

DOI: 10.3969/j.issn.1000-6826.2013.02.016

# 5系铝合金260mm×1500mm规格直边铸锭熔铸工艺研究

The Process Research of 5 Series Aluminum Alloys 260mm×1500mm Specification Straight Edge Ingot Melting and Casting

供稿|侯显智, 赵涛, 滕志贵, 王晓峰/HOU Xian-zhi, ZHAO Tao, TENG Zhi-gui, WANG Xiao-feng

## 内容导读

5系铝合金采用传统的铸造方式生产的铸锭表面偏析瘤较大,在机械加工时必须进行小面刨边和大面铣面,而且铣面较大,不仅影响成品率而且增加生产成本。因此我分厂自主设计、制定了260mm×1500mm规格直边铸锭生产工艺。对5083牌号铝合金进行化学成分的控制,铸造工艺及均匀化退火工艺的改进,铸造成型工具的研发等一系列工艺参数摸索。对最终产品的化学成分,铸锭表面质量,低倍组织,力学性能等各项指标检测。检测结果表明,采用新工艺参数生产的铸锭,铸锭的化学成分,铸锭表面及内部质量,力学性能均良好。保证了成品率,缓解刨边工序的生产窄口问题。

5系铝合金大方铸锭常规的规格为255mm×1500mm,该规格铸锭小面为圆弧形,不仅有利于铸造成型也有利于轧制时顺利咬入,但是传统的铸造方式生产的铸锭表面偏析瘤较大,这样在机加时必须进行小面刨边和大面铣面且铣面较大,不仅影响成品率而且增加生产成本。随着5系铝合金255mm×1500mm规格生产任务的加大,刨边工序

已成为了生产的窄口。鉴于这种情况,我分厂自主设计、制作260mm×1500mm规格直边铸锭铸造成型工具,采用低液位铸造方式生产,低液位铸造方式生产的铸锭表面质量好,且该规格铸锭小面为直边,无需进行刨边,但小面为直边的铸锭铸造成型相对难度增加。生产260mm×1500mm规格的5系铝合金,90%以上的产量均为5083铝合金,为

了解缓解刨边工序的生产窄口问题,提高成品率,我们展开了对260mm×1500mm规格的5083合金直边铸锭熔铸工艺研究。

5083铝合金具有中等强度、良好的耐蚀性、焊接性及易于加工成形等特点,是Al-Mg系合金中的典型合金。不同热处理状态的5083铝合金板材是压力容器、装甲车辆、船舶、汽车制造业所用的主要材料。

作者单位:东北轻合金有限责任公司,黑龙江 哈尔滨 150060

表 1 5083 合金成分

	合金成分, 质量百分比/%										杂质		Al
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Be	单个	合计	
国家标准	0.40	0.40	0.10	0.40~1.0	4.0~4.9	0.05~0.25	—	0.25	0.15	0.0004~0.0008	0.05	0.15	余量
厂内标准	0.25	0.30	0.10	0.60~0.90	4.4~4.8	0.05~0.10	—	0.20	0.10		0.05	0.15	余量

表 2 5083 铝合金 260mm×1500mm 规格主要铸造参数

铸造温度/℃	填充时间/s	铸造速度/(mm·min <sup>-1</sup> )	金属液位/mm	冷却水流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	脉冲水
710~730	50	60	70	90	开头使用

表 3 5083 铝合金 260mm×1500mm 规格均匀化退火制度

合金	规格/mm <sup>2</sup>	制品	各区定/℃	金属温/℃	保温时间/h
5083 铝金	260 × 1500	板	465	460~470	29

本试验主要从铸锭化学成分、铸锭外观质量、显微组织及力学性能等方面对 260 mm × 1500 mm 规格的 5083 铝合金进行质量全分析。

### 试验过程

➤ 合金成分 (见表 1)

➤ 工艺流程

配料→熔炼与净化→铸造→均匀化退火→机加→铸锭试片试验项目检测。

#### ◆ 配料

完全采用固体料投料, 炉料由 40%~45% 的新铝锭 (除调整化学成分的金属外, 为 5 系铝合金二、三级废料)、Mg、Mn、Cr、Be 等组成。Mg 以纯金属形式加入, Mn、Cr 以添加剂的形式加入, Be 以中间合金的形式加入。

