

帘布厚度均匀性影响因素及解决方案研究

成因贵¹,张福金²

[1. 赛轮集团股份有限公司, 山东 青岛 266555; 2. 赛轮(越南)有限公司, 越南 西宁 72054]

摘要:研究帘布厚度均匀性影响因素以及解决方案。结果表明:通过常规工艺参数优化(调整轴交叉值、预弯曲应力等)不能有效提高帘布厚度均匀性;帘布厚度均匀性呈“马鞍形”分布的根本原因是气泡刀行程叠加区域辊筒损伤变形,且更换辊筒是解决问题的根本方法;辊筒更换后,帘布厚度均匀性极差从0.20 mm降低至0.05 mm以下,可满足生产要求。

关键词:帘布;厚度均匀性;压延辊筒;气泡刀;轴交叉

中图分类号:TQ336.1;TQ330.38⁺9

文献标志码:A

文章编号:1006-8171(2024)04-0236-06

DOI:10.12135/j.issn.1006-8171.2024.04.0236



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

纤维和钢丝帘布质量直接决定了轿车轮胎胎体、带束层等骨架材料的工艺质量,从而间接影响成品轮胎的使用性能。在压延帘布的基础性能中,帘布厚度均匀性等级是关键的工艺技术指标,轮胎企业都在追求帘布厚度均匀性提升。

意大利A公司开发的钢丝纤维两用压延机^[1]空间利用率高,性价比较高,在我国很受欢迎。我公司购买了该公司4台钢丝纤维两用压延机,通过3~4年的使用,帘布厚度均匀性极差(R)从设备安装调试初期的0.05 mm以下增至0.20 mm,轮胎外观质量及均匀性合格率也开始下降,为了保证轮胎成品的质量等级,帘布厚度均匀性问题亟需解决。

1 帘布厚度均匀性说明

1.1 历史及现状说明

在钢丝纤维两用压延机安装调试结束后,在长达两年的时间内,帘布厚度均匀性都比较好,R控制在0.05 mm以下;运行两年后,R增大至0.08 mm,通过工艺调整可以适当优化;当运行4年后,R增大至0.20 mm以上,工艺调整不能根本解决问题,这与设备技术协议中对于压延辊筒的使用寿命10年的表述很不相符,已经远远超出了压延辊筒性能自然衰减范围。

作者简介:成因贵(1982—),男,安徽马鞍山人,赛轮集团股份有限公司工程师,硕士,主要从事汽车轮胎产品精准实现以及材料工程制造技术研究。

E-mail:yingui.cheng@sailuntire.com

1.2 帘布厚度分布分析

10种不同幅宽、厚度的帘布厚度(在常规的轴交叉、预弯曲工艺条件下测得,测量位置在帘布裁断处)分布如图1所示,A—E是轿车子午线(PCR)轮胎纤维帘布;F—G是PCR轮胎钢丝帘布;H—I是载重子午线(TBR)轮胎钢丝帘布;J是工程机械(OTR)轮胎钢丝帘布。

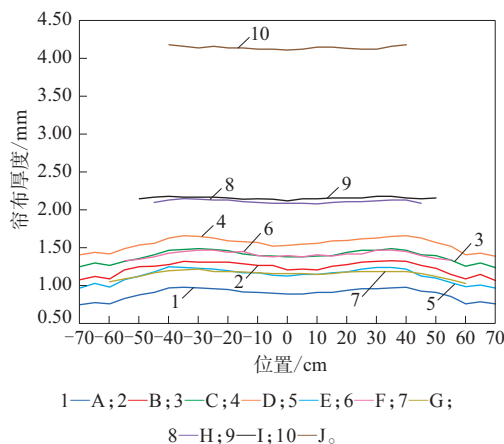


图1 10种不同帘布厚度分布

计算得到A—J帘布R分别为0.23,0.26,0.25,0.27,0.28,0.13,0.19,0.07,0.06,0.07 mm。可知:纤维帘布R为0.23~0.28 mm,PCR轮胎钢丝帘布R为0.14~0.19 mm;TBR/OTR轮胎钢丝帘布R为0.06~0.07 mm;所有帘布厚度不均匀趋势相似,距离辊筒中心350~450 mm处厚度最大,边部厚度最小;幅宽越大,帘布厚度均匀性越差,反之帘布厚度均匀性越好。

