

铸造工艺基础

北京出版社

铸造工艺基础

《铸造工艺基础》联合编写组

北京出版社

铸造工艺基础

《铸造工艺基础》联合编写组

*

北京出版社出版
新华书店北京发行所发行
北京印刷二厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17印张 371,000字

1979年5月第1版 1979年5月第1次印刷

印数：1—100,000

书号：15071·30 定价：1.75元

前 言

本书内容是以铸铁件砂型铸造为重点,兼顾铸钢和有色合金铸件,围绕提高铸件质量这个主题,阐述铸件成型过程中的基础理论,以及生产中常见铸造缺陷的成因、影响因素和防止方法。对于当前生产中应用较多、发展较快的灰铸铁和球墨铸铁铸件缺陷形成的机理,作了必要的分析。本书是铸造工艺方面的基础理论书籍,可供大专院校铸造专业以及铸造工人和技术人员参考。

本书由十一所院校的铸造专业(教研室)联合编写,南京工学院机械系铸造教研组主编。分工如下:

第一章 河北工学院(朱述曾)、福州大学(陈东)、甘肃工业大学(朱平顺);

第二章 郑州工学院(罗克济)、西安交通大学(李锦章);

第三章 南京工学院(刘友鹏)、镇江农业机械学院(岳传芳);

第四章 华中工学院(戴衡)、湖北农业机械学院(张幼陵);

第五章 内蒙古工学院(肖柯则)。

在编写和审稿过程中,承各工厂、研究所和大专院校提供了大量资料 and 提出了修改意见,此外,北京工业大学李冬琪同志在本书的出版审稿工作中给予热情的协助,在此一并表示衷心的感谢。

限于时间和水平,我们在调查研究和征求意见方面还不够广泛,总结生产经验不够深入,试验研究工作也做得比较少,书中存在的缺点和错误,欢迎读者批评和指正。

目 录

第一章 液态合金充型过程和浇注系统	(1)
第一节 液态合金充填铸型的能力	(1)
一、概述	(1)
二、影响充型能力的因素及提高充型能力的措施	(5)
第二节 浇注系统	(17)
一、浇注系统的作用及要求	(17)
二、液态合金在浇注系统中的流动	(18)
三、浇注系统的类型及应用范围	(30)
四、浇注系统最小断面积的确定	(36)
第三节 典型铸件的浇注系统	(40)
一、实块类铸件的浇注系统	(41)
二、板类铸件的浇注系统	(41)
三、轮类铸件的浇注系统	(43)
四、筒类铸件的浇注系统	(53)
五、箱体类铸件的浇注系统	(55)
六、球墨铸铁曲轴的浇冒口系统	(61)
第四节 浇注系统设计中的几个问题	(71)
一、浇注系统的设计步骤	(71)
二、一型多件模板造型浇口设计的处理方法	(74)
三、底返雨淋浇口的设计要点	(75)
四、阶梯式浇口的设计要点	(77)
五、几个值得注意的经验数据	(78)
第二章 铸件的凝固和收缩	(79)
第一节 铸件的凝固	(80)
一、凝固过程的研究方法	(80)
二、铸件的凝固方式及其影响因素	(83)
三、各类合金的凝固方式与铸件质量的关系	(88)
四、灰铸铁和球墨铸铁的凝固方式	(93)
第二节 铸造合金收缩的基本概念	(100)
一、概述	(100)
二、钢的收缩	(104)

三、铸铁的收缩·····	(107)
四、测定合金体收缩和线收缩的方法·····	(110)
第三节 铸件中缩孔和缩松的形成及影响因素 ·····	(112)
一、缩孔的形成机理及影响因素·····	(112)
二、缩松的形成机理及影响因素·····	(117)
三、灰铸铁和球铁缩孔、缩松的形成及影响因素·····	(119)
第四节 防止铸件产生缩孔和缩松的方法 ·····	(125)
一、概述·····	(125)
二、一般合金铸件防止缩孔和缩松的工艺措施·····	(126)
三、防止灰铸铁和球墨铸铁铸件产生缩孔和缩松的工艺措施·····	(162)
四、特种冒口·····	(172)
第三章 铸造应力、变形和裂纹 ·····	(180)
第一节 概述 ·····	(180)
一、铸件的线收缩·····	(180)
二、合金的应力和变形随温度变化的规律·····	(181)
第二节 铸件的热裂 ·····	(184)
一、概述·····	(184)
二、热裂形成的温度范围及形成机理·····	(185)
三、热裂倾向的测定方法·····	(187)
四、影响热裂形成的因素·····	(189)
五、防止铸件产生热裂的方法·····	(193)
第三节 铸造应力 ·····	(195)
一、概述·····	(195)
二、铸件在冷却过程中产生的热应力·····	(196)
三、铸件在冷却过程中产生的相变应力·····	(201)
四、铸件在冷却过程中产生的机械阻碍应力·····	(202)
五、减小铸造应力的方法·····	(202)
六、消除铸件中残留应力的方法·····	(203)
七、残留应力的测定·····	(205)
第四节 变形和冷裂 ·····	(207)
一、铸件的变形·····	(207)
二、铸件的冷裂·····	(209)
三、防止铸件产生变形和冷裂的方法·····	(210)
四、实例分析·····	(212)
第四章 铸件的气孔 ·····	(213)
第一节 概述 ·····	(213)
一、气孔对铸件质量的影响·····	(213)

