

最大化模具利用率： 半永久性脱模剂的使用研究

章羽 编译

(全国橡塑机械信息中心, 北京 100143)

大多数橡胶加工方式都涉及模压成型操作。因此, 模压成型部门的绩效是许多生产商最重要的因素。成型操作可能采取简单的压缩形式, 但更有可能涉及半自动过程, 如转移, 或全自动程序, 如注射。在这些条件下, 可以以相对较短的循环时间生产出大量的模制品, 达到高度的均匀性。

为了最大限度地提高成型生产效率, 模具本身必须能够长时间使用。然而, 在优化注射工艺条件时通常无法考虑到这一点。许多复杂的聚合物和其他成分(如硫化系统和特种化学品)会导致模具过早结垢, 从而缩短模具的有效工作时间。这反过来又会导致工艺性能低下和质量水平下降。此类胶料的流动性和脱模性也可能很差, 导致循环时间延长, 从而进一步降低生产率。

使用半永久性脱模剂作为模具保护层, 模具商可以抵御这些风险, 最大限度地提高模具利用率, 从而提高成型产品的质量。

本文旨在让读者更好地了解如何通过使用半永久性脱模剂来实现这一目标。文章的第一部分将讨论这些脱模剂的理论和应用; 第二部分将说明这些材料的优点以及如何通过最大限度地提高模具利用率来影响制品的产量。

1 半永久性脱模剂

半永久性脱模剂可在模具表面形成薄层, 能够承受充模过程中橡胶的摩擦作用, 并提供良好的脱模性能, 这对多次脱模循环至关重要。其具有良好脱模性能的循环次数高, 主要取决于脱模剂的成分、模具类型、胶料和成型条件。使用指定的脱模剂一次可脱模100次以上。

此外, 半永久性脱模剂可减少模具污垢量。这主

要是因为污垢材料更容易从模具表面脱落, 就像橡胶更容易脱落一样。这样, 接下来注入的胶料就会带走上一周期产生的模具污垢。可以认为, 脱模剂还具有模具保护涂层的功能, 可抑制可能导致污垢的挥发性成分与模具表面之间的相互作用。

另一个影响是模具表面的润滑性增加, 导致橡胶在成型过程中更容易滑动。如果橡胶更容易在模具表面滑动, 则模具填充速度会更快, 因此这种特性可缩短循环时间。摩擦力的减小也会导致模具污垢的减少, 橡胶与模具界面上发生的微磨料相互作用也会减少。

2 化学

最早的半永久性脱模剂是作为溶剂型材料开发的。如今, 出于健康和环保的考虑, 最先进的脱模涂料几乎都是水基材料。

市场上大多数半永久性脱模剂的核心是两种不同的预聚物, 它们在反应涂层制造过程中完全聚合成树脂, 然后通过喷涂在加热的模具上形成一层薄膜。

一种预聚物聚合成涂层的刚性结构骨架, 其关系到涂层与模具表面的黏合; 并且这种骨架在其蜂窝状结构中还会包含第二种更柔韧的树脂, 第二种树脂负责在模具填充过程中减少未硫化橡胶流动时的摩擦力, 以及在脱模阶段减少硫化橡胶与模具表面的黏附力, 这在脱模阶段是必要的。根据最需要优化的性能, 可以调整这两种预聚物之间的比例。通过对脱模剂产品成分进行微调, 可定制出更耐用的涂层, 例如, 与润滑性更强的涂层相比, 可提供更好的耐磨性, 从而最大限度地提高流动性和脱模性。

预聚物的聚合通常是通过加热开始的。一般来说, 温度越高、硫化时间越长, 半永久性涂层的持久

性就越好。因此，许多脱模剂产品都建议在开始模塑操作前使用一定的最短诱导时间，通常称为薄膜预硫化或预烘烤，以优化涂层的稳定性。然而，这段时间也可能会适得其反，因为它会减少模具在生产率产出方面的总体可用时间。因此它必须与可接受的薄膜寿命和重新涂膜所需的时间相平衡，如果没有充分的预处理，可能无法优化涂膜效果。

