

双辊塑化机（TRP）的再加工工艺探究

章羽 编译

（全国橡塑机械信息中心，北京 100143）

TRP再加工机是一种基于双辊塑化机（TRP）并结合Roll-ex齿轮泵的资源节约型技术，能够经济高效地处理返工材料的设备。在自动化流程中，未硫化胶料得到特别温和且连续的加工，从而使返工材料重新进入生产流程。轮胎生产过程中，因工艺特性不可避免地会产生配方废料。基于可持续发展理念以及宝贵资源的经济利用需求，加之原材料成本高昂，这类物料亟须进行再加工。公司依托Uth TRP技术开发出TRP再生机，该创新工艺融合了橡胶加工领域成熟的破碎、均化与排料技术，填补了再生材料处理领域的技术空白。该方案基于TRP技术，在辊筒长度方向上设置三个区域，从而实现连续、可重复且全自动的加工流程。

轮胎是由十余种不同橡胶化合物和二十余个部件组成的复杂高科技产品。因此，轮胎生产过程极为复杂且要求高精度。各生产环节中会产生大量基础材料残余物，它们成为废料。这类所谓的返工材料由优质原材料构成。从可持续性与发展资源的经济利用角度出发，加之原材料成本高昂，这些材料不应被废弃。轮胎制造商正致力于实现一个重要目标：以尽可能温和的方式将这些材料加工成高质量的中间产品，以便重新投入生产流程。关键在于采用对材料友好的预处理工艺：质量越高，回收率就越高。随着专业轮胎种类增多而生产批次不断减少，全球范围内返工材料的绝对数量持续增长。这催生了集中回收此类材料的需求，以便通过可重复且经济的再加工工艺将其重新纳入生产线。

1 先进工艺

在返工过程中，物料首先被塑化、均质化，随后排出以便与新料混合。目前，再加工步骤通常在与制造预制产品（如密炼机或开炼机生产线）相同的生产线上循环进行（图1和图2）。实践证明，开炼机在温度控制方面表现优异，因此特别适合实现对材料友好

的再加工工艺。

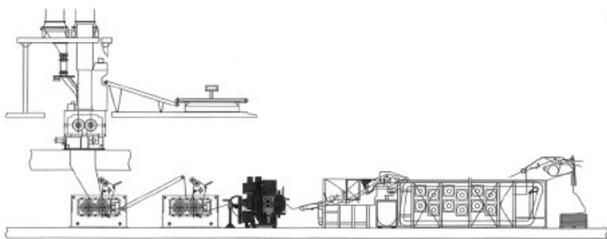


图1 密炼机生产线

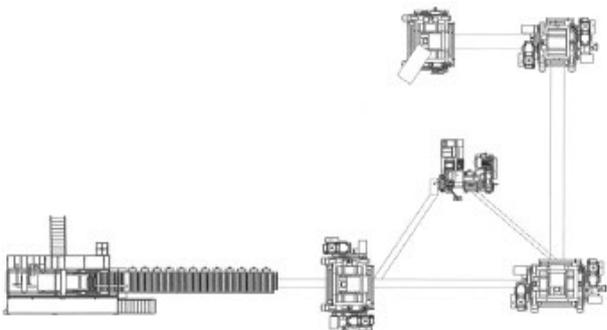


图2 开炼机生产线

由于返工物料会周期性地积累，整个过程往往需要手动操作，从而增加了操作人员的风险。此外，开炼机工艺的质量控制依赖于操作人员的经验与技能，难以保证结果的可重复性。

在密炼机生产线中对橡胶混合物进行再加工，其可控性优于开炼机生产线，且操作风险较低。然而从工艺角度而言，返工物料在密炼机中承受较高的剪切力，由此导致的温升可能进一步损害本已受力的材料。为确保工艺温和，密炼机必须设置较低的转子转速，导致混炼时间相对延长。循环再加工工艺的经济性还受到高能耗、大空间需求以及整条混炼生产线设备运行成本的影响。

1.1 工艺要求

- （1）可处理不同规格和形状的橡胶化合物或返工材料；
- （2）通过轻柔的物料处理实现充分塑化和均质化；

(3) 加工区域便于清洁和换料操作；

(4) 实现可重复的自动化加工，最大限度降低操作人员工作量。

2 TRP技术的基本原理

Uth公司推出的集成齿轮泵双辊塑化机（TRP）已成为满足上述要求的成熟解决方案。该自动化连续工艺融合了橡胶加工领域的成熟技术，包括破碎、均质化和排料。其基本原理基于开放式辊筒系统与Roll-ex 齿轮泵技术的结合。

