



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13-5” GUIHUA JIAOCAI

金属材料专业 实验教程

主 编 饶 克

副主编 齐 亮 叶洁云 刘金明



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

金属材料专业实验教程

主 编 饶 克

副主编 齐 亮 叶洁云 刘金明



北 京

冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书共3章,第1章为金属材料工艺实验,包括金属材料熔炼实验,加工实验,热处理、表面改性实验,加工模具实验,设备实验以及计算机在材料中的应用实验。第2章为金属材料组织性能检测实验,包括金属材料组织检测实验,性能检测实验以及现代检测技术。第3章为专业综合技能训练,介绍了一些实训项目。附录收录了与实验有关的一些内容。

本书可作为高等院校金属材料以及相关专业教材,也可作为高职高专院校金属材料专业学生学习辅导用书,并可供相关工程技术人员和科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料专业实验教程/饶克主编. —北京:冶金工业出版社, 2018. 6

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7789-9

I. ①金… II. ①饶… III. ①金属材料—实验—高等学校—教材 IV. ①TG14—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 103821 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨盈园 美术编辑 彭子赫 版式设计 禹蕊

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7789-9

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2018 年 6 月第 1 版, 2018 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 17.5 印张; 422 千字; 269 页

39.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

实验教学是实现素质教育和创新人才培养的重要环节,对培养学生实验技能、创新能力和综合研究能力有着不可替代的作用。金属材料相关专业要求培养的学生既有深厚的基础理论知识,又具备多方面的实验研究能力,因而实验教学显得越发重要。为了使实验教学与专业课程教学紧密联系,又具有相对的独立性和针对性,并满足现代开放实验室对实验教学的要求,同时从培养学生能力的角度出发,我们编写了本书。

本实验教程以江西理工大学金属材料工程、材料成型及控制工程、材料物理三个专业的实验为基础,主要包括材料科学基础、材料力学性能与物理性能、金属材料及热处理、材料表面工程学、材料失效分析、材料分析测试技术、金属塑性加工原理、有色金属熔炼与铸锭、金属塑性加工、冲压工艺及模具设计、塑料成型工艺与注塑模具设计、焊接原理与工艺、材料成型设备与控制等专业课程的实验。

在实验内容的选择上,我们尽可能安排以全面提高学生实验技能为主的常规基础实验。全书主要内容分3章,共有95个实验。第1章为金属材料工艺实验,主要包括金属材料熔炼、加工、热处理及表面改性实验以及材料加工模具、加工设备、计算机在材料中的应用实验;第2章为金属材料组织性能检测实验,主要包括金属材料组织检测、金属材料性能检测和现代检测技术;第3章为专业综合技能训练,根据金属材料专业发展的需要,结合本校金属材料专业特点,主要编写了以培养学生综合实验研究能力、创新能力为目的的专业综合技能训练实验,包括金属熔铸、材料加工、材料组织分析、金属材料热处理及模具设计加工综合技能训练等。

本书由饶克主编,主要参编人员有齐亮、叶洁云、刘金明,江西理工大学金属材料工程教研室、材料成型及控制工程教研室、材料物理教研室以及材料实验中心、材料加工实验中心的教师:安桂焕、蔡薇、邓同生、付群强、黎业生、刘同华、刘位江、王操、王和斌、王智祥、欧平、秦镜、汪志刚、杨育奇、

张旭、张迎晖、钟华萍、周琮宇、周升国、朱志云等参与了本书的编写工作，在此表示衷心感谢！

本书在编写过程中，参考了江西理工大学材料科学与工程学院所使用的实验指导书、兄弟院校的实验教材以及相关著作和论文。同时本书的出版得到了江西理工大学教务处和材料科学与工程学院的大力支持，谨此一并深表谢意。