为了降低薄膜聚合所需的温度和硫化时间，可以在预聚合物混合物中加入催化剂。即使使用催化剂，聚合反应也需要热量，但与不使用催化剂相比，反应开始时的温度可以低得多，反应时间也短得多。现在有几种产品使用了所谓的“瞬间硫化”技术，也就是采用了更简单的“喷涂即用”方法。

通常情况下，在这种条件下，适当催化的半永久性涂层可在成型温度下涂在模具上，关闭模具和注入橡胶所需的时间足以完成聚合反应。因此，此类涂层可减少模具的生产损失。此类新技术产品的例子包括StruktolPermalease200，这是一种具有“喷涂即用”技术的水基产品，可在更广泛的成型温度范围内形成高度耐用、耐磨的薄膜。

3 机制

脱模剂用于减少未硫化和硫化橡胶与模具表面的黏附力。脱模剂有两种不同的作用：填充模具表面的微孔、凹槽和裂缝，从而减少橡胶和模具之间物理缠绕的可能性，降低模具的有效表面；润滑作用，降低橡胶和模具之间的摩擦力。

在图1中，显示了半涂有半永久性脱模剂（StruktolPermalease70）的钢板的形貌模式下的原子力显微镜（AFM）图像。板的左侧未经处理，右侧有涂层。膜厚度约为300 nm。

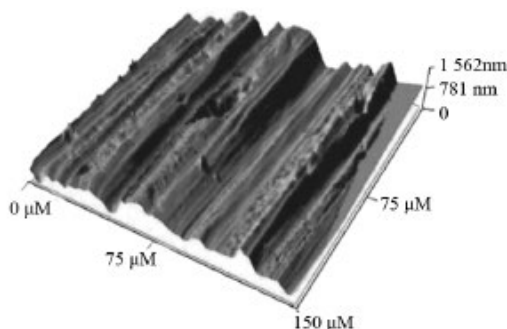


图1 半涂层钢板（右）和半无涂层钢板（左）的原子显微镜图像

处理部件的形貌在外观上比处理部件更粗糙；但即使在钢板的处理侧，也没有一个均匀、完全光滑的表面。半永久性脱模剂可以平整最深的孔和凹痕，但不能得到完美、完全光滑的表面。

使用更多的脱模剂可以改善表面的均匀性；但这样做，聚合物膜会变得太厚，在橡胶成型过程中的高剪切力作用下不再足够稳定，从而导致涂层过早磨损。仅为获得良好的脱模性能，一般不需要制造完全光滑的表面。

图2显示的是与图1相同的钢板；不过，这次的图像是在原子力显微镜的摩擦力模式下拍摄的。显微镜针尖划过钢板表面，并记录下观察到的力。在图2中，可见的峰值描述了摩擦力较大的区域。可以清楚地看到，由于钢板右侧涂有涂层的表面更加平整，其摩擦力远低于未涂涂层的表面，而且摩擦力非常大的区域也少了很多。

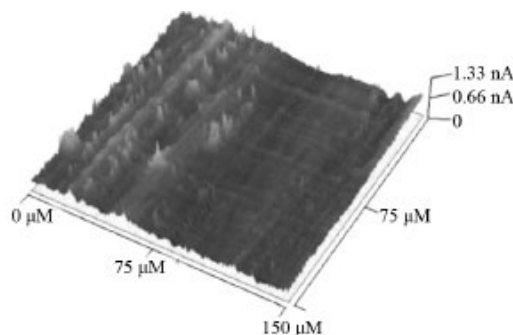


图2 半涂层钢板（右）和半无涂层钢板（左）的摩擦模式原子显微镜图像

从图中可以看出，半永久性脱模剂通过填充深孔、凹槽和细小裂缝，确实使模具表面变得平整，此外，由于润滑作用，还能降低表面的摩擦力。要使这些材料具有良好的脱模性和更好的流动性，哪种效果更为重要，主要取决于具体的成型情况。不过，这两种效应在协同机制中都是有益的。

4 应用

在大多数应用中，半永久性脱模剂都是在彻底清洁模具表面后直接涂抹在热模具上的。使用半永久性脱模剂之前的这一清洁步骤非常重要，可确保涂层与模具表面间接接触，并能在模具的空隙和不规则表面上聚合，形成高度的界面接触。启动聚合反应需要加热；但是，特别是对于水基脱模剂，迅速蒸发溶剂以防止模具腐蚀也很重要。

