

文章编号:1000-582X(2010)07-058-05

防止纱线重叠的卷绕比确定方法

谢卫东^{1a,b}, 王春光^{1a}, 彭晓东^{1a,b}, 魏群义^{1a}, 姚 远²

(1. 重庆大学 a. 材料科学与工程学院; b. 国家镁合金材料工程技术研究中心, 重庆 400044;

2. 重庆国际复合材料有限公司, 重庆 400082)

摘 要: 纱线卷绕中, 不当的卷绕参数会导致纱线间距过小以致重叠, 造成容纱量低、卷绕振动、退绕断头及混纱等问题。采用几何及数学方法, 分析了纱线排布规律及其与卷绕比的关系, 发现适宜的卷绕比可以实现纱线规律性的错开排布, 进而有效防止纱线间距过小而产生重叠。提出了适应不同工艺要求的卷绕比确定方法, 分析了卷绕过程中纱线夹角及最小纱线间距的细微变化及其对卷绕比选取的影响, 给出了优化卷绕比防止纱线重叠的完整方法并进行了示例说明。

关键词: 卷绕; 卷绕机; 纱线; 纱线重叠; 卷绕比; 排线器; 纱线间距

中图分类号: TH113

文献标志码: A

Research of the winding ratio to prevent yarn overlapping

XIE Wei-dong^{1a,b}, WANG Chun-guang^{1a}, PENG Xiao-dong^{1a,b}, WEI Qun-yi^{1a}, Yao Yuan²

(1a. College of Materials Science and Engineering; b. National Engineering Research Center for Magnesium Alloys, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China;

2. Chongqing Polycomp International Corp., Chongqing 400082, P. R. China)

Abstract: Unapt winding parameters may cause yarn overlapping with the problems of low yarn density, winding vibration, breaking and disorder when unwinding yarn and others. The yarn arrangement rules and its relationship with the winding ratio are analyzed using geometrical and mathematical methods. It is revealed that winding ratio is an important parameter to prevent yarn overlapping. When the winding ratio is proper, the yarn can be staggered regularly and yarn overlapping can be prevented effectively. A new method for the determination of the proper winding ratio is introduced. The alteration of yarn angle and interval and their effect for the determination of the winding ratio are discussed. The particular process of the method is given and an example is presented.

Key words: winding; winding machines; yarn; yarn overlapping; winding ratio; traverse; yarn space

卷绕是指将线状物连续卷绕成为锭状、筒状等形状。广泛应用于纺织、玻璃纤维、电力电子线圈、缠绕型连续纤维增强复合材料等生产过程^[1]。

纱线是多根纤维并排并加捻而成的集体^[2]。

纱线卷绕是纱线加工中的重要环节之一。在研究纱线卷绕问题时, 通常将纱线视为实心的、柔性的线状物。笔者以“纱线”作为各种实心的、柔性的线状物的代表, 研究其防叠卷绕方法。相关研究方法、结果

收稿日期: 2010-01-25

基金项目: 国家科技支撑计划项目(课题 2: 2007BAE33B02、课题 1: 2007BAE33B01); 重庆市科技攻关计划项目(CSTC, 2009AA4013)

作者简介: 谢卫东(1965-), 男, 重庆大学副教授, 工学博士, 主要从事新材料及材料制备与加工新方法研究, (E-mail) wdxie@cqu.edu.cn。

可推广应用到漆包线、各种金属及非金属丝等线状物的卷绕问题研究中。

纱线卷绕过程可以视为两个运动的合成:纱线沿纱筒的切向运动及轴向运动。纱筒每回转一转,绕上一个螺旋形纱线圈。当纱线运动到纱筒端部时,向相反的轴向按另一个螺旋方向卷绕,同时产生一个折回点。如此循环往复,周期运转,实现纱线连续卷绕。纱线从纱筒的一个端面卷绕到另一个端面后再回到该端面为一个卷绕周期,一个卷绕周期形成一层纱线面(含不同旋向的两个单面)。

卷绕过程具有较强的周期性,容易出现相邻卷绕周期形成的纱线圈部分重叠或完全重叠,并引发以下问题:

- 1) 增大纱线圈之间的间隙,降低卷绕纱筒的卷绕密度,减少卷绕纱筒的容纱量^[3];
- 2) 重叠的纱线圈经过一段时间后,将卷绕成绳状或带状,纱筒表面出现凹凸不平,引发卷绕振动^[4-6];
- 3) 重叠纱线圈易相互嵌入,在退绕时加剧纱线之间的摩擦,增加纱线张力,引起断头及混纱^[6-9]。

