

悬浮铸造

王 金 华 编



229
32

国防工业出版社

悬 浮 铸 造

王金华 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书重点介绍了悬浮铸造的工艺原理;悬浮铸造对铸铁、铸钢、铸铝组织与性能的影响和应用实例,以及微型冷铁的添加装置、加入量的确定和它的制备等方面的问题。

本书可供铸造专业的技术人员、技术工人及大专院校有关专业师生参考。

悬 浮 铸 造

王金华 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₃₂ 印张 4³/₄ 98 千字

1982年2月第一版 1982年2月第一次印刷 印数: 0,001—3,000册

统一书号: 15034·2298 定价: 0.52元

目 录

第一章 绪 论

第一节	什么是悬浮铸造	1
第二节	悬浮铸造的发展概况及优点	3
第三节	悬浮铸造法的种类与改进	6
第四节	悬浮铸造金属的结晶和凝固特点	8

第二章 悬浮铸造的工艺原理

第一节	粉末和粉末混合物的特点	22
第二节	粉末的工艺性能和作为微型冷铁用时对它的要求	27
第三节	往金属液中添加微型冷铁的装置	30
第四节	缩短悬浮浇注时间的措施	36
第五节	微型冷铁在浇道中的熔化时间和金属液温度的计算	40
第六节	微型冷铁合理加入量的确定	49
第七节	悬浮铸钢件冒口的计算	54

第三章 悬浮铸造对铸钢组织和性能的影响及应用实例

第一节	对铸钢的铸造性能和宏观组织的影响	69
第二节	对铸钢机械性能的影响	86
第三节	应用实例	104

第四章 悬浮铸造对铸铁、铸铝组织与性能的影响及应用实例

第一节	悬浮铸造对铸铁组织与性能的影响	120
-----	-----------------	-----

II

第二节	悬浮铸造对铸铝合金组织与性能的影响	126
第三节	悬浮铸造对厚大铸铁件的组织与性能均匀性的影响 ...	129
第四节	用悬浮铸造法生产铝铸铁件	134

第五章 微型冷铁制备工段的设计 及悬浮铸造的经济效果

第一节	微型冷铁制备工段的设计	140
第二节	悬浮铸造的经济效果	143

第一章 绪 论

第一节 什么是悬浮铸造

悬浮铸造（又称悬浮浇注）就是在浇注金属液时，将一定量的金属粉末材料加到金属液流中，使其与液流掺和在一起而流入铸型的一种铸造方法。这样，浇注到铸型中的就不再是通常的过热金属液，而是含有固态悬浮颗粒的悬浮金属液。所添加的粉末材料，如铁粉、各种铁合金粉、铸铁丸、钢丸等称为悬浮剂。由于它们也具有通常的内冷铁作用，因此又常称其为微型冷铁。

在进行悬浮铸造时，粉末材料既不是加到浇包中，也不是直接加到铸型中，而是在浇注时加到浇注系统中，见图 1-1。因为粉末材料加到浇包中将降低金属液的温度（流动性）而难以浇注；直接加到铸型中则很难均匀分布。因此，悬浮铸造的铸型结构与普通砂型结构的差别，主要是在浇注系统方面。前者比后者增加了专用的浇口铸型，见图 1-1 中，2。此浇口铸型各部分相互位置如图 1-2 所示。它有一个离心式集液包 2，当金属液沿着侧面呈切线方向进入其中后即绕其中心线 3 旋转，而后通过直浇道 4 流入铸型。由于旋转，金属液在集液包 2 中形成一个漏斗形的空腔（漩涡中心），造成负压，吸住由供料斗 1 中撒落下来的粉末状微型冷铁，并将其卷入液流中心，使微型冷铁不致于粘附到浇注系统壁上