该紧凑型系统沿辊筒长度方向分为三个区域（图3）。在进料区，各种形态的物料（如板片、薄片或型材）可通过输送带进料。在均质化区的压辊间，物料经机械作用发生塑性变形并实现均质化（图4）。基于Roll-ex TRF原理，材料随后在卸料区直接挤出成型。操作人员无需进入工艺区域进行人工干预，全封闭的加工区设计也杜绝了人员接触风险。最终实现安全、可控且连续的均质化工艺，确保结果可重复。基于模块化设计理念，TRP可选配集成齿轮泵挤出机，实现对物料的精细过滤。



图3 TRP技术的基本原理



图4 开炼机辊隙处胶料的均化
温和再加工工艺的基础在于可控的温度变化（图

5）。在TRP工艺中，通过辊体全长范围内可独立设置的温度区来实现这一目标。通过复合材料的机械转化，可获得良好的均质化和塑化效果。通过调整辊速与辊距，可优化所需摩擦力以增强塑化性能。专为再加工工艺设计的辊体结构，还能实现从进料区到出料区的轴向物料输送。

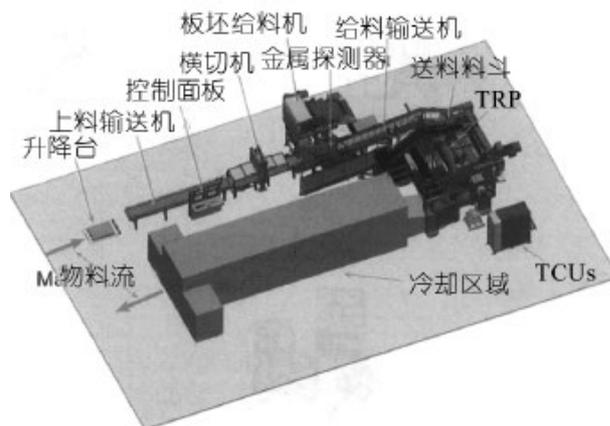


图5 完整解决方案：TRP返工机

2.1 TRP返工机的优势

- (1) 返工过程中，物料得到特别轻柔且连续的处理，并具备卓越的温度控制
- (2) 自动化流程确保结果可重复
- (3) 系统采用模块化设计：集成式Roll-ex 齿轮泵可选配精细滤网，支持多种形态物料排出
- (4) 工艺区域完全封闭，确保高水平的作业安全
- (5) 紧凑省空间的设计可降低场地成本
- (6) 系统组件便于清洁及配方更换
- (7) 较现有工艺节能高达50%
- (8) 采用TRP技术可节省轮胎生产中至少5%的原材料
- (9) 98%的工艺废料可回流至轮胎制造流程

3 TRP返工系统的设计

基于双辊塑化机，开发了一套系统解决方案以满足轮胎行业返工工艺的需求（图5）。除了核心部件塑化装置外，该模块化方案还包括多个系统组件，从而能够提供针对具体应用的解决方案。

4 送料单元

返工材料（如胎面、侧壁或轮廓件）通常在几何形状和单件重量上存在差异。然而，为实现可控工艺

和可重复结果，必须采用连续均质化工艺。送料单元将间歇式供料与连续工艺相衔接：物料先经水平带式输送机运至称重切割装置，随后通过金属检测器，再由上升输送机送入塑化单元。也可采用板坯供料器配合切割装置，直接从托盘上取料。

5 塑化单元

TRP返工机的塑化单元基于双辊塑化工艺技术。其专为返工工艺设计的进料区，可处理具有不同流变特性的材料。轮胎行业常见的返工材料包括：硬度为60-70 A的卡车或轿车胎面橡胶（门尼粘度50-60单位）、侧壁橡胶（硬度40-55 A，门尼粘度50-60单位），或胎圈材料（硬度40-55 A，门尼粘度50-60单位）。此外，还包括胎侧胶料（硬度40-55 A，门尼粘度50~60单位）、顶部胶料（硬度60 A，门尼粘度75单位）等。所有源自这些组件的返工材料均可在塑化单元中顺利再加工。同样也适用于帘布层或内衬层橡胶。

