

磁悬浮式驱动织针热传导的研究与分析

吴晓光, 张弛, 朱里, 武玉琴, 宋小宁, 王长虎

(武汉纺织大学 机械与自动化学院, 湖北 武汉 430073)

摘要: 针对磁悬浮式驱动织针运动过程中温度变化导致的散热问题, 从摩擦热流生成、温度场与应力场的数值计算等方面提出织针滑动摩擦的分析方法, 揭示磁悬浮式驱动织针发生热失效的机理。以 ANSYS14.0有限元分析软件为仿真平台, 建立织针装置的参数化模型, 分析织针在成圈、集圈及浮线3种运动过程中的瞬态温度分布和应力分布。结果表明: 3种运动状态刚完成时瞬态的最低温度分别为13℃、17℃、18℃, 最高温度分别为46℃、59℃、63℃, 满足织针材料对温度的要求; 织针最大应力在x方向为 3.12×10^{-4} MPa, 表现为压应力, 满足织针材料对强度的要求; 可为磁悬浮织针选材和结构设计提供参考。

关键词: 磁悬浮驱动织针; 摩擦热分析; 织针运动; ANSYS14.0; 有限元分析

中图分类号: TS 183.4⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1000-4033(2012)12-0007-04

当前, 国内外针织提花选针主要采用电磁铁式和压电式两种方式, 其提花过程由编织机构和电子选针机构共同完成。如图1所示, 圆形框内为编织机构与电子选针器结构原理图。由于编织机构依靠三角(凸轮)、提花片、挺针片等相互联动, 使得执行元件(织针)在上下往复运动过程中产生冲击摩擦和侧向力的作用, 因而制约了织针频率及选针动作频率的提高。图中选针机构采用压电式双晶片弯曲变形位移的压电陶瓷驱动器件, 选针时利用双晶片产生的挠度位移和应力来控制选针。这种压电双晶片陶瓷片间的界面因高频作用会产生较大的应力和应变, 导致器件的失效; 同时, 因为晶片黏结胶层

在低温下会发生裂纹、高温下产生蠕变及剥落等缺点, 导致压电双晶片的电场诱导位移特性降低, 器件的寿命缩短^[1], 影响电子选针器的可靠性、稳定性和一致性。

针对针织提花选针控制器的现状, 本文结合针织提花原理, 提出利用磁悬浮技术, 建立磁悬浮式驱动织针结构及模型, 即用如图1所示的磁悬浮驱动织针装置代替

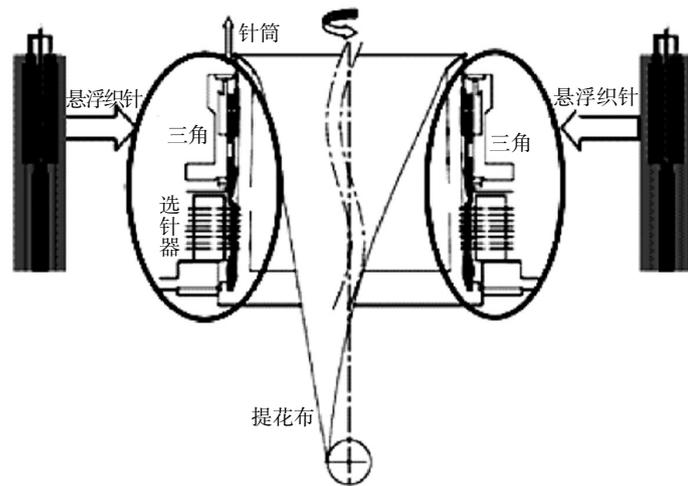


图1 压电式选针与悬浮织针原理图

基金项目: 国家自然科学基金(51175384); 湖北省自然科学基金(2011CDB216)。

专利名称: 磁悬浮驱动织针选针方法及装置(201110098202.0)。

作者简介: 吴晓光(1954—), 男, 教授。主要从事数字化纺织装备及关键技术研究。

编织机构和选针机构。重点讨论磁悬浮驱动织针在一个横列中完成成圈、集圈、浮线3种动作(即“三工位”选针),织针电磁装置产生电磁吸力和斥力控制织针上下往复运动时的织针热传导问题;论证悬浮织针在运动过程中由于摩擦所引起的温度场及应力场变化,利用有限元理论研究在运动过程中由于摩擦导致的温度变化对织针的影响情况。