目前,国内外防止纱线重叠的方法主要有两类:一类是通过调控线锁的运动频率来防止纱线重叠,另一类是通过调控纱筒转速来防止纱线重叠^[10-16]。两类方法均以预知叠纱点位置为前提,涉及复杂的信息采集、分析、处理及反馈执行过程,不但会增加设备制造成本,而且会降低运行可靠性。

研究发现,纱线重叠的形成与卷绕比密切相关,当卷绕比适宜时,可防止纱线重叠,实现平稳的无重叠卷绕,获得致密、易退绕纱锭。近、现代的卷绕设备(络筒机)一般都具备卷绕比调节的功能。近年来,以意大利的 Savio Orion、德国的 Autoconer 338、日本的 Muvatec No. 21c Process Coner 和国产 GS 669 型络筒机等为代表的现代自动络筒机已能实现卷绕比的精细调节^[17]。通过适宜卷绕比防止纱线重叠的方法,不但能在这些设备上得以实现,而且对于研究、开发操作更为简便、高效的卷绕设备有积极的指导意义。

1 卷绕过程解析及通过控制卷绕比防止纱线重叠的基本思路

纱线卷绕过程中,纱线重叠主要表现为平行纱线间距过小而出现重叠现象,根源是纱筒端面相同旋向的纱线直接重叠。

无重叠纱线卷绕的理想状态应当为:卷绕过程中相邻周期间的纱线间距较大,而整个纱锭的纱线致密均匀。如此形成的纱锭容纱量高、卷绕平稳、退绕顺畅。

纱线卷绕属于等螺距周期性卷绕,防止纱线重叠的关键在于控制纱筒端面折回点排布顺序,调节相邻卷绕周期的纱线距离,进而避免纱筒端面相同旋向的纱线直接重叠。

卷绕比是指线锁运动一个卷绕周期,卷绕机机头(纱筒)所转过的圈数,是描述纱线卷绕过程中线锁、纱筒运动的综合性参数,反映线锁带动纱线来回运动节拍与纱筒回转节拍相匹配性。调节卷绕比可以控制纱筒端面的折回点的排布顺序及折回点间的相对偏移位置,使相邻卷绕周期纱线以较大间距规律性错开排布。恰当的卷绕比,可以使相邻卷绕周期的纱线间距较大,处于纱筒同一径向位置的折回点经过较多个卷绕周期后再进行第二次卷绕,两次卷绕之间铺垫上其他折回点的多圈异向纱线,且经过多个卷绕周期出现纱线最小间距,进而避免纱线直接重叠。

以折回点数 7 为例,图 1 示意出了纱筒端面折回点的不同排布情况,图中折回点序号按照纱线在纱筒端面形成折回点的先后顺序编排。表 1 给出了折回点不同排布方式下的过程参数。

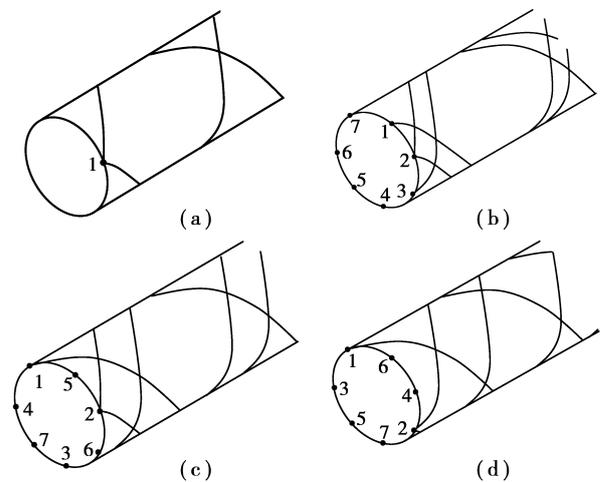


图 1 纱筒端面折回点的不同排布

图 1(a)为单一折回点,相邻卷绕周期的纱线完全重叠,卷绕过程难于持续;图 1(b)、(c)、(d)分别对应于相邻周期的折回点偏移纱筒端面周长的 $1/7$ 、 $2/7$ 、 $3/7$ (分别等效于 $6/7$ 、 $5/7$ 、 $4/7$),均在纱筒端面形成均匀分布的 7 个折回点。三者的相邻卷绕周期

