

锅炉压力容器理化检验人员培训教材

# 金相检验

● 孙洪涛 主编



中国计量出版社

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

锅炉压力容器理化检验人员培训教材

# 金相检验

孙洪涛 主编

中国计量出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

金相检验/孙洪涛主编. —北京:中国计量出版社,2010.12

锅炉压力容器理化检验人员培训教材

ISBN 978-7-5026-3073-7

I. ①金… II. ①孙… III. ①金相组织-检验-技术培训-教材 IV. ①TG115.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 086387 号

## 内 容 提 要

本教材共分 8 章,包括金属工艺知识、金属学及热处理、宏观检验技术、金相检验技术、锅炉和压力容器用材及组织鉴别、焊接接头金相检验、缺陷分析及失效分析和金相设备及维护。

本书供一级和二级锅炉压力容器理化检验人员技术培训使用,也可作为三级理化检验人员的基础参考书,还适用于从事压力容器制造和检验的工程技术人员阅读。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话(010)64275360

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

三河市灵山红旗印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

\*

787mm × 1092mm 16 开本 印张 15 字数 356 千字

2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷

\*

印数 1—2 000 定价:45.00 元

# 编 委 会

主编 孙洪涛

编委 程 颖 王会斌 潘月海 赵振华

# 前 言

在锅炉、压力容器制造行业中,理化检验工作是行业的基础技术工作,一般包括化学分析、力学性能和金相检验,前二项主要提供宏观数据,后者主要提供微观信息。压力容器属国家特种行业,要求理化检验人员持证上岗,因此,坚持不懈地开展理化检验人员技术培训,提高人员素质,对确保工业产品质量优良稳定有着重要意义。

本教材是2001版《金相检验》的修订版,仍保持了基础理论与使用操作并重、重点突出、深入浅出的特点,同时强调紧密跟踪国家标准和行业标准的新版本,内容更贴近现实需求。本书融入了作者多年从事金相检验工作所积累的资料、图片,以及丰富的实际工作经验,适合理化检验人员技术培训使用。

本教材由孙洪涛主编,其中第一章、第二章、第五章、第八章及附录由孙洪涛编写;第三章、第四章由程颖、孙洪涛编写;第六章、第七章由王会斌、孙洪涛编写;潘月海、赵振华参加了部分章节的编写工作。

本书引用和参考了许多专家、学者的有关资料、论著,特在此表示深深的谢意!

由于作者水平、经验有限,再加上受时间所限,书中不当、缺点之处敬请读者批评指正。

编者

2010.6

# 目 录

<b>第一章 金属工艺知识</b> .....	1
<b>第一节 钢铁冶炼</b> .....	1
一、炼铁.....	1
二、炼钢.....	2
<b>第二节 铸造生产</b> .....	3
一、砂型铸造.....	4
二、铸造性能.....	4
三、铸件生产.....	5
四、特种铸造.....	6
<b>第三节 压力加工</b> .....	8
一、金属塑性变形的基本原理.....	8
二、压力加工对金属组织和性能的影响.....	9
三、加热和锻造温度.....	10
四、压力加工的种类.....	10
<b>第四节 焊 接</b> .....	12
一、焊接方法与工艺.....	13
二、常用金属材料的焊接.....	15
三、焊接应力与变形.....	18
<b>思考题</b> .....	19
<b>第二章 金属学及热处理</b> .....	20
<b>第一节 金属学基础</b> .....	20
一、金属的晶体结构与结晶.....	20
二、合金的相结构与结晶.....	24
<b>第二节 钢的热处理原理</b> .....	30
一、概述.....	30
二、加热时的转变.....	32
三、冷却时的转变.....	36
四、珠光体转变.....	40
五、贝氏体转变.....	42

