

1系变形铝合金熔铸工艺过程控制

刘民章

(青海桥头铝电股份有限公司, 青海 西宁 810100)

[摘要] 通过介绍1系铝合金的特性和熔铸工艺的特点可知,铝箔对于1系铝合金熔体的氢含量和夹杂物含量要求很高,且铝合金中的Ti、Fe、Si含量以及Fe、Si相对含量对最终箔材的质量影响很大。为生产高品质的1系箔用铝合金扁锭和铸轧板,从原材料质量控制、化学成分控制、熔炼及精炼工艺控制、在线处理工艺以及铸造工艺控制等方面,简要论述了1系铝合金的熔铸工艺过程控制。

[关键词] 1系变形铝合金; 铝箔; 熔铸; 工艺过程; 分析与控制

[中图分类号] TF821; TG292

[文献标志码] B

[文章编号] 1008-5122(2021)01-0017-06

DOI: 10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.01.003

Process Control of Melting-casting of 1 Series Wrought Aluminum Alloys

LIU Min-zhang

Abstract: By introducing the characteristics of 1 system aluminum alloy and the characteristics of the melting and casting process, it can be seen that the aluminum foil had high requirements for the hydrogen content and inclusion content of the 1-series aluminum alloy melt, and the contents of Ti, Fe and Si in the aluminum alloy and the relative contents of Fe and Si had great influences on the quality of final aluminum foil. In order to produce high quality aluminum alloy slab and cast-rolling plate for 1 series foil, the control of melting-casting process of 1 system aluminum alloy was discussed briefly from the aspects of raw material quality control, chemical composition control, melting process control, on-line treatment process and casting process.

Key words: 1 series wrought aluminum alloy; aluminum foil; melting-casting; process; analysis and control

0 前言

随着国民经济的发展、人民生活水平的提高以及铝合金加工技术的进步,铝合金箔材的应用范围及用量也越来越大,因而对铝箔材质量的要求也越来越高。目前,用来加工生产铝箔的铝合金通常是1系、3系和8系,其中,用量最大的是1系铝合金。

1系铝合金又称为工业纯铝。

铝箔坯料的生产方式有两种,一种是将各种工业纯铝熔铸成扁锭,然后通过均匀化处理、铣面、加热、热轧开坯、冷轧、中间退火、箔轧以及终退等工序加工成所需规格的铝箔材;另一种是通过铸轧方法,先将工业纯铝加工成6~8 mm厚度的铸轧板,然后在通过冷轧、中间退火、箔轧以及终退等工序加工成所需规格的铝箔材。无论采用哪一种方式加工,铝合金的熔铸质量对于最终箔材质量都是非常重要的。本文将对1系铝合金熔铸工艺过程进行分析和讨论。

[收稿日期] 2020-09-30

[作者简介] 刘民章(1961—),男,陕西大荔人,大学本科,高级工程师,主要从事铝加工工艺技术研究工作。

1 1系铝合金的化学成分、相组成及熔铸工艺特点

1.1 1系铝合金的化学成分

常见1系铝合金的化学成分见表1。

由表1可以看出,工业纯铝中以Si、Fe为主要合金元素,除1100和1A20合金有意添加Cu元素或Cu、Mn元素外,其余元素均可以认为是以杂质形

式存在于其中。

1.2 1系铝合金的相组成

根据合金元素含量的不同,通常工业纯铝中的主要相为: α (Al)、 $\alpha + \text{FeAl}_3$ 、 $\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}$ 和 $\alpha + \text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}^{[1]}$ 。此外,在熔体含有一定量Cu、Mn的情况下,还可能出现 CuAl_2 和 FeMnAl_6 相^[2]。当合金中的Fe、Si相对含量即 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{Si})$ 比值控制不当时,还会出现 $\beta\text{-Fe}$ 相($\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{Al}_9$)。