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2017年10月于江西理工大学

目 录

第1章 金属材料工艺实验	1
第1节 金属材料熔炼实验	1
实验1 纯铝的熔炼与铁模铸锭	1
实验2 铜及铜合金的熔炼与铸锭	3
实验3 铸造合金流动性测定	6
实验4 铸锭废品的产生及分析	7
第2节 金属材料加工实验	10
实验1 真实应力-应变曲线(硬化曲线)的绘制	10
实验2 矩形组合件压缩时的不均匀变形分布	13
实验3 墩粗圆柱体时平均单位压力 $\bar{P}$ 随 d/h 的变化规律	18
实验4 平塑压圆柱体时,接触应力的分布情况及其影响因素	19
实验5 滑移线的观察	22
实验6 挤压时金属流动景象的观测,工艺因素对挤压力的影响	24
实验7 挤压过程中挤压力的变化规律	28
实验8 空拉管材时,管坯的径厚比 D_H/S_H 对壁厚变化的影响及拉伸力的测定	30
实验9 拉棒时安全系数的确定及拉伸力的校核	31
实验10 最大咬入角的测定	33
实验11 前滑值的测定	35
实验12 轧件宽展的测定	37
第3节 金属材料热处理、表面改性实验	39
实验1 碳素钢的热处理	39
实验2 钢的淬透性测定	44
实验3 热处理工艺对高速钢组织和性能的影响	46
实验4 常见热处理缺陷分析	50
实验5 铝合金的固溶淬火	55
实验6 铝合金的人工时效	57
实验7 电沉积Ni合金及其耐蚀性能测试	58
实验8 高压电化学沉积薄膜	61
实验9 磁控溅射镀制薄膜	63
实验10 低碳钢表面磷化处理	64
实验11 钢的渗硼	65

第4节 材料加工模具实验	67
实验1 线切割钼丝上丝、穿丝和紧丝操作	67
实验2 数控线切割的程序编辑与加工实验	69
实验3 电火花成形加工实验	70
实验4 塑料注射成型工艺	71
实验5 塑料模的拆装实验	72
实验6 冲模拆装	72
实验7 冲模调试	74
实验8 采用线切割加工冷冲模(凸凹)	75
第5节 材料加工设备实验	76
实验1 管棒型生产设备演示	76
实验2 板带生产设备演示	81
实验3 二辊、四辊轧机构造	84
实验4 轧机刚度系数的测定	85
实验5 翅片管成型方法演示	87
实验6 电加工设备	89
实验7 手工电弧焊	90
实验8 二氧化碳气体保护焊	91
实验9 电阻炉的组成和升温	93
实验10 箱式电阻炉温度控制和降温曲线绘制	94
实验11 炉温均匀性测定	96
第6节 计算机在材料中的应用实验	97
实验1 材料科学文献检索	97
实验2 Thermo-calc 软件的相图计算	97
实验3 Office 软件在论文写作中的应用	99
实验4 正交实验设计	99
实验5 Origin 软件的数据处理	100
实验6 Photoshop 软件的论文图片处理	103
实验7 Image pro plus 软件的粒径分析	104
实验8 ABAQUS 有限元软件应用	106
第2章 金属材料组织性能检测实验	108
第1节 金属材料组织检测实验	108
实验1 金相显微镜的结构与使用	108
实验2 金相样品的制备及观察	119
实验3 浇铸条件对铸锭组织的影响	122
实验4 钢材断口分析	123
实验5 Fe-C 合金平衡组织观察	127
实验6 原始奥氏体组织观察	128

实验 7 二元合金组织的观察	129
实验 8 三元合金的显微组织观察	133
实验 9 晶粒度的测定与评级方法	135
实验 10 CCT 曲线测定	140
实验 11 合金钢的显微组织观察和分析	143
第 2 节 金属材料性能检测实验	146
实验 1 金属硬度的测定	146
实验 2 一次冲击实验	151
实验 3 弯曲实验	154
实验 4 磨损实验	156
实验 5 扭转实验	157
实验 6 用电位差计测量电阻研究合金不均匀固溶体的形成	159
实验 7 用伏-安计确定形状记忆合金的马氏体转变温度	162
实验 8 示差热分析法测定合金的相变温度	164
实验 9 差示扫描量热法 (DSC) 的工作原理、操作及应用	167
实验 10 差热分析	169
实验 11 压力计法测定石灰石分解反应自由焓 $\Delta G_T^{\ominus}$	173
实验 12 电阻应变法的粘贴工艺	176
实验 13 静态应力-应变测量	178
实验 14 金属表面粗糙度的测量	180
实验 15 缴粗圆环法测定摩擦系数	182
实验 16 超声波探伤: DAC/AVG 曲线的制作	184
实验 17 涡流探伤	186
实验 18 电磁探伤	189
实验 19 自动密度仪原理、操作及应用	190
实验 20 多种钢铁材料的火花鉴别实验	193
第 3 节 现代检测技术	196
实验 1 X 射线晶体分析仪介绍及单相立方晶系物质粉末相计算	196
实验 2 利用 X 射线衍射仪进行多相物质的相分析	199
实验 3 扫描电子显微镜、电子探针仪结构与样品分析	203
实验 4 透射电子显微镜的结构、样品制备及观察	206
实验 5 扫描隧道显微镜	211
第 3 章 专业综合技能训练	221
实训项目 1 金属熔炼与铸锭	224
实训项目 2 金属压力加工	228
实训项目 3 金属组织分析	234
实训项目 4 金属热处理	236
实训项目 5 模具设计与制造	242

