

第 39 篇 铸 造

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机 械 工 业 出 版 社

TH-62

3
3:39

机械工程手册

第39篇 铸 造

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册

编辑委员会



机械工业出版社



A641022

本篇介绍铸造的工艺原理、基本工艺方法和主要的工艺装备及设备,共11章,包括概述、成型的工艺基础、工艺设计、工艺装备、造型制芯材料与工艺、特种铸造、铸钢熔炼、铸铁熔炼、非铁铸造合金熔炼、铸件清理和安全技术,着重介绍保证质量和提高质量方面的技术资料 and 工艺参数。

机 械 工 程 手 册

第 39 篇 铸 造

(试 用 本)

第一机械工业部沈阳铸造研究所 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ · 印张 $13^{3/4}$ · 字数 390 千字

1979 年 4 月北京第一版 · 1979 年 4 月北京第一次印刷

印数 00,001—48,000 · 定价 1.00 元

*

统一书号: 15033 · 4507

编辑说明

(一) 我国自建国以来, 机械工业在毛主席的革命路线指引下, 贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针, 取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验, 同时采用国外先进技术, 加强机械工业科学技术的基础建设, 适应实现“四个现代化”的需要, 我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用, 也可供教学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书, 着重介绍各专业的理论基础, 常用计算公式、数据、资料, 关键问题以及发展趋势。在编写中, 力求做到立足全局, 勾划概貌, 反映共性, 突出重点。在内容和表达方式上, 力求做到深入浅出, 简明扼要, 直观易懂, 归类便查。读者在综合研究和处理技术问题时, 《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成, 构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分, 共七十九篇; 《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分, 共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部

门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员，更为广泛。许多地区的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

(五) 为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

(六) 本篇是《机械工程手册》第39篇，由第一机械工业部沈阳铸造研究所主编，参加编写的有哈尔滨工业大学、东北工学院、第一机械工业部郑州机械研究所、南京市机械研究所、沈阳重型机器厂、北京安定机械厂、洛阳矿山机器厂、北京玛钢厂、第一汽车制造厂、第二汽车制造厂、沈阳铸造厂、武汉重型机器制造厂、上海中国机模厂等单位，许多单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

目 录

编辑说明

第1章 概 述

第2章 铸件成型过程的工艺基础

- 1 铸型的充填.....39-4
 - 1.1 影响液态金属充型能力的因素39-4
 - 1.2 提高充型能力的措施39-6
- 2 铸造合金中的气体.....39-6
 - 2.1 气体的来源及对铸件质量的影响39-6
 - 2.2 气体在铸造合金中的溶解规律39-7
 - 2.3 去气方法和工艺措施39-9
- 3 液态金属与铸型的相互作用39-10
 - 3.1 热作用.....39-10
 - 3.2 物理化学作用.....39-10
 - 3.3 机械作用.....39-11
- 4 铸件一次结晶的控制39-11
 - 4.1 固溶体型合金的结晶控制.....39-11
 - 4.2 共晶型合金的结晶控制.....39-14
- 5 铸件的凝固39-16
 - 5.1 铸件的凝固方式及补缩特性.....39-16
 - 5.2 铸铁的凝固.....39-16
 - 5.3 铸件凝固的控制.....39-17
 - 5.4 铸件的凝固时间和凝固速度.....39-18
- 6 铸件的收缩39-19
 - 6.1 铸钢的收缩.....39-19
 - 6.2 铸铁的收缩.....39-20
 - 6.3 缩孔容积.....39-21
 - 6.4 热裂.....39-22
 - 6.5 应力、变形和冷裂.....39-23

第3章 铸造工艺设计

- 1 铸件的工艺分析39-24
 - 1.1 浇注位置和分型面的选定.....39-24

- 1.2 型芯设计原则.....39-26
- 2 主要工艺参数39-27
 - 2.1 铸件尺寸精度.....39-27
 - 2.2 铸件加工余量.....39-28
 - 2.3 铸造收缩率.....39-32
 - 2.4 模样的拔模斜度.....39-33
- 3 浇注系统设计39-33
 - 3.1 浇注系统的类型及其选用.....39-33
 - 3.2 金属引入位置.....39-37
 - 3.3 浇注系统各部分尺寸的确定.....39-37
- 4 冒口、冷铁、铸筋39-41
 - 4.1 冒口.....39-41
 - 4.2 冷铁.....39-52
 - 4.3 铸筋.....39-55

第4章 铸造工艺装备

- 1 模样39-56
 - 1.1 木模.....39-57
 - 1.2 菱苦土模.....39-64
 - 1.3 环氧塑料模.....39-64
 - 1.4 泡沫塑料模.....39-66
 - 1.5 金属模.....39-69
- 2 模底板及模板框39-70
 - 2.1 模底板基本结构.....39-70
 - 2.2 模板框基本结构.....39-71
- 3 砂箱39-72
 - 3.1 砂箱结构设计.....39-72
 - 3.2 砂箱尺寸系列.....39-73
- 4 金属芯盒39-75
 - 4.1 金属芯盒结构型式.....39-75
 - 4.2 金属芯盒设计.....39-76
- 5 热芯盒及壳芯盒39-76
 - 5.1 热芯盒材料.....39-77
 - 5.2 热芯盒结构设计.....39-78