涂层可以通过刷涂、浸渍或喷涂的方式进行，但喷涂是目前最常用的方法，因为这种方法最简单，而且在控制涂层的厚度均匀方面效果最好。

在使用脱模剂之前对模具进行清洁，既可以采用传统的机械方式，也可以通过使用专门设计的模具清洁剂（例如StruktolMC-A或MC-B），在硫化循环过程中利用化学作用进行原位清洁，从而提高效率。彻底清洁对于优化涂层与模具的附着力以及获得更多的成型周期至关重要。在相同的条件下，使用在脏模具上的半永久性脱模剂与使用在干净模具上的涂层相比，脱模次数要少得多。

在生产过程中，涂层会在模具的某个位置被橡胶磨损。经过多次脱模循环后，涂层的脱模性能开始下降。在这种情况下，只需在重新涂抹过程中轻轻喷涂即可补充涂层。

但是，这种反复补充会导致橡胶磨损较少的模具部件上的材料堆积，最终必须清除这些堆积物，以保持完美部件的生产。使用模具清洁剂可最有效地完成这一清洁过程。因此，在使用半永久性脱模剂生产橡胶件时，存在三个控制回路：成型回路、补充回路和应用回路。图3的流程图直观显示了这三个循环。

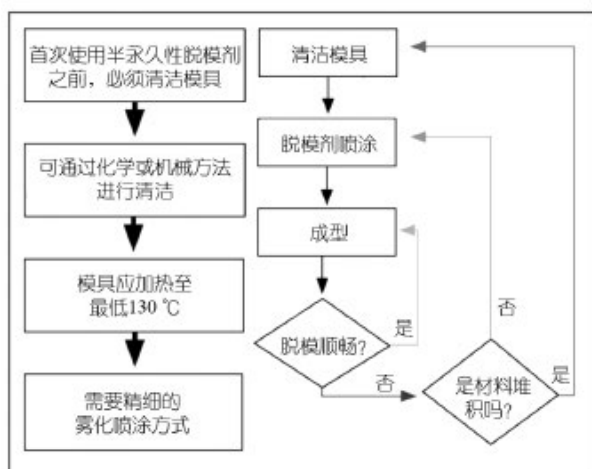


图3 半永久性脱模剂在橡胶成型中的使用循环

每次循环所能达到的循环次数必须根据每个生产工艺单独确定，因为它们在很大程度上取决于一系列因素：涂抹脱模剂前的模具准备和清洁、涂抹本身、溶剂的磨蚀性、黏性和污垢特性、模具的几何形状、模具材料、注射和硫化参数等。

图4显示了半永久性脱模涂层（StruktolPermalease70和StruktolPermalease90）的典型磨损图，该涂层

用于填充炭黑的丁腈橡胶的成型。磨损程度与剩余薄膜的脱模性能相对应。约50%~60%的磨损仍能提供足够的脱模性能，而更高的磨损则会导致胶料黏连。

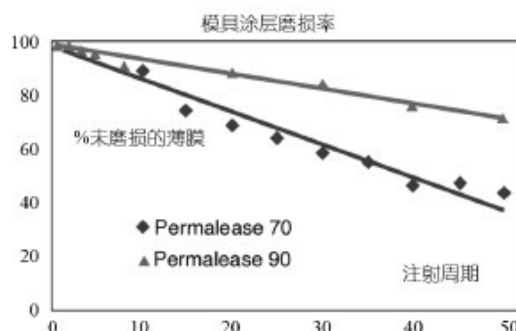


图4 半永久性涂层的磨损与成型次数无关

5 半永久性脱模剂对模具利用率的影响

5.1 模具使用次数

衡量模具利用率的最重要参数是在规定时间内生产的完美零件数量。用模具的生产时间（ t_{prod} ）除以注射过程的周期时间（ t_{cycle} ），再减去非完美零件的数量（废料 $[P_{\text{scrap}}]$ ），即可计算出每周期生产的零件数量（ P_{per} ），如公式1所示。

$$P_{\text{per}} = (t_{\text{prod}} / t_{\text{cycle}}) - P_{\text{scrap}} \quad (1)$$