附 录	254
附表1 金相化学浸蚀试剂	254
附表2 钢铁及其有色金属电解抛光规范和电解液成分	256
附表3 压痕直径与布氏硬度对照表	258
附表4 压痕对角线与维氏硬度对照表	262
附表5 常用维氏、布氏、洛氏硬度的换算表	264
附表6 表面粗糙度与光洁度的关系参考表	267

参考文献	268
------	-----

第 1 章 金属材料工艺实验

第 1 节 金属材料熔炼实验

实验 1 纯铝的熔炼与铁模铸锭

一、实验目的

- (1) 通过纯铝的熔炼与铁模铸锭，了解有色金属熔铸的一般工艺和操作知识。
- (2) 观察铝锭横截面的铸造组织形貌，了解形成晶粒组织的三个晶区。
- (3) 改变浇铸工艺条件，研究不同的浇铸工艺条件对铸锭晶粒组织的影响。

二、实验原理

金属和合金的铸锭晶粒组织一般较为粗大，对铸件横断面稍加打磨、抛光和腐蚀，就可直接进行观察。铸锭晶粒组织常见三个晶区形貌如图 1-1-1-1 所示。

(一) 表面细等轴晶区

当过热金属浇入锭模时，锭模对熔液产生强烈过冷，在模壁附近形成大量的晶核，生长成枝状细等轴晶。同时，浇铸引起的动量对流，液体内外温差引起的热对流，以及由对流引起的温度起伏，促使模壁上形成的晶粒脱落和游离，增加凝固区内的晶核数目，因而形成了表面细等轴晶区。

(二) 柱状晶区

在表面细等轴晶区内，生长方向与散热方向平行的晶粒得到优先生长，而与散热方向不平行的晶粒则被抑制。这种竞争生长的结果，使愈往铸锭内部晶粒数目愈少，优先生长的晶粒最后单向生长并互相接触而形成柱状晶区。

柱状晶区是在单向导热及顺序凝固条件下形成的。凡能阻止晶体脱离模壁和在固/液界面前沿形核的因素，均有利于扩大柱状晶区。浇铸温度高，固/液界面前沿温度梯度大，凝固区窄，从界面上脱落的枝晶易于被完全熔化。

(三) 中心等轴晶区

柱状晶生长到一定程度，由于前沿液体远离模壁，散热困难，冷速变慢，而且熔液中的温差随之减小，这将阻止柱状晶的快速生长，当整个熔液温度降至熔点以下时，熔液中出现许多晶核并沿各个方向长大，就形成中心等轴晶区。

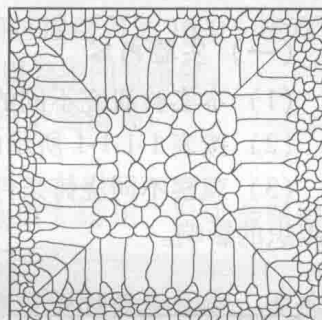


图 1-1-1-1 具有三个晶区的铸锭晶粒组织示意图

形成中心等轴晶区的晶核主要来源于三种途径：表面细等轴晶的游离；枝晶的熔断及游离；液面或凝壳上晶体的沉积。

凡能阻止游离到铸锭中心的晶粒完全熔化的因素，均有利于促进中心等轴晶区的形成。

铸锭的结晶过程及其组织与金属的冷却条件、浇铸时熔体的温度、变质处理条件等因素有关。改变金属的浇铸温度对结晶过程有影响作用。当液态金属过热越多时，浇铸后沿铸锭截面的温差越大，越有利于按顺序凝固的方式结晶，形成柱状晶组织。但是过热度太大，非自发核心数目减少，会使晶粒粗大化。