第5章 造型制芯材料与工艺

- 1 造型用砂分类 39-80
 - 1.1 石英系砂 39-80
 - 1.2 非石英系砂 39-81
- 2 造型用粘结剂 39-82
 - 2.1 粘土 39-82
 - 2.2 水玻璃 39-83
 - 2.3 双快水泥 39-84
 - 2.4 油类 39-84
 - 2.5 水溶性有机粘结剂 39-85
 - 2.6 合成树脂 39-85
- 3 造型与制芯工艺 39-86
 - 3.1 粘土砂 39-86
 - 3.2 手工造型 39-89
 - 3.3 抛砂机造型 39-91
 - 3.4 高压造型 39-93
 - 3.5 水玻璃砂造型 39-97
 - 3.6 自硬砂造型 39-99
 - 3.7 石灰石砂造型 39-103
 - 3.8 油砂芯与制芯工艺 39-104
 - 3.9 热芯盒制芯 39-106
 - 3.10 薄壳制芯 39-110
 - 3.11 冷芯盒制芯 39-113

第6章 特种铸造

- 1 压力铸造 39-115
 - 1.1 压铸机 39-115
 - 1.2 压铸型设计 39-118
 - 1.3 压铸工艺 39-122
 - 1.4 提高压铸件质量的措施 39-124
 - 1.5 钢铁压铸 39-124
- 2 熔模铸造 39-125
 - 2.1 压型 39-125
 - 2.2 熔模制造 39-126
 - 2.3 制壳材料 39-128
 - 2.4 制壳工艺 39-130
 - 2.5 制壳机械 39-133
 - 2.6 脱蜡(脱模)及旧蜡回收 39-134
 - 2.7 型壳焙烧 39-134
- 3 金属型铸造 39-134

- 3.1 金属型设计 39-134
- 3.2 金属型铸造工艺要点 39-136
- 4 低压铸造 39-137
 - 4.1 低压铸造铸型工艺设计 39-138
 - 4.2 低压铸造工艺 39-139
 - 4.3 低压铸造设备 39-140
 - 4.4 提高低压铸件质量的措施 39-141
- 5 陶瓷型铸造 39-142
 - 5.1 模样光洁度及精度 39-142
 - 5.2 分型面与基准面的确定 39-142
 - 5.3 陶瓷型铸造工艺 39-142
 - 5.4 聚氯化铝陶瓷型 39-143
- 6 离心铸造 39-144
 - 6.1 离心力及转速计算 39-144
 - 6.2 离心铸造机 39-144
 - 6.3 离心铸造工艺 39-145
- 7 实型铸造 39-146
 - 7.1 泡沫聚苯乙烯的热破坏 39-146
 - 7.2 金属液与模样的相互作用 39-146
 - 7.3 聚苯乙烯分解产物对铸件表面质量的影响 39-147
 - 7.4 实型铸造工艺 39-147
- 8 磁型铸造 39-148
 - 8.1 铸造工艺 39-148
 - 8.2 磁型机 39-149
- 9 连续铸造 39-149
- 10 真空吸铸 39-149
- 11 液态金属挤压铸造 39-150

第7章 铸钢熔炼

- 1 炼钢过程 39-151
 - 1.1 有关物理化学概念 39-151
 - 1.2 炉渣 39-153
 - 1.3 脱磷 39-154
 - 1.4 脱硫 39-155
 - 1.5 钢中的氢和氮 39-156
 - 1.6 脱氧 39-156
- 2 铸钢熔炼设备 39-157
- 3 电弧炉炼钢 39-158
 - 3.1 电弧炉炉衬 39-158
 - 3.2 电弧炉的合理用电规范 39-159

3.3 碱性电弧炉炼钢	39-160
3.4 酸性电弧炉炼钢	39-162
4 碱性平炉炼钢	39-162
4.1 碱性平炉结构	39-162
4.2 碱性平炉熔炼要点	39-164

第8章 铸铁熔炼

1 冲天炉	39-166
1.1 冲天炉结构	39-166
1.2 主要工艺参数	39-167
1.3 燃烧反应与热交换	39-168
1.4 冶金反应	39-168
1.5 热平衡与热效率	39-170
1.6 焦炭	39-171
1.7 风机	39-172
1.8 冲天炉系列	39-173
1.9 强化冲天炉熔炼措施	39-174
2 煤粉、重油、天然气化铁炉	39-177
2.1 熔炼特点	39-177
2.2 燃料与喷燃装置	39-178
2.3 燃料发热值与炉型参数	39-181
3 感应炉	39-181
3.1 基本原理	39-181
3.2 熔炼特点	39-181
3.3 无芯工频感应电炉	39-182
3.4 有芯感应电炉	39-183
4 球墨铸铁	39-183
4.1 化学成分的选择	39-183
4.2 熔炼特点	39-184
4.3 球化剂和球化处理工艺	39-184
4.4 孕育处理	39-185
5 可锻铸铁	39-186
5.1 化学成分的选择	39-186
5.2 熔炼特点	39-187
5.3 孕育处理	39-187

第9章 非铁铸造合金的熔炼

1 熔炼设备	39-188
1.1 坩埚炉	39-188
1.2 反射炉	39-189
1.3 单相电阻炉	39-190

1.4 感应炉	39-191
2 炉料	39-191
2.1 原金属料	39-191
2.2 回炉料	39-191
2.3 中间合金	39-192
3 铸造铜合金的熔炼	39-192
3.1 铜合金液中氢的去除法	39-192
3.2 铜液脱氧	39-193
3.3 铜合金的熔剂	39-193
3.4 铜合金熔炼要点	39-194
4 铸造铝合金的熔炼	39-195
4.1 铝合金的精炼	39-195
4.2 铝合金的变质处理	39-196
4.3 炉前检查	39-196
4.4 铝合金的熔炼工艺要点	39-197
5 铸造镁合金的熔炼	39-197
6 铸造锌合金的熔炼	39-198

