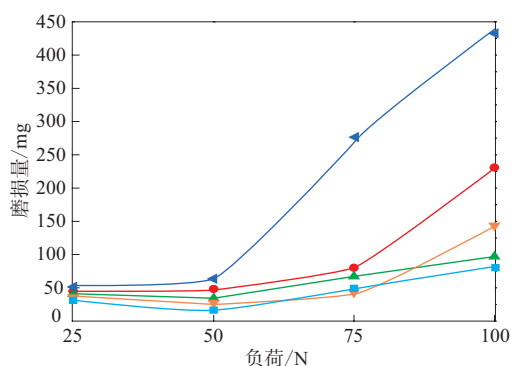
注同图1。

图3 浸泡时间对NBR和FPM弹性模量变化的影响

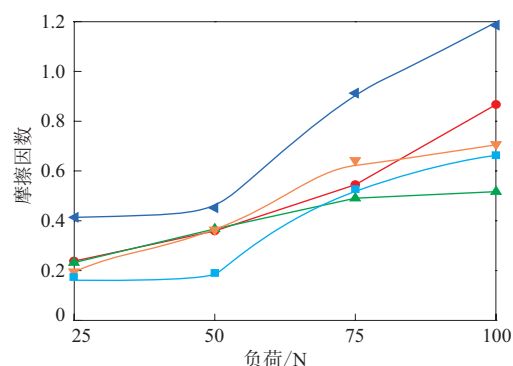
从图3可以看出,混合液中环己烷比例较大时,NBR弹性模量变化明显较大,且为正增长。这是由于NBR的交联网络结构中渗入的液体介质要多于FPM,NBR的弹性模量变化大于FPM;液体分子进入NBR后,NBR呈现膨胀趋势,受力后压缩量变小,导致回弹值增大,故弹性模量增大。NBR和FPM在混合液中浸泡0.5 d内,其弹性模量略有负增长,这可能与刚开始浸泡时物质析出占主导地位、渗入介质尚未起到填充作用有关。

2.4 摩擦磨损量

图4示出了NBR和FPM在混合液中摩擦磨损



(a) NBR



(b) FPM

注同图1。

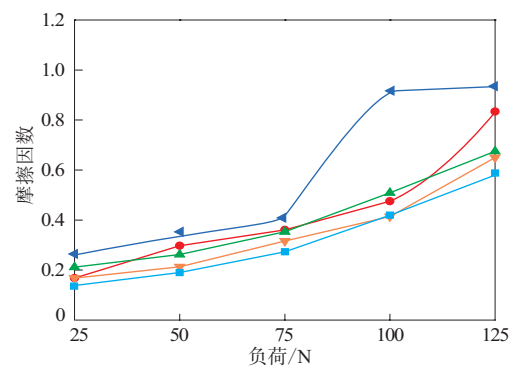
图4 NBR和FPM在混合液中的磨损量

后的磨损量曲线。

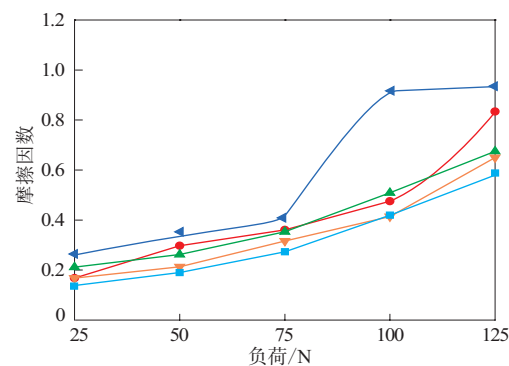
从图4可以看出,随着负荷的增大,NBR和FPM的磨损量先缓慢增大,后快速增大。NBR的快速磨损转变点在50 N左右,而FPM的快速磨损转变点在100 N左右,表明FPM抗剪切和耐磨性能强于NBR。在基础油中,NBR和FPM的磨损量均最小,耐磨性能较好。随着混合液中环己烷比例的增大,NBR和FPM的磨损量呈上升趋势,这是环己烷作为腐蚀性液体对橡胶的交联网状结构的破坏程度大造成的。

