

自动铺放系统聚氨酯橡胶压辊硬度的研究

Research on Hardness of Polyurethane Rubber Roller of Automatic Placement System

南京航空航天大学材料科学与技术学院 还大军 宋超 李勇 李俊斐 丁冰

[摘要] 自动铺放系统橡胶压辊的受力分析对研究铺放质量具有重要意义。通过调节原料试剂配比, 得到了5组不同硬度的压辊试样, 研究了试样硬度与配比之间的关系。根据压辊服役条件, 采用有限元方法及试验方法验证了所引用的数学模型的正确性。

关键词: 自动铺放 橡胶压辊 硬度 铺放质量

[ABSTRACT] The stress analysis of rubber roller of automatic placement system has significance for studying the laying quality. Five groups of roller samples are obtained through regulating the proportion of reagents material. Furthermore, the paper studies the relationship of hardness and the proportion. On the basis of service condition, the paper verifies the correctness of the proposed mathematical model through finite element method and experimental method.

Keywords: Automatic placement Rubber roller Hardness Placement quality

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S2.089

自动铺放技术因其高质量、高效率、高材料利用率等优点特别适用于大型复合材料构件的制造^[1-3]。铺带、铺丝头的压力控制是保证铺放制品质量的重要因素, 国内外学者针对自动铺放系统压力机构相关研究较多。Hulcher等^[4]研究不同压力条件下预浸料变形情况, 从中筛选出最优铺放压力; Lukaszewicz等^[5]建立自动铺放模型, 推导预浸料变形与压力的关系并模拟实际铺放过程中压辊对预浸料的施力情况; Lee等^[6]研究压力对最终成型的复合材料制品力学性能的影响; 齐俊伟等^[7]通过铺带实验界定铺放压力范围; 胡小立^[8]提出自动铺放系统压力机构的设计方法。上述针对自动铺放系统中压力机构的研究多集中在制品成形方面, 而较少地研究影响铺放质量的橡胶压辊特性。

橡胶压辊的变形能力对铺放质量有很大影响, 而压辊的变形能力可以用硬度表征^[9]: 铺放大曲率构件时, 如橡胶压辊过硬导致压辊变形不足, 会使得预浸料与模具表面不服帖; 如橡胶压辊过软, 则会使压辊变形过大, 影响其实际使用, 本文规定压辊最大变形量为压辊半径

的20%。聚氨酯橡胶耐磨性能优异、弹性好、强度高, 是自动铺放系统中橡胶压辊的理想材料。本文通过调节原料配比制备5组不同硬度的试样, 从中筛选出适合于自动铺放的聚氨酯橡胶压辊。

1 压辊硬度与原料配比关系

1.1 试验原料

聚氨酯预聚体: 美国 Chemtura 公司 V6007TDI 聚酯, 含 4.26%—NCO 基团, 耐溶剂性能优异。

增塑剂: 美国伊士曼 BENZOFLEX 9-88SG 高溶解性苯甲酸酯类增塑剂, 无色液体, 沸点为 232℃。增塑剂占比过大会影响橡胶制品力学性能, 根据要求增塑剂占比要小于 40%。

固化剂: MOCA (二邻氯二苯胺甲烷), 白色粉末, 易吸湿, 熔点为 98℃。

1.2 压辊制备

V6007TDI 型聚氨酯预聚体室温下粘度大, 受热易与水反应生成 CO₂, 所以必需对原料进行脱水脱泡处理。称量适量的增塑剂、固化剂, 将增塑剂及融化后的固化剂加入预聚体中, 用电动搅拌器搅拌均匀后, 采用加热抽真空的方法脱去搅拌过程中混入的机械泡, 最后再将澄清的混合物注入模具中加热固化, 制备出聚氨酯橡胶压辊。

