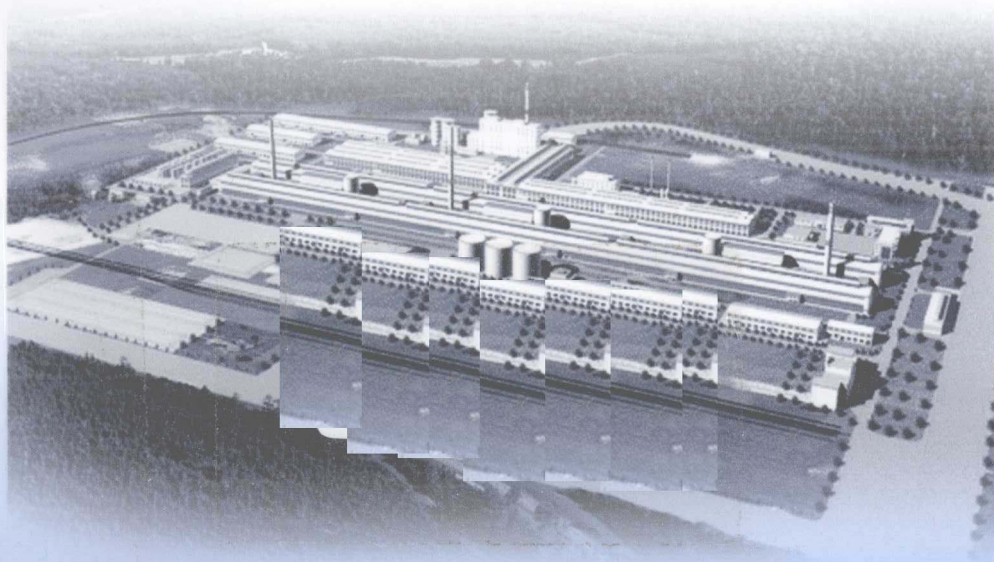


电解法生产铝合金

杨 昇 杨冠群 编著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

电解法生产铝合金

杨 昇 杨冠群 编著

北 京
冶金工业出版社
2010

内 容 提 要

本书较全面地介绍了电解法生产铝合金的研究开发进程及最新成果。主要内容有:铝及铝合金简介及其生产工艺的比较,我国铝资源概况及特征,硅钛氧化铝生产工艺,硅钛氧化铝的物理化学性质,电解法生产铝硅钛合金,电解法生产铝钎合金实验研究,电解法生产铝硅、铝钛、铝-稀土、铝锰、铝锆、铝硼、Al-Ti-B、铝铈等合金简介,电解铝合金的微观结构和性能以及电解铝合金的应用实例。

本书内容涉及铝土矿地质、矿物学、选矿、湿法冶金、熔盐电解、合金材料及其加工应用,可供大专院校相关专业本科生、研究生及从事相关领域技术工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电解法生产铝合金/杨昇,杨冠群编著. —北京:冶金工业出版社, 2010. 6

ISBN 978-7-5024-5273-5

I. ①电… II. ①杨… ②杨 III. ①铝合金—电解冶金 IV. ①TF824

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 085052 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 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 张熙莹 美术编辑 张媛媛 版式设计 葛新霞

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-5273-5

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

2010 年 6 月第 1 版, 2010 年 6 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 8 印张; 235 千字; 244 页

26.00 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(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

铝是一种非常重要的金属材料，无论从产量、消费量或是应用范围来说，铝都仅次于钢铁而远居各有色金属之首。2008 年世界原铝产量达到 38831kt，我国近 13177kt。但是纯铝的应用并不太多，不到铝消费总量的 1/4。绝大多数的铝是以合金形态进入应用领域，广泛用于航天、航空、汽车、电力、建筑、食品包装等许多行业。

铝合金的传统生产方法是用熔配（对掺）法，合金化过程是用纯金属通过熔融配制。往往在生产纯金属时千方百计除去的杂质，正是熔配合金时所需要的合金元素。有些合金元素的密度或熔点与铝有较大差别，熔配过程容易产生成分偏析；有些合金元素在熔配过程中容易被氧化烧损。为了获得组成稳定、准确而分布均匀的工作合金，对这些元素必须事先熔配成铝的中间合金，然后再熔配成工作合金。将纯金属在大气环境下经过多次重熔，不仅造成合金元素的烧损，而且增加合金液吸气和氧化夹杂的可能性，从而降低合金品质。因此，熔配法大都流程长、工艺复杂、能耗高、成本贵、产品质量受到影响。