第10章 铸件清理

1 机械落砂除芯	39-199
2 水爆清砂	39-201
2.1 机理	39-201
2.2 铸件对水爆的适应性	39-201
2.3 工艺要点	39-202
2.4 设备	39-203
3 水力清砂	39-203
4 喷丸、抛丸清理	39-203
4.1 喷丸清理	39-204
4.2 抛丸清理	39-205
4.3 喷抛联合落砂清理	39-207
4.4 弹丸	39-207
5 化学清理	39-208
6 电弧气刨	39-208

第11章 铸造生产安全技术

1 辅助工作安全技术	39-209
1.1 起重运输	39-209
1.2 材料堆放	39-209
1.3 炉料破碎	39-209
2 砂处理	39-209

39- 目 录

3 造型制芯	39-209	4.3 工频感应炉	39-210
3.1 手工造型	39-209	4.4 坩埚炉	39-210
3.2 机器造型	39-209	5 合金的浇注	39-211
3.3 制芯	39-210	5.1 浇注前的准备	39-211
4 合金熔炼	39-210	5.2 浇注	39-211
4.1 冲天炉	39-210	6 落砂清理	39-211
4.2 电弧炉	39-210	参考文献	39-212

第 1 章 概 述

铸造是制造机器零件毛坯的一种工艺方法，在各种类型的机器制造中普遍应用（表 39·1-1）。铸造用的原材料来源广泛，生产成本低，铸造工艺灵

活性大，几乎不受零件大小、形状和结构复杂程度的限制，可制造重量由几克到几百吨、壁厚由 0.5 毫米到 1 米左右的各种类型零件。

我国铸造技术历史悠久。早在三千多年前，青铜铸器已有应用。二千五百年前，铸铁生产工具已经相当普遍。大量历史文物显示着我国古代劳动人民，在铸造技术上的精湛创造。

铸造方法可分砂型铸造（表 39·1-2~3）和特种铸造（表 39·1-4）两大类。用砂型浇注的铸件占铸件总产量的 90% 以上。

表 39·1-1 各类机械中铸件重量比

机 械 类 别	%
机床、内燃机、重型机器	70~90
风机、压缩机	60~80
拖拉机	50~70
农业机械	40~70
汽车	20~30

表 39·1-2 砂型铸造方法的类别、特点和应用范围

造 型 方 法		主 要 特 点	应 用 范 围
手 工 造 型	砂箱造型	在专用的砂箱内造型，造型、起模、修型等操作方便	大、中、小铸件成批或单件生产
	劈箱造型	将模样和砂箱分成相应的几块，分别造型，然后组装，造型、烘干、搬运、合箱和检验等操作方便，但制造模样、砂箱的工作量大	成批生产大型复杂铸件，如机床床身，大型柴油机机身
	叠箱造型	将几个甚至十几个铸型重叠起来浇注，可节约金属，充分利用生产面积	中小件成批生产，多用于小型铸钢件
	脱箱造型	造型后将砂箱取走，在无箱或加套箱的情况下浇注，又称无箱造型	小件成批或单件生产
	地坑造型	在车间地坑中造型，不用砂箱或只用箱盖，操作较麻烦、劳动量大、生产周期长	中大型铸件单件生产，在无合适砂箱时采用
	刮板造型	用专制的刮板刮制铸型，可节省制造模样的材料和工时，操作麻烦、生产率低	单件小批生产，外形简单，或圆形铸件
	组芯造型	在砂箱、地坑中，用多块砂芯组装成铸型，可用夹具组装铸型	单件或成批生产结构复杂的铸件
一 般 机 器 造 型	震 击 式	靠造型机的震击来紧实铸型，机构简单、制造成本低，但噪音大，生产率低，对厂房基础要求高	大量或成批生产的中大铸件
	震 压 式	在震击后加压紧实铸型，造型机制造成本较低，生产率较高，噪音大	大量或成批生产小件
	微震压实式	在微震的同时加压紧实铸型，生产率较高，震击机构容易磨损	大量或成批生产中小件
	压 实 式	用较低的比压压实铸型，机器结构简单，噪音较小，生产率较高	大量或成批生产较小的铸件
	抛 砂 机	用抛砂的方法填实和紧实砂型，机器的制造成本较高	单件、成批生产中大件

(续)

造 型 方 法	主 要 特 点	应 用 范 围
高 压 造 型	多触头式 机械方法加砂, 高压多触头压实, 铸件尺寸精确, 生产率高, 但机器结构复杂, 辅机多, 砂箱刚度要求高, 制造成本高	大量生产中等铸件
	脱箱射压式 射砂方式填砂和预紧实, 高压压实, 铸件尺寸精确, 辅机多, 砂箱精度要求高, 与多触头式相比, 机器结构简单, 生产率更高	大量生产中、小铸件
	无箱挤压式 射砂方式填砂和预紧实, 高压压实后, 将铸型推出箱框, 不用砂箱, 铸件尺寸精确, 生产率最高, 辅机较少, 垂直分型时下芯需有专门机械手	大量生产中、小铸件

