

先 进 經 驗 專 集



熔模精密鑄造

第一机械工业部新技术宣传推广所编

机 械 工 业 出 版 社

先 进 经 验 专 集

熔 模 精 密 鑄 造

第一机械工业部新技术宣传推广所编

1959



机 械 工 业 出 版 社

內容簡介

熔模精密鑄造是近年來迅速發展起來的一門新工藝。利用這種新工藝生產，不僅可以節約材料，減少機械加工工時，同時還可以解決一般鑄造工藝在生產上難於解決的一些問題。

本書收集了國外有關資料，尤其是蘇聯資料，比較全面系統地介紹了這種工藝的先進經驗。除對於組成這一工藝的幾個重要部分，如壓型、熔模、壳型等的製造，使用材料，工藝性能等作了重點介紹外，對其它有關新材料、新方法以及提高生產率的機械化等問題也作了介紹。

本書可供從事這方面工作的教學人員、研究人員、工藝人員以及現場生產人員參考。

NO.2216

1959年1月第一版 1959年1月第一版第一次印刷

850×1168 $\frac{1}{32}$ 字數 135 千字 印張 $9\frac{5}{16}$ 0,001— 4,800 冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價(10) 0.79 元

目 次

第一章 总論

1. 熔模鑄造生产的现状和發展 (5)
2. 熔模鑄造工艺特点的分析 (12)

第二章 压型制造

3. 多位压型 (25)
4. 軟金屬压型 (37)
5. 石膏压型的制造和应用 (40)

第三章 熔模材料及熔模的制造

6. 熔模鑄造用的高强度模料 (44)
7. 盐模的性能及盐模料对整体型壳表面質量的影响 (49)
8. 含水硫酸盐模料 (59)
9. 可溶型心的制造与应用 (62)
10. 三氯乙烯蒸气溶失蜡模法 (* 法) (66)
11. 蜡模組的装配 (68)
12. 水銀熔模鑄造法 (70)

第四章 型壳性能

13. 水玻璃型壳精密鑄造 (74)
14. 玻璃砂型壳 (78)
15. 型壳在加热和冷却过程中的綫量变化 (82)

第五章 澆注系統及鑄件性能

16. 熔模鑄鋼件的补縮 (91)
17. 熔模鑄造时零件与澆口的分割法 (103)
18. 熔模鑄造銅合金鑄件的性能 (110)
19. 如何提高熔模鑄造鋼鑄件的机械性能 (117)
20. 加强筋的熔模鑄造鑄件 (129)

21. 制造大型熔模鑄造鋼鑄件的經驗 (131)

第六章 熔模鑄造鑄件表面質量及缺陷

22. 影响熔模鑄造鑄件表面質量的工艺因素 (135)
23. 熔模鑄造鑄件的缺陷及其防止方法 (141)

第七章 熔模鑄造生产的机械化

24. 熔模鑄造生产的机械化 (154)

第一章 总 論

一 熔模鑄造生产的現狀和發展

制造精度与光潔度高而外形复杂与重要的零件时，多半采用熔模精密鑄造。这种方法不但可以减少大量的机械加工工作，并且可以节约大量金属。

根据列宁工厂的工作经验，用这种方法制造渦輪叶片，可节约金属 83% 到 86%。因此，金属利用率由 20% 提高到 85%，机械加工工作量减低 60~70%；这样就使得叶片的成本降低了 45~60%。

諾金斯克（Ногинск）工厂把燃料装置零件改为用熔模精密鑄造以后，减少了 70 个机械加工工序，使机械加工量减少 45%。节约金属 63%。

在成批生产或大量生产形状复杂和难以加工的金属零件时特别有利。

就是在小批生产时，只要零件选择恰当也还是有利可圖的，根据列宁工厂的经验，在每生产 1 公斤零件时的工耗如下：

工 耗	制 造 方 法	
	鍛 造	鑄 造
毛坯重量 (公斤)	8.4	1.80
台时消耗	9.2	2.75
总工时	17.7	7.10

机械加工在成本构成中占有很大比重。如将总成本中单位重量的机械加工比重由 81% 降到 57%，则一公斤零件的成本就要减低 56%。这样，在该厂的条件下每单位重量的机械加工量降