图5示出了NBR和FPM在混合液中磨损时的摩擦因数曲线。

从图5可以看出,随着负荷的增大,NBR和FPM的摩擦因数均呈增大趋势。在环己烷中,100 N负荷下NBR的摩擦因数为1.2,而125 N负荷下FPM摩擦因数不到1.0,表明FPM摩擦表面的减摩程度高于NBR;在环己烷中添加基础油后,摩擦对NBR和FPM的交联网络结构的破坏程度逐步降



(a) NBR



(b) FPM

注同图1。

图5 NBR和FPM在混合液中的摩擦因数

低,NBR和FPM表面的破坏程度减弱,摩擦因数逐步减小。

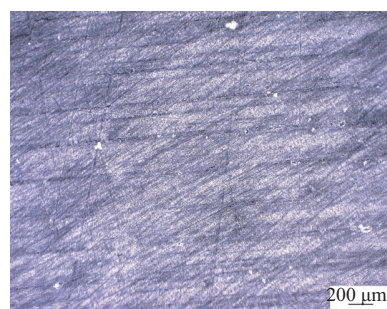
2.5 摩擦磨损表面形貌分析

为了更好地研究NBR和FPM的摩擦磨损情况,对其磨痕表面进行分析。图6示出了在C混合液中不同负荷下NBR磨损的表面形貌。

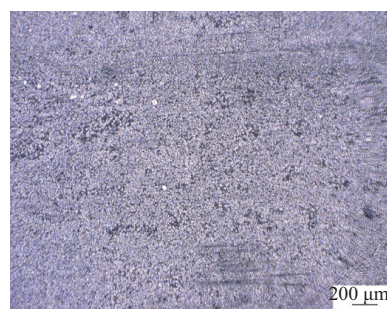
从图6可以看出:随着负荷的增大,NBR表面的破坏程度逐步增大,在25 N负荷下,NBR表面已开始出现明显划痕;负荷继续增大,凹坑和磨痕趋于明显;当负荷达到75 N及以上时,已出现明显的犁沟和山脊状花纹。通过不同负荷下NBR磨痕形貌,可以清晰地看出NBR快速磨损的转变点,这较好地证实了图4中的NBR磨损转变点。

图7示出了在不同混合液中50 N负荷下NBR磨损的表面形貌。

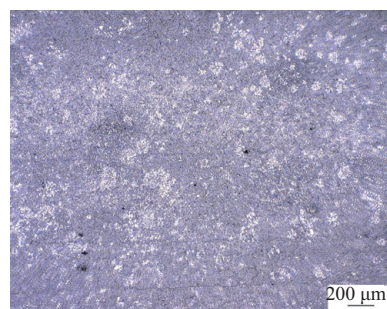
从图7可以看出,随着混合液中环己烷比例的增大,NBR表面的破坏程度逐步加大,在环己烷比例达到75%及以上时,NBR表面已完全被破坏。



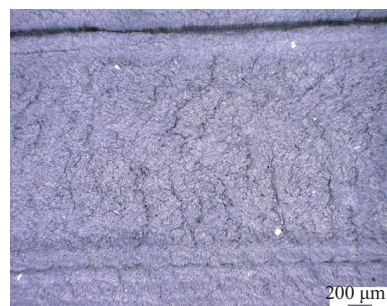
(a) 负荷25 N



(b) 负荷50 N



(c) 负荷75 N



(d) 负荷100 N

图6 在C混合液中不同负荷下NBR磨损的表面形貌分析认为,环己烷比例较大时,大量的环己烷渗入到NBR中,破坏了NBR的交联网络结构,NBR表面出现裂纹和孔洞,NBR的抗剪切能力降低,耐磨性急剧下降^[12]。在基础油中,NBR表面的破坏程度较小,基础油可以产生一定的润滑作用,NBR表面