如公式2所示，模具的生产时间可定义为检查时间段（ t_{per} ）减去模具停机时间（ t_{down} ）。

$$t_{\text{prod}} = t_{\text{per}} - t_{\text{down}} \quad (2)$$

在大多数情况下，这种停机时间是由于在注射成型过程中模具逐渐出现污垢而需要拆卸和清理模具造成的。

整个注射过程的周期时间是填充模具所需的时间、注射时间 t_{inj} 、橡胶需要完全硫化的时间、硫化时间 t_{cure} 、从模具中取出硫化物品的时间、脱模时间 t_{dem} 以及涂抹脱模剂所需的时间 t_{rel} 的总和，特别是如果使用的是必须每个周期都涂抹的简单脱模剂。如公式3所示。

$$t_{\text{cycle}} = t_{\text{inj}} + t_{\text{cur}} + t_{\text{dem}} + t_{\text{rel}} \quad (3)$$

将公式1、2和3结合起来，就得出了在规定时间内模具生产的零件数量的计算公式（公式4）：

$$P_{\text{per}} = ([t_{\text{per}} - t_{\text{down}}] / [t_{\text{inj}} + t_{\text{cur}} + t_{\text{dem}} + t_{\text{rel}}]) - P_{\text{scrap}} \quad (4)$$

在该公式的所有因素中，只有硫化时间（和时间段）不受半永久性脱模剂使用的影响。下文将讨论如何影响其他因素。

6 半永久性脱模剂的效果

6.1 停工时间

使用半永久性脱模剂时，模具结垢的程度较轻，因此拆卸和清洁模具所需的时间大大减少。与未受保护的模具表面效果不同，模具污垢无法附着在惰性、无孔的半永久性涂层上。污垢会被连续的模具填充物擦掉，因此需要清洗的模具污垢堆积时间会推迟，清洗周期之间的间隔时间也会延长。

由于污物无法牢固地附着在脱模涂层上，因此清洁操作变得更加简单快捷。通常情况下，可使用模具清洁剂进行原位清洁，而无需将模具移至化学清洗槽或喷砂处理。这样，通过减少停机时间，半永久性脱模剂提高了模具的使用次数。

6.2 注射时间

由于半永久性脱模剂还具有润滑作用，因此可使注入的橡胶更容易流入模具，从而加快模具的填充速度。这反过来又缩短了注射时间，进一步提高了模具产量。流动性的改善可降低焦烧风险，尤其是在填充复杂的多腔模具系统时。

6.3 脱模时间

半永久性脱模剂是专门设计的脱模剂，可使橡胶制品的脱模变得更容易，这主要是由于表面摩擦力较低，从而减少了黏合力，从而缩短了脱模过程所需的时间。

6.4 脱模剂的使用时间

由于半永久性脱模剂只需涂抹一次脱模剂即可实现多次脱模，因此也减少了再次涂抹脱模涂层所需的时间。这与油类、蜡类和硅树脂乳液等简单的牺牲型脱模剂形成了鲜明对比，后者必须在每次成型前使用。

6.5 废料

半永久性脱模剂可减少注射过程中产生的废料，主要有两个原因。首先，润滑效果使流动更容易，从而对流动故障的数量产生积极影响，主要是减少了流动组合（也称为编织问题），以及由于模具填充速度加快而减少了焦烧问题。其次，使用这些脱模剂可减少模具污垢，从而最大限度地减少因表面质量差、脱模过程中损坏或因模具污垢沉积而导致尺寸超出公差范围而必须丢弃的颗粒数量。废料的减少也会直接影响模具的使用次数。

7 发展

以改变交联涂层微观表面结构为目标的创新为影响成型橡胶件的外观提供了可能。硫化橡胶表面可以呈现出更哑光的外观（图5），或者相反，呈现出闪亮的外观（图6）。这些纯粹是橡胶表面微观规整度所产生的物理效果，是通过修改相应的模具涂层表面来控制平滑度的结果。图7描述了一种高度规则、闪亮的表面涂层；图8则是一种光滑度较低的涂层，从而形成哑光橡胶表面。同时，改性涂层必须具备半永久性脱模系统的所有预期功能。

