

工程训练·工程实践

液态成形技术

司乃潮 贾志宏 傅明喜 编 ●



化学工业出版社
教材出版中心

工程训练·工程实践

液态成形技术

司乃潮 贾志宏 傅明喜 编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

液态成形技术/司乃潮, 贾志宏, 傅明喜编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7
(工程训练·工程实践)
ISBN 7-5025-5955-8

I. 液… II. ①司…②贾…③傅… III. 液态金属充型
IV. TG21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 070270 号

工程训练·工程实践

液态成形技术

司乃潮 贾志宏 傅明喜 编

责任编辑: 刘俊之 陈 丽

责任校对: 陈 静

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18 字数 375 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5955-8/TB·59

定 价: 34.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

工 程 训 练 · 工 程 实 践

编 委 会 主 任 杨继昌

编委会副主任 袁银南 戈晓岚

编 委 会 委 员 杨继昌 袁银南

 肖田元 梅 强

 张永康 卢章平

 陆一心 李金伴

 戈晓岚 马汉武

序

人类进入 21 世纪前后,以信息技术为重要标志的高新技术的飞速发展,正在改变着人类的社会、经济和生活方式。“天翻地覆慨而慷”,世界范围内的激烈竞争,已越来越明显地表现为人才的竞争,特别是创新人才的竞争。1998 年 10 月,联合国教科文组织在巴黎召开了首届世界高等教育大会,会议达成了共识:高等教育的根本使命是促进社会的可持续发展与进步。目前,教育开始求新求变,要求坚持以人为本,更具有前瞻性。对学生的人文素质、科学素质、实践能力和创新能力的培养更显重要。

“问渠哪得清如许,为有源头活水来。”技术是工程的基础,科学是技术的源泉,科学技术相互支持,但直接作用于生产实际的是技术。因此,面向经济建设要高度重视工程人才的培养,高度重视工程教育,要努力加速建立科学、技术、经济和管理相结合的工程教育体系,强化工程意识,重组工程训练,提高工程素质,培养创新精神、创新人格和实践能力,以实现知识创新、技术创新、管理创新和市场开拓型的工程人才培养。

近年来,尽管各国的国情不同,面临的问题也不同,在工程教育的体制和运作上互有差异,但对工程教育的认识、做法和发展方向上都强调“综合、创造、实践”,强调“工程教育工程化”、“工程教育为工程实际服务”、强调人文关怀、创新精神、实践能力和工程师素质的培养。

另一方面,我国加入世界贸易组织后,对外开放更将进一步扩大,中国将更加深入地参与国际分工,越来越多的产品将打上“中国制造”,制造业是工业的主体,装配制造业是制造业的核心。没有装配制造业就没有制造,没有制造就没有获得物质财富的基本手段。制造首先要依靠直接从事制造的技能人才。从而,培养“中国制造”的技能人才就成为关键。我国已经成为了一个高级蓝领即银领制造业人才稀缺的国家。

我国“十五”计划提出,要在 5 年内将职工中的高级技能人才的比例提高到 20%。一个合格的银领人才应当具备比较深厚的理论基础与相当丰富的实际经验,并能够针对生产第一线的实际需要,具备很强的技术革新、开发攻关、项目改进的能力。这种人才应具有高度的责任感,不但关心产品,更加懂得团结人、关怀人;不仅是某些关键生产环节中的操作者,还是整个生产环节的组织者;同时还能高度关怀、有效带动和组织协调其他技术人员一起动手进行应有的技术攻关,把优秀的设计变成一个高质量的产品。

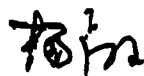
针对工程人才的需求,江苏大学工业中心组织编写了工程训练·工程实践系列图书,希望成为联接科学、教育与工程技术、生产实际的桥梁之一。在本系列图书规划过程中,作者针对“各种技能对工作的重要性”,对相关企业和历届毕业生进行了调查,证实在工业生产中,对技术交流、设计制造、工程经济、项目管理、质量控制、计算机等技能均有较高的要求。

