

熔模铸造译文集

第一辑 模 料

航空发动机技术情报网
精铸叶片调研小组

上海科学技术情报研究所

熔模铸造译文集

第一辑 模 料

航空发动机技术情报网

精铸叶片调研小组

上海科学技术情报研究所出版

新华书店上海发行所发行

上海商务印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 3.25 字数: 80,000

1977年9月第1版 1977年9月第1次印刷

印数: 1—3,300

代号: 151634·366 定价: 0.45 元

(限国内发行)

前 言

遵照毛主席关于“一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平”的教导和为实现周总理在四届人大会议上提出的“四个现代化”的宏伟目标,加速发展我国现代航空工业,我们查阅了国外近十多年来的航空发动机涡轮叶片熔模铸造方面的主要资料报道情况,并编译出版《熔模铸造译文集》。译文集共分四个部分:(一)模料;(二)制壳;(三)冶金质量控制;(四)定向凝固等。此外,为便于查找国外这方面的资料,我们还编译出版了《国外熔模铸造专题索引》。以上资料均由上海科学技术情报研究所出版。另外,三机部六二八研究所负责出版“国外精铸叶片生产技术”和“国外精铸叶片专利译文集”两种资料。

在编译过程中,由于时间仓促,水平有限,收集的资料还不够全面,错误和不妥之处在所难免,望批评指正。

三机部发动机技术情报网精铸叶片调研小组

1977年1月

目 录

1. 怎样保证蜡模的尺寸公差.....	(1)
2. 陶瓷壳型的脱蜡法.....	(3)
3. 蜡模的生产——压注还是挤压.....	(8)
4. 熔模铸造用蜡料.....	(10)
5. 熔模铸造与蜡料.....	(20)
6. 模料的熔点和工作温度.....	(24)
7. 焙烧型壳时模料的除净.....	(29)
8. 熔模铸造用硅酸乙酯水解液新配方.....	(32)
9. 熔模精密铸造壳型用高强度粘结剂.....	(35)
10. 硅酸乙酯-40 的使用问题	(37)
11. 硅酸乙酯-40(一)	(41)
12. 硅酸乙酯-40(二)	(44)

怎样保证蜡模的尺寸公差

在1959年6月召开的欧洲精密铸造者协会(E. I. C. A.)会议上,已提出了在试验室里研究有关如何保证蜡模尺寸公差这个课题时所得出的试验数据和结果。

试验研究时使用的蜡主要分为两种类型:

1. 当蜡由熔融状态变为固态时,可呈现出一个明显的结晶过程,其特征在于通过结晶了的晶粒达到一定程度的固化,甚至有一定的硬度。它与未加工的蜡比较仍然是一种液态。
2. 蜡由液态变为固态经由一个中间状态,这种中间状态可称作塑性状态;可以认为这种固体晶粒只具有低硬度,并且仍与非结晶的、粘性的晶粒相似,这种非结晶的、粘性的晶粒可在中间状态看到。

尺寸公差变化范围大的原因主要由下列因素引起:

- (1) 由于蜡的导热率差,等温线由外部到中心线的移动非常缓慢。
- (2) 几乎所有具有表面光洁度再现性的蜡,在凝固过程中表现出很大的体积变化。

基于上述原因,可以说在液态注蜡时,蜡模凝固的过程中,由于不同壁厚的蜡模不规则的收缩,会引起很大的差异。

在研究期间,所提供的图1曲线表明了其对研究很有帮助。图中,在 t_1 温度以下是固态蜡,在 t_2 温度以下是液态蜡, V_1 是固体蜡的体积, V_2 是熔融蜡的体积。

测量的结果表明,尺寸的变化随着壁厚的增加而增大,而尺寸的变化则与上述提到的特性(1)和(2)有关。成型的蜡模内表面凝固速度要比外表面慢得多。当壁厚比较厚时,体积差异就更为突出。

对上述缺陷,曾用以下补救措施进行过尝试:

1. 采用蜡心法。这种方法能改善上述缺陷,但也会导致成型冷隔,表面产生缺陷,并很难以处理。

2. 采用高压补压法。使用一个较大的有时为单独的注蜡孔。这种方法制模周期长且成本高。同时,通过试验也表明了,在补压过程中,第一种结晶类型的蜡,偏析情况要比第二种“塑性状态”的蜡表现出更为突出。

为了改善蜡模的复印性,根据上述研究结果,提出以下要求:

1. 压蜡温度应在 t_1 值以上,但应尽可能的接近 t_1 值;
 2. 压蜡的压力应该稳定,并且压力应保证注蜡工序的完成,直到型腔里面的蜡凝固为止;
 3. 压型注入口的蜡和压蜡机注入口的蜡,在达到 t_1 V_1 状态前不应凝固。
- 基于上述研究结果,今后的制模工艺应该符合上述要求。

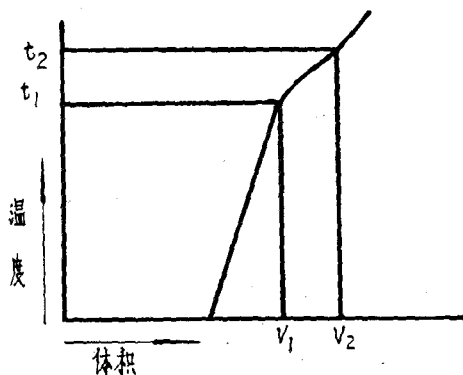


图1 温度与体积关系的曲线图

首先,应改进我们现有的压蜡机设备。然而所寻求的目标是缩短压蜡周期,和实现高压压注“塑性状态的蜡”。经与德国汉堡 Maihak 公司合作,已成功研制一种可满足上述要求的新的压蜡机,这主要是根据试验室、车间和专用机床供应部门的综合意见所研制的。