本书介绍的电解法生产铝合金，是将还原电位比铝正或与铝接近的合金元素的化合物加入普通铝电解槽，使这些元素与铝在阴极共同析出而完成合金化过程。这种方法缩短了合金生产流程，某些情况下还可实现矿物资源综合利用，减少工业废渣。特别是由于合金化过程的电解共析特征，使其合金元素分布之均匀，微

观组织结构之细密，都是熔配法所不可比拟的。而且电解共析合金化过程是在电解质保护与空气隔绝的情况下完成的，避免了吸气和氧化夹杂的可能，为提高合金品质提供了条件。

本书重点介绍了作者在主持或承担的电解法生产铝合金实验研究中取得的经验和教训，也介绍了国内外学者在这方面取得的成果。主要包括以下内容：我国铝矿资源概况及特征，硅钛氧化铝的生产及其物理化学性质，电解法生产铝硅钛合金，电解法生产铝钪合金，电解法生产铝硅、铝钛、铝⁻稀土、铝锰、铝锆、铝硼、Al-Ti-B、铝铈等合金的简介，电解铝合金的微观结构和性能及电解铝合金的应用实例。

本书可作为大专院校相关专业的本科生、研究生的学习参考资料，也可供从事冶金和金属材料等研究的专业技术人员参考。

谨以此书献给邱竹贤、刘英、田庚有等老一辈科技工作者，并衷心感谢支持或参与电解法生产铝合金实验研究及开发的每位领导和同仁。

本书涉及铝土矿地质、矿物学、铝土矿选矿、湿法冶金、熔盐电解、金属材料及其应用，专业跨度较大。因作者水平所限，书中不足之处，敬请读者指正。

作 者

2009年10月于郑州

目 录

1 绪论	1
1.1 铝及铝合金概述	1
1.1.1 金属铝简介	1
1.1.2 铝合金简介	2
1.2 几种生产铝合金工艺的比较	7
1.2.1 熔配法	7
1.2.2 电热还原法	9
1.2.3 电解法	10
1.3 电解法生产铝合金简史和现状	11
参考文献	16
2 硅钛氧化铝	18
2.1 我国铝矿资源概况及特征	18
2.1.1 含铝矿物简介	18
2.1.2 我国铝土矿地质特征	19
2.1.3 我国铝土矿矿物结构特征	20
2.1.4 我国铝土矿化学组成特征	22
2.1.5 我国的低钛铝土矿资源	25
2.2 硅钛氧化铝的生产	27
2.2.1 铝土矿酸法除铁	27
2.2.2 其他除铁方法	42
2.2.3 铝土矿粉除铁后的焙烧	49
2.3 硅钛氧化铝的物理化学性质	54
2.3.1 硅钛氧化铝的物理特性	54
2.3.2 硅钛氧化铝的溶解速度和“溶解度”	56

2.3.3 硅钛氧化铝的结壳性能	58
2.3.4 硅钛氧化铝对电解质密度的影响	60
2.3.5 硅钛氧化铝对电解质初晶温度的影响	60
2.3.6 硅钛氧化铝对电解质电导率的影响	63
2.3.7 硅钛氧化铝对电解质组成及挥发损失的影响	65
参考文献	71
3 电解法生产铝硅钛合金	74
3.1 硅钛氧化铝的电解	74
3.1.1 硅钛氧化铝电解的可行性	74
3.1.2 12kA 自焙槽电解铝硅钛合金	83
3.1.3 60kA 自焙槽电解铝硅钛合金	84
3.1.4 大型预焙槽电解铝硅钛合金	105
3.2 钛的富集及提取含钛较高的铝硅钛中间合金	112
3.2.1 从铝硅钛合金中富集钛的理论依据	112
3.2.2 铝硅钛合金中钛的富集试验	113
3.3 进一步改进电解法生产铝硅钛合金的途径	117
3.3.1 探索更适合于电解合金的电解槽结构和 电解质体系	117
3.3.2 降低硅钛氧化铝的生产成本	118
3.3.3 适当限制电解合金的含硅量	119
3.3.4 采用较廉价的办法添加锂盐	119
3.3.5 利用电解过程形成硼化钛复合阴极	119
参考文献	120
4 电解法生产铝钪合金	122
4.1 钪的资源及铝钪合金	122
4.1.1 钪的资源	122
4.1.2 铝钪合金的性质	123
4.1.3 铝钪合金的制备方法简介	126
4.2 电解法生产铝钪合金的理论基础	129

