

氟橡胶 O 形密封圈预成型优化因素分析

张东晋川, 张晓峰, 黄选民, 郑庆波

(国营川西机器厂, 四川 成都 611937)

摘要: 本文对 FX-17 氟橡胶 O 形密封圈成型过程中坯料软化、坯料薄通、坯料圈成型等预成型工艺控制与优化进行了分析。试验表明, 在氟橡胶一段硫化和二段硫化参数一定的情况下, 通过对 O 形密封圈预成型工艺参数优化, 预成型前后橡胶 O 形密封圈内径、线径、拉伸强度等成型质量和性能波动均降低, 预成型工艺优化后可以减少氟橡胶 O 形密封圈尺寸和拉伸强度波动, 能够提升氟橡胶 O 形密封圈加工成型质量和性能。

关键词: 氟橡胶; O 型密封圈; 预成型; 参数优化

中图分类号: TQ336.42

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2024)02-0058-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2024.02.014

0 引言

氟橡胶是指主链或侧链的碳原子上含有氟原子的高分子弹性体, 它不仅具有较好的力学性能, 而且有优异的耐热性能、耐候性、耐油性及耐多种化学介质侵蚀的特性, 综合性能特别优异, 在航空、导弹、火箭、宇航等特殊密封部位应用广泛^[1]。但氟橡胶弹性和耐寒性较差, 模压流动性差、易压缩变形造成加工性能不良, 特别是在一定温度、压力及不同的液体或气体介质中起到密封作用 O 形氟橡胶密封圈, 其加工成型过程中各因素控制是保证氟橡胶 O 形密封圈性能的基础^[2]。

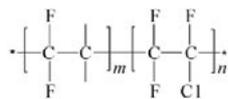
本文以 FX-17 橡胶 O 形密封圈加工成型过程中坯料软化、坯料薄通、坯料圈成型等预成型工艺控制来分析氟橡胶密封圈加工成型过程影响因素, 确保氟橡胶 O 形密封圈加工成型质量和性能。

1 O 型氟橡胶密封圈成型加工流程

1.1 FX-17 氟橡胶结构和工艺性能特点

FX-17 氟橡胶是由氟生胶添加酸受体、填料和硫化剂经混炼而成, 对 FX-17 氟橡胶进行红外光谱分析, FX-17 氟橡胶在 $1\ 178\ \text{cm}^{-1}$ 、 $1\ 131\ \text{cm}^{-1}$ 、 $1\ 352\ \text{cm}^{-1}$ 、 $1\ 397\ \text{cm}^{-1}$ 、 $1\ 430\ \text{cm}^{-1}$ 、 $1\ 075\ \text{cm}^{-1}$ 、 $882\ \text{cm}^{-1}$ 、 $833\ \text{cm}^{-1}$ 左右存在典型吸收峰, 其中 $1\ 178\ \text{cm}^{-1}$ 、 $1\ 131\ \text{cm}^{-1}$ 是聚三氟氯乙烯的 C-F 的不对称和对称伸缩振动吸收峰值^[3]。可以确定 FX-17 氟橡胶的主要结构为氟橡胶 23 (偏二氟乙烯-三氟氯乙烯共

聚物), 氟橡胶 246 型共混物组成。这就造成氟橡胶分子间内聚能高, 分子链刚性大, 胶料的门尼黏度比较高, 流动性较差, 加之含氟橡胶是耐热的弹性材料, 在压机硫化后还需要在 $200\sim 250\ ^\circ\text{C}$ 温度下进行二段硫化处理, 氟橡胶配方中通常不添加酯类、氟烃类增塑剂或加工助剂以免影响胶料的耐热性能, 这都造成氟橡胶加工性能差^[4-7]。



氟橡胶 23

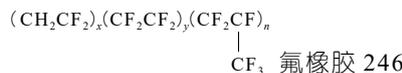


图 1 FX-17 结构示意图

1.2 FX-17 氟橡胶 O 形密封圈成型加工工艺参数

FX-17 氟橡胶 O 形密封圈加工成型过程包括坯料软化、坯料薄通、坯料圈成型、一段硫化和二段硫化等五个工步。表 1 是橡胶圈成型参数要求, 从表 1 可以看出, FX-17 氟橡胶密封圈在制备成型时, 坯料软化、坯料薄通、坯料圈成型等预成型工艺仅为范围参数或要求, 需确定最佳工艺参数。