使用这种压蜡机,最好在“塑性状态”时注蜡,这样可生产出尺寸公差变化极小的蜡模,且凝固时间短,没有表面迭痕。

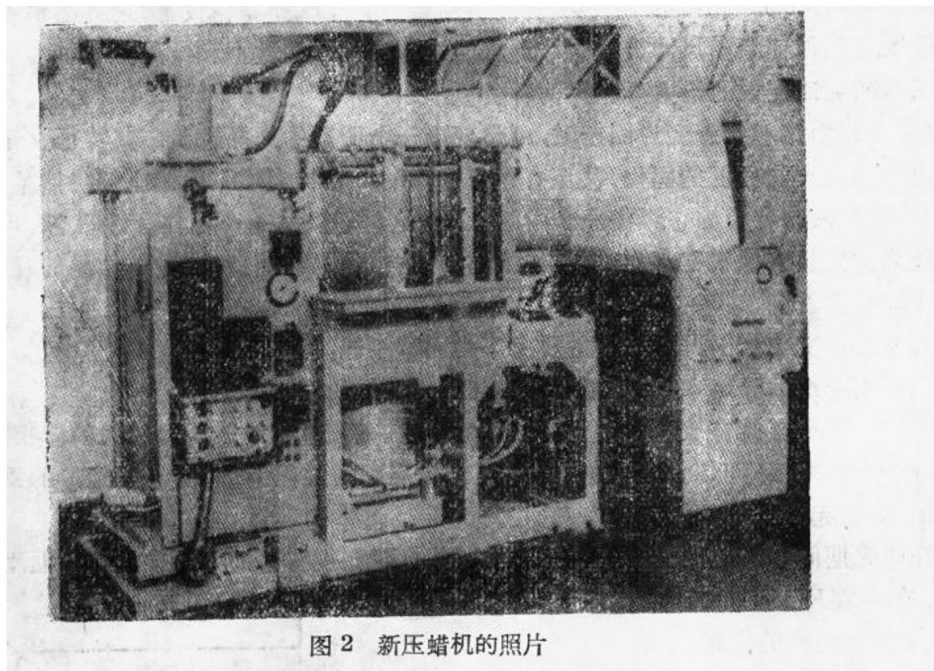


图 2 新压蜡机的照片

照片说明:

左侧上部:压蜡缸。

稍左下部(在黑色盒中):热量继电器。

底部(背面):液压蜡槽。

底部(正面):定位杆。

中心部位(顶端):合模装置。

压力计的右侧:通过液压,自动升降的独立喷嘴。

蜡槽的底部:可塑蜡的接合器。

压蜡机右侧:液压装置。

在过去的五年中,设计并制造了 Maihak、Philips 和 Cirex 三种牌号的压蜡机。

据称,新压蜡机最大注入量为 600 克,压射压力为 14~90 个大气压。合模压力为 30 吨。蜡容器的温度为 70~75°C,而压蜡机喷嘴的温度,则为 60~63°C。新压蜡机主要包括:单独的喷嘴;防止层流的蛇形管;冷却蜡模系统。

新压蜡机的有关数据:

最大压蜡截面为 250 平方厘米;最大的压射压力为 90 个大气压;最大的注蜡容量为 750 立方厘米;最大的合模力为 3500 公斤;最大的蜡模尺寸为 375×375×240(毫米);冲程为 200 毫米;生产周期为 1~1000 秒。

陶瓷壳型的脱蜡法

熔模铸造工艺中的一个重要工序是脱蜡,当采用湿法造型时脱蜡较容易,而采用干法造型(陶瓷壳型)时脱蜡则要倍加小心。本文探讨了各种脱蜡方法,提出一种最常用的先进脱蜡方案,而且对其使用价值加以评论。

湿法造型时通常是在炉中进行脱蜡,但这种方法不适用于陶瓷壳型脱蜡。湿法造型时可使模组形成薄的耐火材料截面,而这些耐火薄截面通常是相互自撑的且作为一个整体的铸型可承受在蜡熔化前由于膨胀对其所施加的相当大的力。然而,薄的陶瓷壳型却不能承受这样大的力,因此必须采用其它脱蜡法。虽然在陶瓷壳型发展的早期,脱蜡成为主要问题,但目前已有许多方法可以解决。最明显的方法是采用熔化时不膨胀的模料。这就是采用冷却水银模的方法。这种方法要求特殊的工作条件,因为壳型必须在低于 -40°C 制成,因而大多数熔模铸造者都转向采用常规的模料。

特恩布尔最初建议,在 Investment-X 工艺中采用溶剂溶出蜡模。随着制作陶瓷壳型技术的进展,特别是当使用熔融石英作耐火材料时,可将模壳放入加热的炉中进行脱蜡。这种脱蜡法目前已成为最广泛使用的方法,这里所评论的其它脱蜡法指的是采用热耐火材料粉。脱蜡问题是根据蜡在熔化前蜡料和壳型膨胀的不同速率提出来的,虽然各种蜡料之间的膨胀特性变化相当大,但典型的蜡料在其熔化前,体积将增加 $8\sim 10\%$ 。在所考虑的温度范围内($20\sim 80^{\circ}\text{C}$),膨胀不是线性的。但如果是线性膨胀,那么蜡料的线膨胀系数为 5×10^{-4} 毫米/毫米·度,相比之下,陶瓷材料的线膨胀系数则为 4×10^{-6} 毫米/毫米·度。因此,当蜡料膨胀时,对型壳内侧施加一种压力,如果不用某些方法抵消或减轻这种压力的话,那么这种压力最终会变得大于壳裂的断裂强度。通过提高壳型强度以便使其承受蜡的膨胀压力,这种方法即使可能但也不希望这样做。其原因是,此种方法会使陶瓷壳型失掉其所提供的许多优点。

