

$3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT 钢丝帘线的开发

倪自飞^{1,2}, 盛荣生³

[1. 南京工业职业技术大学, 江苏 南京 210023; 2. 镇江耐丝新型材料有限公司, 江苏 镇江 212006; 3. 盛利维尔(中国)新材料技术股份有限公司, 江苏 常州 213200]

摘要: 采用两种不同碳含量的进口盘条, 制定合理的半成品热处理工艺和湿式拉拔工艺, 可以生产出合格的 $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT 钢丝帘线。结果表明: 与 $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CUT 和 $3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCHT 钢丝帘线相比, $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT 钢丝帘线的单丝强度高, 帘线直径小且破断力高; 以其替代它们用于轮胎胎体中, 可以减小帘布厚度, 同时减小钢丝帘线和胶料用量, 实现轮胎轻量化。

关键词: 钢丝帘线; 特高强度; 生产工艺; 轮胎胎体; 轻量化

中图分类号: TQ330.38⁺9; TQ336.1

文献标志码: A

文章编号: 1006-8171(2020)10-0607-04

DOI: 10.12135/j.issn.1006-8171.2020.10.0607



OSID 开放科学标识码
(扫码与作者交流)

钢丝帘线具有强度高、韧性好、耐疲劳等优点, 是子午线轮胎重要的骨架材料, 在推动绿色低碳滚动阻力轮胎发展的进程中起着重要作用。更高峰度的钢丝帘线可以在满足帘布强度的情况下, 减小钢丝帘线用量, 降低轮胎滚动阻力, 从而既节约燃油, 又减少二氧化碳的排放^[1-4], 因此开发更高峰度的钢丝帘线是实现轮胎产业升级的必由之路。

随着欧盟轮胎标签法的颁布, 钢丝帘线的强度要求进一步提高, 特别是单丝强度大于 4 000 MPa 的钢丝帘线, 逐渐成为各大钢丝帘线生产企业争相追逐的目标。目前 UT 钢丝帘线的单丝强度已达到 3 800 MPa (0.20 mm), 而鲜有钢丝帘线单丝强度超过 4 000 MPa (0.20 mm) 的报道^[5]。

$3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT 钢丝帘线的单丝强度大于 4 000 MPa, 比 $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CUT 钢丝帘线高, 比 $3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCHT 钢丝帘线的直径小, 破断力高, 因此在轮胎胎体中应用可以减小钢丝帘线用量和帘布厚度, 实现轮胎轻量化, 降低轮胎滚动阻力。现将其开发情况介绍如下。

基金项目: 南京工业职业技术大学人才引进科研启动基金项目 (YK20-04-01)

作者简介: 倪自飞 (1980—), 男, 江苏大丰人, 南京工业职业技术大学正高级工程师, 博士, 主要从事超/特高强度钢丝帘线的研发及产业化工作。

E-mail: jsnzf@163.com

1 实验

1.1 主要原材料

采用碳质量分数为 0.009 7 (简称 UMT1) 和 0.010 2 (简称 UMT2) 的进口盘条 (盘条的化学组分及其质量分数见表 1), 经过大拉、中拉、热处理和湿拉等工序拉拔成所需直径的单丝, 最后捻制成钢丝帘线。

表 1 盘条的化学组分及其质量分数

组 分	UMT1	UMT2
碳	0.009 7	0.010 2
硅	0.002 4	0.002 2
锰	0.003 7	0.002 9
磷	0.000 13	0.000 11
硫	0.000 08	0.000 07
镍	0.000 10	0.000 12
铬	0.002 00	0.002 10

1.2 主要仪器

Zeiss 金相显微镜, 德国蔡司公司产品; 万能拉力试验机和扭转测试仪, 美国 Instron 公司产品。

2 产品性能设计

3/9 系列是目前在轮胎胎体中应用较为广泛的一种钢丝帘线结构。该结构由 12 根单丝组成, 按照相同捻向与捻距一次捻制而成, 其中 3 根大直径的单丝组成芯线, 9 根小直径的单丝组成面线, 其截面近似于三角形, 如图 1 所示。