1%，則成本可降低1.8%。所以，在選擇某種零件轉為用熔模精密鑄造時首先要考慮機械加工工作量。

熔模精密鑄造的零件精度為4~5級，表面光潔度為4~5級（ГОСТ 2789-51）。這種方法既適于黑色金屬也適于有色金屬（包括難加工金屬在內），可以鑄成形狀很複雜，重量由3~5克到10~15公斤或更重的零件，壁厚達1公厘左右的零件也能澆鑄。

熔模精密鑄造法對設計師說來很有用處。因為這樣就有可能用一個整零件代替過去用幾個零件組成的部件，而不怕鑄件結構的複雜。

很多工廠已很成功地掌握了這一新工藝，但在運輸機械和重型機械工業中還沒有得到應有的發展。有些工廠還在不正規的廠房中用手工業方式進行生產。很多工廠現在還不大知道熔模精密鑄造的最近發展。

當經過長期的試驗後能正確掌握下列工藝方法時熔模精密鑄造才算合理：

1. 用模料充實壓型；2. 裝配蜡模；3. 塗耐火塗料；4. 撒砂及用鉍化物處理；5. 熔失蜡料；6. 填砂；7. 焙燒鑄型；8. 熔煉金屬（在高頻爐內）與澆鑄；9. 切斷澆口，清理鑄件以及必要的熱處理；10. 成品檢驗。

根據鑄件的構造及生產要求，目前有三種製造壓型的方法。

在成批生產並對鑄件要求精度較高的條件下，且製造零件母模與加工壓型型腔的勞動量相等時可用機械加工方法製造壓型。材料可用中碳鋼或鋁合金與鋼合用以減輕壓型的重量。設計時須考慮到影響鑄件精度的三個因素：模料的收縮，金屬的收縮及壓型型腔的膨脹。根據設計經驗，對尺寸為70~80公厘的鑄件可得到4~5級精度，100公厘以內的鑄件得到5級精度。

工程師韓金提出了在小批生產情況下的快速製造壓型法。這樣就有人用塑料、膠質、石膏、橡膠等材料製造壓型，還有人用壓鑄及電鑄——噴鍍的兩種新方法製造壓型。

压鑄法用于不太复杂且精度要求不高的鑄件。用鋅合金按下
列工序制造压型：先用一个附有精密鑄造及压鑄收縮并抛光过的
鋼制母模，将它装在压鑄机固定模塊上的夹具上，再用鋅合金
ZAM 4-1 压鑄即可鑄出具有与母模形状一样的型腔的压型。

对具有几个分型面或需由两块或几塊組成的复杂压型，母模
也做成組合的。按組合母模的每一塊进行压鑄后，所得的压鑄件
組合起来即可获得具有几个分型面的压型。这种方法可保証压型
型腔的精度达到 4~5 級，表面光潔度达到 7~8 級。

电鑄——噴鍍制造压型法适用于鑄件極為复杂而制造母模較
为方便的情况下。先用任何鋁合金在考虑到模料及金屬收縮后做
成的零件母模。通常将母模按压型的分型面做成两半。将母模去
油、酸洗，并在分型面上塗上蜡及松香的混合物，以便絕緣，然
后鍍鎳以便以后得到致密的鍍銅層。将鍍鎳后的母模洗滌后，在
氧化銅槽内进行快速电鍍以得到約 1 公厘厚的銅層。鍍銅后的
母模經過洗滌及干燥，即用銅或鋼来噴鍍 2~2.5 公厘厚的一層。随
后将分型面上的絕緣物除去，在沸騰的鹼性溶液中将鋁母模腐蝕
掉，再在硫酸溶液中用电解法退去鎳。随后将所得到的銅壳放在
特制的金屬型或砂型中澆上鋁或鋅合金（澆注前銅壳用煤气加热
并在型腔內垫入型砂）。压型型塊經机械加工后即可装配成整个压
型。压型型腔的重要尺寸經研磨及校正后再鍍上 10~12 公忽厚
的鎳層。这样得到的压型型腔尺寸精度为 2~3 級，光潔度 8~
9 級。