为解决脱蜡问题而研制两种有效的脱蜡方法,一种是将壳型载入某种介质中,介质或是液体,或是粉末的固体颗粒,介质对模壳的外部施加外压力,以便抗衡在缓慢的加热过程中由于蜡的膨胀所引起的内压力。另一种方法是对铸型与蜡模的界面上的蜡表皮或蜡层以快速脱除的方法,这样就形成一个内腔,在该腔内整个蜡模可以膨胀而不对壳型施加压力或施加很小的压力。此时,蜡层的脱除可用溶剂或用快速加热的方法。

加热耐火材料粉的脱蜡法

为了用此种方法脱蜡,需将带有蜡模的模壳浇口杯倒放在无底的容器内,在浇口杯和容器侧边之间用粘土-砂的混合物捣实形成底部,以便达到完全密封的目的,然后将加热的砂子(300°C 左右)填到壳型四周,并加以震动使耐火材料尽快紧实。此种方法在操作过程中,需要连续供给热耐火材料,这可通过回转炉来实现。蜡一熔出,就将填有耐火材料的容器拿掉,然后准备焙烧,如果铸型是填砂浇注,那么就在填以耐火材料时进行焙烧;如果是非填砂

浇注, 那么就以壳型本身进行脱蜡和焙烧, 若用后一种方法, 需要焙烧时间就少。由铸型中回收的蜡料, 经过滤或离心处理(目的在于去除有损害作用的耐火材料颗粒), 可以重新使用。

施加到壳型上的外压力取决于壳型埋入的深度和填到其四周的耐火材料或粉末的固体颗粒的密度。据认为, 用金属丸作介质更为适宜。为了良好地使用这种方法, 必须控制加热速度和施压速度等两个因素。显然, 如果捣实得慢, 模壳就不应该同处于很高温度的耐火材料接触, 否则热量就将通过壳型传导, 在施加足够的外压前蜡料开始膨胀, 通常, 耐火材料的温度为 $250\sim 400^{\circ}\text{C}$ 时最宜用震动捣实的方法, 制造无裂纹的模壳。反之, 耐火材料在较高的温度下往往会引起模壳产生裂纹。采用这种方法, 蜡料回收率高。其原因是蜡料只承受中等程度的加热, 回收的蜡经处理去除耐火材料颗粒后, 就可重新使用。同不填砂的其它方法相比, 填有耐火材料的容器容易给操作带来麻烦, 而且必须使用特殊的操作工具。较之其它的脱蜡工艺, 多了一道回收耐火砂的工序。填砂法在操作时易产生灰尘, 这就需要把这种影响铸件质量的灰尘减少到最低的程度。然而在上述各点问题解决后, 这种方法不比用炉子的劳动条件恶劣。因此这种方法不至于因热冲击使壳型产生缺陷。

在壳型周围填充热耐火材料的另一种方法是, 采用加热的耐火材料流态床。在模壳插入流态床之后就关掉气流以便使耐火材料在壳型周围紧实。当蜡模熔化时又使流态床流态化, 移出壳型, 迅速翻转以便倒出蜡料。

热的液体脱蜡

延伸对壳型外部进行填砂的概念, 可由液体取代流态化的耐火材料。对液体的主要要求是, 密度大、不与蜡混合, 润湿壳型不明显, 防止对蜡的污染, 焙烧壳型时易于分解。迄今为止还没有找到这种理想的液体介质, 水是最便宜的液体, 对于形状简单的壳型来说, 有可能获得成功。水的密度小, 所以对于大而形状复杂的壳型脱蜡还不能令人满意, 大多数的有机液体象蜡的溶剂一样, 也有这一缺点。

诸如伍氏合金一类的易熔合金介质(约在 150°C 左右工作), 对脱蜡提供了极好的可能性。此时, 将壳型浸渍到浇口杯的顶部 ($3.2\sim 6.4$ 毫米处), 以便熔化蜡模, 然后将壳型提起, 倒出蜡料。这种方法所采用的设备简单, 即只需要砂箱和加热器。但速度较慢。虽然此种方法的蜡料回收率高, 但也必须注意从金属浴槽中去除脏物。

溶剂脱蜡

Investment-X 法是利用溶剂蒸发的作用来脱出蜡模。如用三氯乙烯蒸气脱蜡, 所用设备简单, 一个普通的脱蜡槽, 即在其敞口端带有冷凝蛇形管的一个槽子是适合的。溶剂在容器的较低部分沸腾, 溶剂蒸气透过多孔的壳型, 并在溶剂热量扩散到蜡之前就立刻溶化接近壳型表面的蜡, 通常将壳型浇口杯敞口端朝下放到金属丝筐里。脱蜡不久, 蜡模开始熔化并流到溶剂槽中。残留在壳型内的少量蜡料在焙烧时很容易去除。将熔在三氯乙烯中的蜡排到槽的底部, 并在其凝缩时送去蒸馏, 以回收蜡料, 这可在同一个脱蜡工序中进行, 液体三氯乙烯收集在金属丝筐下面的容器内。

这种回收蜡料的方法较好,若在蒸馏时避免过热,那么回收的蜡可重新再用。但这种脱蜡方法比较慢,对于大的蜡模来说,得需半小时。如果溶剂透过陶瓷壳型很慢,那么就有可能发生蜡模过早膨胀的危险,并将导致壳型开裂。操作三氯乙烯必须遵守正常的预防措施,良好的通风设备是特别重要的。总而言之,这是一种清洁的脱蜡方法。