纱线间距分别为 L 、 $2L$ 、 $3L$ ，同一个折回点位置都经过 7 个卷绕周期后再进行相同径向位置、相同旋向的下次卷绕，两次卷绕之间铺垫了 7 层另一螺旋方向的纱线。而图 1(b)、(c)、(d) 中，位置相邻的两个折回点对应的纱线面间分别铺垫了 1、3、2 层另一螺旋方向的纱线。比较而言，图 1(c) 所示的情形，相邻卷绕周期的纱线间距较大，且位置相邻的两个折回点对应的纱线面间分别铺垫的异向纱线层数最多，避免纱线重叠的效果最佳。

表 1 折回点不同排布方式下的过程参数

对应于图 1 中的折回点排布方式	a	b	c	d
相邻周期的折回点偏移量(周)	0	1/7	2/7	3/7
相邻卷绕周期纱线间距(L)	0	1	2	3
同一折回点位置第二次卷绕间隔的卷绕周期数	0	7	7	7
出现最小纱线间距经历的卷绕周期数	0	1	3	2

2 防止纱线重叠的卷绕比计算及确定方法

2.1 卷绕过程中主要参数

图 2 给出了卷绕过程中的部分主要参数。

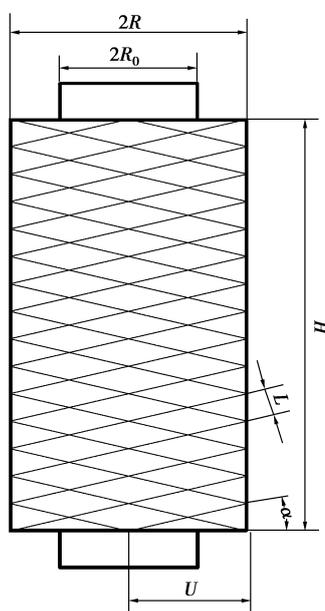


图 2 卷绕过程的主要参数

纱线卷绕速率 v : 单位时间内卷绕的纱线长度, m/s, 其轴向分量记为 v_x , 切向分量记为 v_y ; 纱筒的转速 n : 纱筒旋转的速度, r/s; 纱筒直径 $2R$: 卷绕形成的纱筒的直径, m, 其初始值为筒芯直径 $2R_0$, 纱筒直径在纱线卷绕中逐步增加; 纱线夹角 α : 纱筒上的纱线与纱筒端面的夹角, ($^\circ$); 纱筒高度 H : 卷绕形成的纱筒的高度, m; 纱线相邻折回点间距 U : 相邻折回点间的圆弧长度, m; 最小纱线间距 L : 相邻折回点间的非重叠纱线间的距, m; 折回点数 Z : 纱筒端面折回点的数量。

2.2 卷绕比计算及确定

为保证纱锭质量要求所确定的最小纱线间距 L 和纱线夹角 α , 卷绕中卷绕比应固定不变, 所以可以选取卷绕过程的初始状态计算卷绕比。

根据卷绕比的定义, 其计算方法为:

$$J = \frac{2Hn}{v_x} \quad (1)$$

式中纱筒的转速 $n = \frac{v_y}{2\pi R_0}$, 纱线卷绕速度轴向分量 $v_x = v \sin \alpha$, $v_y = v \cos \alpha$ 代入式(1)并经整理后得:

$$J = \frac{H}{\pi R_0 \tan \alpha} \quad (2)$$

式(2)显示, 对于确定的纱筒, 其 H 、 R_0 为定值, 卷绕比 J 只与纱线夹角 α 有关, 公式尚未能反映相邻折回点及相邻卷绕周期的纱线的相对位置关系, 不能保证不出现卷绕重叠现象。

为克服直接用式(2)确定卷绕比的不足, 将卷绕比确定方法改进为: 由式(2)计算出卷绕比 J 后, 取其邻近整数作为卷绕比基数, 再根据防止纱线重叠的要求, 确定其非整数部分, 获得卷绕比修正值。

卷绕比修正值的确定方法为: 根据欲达到的最小纱线间距 L , 由纱筒筒芯圆周长除以最小纱线间距 L , 取其邻近整数作为纱筒端面折回点数 Z , 获得可能的相邻卷绕周期的折回点偏移量系列值 x/Z (其中, x 为 1 到 $Z-1$ 间的整数) 作为修正值的备选值, 然后根据位置相邻的两个折回点对应的纱线面间铺垫的异向纱线层数最多及相邻卷绕周期的折回点在周向的位置偏移量最大的原则, 选择防叠效果最好的偏移量值作为卷绕比修正值。

表 2 为根据以上方法得出的常用的防叠卷绕比修正值。其中, 同一折回点数对应的两个修正值具有等效的防叠效果, 可从中选一, 使修正后的卷绕比尽可能接近按式(2)计算出的值。

