DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.07.009

铝钛硼细化剂添加时间对 A356 铝合金中 B 元素吸收率的影响

于占举,申玉彬,蔺文学,张海鹏
(滨州盟威戴卡轮毂有限公司,山东 滨州 256600)

摘　要:铝钛硼作为最常用的铝合金细化剂之一,在现场使用过程中存在细化能力无法完全发挥的问题。研究铝钛硼添加时间对铝钛硼吸收率及对组织细化效果的影响。结果表明,添加时间与吸收率和组织细化效果均呈反比关系;延迟添加铝钛硼合金的时间节点,B 元素的吸收率和细化效果逐渐提高;浇包内铝-钛-硼添加的较佳时间为开始除气 8 min 时添加。

关键词:铝钛硼;A356 铝合金;细化能力;吸收率;添加时间

中图分类号:TG292　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)07-0633-04

Effect of Addition Time of Al-Ti-B Refiner on the Absorptivity of Element B in A356 Aluminum Alloy

YU Zhanju, SHEN Yubin, LIN Wenxue, ZHANG Haipeng
(Binzhou Movever Dicastal Co., Ltd., Binzhou 256600, China)

Abstract: Al-Ti-B is one of the most commonly used refining agents for aluminum alloys. In the process of field use, there was a problem that the refining ability cannot be fully developed. The effects of Al-Ti-B addition time on Al-Ti-B absorptivity and microstructure refinement were studied. The results show that the addition time is inversely related to the absorptivity and the effect of microstructure refinement. The absorptivity and refining effect of element B are gradually improved when the time node of adding Al-Ti-B alloy is delayed. The proper time to add Al-Ti-B in the casting ladle is 8 min after the start of degassing.

Key words: Al-Ti-B; A356 aluminum alloy; refiner ability; absorption rate; adding time

随着人们对晶粒细化现象认识的不断深化,提出了很多晶粒细化理论,其中比较有代表性的有[1,2]:包晶反应理论、粒子理论(碳化物粒子理论、硼化物粒子理论)、复相形核理论、晶粒分离和增殖理论以及界面富 Ti 过渡区理论等。目前对铝钛硼合金的晶粒细化机理众说纷纭,并未形成统一认知;但大部分学者认为其作用机理与其内部的 $TiAl_3$ 和 TiB_2 两种金属化合物有关,尤其是 TiB_2 粒子的大小和数量。

TiB_2 粒子的熔点为 2 920 ℃,在铝液中的状态比较稳定,不易受温度的影响而分解。根据铝钛硼生产工艺的不同,铝钛硼合金中的 TiB_2 粒子大小也不尽相同。根据 TiB_2 和 $TiAl_3$ 的大小,铝钛硼合金又分为不同的等级。其中 TiB_2 组织的形态对 AlTi5B1 合金细化特性存在着明显的影响[3]。TiB_2 粒子之间有很强的亲和力,TiB_2 质点的聚集倾向随时间的延长而加大,铝液中过量的 TiB_2 粒子会相互碰撞、聚集和沉淀,所以在铝液中不易添加过量的铝钛硼中间合金;但是铝钛硼的添加量降低后,铝液的细化效果就无法达到最佳值,所以铝钛硼的最佳添加量(w)一般在 0.15%~0.20%。

作者注意到在生产现场应用中添加 0.2%的铝钛硼时,晶粒细化效果的波动较大;同时注意到铝液中 B 元素的含量远远未达到理论值。作者认为可能是铝钛硼的添加方式造成了铝钛硼中间合金的吸收率低下。因此,本文拟从改变铝钛硼的添加时间入手,研究其对 B 元素吸收率和晶粒细化效果的影响,希望为实际生产提供指导。

1　试验材料和方法

在熔炼炉内铝合金液成分调整合格后,将铝液温度控制在 750 ℃,静置一定时间后出料。将铝合金液流入到透气浇包中并进行除气精炼,除气精炼时间为 10 min,除气压力设定 0.3 MPa,除气流量为

