

内容提要 本书较系统地讲述了以水玻璃为粘结剂，石英粉土和石英砂为制壳材料的高强度模壳制造工艺。全书共分七章，的设计、熔模与模壳的制造、脱蜡、焙烧、金属的熔炼和浇注，理和热处理。并结合生产实践，对铸件的常见废品进行了分析。

本书重点介绍了我厂的“自动压蜡起模线”、“制壳流水线”的典型结构，工艺参数和使用性能。可供从事熔模铸造的工人和参考。

熔模铸造

沈阳第一机床厂编著

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $6 \frac{4}{8}$ ·插页 2·字数 148 千字

1975 年 11 月北京第一版·1975 年 11 月北京第一次印刷

印数 00,001—28,000·定价 0.52 元

*

统一书号：15033·4276

出 版 说 明

在批林批孔运动的推动下，机械工业技术革新和技术改造的群众运动蓬勃开展，先进经验层出不穷。为及时总结推广这些先进经验，我们组织编写了“机械工业技术革新技术改造选编”。

“机械工业技术革新技术改造选编”将陆续出版，内容包括：铸、锻、焊、热处理、机械加工、改善劳动条件、三废处理等方面，每本讲一个专题，内容少而精，便于机械工业的广大职工阅读参考。

在组织编写过程中，得到有关领导部门和编写单位的大力支持，对此我们表示感谢。欢迎广大读者对这些书多提宝贵意见。

目 录

概述	1
第一章 模具的设计	5
一、熔模铸件的设计	5
二、模具设计	12
三、机械加工模具的结构设计	15
四、自动起模的模具设计实例	19
五、熔模所用的型芯种类及制作	21
六、铸造合金模具	22
第二章 熔模的制造	25
一、制模材料	25
二、分型剂	27
三、化蜡设备	27
四、糊状蜡膏的制备	28
五、制模的机械设备	29
六、蜡模的修理和存放	39
七、蜡模的组合	39
第三章 模壳的制造	43
一、高强度模壳的高温强度分析	43
二、粘结剂和制造模壳用的造型材料	44
三、表面层涂料的制备	49
四、加固层涂料的制备	50
五、硬化剂的配制	51
六、模壳制造的工艺过程	51
七、氯化铵水溶液各种参数的控制	53
八、表面活性剂的应用	54
九、聚合氯化铝硬化剂	54
十、制壳的机械设备	56
第四章 脱蜡和焙烧	66
一、脱蜡	66
二、石蜡——硬脂酸模料的再生处理	68
三、模壳的焙烧	69
第五章 金属的熔炼和浇注	74
一、合金的熔炼设备	74
二、中频感应电炉的操作要点	76
三、酸性炉衬的捣制	77
四、对金属炉料的技术要求	80
五、配料计算	80
六、钢水的脱氧	82

七、炉前分析	82
八、钢水的浇注	83
第六章 铸件的清理	86
一、脱壳	86
二、熔模铸件的化学除砂清理法	87
三、熔模铸件浇注系统的切除	88
四、铸件浇口余根的清除	89
五、熔模铸件的热处理	89
第七章 熔模铸件的缺陷及防止措施	91
一、表面粗糙	91
二、缩孔和缩松	92
三、冷隔、浇不足和棱角不清	92
四、裂纹	92
五、砂眼和夹砂	93
六、气孔和渣孔	93
七、“桔子皮”样的缺陷	94
八、起皮和凹陷	95
九、表面脱碳	95

概 述

熔模铸造亦称失蜡铸造，是一种精密铸造方法。这种铸造方法，可以直接铸出尺寸精度高、表面光洁度好和难以加工的零件。其工艺过程是用易熔材料制成尺寸精确的铸模，把铸模组成模组，并在模组上涂挂耐火涂料、挂砂、硬化制成高强度模壳，模壳焙烧后热型浇注成铸件。熔模铸件清理浇口后，有的不需要加工，有的再经过少量加工就可以满足装配的技术要求。因而它是实现少无切削的一个重要途径。进一步推广这项工艺是符合“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线精神的。

一、熔模铸造在我厂的应用

我厂搞熔模铸造是从一九五八年开始的。在无产阶级文化大革命之前，由于受刘少奇、林彪所推行的“爬行主义”、“洋奴哲学”、“专家治厂”等反革命修正主义路线的影响，这项工艺没能得到大力推广。以我厂的主导产品C620-1普通车床为例，在十年中只有30余种熔模铸件。其它产品没有得到进一步的推广。

无产阶级文化大革命，极大地激发了广大革命职工的积极性和创造性。我厂广大革命职工遵照毛主席关于“打破洋框框，走自己工业发展道路”和“独立自主、自力更生”的伟大教导，高举“鞍钢宪法”的伟大红旗，开展群众性的技术革新活动。在文化大革命以来的八年中，我厂已有六个主导产品的317个品种，先后由锻件毛坯改为熔模铸件，为文化大革命前的八倍多。过去熔模铸造这项工艺，基本上是手工操作。现已实现了自动压蜡、自动起型生产线；制壳流水线；单轨浇注线。在工艺方面，采用了高强度模壳新工艺，几年来的反复实践使工艺基本稳定。

