

在同步带硫化过程中浸胶玻璃纤维线绳强力损失的原因分析

于得江, 姜 华, 姜 伟, 高渭淞

(青岛天邦线业有限公司, 山东 莱西 266609)

摘要: 分析浸胶玻璃纤维线绳在同步带硫化过程中强力损失的原因。试验结果表明: 浸胶玻璃纤维线绳在以氯丁橡胶(CR)为主体材料的硫化过程中强力损失较大, CR胶料硫化过程中产生的水和盐酸均会对浸胶玻璃纤维线绳的强力产生影响, 且随着温度升高, 影响愈加明显。

关键词: 浸胶玻璃纤维线绳; 同步带; 氯丁橡胶; 强力损失; 硫化

中图分类号: TQ330.38⁺9; TQ336.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2020)01-0069-04

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2020.01.0069



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

同步带也称齿形带, 是机械传动系统中不可或缺的重要组成部分, 根据带齿形状, 分为梯形齿和弧形齿两种类型。同步带主要由橡胶材料和增强骨架材料组成。其中, 橡胶材料主要为天然橡胶(NR)胶料、氯丁橡胶(CR)胶料、三元乙丙橡胶(EPDM)胶料和氢化丁腈橡胶(HNBR)胶料等; 增强骨架材料主要为浸胶芳纶线绳、浸胶玻璃纤维线绳等^[1-2]。

浸胶玻璃纤维线绳作为同步带的重要增强骨架材料之一, 广泛应用于各种类型同步带。但是, 在以CR为主要胶种的同步带中, 浸胶玻璃纤维线绳易在同步带硫化过程中发生严重的强力损失, 部分浸胶玻璃纤维线绳硫化后的强力损失率高达60%。这一问题对于浸胶玻璃纤维线绳生产企业和使用单位均造成了严重的困扰。硫化后强力损失率也成为衡量浸胶玻璃纤维线绳质量的主要指标^[3-5]。

研究^[6-9]表明, 在浸胶玻璃纤维线绳生产中, 可通过改进浸润剂和间苯二酚-甲醛胶乳(RFL)浸渍液组成来提高玻璃纤维线绳的防护能力。

目前国内关于浸胶玻璃纤维线绳在同步带硫化过程中强力损失率的研究很少。我公司自开展

浸胶玻璃纤维产品项目建设以来, 积极探索造成浸胶玻璃纤维线绳在同步带硫化过程中强力损失严重的原因, 并开展了一系列试验, 以分析影响浸胶玻璃纤维线绳强力损失率的主要因素。

1 实验

1.1 主要材料与试剂

ECG45玻璃纤维, 台湾富乔工业股份有限公司产品; RFL浸渍液、盐酸溶液以及NR混炼胶、CR混炼胶、EPDM混炼胶、HNBR混炼胶, 自制。

1.2 试验设备和仪器

浸胶线绳模拟试验机, 上海方电科技发展有限公司产品; 101-2A型烘箱, 天津泰斯特仪器有限公司产品; XLB型平板硫化机, 青岛汇才机械制造有限公司产品; 3366型拉伸强力试验机, 美国英斯特朗公司产品; AGS-5KND型拉伸强力试验机, 日本岛津公司产品。

1.3 试样制备

1.3.1 浸胶玻璃纤维线绳

取13股平均直径为9 μm 的玻璃纤维, 拉平整齐, 经过RFL浸渍液的浸渍槽浸渍, 通过烘箱加热使RFL浸渍液干燥、固化, 使用捻线机将浸渍玻璃纤维束的各股加捻至80捻 $\cdot\text{m}^{-1}$, 得到初捻线。然后, 将初捻线13股合股, 并与初捻的捻向相反, 进行复捻加工后, 得到浸胶玻璃纤维线绳。

作者简介: 于得江(1984—), 男, 山东栖霞人, 青岛天邦线业有限公司工程师, 学士, 主要从事浸胶线绳的研发工作。

E-mail: tipont_ydj@163.com

1.3.2 硫化浸胶玻璃纤维线绳

首先在模具底部铺一层胶片,将单根浸胶玻璃纤维线绳在模具上拉直绷紧,在线绳上方再覆盖一层胶片,然后将模具对齐、扣紧,放入平板硫化机进行硫化(根据胶料硫化特性确定适宜的硫化条件),将硫化浸胶玻璃纤维线绳在干燥器内平衡8 h。