1.3 R改变后的影响

(1) 成品轮胎均匀性低, 产品A级率低于96%。(2) 帘布边部的厚度小, 容易脱层, 需要去除边部5.08 cm帘布料再生产, 导致废料多、效率低。(3) 帘布平均厚度超标准0.15 mm, 单胎损耗增大60 g, 按照日产30 000条轮胎计算, 月浪费胶料54 000 kg。

2 常规帘布厚度均匀性调整方法研究

意大利A公司的压延机代表了欧洲先进水平, 辊筒使用年限至少10年以上, 每个辊筒单价为16万美元, 且辊筒表面有10 mm厚的硬化层^[2], 出现质量问题的概率较小, 因此将全部精力聚焦在工艺优化, 主要从以下3个方面进行研究。

2.1 轴交叉、预弯曲工艺研究

压延时, 辊筒在胶料的横压力作用下会产生轴向的弹性弯曲变形, 其变形程度用辊筒轴线中央处偏离原来水平位置的距离表示, 称为辊筒的挠度。因为挠度的客观存在, 导致帘布厚度在宽度方向呈现中间厚、两边薄的情况^[3]。为了改善此现象, 在1[#]—4[#]辊筒配置了轴交叉装置, 调整范围为0~25 mm, 在2[#]—3[#]辊筒配置了预弯曲装置, 调整范围为0~90 MPa, 与此同时, 4个压延辊筒配置了一定的凹凸系数^[4]。通过这3种改进方案的结合, 理论上可保证帘布厚度均匀性满足技术要求。

为了研究改进方案对工艺参数的影响, 现场

试验调整, 试验结果见表1。从表1可以看出, 通过轴交叉和预弯曲的极限调整, 厚度均匀性R无明显改善。即便是稍有改善, 也会因辊筒交叉量过大, 导致边部胶料厚度增大, 压延时横压力增大, 导致帘布气泡和稀线等质量问题。

另外, 轴交叉和预弯曲的极限调整会加大轴承的磨损, 缩短帘布压延机的使用寿命。

2.2 供胶状态及胶料的流动研究

胶料在辊筒上的受力状态和流速分布如图2所示。

从图2可以看出, 在a—b处, 胶料在压力起点a处受到的挤压力很小, 故断面中心处流速小, 两边靠近辊筒边部的流速较大。随着胶料流动前进, 辊距逐渐减小, 胶料受到的压力逐渐增大, 使断面中心处的胶料流速逐渐增大, 两边流速不变。到达b点时, 中心部位流速和两边流速趋于一致, 这时胶料受到的挤压力达到最大。胶料继续流动前进, 辊距迅速减小, 胶料受到的挤压力虽然开始减小, 但断面中心处的流速继续加快。由于两边流速不变, 当到达辊筒断面中心点c时, 断面中心处的流速大于两边的流速。超过c点后, 因辊隙逐渐加大而使压力和流速逐渐减小。到达d点处, 压力减至零, 流速趋于一致, 这时胶料已经离开辊隙, 其厚度大于辊距中心点c处的厚度^[3]。

基于以上理论可以看出, 当胶料在两个辊筒间隙的积胶高度不一致时, 受到辊筒的挤压力, 经

表1 轴交叉、预弯曲参数调整试验方案及结果

方 案	改善效果	存在问题
轴交叉值/mm		
16	R从0.20 mm降低到0.16 mm	产生气泡和稀线
20	R从0.16 mm降低到0.12 mm, 边部覆胶状态有所改善	气泡和稀线较多
预弯曲压力/MPa		
5	R无明显改善	边部覆胶不良
9	R从0.20 mm降低到0.18 mm	边部覆胶不良更加严重



图2 胶料在辊筒上的受力状态和流速分布

过辊筒间隙的流速有区别,从而导致胶料的压缩因数不一致,压延后的厚度也有区别;另一方面,胶料本身的流动性差异也会影响压延厚度。一般压延速度越快、胶料温度越低、积胶高度越大,帘布厚度会增大。因此,为了改善帘布厚度均匀性,就要尽可能地保证供胶、积胶状态和胶料温度均匀。

供胶状态调整试验方案及结果如表2所示。

从表2可以看出,通过提高胶料供胶均匀性、辊筒温度和胶料横向流动性,均不能有效改善帘布厚度均匀性。

2.3 辊筒表面温度均匀性研究

辊筒温度对胶料塑化效果有直接影响,从而影响胶料在压延时的渗胶效果和压延膨胀因数。当温度高时,胶料的塑化效果好,压延膨胀因数小,帘布厚度偏小;反之,压延膨胀因数大,帘布厚度偏大。因此,辊筒温度均匀性对于帘布厚度均匀性有直接影响。该压延机辊筒内部结构为钻

