

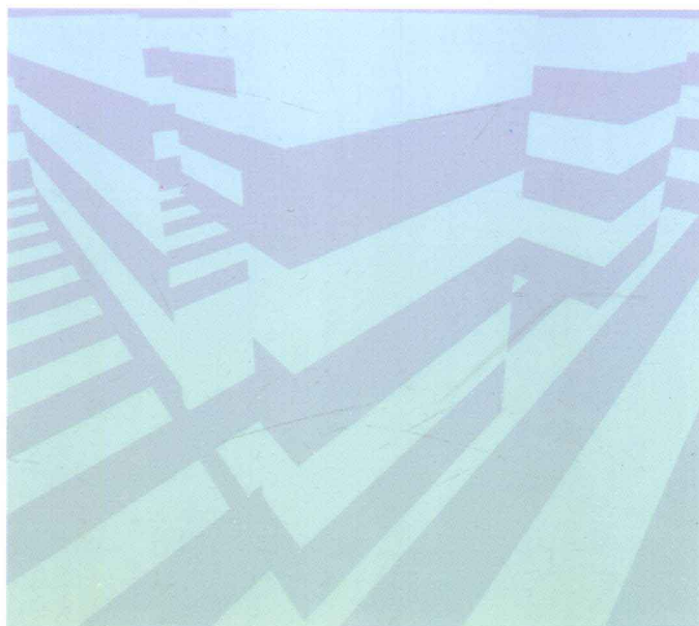


普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

材料成形及控制工程专业 实验教程

主编 米国发 副主编 历长云



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



普通高等教育“十二五”规划教材

材料成形及控制工程专业 实验教程

主 编 米国发
副主编 历长云

北 京
冶金工业出版社
2011

48032

内 容 简 介

本教材以培养理论功底深厚、工艺基础扎实的应用型人才为目标,综合介绍了铸造成形、塑性成形、焊接成形及金属热处理方向的课程实验,旨在为相关专业的本、专科生提供实验指导。教材从实验原理、实验目的、实验方法、实验设备等方面加以详细阐述,以便于学生学习和理解相关的专业知识。本教材可作为材料成形及控制工程专业系列课程实验教学的教材,也可供相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形及控制工程专业实验教程/米国发主编. —北京:冶金工业出版社, 2011. 6

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5604-7

I. ①材… II. ①米… III. ①工程材料—成型—实验—高等学校—教材 IV. ①TB302

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 104623 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 李培禄 卢 敏 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5604-7

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2011 年 6 月第 1 版, 2011 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 9.75 印张; 234 千字; 149 页

22.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

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

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

本教材为了适应教学改革的需要,针对材料成形及控制工程专业,以培养理论功底深厚、工艺知识扎实的应用型人才为目标编写而成。编写中注重把专业课程中的理论知识与相关实验相结合,以便于学生对本专业有更清晰的感性认识。

教材的主要内容涉及材料热加工领域4个方向的实验内容,包括铸造、锻压、焊接、金属学及热处理相关课程的实验,主要包括原理、工艺、设备等基础实验。全部实验都从实验目的、实验原理、实验步骤、实验报告多个方面进行详细阐述,学生通过相关实验可以更好地了解本专业的理论知识,熟悉实验设备。本教材适合普通高等院校材料加工类专业本科生及相关专业大中专院校学生使用,也可以为相关研究单位、企业提供实验检测方法。

全书共分4章,米国发编写第1章铸造实验,历长云编写第2章锻压实验,徐冬霞编写第3章焊接实验,张宝庆编写第4章金属学及热处理相关实验。编写过程中得到有关院校师生的大力支持,在此谨致谢意。

鉴于作者水平有限,书中不足之处敬请读者批评指正。

编 者

2011年3月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
材料成形设备	46.00
材料成形的物理冶金学基础	26.00
金属材料工程专业实验教程	22.00
无机非金属材料实验教程	30.00
中厚板生产与质量控制	99.00
中厚板生产实用技术	58.00
中厚板生产知识问答	29.00
中国中厚板轧制技术与装备	180.00
宽厚板轧机概论	75.00
冶金行业职业教育培训规划教材——板带冷轧生产	42.00
板带材生产原理与工艺	28.00
板带冷轧机板形控制与机型选择	59.00
高精度板带钢厚度控制的理论与实践	65.00
冷热轧板带轧机的模型与控制	59.00
板带材生产工艺及设备	35.00
中国热轧宽带钢轧机及生产技术	75.00
热轧薄板生产技术	35.00
热轧带钢生产知识问答	35.00
冷轧带钢生产问答	45.00
热轧生产自动化技术	52.00
冷轧薄钢板生产(第2版)	69.00
板带冷轧生产	42.00
冷轧生产自动化技术	45.00
冷轧薄钢板精整生产技术	30.00
冷轧薄钢板酸洗设备与工艺	28.00

目 录

第一章 铸造实验	1
实验一 铸造铝合金的熔配及金相组织观察	1
实验二 铝液中氢含量的测定	10
实验三 用孕育剂细化铝合金晶粒	12
实验四 过共晶铝硅合金的变质处理	13
实验五 共晶铝硅合金变质处理	14
实验六 铸造合金流动性的测定	15
实验七 铸件温度场的测定及铸型条件对铸件凝固方式的影响	19
实验八 熔体金属柱状晶结晶过程模拟实验	21
实验九 铝合金热裂倾向测定	22
实验十 铸造铝合金热应力测定	24
实验十一 铝合金自由线收缩的测定	26
实验十二 铝合金精炼处理工艺	28
实验十三 铝合金液旋转喷吹除气模拟	30
实验十四 浇注系统水力模拟实验	34
实验十五 低压充型过程计算机控制	35
实验十六 原砂基本性能实验	39
实验十七 黏土型砂性能实验	42
第二章 锻压实验	47
实验一 真实应力-应变曲线测试	47
实验二 圆环墩粗法测定塑性变形摩擦系数	52
实验三 杯突实验	55
实验四 最小弯曲半径测定及弯曲件回弹实验	58
实验五 弯曲件回弹及其数值测定	60
实验六 典型冲裁模具拆装	62
实验七 金属塑性成形模具的安装与调试	64
实验八 模锻实验	66

实验九 挤压实验	67
实验十 热塑性塑料注射成形	70
第三章 焊接实验	74
实验一 焊条设计与制备工艺实验	74
实验二 焊接材料熔敷金属扩散氢(45℃甘油法)测定实验	76
实验三 低合金钢焊接接头金相组织观察	79
实验四 不锈钢焊接接头的显微组织观察与分析	81
实验五 焊接接头硬度实验	83
实验六 低合金结构钢焊接性及斜 Y 坡口对接裂纹试验	84
实验七 焊接残余变形的测量与分析	86
实验八 铸铁焊接	87
实验九 CO ₂ 气体保护焊实验	88
实验十 电弧静特性的测定	89
实验十一 弧焊电源外特性的测量	91
实验十二 焊缝的射线探伤检测	93
实验十三 焊缝的超声波探伤实验	96
实验十四 磁粉探伤实验	97
实验十五 渗透探伤实验	98
实验十六 脉冲微束等离子弧焊实验	99
第四章 金属学及热处理相关实验	102
实验一 金相显微镜的使用及金相试样的制备	102
试验二 相图建立及二元合金凝固组织观察	107
实验三 铁碳合金平衡组织的显微观察与分析	114
实验四 钢的热处理综合实验	118
实验五 铸铁及其显微组织分析	123
实验六 有色金属及其合金显微组织分析	126
试验七 金属材料的硬度测定	130
实验八 奥氏体晶粒度的测定	135
实验九 塑性变形与回复再结晶	141
实验十 浇铸条件对铸锭结构的影响	145
参考文献	149

第一章 铸造实验

本章主要介绍了材料成形及控制工程专业铸造方向相关课程的实验内容，包括铸件成形理论实验 6 个，造型材料实验 2 个，铸造合金及熔炼实验 6 个，铸造工艺实验 3 个。通过这些实验，学生可以很好地把理论知识和实验知识结合起来，在对理论知识更深入理解的同时，对所接触的专业方向有个很好的感性认识。

实验一 铸造铝合金的熔配及金相组织观察

一、实验目的

掌握铸造铝合金的熔配工艺，认识铝、铜合金中各相组织及其特征。

二、实验原理

(一) 铝合金

1. 铝-硅系合金

Al-Si 是最简单的共晶型合金，在平衡状态下共晶温度为 577°C 。此时 α 相中 Si 的最大溶解度很小，只有 1.65%，室温下为 0.05%， β 相中 Al 的最大溶解度更小。室温下仅形成 α 和 β 两相，其性能与纯 Al 和纯 Si 相似。当含 12.6% Si 时，组织中出现 $\alpha + \beta$ 共晶组织， β 相（共晶 Si）呈粗大片状。在过共晶组织中， β 相（初生 Si）呈粗大多角形或板状。

铸造 Al-Si 二元合金一般硅含量为 5% ~ 12%。以 ZL102 合金为例，硅含量在 10% ~ 13% 之间。此合金与其他铝合金相比具有较好的铸造性能，但因 β 相硬而脆，从而使合金的切削加工性能及力学性能降低。

生产中为改善其性能通常使用经 Na 盐或 Sr 变质处理过的合金，变质使共晶 Si 生长成细粒状，并使共晶组织变成树枝状 α 固溶体和 ($\alpha + \text{Si}$) 共晶体组成的亚共晶组织。据多数人认为，这是因为 Na 在铝合金中是活性元素，在共晶合金凝固过程中 β 相为领先相，吸附在 β 相的结晶面上，有阻碍 β 相继续长大的作用，并造成较大的过冷度所致。

未变质的 Al-Si 共晶合金在铸造组织中经常出现初生 Si，这是由于在生产条件下结晶过程以非平衡形式结晶，Si 的熔点高 (1414°C)。在一般熔化温度下总存在着某些未熔的 Si 质点，它们在结晶过程中即作为 Si 的晶核优先结晶长大，形成粗大的多面体或块状的初生 Si。

