

车间温度与硫化工艺参数耦合关系及优化策略研究

张功杰 刘云良

韩泰轮胎有限公司 浙江 嘉兴 314003

摘要:在当今制造业蓬勃发展的大背景下,硫化工艺作为橡胶等材料加工的关键技术,被广泛应用于汽车轮胎制造、密封件生产、橡胶制品加工等众多领域。车间温度与硫化工艺参数之间存在着极为紧密且复杂的关联,它们相互作用,共同对产品质量产生着决定性影响。本文围绕二者的耦合关系展开深入探究,综合运用理论分析、严谨的实验研究等方法,提出了一系列具有创新性和实用性的优化策略,旨在大幅提升生产效率,显著提高产品品质,为推动整个制造业的技术革新和产业升级贡献力量。

关键词: 车间温度; 硫化工艺参数; 耦合关系; 优化策略

引言

在制造业迈向高端化的进程中,硫化工艺对产品质量起着关键作用。车间温度与硫化工艺参数紧密相连,共同影响着产品品质。若二者耦合关系处理不当,易导致产品性能波动、次品率上升、生产效率降低等问题。因此,深入研究二者耦合关系,并探索优化策略,对制造业降本增效、提升竞争力意义重大,是实现高质量发展的必由之路。

1 硫化工艺与车间温度的理论基础

1.1 硫化工艺原理

硫化,从本质上来说,是一种通过化学交联反应,促使橡胶分子从原本的线性结构转变为三维网状结构的复杂过程。这一过程犹如一场神奇的“分子魔术”,彻底改变了橡胶的物理性能。以常见的橡胶轮胎生产为例,最初的生胶质地柔软,可塑性强,但强度和耐磨性较差,难以满足实际使用需求。当加入硫化剂(如硫磺)、促进剂(如二硫化二苯并噻唑)等多种配合剂后,生胶便开始了它的“蜕变之旅”。

在加热硫化的过程中,硫化剂中的活性基团(如硫磺分子中的硫原子)会与橡胶分子链上的双键发生化学反应,形成交联键。这些交联键如同桥梁一般,将原本独立的橡胶分子连接在一起,构建起一个稳定而坚固的三维网状结构。不同种类的硫化剂,其活性和反应机理存在差异,例如有机过氧化物硫化剂通过自由基反应实现交联,而树脂硫化剂则通过与橡胶分子中的特定基团反应形成交联键。促进剂的作用则是加速硫化反应的进行,降低反应所需的活化能,提高生产效率。不同硫化剂和促进剂的用量也会对硫化反应的速率和程度产生显著影响。适量增加硫化剂用量,可增加交联密度,提高产品硬度和耐磨性,但过量使用则可能导致橡胶过度交

联,产品变脆;促进剂用量过多,可能引发硫化反应过快,难以控制,甚至出现“焦烧”现象。

1.2 车间温度对硫化的影响机制

车间温度作为影响硫化反应的关键外部因素,对硫化过程起着至关重要的调控作用。从分子层面来看,温度升高时,橡胶分子和硫化剂分子的热运动加剧,分子的动能增大,这使得它们更容易克服反应的活化能壁垒,从而加快硫化反应的速率。例如,在一定范围内,温度每升高10℃,硫化反应速率可能会提高1-2倍。

然而,温度过高也存在诸多弊端。当温度超过一定限度时,硫化反应会过于剧烈,导致橡胶分子过度交联,出现过硫现象。此时,产品的硬度大幅增加,变得僵硬、易碎,弹性和韧性急剧下降,失去了橡胶原本应有的优良性能。以橡胶密封件为例,过硫的密封件在实际使用中容易出现开裂、密封失效等问题,无法满足其密封和耐介质侵蚀的要求。

相反,若车间温度过低,分子热运动缓慢,硫化反应速率会显著降低。这不仅会导致生产周期延长,生产效率大幅降低,还可能使硫化反应不完全,橡胶分子的交联程度不足,产品的各项性能指标无法达到设计要求。在生产橡胶鞋底时,若车间温度过低,鞋底可能出现局部硫化不足的情况,表现为硬度不均匀、耐磨性差,影响产品质量和使用寿命。

2 车间温度与硫化工艺参数耦合关系实验研究

2.1 实验设计与方案

为了深入、全面地研究车间温度与硫化工艺参数之间的耦合关系,精心设计了一系列严谨且科学的实验。选取了具有代表性的不同型号橡胶材料,包括天然橡胶、丁苯橡胶、顺丁橡胶等。这些橡胶材料在分子结构、性能特点和应用领域上存在差异,有助于更广泛地