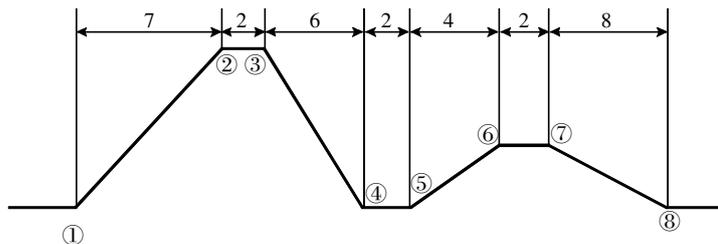
1 悬浮式织针原理与结构

1.1 传统织针驱动方式

针织提花机驱动织针的运动轨迹由织针所在的三角轨道所决定。如图2所示为“三工位”织针编织的动作轨迹,其中①~④为成圈所走的轨迹,此时织针运动的最高位为9 mm;集圈为⑤~⑧,此时织针的最高位为3 mm;浮线时为零位,此时织针在竖直方向是不运动的,只随着针筒转动。因此,织针在运动时,首先是从静止状态上升,上升到一定高度后,保持一段时间,再在外力的作用下运动,直到最低位置时速度为零。而且,织针在运动时,每个编织动作都是独立的,织针的每一次运动只做一个编织动作。

1.2 悬浮式驱动织针原理

传统的织针轨迹及速度是靠与三角的刚性接触来实现的,因此,织针的轨迹始终不变。在悬浮式驱动织针中,织针完全不再依赖三角。图3为单个悬浮式织针示意图,悬浮式织针在针筒内通过电磁力直接控制其上下往复运动。图4为单元悬浮式织针结构及分布图(即各织针在针筒圆周方向和竖直方向分布图)。悬浮式织针在针筒中最高高度的成圈为9 mm左右,完成一次动作的时间为0.030 s,因此,可以把悬浮式织针的运动轨迹



注:图中数据单位为 mm。

图2 “三工位”织针编织动作轨迹

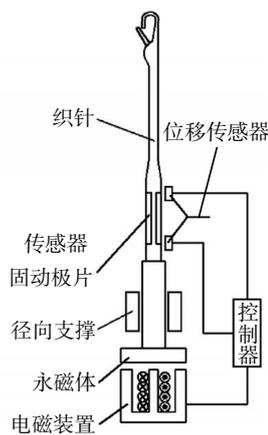


图3 单个悬浮驱动织针示意图

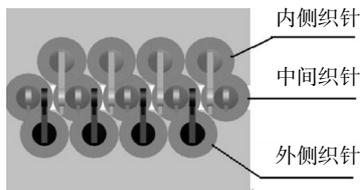


图4 织针结构及分布图

看作是直线。

2 织针“三工位”运动摩擦热分析

如图3所示为织针与径向支撑接触的状态,由于织针在进行编织运动时存在倾斜,因此就会与径向支撑接触,从而产生摩擦力与摩擦热。图3中织针在上升阶段所受的摩擦力用式(1)计算。

$$F_{\text{摩}} = \mu \cdot F \cdot \tan\theta \quad (1)$$

式中: θ 为织针倾斜的角度,mm; μ 为摩擦系数,mm; F 为电磁力,N; $F_{\text{摩}}$ 为摩擦力,N。

织针运动时所受的力用式(2)计算。

$$F - Mg - F_{\text{摩}} = Ma \quad (2)$$

式中: M 为织针质量,g; a 为加速度,m/s²。

一般,织针的质量为0.6 g,摩擦系数取0.2,tan θ =0.17。纱线的拉力在3~5 cN之间,织针的重力为0.8 cN左右,经过计算摩擦力大小约为0.06 cN。

