

产品·设计

配方和结构对履带销胶环疲劳寿命的影响研究

景玉龙, 赵鑫, 江美娟, 杜明欣, 杜华太, 杨兴娟
(山东非金属材料研究所, 山东 济南 250031)

摘要:设计2种配方(炭黑用量为50份和40份)和3种结构(矩形、梯形和圆弧形)的履带销胶环,研究配方和结构对其疲劳寿命的影响。结果表明:炭黑用量小的配方履带销胶环的疲劳寿命比炭黑用量大的配方履带销胶环长;圆弧形结构履带销胶环的两侧应力小于矩形结构履带销胶环,且圆弧形结构履带销胶环的应力分布相对均匀,根部应力小于梯形结构履带销胶环。配方炭黑用量小和圆弧形结构履带销胶环的疲劳寿命长。

关键词:履带销胶环;疲劳寿命;配方;结构;炭黑用量;应力

中图分类号:TQ336.8

文献标志码:A

文章编号:1000-890X(2022)04-0299-05

DOI:10.12136/j.issn.1000-890X.2022.04.0299



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

履带销主要起到连接履带板作用,是履带式车辆行走系统的重要部件,在使用过程中通过自身的压、扭传递牵引力^[1-5]。履带销胶环过早出现裂纹、穿孔等缺陷是导致履带节距增大、负重轮爬齿和脱带的主要原因,履带销胶环的疲劳寿命直接决定履带的使用寿命,进而影响整车的机动性与可靠性^[6-10]。

目前针对履带销胶环的胶料性能、结构设计和疲劳寿命三者之间的关系研究较少。本工作设计2种配方和3种结构的履带销胶环,并研究配方和结构对其疲劳寿命的影响,以期为延长履带的使用寿命提供技术支持。

1 实验

1.1 原材料

天然橡胶(NR),1#烟胶片,印度尼西亚国营第九农园公司产品;炭黑N330,青州博奥炭黑有限责任公司产品;氧化锌,柳州中色锌品有限责任公司产品;硬脂酸,高密市金福祥助剂有限公司产品;防老剂4010NA,青岛海飞化学有限公司产品;防

老剂RD和促进剂MBTS,连云港锐巴化工有限公司产品;硫黄,临沂国奥有限公司产品;其余助剂均为市售品。

1.2 试验配方

NR 100,炭黑N330 变量(1#配方 50,2#配方 40),氧化锌 5,硬脂酸 2,防老剂4010/RD 2.5,硫黄 2.5,促进剂MBTS 1。

1.3 主要设备和仪器

5 L密炼机和JIC-725型两辊开炼机,威福兴机械(上海)有限公司产品;M-3000 AU新型密闭式无转子硫化仪,高铁检测仪器(东莞)有限公司产品;200 t真空平板硫化机,磐石油压工业(安徽)有限公司产品;LX-A型邵尔A型硬度计,东莞市科锐仪器科技有限公司产品;CMT4104型电子拉力试验机,深圳市新三思材料检测有限公司产品;JNP-50型挂胶履带销胶环扭转疲劳试验机,济南竞成测试技术有限公司产品。

1.4 试样制备

1.4.1 混炼胶制备

在5 L密炼机中先加入3 kg NR塑炼1.5 min,

基金项目:山东省重点研发计划项目(2018JMRH0202)

作者简介:景玉龙(1988—),男,山东济南人,中国兵器工业集团第五三研究所工程师,硕士,主要从事特种橡胶材料性能及制品研究工作。

E-mail:273326759@qq.com

引用本文:景玉龙,赵鑫,蒋美娟,等.配方和结构对履带销胶环疲劳寿命的影响研究[J].橡胶工业,2022,69(4):299-303.

Citation: JING Yulong, ZHAO Xin, JIANG Meijuan, et al. Study on influence of formula and structure on fatigue life of track pin rubber ring[J]. China Rubber Industry, 2022, 69(4): 299-303.