通过加入一定数量的变质剂进行变质处理，能够增加结晶时的形核数。因此，在其他条件相同时，添加适量变质剂可以细化晶粒。

三、实验设备及材料

- (1) 设备：坩埚炉。
- (2) 材料：工业纯铝（含 99.7% 铝的铝锭）、水砂纸（180 号、400 号）。
- (3) 工模具：石墨坩埚、坩埚钳、 $\phi 35\text{mm}$ 钢模、弓锯、台钳。
- (4) 腐蚀液：氢氟酸：硝酸：盐酸 = 1 : 5 : 15，适量。

四、实验内容和步骤

（一）实验内容

- (1) 本实验研究不同的浇铸温度和晶粒细化剂对铸锭组织的影响。
- (2) 按表 1-1-1-1 所示的浇铸工艺条件浇铸铝锭。
- (3) 观察不同浇铸条件下浇铸的铝锭的横截面的宏观组织，分析浇铸工艺条件对铸锭组织的影响。

表 1-1-1-1 浇铸工艺条件

组别	模壁材料	模子温度/℃	浇铸温度/℃	细化剂
1	钢	室温	720	—
2	钢	室温	920	—
3	钢	室温	720	—
4	钢	室温	720	Al-Ti-B

注：晶粒细化剂的添加量为熔体质量的 1.5‰ ~ 2‰。

（二）实验步骤

(1) 每组使用一个坩埚炉，将足够量的铝锭装入石墨坩埚并放入炉内。将坩埚炉升温至 720℃，保温使之熔化。

(2) 在铝全部熔化后保温 15min，确保铝液温度在 720℃ 左右，取出浇铸第一个锭。将坩埚放回炉内，升温至 920℃ 保温 15min，再浇铸第二个锭。然后将炉温降至 720℃ 保温 15min，浇铸出第三个锭。再向熔体内加入细化剂，搅拌均匀，浇铸出第四个锭。

(3) 待钢模内的铝锭凝固冷却后取出，用钢印在两端打上实验批次编号，以便识别。

(4) 用台钳将铝锭夹住，在中部沿横截面垂直锯开。

(5) 将锯切面用锉刀锉平整,用180号和400号砂纸磨平,再用腐蚀液浸蚀,显示出其横断面的结晶组织。

(6) 用体式显微镜或数码相机拍摄铸锭宏观组织图片。

五、实验报告要求

(1) 绘制出铸锭的结晶组织示意图(可打印出铸锭的宏观组织图片)。

(2) 分析浇铸工艺条件对铸锭结晶过程和组织的影响。

实验2 铜及铜合金的熔炼与铸锭

一、实验目的

(1) 了解中频感应电炉工作原理和结构。

(2) 掌握感应电炉熔炼铜合金基本操作方法。

二、实验原理

感应电炉是金属材料的主要熔炼设备之一,它是利用电磁感应和电流热效应原理而进行工作的。即由电磁感应在金属材料内部产生感应电流,感应电流在金属材料中流动时产生热量,使金属材料加热和熔化,这种电炉加热快、温度高,熔炼温度可达 $1600\sim 1800^{\circ}\text{C}$,有较强的搅动能力,适合于熔炼温度较高且不需造渣熔炼的合金以及中间合金等。

感应电炉熔炼铜合金的主要过程包括装料、熔化、精炼及出炉浇铸等。

(一) 装料原则及熔化顺序

(1) 炉料最多的金属应首先入炉进行熔化。炉料较多的金属先熔化,形成金属熔池后再逐渐地加入其他金属元素,这样可以减少金属元素的熔损。

(2) 易氧化、易挥发的合金元素应最后入炉熔化。如熔炼黄铜时要先加铜,铜熔化后再加锌,因为铜的熔点是 1083°C ,而锌的熔点是 417°C ,锌的沸点是 907°C ,熔炼时若先加锌就会造成锌的大量挥发烧损,而熔炼时先加铜,铜熔化后再加锌,锌在铜液中迅速溶解,当合金液达到浇铸温度时,即可出炉浇铸,可减少锌的熔炼烧损。

(3) 合金熔化时放出大量热量的金属不应单独加入到熔体中,而应与预先留下的基体冷料同时加入。如熔炼铝青铜时,将铝加入到铜液中时会发生放热反应,使铜液剧烈过热,因此熔炼时应先加 $2/3$ 的铜,熔化后再加铝,并同时加入剩余的 $1/3$ 的铜,这样加铝所放出的热量为后加入的铜所利用,可以避免合金熔体过热。