本系列图书以工程类本科生(尤其是高职学生)和制造业银领的培训为对象,包括机、电、管三个领域。在内容上注重实践性、启发性、科学性,强调诸如制造、环境影响、质量、商务和经济等工程实践的多重功能。从当前工程人才的素质需求和实际出发,努力做到理论与实践并重,理论与实际相结合,基本概念清晰,重点突出,简明扼要,深入浅出,通俗易懂,以现代工程训练为特色,重视能力培养,面向生产实际,并考虑与国际教育交流,反映新技术、新工艺、新材料的应用和发展。

本套丛书的编写是适应我国制造业发展形势,在教育上的一个创新,值得鼓励。由于是一个创新,其中就不会没有问题,没有不足之处。我与编者的心情一样,希望读者能及时指出其中的问题与不足之处,有助于本系列图书不断改进,编者的水平不断提高。

谨以为序。

中国科学院院士
华中科技大学教授



2004年4月

前 言

液态成形技术作为一项既古老,又有无限活力的金属成形技术,近年来,在该领域不断涌现出新工艺、新装备。金属液态成形技术得到了快速的发展,也进一步加强了该项产业在国民经济中的重要地位。为了适应新形势和高校的教育改革,满足素质教育的需要,根据工科相关高职专业、非材料类专业学生学习的要求,结合专业调整改革的现状,编写了这本液态成形技术教材。目的是为增强学生的学习兴趣,拓宽其专业知识面。

本书共分十八章。第一章阐述了液态金属成形的基本原理。第二、三、四、五、六、七、八章分别介绍了铸铁、铸钢、铸造铝合金、铸造铜合金、铸造锌铝合金、铸造镁合金、铸造钛合金的种类、熔炼原理及其熔炼工艺。第九、十、十一、十二、十三、十四章则系统介绍熔模铸造、压力铸造、低压及差压铸造、负压实型铸造、金属型铸造、离心铸造等应用广泛的特种铸造技术。从基本原理、工艺技术方法及特点等方面进行了阐述。第十五、十六两章则介绍现代连铸技术的最新发展、应用及相关的设备、工艺特点等。第十七、十八章从凝固技术的发展前沿出发,介绍了定向凝固及快速凝固技术的原理、工艺方法。基本上涵盖了液态成形技术的主要内容。限于篇幅,对传统的砂型铸造技术没有专门叙述,而在先进凝固技术方面,仅对定向凝固、快速凝固等技术用专门章节作了介绍。对于其他诸如超重力场、微重力场等特殊条件下的凝固技术等内容,读者可以在此基础上通过阅读其他专业书籍进行学习。

本书从理论结合实际出发,力求比较全面介绍液态成形技术的主要内容及其进展。可作为高等工科院校及高职高专非材料类专业教材,也可供材料类专业学生作为参考教材及企业和科研单位相关工程技术人员、管理人员及相关领域内的技术工人学习和参考。

全书由江苏大学司乃潮教授、贾志宏讲师、傅明喜副教授编写,戈晓岚教授任主审。其中第二~十一章由司乃潮负责撰写;第一、十二~十八章由贾志宏负责撰写,全书由司乃潮统稿。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在某些瑕疵,敬请读者批评指正,不吝赐教。

编者

2004 年 4 月

内 容 提 要

液态成形技术是一项既古老，又有无限活力的金属成形技术。近年来，在该领域不断涌现出新工艺、新装备。金属液态成形技术得到了快速的发展，也进一步加强了该项产业在国民经济中的重要地位。

《液态成形技术》一书共分十八章。首先阐述了液态金属成形的基本原理，然后分别介绍了铸铁、铸钢、铸造铝合金、铸造铜合金、铸造锌铝合金、铸造镁合金、铸造钛合金的种类、熔炼原理及其熔炼工艺；系统介绍熔模铸造、压力铸造、低压及差压铸造、负压实型铸造、金属型铸造、离心铸造等应用广泛的特种铸造技术，从基本原理、工艺技术方法及特点等方面进行了阐述；并介绍现代连铸技术的最新发展、应用及相关的设备、工艺特点等，最后从凝固技术的发展前沿出发，介绍了定向凝固及快速凝固技术的原理、工艺方法。

