

清华大学基础工业训练系列教材



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 材料成形工艺基础

(第2版)

严绍华 主编

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
清华大学基础工业训练系列教材

# 材料成形工艺基础

(第2版)

严绍华 主编

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书是在第1版的基础上,总结国内各院校特别是北京市各高校进行教学改革的实践成果,贯彻教育部机械基础课程教学指导分委员会工程材料及机械制造基础课程教学指导组最新制定的“《工程材料及机械制造基础》教学基本要求”和“重点高等工科院校金工课程改革指南”的精神,并考虑更好地体现我国高等工科院校机械类专业人才培养目标而进行修订的。

本书的主要内容有材料成形理论基础、铸造、塑性成形、焊接、粉末冶金、非金属制品成形、现代材料成形技术、材料成形工艺自动化、材料成形方法选择及机械产品质量控制等。它既是多年来科研与生产实践经验的总结,也是教学实践经验的积累。本书引入工艺设计实用资料和典型工艺案例,内容翔实,数据准确,深入浅出,图文并茂。

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,也可作为有关工程技术人员的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

材料成形工艺基础 / 严绍华主编. —2版. —北京: 清华大学出版社, 2008.9  
(清华大学基础工业训练系列教材)

ISBN 978-7-302-18005-0

I. 材… II. 严… III. 工程材料—成形—工艺—高等学校—教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 095570 号

责任编辑: 庄红权

责任校对: 刘玉霞

责任印制: 杨 艳

出版发行: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

投稿与读者服务: 010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈: 010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

邮 购: 010-62786544

印 装 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×230 印 张: 17.25

字 数: 372 千字

版 次: 2008 年 9 月第 2 版

印 次: 2008 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 28.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。

联系电话: 010-62770177 转 3103 产品编号: 021173-01

## “清华大学基础工业训练”系列教材编委会

主 任 傅水根

副主任 李双寿 严绍华 李鸿儒

编 委 张学政 卢达溶 张万昌 李家枢

王天曦 洪 亮 王豫明

秘 书 钟淑苹

# 序言

随着教育教学改革的逐渐深入,我国高等工科教育的人才培养正由知识型向能力型转化。高等学校由主要重视知识传授向重视知识、能力、素质和创新思维综合发展的培养方向迈进,以满足尽快建立国家级创新体系和社会协调发展对各层次人才的需要。

由于贯彻科学发展观和科教兴国的伟大战略方针,我国对教育的投入正逐年加大。在新的教育改革理念的支持下,我国高校的实验室建设、工程实践教学基地建设呈现着从未有过的发展局面。不仅各种实验仪器、设备等教学基础设施硬件条件有了较好的配置,而且在师资队伍建设、课程建设、教材建设、教学管理、教学手段、教学方法和教学研究等方面都取得了长足的进步。

面对发展中的大好形势,清华大学基础工业训练中心在总结长期理论教学和工程实践教学经验的基础上,参照教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组所完成的《工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》和《重点高等工科院校工程材料及机械制造基础系列课程改革指南》,组织高水平的师资队伍,博采众家之长,策划、编写(包括修订)了这套综合性的系列教材。

在教材的编写过程中,作者试图正确处理下列6方面的关系:理论基础与工程实践、教学实验之间的关系;常规机电技术与先进机电技术之间的关系;教师知识传授与学生能力培养之间的关系;学生综合素质提高与创新思维能力培养之间的关系;教材的内容、体系与教学方法之间的关系;常规教学手段与现代教育技术之间的关系。

由于比较正确地处理了上述关系,使该系列教材具有下列明显的特色:

(1) 重视基础性知识,精选传统内容,使传统内容与新知识之间建立起良好的知识构架,有助于学生更好地适应社会的需求,并兼顾个人的长远发展。

(2) 重视跟踪科学技术的发展,注重新理论、新材料、新技术、新工艺、新方法的引进,力求使教材内容具有科学性、先进性、时代性和前瞻性。

(3) 重视处理好教材各章节间的内部逻辑关系,力求符合学生的认识规律,使学习过程

变得顺理成章。

(4) 重视工程实践与教学实验,改变原教材过于偏重知识的倾向,力图引导学生通过实践训练,发展自己的工程实践能力。

(5) 重视综合类作业,力图培养学生综合运用知识的能力;倡导小组式的创新实践训练,引导学生发现问题、提出问题、分析问题和解决问题,培养创新思维能力和群体协作能力。