二、气孔的类型及其鉴别·····	(213)
三、金属中气体的来源·····	(219)
第二节 侵入气孔·····	(219)
一、侵入气孔形成条件·····	(219)
二、防止侵入气孔的原理和方法·····	(220)
第三节 析出气孔·····	(223)
一、析出气孔形成机理简介·····	(223)
二、防止析出气孔的方法·····	(229)
第四节 反应气孔·····	(231)
一、铸钢件皮下气孔·····	(231)
二、球铁件皮下气孔·····	(234)
三、铁—渣反应气孔·····	(238)
四、铁水氧化产生的气孔·····	(240)
五、铜合金的反应气孔·····	(240)
第五章 铸件缺陷分析·····	(242)
第一节 铸件的质量鉴定·····	(242)
第二节 铸件的缺陷分类·····	(243)
第三节 铸件缺陷的鉴别·····	(246)
一、砂眼与渣眼·····	(246)
二、气孔与缩孔·····	(247)
三、冷隔与裂纹·····	(248)
四、缩松与疏松·····	(249)
第四节 铸件缺陷分析举例·····	(250)
一、1105 气缸盖(缸头)气孔·····	(250)
二、 ϕ 180 气缸盖缩松·····	(254)
三、铝铸件夹砂·····	(258)
第五节 检验铸件缺陷的方法·····	(259)
一、外观检验法·····	(260)
二、无损探伤法·····	(260)
三、化学成分的检验·····	(263)
四、机械性能的检验·····	(263)
五、断口、宏观及显微检验·····	(263)

第一章 液态合金充型过程和浇注系统

铸造生产过程的最主要特点是把液态合金浇入铸型得到铸件。在液态合金充型过程中，能不能充满型腔，使铸件获得完整的形状和清晰的轮廓，这是首先遇到的问题。此外，充型过程对铸件质量也有重大的影响。本章将讨论液态合金充填铸型过程中如下三个方面的问题。一、液态合金充填铸型的能力。分析和掌握影响充型能力的因素及提高充型能力的措施。二、液态合金充型的浇注系统。分析液态合金在浇注系统中流动的一些现象，掌握其规律，为正确地设计浇注系统提供必要的理论基础。三、典型铸件浇注系统设置的方案及设计浇注系统过程中某些实际问题的处理方法，作为设计浇注系统时的参考。

第一节 液态合金充填铸型的能力

一、概 述

液态合金充填铸型通常是在纯液态情况下充满型腔，也有边充型边结晶的情况，即结晶状态下的流动。在充型过程中，当液态合金中形成晶粒堵塞充型通道时，则流动停止。如果停止流动出现在型腔被充满之前，则造成铸件浇不足（欠铸）的缺陷。在液态合金充满型腔之后，合金液的流动并没有完全停止，还要进行液态合金收缩和补偿，这个过程对获得健全的铸件有重大的影响。

1. 液态合金充型能力的概念

液态合金充满型腔，获得形状完整、轮廓清晰的健全铸件的能力，叫做液态合金的充型能力。

液态合金的充型能力首先决定于液态合金本身的流动能力；同时又受铸型性质、浇注条件和铸件结构等因素的影响。因此，充型能力是上述各种因素的综合反映。

从生产中可知，不同合金、不同尺寸的铸件，在不同的铸型和不同的浇注条件（如压铸等）下，所可能铸出的铸件最小壁厚是不同的。

表 1-1 是在铸件设计和生产中，对某些合金和铸造方法，在通常情况下所采用的铸件最小壁厚的限制。

在有关铸造合金的参考书中所说的液态合金的“流动性”，是合金的重要的铸造性能

表 1-1 通常采用的铸件的最小壁厚

(毫米)

铸造方法	铸件尺寸	铸 钢	灰 铸 铁	球 铁	可 锻 铸 铁	铝 合 金	镁 合 金	铜 合 金
砂 型	~200×200	8	~6	6	5	3		3~5
	>200×200 ~500×500	10~12	6~10	12	8	4	3	6~8
	>500×500	15~20	15~20			6		
金 属 型	~70×70	5	4		2.5~3.5	2~3		3
	>70×70 ~150×150		5			4	2.5	4~5
	>150×150	10	6			5		6~8
熔 模*		0.5~1	0.4~0.8					
压 铸						0.6~0.8		

* 熔模铸造与压铸的最小壁厚是指实际可能铸出的最小壁厚。

之一。通常它是在试样形式、铸型和浇注条件相同的情况下，将不同的液态合金浇入试样，并按充填型腔的长度或充填缝隙的厚薄程度进行测定，流过距离长或充填缝隙小，就表示该合金的流动性好。

这种方法是在铸型、浇注条件和铸件结构等因素固定的情况下，来了解合金的种类、成分、温度、杂质含量以及杂质的物理性质对液态合金充型能力的影响。所用试样通常叫做“流动性试样”，例如，螺旋形流动性试样。