本书从理论结合实际出发，力求比较全面介绍液态成形技术的主要内容及其进展。可作为高等工科院校及高职高专非材料类专业教材，也可供材料类专业学生作为参考教材及企业和科研单位相关工程技术人员、管理人员及相关领域内的技术工人学习和参考。

目 录

第一章 液态成形原理	1
第一节 液态金属的流动性和充型能力	1
第二节 液态金属的凝固	5
第二章 铸铁熔炼技术	8
第一节 冲天炉熔炼基本原理	8
第二节 冲天炉熔炼技术	12
第三节 冲天炉熔炼过程中化学成分的变化规律	17
第四节 感应电炉熔炼技术	23
第五节 冲天炉与感应电炉双联熔炼技术	36
第三章 铸钢熔炼技术	48
第一节 电弧炉结构	48
第二节 碱性电弧炉氧化法炼钢	50
第三节 酸性电弧炉氧化法炼钢	61
第四章 铸造铝合金熔炼技术	64
第一节 铸造铝合金液精炼原理	64
第二节 铸造铝合金液精炼工艺	70
第三节 铸造铝合金变质处理	73
第四节 铸造铝合金典型熔炼工艺	80
第五章 铸造铜合金熔炼技术	84
第一节 铸造铜合金的氧化和脱氧	84
第二节 铸造铜合金液的除气	87
第三节 铸造铜合金所用熔剂	89
第四节 铸造铜合金典型熔炼工艺	91
第六章 铸造锌铝合金熔炼技术	94
第一节 铸造锌铝合金熔炼工艺	94
第二节 铸造锌铝合金的细化处理	98

第七章 铸造镁合金熔炼技术	106
第一节 镁合金的物理化学特性	106
第二节 镁合金熔炼过程的一般原理	108
第三节 含锆等镁合金的熔炼工艺	109
第八章 铸造钛合金熔炼技术	118
第一节 钛合金的物理化学特性	118
第二节 钛合金熔炼工艺	122
第九章 熔模铸造技术	130
第一节 模料性能及种类	130
第二节 制模工艺及性能	134
第三节 制壳耐火材料	136
第四节 水玻璃黏结剂	139
第五节 水玻璃型壳制壳工艺	143
第十章 压力铸造技术	152
第一节 压力铸造过程原理	152
第二节 压力铸造工艺	157
第三节 压铸型的设计	163
第十一章 低压及差压铸造技术	180
第一节 液面加压控制系统的设计及应用	180
第二节 工艺参数的选择及应用	182
第三节 低压差压铸造技术前景	191
第十二章 负压实型铸造技术	196
第一节 负压实型铸造原理	196
第二节 负压实型铸造的材料及工艺	198
第三节 负压实型铸造的工艺设备	199
第四节 负压实型铸造工艺实例分析	202
第十三章 金属型铸造	205
第一节 金属型铸件成形特点	205
第二节 金属型设计	206

第三节	金属型铸造工艺	214
第十四章	离心铸造	217
第一节	离心力场中铸件成形的特点	217
第二节	离心铸件在液体金属相对运动影响下的凝固特点	220
第三节	离心铸造工艺	222
第四节	离心铸造设备	223
第十五章	现代连铸技术	226
第一节	连铸钢水的准备	226
第二节	无氧化保护浇注	229
第三节	中间包冶金技术	230
第四节	结晶器	233
第五节	连铸保护渣	237
第十六章	近终形连铸技术	242
第一节	薄板坯连铸连轧	242
第二节	带钢连铸	244
第三节	异形坯连铸	248
第十七章	定向凝固技术	251
第一节	定向凝固原理	251
第二节	定向凝固的应用及特色	251
第三节	定向凝固工艺	253
第十八章	快速凝固技术	258
第一节	快速凝固工艺的基础研究	258
第二节	粉末材料快速凝固制备技术	260
第三节	低维材料的快速凝固	266
第四节	体材料的快速凝固	269
参考文献		272

第一章 液态成形原理

液态成形技术是将熔化的金属注入铸型后一次制成所需要的形状和性能零件的工艺方法，它与连接成形、塑性成形、粉末成形及切削成形共同构成了现代材料加工成形的基础。液态成形的工艺过程包含了金属熔化、液态保温、结晶、固态冷却等材料状态，我们就有必要对此过程中的传热、传质、结晶等基本现象进行讨论分析。