表39-1-3 砂型的类别、特点和应用范围

铸 型 类 别	主 要 特 点	应 用 范 围
干 型	水分少, 强度高, 透气性好, 成本高, 劳动条件差, 可用机器造型, 但不易实现机械化、自动化	结构复杂, 质量要求高、单件小批中、大铸件
湿 型	不用烘干, 成本低、粉尘少, 可用机器造型, 容易实现机械化自动化, 采用膨润土活化砂及高压造型, 可以得到强度高, 透气性较好的铸型	多用于单件或大批大量生产的中小件
自 硬 型	一般不需烘干, 强度高, 硬化快, 劳动条件好, 铸型精度较高, 自硬型砂按使用粘结剂和硬化方法不同, 各有特点	多用于单件、小批或成批生产的中、大型铸件, 对大型铸件, 效果较好

表39-1-4 特种铸造方法的类别、特点和应用范围

铸造方法	主 要 特 点	应 用 范 围
压力铸造	用金属铸型, 在高压、高速下充型, 在压力下快速凝固, 是效率高、精度高的金属成型方法, 但压铸机、压铸型制造费用高	大批、大量生产, 以锌合金、铝合金、镁合金及铜合金为主的中小型薄壁铸件, 也用于钢铁铸件
熔模铸造	用蜡模, 在蜡模外制成整体的耐火质薄壳铸型。加热熔掉蜡模后, 用重力浇注。铸件精度高, 表面质量好, 但压型制造费高、工序繁多。手工操作时, 劳动条件差	各种生产批量, 以碳钢、合金钢为主的各种合金和难于加工的高熔点合金复杂零件为宜, 铸件重量一般<10公斤
金属型铸造	用金属铸型, 在重力下浇注成型, 对非铁合金铸件有细化组织的作用, 灰铸铁件易出白口, 生产率高, 无粉尘, 设备费用较高, 手工操作时, 劳动条件差	成批, 大量生产, 以非铁合金为主, 也可用于铸钢、铸铁的厚壁、简单或中等复杂的中小铸件
低压铸造	用金属型、石墨型、砂型, 在气体压力下充型及结晶凝固, 铸件致密, 金属收得率高, 设备简单	单件、小批或大量生产, 以非铁合金为主的中大薄壁铸件
陶瓷型铸造	采用高精度模样, 用自硬耐火浆料灌注成型, 重力浇注, 铸件精度、光洁度高, 但陶瓷浆料价格贵	单件、小批生产中、小型, 厚壁中等复杂铸件, 特别宜作金属型、模板、热芯盒及各种热锻模具
离心铸造	用金属型或砂型, 在离心力作用下浇注成型, 铸件组织致密、设备简单、成本低、生产率高, 但机械加工量大	单件、成批大量生产铁管、铜套、轧辊、金属轴瓦、汽缸套等旋转体铸件
实型铸造	用泡沫聚苯乙烯塑料模, 局部或全部代替木模或金属模造型, 在浇注时烧失。可节约木材、简化工序, 但烟尘有害气体较大	单件、小批生产的中大铸件, 尤以1~2件为宜, 或取模困难的铸件部分

(续)

铸造方法	主 要 特 点	应 用 范 围
磁型铸造	用磁性材料(铁丸、钢丸)代替型砂作造型材料, 磁性材料可重复使用, 简化了砂处理设备, 但铸钢件表面渗碳, 涂料干燥时间长, 生产率低	大批大量生产中小型中等复杂的钢铁零件, 如锚链、阀体等
连续铸造	铸型是水冷结晶器, 金属液连续浇入后, 凝固的铸件不断地从结晶器的另一端拉出。生产率高, 但设备费用高	大批、大量生产各类合金的铸管、铸锭、铸带、铸杆等
真空吸铸	在结晶器内抽真空, 造成负压, 吸入液体金属成型。铸件无气孔、砂眼, 组织致密, 生产率高, 设备简单	大批、大量生产铜合金、铝合金的筒形和棒类铸件
挤压铸造	先在铸型的下型中浇入定量的液体金属, 迅速合型, 并在压力下凝固。铸件组织致密, 无气孔, 但设备较复杂。挤压钢铁合金时模具寿命较短	大批生产以非铁合金为主的形状简单, 内部质量要求高或轮廓尺寸大的薄壁铸件
石墨型铸造	用石墨材料制成铸型, 重力浇注成型、铸件组织致密, 尺寸精确, 生产率高, 但铸型质脆, 易碎, 手工操作时劳动条件差	成批生产铜合金螺旋桨等形状不太复杂的中小型零件, 也可用于钛合金铸件

