

轻金属材料

加工手册 下册

QINGJINSHU

CAILIAO

JIAGONG

SHOUCE

冶金工业出版社

轻金属材料加工手册

下 册

《轻金属材料加工手册》编写组 编

冶金工业出版社

轻金属材料加工手册

下 册

《轻金属材料加工手册》编写组 编

责任编辑：向培森

(限国内发行)

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张 56 5/8 字数 1360 千字

1980年5月第一版 1980年5月第一次印刷

印数00,001~15,000册

统一书号：15062·3500 定价 7.00 元

出版说明

根据我国社会主义建设的需要和有色金属材料加工战线广大职工的迫切愿望，我们组织有关单位，在系统总结建国以来有色金属材料及其加工技术经验的基础上编写了一套有色金属材料加工手册陆续出版。

这套书共分四种，即《重有色金属材料加工手册》、《轻金属材料加工手册》、《贵金属材料加工手册》和《稀有金属材料加工手册》。洛阳铜加工厂、东北轻合金加工厂、冶金工业部贵金属研究所和宝鸡有色金属加工厂分别为上述四种《手册》编写组的组长单位。各《手册》均是在组长单位党委领导下，由参加编写单位和执笔的同志，依据总的编写原则，结合各专业具体情况共同负责编写的。

《轻金属材料加工手册》共九篇，分上、下两册。全书系统叙述了轻合金材料的成分、组织、性能、用途、试验检验方法及熔炼铸造、压力加工和热处理工艺等方面的资料、数据和图表；简要论述了轻合金加工原理、工艺因素、力能计算、工具设计以及主要设备的技术性能和用途等；对新材料、新工艺也有相应介绍。此外，还选编了铝、镁合金相图，各国铝-镁合金牌号对照表，美国和苏联的铝合金热处理制度等有关资料以供参考。本书为下册，侧重介绍轻合金材料的压力加工方法；包括熔炼铸造，板、带、箔材生产，型、棒、线材生产，管材生产和锻压生产五篇及有关附录、附表等。

《轻金属材料加工手册》是一部轻金属材料的综合性工具书。主要供从事轻金属材料生产和使用部门的技术人员、工人和干部使用，也可供有关专业的科研、设计人员以及有关院校师生参考。

本《手册》编写组主要负责人有：王锰、卢治森、**刘启文**、张敏钧、李西铭。参加编写的单位和主要执笔人有：东北轻合金加工厂李西铭、阎绪利、韩秉诚、王孝全、姚庆华、刘万成、许其亮、李绍善、史文华、周家荣、杨普、苏德全、严永成，西南铝加工厂李永和、张树勋，洛阳有色冶金设计院王世修，西北铝加工厂张顺泰、侯振庆，洛阳铜加工厂陈信德、常福勋、彭治平，东北工学院刘魁山，中南矿冶学院田荣璋。此外，东北轻合金加工厂的二〇一车间、革新队，探伤站及研究所的部分同志也参加了有关章节的编写工作。

本书在编写过程中，得到了全国许多单位和有关同志的大力支持和帮助，提供了宝贵的意见和资料数据，特此致谢。

由于我们经验不足，水平有限，书中难免有错误之处，请广大读者批评指正。

一九七九年元月

目 录

第五篇 轻合金熔炼与铸造

第一章 铝及铝合金的熔炼	1	三、铸造工具	68
第一节 概 述	1	第三节 铸锭工艺	76
第二节 铝中气体的溶解及夹杂物和氧化膜的生成	1	一、铸锭规格	76
一、铝中气体的溶解	2	二、铸造参数对铸锭质量的影响	77
二、非金属夹杂物及氧化膜的形成	6	三、铝及铝合金的铸造工艺	82
三、金属杂质	8	第四节 铝合金铸锭的水平连续铸造	93
第三节 熔体的氧化、烧损及其保护	9	第五节 用电磁结晶槽的连续铸造	95
一、熔体的氧化	9	一、电磁结晶槽的工作原理及结构	95
二、熔体的烧损	10	二、工艺要点及铸造过程	96
三、熔体的保护	10	三、铸锭的液穴形状和尺寸	97
第四节 铝及铝合金熔体的精炼和净化	11	四、铸锭的表面和内部组织	97
一、气体精炼法	11	五、铸锭及加工制品的机械性能	98
二、熔剂精炼法	13	六、铸锭的化学成分偏析	98
三、其它精炼方法	18	第六节 铸锭缺陷	99
四、熔体的静置及过滤	19	一、铸锭的裂纹	99
五、熔体的精炼工艺	21	二、非金属夹杂物及氧化膜	104
第五节 铝及铝合金的熔炼工艺	22	三、金属间化合物	105
一、炉料及其组成	22	四、光亮晶粒	106
二、炉子准备	26	五、白 斑	106
三、熔炼工艺过程	27	六、疏松	106
四、几种合金的熔炼特点	31	七、白 点	107
五、熔炼废品产生的原因及防止办法	32	八、冷隔（或成层）	107
六、中间合金的生产	32	九、偏析浮出物	107
七、废料的回收与复化	34	十、周期性波纹	108
第六节 铝合金熔炼炉	36	十一、拉痕、拉裂	108
一、对熔炼炉的基本要求	36	十二、弯 曲	108
二、熔炼炉的类型及优缺点	36	十三、空心铸锭的偏心	109
三、火焰反射炉	37	第七节 铸锭的质量检查和机械加工	109
四、感应式熔炼炉	41	一、铸锭的质量检查	109
五、电阻反射炉	45	二、铸锭的机械加工	109
第二章 铝及铝合金的铸造	47	第三章 变形镁合金的熔炼	110
第一节 铸锭的结晶和组织	47	第一节 概 述	110
一、铸锭的结晶	47	一、镁合金熔炼工艺概要	110
二、铸锭的结晶组织	55	二、镁合金的熔炼方法	111
三、疏松和偏析	62	第二节 镁合金熔体与气体的相互作用	112
第二节 铸造设备和工具	66	一、镁与氧的相互作用	112
一、静置炉	66	二、镁与氢的相互作用	113
二、铸造机	66	三、镁与氮的相互作用	115
		四、镁与硫及 SO ₂ 的相互作用	115
		五、氯气与镁及其合金组元的作用	115