一般压型精度要比鑄件的精度高一級。

此外，为了提高劳动生产率应尽量采用多位而有澆注系統的
压型。

經常使用的模料为石蜡 50%、硬脂酸 50%；或石蜡、硬脂酸
各 40% 及 20% 的回收蜡，于 41~44°C 膏状时压入压型。这种成分
的模料最便宜并具有一系列的工艺优点：如减少蜡模的收縮缺
陷，可利用多位压型，利用机械化等。根据技术科学副博士哥留

諾夫的介紹，高强度模料可用塑料作为基本成分。如熔模模料 КПЦ 为 50% 松香，30% 聚苯乙稀及 20% 地蜡。燒失模料 ПК 則 90% 为聚苯乙稀。КПЦ 熔点高且綫收縮小适宜于做精度高而复杂的熔模，为了减少脆性可加入 2~3% 的苯二甲酸二丁脂。于 150~165°C 及 15 公斤/公分² 的压力下注入压型，但不能超过 280~300° 以免自燃。

ЛЭТИ 試驗室介紹了用 65~70% 石蜡、27~30% 硬脂酸及 3~5% 乙基纖維素模料来做中等复杂的熔模，以代替昂貴的 87% 硬脂酸及 13% 乙基纖維素模料。用这种模料所得到的熔模的表面光潔度也很好。燒失模料对于大量生产高精度鑄件很有前途。

高尔基城莫洛托夫汽車厂通过实际工作証明，用石油脂代替硬脂酸的可能性。并得出了用 25% 石油脂、25% 硬脂酸及 50% 石蜡的效果很好。这种成分的模料便宜，而且由于石油脂的熔点高（65~80°）所以热稳定性也高。預料将来可全部用石油脂代替硬脂酸。

制造具有复杂内部空腔的鑄件也是比較困难的。用金屬模芯制造这种內腔实际是不可能的。利用工业尿素可做溶于水的可溶模。工业尿素里加入 3% 的硼酸可增加它的韌性。由于它实际上不变形，因此可代替 КПЦ 来做特別精确的可溶模，模料可以全部回收。这种模料在 220° 时熔解，而在 160° 时注入压型。另外也可全用熔点为 130~134°C 碳酸氢 ($\text{CO}(\text{NH})_2$)。这种材料熔解以后的流动性很好。

熔化了的尿素注入金屬芯盒內（圖 1）。經過 1~2 分鐘后尿素凝固，从芯盒中取出型芯再放到压型內，而后压注模料。将制成有尿素的溶模浸入 20~25° 的水中。經過 40~50 分鐘后尿素被水溶解而留下尺寸精确与表面光潔的模腔。圖 1 就是带有圖 2 上型芯的噴咀（Носок）熔模組。