在毛主席无产阶级革命路线指引下，熔模铸造工艺在我国已得到了迅速的发展。目前，已在机床、拖拉机、汽车、仪表、风动工具和国防等机器制造业广泛采用。

二、熔模铸造的优越性

(一) 熔模铸件的尺寸精度与表面光洁度比较高

由于熔模铸造所用的蜡模是由尺寸精度、表面光洁度比较高的模具（一般在2~4级）做出来的，因此蜡模的几何形状准确，尺寸精度和表面光洁度较高。当然，制模材料、制壳工艺、清理方法等对尺寸精度与零件表面光洁度影响也比较大，通常，采用石蜡、硬脂酸模料；水玻璃-石英粉耐火涂料制成的高强度型壳，其尺寸精度可达到7~8级。熔模铸件的表面光洁度，在采用上述工艺的情况下，用Q3110抛丸滚桶喷砂，壁厚小于20毫米的熔模铸件，其表面光洁度可在 $\nabla 4 \sim \nabla 5$ 之间。壁厚大于20毫米的熔模铸件，其表面光洁度可在 $\nabla 3 \sim \nabla 4$ 之间。

(二) 节约金属材料，提高金属的利用率

实践证明，熔模铸件的材料利用率是很高的。表1是以CA6140普通车床60种74个零件为例，熔模铸件金属利用率81.2%，而机械加工件的金属利用率为31.5%。

表1 圆钢、锻件和熔模铸件金属利用率

产品型号	品种数	圆钢及锻件金属利用率(%)			熔模铸件金属利用率(%)		
		圆钢及锻件重 (公斤)	零件净重 (公斤)	金属利用率	熔模铸件重 (公斤)	零件净重 (公斤)	金属利用率
CA6140	60	68.925	21.063	31.5	24.865	20.183	81.2

从表中不难看出，熔模铸件的金属利用率比机械加工件提高2.6倍。表2所列出的3种机床熔模铸件，说明锻件经机械加工和熔模铸件经机械加工后，金属利用率的对比。根据我

表2 锻件和熔模铸件金属利用率对比

件号	名称	锻件经机械加工			熔模铸件经机械加工		
		锻件重 (公斤)	加工后净重 (公斤)	金属利用率 (%)	熔模铸件重 (公斤)	加工后净重 (公斤)	金属利用率 (%)
2115	凸轮	2.03	0.5	24.6	0.59	0.48	81.3
2141	凸轮	3.45	1.1	31.8	0.97	0.72	74.2
3028	压板	5.46	2.7	49.5	1.55	1.55	100
合计		10.93	4.3	39.3	3.11	2.75	88.5

们实践：每吨熔模铸件节约钢材约2.8吨。所以采用和推广熔模铸造有很大的经济价值。

(三) 熔模铸件减少了机床加工台时

由于熔模铸件的尺寸精度、表面光洁度比较高，有的完全不经过加工就可满足装配要求（如表2中的3028压板）；有的只需要经过少量的补充加工（例如：达不到精度的只是些配合表面、螺纹、键槽、小的沉头孔等）。但其加工工序和锻件相比要减少很多。能显著的节约机床台时。从表3中看出CA6140普通车床，60种74个零件按熔模铸造工艺投产后，每份份节约机床台时76.8小时。锻锤台时6.46小时。根据统计每吨熔模铸件可节省机床台时3600小时，可节约锻锤台时300小时。因此，熔模铸件和锻造后机械加工件相比，可节省大量的金属切削机床、锻造设备和作业面积。因而有力地促进机械工业的发展。

表3 熔模铸件和锻造后机械加工件机床台时对照表(分)

产品型号	品种数	锻造工时	备料工时	机床加工台时	铸造后机床加工 台时	节约机床台时 (包括备料)
CA6140	60种	387.95	52.06	5744.7	120.32	4594.1

(四) 几个机械加工零件，可以整铸出一个组合件

熔模铸件，可以代替两个以上的机械加工件。并节省了装配手续，其技术性能比装配的还好。图1是一机床的手柄，原来是由两种共三个机械加工件组成，经加工后装、配、铆

紧，然后进行抛光电镀如图 1 b) 所示。熔模铸造后，如图 1 a) 所示，经过少量机械加工，就可以进行抛光电镀。不仅简化了加工工序，每个零件工时，由熔模铸造前的 88 分钟减少到 18.5 分钟。

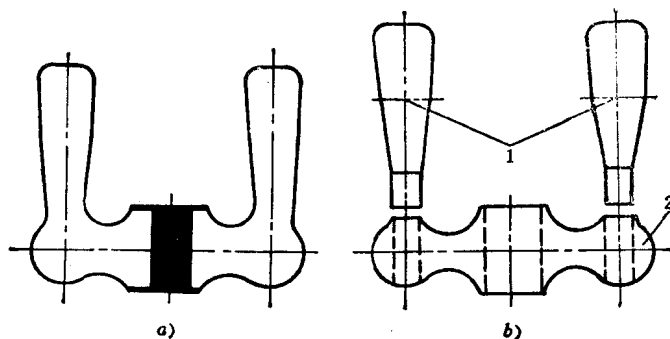
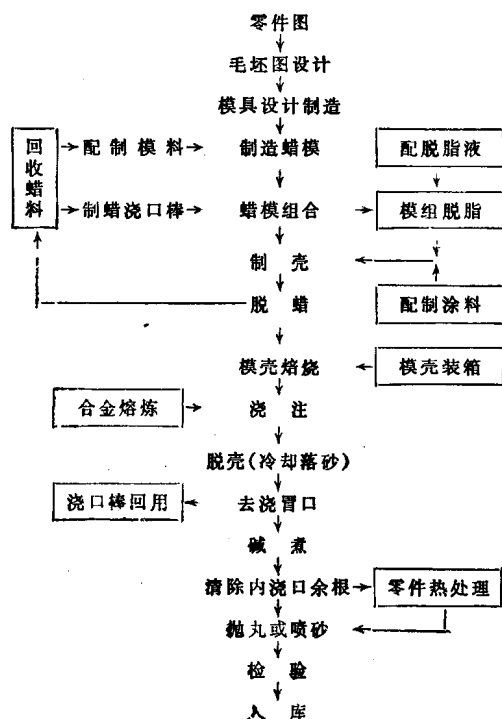