在炉中急烧脱蜡

炉中脱蜡或急热(闪烧)脱蜡是目前最广泛使用的一种脱蜡法。将模壳浇口杯朝下迅速装到 500~1000°C 的炉中,这时蜡就可以很快流出。如果能迅速装炉,可采用任何炉子,因为首先要将蜡模与模壳的界面上的一层蜡熔掉以便适应今后蜡模的膨胀,这就要求从外向内加热蜡模。当没有采取措施使蜡流出炉外时,所有的蜡就会被烧掉,并严重引起烟雾。为回收蜡料,炉子设计成可使蜡流入冷却浅盘或水中,但由于蜡处于高温,会使其性能发生变化,这就使得回收的蜡不适于再用来作蜡模材料。但可以用来制造模组的浇冒口。即使采取了一些措施,但是大量的蜡还是在模壳中被烧掉。蜡模一经被脱出,即可将模壳留在炉内,进行焙烧,或者将其取出,在浇注前直接放到另外的炉内焙烧。

使用特殊结构的炉子是恰当的,这种炉子除了能使蜡迅速流掉外,还必须允许快速装炉,以便使模壳暴露在炉子空间的热气氛中不超过 1~2 分钟。理想的是应该在烟道处装有补燃器,以便消除由于蜡的燃烧所产生的烟雾。这种操作方法迅速而简便,并且通过炉子的适当设计,许多缺点可以被克服。然而,这种方法蜡料的回收率太低,而回收的蜡又不能满意地用来制造蜡模;且铸型本身又会遭受相当大的热冲击。在某些情况下,对可遮挡热量的直接辐射的模壳内表面的形状,可能脱蜡更困难。

急烧脱蜡的原理:

这种脱蜡法如同炉子脱蜡法一样,主要要求采用穿过模壳的高温梯度。以便保证热量迅速传导到蜡模表面,熔化模壳与蜡模界面的蜡层。将热量迅速传导到蜡模,用几种方法均可达到。但最理想的方法是蒸汽法。当对实体铸型脱蜡时,采用蒸汽脱蜡法不是令人满意的,因为最重要的是要均匀地加热模壳。因此可在压力下完成此工序。因此这种操作法应该在压热器内或高压蒸汽锅内完成。

在比较详细地叙述高压蒸汽脱蜡法之前,计算炉子脱蜡法和高压蒸汽脱蜡法的热量传导速率是有益的。在炉中脱蜡时,热量通过模壳传导,加热的速度按下式计算:

$$\frac{Q}{t} = k \frac{A}{x} (T_2 - T_1) \quad (1)$$

式中: k ——陶瓷模壳的导热率;

A ——模壳的表面积;

x ——模壳厚度;

$T_2 - T_1$ ——模壳内外表面的温度差。

一般模壳大约是 6 毫米厚。脱蜡温度是 900°C,可采取热传导率的数值为 0.003,卡/厘米²·秒·度。那么对于 1 厘米²的模壳,每秒钟通过模壳的热量为 4.5 卡。

当模壳在高压蒸锅内加热时,通过模壳传导热量的作用很少。而来自蒸汽的潜热有很大的作用。方程式为:

$$\frac{Q}{t} = k \frac{A}{x} (T_2 - T_1) + mL \quad (2)$$

式中: L ——水的汽化潜热;

m ——每秒钟通过模壳的质量。

透气性的测量可在陶瓷模壳上进行,因此 m 可以按下式计算:

$$m = \frac{V}{V_s} = \frac{kA}{x} \cdot \frac{P_2 - P_1}{V_s} \quad (3)$$

式中: V ——每秒钟通过模壳的空气体积;

V_s ——蒸汽的比容(体积度);

k ——陶瓷模壳的透气性;

$P_2 - P_1$ ——模壳内外表面的压力差。

由方程(3)可得出,强力通过模壳的蒸汽质量同穿过陶瓷模壳壁的压力差成正比。作为最初的近似值,该压力差可以被认为蜡料开始熔化时高压蒸锅内的蒸汽压力。

此时, $k = 0.01$ 毫升/秒·厘米³·厘米水位差

$x = 0.6$ 厘米

$P_2 - P_1 = 75$ 磅/吋² = 5.273 公斤/厘米²

$V_s = 360$ 毫升/克。

$L = 500$ 卡(在 5.273 公斤/厘米²的压力下)

则由方程(2)得出:

$$\frac{Q}{t} = 0.7 + 120 \text{ 卡/秒}$$

由此可以看出,在高压蒸锅以 5.273 公斤/厘米² 的蒸汽压力(约 160°C) 工作条件下,输入的热量大约是在 900°C 的炉中所得到的热量的 20 倍。

Monsanto 压热脱蜡法

生产种类繁多的模壳,用其他工艺是难于完成的,而用 Monsanto 压热脱蜡法可以很好地完成。虽然此种方法在较短时间内相当有效,且积累了许多数据,但还应根据可能条件来确定所需的设备及操作方法。在炉内脱蜡时,为快速加热蜡,应尽可能地提供快速脱蜡条件。这就要求压热器具备一定的结构特点,这些特点是迅速关门,安全装置的动作快速以排除(当蒸汽过盛时打开压热器)事故;蒸汽进气阀可快速打开,以便在压热器内形成蒸汽压力;蒸汽进口必须在指定的位置上,以便不使蒸汽直接喷到模壳上。为了保证快速加热,加热器应该完全保温(护热)或者配置蒸汽外套。

装载设备在市场上可以买到,而且能够在 15~30 秒内装载完毕,这和炉子脱蜡时的装载速度大致一样。同时,这种脱蜡方法需要提供 4.92~5.62 公斤/厘米² 的蒸汽压力。如果蒸汽已经失去效用,就需增设一个小的蒸汽发生装置。为了实现这种脱蜡方法,模壳的浇口杯应该朝下放置,完成此项工序的最佳方法是把壳型放置在带孔的金属板上,并使浇口杯通过该孔,然后迅速将该金属板推入压热器内,并放置到收集蜡槽的上方。模壳装入到压热器内后,尽可能快地提高蒸汽压力。脱蜡所需的时间随模组的重量和形状而定。在某种程度上取决于陶瓷模壳的孔隙度。对于 0.45~0.9 公斤的模组,在高压下 2~3 分钟就足够了。

