

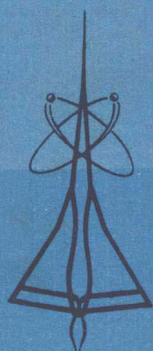
77.2
LZX

77.2
LZX

航空高等院校教材

轻合金砂型铸造

林再学 张延威 编



航空专业教材编审组

91 重

航空工业出版社

内 容 简 介

本书紧密结合航空铸造生产的特点,较详细地阐述轻合金砂型铸造工艺的理论与实践。全书的主要内容有:金属与铸型的相互作用、粘土型砂、有机粘结剂芯砂、浇注系统、冒口及冷铁和铸型工艺设计等。

本书为航空高等院校铸造专业的教材,也可供其他高等院校铸造专业学生和从事铸造工作的科技、生产人员参考。

轻合金砂型铸造

林再学 张延威 编

责任编辑 唐志忠

*

航空专业教材编审组

南昌航空工业学院印刷厂印装 内部发行

*

787×1092 15印张 355千字

1982年12月第一版 1982年12月第一次印刷 印数: 0,001—2,000册

统一书号: 22150J 定价: 1.55元

前 言

本书为适应航空高等院校铸造专业培养目标的需要，紧密结合航空铸造生产的特点，阐述轻合金砂型铸造工艺的理论与实践。全书包括造型材料和铸型工艺两部分，并对与这两部分有关的铸件缺陷的形成机理及预防途径进行分析和论述。有关砂型铸造工艺装备设计方面的内容，将结合工艺设计，参照航空工艺装备设计手册的有关部分进行讲授。

本课程在学完全部基础课以及工程流体力学、传热学、物理化学、铸造概论和铸件形成理论基础等课程，并参加校内外教学实习后，在学生具有一定的铸造基本理论与生产实践知识的基础上，以如何获得合格、优质的铸件为中心进行讲授。本课程总时教为60学时左右。

本书第一、二、三章及附录部分由南昌航空工业学院林再学同志编写；第四、五、六章由西北工业大学张延威同志编写。

在编写过程中，江西工学院李汉麟、西北工业大学郑宗惠、王乐仪等同志对本书有关章节提出意见并协助修改。北京钢铁学院钟雪友、陈国桢及寇风和同志对本书进行认真地审校，提出不少宝贵意见。洪都机械厂唐志忠同志负责本书的编辑。在此一并表示衷心地感谢。

由于时间仓促，水平有限，书中难免有不当和错误之处，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 金属与铸型的相互作用	1
第一节 金属与铸型相互的热作用及其伴生现象	1
一、金属对铸型的加热及铸件的冷却	1
二、铸型湿分的迁移	4
三、铸型强度的变化	6
四、石英砂的膨胀和粘土失水干缩	7
五、夹 砂	8
第二节 金属与铸型相互的机械作用	10
一、液体金属对铸型的冲击	10
二、液体金属对铸型表面的冲刷作用	11
三、液体金属对铸型的压力和抬箱力	12
四、裂纹与机械阻碍应力	12
第三节 金属与铸型相互的化学作用	14
一、铝、镁合金与铸型相互的化学作用	14
二、燃 烧	15
三、侵入气孔	16
第四节 对造型材料的要求	19
第二章 粘土型砂	20
第一节 造型用砂	20
一、原砂的矿物组成及化学成分	20
二、原砂的含泥量	21
三、原砂的颗粒组成	22
四、原砂的颗粒形状及表面状况	24
五、原砂的分类、表示方法及应用	25
第二节 造型粘土	26
一、粘土矿物的晶体结构和化学成分	26
二、粘土的粘结机理	28
三、粘土的热变化	32
四、粘土的质量及种类的鉴别	32
五、粘土的合理使用	34
第三节 附加材料	34
一、氟化物防燃剂	34
二、菱镁矿防燃剂	36

三、烷基磺酸钠防燃剂	37
第四节 型砂的性能及其影响因素	39
一、透气性	39
二、强度	43
1. 湿强度	43
2. 干强度	46
3. 高温强度	46
4. 表面强度	46
5. 热湿拉强度	47
三、发气性	47
四、耐火性	48
五、退让性	48
六、流动性	48
七、可塑性与韧性	49
八、沾模性	49
九、吸湿性	50
十、复用性	50
十一、湿度对型砂性能的影响及其判别方法	50
第五节 型砂的成分与配制	52
一、型砂的种类及特点	52
二、型砂的制备	53
第六节 涂料、涂膏及粘胶的配制	57
一、涂料	57
二、涂膏	58
三、粘胶	58
第三章 有机粘结剂芯砂	60
第一节 概 述	60
一、砂芯的分类及对它的要求	60
二、粘结剂的分类	61
第二节 植物油砂	62
一、植物油的结构	63
二、植物油粘结剂的硬化机理和质量指标	63
三、影响油砂性能的主要因素	66
1. 油的加入量及粘度的影响	66
2. 原砂性能的影响	68
3. 水和其他加入物的影响	68
4. 烘干工艺的影响	70
四、油砂的配制	71

