

提高混炼灵活性的可变 啮合间隙密炼机

Luigi Pomini 著 吴秀兰译 涂学忠校

为了提高质量和/或生产率,近年来还为了尽可能使这两个方面在整个加工过程中保持协调,人们在不断地改进混炼技术。

人们对此做了许多工作,主要是研制了一些新型转子。大量专利(100 篇以上)证明了在这方面所做的技术和工艺研究。但无论有多少专利,基本概念仍一如开始使用开炼机时,丝毫没有改变。使各组分分散,混合成为均匀的胶料所必须的剪切作用必须产生于以一定速度转动,具有一定间距的两个金属面之间。

为了获得最大效率,必须在混炼期间改变相对速度和间距。

基于这些假设,Pomini 公司已研制并生产出了名为 VIC 的新型密炼机。VIC 一机兼具开炼机(质量)和密炼机(生产效率)的优点,是现有混炼机中最灵活的。它能满足技术人员最苛刻的要求,技术人员可在保证胶料特性的同时,根据各胶料的不同要求调整混炼工艺。

获取一个其它密炼机所不具有的操作变量,即改变辊子间隙的能力,便可实现上述目标。

字母 VIC 实际上代表 Variable Inter-meshing Clearance,即转子间隙可变的啮合式密炼机。

1 技术特点

VIC 密炼机的转子相互啮合,转子外表面之间间距(间隙)通过内有轴承的偏心套筒的旋转在最小和最大之间调节(已获专利)。在混炼操作中也能增大或减小转子间隙。

对 VIC 冷却区的研究获得了最大的热交换效率。对一定的生产能力,VIC 的热交换表面比标准的切向密炼机大 75% 以上,配套的动力比同等切向密炼机大 25%。

2 混炼效率

在 VIC 中,确保橡胶得到加工的剪切作用发生于转子之间,而不是像切向密炼机那样发生在混炼室壁与转子之间。为进一步了解 VIC,我们将考察密炼机内胶料的行为,特别是混炼过程中的剪切速率和剪切应变参数。与转子接触的胶料颗粒的运动速度与转子的线速度相同,而混炼室固定壁上的颗粒的速度为零。这样便产生了一个剪切速率 $\dot{\gamma}$,切向密炼机的此值极高,而啮合密炼机由于要考虑一个转子顶部与另一个转子根部线速度的差异,所以此值低得多。

从技术观点看,啮合密炼机的平均剪切速率比切向密炼机低,对啮合密炼机是个限制。但另一方面,如前所述金属与胶料接触面的增大(+70%)使其可向胶料传递更大的机械力,因而可补偿上述缺点。

事实上,我们必须考虑剪切速率 $\dot{\gamma}$ 与剪切应力 τ 的如下关系:

$$\tau = \dot{\gamma}^n \cdot \eta \quad (1)$$

式中 η ——胶料粘度;

n ——幂指数(对于牛顿流体, $n=1$)。

$\dot{\gamma}$ 和 τ 这两个参数对高效高质量混炼胶料都很重要。在这点上很明显,改变啮合密炼机转子之间的间隙可提高剪切速率值。这意味着 VIC 多一个操作变量,即通过减小转子之间间隙提高剪切速率值,如图 1 所示。

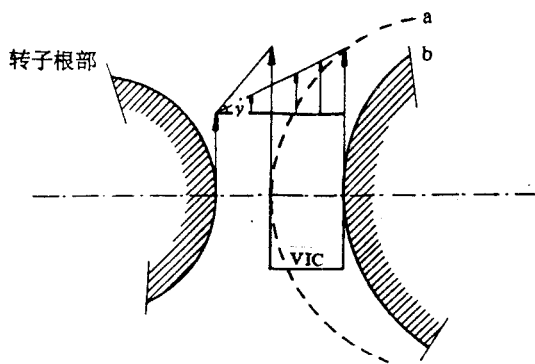


图 1 剪切速率值

a—转子顶部(最小间隙); b—转子顶
部(最大间隙)

3 转子间隙变化的影响

从 1988 年 2 月第 1 台 VIC 问世至今, 为尽可能了解新型密炼机混炼各种胶料的使用特性做了多次试验。为使用尽可能全的试验仪器, 以获得可靠的结果, 采用了混炼能力为 2—275L 各种规格密炼机。

就目前所得结果可知, 在混炼期间或混炼之前改变密炼机转子间隙是影响下列混炼参数的一个非常有意义的因素。

3.1 功率峰

加入配合剂导致的功率峰随转子间隙增大而增高, 减小而降低。这个效应与两辊开炼机相同: 在两辊开炼机上, 当胶料很硬(高粘度)时, 必须减小辊隙以防停车。从最小到最大转子间隙所测功率峰值相差近 30%。对此的解释是, 在转子间隙较小情况下, 随着混炼的进行, 整车胶料通过转子间隙所吸收的能量逐步减小。与转子间隙较大情况相比, 混炼一车胶料所需的时间较长。

3.2 投料时间

改变转子间隙, 造成密炼室内各种不同的动态容积, 产生不同的填充系数。啮合密炼机就像一个齿轮泵(主要在混炼周期的第 1 阶段), 它力图使整车胶料都移至混炼室的上部, 从此处迫使其通过转子。转子间隙越大, 排空上部胶料使压砣降至低位就越容易。已