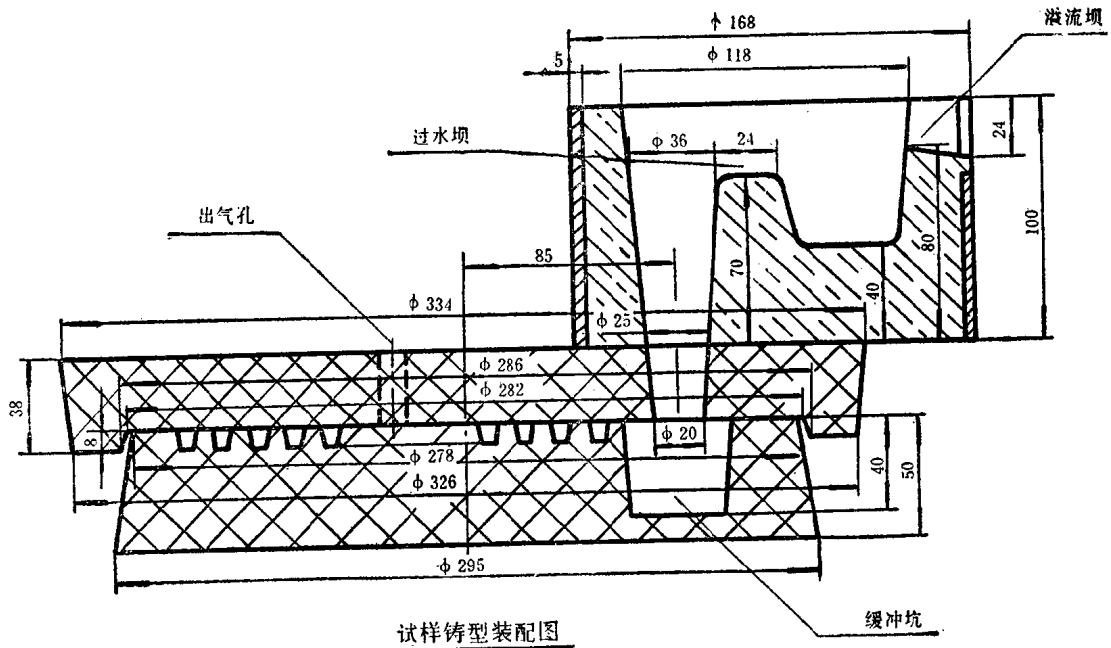
但是，也可以用“流动性试样”，采取相同的合金，而改变铸型的性质和浇注条件等因素，来观察、对比其充型结果，以判断它们对充型能力的影响。例如，采用螺旋形流动性试样，用相同的液态合金，采用干型、湿型或改变铸型的水分、煤粉等含量，也可改变直浇口高度进行试验，以了解这些因素对充型能力的影响。这样测量出流动性试样的长度就不能称它为合金本身的流动性了。

有一些书并不区分流动性与充型能力。而在其“流动性”的概念中包含有铸型及浇注条件等因素的影响，这种情况下所说的流动性就是充型能力。

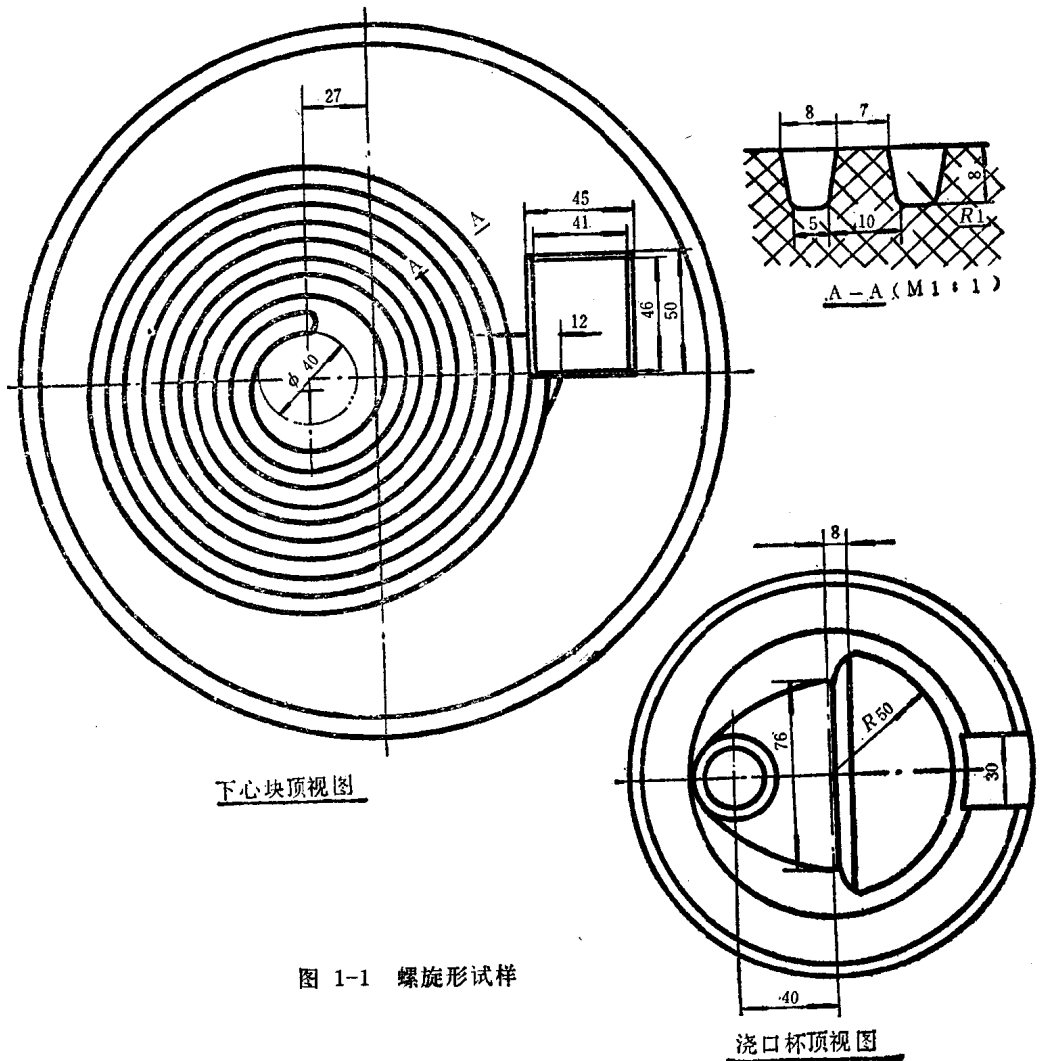
这样，一切测量合金流动性的试样都可以进行充型能力的比较。其中最常用的是螺旋形试样，此外还有楔形试样、U形试样、球形试样等。图 1-1 为螺旋形试样。

