

稀土在铝和铝合金中应用的研究及进展

王会阳¹, 安云岐^{1,2}, 李承宇¹, 晁 兵²

(1. 中国矿业大学 材料科学与工程学院, 江苏 徐州 221116;
2. 江苏中矿大正表面工程技术有限公司, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 稀土元素作为微量元素加入铝及其合金中, 不仅有细化晶粒的变质作用, 还有净化熔体、减少气体含量及氧化夹杂的精炼效果, 从而可显著改善和提高铝及其合金的综合性能。分析讨论了稀土在铝及铝合金中的作用, 论述了稀土在铝及铝合金中的开发应用现状, 展望了稀土铝合金的发展前景。

关键词: 稀土; 铝; 铝合金; 应用; 研究进展

中图分类号: TG146.2

文献标识码: A

文章编号: 1004-0277(2012)01-0074-07

近年来有色金属,特别是轻金属及其合金的应用得到了越来越多人的关注,其中铝及铝合金的应用最为引人注目。虽然目前铝合金的种类达上千种,为世界经济的发展和人类的进步做出了巨大的贡献,但是随着科学技术的进步,有些合金已经被淘汰。现在急需发展一批具有高强、耐磨、耐蚀、耐疲劳、耐高温等优异性能的新型铝合金^[1]。稀土元素化学性质很活泼,几乎能与所有非金属元素氧、硫、氯等形成化学性质稳定的氧化物、硫化物、卤化物等。稀土在金属领域中有特殊作用,可以净化合金液,细化晶粒改善合金组织,去除晶界间杂质影响和缺陷,提高合金室温及高温力学性能,增强合金耐腐蚀性能等^[2]。

世界各国对稀土铝合金的研究从第一次世界大战就已经开始了,德国率先成功使用了稀土铝合金,随之美国、英国、前苏联等也对此开展了大量的实验研究,如美国研制含0.15%稀土的硅铝合金用作汽油发动机活塞,耐热性、耐磨性大大增强从而提高了使用寿命;日本最早将稀土用于导电铝合金^[2]。我国对稀土铝合金的研究起步比较晚,始于20世纪60年代,但发展很快,尤其是稀土在铝及铝合金中的作用和应用研究已经取得了明显的效果^[3]。由

于稀土的特殊性质,它已被广泛应用于国防工业、冶金、机械、石油、化工、玻璃、陶瓷、电子、医疗等领域。

1 稀土在铝及铝合金中的应用研究

1.1 稀土在铝及铝合金中的作用机理

稀土具有很高的化学活性、低电位和特殊电子层排布,几乎能与所有的元素作用。铝及铝合金中常用的稀土有La(镧)、Ce(铈)、Y(钇)和Sc(钪),常以变质剂、生核剂和脱气剂加入铝液中,起到净化熔体、改善组织、细化晶粒等作用。稀土在铝及铝合金中具有很多积极作用,主要表现在3个方面^[2,4~7]:(1)净化作用;(2)变质作用;(3)微合金化作用。

1.1.1 稀土的净化作用

由于在熔铸铝合金时,会带入大量气体和氧化夹杂(主要是氢、氧和氮),使铸件产生针孔、裂纹和夹杂等缺陷(见图1a^[8]),降低铝合金的强度^[6,9,10]。稀土的净化作用主要表现为明显减少铝液中的氢含量,降低针孔率和孔隙度(见图1b^[8]),减少夹杂物和有害元素等。主要是因为稀土与氢有较大的亲和力,能大量吸附和溶解氢,并形成稳定的化合物,不会聚集成气泡,使铝的含氢量和孔隙率明显降低;稀

收稿日期: 2011-05-30

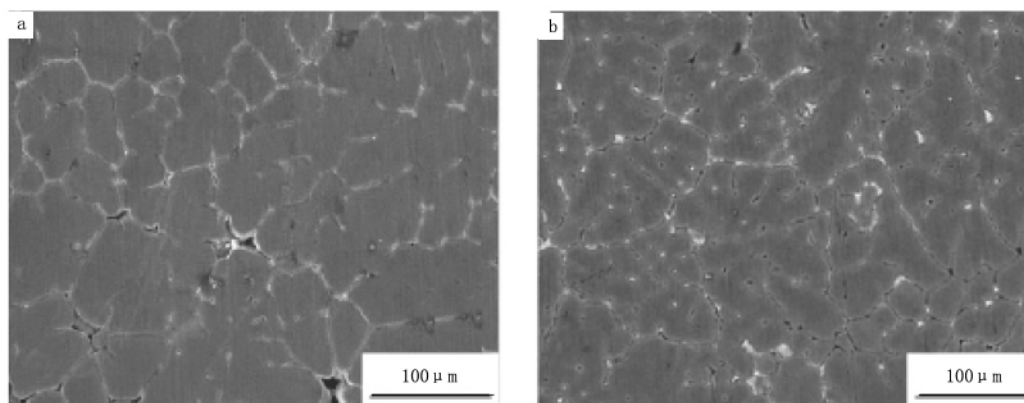
基金项目: 2010年江苏省科技支撑计划项目(BZ2010049)