4.2.1	氧化钪在冰晶石-氧化铝体系中的溶解性能	129
4.2.2	$n\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Sc}_2\text{O}_3$ 系的熔盐物理 化学性质	133
4.2.3	电解法生产铝钪合金的电化学	149
4.2.4	电解法生产铝钪合金的热力学	157
4.3	电解法生产铝钪合金工艺	165
4.3.1	电解工艺条件	167
4.3.2	电解工艺实验结果	168
	参考文献	176
5	电解法生产其他铝基合金	180
5.1	电解法生产铝硅合金	180
5.1.1	电解法生产铝硅合金的理论基础	180
5.1.2	电解法生产铝硅合金工业试验	183
5.2	电解法生产铝钛合金	184
5.2.1	电解法生产铝钛合金的基础理论	185
5.2.2	电解铝钛合金的生产工艺	186
5.3	电解法生产铝-稀土合金	189
5.3.1	电解铝-稀土合金的理论基础	190
5.3.2	电解铝-稀土合金的生产工艺	191
5.4	电解法生产铝锰合金	192
5.4.1	氧化锰的溶解性能	192
5.4.2	氧化锰的热还原	193
5.4.3	冰晶石-氧化铝熔体中氧化锰的电解	194
5.5	其他几种铝合金的电解法生产简介	196
5.5.1	电解法生产铝锆合金	196
5.5.2	电解法生产铝硼合金	197
5.5.3	电解法生产 Al-Ti-B 合金	199
5.5.4	电解法生产铝锶合金	200
	参考文献	202

6 电解铝合金的微观结构和性能	204
6.1 电解铝合金的组织结构	204
6.1.1 铝及固溶体型铝合金的晶粒细化	204
6.1.2 电解亚共晶铝硅合金的晶粒细化	211
6.2 电解法生产的铝合金的材料性能	214
6.2.1 电解铝合金的强度	214
6.2.2 电解铝合金的耐磨性	217
6.2.3 电解铝合金的体积稳定性	218
参考文献	219
7 电解铝合金的应用实例	222
7.1 电解铝硅钛合金在汽车发动机上的应用	222
7.1.1 合金成分调配	222
7.1.2 物理化学及力学性能测试	223
7.1.3 活塞等零部件加工工艺条件	226
7.1.4 产品质量检验	227
7.1.5 600h 台架及 50000km 和 150000km 整车使用试验	228
7.2 电解铝硅钛合金用于柴油发动机活塞	230
7.2.1 合金铸造性能和活塞铸造工艺	231
7.2.2 活塞的力学性能	233
7.2.3 活塞的体积稳定性	234
7.2.4 活塞的宏观组织和金相组织	234
7.2.5 台架试验和装车使用试验	235
7.3 电解铝合金在其他方面的应用研究	236
7.3.1 电解铝硅钛合金用于汽车及摩托车轮毂	236
7.3.2 电解铝硅钛合金在摩托车发动机上的应用	238
7.3.3 电解铝硅钛合金用于汽车进气歧管和高压电器部件 ..	242
参考文献	244

1 绪 论

本书中电解法生产铝合金指的是在普通铝电解槽中，经高温电解直接制取以铝为基的合金。主要介绍 Al-Si-Ti、Al-Sc、Al-Si、Al-Ti、Al-Mn、Al-Sr 以及铝-稀土合金的电解法生产和它们的试验研究。

1.1 铝及铝合金概述

1.1.1 金属铝简介

金属可以按其密度分类，密度大于 5.0g/cm^3 的称为重金属，密度小于 5.0g/cm^3 的称为轻金属。铝在 20°C 时的密度为 2.69g/cm^3 ，属于轻金属。除铝 (Al) 以外，还有锂 (Li)、钠 (Na)、钾 (K)、铷 (Rb)、铯 (Cs)、铍 (Be)、镁 (Mg)、钙 (Ca)、锶 (Sr)、钡 (Ba)、钛 (Ti) 等十几种金属属于轻金属。硅 (Si) 是一种半导体，或称半金属，就其密度而言 (室温下为 2.34g/cm^3)，也属于轻金属的范畴。

从产量、消费量或是应用范围来说，铝都仅次于钢铁而居各有色金属之首。2005 年世界原铝产量为 31895kt，2006 年为 33219kt，增长 4.16%；2007 年为 38151kt，递增 14.85%；2008 年达到 38831kt。2009 年因受金融风暴的影响，产量略有下降，为 37910kt^[1~3]。

近几年来，我国铝生产能力以及产量大幅度增加，2001~2009 年电解铝产量和产能见表 1-1。2001 年以来，铝的进口和出口相抵略有净出口。

表 1-1 我国 2001~2009 年的电解铝产量^[4,5] (kt/a)

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
产量	3575.8	4511.1	5563.0	6671.0	7806.0	9358.4	12558.6	13176.6	12846
产能			8338.2	9000	10200	12000	15200	16110	18360

我国铝的消费量随产量同步增长, 1990 年为 860kt, 2003 年增至 5039kt, 2004 年为 6195kt, 14 年增长了 6 倍多。2005 年和 2006 年的铝消费量分别为 7122kt 和 8670kt, 增长率仍分别高达 15% 和 21.7%。而全世界(未计入中国消费量)的平均增长率为 4.8%。我国铝消费增长量约占世界的 1/2。目前, 我国铝消费总量居世界第二位, 占全世界的五分之一, 仅次于美国; 但人均消费量仅为 6.7kg, 稍高于世界人均水平, 约为发达国家平均消费量的 1/3^[6]。

铝以单一元素的金属材料应用并不太多, 主要用于电缆、电线、铝箔等行业, 不到铝消费总量的 1/4。绝大多数的铝, 以合金形态进入应用领域, 广泛应用于航天、航空、汽车、电力、建筑、食品包装等许多行业。表 1-2 列举了我国、日本以及美国铝产品消费分配百分比^[7~9]。

表 1-2 铝产品消费分配举例

国家	铝产品消费分配比例/%								
	交通	建筑	耐用品	包装	通信	机器设备	电气	出口	其他
中国	24	33	5	8		10	15		5
日本	35	18	12	11	4	3	1	7	9
美国	31.8	14.6	6.7	21.1		5.8	6.3	10	3.7

交通、建筑和包装是三大用铝领域, 占铝制品总量的 60% ~ 70%, 其中汽车又占第一位, 达到总量的 1/3。汽车工业的发展起到了带动铝工业发展的作用。

1.1.2 铝合金简介

铝合金材料分为变形铝合金和铸造铝合金。变形铝合金包括棒材、板材、箔、管材、线材以及各式型材等, 占铝消费总量的 50% 左右; 铸造铝合金仅占 1/3 左右, 而我国不足 20%。铝硅系合金大约占了铸造铝合金中的 80%, 占铝消费总量的 20% ~ 30%, 广泛用于汽车制造、矿山机械、农用机械和轻化工业等领域^[10,11]。

汽车用铝总量的 80% 为铸造铝合金, 其中铝硅系合金大约占 80%, 用于生产发动机零件、车轮及传动系统等(见表 1-3)^[12,13]。

有些零件采用 Al-Mg 合金。车架、底盘以及部分车轮等零部件采用 5000 或 6000 系列变形铝合金^[14]。

表 1-3 德国汽车铝质零件所用合金牌号

零件名称	合金（德国）牌号	中国牌号
缸 体	AlSi ₍₆₋₁₇₎ Cu ₍₃₋₄₎	ZL107
缸 盖	AlSi ₉ Cu ₃	ZL107
曲轴箱	AlSi ₉ Cu ₃	ZL107
活 塞	AlSi ₁₂ CuMgNi	ZL109
发动机其他零件	AlSi ₉ Cu ₃	ZL107
万向节	AlMgSi/AlMgMn	ZL302
齿轮箱	AlSi ₈ Cu ₃	ZL107
差动齿轮箱	AlSi ₁₂ (Cu)	ZL108
铸造车轮	AlSi ₇ Mg	ZL101
锻造车轮	AlMgSi ₁	6063
组合式车轮	AlMg _{2.7} Mn	5A02
刹车盘	AlSi ₇ Mg	ZL101
挡泥板	AlSiMg (6000)	6063
车 门	AlSiMg (6000)	6063
车身结构件	AlMg (5000)	5056

20 世纪 70 年代的石油危机结束了廉价石油时代，节油成了汽车行业瞩目的焦点。日益恶化的生态环境唤醒世人认真思考大气污染以及汽车尾气对人类健康的危害。目前，全世界汽车污染物排放量几乎占各行各业全部排放量的 21.6%，是名符其实的重大污染源头^[15]。我国汽车尾气污染尤为严重。据我国环保中心预测，若不采取有力措施，2010 年我国汽车排放量将占空气总污染量的 64%。因此，20 世纪 70 年代以来，发达国家先后出台了一系列法规，限制车辆燃油消费量及尾气排放量。这里，汽车轻量化起着重要的作用。据报道，汽车质量每减少 10%，油耗节省 6%~8%^[16]。每应用 1kg 铝材，在车辆使用年限内，油量节省约 8.5L，CO₂ 排放量减少约 20kg，相当于 10m³ (标态)。采用铝合金，节能和降低排放量的效果显著。这就

促使汽车行业大量采用铝合金，加速了汽车轻量化的进程。近年来，铝合金在汽车中的使用量已超过铸铁，仅次于钢材。欧洲每辆新车上的平均用铝量，从 1990 年的 50kg 增加到 2005 年的 132kg，提高了 164%。预计 2010 年可达 158kg 左右^[17]。北美和日本的汽车用铝量也大幅增长。图 1-1 所示为 1973 ~ 2003 年美国和日本（欧洲和日本的用铝增长趋势基本一致）每辆汽车用铝量的增长情况^[18]。

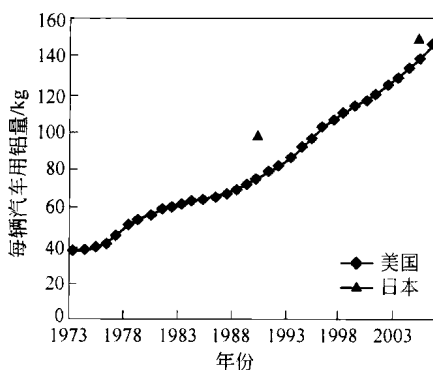


图 1-1 1973 ~ 2003 年美国和日本每辆汽车用铝量增长情况

20 世纪 60 ~ 70 年代美国每辆汽车用铝量仅为 30 ~ 45kg，占车重的 2% 左右。70 年代石油危机后，开始大量采用铝合金代替黑色金属。80 年代美国每辆汽车用铝量增至 60 ~ 70kg，占车重的 5% 左右，2003 年达到 8%，轿车用铝量平均为 114kg，其中铝铸件为 90kg，其他为冲压件或锻件。近几年来，美国车辆用铝量迅速增长，单辆车达到 143kg，占车重的 12% 左右，一些豪华轿车和跑车用铝量甚至达到 225kg，成为世界上最大的汽车用铝户^[19]。福特公司于 2000 年推出的高铝密集型汽车 P2000，用铝量超过车总重的 37%。长期以来，欧洲和日本每辆车用铝量比例远远超过美国。90 年代，日本已达到 6% ~ 9%。日本、法国、德国汽车铝铸件分别占铸件总量的 75%、75% 和 67%，1990 年每辆汽车用铝量为 100kg，2005 年达到 150kg 左右^[20]。铝质材料的应用范围已从发动机、传动系统、悬挂系统的铸件扩展到车架、保险杠等压延件，大幅度减轻了车重。

我国汽车轻量化过程远远落后于发达国家。据报道, 90 年代, 我国每辆轿车用铝量为 60 ~ 80kg, 而载重卡车仅为 40kg, 相当于车重的 1%^[21]。近年来, 我国推出的新款轿车或货车, 用铝量已达到 80kg 甚至在 100kg 以上, 但主要用于发动机系统及车轮的铝硅合金铸件, 例如, 缸体、缸盖、进气歧管、齿轮室罩、水泵壳以及散热器等。至于采用压延铝合金生产要求性能很高的车架、保险杠等有待继续开发研制。

汽车轻量化面临车辆安全性下降和成本增加等问题, 尽管铝合金冲击能量吸收率比钢约大一倍^[22], 但据统计, 撞车时汽车质量小于对方 10% 或 20% 的一方, 乘员死亡人数将分别高于对方 45.8% 及 112%。所以, 开发冲击能量吸收率高的轻质新材料以及设计高抗冲击汽车是解决汽车轻量化和车辆安全性相互矛盾的有效途径。

同样, 为了节能减排的目的, 铝合金在轨道车上的应用也在飞速增长。

我国 1995 年修订的国家标准 GB/T 1173—1995, 根据质量分数最大的合金元素把铸造铝合金分为 4 大类, 共 26 种牌号。硅作为主要合金元素的牌号占了 15 个。其中的 ZL101、ZL101A、ZL104、ZL107、ZL108 和 ZL109 等, 都是汽车制造业中常用的铝合金。

硅在变形铝合金中也具有重要的作用, 变形铝合金中 Al-Si 合金占有一定的比例。我国 2008 年修订的《变形铝及铝合金化学成分》(GB/T 3190—2008) 分为 8 个系列, 共 273 个牌号。其中 1 × × × 系列的 49 个牌号属于纯铝, 含铝量不小于 99.0%。其他 7 个系列 224 个牌号均为铝合金, 根据主合金元素的不同, 又可分为 Al-Cu 系、Al-Mn 系、Al-Si 系、Al-Mg 系、Al-Mg-Si 系、Al-Zn 系等。其中有 68 个牌号规定 Si 为合金元素之一。这里, 硅起到改善合金铸造性能以及提高合金强度的作用。

在各国铝合金牌号中钛含量变化最大。钛在纯铝及铝合金中具有重要的作用。一是降低纯铝导电性, 因此, 严格限制纯铝钛含量。二是细化铝及铝合金 α 铝相晶粒, 通常钛作为晶粒细化剂广泛用于工业纯铝、单相铝合金以及亚共晶 Al-Si 合金。三是提高合金高温强度及耐磨性^[23]。生产上, 钛作为热强元素用于共晶 Al-Si 合金。发达国

家铸造铝合金中几乎全部加钛（见表 1-4），许多变形铝合金也规定加钛。我国 1974 年公布的《铸造铝合金》（GB 1173—1974）中共有 18 个合金牌号，由于钛价格昂贵，其中只有 3 个牌号规定加钛；11 个铝硅合金牌号中，规定加钛的只有一个牌号。1986 年修订的铸造铝合金标准，合金牌号数增加到 26 个，随着对钛改善合金性能的进一步认识，以及钛供应状态的改善，规定加钛的牌号增加到 11 个，占 42%；另外，还有 9 个牌号对钛含量的限制为不超过 0.15% 或 0.20%。在合金生产过程中，如果不是有意加入钛，是不可能达到这么高含量的，而作为合金中的晶粒细化剂或热强元素，一般 0.15% ~ 0.2% 的量也就足够了，因此，意味着这 9 个牌号有条件可以加钛，没有条件可以不加钛，不做硬性规定。这样，含钛合金牌号实际占到 77%。1995 年修订的国家标准 GB/T 1173—1995 仍保持了推广应用含钛合金的趋势。

表 1-4 发达国家铸造铝合金加钛情况

国 家	标 准	合金牌号数	加钛牌号数	所占份额/%
美 国	AA 铝业协会	45	36	80
日 本	JISH 5202—1990	18	18	100
英 国	BS 1490—1988	20	20	100
法 国	NFA 57-702—1981	26	26	100

钛在变形铝合金中的应用与铸造铝合金有着相似的发展趋势。国家标准 GB/T 3190—2008 中，有 47 个牌号规定加入合金元素钛，另有 83 个牌号允许含钛量达到 0.10% ~ 0.20%。由此可见，在我国，随着钛资源开发的进步，钛在铝合金中的应用正不断得以推广。

我国铝矿资源的化学组成和矿物结构都不利于生产冶金级氧化铝，电供应不足、电价高、成本高，这些因素制约了铝工业的发展。铸造铝合金成分不稳定，杂质多；熔体去气效果差，纯净度不高；合金金相组织波动大，塑性及韧性低，降低了铸件品质。变形铝合金成形性差，表面质量低，影响了高端产品的开发。例如，我国尚不能生产供易拉罐用的高性能细晶粒铝材，仅从 1994 ~ 2001 年 7 年间就进口这类冲压铝合金高达 1900kt，价值 30 亿美元，占国内市场 95%。

用于航空器壁板、高速列车车体、地铁及磁悬浮列车车体、集装箱、船用壁板等大型薄壁、宽幅、高精度和复杂断面的铝合金型材也基本依靠进口。因此，立足于国内资源，开发低成本、细晶粒纯铝以及高强度、高韧性铝合金就成为了铝冶金工作者面临的一项具有开创性的任务。

1.2 几种生产铝合金工艺的比较

1.2.1 熔配法

合金化过程是用纯金属通过熔融配制，这种获得合金的方法通常称做熔配法^[24]。一般来说，熔配法的合金元素分三种方式加入：

(1) 对于熔点较铝低的合金元素，如镁，可直接投入铝熔体中。但镁在熔配过程中烧损较为严重，一般达4%~8%，有时甚至更高。因此在熔配镁时，一方面要考虑镁的实收率，另一方面要精心操作，严格监测，尽量减少镁的烧损和保证合金含镁量精确。

(2) 对于熔点较高或较难熔的金属，如锰、铜、钛、镍等合金元素，以铝基中间合金形式加入。

(3) 采用高纯合金元素粉末与助熔剂混合压制成形后，加入铝熔体中。

无论采用何种加入方式，都必须保证合金元素在熔体中弥散且均匀分布。

以铝硅钛合金为例（这里我们把硅和钛作为合金元素之一的铝合金，包括工作合金和中间合金，通称为铝硅钛合金），其传统生产方法是用纯金属熔配。用纯铝和纯硅配制成铝硅中间合金，用纯铝和纯钛配制成铝钛中间合金，然后将中间合金配制成所需牌号的铝硅钛合金。

熔配法生产铝硅钛合金的工艺流程简图如图1-2所示。

为了获得纯铝、纯硅和纯钛，生产过程都很复杂。

纯硅的生产多用电热还原法。要挑选很纯的硅矿物和高质量的碳质还原剂，消耗大量电能，在电热炉中高温还原制取。硅生产过程的原料选择和产品质量评估，都把铝作为重要杂质考虑，千方百计除去

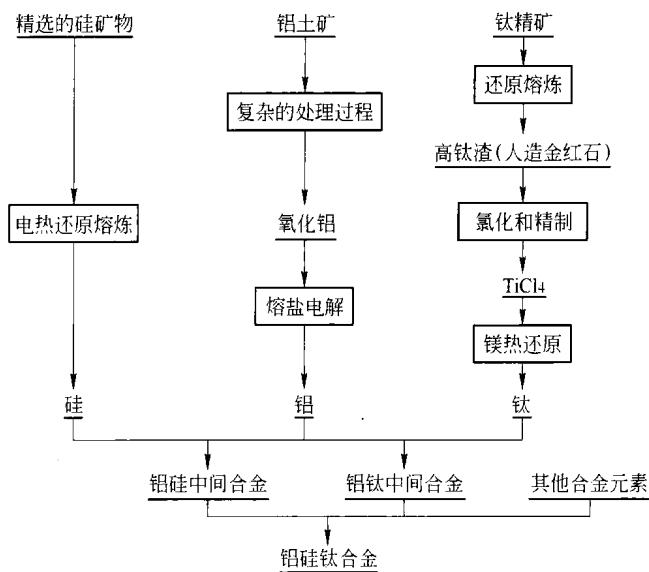


图 1-2 熔配法生产铝硅钛合金工艺流程简图

铝。生产铝时，硅和钛则是最有害的杂质。而在熔配铝硅和铝钛中间合金时，又将二者熔配在一起。这种不合理现象在熔配法中频频出现。

我国钛的生产主要采用镁热还原法。即将含钛矿物（如钛铁矿），首先熔炼成高钛渣，经氯化制取四氯化钛，再经精制，然后用镁还原精制四氯化钛获得海绵钛。镁本身是一种贵重的有色金属，在这里却作为还原剂被消耗掉。因此，钛的冶炼成本昂贵，而且工艺复杂、能耗高、环境治理困难。根据我国 20 世纪末的生产技术指标，平均每吨钛的综合电耗为 $47000\text{kW} \cdot \text{h}$ 左右，还约需 2.5t 高钛渣、1.6t 石油焦、6.2t 氯气和 1.2t 镁（部分氯气和镁可以再生）。

我国是钛资源大国，但冶炼开发较为落后，生产能力只占世界生产能力的 3%，是世界人均水平的 1/7，与发达国家相比，差距更大一些。目前，国内的钛产量只能满足低水平需求的 50%，其余依靠进口。即使这样，主要也只能满足钛材与钢铁行业的需要，用在铝合金行业的比例很少。原因还是因为钛的供不应求和价格昂贵，含钛铝