在 Al-Si 系铸造合金中，Fe 是最主要的有害杂质，它主要来自坩埚和熔炼工具。Fe 在

Al-Si 合金中常以 AlSiFe 等富 Fe 相化合物的形式存在。富 Fe 相硬而脆，且呈粗大针状穿过 α 相晶粒，极大地削弱了合金的力学性能，特别是伸长率。富 Fe 相的有害程度与合金的冷却速度有密切关系，冷速越低，富 Fe 相越粗大，有害作用则越强；冷速越高，富 Fe 相来不及长大，其有害作用可以限制到很小。为消除 Fe 的有害作用，往往添加一些元素，如 Mn、Cr、Mo、Be 等，使其形成复杂的块状、棒状等化合物，以抵消富 Fe 相切割基体的作用。

2. 铝-铜系合金

Al-Cu 系合金是用于铸造业中最早的一种合金，由于它具有较高的室温及高温力学性能，是发展耐热铝合金及高强度铝合金的基础。从平衡状态图上富 Al 角看，在共晶温度 548°C 时， α 相中 Cu 的最大溶解度为 5.65%，而在室温下仅溶 0.1% 以下。Al-Cu 合金在室温下仅有 $\alpha + \text{CuAl}_2$ 两相共晶组织。由于这类合金随温度下降，固溶度显著降低，因此有热处理强化效果。铜含量小于 5.65% 的合金经过淬火后，晶界上 CuAl_2 相就会固溶到 α 相内，而使 α 相得以弥散强化。随着铜含量的增加，多余的 CuAl_2 相将以网状共晶组织形式分布在 α 晶界上，其性能硬而脆，虽经淬火和时效也丝毫不能改善其形态，因而使热处理强化效果降低；但 CuAl_2 以网状分布在 α 晶界上，增加了合金的热稳定性，使其耐热性能提高。

在铸造条件下，由于冷速较大，合金将按非平衡状态结晶，铜含量即使不到 5.65%，也会出现 $\alpha + \text{CuAl}_2$ 共晶组织，因此铸造合金 ZL203 的成分选在 4% ~ 5% Cu 之间，以保证获得较高的热处理强化效果。

(二) 熔炼和浇铸

1. 熔炼用金属和非金属炉料

熔炼用金属和非金属炉料如表 1-1、表 1-2 所示。

表 1-1 金属炉料及其规格要求

名称	规格要求
纯铝锭	切成 5kg 左右的块
纯镁锭	锯断成能放入钟罩的小块，使用前应除油
铝硅中间合金	沿锭块缺口打断，断口上应无疏松、夹杂及超过 3 级的针孔
结晶硅	打碎成小于 25mm 的小块，过 20 号筛，大块不用
电解铜	切割成小于 150mm × 150mm 的小块
金属锰	打碎成大约 10mm × 10mm 的小块
电解镍	切割成小于 100mm × 100mm 的小块
锌 锭	切成小块
金属铍	除去油脂后切碎
金属钛	破碎或加工成 5 ~ 10mm 的块或钛屑
各种铝基中间合金	浇铸成厚度小于 15 ~ 25mm 的小块

表 1-2 非金属炉料及其准备要求

名称	准备要求
六氯乙烷	(1) 按规定用量称重, 等分成每份 50 ~ 80g; (2) 置于压模内压制成 50mm × (20 ~ 30) mm 的圆饼; (3) 保存于密封的干燥箱中, 使用前置于熔炉旁预热
氯化锰	(1) 置于不锈钢盘内, 厚度约 10mm; (2) 120 ~ 140℃ 烘烤 6 ~ 8h, 呈粉红色; (3) 压成团块; (4) 使用前于 120 ~ 140℃ 烘烤 2 ~ 4h
氯硅酸钠	(1) 平铺于不锈钢盘内, 厚度约 10mm; (2) 在烘箱内于 350 ~ 400℃ 烘烤 2 ~ 4h; (3) 按规定用量与六氯乙烷混合后压块; (4) 使用前于 120 ~ 140℃ 烘烤
二氧化钛	(1) 平铺于不锈钢盘内, 厚度约 10mm; (2) 在烘箱内于 400 ~ 500℃ 烘烤 2 ~ 3h; (3) 按规定用量与六氯乙烷混合后压成块; (4) 使用前于 120 ~ 140℃ 烘烤
氮气、氩气	(1) 使用前应经过硫酸干燥箱和氯化钙干燥箱进行脱水处理; (2) 干燥箱内应清洁无锈迹, 氯化钙装入前应在 300 ~ 400℃ 烘烤 1h; (3) 硫酸、氯化钙应根据实际情况定期更换 (一般 1 ~ 2 个月)
变质剂	(1) 在不锈钢盘内铺平; (2) 在 300 ~ 400℃ 烘烤 3 ~ 4h; (3) 将结成的硬块粉碎并用 40 号筛过筛; (4) 置于炉边预热后用 (此时用量必须过秤)

2. 熔炼用辅助材料

A 熔剂

铝合金和铝基中间合金在熔炼时常用的熔剂见表 1-3。

表 1-3 常用熔剂

成分	配制方法及要求	适用范围
氯化钡 50%、氯化钾 40%, 或氯化钡 65%、氯化钾 35%	熔化后混合均匀, 注入预热的锭模内, 将熔剂块打碎并保存在 110 ~ 150℃ 的干燥箱内备用	铝-钡中间合金熔炼用覆盖剂
冰晶石粉 (占炉料重量的 3% ~ 5%)	200 ~ 300℃ 烧烤 2 ~ 3h 后使用, 烧烤过程中大约半小时搅动一次	铝-钡中间合金熔炼用覆盖剂
冰晶石粉 (占炉料重量的 1%)	200 ~ 300℃ 烧烤 2 ~ 3h 后使用, 烧烤过程中大约半小时搅动一次	铝-钡中间合金熔炼用覆盖剂
光卤石或钡熔剂	先将 5% ~ 6% 的熔剂加到坩埚底部, 待合金熔化后再将 1% 的熔剂撒在合金表面上, 用前应熔化除水	配制 ZL301 等高镁铝合金时使用

B 涂料

铸铝合金常用的坩埚、工具和锭模用涂料见表 1-4。

表 1-4 常用坩埚、工具和锭模用涂料

牌 号	成 分	配制比例 (质量分数) /%	适 用 范 围
T-1	耐火水泥 硅砂 (K70/140) 苏 打 水 ($\geq 40^{\circ}\text{C}$)	2.78 16.7 27.8 27.7	熔铝坩埚涂料
T-2	白垩粉 水玻璃 水	22.2 3.8 74	熔铝工具涂料
T-3	滑石粉 水玻璃 水	20 ~ 30 6 余 量	熔铝坩埚、锭模及工具涂料

C 精炼剂

熔炼铝合金时常用的精炼剂见表 1-5。

表 1-5 熔炼铝合金用精炼剂

名 称	特 点	适 用 范 围
氯	铸件针孔度要求高时采用, 但设备复杂且有腐蚀性	适用于 Al-Si 系合金
六氯乙烷	不吸潮, 无需重熔, 腐蚀性小, 易于保存, 可广泛代替氯盐精炼剂	适用于 Al-Si 及 Al-Cu 系合金
钡熔剂或光卤石	应先进行除水重熔处理, 对坩埚熔炼工具有腐蚀性, 除渣不彻底易造成熔剂夹渣	适用于 ZL301 等 Al-Mg 合金
氯化锰	使用前在 $100 \sim 120^{\circ}\text{C}$ 烘烤 2 ~ 4h 并保存在 $100 \sim 130^{\circ}\text{C}$ 的干燥箱内	适用于 Al-Cu 系合金
氯化锌	使用前应重熔脱水并保存在 $100 \sim 130^{\circ}\text{C}$ 的干燥箱内	适用于对锌杂质要求不高的合金
SRWJ 系精炼剂	为盐类配制的成品精炼剂, 可直接使用	适用于镁含量高的合金以外的合金

D 变质剂

常用钠盐变质剂的成分及适用的合金见表 1-6。

表 1-6 常用钠盐变质剂的成分及适用合金

变质剂名称	成分/%				适 用 的 合 金
	氟化钠	氯化钠	氯化钾	冰晶粉	
二元变质剂	67	33	—	—	ZL102
三元变质剂	25	62	13	—	ZL101, ZL105
1 号通用变质剂	60	25	—	15	ZL101, ZL102, ZL104, 浇铸温度为 $760 \sim 780^{\circ}\text{C}$
2 号通用变质剂	40	45	—	15	ZL101, ZL104, 浇铸温度为 $740 \sim 760^{\circ}\text{C}$
3 号通用变质剂	30	50	10	10	ZL101, ZL104, 浇铸温度为 $700 \sim 740^{\circ}\text{C}$

常用的钠盐变质剂按表 1-7 的成分混合后, 在 $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 下烘干。混合料的厚度超过 50mm, 并保温 3 ~ 5h, 用孔径为 0.5 ~ 1mm 筛子过筛, 存放在干燥箱内备用。

在合金中加入 0.2% ~ 0.3% 的锶可以得到长效变质的效果。用含锶 5% ~ 8% 的铝锶中间合金将锶加到合金中, 合金重熔时仍有变质效果。加锶变质的合金对铸造凝固速度敏感, 如

凝固冷却速度低或铸件壁厚较大时会降低变质效果。铈会与合金中的镁形成 Mg_8Sb_2 化合物, 降低了镁的强化作用。经钠盐变质的合金变质再加铈会形成 Na_3Sb , 使晶粒变粗, 性能变坏。

合金中加入 0.04% ~ 0.05% 的铈也能得到长效变质作用, 对 ZL104 合金变质作用可长达 6 ~ 7h, 与钠盐变质处理效果相当。可采用 AR810 铈盐长效变质剂或 SR811 金属型铈复合长效变质剂。对于过共晶铝硅合金可采用 SR813 磷复合变质剂或 SR814 磷盐复合变质剂, 也可加入磷、砷和硫进行变质。变质过共晶铝硅合金主要是细化初生硅。

用钠盐进行变质处理时, 先将配制好的钠盐变质剂在 300 ~ 400℃ 下预热, 将预热后的变质剂撒在合金液面上, 保持 10 ~ 12min 至变质剂熔化, 此时应不断打碎硬壳使气体排出, 并用压勺将碎壳压入合金液内, 深度为 100 ~ 150mm, 约 3 ~ 5min 至全部吸收为止。取出压勺并撇渣, 如渣过稀可用充分预热至 300 ~ 400℃ 的适量 (约 100 ~ 200g) 氟化钠造渣。变质处理有效时间为 30min。变质剂的用量和处理温度见表 1-7。

表 1-7 常用变质处理工艺参数

变质剂名称	变质剂用量 (占合金的质量分数) /%	变质处理温度/℃	第二次变质处理时 变质剂用量 (占剩余 金属液的质量分数) /%
二元变质剂	1 ~ 2	800 ~ 810	0.5 ~ 1.0
三元变质剂	2 ~ 3	725 ~ 740	0.5 ~ 1.0
通用 1 号变质剂	1 ~ 2	800 ~ 810	0.5 ~ 1.0
通用 2 号变质剂	2 ~ 3	750 ~ 780	0.5 ~ 1.0
通用 3 号变质剂	2 ~ 3	710 ~ 750	0.5 ~ 1.0

E 孕育剂

目前在铝合金生产中通常用 Ti、Zr、B 等及其复合的孕育剂。钛加入量一般为铝液重量的 0.1% ~ 0.35%。偏高时很易形成 $TiAl_3$ 相的偏析, 在铝液中溶解很慢, 尤其在生产温度不高的情况下更难溶解, 还会出现“遗传性”, 因此较难掌握。经研究发现, Ti、B 及 Ti、B、Zr 复合孕育比单用 Ti 或 B 孕育更有效, 并可降低 Ti 的用量, 可避免 $TiAl_3$ 偏析的产生。

孕育剂加入的方法有两种: (1) 以铝钛中间合金形式加入; (2) 以等同合金孕育剂成分的化合盐的形式加入 (此孕育剂称为盐类孕育剂)。盐类孕育剂占铝液重量的 0.125% ~ 0.25%, 用铝箔包好, 并用钟罩压入炉底, 待翻腾停止后, 充分搅拌、扒渣。

3. 中间合金和预制合金锭

铝基中间合金的化学成分及配制工艺参数见表 1-8、表 1-9。

表 1-8 铝基中间合金的化学成分 (HB 5371—87)

(%)

名称	牌号	Cu	Si	Mg	Mn	Ti	Ni	Cr	Fe	Zn	Pb	其他	锭特性
Al-Cu 中间合金	AlCu50	48 ~ 52	0.2						0.2	0.1			脆性
Al-Si 中间合金	AlSi26	0.1	24 ~ 28						0.3				
Al-Si 中间合金	AlSi12	CuZn 0.15	11 ~ 13		0.3	0.15			0.5				
Al-Mg 中间合金	AlMg10	0.1		10 ~ 11	0.15	0.15			0.2	0.1		Zr0.2 Be 0.05	
Al-Mn 中间合金	AlMn10		0.2		9 ~ 11				0.3				
Al-Ti 中间合金	AlTi5		0.2			4 ~ 5			0.3	0.1			易偏析

续表 1-8

名称	牌号	Cu	Si	Mg	Mn	Ti	Ni	Cr	Fe	Zn	Pb	其他	锭特性
Al-Ni 中间合金	AlNi10		0.2				9~11		0.3		0.1		
Al-Cr 中间合金	AlCr2		0.2					2~3	0.3	0.1			易偏析
Al-Zr 中间合金	AlZr4		0.2						0.3	0.1	0.1	Zr 3~5	易偏析
Al-V 中间合金	AlV4		0.2						0.3			V 3~5	易偏析
Al-Sb 中间合金	AlSb4		0.2						0.3			Sb 3~5	易偏析
Al-Fe 中间合金	AlFe20		0.2						18~22				
Al-Ti-B 中间合金	AlTi4B		0.2			3~5			0.3	0.1		B 0.6~1.2	易偏析
Al-RE 中间合金	AlRE10		0.2						0.3	0.1		RE 9~11	
Al-Be 中间合金	AlBe3		0.2						0.25	0.1		Be 2~4	
Al-Co 中间合金	AlCo5		0.2						0.3	0.1		Co 4~6	易偏析

表 1-9 常用中间合金的配制工艺参数

名称	成分范围/%	原材料	料块大小/mm	加入温度/℃	浇铸温度/℃
Al-Si 中间合金	Si10.5~13.5	结晶硅	10~15	850~950	680~760
Al-Cu 中间合金	Cu45~55	电解铜	约 100×100	850~950	700~750
Al-Mn 中间合金	Mn9~11	金属锰	10~15	900~1000	850~900
Al-Ni 中间合金	Ni9~11	电解镍	约 100×160	850~900	750~800
Al-Be 中间合金	Be2~3	金属铍	5~10	1000~1100	750~850
Al-Ti 中间合金	Ti3~5	二氧化钛或海绵钛	海绵钛 5~10 二氧化钛粉	1000~1200	900~950
Al-Zr 中间合金	Zr3~5	氟锆酸钾	粉状	1000~1200	900~950
Al-Fe 中间合金	Fe5~10	低碳钢丝或切屑	φ10 钢丝或 40 长切屑	1000~1100	850~950

4. 熔炼及浇铸工艺

A 铸造铝合金的配料计算

铸造铝合金的配料计算实例如表 1-10 所示。

表 1-10 中举例为一种较复杂的情况，如果炉料单一计算，就可以大为简化，但程序大致相同。此外，实际配料时，应逐一填写配料单，以便复查核实。

表 1-10 炉料的计算程序实例

程序	举例
(1) 确定熔炼要求，包括合金牌号、所需合金液的重量、各种中间合金成分、回炉料用量等	<p>熔制 ZL104 合金 80kg。根据具体情况选定的配料计算成分为：$w(\text{Si}) = 9\%$；$w(\text{Mg}) = 0.27\%$；$w(\text{Mn}) = 4\%$；$w(\text{Al}) = 90.33\%$。</p> <p>杂质中铁含量应不大于 0.6%；其他杂质从略。</p> <p>炉料：中间合金，各种新金属材料，回炉料。</p> <p>Al-Si 中间合金：Si 12%；Fe 0.4%。</p> <p>Al-Mn 中间合金：Mn 10%；Fe 0.3%。</p> <p>镁锭：Mg 99.8%。</p> <p>铝锭：Al 99.5%；Fe 0.3%。</p> <p>回炉料：$P = 24\text{kg}$（占炉料总重的 30%）。</p> <p>回炉料成分：Si 9.2%；Mg 0.27%；Mn 0.4%；Al 90.13%</p>

续表 1-10

程序	举例
(2) 确定各元素的烧损量 E	各元素的烧损量为: $E_{Si}1\%$; $E_{Mg}20\%$; $E_{Mn}0.8\%$; $E_{Al}1.5\%$
(3) 计算包括烧损在内的 100kg 炉料内各元素的需要量 Q : $Q = \frac{w}{1 - E}$	100kg 炉料中各种元素的需要量为: $Q_{Si} = \frac{9}{1 - E_{Si}} = \frac{9}{1 - \frac{1}{100}} = 9.09\text{kg}$ $Q_{Mn} = \frac{0.4}{1 - E_{Mn}} = \frac{0.4}{1 - \frac{0.8}{100}} = 0.40\text{kg}$ $Q_{Mg} = \frac{0.27}{1 - E_{Mg}} = \frac{0.27}{1 - \frac{20}{100}} = 0.34\text{kg}$ $Q_{Al} = \frac{90.33}{1 - E_{Al}} = \frac{90.33}{1 - \frac{1.5}{100}} = 91.7\text{kg}$
(4) 根据熔制合金的实际重量 (80kg), 计算各元素的需要量 A : $A = \frac{80}{100} \times Q$	熔制 80kg 合金实际所需元素量为: $A_{Si} = \frac{80}{100} \times 9.09 = 7.27\text{kg}$ $A_{Mg} = \frac{80}{100} \times 0.34 = 0.27\text{kg}$ $A_{Mn} = \frac{80}{100} \times 0.40 = 0.32\text{kg}$ $A_{Al} = \frac{80}{100} \times 91.7 = 73.37\text{kg}$
(5) 计算在回炉料中各种元素的含有量 B	24kg 回炉料中各元素的重量为: $B_{Si} = 24 \times 9.2\% = 2.21\text{kg}$ $B_{Mg} = 24 \times 0.27\% = 0.065\text{kg}$ $B_{Mn} = 24 \times 0.4\% = 0.1\text{kg}$ $B_{Al} = 24 \times 90.13\% = 21.63\text{kg}$
(6) 计算应补加的新元素重量 C : $C = A - B$	应补加新元素重量为: $C_{Si} = A_{Si} - B_{Si} = 7.27 - 2.21 = 5.06\text{kg}$ $C_{Mn} = A_{Mn} - B_{Mn} = 0.32 - 0.1 = 0.22\text{kg}$
(7) 计算中间合金重量 D : $D = \frac{C}{F}$ 式中, F 为中间合金中元素的含量。 中间合金中所带入的铝量 M_{Al} : $M_{Al} = D - C$	相应于新加入元素量所应补加的中间合金量为: $D_{Si} = 5.06 \times \frac{100}{12} = 42.17\text{kg}$ $D_{Mn} = 0.22 \times \frac{100}{10} = 2.2\text{kg}$ 中间合金带入的铝量为: $M_{Al-Si} = 42.17 - 5.06 = 37.11\text{kg}$ $M_{Al-Mn} = 2.2 - 0.22 = 1.98\text{kg}$
(8) 计算应补加的纯铝 M_{Alc} : $M_{Alc} = A_{Al} - (B_{Al} + M_{Al-Si} + M_{Al-Mn})$	应补加的纯铝量为: $M_{Alc} = 73.37 - (21.63 + 37.11 + 1.98) = 12.65\text{kg}$
(9) 计算实际的炉料总重量 W : $W = M_{Alc} + D_{Si} + D_{Mn} + C_{Mn} + P$	实际的炉料总重量为: $W = 12.65 + 42.17 + 2.2 + 0.22 + 24 = 81.24\text{kg}$
(10) 核算杂质含量 U (以铁为例): $U = M_{Alc} \times 0.3\% + D_{Si} \times 0.4\% + D_{Mn} \times 0.3\% + P \times 0.4\%$	炉料中杂质 (铁) 含量为: $U = 12.65 \times 0.3\% + 42.17 \times 0.4\% + 2.2 \times 0.3\% + 24 \times 0.4\% = 0.309\text{kg}$ 炉料中铁的百分含量为: $\frac{0.309}{80} \times 100\% = 0.39\%$