表1 常见1系铝合金的化学成分

牌号	化学成分/%									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	其他		Al
								单个	合计	
1070	0.20	0.25	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	-	99.70
1060	0.25	0.35	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	-	99.60
1050	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	-	99.50
1350	0.10	0.40	0.05	0.01	-	0.05	-	0.03	0.10	99.50
1145	Si + Fe:0.55		0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	-	99.45
1100	Si + Fe:0.95		0.05 ~ 2.20	0.05	-	0.10	-	0.05	0.15	99.00
1200	Si + Fe:1.00		0.05	0.05	-	0.10	0.05	0.05	0.15	99.00
1235	Si + Fe:0.65		0.05	0.05	0.05	0.10	0.06	0.03	-	99.35
1A20	0.15	0.25	0.20 ~ 0.25	0.15 ~ 0.20	-	-	0.01	0.01	-	99.00

1.3 1系铝合金的熔铸工艺特点

1)1系铝合金铸锭或铸轧板主要用于生产铝箔材料,其加工成品的厚度非常薄(目前已经达到0.0055~0.0065mm)。只有当熔体中的氢含量及夹杂物含量足够低时才可以实现,即熔体要具有很高的洁净度。

2)由表1可以看出,1系铝箔用铝合金铸锭或铸轧板中的Ti含量很低,通常为0.03%,最高只有0.05%,最低仅为0.01%。因此,在熔铸过程中,要想通过向熔体中添加Al-5Ti-1B晶粒细化剂的方法来获得细小的等轴晶粒,难度相当大,形成粗大晶粒的可能性比较高,熔铸产品产生裂纹、疏松缺陷的可能性大。此外,合金组织中存在 FeAl_3 、 $\alpha\text{-Fe}$ 相、 $\beta\text{-Fe}$ 相以及 FeMnAl_6 相等金属间化合物。它们很硬,而且具有很大的脆性,且形貌多为针状或板条状,在其尖角处应力容易集中,从而导致铸锭或铸轧板开裂;在轧制过程中,也会由于它们的存在而导致箔材产品的针孔和裂纹缺陷增多。

料的质量要求比较高。主要从以下几个方面控制炉料质量:

2.1.1 电解铝液的质量控制

在使用电解铝液直接配料生产1系铝合金铝箔坯料的短流程工艺中,电解铝液的添加量通常为炉料总量的60%~70%。因此,电解铝液的质量对于高品质铝箔坯料的生产非常重要。当所生产坯料的化学成分(主要是Fe、Si含量)确定之后,由电解槽向真空抬包中抽取电解铝液时,应根据每个电解槽中电解铝液的预分析结果,选择性地抽取铝液。基本原则是:电解铝液中的Fe、Si含量应比铝箔坯料所要求的Fe、Si含量低一些。因为一旦电解铝液中的Fe、Si含量高于所生产铝箔坯料中的Fe、Si含量,在配料和熔炼过程中,熔体中的Fe、Si含量将不好控制,甚至必须采取冲淡措施。冲淡措施涉及的不仅是Fe、Si含量,合金中的所有元素含量都必须考虑,这将会使熔炼变得非常复杂。而采用Fe、Si含量较低的电解铝液时,如果合金熔体中的Fe、Si含量低于坯料成分规定的Fe、Si含量,可以根据炉前化学成分分析结果,通过向熔体中添加Fe剂和Si剂,实现Fe、Si含量的准确控制。

2 1系铝合金熔铸工艺过程控制

2.1 炉料质量控制

由于1系铝合金主要用于加工生产铝箔,对炉

此外,电解铝液具有杂质含量(如 Fe、Si、Na 和各种非金属夹杂物)高和氢含量高的特点^[3],也就是说,电解铝液非常“脏”。对于外观质量和内在质量要求严格的铝箔坯料来说,直接将很脏的电解铝液注入熔炼炉进行配料生产铸锭或铸轧板,很难保证所生产坯料的质量。因此,在电解铝液入炉前,必须对其进行预处理。通过预处理,将电解铝液中的各种非金属夹杂物、溶解氢和 Na、K、Li、Ca 等碱金属除去。电解铝液预处理所使用的精炼剂为无水氟化铝(AlF_3),使用的精炼气体为高纯氩气^[4]。

