



普通高等教育“十五”国家级规划教材

工程材料及机械制造基础 (II)

热加工工艺基础

(第二版)

清华大学金属工艺学教研室 编
严绍华 主编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

工程材料及机械制造基础(Ⅱ) 热加工工艺基础

(第二版)

清华大学金属工艺学教研室编

严绍华 主编



高等教育出版社

内容简介

本书是在第一版的基础上,吸取了十多年来高等工科院校本课程的教学改革成果和教学经验以及读者对本书的使用意见,依据教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会最新修订的《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》和《重点高等工科院校金工系列课程改革指南》的精神,并考虑更好地适应新世纪对高等学校工科本科机械类专业人才培养的需要而全面修订的。

本次修订着重在原有基础上更新教学内容,较大力度地精简传统内容,较大幅度地增加热加工新技术与新工艺内容,力求体现工艺性课程教材的鲜明特色,突出实用性和综合性。本书保持了第一版叙述清晰简练、语言通顺流畅、图文配合紧密的特点,并贯彻了在完成金工实习的基础上对本课程内容进行拓宽、加深和应用的原则。

全书共分6章,内容包括铸造、锻压、焊接、热加工工艺自动化、毛坯选择和金属材料的基本知识等。第六章金属材料的基本知识的内容是讲授铸造、锻压、焊接的基础,若学生在学习热加工工艺基础之前已讲授工程材料,则此章可不讲授。

本书可作为高等工科院校机械类专业学习本课程的通用教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书第一版曾获国家教委优秀教材一等奖和教育部科技成果三等奖。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及机械制造基础. 2, 热加工工艺基础/严绍华主编. —2版. —北京:高等教育出版社, 2004(重印)

ISBN 7-04-013052-1

I. 工... II. 严... III. ①工程材料—高等学校—教材②机械制造—高等学校—教材③热加工—高等学校—教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 097714 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	北京铭成印刷有限公司		
开 本	787×960 1/16	版 次	1991年5月第1版 2004年1月第2版
印 张	18.75	印 次	2004年8月第2次印刷
字 数	340 000	定 价	21.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第一版前言

本教材是依据国家教委批准印发的《高等工业学校工程材料及机械制造基础Ⅱ(热加工工艺基础)课程教学基本要求》编写的,其基础是清华大学金属工艺学教研室编、曹聿主编的《金属工艺学》热加工部分的校内印刷教材,该教材在本校教学中使用多次,为本教材的编写提供了教学实践的经验。

本教材在编写过程中,注意总结国内各院校进行教学改革和课程建设的实际经验,并吸取了国内、外同类教材的优点。为了提高本教材的实用性,使其既能配合课堂教学使用,又对学生的课后学习具有实用参考价值,本教材在安排实例上增加了部分结合实际生产所用的图表资料,便于查阅使用。同时也注意了与机械类金工实习教材的配合,贯彻在完成金工实习的基础上课程内容做到拓宽、加深、应用的原则,注重对学生能力的培养。

本教材内容的教学可通过讲授、课堂讨论、自学、实验和习题作业等环节予以实施,并要辅以电化教学手段。

本教材原来包括铸造、锻压、焊接、毛坯选择四章,后又考虑到各院校在安排“工程材料”与“金属工艺学”这两门课程时先后讲授的顺序不同,在教学实践和认识上也不完全一致,为了照顾到这种情况,扩大本教材的使用范围,又附加了第五章——“金属材料的基本知识”作为讲授铸造、锻压、焊接的基础。这样处理使本教材既照顾到《工程材料及机械制造基础》整个大课程的统一性,又可作为《金属工艺学》热加工部分的传统教材使用。

本书可作为高等工业院校机械类专业学习本课程的通用教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书由清华大学金属工艺学教研室组织编写,参加编写的人员有易又南(第一章)、李家枢、张万昌(第二、四章)、龚国尚(第三章)、曹聿(第五章),并由张万昌担任主编。

本书承蒙天津大学徐允长副教授、杭州电子工程学院何发昌教授审阅,并由工程材料及机械制造基础课程教学指导小组召开教材评审会议审定并推荐出版,很多老师为此教材的编写提供了不少宝贵的意见,在此谨表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,本教材中难免有错误和不妥之处,热诚希望有关同志和读者予以批评指教,不胜感激。