而重量为 2.27 公斤的蜡模则需 8 或 10 分钟。

蜡 料 回 收

从压热器内取出模壳之后,可立即进行焙烧,以便迅速除去残留在模壳内少量的蜡,即使是很复杂的形状,残留的蜡量也仅仅为蜡模总量的 5% 或 6%。因此蜡的回收率高,在良好操作的情况下可达 95%。为回收蜡料,要使压热器内的蜡静置在储蜡槽内,当少量水分离出来流到槽的底部,蜡便可流出。在蜡槽的最底部配置有锥形底和排水分离器将有助于蜡的分离。由于蜡料没有被过分加热,所以不影响蜡的质量。因而可重新使用。

在直径为 610 毫米,长度为 914 毫米的压热器内,装满含蜡 0.45~0.9 公斤的小模壳,据现有的经验表明,在 8 小时内可脱蜡 900~1000 个模壳,形状复杂的较大模壳 8 小时可脱蜡 250 个模壳。

当采用炉子脱蜡时,应该将模壳送入炉内的热区,并要采取预防措施,以保证在这一热区内不积聚过多的蜡,否则蜡就会膨胀,并使模壳产生裂纹。此外,压热器脱蜡可以在其本身的部位操作,并可接近模壳生产线。为提高工作效率,必须增大压热器的蒸气压,减少热辐射。这样,模壳可存放在其附近,以待脱蜡。

结 论

压热器脱蜡法比其它方法的热传导率快,能够对形状复杂的模壳进行脱蜡。这样就扩大了陶瓷模壳工艺的使用范围。由于提高了成品率(减少破裂),可以降低成本,而且由于回收的蜡再利用率高,也有助于使加工成本保持到最低的程度,虽然这种脱蜡方法适于陶瓷模壳,特别是以硅酸乙酯和硅溶胶为粘结剂的模壳。但它不适于以水溶性粘结剂(例如水玻璃或磷酸盐为粘结剂)制作的陶瓷模壳。若用这种方法脱蜡,陶瓷模壳就会由于蒸气的作用而软化和损坏。

综上所述,目前熔模铸造有许多可供选择的脱蜡方法,但应该按照需要来适当的选择,而不是在现有设备的基础上选择。压热器脱蜡法可充分表明在经济上是廉价的。在现有的操作工艺范围内有可能在效率上进行改进。可以期望,压热器脱蜡法由于蜡料的回收率高,因而可以降低原材料成本。

摘译自《Foundry Trade Journal》1962. 9. 6 (113), No. 2387.

蜡模的生产——压注还是挤压

熔模精密铸造工艺可分为以下几道工序：制模、组合模组、制备模壳、脱蜡和焙烧、浇注、清除壳型、去除浇冒口和铸件清理等工序。所有这些工序或其中任何一道工序的局部改进都将有助于提高生产效率和经济效益。由于整个熔模铸造工序的烦杂，加之各工序的特点又不尽一样而存在各种不同的问题，因此在本文中只根据压注周期和挤压周期的作用来探讨蜡模生产的最佳条件。

定义 压蜡周期是指蜡料从注入到起模所需的全部时间。其主要可分成两个阶段，即压型充填时间和凝固时间。

压型充填时间是指蜡料充填型腔所需要的时间。当然就整个压注周期而论，充填时间可忽略不计。例如，将3.8公升(1加仑)的蜡料压注到型腔只需10秒钟，而凝固时间约需5~10分钟，当然这一时间主要取决于型腔的横截面积和表面面积的大小、蜡和压型的热传导性、压型温度及蜡的热容量等因素。然而，蜡的状态(液态或半固态)及其流入型腔时的状态是极为重要的。

对于给定蜡料的状态是加给它的热量的函数。在室温下蜡料呈固体，当加热时蜡就变成半固态。半固态的蜡在正常条件下是较硬的，与固体蜡相类似，但在比较高的压力下，它又象液体一样能流动。半固态的蜡好象造型时的粘土，其热量较小。以半固态蜡压制成型的叫做挤压成型。反之，液态蜡具有相当高的热容量，通常且能流动，其特征类似液体，以液态蜡压制成型的叫做压注成型。

根据上述定义，蜡料可用压注法成型，也可用挤压法成型。因此无论是压制液态的蜡还是半固态的蜡，都必须考虑其在充填和凝固时的优缺点。

压注成型法 以液态蜡进行压注时，要求蜡料具备以下特征：1. 液态；2. 热容量较高；3. 粘度低。

压型充填阶段是影响蜡料压注成型的最重要因素之一。譬如说，当蜡料的粘度大时，就需要较高的压射压力。反之，若粘度小时，则需要的压射压力就小。因而，对于压制带有脆弱的陶瓷型芯或可溶性型芯的蜡模来说，采用粘度低的液态蜡料较为适宜。这样可以使悬置的陶瓷型芯或可溶性型芯的弯曲或断裂减少到最小的程度。因为粘度低的蜡料可在很低的压力下压注，这就大大地减少了陶瓷型芯或可溶性型芯周围的压力，因而可大大提高蜡模的质量。

在悬置的脆弱的型芯周围注入蜡料时，为达到严格控制液体的流量要求，有必要使用这样一种设备，即这种设备应具有：1. 严格控制液体流量的调整装置；2. 良好的压力控制装置；3. 准确地控制粘度，而此粘度乃是恒定温度及均匀搅拌蜡料的一个函数。此外，推荐的蜡料可以加速流动。就是说，蜡料在充填阶段从零速开始，凭借操作者的经验，以一个速率调整加速，这种流动的加速，减少了液流的冲撞(瞬间突然产生的液流)，这种冲撞在某些情况下会导致陶瓷型芯的断裂。由于流动加速的作用，一开始流动就应加以控制。因此，蜡料开始流动时以很低的速度流入型腔，而后根据需要随时间的推移而逐渐加快。由于避