根据上述条件,织针材料选择无磁不锈钢00Cr24Ni22Mo8Mn3CuN,该材料具有很强的抗点蚀能力和抗晶间腐蚀能力,材料弹性模量 $E=200$ GPa,密度 $\rho=7\ 800$ kg/m³,导热系数 $K_{xx}=60$ N/(s·K),热膨胀系数 $\alpha=1.2 \times 10^{-5}$ K⁻¹,比热 $C=460$ J/(kg·K),摩擦系数 $\mu=0.2$,载荷 $P=10$ Pa,泊松比 $\nu=0.3$ 。

2.1 成圈运动

由于织针结构为圆柱体,径向支撑为圆环,如图5所示为织针成圈运动结束时内部温度场等值线图(因轴向对称,取一半为模型分析)。图中上方为针壳的径向支撑,下方为织针。图6为织针成圈运动结束10.000 s内部温度场等值线图,上升运动9 mm后,经过时间0.030 s。织针最低温度为13 ℃,最高温度为46 ℃。针壳的径向支撑最低温度为46 ℃,最高温度为86 ℃。

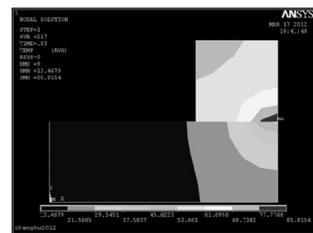


图5 成圈运动结束时内部温度场等值线图

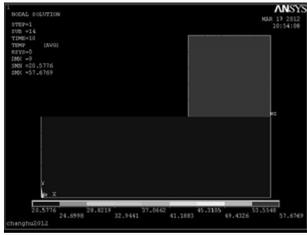


图6 10.000 s后温度场等值线图

当织针成圈运动结束时,织针与针壳的径向支撑各自内部温度并不相同,内部会发生热传导。图6是10.000 s后温度场等值线图,由有限元仿真分析可知,织针运动9 mm,静止10.000 s后,内部温度相同,如图6所示,由0℃升高到20.5℃。摩擦力做的功转化为热能,从而使织针温度升高,摩擦力做功如式(3)所示^[2],织针吸收热量如式(4)所示,因此由能量守恒得出织针温度升高如式(5)所示。

$$Q(t) = W = F_{\text{摩}} S \quad (3)$$

$$Q(t) = CM\Delta T \quad (4)$$

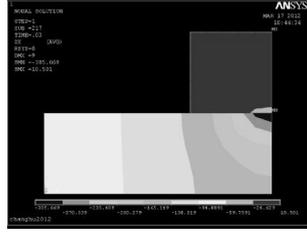
$$\Delta T = \frac{F_{\text{摩}} S}{CM} \quad (5)$$

式中: S 为织针所走路程,mm; C 为织针材料比热, $J/(kg \cdot K)$ 。

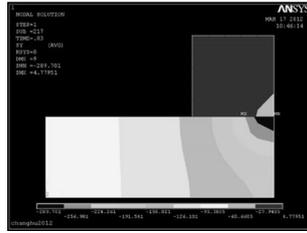
上式理论计算可知织针温度升高20.0℃,而有限元仿真分析可得织针温度升高20.5℃,误差较小,可以认为有限元仿真分析结果比较符合实际。

图7为织针与径向支撑在3个坐标方向上应力场变化关系。 x 方向织针最大应力 3.06×10^{-4} MPa,且是负值,表现为压应力,最小应力 0.95×10^{-4} MPa。 y 方向织针最大应力 2.90×10^{-4} MPa,为压应力,最小应力 0.93×10^{-4} MPa。 z 方向织针最大应力 3.12×10^{-4} MPa,表现为压应力,最小应力 0.81×10^{-4} MPa。

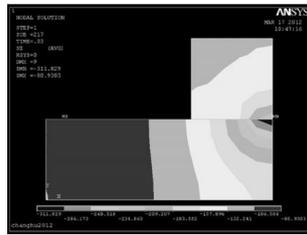
在织针与径向支撑接触时,织针和径向支撑运动结束时的边界点处压应力最大,运动开始时的边界点处压应力最小。在织针高速运