本文选取增塑剂占比 15%、20%、25%、30%、35% 制得 5 组试样, 依据 GB/T 531-92 测试其邵氏硬度。

1.3 压辊硬度与原料配比关系

在聚氨酯预聚体中加入增塑剂, 增塑剂分子会插入到聚氨酯分子链之间, 从而增加分子链的移动性, 降低分子链的结晶度, 使得聚氨酯橡胶的硬度降低。如图 1 所示, 随着增塑剂占比的增加, 聚氨酯橡胶的硬度逐渐降低。对图 1 中的 5 个点的变化趋势进行拟合, 可以看出聚氨酯橡胶的硬度与增塑剂占比近似呈线性关系。

2 压辊硬度对铺放质量的影响

为了选择适合于实际铺放的压辊硬度, 本文选取 5 组不同硬度试样, 针对实际铺放中铺放平面模具和铺放曲面模具分别进行研究。

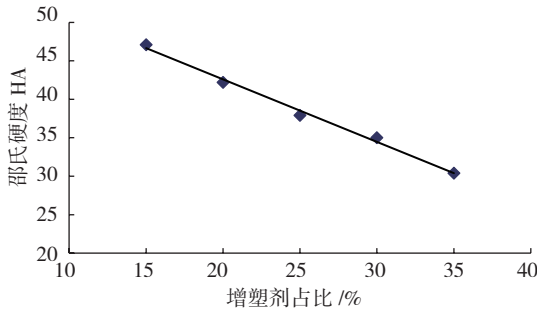


图1 聚氨酯橡胶增塑剂占比与邵氏硬度拟合图

Fig.1 Fitting figure of the plasticizer proportion of polyester rubber and shore hardness

2.1 铺放平面模具

2.1.1 理论基础

自动铺放过程中橡胶压辊受压,假设铺放面为刚性平面,定义压辊长度为 a ,半径为 R_0 ,压辊所受压力 F ,压辊变形值 d 。根据 Li 等^[10]研究压辊受力与压辊变形的数学模型,得出如式(1)的关系:

$$F = \frac{\pi a (2R_0 d - d^2)}{4kR_0}, \quad (1)$$

式中, k 为未知数, k 值与材料属性相关。为获得上述数学模型中的未知数 k ,需模拟压辊工况进行有限元分析。为提高模型计算精度,增加分析结果的可信度,采用三维实体模型建模;橡胶材料选用 Mooney-Rivlin 模型,Mooney-Rivlin 模型需要试验测量橡胶弹性模量值,选取增塑剂占比 35% 的聚氨酯橡胶试样测试其单轴拉伸性能,试验根据 GB/T 2011-92 完成,测得平均弹性模量为 0.68MPa。

假设受压模具为水平的刚性面,分别对压辊模型施加 25N、50N、75N、100N、125N、150N、175N、200N 的力,研究压辊模型受力与变形关系。

对有限元方法计算得出的压力变形曲线及公式(1)曲线进行拟合,当公式(1)中 $k=1.6\text{mm}^2/\text{N}$ 时,两条曲线拟合结果较好(如图2所示)。

2.1.2 试验方法验证

为验证有限元方法计算出的 k 值是否准确,取增塑剂含量占比 35% 的压辊进行压缩试验。当 $k=1.6\text{mm}^2/\text{N}$,将试验测得的压辊压力变形曲线与公式(1)进行比较,结果如图3所示,可以看出两条曲线重合度较高,从而验证了有限元方法计算 k 值的正确性。

2.1.3 压辊硬度对压辊变形的影响

根据 2.1.1 中有限元方法,计算出 5 组聚氨酯橡胶试样的 k 值(表1)。设定铺放压力为 200N,压辊半径为 30mm,根据式(1)计算出 5 组压辊变形值(表1)。