2.1.2 电解铝液入炉方式控制

如何将经过预处理的电解铝液转入熔炼炉,即电解铝液的转注方式对于有效减少合金熔体中夹杂物(主要是 Al_2O_3)含量和氢含量以及改善熔体质量很重要。常用的“小瀑布”转注方式不仅在转注过程中会产生大量的 Al_2O_3 夹杂物,而且会将大量氢卷入熔体中。因此,在铝箔坯料熔铸生产中,理想的电解铝液转注方式应该是采用虹吸管装置进行转注^[5]。采用这种方式,在转注过程中,电解铝液将会在熔池内铝液的次表层下流动,避免电解铝液与熔池底部及熔体表面发生强烈碰撞而造成铝液氧化和强烈吸氢。

2.1.3 固体炉料的质量控制

固体炉料主要包括重熔铝锭和回炉料。在铝箔坯料熔铸过程中添加固体炉料,不仅可以使高温电解铝液降温,而且还可以增加合金熔体中非自发晶核数量,有利于合金坯料获得细小的等轴晶粒。

固体炉料的质量控制应从以下几个方面入手:1) 固体炉料存储时应用篷布遮盖,避免炉料长期暴露于空气中产生比较厚的氧化层并吸附较多的水分,减少粉尘对炉料的污染,因为粉尘通常含有较多的 SiO_2 ,而 SiO_2 进入熔体中,势必会造成熔体中 Si 含量增加,不利于熔体化学成分的准确控制;2) 在配料时,应控制带气孔、疏松、裂纹以及含粗晶组织(包括粗大晶粒、羽毛晶和光亮晶)炉料的添加量,因为铝合金炉料具有纯度遗传和组织遗传效应^[6]。

生产实践证明,为减少熔铸产品中气孔、疏松、裂纹及粗晶组织出现的几率,工艺废料添加量应控制为炉料总量的 15% ~ 20%^[7]。此外,在铝箔坯料熔铸生产中,应尽量避免使用轻薄料,因为轻薄炉料具有较大的比表面积,在熔炼过程中很容易被氧化造渣,使溶蚀中夹杂物含量上升。

2.2 化学成分控制

化学成分控制对于高品质 1 系铝箔坯料的熔铸十分关键。1 系铝箔坯料的化学成分控制主要是合金熔体中 Fe、Si 含量控制。合适的 Fe、Si 含量及 Fe、Si 相对含量对于优化合金组织中金属间化合物的组成、改善铸造性能、降低铝箔坯料的裂纹和疏松倾向非常关键。通常,应控制 $\omega(\text{Fe}) > \omega(\text{Si})$,且 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{Si}) > 1$,才能避免在合金凝固过程中生成有害作用更大的 $\beta\text{-Fe}$ 相($\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{Al}_9$),而变为生成有害作用较小的 $\alpha\text{-Fe}$ 相($\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}$)^[1-2,8-9]。 $\beta\text{-Fe}$ 相在铝合金中呈粗大针片状,在凝固过程中可以长得很长,具有很大的脆性,对铝基体有严重的割裂作用,是铸造和后续压力加工过程中的裂纹源。它们的存在会迅速降低铝合金的塑性和强度。此外,粗大针片状 $\beta\text{-Fe}$ 相在凝固过程中会堵塞枝晶间的补缩通道,从而导致铝合金组织产生显微疏松缺陷,并在后续压力加工过程中造成箔材针孔、裂纹甚至断裂缺陷的增加^[9-10]。因此,通过控制 Fe、Si 含量及 $\omega(\text{Fe})/\omega(\text{Si})$ 比值改变合金中的相组成,以达到减少有害相的产生,是高品质箔材坯料生产的有效工艺途径。

2.3 熔炼及精炼工艺控制

由于铝箔坯料质量要求比较高,合金熔炼极为重要。熔炼工艺对合金熔体质量的影响主要体现在熔炼工具处理、熔炼温度和熔炼时间控制、搅拌方式选择、炉内停留时间和炉内精炼控制等方面。