孔式,可以确保辊筒表面温度趋于均匀,温度差一般低于3℃为正常^[4]。本次辊筒表面温度实测结果见表3。从表3可以看出,各辊筒的温度均匀性良好,温度差最大为1.8℃,远低于行业标准(≤3℃),辊筒表面温度不是导致帘布厚度均匀性异常的原因。

3 厚度均匀性影响因子深度研究

3.1 辊筒异常变形的假设推理

通过现场各种工艺优化研究试验,以及供胶均匀性的优化改善,均不能有效改善帘布厚度均匀,因此仍然怀疑辊筒发生了异常变形,需要试验验证假设推理的合理性,同时研究确定异常变形的辊筒数量及异常变形的机理。

3.2 辊筒异常变形的试验推理

试验验证思路为:辊筒安装在压延机上,无法拆卸直接测量变形量,也无法用红外设备扫描尺

表2 供胶状态调整试验方案及结果

方 案	具体方案特点	改善效果
扩大挡胶板宽度	防止边部喂料不足及增大压力,增大胶片厚度	不明显
调整摆胶输送带	增加摆胶输送带在两边停留时间,从边部加入,增加辊筒吃胶量。提高两边胶片厚度	不明显
调整辊筒温度	2 [#] 和3 [#] 辊筒温度不调整,提高1 [#] 和4 [#] 辊筒温度。确保3层敷贴时胶料横向移动	不明显

表3 辊筒表面温度均匀性测量结果

辊 筒	轴向位置点						轴向极差	判定结果
	1(操作侧)	2	3	4	5	6(驱动侧)		
1 [#] 辊筒								
1	68.2	67.7	67.7	67.7	67.6	67.6	0.6	良好
2	68.4	68.5	67.9	68.0	67.9	67.9	0.6	良好
3	68.0	67.8	68.3	68.0	67.5	67.7	0.8	良好
径向极差	0.4	0.8	0.6	0.3	0.4	0.3		
2 [#] 辊筒								
1	62.1	61.5	61.6	61.6	61.7	61.8	0.6	良好
2	61	61.1	60.9	61.7	61.7	61.3	0.8	良好
3	61.1	62.1	62.1	60.8	61.8	62.0	1.3	良好
径向极差	1.1	1.0	1.2	0.9	0.1	0.7		
3 [#] 辊筒								
1	61.2	60.5	61.6	60.6	61	61.2	1.1	良好
2	61.6	61.4	61.6	61.7	61.5	61.6	0.3	良好
3	62.2	62.2	61.8	61.8	61.4	62.1	0.8	良好
径向极差	1.0	1.7	0.2	1.2	0.5	0.9		
4 [#] 辊筒								
1	66.3	66.9	68.1	68.1	67.8	67.2	1.8	良好
2	67.8	68.1	67.4	67.8	67.8	68.0	0.7	良好
3	67.4	66.4	67.2	66.6	66.6	68.2	1.8	良好
径向极差	1.5	1.7	0.9	1.5	1.2	1.0		

注:沿着辊筒轴向位置标记6个点,两点间距350 mm,沿辊筒径向位置标记3个点,两点间距640 mm;测量工具采用接触式测温仪,最小精度0.1℃。

寸,因此只能间接试验进行推理验证。试验方法是先进行辊筒表面硬度的测量评价,再分别测量上下胶片的厚度,根据胶片厚度分布图,结合辊筒原有的凹凸度,判断辊筒是否变形,再通过千分尺来直接测量4#辊筒的尺寸,据此判定哪个辊筒受损。

3.2.1 辊筒表面硬度的测量评价

辊筒表面硬度的测量结果见表4。

从表4可以看出,辊筒表面硬度符合设备标准[邵尔A型硬度为(70±2)度]要求,故其不是导致帘布厚度均匀性异常的原因。

表4 辊筒表面硬度测量结果

项 目	里氏硬度/LRH					平均值	邵尔A型硬度/度	判定结果
	1	2	3	4	5			
1#辊筒	718.0	723.0	759.0	736.0	742.0	735.6	69.5	良好
2#辊筒	742.0	743.0	745.0	726.0	724.0	736.0	69.6	良好
3#辊筒	748.0	747.0	752.0	754.0	752.0	750.6	70.1	良好
4#辊筒	736.0	733.0	733.0	739.0	735.0	735.2	69.5	良好