(4) 两种金属熔点相差较大时,应先加入易熔金属,形成熔体时,再加入难熔金属,利用难熔金属的溶解作用,逐渐溶解于熔体中。如熔炼含铜80%、含镍20%的白铜时,先将铜熔化,并加热至 1300°C 左右,再将镍加入(镍块要小些,容易熔化)熔体中,逐渐熔化。这样既缩短熔炼时间,又保证合金成分。

(5) 能够减少熔体大量吸收气体的合金元素,应先入炉熔化。

(二) 熔炼时金属的损耗和氧化

熔炼过程中,一些合金元素不可避免地要产生挥发和氧化,造成金属浪费和引起合金

化学成分变化,影响金属材料质量。

(1) 金属的挥发主要取决于其蒸气压的高低,在相同的熔炼条件下蒸气压高,金属就易挥发、易烧损,如锌、磷等。

(2) 金属被氧化的程度主要取决于金属的性质。与氧结合能力强的元素容易被氧化,如铝、磷、铜等。金属氧化还与温度有关,熔炼温度越高则氧化烧损越多。

(三) 除气精炼

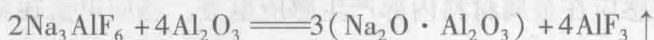
金属的氧化和吸气会使金属材料在熔炼及加工过程中产生一系列问题,在熔炼过程中熔体内经常含有少量的有害气体和夹渣等,因此精炼作用就是去除熔体中的气体和夹渣。

1. 气体的去除

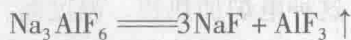
熔炼铜合金的除气方法一般有气体除气法、熔剂除气法、沸腾除气法。

(1) 气体除气法:采用惰性气体,它与金属液不发生作用,不溶解在金属液内,也不与溶解在金属液内的气体发生作用,如氮气、氩气。惰性气体除气就是将氮气(N_2)用钢管通入到金属液的底部,放出许多气泡,气泡上升时,能将溶解在金属液中的气体带出来。这是因为当氮气泡在金属液中上升时,溶解在金属液中的氢气就会向氮气泡中扩散,随氮气泡的上升而带走。

(2) 熔剂除气法:熔剂除气是利用熔盐的热分解或与金属进行置换反应产生不溶于熔体的挥发性气泡而将氢除去。如铝青铜用冰晶石(Na_3AlF_6)除气,其反应式为:



或



反应产物 AlF_3 为气体,起除氢作用,另外两种反应产物为熔渣除去,可见,用熔剂除气时,还具有除渣作用。

(3) 沸腾除气法:沸腾除气是在工频有芯感应电炉熔炼高锌黄铜时常用的一种特殊除气方法。熔炼黄铜时锌的蒸发可以将溶解在合金熔体中的气体除去。当熔化温度较高、超过锌的沸点($907^\circ C$)时,熔炼时会出现喷火现象,即锌的沸腾,这样有利于将气体除去。

2. 除渣精炼

铜合金熔炼过程中产生的炉渣主要为氧化物,氧化物的来源很多,首先是金属在熔炼过程中的氧化物和炉料带进的夹杂物,其次是炉气和大气灰尘、炉衬和操作工具带入的夹杂物等。由于这些氧化物的物理化学性质和状态不同,其在熔池中的分布情况各不相同。如不在浇铸前进行除渣精炼,将严重影响合金的加工和性能。除去熔体中的夹渣方法通常有以下三种。

(1) 静置澄清法:静置澄清过程一般是让熔体在精炼温度下,保持一段时间使氧化及熔渣上浮或下沉而除去。

(2) 浮选除渣法:浮选除渣是利用熔剂或惰性气体与氧化物产生的某种物理化学作用,即吸附或部分溶解作用,造成浮渣而将氧化物除去。

(3) 熔剂除渣法:在熔体中加入熔剂,通过对氧化物的吸附、溶解、化合造渣,将渣除去,熔剂的造渣能力越强,除渣精炼的效果越好。

(四) 影响铸锭质量的主要因素

(1) 浇铸温度:浇铸温度过高或过低都是不利的,因为采用较高的浇铸温度,势必

就要使炉内熔体的温度相应提高,这将引起铜合金在熔化和保温过程中大量的吸气,同时也会增加烧损,在浇铸时会使氧化加剧。此外,过高的浇铸温度也会对铸模的使用寿命产生不利影响,尤其是平模浇铸时模底板更容易遭到破坏。当浇铸温度偏低时,熔体流动性变差,不利于气体和夹渣上浮,也易使铸锭产生冷隔缺陷。因此,必须根据合金的性质,结合具体的工艺条件,制定适当的浇铸温度范围。

(2) 浇铸时间:不同牌号的铜合金都有最适宜的铸造温度,高于或低于这个温度将直接影响铸锭的质量。对于铸模铸锭方式来说,铸造温度的控制与浇铸时间密切相关,因为浇铸时间越长,先后浇铸的金属熔体的温差越大。对于铸造温度范围较窄的合金来说,浇铸时间越长,浇铸温度也就越难控制。

(3) 浇铸速度:浇铸速度通常以铸模内金属熔体每秒钟上升的毫米数来表示。浇铸速度的选择原则是:1)在保证铸锭产品质量的前提下,适当提高浇铸速度;2)对于一定的合金,若合金化程度低,结晶温度范围小,导热性好,可适当提高浇铸速度;3)若铸模的冷却速度大,铸锭直径较小,浇铸速度可适当提高。

三、实验设备及材料

铜合金熔炼通常采用工频或中频感应电炉。本实验采用无芯中频感应炉 GW-10。使用的原材料主要有电解铜(Cu-1)、锌锭(Zn-3以上)、铝锭(Al99.7)。

熔炼铜合金常用木炭、米糠等作覆盖剂,既可保温防氧化又可结渣和改善熔体流动性;除气采用铜磷中间合金(Cu-8%P);除渣采用冰晶石(Na_3AlF_6)或80%冰晶石和20%氟化钠的混合物;浇铸模采用机油或石墨+机油润滑,烤干后使用。

四、实验内容和步骤

(一) 黄铜熔炼工艺

熔料准备→预热坩埚至发红→加铜和木炭→升温至1200℃熔化→加锌(分批加入到熔体中)→搅拌→加中间合金(Cu-8%P)→搅拌→静置→出炉→扒渣→浇铸。

(二) 铝青铜熔炼工艺

熔料准备→预热坩埚至发红→先加2/3电解铜→加熔剂(冰晶石)→升温至1200℃熔化→加纯铝→熔化后再加余下的电解铜→加熔剂→熔化→搅拌→静置→出炉→扒渣→浇铸。

(三) 操作要点

(1) 锌能很好地除气和脱氧,加入少量Cu-P中间合金的目的是改善合金熔体的流动性。

(2) 为了减少熔炼损耗,要在低温加锌。

(3) 铝青铜中铝为强氧化元素,在熔炼过程中极易氧化,生成高熔点 Al_2O_3 ,形成悬浮渣液,极不易除去,加入冰晶石熔剂除去 Al_2O_3 的效果好。

(4) 冰晶石熔剂的加入量为炉料量的0.1%~0.3%,分两次加入。

(5) 浇铸时要掌握好浇铸温度和浇铸速度,确保铸锭质量。

(四) 铜合金的配料

根据铸模尺寸大小,要求合金配料总量为1200g。

(1) 黄铜 (H68):

纯铜: $1200\text{g} \times 68\% = 816\text{g}$

锌: $1200\text{g} \times 32\% = 384\text{g}$ (需考虑烧损量 $1.5\% \sim 2\%$)

(2) 铝青铜 (QA110):

纯铜: $1200\text{g} \times 90\% = 1080\text{g}$

铝: $1200\text{g} \times 10\% = 120\text{g}$

五、实验报告要求

(1) 简述中频感应电炉熔炼铜合金基本过程。

(2) 分析讨论铜合金熔炼过程中除气、除渣的作用及注意事项。

实验3 铸造合金流动性测定

一、实验目的

(1) 了解浇铸温度对铸造合金流动性的影响。

(2) 了解铸造合金流动性与铸造缺陷的关系。

(3) 掌握使用螺旋试样法测定铸造合金流动性的方法。

二、实验原理

液态合金本身的流动能力称为“流动性”，是合金的铸造性能之一。它与合金的成分、温度、杂质含量及物理性质有关。

合金的流动性对铸型的充填过程及排出其中的气体和杂质，以及补缩、防裂有很大影响。合金的流动性好，则充型能力强，气体和杂质易于上浮，使合金净化，有利于得到没有气孔和夹杂，且形状完整、轮廓清晰的铸件。良好的流动性能使铸件在凝固期间产生的收缩得到合金液的补充，并可使铸件在凝固末期因收缩受阻而出现的热裂得到液态合金的弥合。液态合金的流动性是用浇铸“流动性试样”的方法衡量的。实验中，是将试样的结构和铸型性质固定不变，在相同的浇铸条件下（例如，在液相线以上相同的过热温度或在同一浇铸温度），浇铸各种合金的流动性试样，以试样的长度或试样某处的厚薄程度表示该合金流动性的好坏。

对于同一种合金，也可用流动性试样研究各种铸造因素对其充型能力的影响。例如，采用某种结构的流动性试样，可以改变型砂水分、浇铸温度、直浇道高度等因素之一，以判断该因素的变动对充型能力的影响。因此，各种测定流动性的方法都可用于合金充型能力的测定。

流动性试样的类型很多，如螺旋形、球形、U形、楔形试样以及真空试样等。在生产 and 科研中应用最多的是螺旋形试样（见图 1-1-3-1）。其优点是：灵敏度高，对比形象，结构紧凑。其缺点是：沟槽断面尺寸较大，液态合金的表面张力的影响表现不出来；沟槽弯曲，沿程阻力损失较大；沟槽较长，受型砂的水分、紧实度、透气性等因素的影响较显著；不易精确控制，故测量精度受到一定影响。

提高铸锭和加工产品的质量,具有十分重要的意义。

铸锭中常见的缺陷有偏析、缩孔、疏松、裂纹、气孔、冷隔、非金属夹渣等。

(一) 偏析

这是指铸锭内化学成分不均匀的现象。它可分为显微偏析,包括枝晶偏析、胞状偏析(即亚晶界偏析)、晶界偏析以及宏观偏析,包括正、反偏析、重力偏析、带状偏析(在定向凝固中出现)、V形偏析(在钢铁中出现)。

1. 显微偏析

(1) 枝晶偏析(晶内偏析):在生产条件下,由于铸锭冷凝较快,固液两相中溶质来不及扩散均匀,枝晶内部先后结晶部分的成分不同,这就是枝晶偏析(或称为晶内偏析)。

(2) 晶界偏析:合金凝固时,溶质会不断自固相向液相排出,导致最后凝固的晶界含有较多的溶质和杂质,即形成晶界偏析。

2. 宏观偏析

(1) 正偏析:这是指铸锭断面上成分不均匀,其表面和底部的溶质量低于合金的平均成分,中心和头部的溶质量高于合金的平均成分的现象。正偏析的结果,易使单相合金的铸锭中部出现低熔点共晶组织和聚集较多的杂质。

(2) 反偏析:与正偏析相反,合金铸锭发生反偏析时,铸锭表面的溶质高于合金的平均成分,中心的溶质低于合金的平均成分的现象。

(3) 重力偏析(密度偏析):当互不相容的两液相或固液两相的密度不同时产生的偏析,称为重力偏析。Cu-Pb 和 Sn-Sb 常产生重力偏析。

(二) 缩孔与缩松

在铸锭中部、头部、晶界及枝晶间等处,常常有一些宏观和显微的收缩孔洞,称为缩孔。容积大而集中的缩孔,称为集中缩孔;细小而分散的缩孔,称为缩松,其中出现在晶界或枝晶间的缩松又称为显微缩松。

1. 缩孔

缩孔是在顺序凝固条件下,因金属液态和凝固体收缩造成的孔洞得不到金属液的补缩而产生的。缩孔多出现在铸锭的中部和头部,或铸件的厚壁处、内浇口附近以及两壁相交的“热节”处。

2. 缩松

缩松是在同时凝固的条件下,最后凝固处是由于收缩造成的孔洞得不到金属液的补缩而产生的。缩松分布面广,铸锭轴线附近尤为严重。

(三) 裂纹

大多数成分复杂或杂质总量较高,或有少量非平衡共晶的合金,都有较大的裂纹倾向,尤其是大型铸锭,在冷却强度大的连铸条件下,产生裂纹的倾向更大。在凝固过程中产生的裂纹称为热裂纹,凝固后冷却过程中产生的裂纹称为冷裂纹。两种裂纹各有其特征。热裂纹多沿晶界扩展,曲折而不规则,常出现分枝,表面略呈氧化色。冷裂纹常为穿晶裂纹,多呈直线扩展且较规则,裂纹表面较光洁。铸锭中有些裂纹既具有热裂纹特征又