(6) 重视综合素质提高,引导学生建立责任意识、安全意识、质量意识、环保意识和群体意识等,为毕业后更好地适应社会不同工作的需求创造条件。

(7) 重视配套音像教材和多媒体课件的建设,引导教师在教学过程中适度采用现代教育技术,在有限的学时内提高教学效率和效益,同时方便学生预习和复习。

该系列教材还注重文字通顺,深入浅出,图文并茂,表格清晰,使之符合最新国家与部门标准。

该系列教材主要适用于大学本科和高职高专学生,也可作为教师、工程技术人员工作和进修的教科书或参考文献。

尽管作者和编辑付出了很大努力,书中仍然可能存在不尽如人意之处。恳请读者提出宝贵意见,以便及时予以修订。

傅水根

2006年2月18日

于清华园

## 第2版前言

“材料成形工艺基础”是我国工科院校中贯彻工艺基础教育的一门综合性的技术基础课程,是工程材料及机械制造基础课程(金工课程)的主要组成部分之一。在高等工科院校本科机械类专业人才培养过程中,金工课程所涉及的机械制造工艺理论和基础知识不可或缺,它既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。本教材第1版作为北京市普通高等学校教育教学改革试点项目“金工课程改革研究与实践”的重要成果之一,出版以来在多所高校使用。近几年来,我国金工课程改革又取得诸多成果,金工教师在多年的教学与研究实践中积累了许多新鲜经验。为适应高等工科院校本科机械类专业人才培养目标对该课程的新要求,特对原教材进行修订。

本次修订体现以下特点:

(1) 教材以我国高等工科院校机械类专业人才培养目标为出发点,贯彻教育部机械基础课程教学指导分委员会工程材料及机械制造基础课程教学指导组最新制定的“《工程材料及机械制造基础》教学基本要求”和“重点高等工科院校金工课程改革指南”的精神,总结国内各院校特别是北京市各高校进行教学改革的实践成果,体现该课程教学的基本经验并面向未来。

(2) 教材在体系上突出材料成形的理论基础,强化综合分析与应用。在内容上重点体现新颖性和科学性,精选铸造、塑性成形和焊接等常规工艺方法,较大幅度地引入材料成形新技术、新工艺,以适应现代机械制造技术的发展。

(3) 教材力求体现工艺性课程的鲜明特色,适当引入部分工艺设计常用资料,采用比较典型的综合性工艺案例,在每章之后辅以一定量的复习思考题,以利于培养学生获取知识、分析问题与解决工程技术实际问题的能力,提高学生的工程素质与创新思维能力。

(4) 教材保持了第1版重点突出、深入浅出、图文并茂和便于自学的优点,其名词术语和计量单位采用最新的国家和行业技术标准。

本教材由北京市金属工艺学研究会组织部分高校多年从事金工教学富于经验的教师编写和修订。本书由严绍华任主编,参加修订的教师有:清华大学李双寿、严绍华、李家枢,北京交通大学何庆复,北京理工大学周郴知,北京林业大学钱桦,北京工业大学程文彬,北京联合大学机电学院陈萍。清华大学姚启明、来可宜和北京科技大学樊百林等参与全书插图的绘制。

本书的编写和修订得到北京市教委高教处和教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导组的关心,北京理工大学朱铁保教授和清华大学龚国尚教授对教材初稿进行了审阅,在此谨表示衷心的感谢。

在本书修订过程中,编者参考了国内外部分相关教材和科技文献,在此特向有关作者和单位表示深切的谢意。

由于编者水平和经验所限,书中难免有错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008年8月

# 目录



|                    |           |
|--------------------|-----------|
| <b>1 材料成形理论基础</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 液态成形基础         | 1         |
| 1.1.1 金属的凝固        | 1         |
| 1.1.2 金属和合金的铸造性能   | 3         |
| 1.1.3 铸造性能对铸件质量的影响 | 7         |
| 1.2 塑性成形基础         | 16        |
| 1.2.1 塑性成形的实质      | 16        |
| 1.2.2 冷变形强化与再结晶    | 18        |
| 1.2.3 锻造比与锻造流线     | 21        |
| 1.2.4 塑性成形基本规律     | 22        |
| 1.2.5 金属的锻造性能      | 24        |
| 1.3 冶金连接成形基础       | 27        |
| 1.3.1 焊接熔池的化学冶金过程  | 27        |
| 1.3.2 焊接接头的组织和性能   | 29        |
| 1.3.3 焊接应力和变形      | 32        |
| 1.3.4 金属焊接性        | 37        |
| 复习思考题              | 39        |
| <b>2 铸造</b>        | <b>41</b> |
| 2.1 砂型铸造           | 41        |
| 2.1.1 手工造型常用方法小结   | 41        |
| 2.1.2 机器造型(芯)      | 42        |
| 2.2 特种铸造           | 45        |