作者简介: 张东晋川 (1994-), 男, 工程师, 主要从事橡胶、密封剂, 胶黏剂材料运用研究工作。

收稿日期: 2023-01-31

表 1 橡胶圈成型参数

工步	工艺参数
坯料软化	放开辊距, 使加胶料通过几次, 待胶料软化
坯料薄通	待胶料变软后, 锁紧辊距, 薄通 8~10 次
坯料圈成型	将返炼后的平滑胶片按模压制品的尺寸制成所需的坯料并搭接
一段硫化	模压压力 (10~20) MPa, 温度 (170~180) °C, 时间 (10~20) min
二段硫化	(200~250) °C, (15~25) h

2 预成型各种影响因素分析

2.1 坯料软化参数对 O 型密封圈成型影响

氟橡胶胶料通过一定间距的辊筒几次即可达到坯料软化, 但辊筒间的距离和通过的次数对氟橡胶坯料软化有直接影响。从图 2 是辊距和通过次数对胶料邵尔硬度的影响趋势图可以看出, 随着辊距的增加, 胶料的邵尔硬度显著增加; 随着通过次数的增加, 邵尔硬度先增加后降低, 通过 3 次和通过 7 次大致相当, 且通过 3 次的邵尔硬度略低于通过 7 次的邵尔硬度。

根据橡胶密封圈成型通用要求, 结合软化工序对胶料硬度降低作用和生产效率, 确定 FX-17 氟橡胶 O 形密封圈软化工序工艺参数为, 辊距 1.4 mm, 通过次数为 3 次。

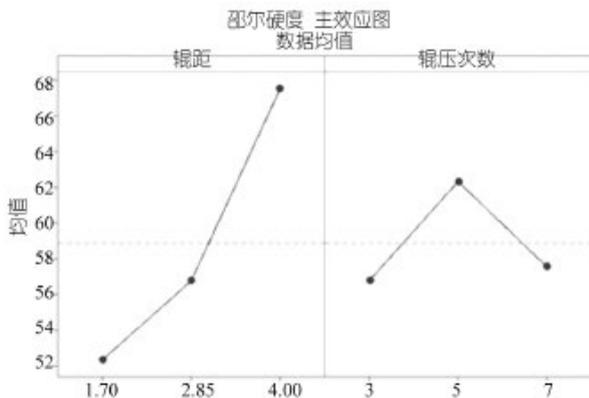


图 2 辊距和通过次数对橡胶胶料邵尔硬度的影响

2.2 坯料薄通参数对 O 型密封圈成型影响

氟橡胶胶料薄通是将开炼机的辊距调整到 1 mm 以下, 借助开炼机上两个辊筒的对转、剪切来切断分子链, 增大可塑性。通常辊距越小, 单位面积上胶料所受到的剪切作用力越强, 胶料塑炼效果就越好。根据所使用 X (S) K-250 两辊开炼机辊距调节间隙最小限制在 0.2 mm 要求, 设置两辊间的距离为 0.4 mm, 并结合薄通工序薄通次数规定, 开展了 8 次、9 次、10 次薄通次数对胶料硬度的影响, 见图 3。从图 3 可以看出, 随着薄通次数的增加, 胶料邵尔硬度迅速增加, 并在第 9 次薄通时曲线出现明显减缓趋势, 薄通