编者

1990.6

第二版前言

本书是工程材料及机械制造基础课程(简称金工课程)教材之一。金工课程是研究机器零件常用材料和加工方法(即从选择材料、制造毛坯,到加工出零件)的综合性课程,是一门高等工科院校本科机械类专业必修的技术基础课。在高等工科院校本科机械类专业人才培养的过程中,金工课程所涉及的机械制造工艺理论和基础知识必不可少,是培养从事机械设计和机械制造工程技术人才的重要基础,也是培养复合型人才和构建多学科知识结构的重要基础。本教材自1991年出版以来,全国金工课程改革已经取得一系列重要成果,金工教师在多年的教学实践中积累了许多新经验。为适应目前高等工科院校本科机械类专业教学对该课程的需求,特对原教材进行修订。

本次修订体现以下特点:

1. 符合我国高等工科院校本科机械类专业人才的培养目标,以及教育部高等学校机械基础教学指导分委员会最新修订的《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》和《重点高等工科院校金工系列课程改革指南》的精神,体现多年来本课程的教学改革成果和教学经验。

2. 总结多年来本课程深化教学改革的实践经验,在原有基础上着重更新教学内容,较大力度地精简传统内容,较大幅度地增加热加工新技术与新工艺内容,以适应现代机械制造技术的发展。

3. 不仅注重学生获取知识和分析、解决工程技术实际问题能力的培养,而且在内容上力求体现对学生工程素质与创新思维能力的培养。

4. 体现工艺性课程教材的鲜明特色,引入部分新的有实用价值的工艺设计图表资料,突出实用性与综合性,既注意配合课堂教学使用,又考虑便于学生课后查阅选用。教材中的名词术语和计量单位均采用最新国家标准和行业标准。

5. 本教材与高等教育出版社出版的机械类清华大学金属工艺学教研室编《金属工艺学实习教材》(第三版)分工明确,配合紧密。

6. 保持本书第一版叙述清晰简练,语言通顺流畅,图文密切配合的特点,并贯彻在完成金工实习基础上对本课程内容进行拓宽、加深和应用的原则。本版教材篇幅总量有所缩减。考虑到部分高校工程材料课程在本课程之后讲授,本教材附加了第六章金属材料的基本知识,作为讲授铸造、锻压、焊接的基础。若在学习热加工工艺基础之前已讲授工程材料,则此章可不讲授。

本书由清华大学金属工艺学教研室组织修订，第一版由张万昌主编，第二版由严绍华主编。参加第二版修订工作的有：易又南(第一章)、李家枢(第二、五章)、龚国尚(第三章)、李双寿(第四章)、严绍华(第六章)。

本书由天津大学陈金水教授主审，他认真审阅了全书，对教材提出了修改意见。教材第一版主编张万昌研究员审阅了修订纲目，提出了不少宝贵的意见。在此谨对他们表示衷心的感谢。

在本书的修订过程中，编者参考了部分国内外有关教材和科技文献，在此特向有关作者和单位表示深切的谢意。

由于编者水平所限，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2003年5月

目 录

第一章 铸造	1
第一节 概述	1
第二节 金属的液态成形	2
一、铸件的凝固	2
二、液态合金的充型能力	4
三、铸件的收缩	7
四、铸件中的气体	15
五、合金铸造性能的概念	16
第三节 砂型(芯)制造	16
一、手工造型	16
二、机器造型	17
三、机器造芯	21
第四节 砂型铸件结构的工艺性	24
一、铸造工艺对铸件结构的要求	24
二、合金铸造性能对铸件结构的要求	26
第五节 砂型铸造工艺方案的确定	28
一、浇注位置的确定	29
二、分型面的选择	30
三、铸造工艺参数的确定	31
四、型芯设计	33
五、铸造工艺图的绘制	34
第六节 常用合金铸件的生产	36
一、铸铁件生产	37
二、铸钢件生产	48
三、有色合金铸件生产	51
第七节 特种铸造	56
一、熔模铸造	56
二、金属型铸造	58
三、压力铸造	59
四、离心铸造	61