第三节 合脂砂	73
一、合脂粘结剂的组成	73
二、合脂的硬化机理及质量指标	73
三、影响合脂砂性能的主要因素	75
四、合脂砂的配制与应用	77
第四节 树脂砂	79
一、概 述	79
二、壳芯法树脂砂	80
三、热芯盒树脂砂	86
四、冷芯盒树脂砂	90
1. 自硬冷芯盒树脂砂	90
2. 气硬冷芯盒树脂砂	96
第四章 浇注系统	98
第一节 液体金属在浇注系统和铸件型腔中的流动情况	98
一、液体金属在浇口杯中的流动情况	99
二、液体金属在直浇道中的流动情况	101
三、液体金属在横浇道中的流动情况	103
四、液体金属在内浇道中的流动情况	108
五、液体金属通过过滤网时的流动情况	110
第二节 浇注系统的类型及应用范围	111
一、按金属液导入铸件型腔的位置分类	111
二、按浇注系统各单元断面积的比例分类	116
第三节 液体金属导入位置的选择	117
第四节 浇注系统断面尺寸的确定	118
一、按水力学原理的近似计算法	119
二、反推法	125
三、缝隙式浇注系统的设计	127
第五章 冒口和冷铁	130
第一节 冒口的设计	130
一、冒口的种类	130
二、冒口的形状	131
三、冒口位置的选择	133
四、冒口尺寸的确定	137
五、提高冒口补缩效率的方法	144
六、易割冒口	148
第二节 冷 铁	148
一、冷铁的种类和材料	148

二、冷铁的设计	149
三、冷铁的制造与准备	154
四、冷却筋和冷却孔	154
第六第 铸造工艺设计	155
第一节 概述	155
一、铸造工艺设计的内容与程序	155
二、铸件的试制工作	155
第二节 产品零件的铸造工艺性分析	156
一、零件技术要求的铸造工艺性分析	156
二、铸件结构工艺性分析	158
第三节 铸件浇注位置和铸型分型面的选择	166
一、选择铸件浇注位置的主要原则	166
二、铸型分型面的选择	169
第四节 铸件机械加工初基准和划线基准的选择	171
第五节 铸造工艺设计的主要参数	174
一、铸件机械加工余量	174
二、铸件工艺余量	174
三、铸件工艺补正量	175
四、拔模斜度	176
五、铸件收缩余量	177
第六节 砂芯设计	178
一、砂芯本体的设计	178
二、芯头的设计	179
第七节 铸型的通气方法和砂箱内框尺寸的确定	185
一、铸型的通气	185
二、砂箱内框尺寸的确定	185
第八节 铸造工艺技术文件的绘制	186
一、铸件图的绘制	186
二、铸型装配图的绘制	189
三、铸造工艺规程和工艺卡片的编制	189

附 录

第一部分 造型用砂及粘土的技术条件	192
一、造型用砂	192
二、造型粘土	195
第二部分 造型材料性能测定	198
一、原砂性能测定	198
原砂的含水量、含泥量、粒度、颗粒形状与表面状况、	

烧结温度、灼烧减量的测定.....	198
二、粘土性能测定.....	202
粘土的工艺试样强度、胶质价、吸水率、吸兰量的测定.....	203
三、型砂性能测定.....	206
型砂的透气性、强度、紧实率、过筛性、流动性、韧性、发气性的测定.....	207
四、有机粘结剂性能测定.....	215
1. 液体粘结剂粘度、比重的测定.....	215
2. 油类粘结剂的碘值、酸值及皂化值的测定.....	216
3. 树脂的软化点、聚合速度和流动性的测定.....	218

第一章 金属与铸型的相互作用

普通型砂是由原砂、粘土和水等按一定比例混制成的，其结构如图 1—1 所示。原砂是型砂的骨架，粘土是粘结剂，它被水润湿后，在砂粒表面形成一层粘土薄膜，把松散的砂粒粘结在一起，使型砂具有一定的工艺性能。在被粘土膜包围的砂粒之间，有一定的空隙，它使型砂具有一定的透气性。

浇注时，液体金属通过浇注系统注入型腔后，与铸型产生了剧烈的、复杂的相互作用。例如，液体金属对铸型加热，使铸型温度升高；而铸型吸收金属的热量，使金属凝固、冷却，这是金属与铸型相互的热作用。在充填铸型的过程中，液体金属对铸型冲击，在金属的凝固、冷却过程中，体积发生收缩，对铸型施加作用力，而铸型对金属的冲击与收缩加以阻碍，这是金属与铸型相互的机械作用。

在浇注以后，液体金属与型腔里和砂粒空隙中的空气发生反应，或者与造型材料发生反应，生成新的反应物，这是金属与铸型相互的化学作用。

如上所述，液体金属与铸型的相互作用有热作用、机械作用和化学作用。这三方面的作用是紧密联系、互相促进的。其中热作用是其它两方面作用的基础，如果金属对铸型的加热越剧烈，则其它两方面的作用就越严重。

液体金属与铸型接触后，铸型内发生了一系列的变化，出现了温度、湿度和气体压力的动态变化梯度，使受热后的铸型性质与常温下的铸型性质有很大的不同，产生了各种的伴生现象。主要有：