当用熔模鑄造法鑄造大型零件时制造較大的熔模是比較困难的。全苏工艺設計研究院研究出一种在金屬模上塗一層模料来制

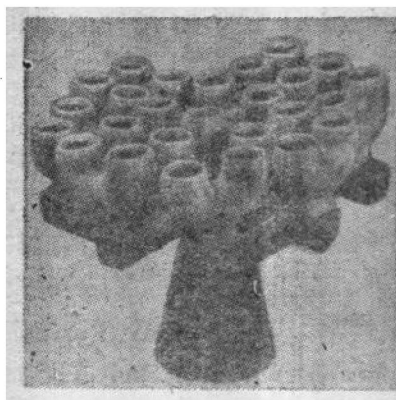


圖1 用尿素型芯做的熔模

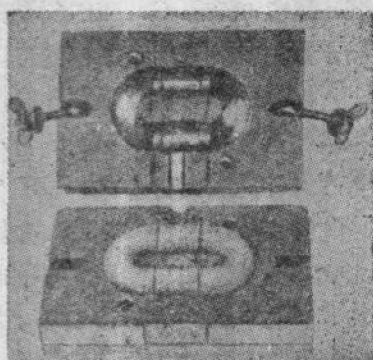


圖2 帶尿素型芯的芯盒

造熔模的方法。

制成的金屬模留有一定的收縮量及加工余量，把它浸在蜡料內并迅速提出，这样就可以在金屬模上塗上一層0.1~0.2公厘厚的蜡料。而后按一般方法塗挂塗料，再把塗好塗料的型壳放在100~120℃的爐內烘烤。塗在金屬模上的蜡料熔失以后就可把金屬模抽出，再用一般熔模精密鑄造法鑄出鑄件。用这种方法可以澆鑄三叶片的螺旋桨及1.5公尺長和130公斤重的其它叶片制品。

根据阿洛笛楊茨講師的报告，要想使鑄件表面光潔，避免含有硬脂酸的模料与硅酸乙脂作用而产生灰分，可在熔模外面塗上一層石蜡。即先在压型中注入熔化的石蜡并迅速傾出其未凝固部分，随后再按一般方法压入模料。

此外，为了節約模料、防止熔蜡时型壳裂开以及为了熔蜡方便、易于机械化等就可采用空心熔模及金屬空心直澆口棒等。

配制耐火塗料时，石英粉是基本原料。根据技术条件，它里面的 SiO_2 含量应为96%，留在270号篩上的石英粉应少于30%。其中 CaO 的含量最大不能超过0.2%，否则将使硅酸乙脂水解，液易于凝固。如 CaO 含量为0.22%时經過2小时，水解液开始凝

固，而含 0.35% CaO 时經 15 分鐘就会凝固。在石英粉內的酚酞指示剂呈玫瑰色反应即不能用。

在精密鑄造高錳鋼制件时，可用 TiO_2 作为塗料的基本原料来代替石英粉，以消除石英粉与氧化錳作用而产生的硅酸盐并改善了鑄件的表面質量。

工程师史拉特科夫等人介紹了在硅酸乙脂塗料中用新的溶剂来代替酒精。如酒精厂的回收产物，工业丙酮，松香水及特种汽油等。第一类的溶剂有乙醚-乙醛縮分 ($\Theta A\Phi$) 及乙醚-甲醇縮分 ($\Theta M\Phi$)，前者較酒精便宜 4/5，但所不足的地方是 $\Theta A\Phi$ 有麻醉性， $\Theta M\Phi$ 有毒性。

应用丙酮則可节约酒精，加快塗料在空气中的干燥且提高型壳强度。但它易于揮發，使水解液的濃度增加很快，成本也較高。

最便宜的酒精代用品是人造溶剂松香水或其它汽油溶剂。在其中加入乙酸乙脂或醋酸戊脂可加固耐火層，会加快干燥。为了更好地搅匀人造溶剂，在配制时可加入少量陈旧的水解液 (8~10%)。

人造溶剂应用得当，同样可在氨气中加快干燥。

使用丙酮及人造溶剂水解液的成分举例(容积百分比):

組成物名称	1号	2号	3号	4号	5号	6号
丙 酮	25	40	38.5	—	—	—
松香水 (或其它汽油溶剂)	—	—	—	20	25.5	38.5
酒精 95~97°	—	—	—	8.5	2.6	—
乙醚乙脂或醋酸戊脂	—	—	1.5	1.5	—	1.5
陈旧的水解液	—	—	—	2	8.5	10
酸水 (1.5% HCl)	15	20	15 (2% HCl)	6	7.4	10
硅酸乙脂	60	40	40	58	56	40
水 (含量由 SiO_2 及 HCl 含量来校正)	—	—	5	4	—	—

工程师叶菲莫夫及脱拉特费洛娃所作的研究工作证明：硅酸乙脂水解溶液中 SiO_2 的含量可由 16~18% 降至 12~15% 仍能适用。

在汽车拖拉机工业中应用下列减少了硅酸乙脂的水解液成分：

容 积 含 量			注
硅 酸 乙 脂	溶 剂 (丙酮或酒精)	水(酸化的)根据 硅酸乙脂中的 HCl 量	
50	35	15	溶液酸度
40	40	20	0.2~0.3% HCl