五、消失模铸造	62
第八节 各种铸造方法的比较	64
复习思考题	66
第二章 锻压	72
第一节 概述	72
第二节 金属塑性成形原理	73
一、金属塑性变形的实质	73
二、塑性变形对金属组织与性能的影响	76
三、金属的塑性成形性能	80
第三节 自由锻	82
一、自由锻工艺规程的制定	82
二、自由锻工艺规程实例	88
三、自由锻件的结构工艺性	92
四、自由锻的特点与应用	93
第四节 模锻	93
一、模锻的特点与应用	94
二、模锻锤上模锻	94
三、其他设备上的模锻	102
第五节 板料冲压	106
一、板料冲压的特点与应用	107
二、冲裁	107
三、弯曲	109
四、拉深	113
五、其他成形工序	117
六、典型冲压件工艺实例	119
第六节 其他塑性成形方法	120
一、精密模锻	120
二、挤压成形	122
三、轧制成形	125
四、精密冲裁	129
五、液态模锻	131
六、粉末锻造	134
七、超塑性成形	136
复习思考题	138
第三章 焊接	142

第一节 概述	142
第二节 熔焊过程与接头性能	144
一、熔焊过程	144
二、焊接接头的性能	147
第三节 常用焊接方法	150
一、焊条电弧焊	150
二、埋弧自动焊	153
三、气体保护电弧焊	157
四、等离子弧焊与切割	160
五、电阻焊	163
六、摩擦焊	166
七、钎焊	167
第四节 现代焊接方法	169
一、电子束焊	169
二、激光焊与切割	171
三、扩散焊	174
第五节 常用金属材料的焊接	175
一、金属焊接性	175
二、碳钢的焊接	177
三、低合金钢的焊接	177
四、奥氏体不锈钢的焊接	179
五、铸铁的焊补	180
六、非铁金属的焊接	181
第六节 焊接结构工艺设计	184
一、焊接结构的生产工艺过程概述	184
二、焊接结构工艺设计	184
三、焊接结构工艺设计实例	198
复习思考题	199
第四章 热加工工艺自动化	201
第一节 快速原型技术	201
一、快速原型技术简介	201
二、快速原型工艺	203
三、快速原型技术的应用	208
第二节 热加工中的计算机技术	209
一、模拟技术	209

二、专家系统	213
三、热加工 CAD/CAM	217
第三节 热加工自动设备及系统	220
一、工业机器人	220
二、热加工 CNC 及 FMS	224
三、热加工自动生产线	227
复习思考题	231
第五章 毛坯的选择	232
第一节 机械零件毛坯的类型及其制造方法的比较	232
第二节 机械零件毛坯选择的原则	233
一、适用性原则	233
二、经济性原则	234
三、可行性原则	235
第三节 常用机械零件毛坯的选择	235
一、轴杆类零件	236
二、盘套及饼块类零件	237
三、支架箱体类零件	238
四、毛坯选择实例	239
复习思考题	241
第六章 金属材料的基本知识	242
第一节 金属材料的力学性能	242
一、强度	242
二、塑性	244
三、硬度	244
四、韧性	246
五、疲劳强度	247
第二节 金属的晶体结构与结晶	248
一、金属的晶体结构	249
二、金属的结晶	250
三、金属的同素异构转变	252
第三节 合金的相结构与相图	253
一、合金的相结构	253
二、二元合金相图的概念	255
第四节 铁碳合金	256
一、铁碳相图	256

二、典型铁碳合金的组织转变	259
三、铁碳相图的应用	264
第五节 钢的热处理	266
一、钢在加热时的组织转变	266
二、钢在冷却时的组织转变	268
三、钢的普通热处理工艺	269
四、钢的表面热处理工艺	272
第六节 常用钢材	275
一、化学成分对碳钢力学性能的影响	275
二、钢的分类、牌号和用途	276
复习思考题	283
参考文献	285