注: 特种铸造还包括石膏型、壳型、金属型覆砂铸造、热芯盒造型等。

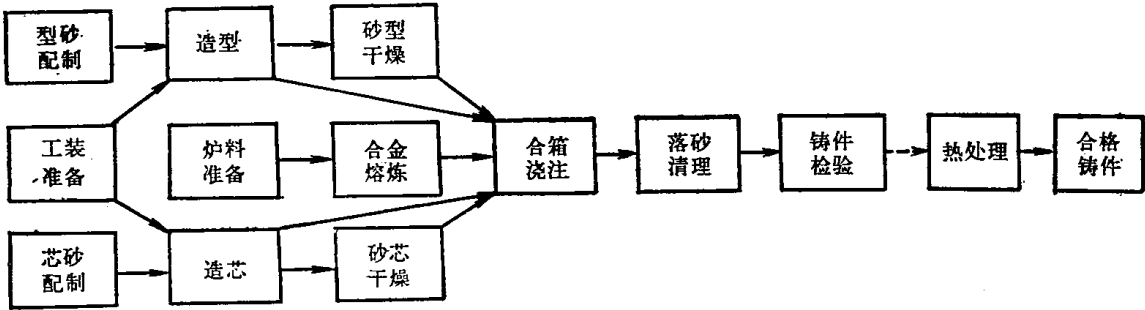


图39-1-1 砂型铸造生产的工序流程

特种铸造是一种少用砂或不用砂, 采用特殊的工艺装备使金属液成型的铸造方法, 能获得比砂型铸造表面光洁、尺寸精确、机械性能高的铸件。

砂型铸造生产工序多(图 39-1-1), 联贯性强, 每个工序都存在着最终可能造成铸造缺陷的复杂因素。因此加强生产管理对保证铸件质量具有重要意义。在各工序中, 造型所占工时最长(图 39-1-2), 故合理选择造型方法对整个铸造生产过程的质量和生产率有决定性影响。

不断提高铸造生产的集中和专业化程度, 是采用新工艺、新技术, 提高生产机械化、自动化水平的必要条件。

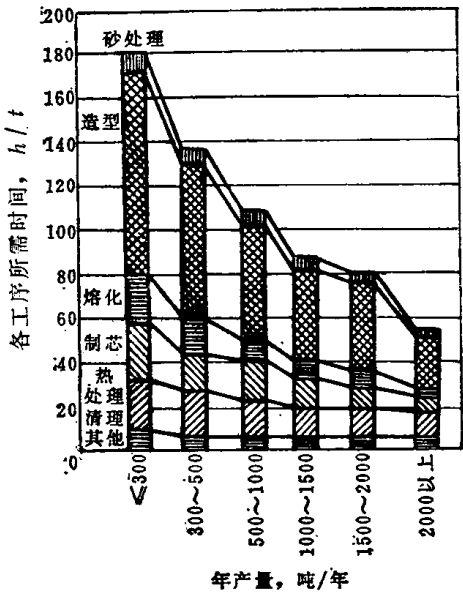


图39-1-2 铸造车间各工序所需时间

第 2 章 铸件成型过程的工艺基础

1 铸型的充填

液态金属充满铸型是获得尺寸精确、轮廓清晰的铸件的基本条件。它不仅由合金的流动性所决定,且又受外界条件如铸型性质、浇注条件、铸件结构等因素的影响(表 39·2-1)。如充型能力小时,会产生“浇不足”、“冷隔”等铸造缺陷。

表39·2-1 不同合金和铸造方法能铸出的
最小壁厚 mm

合 金	铸 造 方 法				
	砂 型	金属型	熔 模	壳 型	压 铸
灰铸铁	2	4	0.5	1	—
铸 钢	4	8	0.7	2.5	—
铝合金	2	3	—	—	0.6

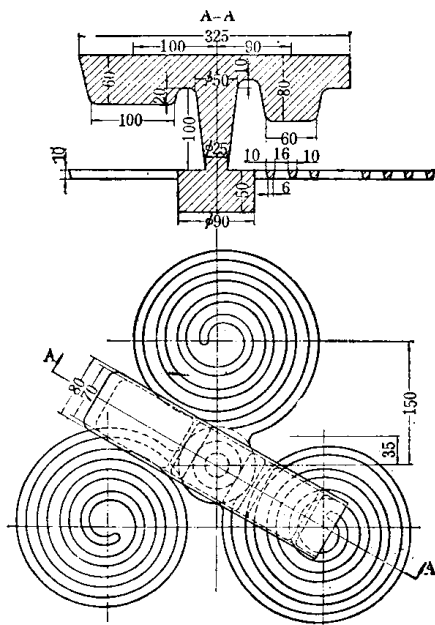


图39·2-1 螺旋形流动性试样

1.1 影响液态金属充型能力的因素

1.1.1 合金流动性的影响

合金的流动性即液态金属本身的流动能力,是合金的重要铸造性能之一。与合金的成分、热物理性质等有关。常用螺旋形试样的长度来衡量(图 39·2-1)。

由合金化学成分所决定的结晶特点与合金的流动性有密切的关系(图 39·2-2)。合金的粘度增加,合金的流动性随之下降(表 39·2-3)。合金的粘度与成分、温度、夹杂物状态和含量有关,如硅、锰和磷降低铸铁的粘度,硫则反之。合金液中固态夹杂物也使粘度增加,而液态低熔点夹杂物则降低粘度。

