电子束辐照预硫化在全钢载重子午线轮胎生产中的应用

黄光威，张允飞
[赛轮（沈阳）轮胎有限公司，辽宁 沈阳 110114]

摘要：介绍高能电子束辐照预硫化在全钢载重子午线轮胎生产中的应用。结果表明：利用高能电子束辐照能使全钢载重子午线轮胎内衬层中的过渡层表面形成交联预硫化，达到增韧效果；辐照后的内衬层可以有效避免胶料向胎体中渗透，适当减小过渡层厚度，可以节约成本，同时减小胶料生热，提升轮胎性能。

关键词：全钢载重子午线轮胎；电子束辐照；预硫化增韧；内衬层
中图分类号：U463.341^{+}.3/.6 **文章编号**：1006-8171(2019)10-0620-03
文献标志码：B **DOI**：10.12135/j.issn.1006-8171.2019.10.0620

电子束辐照技术的研究在国外始于20世纪50年代末，到70年代米其林、大陆等世界著名轮胎制造商开始在轮胎生产中使用该技术，后由于其可提高轮胎产品质量和生产效率高等优势，越来越受到载重子午线轮胎生产厂家的青睐，成为提高轮胎产品竞争力的重要工艺技术。

电子束辐照技术是利用高压电在真空状态下形成高压电场，使电子束在电场中加速，具备穿透橡胶表层的能量[1]。通过高能电子束照射使橡胶分子链的化学链脱掉或从化学链上吸收氢原子。分子链上氢原子被吸收的位置，能立即与临近分子链上的其他位置发生结合形成稳定的C═C键，达到预硫化效果。

目前，我公司在全钢载重子午线轮胎内衬层压延工艺中导入了电子束辐照预硫化技术，并取得了较为理想的效果，已经用于工业化生产。

1 工艺条件确定

对全钢载重子午线轮胎内衬层中的过渡层单面（与胎体接触一面）进行电子束辐照预硫化。

1.1 辐照电压

辐照电压为电子加速电场能量值，决定电子束的速度，是决定电子束穿透过渡层深度的主要参数。由于公司对产品预硫化深度要求为0.7～1 mm，根据深度验证选择辐照电压为500 kV。

1.2 辐照剂量

单位面积过渡层部件吸收的辐照剂量是决定辐照预硫化程度的关键参数。

辐照剂量设定主要根据辐照预硫化后过渡层胶料的硫化特性和物理性能等方面的变化进行评估选择。

不同电子辐照剂量下过渡层胶料的硫化特性如表1所示，物理性能如表2所示。

从表1可以看出，随着辐照剂量的增大，过渡层胶料的门尼粘度逐渐增大，门尼焦烧时间呈缩短趋势，F_{max}略减小，F_L，t_{10}，t_{90}无明显变化。

从表2可以看出，随着辐照剂量的增大，过渡层胶料的邵尔A型硬度稍有增大，其他物理性能无明显变化。

由表1和2可以得出电子辐照的效果主要是通过预硫化提高胶料的门尼粘度，对其他性能影响不明显。结合现场加工处理作业的便捷性，综合考虑我公司过渡层胶料配方，确定电子辐照的辐照剂量为60 kGy。

2 实施方法与监控

生产过程中如何保证工艺实施，是制造工艺

作者简介：黄光威（1984—），男，辽宁大石桥人，赛轮（沈阳）轮胎有限公司助理工程师，学士，主要从事全钢载重子午线轮胎的结构与工艺研究工作。
E-mail：254194210@qq.com

表1　不同电子辐照剂量下过渡层胶料的硫化特性

项　目	辐照剂量/kGy											
	0	15	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80
门尼粘度[ML(1+4)100 ℃]	51	60	71	96	105	110	118	121	123	132	136	144
门尼焦烧时间t_5(125 ℃)/min	20	21	20	17	17	16	15	15	10	15	14	8
硫化仪数据(185 ℃)												
F_L/(dN·m)	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4
F_{max}/(dN·m)	17.5	17.2	17.2	16.9	16.9	16.8	16.6	16.6	16.6	16.6	16.3	16.1
t_{10}/min	26	25	26	26	26	27	27	27	27	26	26	26
t_{90}/min	85	83	84	83	83	84	83	84	83	82	82	82