试验时将液态合金从浇口杯中浇入，待凝固后取出试样，测量液态合金充填螺旋形沟槽的长度。从图 1-1 试样的结构表明，通过浇口杯(附有过水坝和溢流坝，以控制压头和流量)、直浇道和缓冲坑保证了基本相同的浇注条件。为了便于读出试验的结果，在螺旋形沟槽中，从缓冲坑开始每隔 50 毫米长度做一小凹坑点状。

这种试样轮廓紧凑、试验条件简单、对比形象，因而得到广泛的使用。它的缺点是沟槽的断面尺寸较大，液态合金的表面张力的作用表现不出来；另外，沟槽很长，受型砂的水分、紧实度、透气性等因素的影响较显著，而不易精确控制。



试样铸型装配图



下心块顶视图

浇口杯顶视图

图 1-1 螺旋形试样

2. 液态合金的充型特点和对铸件质量的影响

液态合金充型是在液态合金过热的情况下进行的（通常浇注温度要比凝固温度高出几十度或一百多度）。在这种情况下，液态合金流动与普通的液体流动有基本的共同规律。因此，常采用水力学的规律来分析液态合金的充型过程。另一方面，液态合金的充型过程又伴随着许多物理与化学的现象，因此，在许多情况下有其明显的特点。

(1) 在充型过程中，液态合金与铸型之间进行着剧烈的热交换过程和化学过程。充型时液态合金温度较高，与铸型之间有很大的温差。此外，高温液态合金本身又具有较高的化学活性。在充型过程中，液态合金不断冷却，温度降低。当冷却到一定程度时，从液态合金中析出固相（结晶）或气泡，使液态合金的粘度剧增，阻力加大，流动困难，甚至停止流动。同样，高温下液态合金与气体或铸型作用，造成液态合金的氧化，增加氧化夹杂，而流体头部的氧化膜也会成为液态合金流动的阻力。对这些问题若处理不当，将在铸件中形成夹杂、冷隔和浇不足等缺陷。

另一方面，由于铸型被加热，造成铸型材料组成物的分解、气化或与合金进行某些化学反应，致使型腔中气压增加，阻碍液态合金的充型；或者造成气体侵入液态合金，往往使铸件产生冷隔与气孔。严重时甚至造成液态合金从浇注系统中反喷出来，尤其在充填大铸件时，如铸型排气不畅还可能造成严重的抬箱、爆炸事故。

(2) 液态合金充填砂型的过程，可看作在“多孔管”中的流动。液态合金充型过程和水在明渠（自由液面受大气压力作用）的流动不同，也与在密闭的管道中的有压力的流动不同，因为砂型材料型壁是有一定透气性的。因此，砂型中的浇注系统和型腔可看作是“多孔”的管和容器。当液态合金在“多孔管”内流动，压力超过某一定值后，液态合金会压入型壁孔隙内，造成铸件表面粘砂；而当压力低于型腔或型壁内气压时，又将卷入外界的气体造成气孔等缺陷。液态合金在一定压力下在“多孔管”内流动之所以不渗入型砂中，是靠液态合金表面张力和型壁中气体反压力的作用。但反过来，当这些力过大时会影响到对铸型精细花纹的充填，不利于铸件得到清晰的轮廓。