第一节 液态金属的流动性和充型能力

液态成形过程中，液态金属充满型腔，得到形状完整轮廓清晰的铸件的能力，称为液态金属充填型腔的能力，简称液态金属的充型能力。液态金属的充型能力首先取决于金属本身的流动能力，同时又受到外界条件（铸型性质、浇注条件、零件结构等）的影响。金属本身的流动能力称为金属的流动性，是金属的基本铸造性能之一，与金属的成分、温度、杂质含量等有关。

实践证明，同一种金属用不同的铸造方法，所能铸造的铸件最小壁厚不同。同样的铸造方法，由于金属种类不同，所能得到的最小壁厚也不相同，如表 1-1 所示。

表 1-1 不同工艺条件下铸件的最小壁厚

铸造方法	砂 型	金 属 型	熔 模	壳 型	压 铸
灰铸铁	3	>4	0.4~0.8	0.8~1.5	—
铸钢	4	8~10	0.5~1	2.5	—
铝合金	5	3~4	—	—	0.6~0.8

液态金属的流动性是使用浇注“流动性试样”的方法衡量的。在实际中，是将试样的结构和铸型性质固定不变，在相同的浇注条件下（例如在液相线以上相同的过热度或同一浇注温度下），以试样的长度或以试样某处的厚薄程度表示该合金的流动性。对于同一合金，可以用流动性试样研究各铸造因素对其充型能力的影响。流动性试样的种类很多，有螺旋形、球形、U 形、真空试样等，在生产和科学研究中应用最多的是螺旋形试样和真空试样。螺旋形试样的优点是结构简单，易操作；不足的是金属液流的沿途阻力大，流程越长，散热越多，故金属的流动条件和温度条件都是不稳定的，这就必然影响到测定数据的准确性。真空试样（如图 1-1）中，铸型条件和液

态金属的充型压头稳定；真空度可以随液态金属的不同而改变，使金属能在相同的压头下充填，从而增加了实验结果的对比性；可以动态观察充填过程，记录流动长度与时间的关系。

下面就影响充型能力的因素及采取的相应措施做介绍。

一、金属性质方面

金属性质决定了金属熔液的流动性，是影响充型能力的基本因素。

1. 合金成分

合金的流动性与其成分之间存在着一定的规律性，以 Pb-Sn 合金为例进行讨论。图 1-2 所示为 Pb-Sn 合金流动性与成分的关系。在流动性曲线上，对应着纯金属、共晶成分和金属间化合物的地方出现最大值，而有结晶温度范围的地方流动性下降，且在最大结晶温度范围附近出现最小值。