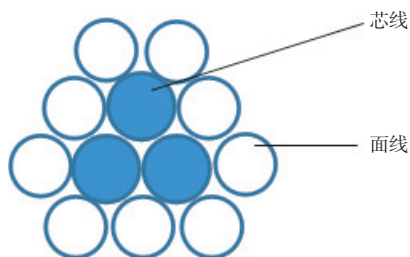


图1 3/9系列钢丝帘线截面示意

3/9系列钢丝帘线中的钢丝与钢丝之间为线接触,可减小单丝之间的接触摩擦,提高钢丝帘线的耐疲劳性能,同时利用组成钢丝帘线的12根单丝直径间的差异,设计3根内层单丝直径比9根外层单丝直径大,这样有利于提高钢丝帘线的渗胶性能。

$3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT, $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUT和 $3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCHT钢丝帘线的性能指标如表2所示,具体的公差范围参照GB/T 11181—2016《子午线轮胎用钢帘线》要求执行。

表2 3种钢丝帘线的性能指标

项 目	$3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT	$3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUT	$3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCHT
捻距/mm	12.5	12.5	14.0
捻向	S	S	S
帘线直径/mm	0.85	0.85	0.94
线密度/($\text{g} \cdot \text{m}^{-1}$)	3.17	3.17	3.94
最小破断力/N	1 550	1 445	1 445

从表2可以看出:与 $3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCHT钢丝帘线相比, $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUT钢丝帘线的破断力相同,但帘线直径和线密度分别减小了9.6%和19.5%; $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT钢丝帘线的帘线直径和线密度均与 $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUT钢丝帘线相同,但破断力提高了7.3%。

3 工艺设计

3.1 单丝工艺

(1) 0.20UMT工艺路线:先将UMT1进口盘条拉拔至直径为1.40 mm,然后进行电镀热处理,再经湿式拉拔至直径为0.20 mm。

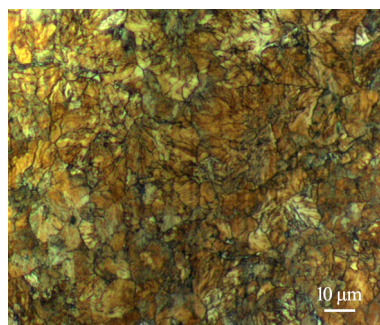
(2) 0.22UMT工艺路线:先将UMT2进口盘条拉拔至直径为1.40 mm,然后进行电镀热处理,再经湿式拉拔至直径为0.22 mm。

采用两种不同碳含量的进口盘条制备上述两种单丝,旨在使其半成品直径相同,有利于提高大

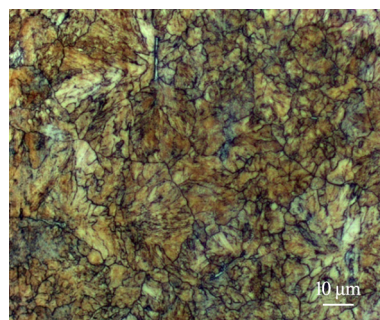
拉和中拉的生产效率,同时也有利于调控索氏体化热处理。

3.2 半成品热处理

随着市场对更高强度钢丝帘线需求的进一步提高,钢丝帘线盘条的碳质量分数已由0.007 2和0.008 2增大至0.009 2,而下一代钢丝帘线用盘条碳质量分数可达1.000 2。对处于过共析区域的高碳钢线材,为了能得到优良的冷加工性能,必须获得有利于拉拔的索氏体金相组织。碳含量越大,其伪共析热处理工艺的控制难度就越大,在加热到奥氏体化后,必须控制好水淬火工艺,使高碳线材能快速穿越两相区,形成单一的索氏体组织,而不会出现二次渗碳体相。图2所示为两种直径为1.40 mm的半成品热处理后的金相组织。