六、马氏体转变 .....	45
第三节 常用热处理工艺 .....	52
一、退火和正火 .....	52
二、淬火和回火 .....	54
三、调质 .....	61
四、固溶处理 .....	62
五、消除应力处理 .....	64
思考题 .....	66
<b>第三章 宏观检验技术 .....</b>	<b>68</b>
第一节 硫印试验 .....	68
一、硫在钢中的分布及影响 .....	68
二、硫印的基本原理 .....	68
三、硫印试样的选取与制备 .....	69
四、硫印试验的设备及操作步骤 .....	69
五、影响硫印试验结果的一些因素 .....	70
第二节 酸浸试验 .....	70
一、试样的选取 .....	70
二、试样制备 .....	71
三、热酸浸试验 .....	71
四、冷蚀试验 .....	73
五、电解腐蚀试验 .....	74
第三节 断口检验 .....	75
一、纵向断口制备方法 .....	75
二、横向断口制备方法 .....	76
三、钢材断口的分类及各种缺陷形态的识别 .....	76
思考题 .....	79
<b>第四章 金相检验技术 .....</b>	<b>81</b>
第一节 金相试样的制备 .....	81
一、金相试样的选取 .....	81
二、金相试样的镶嵌 .....	81
三、金相试样的磨制 .....	82
第二节 浸蚀技术 .....	86
一、化学浸蚀法 .....	86
二、电解浸蚀法 .....	88
第三节 常用金相评定方法 .....	89

一、钢的脱碳层测定 .....	89
二、钢的晶粒度测定 .....	92
三、钢中非金属夹杂物的评定 .....	94
四、铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量的测定 .....	107
五、现场金相检验 .....	108
思考题 .....	109
<b>第五章 锅炉和压力容器用材及组织鉴别 .....</b>	<b>110</b>
<b>第一节 压力容器用材特点及要求 .....</b>	<b>110</b>
一、压力容器用材特点 .....	110
二、压力容器用材要求 .....	110
<b>第二节 合金元素在钢中的作用 .....</b>	<b>111</b>
一、合金元素在钢中存在的形式 .....	111
二、合金元素对热处理的影响 .....	112
三、合金元素对力学性能的影响 .....	114
<b>第三节 碳素钢和低合金钢 .....</b>	<b>115</b>
一、钢的牌号及应用 .....	115
二、基本组织形态特征及其鉴别 .....	117
<b>第四节 合金结构钢 .....</b>	<b>121</b>
一、合金结构钢概述 .....	121
二、合金结构钢在压力容器中的应用 .....	122
三、合金结构钢的金相检验 .....	122
<b>第五节 低合金低温钢 .....</b>	<b>123</b>
一、合金元素在低温钢中的作用 .....	123
二、热处理对钢低温性能的影响 .....	123
三、低温用钢分类 .....	123
四、压力容器用低合金低温钢 .....	124
<b>第六节 珠光体耐热钢和高合金钢 .....</b>	<b>124</b>
一、珠光体耐热钢 .....	124
二、高合金钢 .....	128
<b>第七节 锅炉和热力管道用钢 .....</b>	<b>134</b>
一、锅炉用钢 .....	134
二、亚临界和超临界火电机组用钢 .....	134
<b>第八节 其他材料 .....</b>	<b>135</b>
一、铸铁 .....	135
二、有色金属 .....	138
思考题 .....	145



<b>第六章 焊接接头金相检验</b> .....	147
<b>第一节 焊接热循环及宏观组织结构</b> .....	147
一、焊接热循环.....	147
二、焊接接头宏观组织结构.....	148
<b>第二节 焊接接头宏观检验</b> .....	149
一、外观质量检验.....	149
二、低倍组织检验.....	149
三、宏观组织浸蚀和照相.....	149
<b>第三节 焊接接头显微分析</b> .....	150
一、低碳低合金钢焊接接头.....	150
二、奥氏体不锈钢焊接接头.....	152
三、异种钢焊接接头(对接焊).....	152
四、显微组织浸蚀.....	152
<b>第四节 焊接缺陷</b> .....	153
一、裂纹.....	153
二、未熔合和未焊透.....	155
三、孔穴.....	155
四、固体夹杂.....	155
五、形状缺陷.....	155
<b>思考题</b> .....	155
<b>第七章 缺陷分析及失效分析</b> .....	157
<b>第一节 缺陷分析</b> .....	157
一、铸造缺陷.....	157
二、压力加工缺陷.....	163
三、热处理缺陷.....	167
<b>第二节 失效分析</b> .....	169
一、失效分析概述.....	169
二、失效分析思路和步骤.....	170
三、压力容器失效主要形式及其分析.....	171
四、失效事故预防.....	189
五、断裂分析中的电子显微术简介.....	190
<b>思考题</b> .....	197
<b>第八章 金相设备及其维护</b> .....	198
<b>第一节 金相显微镜</b> .....	198