表2 常用的防叠卷绕比修正值

Z	7	8	9	10	11	12						
修正值	2/7	5/7	3/8	5/8	2/9	7/9	3/10	7/10	3/11	8/11	5/12	7/12
Z	13	14	15	16	17	18						
修正值	5/14	8/13	3/14	11/14	4/15	11/15	7/16	9/16	5/17	12/17	5/18	13/18

下面结合实例,说明防止纱线重叠的卷绕比确定方法具体过程。

假定预设的纱筒高度 H 为 0.25 m,最小纱线间距 L 为 4×10^{-3} m,纱线夹角 α 为 5° ,纱筒筒芯直径 $2R_0$ 为 0.15 m,防叠卷绕比的确定过程如下:

1)初步选取卷绕比基数。根据式(2),有:

$$J = \frac{H}{\pi R_0 \tan \alpha} = \frac{250 \times 10^{-3}}{\pi \times 75 \times 10^{-3} \tan 5^\circ} = 12.128$$

根据就近取整原则,卷绕比基数初选为 11、12 或 13。

2)初步选取折回点数。以纱筒筒芯圆周长除以相邻折回点间距获得折回点数计算值:

$$Z = \frac{2\pi R_0}{U} = \frac{2\pi R_0}{L/\sin \alpha} = \frac{2\pi \times 75 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-3}/\sin 5^\circ} = 10.268$$

根据就近取整原则,折回点数初步选为 9、10 或 11。

3)初步选取修正值。对于初选出的折回点数 9、10 和 11,由于同一个折回点数对应两个等效防叠的修正值(表 2),只需选择每个折回点数对应的一个修正值进行比较即可,在此选取 2/9、3/10 和 3/11。三者出现最小纱线间距经历的卷绕周期数分别为 4、3 和 4,亦即三者位置相邻的两个折回点对应的纱线面间分别铺垫的异向纱线层数为 4、3 和 4,根据位置相邻两个折回点对应的纱线面间铺垫的异向纱线层数最多的原则,修正值以 2/9 或 3/11 为佳。同时,根据相邻卷绕周期的折回点在周向的位置偏移量最大的原则,3/11 比 2/9 更好。为此筛选出 3/11 及其等效值 8/11 作为修正值候选值。

4)确定卷绕比。对于初步选出的卷绕比基数 11、12、13 及修正值 3/11、8/11,可组合出 6 个卷绕比: $11 \frac{3}{11}$ 、 $11 \frac{8}{11}$ 、 $12 \frac{3}{11}$ 、 $12 \frac{8}{11}$ 、 $13 \frac{3}{11}$ 、 $13 \frac{8}{11}$,这些卷绕比均有良好的防叠效果。根据尽可能接近式(2)计算的卷绕比值的的原则,得出最优卷绕比 $J = 12 \frac{3}{11}$ 。同时,可反求出最优卷绕比对应的纱线夹角 $\alpha = 4.94^\circ$,最小纱线间距 $L = 3.689 \times 10^{-3}$ m,与预设值接近。

经试验验证,采用上述方法确定的卷绕比,可获得容纱量高、卷绕平稳、退绕顺畅的纱锭。

3 纱线夹角及最小纱线间距变化对卷绕比优化的影响

对于定卷绕比卷绕,卷绕过程中,纱筒的半径不断增大,纱线夹角、最小纱线间距均会有细微的变化,了解其变化规律,有助于卷绕比的优化。

3.1 纱线夹角变化的影响

根据式(2)可推导出纱线夹角的计算公式:

$$\tan \alpha = \frac{H}{J\pi} \times \frac{1}{R}, \quad (3)$$

再根据式(3)可推导出 α 随 R 的变化率 k_R :

$$k_R = \frac{\partial \alpha}{\partial R} = -\frac{\pi J H}{H^2 + \pi^2 J^2 R^2}, \quad (4)$$

式(4)表明 k_R 与 R^2 呈反比关系, k_R 的绝对值随 R 的增大而减小。要减小纱线夹角的变化, k_R 的绝对值应尽可能小,以下两点值得考虑:

1)使用粗大的筒芯,通过增大 R 的初始值 R_0 获得较小的 k_R ;

2)式(3)和式(4)表明 J 对 α 和 k_R 有不同的影响, J 大,则 α 小、 k_R 小, α 虽小但可供变化的空间较小; J 小,则 α 大、 k_R 大, α 虽大但可供变化的空间较大。实际生产中,可视具体情况,酌情选取 J 。