图 1 手柄

(五) 熔模铸件重量的增加，不受零件复杂程度和合金种类的限制

随着熔模铸造工艺不断发展，铸件的重量已由 2.5 克发展到目前的几十公斤。而熔模铸造工艺并不受零件复杂程度的限制。比较复杂零件的内部型腔，可采用陶瓷型芯和可溶型芯来形成。熔模铸造生产的合金种类比较多，其中碳钢和低合金钢应用的最广泛；其次是难以机械加工的高合金钢：如磁钢、耐热合金；有色合金也在开始应用。

三、熔模铸造的工艺流程



四、熔模铸件的应用实例见图 2

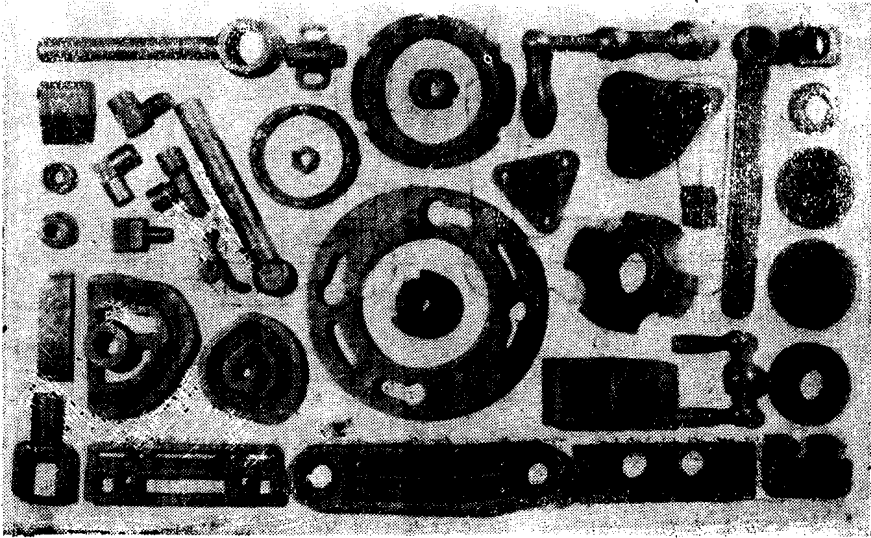


图 2 机床中采用的部分熔模铸件

设计人员只考虑用机械加工方法来保证零件的精度。在工厂中这种情况比较多。因此，凡是原为机械加工零件后改为熔模铸件的，就必须详细审查该零件结构是否合乎熔模铸造的工艺特点，绘制出熔模铸件图。此时既要考虑结构设计，又要考虑到工艺设计。

(一) 熔模铸件结构设计

熔模铸件结构设计，应力求使铸件壁厚均匀，消除由于零件过厚而产生的热节；熔模铸件各转角处均做成圆角，防止因尖角部位应力集中而形成裂纹；尽量考虑到制模方便；保证铸件在冷却过程中按顺序凝固等。

图3 a) 是机床台尾压板，原结构是锻件，45号钢，毛重为5.46公斤，加工后为2.7公斤。为适应熔模铸件的结构和工艺特点，改进设计后如图3 b)所示的熔模铸件图，不需机械加工，改进结构后的重量为1.55公斤。C处是通孔，其目的是解决制壳过程中不堆积涂料，保证硬化完全，防止因堆积涂料硬化不透，造成熔模铸件表面的冲砂缺陷。