而妨碍金属液流动。通过对悬浮铸造浇注系统的剖视表明，微型冷铁在内浇口中逐渐散开，均匀分布，随金属液流入铸型中。

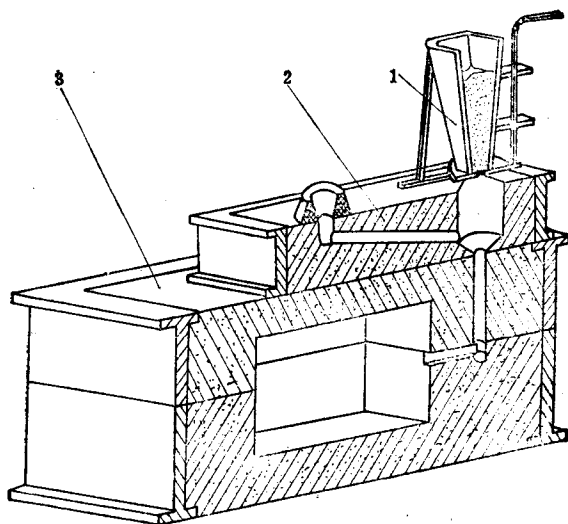


图1-1 悬浮铸造示意图

1—装微型冷铁的供料斗，2—专用的浇口铸型，3—铸型。

由上可见，悬浮铸造工艺过程并不比普通砂型铸造复杂多少。当然，为了获得较好的效果，对其工艺参数（如微型冷铁加入量、浇注系统结构及尺寸等）还必须予以很好地控制。

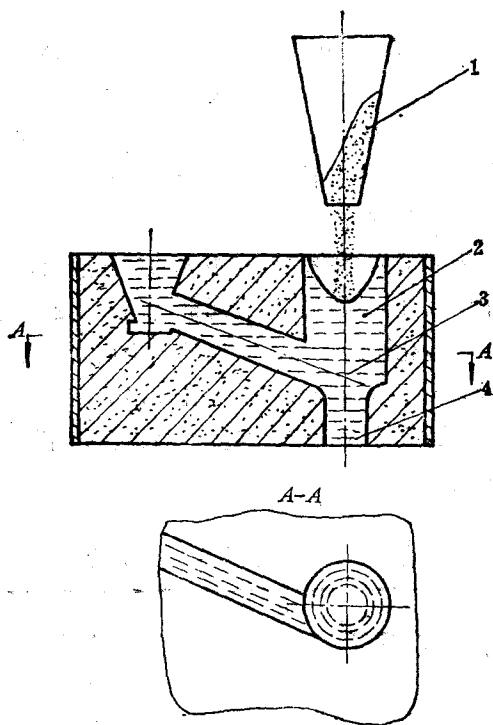


图1-2 悬浮铸造的浇法系统示意图

第二节 悬浮铸造的发展概况及优点

早在二十年前，苏联的 A. A. 雷日柯夫等就进行过悬浮铸造的试验工作。近些年来，高尔基工学院、乌克兰科学院铸造研究所等单位对悬浮铸造进行了多方面的研究工作。研究表明，悬浮铸造在提高铸件和铸锭质量方面具有很大的作用。目前，这一铸造方法已发展成为一种有实用价值的生产

工艺。它不仅用于控制铸锭的凝固过程，而且应用于成形铸件的生产，成功地铸造出优质的大型铸钢件、铸铁件。对离心铸管、连续铸造、电渣铸锭，它也显示出良好的效果。苏联的造船、冶金矿山设备等部门的一些工厂已用这种铸造工艺生产了重达 10 吨的各种铸钢、铸铁件。如透平机体、锚链、平炉加料箱、大型钢锭模等等。

由于粉末状的微型冷铁具有很大的活化表面，并又均布于金属液中，因此，通过它与金属液之间产生的一系列机械的、热的、物理化学的作用，可以控制金属（铸件）的结晶凝固、孕育与合金化的进程。C. C. 扎图洛夫斯基等按微型冷铁的主要作用将其分为三类，各类的特点、作用、加入量及应用概况见表 1-1。