(a)x方向



(b)y方向



(c)z方向

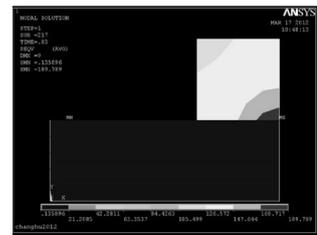
图7 织针与径向支撑在3个坐标方向上应力场变化关系

动情况下,摩擦面温度场的不均匀性会变大,使局部产生较高温度。织针温度分布沿摩擦面到材料内部逐渐降低,形成了温度梯度。摩擦面温度较织针内部高,热膨胀的趋势也较内部大,摩擦面和织针内部的热膨胀趋势大小不同,相互牵制作用就造成了应力的不同分布。

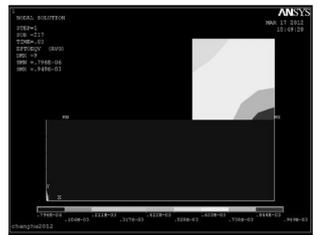
在运动初期,织针摩擦面在热量积聚下温度升高较快,产生很大的温度梯度,致使摩擦面出现较高的压应力,应力急剧升高。随着运动过程的进行,热量在织针体内传导,虽然表面温度仍然持续上升,但是织针内的温度梯度开始减小,应力开始降低,随着冷却时间的持续,应力逐步平缓。

图8a是织针成圈运动结束时织针与径向支撑接触等效应力分布,可以看出接触时径向支撑接触

面间应力较大,而且沿运动方向逐渐增大,但织针应力较小且稳定。图8b是织针与径向支撑接触表面等效应变场图,织针应力变小,等效应变也相对较小;而径向支撑应力较大,等效应变也较大,而且径向支撑各处等效应变场大小也不同。



(a)等效应力场



(b)等效应变场

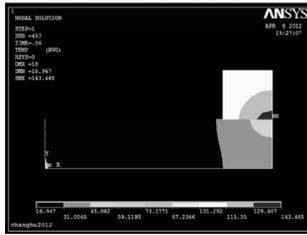
图8 织针与径向支撑接触表面等效应力及应变场图

外载荷和温度变化都能产生变形,若涨缩自由,则产生变形而不产生应力^[3];若变形受到约束或各部分温度变化不均匀,就会产生应力,在织针运动刚结束时,织针应力稳定,而针壳的径向支撑各处则应力大小不等,从 0.844×10^{-4} MPa到 1.898×10^{-4} MPa。织针等效应变较小,而针壳的径向支撑各处则等效应变大小不等,即应变分布不均匀。

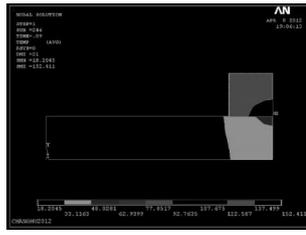
2.2 集圈运动

集圈的编织方法与提花工艺有关,织针集圈运动的有限元分析如图9所示。

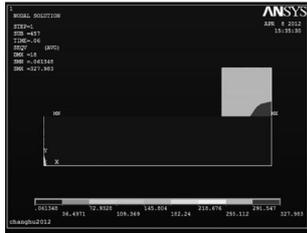
图9a是织针集圈运动结束时内部温度场等值线图。当成圈上升运动9 mm结束后停止0.012 s,然后下降6 mm停止0.018 s,然后上升3 mm完成集圈动作所需时间为0.060 s。织针在集圈时最低温度为