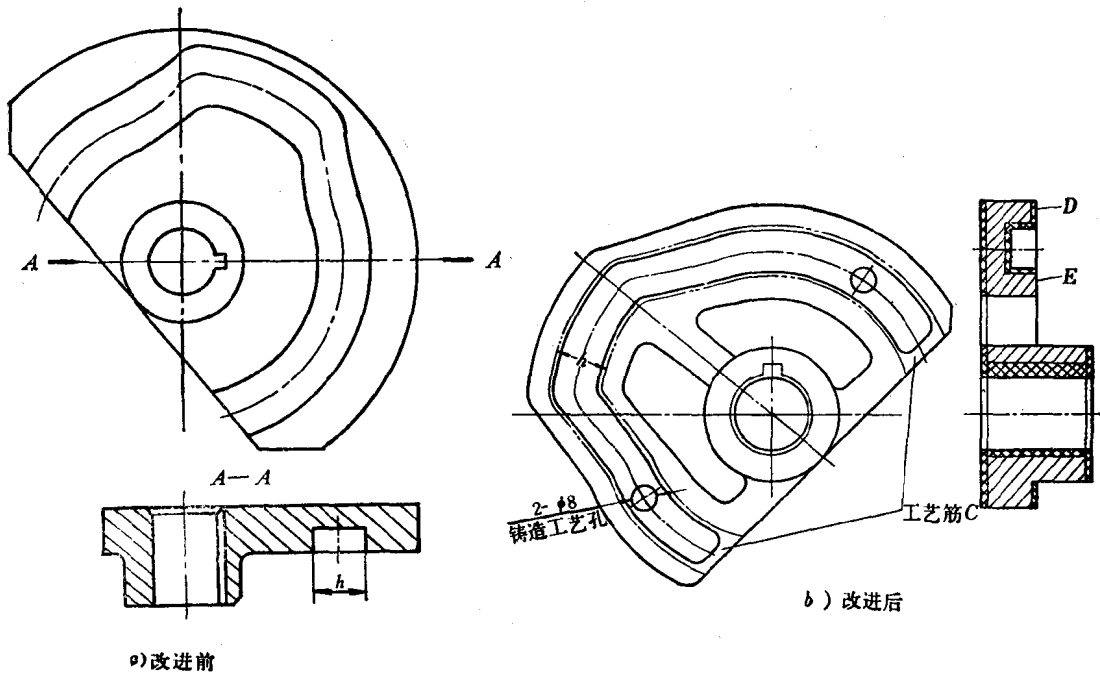


图4 凸轮改进设计前后对比图例

图4 a) 是机床床头箱内的一个凸轮，原设计结构是锻件，45号钢，毛重3.45公斤。加工后重量为1.1公斤。图4 b) 为改变结构后的熔模铸件毛坯图，其重量为0.97公斤。C处为铸造工艺筋，该工艺筋有两个作用：其一保证D平面和E平面在同一个平面上，避免制模和铸件冷却过程中产生变形。其二是保证h槽尺寸稳定。φ8为铸造工艺孔，它是保证制壳时，h槽内的涂料能顺利流出，不产生堆积现象；结壳后模壳内腔形成两个芯子，把上下模壳连接在一起。这样，金属液浇注到模壳内产生的动压力，不致使型壳破裂。图5 b) 是机床上的顶盘，其中φ25毫米孔4个也同样起上述的作用。该零件在模壳内形成4个φ25毫米的型芯。这4个型芯保证型壳A、B两平面不变形，使铸件质量达到图纸要求。且钢液浇注后，型壳不破裂。如果按原设计的零件图图5 a) 进行模具设计，模壳在浇注后，由于钢液动压力的作用，模壳将大量跑火，A面和B面将产生变形，致使铸件几何精度达不到图纸的要求，成

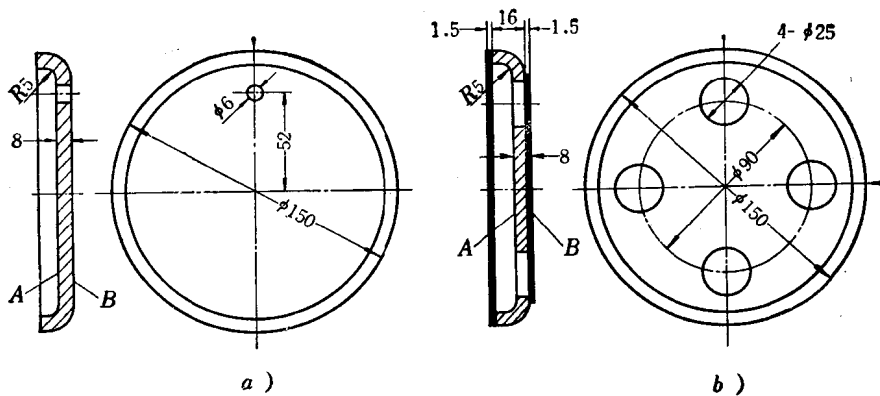


图5 顶盖改进设计前后对比图例

批报废，其合格率还不到20%。

图6是机床床头箱中的一个凸轮。图6 a)为原设计零件图，由于凸轮外圈与中间壁厚相差太大，浇铸后变形较大。为适应熔模铸造工艺的特点，改进后的结构如图6 b)所示， $\phi 8$ 为铸造工艺孔。这种结构，适应于熔模铸造成批生产的需要。

(二) 熔模铸件的工艺设计

在设计熔模铸件图时，如果原零件图要改进结构，则结构设计和工艺设计同时考虑，如图6所示。如果原零件结构有良好的熔模铸造工艺性，则可对该零件直接进行工艺设计。

1. 铸造圆角

铸造圆角是熔模铸件工艺设计必须要考虑的问题。因为铸件的尖角处造成应力集中，降低了铸件强度易产生裂纹；尖角处使金属液注入铸型时，产生涡流而形成夹杂，使铸件组织疏松；另外，尖角处在制壳时，由于涂料堆积过厚，硬化不透，使铸件造成砂眼和“桔子皮”样的缺陷，或者被钢水冲掉，造成铸件的条状包砂，使铸件报废。因此，铸件的转角处必须用铸造圆角过渡。但必须注意，铸造圆角不应过大，避免铸件转角处构成新的热节，使铸件产生疏松和裂纹。