(3) 液态合金充型过程是不稳定过程。通常充型过程时间很短，加上铸型型腔结构复杂，因此用水力学对它所作的描述只是近似平均值的状况。如果对充型过程控制不当，会对铸型造成较大的冲击力和流量的严重不匀，使铸件产生铁豆、砂眼、夹砂和气孔等缺陷，以及在浇口附近产生缩、裂问题。

(4) 充型过程的时间长短对铸件的温度分布有显著的影响，可以通过引注位置的安排和浇注速度的控制来影响铸件的凝固顺序。即使浇注完毕，在铸件的结晶过程中，液态合金的运动仍在进行。铸件的补缩（包括弥补热裂纹等）可看作液态合金通过晶体的过滤流动，这个过程对于铸件的补缩及防止热裂有重大的意义。这方面除受合金本身流动性的影响外，也受结晶条件（如压力下结晶）、晶体外形结构（如等轴晶或柱状晶）和铸件结构的工艺性的影响。

总之，液态合金充型过程不仅影响到型腔的充满，而且还直接影响到铸件内部的质量，掌握不当还会造成严重的生产事故。

二、影响充型能力的因素及提高充型能力的措施

如前所述，螺旋形试样形象地显示了液态合金的充型能力。螺旋形试样被充满的长度 l 可用下式来表达：

$$l = v \times t$$

式中： v ——在一定的液态合金的压头下，液态合金在型腔中流动的平均速度；

t ——从液态合金开始进入型腔到流动停止的时间。

从公式中可见，液态合金在型腔中流动的速度越快，进入型腔以后保持流动的时间越长，其充型能力越好 (l 的数值越大)。所以，影响液态合金充型能力的因素可通过下面两个途径来分析：一是影响液态合金在铸型中的流体动力学条件，而改变其流动速度 v ；二是影响合金与铸型间的热交换，而改变液态合金在铸型中保持流动的时间 t 。

在实践中采取的提高充型能力的措施，有些是提高液态合金的流动速度 v ，有些是延长其保持流动的时间 t ；也有些措施的影响比较复杂，例如：既提高 v ，又延长 t ，这样的措施对提高充型能力特别有效。

为了便于采取措施提高充型能力，通常将影响充型能力的因素归纳如下：合金性质方面的因素；铸型性质方面的因素；浇注条件方面的因素和铸件结构方面的因素。

1. 合金性质方面的因素

各种合金的流动性，取决于合金的种类、结晶特性及其他物理性能等。它是合金性质方面的因素对充型能力影响的综合表现，表 1-2、表 1-3 列出了常见的一些合金的流动性。

表 1-2 一些合金的流动性 (砂型螺旋形试样)

合 金	浇 注 温 度(°C)	螺旋形试样长度(毫米)
铸 铁	C+Si=6.2%	1800
	C+Si=5.9%	1300
	C+Si=5.2%	1000
	C+Si=4.2%	600
铸 钢	0.4% C	100
	0.4% C	200
镁合金(Mg-Al-Zn)	700	400~600
锡青铜(10% Sn, 2% Mn)	1040	420
硅黄铜(3% Si)	1100	1000

表 1-3 各种铸铁的流动性

铸铁种类	稀土镁球铁	稀土镁球铁	镁球铁	球铁原铁水	球铁原铁水	含 0.3%Cr 灰铸铁
浇注温度 (°C)	1270	1260	1250	1280	1270	1295
螺旋线长度 (毫米)	1107	1102	750	1082	1020	380

由表 1-2、表 1-3 可见，灰铸铁、球墨铸铁和硅黄铜的流动性都很好，而铸钢的流动性最差。在铸铁中，随着 C+Si 含量的增加，流动性提高，而含铬铸铁的流动性则大大下降。

一般说来，流动性好的合金在多数情况下其充型能力都较强；流动性差的合金其充型能力较差，但也可以通过改善其他条件来提高充型能力。

合金的流动性除了对充型能力的影响较为突出以外，它对于排出合金中的气体、杂质，对于补缩、防裂，获得优质铸件都有很大的影响。流动性好的合金，气体和夹杂易于上浮，使合金净化，有利于得到不含气孔和夹杂的铸件。良好的流动性，能使铸件在凝固期间产生的缩孔得到液态合金的补充，也使铸件在凝固后期因尺寸收缩受阻而出现的热裂能得到液态合金的弥合，这样，就利于这些缺陷的防止。

从合金性质来看，影响充型能力的因素有如下几个方面：

(1) 液态合金的粘度。液态合金流动时，由于液流各层速度不同，相互之间有摩擦力作用，这种力叫液体内摩擦力，其大小常用内摩擦系数来表示。流体的内摩擦系数又称粘度系数（动力粘度系数，符号 η ），一般叫做粘度，其单位为克/厘米·秒或简称为“泊”，用 1/100 泊做单位叫“厘泊”。在流体的运动分析中常采用运动粘度系数（符号 ν ，单位厘米²/秒），它与动力粘度系数的关系为（ ρ 为流体的密度，单位克/厘米³）：