注:沿着辊筒轴向位置标记5个点,两点间距370 mm;测量工具采用里氏硬度计,最小精度0.1。

3.2.2 上下胶片厚度均匀性的测量评价

胶片厚度的测量方法为:(1)首先把压延机轴交叉和预弯曲都调整到设备初始零位,辊筒温度设定到正常工艺状态,调整单动模式,设定1#—2#辊距为0.05 mm(便于和压延机初始评价数据对比);(2)胶片厚度测量从操作侧到驱动侧,间隔5 cm用刀片从辊筒上取出圆形胶片,第一时间用测厚规测量胶片中心位置并记录;(3)依次调整轴交叉值,重复测量上胶片厚度并记录;(4)设定3#—4#辊距为0.20 mm,重复以上步序,测量不同轴交叉值时的胶片厚度并记录。

轴交叉值从0~20 mm时上胶片和下胶片厚度分布分别如图3和4所示。

通过调查压延辊筒的技术合同资料可知,辊筒设计有一定的凹凸度,其中1#辊筒凸度170 μm,2#辊筒凹度70 μm,3#辊筒是平辊,4#辊筒凹凸度为110 μm,见图5。

从图3—5可以看出,当轴交叉值是零时,假设1#—2#辊筒都没有变形,理论上胶片厚度是符合辊筒凹凸度分布的,中间厚度应比边部厚度小,且胶片厚度从中心点向辊筒边部逐渐增大,但是从上胶片厚度实测值来看,上胶片中间厚度大于两边厚度,与理论不符合,故假设有误,1#—2#辊筒至少有1个辊筒受损变形。同理,假设3#—4#辊筒都没有变形,胶片厚度应该是从中心点向辊筒边部逐渐增大,但实际上下胶片中间厚度大于两边厚度,且在1/4和3/4幅宽处有两个厚度峰值区间,类似“马鞍形”分布,与理论不符合,故假设有误,3#—4#

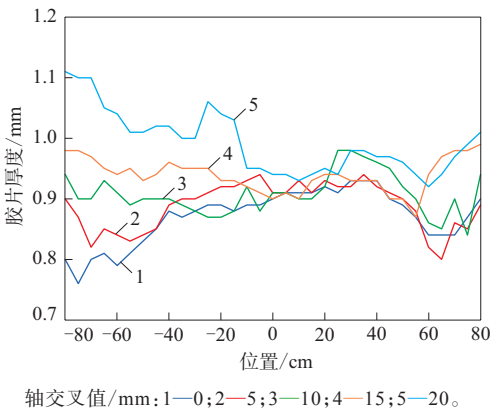
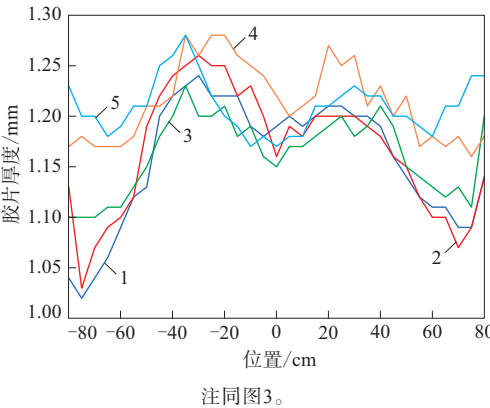


图3 上胶片厚度分布



注同图3。

图4 下胶片厚度均匀性分布

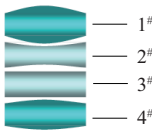


图5 压延辊筒凹凸度示意

辊筒至少有1个辊筒受损变形。随着轴交叉值的增大,边部胶片厚度增大,这与理论推测一致。

3.2.3 辊筒外直径的测量评价

为了验证辊筒异常变形损坏,最有效最直观的办法是实际测量每个辊筒的外直径,然后对照辊筒外直径标准,判定辊筒是否异常变形受损。但事实上,除了4[#]辊筒可以测量外,其余3个辊筒,因位置和角度问题,在现有测量手段的基础上,无法有效测量,因此从4[#]辊筒外直径开始测量。