这种溶液的水解过程一般要 30~40 分钟，加热到 50~55°。白色硫酸铜粉呈蓝色反应时就表示水解液中有过剩的水。

工程师史拉特可夫在报告中谈到了二次水解法的优点：即先将硅酸乙脂与已处理的水解液按 10:1 混合，在搅拌时加入水来水解，随后加入酒精，并保持 40 分钟。这样可使水解液更稳定，还可提高涂料的强度。

此外，用水玻璃代替硅酸乙脂做涂料，也可以不经过预先处理而应用。最好是用钾水玻璃，其模数希在 2.5~3 之间，比重为 1.35~1.5，但也有用 1.3~1.32 的。所介绍的两种水玻璃成分(%)列入下表。

组 成 物 品 称	第 一 种 成 分	第 二 种 成 分
水玻璃	42	35
肥皂(中性)	3	—
盐酸	3	3
水	52	62

先将水与 HCl 混合，随后加入水玻璃中，再加入中性肥皂。目的是改善水玻璃涂料对模料的附着性。利用高模数 4~5 的水玻璃，可提高耐火性，而使稳定性不变。如水玻璃使用得当，则可

全部代替硅酸乙脂，这样将会便宜不少。加固層可用由40~45% 比重 1.3~1.35 的水玻璃及 60~65% 經 100 号篩的石英砂組成，干燥 4~5 小时。

塗料層可用氨气（其濃度为 1 立升空气中 0.1 微克 NH_3 ）或在通風櫃中使之快干。必須指出氨气干燥将减低塗層强度，但这是允許的，因为它并不减低鑄件質量。相反的，由于减少硬脂酸与硅酸乙脂的反应時間，对鑄件表面質量也可改善。

熔模精密鑄造的进一步發展首先是要求工艺及設計師正确選擇可改为精密鑄造的零件。

金長庚 譯自苏联“Литейное производство”杂志1953年第1期, 23~27 頁及苏联“Точное литье в транспортном и Тяжелом Машиностроении” ВПТИ, 1954, 7~15 頁。

二 熔模鑄造工艺特点的分析

苏联工程师 В·М·哈里东諾夫

在組織生产时，必須考虑到熔模鑄造的某些特点。

用普通砂型鑄造时，模子的生产是輔助生产；但在熔模鑄造生产中，熔模的需要量和鑄件的产量相同，制造熔模的工段也是一个主要的生产工段。

生产熔模需要使用方便、填充良好的压型，必須考虑到零件形状的特点，知道熔模产生缺陷的原因并善于消除这些缺陷，善于保管熔模、使熔模装配良好。

熔模的精度和光潔度取决于压型。在鑄造过程中，可以确定因鑄件总收縮而發生的尺寸偏差的平均百分数；有了合金收縮的数据就可用很小的費用使压型內腔达到需要的尺寸。就鋼來說，外部尺寸的收縮量应采用 2%，而內部尺寸的收縮量則应采用 1.8%，但在压型內腔最后尺寸發生磨損的过程中，就必須根据鑄

件的形状和截面以及所采用的分型面来校正压型型腔的尺寸。

决定熔模铸件精度的因素是：

1. 模料的性能；2. 模料的成分；3. 糊状模料的质量；4. 模料射注时的温度；5. 冷却条件（温度、夹具）；6. 型壳干燥条件；7. 复面砂的质量（面砂成分及面砂混合料）；8. 浇注时铸型的温度；9. 液体金属的温度；10. 铸件的结构；11. 合金的性能；12. 浇注系统的形状和截面以及在结晶时铸件的补缩条件。