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

表 1-4 为钢与铁的运动粘度系数表。

粘度的本质是表明该种液态物质分子间的内聚力。内聚力越大、粘度越大，流动时阻力损失就越大，液体流动速度降低就越快。在铁碳合金中，随着碳量的增加，合金的粘度降低。对亚共晶铸铁，随着含碳量的增加，铁水粘度降低十分显著。

合金的温度是合金分子热运动程度的标志，温度升高使分子间的内聚力减小，粘度下降，有利于提高充型时流动速度。此外温度高还能延长保持流动的时间，从而提高了充型能力。

影响液态合金粘度的另一个重要因素是合金中的夹杂物的含量及夹杂物的物理特性。在液态合金中呈固态的夹杂物使粘度增加，例如铸铁中的 MnS（熔点 1620°C）和悬浮石墨片；钢中的 MnO（1785°C）、SiO₂（1710°C）、Al₂O₃（2050°C）及 Cr₂O₃（1900°C）、VN（2050°C）、BN（3000°C）、TiC（3180°C）等以及铝、镁合金中的氧化夹杂（Al₂O₃、MgO）

表 1-4 钢铁的运动粘度系数

(厘米²/秒)

合 金	温 度 (°C)	运 动 粘 度
铁	稍高于熔点	0.00556
4% C 灰铸铁	1250($T_{\text{过热}}=100$)	0.00317
0.3% C 碳钢	1535($T_{\text{过热}}=25$)	0.00407
	1555($T_{\text{过热}}=45$)	0.00375
	1610($T_{\text{过热}}=100$)	0.00339
12%Cr 高铬钢	1450($T_{\text{过热}}=100$)	0.0085

都使合金液的粘度增大。但是，在液态合金中呈液态的夹杂物由于其熔点较低，在液态合金的温度下有很大的过热，从而使合金粘度减小。在酸性炉里熔炼的钢液，其夹杂物多是熔点较低的硅酸铁($\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$, 熔点 1205°C)和硅酸锰($\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$, 熔点 1270°C)，因此在同样过热条件下，它比碱性炉炼的钢液的流动性好。

根据水力学分析，流体作层流运动时粘度对阻力损失影响较大；作紊流运动时对阻力损失影响较小。

(2) 合金的结晶特性。合金的结晶特性对流动性的影响很大。研究 Pb-Sn 合金的流动性发现随着含 Sn 量的不同，流动性按一定规律变化。将此规律和 Pb-Sn 合金的状态图联系起来(图 1-2)，可以看出，合金状态图上对应着结晶温度范围大的合金具有小的流动性；而结晶温度范围小的合金流动性就好；对于纯金属或共晶类型合金，流动性出现最大值。

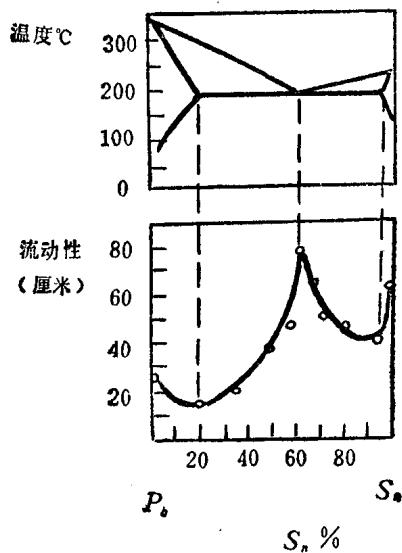


图 1-2 Pb-Sn 合金的流动性与成分的关系

纯金属、金属间化合物和共晶成分的合金是在固定温度下凝固结晶，这类合金在型腔中凝固时，在型壁上已结晶的固体层的内表面比较平滑，未凝固的液体在其中流动阻力小，所以流动性好。(见图 1-3 a)

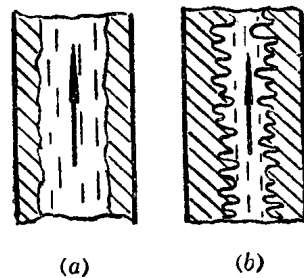


图 1-3 金属在结晶状态下流动
(a) 纯金属； (b) 结晶温度范围宽的合金

结晶温度范围宽的合金，结晶时凝固层参差不齐（图 1-3 b），如在充型过程中已有铸件外壳形成，则液态合金在其中流动时将受到很大的阻力。因此，结晶温度范围宽的合金，充型和补缩能力差。

将纯金属类合金的螺旋形试样剖开，可以看到试样的末端有缩孔。这说明在液态合金停止流动时，试样的末端仍保持有液态金属。停止流动的原因是在末端之前的某一位被晶体或氧化膜所堵塞。所以，这类合金在细管中的流动情况是：在液体合金过热量没有散失之前，合金液为纯液态流动，边流边冷；当温度降到凝固点时，从型壁开始逐层向中心凝固，使通道愈来愈小，最后通道堵塞，流动停止，如图 1-4 a 所示。

结晶温度范围较宽的合金，在过热量散失之前也以纯液态流动，当温度降到液相线以下时，液流中析出晶体，随着液流流动并不断长大。液流的前端冷却最快，晶体量也最多，使合金粘度剧增，流速减慢。当晶体达到一定数量时便连成网络，使流动停止，如图 1-4 b 所示。