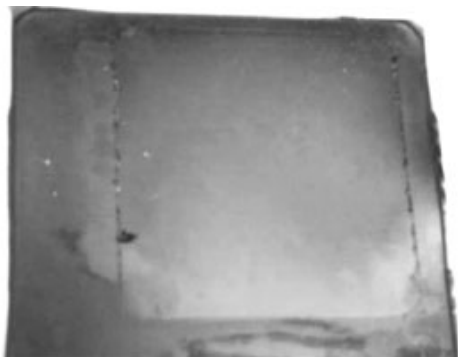


图5 使用不规则表面模具涂层的哑光成型橡胶表面

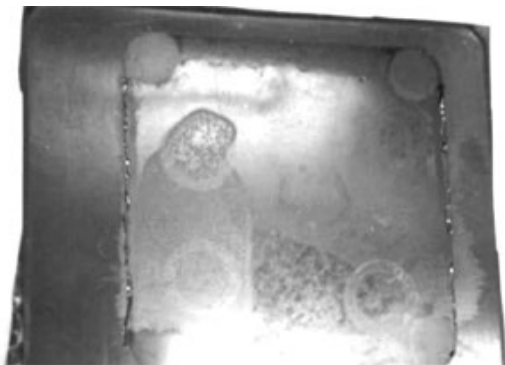


图6 通过光滑模具涂层获得高光泽度的模制橡胶表面

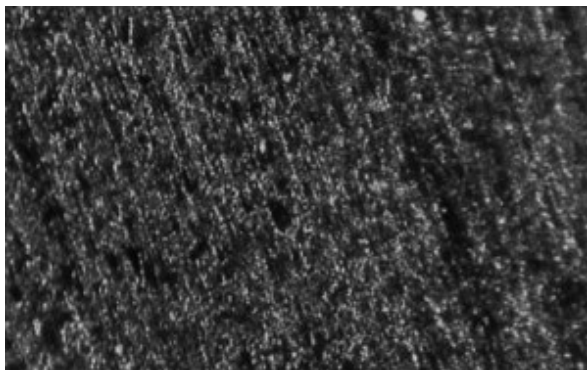


图7 高度规则光滑模具涂层的显微图像

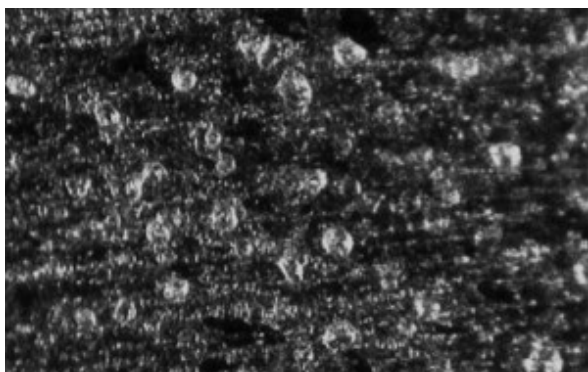


图8 平滑度较低的模具涂层的显微图像

8 结论

最先进的橡胶注射应用模具涂料在使用半永久性技术时最为有效。这些系统主要基于两种预聚物的水基乳液，通过加热聚合成结构性骨架聚合物和润滑聚合物。使用催化剂可以大大降低聚合温度。这些半永久性脱模剂的脱模次数高，而且在生产操作过程中很容易将这些材料应用到模具上。因此，生产效率高，成本低。

使用一次脱模剂所能达到的脱模次数范围很广，这取决于橡胶部件生产的许多因素。每种生产工艺都必须单独确定循环次数。使用这些半永久性脱模涂层后，一个非常重要的效果就是大大减少了模具堵塞。通过对注射成型过程中影响模具产量的几乎所有因素产生积极影响，可以最大限度地提高模具的利用率。这大大增加了在规定时间内生产的产品数量，并带来了可观的成本优势。

通过改变模具涂层的微观结构，可以影响橡胶部件的表面外观。这样就有可能获得或高或低的表面光泽度。使用半永久性模具涂层系统不仅能提高生产率和质量，还能带来美观方面的好处。

译者：章羽

原文：RUBBER WORLD No.12/2024, by Tim
Beerman, Colin Clarke and Felix Niefind, Schill +
Seilacher Struktol GmbH