一、光学原理 .....	198
二、主要技术参数 .....	199
三、光源 .....	201
四、主要光学器件 .....	201
五、金相显微镜的发展 .....	204
六、金相显微镜使用与维护 .....	204
第二节 暗室技术 .....	205
一、感光材料 .....	205
二、感光胶片的显影 .....	206
三、印相 .....	208
第三节 暗场、偏光、相衬装置的应用 .....	209
一、暗场 .....	209
二、偏振光 .....	210
三、金相显微镜的偏光装置及其调整 .....	211
四、偏光显微镜的工作原理 .....	212
五、相衬观察 .....	214
第四节 显微硬度计 .....	217
一、显微硬度测试原理 .....	217
二、显微硬度试验的应用 .....	219
三、常用显微硬度计 .....	219
思考题 .....	221
<b>附录 I 压力容器理化检验常用金相标准目录 .....</b>	<b>222</b>
<b>附录 II 金相检验安全知识 .....</b>	<b>223</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>228</b>

# 第一章 金属工艺知识

## 第一节 钢铁冶炼

### 一、炼铁

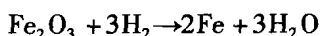
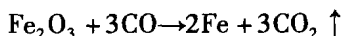
炼铁是把铁从矿石中分离出来,得到一定成分的生铁,使用的原料为铁矿石。铁在天然矿石中主要以铁的氧化物形式存在,铁含量(含量均指质量分数,下同)大于45%的通常称为富矿,小于45%的为贫矿。富矿可以直接进炉冶炼,贫矿则需经过适当处理(破碎、选矿、烧结等)后才能进行冶炼。

#### (一) 炼铁基本过程

炼铁用设备为高炉。铁矿石在高炉中要完成还原、造渣、增碳三个基本过程。

1. 还原 把铁矿石中的氧分离出来,从而还原出铁的化学反应叫作还原,在600℃~950℃条件下还原反应进行得最快。

高炉上部的间接还原:用一氧化碳气体和氢(由含水的空气风口燃烧焦炭生成)与铁矿石中的氧化合成二氧化碳而与铁分开即还原出铁,反应式为:



高炉下部的直接还原:上部未完成反应的铁矿石到达下部的高温区,矿石中的氧与焦炭中的碳直接化合成一氧化碳而与铁脱离即还原出铁。直接还原时要吸收大量的热,所以高炉炼铁要尽量发展间接还原,减少直接还原的比例以节约热能。

2. 造渣 炼铁时炉料中的熔剂与铁矿石中的杂质(酸性脉石,主要成分是二氧化硅;碱性脉石,主要成分是石灰石)和焦炭中的灰分形成易熔的中性炉渣,它比铁水轻又互不溶解而浮于铁水表面,这过程称为造渣。炼铁过程中要定时排出炉渣。

3. 增碳 经过氧的分离和除去脉石得出的是海绵状的铁(称海绵铁),碳含量不高,一般 $\leq 1\%$ ,它随后吸收焦炭中的碳形成熔点低(1200℃~1300℃)的铁碳合金,即生铁,碳含量达3%~4.5%。

#### (二) 炼铁产品

工业生铁常分以下两类:

1. 铸造生铁 即断口呈灰色的灰铸铁,含碳、硅量高,碳以石墨形态出现,具有优良的铸造性能。它是工厂铸造车间的主要原材料,经熔化后铸造出各种机器零件毛坯(即铸件)。

2. 炼钢生铁 即断口呈白色的白口铸铁,含碳、硅量较铸造生铁低,碳以碳化物( $\text{Fe}_3\text{C}$ )形态存在。白口铸铁硬而脆,主要用作炼钢的原料。其典型成分见表1-1。