在热作用下，型腔表面层的水分向铸型里层迁移；有机物质燃烧或升华；化合物的分解（如硼酸受热后，经过几次脱水，最后分解为硼酐）；石英砂粒的同质异构转变；型壁的膨胀与收缩；型壁强度的变化等。

在机械作用下，液体金属对铸型冲击、冲刷，使型腔胀大，砂芯变形等。

在化学作用下，金属的氧化与燃烧；金属氧化物与铸型材料化合、熔化等。

这些伴生现象的发生，必将对金属发生影响，在不利的情况下，将使铸件产生例如夹砂、砂眼、裂纹、燃烧和侵入气孔等各种缺陷。因此，我们必须对金属与铸型的相互作用及其各种伴生现象进行研究，了解与相互作用有关的各种缺陷的形成机理，以便防止缺陷的产生和提高铸件的质量。

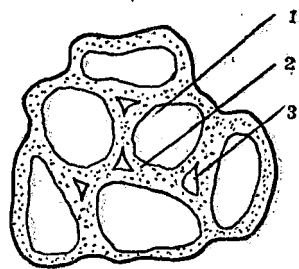


图 1—1 粘土型砂的结构

1—砂粒；2—粘土膜；3—空隙。

第一节 金属与铸型相互的热作用及其伴生现象

一、金属对铸型的加热及铸件的冷却

浇注前，铸型的温度通常就是车间内的温度。浇注后，由于液体金属与铸型之间存在很大的温度差，两者就发生剧烈的热交换。液体金属通过热传导、热辐射和对流的方式，将热

量传递给铸型，使铸型温度不断地升高。而铸型吸收了铸件的热量，使铸件的温度不断地降低。当两者的温度达到基本平衡时，就同时冷却下来，如图 1—2 所示。

研究液体金属对铸型的加热，主要是研究在不同时间内铸型各点温度变化的情况，以及铸型在不同时间内所吸收的热量。研究的方法有数学分析法、模拟法（电模拟和水力模拟）以及实测法等。

液体金属浇入铸型后，铸型吸收金属的热量，使型壁内不同点的温度先后升高。金属液的温度逐渐降低，随后进行凝固、冷却。在铸件和铸型中不同点的温度是随时间的变化而变化的。即使在同一点上，其温度也随时间的变化而不断地变化着。因此，铸件与铸型的热交换是属于不稳定的导热问题。要从理论上准确地决定铸型被加热的程度是件非常复杂的问题。到目前为止，还没有一个既有严格的科学根据，又便于应用的办法。这是因为影响液体金属对铸型加热的因素很多。在进行理论计算时，要将所有的因素都考虑进去是不可能的。但考虑到有些因素如果加以简化或忽略不计，所引起的误差不大，而这样做却给理论计算带来了很大的方便。因此，运用数学分析法研究铸型温度场时，一般作了下列的假设：

- (1) 铸型与铸件的接触面是一个平面；
- (2) 铸型与铸件在界面上的温度是相同的；
- (3) 铸型与铸件平面都是无限大的，即只考虑 x 方向的热传导；
- (4) 在整个过程中，铸型材料的各热学常数不随温度变化；
- (5) 不论在铸件或铸型中都不发生吸热及放热反应；
- (6) 浇注时，液体金属对型腔中空气的加热以及因对流热传导造成的热量损失，不予考虑。

根据上述的近似假定，可把铸件对铸型的加热看作一向不稳定的温度场，即是一维传热问题，写出其付立叶导热微分方程，经过一系列复杂的数学推导，可得出铸型中各点的温度与时间的关系为：

$$t = t_0 + (t_K - t_0) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{4a\tau}} \right) \right] \quad (1-1)$$

式中：

- x —— 铸型中某点至型腔表面的距离（米）；
- t —— 铸型中距型腔表面为 x 处的温度（℃）；
- t_0 —— 铸型的初始温度（℃）；
- t_K —— 金属的温度（℃）；
- τ —— 铸型被加热的时间（小时）；

$\operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{4a\tau}} \right)$ —— 误差函数；

a —— 铸型材料的导温系数（米²/小时）；

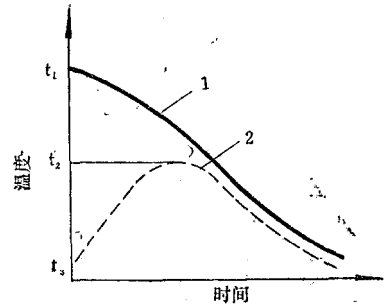


图 1—2 铸型的加热与铸件的冷却曲线

1—铸件；2—铸型。

a = λ / (cγ)

- λ —— 铸型材料的导热系数(千卡/米·小时·度);
- c —— 铸型材料的比热(千卡/公斤·度);
- γ —— 铸型材料的容重(公斤/米³)。

在上述的条件下, 根据铸型吸热与铸件放热的热平衡方程式, 可得出铸型所吸收的热量 Q为:

Q = (a / √π) * bF (t_b - t_0) √τ (1-2)

式中:

- b —— 铸型材料的蓄热系数(千卡/米²·小时¹/²·度);
- b = √(C · γ · λ);
- F —— 铸型的面积(米²)。

如果铸型材料的容重、比热和导热系数为已知, 根据公式(1-1)及(1-2), 就可求出在某一瞬间内铸型的温度分布和它所吸收的热量。表 1-1 为某些型砂的热物理性能。

表1-1 某些型砂的热物理性能

序 号	原 砂 牌 号	粘 结 剂		湿 含 型 水 的 量 (%)	烘 干 规 范		金 属 温 型 界 面 与 铸 的 (℃)	容 重 (γ)	比 热 (c)	导 热 系 数 (λ)	导 温 系 数 (a)	蓄 热 系 数 (b)
		名 称	数 量 (%)		温 度 (℃)	时 间 (小时)						
1	50/100	膨 润 土	5	2.5-3	220	12	548 798 1083	1.49	0.246 0.257 0.272	0.0010 0.0012 0.0017	0.0028 0.0033 0.0042	0.019 0.022 0.026
2							548 1083		— —	— —	— —	— —
3	70/140	普 通 粘 土	适 量	5	260	12	548 1083	1.56	0.246 0.272	0.0010 0.0014	0.0023 0.0033	0.020 0.024
4							548 1083		— —	— —	— —	— —

注: ①单位均按C、G、S制;
②铸型的初始温度为20℃。

用直接测温的方法来了解铸型受热后, 型壁中各点温度变化的情况, 是目前应用最广泛的方法。其实质是在距型腔表面不同距离的地方安置热电偶, 并加以固定, 用多点自动电子电位差计作为测量温度和记录的装置。液体金属注入型腔后, 就能立即地测量和记录在不同的时间间隔内, 铸型各点温度变化的情况。

图 1-3 和图 1-4 分别为在干型和湿型中浇注含铜30%的铝合金, 直径为12.7厘米的

铸件时，铸型中各点的温度变化曲线。从图中可以看出，铸型被加热后，具有如下的特点：

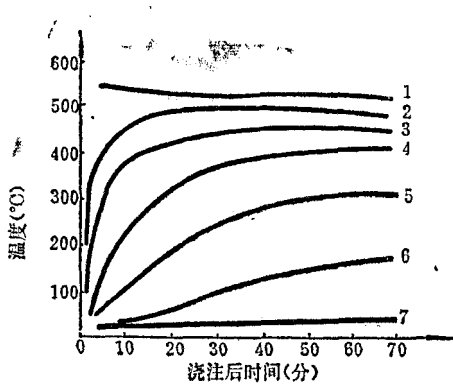


图 1—3 干型的加热曲线

1—型面，2—2.7毫米，3—6.5毫米，
4—13.3毫米，5—25.2毫米，6—50.8
毫米，7—101.6毫米。

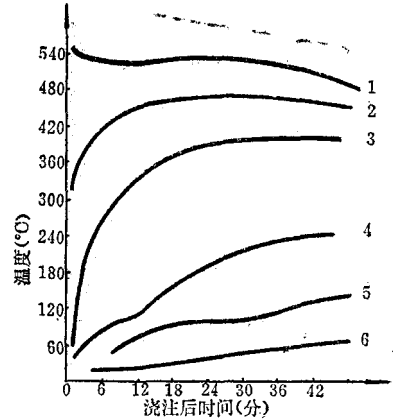


图 1—4 湿型的加热曲线

1—型面，2—3毫米，3—9毫米，
4—28毫米，5—49毫米，6—95毫米。

(1) 浇注后型腔表面层的温度迅速地接近液体金属的温度，而铸型其它部分仍然处于相当低的温度。

(2) 由于型砂的导热性能差，受热后，不能迅速地把热量从型腔表面层传递给里层，使大量的热量聚集在型腔表面层，造成表面层与里层之间存在很大的温度差。越靠近型腔表面，温度越高，而远离型腔表面层的温度就越低。随着时间的延续，温度差才逐渐地减小。

从图中还可以看出，干型表面层的温度比湿型高。这是由于湿型的热容量比干型大（约大1.5~2倍），湿型所吸收的热量有一部分消耗于水分的蒸发；另一方面，由于水分蒸发时产生了较大的蒸汽压力，增加了铸型的导热率，能够比较迅速地把表面层的热量传递到温度较低的里层去的缘故。

二、铸型湿分的迁移

湿分是水分和水蒸汽的总称。湿分迁移是指水分和水蒸汽的迁移现象。大家知道，湿分迁移的方向，主要取决于湿度梯度和温度梯度。在一般的情况下，这两个梯度的作用是不同的，在湿度梯度作用下，湿分是向减少的方向移动，即由里层向型腔表面迁移。在温度梯度的作用下，湿分是向低温的方向移动，即由型腔表面向里层迁移。湿分总的迁移方向，取决于两个梯度的大小。例如在砂芯或铸型烘干时，因升温的速度缓慢，加热温度较低，故湿分的迁移方向取决于湿度梯度。在浇注时，由于升温的速度非常迅速，加热的温度很高，这时湿分的迁移方向将取决于温度梯度，湿分的迁移方向不是指向热源的方向，而是向低温的方向迁移。即从高温的型腔表面层向低温的里层迁移。结果使表面层的水分减少，而里层的含水量大大增加，这种现象在湿型中更显著。图 1—5 为浇注后某一瞬间，湿型型壁中的温度与湿度分布情况。在此时可把型壁分为四个区域：