#### ◆ 熔炼与净化工艺

熔炼温度 700~750℃。720℃ 以上加 Mn 剂、Cr 剂、Mg 锭,

保证铁含量大于硅含量 0.1%, 保温炉补 0.01% 的 Ti, 并在熔炼温度范围内导入保温炉、取样、调整化学成分、精炼。铸造前采用氩气体精炼 20 min, 静置 20 min, 铸造时采用 Alpur (双转子气体精炼装置) 进行在线除气, 采用 40PPI (PPI 为每英寸上的孔隙数) 陶瓷片过滤器进行净化处理。

#### ◆ 铸造工艺

铸造在线播种 Al-Ti-0.2B 丝进行晶粒细化, 其速度为 440 mm/

min。主要的铸造工艺参数见表 2。

#### ◆ 均匀化退火制度

5083 铝合金 260 mm × 1500 mm 规格均匀化退火制度参见表 3。

#### ➤ 检测项目

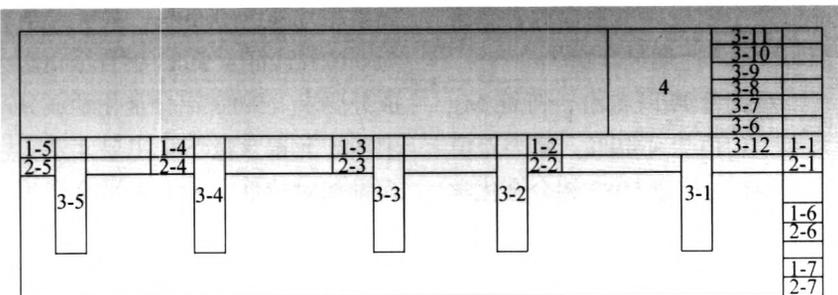
将 5083 铝合金 260 mm × 1500 mm 铸锭锯切头尾后选择一端切取一片厚 20~30 mm 的试片, 沿厚度方向将试片打断, 取一半进行各项试验检测<sup>[1]</sup>。

铸锭各项检测用试样的位置见图 1。

### 铸锭质量分析

#### ➤ 化学成分

按照图 1 所示, 由中心向边部 (1-1→1-7) 取样, 分析 5083 中化学成分偏析程度, 其主要合金元素 Mg、Mn、Cr 化学成分变化趋势如图 2、图 3 和图 4 所示 (注: 图中横坐标 1~7 代表铸锭化学成分取样位置), 其余杂质元素均符合 5083 铝合金标准化学成