表 1-1 炼钢生铁成分表

元素	C	Si	Mn、P	S
含量(质量分数)	4.3%	0.2% ~ 0.8%	取决于铁矿石	0.03%

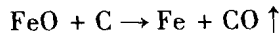
## 二、炼钢

生铁硬而脆、抗拉强度低、焊接性能差,需进一步冶炼成钢才能获得较好的强度、韧性、塑性、焊接性能及加工性能。钢和铁都是铁碳合金,但它们的碳含量不同,碳含量低于 2.11% 的为钢,碳含量在 2.11% 以上的为铁。另外,铁中所含的有害杂质磷、硫也较钢多。炼钢就是把生铁中的碳含量去除到规定范围(在钢种要求的范围),并使其他元素含量达到规定范围,而杂质元素则应予以减少。

### (一) 炼钢基本过程

把炼钢生铁(或加上废钢)加热到 1700℃ 左右高温熔化,通过不同来源的氧(空气中的氧、工业纯氧、铁矿石中的氧等)来氧化铁水中的碳、锰、硅等元素,这种氧化过程贯穿于各种炼钢方法中。只有在除硫(炼钢炉中加入石灰使磷、硫变成磷酸钙和硫化钙以炉渣形式排出)与脱氧(加入脱氧剂如锰铁、硅铁和铝等)时处于还原状态。经过以上过程并调整好钢液成分和温度,达到规定要求后就可出钢铸成钢锭,至此炼钢便告完成。

1. 沸腾钢 如仅靠炼钢炉内加入锰铁、硅铁进行脱氧,往往是不完全的,钢水浇入钢锭模后钢水中残存的 FeO 仍会与碳进行反应:



一氧化碳气体冲击钢液形成沸腾现象,这种钢称为沸腾钢。沸腾钢锭内部有分散的小孔,无集中缩孔,轧制时不需切除头部,金属利用率高,所以价格较便宜。其内部气孔可通过轧制消除,但残存的 FeO 较多时会影响钢材质量(塑性变坏,轧制时易产生裂纹),一般多用作低碳钢轧制型材。

2. 镇静钢 若在炼钢炉内加脱氧剂脱氧,而且在炉外钢水包再加入脱氧能力更强的铝,钢中的 FeO 便会绝大部分被还原,这种钢称为镇静钢。镇静钢脱氧较完全,浇锭时杂质集中于头部并能形成集中缩孔,轧制时需切去头部(约占 20% ~ 25%),钢锭下部致密坚实,质量好,一般用于优质钢和合金钢。

### (二) 优质钢冶炼方法

1. 氧气顶吹转炉炼钢法 转炉炼钢使用高温铁水为原料,又直接吹入氧气完成氧化反应,所以冶炼时间很短,100t 的转炉从装料至出钢一般只需 40min。根据吹氧的方式不同,转炉炼钢可分为底吹、侧吹、斜吹及顶吹几种,图 1-1 所示为氧气顶吹转炉(LD 转炉)示意图。

2. 电炉炼钢法 利用电能作热源来进行冶炼。常用的有电弧炉和感应炉,图 1-2 是电弧炉结构示意图。

电弧炉靠电极与炉料(废钢、生铁、合金等)之间的电弧(温度可达 5000℃ ~ 6000℃)发出高热熔化炉料。它可以熔炼高熔点合金钢,并且炉体基本封闭,排除了大气的作,脱氧和除硫均有较好的条件,冶炼出的钢杂质少、质量好,像耐热钢及仪表工业用精密合金都用电炉冶炼。

### 3. 不锈钢冶炼

#### (1) 基本过程

由电弧炉熔炼初炼钢水(碳含量较高),加入铬镍元素使钢液中铬镍成分接近成品含量,此时的初炼钢水可进入 VOD 炉或 AOD 炉精炼,即在真空或氩气保护状态下进行降碳、除气、除氧和去夹杂等冶炼过程,当钢水成分和温度调整适宜即出钢。