表1-1 微型冷铁作用的分类

类别	特 点	作 用	加入量 (%)	应用举例
冷却剂	其颗粒的化学成分和金属液相同	吸收过热金属液的热量	0.5~5	添加铁粉铸造碳钢铸件、锻造用钢锭和连续铸锭
孕育剂	其颗粒的化学成分与金属液不同，是一些能消除过冷、对氧亲和力较大的活性金属	改变组织的大小、形态和分布，形成新的弥散相	0.01~0.5	增加孕育效果，连续铸锭时在型中孕育
合金添加剂	其颗粒的化学成分与金属液不同，是一些非活性金属	形成新相和组织，提高合金元素的含量	0.5~3.0	制造合金钢和合金铸件

需要指出的是，在微型冷铁中还常配入脱氧剂（锰、铁、硅、钙等），以消除和减少由于添加微型冷铁而在钢液中增加的氧化物量。

根据微型冷铁的作用，普遍认为悬浮铸造作为在铸型内直接控制铸件凝固过程的有效方法将被广泛地采用；用悬浮铸造法使碳钢、铸铁在铸型内合金化，生产一些合金钢、合金铸铁及特种钢铸件，是一种非常有发展前途的方法；亦完全可以期望用这种铸造方法来改进铸铝、铸铜件的质量。

试验研究与生产实践表明，悬浮铸造法有以下优点：

（1）明显地提高铸钢、铸铁的机械性能和厚大截面铸件机械性能的均匀程度；

（2）较大地减少金属的体收缩，减少缩孔体积，消除或大大减少轴线缩松，使铸钢件冒口金属消耗量减少20~30%；

（3）提高合金的抗热裂性能，如在制造薄壁的和形状复杂的铸钢件时，热裂废品减少了 $\frac{1}{2} \sim \frac{3}{5}$ ，热裂缺陷的修补量减少了 $\frac{2}{3} \sim \frac{4}{5}$ ；

（4）减少甚至完全消除厚壁铸件和铸锭中化学成分的不均匀性，这一点很重要，因为集中的V形与倒V形偏析是厚壁铸钢件和铸锭最普遍存在而又最难消除的缺陷；

（5）提高了铸件和铸锭的凝固速度，改善了铸型受热状况，因而可减少砂型铸造的热粘砂，提高金属型和钢锭模的寿命，对于连续铸造来说则可增加生产率。

当然，悬浮铸造也有其不足之处，如必须仔细地准备微型冷铁；要求在浇注过程中组织工作较严密；要求适当提高和仔细地控制浇注温度等。

还有一点需要指出的是：添加微型冷铁将使金属中非金属夹杂物含量增加。但当微型冷铁加入量不太大时（2~4%），所产生的非金属夹杂物量对铸件性能无不良影响；当添加的微型冷铁能改变非金属夹杂物的形态、分布时，金属的性能还能得到改善。

第三节 悬浮铸造法的种类与改进

一、种类

有两类悬浮铸造法：外生悬浮铸造与内生悬浮铸造。本书中所介绍的是外生悬浮铸造法，即通过外加粉末状悬浮剂（微型冷铁）来实现悬浮铸造。如果金属液中的固相质点不是外加的，而是采用特殊的工艺方法由金属液自己产生，则称为内生悬浮铸造法。在这种金属液中将不产生附加的非金属夹杂物。不过内生悬浮铸造的工艺与设备比外生悬浮铸造要复杂得多。

在现有的内生悬浮铸造方法中，以美国M. 弗列明格森等研究的方法最令人感兴趣。他们将 Sn-15%Pb 合金进行强烈的机械搅拌，以阻止固相晶体形成连续的空间骨架而形成细小的固相质点。借助于这种搅拌和平缓地降温所得的悬浮金属液，甚至在固相含量达 50% 时还具有流动性，可用来进行悬浮铸造。

