

制模工艺参数及计算机控制

—国外精铸技术进展述评(3)—

原载《特种铸造及有色合金》，2005（3）：172~175

一. 温度控制

(1) 模料温度

模料温度直接影响模料粘稠度和充型能力，要求控制准确，改变温度设定时，响应速度要快。目前，国外先进的压蜡机除配备有分区控温的膏状蜡储蜡罐外，还将温度传感器直接插入模料，以便将模料温度精确控制在从液态-膏状的任一状态，并可随意调整，以适应压制不同蜡模的要求。一旦改变温度设定，系统将以每3分钟0.5℃的速率作出响应，而温度波动范围仅0.3℃。

(2) 压型温度

大多数压蜡设备不太重视控制压型温度，通常只是通过使用类似水龙头的手动阀门，增大/减小通入压板的冷却水流量来控制压板温度，进而控制压型温度。由于压板和压型之间的热传导并不可靠，另外压型壁的厚度对型腔的温度也有很大影响。所以这种方法并不能精确控制压型型腔温度。可以考虑采用以下方法改善压型内的温度控制：

- 用热电偶测量压板温度，根据压板温度高低决定开大或关小冷却水管阀门。这样使压板温度控制大为改善。美国 Howmet TMP 提供带有加热/冷却控制系统的控制面板，靠电热器加热，制冷机冷却^[1]。当然，当加热-冷却快速切换时，可能引起压板表面温度波动，尤其是当压板内仅有一支热电偶时。
- 控制压型温度的更好的办法是使用温度控制器来控制冷却水温，并保持恒定。压板温度也因此保持在要求的范围。如果每一台控温器有多个输入、输出接口，就可以同时控制多个压板的温度。

然而遗憾地是，上述二种方法都未能避免压板和压型之间热交换效果的影响，因而对压型温度的控制仍然不十分可靠。控制压型型腔温度的最好的办法是将它和压板完全隔开单独控制。热电偶安装在压型型体中尽可能靠近型腔表面的位置，控温器直接控制冷却水的温度，因此，型腔温度可以准确地保持在要求的范围。其实，这种方法早已广泛用于塑料注塑机。在精铸中尚未普及的原因主要是成本问题。建议通过以下途径降低费用：在现有的压型上钻孔或开槽，设置水道和安装电热器。相同样式的水道可用于不同几何形状型腔的压型背面，而温度控制器只要一台即可。显然，更重要的是压型的上、下甚至侧面都应有隔热板，使压板和周围环境温度变化不致影响到压型^[1]。

二. 压力和流动的控制

制模过程需要控制的诸多工艺参数中，除温度外，以压力和流动的控制最为重要。尽管模料流动离不开压力的驱动，压力和流动二者密切相关。但模料的流动状态又不仅与压力有关，还与其粘稠度和压注过程中所受阻力有关。所以，它们又是完全不同的二个概念，对蜡模质量有着各自不同的影响和作用。需要分别单独加以控制。通常压力是通过液压阀控制的，而流动则主要靠流动控制阀来控制。围绕压力和流动的控制，国外常将压蜡设备划分为以下几个档次^[2]：

1) 只控制压力

液压回路中只有压力控制阀而没有流动控制阀。使用这类压蜡机时，模料和环境温度(包括室温、液压油温度或蜡缸温度等)的任何微小变化都将导致模料流动速度改变，进而影响蜡模质量。此外，压力高时无法获得低的流速；压力低时无法获得高的流速。如果既要求低流速以避免卷气，又要求高的压力以获得好的表面质量时，就无法满足要求。目前，这类设备在美、欧各国已很少使用了。

2) 压力和流动同时控制，但没有压力补偿

与前者相比，液压回路中增加了流动控制阀。其优点是，压力高时可以获得低的流速。但由于没有压力补偿，故压力低时无法获得高的流速。而且压力和温度变化也都会对流速产生影响，进而影响蜡模质量。

3) 同时控制压力、流动，再加压力补偿

这是目前国外压蜡机主流机型配备的控制系统。系统内的流动控制阀具有辅助加(减)速功能。流动阻力或温度稍有变化，控制阀内的压力补偿器可以自动增减压力，并调节流动控制阀口大小，精确调控模料流速。因此，在预先设定的压力范围内，无论温度、流动阻力如何改变，模料流速均能得到控制。而且流动速度可任意调节而不受压力制约。这样就可实现在充型过程初期令模料以较低的流速充型，避免紊流和卷气，随后提高流速以获得表面没有冷隔的光洁而完满的蜡模。