再按配方比例加入炭黑N330、氧化锌、硬脂酸、防老剂4010NA和防老剂RD,充分混炼5 min后排胶,随后在开炼机上薄通下片。一段混炼胶放置24 h后在开炼机上进行二段混炼,胶料包辊后加入硫磺和促进剂MBTS,打三角包5个,薄通8—10次,混炼均匀后下片,即得NR混炼胶。

1.4.2 硫化胶制备

将NR混炼胶置于真空平板硫化机上硫化,硫化条件为 $143\text{ }^{\circ}\text{C}\times 20\text{ min}$,硫化胶片厚度为2 mm。硫化胶停放12 h后进行裁样及性能测试。

1.4.3 履带销胶环的制备

设计3种履带销胶环结构,如图1所示。3种履带销胶环的体积相同而结构不同(结构1为矩形,结构2为梯形,结构3为圆弧形),其在疲劳过程中的应力分布不同。

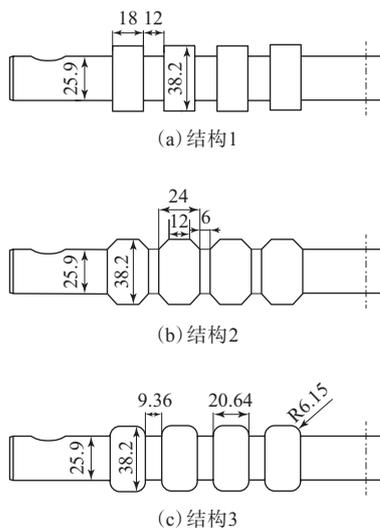


图1 3种履带销胶环结构

Fig. 1 Three types of track pin rubber ring structures

将1[#]和2[#]配方NR混炼胶与涂覆胶粘剂的金属件在 $143\text{ }^{\circ}\text{C}\times 20\text{ min}$ 的硫化条件下制得3种结构的履带销胶环,用于对比不同配方和不同结构的履带销胶环的疲劳寿命。

1.5 性能测试

(1) 邵尔A型硬度:采用邵尔A型硬度计按照GB/T 531.1—2008《硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第1部分:邵氏硬度计法(邵尔硬度)》测试。

(2) 拉伸性能:采用电子拉力试验机按照GB/T 528—2009《硫化橡胶或热塑性橡胶 拉伸应

力应变性能的测定》测试。

(3) 疲劳性能:将履带销胶环试样放置于挂胶履带销胶环扭转疲劳试验机(如图2所示)中,给试样施加恒定载荷,扭转角度为 $\pm 14^{\circ}$,扭转频率为 $256\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。



图2 挂胶履带销胶环扭转疲劳试验机

Fig. 2 Torsion fatigue testing machine for track pin rubber ring

2 结果与讨论

2.1 不同配方NR硫化胶的物理性能

2种配方NR硫化胶的物理性能如表1所示。

表1 2种配方的NR硫化胶的物理性能
Tab. 1 Physical properties of NR vulcanizates with two formulas

项 目	配方编号	
	1 [#]	2 [#]
邵尔A型硬度/度	71	67
100%定伸应力/MPa	3.0	2.6
拉伸强度/MPa	24.3	26.6
拉伸伸长率/%	509	591

从表1可以看出,通过改变炭黑用量可得到物理性能相差较大的NR硫化胶。其中,炭黑用量较大的1[#]配方NR硫化胶的邵尔A型硬度和100%定伸应力较大,表明其承载能力和抵抗变形能力较强^[11-14];拉断伸长率较小,表明其阻止裂纹生长能力较弱^[15-18]。与之相对比,炭黑用量较小的2[#]配方NR硫化胶的拉伸强度和拉断伸长率较大,但其100%定伸应力和邵尔A型硬度较小。

2.2 不同配方履带销胶环的疲劳寿命

将1[#]和2[#]配方的结构1履带销胶环进行疲劳试验,得到不同配方履带销胶环的变形量-疲劳次数曲线(载荷为2 t)如图3所示。

从图3可以看出,1[#]和2[#]配方履带销胶环的疲

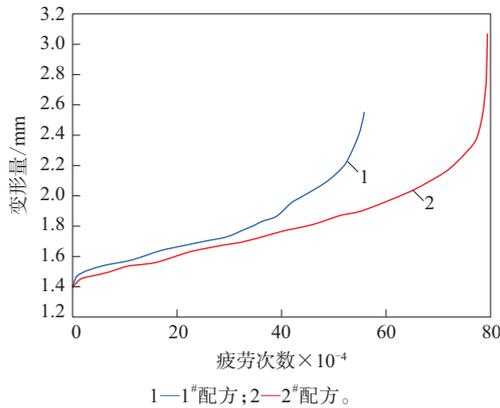


图3 不同配方履带销胶环的变形量-疲劳次数曲线
Fig.3 Deformation-fatigue time curves of track pin rubber rings with different formulas

劳次数分别为 55.8×10^4 和 79.3×10^4 ,即炭黑用量小的2#配方履带销胶环的疲劳次数多于1#配方履带销胶环,表明2#配方履带销胶环具有更长的疲劳寿命^[19-21]。