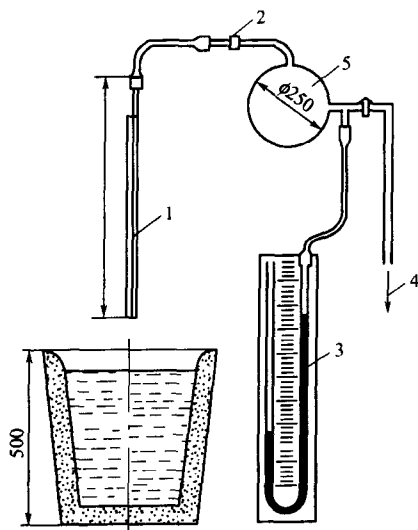


图 1-1 真空流动性测试装置

1—石英玻璃管；2—阀；3—真空压力计；
4—抽真空系统；5—真空室

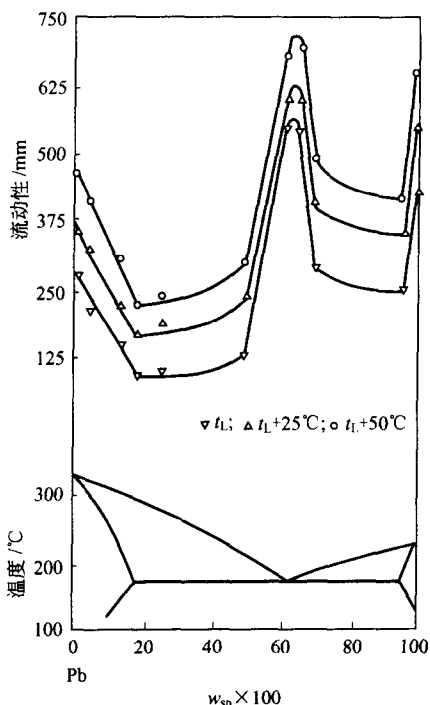


图 1-2 Pb-Sn 合金流动性与状态图的关系

对常用的 Fe-C 合金也有类似的规律，并且在加入其他元素后，对流动性也有不同的影响。如在铸铁中磷含量的增加，液相线温度下降，合金液黏度也下降，可以提高其流动性；铬是提高液相线温度的元素，使该合金的流动性下降。

2. 结晶潜热

结晶潜热约占液态金属热含量的 85%~90%，但是，它对不同类型合金的流动性影响是不同的。对于纯金属或共晶成分的合金，在固定温度下凝固。在一般的浇注条件下，在凝固过程中释放的结晶潜热越多，则凝固进行得越缓慢，流动性就越好。对于结晶温度范围较宽的合金，在散失一部分（约 20%）潜热后，晶粒就连成网络而阻塞流动，大部分结晶潜热并不能发挥其作用，所以这类合金的结晶潜热对流动性影响不大。

3. 金属的比热容、密度和导热系数

比热容和密度较大的合金，因其本身含有较多的热量，在相同的过热度下，保持液态的时间长，流动性好。导热系数小的合金，热量散失慢，保持流动的时间长；导热系数小，在凝固期间液固并存的两相区小，流动阻力小，所以流动性好。

金属中加入合金元素后，一般都使导热系数明显下降。但是，有时加入合金元素后初晶组织发生变化，反而使流动性下降。例如，在铝合金中加入少量的 Fe 或 Ni，合金的初晶变为发达的枝晶，并出现针状 FeAl_3 ，流动性显著下降。

综上所述，为提高液态金属的充型能力，在金属方面可采取以下措施：

（1）正确选择合金的成分

在不影响铸件使用性能的情况下，可以根据铸件的大小、厚薄和铸型性质等因素，将合金成分调整到实际共晶成分附近，或选用结晶温度范围小的合金。对某些合金进行变质处理使晶粒细化，也有利于提高其充型能力。

（2）合理的熔炼工艺

正确选择原料，去除金属表面的锈蚀、油污，并将熔剂烘干；在熔炼过程中尽量使金属液不接触或少接触有害气体；对某些合金充分脱氧或精炼去气，以减少其中的非金属夹杂物和气体。

在对钢液进行脱氧时，先加硅铁后再加锰铁会形成大量细小的尖角形 SiO_2 ，不容易清除，钢液的流动性很差。改为先加锰铁再加硅铁，脱氧产物主要是低熔点硅酸盐，数量较少，也易清除。