4) 压力与流动双向单独控制，再加上二段压力控制

所谓双向单独控制 DIMC (Dual Isolated Modes Control)，就是指压力与流动这二个工艺参数完全独立地进行控制，互相没有任何约束。所谓二段式压力控制，就是将充型压力和压实压力分开，分别加以控制(图 3-1) [3]。通常希望在不产生喷射、飞溅的前提下，充型压力适当大些，以缩短充型时间，使模料在充型过程中尽量少凝固，保证充型充满，获得轮廓清晰的光洁蜡模。而压实压力则应适当减小，这样，既能保证蜡模表面无缩陷和变形小，尺寸稳定，同时又使飞边、毛刺少。值得强调指出的是，当 95%~99% 压型腔体积被充满，而不是 100% 完全充满，就应立即换挡降压 (图 3-2)。这样做的目的，一是为了避免模料充满型腔的瞬间产生撞击作用(压力脉冲)损坏型芯和增加蜡模的飞边毛刺，二是有利于残留在型腔中的空气逃逸，避免蜡模中卷入气泡。美国 Howmet-TMP 公司率先开发成功并获得专利权的 AFC (Accelerated Flow Control)便是这种类型控制系统的典型代表。

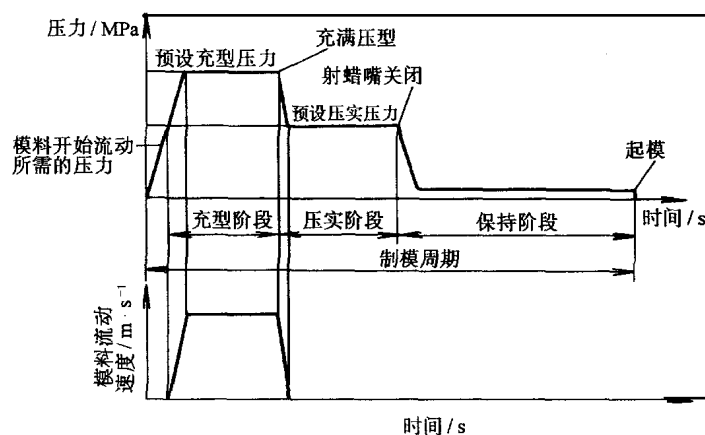


图 3-1 二段式压力控制

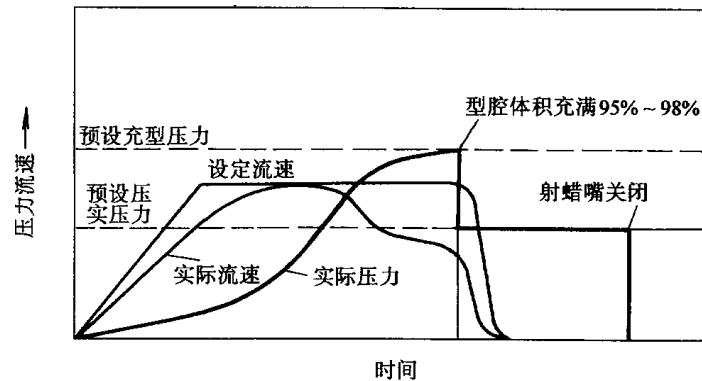


图 3-2 从充型压力提前转换到压实压力

三. 压注过程计算机控制

压注过程一般周期短，通常在一至数分钟，然而需要控制的工艺参数很多，至少包括压力、流速、温度、时间等项。在如此短的时间内单靠人工很难精确控制，随着计算机技术的飞速发展，计算机控制系统应运而生。

- 计算机程序控制

美国 MPI 公司研制的微机控制自动压蜡机 1992 年在 ICI 第 40 届年会暨第 8 届世界精铸年会上首次亮相(图 3-3)^[4]。该机安装有能对所有压注工艺参数预先进行设定的计算机控制系统。在计算机屏幕上，操作者还可以方便地访问并调用计算机中现存的程序。无需人工操作，设备即按程序自动运行。当运行过程中一旦出现异常现象，计算机将自动报警，提示操作者及时排除故障。系统可存储多达 500 套模具的全部压注工艺参数资料，使操作者安装每一套压型时都能便捷地调整各项工艺参数。但这种控制系统主要是按照预先设定的程序实现对压蜡机的控制^[4]。