9 次和薄通 10 次, 其邵尔硬度无明显增加。因此, 确定坯料薄通参数为, 辊距 0.4 mm, 薄通 9 次。

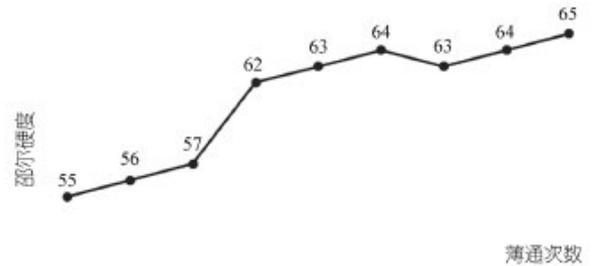


图 3 薄通次数与邵尔硬度关系图

2.3 坯料圈成型参数对密封圈成型影响

由于氟橡胶的熔接性较差, 采用胶条搭接方法会在胶圈表面残留接头痕迹, 一般采用“将返炼后的平滑胶片按模压制品的尺寸制成所需的坯料并搭接”, 因此在保证黏接成圈合格率和黏接稳定性的前提下, 尽量降低搭接长度。图 4 是不同试验方案下有效黏接合格率趋势图。从图 4 可以看出, 成圈后试验组 $\Phi 10$ mm、 $\Phi 20$ mm、 $\Phi 40$ mm 和 $\Phi 60$ mm 搭接长度为 3 mm 时, 有效黏接合格率分别为 50%、70%、100% 和 100%, $\Phi 10$ mm 和 $\Phi 20$ mm 试验组出现大量不合格黏接胶圈; 搭接长度为 5 mm 时, 有效黏接合格率分别为 96.7% (30 个胶圈中出现 1 件无效黏接)、100%、100% 和 100%; 搭接长度为 7 mm 时, 有效黏接合格率分别为 100%; 因此, 可选择搭接长度为 5 mm 或 7 mm 作为备选参数。

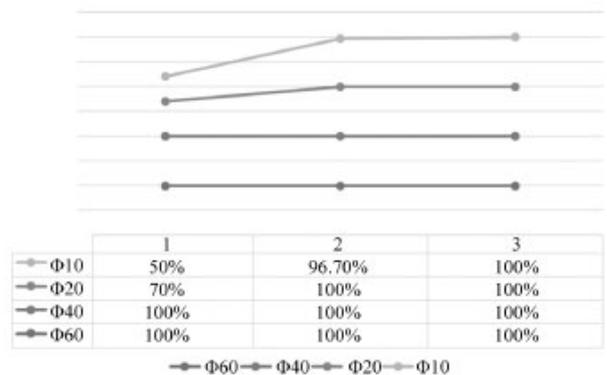


图 4 是不同试验方案下有效黏接合格率趋势图

图 5 是搭接长度对拉断力的影像图, 从图 6 可以看出, $\Phi 10$ mm 试验组和 $\Phi 40$ mm 试验组搭接长度为 5 mm 时的拉断力最高, 到 7 mm 时拉断力略微下降; $\Phi 20$ mm 试验组对不同搭接长度拉断力无明显变化; $\Phi 60$ mm 试验组对不同搭接长度拉断力呈现整体上升

趋势, 在 5 mm 时增长趋势放缓, 到 7 mm 时拉断力最高。不同试验组最高拉断力为 30 N, 搭接长度在 1 mm、3 mm 和 5 mm 时拉断位置为搭接区, 搭接长度为 7 mm 时拉断位置为非搭接区, 出现坯料条被拉细