(a) 1.40UMT1



(b) 1.40UMT2

图2 两种半成品金相组织

从图2可以看出,经过高分子水浴处理后,两种高碳盘条金相组织均以索氏体为主,未观察到有先共析相和未溶的碳化物相。两种半成品的性能如表3所示。

3.3 湿式拉拔工艺

对于依靠冷拔大变形获得特高强度的钢丝,其扭转性能是决定钢丝帘线产品性能以及捻制生

表3 两种半成品的性能

项 目	1.40UMT1	1.40UMT2
直径/mm	1.403	1.405
抗拉强度/MPa	1 455	1 508
断面收缩率/%	39	36

产效率的重要指标。扭转性能差的钢丝,在钢丝帘线捻制时易产生断丝,影响生产效率,同时即使不断丝,也会导致钢丝帘线的耐疲劳性能较差,给轮胎的行驶安全带来隐患。因此大变形高强度钢丝的扭转分层已经成为制约高碳钢丝实现高强度化的最大障碍。通常以扭转断裂的圈数以及扭转断口形貌来评价钢丝的韧性^[6]。扭转试验断口主要有两种形状,第1种为平断口[见图3(a)],对于剪切强度低于拉伸强度的韧性材料,其断裂是在最大剪切应力方向,即试样从最外层沿横截面发生剪断产生的平直断口,断口平滑且垂直于线材轴线(或稍微倾斜)。而对于拉伸强度低于剪切强度的脆性材料,其断裂是由试样的最外层沿与轴线约成 45° 倾角的螺旋形曲面发生拉断而产生的,形成螺旋断口,即分层断口[见图3(b)]。分层断口无论呈何种形状,试样外表面全长或大部分长度上都有螺旋形裂纹。

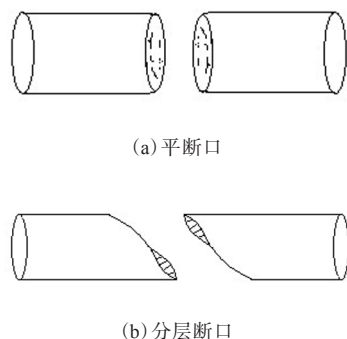


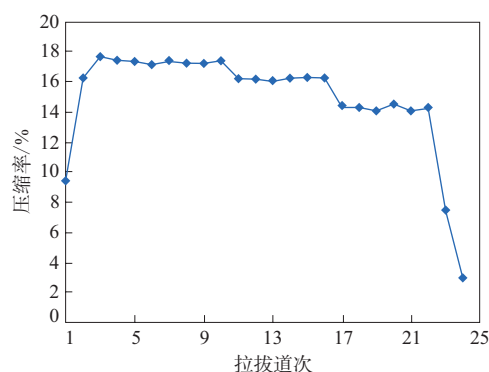
图3 扭转断口分类示意

根据UMT1和UMT2进口盘条的特点,设计的拉拔工艺见图4,钢丝性能见表4。

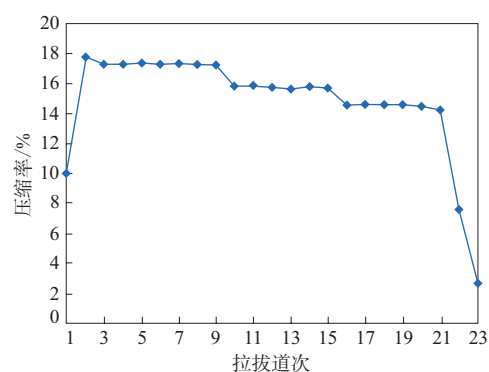
从表4可以看出,两种钢丝的抗拉强度均大于4 000 MPa,扭转测试显示其具备良好的韧性。

3.4 捻制工艺

将试制钢丝捻制成 $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT 钢丝帘线,其性能如下:捻距 12.7 mm,捻向 S,帘线直径 0.852 mm,线密度 $3.18 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1}$,破断力 1 580 N。对比表2可知,本试制钢丝帘线的性能满足设计标准要求。



(a) 1.40UMT1-0.20



(b) 1.40UMT2-0.22

图4 两种钢丝的拉拔工艺

表4 两种钢丝的性能

项 目	0.20UMT	0.22UMT
直径/mm	0.201	0.222
破断力/N	131.94	157.71
抗拉强度/MPa	4 160	4 076
扭转圈数	55	57
扭转断口形状	平断口	平断口

4 应用

根据帘布等强度替换原则,采用 $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT和 $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUT 钢丝帘线替代 $3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCHT 钢丝帘线,3种钢丝帘线及其胶料用量如表5所示。

从表5可以看出:采用 $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUT 钢丝帘线替代 $3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCHT 钢丝帘线,钢丝帘线质量和胶料质量分别减小20%和12%,帘布质量减小16%;而采用更高强度的 $3 \times 0.22/9 \times 0.20$ CCUMT 钢丝帘线替代 $3 \times 0.24/9 \times 0.225$ CCHT 钢丝帘线,钢丝帘线质量和胶料质量则分别减小25%和11%,帘布质量减小