1-1~1-7成分分析, 2-1~2-7显微组织检查, 3-1~3-12力学性能检测

图 1 5083 试片取样位置图

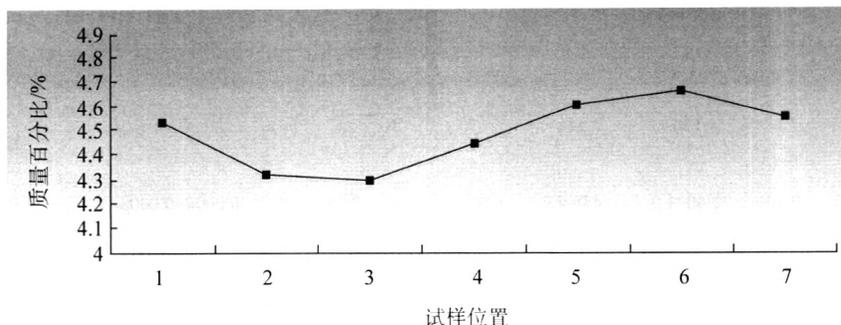


图 2 5083 铝合金 Mg 偏析情况

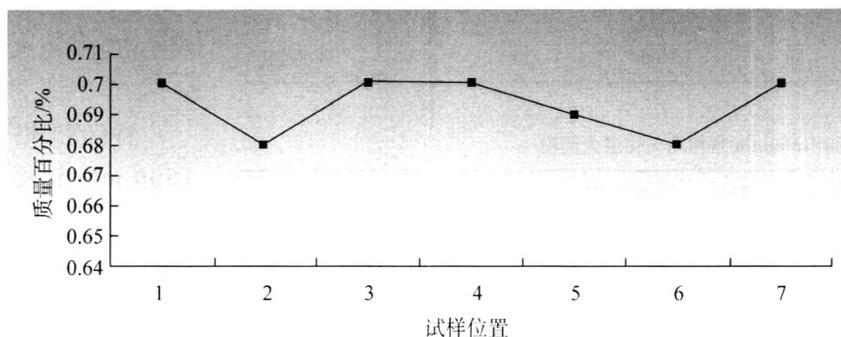


图 3 5083 铝合金 Mn 偏析情况

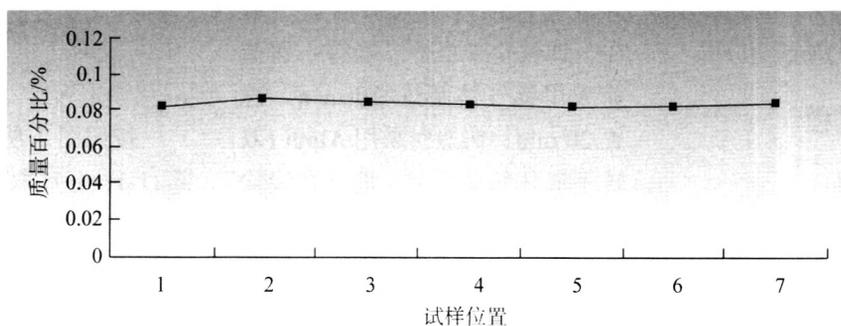


图 4 5083 铝合金 Cr 偏析情况

分要求，由于控制含量低，基本不会产生偏析，也不会对合金组织与性能产生明显影响<sup>[1]</sup>。

从图 2 可以看出，铸锭 Mg 元素平均值为 4.49%，最大差值为 0.36%。符合 5083 铝合金化学成分要求。铸锭 Mg 元素含量最大差值较小，说明铸锭 Mg 元素偏析程度较小，这种现象可能由于铸锭较薄，冷却速度较快的缘故。

从图 3 可以看出，铸锭 Mn 元素平均值为 0.69%，最大差值为 0.02%，符合 5083 铝合金化学成分要求。5083 铝合金化学成分中 Mn 元素含量不是主要元素，含量相对较低，基本上没有产生成分偏析。

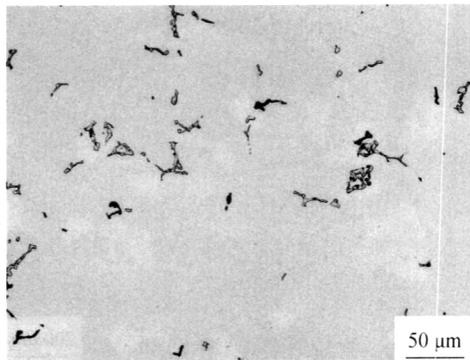
从图 4 可以看出，铸锭 Cr 元素平均值为 0.083%，最大差值为 0.006%。由于 Cr 元素含量较

低，控制相对容易，未见明显成分偏析。

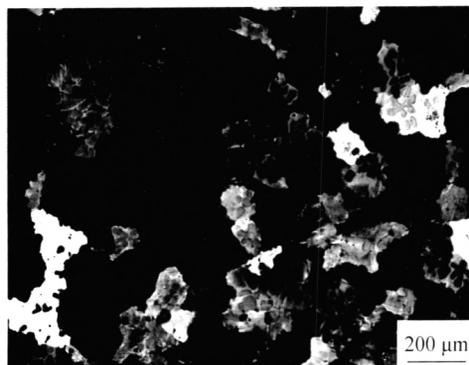
综合图 2、图 3、图 4 可以看出，整个铸锭截面上的各主要合金元素偏析程度较低，并且符合 5083 铝合金标准化学成分要求，有利于铸锭力学性能。