|       |                    |    |
|-------|--------------------|----|
| 2.2.1 | 熔模铸造 .....         | 45 |
| 2.2.2 | 金属型铸造 .....        | 46 |
| 2.2.3 | 压力铸造 .....         | 47 |
| 2.2.4 | 低压铸造 .....         | 48 |
| 2.2.5 | 离心铸造 .....         | 49 |
| 2.3   | 铸造工艺设计 .....       | 50 |
| 2.3.1 | 铸造工艺设计内容和步骤 .....  | 50 |
| 2.3.2 | 铸造工艺设计举例 .....     | 56 |
| 2.4   | 铸件结构工艺性 .....      | 57 |
| 2.4.1 | 铸造性能对铸件结构的要求 ..... | 57 |
| 2.4.2 | 铸造工艺对铸件结构的要求 ..... | 59 |
| 2.5   | 常用合金铸件生产 .....     | 61 |
| 2.5.1 | 铸铁件生产 .....        | 61 |
| 2.5.2 | 铸钢件生产 .....        | 73 |
| 2.5.3 | 非铁合金铸件生产 .....     | 76 |
|       | 复习思考题 .....        | 80 |

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| 3     | 塑性成形 .....        | 82  |
| 3.1   | 自由锻 .....         | 82  |
| 3.1.1 | 自由锻工艺规程的制定 .....  | 82  |
| 3.1.2 | 自由锻工艺规程实例 .....   | 85  |
| 3.2   | 模锻 .....          | 87  |
| 3.2.1 | 模锻的特点与应用 .....    | 87  |
| 3.2.2 | 锤上模锻 .....        | 89  |
| 3.2.3 | 其他设备上的模锻 .....    | 95  |
| 3.3   | 板料冲压 .....        | 98  |
| 3.3.1 | 板料冲压的特点及应用 .....  | 99  |
| 3.3.2 | 板料冲压的基本工序 .....   | 99  |
| 3.4   | 其他塑性加工方法 .....    | 108 |
| 3.4.1 | 精密模锻 .....        | 108 |
| 3.4.2 | 精密冲裁 .....        | 109 |
| 3.4.3 | 挤压成形 .....        | 109 |
| 3.4.4 | 轧制成形 .....        | 111 |
| 3.4.5 | 摆动碾压 .....        | 113 |
| 3.5   | 锻压件结构工艺性 .....    | 114 |
| 3.5.1 | 自由锻锻件的结构工艺性 ..... | 114 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 3.5.2 模锻件的结构工艺性   | 115 |
| 3.5.3 板料冲压件的结构工艺性 | 116 |
| 复习思考题             | 119 |

## 4 焊接 120

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 4.1 概述             | 120 |
| 4.2 常用熔焊方法         | 122 |
| 4.2.1 焊条电弧焊        | 122 |
| 4.2.2 埋弧焊          | 126 |
| 4.2.3 气体保护焊        | 128 |
| 4.2.4 电渣焊          | 130 |
| 4.3 压焊和钎焊          | 132 |
| 4.3.1 电阻焊          | 132 |
| 4.3.2 摩擦焊          | 135 |
| 4.3.3 钎焊           | 136 |
| 4.4 常用金属材料的焊接      | 137 |
| 4.4.1 碳钢的焊接        | 137 |
| 4.4.2 低合金结构钢焊接     | 138 |
| 4.4.3 不锈钢焊接        | 140 |
| 4.4.4 铸铁焊补         | 140 |
| 4.4.5 非铁金属焊接       | 141 |
| 4.5 焊接结构工艺设计       | 142 |
| 4.5.1 焊接结构生产工艺过程概述 | 142 |
| 4.5.2 焊接结构工艺设计     | 143 |
| 4.5.3 焊接结构工艺设计实例   | 150 |
| 复习思考题              | 151 |