2.3.1 熔炼工具处理

2.3.1.1 铁质工具的处理

铝合金熔炼过程中会使用到一些钢质工具,如渣铲、扒渣工具、精炼管等。由于钢质工具在铝合金熔体中的腐蚀溶解速度很快,这些工具在使用过程中会造成铝合金熔体的铁含量增加,影响箔材坯料的化学成分准确性,进而影响铝制品的性能。因此,在使用这些工具前,应认真清理其表面(必要时用砂布打磨),然后用钛白粉(主要成分 TiO_2)或氮化硼涂料对其表面进行涂刷,并进行干燥处理。

2.3.1.2 耐火材料表面处理

铝合金熔炼过程中,铝合金熔体通过溜槽由熔炼炉进入保温炉,然后进入在线除气箱和在线过滤箱,最后经过浇注溜槽进入结晶器。而这些溜槽和箱体内衬通常都采用 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系耐火材料砌筑而成。由于机械碰撞和铝熔体的冲刷,这些耐火内衬在使用一段时间后,都会出现不同程度的破损。如

果不及时进行修补处理,必然会对铝熔体产生 SiO_2 污染,不仅导致熔体中夹杂物含量增加,而且会导致熔体硅含量增加,影响铝箔坯料的冶金质量。因此,在使用这些溜槽和箱体前,应对耐火内衬破损处进行修补和打磨,然后用钛白粉(主要成分 TiO_2)或氮化硼涂料对其表面进行涂刷,并进行干燥处理。

2.3.2 熔炼温度与熔炼时间控制

在1系铝合金(工业纯铝)熔炼中,熔炼温度很重要。如果熔炼温度低,熔炼速度就慢,铝合金在炉内的停留时间就长,不仅会影响熔铸工序生产率,而且会造成熔铸产品出现粗晶缺陷,同时还会增加熔体吸气的几率;如果熔体温度过高,虽然能加快熔化速度,但同时也会导致熔体的烧损程度加重,造成熔体中氧化夹杂物含量和氢含量增加,还会增加粗大晶粒出现的几率。1系铝合金熔炼时,理想的熔炼温度是在铝合金液相线温度的基础上增加 $50 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$,通常控制其熔炼温度在 $700 \sim 750 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[11]。熔化完成后,为避免因熔体过热而造成晶粒粗大现象发生,熔体在炉内的停留时间最好不要超过 2 h ^[1]。

2.3.3 熔体搅拌方式选择

铝合金熔炼过程中的熔体搅拌可分为人工搅拌、机械搅拌和电磁搅拌三种方式。

2.3.3.1 人工搅拌

人工搅拌是依靠操作人员手持钢制搅拌工具对熔池内的铝熔体进行搅拌。由于这种搅拌方式对操作人员的身体健康伤害较大,搅拌时间长,搅拌过程中熔体表面的氧化膜遭到破坏,且不能保证搅拌后熔体化学成分和温度的均匀性,熔体中的氧化夹杂物含量和氢含量也会增加,并且由于搅拌工具为铁质,长时间在铝熔体中游弋,还会造成铝熔体的铁含量小幅增加。因此,目前除个别小型熔铸厂外,这种搅拌方式已经被淘汰。

2.3.3.2 机械搅拌

机械搅拌是利用扒渣车前端的扒渣板在熔体中的往复运动进行搅拌。采用这种搅拌方式时,虽然搅拌效果(熔体温度与化学成分的均匀性)远远优于人工搅拌,但由于扒渣板的面积比较大,即使以很慢的速度进行搅拌,也很有可能造成熔池内铝熔体的强烈翻腾,导致熔体中氧化膜遭到破坏、氢含量剧增,同时,因机械搅拌而产生的铁含量增加也比人工搅拌大得多。

2.3.3.3 电磁搅拌

电磁搅拌是一种新兴的铝熔体搅拌技术,通过

安装在熔炼炉底部的电磁搅拌器对熔体进行非接触式搅拌。通过调整电流强度来调节电磁搅拌力的强度,可以将因搅拌引起的熔体翻腾波峰高度控制在 6 mm 以内,整个搅拌过程中熔体表面的氧化膜不会遭到破坏,因此,不会造成熔体中夹杂物含量和氢含量增加。电磁搅拌可以在较短的时间(15 min)内实现熔体化学成分和温度的均匀性(熔体表面和底部的最大温差不超过 $5 \text{ }^\circ\text{C}$,各部位合金元素浓度偏差不超过 10%),并且由于电磁搅拌是非接触式搅拌,搅拌过程不会造成熔体铁含量增加从而影响熔体化学成分稳定性^[12-16]。因此,电磁搅拌是1系铝合金熔体的首选搅拌方式。