只是出现轻微的磨痕。

图8示出了在B混合液中在25和100 N负荷下NBR和FPM磨损的表面形貌。

从图8可以看出:在25 N负荷下NBR表面已出现明显的孔洞与沟痕,在100 N负荷下可见明显裂纹与缺损;在25 N负荷下FPM表面几乎没有磨痕,在100 N负荷下也只是出现细小的孔洞。

综上可知,混合液中环己烷比例和负荷对NBR表面磨损的影响很大。在相同条件下,FPM的磨损量和摩擦因数比NBR都小,且磨损表面的沟痕和孔洞较小,其耐磨性能较NBR好。

3 结论

(1) 在环己烷混合液中,随着浸泡时间的延长,NBR的质量、硬度和弹性模量变化较大,FPM的质量、硬度和弹性模量变化很小。

(2) 在环己烷混合液中,NBR在50 N负荷下出现快速磨损转变点,而FPM的快速磨损转变点则在100 N负荷下。在相同的混合液和负荷作用下,NBR的表面磨损程度远远大于FPM。

(3) 混合液中环己烷比例和负荷较小时,FPM磨痕较轻。

(4) 混合液中环己烷比例和负荷较大时,定子橡胶应选择性能更优的FPM,而在混合液中环己烷比例和负荷较小时,可以选择性价比高的NBR。

参考文献:

- [1] 盖伟涛. 螺杆泵定子橡胶动态疲劳性能评价新方法[J]. 石油矿场机械, 2013, 42(11): 9-12.
- [2] Wang Y M, Liu L, Luo Y F, et al. Aging Behavior and the Thermal Degradation of Fluoro Elastomer Reactive Blends with Poly-phenol Hydroxyl EPDM[J]. Polymer Degradation and Stability, 2009, 94: 443-449.
- [3] 李涛, 辛振祥. 螺杆钻具定子衬胶工艺对橡胶与金属粘合强度的影响[J]. 橡胶工业, 2015, 62(8): 485-489.
- [4] 李营. 采用螺杆泵定子橡胶及其性能的改进探究[J]. 科技创新与应用, 2016(11): 109.
- [5] 李美华, 杨维成, 郝敏, 等. 不同比例甲醇汽油对橡胶的溶胀影响研究[J]. 广州化工, 2014, 42(12): 50-53.
- [6] 李国钦, 谢宁, 李威威, 等. 不同比例甲醇汽油对橡胶圈的溶胀性实验[J]. 化学工程与装备, 2014(6): 44-46.
- [7] 陈勇, 李萍. 螺杆泵定子用丁腈橡胶溶胀性能的研究[J]. 橡胶科技