二、改进

随着悬浮浇注的发展，又拟定和试验了以下几种方法：

1. 利用电能的方法

（1）用电磁搅拌将微型冷铁和金属液进行混合。此方法能用于铸造大型铸锭和连续铸钢；

(2) 在浇注铸型和锭模时, 用电磁脉冲方法将微型冷铁加到金属液流中。此装置仅适用于添加材料是铁磁性的;

(3) 用电磁泵添加微型冷铁;

(4) 用感应旋转方法使微型冷铁形成一个“沸腾层”, 然后使金属液通过此层浇入铸型;

(5) 在隙缝式热交换器中和电磁泵输送中冷却金属液。

2. 利用真空和振动的方法

(1) 依靠金属液在真空中以分散的细流沿着附加振动的热交换器运动, 而得到悬浮金属液;

(2) 当在真空中浇注金属液时, 依靠在热交换器空腔中冷却介质的熔化和蒸发使金属液流急剧冷却, 而得到悬浮金属液;

(3) 通过一个振动的漏斗浇注金属液, 使下落的金属液流得到附加的冷却。

3. 利用气体的方法

(1) 当在附加的热交换器的空腔中使金属液流雾化时, 急剧地冷却金属液;

(2) 在浇注时将微型冷铁吹到金属液中;

(3) 用惰性气体和粉末状微型冷铁吹炼金属液;

4. 其他方法

(1) 将微型冷铁通过柱塞式漏包加到下落的金属液流中心, 此法能应用于连续铸钢装置上, 以制造大型铸件和铸锭;

(2) 用聚苯乙烯泡沫塑料制造模型, 将微型冷铁充填于泡沫孔中, 用这种模型进行实型铸造就得到悬浮金属液。此法能用于铸造小铸件;

(3) 用装在浇包上的自动装置将微型冷铁加到下落 的金属液流中,用此法可以保持较大的金属压头浇注成形铸件。

上述的几种方法,有的需要较复杂的设备,有的还不够完善,有待进一步研究改进。

第四节 悬浮铸造金属的结晶和凝固特点

研究表明,铸件的组织与缺陷主要是在结晶凝固期形成的。因此,研究悬浮铸造金属的结晶凝固特点,对于了解这种铸造方法对铸件组织性能影响的实质,正确地控制这种方法的工艺参数等都是十分必要的。

当将微型冷铁加到大型铸钢件或铸锭中时,它与金属液将产生一系列机械的、热的、物理化学的反应,见图 1-3。这些反应是微型冷铁影响金属液结晶凝固的原因,也正是这些反应决定了悬浮铸造金属的结晶凝固特点。

一、悬浮铸钢的结晶特点

由图 1-3 可知,悬浮铸钢的结晶特点与微型冷铁和金属液之间发生热作用时的一系列物理化学反应有关。这些反应控制了铸件组织的形成和性能,反应的机理很复杂,与许多伴随的因素有关。目前,还不可能用数学公式来表示这些因素之间的关系。归结起来有以下几点:

(1) 由于微型冷铁吸收金属液热量的速度很快,使其产生一个过冷度。在此过冷度下,金属液中原子集合体的稳定性得到提高,在钢液的过冷度是 1° 时,形成一个晶核平均大约需要 200 个原子,而在钢液过冷度是 10° 时,只需要 20 个原子。这样,在整个钢液中,就由这类原子集合体开始形成结晶核心并进一步长大。而且由于钢液处于过冷条件

