

国外铝加工新技术

程 敏 主 编



81
88

中国有色金属工业总公司技术经济研究中心
中国有色金属工业总公司铝加工技术开发中心

国外铝加工新技术

主编 程 敏

审阅 高云震 贾绍箕

编写 程 敏 辛达夫

林 浩

一九八八年九月

内 容 提 要

本书介绍了国外八十年代铝熔炼水平和指标、以Al-Li合金为首的新合金新材料、以罐用带材为典型的轧制技术及其各种先进轧机、以及先进的等温挤压模具制造、铝材表面处理等技术，回答了什么是八十年代先进铝加工技术、水平如何、有哪些具体指标和内容。

国 外 铝 加 工 新 技 术

责任编辑 江 达 邹春子

封面设计 张仲华

※

※

※

中国有色金属工业总公司技术经济研究中心出版
中国有色金属工业总公司技术经济研究中心文献馆发行。

目 录

前言	(1)
第一章 国外铝熔铸的先进技术	(2)
第一节 八十年代铝合金熔炼的先进标志	(2)
第二节 铝合金铸造的进步	(5)
第三节 熔体净化处理	(8)
第四节 熔体质量监测	(11)
第二章 国外新合金新材料	(13)
第一节 Al-Li 合金的发展状况	(14)
第二节 超塑性铝合金的发展状况	(19)
第三节 铝合金粉末冶金的发展状况	(22)
第四节 铝基复合材料	(27)
第五节 美国今后变形铝合金规划	(31)
第三章 先进的轧制技术	(32)
第一节 控制化学成分及均匀化处理	(32)
第二节 冷热轧技术	(33)
第三节 先进轧机举例	(34)

第四节	新轧机谱·····	(35)
第五节	现代轧机先进的控制系统·····	(47)
第四章	国外铝箔发展新水平·····	(56)
第一节	铝箔技术现状·····	(56)
第二节	铝箔轧制润滑现状及发展·····	(62)
第五章	国外挤压技术·····	(66)
第一节	实现模拟等温挤压·····	(66)
第二节	予应力整体机架·····	(70)
第三节	固定挤压垫挤压·····	(71)
第四节	conform连续挤压	
	castex连铸连挤·····	(72)
第五节	国外挤压模具先进水平及设计	
	制造新技术·····	(72)
第六章	铝材表面处理发展状况·····	(87)
第一节	铝型材的阳极氧化着色·····	(87)
第二节	静电粉末喷涂·····	(89)
第三节	铝合金功能膜概况·····	(92)
第四节	几点建议·····	(92)

前 言

党的十三大赵总理报告中明确指出在工业技术方面要接近经济发达国家八十年代初水平。这个目标完全符合铝加工发展的实际情况，若达到这一目标，实质上就要在铝加工经营上认真执行开放搞活的政策，在技术上要将国外八十年代铝加工先进技术通过引进交流，合资协作，在我国加以实现。以提高产品质量、开发新品种、降低消耗，在国际市场有竞争能力，从而参加国际大循环。

目前美国原铝锭产量503万吨，日本165万吨，西德114万吨，而我国“八五”期间加工材用铝量可能接近日本水平。目前全国大小铝加工企业在努力完成“七五”计划的同时，都在制定技术进步和参与国际市场的规划。然而，不了解国际水平就无法制定本企业、本行业的引进、消化吸收、提高质量和增加新品种的目标。

国外铝加工技术在八十年代又有很多新进展，但究竟哪些是先进的？具体指标如何？具体内容是什么？达到了什么水平？只凭零散报导是不易评价的。鉴于此，编者将国外铝加工最新技术成就和发展水平编辑成册以对本行业和加工企业起到参谋作用。当然对设计与教学单位，亦有一定的参考作用。

本书由董林书、蒋励、李明、崔红提供部分素稿。

初稿由中国有色金属总公司轻合金科技协作组全体专家评议并提出了修改意见，在此致以谢忱。

本书是在中国有色金属工业总公司技经研究中心的支持下编辑出版的。在编辑出版过程中，得到技经中心文献馆、中情所机器翻译组的大力支持与帮助，特别是江达、邹春子、张红英同志在全书的组织、编辑加工和编排格式方面，段镛、贺晓丹、李颖同志在微机中文编辑、排版和录入方面通力合作，付出了辛勤的劳动，在此谨向他们表示衷心感谢。