六、镁与 B_2O_3 的作用	116	一、冷裂纹	139
第三节 熔剂、熔盐的选择和净化处理	116	二、热裂纹	140
一、对镁合金熔剂的要求	116	第四节 镁合金铸锭的偏析	142
二、镁合金熔剂的化学成分	116	第五节 镁合金铸锭的缺陷和废品	143
三、熔剂净化效果的比较	117	一、裂 纹	143
四、镁合金熔剂用盐类的组成及性质	118	二、冷 隔	143
第四节 镁合金中杂质的去除和变质处理	121	三、带状气孔	143
一、杂质的去除	121	四、熔剂夹渣	143
二、变质处理	122	五、氧化夹杂	144
第五节 镁合金的熔炼工艺	123	六、金属中间化合物	144
一、镁合金的熔炼与精炼	123	第六节 铸锭的机械加工	144
二、中间合金和熔盐的制备	127	第七节 镁合金熔铸时的安全问题	145
三、废料复化	128	第五章 铝及铝合金板坯的连续铸轧	146
第六节 镁合金的熔炼设备	129	第一节 概述	146
一、反射炉	129	第二节 双辊下注式连续铸轧法	148
二、坩埚炉	129	第三节 双辊下注式连续铸轧工艺	150
三、无铁芯工频感应电炉	129	一、连续铸轧工艺设计参数的选定	150
第四章 镁合金的铸造	130	二、铸轧板坯的引出	150
第一节 镁合金铸造的特点及方法	130	三、连续铸轧的工艺参数	151
一、镁合金铸造的主要特点	130	第四节 铸轧设备及装置	153
二、镁合金锭的铸造方法	130	一、熔炼设备	153
第二节 镁合金的铸造工艺	132	二、铸轧机列	153
一、镁合金的铸造工艺制度	132	三、浇铸系统	154
二、结晶槽和铸造漏斗	134	第五节 铸轧板坯的组织与性能	155
三、镁合金熔体的电磁搅动	135	第六节 主要缺陷、废品的产生原因及消除方法	156
四、保护气体—— SO_2	137		
第三节 镁合金的裂纹倾向性	139		

第六篇 板、带、箔材生产

第一章 生产方法及工艺流程	157	九、在压力加工状态下铝合金的塑性	180
第一节 生产方法	157	十、轧制时的变形抗力	181
第二节 工艺流程	158	第二节 轧制力计算	189
第二章 轧制时的金属变形及轧制力计算	161	一、咬入弧上单位压力的分布	189
第一节 轧制时的金属变形	162	二、轧制力的理论计算	194
一、变形指数	162	三、轧制时的平均单位压力试验曲线	203
二、变形区和咬入角	163	第三节 轧制时的力矩和功率计算	209
三、轧件的咬入条件	164	一、按单位能耗曲线确定电动机的力矩及功率	209
四、金属的流动	167	二、传动轧辊所需电机输出力矩的计算	210
五、宽 展	170	三、轧制功及功率计算	217
六、前 滑	174	第四节 箔材轧制力计算	218
七、摩擦系数	178	一、考虑轧辊压扁和有张力时的平均单位压力计算	218
八、变形速度	179	二、箔材轧制时轧辊所承受的压力	219