第一章 铸 造

第一节 概 述

铸造是将液态金属浇注到铸型型腔中，待其冷却凝固后，获得一定形状的毛坯或零件的方法，所得产品称为铸件。铸造的实质是液态金属凝固而成形，因而具有下列优点：(1)可以铸造出内腔、外形很复杂的毛坯，并可生产出近于终形的铸件。(2)工艺灵活性大，几乎各种合金，各种尺寸、形状、质量和数量的铸件都能生产。铸件质量可由几克到几百吨，壁厚可由 0.3 mm 到 1 m 左右。铸件材料可用铸铁、碳钢、合金钢，也可用铜合金、铝合金、镁合金等有色合金。(3)铸造成本较低。铸件的原材料大都来源广泛，价格低廉。但是液态成形也给铸造带来某些缺点：(1)铸造组织疏松，晶粒粗大，内部易产生缩孔、缩松、气孔等缺陷。(2)铸件的力学性能(特别是冲击韧性)较差。(3)铸造工序多，难以精确控制。尽管铸造有这些缺点，它的突出优点使其成为制造具有复杂结构金属件的最灵活、最经济的成形方法，在工业生产中得到广泛的应用。在各类机械产品中，铸件质量占整机质量的比重很大，如在机床、内燃机、重型机器中为 70% ~ 90%，在风机、压缩机中为 60% ~ 80%，在拖拉机中约为 50% ~ 70%。

砂型铸造具有适应性强、生产准备简单等优点，是目前最主要的铸造方法。此外，还有许多特种铸造方法，如熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、消失模铸造、陶瓷型铸造、壳型铸造等，广泛用于某些特定领域。

我国的铸造技术历史悠久。早在三千多年前青铜铸器已有应用，二千五百年前铸铁工具已经相当普遍。大量历史文物显示了我国古代人民在铸造技术上的精湛创造。泥型、金属型和失蜡型是我国创造的三大铸造技术。

近几十年来，我国的铸造技术发展迅速。在砂型铸造方面，推广、应用了快速硬化的水玻璃砂、自硬砂及树脂砂等，可制出精确铸型及型芯；机器造型技术不断发展，可用湿型砂制造出高密度铸型，从而获得精确铸件，进一步扩大了砂型铸造的应用范围。在铸造合金方面，发展了高强度、高韧性的球墨铸铁和各类合金铸铁，成功地用球墨铸铁件代替了某些锻钢件。在铸造设备方面，已建立起许多先进的机械化、自动化高密度砂型造型生产线。在新工艺、

新技术方面,各种特种铸造、精确铸造方法得到发展和应用。所有这些都使铸件质量和生产效率不断提高,劳动条件不断改善。

第二节 金属的液态成形

铸件在液态成形过程中将经历金属液的充填、凝固、收缩、吸气、偏析和形成非金属夹杂物等一系列过程,这些过程将极大地影响铸件质量和铸造工艺。

一、铸件的凝固

合金从液态转变为固态的状态变化,称为凝固。从结晶学的角度看,凝固时合金液中的原子由无序排列经过生核、核心长大成为规则排列的晶体,所以合金液凝固又称为一次结晶。凝固过程中铸件断面上的温度变化、凝固区域的大小及凝固方式直接影响铸件的质量。

1. 铸件的温度场

合金液充满型腔后,在凝固和冷却的某瞬间,铸件横断面上的温度分布曲线称为铸件的温度场。图1-1所示为圆柱体铸件某瞬间横断面上的温度场(T)。图中的纵坐标表示温度,横坐标表示断面上某点至铸件表面的距离。由于铸型壁的散热作用,铸件表面温度低于中心温度,如果四周型壁的散热条件相同,则任何时刻的温度分布曲线对壁的轴线是对称的。温度场的变化速率称温度梯度,即铸件的冷却速率。铸件的温度场是不稳定的,它随时间的变化而变化。同一瞬间温度场中温度相同的点组成的面(或线)称为等温面(或线),对圆柱体铸件而言,若表面散热条件相同,则等温面为平行于铸件表面的圆柱面,如图1-1中的I-I和I'-I'及II-II和II'-II'等温面。