## 5 粉末冶金 152

|                |     |
|----------------|-----|
| 5.1 粉末冶金的特点和应用 | 152 |
| 5.2 粉末冶金工艺过程   | 152 |
| 5.2.1 粉末的制取    | 152 |
| 5.2.2 粉末制品的成形  | 153 |
| 5.2.3 粉末冶金新技术  | 159 |
| 复习思考题          | 163 |

## 6 非金属制品的成形 164

|            |     |
|------------|-----|
| 6.1 塑料制品成形 | 164 |
|------------|-----|

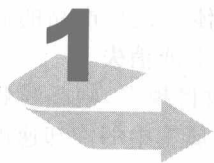
|          |                  |            |
|----------|------------------|------------|
| 6.1.1    | 概述               | 164        |
| 6.1.2    | 塑料成形加工基础         | 164        |
| 6.1.3    | 塑料的成形            | 166        |
| 6.2      | 橡胶制品成形           | 171        |
| 6.2.1    | 概述               | 171        |
| 6.2.2    | 橡胶制品成形方法简介       | 171        |
| 6.3      | 陶瓷制品成形           | 172        |
| 6.3.1    | 陶瓷制品的主要原料        | 172        |
| 6.3.2    | 陶瓷制品成形技术         | 172        |
| 6.4      | 复合材料制品成形         | 175        |
| 6.4.1    | 复合材料成形特点         | 175        |
| 6.4.2    | 复合材料成形技术         | 175        |
|          | 复习思考题            | 180        |
| <b>7</b> | <b>现代材料成形技术</b>  | <b>181</b> |
| 7.1      | 现代铸造技术           | 181        |
| 7.1.1    | 气压造型             | 181        |
| 7.1.2    | 消失模铸造            | 183        |
| 7.1.3    | 铸造凝固新工艺          | 188        |
| 7.2      | 现代塑性成形技术         | 193        |
| 7.2.1    | 超塑性成形            | 193        |
| 7.2.2    | 高能率成形            | 196        |
| 7.3      | 现代焊接与热切割技术       | 199        |
| 7.3.1    | 等离子弧焊与切割         | 199        |
| 7.3.2    | 电子束焊             | 201        |
| 7.3.3    | 激光焊与切割           | 202        |
| 7.3.4    | 扩散焊              | 204        |
| 7.4      | 材料成形复合工艺         | 205        |
| 7.4.1    | 液态模锻             | 205        |
| 7.4.2    | 粉末锻造             | 208        |
| 7.4.3    | 喷雾锻造             | 209        |
|          | 复习思考题            | 209        |
| <b>8</b> | <b>材料成形工艺自动化</b> | <b>210</b> |
| 8.1      | 快速原型技术           | 210        |
| 8.1.1    | 快速原型技术简介         | 210        |

|       |                |     |
|-------|----------------|-----|
| 8.1.2 | 快速原型工艺         | 211 |
| 8.1.3 | 快速原型技术在热加工中的应用 | 214 |
| 8.2   | 材料成形计算机技术      | 215 |
| 8.2.1 | 模拟技术           | 215 |
| 8.2.2 | 专家系统           | 220 |
| 8.2.3 | 热加工 CAD/CAM    | 222 |
| 8.3   | 材料成形自动设备及系统    | 225 |
| 8.3.1 | 工业机器人          | 225 |
| 8.3.2 | 热加工 CNC        | 230 |
| 8.3.3 | 热加工 FMS        | 232 |
| 8.3.4 | 热加工自动生产线       | 234 |
|       | 复习思考题          | 237 |

## 9 材料成形方法选择及机械产品质量控制 238

|       |                   |     |
|-------|-------------------|-----|
| 9.1   | 材料成形方法选择          | 238 |
| 9.1.1 | 材料成形方法选择的原则       | 238 |
| 9.1.2 | 常用材料成形方法及其制件的分析比较 | 240 |
| 9.1.3 | 典型材料成形方法选择举例      | 242 |
| 9.2   | 全面质量管理在机械制造中的应用   | 245 |
| 9.2.1 | 机械产品质量的概念         | 245 |
| 9.2.2 | 质量管理及其发展过程        | 245 |
| 9.2.3 | 全面质量管理的概念         | 248 |
| 9.2.4 | 质量成本的概念           | 249 |
| 9.2.5 | ISO 9000 系列标准简介   | 250 |
| 9.2.6 | 质量体系认证制度          | 252 |
| 9.3   | 机械产品常用的无损检测方法     | 252 |
| 9.3.1 | 致密性检测             | 253 |
| 9.3.2 | 渗透检测              | 253 |
| 9.3.3 | 磁粉检测              | 253 |
| 9.3.4 | 超声波检测             | 254 |
| 9.3.5 | 射线检测              | 255 |
| 9.3.6 | 无损检测新技术           | 256 |
|       | 复习思考题             | 259 |