编 者

第一章

国外铝熔铸先进技术

第一节 八十年代铝合金熔炼的先进标志[1]

1. 工艺过程自动化, 计算机得到广泛应用, 如炉料熔化过程、铸造过程、燃料燃烧过程、装料与出炉成份分析等; 2. 能耗显著降低, 反射炉热效率 $>50\%$; 3. 熔化速度5吨以上/小时(见表1); 4. 单位能耗小于 2.5×10^6 焦/公斤铝(2500千焦/公斤铝); 5. 经过除气过滤 $H_2 < 0.10$ 毫升/100克; 6. 非金属夹杂控制50微米以下, 罐用合金夹杂小于20微米; 7. 枝晶间距不大于40微米, 6063合金锭枝晶间距不大于20微米; 8. 采用电磁搅拌, 机械化扒渣, 劳动强度显著减轻; 9. 感应炉热效率80%左右。

表1 各国铝熔炼炉的效率[2-6]

国 别	中 国	美 国	意大利	加 拿 大	日 本
吨 / 台. 时	0.8-3.5	5.6-12.6	5	16-17	3-3.5

表2 各国铝熔炼炉的热效率比较表[7-10]

国 别	日 本	美 国	瑞 士	中 国
炉 型	火焰炉	感应炉	火焰炉	火焰炉
热 效(%)	53.5-72	约80	约50	20-40

达到上述指标, 国外在七十年代以后对反射炉采

取了一系列措施[11]：

1. 采用机械化，缩短操作时间；2. 自动调整燃料／空气的比例；3. 自动调整炉压；4. 自动调节热交换器加热空气；5. 炉料进行预热；6. 采用强力燃烧喷嘴；7. 计算机控制熔炼过程，计算机自动分析化学成份。8. 采用新型竖式炉，火焰从底部进入，靠对流传热，过去的反射炉主要靠辐射加热，但由于铝块是银白色，黑体系数小，吸收率为0.11—0.19，为钢的1／7，铜的1／5，接受辐射能力小。当辐射和受热面积比近似1时，下述式子[12]成立。

即：

$$Q = \epsilon_x \times 4.9 \left[\left(\frac{T_1^4}{100} \right) - \left(\frac{T_2^4}{100} \right) \right]$$

式中 ϵ_x 即系统黑体吸收率，可以看出 ϵ_x 小，Q值即小。竖式炉燃料消耗率仅为反射炉一半，反射炉燃烧一般在4640—6960千焦／公斤铝[13]，而竖式炉只有2550—3480千焦／公斤铝。在美国，D. Barnes、I. Bass二人对竖式炉的研制正处于最后完善阶段。

竖式炉示意图如图(1)所示[13—14]。这种类似方式的炉子在日本也叫塔式炉(图1、图2)，已被日本东京煤公司与日本铸钢公司研制并加以应用，如图所示，燃油耗量由过去90—1