第一区域——干燥区。它是从金属与铸型的界面到温度为 100°C 的地方，如图中的 OA 段。该区的温度高于 100°C ，自由水分都被蒸发，产生了大量的气体，所以又称为发气区。在不利的条件下，气体可能侵入液体金属中，使铸件产生气孔等缺陷。

第二区域——水分凝聚区。它是从铸型温度 100°C 至 50°C 左右的地方，如图中的 AB 段。这个区域的水分高达 $10\sim 15\%$ ，为正常水分的 $2\sim 3$ 倍。所以又称为水分凝聚区。水分之所以特别高，一般作如下的解释：

(1) 由于温度梯度所造成的表面张力的差值，促使水分在铸型的毛细管中，从高温处向低温处流动。因为高温处水的表面张力较小。

(2) 铸型表面层中的水分蒸发时，挤压铸型中其他的水分，使这些水分向温度低的里层移动。

(3) 由于这个区的温度较低，干燥区迁移到这里的水蒸汽，又重新凝结成水分。

由于这个区域的水分过高，在砂粒间甚至出现了自由水，使型砂的强度降低。一般只为正常区的强度的三分之一至十分之一。这些多余的水分堵塞了砂粒间的孔隙，使型砂的透气性大大降低。由于型砂的透气性低，干燥区所产生的气体不能迅速排除出去，提高了界面上的气体剩余压力。在不利的条件下，有可能侵入液体金属中，使铸件产生气孔。

第三区域——过渡区。它是从铸型温度为 50°C 至室温的地方（假定铸型浇注前为室温），如图中的 BC 段。这个区域的水分比正常的水分稍高，但其分布是不均匀的，随着至型腔表面距离的增加而减少，直至趋向于正常的水分，因此称为过渡区。

第四区域——正常区。它是从铸型温度为室温至砂箱壁处，如图中的 C 点以后。这个区因未受液体金属热作用的影响，其温度和水分都保持正常的状态。

随着热作用时间的延续，型壁中的 A、B、C 各点的温度将继续提高，也就是说干燥区在一定的时间内将不断地扩大，水分凝聚区将不断地向型壁的深处推进。因此，上述区域的大小、位置随着时间的延续在不断地变化着。必须指出，当液体金属表面尚未凝固成硬壳之前，干燥区与水分凝聚区的大小及位置对铸件的质量有很大的影响。但当液体金属表面已经凝固并具有足够的强度后，湿分迁移对铸件质量的影响就不明显。

根据湿分迁移的理论，在铸型工艺上应注意以下几个问题：

(1) 在造型取模前，上砂箱应该用通气针（ $\Phi 5\sim 8$ 毫米）扎通气孔。其高度必须很好加以控制，既要防止扎坏模型的工作表面，又要尽量地使通气孔接近模型的工作表面，使干燥区（发气区）所产生的气体能进入通气孔逸出型外，如图 1—6 所示。如果通气孔扎得太浅，没有穿透水分凝聚区，那么干燥区所产生的气体仍将被水分凝聚区所阻碍，就无法进入通气孔逸出型外。

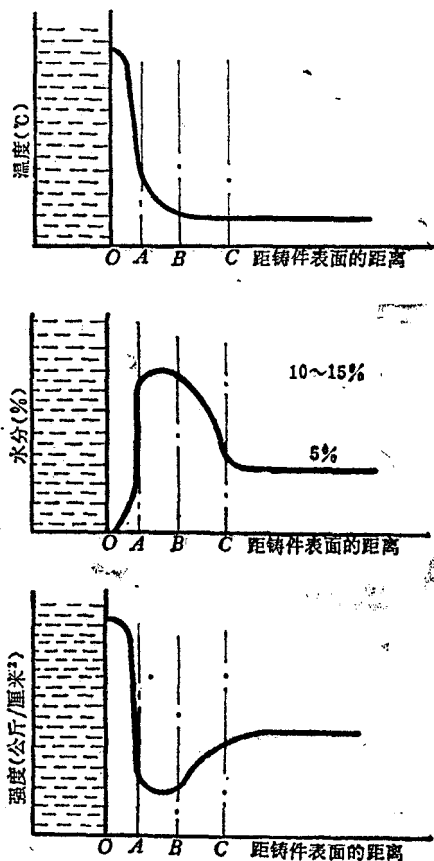


图 1—5 型壁中温度与湿分及强度的变化情况

(2) 从防止铸件产生侵入气孔的角度来看,面砂应具有较高的强度和较少的含水量,背砂应具有较好的透气性,这样在浇注时,由于型腔表面层的含水量少,所产生的水蒸汽就少。而且,由于背砂层的透气性好,能迅速地把气体排出型外,使金属与铸型界面处的气体剩余压力大为降低,从而减少了气体侵入金属液内的可能。