2.3.4 熔炼炉内熔体预精炼工艺控制

为了将“干净”的1系铝熔体转注进入保温炉,在炉料熔化并达到 $735 \text{ }^\circ\text{C}$ 后,在熔炼炉内对熔体进行预精炼。具体方法是,将提前用四氯化碳(CCl_4)溶液浸泡过的耐火砖(通常为8块)放置于熔炼炉熔池底部的不同位置,利用 CCl_4 分解产生的 Cl_2 与熔体中的碱金属元素和溶解氢发生反应,生成碱金属氯化物和 HCl 气体,从而达到除碱和除氢的目的。



与此同时, Cl_2 还与金属铝发生反应生成不溶于铝液的氯化铝气体。



熔体中未参与反应的 Cl_2 和反应生成的 HCl 、 AlCl_3 以气泡形式存在于铝液中,并随时间的延长逐渐上浮。在上浮过程中,溶解氢进入气泡,而熔体中的夹杂物则吸附于气泡表面,随气泡上浮至熔体表面而除去。当熔池底部的精炼砖不再有气泡冒出时,就表明预精炼过程完成。此后,对铝熔体进行约 10 min 的静置处理,然后扒渣、分析成分并转炉。

2.3.5 保温炉内熔体精炼

2.3.5.1 炉底透气砖精炼

熔体转入保温炉并进行适当调温处理(温度不低于 $735 \text{ }^\circ\text{C}$)后,将高纯氩气由炉底透气砖通入铝液中,利用高纯氩气气泡的吸附作用和分压差原理对熔体进行除氢和除渣处理。

2.3.5.2 载氩喷粉精炼

在进行炉底透气砖精炼的同时,以高纯氩气为载体将粉状无钠精炼剂喷入熔体中,利用精炼管在铝液中的移动将精炼剂均匀喷洒在熔体中。喷粉精炼温度不低于 735 ℃,精炼时间不少于 15 min。精炼后,静置、扒渣并用无钠覆盖剂对熔体进行保护。

2.3.5.3 静置时间控制

通常,合金熔体精炼完成后,除氢效果和除渣效果并不是立即就能达到最好,熔体中的氢含量和渣含量逐渐降低,需要静置一定时间才能使熔体中的氧化夹杂物上浮至液面。静置时间设定既要能够保证熔体质量,又要能够提高熔铸生产效率。静置时间过短,不利于精炼后熔体的澄清;而静止时间过长,则除了对熔铸生产效率产生不利影响外,还会造成熔体的再吸氢和再氧化,使熔体中的氢含量和氧化夹杂物含量上升,导致熔体质量恶化,无形中增加了生产线上在线净化装置的负担。

张忠华等人^[17]的试验表明,熔体净化后,如果不立即扒去铝液表面浮渣,需要的静置时间就相对较长,一般为 10~12 min;如果精炼后立即扒去铝液表面的浮渣,最佳静置时间相对较短,一般只需要 5~6 min 即可进行铸造。然而,丁华国^[18]认为,经过静置炉内精炼后,铝熔体的静置时间与氢含量的关系表现为:一开始氢含量下降,静置约 2 h 后,铝熔体又开始吸氢。一般情况下,从铸造开始到结束,铝熔体在静置炉内的停留时间都会超过 2 h,特别是采用铸轧法生产铝箔铸轧坯料时,其停留时间远远超过 2 h。因此,即使取消静置时间,熔体在静置炉内的停留时间也会接近或超过 2 h。而在静置期间,熔体温度通常为 700~730 ℃,在高温下延长熔体的炉内停留时间,实质上会消耗能源和加重金属烧损程度,增加熔体的氧化和吸氢量。因此,不应该取消静置时间,但在生产安排许可的情况下,可以将静置时间压缩至 10 min 以内。