1.4 性能测试

1.4.1 硫化强力损失

用AGS-5KND型拉伸强力试验机测试硫化后浸胶玻璃纤维线绳断裂强力,并与硫化前的断裂强力进行对比。

1.4.2 浸泡强力损失

将浸胶玻璃纤维线绳于浸泡介质中浸泡一定时间,用3366型拉伸强力试验机测试其断裂强力。

1.4.3 盐雾强力损失

在盛有质量分数为0.01的盐酸溶液的密闭槽内,将拉直的浸胶玻璃纤维线绳置于溶液上方5 cm处(线绳不接触盐酸溶液)一定时间,用3366型拉

伸强力试验机测试线绳断裂强力。

1.4.4 加热强力损失

将水介质中的浸胶玻璃纤维线绳、盐酸介质中的浸胶玻璃纤维线绳分别于150 ℃烘箱中加热10 min,用3366型拉伸强力试验机测试其断裂强力。

2 结果与讨论

2.1 浸胶玻璃纤维线绳成分分析

玻璃纤维主要成分为 SiO_2 , Al_2O_3 , B_2O_3 , CaO , MgO 和 Na_2O 等。常见玻璃纤维成分见表1^[10-12]。

浸胶玻璃纤维线绳所用玻璃纤维通常为E级玻璃纤维,即无碱玻璃纤维(Na_2O 质量分数小于0.02,属铝硼硅酸盐玻璃纤维)。抽检市面上两种同步带用浸胶玻璃纤维线绳样品,其成分分析结果见表2。

由表2可见,两种样品都属于E级玻璃纤维线绳,且基本组分含量的差异不大,但两者在CR胶料中硫化后断裂强力差别很大(见表3)。

从玻璃纤维纱的生产到最终制成浸胶玻璃纤

表1 常见玻璃纤维成分质量分数 $\times 10^2$

分 类	SiO_2	Al_2O_3	B_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O	Na_2O	F	Zn
无碱玻璃纤维ER	54.5	14.3	6.30	23.0	0.30	0.31	0.35	0.27	0.37	0.50	
高强度高模量玻璃纤维TM	60.6	15.6		12.5	8.90	0.26	1.20	0.26	0.36		2.50
耐化学腐蚀玻璃纤维ECR	59.0	11.0		22.0	3.30	0.34	1.30	0.26	0.36		2.50
无氟无硼玻璃纤维ECT	60.0	13.5		22.0	3.20	0.30	0.21	0.21	0.12		0.30
无硼低氟玻璃纤维E6	59.8	14.2		23.0	0.94	0.44	0.31	0.29	0.40	0.37	
无氟低硼玻璃纤维TCR	59.5	13.2	0.68	22.3	2.50	0.37	0.47	0.20	0.54		

表2 抽检浸胶玻璃纤维线绳样品成分质量分数 $\times 10^2$

样品编号	SiO_2	Al_2O_3	B_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	TiO_2	K_2O	Na_2O
1 [#]	53.8	13.8	6.37	23.9	0.54	0.30	0.29	0.48	0.46
2 [#]	52.3	13.6	6.49	23.2	0.63	0.28	0.35	0.55	0.70

维线绳,要经过拉丝、施加浸润剂、浸渍RFL浸渍液、加捻等多道工序,而浸胶玻璃纤维线绳从外到内可依次分为RFL浸渍层、浸润剂层和玻璃纤维3层。在玻璃纤维成分相似的情况下,同步带中浸胶

玻璃纤维线绳性能差异很大,意味着同步带在硫化过程中玻璃纤维的外保护层受到破坏,导致胶料硫化产物侵入,破坏了玻璃纤维的正常结构。

2.2 胶种对浸胶玻璃纤维线绳断裂强力的影响

在不同胶种胶料中硫化后浸胶玻璃纤维线绳断裂强力损失如表4所示。

从表4可以看出,在NR,EPDM和HNBR胶料中硫化后浸胶玻璃纤维线绳的断裂强力变化很小,只有在CR胶料中硫化后浸胶玻璃纤维线绳的断裂强力损失率高达24.4%。

表3 CR胶料中硫化后浸胶玻璃纤维线绳断裂强力

样品编号	硫化前断裂强力/N	硫化后断裂强力/N	断裂强力保持率/%
1 [#]	1 087	812	74.7
2 [#]	1 092	1 085	99.4

注:玻璃纤维线绳规格为ECG45 1/13-2.0 S。

表4 在不同胶种胶料中硫化后浸胶玻璃纤维线绳的断裂强力损失

胶 种	硫化前断裂 强力/N	硫化后断裂 强力/N	断裂强力 保持率/%
NR	1 102	1 105	100.3
CR	1 102	833	75.6
EPDM	1 102	1 098	99.6
HNBR	1 102	1 103	100.1

注:同表3。

2.3 水对浸胶玻璃纤维线绳断裂强力的影响

图1为金属氧化物硫化体系的CR硫化过程反应过程。从图1可以看出,主反应生成了大量氯化物,且该氯化物显弱酸性。而在生成氯化物之前,CR上的氯离子首先以氯化氢(HCl)的形式脱落。同时,副反应中也会生成少量的水^[13-14]。