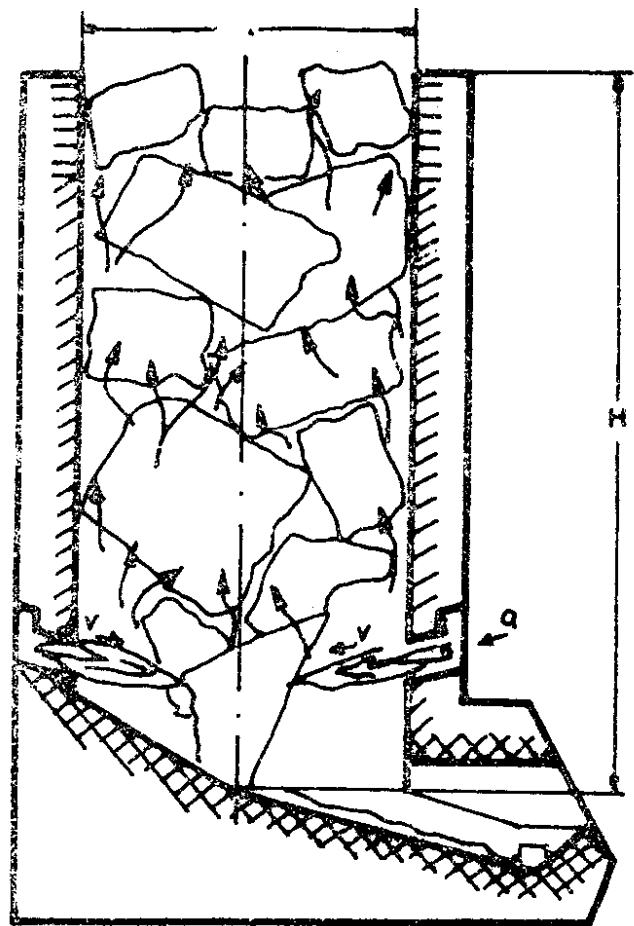


图 1 竖式炉示意图(美国)

20升/吨铝，降到60升/吨铝，这种炉子也有缺点，因碎屑和大块料(200-600公斤/块)对热交换不利而受到限制，今后需进一步开发。

为加大对流传热，另一着眼点即采用强力喷嘴，加大燃油喷射流速。有关资料指出[15]，对流传热系数 ac 与流速有关。

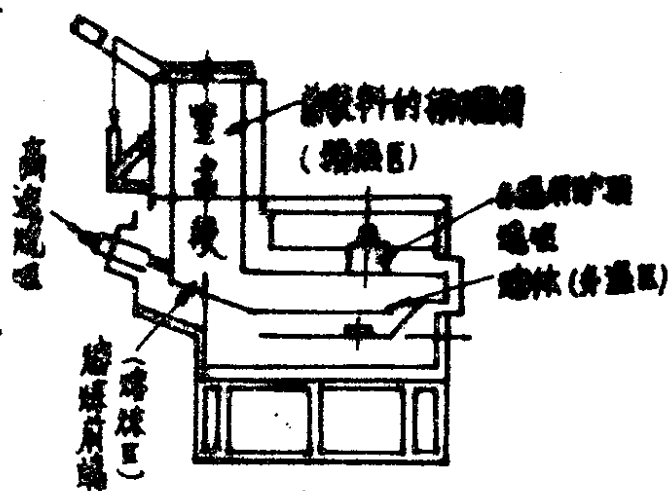


图2 塔式熔炼炉(日本)

当 W (流速) < 5 米/秒时:

$$ac = 5.3 + 3.6w \text{ (kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C)}$$

$W > 5$ 米/秒时:

$$ac = 647 + 0.78w \text{ (kcal/m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C)}$$

兹另外举出国外先进熔炉实例[16]:

①美国Trent-wood厂DC-8型炉，双膛熔铝炉容量74.8吨，自动控制燃料/空气比，自动控制炉压，热效提高2-5%。烟囱热交换加热空气热效率提高25%采用换热器效果比较如下:

没有换热器		有换热器	
熔化时间(分)	226		171.5
熔速比 吨/时	9.569		12.609
燃 耗 千焦/吨	3308		2510

②澳大利亚Comalco厂熔炉[19]，静止炉能倾斜 30° ，通过废热回收，计算机控制，能耗下降50%。

③荷兰(Cressona)用高动量烧咀[17]，喷射速度达到5486米/分，单位燃耗由 5.4×10 焦/公斤。铝降至 2.86×10 焦/公斤。铝

④瑞铝(Rheinfelden)厂，同美国Huch公司合作用

强力高速喷嘴，炉热效率提高到56%。

⑤意大利LAG公司利用余热措施，能耗达 2.52×10^6 焦/公斤·铝。

⑥加拿大Oswigo厂采用余热能耗，下降45%。

⑦西德norf铝业公司，圆形炉顶部装料，设换热器一套，4个高速强力燃烧咀，自动控制炉压自动燃料空气比，熔化速度高达16-17吨/时，燃料消耗 2.4×10^6 焦/公斤·铝。

⑧美国Kaiser公司道尔顿工厂[18]，矩形反射炉，配有换热器、余热锅炉，烟道排热1093℃，换热后482℃，炉料预热960℃，能耗下降20%。

⑨日本节能连续熔化炉[6]。烟囱直接预热炉料，排到大气烟气温度降到150℃，燃料38升/吨(常用反射炉100升/吨)，热效率为72%。

⑩大型感应炉(10吨)，七十年代中期发展起来，热效率为80%，金属损耗为反射炉一半，控制准确，成分均匀。美国Pinalco工厂无芯感应炉，坩埚8.2吨，功率2000千瓦，金属损失2.5%。

美国铝业公司、加拿大铝业公司和法国彼施铝业公司熔炼AL-Li合金均采用保护气氛，以防止氧化。

第二节 铝合金熔铸的进步[19-20]

1. 直接由铝厂和铸造厂供锭占整个铝加工用锭25-30%。

2. 铸轧法(Hunt, Jum3c, Acubisse, Ha3dete)占扁锭的30%，全世界各种铸轧(或连轧)机200多台，其中亨特法140余台，Ha3dete法35台，3C法40多台，生产能力300万吨/年。七十年代末期开始采用电子计算机，目前正在努力解决高镁合金的铸轧工艺以生产罐用薄板。

3. 目前较先进的铸造方法有：

①电磁铸造：苏联З.Н. Зомцебев发明，1969年在美国取得专利(Usprestent 3, 467, 166号)。后来瑞士铝业公司做了大量的工作，将计算机、CO₂水冷和胶囊刮水法三合为一，使电磁铸造法焕然一新，目前世界电磁铸锭已超过70万吨/年，优点是无热轧裂边、表面光滑

和偏析层极薄，比DC法每吨省66.1美元。

②气滑法(Airslip)，美国Wagstaff工程公司研制的与热顶铸造法合在一起，铸锭光滑、偏析层薄(0.127-0.178)晶粒细小均匀，与DC法+热顶铸造相比，挤压力低15%，枝晶间距小于30微米，气滑法与热顶铸造法的示意图如下所示。