2.3 不同结构履带销胶环的疲劳寿命

对3种结构的炭黑用量大的1#配方履带销胶环进行疲劳试验,得到不同结构履带销胶环的变形量-疲劳次数曲线(动态加载条件),如图4所示。在静态条件下,不同结构履带销胶环在不同载荷下的变形量如表2所示。

从图4和表2可以看出,结构1,2和3履带销胶环的疲劳次数分别为 55.8×10^4 , 52.5×10^4 和 79.6×10^4 ,即结构3履带销胶环的疲劳次数多于结构1和2履带销胶环,只是变形量略大于结构1履带销胶环,表明结构3履带销胶环的疲劳寿命

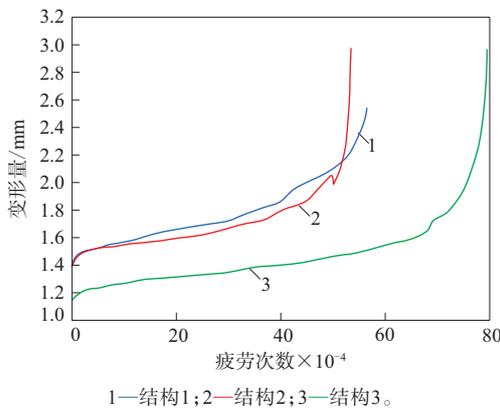


图4 不同结构履带销胶环的变形量-疲劳次数曲线
Fig.4 Deformation-fatigue time curves of track pin rubber rings with different structures

表2 不同结构履带销胶环在不同载荷下的变形量
Tab.2 Deformations of track pin rubber rings with different structures under different loads

结构	变形量	
	1.5 t	2.0 t
1	0.67	0.87
2	0.53	0.72
3	0.78	0.86

更长。

不同结构履带销胶环的应力分析如图5所示。

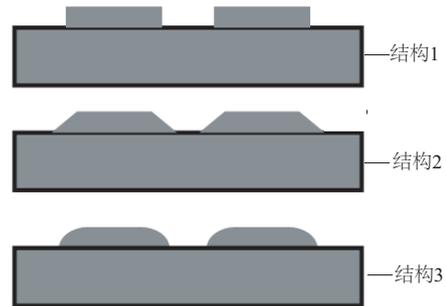


图5 不同结构履带销胶环的应力分析
Fig.5 Stress analysis of track pin rubber rings with different structures

从图5可以看出:矩形结构1履带销胶环在疲劳过程中两侧应力最大,易产生疲劳裂纹;梯形结构2履带销胶环由于其粘接界面面积在3种结构履带销胶环中最大,根部约束最大,导致其在疲劳过程中局部应力过大而对疲劳寿命产生不利影响;结构3履带销胶环两侧应力小于结构1履带销胶环,且结构3履带销胶环的应力分布相对均匀,其根部应力小于结构2履带销胶环。所以,圆弧形结构3履带销胶环的疲劳寿命最长。

3 结论

(1) 炭黑用量对NR硫化胶的物理性能有显著影响,炭黑用量大的1#配方NR硫化胶的邵尔A型硬度和100%定伸应力较大,拉伸强度和拉断伸长率较小。

(2) 炭黑用量小的2#配方履带销胶环具有更长的疲劳寿命。

(3) 结构3履带销胶环的两侧应力低于结构1履带销胶环,且结构3履带销胶环的应力分布相对均匀,根部应力小于结构2履带销胶环,其疲劳寿命最长。

参考文献:

- [1] 李珂, 龚雪莲, 张小强, 等. 橡胶金属铰链履带销的优化设计[J]. 车辆与动力技术, 2008(1): 29-32.
- LI K, GONG X L, ZHANG X Q, et al. Optimization design of rubber-metal hinged track pin[J]. Vehicle & Power Technology, 2008(1): 29-32.
- [2] 尤·帕·沃尔科夫, 阿·弗·巴依科夫. 履带车辆的设计与计算[M]. 刘太来, 译. 北京: 北京理工大学出版社, 1997: 1-620.
- [3] 冯芝娟. NR/EPDM共混材料的制备与性能研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2015.
- [4] 景玉龙, 杜华太, 江美娟, 等. CNT表面改性及CNT/橡胶复合材料研究[J]. 特种橡胶制品, 2014, 35(4): 64-74.
- JING Y L, DU H T, JIANG M J, et al. Research on CNT surface modification and CNT/rubber composites[J]. Special Purpose Rubber Products, 2014, 35(4): 64-74.
- [5] 肖建斌, 郭红革. 炭黑/白炭黑补强硫化胶的疲劳过程及使用寿命预测[J]. 世界橡胶工业, 2006, 33(1): 29-32.
- XIAO J B, GUO H G. Fatigue rupture process and fatigue life prediction of vulcanizates filled with carbon black and silica [J]. World Rubber Industry, 2006, 33(1): 29-32.
- [6] 景玉龙, 江美娟, 赵鑫, 等. 天然橡胶产地对销耳橡胶衬套性能的影响[J]. 橡胶工业, 2020, 67(12): 929-932.
- JING Y L, JIANG M J, ZHAO X, et al. Influence of NR producing area on performance of pin lug rubber bushing[J]. China Rubber Industry, 2020, 67(12): 929-932.
- [7] 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.
- LIN G Y, KONG L W, JING Y, et al. Microstructure and properties of standard natural rubber from different producing areas[J]. China Rubber Industry, 2018, 65(6): 605-611.
- [8] 雷刚, 刘莹, 胡鹏, 等. 考虑橡胶衬套超-粘弹性的动态参数识别[J]. 机床与液压, 2015(12): 88-94.
- LEI G, LIU Y, HU P, et al. Dynamic parameters identification with considering hyper-viscoelastic of rubber bushing[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2015(12): 88-94.
- [9] 袁远, 栗付平, 孙霞容. 约束条件下天然橡胶硫化胶疲劳现象分析[J]. 材料工程, 2013, 8(7): 40-43.
- YUAN Y, LI F P, SUN X R. Analysis on fatigue behavior of vulcanized natural rubber under constrained condition[J]. Journal of Materials Engineering, 2013, 8(7): 40-43.
- [10] 尹镇航, 郭建华, 刘运春, 等. 未填充天然橡胶/反式丁戊橡胶共混胶的耐疲劳性能及疲劳破坏机理[J]. 高分子材料科学与工程, 2020, 36(8): 116-121, 129.
- YIN Z H, GUO J H, LIU Y C, et al. Flexing fatigue resistance and fatigue failure mechanism of unfilled natural rubber/trans 1,4-poly (butadiene-co-isoprene) rubber blends[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2020, 36(8): 116-121, 129.
- [11] JOUAULT N, DALMAS F, BOUÉ F, et al. Nanoparticles reorganizations in polymer nanocomposites under large deformation[J]. Polymer, 2014, 55(10): 2523-2534.
- [12] 田斌, 丛川波, 孟晓宇, 等. 裂纹形态对丁腈橡胶力学性能和耐疲劳性能的影响[J]. 合成材料老化与应用, 2014(5): 1-4, 26.
- TIAN B, CONG C B, MENG X Y, et al. The effect of kinds and diameter of flaws on crack development of NBR rubber[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2014(5): 1-4, 26.
- [13] 李艳红, 陈宏书, 郑建龙, 等. 高分子材料疲劳行为的研究[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2008, 6(2): 54-57.
- LI Y S, CHEN H S, ZHENG J L, et al. Research on fatigue behaviour of polymer material[J]. Chemical Propellants & Polymeric Materials, 2008, 6(2): 54-57.
- [14] 余伟炜. 橡胶材料多轴疲劳寿命研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [15] 崔雪静. NR网络结构与疲劳微观机理的相关性研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2018.
- [16] OGDEN R W. Nearly isochoric elastic deformations: Application to rubberlike solids[J]. Journal of the Mechanics & Physics of Solids, 1978, 26(1): 37-57.
- [17] 罗文波, 姜侠, 胡小玲, 等. 减振橡胶疲劳黏滞生热的仿真分析[J]. 振动与冲击, 2021, 40(12): 210-218.
- LUO W B, JIANG X, HU X L, et al. Simulation analysis of the hysteresis heat generation in damping rubber[J]. Journal of Vibration and Shock, 2021, 40(12): 210-218.
- [18] CRUANES C, DEFFARGES M P, LACROIX F, et al. Modeling of the thermomechanical behavior of rubbers during fatigue tests from infrared measurements[J]. International Journal of Fatigue, 2019, 126: 231-240.
- [19] 牛洪刚, 汪艳萍, 杨俊利, 等. 氧化铈填充硫化天然橡胶疲劳寿命预测[J]. 内蒙古工业大学学报(自然科学版), 2014(4): 278-281.
- NIU H G, WANG Y P, YANG J L, et al. Fatigue life prediction of vulcanized natural rubber filled with cerium oxide[J]. Journal of Inner Mongolia University of Technology (Natural Science Edition), 2014(4): 278-281.
- [20] 王文涛, 上官文斌, 段小成, 等. 基于线性疲劳累计损伤橡胶悬置疲劳寿命预测研究[J]. 机械工程学报, 2012, 48(10): 56-65.
- WANG W T, SHANGGUAN W B, DUAN X C, et al. Study on prediction of fatigue life of rubber mount based on linear cumulative fatigue damage theory[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2012, 48(10): 56-65.
- [21] 侯茂锐, 宗仁莉. 铁道车辆转向架橡胶元件疲劳寿命研究现状[J]. 现代城市轨道交通, 2021(8): 99-103.
- HOU M R, ZONG R L. Research progress on fatigue life of rubber components for railway bogie[J]. Modern Urban Transit, 2021(8): 99-103.