免了流动的冲撞,使废品率大大降低,生产效率显著提高。

压注液体蜡料的另一个优点是可生产薄壁蜡模。这主要取决于粘度。粘度小的液体,由于液体各流层之间的剪力较小,所以就更能容易通过窄而小的孔口。因此生产较大的薄壁蜡模是可能的。如果采用挤压成型的方法,这种蜡模就需要极为昂贵的压蜡机,而且应提供高的压力和夹紧力。此外挤压较大的蜡模所用的工装设备也很昂贵,因为压型充填阶段和凝固阶段对型腔所施加的压力太高。

由于液体蜡料的热容量比较高,所以蜡料凝固时所需要的时间比挤压蜡料的时间长得多。对于大截面的蜡模来说,时间因素就变得极为重要了。但这可通过采用蜡或金属激冷的辅助措施而大大得到改善。

显然,用蜡或金属冷块进行激冷,就需要工装和生产方面的附加费用,但采用激冷措施可生产优质蜡模,而这种优质蜡模用挤压成型的方法是不可能奏效的。

挤压成型法 以半固态的蜡料进行挤压时,要求蜡料具备以下特征: 1. 蜡料呈半固态; 2. 热容量低; 3. 粘度高。

充填压型阶段,蜡料可以在比较高的压力下被挤压压入型腔。使用压力的大小应取决于以下因素:即 1. 蜡料的粘度; 2. 阻碍蜡料流过孔口或型腔的摩擦力。假定粘度不变,可清楚地看到,挤压射力随着蜡模尺寸的增大,蜡模横截面积的减小,孔口尺寸的减小以及蜡料行程的整个距离增加等因素的变化而增大。显然上述因素便构成了需要很大的某种摩擦力。

当摩擦力过大时,就要求很大的压蜡机和结构更坚固的工装。因而造成费用极为昂贵。特别在少量生产的情况下尤为突出。

由于蜡料的粘度高,要生产带有脆弱陶瓷型芯或可溶性型芯的蜡模是完全不可能的。其原因这是由于蜡料的分子内聚力过高,就相应使得蜡料处于不可分离的状态。就有可能产生将型芯推向型腔的某一边的倾向。由于这种弯曲力可能引起型芯的断裂,也可能引起型芯位置的偏移。显然,使用这种设备,通过挤压的方式可高效率地生产固体蜡模。

采用挤压成型的方法,蜡模凝固时间短,这是一大优点。大横截面的蜡模凝固时间为液体蜡料凝固时间的一半还要短。而且由于蜡料的收缩量小,所以蜡模尺寸稳定。这一点是优于液体蜡料的。除此以外,不需用蜡或冷铁块激冷,这就节省了工装费用,提高了生产效率并降低生产成本。

究竟是采用压注法还是挤压法,这是熔模铸造者反复提出的老问题。通过讨论,我们可得到这样的答案,即要看生产蜡模的要求。如果需要生产带有脆弱的陶瓷型芯或可溶型芯的蜡模时,最好采用液体压注成型的方法。而如果生产大横截面的蜡模时,最好采用挤压成型的方法。

摘译自《Precision Metal》 Vol. 30, No. 1, 1972.

熔模铸造用蜡料

本文叙述了在制定新的精铸模料配方时必须考虑的原则,可能出现的问题以及根据现在的技术状况能够做出的预言。

在现代精密铸造方法的早期,追溯到四十年代,各精铸厂都由商业市场上购买常见的原料自己制造模料。这些材料的确切成分大多是严加保密的。原来,当时主要用蜂蜡作为主要组成成分,通过加入各种不同的植物蜡和矿物蜡对蜂蜡进行调质,使之满足于各种需要。其中重要成分主要是巴西棕榈蜡、硬脂精、石蜡、精制地蜡、地蜡和褐煤蜡,此外还有天然树脂,如松香,偶尔也用低分子量的塑料。随着技术的不断发展,事实证明单个制备需要量比较小的混合蜡料既麻烦而又昂贵;但是更主要的是随着要求不断提高,有针对性地调整使用技术上的最佳性能就越来越困难了。于是,蜡料的制造以及为此而进行的进一步研制工作就不断地从精铸厂转到少数几家蜡料专业公司。

对蜡料的要求

对熔模材料提出了一系列要求,其最重要之点如下:

1. 热容量小,凝固范围宽,熔点在 $60\sim 85^{\circ}\text{C}$;
2. 熔化粘度低;
3. 细晶组织,表面光滑;
4. 收缩小,膨胀小;
5. 有足够的变形稳定性,有弹性,坚硬,不脆;
6. 无灰分。

除此之外,混合料不产生毒害作用,在加工中同所有材料接触时均应表现呆惰,有热稳定性。

混合蜡料配方的制定

在制定混合蜡料的配方时,经验表明必须提出选择组分的某些基本规则。但是,要针对性地调整一定的特性方面,要在一系列长期试验实践中试验添加物质的效果或者改变剂量比例的效果。精铸模料的新发展或改进除了要求一定的混合蜡料的物理性能之外,还必须考虑到蜡模的所希望的加工条件及其特性。因此把实验工作编排成许多阶段,其流程借助图1说明。

为了造出具有所希望特性的蜡模,首先在普遍经验的基础上拟出配方建议。如果按该配方制备的试验室试件没有显示出所期望的性能,就更改原来的配方;如果显示出所期望的性能,就制造较大批量的试验件,然后加工成标准蜡模。这些样品的质量对评价混合蜡料是重要的。在通常情况下,不是所有的特性都能完全满足要求,因此必须开始进行一次新的试