2. 铸件的凝固区域

铸件在凝固过程中,除纯金属和共晶成分合金外,断面上一般都存在三个区域:液相区、凝固区和固相区。图1-1下部是根据铸件断面温度场确定的凝固区域。在平衡状态时合金相图上的液相点 T_L 为凝固开始温度,固相点 T_S 为凝固结束温度。某一时刻铸件断面温度场上的 b 及 b' 点温度为 T_S ,从此点至铸件表面的相应区域内合金已凝固,此区域称为固相区; c 及 c' 点之间的温度大于等于 T_L ,从 c 和 c' 至铸件中心的相应区域合金仍处于液态,该区域称为液相区;而 bc 线与 $b'c'$ 线的相应区域温度在 T_L 与 T_S 之间,合金为液相和固相共存状态,称为凝固区。这三个区域随着时间的变化而变化,在铸件的凝固过程中液相区不断缩小,凝固区不断向中心推进直至消失,而固相区逐步扩大直至占据铸件整个断面,此时凝固过程结束。

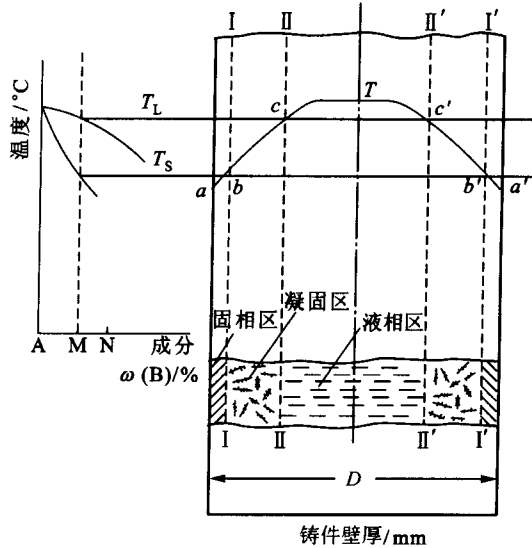


图 1-1 铸件的温度场及某瞬间的凝固区域

3. 铸件的凝固方式

铸件的凝固方式(即铸件断面上的凝固特性)主要取决于凝固区的宽度,可分为以下三种类型:

(1) 逐层凝固方式 图 1-2a 为恒温下凝固的纯金属和共晶成分合金(如图 1-1 中的合金 A)的凝固情况。 T_1 和 T_2 是铸件断面上两个不同时刻(τ_1 和 τ_2)的温度场。因凝固温度范围 $T_L - T_S = 0$, 铸件断面上凝固区宽度等于零, 表层为固相区, 中心为液相区。随着温度不断降低, 固相区不断加厚, 由铸件表面向中心层层推进, 直至占据全部断面。这种没有凝固区, 固相区由表面向中心层层发展的凝固方式即为逐层凝固方式。由于凝固前沿(固、液相的交界线)与合金液直接接触, 使合金具有良好的充型能力和补缩条件。如果合金的结晶温度范围很小, 铸件断面的凝固区域很窄, 则也属于逐层凝固方式。

(2) 糊状凝固方式(图 1-2b) 对于凝固温度范围($T_L \sim T_S$)宽的合金(如图 1-1 中的合金 N)或温度梯度很小的铸件, 凝固的某段时间内($\tau_1 \sim \tau_2$)铸件断面上的凝固区很宽, 甚至贯穿整个铸件断面, 而表面的温度仍高于固相点 T_S 而不结壳。 τ_2 以后表层温度低于 T_S , 此时才开始结壳而形成固相区, 并不断增厚直至铸件中心。这种凝固方式称为糊状凝固方式。由于铸件的断面上布满小晶体, 将金属液分割开, 使合金液的充型和补缩能力变差。