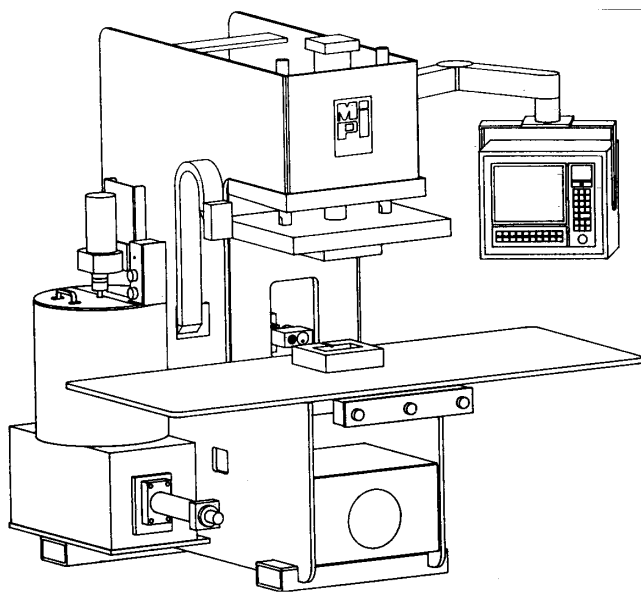


图 3-3 MPI 程序控制压蜡机

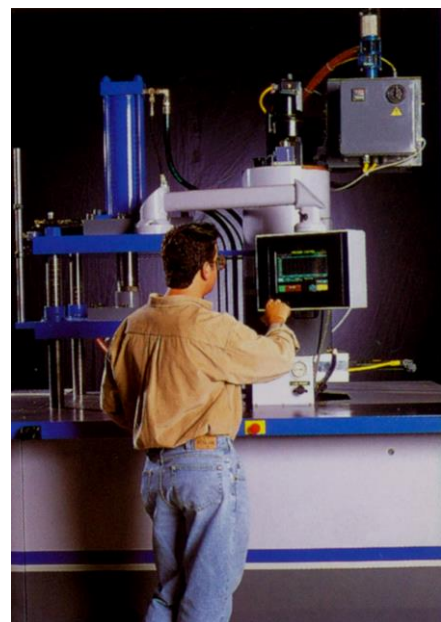


图 3-4 带有 CFAFC 控制系统的美国 Howmet-TMP 压蜡机

- 计算机实时控制

上世纪 90 年代中期，Howmet-TMP 公司将其 AFC 专利技术与计算机控制技术相结合，开发成功独具特色的 CFAFC (CompuFlow Accelerated Flow Control) 伺服控制系统。该系统使用一个高精度的压力传感器和一个线性分压器，通过感受压型充满瞬间产生的触发压力，快速将信号反馈给伺服系统而立即换挡降压开始压实阶段，完满地实现了二段式压力控制。可以分阶段单独控制压力和流速，而且再现性良好。图 3-4 所示为 Howmet-TMP 公司生产的带有 CFAFC 控制系统的压蜡机^[1]。

1999 年在日本 JACT 技术年会上，MPI 介绍了该公司开发成功的安装有 ADS (Automatic Die Setup) 控制系统的压蜡机^[5]。ADS 系统不但存储有多达数千套模具的全部压注工艺参数资料，可供用户随时查询和调用，而且温度调控也更为精确灵敏（控制温度精度达 $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ ），同时还具有实时确定模料进入压型型腔的体积的能力，再根据此体积来调控压注模料的流速，使操作者不仅有可能知道制作蜡模所需模料的体积，而且还能够预测产生缺陷之前进入型腔的模料体积，以便在此刻及时调整流速避免缺陷产生。MPI 的 ADS 控制系统也提供了二种不同的压力模式，即充型和压实压力。一旦注入型腔的模料达到型腔体积的 95%~98%，系统就自动切换到较低的压实压力^[5]。图 3-5 和图 3-6 分别为装备有 ADS 控制系统的半自动和全自动 MPI 压蜡机。