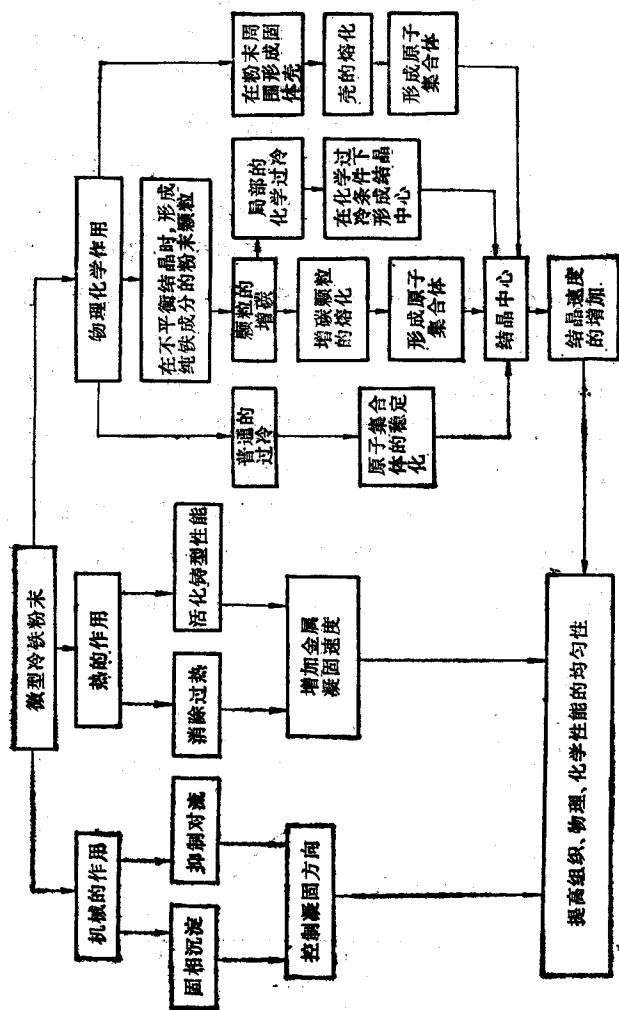


图 1-3 微合金化铁粉末对钢液的主要影响

下，因此能产生出新的并能进一步长大的晶核。

(2) 当微型冷铁加到金属液中时，在金属粉末颗粒周围的金属液就凝固而形成一个固态金属壳。随后，这个壳又熔化形成许多原子集合体。由于金属液冷得快，并达到一定的过冷度，因此，这些原子集合体就形成并长大成结晶核心。

(3) 在微型冷铁粉末与钢液进行热作用过程中，在不平衡结晶时，由于微型冷铁粉末“选择熔化”（不同于“选择结晶”），它几乎是纯铁的成分。在粉末颗粒中，首先熔化的是偏析组元浓度较高的部分，其示意图见图 1-4(a)。在温度接近液相线的钢液中，这种颗粒的稳定性较高。可以认为，在铁磁状态图上，固相的平衡成分向左移动，见图 1-4(b)。此时，弥散相（熔化的粉末颗粒）和弥散介质（钢液）之间的温差是 Δt_1 ，在成分接近于纯铁的粉末颗粒和基本金属液之间存在的浓度差使上述的颗粒产生增碳现象，并相应地降低了粉末颗粒周围钢液的含碳量（由 C' 降到 C ）。

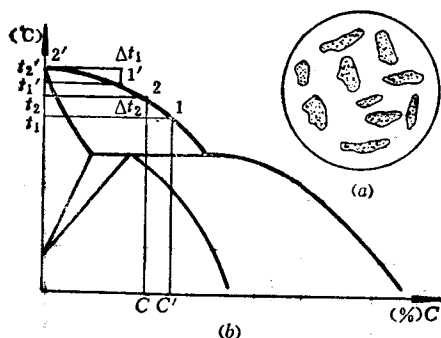


图1-4 微型冷铁与钢液相互作用的过程

(a)——微型冷铁颗粒的选择熔化；(b)——在作用过程中，微型冷铁及钢液的含碳量的变化。

接近固相颗粒的钢液成分，从状态图上看是向左移动，它的液相线温度从 t_1 提高到 t_2 。这将引起钢液的过冷 $(t_1 - t_2) = -\Delta t_2$ ，这种化学过冷导致于在钢液中各固相颗粒附近形成大量的结晶中心，并且在此条件下，它们具有进一步长大的能力。