探究耦合关系的普遍性和特殊性。设置了多个具有梯度变化的车间温度条件,分别为25℃、30℃、35℃、40℃和45℃,以模拟不同季节和生产环境下的车间温度变化。同时,对硫化时间和硫化压力这两个关键工艺参数进行了细致的调整。硫化时间分别设定为30分钟、45分钟、60分钟、75分钟和90分钟,硫化压力则设定为5MPa、7MPa、9MPa、11MPa和13MPa。

为了确保实验结果的科学性和可靠性,采用了正交实验设计方法。这种方法能够在较少的实验次数下,全面考察各因素之间的相互作用,找出各因素对实验指标的影响规律。在实验过程中,配备了高精度的温度传感器,实时、精准地监测车间温度的变化,确保温度控制在设定值的 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 范围内。利用先进的压力传感器精确控制硫化压力,保证压力波动不超过设定值的 $\pm 0.2\text{MPa}$ ^[1]。实验过程中,详细记录不同条件下硫化产品的各项性能数据,包括硬度(采用邵氏硬度计测量)、拉伸强度(通过万能材料试验机测试)、断裂伸长率(在拉伸试验中同步获取)、撕裂强度等,为后续的数据分析提供丰富而准确的数据支持。

2.2 实验数据分析与结果

通过对大量实验数据的深入分析,清晰地揭示了车间温度与硫化时间、硫化压力之间存在着显著而复杂的耦合关系。

在较低的车间温度条件下,如25℃时,适当延长硫化时间或提高硫化压力,可以在一定程度上弥补温度不足对硫化反应的抑制作用,使产品性能达到预期要求。当硫化时间从30分钟延长至60分钟,或硫化压力从5MPa提高到9MPa时,产品的拉伸强度和硬度有明显提升,逐渐接近甚至达到标准性能指标。然而,当车间温度过高时,情况则截然不同。以45℃为例,即使大幅缩短硫化时间至30分钟,同时降低硫化压力至5MPa,仍难以避免过硫现象的发生。此时,产品的硬度急剧增加,可能超出标准范围的20%-30%,断裂伸长率则急剧下降,甚至不足正常水平的50%,产品性能严重恶化。

进一步的数据分析还发现,不同型号的橡胶材料对车间温度和硫化工艺参数的耦合响应存在差异。天然橡胶对温度变化较为敏感,在温度波动时,其性能变化幅度较大;而丁苯橡胶则相对较为稳定,但在高温或长时间硫化条件下,容易出现老化和性能衰退现象。这些发现为针对不同橡胶材料制定个性化的硫化工艺参数提供了重要依据。

3 基于耦合关系的硫化工艺参数优化策略

3.1 温度补偿策略

基于对车间温度与硫化工艺参数耦合关系的深入理解,提出了温度补偿策略。该策略的核心思想是根据车间温度的实时变化,动态、精准地调整硫化工艺参数,以实现硫化反应的有效调控,确保产品质量的稳定性。

当车间温度低于标准温度(如设定为30℃)5℃时,即温度降至25℃,可将硫化时间延长10%-15%。这是因为较低的温度减缓了硫化反应速率,适当延长时间可使硫化反应充分进行,达到预期的交联程度。同时,也可选择将硫化压力提高1-1.5MPa,通过增加压力来促进分子间的相互作用,弥补温度不足带来的影响。

为了实现自动化的温度补偿控制,建立了基于数学模型的智能控制系统。通过收集大量实验数据和实际生产数据,运用多元线性回归、神经网络等数据分析方法,建立了车间温度与硫化时间、硫化压力之间的数学模型^[2]。该模型能够根据实时监测到的车间温度,快速计算出相应的最优硫化时间和硫化压力,并自动传输指令到硫化设备,实现工艺参数的自动调整。这不仅提高了生产过程的自动化水平,还大大减少了人为因素对产品质量的影响,有效提升了产品质量的稳定性和一致性。

3.2 智能控制系统应用

引入先进的智能控制系统,是实现硫化工艺参数精准控制和优化的重要手段。该智能控制系统集成了先进的传感器技术、强大的数据分析算法和高效的自动化控制设备,能够对车间温度和硫化工艺参数进行全方位、实时的监测和精准控制。

在传感器方面,除了使用高精度的温度传感器和压力传感器外,还配备了湿度传感器、振动传感器等,以全面感知生产环境和设备运行状态。这些传感器将采集到的大量数据实时传输到数据处理中心,数据处理中心运用大数据分析、机器学习等先进算法对数据进行深度挖掘和分析。通过建立硫化工艺参数与产品性能之间的关联模型,结合实时监测数据,预测不同工艺参数下产品的性能变化趋势,提前发现潜在的质量问题。