由于生产的条件和工艺过程上规定的规范 and 标准不同，每个因素对铸件所起的作用也就不同。因此，型腔尺寸的最后校正工作只能在测量了试样以后才行。

许多工厂的工作经验证明，必须制造几种推杆，保证模子迅速退出压型内腔，不变形，无损伤。但是，最合适的是有反回弹簧的推杆，因为这种弹簧能防止把推杆座平面弄脏。这种不同结构的压型已在苏联国营第一轴承工厂“1 ГПЗ”使用。

使用多位压型能大大地提高生产率。汽车工业研究所(Оргавтопром)的工作人员肯定了使用多位压型的可能性和绝对的合理性，用这种压型一次就能制成一组模子和浇注系统的各个部分（内浇口和部分直浇口）。使用这种压型就能减少制模和装配模子的劳动量，就能在制造的精度和光洁度方面改善铸件的质量。

用液体模料和半溶体（Переходное состояние）模料填充内腔复杂的压型，就是加上很大的压力也不能得到预期的结果，因为压力一提高，就不能消除模子表面上的气孔。降低模料温度却不能消除模子的局部收缩。制模时所遇到的这些工艺上的困难，采用糊状模料就可消除，因为这种模料的性能与液体模料和半溶体模料都不一样。

糊状模料由石蜡和硬脂按 1:1 的比例配成。可以成为糊状模料的能力根据硬脂的性能确定（好的糊状模料由 40% 硬脂和 60% 石蜡配成）。

优质的糊状模料都是在 45~42℃ 下形成的。模料的质量由晶

粒粒度和空气量决定。模料的組織越細，模子的表面就越光潔。在上述的溫度範圍（45~42°C）內，好的糊狀模料就是空气乳化剂，它的比重也和糊狀模料一样，应当是0.80~0.86。

在开始凝固或因受机械作用而部分濃縮的溫度下，模料成为糊狀。混碾时，石蜡的晶粒都被粉碎，并給模料饱和空气达10%（按体积計）創造了一些有利的条件。

填充压型时，空气受到壓縮，而它的总的內压力却照例压向表面，因而就保證了任何方向、任何截面的型腔的可填充性。分子附着力較大的模料，在开始凝固的溫度下，可以全部进入型腔，而陸續充滿所有的型腔部分；因此，能保證使型腔里的空气以及塗油和冷却时落到型里的油和水完全清除干淨。上述模料凝固时的总收縮率最小，而局部收縮的情况根本沒有。

向压型里注蜡时，注蜡器的推压力可以抵消空气排出的阻力、使工作腔內模料均衡地流动以及在注蜡后稍微壓縮一下模料（不超过3公斤/公分²，在生产中注蜡时的压力不超过6公斤/公分²）。

若用糊狀模料，制模工艺过程在時間和劳动量方面都縮短，并趋于稳定。蜡模的总收縮量会减少到0.5%，而局部收縮大为减少（指壁厚在15公厘以下的蜡模）。糊狀模料的溫度不用任何仪器就易保持在規定範圍內，变动也只有1~2°C，因为这种模料的导热性低。

由于使用了糊狀模料，可以使用多位压型，因此就可大大减少制模工时，合理地利用了用輕合金制的压型。

配制糊狀模料用的石蜡基易熔模料价錢便宜，材料来源丰富，熔点低，使用方便，但熔点低却又是这种模料产生缺点的一个原因。因此，应用这样的模料时，就必须使模庫內的溫度不变，或（很簡單）在工序之間一段時間內把單个的或成組的蜡模存放在密閉恆溫室內。

对于極重要的和非工艺的大型薄壁和較長的鑄件最好在模料里加入5%的乙基纖維素以提高它的强度。截面不均匀的蜡模从

压型中起出后会發生变形和改变大小，应当用特殊形状的夹具夹住冷却。

圖 1 所示系各厂用来保持蜡模 B 处尺寸的夹具。在 15~20 秒時間內冷却时，由于热应力較大的 A 处还会繼續收縮，所以这种蜡模就会变形。防止这种蜡模变形的可靠办法是应用特制的容器，然后把它和蜡模一起运到装配車間。