► 铸锭表面质量

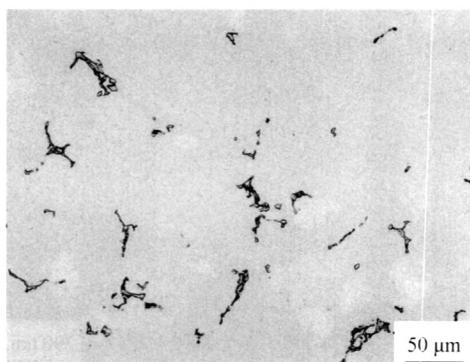
铸锭表面偏析层较薄，无金属瘤、无拉裂、冷隔等表面缺陷。



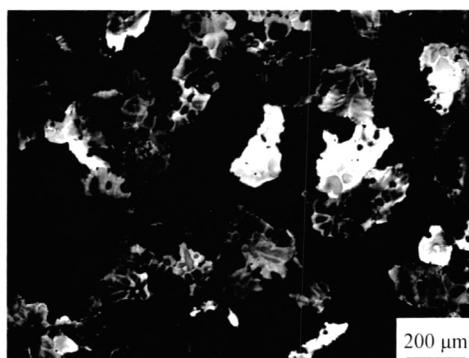
2-1(a)



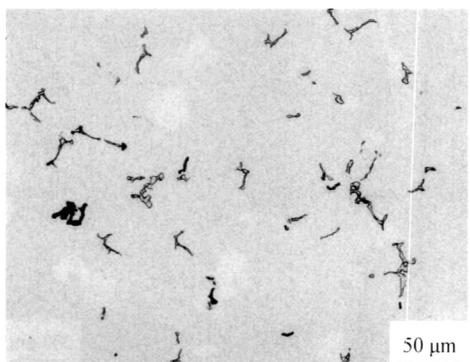
2-1(b)



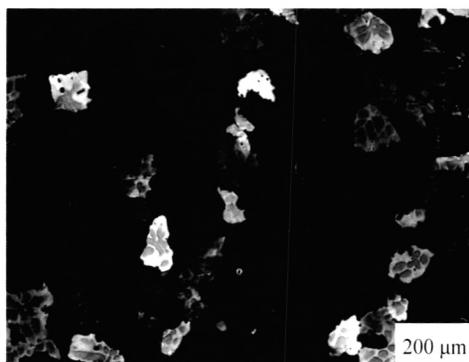
2-2(a)



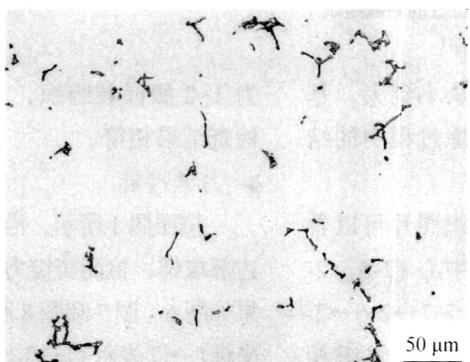
2-2(b)



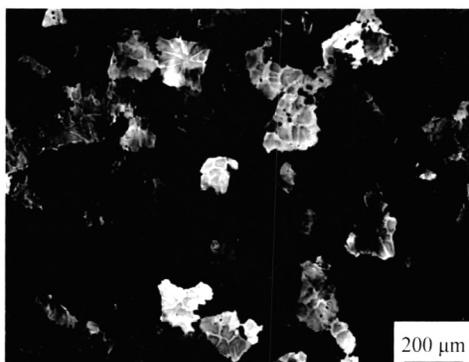
2-3(a)



2-3(b)



2-4(a)



2-4(b)