铸造圆角半径 R 可按下列式计算：

$$R = \left(\frac{1}{5} \sim \frac{1}{8} \right) A + B$$

式中 A 与 B 分别为铸件两相邻壁转接处的厚度。

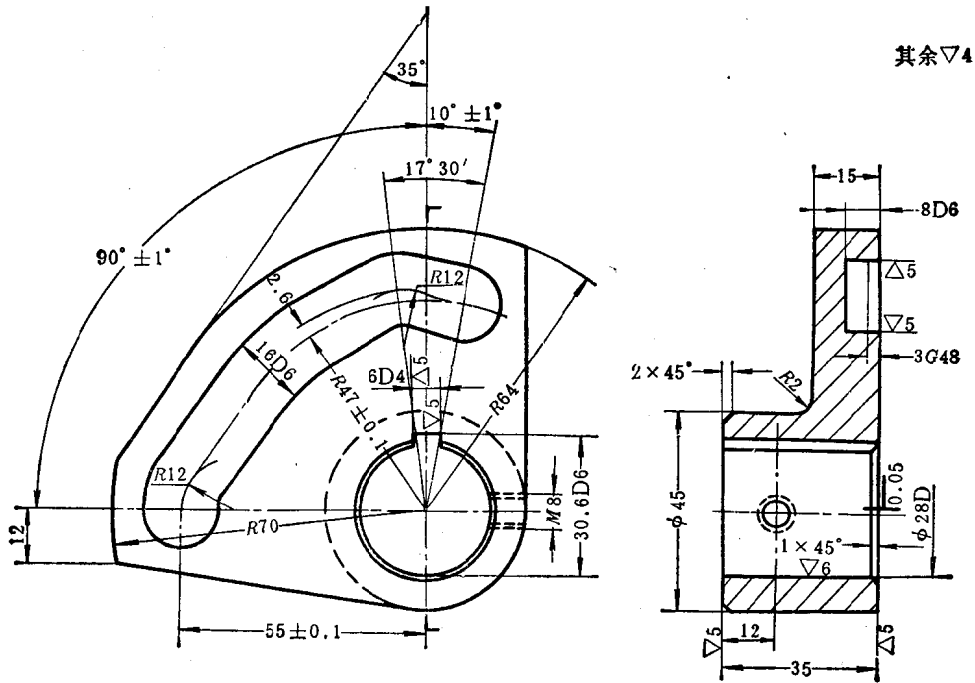
实践证明，熔模铸件铸造圆角，一般情况下应大于1毫米。

2. 铸孔

铸件内部型腔和孔，其精度低于7级的，都可以用熔模铸造方法直接铸出。对于熔模铸件内腔和不规则的曲形孔，在金属型芯抽不出来时，可采用组合的金属型芯或水溶型芯。实践证明，组合的金属型芯比水溶型芯工艺简单。

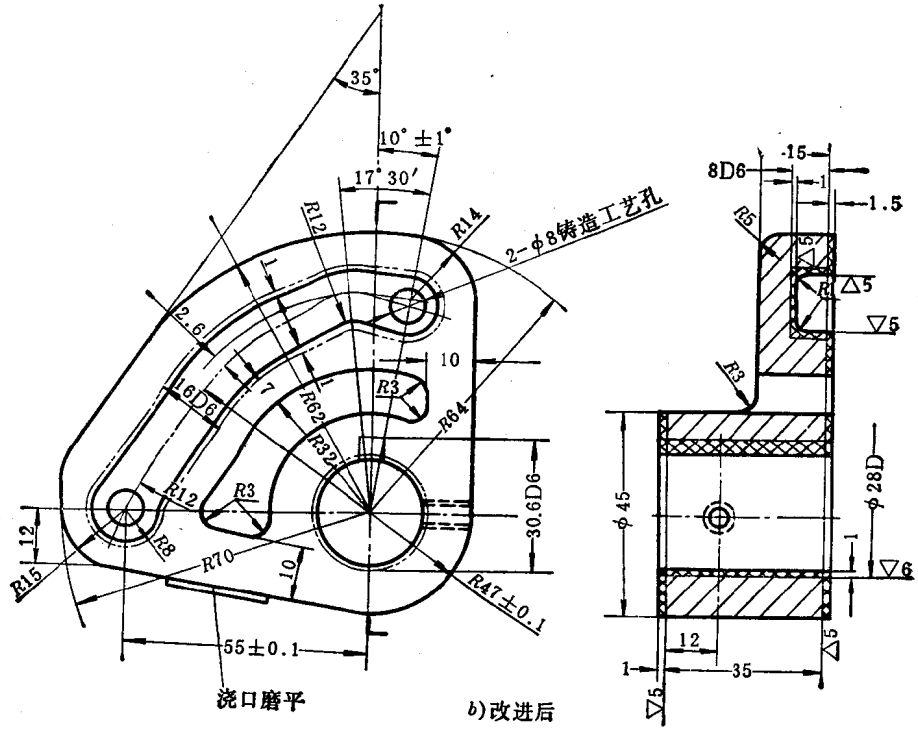
3. 工艺筋

由于铸件的结构不同，在冷却过程中，收缩和变形也不一样。对于那些非封闭形的零件和叉形零件。在冷却过程中，由于综合应力较大，使半圆形和槽形尺寸产生变形。因此，在设计熔模铸件毛坯图时，必须采用铸造工艺筋来保证零件的几何精度和尺寸精度。工艺筋一



其余▽4

a) 改进前



浇口磨平

b) 改进后

图 6

般用机械加工的办法清除掉。

工艺筋的厚度一般为铸件厚度的20~50%。但最小不得小于2毫米。也不易过大，过大会形成热节。图7是机床零件拨叉。为了避免30毫米宽的槽产生变形，采用40×6×4（毫米）的工艺筋。