注:胶片厚度为1.0 mm。

表2　不同电子辐照剂量下过渡层胶料的物理性能

项　目	辐照剂量/kGy											
	0	15	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80
邵尔A型硬度/度	62	63	63	63	62	61	65	66	66	66	65	65
100%定伸应力/MPa	3.6	3.2	3.2	3.1	3.1	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	3.0
300%定伸应力/MPa	13.6	12.6	12.8	12.2	13.1	12.7	12.6	12.5	12.4	11.7	11.8	12.7
拉伸强度/MPa	22.7	21.3	21.8	21.7	23.1	21.9	21.9	22.1	21.5	22.1	21.9	20.5
拉断伸长率/%	467	468	466	479	478	470	460	480	470	488	491	428

注:同表1。

技术的关键。通过研究电子束辐照机理、设备形式及生产工艺过程总结出以下3种适合我公司的内衬层电子束辐照监控方案。

(1)快速检测。根据电子辐照对内衬层表面增韧效果(内衬层两面的韧性效果存在差异)即拉伸回缩的差异进行设计,经过辐照后的内衬层取标准尺寸试样进行标准长度拉伸,经过电子辐照的试样会出现卷曲收缩状态,未经过电子辐照的试样收缩一致不会卷曲(见图1)。

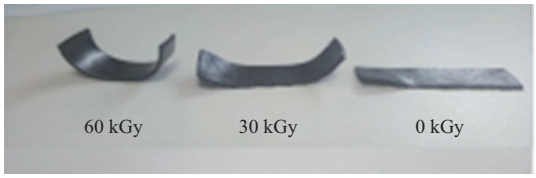


图1　辐照试样拉伸回缩示意

这样,可在生产过程中验证内衬层电子束辐照是否达到增韧效果,方便快捷、可实施性高,可在生产现场进行判定。

(2)门尼监控。根据电子束辐照是对内衬层胶料进行预硫化的机理进行设计。辐照后的内衬层胶料会产生C═C键而提高门尼粘度,依据不同规格内衬层辐照的占比及规范取样制样标准,试验对比辐照前后内衬层胶料门尼粘度的提升值是否符合标准(通过大量试验数据分别制定每个内衬层规格的门尼粘度提升值标准)。

门尼监控可以通过数据验证电子束辐照对内衬层增韧效果,可量化增韧值是否符合标准要求。

(3)温度监控。根据高能电子束对胶料表面进行穿透做功是对胶料预硫化,做功就有热量产生。利用这一特点设计了生产过程中温度监控系统并根据数据收集制定相关标准。生产过程中对辐照设备运转状态进行实时监控,保证辐照工艺的实施(温度监控设备见图2)。

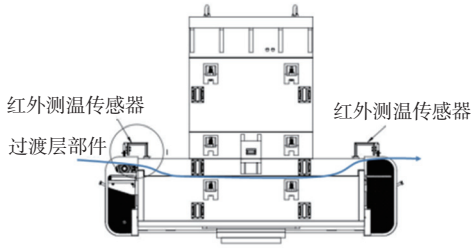


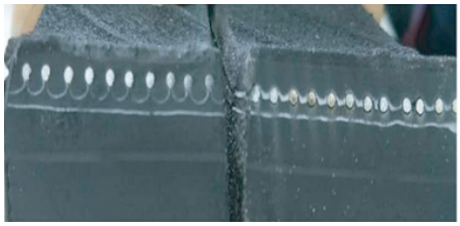
图2　温度监控设备示意

3　轮胎试验验证

选取12.00R20全钢载重子午线轮胎进行相关对比试验验证。

3.1　极限验证试验

通过缩减成型工艺平宽,实现缩减轮胎两钢丝圈间胎体钢丝长度,验证通过电子束辐照内衬层增韧后对胶料渗透的影响。试验结果如图3所示,胎体两侧敷贴0.5 mm厚的白色胶片以标识胶料流动