6 TRP 排料区

塑化装置的排料区基于久经考验的 Roll-ex TRF 原理（双辊进料装置）。后续的齿轮挤出机由两个温控辊主动供料。当材料离开辊缝时，会产生进料压力，这是完全填充齿轮泵齿隙所必需的。在材料排出区，可通过单独的温度控制区（图6）调节材料温度，为后续工艺提供额外的温度调整空间。

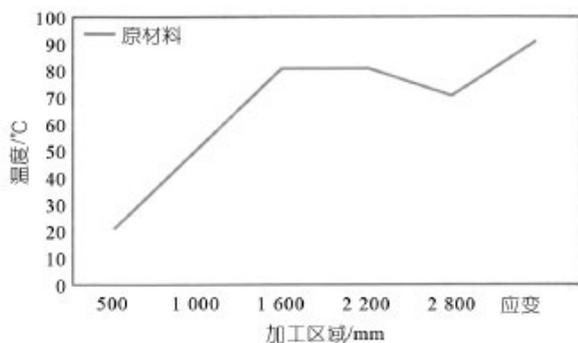
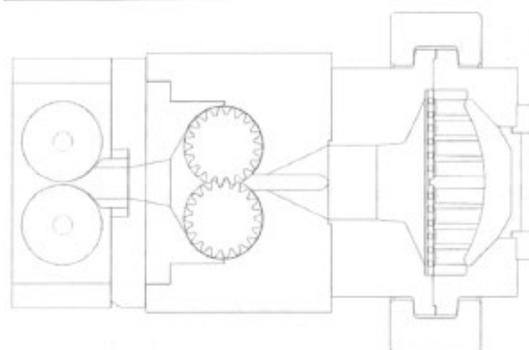


图6 沿辊子的温度分布

6.1 过滤齿轮泵单元

在标准配置中，Roll-ex齿轮泵过滤单元位于TRP排料区下方。齿轮泵和过滤器头可通过液压系统旋转并移离TRP，以便进行清洁和滤网更换。温度传感器记录塑化装置（齿轮泵前）排出区及过滤器头的温度，以监控温度变化。齿轮挤出机基于容积泵原理工

作。在泵的进料端，物料被挤入两个啮合齿轮之间的间隙，随后通过齿轮啮合作用被排出该间隙。这种排挤作用形成压力并推动物料向前输送（图7）。



细网过滤是指对橡胶或硅胶胶料进行精细过滤的过程中，杂质会留在滤网中，并以物流中去除。根据胶料质量和滤网目数不同，该过程需要施加数百巴的压力。

图7 带双辊进料器的齿轮泵挤出机

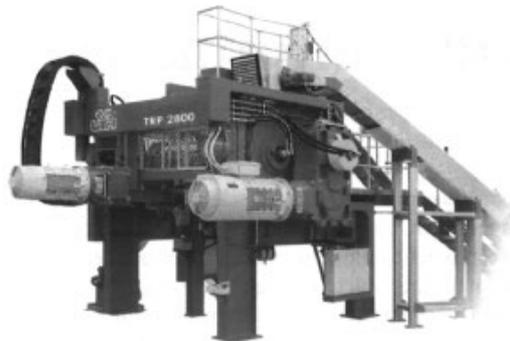


图8 带集成齿轮泵的双辊塑化机TRP Reworker 2800

7 冷却段

橡胶混合物可在常规冷却系统中冷却。根据排出混合物的形态，悬臂式冷却段或常用批次冷却系统均适用于片材托盘冷却。由于排出批料的温度约为100°C，且速度相对较慢（例如片材挤出速度为5~9米/分钟），因此冷却段的尺寸可设计得相对紧凑。

8 发展现状与未来展望

TRP 技术已在轮胎行业确立其作为返工材料加工替代解决方案的地位。与2800型号尺寸相同的TRP再加工机，吞吐量为2,500公斤/小时，因此可满足轮胎工厂常规的返工需求（图8）。其他尺寸和设计可为橡胶与硅胶加工中的其他处理任务提供选择，例如预热、混合和排料。

译者：章羽

原文：RUBBER WORLD No.7/2025, by Peter J.

Uth, Julia Uth and Manuel Beler, Uth GmbH.