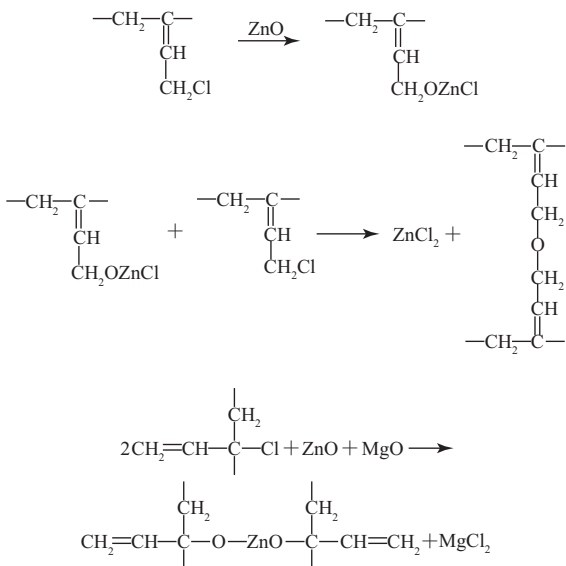


图1 金属氧化物硫化体系的CR硫化反应过程

在水介质中浸胶玻璃纤维线绳断裂强力的变化如图2所示。

从图2可以看出:在冷水浸泡、温水浸泡、沸水浸泡和水蒸气氛围下,浸胶玻璃纤维线绳的断裂强力均有不同程度损失;随着水温的升高和处置时间的延长,浸胶玻璃纤维线绳的断裂强力保持率逐渐下降。

浸胶玻璃纤维线绳浸水烘干后断裂强力变化如图3所示。

由图3可见,冷水浸泡的浸胶玻璃纤维线绳在加热烘干后断裂强力基本恢复到初始水平,而随着水温的升高,浸胶玻璃纤维线绳的断裂强力的恢复程度越来越小。

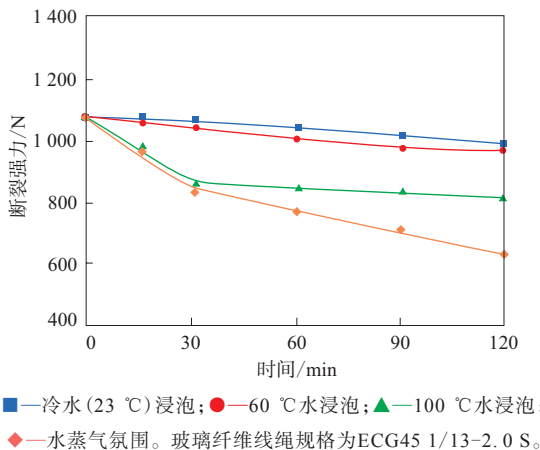


图2 水对浸胶玻璃纤维线绳断裂强力的影响

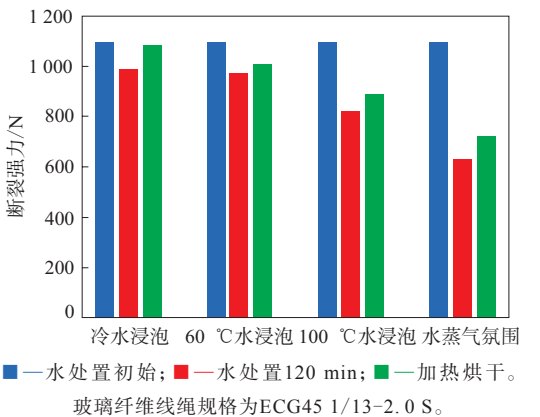
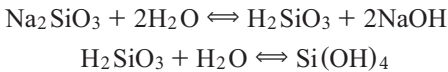


图3 浸胶玻璃纤维线绳浸水烘干后断裂强力变化

通过上述试验可以发现,玻璃纤维被水破坏是一个可逆反应,反应式如下:



但是,当玻璃纤维整齐结构受到较大破坏时,单纯的逆反应已无法保证玻璃纤维维持足够的断裂强力。同时,外表的保护层在高温情况下被水破坏,也严重影响浸胶玻璃纤维线绳的断裂强力^[15-17]。

2.4 盐酸对浸胶玻璃纤维线绳断裂强力的影响

在盐酸介质中浸胶玻璃纤维线绳断裂强力的变化见表5。

由表5可见,随着盐酸溶液浓度的增大和接触时间的延长,浸胶玻璃纤维线绳的断裂强力保持率持续下降。

由表5还可以看出,盐雾对浸胶玻璃纤维线绳的破坏程度远远低于盐酸溶液对其的破坏,水

表5 盐酸对浸胶玻璃纤维线绳断裂强力的影响

浸泡条件	初始断裂 强力/N	浸泡后断裂 强力/N	断裂强力 保持率/%
盐雾试验氯化氢质量分数			
0.1	1 102	982	89.1
0.2	1 102	876	79.5
0.3	1 102	664	60.2
浸泡盐酸溶液质量分数			
0.000 5	1 102	943	85.6
0.001	1 102	802	72.8
0.002	1 102	551	50.0
蒸馏水浸泡	1 102	1 064	96.6