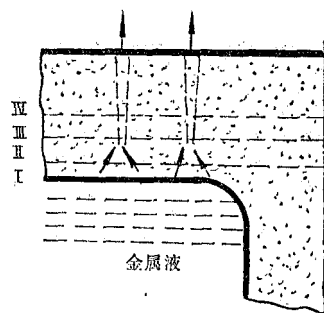


图1—6 通气孔的深度

(3) 在生产大型铝镁合金铸件时,可采用表面干型(即用加热的方法除去型腔表面层的水分)。由于型腔表面层的水分少,浇注时发气区产生的气体就少。因此,铸件产生侵入气孔等缺陷的可能性就大大减少。

型腔表面干燥层的厚度应适当,如果厚度太大,既浪费燃料,又延长了生产周期。如果厚度太小,效果不好,达不到应有的目的。合适的表面烘干层的厚度应该是,在铸件表面尚未凝固并足以抵抗气体侵入的硬壳(凝固层)时,型壁中被加热到 100°C 以上的发气区范围应小于表面烘干层的厚度。当铸件表面已凝固并足以抵抗气体侵入的硬壳后,发气区的范围才扩大到型壁中尚未烘干的部分。这样,就有可能防止侵入气孔的发生。

(4) 采用干型可以减少铸型的湿度和提高铸型的强度,这是毫无疑问的。但决不是说,干型铸造时,就没有湿分迁移现象。由于铸型和砂芯的烘干温度都较低,只去除自由水。浇注时,由于砂芯中的有机物燃烧,粘土矿物中的组成水析出,产生了相当数量的气体和水蒸汽,也会引起湿分迁移。因此,在干型的型壁中也可能存在上述四个区域及其变化过程。当然,由于干型在浇注前的含水量比湿型少,所以水分凝聚区的含水量将比湿型少得多。但是,如果铸型和砂芯没有烘干,或者烘干以后又再返潮,那么,在浇注时也可能产生高水分、低透气性的水分凝聚区。

三、铸型强度的变化

浇注后,由于铸型中存在湿度梯度和温度梯度,因此,使铸型强度也发生变化,如图1—5所示。

(1) 干燥区 这个区因剧烈地被加热,水分被除去,干燥得很好,强度很高,如图1—5中的OA段。由于粘土型砂的强度在一定温度范围内,随着温度的升高而不断地增加,当加热到粘土结构破坏的温度(约在 $960\sim 1050^{\circ}\text{C}$)时,达到最大值,随后如继续升温,粘土将发生软化或熔化,使强度迅速地降低。

(2) 水分凝聚区 由于这个区的水分过多,一般比正常区约高 $2\sim 3$ 倍,因此,使型砂的强度大大地降低。水分凝聚区发生在温度为 $100\sim 50^{\circ}\text{C}$ 之间,这时的强度叫做“热湿态强度”,一般用“热湿拉强度”来表示。热湿拉强度比正常的湿强度低得多。因此,容易产生表面层与里层分离的现象,使铸件产生夹砂等缺陷。

(3) 过渡区 其强度随距型腔表面层距离的增加而提高,直至趋于浇注前的湿态强度。

(4) 正常区 其强度同浇注前的湿态强度一样。

有机粘结剂在高温下将发生分解或烧失,使砂芯的强度很快降低。例如酚醛树脂砂壳型试样(厚度为10毫米);在常温下的抗拉强度为 $15\sim 35$ 公斤/厘米²。如果在 500°C 的炉中加热 $1.5\sim 2$ 分钟后,其强度立即降为 $4\sim 5$ 公斤/厘米²。加热时间为7分钟时,其强度降为零。如

果将试样放入温度为700℃的炉中，加热1.5~2.5分钟，其强度立即为零。因此，为了获得性能良好的砂芯，必须严格控制其烘干规范。

四、石英砂的膨胀和粘土失水干缩

原砂和粘土是型砂的主要组成部分，它们在受热的过程中，体积都发生了变化。表现在石英砂的膨胀和粘土的失水干缩。

加热时，原砂的体积将发生膨胀。其原因主要有两个方面：一是原砂因温度升高而产生热膨胀；二是因温度升高β石英发生同质异构变化而产生的膨胀。

原砂的矿物组成主要是石英，它的基本结构单位是硅氧四面体，四个氧原子位于四面体的顶端，硅原子位于四面体的中心，每个四面体又和周围的四面体共用顶端的氧原子，即每个硅原子与四个氧原子相连，如此向空间无限地伸展。β石英的连结如图1—7所示。石英在不同的温度下有以下几种同质异构体：α和β石英；α、β和γ鳞石英；α和β方石英等。其同质异构的转变很复杂，如图1—8所示。

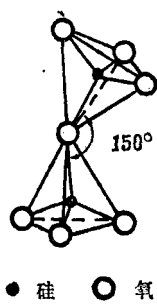


图1—7 β石英四面体的连结图

天然的石英为β石英，随着加热温度的升高体积不断地膨胀，当加热至573℃时，β石英就转变为α石英。这个转变很迅速，只要加热温度到达转变点，全部β石英就立即转变为α石英。如果再冷却到573℃以下，α石英又转变为β石英。因此，在自然界中难以找到天然的α石英。温度升高至870℃，并有强的催化剂(如钨酸钠 $\text{NaWO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)的作用下，将有一部分的α石英开始转变为α鳞石英。加热至1470℃时，α鳞石英将转变为α方石英。