B 金属炉料的准备

配制合金用的各种金属炉料（包括纯金属、中间合金、回炉料），必须在装炉前进行下列准备工作，以便保证合金的质量。

(1) 炉料的成分、表面状态和其他的质量指标必须经过化验，检查是否符合规定的材料牌号及其技术标准的要求。

(2) 金属炉料经过破碎、压断、切割后的块度应符合要求。

(3) 金属炉料必须清洁，不得带有氧化物、泥砂、芯骨、油污、水分、过滤网、镶嵌件及其他杂质。必须经过喷砂处理，或者用钢丝刷刷干净，并保存于干燥通风的地方。

(4) 金属炉料在装炉前必须预热，预热温度一般为 $350 \sim 450^{\circ}\text{C}$ ，并保温 $2 \sim 4\text{h}$ 。

C 熔炼设备和工具

(1) 金属熔炼工具及坩埚的准备见表 1-11。

表 1-11 熔炼工具及坩埚准备

工作名称	工作内容
清 理	(1) 用钢丝刷、铁铲或镊子等工具清除坩埚表面的熔渣、氧化物等污物； (2) 喷砂处理； (3) 检查坩埚，不应有裂纹穿孔、翘曲和明显的变形
预 热	呈暗红色
涂 料	(1) 沿坩埚四周均匀喷涂，底部应稍厚； (2) 连续熔炼同牌号合金时允许每两炉喷涂一次； (3) 喷涂中如发现脱料，应铲净后补涂，直到黏附牢固为止； (4) 涂料应继续加热至呈现淡黄色后开始使用； (5) 涂料厚度应为 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$

(2) 铸铁坩埚建议渗铝后使用，以提高使用寿命。铸铁坩埚外表面喷砂，除去锈蚀和油污，预热至 $150 \sim 250^{\circ}\text{C}$ ，平稳压入温度为 $840 \sim 860^{\circ}\text{C}$ 铁含量为 $6\% \sim 8\%$ 的铝铁合金液中，保温 $45 \sim 60\text{min}$ ，提出冷却，然后在渗铝层表面涂一层厚 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 的涂料（石墨粉 50% 、硅砂 30% 、耐火黏土 20% ，用水玻璃调成糊状），自然干燥 24h 放在炉内加热至 $(1000 \pm 20)^{\circ}\text{C}$ ，保温 5h 后随炉冷却至 600°C 以下。坩埚焙烧时间—温度曲线如图 1-1 所示。

(3) 石墨坩埚的准备。采用石墨坩埚熔化中间合金、高纯度合金。新的石墨坩埚在使用前可按图 1-1 所示曲线进行焙烧，以除去坩埚中的水分并防止涂裂。旧石墨坩埚使用前应预热至 $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 熔化炉的选择见表 1-12。

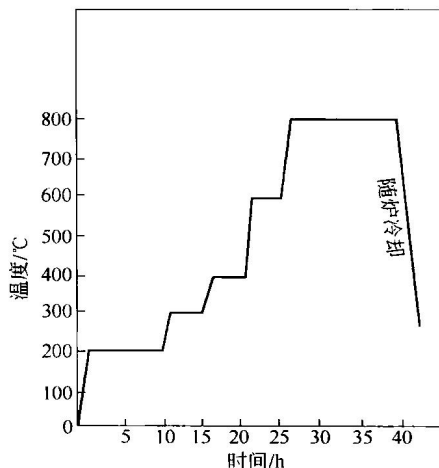


图 1-1 坩埚焙烧时间—温度曲线

表 1-12 铝合金熔化炉的选择

类别	优点	缺点	适用范围
电阻坩埚炉	熔炼的合金纯净, 熔耗小, 温度控制准确, 操作方便	熔化速度慢	所有牌号的铸铝合金都适用, Al-Mg 系合金只宜采用此种熔化炉
电阻反射炉	同电阻坩埚炉	发热元件寿命较短, 熔化速度较慢	适用于大批量连续生产
中频感应炉	熔化可达到较高的温度, 熔化快, 合金受磁场搅拌均匀	设备较复杂, 熔化量较小	适用于配制中间合金及含钛的铝铜系合金
工业无芯感应炉	熔化速度快, 操作简单, 温度控制准确	熔化过程中合金液有翻腾, 熔耗较大	适宜作熔化炉使用
燃料坩埚炉	设备简单, 熔化快, 熔化温度较高	熔化温度的控制不如电炉准确	铸铝合金都适用
燃料反射炉	熔化速度快, 熔化量大	合金液易受炉气污染, 熔化温度不易控制	适用于大批量连续生产