收稿日期:2020-03-30

作者简介:于占举(1991-),山东聊城人,本科,助理工程师.主要从事铝合金熔炼工艺研究.电话:15275439872,E-mail:1510968068@qq.com

20 L/min。分别在同一静置炉出料的浇包除气开始0(放料前添加)、2、4、6、8 min 后添加 AlTi5B1 合金晶粒细化剂,添加量(w)为 0.2%。

除气精炼完毕后，经扒渣后取铝液成分试样，利用 QSN750-Ⅱ型直读光谱仪进行检测,成分如表1 所示。

表1 A356合金液的成分 w(%)
Tab. 1 Chemical composition of A356 alloy molten

Al	Si	Mg	Sr	Ti	Fe
余量	7.300	0.293	0.022	0.127	0.104

除气精炼完毕扒渣后取 KBI 环模试样[4],KBI 环模试样的钢环直径为 50 mm、高 20 mm,底座采用轻质耐火砖,在环模室温下进行浇铸。试样凝固后在距底面 3 mm 处加工金相试样,抛光后用 $FeCl_3$ 溶液进行腐蚀,在 Stemi2000-C 显微镜下拍照,采用截距法测量晶粒平均直径。

铝液温度为 710~720 ℃时浇入预热至 200 ℃的金属型拉伸模具中,制作成拉伸试样进行力学性能检测,拉伸试样如图 1。

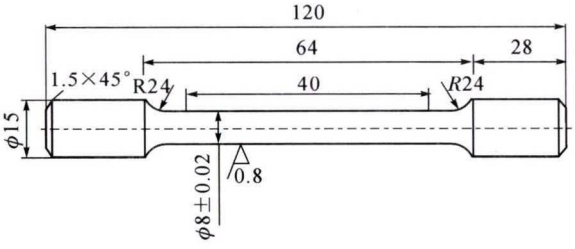
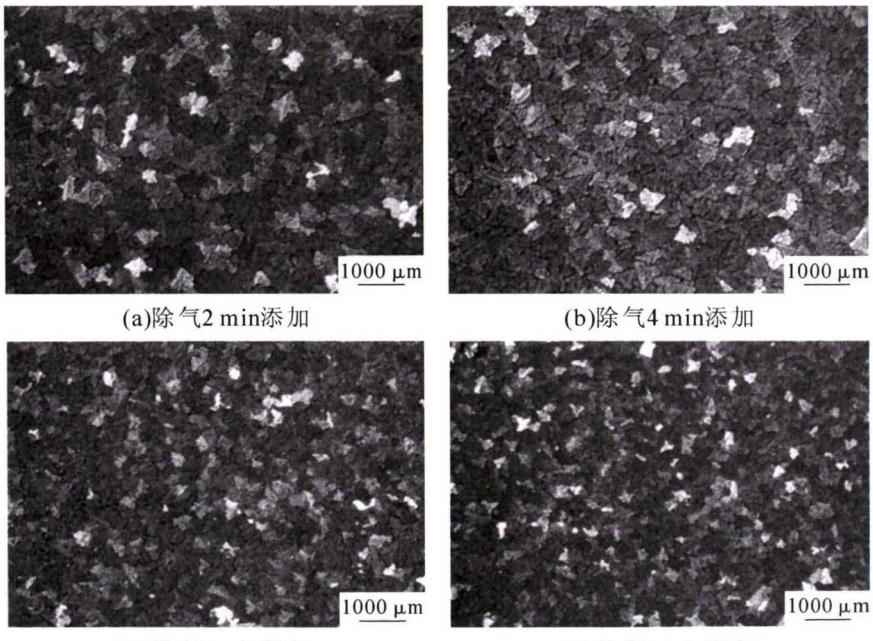


图 1 拉伸试样示意图
Fig.1 Schematic diagram of tensile specimen

2 结果及讨论

众所周知，铝液在转入低压机保温炉前必须经过除气精炼处理，除气精炼设备一般为转子除气机或透气浇包。除气精炼时，将惰性气体通入铝液底部,使其形成大量的弥散小气泡;气泡在铝液中上浮的过程中,惰性气体与铝液中 H 形成分压差并且气泡表面会吸附氧化夹渣；氧化渣和铝液中的 H 会随气泡上升而被带出熔液表面，使熔液得以净化[5]。