二、铸型方面的因素

铸型的阻力影响金属液的充型速度；铸型与金属的热交换强度影响金属液保持流动的时间。所以，铸型性质方面的因素对金属液的充型能力有重要的作用。

1. 铸型的蓄热系数

铸型的蓄热系数 b_2 表示从其中的金属中吸取并储存于本身中的热量的能力，其表达式为：

$$b_2 = \sqrt{c_2 \rho_2 \lambda_2} \quad (1-1)$$

式中， c_2 为铸型的比热容； ρ_2 为铸型的密度； λ_2 为铸型的导热系数。

蓄热系数 b_2 越大，铸型的激冷能力就越强，金属液于其中保持液态的时间就越

短。在金属型铸造中，就可以采用涂料来调整金属铸型的蓄热系数。

2. 铸型的温度

预热铸型能减小金属与铸型的温差，从而提高其充型能力。例如，在金属型中浇注铝合金铸件，将铸型温度由 340℃ 提高到 520℃，在相同的浇注温度（760℃）

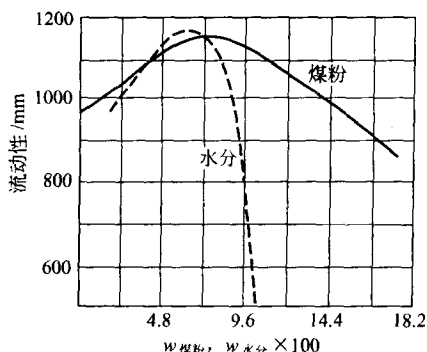


图 1-3 铸型中的水分和煤粉含量对铸铁充型能力的影响

下，代表充型能力的螺旋线长度由 525mm 增加到 950mm。在熔模铸造中，为得到清晰的铸件轮廓，可将型壳焙烧到 800℃ 以上进行浇注。

3. 铸型中的气体

铸型有一定的发气能力，能在金属液与铸型之间形成气膜，可以减小流动的摩擦阻力，有助于充型。在其他条件相同的情况下，钢液在湿砂型中的流动能力要大于干砂型。由在低硅铸铁中的实验，湿型中发气物质（水分、煤粉）的加入量与流动性的关系如图 1-3 所示。可以看出，在一定范围内，加大铸

型中的发气量能提高合金的流动性，但发气物质含量超过临界值时，反而会对流动性能产生不利影响。

三、浇注条件方面的因素

1. 浇注温度

浇注温度对液态金属的充型能力有决定性的影响。浇注温度越高，充型性能越好。对于流动性差的合金或薄壁、复杂铸件，利用提高浇注温度来改善充型能力的措施，在生产中经常采用。但是，随着浇注温度的提高，铸件一次结晶组织粗大，液态收缩增大，容易产生缩孔类缺陷。根据生产经验，对各种合金都有浇注温度的参考温度范围来指导生产。

2. 充型压头

液态金属在流动方向上所受的压头愈大，充型能力就愈好。实际中，可用增加金属液静压头的方法来提高充型能力，或采用其他方式外加压力，如压铸、真空吸铸、低压铸造等。

3. 浇注系统的结构

浇注系统的结构越复杂，流动阻力越大，在相同静压头的情况下，充型能力就越差。在设计浇注系统时，必须合理地布置内浇道在铸件上的位置，选择恰当的浇注系统结构和各组元（直浇道、横浇道和内浇道）的截面积。

四、铸件结构方面的因素

衡量铸件结构特点的因素是铸件的折算厚度和复杂程度，它们决定了铸型型腔的

结构特点。

1. 折算厚度 (也称当量厚度、模数)

如果铸件的体积相同,在同样的浇注条件下,折算厚度大的铸件,由于它与铸型的接触表面积相对较小,热量散失比较缓慢,则充型能力较高。铸件的壁越薄,折算厚度就越小。

2. 铸件的复杂程度

铸件结构复杂、厚薄部分过渡面较多,则型腔结构复杂,流动阻力大,铸型的充填就困难。

第二节 液态金属的凝固

液态金属的凝固主要是从传热学的观点出发,研究凝固金属与铸型的传热过程、凝固断面上凝固区域的大小、凝固方式与质量的关系以及凝固时间等内容。

一、凝固时的温度场

金属在凝固过程中,晶粒的形核、生长,液态金属的补缩,化学成分的不均匀性等现象都是与温度的变化密切相关的。因此研究凝固过程中最首要的问题是解决在任意时刻凝固金属的温度分布,即金属与铸型构成的整个传热体系的温度场的变化。

现在对温度场的研究主要是通过实测法、数学解析法及数值模拟法来进行的。实测法就是通过仪表实际测量出金属在一定条件下凝固成形时各测量点的温度变化规律,主要包括金属凝固系统、热电偶及记录输出装置。

二、金属的凝固方式

1. 金属凝固的方式主要通过确定断面的凝固区域宽度来判定,而凝固区域宽度可以从金属凝固时某一时刻的温度场确定。一般将铸件的凝固方式分为三种类型:逐层凝固方式、体积凝固方式和中间凝固方式。图 1-4 (a) 表示纯金属或共晶成分合金在凝固过程中,其断面上的凝固区域宽度为零,固体和液体由凝固前沿的界面清楚地分开。随着温度的下降,固体层厚度不断加厚,逐步达到铸件中心,这种凝固方式称为“逐层凝固方式”。对合金结晶温度范围很小,或断面温度梯度很大时,铸件断面的凝固区域则很窄,通常也认为是属于逐层凝固方式,如图 1-4 (b)。