随着粉末颗粒的增碳，钢液的液相线温度提高，而颗粒的熔化温度下降，这样就增加了粉末颗粒熔化的可能性。由粉末颗粒形成很多原子集合体，当钢液温度下降时，这些原子集合体合并，从而增加了结晶中心的数目。很明显，固相的增碳一直延续到钢液达到临界过冷度为止，此种临界过冷度是围绕固相颗粒形成结晶中心所必须的。

上面所研究的微型冷铁和钢液相互作用的特点使所形成的微观不均匀系统的结晶速度有很大的提高，由于这个原因，在凝固温度范围内，生长着的晶体成分的变化将不按状态图上的平衡线而是按虚线 2 进行，看图 1-5。

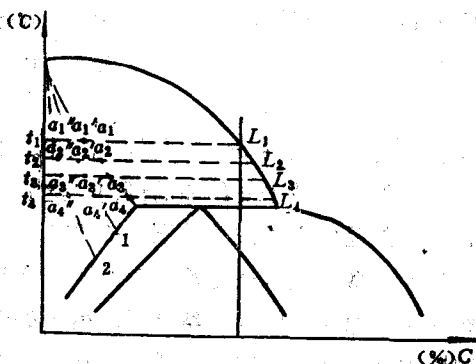


图1-5 在钢液中添加微型冷铁后晶体成分的变化
 a_1, a_2, a_3, a_4 —在平衡结晶时，固相的成分；
 a'_1, a'_2, a'_3, a'_4 —在不平衡结晶时，固相的成分；
 $a''_1, a''_2, a''_3, a''_4$ —添加微型冷铁后，固相的成分。

必须指出微型冷铁影响钢的初晶组织这一特点。总的来看，铁粉对钢的初晶具有孕育作用，因而细化钢的组织，增加凝固结晶速度。微型冷铁对含碳为 $0.10\sim 0.15\%$ 铸钢的影响不明显，这由于：根据 Fe-C 状态图，含碳 $0.1\sim 0.5\%$ 的钢在结晶时有包晶反应。此时，初晶 δ 相在 γ 相晶体内部重新结晶，因此微型冷铁对初晶组织的影响就要弱得多。微型冷铁对含碳 $0.10\sim 0.18\%$ 钢的影响最弱，因为这种钢在包晶反应时， δ 相处于过剩状态，亦即反应完了尚有过剩的 δ 相。

显然，微型冷铁对含碳量在 $0.18\sim 0.50\%$ 范围内钢的初晶组织的影响是逐渐增大，即对于成分处于状态图上包晶反应右边的钢，其影响逐渐增大。因此，当悬浮铸造时，初晶组织最强烈的细化应出现在诸如奥氏体类合金钢（如 110Г13Л）的铸件中；或者是成分处于 Fe-C 状态图上包晶反应右边的碳钢铸件中。试验也证实了这一点。如果将铁粉与孕育剂组成复合悬浮剂加到钢液中，则可增强这种孕育效果。

最后需要指出的一点是：通过计算表明，在不平衡结晶条件下，由几乎是纯铁组成的晶核的形成概率比在平衡结晶条件下晶核形成的概率要高一些。这就使得在不平衡结晶条件下，固相长大时成分按图 1-5 中曲线 1 变化。加到钢液中的微型冷铁粉末增强了非平衡结晶的倾向，这表现在：当加入微型冷铁时，结晶的固相成分按图 1-5 中曲线 2 变化，它比曲线 1 更靠左一些。加入微型冷铁时，不平衡结晶的强化是区域偏析减少的原因，因为在结晶时，由于处于钢液中的一部分过剩碳被消耗在初晶和纯铁粉末颗粒的增碳上，这就减少了钢液中偏析组元（如碳）的自然富集。