透气浇包除气精炼的过程中，作者注意到随着除气精炼过程的进行,除气气泡发生破碎,铝液表面溅出固体状小颗粒。同时作者对浇包除气精炼完成后的铝液成分进行了检测,检测时发现 B 元素的检测值仅为 0.000 6%。由于浇包放料前（除气 0 min 时）添加了 0.2%的 AlTi5B1,B 元素的理论值应为 0.002%，但实际的检测值仅为理论值的 30%。取KBI 环模试样,测试得到的晶粒平均直径为 300 μm。作者猜测铝液除气精炼过程带出了铝钛硼合金中的有效粒子 TiB_2。为进一步验证这种猜想，作者收集了部分铝液表面溅出的固体小颗粒在坩埚炉内进行熔化,熔化温度为 750 ℃;在铝液温度稳定后,加入清渣剂进行除渣;取铝液成分进行检测,发现 B 元素含量达到 0.003%,远远大于 0.000 6%。试验证明铝液除气精炼过程中部分 TiB_2 粒子吸附在气泡的表面而被带出了铝液,从而造成了铝液中 B 元素吸收率低下,同时也造成了晶粒相对粗大。



(a)除气2 min添加　(b)除气4 min添加

(c)除气6 min添加　(d)除气8 min添加

图 2 铝-钛-硼不同添加时间时的晶粒形貌
Fig.2 Grain morphology of Al-Ti-B at different adding time

为了减少 B 元素的损失，提高铝液的细化能力，作者开展了本文的研究工作。从图 2 可以看出，虽然 AlTi5B1 在透气浇包中的添加量（w）同为 0.2%，但是 KBI 环模试样的晶粒大小存在明显差异；随着延迟铝钛硼的添加时间节点，KBI 环模试样的晶粒明显呈细小的方向变化。从图 3 可以看出，随着延迟铝钛硼在透气浇包中的添加时间节点，合金中 B 元素含量呈上升趋势，B 元素的损失率呈下降趋势；铝钛硼添加时间分别与 B 元素含量和 B 元素的损失率呈极强的正相关和负相关关系。在除气 8 min 时添加铝钛硼时，B 元素的损失率下降至 20%，较除气 0 min 时（放料前添加）添加铝钛硼时的吸收率下降了 50%，损失率下降明显。

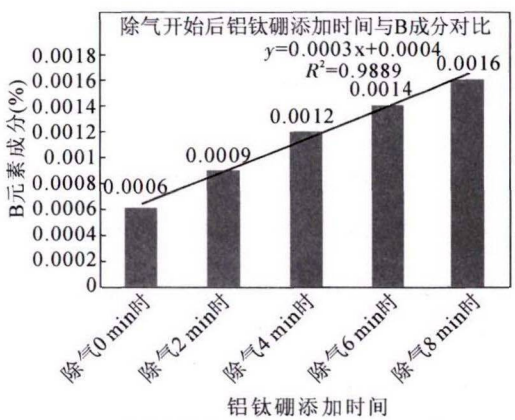
图 4 为与图 2 相对应的合金晶粒尺寸。在浇包开始除气 0 min（放料前添加）时添加铝钛硼，KBI 环模试样的晶粒平均直径为 305 μm；随着延迟铝钛硼的添加时间节点，KBI 环模试样的晶粒平均直径逐渐细小，在除气 6 min 后添加铝钛硼时晶粒细化效果明显提升，晶粒平均直径降至了 251 μm；除气 8 min 后添加铝钛硼时，晶粒细化效果进一步提升，晶粒直径降至 207 μm。结合图 3 和图 4 可知，AlTi5B1 添加量（w）同为 0.2%时，B 元素含量越多，KBI 环模试样的晶粒平均直径越小。

表 2 为在除气 0 min 添加和除气开始 8 min 时添加铝钛硼后合金的拉伸力学性能。随着添加时间的延迟，合金屈服强度由 74.91 MPa 提高到 80.22 MPa，提高幅度为 7.09%；抗拉强度由 183.56 MPa 提高到 198.72 MPa，提高幅度为 8.26%；伸长率由 14.10%提高到 18.50%，提高幅度高达 31.2%，合金力学性能提升明显。可见，合金晶粒直径与力学性能呈负相关关系，晶粒越细小，力学性能越好，在生产中应尽可能减小铝合金的晶粒直径。

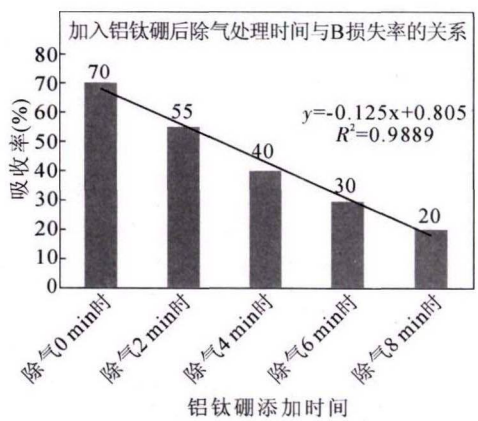
表2 除气0 min和除气8 min时添加铝-钛-硼的铝液性能对比

Tab.2 The comparison of the performance of Al-Ti-B added in degassing for 0 min and degassing for 8 min

铝钛硼添加时间	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率(%)
除气 0 min 后添加	74.91	183.56	14.10
除气 8 min 后添加	80.22	198.72	18.50



(a)铝钛硼添加时间与B元素含量的关系



(b)铝钛硼添加时间与B元素损失率的关系

图 3 铝-钛-硼添加时间对 B 元素实收量和损失率的影响

Fig.3 The impact of B element receipts and loss rates of Al-Ti-B at different adding time

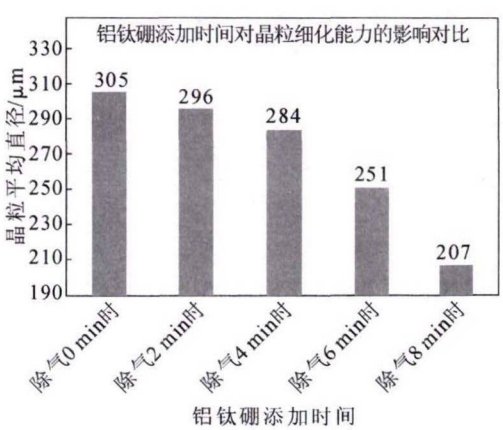


图 4 铝-钛-硼添加时间对晶粒直径的影响

Fig.4 Effect of Adding Time of Al-Ti-B on Grain Diameter

3 结论

(1)在浇包的 A356 铝合金除气精炼过程中，由于铝钛硼晶粒细化剂中 TiB_2 粒子吸附在气泡表面被带出铝液，从而降低了合金中 B 元素的吸收率。

(2)延迟铝钛硼在透气浇包铝液内添加的时间节点，可降低 B 元素的损失率，提升晶粒细化能力；除气 8 min 添加时较除气 0 min（放料前）添加时 B 元素的损失率降低了 50%，晶粒平均直径由放料前的 305 μm 降至 207 μm。

(3)浇包内 AlTi5B1 添加的较佳时间为开始除气 8 min 后添加。铝钛硼在透气浇包中的添加时间不宜过早；过早会导致 B 元素吸收率下降，进而

使得铝液的细化能力下降。

(4)除气 8 min 后添加铝钛硼时,合金拉伸性能提升明显,其中伸长率较除气 0 min(放料前)添加时的提高了 31.2%;在实际生产中,应尽可能降低铝合金的晶粒大小以提高铝合金的力学性能。

参考文献:

[1] 冯鹏发,唐靖林,李双寿,等.铝晶粒细化机制的研究进展[J]. 铸造技术,2005,26(3):220-223.