三、箔材轧制时的摩擦系数	219	分应力分布的影响	269
四、箔材轧制时的屈服强度	219	第五节 带材轧制的张力	269
五、箔材轧制力计算	220	第六节 冷却和润滑	270
第三章 热 轧	221	第七节 板带的测厚与厚度自动控制	273
第一节 热轧的特点及铸锭选择	221	一、板带的测厚方法	273
一、热轧的主要特点	221	二、板带厚度的自动控制	274
二、铸锭的选择	221	第八节 冷轧的主要缺陷	275
第二节 轧前准备	223	第五章 中温轧制	276
一、铸锭的铣面、铣边和蚀洗	223	第一节 中温轧制工艺概述	276
二、铸锭和包铝板的蚀洗	225	第二节 中温轧制制度	277
三、铸锭的包铝和侧面包铝	226	第三节 保证中温轧制顺利进行的几个 主要条件	280
第三节 热轧制度的制定原则	229	第六章 辊 型	281
一、合金的平衡相图	229	第一节 冷轧辊型挠度的计算	282
二、合金的塑性图	229	第二节 轧件的最小允许宽度	285
三、第二类再结晶图	232	第三节 轧制负荷与辊型的关系及近似 计算公式	285
四、变形抗力图	232	一、合适的轧制负荷	285
五、热轧速度	232	二、轧制负荷对轧件断面尺寸的影响	287
六、加工率(压下量)	233	三、轧制不同宽度轧件的合适负荷	288
第四节 铸锭的加热及温度范围	234	四、近似计算公式	290
一、铸锭的加热要求	234	第四节 热轧辊型的计算	290
二、铸锭轧制时的加热温度范围	234	第五节 1700毫米二重式冷轧机辊型计 算举例	292
三、铸锭加热设备	234	第七章 几个特殊产品的轧制	294
第五节 轧机配置和轧制制度	236	第一节 变断面板材的轧制	294
一、轧机的配置	236	第二节 壁板和花纹板轧制	295
二、轧制制度	236	一、壁板的轧制	295
第六节 热轧时的冷却和润滑	250	二、花纹板的轧制	295
第七节 热轧辊型	252	第三节 双金属板的轧制	295
第八节 热轧时的主要缺陷及消除办法	253	第八章 精 整	296
第四章 冷 轧	254	第一节 卷材的剪切	296
第一节 制定冷轧制度的原则	254	第二节 板材的精整矫直	298
一、第一类再结晶图	254	一、滚平压光	298
二、轧制金属的性能和方向性	255	二、多辊矫直	298
三、金属的塑性和道次加工率	255	三、拉伸矫直	300
四、轧制速度	256	四、块片式精整机列	300
第二节 轧机配置和压下制度	256	第三节 卷材连续式热处理精整	301
一、轧机的配置	256	第四节 板材检查、涂油和包装	301
二、冷轧轧制制度	256	第五节 块片式精整方法产生的主要缺陷	301
第三节 控制半硬制品机械性能的工艺 方法	263	第九章 铝箔生产	302
第四节 冷轧时的辊型及其控制	264	第一节 概 述	302
一、轧辊表面状态	264	一、发展概况	302
二、辊型的选择和磨辊	265		
三、辊型的配置方法	266		
四、辊型的控制	267		
五、四重轧机辊型变化对板材与轧辊接触部			

二、铝箔的用途	303
三、各国对铝箔厚度的划分	303
四、铝及铝合金箔材的生产工艺流程	303
第二节 箔材轧制	303
一、坯料准备和技术要求	303
二、纯铝箔材轧制工艺	306
三、高纯铝箔的生产	310
四、铝合金箔材的轧制工艺	311
五、铝箔轧机	311
第三节 箔材轧制时厚度的控制及测量	314
一、控制箔材厚度的方法	314
二、箔材厚度测量方法及测厚仪	316
第四节 箔材轧辊及辊型控制	319
一、对箔材轧辊的要求	320
二、轧辊的磨削	321
三、辊型控制	322
四、轧辊磨床	323
第五节 箔材轧制用工艺润滑剂	324
一、对箔材润滑剂的要求	324
二、润滑剂特性	325
三、常用工艺润滑剂	325
第六节 铝箔的质量及其影响因素	326
一、铝箔质量	326
二、影响铝箔质量的主要因素	327
三、箔材轧制时的缺陷及其产生原因	331
第七节 箔材的合卷、分卷和清洗	331
一、箔材的合卷	331
二、箔材的分卷	332
三、箔材的清洗	333
第八节 箔材精整	334
一、箔材的剪切	334

二、箔材的表面加工	336
三、箔材精整时所产生的缺陷	340
第十章 镁及镁合金板材生产	341
第一节 镁及镁合金变形的基本特征及 生产工艺流程	341
一、镁及镁合金变形的基本特征	341
二、生产工艺流程	341
第二节 镁及镁合金厚板生产	342
一、铸锭热轧前的准备	342
二、热轧生产工艺	345
第三节 镁及镁合金薄板生产	351
一、薄板生产方案	351
二、板坯的加热	352
三、粗 轧	353
四、中轧和精轧	354
五、叠 轧	356
六、薄板常见的缺陷及消除方法	357
第四节 镁及镁合金轧制前轧辊的预热	358
第五节 冷却润滑与轧辊辊型	359
一、轧制时的冷却润滑	359
二、轧辊的辊型	359
第六节 镁及镁合金板材的成品退火	360
第七节 镁及镁合金板材的剪切与矫直	362
一、镁及镁合金的剪切	362
二、镁及镁合金的矫直	362
第八节 镁及镁合金板材的酸洗及防腐 处理	364
一、镁合金的酸洗	364
二、镁合金的防腐处理	366
三、镁及镁合金板材涂油包装	371

第七篇 型、棒、线材生产

第一章 生产方法及工艺流程	373
第一节 生产方法	373
一、挤压方法的分类	373
二、正挤压和反挤压	373
三、挤压方法的优缺点	375
四、挤压生产的现状	376
第二节 工艺流程	376
第二章 挤压时金属的变形及 挤压力计算	381
第一节 挤压时金属的流动特点	381
一、挤压时金属的应力与变形	381
二、挤压时金属的变形过程	381

第二节 弹性区、缩尾、成层和 挤压残料	383
一、弹性区	383
二、缩尾和成层	384
三、挤压残料	388
第三节 影响金属流动的主要因素	388
一、挤压方法对金属流动的影响	388
二、金属强度的影响	390
三、温度的影响	390
四、挤压工具的影响	390
五、其它工艺参数的影响	391
第四节 挤压制品的组织及性能	392