收稿日期: 2021-10-31

Study on Influence of Formula and Structure on Fatigue Life of Track Pin Rubber Ring

JING Yulong, ZHAO Xin, JIANG Meijuan, DU Mingxin, DU Huatai, YANG Xingjuan

(Shandong Institute of Nonmetallic Materials, Jinan 250031, China)

Abstract: The track pin rubber rings with two formulas (40 and 50 phr of carbon black) and three types of structure (rectangle, trapezoid and circular arc) were designed to study the influence of formulas and structures on their fatigue life. The results showed that, the fatigue life of the track pin rubber ring with small amount of carbon black was longer than that with large amount of carbon black. The stress on both sides of the rubber ring with circular arc structure was lower than that of the rubber ring with rectangular structure, and the stress distribution of arc rubber ring with the circular arc structure was relatively uniform. Moreover, the root stress of the rubber ring with the circular arc structure was lower than that of the rubber ring with trapezoidal structure. In general, the fatigue life of the track pin rubber ring with small amount of carbon black for formula and circular arc structure was long.

Key words: track pin rubber ring; fatigue life; formula; structure; amount of carbon black; stress

专利3则

由广州市白云化工实业有限公司和广东白云科技有限公司申请的专利(公布号 CN 113684003A, 公布日期 2021-11-23)“一种双组分室温硫化硅橡胶组合物”, 涉及的室温硫化硅橡胶包括A组分和B组分。A组分配方为: α, ω -二羟基聚二甲基硅氧烷 100, 补强填料 80~120, 二甲基硅油 10~30, 水/醇混合溶液 1~5, 其中水/醇混合溶液的水量应保证A组分中的含水量达 $2\ 000 \times 10^{-6} \sim 4\ 000 \times 10^{-6}$ 。B组分配方为: 基料 100, 硅油 5~10, 增韧剂 10~30, 复合偶联剂 20~35, 1号交联剂 30~45, 2号交联剂 2~10, 催化剂 0.2~2。该室温硫化硅橡胶的力学性能满足低模量的要求, 深层固化速度快, 位移性能满足GB/T 22083—2008中100/50级密封胶要求, 能有效提高施工效率, 很好地解决目前单组分耐候胶反应速度慢、深层固化不彻底的问题, 可以广泛用于门窗、高层幕墙接缝及其他接缝领域。

由清远高能结加改性材料科技有限公司申请的专利(公布号 CN 113651846A, 公布日期

2021-11-16)“一种腰果酚衍生物改性橡胶的方法”, 提供了一种腰果酚衍生物改性橡胶的方法:

(1) 将环氧化腰果酚和三甲氧基氯硅烷反应得到中间体1; (2) 将中间体1和胺烷基三烷氧基硅烷反应制得腰果酚衍生物。该发明使用硅烷同时对环氧化腰果酚的酚羟基和烷基链上的环氧基团进行修饰而得到一种新型橡胶改性剂, 用其对酚醛树脂-丁腈橡胶进行改性时可以使材料具有对玻璃基材较好的粘合性能。

由广州美村橡胶科技股份有限公司申请的专利(公布号 CN 113637267A, 公布日期 2021-11-12)“一种耐酸碱三元乙丙橡胶及其制备方法”, 提供了一种耐酸碱三元乙丙橡胶(EPDM)的制备方法: 将EPDM和氟橡胶加入密炼机中混炼; 向密炼机中加入补强剂、偶联剂、增容剂及润滑剂, 加热混炼后抽真空, 得混炼物1; 将混炼物1加入开炼机中进行开炼, 得混炼物2; 将混炼物2与填充剂、硫化剂混炼, 再硫化成型, 制得耐酸碱EPDM。该耐酸碱EPDM具有物理性能优异、耐酸碱能力强的优点。

(本刊编辑部 赵敏)