经过成批生产的验证，这种工艺筋的设计是合理的。

图8是内浇口起工艺筋作用的一个零件。为了保证28D4槽不变形，设置一个12×12×46（毫米）的工艺筋，同时又作为该件的内浇口。这种浇注系统的设计是比较合理的。它不仅保证了28D4槽不变形，同时使铸件顺序凝固，且不损坏 $\phi 50$ 和 $\phi 30$ 的外圆表面，有利于铸件的清理。

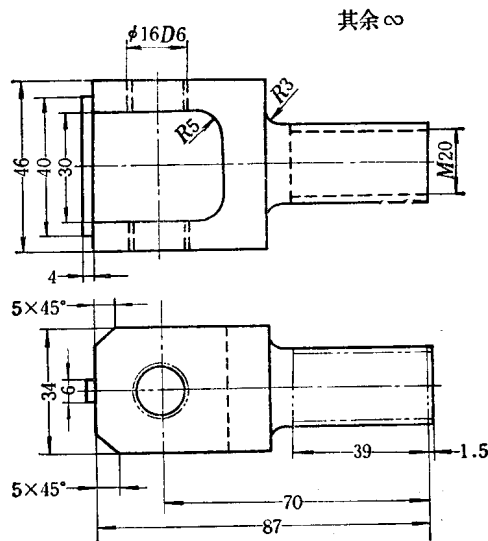


图7 拨叉工艺筋图例

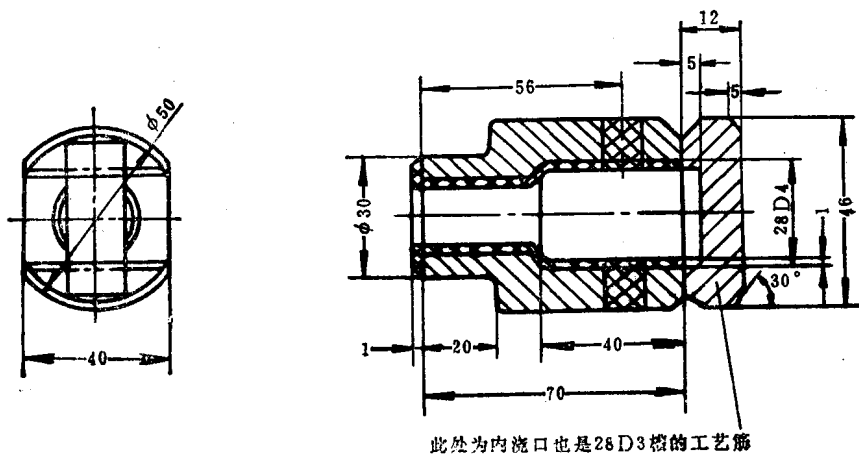


图8 内浇口起工艺筋作用的图例

4. 工艺补正量

在熔模铸件工艺设计时，对于那些薄壁长条形件和圆筒形件，在其壁厚小于1毫米的情况下，浇注过程中，金属液不易充满铸型。为此，必须把薄壁部分加厚，如图9所示。该零件小端($\phi 10$ 处)壁厚1毫米。应使小端外径由 $\phi 10$ 扩大到 $\phi 18 \times 12$ (毫米)。并把内浇口设在该处。这样，既保证了铸件顺序凝固，又使制壳时，内孔和浇口棒垂直，涂料和硬化剂容易流出和倒出。

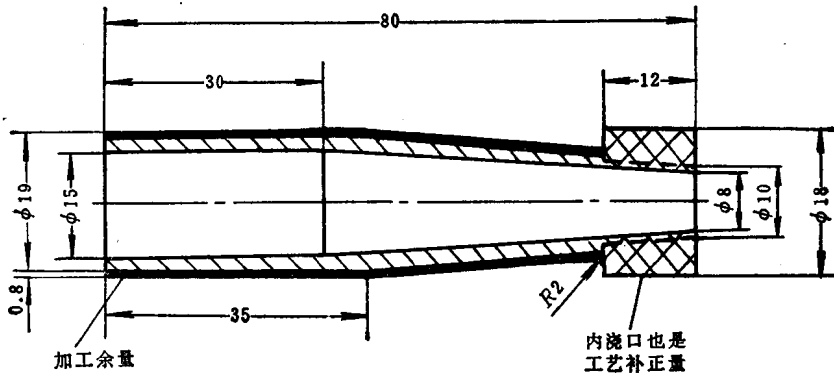


图9 油嘴的工艺补正量

5. 起模斜度

为保证零件的几何形状和尺寸精度，熔模铸件一般不考虑起模斜度。为了保证零件壁厚均匀，只有在为了消除零件过厚部分的热节，有意识地做出通孔和不通的凹槽时，才适当的考虑起模斜度。

(三) 铸件浇冒口系统的设计

浇冒口系统包括浇口杯、直浇口、横浇口、内浇口和冒口。对于重量较小、壁厚均匀的铸件，一般只采用直浇口和内浇口，很少采用横浇口和冒口。

浇口杯：为防止脱蜡和脱蜡后的工序中，砂子等杂物掉入型腔内，外浇口的形式可采用图10的结构。图10 a) 的结构，砂粒很容易掉进型腔中，造成铸件砂眼。图10 c) 的形式若采用沾制蜡棒时，由于圆角 R 处不容易粘蜡，并且不容易挂涂料，给操作带来困难。虽然能控制砂粒不易掉入型腔中，但在生产上用的不够普通。图10 b) 形式的浇口杯，克服上两种形式的缺点，应用得比较广泛。