观察到, 在转子间隙最小时, 压砣下降慢得多。试验表明, 混炼开始时转子间隙大有利; 如果胶料较硬, 在这阶段所节省的时间可达 30s 或更长。

3.3 排料温度

上述动态容积变化的一个副效应是可控胶料温度。事实上, 转子间隙越小, 转子与相对室壁的间隙就越大, 此时, 剪切最小, 热交换最多。

经验表明, 转子间隙最小时, 胶料冷却最好; 当低温排料有问题时, 混炼就应该在此条件下结束。

温度图上的胶料温度曲线表明, 在最小至最大转子之间, 温度升高近 20%。

3.4 传输到胶料的能量

在混炼周期相同的情况下, 转子间隙越大, 传输到胶料的能量越多。这个效应还与动态容积变化有关, 即转子间隙越小, 定量胶料通过转子间隙的时间越长。实际上, 胶料粘度没有低到可将其看作通过一定限制就会提高速度的流体。转子间隙越大, 通过转子间的胶料量越大, 因而混炼结束时传输给单位重量胶料的能量就越多。

3.5 分散

转子间隙变化对炭黑和/或其它配合剂分散的影响如下:

- 如果胶料粘度低(<60 门尼), 则转子间隙最小时分散较好;
- 如果胶料粘度高(>80 门尼), 则转子间隙最大时分散较好。

在两个极端之间可任意选择其它工作条件。这些直接与工艺相关的转子间隙变化都可设置, 预选, 并可在混炼期间自动调节和控制。

据经验可知, 通常混炼开始时, 转子间隙最大, 可以缩短混入配合剂时间; 在最后阶段, 当必须控制温度和进一步改善配合剂分散时, 减小转子间隙最佳, 见图 2 和 3。两图示出了高压钢丝增强液压胶管以丁腈橡胶(NBR)为基础的胶料混炼期间的温度与功

率曲线。基本配方(重量份):NBR 100;炭黑 N762 110;油 15;化学助剂+促进剂 20。密度为 $1.3\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,门尼粘度为 98,邵尔 A 型硬度为 83。

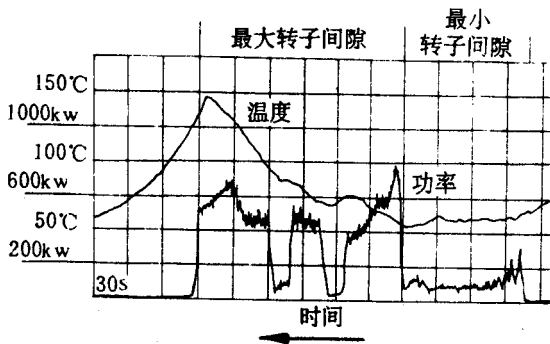


图 2 以最小转子间隙开始混炼的
温度与功率曲线

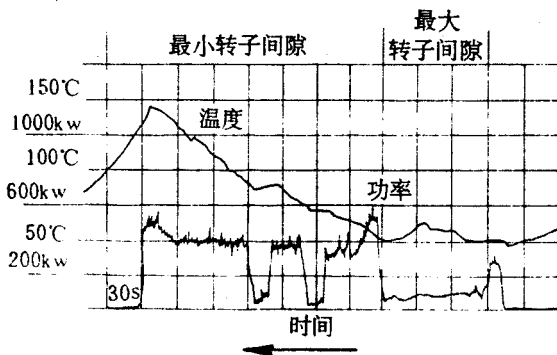


图 3 以最大转子间隙开始混炼的
温度与功率曲线

按下列程序,混炼依时间进行,根据温度排料。

时间, s	温度, °C	操作
0	—	聚合物
60	—	填料(白炭黑、油)
160	—	第 1 次清膛
210	—	第 2 次清膛
—	145	排胶

转子转速 = $25\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$, W. T. S = 21°C , 压砣压力 $P = 4\text{bar}$ (0.5MPa), 填充系数 = 0.59。

在图 2、3 所示的两种情况下,都可在混炼期间变化转子间隙。图 2 中聚合物捣炼阶

段以最小转子间隙开始,加入填料时转子间隙增大。图 3 所示情况正好相反,以最大转子间隙开始,加入填料时减小转子间隙。从图 2 和 3 可以清楚看出:

- 在混炼开始阶段(聚合物捣炼阶段),不能区别最大与最小转子间隙功率吸收的差异,但转子间隙小时,聚合物捣炼质量好;
- 加入炭黑后,大转子间隙的功率峰高 33% (800kW 对 600kW);
- 在压砣第 2 次提升后混炼的最后阶段,最大转子间隙温度曲线的斜率较大;温度升高率为 $0.830^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$,对 $0.680^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ 提高了 22%;

- 以最大转子间隙结束的混炼周期缩短 14% (从加入填料到排胶为 180s 对 210s)。

观察两种不同情况下的功率曲线走向发现,在转子间隙最小时,功率值最后一次升高后立即排胶;而在转子间隙最大时,排胶是在功率值升高 25s 后进行的(均根据温度排胶)。这就令人有理由相信,甚至在排胶之前胶料就已混炼好,因此与最小转子间隙排胶情况相比,总计可节省时间 $30\text{s} + 25\text{s} = 55\text{s}$ (—26%)。在这种情况下,即使在最大转子间隙下排胶,而且胶料粘度足够高(门尼粘度 98)、混炼时间较短,胶料配合剂的分散也很好。另一方面,经验表明,对粘度较低的胶料(门尼粘度 35),只有在最小转子间隙下配合剂分散才比较好。

在这两种情况下,传输给单位重量胶料的能量基本相同(最小转子间隙 $0.120\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$,最大转子间隙 $0.125\text{kW} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$,但是由于在最大转子间隙下混炼周期短,故其传输给胶料的平均功率值较大(约+14%)。

4 VIC 与切向密炼机混炼轮胎胶料的生产效率/质量比较

按下述 3 个步骤在切向密炼机上混炼以 NR 为基础的填充 50 份炭黑 N110 的载重轮胎胎面胶: