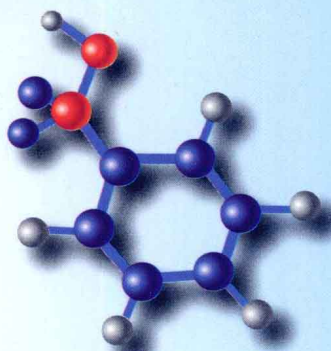




21世纪全国高等院校材料类**创新型**应用人才培养规划教材

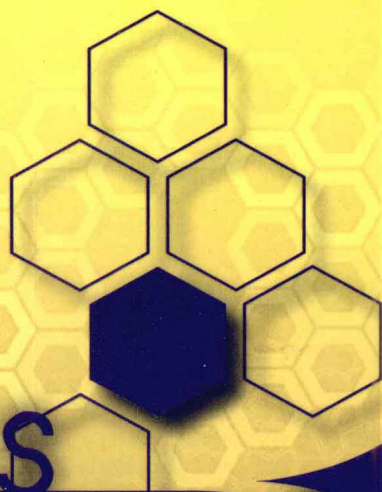


MATERIALS

材料科学与工程专业实验教程

主 编 向 嵩 张晓燕

- 精设40个实验项目，囊括8大主干课程
- 涵盖验证性、设计性、综合性实验
- 奠定动手能力与创新思想的基石



Materials



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

材料科学与工程专业实验教程

主	编	向	嵩	张晓燕		
参	编	雷	源源	万明攀	杨	明
		王	丽	李远会		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书为高等学校实验用教材,主要以材料科学与工程主干课程:材料科学基础、固态相变、金属材料学、材料力学性能、金属热处理、材料近代分析测试方法、材料制备技术、材料物理性能等为基础,使学生在完成专业基础课、专业课后在实验能力方面得到进一步的培养与训练。

本书内容包括材料的熔炼、制备,材料的力学性能、物理性能和化学性能,材料微观组织结构表征的基础实验,以及一定数量的综合性实验。本书绝大部分实验主要包括实验目的、实验原理、实验设备及材料、实验方法及步骤、实验报告要求等内容,旨在为学生和指导教师提供尽可能完备与系统的实验指导。另外,本书部分实验还列举了与该实验内容相关的资料和数据。

本书可作为高等院校材料科学与工程学科、机械及其他材料类专业的本科实验教学用书,也可作为研究生进行科学研究的实验手册,还可作为相关专业技术人员的参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

材料科学与工程专业实验教程/向嵩,张晓燕主编. —北京:北京大学出版社,2011.9

(21世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19437-9

I. ①材… II. ①向…②张… III. ①材料科学—实验—高等学校—教材②工程技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TB3-33②TB-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 172292 号

书 名:材料科学与工程专业实验教程

著作责任者:向 嵩 张晓燕 主编

策 划 编 辑:童君鑫

责 任 编 辑:郭穗娟

标 准 书 号:ISBN 978-7-301-19437-9/TG·0020

出 版 者:北京大学出版社

地 址:北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址:<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱:pup_6@163.com

印 刷 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者:北京大学出版社

经 销 者:新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 261 千字

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

定 价:25.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024

电子邮箱:fd@pup.pku.edu.cn

21 世纪全国高等院校材料类创新型应用人才培养规划教材

编审指导与建设委员会

成员名单 (按拼音排序)

白培康 (中北大学)	陈华辉 (中国矿业大学)
崔占全 (燕山大学)	杜彦良 (石家庄铁道大学)
杜振民 (北京科技大学)	耿桂宏 (北方民族大学)
关绍康 (郑州大学)	胡志强 (大连工业大学)
李 楠 (武汉科技大学)	梁金生 (河北工业大学)
林志东 (武汉工程大学)	刘爱民 (大连理工大学)
刘开平 (长安大学)	芦 笙 (江苏科技大学)
裴 坚 (北京大学)	时海芳 (辽宁工程技术大学)
孙凤莲 (哈尔滨理工大学)	孙玉福 (郑州大学)
万发荣 (北京科技大学)	王春青 (哈尔滨工业大学)
王 峰 (北京化工大学)	王金淑 (北京工业大学)
王昆林 (清华大学)	卫英慧 (太原理工大学)
伍玉娇 (贵州大学)	夏 华 (重庆理工大学)
徐 鸿 (华北电力大学)	余心宏 (西北工业大学)
张朝晖 (北京理工大学)	张海涛 (安徽工程大学)
张敏刚 (太原科技大学)	张 锐 (郑州航空工业管理学院)
张晓燕 (贵州大学)	赵惠忠 (武汉科技大学)
赵莉萍 (内蒙古科技大学)	赵玉涛 (江苏大学)

前 言

材料科学与工程专业是实践性较强的学科，而实践教学是理论联系实际的重要教学环节，也是全面实现人才培养目标的重要环节。材料科学与工程被视作当代文明的三大支柱之一和全球新技术革命的三大标志之一，传统上材料分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子材料。随着现代社会科技高速的发展，各学科知识交叉融合，材料被赋予了新的使命和内涵。新材料研发与产业化正在从根本上改变社会的产业结构，也改变了材料科学与工程教育、教学体系的旧有格局，材料科学与工程正向着综合型和交叉性方向发展。

在充分了解材料学科发展的基础上，编者结合本校教学特色编写了本书。在实验项目设置上，加大综合性、设计性实验所占的比例，进一步减小验证性实验，使学生在这一体系中充分发挥主观能动性，避免以往为实验而实验、为检测而检测的呆板性和单一性，使材料各个学科之间能够相互交叉与融合，为培养具有“宽材料基础”的复合型人才奠定实践基础，构建起材料科学与工程专业“材料制备—材料力学性能—材料物理性能—材料微观组织分析”的实验体系。学生可在材料制备实验室从最基本的材料制备做起，了解和掌握各种材料的常用制备方法、工艺及设备，特别是先进材料的设计思路和研究方法，再将所制备的成品分别在材料结构实验室通过相关设备测试力学性能，通过显微设备观测其组织结构，在材料物理性能实验室测试其材料的各种性能，通过汇总各种测试信息来分析材料的结构及性能，培养学生全面的综合素质与能力，培养学生的动手能力与创新思想，使其深入消化所学专业内容，使所学理论与实践紧密结合。经过综合实验，学生对材料制备整个过程及性能评价将有全面系统的了解与掌握。

参加本书编写的有向嵩、张晓燕、雷源源、万明攀、杨明、王丽、李远会。

由于编者水平有限，本书难免存在缺陷和不足，敬请广大读者批评指正。

编 者
2011 年 5 月

目 录

实验 1 钢的熔炼与铸造	1
实验 2 铝合金的熔炼与铸造	6
实验 3 金相显微镜的成像原理、构造与使用	10
实验 4 金相样品的制备与显示	15
实验 5 金属的低倍组织缺陷分析	21
实验 6 铁碳合金平衡组织观察	26
实验 7 碳钢的热处理组织观察	31
实验 8 金属的塑性变形与再结晶	36
实验 9 晶粒度的测定及评级方法	39
实验 10 钢的淬透性测定	44
实验 11 钢连续冷却转变图(CCT 曲线)的测定	48
实验 12 钢的相变点的测定	51
实验 13 材料硬度实验	56
实验 14 材料的室温力学性能测试	62
实验 15 材料的冲击实验	68
实验 16 材料磨损实验	73
实验 17 材料断裂韧性 K_{IC} 的测定	77
实验 18 材料断裂韧性 J_{IC} 的测定	84
实验 19 金属的疲劳试验	89



实验 20	材料疲劳裂纹扩展速率和门槛值测定实验	96
实验 21	热膨胀仪测定钢的临界点	102
实验 22	用热分析仪测定铝合金材料的熔点	105
实验 23	用电阻分析法测定固溶体的溶解度	108
实验 24	用热磁仪研究钢的过冷奥氏体等温转变动力学	111
实验 25	盐雾腐蚀实验	115
实验 26	线性极化技术测定金属的腐蚀速度	118
实验 27	重量法测定金属腐蚀速度	122
实验 28	金属钝化与极化曲线的测定与分析	125
实验 29	X 射线衍射仪结构原理与物相分析	128
实验 30	X 射线衍射残余应力的测试	131
实验 31	透射电子显微镜结构原理及样品制备方法	134
实验 32	透射电子显微镜成像原理与图像观察	139
实验 33	扫描电子显微镜结构、成像原理与显微组织观察	143
实验 34	电子探针结构原理及分析方法	147
实验 35	热处理综合实验	151
实验 36	常见零件的选材及热处理工艺的设计	157
实验 37	高碳钢盘条拉拔设计实验	160
实验 38	淬火—分配—回火热处理新工艺实验	162
实验 39	热变形工艺对材料显微组织及性能的影响	166
实验 40	材料分析测试综合设计实验	173
参考文献		175

实验 1

钢的熔炼与铸造

一、实验目的

- (1) 了解中频真空感应熔炼炉的工作原理和结构。
- (2) 掌握真空感应熔炼炉的基本操作方法。
- (3) 掌握钢的配料计算方法。
- (4) 掌握钢的熔炼和铸造的基本方法。

二、实验原理

真空感应熔炼炉的结构由炉体、真空系统、水冷系统、控制电源等几大部分组成。炉体部分构成真空感应熔炼炉进行冶炼生产的场所和空间，由合金加料装置、观察装置、取样装置、测温装置、翻炉机构、感应线圈、坩埚、进电装置、真空室壳体等组成。真空系统包括机械泵、扩散泵、检测仪器、真空阀门等，它的作用是提供冶炼生产过程中真空室里所必需的真空条件，如极限真空度、工作真空度、抽气时间、升压率等。控制电源部分供给冶炼生产过程中所必需的电能，实现电流、电压、功率、电流频率等参数的控制。

坩埚封闭在真空室中，利用电磁感应产生的涡流热做热源，在真空状态下进行金属与合金的冶炼并浇注，从而得到高质量的材料，这种工艺方法叫真空感应熔炼法，实施此种熔炼法的设备叫真空感应熔炼炉，简称真空感应炉。

除此之外，电磁感应法也用于加热，在焊接、烧结、透热等方面也得到广泛应用，但当今真空感应炉主要用于冶炼。

三、实验设备及原料

感应电炉，多采用不氧化法熔炼，配料计算多参照电弧炉不氧化法配料计算方法进行。

(一) 配料注意事项

- (1) 根据铸钢牌号和性能要求，确定合理控制值。
- (2) 根据炉料质量和炉子实际情况，合理的确定回收率。通常各元素的回收率见



表 1-1。

(3) 主要金属炉料化学成分必须明确，回炉料只知道牌号时，各元素均按照中上限计算。

(4) 含 C 量按中限配入，炉料中 C 不烧损。

(5) S、P 含量控制：碱性炉熔炼，S、P 含量不大于标准规定值；酸性炉熔炼，S、P 含量应比标准规定值低 0.005%~0.01%。

表 1-1 中频炉炼钢元素回收率

元素	铁合金名称	加入时间	回收率(%)	
			酸性铝炉	碱性炉
C	碳块	装料前	80	80
Mn	锰铁	装料时	60~70	80~90
		出炉前	90	95
Si	硅铁	装料时	90~100	60~70
		出炉前	100	95
Ni	镍板	装料时	100	100
Mo	钼铁	装料时	98	100
Cr	铬铁	装料时	95	97~98
W	钨铁	装料时	98	100
V	钒铁	出炉前>10min	92~95	95~98
Cu	电解铜	装料时	100	100
Al	铝块	出炉前 3~5min		93~95
Ti	钛铁	终脱氧后出钢前		85~92

(二) 碳素钢及低合金钢配料计算步骤

1. 计算铁合金加入量

$$\text{铁合金加入量}(\%) = \frac{\text{炉料总料}(\text{kg}) \times \text{控制值}(\%) \div \text{回收率}(\%) - \text{回炉料含该炉料}(\text{kg})}{\text{铁合金中该元素含量}(\%)}$$

2. 计算碳素废钢(或原料纯铁)预加量

$$\text{碳素废钢预加量}(\text{kg}) = \text{炉料总量}(\text{kg}) - \text{回炉料重量}(\text{kg}) - \text{铁合金总量}(\text{kg})$$

3. 核算炉料中 C、Si、Mn 平均含量

$$\text{平均含量}(\%) = \frac{\sum \text{各种炉料质量}(\text{kg}) \times \text{元素含量}(\%)}{\text{炉料总量}(\text{kg})} \times 100\%$$

4. 计算生铁、硅铁、锰铁加入量

$$\text{加入量} = \frac{\text{炉料总量}(\text{kg}) \times [\text{控制值}(\%) \div \text{回收率}(\%) - \text{炉料中平均含量}(\%)]}{\text{生铁含 C 量(或硅铁、锰铁中 Si、Mn 含量)}(\%)}$$

注意：使用高碳锰铁配料时，因为锰铁要带入一定量的碳，生铁的加入量应比实际计算结果适当减少。

5. 碳素钢实际加入量

加入量(kg)=碳素废钢预加量(kg)一生铁加入量(kg)一硅铁加入量(kg)一锰铁加入量(kg)

6. 验算硫、磷含量

$$\frac{\sum \text{各种炉料质量(kg)} \times \text{各种炉料 S、P 含量}(\%) \times 100\%}{\text{炉料总量(kg)}} \leq \text{炉料中 S(P) 允许含量}(\%)$$

7. 调整计算公式

$$\text{铁合金补加量(kg)} = \frac{\text{炉料总量(kg)} \times [\text{控制值}(\%) - \text{分析含量}(\%)]}{\text{铁合金元素含量}(\%) \times \text{回收率}(\%)}$$

注意：为了计算简便和操作方便，取样分析后，只能加入不大于炉料总量 5% 的同牌号回炉料。

中高合金钢调整计算公式

$$\text{铁合金补加量(kg)} = \frac{\text{炉料总量(kg)} \times \text{控制值}(\%) - \text{炉内已加料(kg)} \times \text{分析含量}(\%)}{\text{铁合金元素含量}(\%) \times \text{回收率}(\%)}$$

碳素废钢补加量(kg)=炉料总量(kg)一炉内已加炉料(kg)一补加铁合金总量(kg)

(三) 高锰钢配料计算步骤

1. 根据含 C 量计算高碳锰铁加入量

$$\text{高碳锰铁加入量}(\%) = \frac{\text{炉料要求含 C 量}(\%) - \text{废钢含 C 量}(\%)}{\text{高碳锰铁含 C 量}(\%) - \text{废钢含 C 量}(\%)} \times 100\%$$

2. 计算中碳锰铁预加量

中碳锰铁预加量(%)=

$$\frac{\text{控制值}(\%) \div \text{回收率}(\%) - \text{高碳锰铁加入量}(\%) \times \text{高碳锰铁含 Mn 量}(\%)}{\text{中碳锰铁含 Mn 量}(\%)}$$

3. 计算废钢加入量

废钢预加量(%)=1一高碳锰铁加入量(%)一中碳锰铁预加量(%)

4. 计算中碳锰铁加入量

$$\text{中碳锰铁加入量}(\%) = \text{中碳锰铁预加量}(\%) - \frac{\text{废钢预加量}(\%) \times \text{废钢含 Mn 量}(\%)}{\text{中碳锰铁含 Mn 量}(\%)} \times 100\%$$

5. 计算废钢加入量

废钢加入量(%)=废钢预加量(%) + [中碳锰铁预加量(%)一中碳锰铁加入量(%)]

6. 验证 Si、S、P 含量

$$\text{Si(S、P)含量}(\%) = \sum \text{各种炉料加入量}(\%) \times \text{各种炉料中 Si(S、P)含量}(\%)$$

Si、S、P 含量均须低于标准规定的最高允许含量。

7. 调整计算公式

$$\text{高碳锰铁补加量(kg)} = \frac{\text{炉料总量(kg)} \times \text{C 的控制值}(\%) - \text{炉内已加料(kg)} \times \text{C 分析含量}(\%)}{\text{高碳锰铁含 C 量}(\%)}$$

$$\text{中碳锰铁加量(kg)} = [\text{炉料总量(kg)} \times \text{Mn 的控制值}(\%) - \text{炉内已加料(kg)} \times \text{Mn 分析含量}(\%) - \text{高碳锰铁含 Mn 量}(\%) \times \text{高碳锰铁补加量(kg)} \times \text{回收率}(\%)] \div [\text{中碳锰铁含 Mn 量} \times \text{回收率}(\%)]$$

废钢补加量(kg)=炉料总量(kg)一炉内已加量(kg)一高碳锰铁补加量(kg)一中碳锰铁补加量(kg)



四、实验方法

真空感应熔炼工艺包括装料、熔化、熔炼、浇注等 4 个阶段。

1. 装料

真空感应熔炼的熔炼过程是在真空室内进行,所以装料与普通感应熔炼相比也有所不同。首先要把全部原料分成两部分,一部分直接装入坩埚,另一部分装入合金料箱中,以便在熔炼过程中相机投入熔池。装入合金料箱中的材料包括以下几种:蒸气压高的元素如 Mn,应在出钢前不久通入保护气体后加入;活泼元素和微量元素如 Al、Ti、Ce、Zr、B 等,在精炼期加入。上述各种元素应根据熔炼工艺要求及元素自身性质的不同,排列出加料先后顺序,并按此顺序装入料箱中。中间加料时既需掌握加料时间,更需保证加料条件,以减少烧损,保证其高收得率。真空感应熔炼的基体材料如 Ni、C、W、Mo、Co、V、Fe 等均直接装入坩埚中,并最好一次装入。真空感应熔炼坩埚内温度是不均匀的,原则上讲,难熔的和量多的元素应装在高温区和较高温区。严防化料中发生“架桥”现象,为此装料应“上松下紧”,并把坩埚稍向前倾。上部装料不要平堆、而是向出钢槽一侧集中。坩埚底部先放进些易熔小块料,以保证尽快形成熔池,大块精料或返回料锭应放在坩埚中上部位,有利于预热和顺利塌料,应该在热炉条件下快速装料,拖长时间坩埚吸气增多,有时感应圈等水冷表面甚至出现水汽凝结,从而延长抽气时间,也延长了冶炼周期,温度降低,对坩埚寿命也十分不利。

2. 熔化

熔化期的主要任务是使炉料熔化、去气、去除低熔点有害杂质和非金属夹杂物,使金属液有适当的温度、熔池上保持适当的真空度,为精炼创造条件。熔化期在整个冶炼过程中占时间最长。真空感应熔炼的熔化期需掌握以下 3 点。

(1) 熔化期真空度。熔化期内,熔池由浅渐深,新的金属液不断裸露出来,非常有利于气体、有害杂质和非金属夹杂物的排除。从这个意义上讲,熔化期应具有较高的真空度,并保持足够长的时间,以保证上述过程顺利进行。

(2) 熔化期供电。合理的供电制度能保证炉料充分预热而又不致局部过热,使炉料能充分去气而不产生飞溅,因此熔化期一般采取逐级升功率法,特别是当炉料加热到赤红色接近熔化时,应保持一定功率,缓慢升温,使炉料中气体尽量排出。

(3) 熔化期的喷溅。熔化速度过快,熔池中落入大块冷料,补加料太快或含气过多,金属液温度过高等都会引起熔化期金属液的大量喷溅。喷出的金属液大都粘附在坩埚壁上,形成环形壳,不但损失大量金属材料,严重时还会使冶炼工作无法进行下去。严防发生喷溅是真空感应熔炼操作的要点,认真执行工艺制度,精心操作,喷溅是可以避免的。发生喷溅后,首先要适当降温,减缓反应速度,使喷溅沸腾逐渐减弱下来。当发生大喷溅时,可以封闭炉体或通入氩气压制,待液面平静后再抽真空继续冶炼。

3. 精炼

精炼期的主要任务是进一步净化炉料(脱氧、脱气、去除有害杂质)、调整成分、调整温度。精炼期的重要工艺参数有 3 个,即精炼期温度、真空度及在真空下保持时间。精炼期主要操作是高温沸腾与调整成分。

(1) 高温沸腾。真空冶炼利用碳脱氧,可以将氧降到很低水平。精炼初期,碳、氧浓度较高,碳、氧反应很强烈,此时由于生成大量 CO 而出现沸腾。CO 的放出及相伴而生的沸

腾,对液体金属强烈搅拌,这对气体(像 N_2 和 H_2)和非金属夹杂物的排除,对合金成分的均匀化都是十分有利的。保持较高的温度和较高的真空度,有利于熔池中各种反应的进行,有利于有害杂质的挥发和夹杂物的分解,所以希望精炼期既有较高的温度,又保持较高的真空度。真空感应熔炼的精炼时间的长短依温度和真空度而定。

(2)调整成分。调整成分又称合金化,在脱氧和脱气良好的情况下进行,通过添加合金元素来实现。由对合金性能的要求决定添加元素的种类及数量,根据合金元素与氧的亲合力大小和易挥发程度决定加入先后顺序及加入条件,每加一种元素后,都应当加大功率进行一定时间的搅拌,以加速熔化并使之分布均匀。

4. 浇注

浇注是把精炼获得的合格金属液浇注成锭材、精密铸件或电极木材。浇注工艺要点有以下几点。

(1)中温出钢。真空下浇注,合金的流动性较非真空时好,因而浇注温度可适当降低,一般超过合金熔点 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 即可,此为中温出钢。

(2)带电浇注。浇注前应以大功率送电搅拌,浇注时以中等功率继续送电,以保持成分均匀一致。

(3)浇注后保持真空。浇注后不应立即破坏真空,一般在出钢 $5\sim 15\text{min}$ 后再破坏真空,避免红热铸件及坩埚壁附着金属的氧化物。

因此,真空感应熔炼工艺有 4 个关键:高真空度、高温精炼、长熔化期,短精炼期;4 个操作:中温出钢、低温加 Al、Ti 等、送电搅拌和带电浇注。

五、实验报告要求

- (1) 计算给定钢种各种元素的添加量。
- (2) 简述碳素钢或合金钢熔铸的基本操作过程。
- (3) 分析讨论炼钢过程除气、去夹杂等精炼过程的作用。

实验 2

铝合金的熔炼与铸造

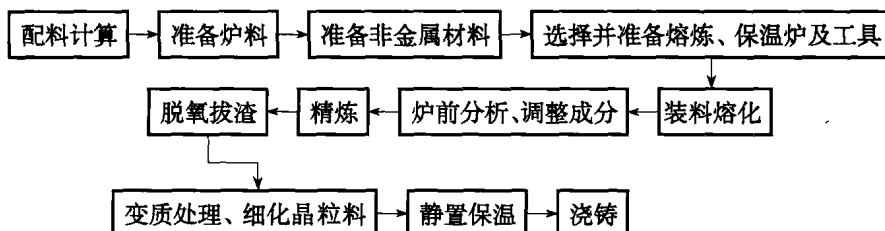
一、实验目的

- (1) 掌握铝合金的配料计算方法。
- (2) 掌握铝合金熔炼和铸造的基本方法。

二、实验原理

铝合金的熔炼是铝合金铸件和铸锭生产过程中的重要工序。它包括熔炼工艺的编制、配料计算、熔炼设备、辅助材料的准备、变质处理、检查等内容。

1. 铝合金熔炼的一般工业流程



2. 配料计算

1) 配料的原则

(1) 在保证产品质量的前提下，根据产品的用途和加工要求，充分利用重熔的、成分合格的废料，减少新料使用；对于质量、性能要求高的产品，则少用废料，多用高品位的新料。

(2) 多次使用废料的比列，应考虑尽量使用低品位的纯金属，废料多次循环使用后，炉料质量降低并可能出现遗传效应的情况。

(3) 如加入的合金元素熔点比基体金属高很多，或者基体金属易产生偏析或其本身易烧损，或要求其含量精确控制的多采用中间合金。

2) 配料计算方法

根据所提供的各种金属材料的牌号、成分分析报告等炉料准确资料进行配料计算。其程序如下。

(1) 确定所需合金牌号的合金液的重量及所使用的炉料的组成比例和回炉料的重量，可按表 2-1 的经验数据来计算。

表 2-1 炉料组成比例(%，wt)

合金名称	新金属	一级回炉料	二级回炉料	三级回炉料
铝合金	20~40	30~50	0~30	0~15(酌情)

(2) 根据元素烧损率计算 100kg 炉料各元素的需要量。各元素的经验烧损值见表 2-2。

表 2-2 各元素的经验烧损值

元素	Al	Cu	Zn	Si	Mg	Mn	Sn	Ni	Pb	Be	Ti	Zr
烧损量	1~5	0.5~1.5	1~3	1~10	2~4	0.5~2	0.5~1.0	0.5~1	0.8~1.2	5~8	10~12	1.5~2

(3) 根据(1)所需熔化的合金重量，算出各元素的实际需要量。一般元素，多按上下限的平均化学成分来计算，对烧损大的如要取上限的元素，则取上限值来计算。

(4) 计算回炉料中已有的上述各元素的含量。

(5) 计算扣除回炉料中已有合金元素的含量外，再计算补加新的合金元素的重量。

(6) 根据(5)计算出应添加的各种中间合金的质量或纯金属的质量。

(7) 根据(6)计算去除回炉料和中间合金带入的铝的重量外，还应补加纯铝的重量。

(8) 计算出实际的炉料总重量。

(9) 核算杂质含量，看杂质含量是否超标，以便提出降低的措施。

(10) 填写配料单。

3) 调整成分

当核实杂质超标或者炉前分析，出现某元素含量低于或高于标准成分时，均要调整其化学成份达标，办法是采用补加料或冲淡两种方法。

(1) 补充合金元素计算公式为：

$$P = \frac{Q(a_1 - a_2)}{b_1 - a_1}$$

式中 P ——补充元素用中间合金质量，kg；

a_1 ——标准中规定的合金成分(%)的含量；

a_2 ——炉前分析所得到的合金成分(%)的含量；

Q ——炉料总质量，kg；

b_1 ——中间合金中该合金成分的(%)的含量，如为纯金属，则为 100%。

(2) 冲淡某合金元素所需纯金属的计算公式。

$$P = \frac{Q(a_2 - a_1)}{a_1}$$

式中 P ——补充元素用中间合金质量，kg；

a_1 ——标准中规定的合金成分(%)的上限含量；

a_2 ——炉前分析所得到的合金成分(%)的含量。

为了节省纯金属，最好在配料计算中根据烧损经验值并计算，把握熔炼后获得合格成分，避免面冲淡的情况。



3. 金属炉料的准备

金属炉料的表面状态、块度大小、烘烤预热等应达到下列要求。

(1) 必须破碎或切削到一定的块度、质量。纯铝锭一般 4~5kg/块, 结晶硅、金属锰、金属钛等都要碎成 10~20mm 的小块; 镁锭的大小, 以可放入钟罩为宜; 中间合金应沿锭块缺口处破断; 电解铜、电解镍要锯成 $<100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的块状。

(2) 各种炉料的表面, 必须经过吹砂处理, 无氧化斑痕、泥土、水分、油污, 无铜、过滤网等杂质。

(3) 在装炉前, 必须把它们预热到 400°C 左右, 保温 3~4h; 混合稀土、镁锭、锌锭要预热到 250°C , 保温 3h。

4. 熔炉及熔炼工具的准备

1) 石墨坩埚

(1) 新购的石墨坩埚在使用前应进行从低温至高温渐进式进行烘烤焙烧, 去除水分, 稳定组织、阻止裂纹。

(2) 旧的石墨坩埚, 使用前应作全面检查, 看看是否有裂纹、穿孔等缺陷, 并用小鑿子、钢丝刷等工具轻轻清除掉内表面的氧化渣瘤或粘附的铝屑。

2) 清炉与烘炉

清炉是对反射炉、感应炉等炉子, 在使用前对炉膛残存的渣瘤、铝屑等彻底清除, 拔出, 同时观察炉底和炉壁是否有裂纹、剥落、孔洞等缺陷。对变形铝合金的一般制品, 可连续熔炼 8~15 炉后清洗 1 次; 对要求特别高的产品, 则每生产 1 炉, 都要清炉 1 次。方法是在炉底均匀撒上一层粒状的熔剂, 然后把炉子升温到 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$, 清除炉内残渣。

烘炉是新建和中修以后的炉子, 在使用前必须进行的工序。其目的是去除炉体中吸入的水分, 使炉体各部位的耐火材料, 缓慢伸胀、砖缝烧结, 整个炉体协调定型, 防止在熔炼中出现热胀冷缩, 产生裂纹, 挤胀崩塌。

电阻反射炉的烘炉制度如下。

室温 $25\sim 200^{\circ}\text{C}$, 每升温 50°C 停留 25h 降水分; $200\sim 450^{\circ}\text{C}$, 每升温 50°C 停留 18h 去除水分; $450\sim 750^{\circ}\text{C}$, 每升温 50°C 停留 8h 去除水分; $750\sim 900^{\circ}\text{C}$ 每升温 50°C 停留 2h 去除水分。

3) 洗炉

熔化不同合金牌号的合金之前须用纯金属或低于待熔合金元素成分含量的同类合金洗炉一次, 清除残留在炉内的合金元素, 以免污染待熔合金, 确保待熔合金的成分满足要求。洗炉一般使用纯铝, 用量须大于炉子容量的 40%。

三、实验设备及材料

(1) 电阻式坩埚炉/电阻式反射炉。

(2) 熔炼工具(包括浇包、钟罩、渣勺、通气管、喷枪、锭模、锭模架等)。

(3) 待熔合金及所需合金元素。

四、实验方法及步骤

以典型铸造铝合金 ZL101 为例说明其工艺。

1. 熔炼准备

(1) 清炉和洗炉(电阻炉或中频感应炉)。

(2) 预热坩埚及熔炼工具 200~300℃, 然后喷涂料。

(3) 清理和预热炉料。

(4) 准备溶剂、变质剂等。

(5) 配料计算。

2. 装料

(1) 回炉料。

(2) 铝硅中间合金或 ZL102 合金。

(3) 铝锭。

3. 熔化及精炼

装完料升温熔化。待炉料全部熔化后, 除渣并加入溶剂, 当温度达到 680℃时, 用钟罩将预热到 200~300℃的金属镁块或 Al-Mg 中间合金压入熔池的一定深度缓慢回转和移动 3~5min, 然后升温 730~750℃, 用占炉料总质量 0.7%~0.75%的六氯乙烷, 分 2~3 次用钟罩压入合金液内精炼合金液, 总时间为 10~15min, 缓慢在炉内绕圈。待精炼完成后静置 1~2min, 取试样分析。

4. 变质处理

合金液温度为 730~750℃, 用占炉料总质量 1.5%~2.5%的三元变质剂作变质处理, 变质时间为 15~18min。

5. 浇注

变质处理完成后除渣搅拌, 静置 5~10min, 温度达到 760℃时拔渣出炉浇注。

五、实验报告要求

(1) 简述铝合金的牌号、分类及所含合金元素。

(2) 简述铝合金熔铸基本过程。

(3) 分析铝合金熔炼过程中除气、除渣的作用及注意事项。

实验 3

金相显微镜的成像原理、构造与使用

一、实验目的

- (1) 了解金相显微镜的成像原理、基本构造，各主要部件的作用。
- (2) 掌握正确的使用操作规程和维护方法。

二、实验原理

光学金相显微镜是依靠光学系统实现放大作用的，其基本原理如图 3.1 所示。其组成主要包括物镜、目镜及一些辅助光学零件。对着被观察物体 AB 的一组透镜叫物镜 $O_1 - O_1$ ；对着眼睛的一组透镜叫目镜 $O_2 - O_2$ 。现代显微镜的物镜和目镜都是由复杂的透镜系统组成的，其放大倍数可提高到 1600~2000 倍。

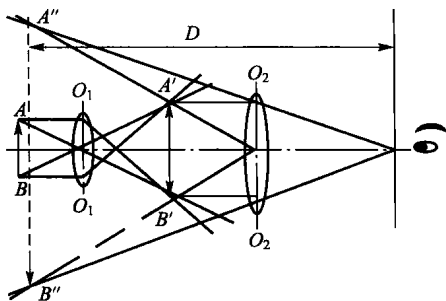


图 3.1 显微镜的成像原理

当被观察物体 AB 置于物镜前焦点略远处时，物体的反射光线穿过物镜经折射后，得到一个放大的实像 $A'B'$ （称为中间像）。若 $A'B'$ 处于目镜焦距之内，则通过目镜观察到的物像是经目镜再次放大的虚像 $A''B''$ 。由于正常人眼观察物体时最适宜的距离是 250mm 处（称为明视距离），因此在显微镜设计上，应让虚像 $A''B''$ 正好落在距人眼 250mm 处，以使观察到的物体影像最清晰。

1. 物镜的选择

普通光学金相显微镜主要由 3 个系统构成，即光学系统、照明系统和机械系统。光学系统的主要构件是物镜和目镜，其任务是完成金相组织的放大，并获得清晰的图像。物镜的优劣直接影响显微镜成像的质量，因此物镜是决定显微镜的主要光学零件。衡量一个物镜的性能有数值孔径和分辨能力、放大倍数、景深度和像差校正程度。