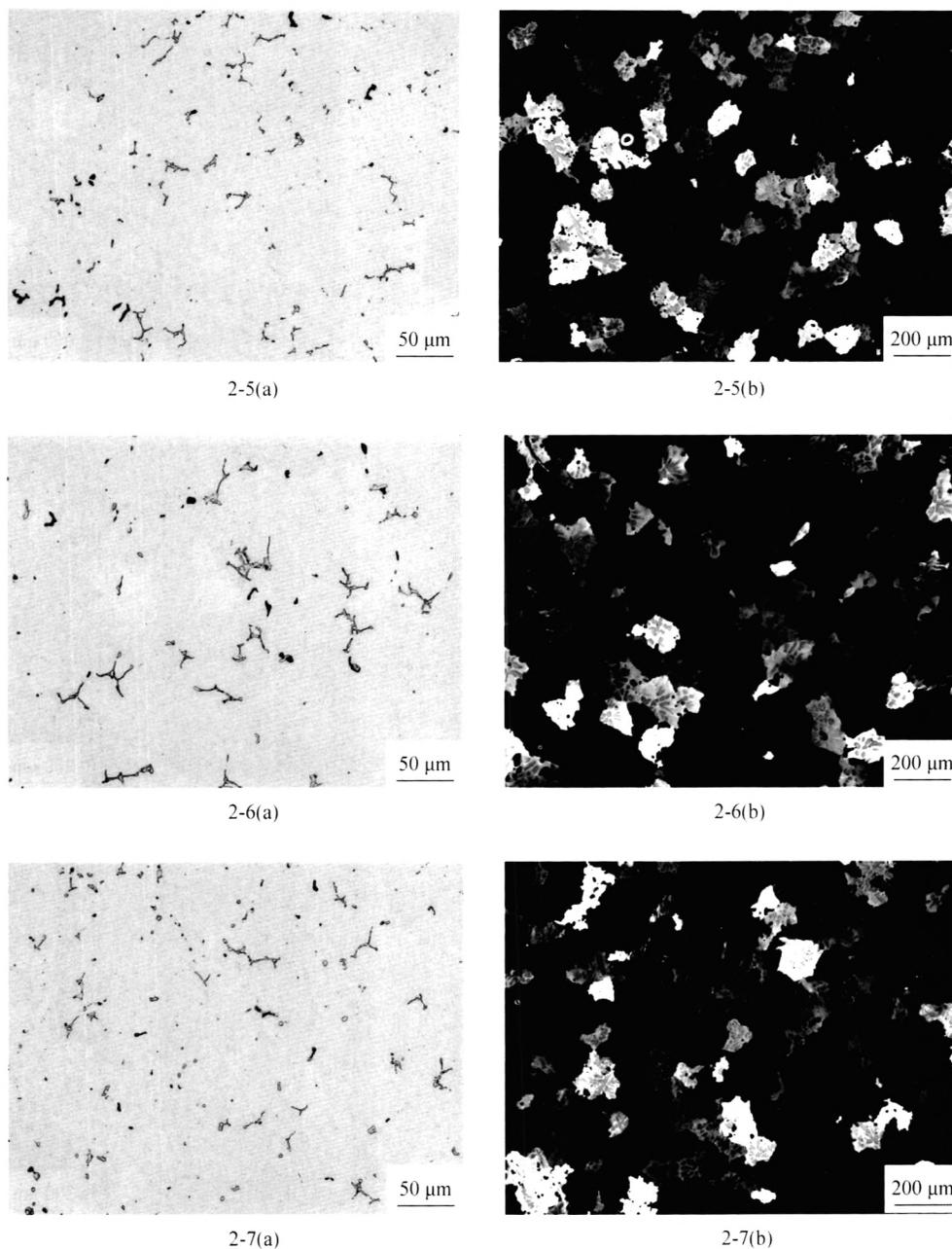


图5 5083 铝合金不同位置的显微组织

➤ 低倍组织

铸锭低倍组织上无气孔、白斑等缺陷。

➤ 显微组织

从图5高倍组织照片可以看出，铸锭从边部到中心(2-5→2-4→2-3→2-2→2-1, 2-7→2-6→2-1)枝晶网络厚，但枝晶间距逐渐

变小较均匀，晶粒从小到大，基本上符合铝合金熔炼过程中的结晶规律<sup>[1]</sup>。

从图5偏光组织照片可以看出，铸锭从边部到中心(2-5→2-4→2-3→2-2→2-1, 2-7→2-6→2-1)晶粒大小趋势与高倍组织相似，对比晶粒等级照片可以看出