## 参考文献 260



# 材料成形理论基础

## 1.1 液态成形基础

### 1.1.1 金属的凝固

#### 1. 液态金属的结构与性质

熔化是通过加热将金属由固态转变到熔融状态的过程。由于铸造生产中熔化得到的液体金属在熔点以上过热不高(一般高于熔点  $100\sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),在整个固、液、气三态中,这种液态温度靠近于固态而远离气态。

实验表明,金属的熔化是从晶界开始的,是原子间结合的局部破坏。熔化后得到的液态金属是由许多近程有序排列的“游动的原子集团”所组成,其中原子的排列和原有的固体相似,但是存在很大的能量起伏和剧烈的热运动;温度越高,原子集团越小,游动越快。

上述结构特点决定了液态金属具有黏度和表面张力等特性。黏度是介质中一部分质点对另一部分质点做相对运动时所受到的阻力。与气体不同,液体(和固体相似)分子处于连续的相互作用之中,并且作用力很大。液体在外力作用下其形状的改变,与固体受力变形不同,是不可逆的、非弹性的,并且这种形状的改变所需的作用力很小。黏度的倒数称为流动性。表面张力是在液体表面上平行于表面方向、且在各方向均相等的张力。液体表面最显著的特点之一,就是液面在表面张力的作用下在靠近器壁处产生弧形弯曲。

实际金属比上述现象复杂得多,因为工业应用的金属主要是合金,而且是多元合金;原材料中存在多种多样的杂质,尽管有些杂质的含量很少,但其原子数仍是惊人的;在熔化过程中金属与炉气、熔剂、炉衬的相互作用还会吸收气体,带进杂质,甚至带入许多固体和液体质点。

#### 2. 铸件的凝固组织

物质由液态转变为固态的过程称为凝固。铸造的实质就是液态金属在铸型中逐步冷却凝固而成形。由于固态金属均为晶体,因此金属的凝固过程又称为结晶,它由形核和晶体长大这两个密切联系的基本过程来实现。

凝固组织就宏观状态而言,指的是铸态晶粒的形态、大小、取向和分布等情况;铸件的微

组织的概念包括晶粒内部的亚结构的形状、大小和相对分布,以及各种缺陷等。铸件的凝固组织对金属材料的力学性能、理化性能影响甚大。一般情况下,晶粒越细小均匀,金属材料的强度和硬度越高,塑性和韧性越好。影响铸件凝固组织的因素有:

(1) 原始炉料。钢铁、铝合金和其他一些合金的组织 and 性能,在相同的生产条件下,取决于原材料的微观组织和质量,这表明合金原材料的原始状态对合金熔体及最终产品的微观组织有着特殊的遗传效应。加强过热和延长保温时间可使这种现象减弱或消失。

(2) 冷却速度。冷却速度越大,金属液的过冷度越大,产生的晶核数目越多,则晶粒越细。铸造生产中常通过改变浇注温度和冷却条件来细化晶粒。铸件在金属型中的冷却速度要比砂型大,得到的晶粒相应细小;铸件薄壁处的冷却速度快,其晶粒就比厚壁处的晶粒细。

(3) 孕育处理。铸造生产中经常采用孕育处理,即在浇注前向金属液中加入一定量的孕育剂,它们作为外来形核核心促使晶粒细化。

### 3. 铸件的凝固方式和控制铸件凝固的工艺原则

#### 1) 铸件的凝固方式

铸件在凝固过程中,除纯金属和共晶成分合金外,断面上一一般都存在三个区域,如图 1-1 所示,即固相区、凝固(固-液两相)区和液相区。根据凝固区域宽度的不同,铸件的凝固方式可分为逐层凝固、糊状凝固和中间凝固三种方式:

(1) 逐层凝固方式。恒温下结晶的纯金属或共晶合金,在铸件凝固过程中其截面上的凝固区域宽度等于零,固-液两相界面清楚。随着温度的下降,固体层不断加厚,逐步达到铸件中心。如果合金的结晶温度范围很小,或截面温度梯度很大,铸件截面的凝固区域则很窄,也属于逐层凝固方式。

(2) 糊状凝固方式。如果铸件截面温度场较平坦,或合金的结晶温度范围很宽,铸件凝固的某一段时间内,其凝固区域贯穿整个铸件截面,则在凝固区域里既有已结晶的晶体,也有未凝固的液体。

(3) 中间凝固方式。如果合金的结晶温度范围较窄,或者铸件截面的温度梯度较大,铸件截面上的凝固区域介于前两者之间。

铸件的凝固方式决定了铸件的组织结构形式,它与铸件的质量有着内在联系。

#### 2) 控制铸件凝固的工艺原则

为了保证铸件质量,在铸造工艺设计时,可以通过控制铸件的凝固过程,使之符合顺序凝固原则或同时凝固原则。

(1) 顺序凝固原则:是指采用各种措施保证铸件结构上各部分,按照远离冒口的部分最先凝固,然后是靠近冒口部分,最后才是冒口本身凝固的次序进行,亦即在铸件上从远离冒口或浇口到冒口或浇口之间建立一个递增的温度梯度,从而实现由远离冒口的部分向冒口的方向顺序地凝固,如图 1-2 所示。

(2) 同时凝固原则:是采取工艺措施保证铸件结构上各部分之间没有温差或温差尽量

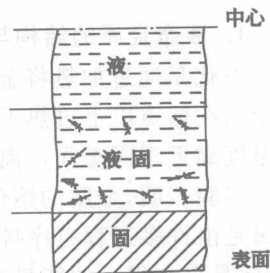


图 1-1 铸件某一时刻的凝固过程

小,使各部分几乎同时凝固,如图 1-3 所示。

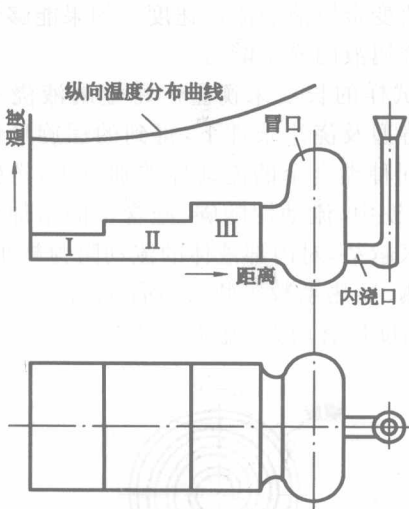


图 1-2 顺序凝固原则示意图

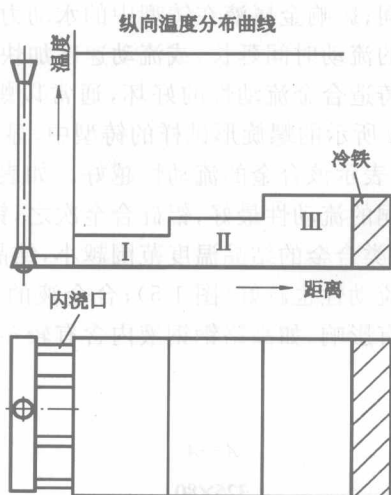


图 1-3 同时凝固原则示意图

对于某一具体铸件,要根据合金的特点、铸件的结构及其技术要求,以及可能出现的其他缺陷,如缩孔、缩松、应力、变形、裂纹等综合考虑,找出主要矛盾,合理选择凝固原则。应该指出,虽然顺序凝固与同时凝固在凝固顺序上是对立的,但由于铸件结构一般比较复杂,因此不能简单地采用顺序凝固或同时凝固。例如,从整体看某个铸件壁厚均匀,但个别部位有热节。在具体的铸件上可以是两者的结合,即采用复合的凝固原则。

应该注意,顺序凝固和逐层凝固是两个不同的概念。逐层凝固是指铸件某一截面上,铸件的凝固从表层逐渐向中心发展,直至中心最后凝固;而顺序凝固则是指从铸件的薄壁到厚壁再到冒口的有次序地凝固。同样,也不要将糊状凝固与同时凝固相混淆。