(3) 中间凝固方式 对于很多中等凝固温度范围的合金(如图 1-1 中的合金 M), 铸件断面上的凝固区域宽度介于上述两者之间, 称为中间凝固方式,

见图 1-2c。这种凝固方式的凝固初期类似于逐层凝固，但其凝固区域较宽，并迅速扩展至铸件中心。

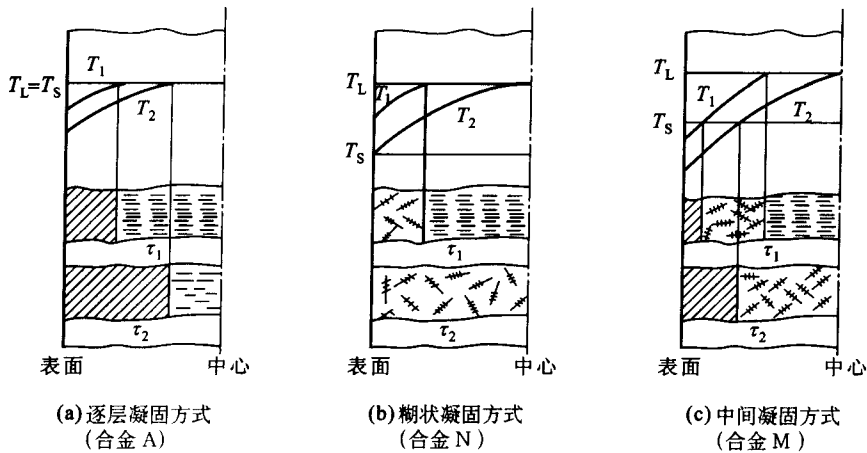


图 1-2 铸件的凝固方式

铸件的凝固方式除了与合金的结晶温度范围有关外，还与铸件断面温度场的温度梯度有关。当合金成分确定后，温度梯度则成为主要因素。梯度很大的温度场可以使宽结晶温度范围的合金成为中间凝固方式，甚至成为逐层凝固方式，如高碳钢在金属型中的凝固；梯度很小的温度场可以使窄结晶温度范围的合金成为糊状凝固方式，如壁厚很大的灰铸铁件凝固。

铸件的凝固方式直接影响铸件的质量，如铸件的健全性及致密性等。

二、液态合金的充型能力

液态合金充满型腔，获得形状完整、轮廓清晰的铸件的能力，称为充型能力。一些铸造缺陷，如浇不到、冷隔、砂眼、铁豆、抬箱及气孔等都是充型不利的情况下产生的。对于充型能力强的合金液，卷入其中的气体易于上浮而被排除，有利于对铸件的凝固收缩进行补缩及补合在凝固后期出现的热裂纹，从而防止气孔、缩孔、缩松和热裂等缺陷。

影响液态合金充型能力的因素主要有：

1. 合金的流动性

合金的流动性是指合金本身的流动能力，是影响合金充型能力的内在因素，它主要与合金本身的性质有关。流动性用金属液在流动性试样铸型内流动的最大长度(L_f)来表示。常用的流动性试样的形状为螺旋形，如图 1-3 所示。

合金的化学成分是影响合金流动性的主要因素。恒温下结晶的纯金属和共

晶合金具有逐层凝固方式，流动性好，如纯铁和共晶铸铁。当液流前端温度达到固相点 T_s 时，在铸件壁断面上凝固从表面向中心推动，固、液相界面平滑，阻力小，故中心未凝液体仍能流动，流动时间长且流动距离也长，流动性好(图 1-4a)。

宽结晶温度范围的合金呈糊状凝固方式，流动性差，如高碳钢。在液流前端较早出现液、固共存区，使金属液流速下降。随着小晶体不断增多，到一定程度时液体则停止流动，流动距离较短，流动性差(图 1-4b)。合金结晶温度范围愈宽则两相区越宽，晶体越多，金属液越早停止流动，流动性越差。

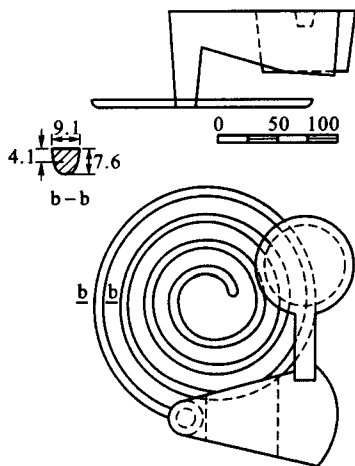


图 1-3 流动性试样

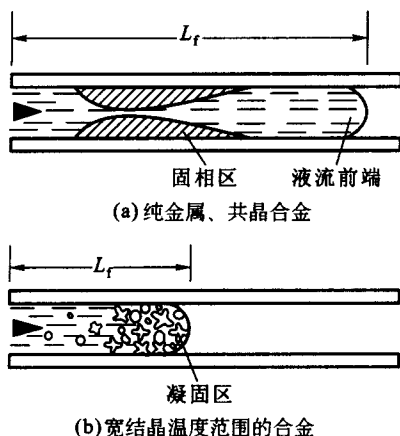


图 1-4 不同成分合金的流动性

图 1-5 所示为铁碳合金的流动性与相图的关系。图中表明，碳钢随着结晶温度范围的增加而流动性变差；亚共晶铸铁随含碳量的增加流动性提高。表 1-1 列出了一些常用铸造合金的流动性，其中铸铁和硅黄铜的流动性最好，铸钢的流动性最差。