铺放平面时,在不影响压辊正常使用的条件下,压辊变形越大,预浸料受压面积越大;在相同铺放速度下,

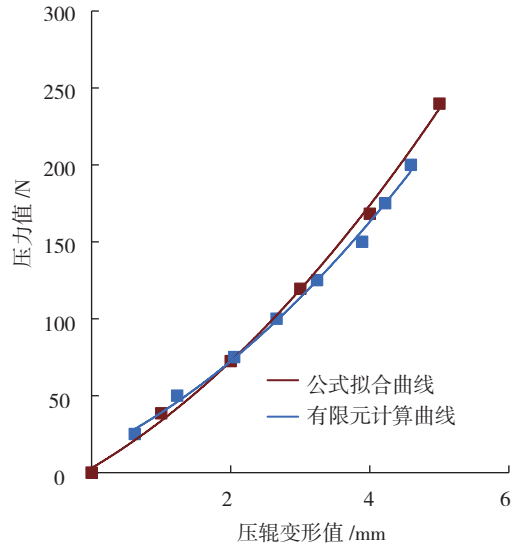


图2 有限元方法计算结果与数学模型结果拟合图

Fig.2 Fitting figure of the result of finite element method and the result of mathematical model

预浸料受压时间越长,使得预浸料与模具贴合越紧密,铺放制品外观质量也会相应提高。从表1中看出,在 200N 铺放压力作用下,铺放平面模具时应当选用增塑剂占比高的橡胶压辊。

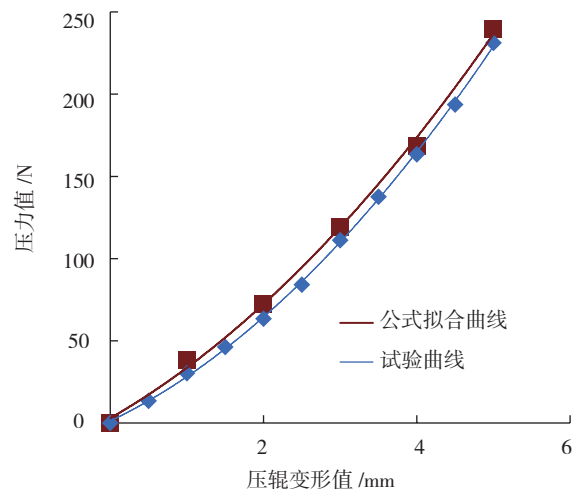


图3 试验结果与数学模型结果比较图

Fig.3 Comparison of experimental result and mathematical model result

2.2 铺放曲面模具

铺放曲面模具尤其是曲率较大的曲面模具时,需要考虑曲面模具与压辊的贴合情况,如图4所示压辊与模具表面贴合不紧密存在间隙,会影响到铺放制品质量。

假设 5 组不同硬度的压辊试样在 200N 铺放压力下铺放一相同刚性曲面模具,研究压辊与曲面贴合情况,其中增塑剂占比为 35% 和 15% 时的结果如图5所示。

可知,增塑剂含量高,橡胶压辊硬度小,与曲面模具

贴合好。综上所述,5组压辊试样中增塑剂含量最高、硬度最小的压辊更加适合于作为自动铺放系统中的橡胶压辊。

表1 不同增塑剂占比下 k 值和压辊变形值

增塑剂占比 /%	k 值 / ($\text{mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$)	增塑剂占比 /%	压辊变形值 /mm
15	0.9	15	2.17
20	1.1	20	3.12
25	1.3	25	3.92
30	1.5	30	4.44
35	1.6	35	4.95