测量采用外径千分卡尺(精度0.01 mm),以辊筒中心为零点,每间隔50 mm标记1个位置,并测量记录数据。4[#]辊筒外直径的轴向分布如图6所示。

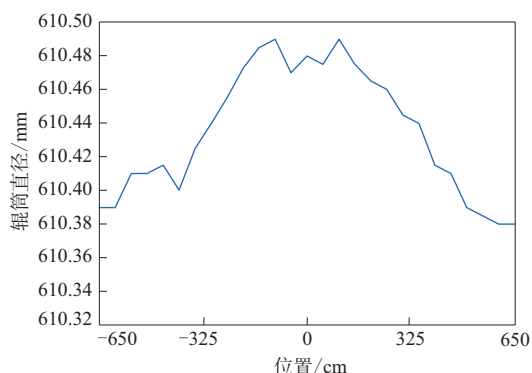


图6 4[#]辊筒外直径的轴向分布

通过对辊筒外直径实际测量,辊筒中间直径比边部直径大0.11 mm,这与辊筒的理论数值高度一致,因此推测出4[#]辊筒没有受损。

3.2.4 异常磨损变形的辊筒确定

通过以上研究,可以判定4[#]辊筒没有受损,3[#]辊筒肯定受损,考虑3[#]和4[#]辊筒的主要差别在于,3[#]辊筒有气泡刀装置,怀疑气泡刀长时间滑动导致辊筒磨损变形。

3.3 气泡刀滑动导致辊筒异常变形的推理

气泡刀在辊筒上的运动行程示意图7所示。绿色线表示PCR轮胎纤维帘布压延时气泡刀位置

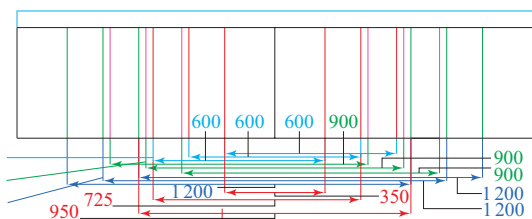


图7 不同帘布规格压延时气泡刀行程示意

(最大距离1 450 mm);粉红色线表示PCR轮胎钢丝帘布压延时气泡刀位置(最大距离1 150 mm),深红线表示OTR轮胎钢丝帘布压延时气泡刀位置(最大距离850 mm),因一组割气泡装置有3个气泡刀,且每个气泡刀间距为125 mm,所以压延PCR轮胎纤维帘布、PCR轮胎钢丝帘布、OTR轮胎钢丝帘布时单个气泡刀行程分别为1 200, 900, 600 mm。根据气泡刀的运行轨迹,可以确定在 $\pm 175 \sim \pm 425$ mm,气泡刀叠加行程最多,累计划气泡时间最长,更易受到损坏。但是,气泡刀叠加行程最多的位置,帘布厚度也呈现不规则分布。通过现场进一步试验发现,气泡刀轴承没有限位,长时间使用气泡刀侧面与支架磨损,当划气泡时,阻力增加,对辊筒表面有较强的剪切力,尤其是当气泡刀转向时,气泡刀对辊筒剪切力最大,所以在气泡刀转向位置前后,即辊筒 $\pm 350 \sim \pm 450$ mm位置处辊筒受损相对最严重。另一方面,因为OTR轮胎钢丝帘布厚度很大,为了胶片排气效果好,气泡刀采用圆盘刀,且气泡刀压力增大到0.3 MPa,硬度为50度,但当切换为PCR轮胎纤维帘布时,未及时更换气泡刀,导致气泡刀对辊筒损伤加大。综合分析,气泡刀划痕重叠区域,辊筒异常磨损最严重,导致帘布厚度呈“马鞍形”分布。2[#]辊筒也有损坏变形。

至于1[#]辊筒是否存在磨损变形,无法通过直径测量获得,考虑其有预负荷装置保护^[5],且没有气泡刀长时间划动,辊筒表面光滑,不易受损变形,故未做重点研究。

4 更换辊筒的试验验证

根据试验数据及分析推理,判定2[#]和3[#]辊筒已受损变形,最彻底的解决方式是更换辊筒,于是购入新的压延辊筒,待安装调试完毕后,选择厚度均匀性最差的A帘布进行厚度均匀性评价,结果如表5所示。从表5可以看出,A帘布R不大于0.05 mm,这在全球轮胎领域也是非常优秀的质量等级。