为1~2级晶粒组织，与低倍组织检查结果相符。

➤ 力学性能

按照图1所示，沿试片中心至边部取样，检测铸锭力学性能，结果如图6、图7和图8所示(图中横坐标1→12表示3-1→3-12)。

从图6可以看出，铸锭平

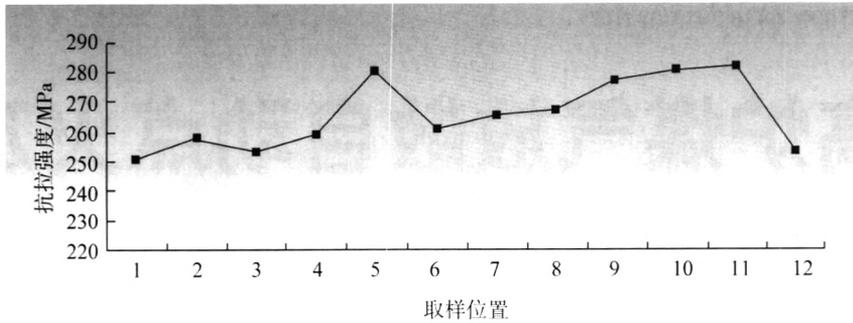


图 6 5083 铝合金抗拉强度检测结果

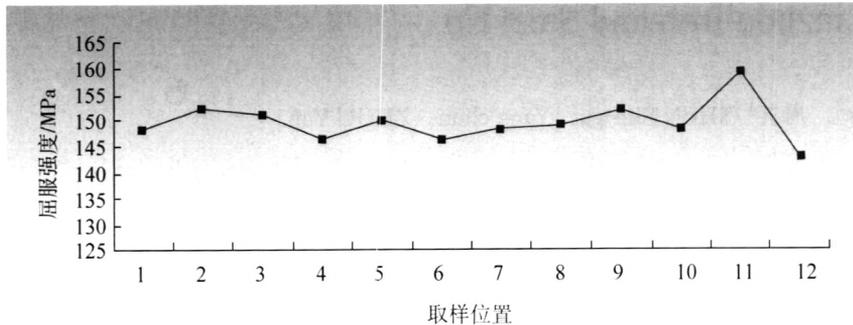


图 7 5083 铝合金屈服强度检测结果

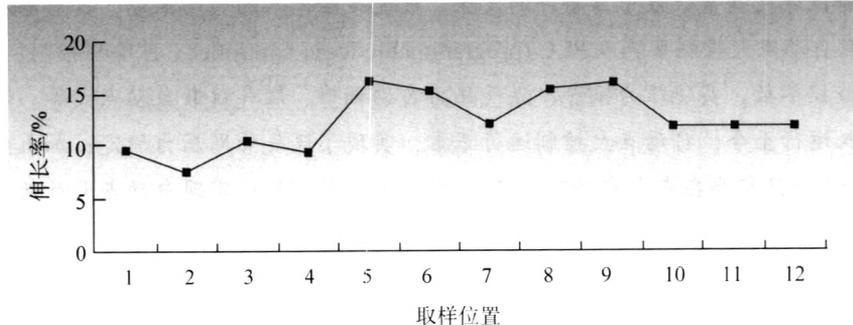


图 8 5083 铝合金伸长率检测结果

均值为 265.6 MPa、最大差值为 31 MPa。

从图 7 可以看出，铸锭平均值为 149.3 MPa、最大差值为 16 MPa。

从图 8 可以看出，铸锭平均值为 12.2%、最大差值为 8.64%。

### 试验结果讨论

#### ➤ 杂质 Fe 和 Si 的控制

Fe 与 Mn 形成难熔金属间

化合物<sup>[2]</sup>，又脆又硬，会破坏铝基体组织的均匀性，降低合金的耐蚀性，使铸锭轧制时容易开裂，故一般控制 Fe<0.4%。Si 的副作用比 Fe 的更大。Si 与 Mg 形成 Mg<sub>2</sub>Si 相，由于 Mg 量过剩时，降低了 Mg<sub>2</sub>Si 在基体中的溶解度，故不但强化作用不大，而且降低合金的塑性。只有当 Si 接近 0.1%，且 Fe 含量足够大时，上述副作用才能减小。所以要确

保 Fe 含量大于 Si 含量，使合金组织中宁可形成极少量不规则的 Al<sub>12</sub>Fe<sub>3</sub>Si 相，也要避免形成 Mg<sub>2</sub>Si 相。<sup>[3]</sup>