2.4 在线处理工艺控制

2.4.1 在线添加晶粒细化剂

由于 1 系铝箔坯料中的 Ti 含量很低(通常为 0.03%~0.05%,最低的仅为 0.01%),必须严格控制晶粒细化剂的加入量。同时,因为工艺废料中也含有一定的 Ti,回炉料的加入量也必须控制,否则会造成 Ti 含量超标。如果能够将生产工序组织紧凑,使熔炼至铸造(铸轧)结束的总时间不超过 2 h,

那么可以通过在保温炉内添加 Al-4Ti 或金属钛剂对熔体进行晶粒细化处理。然而,在现实生产中,要在 2 h 内完成整个熔铸生产是不可能的,因此,在保温炉内添加晶粒细化剂的方法不可行,否则会因为熔体保温时间过长而造成晶粒细化效果衰退,导致铝箔坯料出现粗大晶粒组织。

理想的晶粒细化剂添加方法是,在放流铸造(铸轧)开始后,在线除气装置入口处,用喂丝机逆流将高品质 Al-5Ti-1B 细化剂添加到溜槽中,控制添加温度为 730~740 ℃,便可获得令人满意的晶粒细化效果。

2.4.2 在线除气

目前,在铝合金熔铸生产中普遍采用封闭式在线除气装置。将高纯氩气通过石墨转子的空心轴孔通入铝熔体中,石墨转子旋转所产生的离心力将氩气打碎成大量细小的气泡,使其弥散分布于熔体中,然后利用分压差原理使熔体中的氢进入气泡,而悬浮于熔体中的氧化夹杂物则在物理吸附原理作用下吸附于气泡表面,最后通过气泡上浮将氢和夹杂物带至熔体表面而除去,从而达到在线净化熔体的目的。通常,在线除气的工艺参数为:氩气纯度 > 99.996%,氩气流量为 1.5~2 m³/h,工作压力为 0.15 MPa,石墨转子转速为 340 r/min。

2.4.3 在线除渣

在线除渣是铝箔坯料熔铸生产中的最后一道熔体净化工序,对于铝箔坯料的内在质量有非常重要的影响。根据铝箔制品的质量要求,采用 30ppi/50ppi 或 40ppi/60ppi 的双级过滤陶瓷泡沫过滤板孔目搭配,可获得较为理想的熔体过滤效果。

2.5 铸造/铸轧工艺控制

铸造工艺参数对 1 系铝合金铸锭质量的影响很大,其核心是在熔体成分和工艺装备确定的条件下,通过合理搭配铸造温度、铸造速度和冷却强度,生产出表面质量和内在质量优良的铸锭。铸造工艺装备不同,铸造工艺参数存在较大的差异。对于 1 系铝箔坯料生产来说,由于熔体中的细化剂元素的 Ti 含量很低,仅仅依靠微量 Ti 的添加,要想获得具有细小等轴晶组织的铝箔坯料非常困难,因此,在铸造(铸轧)时,应采用较大的冷却强度。

对于铝箔用 1 系铝合金铸轧坯料来说,铸造工艺参数控制相对于铸锭生产要复杂得多。1 系铸轧板的铸造工艺参数包括铸轧区长度、铸轧温度、前箱液面高度、冷却条件、铸轧速度、轧制力以及

铸嘴内部结构等^[19]。除了表面质量和内在质量外,铝箔用1系铸轧板还有一项重要的质量指标,即板形控制。板形控制是指铸轧坯料横向各部位是否产生波浪和瓢曲,对铝箔的针孔和断带等缺陷的影响很大。

因此,应重点从以下几个方面进行工艺参数控制^[20]:1)控制前箱液面高度在 40 ± 0.5 mm;2)控制前箱铝液温度(即浇注温度或铸轧温度)在 $695 \sim 700$ °C;3)为确保铸嘴内部化学成分、流场和温度场均匀分布,采用三级分配的铸嘴结构;4)控制铸轧区长度在 $55 \sim 60$ mm;5)控制嘴辊间隙在 $0.45 \sim 0.50$ mm;6)确保轧辊冷却强度不小于 0.25 MPa;7)在冷却强度一定的情况下,将铸轧速度控制得相对低一些($1\ 000 \sim 1\ 050$ mm/min)。