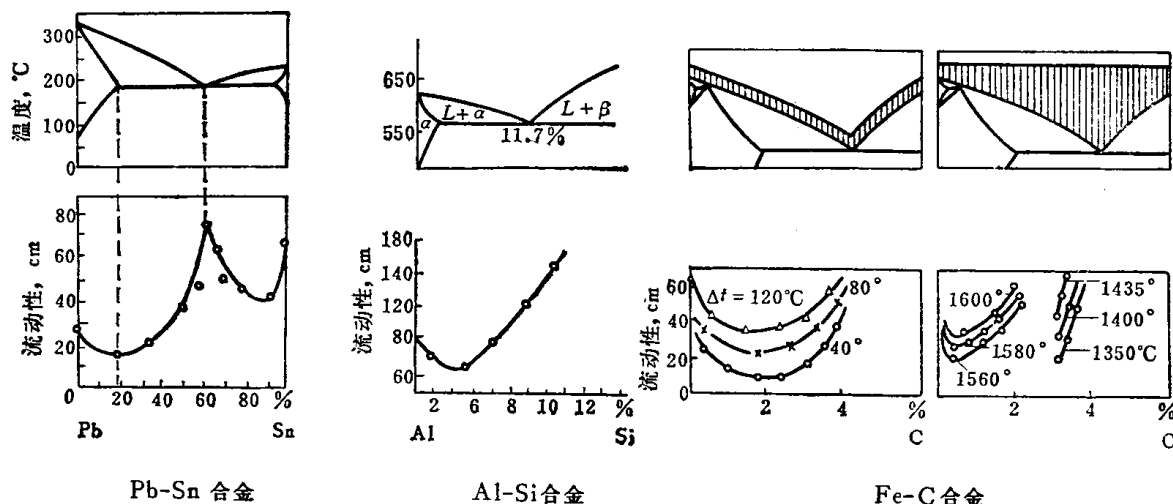


图39·2-2 合金状态图与流动性的关系

表39-2-2 一些合金的流动性 (螺旋线试样, 沟槽截面 $8 \times 8 \text{ mm}$)

合 金	造 型 材 料	浇 注 温 度 $^{\circ}\text{C}$	螺 旋 线 长 度 mm
铸铁 ($\text{C} + \text{Si} = 6.2\%$)	砂 型	1300	1800
($\text{C} + \text{Si} = 5.9\%$)		1300	1300
($\text{C} + \text{Si} = 5.2\%$)		1300	1000
($\text{C} + \text{Si} = 4.2\%$)		1300	600
铸钢 ($\text{C} = 0.4\%$)	砂 型	1600	100
		1640	200
硅铝明	金属型 (300°C)	680~720	700~800
镁合金 (Mg-Al-Zn)	砂 型	700	400~600
锡青铜 ($\text{Sn} = 9\sim 11\%$ $\text{Zn} = 2\sim 4\%$)	砂 型	1040	420
硅黄铜 ($\text{Si} = 1.5\sim 4.5\%$)	砂 型	1100	1000

表39-2-3 铸铁和铸钢的粘度

合 金	温 度 $^{\circ}\text{C}$	动力粘度 P	运动粘度 St	合 金	温 度 $^{\circ}\text{C}$	动力粘度 P	运动粘度 St
灰 铸 铁 3% C	1300	3.84	0.55	白口铸铁 3.0% C	1300	2.79	0.40
	1350	3.69	0.53		1350	2.37	0.34
	1400	3.50	0.51		1400	2.02	0.29
灰 铸 铁 3.3% C	1300	3.76	0.54	白口铸铁 3.8% C	1300	2.01	0.29
	1350	3.61	0.52		1350	1.70	0.25
	1400	3.45	0.51		1400	1.56	0.23
灰 铸 铁 3.9% C	1300	3.51	0.51	铸 钢	1500	2.8	0.40
	1350	3.58	0.50		1700	1.9	0.27
	1400	3.29	0.49				

表39-2-4 金属的结晶潜热

金 属	铝	铜	铁	镁	镍	锌	铅	锡
结晶潜热	95.3	49.1	66.3	88.8	71.7	27.0	5.9	14.5

在合金的热物理性质中, 结晶潜热(表39-2-4)对流动性的影响较大。结晶潜热大, 流动性好。对于有结晶间隔的合金, 结晶温度范围和初生晶形状对流动性的影响更为显著, 如结晶温度范围愈大, 初生晶树枝形态发达, 流动性愈差。

合金的比热、密度愈大, 流动性愈好。易氧化合金由于液流前端形成氧化膜, 增加液流的阻力, 使流动性下降。

1.1.2 外界条件的影响

铸型的蓄热系数大 (表 39-2-16), 液态金属

冷却快, 充型能力下降。在相同的过热条件下, 液态金属对金属型的充型能力比对砂型的低 25~35%。

采用导热系数小的涂料或将铸型预热, 可提高金属液的充型能力。

浇注温度高, 使金属保持液态的时间延长, 粘度下降, 充型能力强。但浇注温度过高, 使金属吸气增多, 氧化严重, 且铸件的一次结晶组织粗大, 容易产生缩孔、缩松、粘砂等缺陷。

铸件换算厚度与铸件的复杂程度决定铸型型腔的结构特点。换算厚度愈小, 充型能力愈低。

1.2 提高充型能力的措施

1) 适当调整合金的成分, 严格控制熔炼工艺, 减少液态金属中的非金属夹杂物和气体; 加入微量元素, 细化晶粒;

2) 降低铸型的发气性, 提高透气性和排气能力, 采用导热率低的涂料;

3) 合理设置浇注系统, 加大金属液静压头和提高浇注温度 (表 39·2-5~6)。

表39·2-5 灰铸铁件的浇注温度

铸 件 壁 厚 mm	≈4	4~10	10~20	20~50	50~100	100~150	>150
浇 注 温 度 ℃	1450~1360	1430~1340	1380~1320	1340~1300	1300~1230	1280~1200	1260~1180

表39·2-6 碳钢铸件的浇注温度

铸 件 类 别	壁 厚 mm	重 量 kg	浇 注 温 度 ℃			
			ZG 25	ZG 35	ZG 45	ZG 55
小 铸 件	6~20	< 100	1550~1530	1540~1520	1530~1510	1520~1500
薄壁铸件	12~25	< 500	1540~1520	1530~1510	1520~1500	1510~1490
复杂铸件	20~30	<3000	1530~1510	1520~1500	1510~1490	1500~1490
中等铸件	30~75	<5000	1530~1510	1520~1500	1510~1490	1500~1490
厚大铸件	75~150		1530~1510	1520~1500	1510~1490	1500~1480
重型铸件	150~500		1520~1500	1510~1490	1500~1480	1490~1470