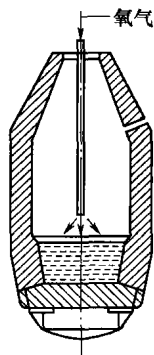


图 1-1 氧气顶吹转炉示意图

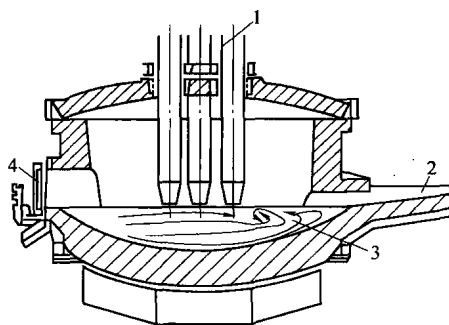


图 1-2 电弧炉结构示意图  
1—电极；2—出钢槽；3—熔池；4—炉门

### (2) 冶炼方法

**VOD 法:** 电弧炉熔炼初炼钢水, 碳含量在 0.3% ~ 0.4%, 铬镍等含量元素接近要求成分, 此时初炼钢水温度较高, 倒入 VOD 炉精炼。①抽真空, 使初炼钢水处于真空下。②吹氩脱气, 底吹氩气钢水沸腾搅拌, 随氩气泡带走钢水中气体和夹杂。③吹氧脱碳 (兼有脱气作用)。顶枪吹氧脱碳使碳含量达 0.03% ~ 0.02%, 同时带有除气和夹杂作用。④吹氩真空碳脱氧, 吹氧结束后继续吹氩进行真空碳脱氧。

**AOD 法:** 电弧炉熔炼初炼钢水, 碳含量在 1%, 铬镍等合金元素接近成品成分, 然后初炼钢水倒入 AOD 炉精炼。在风口 (侧壁) 吹氩氧混合气进行脱碳脱气和除去夹杂。现已出现改进的工艺, 即风口吹 Ar/O<sub>2</sub> 混合气, 顶枪吹 100% 氧, 这样可缩短脱碳时间 44%。

除以上所述, 还有电渣炉、真空电炉、电子轰击炉等可以熔炼合金含量更高、纯度要求更高的合金产品。

### (三) 铸锭

冶炼好的钢需要铸成钢坯然后送往轧钢车间轧制成钢材。

1. 传统的锭模钢坯 根据炼钢炉的大小配以相应的钢锭模。一般小型钢锭多采用下铸法, 钢液在锭模中平稳上升, 一次可以同时铸成多个钢锭, 这种钢锭表面质量好。

2. 连续铸钢坯 连续浇铸出一定断面形状和尺寸的钢坯, 这样就省掉了钢锭模及初轧设备, 而且钢坯不用切头, 材料利用率高。它是节能、节材、高效新工艺和新技术, 已经广泛的推广和应用。

## 第二节 铸造生产

将熔化的金属或合金浇入已经制好的铸型中经冷却凝固后获得所需形状和尺寸的铸件, 这种方法称为铸造。铸造生产具有以下特点。

(1) 不但可以生产毛坯而且可以经精密铸造生产半成品或成品。

(2) 适应性广。可以制造尺寸范围大、形状复杂的零件, 重量可从四、五克到一、二吨以上。一些塑性低、不能压力加工的脆性材料如铸铁、铸铝等均可用铸造方法生产。

(3) 生产成本低。所用原料来源广、价格低廉, 废品回收利用也方便。

(4) 所需设备比较简单, 容易自制。

## 一、砂型铸造

铸造生产在机器制造业中占有重要地位,一般机器设备中铸件毛坯约占总重的40%~80%,泵、阀是炼油和石化工业中的重要部件,它们中的铸件也占很大比重。砂型铸造是使用最广泛的一种基本铸造方法,其一般工艺流程如图1-3所示,现将手工砂型铸造简要介绍如下。

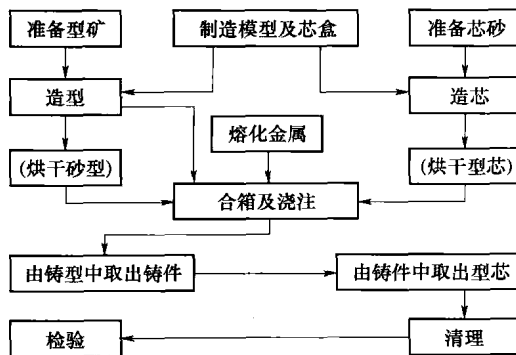


图 1-3 砂型铸造工艺流程图

1. 造型材料 主要有原砂和黏结剂。造型材料性能的好坏,对造型工艺、铸件质量有很大影响。

按用途不同,型砂分面砂、填砂和单一砂3种,面砂在砂型中直接与模型接触,要求有较高的耐火性、强度和良好的可塑性;填砂又称背砂,是用来填满砂箱其余部分的砂,一般用旧砂过筛即可,要求有高的透气性;机器造型时,通常只用一种符合要求性能的砂,称为单一砂。