基于数据分析结果,智能控制系统能够根据车间温度的实时变化,自动、精准地调整硫化时间、硫化压力等关键工艺参数。例如,当车间温度突然升高时,系统会自动缩短硫化时间,并适当降低硫化压力,以避免过硫现象的发生;当温度降低时,系统则会相应延长硫化时间或提高硫化压力^[3]。同时,系统还具备故障诊断和预警功能,当检测到设备运行异常或工艺参数偏离设定范围时,及时发出警报,并提供相应的故障解决方案,保障生产过程的安全、稳定运行。通过智能控制系统的应用,硫化工艺的生产效率得到了大幅提高,产品质量也

得到了显著提升,有效降低了生产成本,增强了企业的市场竞争力。

4 优化策略的实际应用案例

4.1 橡胶制品厂应用实例

一知名橡胶制品厂在生产过程中积极引入了上述优化策略,取得了显著的成效。该厂主要生产橡胶输送带,以往由于车间温度波动较大,尤其是在夏季高温和冬季低温季节,输送带的接头处经常出现硫化不良的情况,表现为接头强度不足、易开裂,导致产品质量不稳定,次品率高达15%左右。同时,生产效率也受到严重影响,生产周期较长,无法满足客户的订单需求。

在采用了基于车间温度与硫化工艺参数耦合关系的优化策略后,该厂首先对车间温度与硫化工艺参数进行了深入研究,建立了适合本厂生产工艺的温度补偿模型和智能控制系统。在实际生产中,通过安装在车间的温度传感器和压力传感器,实时采集车间温度和硫化压力数据,并传输到智能控制系统。智能控制系统根据预设的算法和模型,自动调整硫化时间和硫化压力。

经过一段时间的运行,该厂的生产状况得到了极大改善。产品的次品率从原来的15%大幅降低到了5%以下,生产效率提高了30%以上。在生产高强度橡胶输送带时,通过智能控制系统的精准调控,输送带接头处的硫化质量得到了显著提升,接头强度达到了设计要求的95%以上,有效减少了产品的售后维修和更换成本。同时,生产周期明显缩短,能够及时响应客户的订单需求,赢得了客户的高度认可和信任。

4.2 应用效果评估

对优化策略的应用效果进行全面、深入的评估,从产品质量、生产效率、成本控制等多个维度进行考量。在产品质量方面,通过优化策略的实施,产品的各项性能指标更加稳定,波动范围明显减小。以橡胶输送带为例,其拉伸强度、耐磨性、抗老化性等关键性能指标的合格率均达到了98%以上,产品质量达到了国际先进

水平。在不同批次产品之间,性能差异也得到了有效控制,提高了产品的一致性和可靠性。

在生产效率方面,由于硫化工艺参数的精准控制和自动化调整,生产周期大幅缩短。原本需要10小时完成的一批产品,现在仅需7小时左右即可完成,产能得到了显著提高。这使得企业能够在相同时间内生产更多的产品,满足市场日益增长的需求,增强了企业的市场竞争力。在成本控制方面,优化策略的应用带来了显著的经济效益。次品率的降低减少了因次品产生的原材料浪费和返工成本,原材料利用率提高了10%-15%。同时,生产效率的提高使得单位产品的能耗和人工成本降低,综合生产成本下降了15%-20%。此外,产品质量的提升减少了售后维修和更换成本,进一步提高了企业的盈利能力。通过实际应用案例表明,基于车间温度与硫化工艺参数耦合关系的优化策略具有显著的经济效益和实用价值,能够为企业带来实实在在的效益,推动企业实现高质量、可持续发展。

结语

车间温度与硫化工艺参数耦合关系复杂,影响产品质量与生产效率。经研究分析得出的优化策略,经实践验证有效可行。但随着制造业发展,新挑战不断涌现。未来需持续研究二者耦合关系,融合新技术探索新策略,加强行业交流推广,推动硫化工艺进步,为制造业高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]杨再懿,殷泽培,冯亮,等.馥郁香型白酒机械化车间糖化入箱温度工艺优化[J].现代食品,2024,30(23):98-102. DOI:10.16736/j.cnki.cn41-1434/ts.2024.23.023.
- [2]徐子云,都萍,王萌,等.工厂化水产养殖车间空气温度场模拟及节能优化[J].节能,2024,43(12):18-21.
- [3]郭天宇,姚心,王成成,等.冶炼电孤炉多物理场耦合仿真分析及结构优化[J].绿色矿冶,2024,40(06):58-66. DOI:10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2024.06.009.