表5 3种钢丝帘线及其胶料用量

项 目	3×0.22/9× 0.20CCUMT	3×0.22/9× 0.20CCUT	3×0.24/9× 0.225CCHT
最小破断力/N	1 550	1 445	1 445
压延密度/ (根·dm ⁻¹)	56	60	60
帘布厚度/mm	2.0	2.0	2.3
钢丝帘线质量指数	75	80	100
胶料质量指数	89	88	100
帘布质量指数	82	84	100

18%,从而能够进一步减小轮胎质量,减少资源消耗。

5 结论

(1)采用UMT1和UMT2进口盘条,设计了相同的半成品直径,所制钢丝帘线用钢丝的抗拉强度均大于4 000 MPa,且扭转性能优异。

(2)经设计制得的3×0.22/9×0.20CCUMT钢丝帘线的破断力达到1 580 N,满足设计要求。

(3)采用3×0.22/9×0.20CCUT钢丝帘线替代3×0.24/9×0.225CCHT钢丝帘线,可降低钢丝

帘线和胶料的用量,减小帘布质量;而采用更高质量的3×0.22/9×0.20CCUMT钢丝帘线可进一步减小帘布质量,实现轮胎轻量化。

参考文献:

- [1] 罗奕文. 高强度ST与UT钢帘线在低滚动阻力轮胎中的应用[C]. 2012中国橡胶年会论文集. 北京:中国橡胶工业协会,2012: 190-192.
- [2] Toshimi Tarui, Naoki Maruyama, Jun Takahashi, et al. Microstructure Control and Strengthening of High-Carbon Steel Wires[R]. Nippon Steel Techniacal Report, 2005:56-61.
- [3] 倪自飞, 刘祥. 冷拉超/特高强度珠光体钢丝的工艺性能及强化机理[J]. 轮胎工业, 2019, 39(8): 487-489.
- [4] 王梦蛟. 绿色轮胎的发展及其推广应用[J]. 橡胶工业, 2018, 65(1): 105-112.
- [5] 陶学伟, 王章忠, 毛向阳, 等. 高强度钢帘线制造技术研究进展[J]. 热加工工艺, 2015, 44(14): 29-32.
- [6] Yasuhiro Oki, Nobuhiko Ibaraki, Kenji Ochiai. Microstructure Influence on Ultra High Tensile Steel Cord Fliament Delamination[J]. Kobelco Technology Review, 2002, 25(8): 35-38.

收稿日期:2020-04-10

Development of 3×0.22/9×0.20CCUMT Steel Cord

NI Zifei^{1,2}, SHENG Rongsheng^{1,2}

[1. Sunnywell (China) New Material Technology Co., Ltd, Changzhou 213200, China; 2. Zhenjiang Naisi Advanced Materials Co., Ltd, Zhenjiang 212006, China]

Abstract: The qualified 3×0.22/9×0.20CCUMT steel cord could be produced by using two kinds of imported wire rods with different carbon content and adopting a reasonable heat treatment process and wet drawing process for semi-finished products. The results showed that, compared with the 3×0.22/9×0.20CCUT and 3×0.24/9×0.225CCHT steel cord, 3×0.22/9×0.20CCUMT steel cord had higher monofilament tenacity, smaller cord diameter and higher breaking force. Using it as an alternative in the tire carcass, the thickness of the cord ply could be decreased, and the amount of steel cord and rubber compound could be reduced to achieve lighter tires.

Key words: steel cord; ultra high tenacity; production process; tire carcass; lightweight

一种带束层钢帘线用橡胶组合物

由万达集团股份有限公司申请的专利(公布号 CN 111440360A, 公布日期 2020-07-24)

“一种带束层钢帘线用橡胶组合物”,涉及钢帘线技术领域,公开了一种带束层钢丝帘线胶配方,为橡胶 100,硫黄 2.5~4,间苯二酚-甲醛树脂

0.5~5,三聚氰胺甲醛树脂 0.3~3,新葵酸钴(以钴用量计) 0.05~0.8。该配方减小了胶料老化后的断裂性能下降率,提高了与金属材料的粘附力,尤其是抑制了轮胎行驶时胶料与钢丝帘线的分层。

(本刊编辑部 马 晓)