芯砂由新砂、黏土或特殊黏结剂配制而成,黏土用于配制一般型芯,特殊黏结剂用于配制复杂型芯。

2. 造型与造芯 用模型和型砂制成铸型型腔,以形成铸件的外表面,称为造型。用芯盒和芯砂制成型芯,以形成铸件的内表面,称为造芯。把型腔和型芯装合(即合箱)就形成铸型。造型(芯)方法有手工和机器两种,单件小批生产和复杂件一般用手工造型(芯),而成批大量生产则用机器造型(芯)。

3. 浇注系统 引导金属液流进入铸型型腔的通道称为浇注系统,有时也把冒口包括在内,统称浇冒口系统。浇注系统需保证金属液流连续、均匀而平稳地流入铸型型腔;能阻挡气体、熔渣等非金属夹杂物随金属液进入型腔;能防止液体金属冲坏砂型和型芯,有时还能调节铸件凝固顺序和供给补缩的金属液。开设浇注系统不合理会引起冲砂、砂眼、渣眼、浇不足、气孔和缩孔等铸造缺陷。

典型的浇注系统由外浇口、直浇口、横浇口、内浇口及冒口等几部分组成。

4. 落砂 从铸型中取出铸件并清除掉铸件表面的浮砂和内部的型芯砂称为落砂。一般落砂温度为 $200^{\circ}\text{C}$ ~ $400^{\circ}\text{C}$ ,过早取出铸件容易产生表面硬化、变形和裂纹等缺陷。最后要去除浇冒口并打磨干净毛刺。

## 二、铸造性能

### (一) 流动性

液态金属充填铸型的能力称流动性。好的流动性能很好地充满铸型,从而获得外形完整、

尺寸准确、轮廓清晰、壁薄而复杂的零件毛坯,流动性差则易产生浇不足或冷隔等缺陷。

影响流动性的因素很多,主要是化学成分、浇注温度和铸型充填条件。合金凝固温度范围愈大,其流动性愈差。提高浇注温度可增加流动性,但浇注温度愈高,氧化加重,吸气增多,收缩量增大,铸件易产生缩孔、缩松、气孔等缺陷。在铸型充填条件中凡能增加金属流动阻力和冷却速度的因素,均使流动性降低,如型腔过窄、浇口截面太小或布置不合理、砂型透气性差等。常用的铸造合金中铸铁、硅黄铜的流动性较好,铝合金次之,铸钢最差。

## (二) 收缩性

液态金属在凝固和冷却过程中,其体积和尺寸减小现象称为收缩。大体上可分为3个阶段。

1. 液态收缩 从浇注温度冷却到凝固开始温度的收缩。表现为体积缩小,是铸件产生缩孔和缩松的主要原因。

2. 结晶收缩 从凝固开始温度冷却到凝固终止温度的收缩。其表现也是体积缩小,也是缩孔和缩松产生的主要原因。

3. 固态收缩 从凝固终止温度冷却到室温的收缩。其表现也是体积缩小,但仅表现为铸件外部尺寸的改变,常用线收缩来表示。它是铸件产生内应力、变形、裂纹等缺陷的主要原因。

影响收缩性的因素有化学成分、浇注温度、铸件结构等。

常用铸造合金的线收缩率大致如下:

灰铸铁——0.5% ~ 1% ; 铸钢——1.5% ~ 2% ;