直至断裂现象。考虑到胶条搭接方法会在胶圈表面残留接头痕迹, 以及成圈后黏接合格率和搭接强度, 优选搭接长度为 5 mm。

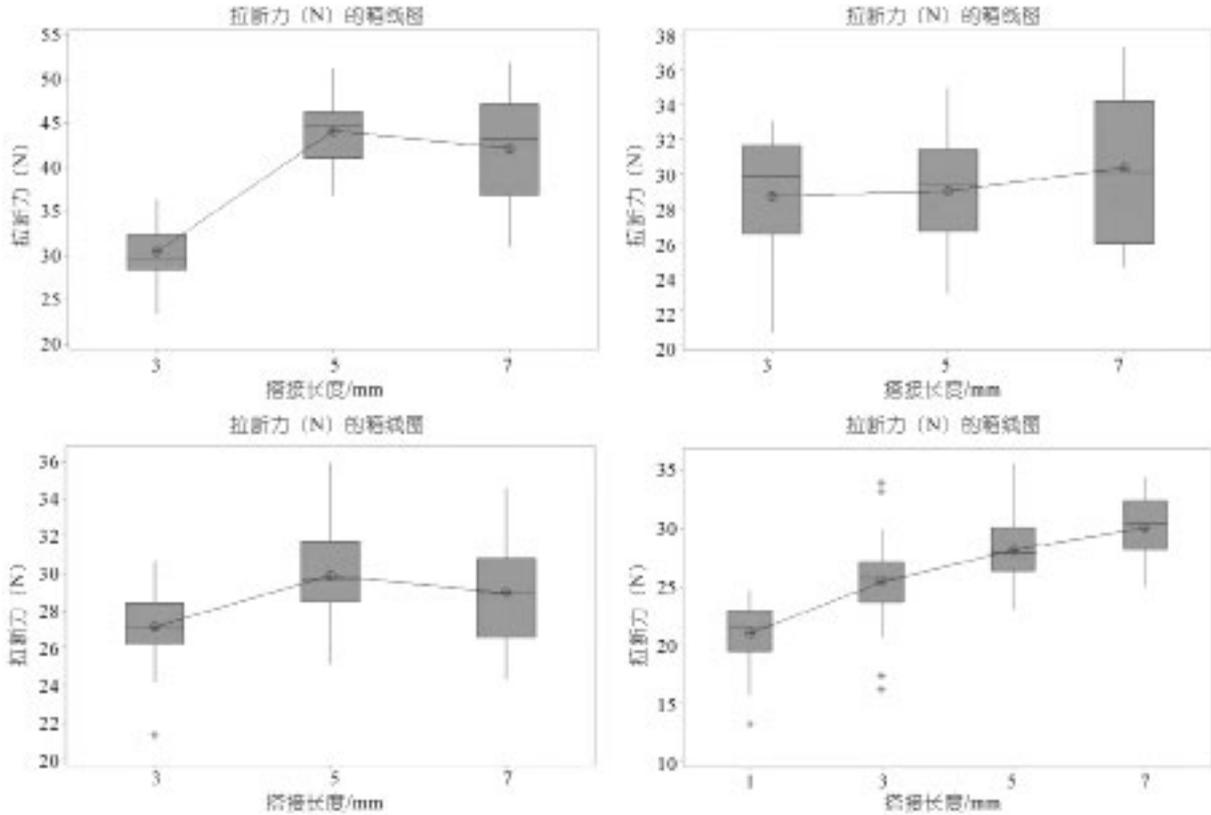


图 5 搭接长度对拉断力的影像图

3 试验验证

通过坯料软化、坯料薄通、坯料圈成型等预成型参数分析, 在 FX-17 氟橡胶一段硫化二段硫化参数一定情况下, 确定了预成型优化参数, 见表 2。并制备尺寸内径为 37 mm, 线径为 2.5 mm±0.1 mm 的 FX-17 胶圈 10 组, 每组试样为 15 个, 进行优化前后性能比对。

表 2 氟橡胶预成型参数

工步	工艺参数
坯料软化	设置辊距 1.7 mm, 胶料通过 3 次进行软化
坯料薄通	锁紧辊距至 0.4 mm, 薄通 9 次。
坯料圈成型	使用乙酸乙酯搭接坯料圈, 搭接长度为 5 mm。

图 6、图 7、图 8 是预成型工艺优化前后内径、线径、拉伸强度对比图, 从图 6、图 7、图 8 可以看出, 预成型优化前后压制 10 组 O 形胶圈, 其内径、线径、拉伸强度均符合标准尺寸要求, 但预成型优化前胶圈内径、线径、拉伸强度波动幅度为 5.63%、1.71%、

14.1%, 高于预成型优化后 1.93%、0.66%、11.3%。从内径、线径、拉伸强度试验验证可知, 通过预成型工艺优化, 可以减少氟橡胶 O 形密封圈尺寸和拉伸强度波动, 能够提升氟橡胶 O 形密封圈加工成型质量和性能^[8-10]。