3 结束语

1系铝合金是变形铝合金中最为常见的一个合金系列。从表面上看,由于其所含的元素以Fe和Si为主,熔铸工艺控制似乎比较简单,但是由于Fe、Si含量以及Fe、Si相对含量(即铁硅比)对铝合金凝固过程中形成的第二相化合物的类型、形貌影响很大,而第二相化合物的类型、形貌会严重影响合金的铸造性能以及裂纹和疏松等缺陷的产生,进而影响铝箔轧制过程中的针孔、裂纹、断带等。因此,必须了解和掌握1系合金的特性和熔铸工艺特点,通过有机结合生产设备、生产工艺和人员操作经验,进行准确的1系铝合金熔铸工艺过程控制,才能生产出高品质的1系箔用铝合金扁锭和铸轧板。

[参考文献]

- [1] 唐剑,王德满,刘静安,等. 铝合金熔炼与铸造[M]. 北京:冶金工业出版社,2009:7.
- [2] 迟福全,冯正海,单长治,等. 1A20 铝合金熔铸工艺研究[J]. 轻合金加工技术,2003,31(11):13-16.
- [3] 杜选科,沈海鸥,邱金山,等. 用电解铝液生产铝加工坯料的熔体净化方法探讨[J]. 铸造技术,2010,31(6):780-783.
- [4] 周秉才,刘民章. 炉料质量对铝合金熔铸质量的影响及其应对措施[J]. 有色冶金节能,2018,34(4):21-26,30.
- [5] 刘民章,李贤,穆小杰. 虹吸管在铝液转注中的应用[J]. 有色设备,2012(2):28-30.
- [6] 《铸造有色合金及其熔炼》联合编写组. 铸造有色合金及其熔炼[M]. 北京:国防工业出版社,1980:116-117.
- [7] 贾娟娟,张能发,刘民章. 大直径6082 铝合金圆铸锭热顶铸造工艺技术研究[J]. 有色冶金节能,2018,34(6):34-37.
- [8] 于帆,魏继承,郝志刚. 1200 铝合金熔铸工艺研究[J]. 轻合金加工技术,2003,31(10):11-13,23.
- [9] 傅高升,陈文哲,康积行. 工业纯铝中杂质的存在形态、危害及对策初探[C]//中国机械工程学会第三届全国青年学术会议文集,1998:437-441.
- [10] 高建伟. 硼化物对铝熔体中杂质铁的净化作用及机理[D]. 上海:上海交通大学工学,2009.
- [11] 武元,梁鲁清. 电解铝液直接生产1235 合金双零箔铸轧坯料的工艺研究与实践[J]. 铝加工,2015(5):36-39.
- [12] 李宝君. 电磁搅拌器对提高铝熔体质量的作用[J]. 轻金属,2004(9):53-54.
- [13] 沈海鸥. 电磁搅拌器在75 t 铝合金熔炼路中的应用[C]//全国第十四届轻合金加工学术交流会议论文集,2009:152-154.
- [14] 李同杰. 电磁搅拌技术在铝熔铸中的应用[J]. 有色金属加工,2006,35(4):42-44.
- [15] 李旺太. 电磁搅拌在铝熔炼炉中的应用[J]. 铝加工,2010(6):30-34.
- [16] 卢载浩,王祝堂. 铝合金熔炼过程中采用电磁泵搅拌的优点[J]. 轻合金加工技术,2010,38(4):10-12.
- [17] 张忠华,边秀房. 铝熔体精炼处理后确定最佳浇注时间的研究[J]. 铸造,1999(11):1-3,7.
- [18] 丁华国. 取消铝熔体“静置时间”及优化净化相关工艺操作的探讨[J]. 轻合金加工技术,2011,39(9):31-34,69.
- [19] 杨刚,马宁,何慧刚,等. 轧制0.005 mm 铝箔用铸轧坯料的工艺研究[J]. 轻合金加工技术,2007,35(3):16-18,55.
- [20] 刘民章,百世森,张雁成. 宽幅3102 铝合金铸轧板生产工艺研究[J]. 铝加工,2016(6):17-21.