铜合金——1% ~ 1.6% ; 铝镁合金——1% ~ 1.2% 。

## 三、铸件生产

### (一) 铸铁

灰铸铁流动性好、收缩小、产生缩孔和裂纹的倾向也小,因此可浇注形状复杂的薄壁铸件,一般采用同时凝固原则,可不用或少用冒口。

#### 1. 熔化

应满足铁水化学成分规定的熔化温度,还要求生产效率高、成本低。冲天炉是应用最广的熔化设备,其熔化过程是由底焦的燃烧和金属料的熔化两个过程组成,它们是同时进行的。必须根据炉料成分和熔化过程中化学成分的变化情况进行配料计算,通过恰当地搭配各种金属料的比例来保证铁水所要求的化学成分。

#### 2. 浇注

(1) 浇注温度。浇注温度愈低,金属流动性愈差,容易产生浇不足和冷隔;浇注温度高,金属流动性好,有利于熔渣的聚集和排除,减少铸件夹渣,同时提高了液体金属充满铸型的能力,这对薄壁件尤为重要。灰铸铁浇注温度与铸件壁厚关系如表1-2所示。

表1-2 灰铸铁浇注温度与铸件壁厚关系

壁厚(mm)	浇流温度(℃)
< 20	1340 ~ 1360
20 ~ 30	1320 ~ 1340
> 30	1280 ~ 1320

(2) 浇注速度。对薄壁件采取快速浇注,对厚壁件为防止缩孔采取先慢后快最后再慢的浇注速度。在浇注过程中应避免铁水中断,要使其均匀、连续不断地注入铸型,并要挡渣防止产生渣眼。浇注时铸型中排出的 CO 气体要点燃,以利于铸型内气体排出,还可防止工人中毒。

## (二) 铸钢

铸钢一般是碳含量为 0.15% ~ 0.60% 的碳素钢和合金钢,牌号中 ZG 为“铸钢”二字汉语拼音的第一个字母,后面数字为钢中碳含量的百分数。钢的铸造性能比灰铸铁差,易产生偏析、吸气和氧化。

铸钢浇注温度比熔点高 100℃ ~ 150℃,一般为 1500℃ ~ 1550℃。

铸钢流动性差、收缩大,故其浇注系统结构要简单,截面尺寸要大,并按顺序凝固原则来设置冒口,适当加大冒口尺寸以防缩孔缺陷。

铸钢熔炼常用感应电炉,也可用平炉、转炉和电弧炉。

## (三) 有色金属铸造

### 1. 铝合金

铸造铝合金可分为铝硅、铝铜、铝镁和铝锌等 4 类合金,最常用的是铝硅合金,约占铸造铝合金总量的 50% 以上。

常用的熔化设备是坩埚炉(铁质坩埚)。所用炉料有金属料、除气剂和熔剂,金属料有铝锭、回炉料、中间合金和合金元素。

铝在高温下极易氧化和吸气。氧化铝熔点高达 2080℃,比铝重,常易混杂在铝合金中。铝合金在液态下常吸收并溶解氢气,冷凝后重新析出,产生分散性缩孔,降低铝合金的力学性能,为此熔化时要有熔剂覆盖,以便与空气隔离。常用的熔剂由 KCl、NaCl 等盐类组成。铝合金在熔剂覆盖下熔炼,仍不能完全防止吸收和溶解气体,为此在铝液出炉之前还要通入氯气进行精炼。

铝合金的铸造特点是熔点低、流动性好,易氧化和吸气,收缩性大,易形成缩孔,在铸件的厚壁部位须设置冒口以供补缩和排气。为获得表面光滑的铸件,常用较细的型砂造型。

### 2. 铜合金

铸造铜合金有黄铜和青铜两大类。常用的熔化设备是坩埚炉(石墨坩埚)。炉料有金属料、脱氧剂和熔剂。金属料是铜锭、铜屑、回炉料和中间合金等。铜合金在液态下易氧化生成能溶解在铜内的  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,使力学性能下降,为防止氧化,熔炼时加入熔剂(木炭、玻璃屑、硼砂等)覆盖铜液,同时还加脱氧剂(磷铜)进行脱氧。熔炼黄铜时,因锌能脱氧而不另加脱氧剂。铜合金的铸造特点是熔点低,流动性好,收缩大,易氧化和吸气。黄铜铸件易产生集中性缩孔,应设置较大的冒口。锡青铜则较易形成分散缩孔,采用金属型铸造可获得致密铸件。浇注铅青铜时应充分搅拌,以免产生比重偏析。为获得表面光滑的铸件,常用细粒度的型砂造型。