另对拆下的辊筒进行外直径测量,其结果和初始状态相差巨大,磨损异常严重,这再次验证了研究结果的正确性。

5 结语

(1)造成帘布R达到0.20 mm的根本原因是2[#]

表5 更换2 [#] 和3 [#] 辊筒后帘布厚度均匀性数据												mm
径向位置/cm	轴向位置/cm											轴向极差
	-725	-600	-450	-300	-150	0	150	300	450	600	725	
0	0.80	0.81	0.79	0.79	0.79	0.79	0.77	0.78	0.79	0.81	0.81	0.04
150	0.79	0.79	0.80	0.79	0.80	0.80	0.77	0.79	0.79	0.80	0.80	0.03
300	0.80	0.80	0.78	0.79	0.78	0.79	0.79	0.80	0.79	0.80	0.81	0.03
600	0.80	0.79	0.79	0.80	0.79	0.78	0.78	0.80	0.79	0.80	0.80	0.02
750	0.79	0.81	0.79	0.79	0.79	0.77	0.79	0.79	0.80	0.80	0.81	0.04
900	0.80	0.80	0.80	0.79	0.80	0.78	0.80	0.78	0.79	0.80	0.80	0.02
1 050	0.80	0.81	0.80	0.79	0.78	0.79	0.80	0.79	0.78	0.81	0.80	0.03
1 200	0.81	0.80	0.79	0.78	0.79	0.79	0.79	0.80	0.79	0.80	0.81	0.03
1 350	0.79	0.81	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.79	0.80	0.80	0.81	0.03
1 500	0.80	0.80	0.79	0.80	0.78	0.78	0.80	0.78	0.80	0.82	0.81	0.04
1 650	0.79	0.80	0.78	0.79	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79	0.81	0.80	0.03
1 800	0.80	0.80	0.79	0.80	0.79	0.80	0.77	0.79	0.80	0.80	0.79	0.03
径向极差	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03

和3[#]辊筒的受损变形。

(2)造成2[#]和3[#]辊筒受损变形的根本原因是气泡刀结构设计不当、气泡刀变向时对辊筒表面剪切力异常增大。

(3)钢丝和纤维帘布幅宽不同导致气泡刀行程不同,上下胶片厚度不同导致气泡刀的选择不同等因素,也是2[#]和3[#]辊筒受损变形的诱因。

(4)钢丝纤维两用压延机虽然通用性强,但专业性偏低,不太适合生产厚度差异过大的钢丝帘布,尤其不适合生产TBR轮胎和OTR轮胎的钢丝帘布,建议TBR/OTR轮胎钢丝帘布压延使用单独设备生产。

为了控制辊筒在使用生命周期内的性能衰减

(辊筒的异常磨损),建议压延机供应商优化辊筒设计、优化气泡刀的结构设计。

参考文献:

[1] YANG H H. 100 years since the first calender always looking for quality first[J]. China Rubber,2019,35(12):23-24.

[2] 徐文英. 中国橡胶工业协会组团赴欧洲考察[J]. 中国橡胶,2011,27(24):4-7.

[3] 杨清芝. 现代橡胶工艺学[M]. 北京:中国石化出版社,1997:612-613.

[4] GOOCH L R. Evolution of calendar roll adjust systems[J]. Rubber & Plastics,2013,42(12):16-19.

[5] 杭柏林,安昌喜,王鸿伟,等. 基于太赫兹技术的轮胎用覆胶钢丝帘布厚度检测[J]. 橡胶工业,2019,66(7):555-559.

收稿日期:2024-01-16

Research on Influencing Factors and Solutions for Cord Thickness Uniformity

CHENG Yingui¹,ZHANG Fujin²

[1. Sailun Group Technology R&D Center,Qingdao 266555,China;2. Sailun(Vietnam) Co.,Ltd,72054,Vietnam]

Abstract: The factors affecting the thickness uniformity of cord fabric and their solutions were studied. The results showed that the uniformity of cord fabric thickness could not be effectively improved by optimizing conventional process parameters (e. g. , adjusting the axial crossing value and pre-bending stress). The fundamental reason for the saddle shaped distribution of uniformity of cord fabric thickness was the damage and deformation of the roller in the overlapping area of the bubble knife stroke, and replacing the roller was the fundamental method to solve the problem. After replacing the roller,the range uniformity of cord fabric thickness decreased from 0.20 mm to below 0.05 mm, which could meet production requirements.

Key words: cord fabric;thickness uniformity;rolling roller;bubble knife;axis crossing