2. 外界条件

(1) 铸型和浇注条件 金属铸型的导热速度比砂型大，故液态合金在金属型中的充型能力比在砂型中差；型砂中水分过多，排气不好，浇注时产生大量气体，会增加铸型对金属液流动的阻力，使合金的

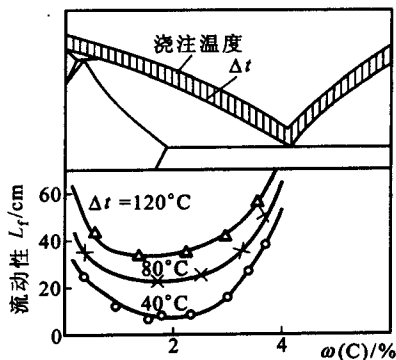


图 1-5 铁碳合金的流动性与相图的关系

充型能力变差。

表 1-1 常用合金的流动性(砂型,试样截面 8 mm × 8 mm)

合金种类	铸型种类	浇注温度 $t/^\circ\text{C}$	螺旋线长度 L_f/mm
C + Si = 5.2%	砂型	1 300	1 000
C + Si = 4.2%	砂型	1 300	600
铸钢 C = 0.4%	砂型	1 600	100
		1 640	200
铝硅合金(硅铝明)	金属型(300 $^\circ\text{C}$)	680 ~ 720	700 ~ 800
镁合金(含 Al 及 Zn)	砂型	700	400 ~ 600
锡青铜(Sn \approx 10%, Zn \approx 2%)	砂型	1 040	420
硅黄铜(Si = 1.5% ~ 4.5%)	砂型	1 100	1 000

在一定范围内,浇注温度愈高液态合金的充型能力愈好(见图 1-5 中过热度 Δt 对曲线的影响)。但超过一定界限后浇注温度愈高液态合金收缩愈大,吸气愈多,氧化愈严重,充型能力甚至降低。一般铸钢合适的浇注温度为 1 520 ~ 1 620 $^\circ\text{C}$;铸铁为 1 230 ~ 1 450 $^\circ\text{C}$;铝合金为 680 ~ 780 $^\circ\text{C}$ 。此外,提高金属液的压头可使其充型能力增加(如增加直浇口高度或采用压力铸造、真空吸铸等方法)。

(2) 铸件结构条件 常用铸件模数(折算厚度)来衡量,即铸件的体积和散热表面积之比(cm)。铸件模数大表示型腔散热表面积小,合金液的充型能力较强。模数越小则越不易充满。在设计铸件结构时,铸件的壁厚必须大于规定的最小允许壁厚值(见表 1-2)。

表 1-2 砂型铸件的最小允许壁厚

mm

铸件轮廓尺寸	碳素铸钢	灰铸铁	球墨铸铁	可锻铸铁	铝合金	黄铜
< 200	5	3 ~ 4	3 ~ 4	3.5 ~ 4.5	3 ~ 5	6 ~ 7
\geq 200 ~ 400	6	4 ~ 5	4 ~ 5	4 ~ 5.5	5 ~ 6	6 ~ 8
\geq 400 ~ 800	8	5 ~ 6	8 ~ 10	5 ~ 8	6 ~ 8	—
\geq 800 ~ 1 250	12	6 ~ 8	10 ~ 12	—	—	—

综上所述,为提高合金的充型能力应尽量选用共晶成分合金,或结晶温度范围小的合金;应尽量提高金属液的质量,金属液愈纯净则所含气体、杂质愈少,充型能力愈好。但在许多情况下合金是确定的,需从其他方面采取措施提高合金的充型能力。所以,充型能力可以认为是考虑铸型及其他工艺因素影响的液态合金的流动性。