[2] 高泽生. 铝晶粒细化剂机理研究的进展 [J]. 轻合金加工技术,1998,26(10):5-11.

[3] 张作贵,刘相法,边秀房. TiB_2 分布形态对 AlTi5B 合金细化特性的影响[J]. 特种铸造及有色合金,1995(5):12-13.

[4] 高晶丽. KBI 晶粒细化效果试验方法[J]. 轻金属,1985(11):55.

[5] 高荫桓. 铝及铝合金熔液处理技术 [J]. 轻合金加工技术,1988(12):1-8.

(上接第 632 页)

[6] 姜锡洲. 一种温热外敷药制备方案: 中国, 88105607.3 [P]. 1989-07-26.

[7] 张茂功. 工艺因素对康明斯气缸盖气孔缺陷的影响 [J]. 铸造,1998(4):30-32.

[8] 李魁盛. 铸造工艺设计基础[M]. 北京:机械工业出版社,1981.

[9] 陈琦. 铸铁手册[M]. 北京:机械工业出版社,1984.

[10] 中国机械工程学会铸造专业学会. 铸造手册 (第五卷: 铸造工艺)[M]. 北京:机械工业出版社,1996.

[11] 魏兵. 铸件浇注系统阻流截面积的确定 [J]. 铸造技术,1981,2(1):27-33.

[12] 马崇峰. 浇注系统大孔进水出流理论在铸造工艺设计中的应用 [J]. 铸造技术,1991, 12(6): 24-26.

[13] 刘文川. 快浇技术在气缸体生产中的应用 [J]. 铸造,1996, 45(11):33-35.

《铸造技术》杂志优秀企业、先进人物专访通告

《铸造技术》杂志开展专访活动,旨在通过专访这一内涵深邃、读者喜闻乐见、欣赏韵味独特的交流方式,深度挖掘铸造界人文财富,倾心打造行业精深资讯,进而从独有的精神与文化之角度施力,推动中国铸造业的科学振兴和健康发展。

《铸造技术》基于“榜样的力量是无穷的”以及“益言可以兴邦”的基本理念和初衷,《铸造技术》杂志社记者与业界企业家、专家学者、工程技术人员等先进人物近距离接触、多层面无障碍恳谈,从而接地气地见识与领略中国铸造业界深邃浩瀚的人文资源、鲜活生动的真人与实事,在第一时间得到启迪与感悟,进而把这发自心灵的收获通过专访报道奉献给读者朋友。

《铸造技术》专访笃信“唯有真情可以感人”。能感动人的专访报道,必然是被访者真实生活的经历、体验和独特感受,高尚人格的彰显。专访报道中的所有感人之处,无不源于被访者独有的生活经历加上独到的见解。不可复制的人生阅历之润养、对生活的挚爱、对事业的全身心投入,是每一位被访者能够超越现实与自我而永葆充沛生命力的秘诀。从自己挚爱的事业那里领悟人生的真谛,激发爱与美相交融的情感。被这真实的情感所感染,使人情不自禁地用看似清淡的笔墨,仰仗倾情产出令人心颤的专访报道。

《铸造技术》专访对“说理”情有独钟。信奉“唯有讲理可以服人”。因“至”即无限趋近高端,故“至理”系高度符合科学规律的道理。“科学”乃说理的学问,科学是迄今全人类生产及社会实践的顶级智慧结晶,科学是全人类的共同财富,科学是人类从必然王国走向自由王国的桥梁。唯科学之理能使人们正确认识世间万物、尤其包括认识者自己。《铸造技术》专访已延续多年,读者不难发现,所有被访者的感人之处无不根源于其自觉或不自觉地遵循了科学的思维与行为的准绳。

《铸造技术》专访所追求的是,以优秀传统文化底蕴为基石,以高尚道德操守与精神境界为标杆,倾力打造铸造专访的精到内涵和独特风格,倾心为读者朋友打造理性思考的空间,竭力实现被访者—读者的理性与情感的惊人共鸣。