一、挤压制品的组织	392	第二节 锯切及成品检查	472
二、粗晶环	392	一、切头、尾	472
三、挤压制品的机械性能	398	二、取 样	472
四、挤压效应	398	三、切成品	473
第五节 挤压力的测定和计算	403	四、成品检查	473
一、挤压力的实测方法	404	第三节 镁合金型、棒材的表面处理	474
二、影响挤压力的主要因素	404	第四节 挤压型、棒材的包装	475
三、挤压力计算公式	405	一、木制包装箱的包装	475
第三章 棒材及型材的挤压生产	416	二、捆扎包装	476
第一节 棒材及普通型材的挤压工艺	416	第五章 挤压工具设计	476
一、品种、用途及生产方法	416	第一节 模 具	476
二、铸锭尺寸的选择	416	一、棒材模具的设计	477
三、铸锭的尺寸偏差及质量要求	423	二、普通型材模具的设计	479
四、挤压温度的选择	424	三、空心型材模具的设计	486
五、挤压速度的选择	426	四、变断面型材模具设计	489
六、工具准备	428	第二节 挤压轴	494
七、挤压制品的尺寸及表面控制	429	一、挤压轴尺寸的确定	494
第二节 空心型材的挤压生产	430	二、挤压轴强度的校核	495
一、品种和用途	430	第三节 挤压筒	497
二、空心型材的挤压方法	430	一、挤压筒的结构形式及尺寸规格	497
三、挤压工艺特点	432	二、挤压筒的设计计算	498
第三节 阶段变断面型材的挤压生产	435	三、挤压筒材料的选择	503
一、品种和用途	435	第四节 模支承、压型嘴及垫片	504
二、阶段变断面型材的挤压方法	435	第五节 挤压工具用钢材	506
三、挤压工艺特点	441	第六章 线材生产	508
第四节 逐渐变断面型材的挤压生产	444	第一节 概 述	508
一、品种和用途	444	第二节 线毛料的生产	509
二、逐渐变断面型材的挤压方法	444	一、线毛料的生产方法和优缺点	509
三、挤压工艺特点	446	二、挤压线毛料	509
四、其它工艺参数	447	三、轧制线毛料	510
第五节 壁板型材的挤压生产	448	四、铸造线毛料	512
一、品种和用途	448	第三节 线材拉伸基本原理	514
二、壁板型材的挤压方法	448	一、实现拉伸的条件	514
三、壁板型材的挤压工艺	452	二、拉伸时的变形指标及其相互关系	516
第六节 挤压生产中主要缺陷及废品的 产生原因及消除方法	453	三、拉伸力计算	516
第七节 挤压设备	455	第四节 拉伸工艺	529
一、加热炉	455	一、铝合金线材拉伸特点	529
二、挤压机	457	二、线毛料的准备	530
第四章 型、棒材的矫直、检查与包装	459	三、拉伸配模	531
第一节 型、棒材的矫直	459	四、润 滑	534
一、张力矫直	459	第五节 线材的缺陷种类及其产生原因	539
二、辊压矫直	461	第六节 拉伸工具及设备	539
三、压力矫直	465	一、拉伸工具	539
四、手工矫直	466	二、线材拉伸设备	545
		三、线材拉伸的辅助设备	549

第八篇 管 材 生 产

第一章 生产方法及工艺流程.....	553	一、冷挤压管材工艺流程.....	592
第一节 管材的品种规格及用途.....	553	二、毛坯的准备.....	594
第二节 管材的生产方法.....	554	三、挤压温度和速度.....	594
一、生产方法.....	554	四、变形程度.....	595
二、轻金属管材生产的特点.....	554	五、润 滑.....	595
第三节 生产工艺流程.....	556	第三节 冷挤压制品的组织和性能.....	597
一、生产工艺制订步骤.....	556	一、冷挤压管材的组织和性能.....	597
二、管材变形指标计算.....	556	二、冷挤压型、棒材的组织和性能.....	597
三、工艺流程图.....	557	第四节 冷挤压用工具和设备.....	598
第二章 管材热挤压.....	559	一、冷挤压工具.....	598
第一节 管材热挤压种类和金属		二、冷挤压设备.....	601
流动特点.....	559	第四章 管材轧制.....	603
一、空心锭正向挤压.....	559	第一节 管材轧制方法.....	603
二、全润滑挤压.....	560	一、二辊式冷轧管(周期式).....	603
三、穿孔挤压.....	562	二、多辊式冷轧管.....	605
四、反向挤压.....	564	三、多辊横向旋压管.....	606
五、组合模及舌形模挤压.....	564	四、横向三辊热轧管.....	608
第二节 挤压力和穿孔力.....	566	第二节 轧制力计算.....	610
一、管材挤压力的计算.....	566	一、二辊式轧管机轧制力计算.....	610
二、管材穿孔力的计算.....	567	二、多辊式轧管机轧制力计算.....	617
三、作用于针上的前拽力计算.....	572	第三节 孔型设计.....	618
第三节 管材挤压工艺.....	573	一、二辊式冷轧管机孔型设计.....	618
一、铸锭的选择和技术标准.....	574	二、多辊式冷轧管机孔型设计.....	632
二、挤压温度.....	576	第四节 冷轧管工艺.....	635
三、挤压速度.....	577	一、管毛料的准备.....	635
四、挤压残料.....	578	二、冷轧管轧制工艺.....	636
五、润 滑.....	578	三、冷轧管机的送料量.....	645
六、挤压操作技术要点及改进.....	578	四、冷轧管的润滑.....	647
第四节 挤压管材的尺寸偏差及		第五节 冷轧管的废品种类及其	
表面质量.....	579	产生原因.....	647
第五节 挤压管材的缺陷、废品种类及		第六节 冷轧管的工具制造.....	649
产生原因.....	581	一、二辊式冷轧管机的工具制造.....	649
第六节 挤压工具和设备.....	582	二、多辊式冷轧管机的工具制造.....	654
一、挤压模.....	582	第七节 轧管设备.....	657
二、挤压针.....	583	一、二辊式冷轧管机.....	657
三、挤压垫片.....	587	二、多辊式冷轧管机.....	663
四、冲头(挤压残料分离器).....	587	三、多辊横向旋压轧管机.....	663
第七节 冷挤压.....	589	四、横向三辊热轧轧管机.....	663
第一节 金属流动情况和挤压力.....	590	第五章 管材拉伸.....	667
一、金属流动情况.....	590	第一节 管材拉伸方法.....	668
二、挤压力计算.....	590	一、无芯头拉伸(空拉).....	668
第二节 冷挤压生产工艺.....	592	二、短芯头拉伸.....	670

三、游动芯头拉伸	671	一、拉伸模	699
四、长芯头拉伸	672	二、整径模	699
五、拉伸扩径和压入扩径	672	三、芯头	701
第二节 拉伸力计算	673	第六节 管材拉伸设备	703
一、影响拉伸力的各种因素	673	第六章 管材的精整、检验和包装	707
二、拉伸力计算	673	第一节 管材精整	707
第三节 管材拉伸工艺	683	一、矫 直	707
一、管坯的准备	683	二、锯 切	710
二、拉伸配模	685	第二节 管材检验	712
第四节 管材拉伸时的废品种类及 其产生原因	699	一、中间工序的检验	712
第五节 管材拉伸工具	699	二、成品管的检验	712
		第三节 管材成品包装	714

第九篇 锻 压 生 产

第一章 生产方法和工艺流程	715	三、拔长规则	748
第一节 概 述	715	四、平砧拔长对质量的影响	748
第二节 生产方法	716	第四节 冲 孔	750
一、水压机上锻造方法的分类	716	第五节 在马架上扩孔(芯棒扩孔)	752
二、自由锻和模锻生产方法的比较	716	第六节 弯 曲	753
三、水压机上比较常用的几种模锻方法	717	第七节 锻造工艺过程的拟订	753
第三节 工艺流程	722	一、概 述	753
第二章 锻造和模锻的加工方法及热 力学参数	725	二、锻件图的绘制	754
第一节 锻造和模锻的加工方法	725	三、确定坯料的重量和尺寸	755
一、加工方法的分类	725	四、选择变形工艺及工具	756
二、各类加工方法的特点	725	五、确定工时定额	758
第二节 铝、镁合金的加工特点	730	六、工艺卡片的编写	758
一、铝合金的加工特点	730	第四章 模锻件和模具的设计原理 以及设备吨位的确定	758
二、镁合金的加工特点	730	第一节 概 述	758
第三节 锻造和模锻的热力学参数	730	第二节 模锻件构造要素的确定	759
一、概 述	730	一、分模面	760
二、变形温度、变形速度和变形程度	732	二、腹板厚度	761
第三章 自由锻造的基本工序及锻造 工艺过程的拟订	741	三、模锻斜度	765
第一节 概 述	741	四、筋及圆弧半径	766
第二节 镦 粗	741	五、冲孔连皮及压凹	770
一、概 述	741	第三节 模锻件的余量和公差	776
二、镦粗过程工艺参数的计算方法	744	一、余 量	776
三、镦粗规则	744	二、公 差	776
四、镦粗的主要方法	745	三、模锻件的余量和公差计算举例	782
第三节 拔 长	746	第四节 制订锻件图的其它问题	783
一、概 述	746	一、加工定位基准	783
二、拔长过程工艺参数的计算方法	746	二、测量硬度位置	783
		三、确定性能试样的位置	783
		四、印记位置	783

第五节 锻压设备的选择及其吨位的确定	784	二、模具加热	826
一、锻压设备的选择	784	三、加热设备	827
二、设备吨位的确定	784	第五节 锻造工艺过程	828
第六节 终锻模膛和预锻模膛的设计	789	一、概 述	828
一、终锻模膛的设计	789	二、锻造方案	828
二、预锻模膛的设计	790	三、锻造方案的选择	831
第七节 制坯工步的选择及坯料尺寸的确定	794	四、获得均匀的锻件组织的方法	831
一、锻件的分类	794	第六节 模锻工艺过程	831
二、饼类锻件制坯工步的选择及坯料尺寸的计算	795	第七节 切 边	833
三、杆类锻件工艺过程的制订及坯料的选择	796	一、切边方式及其特点	833
第八节 制坯模膛(毛料模)的设计	800	二、切边模的设计	833
一、水压机上的制坯模膛	800	三、切边力的确定	833
二、毛料模的设计	801	第八节 模膛的润滑	835
第九节 模具装卡、锻模结构及模块标准	801	一、模膛润滑的目的及对润滑剂的要求	835
一、模具装卡	801	二、模膛润滑的方法	835
二、锻模结构	806	三、润滑剂的种类	836
三、模块尺寸的确定和锻模标准	815	第九节 模锻件及其中间坯料的表面清理和修伤	837
第五章 锻造和模锻工艺	820	一、表面清理的目的	837
第一节 原坯料的种类	820	二、蚀洗制度	837
一、铸造坯料	820	三、修 伤	837
二、挤压坯料	822	第十节 锻件的热处理及其矫直	838
三、轧制坯料	823	一、淬 火	838
第二节 原坯料的选择	824	二、矫 直	838
一、坯料的选择	824	三、时 效	839
二、坯料尺寸的确定	824	第十一节 锻件检验及其主要缺陷和消除措施	839
第三节 下 料	824	一、锻件和模锻件的检查	839
一、下料方法	824	二、锻件和模锻件的主要缺陷及其消除措施	840
二、圆锯下料	824	第十二节 典型工艺举例	842
三、定尺坯料的长度公差	825	一、自由锻工艺举例	842
第四节 加热及加热设备	825	二、模锻工艺举例	846
一、坯料加热	825	附 录	856
		附 表	873

第五篇 轻合金熔炼与铸造

第一章 铝及铝合金的熔炼

第一节 概 述

铝及其合金是近代工业中得到广泛应用和发展很快的重要金属材料。目前，世界的铝产量仅次于钢铁，居有色金属首位。

铝及铝合金具有：比重小，比强度大，导电、导热性好，耐蚀，可塑，可焊，无毒，光泽美丽以及低温性能良好等一系列优越性能；在国民经济和国防建设中的地位及作用日趋显著。

熔铸的主要目的是：配制合金；铸造成型；通过适当的工艺措施（如精炼和过滤）提高金属净度。

气孔，夹渣和氧化膜等冶金缺陷对铸锭质量影响较大；因此除应严格控制原材料的标准和净度外，还须采用合理的熔铸工艺提高铸锭的净度。

此外，因在铸锭中形成的金属间化合物一次晶不能用随后的压力加工和热处理方法消除，所以这一因素亦不容忽视。

为改善合金的工艺性能和制品质量，减少冷、热裂纹，除控制化学成分和杂质外，还应采用合适的工艺添加剂（变质剂）以改变和细化铸锭的晶粒。

近年来，为提高金属熔体的净度，采用了许多行之有效的先进工艺，如采用活性气体或真空精炼系统等。此外，采用多种过滤方法，如：电熔剂精炼和微孔管过滤等，在生产中也均收到明显效果。

在铸造工艺方面，近年来出现的电磁结晶槽铸造法，由于它比现有铸造方法提供了进一步加强冷却的可能性，所以对铸锭边部组织和晶内结构有进一步改善。同时还消除了铸锭表面缺陷，提高了成品率和金属的实收率。另外，绝热模同水平铸造法也收到良好效果。

第二节 铝中气体的溶解及夹杂物和氧化膜的生成

铸锭中的夹杂物，除少量的是由生产设备和工艺过程中带入外，主要是因铝的化学性质非常活泼，能和许多元素发生化学反应而生成的；尤其在熔融状态下，更易与氧、氮等元素化合而生成氧化物、氮化物、碳化物和硫化物等非金属夹杂物及氧化膜。

氢和铝虽不形成化合物，但它极易溶解于液态铝中，它是铝中所含的主要气体。

在熔铸工艺过程中，如对液态铝中所溶解的气体和含有的非金属夹杂物处理不当时，就会在铸锭中造成疏松、气孔、夹渣等冶金缺陷；因此，必须采取相应措施予以防止和清除。

一、铝中气体的溶解

(一) 气体的主要来源

- (1) 燃料：当采用火焰炉熔炼铝及铝合金时，燃料（如煤、焦炭、煤气、天然气、重油等）中的水分以及燃烧时产生的水分易进入熔体。
- (2) 大气：熔炼过程中，大气中的水蒸气被熔体吸收。
- (3) 炉料：吸附在炉料表面上的湿气，在熔化过程中起化学作用而产生的氢将被溶解；如果炉料放置过久，且表面有油污者，对熔体的吸气量尤有影响。
- (4) 耐火材料：烘炉不彻底时，耐火材料表面吸附的水分，以及砌制时泥浆中的水分，在熔炼头几个熔次时，对熔体中气体含量将有明显影响。
- (5) 熔剂：使用因保存不当而发生了潮解的熔剂，也能显著地增加熔体的含气量。
- (6) 熔铸工具：在倒炉及铸造时，如果熔铸工具干燥不好，易使熔体的吸气量增加。
- (7) 倒炉及浇铸过程中，如果熔体落差大，或液流翻滚过急时，也会使气体及氧化膜卷入熔体。
- (8) 润滑油脱水不好。

(二) 铝中溶解气体的种类

在铝及铝合金熔体中溶解的气体有： H_2 、 CO_2 、 CO 、 N_2 和 C_nH_m （碳氢化合物）等气体；其中以 H_2 为主， N_2 和 CH_4 的溶解量也不容忽视。铝合金熔体中溶解气体组成的统计分析见表5-1-1。