注:盐雾试验时间为6 h,蒸馏水和盐酸溶液浸泡时间为1 h。

的存在,加剧了盐酸对玻璃纤维的破坏。此外,通过将上述浸泡试样加热烘干并测试其断裂强力发现,这种破坏是不可逆的。

3 结语

考察了在同步带硫化过程中浸胶玻璃纤维线绳发生强力损失的一系列因素,发现在CR胶料硫化过程中产生的水和盐酸是造成浸胶玻璃纤维线绳强力损失的主要原因。我公司通过优化玻璃纤维外层的浸润剂层或RFL浸渍层,已使浸胶玻璃纤维线绳强力损失的问题得到明显改善。

参考文献:

- [1] 秦颖,吕展飞,董月,等.高混芳纶纤维对三元乙丙橡胶性能的影响[J].橡胶工业,2018,65(3):250-257.
- [2] 沈耿亮,李明.节能环保型高耐磨输送带特性概述[J].橡胶工业,2019,66(1):75-77.
- [3] 蒋明.汽车用直齿同步带传动性能研究[D].长春:长春理工大学,2010.
- [4] 陈哲.氯丁胶同步带模塑成型工艺[J].合成橡胶工业,1997,20(1):46-47.
- [5] 柳华实,葛曷一,王冬至,等.玻璃纤维表面处理对玻璃纤维/石膏复合材料力学性能的影响[J].山东建材,2004,25(5):34-36.
- [6] Liu X G, Peng X D, Liu J, et al. Study on the Influence of the Coupling Agent on the Microstructure and Mechanical Properties of Short Glass Fiber Reinforced Nylon 66[J]. Engineering Plastics Application, 2003, 31(7):1-4.
- [7] Fam A Z, Flisak B, Rizkalla S. Experimental and Analytical Modeling of Concrete-filled Fiber-reinforced Polymer Tubes Subjected to Combined Bending and Axial Loads[J]. ACI Structure Journal, 2003, 100:499-509.
- [8] 张宏军,周晓东,戴干策,等.玻璃纤维增强乙烯基酯树脂复合材料的增韧[J].复合材料,2005(3):30-33.
- [9] 于森,张华婷,郑世平.玻璃纤维表面偶联剂处理方法对树脂基复合材料性能的影响[J].宇航材料工艺,2006(6):29-31.
- [10] 徐凤,聂琼,徐红.玻璃纤维的性能及其产品的开发[J].轻纺工业与技术,2011,40(5):40-41.
- [11] 乔欣,崔淑玲,夏勇.几种无机纤维的制备及应用介绍[J].非织造布,2010,18(3):27-31.
- [12] 刘新年,张红林,贺祯,等.玻璃纤维新的应用领域及发展[J].陕西科技大学学报,2009,27(5):169-171.
- [13] 邓华,罗权焜.硫化体系对氯丁橡胶硫化胶性能的影响[J].特种橡胶制品,2009,30(1):36-39.
- [14] 黄婷婷,郭鹤莹,刘爱芹.硫化胶动态力学性能测试的影响因素分析[J].轮胎工业,2018,38(12):762-765.
- [15] 徐国平.玻璃钢耐化学腐蚀性能的研究[J].纤维复合材料,1996(1):35-42.
- [16] 王赫,刘亚青,张志毅,等.玻璃纤维表面处理技术的研究进展[J].绝缘材料,2007,40(5):35-37.
- [17] 薛玉君,程先华.稀土元素表面处理玻璃纤维增强PTFE复合材料的拉伸性能[J].中国稀土学报,2002,20(1):41-44.

收稿日期:2019-07-08

Cause Analysis of Strength Loss of Dipped Glass Fiber Rope during Vulcanization of Synchronous Belt

YU Dejiang, JIANG Hua, JIANG Wei, GAO Weisong

(Qingdao Tipont Cord Co., Ltd, Laixi 266609, China)

Abstract: The reason of strength loss of dipped glass fiber rope during the vulcanization of synchronous belt was analyzed. It was found that when chloroprene rubber (CR) was used as rubber matrix material, the strength loss was significant, since the water and hydrochloric acid produced during CR compound vulcanization could affect the strength of dipped glass fiber rope, and the strength loss increased with the increase of temperature.

Key words: dipped glass fiber rope; synchronous belt; CR; strength loss; vulcanization