用糊状模料制造蜡模的工艺过程已經編制成功，現已用于生产；积累的經驗可以准确地肯定破坏工艺过程稳定性的原因并加以消除。

生产中等复杂程度的蜡模时，最常見的缺点就是局部收縮，原因是糊状模料在溫度一高时所含的空气就显得不足。造成模料空气含量不足的原因也可能是由于混拌不良的緣故。如果混拌不良，模料的溫度低了又会使蜡模表面出現条紋。

型腔塗油过多，会使蜡模銳角处、細薄部分以及邊緣一帶表面上出現塌边缺蜡的缺陷。蜡模尺寸的偏差、以及表面質量不良都可能是由于压型状况不良、型腔和分型面不潔的緣故。

工作室內的溫度实际上随时都在改变，因而会使蜡模繼續变形；因此，編制工艺过程应当使制成的蜡模在它使用之前存放的时间不应过長。

制造蜡模或把蜡模装配成組，工地上的組織安排和整潔文明都应根据这些工序的繁重程度和鑄件質量要求来决定。进行这些工序的地方，应尽量保証溫度不变。

工艺过程进一步的發展首先要把最費事的制模工序自动化（根据鑄件的精度和光潔度決定）。若用糊状模料制造蜡模，制模工序就很易自动化。但是，要作到这一点，就必須設計出一種制

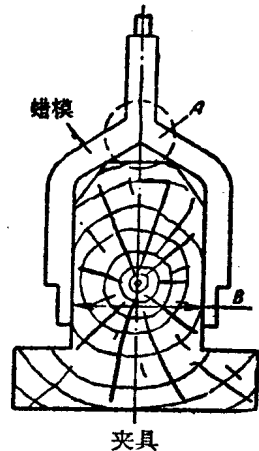


圖 1 防止蜡模变形的夹具

造糊状模料，把模料加进压型型腔用的机器。

工厂采用石蜡硬脂糊状模料的越来越多；因此，在讨论的草案（苏联国家标准 ГОСТ）中最好对于这些模料能推荐几种保证得到优质糊状模料的配方。为此，就必须研究一下模料成分，特别是能保证糊状的硬脂的性能。

苏联鲁特科夫斯基（И. В. Рутковский）（汽车工业研究所）建议在大批生产时用空心金属直浇口（图 2）把小蜡模加固起来，这个建议大大地改进了蜡模的结构，因为这种浇口保证运输方便、保存简便，还能改善熔失模料的条件。为了防止直浇口发热、直浇口壳腔发生裂纹，在涂蜡（Легкоплавкий слой）以前，要先涂上一层黄油或黄油与机器油的混合油。

熔模铸造用的铸型由透气性低的型壳和型壳周围均匀填满的填砂组成。型壳是铸型的组成部分。型壳的内表面构成型腔，外表面与填砂粘结或挤贴在一起。我们对型壳组织研究结果表明，它是由大小不同、外面复有硅酸薄膜的石英砂粒造成。

图 3 所示就是第一层涂层的组织。在蜡模的表面上形成一堆堆的石英粉的小颗粒（包上硅酸或二氧化硅凝胶）。撒砂时，大颗粒的石英砂就扎入涂层的组织一半。如果涂层稀软，它就扎的更深，甚至会扎透涂层顶住蜡模表面。

型壳焙烧以后，第一层涂层就会发生变化，涂砂外膜或型壳整个涂层的透气性就会增大，而型壳的强度就会降低。在研究第一层型壳组织时，用显微镜看的清楚，由硅胶生成的薄膜在焙烧时就发生胀裂，而形成很像石英粉粒的细小颗粒。因此成堆的石英粉粒或单个的石英粉粒周围的胶膜越薄，由二氧化硅凝胶生成的粒子就越细。二氧化硅凝胶堆积较厚，就会在胶膜上生成大的裂纹，因而就会在整个型壳上生成裂纹。

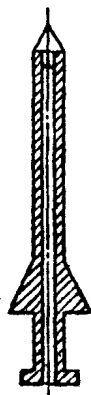


图 2 空心金属直浇口