如果铸件断面温度场较平坦,如图 1-5 (a) 或合金的结晶温度范围很宽,如图 1-5 (b),铸件在凝固的某一时刻,其凝固区域贯穿整个凝固断面,称之为

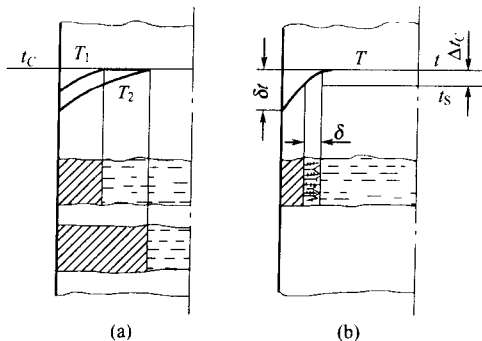


图 1-4

“体积凝固方式”（或“糊状凝固方式”）。若合金的凝固区域宽度介于前两者之间时，则属于“中间凝固方式”（图 1-6）。

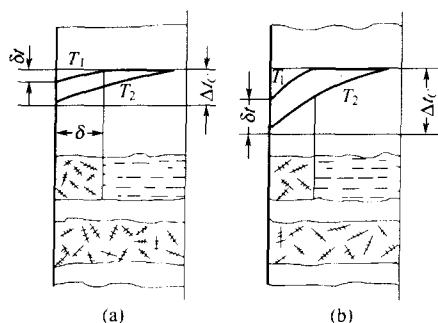


图 1-5

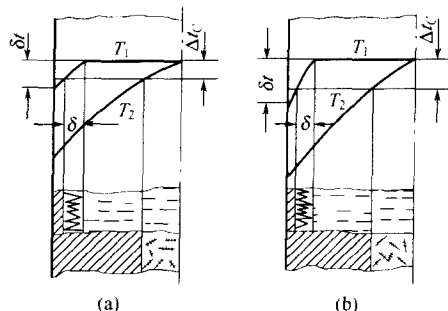


图 1-6

由上述定义，很显然液态金属以何种凝固方式进行凝固取决于其结晶温度范围和温度梯度这两个量。其中，结晶温度范围是由成分所决定的，属于金属材料的基本性质；温度梯度则是由具体的工艺条件所决定的，根据不同的凝固成型方法有很大的差异。比如在砂型铸造中一般温度梯度相对平缓，金属型中则温度梯度提高很多，在快速凝固技术的条件，温度下降超过某一数量级，其凝固方式、结晶特点甚至发生了质的变化（见第十八章）。

2. 金属凝固方式与铸件质量的关系

铸件的致密性和健全性与合金的凝固方式密切相关。对于纯金属和共晶成分合金及窄结晶温度范围的合金，在通常条件下以逐层凝固方式进行凝固成形。其凝固前沿与液态金属直接接触，当液态金属凝固成为固体时而发生的体积收缩可以不断地得到液体的补缩，所以产生分散性缩孔的倾向性小，而在凝固最后形成集中的缩孔。所以此类合金的补缩性能和铸件的致密性好，产生热裂倾向小。工业上常用的材料如工业用铝、锌、低碳钢、铝青铜及结晶温度范围小的黄铜等都属于此类。

对宽结晶温度范围的合金，如高碳钢、球铁、铝铜、铝镁及镁合金等，一般条件下凝固区域宽，容易发展成为树枝晶发达的粗大等轴晶组织。当粗大的等轴晶互连接以后，便将尚未凝固的液态金属分割为一个个不连通的熔池，最后在铸件中形成分散性的缩孔，即缩松。由于粗大的等轴晶较早地连成骨架，还提高了产生热裂的倾向。对这类合金，在实际生产中一般要采取提高冒口的补缩压力，加速凝固等工艺手段，以增加零件的致密性。

还有一些合金，如中碳钢、高锰钢、部分黄铜等，其凝固区域为中等宽度，它们的补缩特性、热裂倾向等都介于上述两者之间。

三、铸件的凝固时间

铸件的凝固时间是指液态金属充满型腔的时刻到凝固完毕所需要的时间。凝固时