3.2 最小纱线间距变化的影响

对于定卷绕比卷绕,纱线相邻折回点间距 $U = \frac{L}{\sin \alpha}$,且 $U = \frac{2\pi R}{Z}$,综合两式并经进一步推导后有:

$$L = \frac{2\pi R}{Z} \sin \alpha, \quad (5)$$

联立式(2)和式(5),有:

$$L = \frac{2H}{JZ} \cos \alpha. \quad (6)$$

式(6)表明, L 主要受 α 的影响,可参考前述“纱线夹角变化的影响”中相关的分析,考虑卷绕比及其他参数的取舍。

4 结 语

纱线卷绕中,无重叠纱线卷绕的理想状态为卷绕过程中相邻周期纱线间距较大,而整个纱锭的纱线致密均匀。卷绕比与纱线重叠间有密切的关系,

合理的卷绕比可有效防止纱线重叠。卷绕比优化方法为:根据卷绕比的定义式计算并选取卷绕比基数,按照位置相邻的两个折回点对应的纱线面间铺垫的异向纱线层数最多的原则,优选出防叠效果好的卷绕比修正值。在卷绕过程中,纱线夹角、最小纱线间距均有细微、缓慢的变化,在卷绕比确定过程中可综合各方因素统筹考虑。

参考文献:

- [1] ABDALLA F H, MUTASHER S A, KHALID Y A, et al. Design and fabrication of low cost filament winding machine [J]. *Materials and Design*, 2007, 28(1): 234-239.
- [2] BELFORTE G, IVANOV A, MAFFIODO D, et al. Winding core spun elastic yarns on cone bobbins to be dyed [J]. *Journal of the Textile Institute*, 2009, 100(5): 413-417.
- [3] GHOSH S, BHOWMICK N. Contribution of cone-winding operation to the fibre-shedding behaviour of cotton yarn during knitting[J]. *Journal of the Textile Institute*, 2009, 100(1): 64-74.
- [4] ZHANG Z M, MEI S Q, XU Q, et al. Research on the math model of multi-parameter of new twisting machine [C]// ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management (CCCM 2009), August 8-9, 2009, Sanya, China. [S. l.]: IEEE, 2009: 95-98.
- [5] JAKSIC D. The method of precision winding of textile yarn into packages by frequently changing the wind ratio within one winding cycle. EP1930273 [P]. 2008-11-6.
- [6] PRZYBYL K. Influence of changes in yarn twist on the dynamics of yarn motion during spinning on a ring spinning machine [J]. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2008, 16(2): 16-18.
- [7] SCHEIBE H, KRUGER A, GERIG-LEIFELD M. Optimising precision yarn package winding[J]. *Textile Month*, 2005, 4(4): 78-79.
- [8] KOO Y S. Correlation of yarn tension with parameters in the knitting process[J]. *Fibers and Polymers*, 2005, 3(2): 80-84.
- [9] TANG Z X, WANG X G, FRASER W B, et al. An experimental investigation of yarn tension in simulated ring spinning[J]. *Fibers and Polymers*, 2004, 5(4): 275-279.
- [10] 何勇, 杨延竹, 王宁. 一种新型的纺纱张力自动控制系统的的设计[J]. *东华大学学报*, 2008, 34(2): 220-223. HE YONG, YANG YAN-ZHU, WANG NING. Design for a new model of yarn tension auto-control system [J]. *Journal of Donghua University*, 2008, 34(2): 220-223.
- [11] WEI J, DAN Z, CHEN R Q. Research on the control technique for optimal dispersion winding system [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation Niagara Falls, July 29-August 1, 2005, Niagara Falls, Canada. [S. l.]: IEEE, 2005: 1351-1356.
- [12] DEAN K M, JENNINGS U D, SOULE D C. High-speed winding of classical precision-wound yarn packages[J]. *International Fibre Journal*, 2000(10): 96-100.
- [13] NOSS D, LIEBER R. ATT filament winding technology [J]. *Chemical Fibers International*, 2002, 52(3): 190-191.
- [14] FOURUE F. Synthetic fibers, machines and equipment, manufacture, properties [M]. Cincinnati, USA: Hanser/Gardner Publications Inc., 1998.
- [15] WEI J. Research on the control system of spindle drive for high speed spinning machine [J]. *Journal of Donghua University*, 2001, 18(1): 76-78.
- [16] Hitech Elect Ronics Corp. ADP3 Operation instructions of windows software [M]. Sweden: Hitech Elect Ronics Corp., 2001.
- [17] TARASOV V N, SIZYAKIN A V. New technical proposals on execution of an interconnected synchronous drive for the takeup-winding unit of spinning machines[J]. *Fibre Chemistry*, 2009, 41(3): 203-206.

(编辑 王维朗)