目前，国外先进的压蜡机所配备的控制面板大多采用触屏式液晶显示器，人机界面友好，操作简单明了，更换模具时，调试工艺参数非常方便快捷。图 3-7 和图 3-8 分别为 MPI 和 Howmet-TMP 控制面板显示器屏幕。

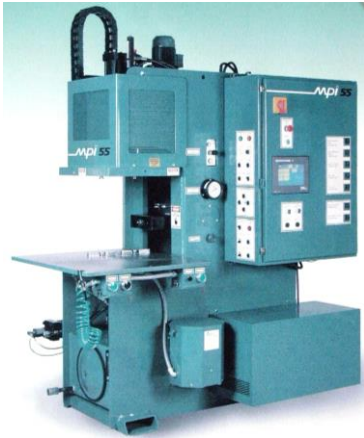


图 3-5 计算机实时控制 MPI 55 型半自动压蜡机



图 3-6 MPI 45-12 型全自动压蜡机

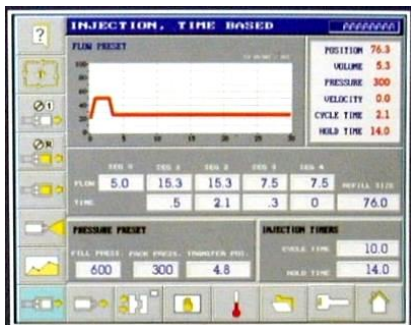


图 3-7 MPI 压蜡机控制系统界面



图 3-8 TMP 压蜡机控制系统界面

四. 国产压蜡机现状和差距

目前, 国产压蜡机除零部件加工精度, 电气和液压元器件的质量、寿命以及售后服务等方面, 都有许多需要改进之处外, 单就技术发展的层面看, 作为压蜡机关键部分的控制系统, 国产设备还处在比较低的发展阶段, 主要表现在模料流动完全受制于压力, 也就是说, 流动和充型过程实际上无法控制, 只能听其自然。此类设备压制小型简单或要求不高的蜡模还能勉强满足需要, 但要压制大型复杂或带有陶瓷型芯的蜡模, 势必感到力不从心。难怪近年来我国不少军工企业, 不惜花费重金从国外进口压蜡设备。在经济全球化和我国加入 WTO 的今天, 我国民用和商业精铸企业也面临迅速提高产品档次和质量的艰巨任务, 盲目扩大规模和增加产量的时代必然逐渐成为过去。且不论打入国际市场的雄心壮志, 就拿满足现状来说, 国产压蜡机也尚不尽如人意。例如某些壁厚相差较大的蜡模, 难以达到理想效果; 蜡模尺寸(尤其与分型面相关的尺寸)稳定性差; 型芯在压蜡过程中容易断裂……。从实际出发, 当前提高国产压蜡机水平的关键并不在实现全自动或计算机控制。而应将精力集中在完善和提高压蜡机的神经中枢——控制系统。参照国外发展经验, 首先应将温度控制精度提高一步。再将流动和压力这二个工艺参数分开, 双向独立控制, 在此基础上, 实现对充型、流动过程更有效的控制, 并进一步实现二段压力控制。以此来满足我国精铸工业提高产品档次和稳定质量的需求。只有把这个基础打好, 计算机控制和自动化才具有实质性的意义和价值。为此, 认真学习国外先进经验和技術是完全必要的。同时, 值得一提的是, 压蜡机与塑料工业所用的注塑机有许多相似之处。而塑料工业则是比精密铸造大得多的行业。注塑机的发展自然比压蜡机快得多, 从中也可以汲取许多有益的经验。国外一些同行也坦言, 他们发展压蜡机的过程中许多新的设计思想和思路最早也源于注塑设备^[3]。

参 考 文 献

- 1 Howmet TMP Co.. About Howmet TMP Wax Injection Control Systems. INCAST 2001(2)
- 2 Keith F. Hedrick .Tests Illustrate Interdependent Relationship Between Wax Pressure& Wax Flow. INCAST 1994(2):14~16
- 3 F. Douglas Neece. Plastic Injection Methodologies and their Application in Wax Injection INCAST 2001(2):16~19
- 4 MPI Co. MPI to Introduce Computer-Controlled Wax Injector at Upcoming Las Vegas Exposition. INCAST 1992(7):15
- 5 MPI Co.. JACT Meeting Presentation Covers Process Control for Pattern Production. INCAST 1999(11): 39