#### ➤ 加 Be 对熔体进行保护

5083 铝合金 Mg 含量较高，氧化性大，在熔体表面易生成不致密的、疏松多孔的氧化膜，氧化反应向熔体深度处进行，氧化后的熔体铸造的铸锭表面发

(下转第 73 页)

组也从未发生损坏的情况。最明显的效果为除鳞喷嘴没有再发生过堵塞造成影响除鳞质量等情况。改造后,大幅度提高除鳞质量,对产品质量的提升有很大帮助,得到了全公司上下的一致好评。而且进口喷嘴的维护周期更长,大大节省了第一钢轧厂的人工及备件成本。

通过上述三项大的改造,第一钢轧厂酸洗板的表面质量进一步提升,使酸洗板的命中率提高到90%。同时也进一步提高了冷轧料表面质量,降低冷轧改判率,降低酸洗成本,降低轧辊消耗,热轧厂和冷轧厂年增效约5000万元。

### 结束语

通过对热轧线除鳞系统进行三个方面的改造升级,从根本上解决了品种钢和冷轧料的表面除鳞不净的问题,保证了板坯表面质量的稳定性,提高了产品成材率,降低了质量事故率,为我厂带来了可观的经济效益。

- [1] 王益群,高英杰. 液压AGC系统故障诊断专家系统的实现. 液压气动与密封, 2000, (1): 29-31
- [2] 高殿荣,吴晓明. 工程流体力学. 北京:机械工业出版社, 1999:57-62

(上接第59页)

黑、疏松增加、容易产生夹渣,氧化夹渣易引起应力集中而导致铸锭产生裂纹。因此利用元素Be原子半径小、氧化时发热量大和 $VBeO/VBe > 1$ 等特点,在5083铝合金熔体中加入适量的Be保护熔体,阻止氧化。

当铸锭中晶粒粗大时,结晶末期存在于晶界和枝晶界上的低熔点金属相粗大,而且分布不均匀,所以塑性低,抵抗拉应力的能力降低,裂纹倾向增加;当晶粒和枝晶细小时,分布在晶界和枝晶界上的低熔点金属相分布均匀,塑性提高,抵抗变形能力增强,裂纹倾向减小。因此,在线播种Al-Ti-0.2B丝细化晶粒。但在5083合金中 $B > 2 \times 10^{-6}$ 时,熔体中 $TiB_2$ 质点容易聚集,在铸锭表面形成竖道皱褶缺陷,会成为裂纹源。因此应控制 $B < 2 \times 10^{-6}$ 在线

播种Al-Ti-0.2B进行细化晶粒<sup>[3]</sup>。

### 结束语

5083铝合金260mm×1500mm规格的熔铸工艺为:熔炼温度700~750℃,720℃以上加Mn剂、Cr剂、Mg锭,保证铁含量大于硅含量0.1%,保温炉补0.01%的Ti。铸造前采用氩气体精炼20min,静置20min,铸造时采用Alpur进行在线除气,采用40PPI陶瓷片过滤器进行净化处理。

铸造在线点Al-Ti-0.2B丝440mm/min,铸造温度控制在710~730℃,填充时间为50s,铸造速度为60mm/min,金属液位高度为70mm,冷却水流量为90m<sup>3</sup>/h。

采用该熔铸工艺生产的铸锭能够满足后续加工的化学成分、显微组织、和力学性能的要求:

- 1) 在化学成分中,各合金元

素偏析较小;

2) 在显微组织中,锭晶粒尺寸较为均匀;

3) 铸锭综合力学性能较好。

- [1] 郑力,赵涛,张浩然,等. 复合材料芯材用新型Al-Mn合金的研制. 金属世界, 2011, (5): 61-62
- [2] 肖亚庆,谢水生,刘静安,等. 铝加工技术实用手册. 北京:冶金工业出版社, 2005
- [3] 郝志刚,黄晶,时羽,等. 5083铝合金大规格扁锭熔铸工艺研究. 轻合金加工技术, 2006, (7): 17

### 作者简介

侯显智(1972.8—)男,汉族,籍贯是吉林省靖宇县,高级工程师,长期从事铝加工行业