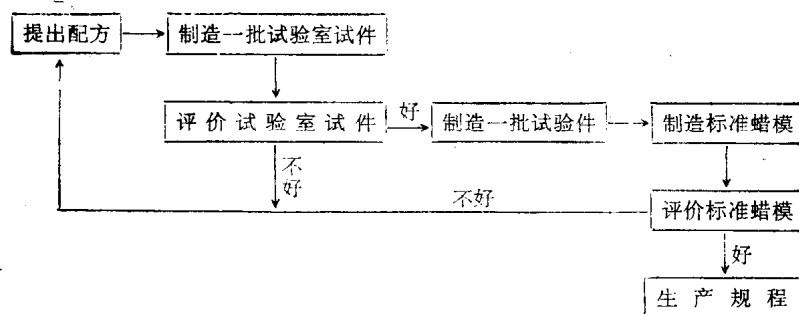


图1 精铸用模料的新发展和改进途径

验周期,直至得到最终满意的混合蜡料为止。

精铸工艺的不断进步,使制造越来越大的铸件成为可能,同时尺寸公差范围也缩得越来越窄。与此相联系,对蜡模所提出的要求也大大地提高了。技术的发展使混合蜡料专门化并调整混合蜡料使之符合于各个使用领域,因为将一种具有最佳使用效果的蜡料型号通用用于所有使用领域再也不可能了。

例如,在制造体积特别大的蜡模时,将选择一种具有两个优点的填充蜡:一是突出地显示出很小的收缩率,这样就使铸件外表面避免产生“缺陷”;二是显示出异常低的熔化热,因而即使蜡模很大也能保持可以接受的循环时间。同时,也存在以下缺点:这样一种模料的熔化粘度比普通的蜡料稍高一些,而且就表面性能来说要求太高不易实现。反之,在制造形状复杂的小铸件时使用一种液态蜡则更好些,液态蜡料能保证特别良好的复制精度,而凝固时间和收缩率小的材料,对体积而言不起决定性作用。制造型芯要求混合蜡料具有高的熔点,而为了组合蜡模模组又需要有一种低熔点的结构蜡。低的压射压力对蜡料要求具有限制得很窄的软化温度范围,反之,压射压力高时则以宽的软化温度范围为宜。尽管物理和技术数据如此不同(这些不同之点通过改变成分能够达到),精铸模料的主要成分通常还是一种蜡或者一种蜡混合物。那么蜡对于做精铸模料特别合格的依据是什么?

蜡的化学结构及其有关性能

如上所述,蜡不是化学纯的单一物质,而是许多不同化合物的复杂混合物。这种说法适于矿物蜡,同样也适于一些来源于动物或者植物的蜡。然而,找出每种组成物质的共同结构并不困难,一般来看,蜡是具有二十至七十个碳氢单元(CH_2 基团)的分子链组成,这些碳氢化合物单元绝大多数是线性结构,但是有时也有分枝。根据不同的来源,分子链还时常含有一个氧官能团,即酮基、醇基、酸基或者主要是酯基,如巴西棕榈蜡就是如此。图2示出了蜡组成成分的基本结构。不难看出,在这结构图中的变量,即从链节的数目、从支链的丰度及其起点、官能团的种类以及它们在分子中的位置,分别根据给定组分的混合比可最终形成各

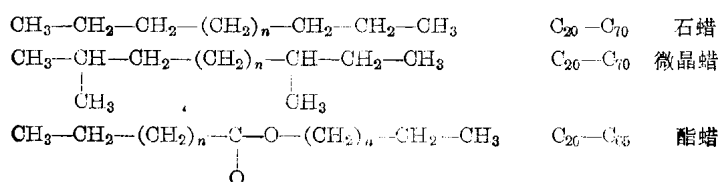


图2 链状蜡的结构

类型的蜡的特有性能。

蜡的性能与其结构密切相关,对精铸模料来说有意义的是蜡的熔点、硬度与其分子链长短的关系。如链越短,则蜡的熔点就越低,硬度也越小;反之,如果长链部分占优势,那么这种蜡就比较硬,熔点就高。这一现象所依存的基础是:在长链之间比在短的或者折角的链节结构之间有更强的分子力。于是,每种蜡与它所具有的特殊结构便相应显示出其固有的硬度和熔点值。

由大量长度不同的链状分子所构成的这种混合物具有这样的结果,即蜡与其它物质相比显示出不同的物理性能。在加热时,蜡不象一些单一的化学化合物例如萘那样立即熔化,而是有个过渡阶段。为了清楚起见,在图3中绘出以公斤力/厘米²为单位的蜡的硬度与温度的关系曲线。

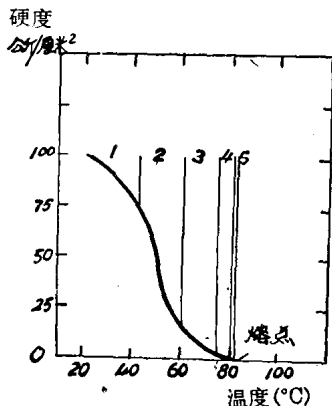


图3 加热时蜡的硬度与温度的曲线关系

从硬度曲线中可以看出,在逐渐加热时,蜡最初由固态变软,随后变得有塑性,在继续加热时又变成糊膏状的。温度再高时,则蜡呈浓稠的粘滞体,最后在完全熔化时则过渡到真正的溶液。

蜡的物态变化的这种逐渐变化其原因在于:短链的低分子组分首先熔化,而熔点较高的较长的链则仍保持固态。若继续提高温度,这些长链也越来越多开始熔化,直至达到液体状态。一般均在构化粘滞的液相下加工蜡模。在这一

状态下除已熔化的组分外还存在着晶体组分。

冷却时则产生逆向过程。该逆向过程的温度范围较长或较短是分别依蜡的种类不同而定的。也就是说,蜡料本身有慢凝与快凝型之分。这一状态使蜡料适于压注工艺加工。只有当蜡的液化温度和加工温度高得多时,蜡的性状才与大多数塑料一样。