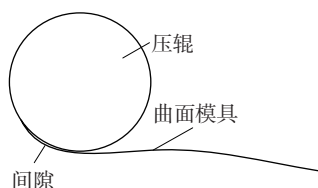


图4 压辊与模具表面贴合不紧密

Fig.4 Interval of roller and the mold surface

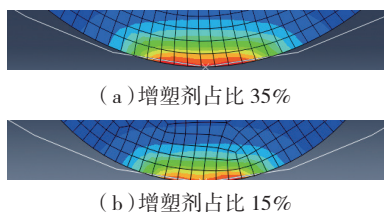


图5 不同硬度下压辊与曲面模具贴合情况

Fig.5 Joint condition of rubber of different hardness and curved surface mold

3 结论

(1) 本文通过调节原料配比,制备5组聚氨酯橡胶压辊试样,测量试样硬度,得出该聚氨酯橡胶硬度与增塑剂占比呈近似线性关系。

(2) 本文选用5组不同硬度的试样分别针对铺放平面模具及曲面模具展开研究,得出增塑剂占比35%的压辊试样更适用于实际铺放。

参考文献

- [1] 陈祥宝. 先进复合材料低成本技术. 北京: 化学工业出版社, 2004: 23-88.
- [2] 李勇, 肖军. 复合材料纤维铺放技术及其应用. 纤维复合材料, 2002, 37(1): 39-41.
- [3] CARROLL G G. Fiber placement process utilization within the worldwide aerospace industry. SAMPE Journal, 2000, 36(4): 45-50.
- [4] HULCHER A B, BANKS W I, PIPES R B, et al. Automated fiber placement of PEEK/IM7 composites with film 120 interleaf layers. 46th International SAMPE Symposium and Exhibition: A Materials and Processes Odyssey, 2001, 46: 1998-2012.
- [5] LUKASZEWICZ D H J A, POTTER K. Through-thickness

compression response of uncured prepreg during manufacture by automated layup. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B—Journal of Engineering Manufacture, 2012, 226: 193-202.

[6] LEE M. Heat transfer and consolidation modeling of composite fiber tow in fiber placement. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute & State University, 2004.

[7] 齐俊伟, 李安然, 黄志军, 等. 关于若干工艺参数对铺带质量影响的研究. 玻璃钢/复合材料, 2011(4): 46-50.

[8] 胡小立. 纤维丝铺放机构的设计研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2011.

[9] 郝同辉, 蒋涛, 邱丽. 低硬度动态硫化 EPDM/PP DPV 开发. 弹性体, 2005(4): 10-13.

[10] LI J F, SONG C, WANG X F, et al. Study on pressure control of automated fiber placement process. Montreal: The 19th International Conference on Composite Materials, 2013.

(责编 谷雨)

(上接第 88 页)

3 结论

(1) 设计模型的规范性提高。上述方法的使用能够使复杂零件的设计过程得到控制,模型的内在质量得到提升,使模型在今后的重用、编辑、转换等方面得到技术层面的保证。

(2) 信息集成度的提高。利用设计参数表单这种形式将产品的几何信息,包括加工精度信息等非几何信息进行了完整的集成,确保下游应用对数据的需求。

(3) 面向对象的设计得到体现。根据下游应用的具体要求,可以在系统的开发中将工艺要求、计量要求、模具设计的要求进行总结和体现。使得下游系统对设计模型的需求在模型的建立过程中得到满足,设计模型能够在整个业务运行中得到完整流畅的引用,确保了数据的唯一。

(4) 设计效率的提高。通过对整个产品结构设计的分析,发现该系统的使用能够提高设计效率约 38% (统计结果同功能特征以及典型零件数据库的完善程度有关)。通过该系统的使用可以大幅度降低建模的复杂程度,减少建模中出错的概率,从而缩短整个研制周期。

参考文献

- [1] 段坤华, 徐晓慧. 基于机械产品设计的知识表示的研究. 机电产品开发与创新, 2012, 25(2): 16-18.
- [2] 王大斌, 朱文华, 魏丕光. 基于知识工程的参数化设计应用研究. 机械设计与制造, 2010(9): 42-44.
- [3] 周临震, 李青祝, 秦珂. 基于 UG NX 系统的二次开发. 镇江: 江苏大学出版社, 2012.
- [4] 汪锐. NX Open API 编程技术. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [5] 黄勇. UG/Open 应用开发典型实例精解. 北京: 国防工业出版社, 2010.

(责编 李丹)