2 铸造合金中的气体

铸造合金在熔炼过程中, 溶解各种气体, 并使金属氧化, 降低合金质量。合金凝固时, 气体的析出又会使铸件产生气孔等缺陷。

2.1 气体的来源及对铸件质量的影响

铸造合金在熔炼过程中, 各种气体的来源为:

1) 金属炉料表面氧化和锈蚀, 覆盖剂、精炼剂、熔剂潮湿, 熔炉和浇包的耐火材料潮湿, 坩埚或熔炼工具的表面涂料不干, 均能使合金氧化和吸气。

2) 熔 炼 过 程 中, 液态金属与炉气接触而吸收气体, 例如铜合金熔炼的炉气组成 (表 39·2-7)。吸气量与空气和各种燃料完全燃烧生成物的气体分压有关 (表 39·2-8)。

气体对铸件质量的影响见表 39·2-9。

表39·2-7 熔炼铜合金的炉气组成

熔 炉 型 式	炉 气 组 成 %						
	O ₂	CO ₂	CO	H ₂	SO ₂	H ₂ O	N ₂
煤炭反射炉(强制通风)	0~22.4	0.3~13.5	0~7.0	0~2.2	0~1.7	0~12.6	余
煤炭反射炉(自然通风)	0.2~20.9	1.1~16.3	0~15.3	0~0.2	0~3.0	0~20.7	余
重油反射炉	0~5.8	8.7~12.9	0~7.2	0~0.2	0.3~1.4	7.5~16.4	余
重油坩埚炉	0.2~3.9	7.7~11.3	0.4~4.4	—	0.4~3.0	11.8~12.3	余

表39·2-8 空气和各种燃料完全燃烧生成物的气体分压

空 气 及 燃 料	mmHg			空 气 及 燃 料	mmHg		
	H ₂ O	CO ₂	SO ₂		H ₂ O	CO ₂	SO ₂
空气(相对湿度25%, 10℃)	2.3	0.23	—	重油(0.5% S)	90	103	0.2
空气(相对湿度100%, 30℃)	31.5	0.23	—	重油(2% S)	90	103	0.9
城市煤气	129	76	0.05	沥青	129	59.5	0.7
天然气(未精制)	144	76	0.2	焦炭	4	156	0.4

表39-2-9 气体对铸件质量的影响

气 体	在 液 态 金 属 中 存 在 的 形 态		对 铸 件 质 量 的 影 响
氢	氢的原子半径很小，在所有的铸造合金中以原子状态直接溶解，形成含有氢的溶液		对铸件极为有害，在铝合金、铜合金、铸钢及铸铁件中均能形成氢气孔，在铜合金和铸钢件中也能产生微小裂纹，如铜铸件的“氢病”。铸钢件的“白点”在凝固期析出时，形成反压力，阻碍收缩
氧	在钢铁合金中，以原子状态直接溶解并形成氧化物		各种氧化物在铸件中均能形成氧化夹杂。铸件凝固时，氧化物能在晶界析出，破坏金属基体的连续性和致密性，降低铸件的机械性能、物理性能和化学性能，多数的氧化物能增加铸件的热裂倾向性。钢液脱氧不完全，能使铸钢件产生气孔
	合 金	生 成 氧 化 物	
	碳 钢 合金钢	FeO、MnO、TiO ₂ 、Cr ₂ O ₃ 、V ₂ O ₅ 、Al ₂ O ₃ 、SiO ₂ 等	
	铸 铁 铜合金	FeO、MnO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ Cu ₂ O、ZnO、SnO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、FeO、MnO、SiO ₂ 、PbO、P ₂ O ₅	
	铝合金 镁合金	Al ₂ O ₃ 、SiO ₂ 、MgO、TiO ₂ MgO、Al ₂ O ₃ 、MnO、SiO ₂	
氮	在非铁合金中一般不溶解，在铸钢和铸铁中能以原子状态溶解或形成氮化物如TiN、VN、BN等		对非铁合金无不良影响，但使铸铁件产生气孔，AlN能使合金钢铸件产生裂纹和石状断口，TiN、VN、BN在合金钢中能细化晶粒，提高铸件的机械性能
水 蒸 汽	在各种合金中不能直接溶解，但能与金属反应生成氧化物，并析出氢气。如： $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeO} + \text{H}_2 \uparrow$ $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$ $2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 \uparrow$ $\text{Mg} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgO} + \text{H}_2 \uparrow$		反应生成的氧化物能促使铸件形成氧化夹杂、热裂和气孔； 析出的氢气能部分溶解于金属液中，产生气孔或皮下气孔
二氧化碳	在各种合金中不能直接溶解，但能促使合金中的Al、Si、Mn、Zn等元素氧化，形成氧化物，如： $2\text{Al} + 3\text{CO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CO}$ $\text{Si} + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{CO}$		在铸件中形成氧化夹杂
一氧化碳	在各种合金中都不溶解		—
二氧化硫	在Fe-C合金中不溶解，在铜合金中微量溶解		—

气体在铸造合金中的溶解量，通常以重量百分浓度或在100克金属中所能溶解的气体量(cm^3)表示。由于气体在合金中的溶解度极微，也常以百万分之一(10^{-6})时的浓度作为溶解度的基本单位，以ppm表示。