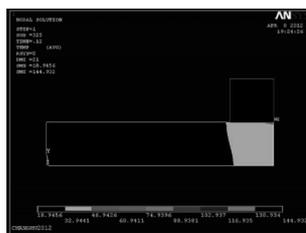
(a)集圈结束时温度场



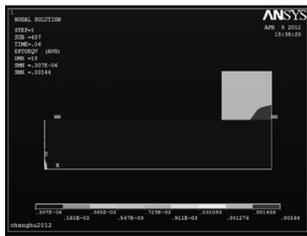
(a)浮线结束时温度场



(b)0.060 s时等效应力场



(b)0.120 s时温度场



(c)0.060 s时等效应变场

图10 织针浮线状态的有限元分析

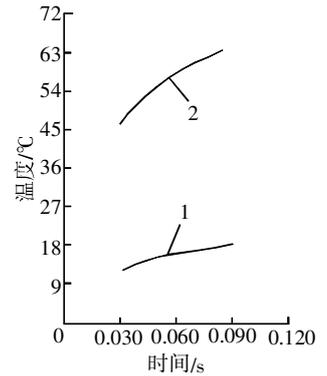
图10a是织针浮线运动结束时内部温度场等值线图,织针完成集圈运动后上升3 mm,停止0.024 s然后下降3 mm完成一个运动周期,即时间为0.090 s时完成浮线动作。织针最低温度为18℃,最高温度为63℃。在织针与针壳的径向支撑接触的地方温度最高,其中织针与针壳的径向支撑运动最终位移处两者温度都达到最高点。

图10b是织针浮线运动结束时0.030 s时内部温度场图,即0.120 s后织针温度场图。由图中可以看出,织针内部发生了热传导,低温部分温度升高达到19℃,高温部分温度降低达到47℃。

图11表示织针在一个运动周期内3种运动情况结束时瞬态温度变化情况,瞬态最高温度出现在织针和径向支撑的摩擦面上。3种运动状态刚完成时瞬态的最低温度分别为13℃、17℃、18℃,呈逐渐升高趋势;3种运动状态刚完成时瞬态的最高温度分别为46℃、59℃、63℃,呈逐渐升高趋势,满足织针材料对温度的性能要求。

3 结论

本文以织针与针壳的径向支



注:曲线1是3种运动状态刚完成时瞬间最低温度;曲线2是3种运动状态刚完成时瞬间最高温度。

图11 温度场等值线图

撑为研究对象,以有限元分析软件ANSYS14.0为平台,分别分析了成圈、集圈、浮线3种运动情况结束时织针的温度场、热应力场的变化规律,进行有限元热分析,为悬浮驱动织针装置的数值模拟及后续实验开展提供了依据。

在织针上升到静止过程中,最大温度出现在织针上升到最高处停止时,最高温度为46℃,满足织针材料对温度的性能要求;最大应力出现在在织针上升到最高处停止时,织针最大应力在x方向 3.12×10^{-4} MPa,且是负值,表现为压应力,由于无磁不锈钢00Cr24Ni22Mo8Mn3CuN抗拉强度大于 7.5×10^{-4} MPa,屈服强度大于 4.3×10^{-4} MPa,因此未超过材料的屈服极限,满足强度性能要求。上述结论可作为磁悬浮驱动织针选材和结构设计的参考依据。

参考文献

[1]吴晓光,张建钢,张成俊,等.压电陶瓷片受力分析及选针器设计[J].针织工业,2008(2):19-21.
 [2]高诚辉,黄健萌,林谢昭,等.盘式制动器摩擦磨损热动力学研究进展[J].中国工程机械学报,2006(1):83-88.
 [3]周剑锋,顾伯勤.机械密封端面摩擦热与热变形的耦合分析[J].核动力工程,2007(2):77-81.

收稿日期 2012年6月12日

17℃,最高温度为59℃。针壳的径向支撑最低温度为101℃,最高温度为130℃。因此,织针集圈运动结束时,织针与针壳的径向支撑各自内部温度并不相同,内部会发生热传导。

图9b是织针与径向支撑接触完成时织针与径向支撑接触等效应力分布。织针与径向支撑接触时,径向支撑接触面间应力大,而且沿运动方向变大,应力逐渐变大,但此时织针应力较小并且稳定。

图9c是织针与径向支撑接触完成时织针与径向支撑接触表面等效应变图,织针应力变小,等效应变也相对较小,而径向支撑应力较大,等效应变也相对较大,而且径向支撑各处等效应变也大小不同。

2.3 浮线状态

织针浮线状态的摩擦热有限元分析如图10所示。