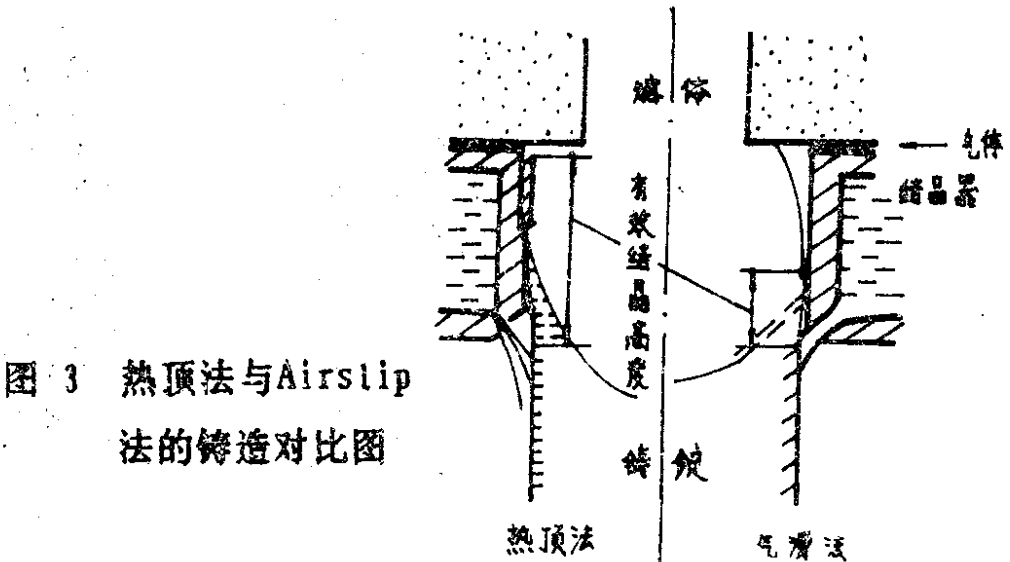


图 3 热顶法与Airslip法的铸造对比图

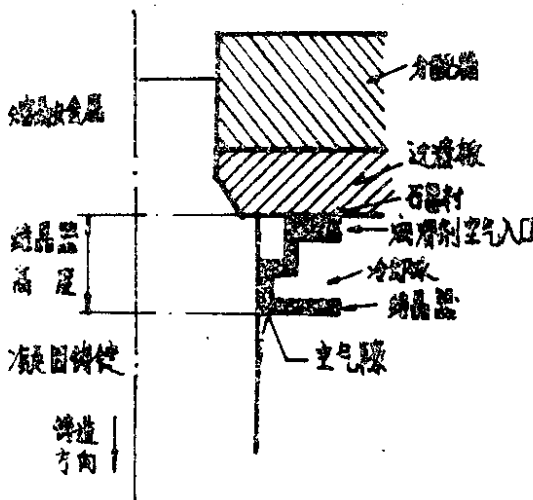


图 4 挤压锭用气滑结晶原理图

③同水平热顶铸造：在结晶器上部开一切口，使结晶器，分流盘，流槽三者AL液处于同一高度，即同一水平，结晶器上部粘硅酸铝纤维毡，使结晶器壁不导热，以消除DC法所产生空气隙的坏作用。

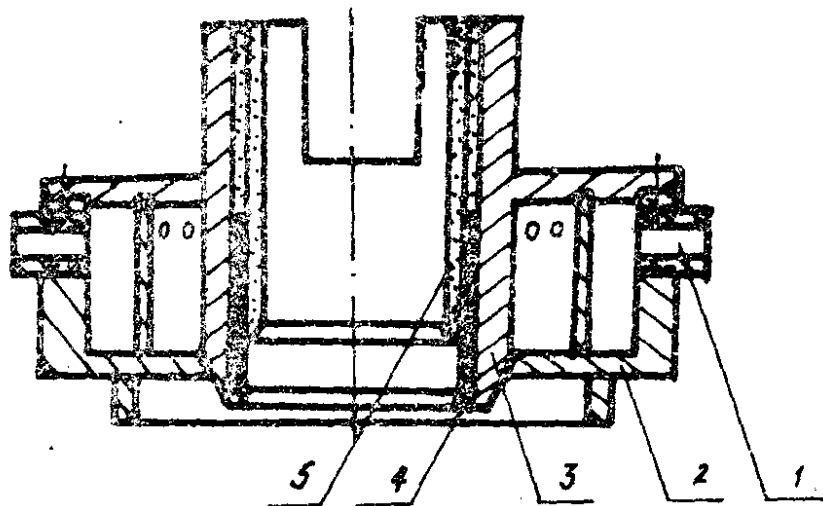


图5 同一水平热顶铸造的结晶器
1-进水管 2-水套 3-结晶器
4-石墨 5-硅酸铝纤维

纤维毡下缘的距离称之为“有效结晶区高度”，它一般控制在15-50毫米范围内，内表纤维毡区即所谓“热顶”。

④昭和法：适用小圆锭，此法是改进的热顶铸造。

⑤DC法：普通直冷方法，即普遍应用的直接冷却半连续铸造。

⑥ CO_2 冷却：此是配合方法，减少铸造开始几分钟的内应力，向水中混溶一定量的 CO_2 ，混合水喷到锭表面，水中 CO_2 变成无数小汽泡吸附在表面上，以降低冷却强度，减少热裂纹废品。

胶囊刮水：用胶囊刮去锭上二次冷却水，使铸锭温度回升松弛内应力，可减少高合金的冷裂废品。

表3. 先进铸造方法的比较

各法比较	枝晶间距(μ)	偏析层(μ)	晶粒尺寸(μ)
昭和法	21.2	<100	160
D C 法	24.2	250	200
热顶法	22	800	170
气滑法	<30	127-178	-
电磁法	<30	<120	-