## 四、特种铸造

砂型铸造是应用最广泛的一种铸造方法,它适用于不同生产规模和各种金属的铸造,但是它的工艺过程繁杂,铸件质量不易控制,尺寸余量大,生产效率较低,劳动条件差。随着现代工业和科学技术的发展,特种铸造发展很快,如金属型铸造、压力铸造、离心铸造、熔模铸造和壳体铸造等,现简介如下。

### (一) 金属型铸造

将液体金属浇入用金属(铸铁或钢)做的铸型,从而获得铸件的方法称为金属型铸造。与



砂型铸造相比,金属型可以多次使用,既节省大量的造型材料和工时、提高了生产率,又改善了劳动条件。所得到的铸件尺寸精确,表面光滑。又因金属型导热性良好,液体金属在型腔内冷却快,使铸件组织细化,提高了力学性能。

金属型铸造的缺点是铸型制造周期长,成本高,又因导热率高其退让性差,易产生浇不足。此外金属型铸造要求严格的铸造工艺规程。

金属型铸造主要用于批量生产有色金属及其合金的铸件,如活塞、气缸体、气缸盖,油泵壳体等;也可用于铸造各种铸铁轧辊,其工作表面可以得到耐磨的白口层(又称冷硬铸铁);在铸钢中金属型一般仅作钢锭模使用。

## (二) 压力铸造

在高压作用下,快速将金属溶液压入金属型中,凝固后获得铸件的方法称为压力铸造(简称压铸)。

压力铸造在压力机上进行,它保留了金属型铸造的一些特点。由于金属液是在高压、高速下注入铸型,大大提高了合金流动性,可浇出薄而复杂的精密铸件,如各种孔眼、螺纹、精细的花纹图案、文字等。又因高的压力保证了金属液的流动性,可适当降低浇注温度,从而提高了铸件的尺寸精度和改善了表面粗糙度。压力铸造的金属液是在高压下结晶凝固,组织细密,强度高(比砂型铸造提高20%~40%)。

压力铸造产品品质好,生产效率高,适用于大批量生产,目前除应用于有色金属外,已扩大到铸铁、铸钢,它是实现少切削和无切削加工的途径之一。

## (三) 离心铸造

将熔化的金属,浇入高速旋转的铸型中,使金属液在离心力的作用下,填充铸型和凝固而获得铸件的方法称离心铸造。

离心铸造分为立式和卧式两类,立式离心铸造适用于高度小于内孔直径的铸件,如齿轮、圆环和轴瓦等;卧式离心铸造用于较长的圆筒形铸件。

离心铸造的优点:金属溶液在离心力作用下凝固,金属晶粒细小,组织致密,强度高,充填性好,能铸造流动性较低的金属铸件、薄壁铸件和双金属铸件。离心铸造生产过程易于实现机械化、自动化,生产效率高。

离心铸造的缺点:铸件内表面尺寸不够准确,并且气孔夹渣较多,因此内表面加工余量大,在铸造铅青铜时,因铅与铜相对密度相差大,在离心铸造时会出现相对密度偏析即铅易于铸件表层,导致铸件内部和外表成分有较大差异。

离心铸造广泛用于圆管状铸件,如气缸套、圆环等以及双金属轴瓦和要求组织致密、强度高的成形铸件。

## (四) 熔模铸造

熔模铸造又称失蜡铸造。它是用易熔材料(石蜡、硬脂酸等)注入模型内,制成高精度的蜡模,连接在浇注系统上组成蜡模组,然后在它的表面浸一层耐火涂料,撒一层石英砂,如此反复数次,使其硬化成壳,将蜡模熔化流出而获得高精度的铸型,再把它置于砂箱内,周围填砂,这样就可以把熔化的合金浇入铸型,凝固后便得到高精度的铸件。

熔模铸造是采用整体蜡模涂层造型故可铸造形状复杂、尺寸精度高和表面光洁的铸件,易实现少切削和无切削加工。对于高熔点合金及难切削加工的合金用此方法更为有效。但熔模铸造工序