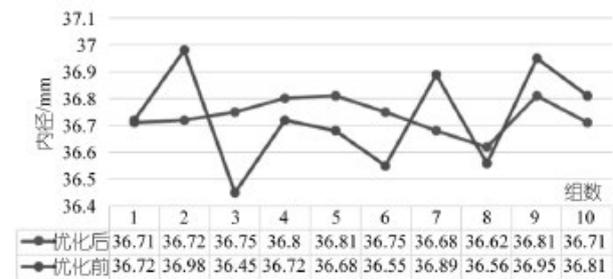


图 6 预成型工艺优化前后内径对比图

4 结论

FX-17 氟橡胶 O 形密封圈制造过程中, 在橡胶

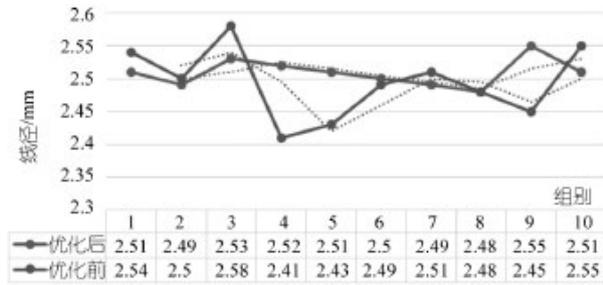


图 7 预成型工艺优化前后径向对比图

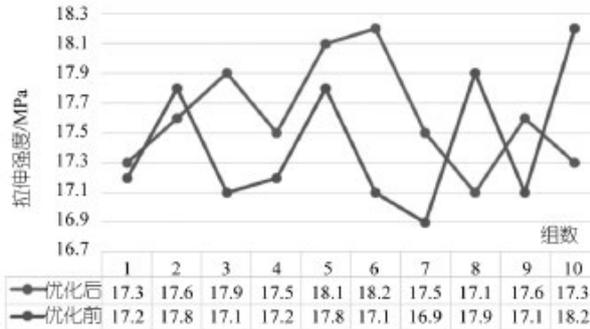


图 8 预成型工艺优化前拉伸强度对比图

一段硫化和二段硫化参数一定的情况下，通过对 O 形密封圈预成型工艺参数的优化，预成型前后橡胶 O 形密封圈内径、线径、拉伸强度等成型质量和性能波动

均降低，试验表明通过预成型工艺优化，可以减少氟橡胶 O 形密封圈尺寸和拉伸强度波动，能够提升氟橡胶 O 形密封圈加工成型质量和性能。

参考文献：

- [1] 杨璐, 陈风波, 王鹏, 等. 氟弹性体在航天航空领域的应用 [J]. 化学与黏合, 2019,41(7):62-66.
- [2] 陆刚, 氟橡胶结构特点及其应用和发展探源 [J]. 化学工业, 2014, 32(7):32-38.
- [3] 洪力. 航空用橡胶材料衰减全发射法红外光谱数据库的建立 [J]. 分析测试技术与仪器, 2016,22(7):111-115.
- [4] 于宏伟, 张蕊, 戎媛, 等. 氟橡胶结构及热稳定研究 [J]. 特种橡胶制品, 2020,41(7):59-64.
- [5] 刘嘉, 苏正涛, 栗付平. 等. 航空橡胶与密封材料 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [6] 张洪雁, 曹寿德, 王景鹤, 高性能橡胶密封材料 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007. 7.
- [7] 谢遂志, 刘等祥, 周鸣棠. 橡胶工业手册(第一分册)[M]. 北京: 化学工业出版社, 1989.
- [8] 饶翼, 马肖彬. 橡胶密封件生产工艺与质量检测 [J]. 橡塑技术与装备, 2022,48,43-45.
- [9] 肖晔. 基于图像的 O 形密封圈尺寸检测方法 [J]. 润滑与密封, 2014,39(1):93-96.
- [10] 王建军, 高新陵, O 形橡胶密封圈尺寸公差对密封性的影响 [J]. 机电产品开发与创新, 2008,21(5):78-80.

Analysis of optimization factors for preforming fluororubber O-ring seals

Zhang Dongjinchuan, Zhang Xiaofeng, Huang Xuanmin, Zheng Qingbo

(State owned Chuanxi Machinery Factory, Chengdu 611937, Sichuan, China)

Abstract: This article analyzes the control and optimization of preform processes such as parison softening, parison thinning, and parison ring forming during the forming process of FX-17 fluororubber O-ring. Experiments have shown that, under constant parameters for the first and second stage vulcanization of fluororubber, by optimizing the preforming process parameters for O-ring seals, the quality and performance fluctuations of rubber O-ring seals, such as inner diameter, wire diameter, and tensile strength, are reduced before and after preforming. After optimizing the preform process, the size and tensile strength fluctuations of fluororubber O-ring seals can be reduced, which can improve the processing and forming quality and performance of fluororubber O-ring seals.

Key words: fluororubber; O-ring seal; preformed; parameter optimization

(R-03)