表 5-1-1 铝合金熔体中溶解气体的组成

合 金	气体含量 厘米 ³ /100克金属	各种气体的统计含量，%		
		H_2	CH_4	N_2
硬铝合金	1.2~3.0	50~90	3.5~46	4~40
Al+6~8%Mg	1.5~6.0	64~90	5~22	21以下
铝硅合金	4~5	40~90	2.5~37	0.3~13

实践证明，不同的季节和地区，因空气的湿度不同，铸锭中的气体含量也随之而异。一般在相同条件下，其含气量随空气湿度的增大而增加。

(三) 气体的溶解机理

凡与金属有一定结合能力的气体，都能不同程度的溶解于金属中。与金属无结合能力的气体，一般只被吸附，而不溶解。气体在金属中溶解度的大小，取决于气体与金属间结合能力的强弱。

金属的吸气一般由吸附、扩散和溶解三个过程组成。吸附有物理吸附及化学吸附两种。吸附是由于金属表面的一层原子，当上下两个方面受力不平衡时，便形成一个力场，在这种力场的作用下，使气体吸附其上。若表面力场很小则气体很快离去，若表面力场较大，则吸附的气体离去较慢。物理吸附时，其连续的吸附层厚不超过一个分子。随温度升高或压力减小，或金属蒸气压增大，物理吸附逐渐减弱。物理吸附是不稳定的，仅靠物理吸附，气体是不会溶解的。当金属与气体具有一定结合能力时，气体不仅被吸附在金属表面，而且还能解离为原子，其吸附速度随温度升高而增大，达一定温度后吸附才变慢，这就是化学吸附。只有能将气体分子解离为原子者，气体才有可能向金属中进行扩散和溶

解。

由于气体被金属不断的吸附和解吸，当金属表面某一种气体的分压达到大于金属内部该种气体的分压时，则该种气体在分压差及其与金属的结合力作用下，便开始向金属内部进行扩散，即溶解于金属中。其扩散速度与温度、压力等因素有关，金属表面的物理、化学状态对扩散也有较大影响。

气体原子通过液体金属表面的氧化膜或熔剂层时，其扩散速度比在纯净的液体中慢得多；氧化膜愈致密和熔剂层愈厚，其扩散速度愈小。例如氢通过铝表面致密的氧化膜时，其扩散速度大约为通过纯净铝表面时的十分之一。

气体在液体中的扩散速度比在固体中要快的多。

在表面无氧化膜的纯净状态下，气体向金属中的扩散速度与金属厚度成反比，与气体分压的平方根成正比，并随温度升高而增大，其关系式如下：

$$V = \frac{n}{d} \sqrt{P} \cdot e^{-E/RT} \quad (5-1-1)$$

式中 V ——扩散速度；

n ——常数；

d ——金属厚度；

E ——激活能；

P ——气体分压；

R ——气体常数；

T ——绝对温度。

(四) 影响气体含量的因素

1. 合金元素的影响 与气体结合力较大的合金元素，则会使合金中的气体溶解度增大。蒸气压高的金属与合金，由于具有蒸发去吸附作用，可降低金属的含气量。

Cu、Si、Mn、Zn等合金元素可降低铝合金中气体的溶解度，而Ti、Zr、Mg则能增加气体的溶解度。例如，氢在纯铝中的溶解度为0.9厘米³/100克金属；而在Al+5%Mg合金中，其溶解度增为1.3厘米³/100克金属。当含Mg6%时，可达2.9厘米³/100克金属；如将Mg含量继续增大到9%时，由于镁蒸气压的影响，氢含量反而有所降低。

在含钛铝合金中，当钛含量为2.64%时，氢含量达24.8厘米³/100克金属；当钛增至3%时达30厘米³/100克金属。在含锆的铝合金中，当含锆5%时，氢含量可达44.5厘米³/100克金属。

铜、硅含量对氢在铝合金中溶解度的影响见表5-1-2。

表 5-1-2 铜、硅含量对氢在铝合金中溶解度的影响

氢的溶解度 厘米 ³ /100克金属	铜 或 硅 的 含 量, %				
	0	5	10	20	50
含铜的铝合金	0.88	0.58	0.44	0.37	0.36
含硅的铝合金	0.88	0.64	0.64	0.50	—

现将一些合金化组元对氢含量的影响介绍于表5-1-3。

表 5-1-3 合金化组元对氢含量的影响

金属	V_{H_2} , 厘米 ³ /100克	金属	V_{H_2} , 厘米 ³ /100克	金属	V_{H_2} , 厘米 ³ /100克
Al	0.6	Al-1%Cu	2.0	Al-0.5%Zn	1.14
Al-1%Si	1.2	Al-3%Cu	1.6	Al-1%Zn	0.96
Al-2%Si	1.15	Al-5%Cu	2.10	Al-1.5%Zn	1.28
Al-5%Si	1.30	Al-7%Cu	1.98	Al-2.0%Zn	1.24
Al-9%Si	1.30	Al-9%Cu	1.8	Al-2.5%Zn	1.36
Al-11%Si	1.48				

2. 气体分压的影响 当温度一定时, 气体溶解度随气体分压的增大而增大, 其关系式如下:

$$S = K_1 \sqrt{P} \quad (5-1-2)$$

式中 S —— 在一定的温度与压力条件下, 气体在金属中的溶解度;