2.2 气体在铸造合金中的溶解规律

气体在合金中的溶解过程包括吸附、离解和扩散三个过程。影响气体在金属液中溶解度的因素有压力、温度和合金的化学成分。

2.2.1 气体的分压力对溶解度的影响

在一定温度下，气体在合金中的溶解度与该气体在合金液面上的平衡分压力的平方根成正比。双原子气体(如 H_2 、 N_2 等)溶解于合金液时，必须分解为单原子。

H_2 在合金中的溶解反应为： $\text{H}_2 \rightarrow 2[\text{H}]$

反应的平衡常数为：

$$K_H = \frac{[\text{H}]^2}{P_{\text{H}_2}}$$

故 $[\text{H}] = K_H \sqrt{P_{\text{H}_2}}$

式中 $[H]$ ——溶解平衡时, 氢在合金液的溶解度

P_{H_2} ——氢在合金液面上的分压

2.2.2 温度对溶解度的影响

气体在绝大多数合金中的溶解过程是吸热反应。因此, 气体在合金中的溶解度随温度升高而增大(图39-2-3~7)。

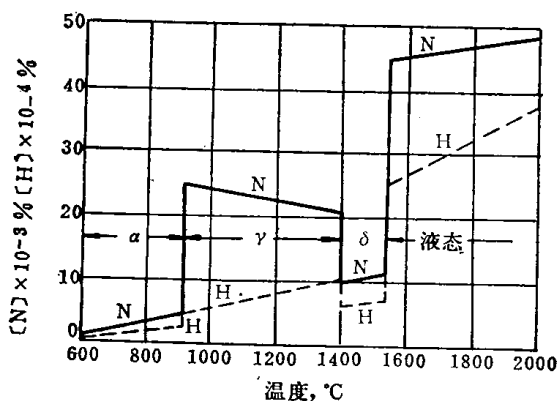


图39-2-3 氮和氢在纯铁中的溶解度与温度的关系

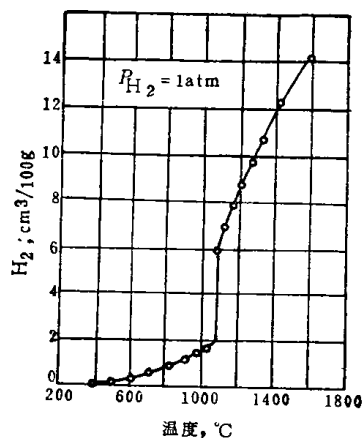


图39-2-4 氢在纯铜中的溶解度

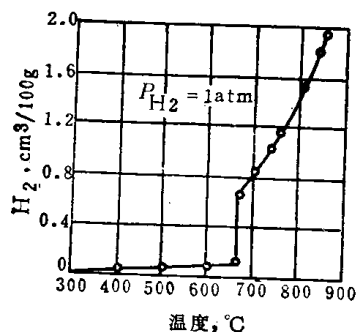


图39-2-5 氢在纯铝中的溶解度

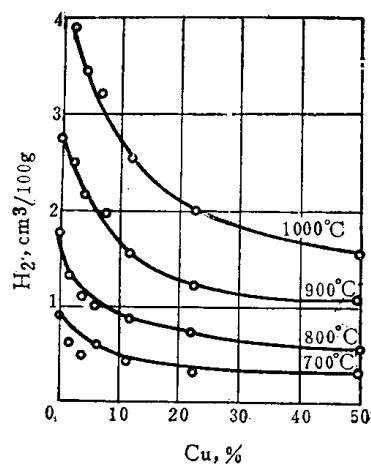


图39-2-6 Al-Cu合金中氢的溶解度

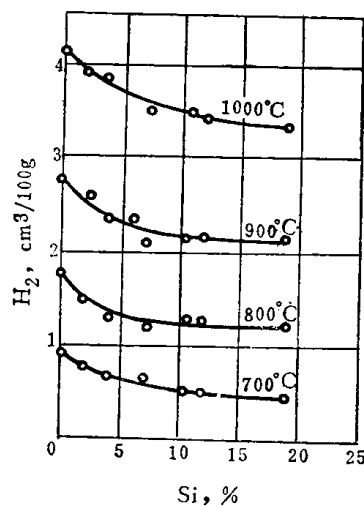


图39-2-7 Al-Si合金中氢的溶解度

2.2.3 合金成分对溶解度的影响

各种合金元素对气体在铁合金和铜合金中溶解度的影响见图39-2-8~11。氢和氮的溶解度随碳

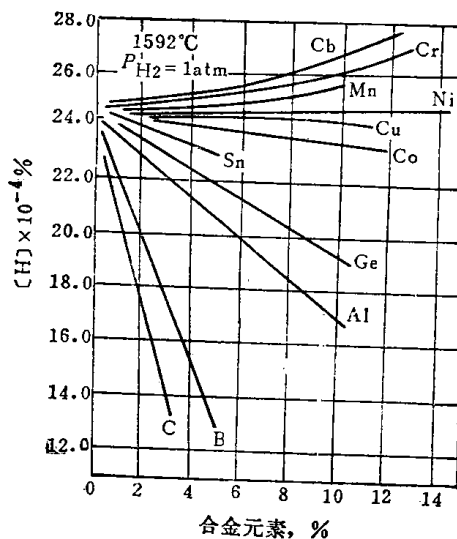


图39-2-8 氢在铁合金中的溶解度