直浇口棒，一般可做成圆形、正方形、矩形、三角形等多种。直浇口棒的高度(包括浇口杯的高度)，通常在240~360毫米。直浇口棒越高，焊接的蜡模数量越多，可提高熔模铸件的成品率。但浇口棒高时，压力头高，在高强度模壳不装箱浇注的情况下，容易跑火。

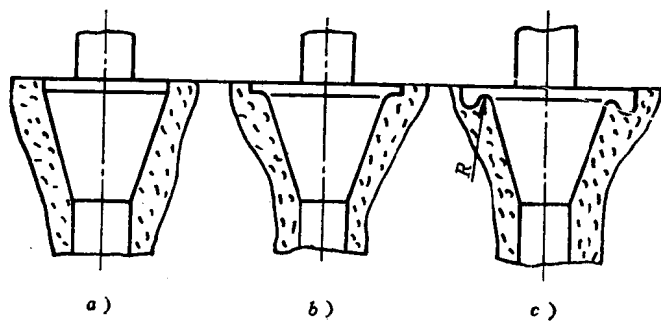

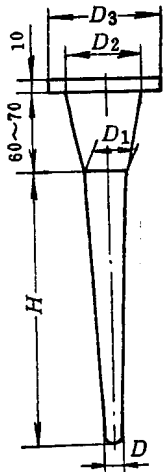







图10 浇口杯的形式

重量不大的铸件，直浇口棒的尺寸和截面积可按表 4 选择。

表 4

D	D ₁	D ₂	D ₃	H	截面形状	结 构
30	32	60	72	240		
34	36	65	76	240		
38	40	70	82	240		
42	44	75	87	240		
46	48	80	92	240		
55	58	90	102	240		

横浇口：具有撇渣和补缩作用，截面积为梯形，通常用顶注法时才采用。

内浇口：内浇口和铸件较厚部分的热节处相连接，其形状和铸件连接处的形状有关。内浇口的形式和切割方法有关。实践证明，内浇口最好安放在铸件的加工面上，使非加工面有良好的光洁度。

内浇口的长度与切割方法、零件形状和组装工艺有关。在采用易割浇口时，长度在 8~10 毫米。在采用气割时，其长度在 10~12 毫米。对于一些圆环形零件，浇口应安放在大平面上，如图 11 所示。该件采用气割，浇口高度为 16 毫米，加大浇口高度是为了保证浇口棒与蜡模之间，挂五层涂料时，能全部硬化透，以减少零件的变形。对于条形零件的内浇口最好设置在零件的较窄的面上。内浇口的数量应根据零件的具体结构确定，在保证蜡模组装和制壳时具有足够的强度的条件下，尽量采用 1 个内浇口。

