

间范围应在3 500~4 000 s之间。综合考虑硫化质量与效率,选择加热温度在135 ℃左右,加热时间为3 500 s左右。

从分析结果可以看出,加热温度越低,达到最小硫化效应所需的时间越长,制品内外层的硫化效应的差异越小。因此低温硫化有助于提高橡胶厚制品的硫化均匀性,但相应地会延迟硫化时间,降低效率。

### 3 结论

橡胶厚制品内层与外层之间的硫化效应相差较大,如果工艺条件不合理,在中心层达到最小硫化效应时,最外层已经严重过硫,影响制品质量。

硫化温度影响制品硫化的均匀性。加热温度越低,制品中心层达到最小硫化效应时,制品最外层的硫化效应越小。低温硫化有助于提高橡胶厚制品的硫化均匀性,但相应地会延迟硫化时间,降低效率。

针对实际加工橡胶制品的尺寸以及材料性

能,采用APDL参数语言设计,能够实现多组不同工艺条件的循环分析、结果存储及组别筛选,得到不同工艺条件下的制品硫化效应以及符合要求的工艺组别,实现工艺条件的优化。

### 参考文献:

- [1] 傅彦杰. 厚壁橡胶制品硫化温度的测定[J]. 橡胶工业, 1998, 45(7): 427-429.
- [2] 刘斐, 杨卫民, 张金云, 等. 实心轮胎电磁感应加热硫化工艺[J]. 轮胎工业, 2015, 35(6): 361-364.
- [3] 宋红光, 曾凡伟, 刘志坡, 等. 橡胶厚制品不同部位硫化程度的研究[J]. 世界橡胶工业, 2015(9): 14-19.
- [4] 陈国栋, 满敬国, 董吉飞. 厚层橡胶制品正硫化时间的研究[J]. 世界橡胶工业, 2011(6): 32-34.
- [5] 毕超, 江波. 基于有限元方法的轮胎硫化过程数值模拟[J]. 橡塑技术与装备, 2012, 38(11): 45-47.
- [6] 赵树高, 张萍, 邓涛, 等. 轮胎硫化过程的数值模拟[J]. 轮胎工业, 2001, 21(10): 617-622.
- [7] 闫相桥. 轮胎硫化过程的有限元分析系统[J]. 橡胶工业, 2005, 52(9): 550-557.

收稿日期: 2016-05-22

## Numerical Simulation and Optimization on Curing Process of Thick Rubber Products

LIU Haichao, YANG Weimin, SHANG Wenlu, AN Ying, ZHANG Jinyun, TAN Jing

(Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Using ANSYS heat analysis module, the temperature changing process of cylindrical thick rubber products under traditional process conditions and the curing curves in different position were obtained. According to the curing condition of rubber materials, the maximal and minimal cure were calculated. The results showed that, under traditional conditions, the outer layer was seriously over cured while the inner layer reached minimal cure. With APDL parametric design language, the cycle analysis, data storage and screening of 45 groups of different process conditions consisting of five temperature levels and nine heating time levels were achieved, and the groups giving good curing quality and high efficiency were found. The results demonstrated that the curing process of thick rubber products could be optimized by numerical simulation with APDL parametric design language.

**Key words:** thick rubber product; curing; process optimization; numerical simulation

### 一种耐腐蚀橡胶输油管及其制造工艺

中图分类号: TQ336.3; TQ336.4<sup>+</sup>2 文献标志码: D

由苏州劲元油压机械有限公司申请的专利(公开号 CN 104804232A, 公开日期 2015-07-29)“一种耐腐蚀橡胶输油管及其制造工艺”, 涉及的橡胶输油管配方为: 天然橡胶 90~110, 乙丙橡胶 45~65, 氯化聚乙烯橡胶 8~16, 白炭

黑 3~5, 二氧化钛 7~9, 纳米石墨 13~17, 氢氧化钙 16~24, 碳酸钡 4~12, 氧化镁 4~8, 硬脂酸 5~11, 微晶石蜡 1~3, 三氧化二锑 6~10, 十溴二苯乙烷 5~7。该发明工艺简单, 设计合理, 工艺过程安全环保, 且橡胶产品韧性好、耐腐蚀、耐高温、不易老化、使用寿命长。

(本刊编辑部 赵敏)