非辐照 辐照

图3 电子辐照对胶料渗透的影响

轨迹，辐照剂量为60 kGy，电场电压为500 kV。

从图3可以看出，经过电子束辐照增韧后的内衬层可以有效阻止胶料向胎体内部渗透，维持内衬层厚度，保证胎体钢丝帘线覆胶及胎体钢丝帘线与轮胎内部热氧气体的距离，从而提高轮胎的使用性能。

3.2 产品验证试验

按照GB/T 4501—2016《载重汽车轮胎性能室内试验方法》对试验轮胎耐久性能进行测试，结果如表3所示。试验方案有3种，正常为采用原有过渡层厚度，不经过电子辐照增韧；辐照＋正常为内衬层通过电子辐照增韧，过渡层厚度不进行调整；辐照＋减薄为内衬层经过电子束辐照且过渡层厚度减小0.2 mm。

从表3可以看出，经过电子束辐照增韧后的轮胎耐久性能优于未经过电子束辐照的轮胎，且过渡层厚度减小0.2 mm的轮胎效果更优。

根据室内试验数据组织实车路试试验，分别进行正常与辐照＋减薄方案轮胎的对比。路试车辆为三轴挂车，安装在拖轮整轴，路况为高速公路或国道。

表3 试验轮胎室内耐久性能

项 目	方案		
	正常	辐照＋正常	辐照＋减薄
行驶时间/h			
常规	98.0	104.8	108.3
高速	5.2	5.5	5.9
高速行驶里程/km	461.2	492.1	525.8

经过一年的实车路试达到预期效果，轮胎无损坏回收，解剖分析钢丝渗透于内衬层变形情况。对比结果表明，经过电子束辐照的内衬层比未经过电子束辐照的内衬层剩余材料厚度大（厚度差平均大于0.2 mm）。

4 结论

全钢载重子午线轮胎内衬层电子束辐照预硫化工艺可以提高轮胎的室内耐久性能，辐照后的内衬层可以有效避免胶料向胎体中渗透，过渡层厚度可以适当减小，不但可以节约成本，还能有效减小胶料生热，提升轮胎性能。

参考文献：

[1] 赵雪娜. γ射线辐照对氢化丁腈橡胶性能的影响[J]. 橡胶工业，2018，65(12)：1398-1401.

收稿日期：2019-04-04

书讯 为回顾中国橡胶工业改革开放走过40周年的成就，纪念中国化工学会橡胶专业委员会成立40周年，在迎来建国70周年华诞之际，中国化工学会橡胶专业委员会携手《橡胶工业》《轮胎工业》《橡胶科技》编辑部，邀请近百位老领导、老专家和一线科技人员，编纂了《改革开放40年中国橡胶工业科技发展报告》（以下简称《报告》），并于2019年4月16日在杭州国际博览中心举办的“中国橡胶工业科技创新发展论坛暨中国化工学会橡胶专业委员会40周年纪念”活动中隆重发布。

《报告》汇集了老领导、老专家和知名学者、企业家代表的题词、寄语，概述了40年来中国橡胶工业科技发展的整体面貌，涵盖轮胎、力车胎、胶管胶带、橡胶制品、胶鞋、乳胶制品、废橡胶利用、天然橡胶、合成橡胶、炭黑和白炭黑、橡胶助剂、骨架材料、橡胶机械和智能制造、科研院所的技术创新、部分高等院校的教育和科研创新、创新发展方向和战略探讨共16章，并收录纪念橡胶专业委员会成立40周年的两份特别文稿以及展现科技创新平台和成果的3份附录文件。《报告》力求反映改革开放40年来中国橡胶工业科技创新的整体状况和总体趋势，对未来科技创新发展趋势提出了建议和希望，内容充实、图文并茂，具有重大历史和现实意义，颇具收藏价值。

《报告》采用A4尺寸，正文320页，每本定价1 000元（含邮费，可开发票），数量有限，欲购从速。凡需购买的读者请与本刊编辑部联系。

（本刊编辑部）