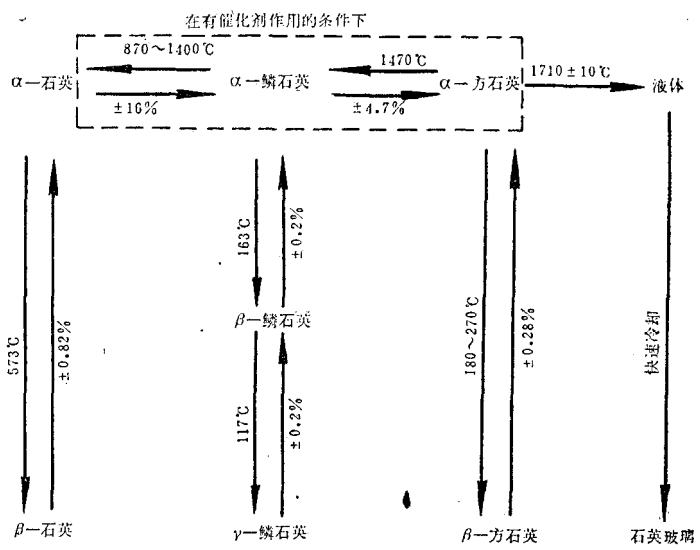


图1—8 石英的同质异构变化

但要注意，这个转变是有条件的，即必须有强的催化剂作用，并经过长时间的高温加热才有可能进行。当加热温度高于1713℃，全部熔化为液体，急冷后成为非晶体的石英玻璃。

在浇注时，铸型被加热的时间较短，整个铸型的温度也不高，同时又缺乏催化剂。因此，由α石英转变为α鳞石英和α方石英是难以进行的。对铸造生产来说，必须考虑的是在573℃，由β石英转变为α石英时的体积膨胀问题。虽然这时的体积膨胀不到1%，但由于这个转变是突然产生的，因此，它将影响铸件的尺寸精度，并可能使铸件产生夹砂、砂眼等缺陷。

粘土在加热烘干过程中，体积也将发生变化。其变化情况与粘土的种类和水分在粘土中的存在形式有关。水分在粘土中的存在形式有以下几种：

(1) 矿物组成水 包括结构水、结晶水和晶层水等三种。结构水是以 H^+ 和 OH^- 离子

的形式存在于矿物的结晶格架的一定位置上，它有一定的数量。结晶水是以水分子 H_2O 的形式存在于矿物结晶格架的一定位置上，也有一定的数量。晶层水是以水分子 H_2O 的形式存在于晶层之间，其数量不定。

(2) 吸附水 一般指粘土胶团中的外吸附层和扩散层中的水。它被吸附在粘土质点表面上，而不进入晶格中，吸附水与粘土质点的结合不像矿物组成水那样牢固。

(3) 自由水 一般指远离粘土质点而机械混入的水。

粘土中不同形式的水与粘土质点的结合力是不同的，矿物组成水最牢，吸附水次之；自由水最差。不同形式的水被除去的温度是不同的，结合得越牢，失水的温度就越高。

润湿后的粘土在空气中放置，便会风干，失去自由水。其数量取决于空气的温度、湿度、粘土中水分的含量和型砂的紧实度等。随着水分的蒸发，粘土质点相互靠近，体积产生收缩。

粘土加热到 $105\sim 110^{\circ}C$ 左右就失去全部自由水。随着水分的去除，粘土质点相互靠近，出现收缩。高岭石在低温加热时因脱水较少，收缩并不显著。蒙脱石在低温加热时脱水多，收缩显著。尤其是在 $100\sim 200^{\circ}C$ 左右时，失去了大量的晶层水，因此产生了显著的收缩。如果继续加热到一定的温度，粘土就开始失去结构水。根据对粘土矿物进行差热分析的结果，高岭石失去结构水的温度约在 $400\sim 600^{\circ}C$ 。随着水份的消失，体积不断地收缩。蒙脱石加热到 $450\sim 800^{\circ}C$ 左右，就失去结构水，但这时的体积变化并不最显著。

由上述可见，蒙脱石与高岭石在加热过程中，其体积变化有明显的不同。高岭石的主要收缩发生在较高的温度范围；而蒙脱石的主要收缩则发生在较低的温度（ $100\sim 200^{\circ}C$ ）范围内。

型砂可以说是多孔性的材料，它在加热时的膨胀可分为两个阶段。当石英砂的膨胀能被粘土的收缩所抵消，或者说当石英砂粒间的相互移动的摩擦力小于砂型外部的阻力时，这时仅减少砂粒之间的空隙，并不引起铸型尺寸的变化，这个阶段称为显微膨胀。当砂粒间的相互移动的摩擦力大于砂型外部的阻力时，将引起铸型尺寸发生变化，这个阶段称为宏观膨胀。型砂的膨胀对铸件的质量有很大的影响，铸件的很多缺陷，如裂纹、夹砂和尺寸不符等都与型砂的这一特性有密切的关系。