内浇口截面积的确定：内浇口截面积的大小，直接影响浇口棒的金属液对铸件的补缩。

在模具设计时，内浇口截面积一般可按下述经验公式计算：

$$F_{内} = (0.4 \sim 0.8) D (\text{毫米}^2)$$

式中 $F_{内}$ ——铸件内浇口截面积 (毫米²)；

D ——铸件的热节圆直径 (毫米)。

如果计算出的内浇口不适当，铸件仍产生缩孔，可在模具验证中改进和调整，再加大浇口的截面积或改进浇注系统。

工厂中广泛采用易割内浇口也称缩颈浇口，这种浇口不仅补缩作用良好，清理时不易损坏铸件的表面，而且节省了大量的气割时间，降低了劳动强度，提高了生产效率。

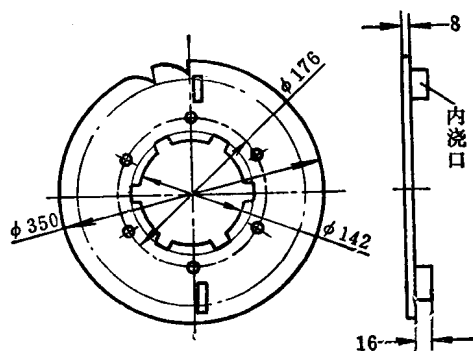


图 11 锯片铸件内浇口的设置

图 12 为机床零件一折页，采用易割浇口的实例。

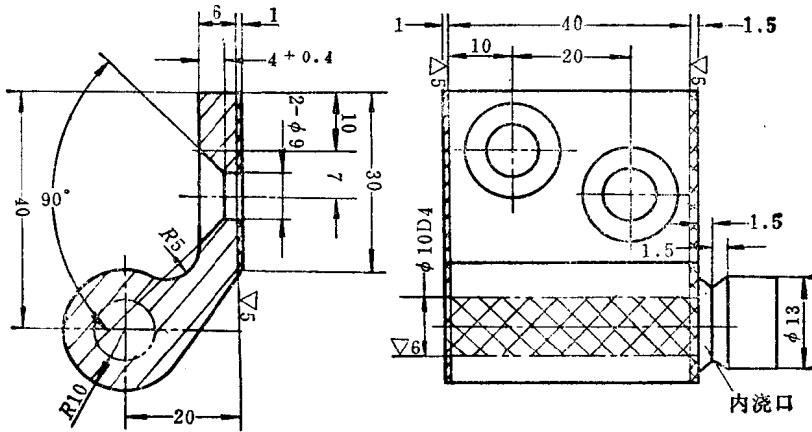


图12 折页铸件的易割浇口

这种圆形易割浇口，广泛地应用于各类铸件。其形状和尺寸如图 13 所示。

当熔模铸件壁较厚、重量较大时，直浇口的金属液不足以补缩铸件时，可采用冒口节来补缩。如图 14 所示。该铸件为机床零件一凸轮，铸件重 1.7 公斤，壁厚为 22.5 毫米。在不加冒口节时，采用 40×40(毫米)的浇口棒，每组焊接两件，在铸件浇口处仍然有缩松。当采用两个冒口节时，每组组装 4 件，消除了缩松缺陷。

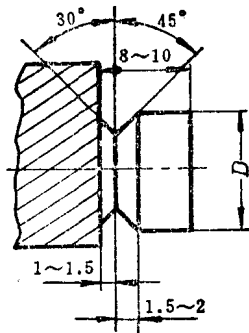


图13 易割浇口的形状和尺寸

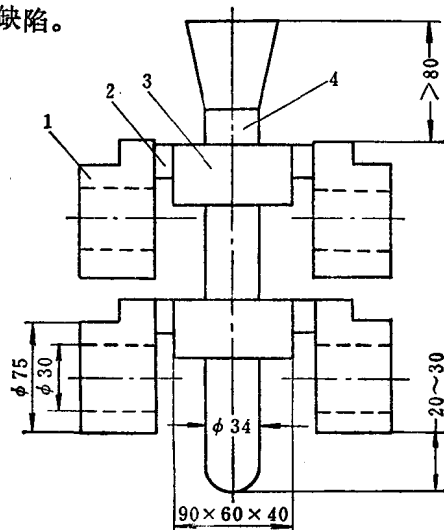


图14 冒口节的应用

1—铸件；2—内浇口；3—冒口节；4—直浇口

二、模具设计

(一) 模具的分类

模具是熔模铸造的主要工艺装备。它直接影响铸件的尺寸精度和表面光洁度。随着熔模铸造的不断发展和产量的不断提高，模具的结构和起型方法也在不断的改进。由于单工位自动起模机和 12 工位自动起模机的出现，就要求我们设计出结构简单，加工方便，操作灵活的

自动起模的模具，来满足生产的需要。目前，根据操作方法的不同，模具可分为自动起模模具和手动起模模具。按模具材料的不同，可分为钢、铝合金，铸造合金、塑料、石膏模具等。

钢模具的使用寿命长，可达几十万次，导热快、制模效率高。压制出的蜡模尺寸精度和表面光洁度较高。在大批大量生产，采用手动和自动起模时得到了广泛的应用。但钢制模具的成本高，加工周期长。铝合金模具，由于比重较轻、表面光洁度好、导热快、制模效率高，使用也比较普遍。铸造合金模具也叫易熔合金模具，这种模具制造成本低、加工周期短，但模具的寿命低，只能应用几千次，适于试生产和单件小批生产。塑料和石膏模具只有在试生产和单件小批生产时，才能采用。这种模具，导热性很差、寿命低，应用的不够普遍。

(二) 模具设计的技术要求

1. 模具的结构力求简单、起模方便、使用寿命长。
2. 为保证制模生产效率，模具材料要有良好的导热性。
3. 在膏状蜡料充满型腔时，型腔内的空气应当顺利的排除。必要时，应设计通气孔道。
4. 自动起模的模具，在设计时要考虑注蜡口的位置和注蜡时的高度，模具安装孔的位置和最大起模行程，以及起模时托板迟后量的选择。
5. 尽可能把零件的加工面放在模具的分型面上，这样分型面造成的铸件披缝，加工时可以消除，不影响零件的精度和外观。

(三) 模具型腔的尺寸计算：

模具的型腔尺寸可按下式计算：

$$l_{型} = \left[l_{铸} (1 + K\%) \pm A \pm \frac{a}{2} \right] \pm a'$$

- 式中 $l_{型}$ ——模具的型腔尺寸；
 $l_{铸}$ ——铸件的名义尺寸；
 K ——总收缩率；
 A ——铸件的机械加工余量（型芯取负值）；
 a ——铸件图的尺寸公差；
 a' ——模具的制造公差。

公式中 K 值为铸件的总收缩率。它是在模具设计中比较难确定的系数。因为，它和模料的收缩、金属的收缩、模壳的焙烧等关系很大。在模具设计时，对于一般中碳钢和低合金钢 K 值取1.1~2.2。对厚壁铸件，其轮廓尺寸大于50毫米时，取上限。反之取下限。

A ——熔模铸件的机械加工余量。它和零件的大小，机械加工方法有关。对于轮廓尺寸较大，有大平面的零件，加工余量可选大些，其数值见表5。

表5 铸件单面机械加工余量

(毫米)

铸件加工面轮廓尺寸	加工余量 (A)		
	机 床 加 工	磨 削 加 工	抛 光 加 工
≤40	≤1.0	0.3~0.4	0.15~0.3
40~100	1.0~1.2	0.4~0.5	0.2~0.4
100~250	1.2~1.5	0.5~0.7	0.3~0.5
250~500	1.5~2.5	0.7~1.0	—