下面谈谈蜡的膨胀与收缩。

与其他材料一样,蜡受热而膨胀,受冷则凝缩。与铁相比较,蜡的膨胀比较大。它们的膨胀系数(即平均每提高一度温度的线性膨胀)分别是:蜡为0.0087,铁为0.000012,亦即蜡的膨胀系数比铁约大700倍。

大约从20°C到各个熔点之间蜡的膨胀与收缩值每度都不相等。而且蜡从晶体状态转变为液态和由液态转变为晶体状态这一温区内常常产生不规则的变化,这是所有晶体有机材料的一种特有现象。本文借助图4中的三种材料的膨胀曲线来说明这一点。

由该图可以看到单一的晶体有机材料以及蜡和非晶体树脂的体积(按%计)的膨胀曲线。

起初晶体物质所表现的性状同各种固体材料一样,膨胀得比较小,随后晶格到达熔点时就突然崩溃,并过渡到液态,而这种向液态的突然过渡是以膨胀的急剧上升为特征的。液态时膨胀重新变小。

蜡的低分子短链部分在较低的温度下就已软化,因此,膨胀曲线以较大的幅度逐渐上升。当高分子结晶组分熔化时,膨胀曲线大幅度急剧上升,而过渡到液态时曲线又趋于平坦。

非晶体树脂的性状则完全不同。它由加热开始直至达到液化点都是均匀膨胀,不存在

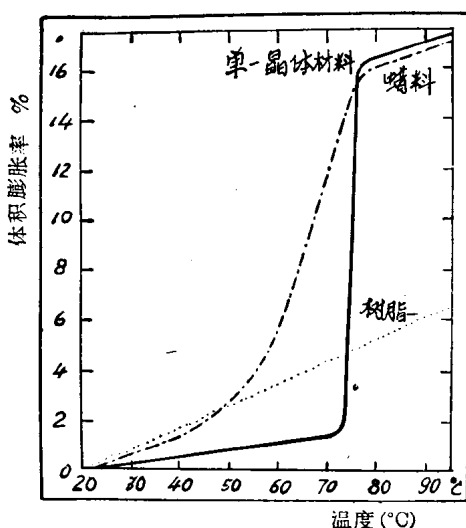


图4 三种材料的热膨胀曲线

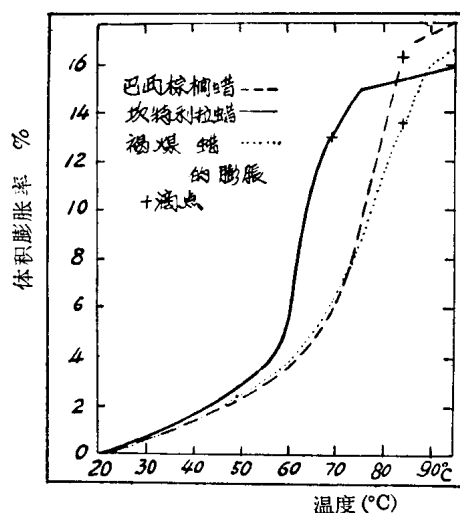


图5 巴西棕榈蜡、坎特利拉蜡和褐煤蜡加热时的膨胀曲线

不规则的膨胀变化。其原因是该种物质根本不存在晶体部分。同时树脂的总膨胀率(约6.6%)大大地低于蜡的总膨胀率。

在制作蜡模时,人们喜欢利用非晶体的树脂,以减少所用蜡的结晶度和膨胀率。每一种蜡的膨胀曲线的形状均是独特的并随着结晶度的变化而波动。

图5中所示的是从20°C直至熔点这一温度下巴西棕榈蜡、坎特利拉蜡和褐煤蜡的体积(%)膨胀率,而图6所示的是熔点为90°C的直链石蜡和熔点为83°C的有分枝的微晶蜡的膨胀率。

膨胀与收缩分别具有相等值,只是它们演变过程相反,或以体积(%)或以长度的改变(即以线性收缩或膨胀)来表示膨胀与收缩。

由此可见,蜡的体收缩率在15%~20%时不适用于精铸。如上所述,固然可以通过加入适当的添加剂将收缩和膨胀率降低至大约8~10%,但是,这个数字也不是太大。经验表明,如果在压力下加工蜡模,则能够使蜡的收缩率(而不是蜡的膨胀率)显著降低。

我们测试了三种蜡料在加工蜡模时出现的收缩过程,这三种蜡为:一是美国广泛应用的蜡料(蜡料1);二是英国的一种蜡料(蜡料2);三是欧洲常用的一种蜡料(蜡料3)。

在63°C下压制蜡料1,在50°C下压制蜡料2,在76°C下压制蜡料3。作用在压蜡活塞上的压力为5个大气压,蜡模在压型中的硬化时间为30秒,较长的合模时间之后其温度上升到35°C。蜡模的重量为15克。通过将一只温差电偶装入压型内测量从压型中取出蜡模的温度,测得的蜡模温度平均为49°C。当蜡模在20°C下搁置24小时之后,能精确地测出其收缩率。

所用的压蜡机还有一个特点,可用图7加以简短地说明。借助配电温度计使位于储料

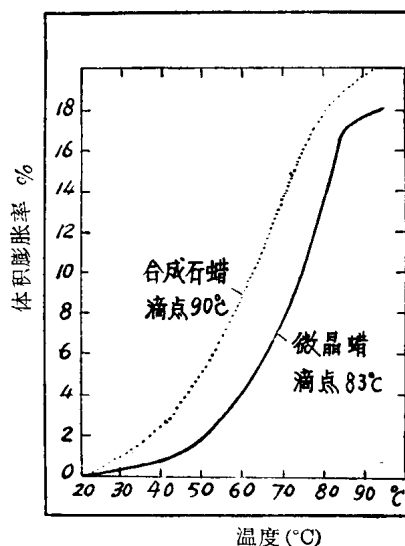


图6 合成蜡和微晶蜡的膨胀率与收缩率