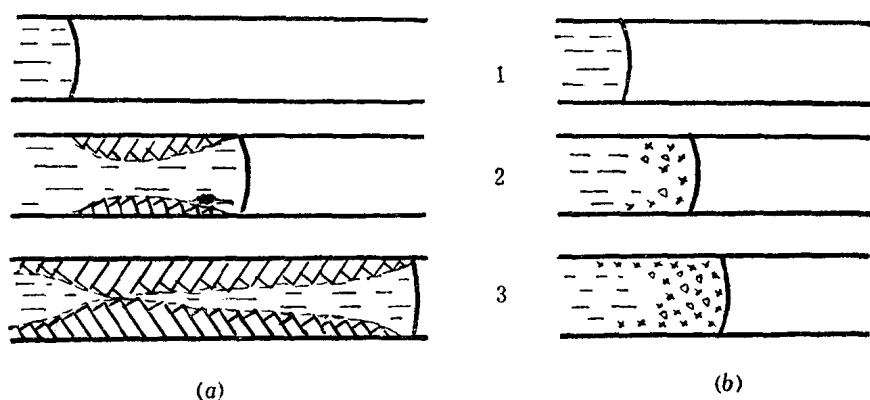


图 1-4 金属液停止流动机理示意图
 1. 纯液态流动；2. 流动的液态合金开始结晶；3. 停止流动的情况
 a、纯金属类合金；
 b、结晶温度范围较宽的合金

Fe-C 合金流动性与成分的关系也是这样的，见图 1-5。纯铁的流动性较好，随碳量的增加结晶温度范围扩大，流动性下降。在包晶成分处，由于结晶温度范围的减小和包晶反应的热效应的作用，流动性出现一个峰值。在包晶点之后，随着结晶温度范围的扩大，流动性不断下降，约在 2% C 处，流动性最差。

对于铸铁，在亚共晶铸铁中越接近共晶成分，流动性越好。在共晶成分处铸铁流动性最好。过共晶铸铁在冷却速度不大时初晶组织是石墨悬浮于铁水中，使铁水粘度增加，流动性下降。

从图 1-5 可见，铸铁的结晶温度范围一般说来比铸钢宽，但铸铁的充型能力比钢好，这是由于铸钢熔点高，不易过热。要使钢液得到较大的过热，必须增加电力和燃料的消耗，而且容易造成钢水吸气。另外，铸钢熔点高，在铸型中散热快，也使钢液更快地失去流动能力。

在铸铁中含磷量的增加，增多了磷共晶，降低了铸铁的凝固温度和粘度，因此提高

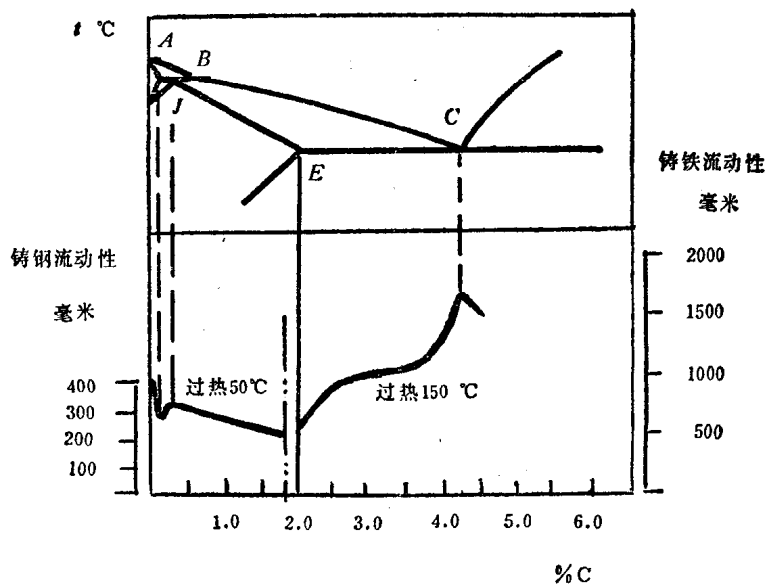


图 1-5 Fe-C 合金流动性与状态图的关系

了流动性。但磷的增加会使铸铁变脆(冷脆性)，所以，在一般情况下不要用磷来提高铁水的流动性。但在铸造艺术品时，对铸件外形要求完整、轮廓清晰，而对合金的机械性能要求不高，这时就常用增加磷量来提高铁水的流动性。

铸铁中的硫量高时(如 $>0.18\%S$)，一方面会产生较多的硫化物夹杂悬浮在铁水中，使粘度增大；另一方面铁水中含硫愈高，愈易形成氧化膜，致使铁水流动性降低。

锰主要是通过硫化合成硫化锰而间接影响铁水的流动性。铬对铸铁流动性影响最大，加铬以后铸铁的液相线提高， Cr_2O_3 等更能显著地提高铸铁的粘度，尤其在铸铁含铬量大于1%时，流动性的降低更为突出。