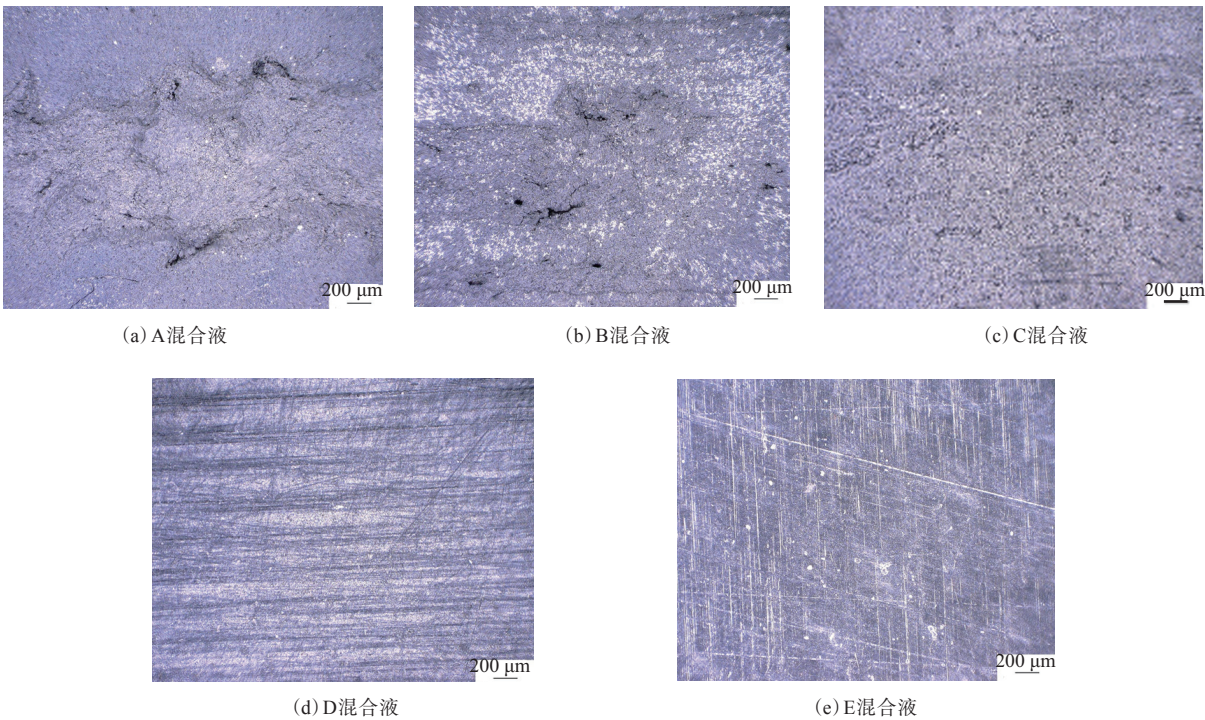


图7 在不同混合液中50 N负荷下NBR磨损的表面形貌

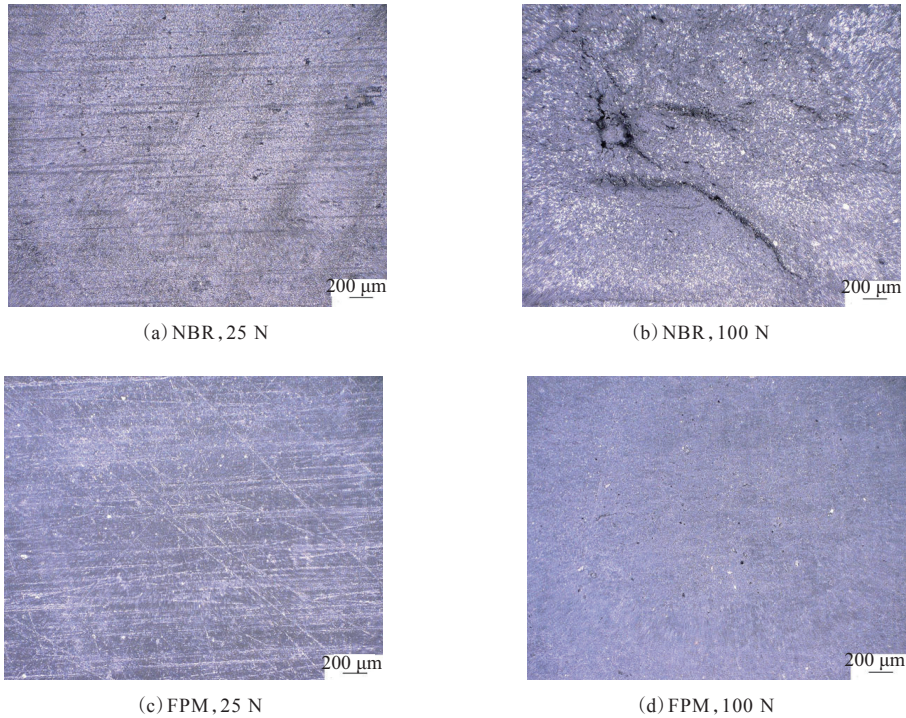


图8 在B混合液中不同负荷下NBR和FPM磨损的表面形貌

市场,2008,6(12):21-23.