D 熔炼工艺

(1) 铝硅系合金的典型熔炼工艺如表 1-13 所示。

表 1-13 铝硅系合金熔炼工艺要点

工序	熔炼工艺要点	
	ZL101	ZL104
装料顺序	(1) 未重熔的回炉料; (2) 重熔的回炉料; (3) 纯铝; (4) 铝硅合金; (5) 熔化后搅拌均匀; (6) 680 ~ 700℃ 时加镁	(1) 未重熔的回炉料; (2) 重熔的回炉料; (3) 纯铝; (4) 铝硅合金; (5) 铝锰中间合金; (6) 熔化后搅拌均匀; (7) 680 ~ 700℃ 时加镁
熔化精炼	(1) 于 700 ~ 720℃ 加入 0.3% ~ 0.5% 六氯乙烷精炼 8 ~ 10min; (2) 静置 15 ~ 20min; (3) 除渣	(1) 于 715 ~ 730℃ 加入 0.5% ~ 0.7% 六氯乙烷精炼 10 ~ 12min; (2) 静置 15 ~ 20min; (3) 除渣
变质处理	按表 1-6 要求进行变质处理	
浇铸	按铸件工艺要求进行浇铸	

(2) 铝铜系合金的典型熔炼工艺如表 1-14 所示。

表 1-14 铝铜系合金熔炼工艺要点

工序名称	熔炼工艺要点	
	ZL201	ZL205A
加料熔化	(1) 加入回炉料、预制锭、纯铝、铝锰和铝钛中间合金; (2) 熔化后加入铝铜中间合金并轻微搅拌; (3) 升温至 740 ~ 750℃; (4) 搅拌 3 ~ 5min	(1) 加入回炉料、预制锭、纯铝、铝锰、铝铅; (2) 熔化后加入铝铜、金属铝和铝钛中间合金; (3) 熔化后在 740 ~ 750℃ 加入部分 Al-Ti-B 中间合金, 充分搅拌; (4) 搅拌 10 ~ 15min。

续表 1-14

工序名称	熔炼工艺要点	
	ZL201	ZL205A
精 炼	(1) 于 710 ~ 720℃ 用六氯乙烷、二氧化钛 精炼剂精炼; (2) 静置 10 ~ 15min; (3) 按工艺要求调整温度	(1) 于 710 ~ 720℃ 用六氯乙烷、二氧化钛 精炼剂精炼; (2) 静置 10 ~ 15min; (3) 按工艺要求调整温度
浇 铸	(1) 浇铸前轻微搅拌; (2) 按铸件要求浇铸	(1) 浇铸前轻微搅拌; (2) 按铸件工艺要求浇铸

三、实验报告要求

- (1) 记录操作过程;
- (2) 记录实验结果;
- (3) 根据实验结果分析铝、铜合金的相组成;
- (4) 写出实验后的心得体会。

实验二 铝液中氢含量的测定

一、实验目的

- (1) 了解铝合金中氢含量的检测方法;
- (2) 学习和掌握测氢方法的机理。

二、实验原理

铝合金在熔炼中很主要的工作是精炼，精炼是为了去除溶解在铝液中的气体，而悬浮在铝液中的氧化夹杂也随气泡上浮携带到铝液表面被除掉。因此，精炼的好坏是决定铝合金液质量高低的关键。

铝合金熔炼过程中经常遇到的气体有 N_2 、 O_2 、 H_2O 、 CO_2 、 CO 、 H 及 C_mH_n 等，这些气体都以不同形式和不同程度与铝液发生反应。根据实验可知， N_2 、 O_2 、 H_2O 、 CO_2 、 CO 等气体由于结构复杂，体积较大，不易被分成原子状态，因此在铝合金中溶解度一般很小，而氢在铝液中的溶解度却很大，约占合金中气体总量的 80% ~ 90%，这是由于氢气容易分解成原子状态，而且氢的原子体积较小，氢在铝液中扩散速度较大，所以铝合金中的含气量，主要是指氢含量。

铝合金中的氢气是在熔炼过程中由炉气、炉料或炉具带入的水蒸气及有机物质分解形成的，通常每 100g 铝液中氢含量为 0.2 ~ 1.0mL。

由铝液中氢的溶解度与温度的关系曲线看出，当合金处于熔化和过热状态时，氢在铝液中溶解度很高，但随着温度的降低，尤其在固态时溶解度急剧下降，因此在液-固两相区温度下析出大量氢气。但此时形成的气泡已来不及跑出，易造成针孔等缺陷。