为了减少型砂受热后的膨胀，可在型砂中加入一些在高温时能够收缩或燃烧的物质；或采用粒度分散的原砂；或减低铸型的紧实度等办法都可以减小铸型的宏观膨胀。

五、夹砂

夹砂又叫包砂、结疤和鼠尾等，是一种常见的铸件表面缺陷。尤其在湿型铸造厚大的平板类铸件时，更常出现。铝镁合金铸件常见的夹砂形式，主要有以下两种：

(1) 在铸件表面上有局部凸出的形状不规则的金属瘤状或片状物，在它的下面有一层型砂。一般称为夹砂，如图1—9a所示。

(2) 在铸件表面上出现一条形状不规则的凹坑或折痕，形似老鼠尾巴，故称鼠尾，如图1—9b所示。

夹砂损坏了铸件表面，影响了铸件的精度，增加了清理铸件的劳动量，应加以防止。

1. 夹砂的形成机理

对于夹砂的形成原因，过去有不同的见解，近来由于对型砂高温性能和水分迁移现象深

入研究之后，才有比较一致的看法。图1—10为夹砂形成过程的示意图。

型腔表面层在液体金属的热作用下，水分向里层迁移，使凝聚区的水分急增，强度降低。与此同时，型腔表面层的温度很快升高。但由于型砂的导热性能差，不能迅速地将热量传递到里层去，造成表面层与里层之间存在很大的温度差，产生了热应力。

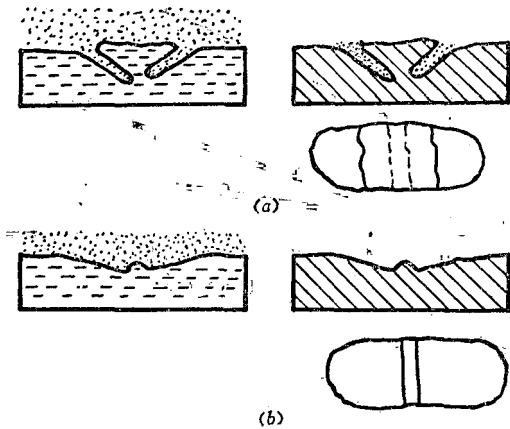


图1—9 夹砂的形式

a—夹砂；b—鼠尾。

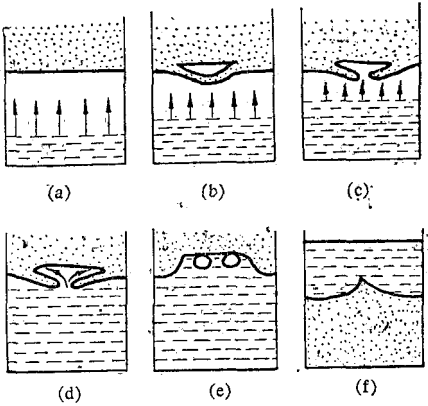


图1—10 夹砂形成示意图

型腔表面层的石英砂受热后发生相变，由 β 石英转变为 α 石英，体积突然膨胀。而里层的石英砂还没有达到相变温度，阻碍表面层的膨胀，结果产生了相变应力。

在热应力和相变应力的作用下，尤其是在相变应力的作用下，型腔表面层产生了压应力。当压应力超过某一数值时，表面层便脱离里层而拱起来，如图1—10b所示。拱起的薄砂层可能由于粘土的高温失水而干缩，或由于气体压力的作用而开裂，如图1—10c所示。如果在薄砂层刚刚开裂时，液体金属马上升上来，把开裂的薄砂层压回到原来的位置，在铸件表面上就不会产生夹砂。

如果薄砂层开裂后，上升的液体金属不能使薄砂层闭合，金属液就流入裂缝并留在里面，就产生第一种形式的夹砂。

有人对产生夹砂时，型腔表面层拱起的力学条件，设想如图1—11所示。

在上砂箱的A、B间的砂型部分，表面层的热应力 F_1 为A、B两端的阻力 F_2 和表面层与里层之间的摩擦阻力 F_3 所平衡。当 $F_1 > F_2 + F_3$ 时，表面层将拱起并开裂，使铸件产生夹砂缺陷。

如果里层的水分很高，热湿拉强度很低，则表面层将容易拱起并开裂，使铸件产生夹砂缺陷。如果下箱的型腔表面局部拱起而不开裂时，则产生鼠尾缺陷，如图1—10f所示。

砂型内的气体压力，将促使型腔表面的分层和开裂，但由于气体的压力较低，与热应力及相变应力相比较，它不是主要的因素。

如果型腔表面层的拱起和开裂，发生在铸件已凝固且具有足够强度的硬壳层之后，那末就不会发生夹砂缺陷。

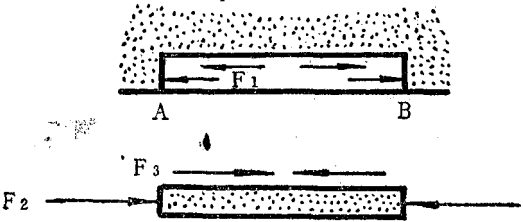


图1—11 上箱砂型表面层产生夹砂时应力示意图