第三节 熔体净化处理

1. 铝液吸收氢气，其吸收量如表 4 [21] 所示。

表4. 铝液吸收氢气的量(毫克/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

当进一步加工时，则产生细孔，严重影响产品质量。

2. 铝液另一有害物质即氧化物夹杂：如表 5 所示 [22]：

表5. 铝溶液中的夹杂物

相	形 态	尺 寸(μ m)	现场观察
Al_2O_3	薄膜状	$d=0.1-5$	暗灰色、

		薄膜集合体 粒状、块状	$d=10-1000$ $d=1-300$	黑色、黄 褐色 透明
MgO		粒状 由粒状形成的膜	$t=1-8$ $d=10-1000$	黑色
氧化 物 系	氧	Al_2MgO_4 角粒子	$d=0.1-5$	透明, 茶灰色
		厚膜 粒子群	$t=1-6$ $d=100-1000$	浓褐灰色
		SiO_2 块状、球状	$d=10-1000$	黑色透明
		硅酸盐 块状、 球状	$d=10-1000$	明灰色(Ca) 褐色CCK
		$Al-Si-O$ 块状、 粒状		
		FeO 薄膜集合体 Fe_2O_3 块状	$t=0.1-1$ $d=50-1000$	赤 色
		复合氧化物 厚膜状	$t=10$ $d=50-1000$	透明暗灰色
炭化 物 系	AlC_3	矩形, 六角	$t<1$	灰色
	Al_4O_4C	形板	$d=0.5-25$	
	黑铅 炭素	长形 粒子	$d=1-50$	褐灰色
	AlB_2	六角,	$t<1$	暗褐色

硼 系	AlB ₁₂	矩形板 块状	d=20-50	灰色
	TiB ₂	六角, 矩形板	d=1-50	灰色
	VB ₂	六角, 矩形板	d=1-20	灰色
其 它	Al ₃ Ti	针状	l=1-30	明灰色
	Al ₃ Zr	针状, 粒状	d=1-150	明灰色
	CaSO ₄	针状	l=1-5	灰色
	AlN	薄膜状	t=0.1-3 d=10-50	黑色
	化物	粒状	d=1-50	灰色、黑色

*. t: 厚度; d: 径; l: 长度。

3. 为了减轻饮料罐重量以降低成本, 罐盖、罐体越来越薄。据总公司出国考察报告, 壁厚趋势如下[23]:

	1969-1984年		1990年目标
罐盖	0.34mm	0.31mm	0.20mm
罐体	0.55mm	0.34mm	0.25mm

现在美国铝技术中心已作出11.3克/个的罐, 如此之薄要求夹杂减小80%, 尺寸减少1/3, 夹杂粒子接近罐壁10%就要开裂。美国Kaiser铝业公司净化措施是[23]: 静止炉(Al-Ti-B)→SNIF 除气→泡沫陶瓷片过滤→玻璃丝网过滤→铸造。

澳大利亚Comalco[24]是: 静止炉(Al-Ti-B)→玻璃丝布→Alpur→玻璃丝布→陶瓷过滤板→铸造。冲罐后壁厚为100微米, 杂质尺寸不能大于25微米,

Na含量 $<5\text{ppm}$ [25]。

日本石田硅丸 [26] 认为加Al-Ti-B不如加Al-Ti，因为TiB₂质点使材质变脆，影响深冲性能。

八十年代除气净化方法的比较如表6 [27-28] 所示。

表6 八十年代除气净化方法的比较

方 法	对环境	除氢	除钠	除夹物	适 应 性
Alcoa 469 (528+622)	优	一般	一般	良	
FILD 法	优	一般	一般	良	
SNIF	良	优	良	一般	单一品种 大批量
Alpur TM 法	良	优	良	一般	同上
DIFI 系统	优	良	良	优	
MINT	良	优	良	优	换合金 容易

先进的除气装置可达到指标为： $\text{H}_2 < 0.1$ 毫升/100克。

非金属夹杂1-10毫米者除掉 10-100%；10毫米以上除掉100%。

碱金属含量处理前20-25ppm；处理后3-5ppm。

其中对MINT法呼声最高，其优点为：

- ①装置最紧凑，与熔体接触；
- ②更换喷嘴及底部零件容易；
- ③熔体排放及清理容易，适于多合金品种；
- ④预热周期短；
- ⑤熔体通过系统热损小（约 10°C ）；
- ⑥可与Selec 泡沫陶瓷板配套使用，除夹杂效果好。

第四节 熔体质量监测

1. 美国Telegs测氢法代表了八十年代国际测氢水平

①测量范围：0.05-0.4毫升/100克铝；②精度：0.03ppm；③测定时间：5分钟；④探头材料陶瓷；⑤缺点：不能在线监测。

2. 日本发明SLM测氢仪[29]

①能直接测熔体氢含量；②特殊材料探头，导热情况不随温度升降而变，探头放入熔体可连续测定；③计算机控制能直接显示和打印结果。