K_1 —— 平衡常数, 表示标准状态下金属中气体的平衡溶解度, 也可称为溶解度常数或溶解常数;

P —— 气体分压。

由公式可知, 在温度相同的条件下, 气体在金属中的溶解度随炉气成分中的氢气分压增大而增大。在以重油、煤气、天然气为燃料的火焰炉中, 氢气分压比在电炉中大; 且因为在电炉炉气中水蒸气不超过0.8%, 而在重油炉中, 其水蒸气含量可达16.4%, 故在火焰炉熔炼的铝熔体中氢溶解度也较大。

其它条件相同时, 使用煤气炉熔炼铝合金时的含氢量为2.5厘米³/100克, 当有熔剂保护时为1.05厘米³/100克; 用低频感应电炉时为0.8~1.0厘米³/100克; 用电阻炉时为1.05厘米³/100克。当大气湿度改变时, 气体含量也随之改变。

3. 温度的影响 在气体分压一定时, 氢的溶解度随温度的升高而增大。

温度对纯铝中气体含量的影响, 如图5-1-1及表5-1-4所示。从图中可以看出液态比固态时溶解度大的多。

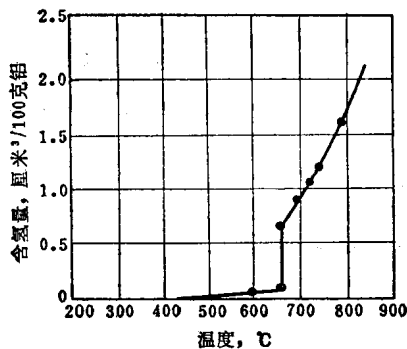


图 5-1-1 高纯铝 (99.9985%) 中氢气溶解度 (标准大气压) 与温度的关系

综合压力与温度对双原子气体的影响,

可用下式表示:

$$S = K \cdot \sqrt{P} \cdot e^{-E_s/2RT} \quad (5-1-3)$$

$$\text{或} \quad \lg S = -\frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} \lg P \quad (5-1-4)$$

式中 S —— 气体溶解度;

P —— 气体分压;

T —— 金属的绝对温度;

E_s —— 熔解热;

K, R —— 常数;

$$A \text{ —— 常数, } A = \frac{E_s}{2R} \cdot \lg e;$$

$$B \text{ —— 常数, } B = \lg K.$$

上式表示的溶解度 S 与 T 及 P 的关系, 要在气体直接与纯净金属表面相互作用时才正

确。若表面存在氧化膜时，则溶解度就有改变。

4. 其它因素的影响 金属表面氧化膜状态及熔炼时间对气体在金属中的溶解度均有影响。

表 5-1-4 氢在铝中的含量 (厘米³/100克)

在 熔 点 温 度 时		高 于 熔 点 温 度 时	
固 态	液 态	750~800℃	>850℃
0.034~0.05	0.65~0.77	1.15~1.67	2~3

前面所讲的气体在金属中的溶解度与温度、压力的关系是指在平衡状态下，能否达到平衡状态，则取决于熔炼条件。金属吸气需一定的时间，当金属中含气量低于饱和溶解度时，气体的溶解速度开始很快，在接近饱和溶解度极限时速度很慢，如图5-1-2所示。达到平衡溶解度的时间，取决金属表面情况，当温度较低，金属表面有熔剂时，时间较长；温度较高，氧化膜受到破坏时，时间短；炉料中原有含气量高，达到平衡溶解度就较快。

(五) 熔体中气体含量的测定

金属中溶解的气体是引起铸锭产生气孔或组织疏松之类缺陷的重要原因之一，对结晶温度范围较大的合金，尤其敏感。

实践证明，在连续铸造条件下，LY12合金，当气体含量在0.18厘米³/100克金属以下时，从未发现过疏松和气孔。当气体含量超过0.25厘米³/100克金属时，如铸造温度不合适，则有时出现微量疏松。故将0.25厘米³/100克金属的气体含量作为LY12合金的临界值。

为了在生产中及时掌握金属中的气体含量，很有必要在不同季节或潮湿的气候中，经常抽查金属中的气体含量，以便在工艺上采取补救措施。

气体含量测定方法很多，在工厂条件下，炉前分析最简单的方法，就是第一气泡法和测氢仪分析法。

1. 第一气泡法 其原理是根据西维尔氏规律(公式5-1-3)，在一定真空度下，当出现第一个气泡时认为氢的分压和在该真空度时相应压力相等，并利用其对数式求得。其公式如下：

$$\lg S = -\frac{A}{T} + B + \frac{1}{2} \lg P$$

式中 $A = \frac{E_s}{2R} \cdot \lg e$, $B = \lg K$, 其值见表5-1-5。

从对数式看出 $\lg S$ 和 $\frac{1}{T}$ 成正比，因此可作成对数图表供实际使用。

第一气泡法的测定装置见图5-1-3。

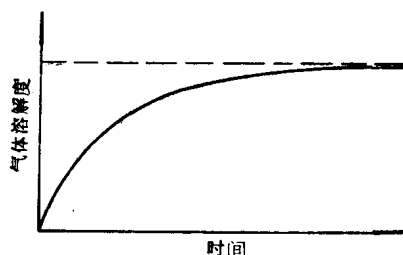


图 5-1-2 熔体中含气量与时间的关系