[8] 王慧明,吕晓仁,王世杰. 环己烷对潜油螺杆泵定子丁腈橡胶溶胀的影响[J]. 石油化工设备技术,2014,35(5):55-58.

[9] 吴力力,丁玉奎,甄建伟. 利用溶解度参数分析单兵云爆弹失效原因[J]. 火力与指挥控制,2018,43(2):125-128.

[10] 常冠军. 橡胶常用数据速查手册[M]. 北京:国防工业出版社,2012:6-7.

[11] 师建军,秦亚伟,牛慧,等. 橡胶相具有交联结构的新型抗冲聚丙烯

烯合金[J]. 高分子学报, 2013(4): 576-582.

的影响[J]. 润滑与密封, 2015, 40(9): 30-34.

[12] 王慧明, 吕晓仁, 王世杰. 原油温度对丁腈橡胶溶胀及耐磨损性能

收稿日期: 2019-09-16

Effect of Cyclohexane on Friction and Wear Behavior of Stator Rubber

SONG Xuwei, LYU Xiaoren

(Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, China)

Abstract: The swelling characteristics, friction and wear behaviors of nitrile-butadiene rubber (NBR) and fluoropolymer (FPM) in the mixture of cyclohexane and base oil (20[#] engine oil) were studied. The results showed that, in cyclohexane mixture solution, with the increase of immersion time, the mass, hardness and modulus of elasticity of NBR changed greatly, but those properties of FPM changed little. With the increase of cyclohexane ratio in the mixture or load, the frictional wear amount and friction coefficient of NBR and FPM increased, and the load of the fast frictional wear transition point of FPM was greater than that of NBR. When the cyclohexane ratio and the load was small, the wear of FPM was very light, but NBR could be used since its cost was lower. When the cyclohexane ratio or the load became large, FPM should be selected for stator rubber due to its better performance.

Key words: stator rubber; NBR; FPM; cyclohexane; mixture solution; swelling; friction and wear

Hercules公司 Strong Guard 产品系列新增区域驱动轮胎 美国《现代轮胎经销商》(www.moderntiredealer.com) 2019年10月14日报道如下。

Hercules轮胎橡胶公司已经扩大了其Strong Guard卡车轮胎系列产品, 增加了Strong Guard HDO区域驱动轮胎, 如图1所示。



图1 Strong Guard HDO区域驱动轮胎

该轮胎具有独特的胎面和胎侧设计, 抗刮擦防护适于易刮擦路况, 肩部花纹块特殊角度的花纹沟有助于推开胎面底部的石块。

根据Hercules公司官方声明, 它还具有如下特点。

(1) Gen-H胎面胶可以延长行驶里程, 具有

出色的湿地牵引性和稳定的操控性。

(2) 具有开放式胎肩花纹设计, 可提高所有路况下的自洁能力, 同时提升牵引力。

(3) 采用3D刀槽花纹, 在干/湿条件下的操控性提高, 防止不规则磨损; 通过联锁胎面花纹块可以提高刚度、减少变形。采用比上一代卡车轮胎宽12%的胎面, 可以提供更大的接地面积, 从而提高车辆的稳定性、延长行驶里程。

Hercules公司商业产品经理Marshall Gillespie说: “我们认真听取轮胎经销商和车主的反馈意见, 采用最新材料和技术以及更宽的胎面, 开发了Strong Guard HDO轮胎, 它可以提供更长的行驶里程及更好的车辆稳定性和牵引性。”

Strong Guard HDO轮胎有8个规格, 轮辋直径范围为495~622 mm (19.5~24.5英寸)。

Hercules公司官方表示, 所有Hercules卡车轮胎都有7年的“有限担保”, 包括由于工艺和材料问题, 在轮胎使用寿命的前50%时间内均可以免费更换轮胎。

(和燕摘译 吴秀兰校)