### 1.1.2 金属和合金的铸造性能

铸造性能是表示合金在铸造成形的整个工艺过程中,容易获得外形正确、内部健全铸件的性能。它是一个复杂的综合性能,不是单一的物理性质,通常用充型能力、收缩性等来衡量。除合金元素化学成分外,工艺因素对铸造性能影响很大。因此,必须掌握合金的铸造性能,以便采取工艺措施,防止缺陷,提高铸件质量。

#### 1. 合金的充型能力

##### 1) 充型能力的概念

液态合金充满型腔,形成轮廓清晰、形状完整的铸件的能力,叫做液态合金的充型能力。它是考虑铸型及工艺因素影响的熔融金属的流动性。

液态金属的充型能力首先取决于液态金属本身的流动能力,即熔融金属的流动性,同时又受外界条件,如铸型条件、浇注条件、铸件结构等因素的影响,是各种因素的综合反映。这

些因素通过两个途径发生作用：影响金属与铸型之间的热交换条件，从而改变金属液的流动时间；影响金属液在铸型中的水动力学条件，从而改变金属液的流动速度。如果能够使金属液的流动时间延长，或流动速度加快，都可以改善金属液的充型能力。

铸造合金流动性的好坏，通常以螺旋形流动性试样的长度来衡量。将金属液浇入如图 1-4 所示的螺旋形试样的铸型中，显然，在相同的铸型及浇注条件下，得到的螺旋形试样越长，表示该合金的流动性越好。如表 1-1 所示，不同种类合金的流动性差别较大，铸铁和硅黄铜的流动性最好，铝硅合金次之，铸钢最差；在铸铁中，流动性随碳、硅含量的增加而提高；同类合金的结晶温度范围越小，结晶时固液两相区越窄，对内部液体的流动阻力越小，合金的流动性也越好（图 1-5）；合金液的黏度、结晶潜热、导热系数等物理性能对合金的流动性都有影响，如高铬钢钢液内含有较多的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ，使黏度显著增大，流动性很差。

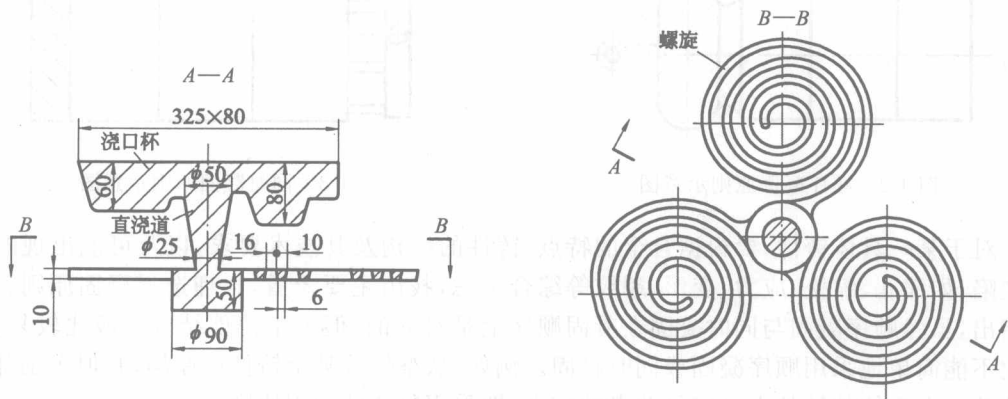


图 1-4 螺旋形流动性试样示意图

表 1-1 常用合金的流动性(试样截面 8 mm×8 mm)

| 合 金               | 造型材料      | 浇注温度/℃  | 螺旋线长度/mm |
|-------------------|-----------|---------|----------|
| 铸铁(C+Si=6.2%)     | 砂 型       | 1300    | 1800     |
| (C+Si=5.9%)       |           | 1300    | 1300     |
| (C+Si=5.2%)       |           | 1300    | 1000     |
| (C+Si=4.2%)       |           | 1300    | 600      |
| 铸钢(C,0.4%)        | 砂 型       | 1600    | 100      |
|                   |           | 1640    | 200      |
| 铝硅合金              | 金属型(300℃) | 690~720 | 100~800  |
| 镁合金(Mg-Al-Zn)     | 砂 型       | 700     | 400~600  |
| 锡青铜(Sn,9%~11%)    | 砂 型       | 1040    | 420      |
| (Zn,2%~4%)        |           |         |          |
| 硅黄铜(Si,1.5%~4.5%) |           | 1100    | 1000     |

注：表中的 C、Si、Sn、Zn 均表示该元素在合金中的含量。