在原铁水的化学成分和浇注条件相同的情况下，稀土镁球墨铸铁的流动性比灰铸铁好，这是由于加入稀土镁，有脱硫、去气和排除铁水中非金属夹杂等作用而使铁水净化的结果(见表 1-3)。但实践中常认为球铁流动性比灰铁差，对球铁要用更大断面的浇注系统，这主要是由于经过球化处理铁水降温过大。若球化处理时原铁水温度较低，含硫量较高，则流动性比普通铸铁还差。

(3) 合金的结晶潜热和晶粒的形状。在合金的结晶过程中放出的潜热越多，则液态合金保持流动的时间就越久。但是，结晶潜热对流动性的良好作用是否能发挥，则取决于合金的结晶特性。对纯金属类合金能较充分地发挥作用；而对结晶温度范围较宽的合金则影响不显著，因为这类合金在其结晶潜热还只散失了一小部分时(约20%)，晶体就已连成骨架而停止流动，致使大部分结晶潜热不能发挥作用。

在合金结晶时析出几个不同固相，当各相的形状和结晶潜热不同时，可能使合金的流动性与成分的关系产生偏移。例如过共晶 Al-Si 合金中初生的 β 相为较规则的块状晶体，且其结晶潜热为 707 卡/厘米³，比亚共晶 Al-Si 合金中的初生的 α 相结晶潜热大三倍，这样流动性最高的成分就从含 11.7% Si 的共晶成分偏移到含 15% Si 的过共晶成分

了(见图 1-6)。

结晶晶粒的形状对流动性也有影响,例如,同是在固定温度下结晶的三种铝-铜合金:中间化合物 Al_2Cu (54% Cu)、 $\text{Al} + \text{Al}_2\text{Cu}$ 共晶(33% Cu)和纯铝(100% Al)。由于前两种合金形成球状及规则形状的晶粒,其流动性就比形成树枝状晶粒的纯铝为好。

(4) 合金的表面张力。如果液态合金与铸型不润湿,则合金在型腔的细管或窄槽内的液面是凸起的,如图 1-7 所示。这时表面张力将产生一个指向合金内部的附加力 P 。由图 1-7 得: $P \cdot \pi r^2 = -2 \pi r \sigma \cos \theta$ 。

$$P = \frac{-2 \sigma \cdot \cos \theta}{r} \text{ (达因)}$$

式中: σ ——液态合金的表面张力(达因/厘米);
 θ ——液态合金与型壁的润湿角;
 r ——细管的半径(厘米)。

为了使液态合金能够充填到半径为 r 的细管或窄槽中,除了要保证充型的几何压头外,还要克服这个附加力 P 。

此外,还要克服这个附加力 P 。为此在重力场中需增加一个附加压头 h (见图 1-7),

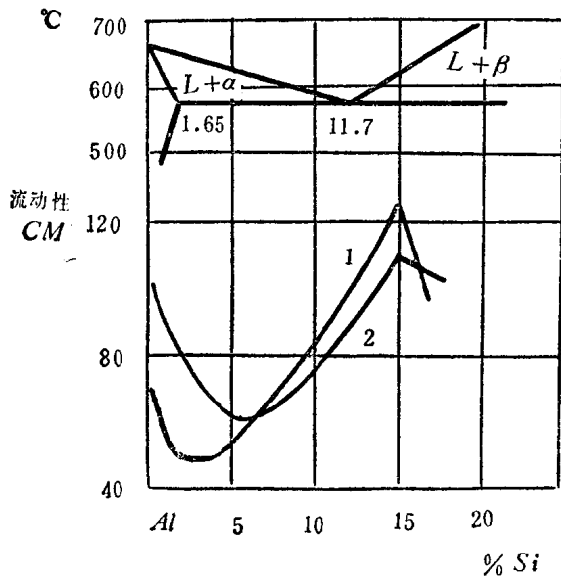


图 1-6 Al-Si 合金的流动性

1. 浇注温度 720°C 恒定; 2. 浇注温度在液相线上 100°C

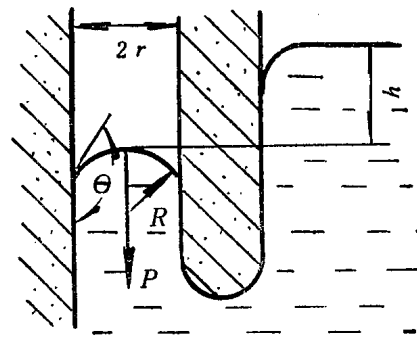


图 1-7 因表面张力而在液体中引起的附加力

$$h \cdot \rho \cdot g = \frac{-2 \sigma \cos \theta}{r}$$

$$h = \frac{-2 \sigma \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot r} \text{ (厘米)}$$

式中: ρ ——液态合金的密度(克/厘米³);
 g ——重力加速度, $g = 980$ (厘米/秒²)。

例如含 3.3% C 的铸铁在 1300°C 时浇注,铁水的表面张力 $\sigma = 1200$ (达因/厘米)。假设铁水与铸型完全不润湿 ($\theta = 180^\circ$), 如果还要铸出 $r = 0.5$ 毫米的细纹或短棒, 需