作者简介: 王会阳(1987-),男,山东济宁人,硕士研究生,主要从事金属、非金属加工及表面工程技术方向的研究。

土与氮生成难熔化合物,在熔炼过程中大部分以渣的形式排除,从而达到净化铝液的目的。

实践证明^[6,7] 稀土具有降低铝及铝合金中氢、氧和硫含量的效果,在铝液中加入 0.1%~0.3% 的 RE,有助于更好地清除有害杂质、细化杂质或改变

其形貌,使之晶粒细化并分布均匀;另外,RE 与低熔点有害杂质形成 RES、REAs、RE₂Pb 等二元化合物,而这些化合物具有熔点高、密度小、化学性质稳定的特点,可以上浮成渣、捞除,从而净化铝液;遗留的微细质点成为铝的异质晶核从而细化晶粒。



a: 未添加 RE; b: 添加 $\omega(\text{RE}) = 0.3\%$

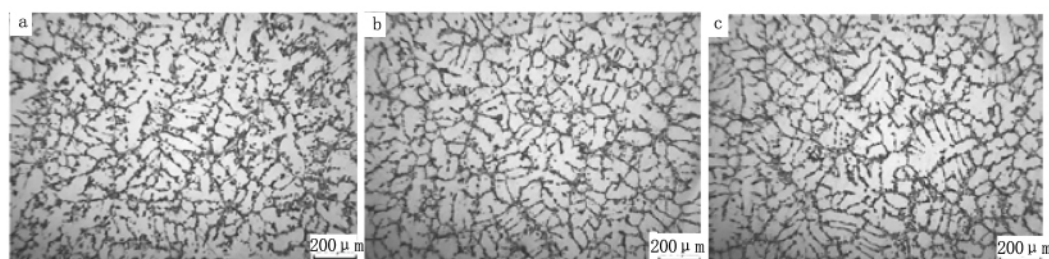
图1 未添加 RE 与添加 $\omega(\text{RE}) = 0.3\%$ 的 7075 合金 SEM 形貌

Fig. 1 SEM micrographs of alloy 7075 with and without rare earth

1.1.2 稀土的变质作用

稀土变质作用主要表现在细化晶粒和枝晶,抑制粗片状 T2 相出现,消除原晶内分布的粗大块状相并形成球状相,使晶界处条状及碎块状化合物明显减少(见图 2 所示^[9])。通常情况下,稀土原子半径

大于铝原子半径,性质比较活泼,溶于铝液中极易填补合金相的表面缺陷,使得新旧两相界面上的表面张力降低,提高了晶核的生长速度;同时还能在晶粒与熔融液之间形成表面活性膜,阻止生成的晶粒长大,细化合金组织(见图 2b 所示^[9])。



a: RE 加入量为 0; b: RE 加入量为 0.3%; c: RE 加入量为 0.7%

图2 不同 RE 加入量合金显微组织图

Fig. 2 Microstructures of aluminium alloys with different contents of RE

加入稀土元素后 $\alpha(\text{Al})$ 相晶粒开始变小,起到了一定的细化晶粒作用,原本粗大树枝状的 $\alpha(\text{Al})$ 相变成了较小的玫瑰状或者杆状,当稀土含量为 0.3% 时 $\alpha(\text{Al})$ 相的晶粒最小,随着稀土量进一步增加晶粒又逐渐变大^[9]。实验证明稀土变质作用存在一定潜伏期,只有在高温下保持一定的时间,稀土才会发挥最大的变质作用^[7]。此外,铝与稀土形成

的化合物在金属结晶时晶核数大量增加也使得合金组织得到细化。研究证明稀土对铝合金具有良好的变质效果^[11]。

1.1.3 稀土的微合金化作用

稀土主要以 3 种形式存在于铝及铝合金中:固溶在基体 $\alpha(\text{Al})$ 中;偏聚在相界、晶界和枝晶界;固溶在化合物中或以化合物形式存在。稀土在铝合金

中的强化作用主要包括细晶强化、有限固溶强化和稀土化合物的第二相强化等^[6]。

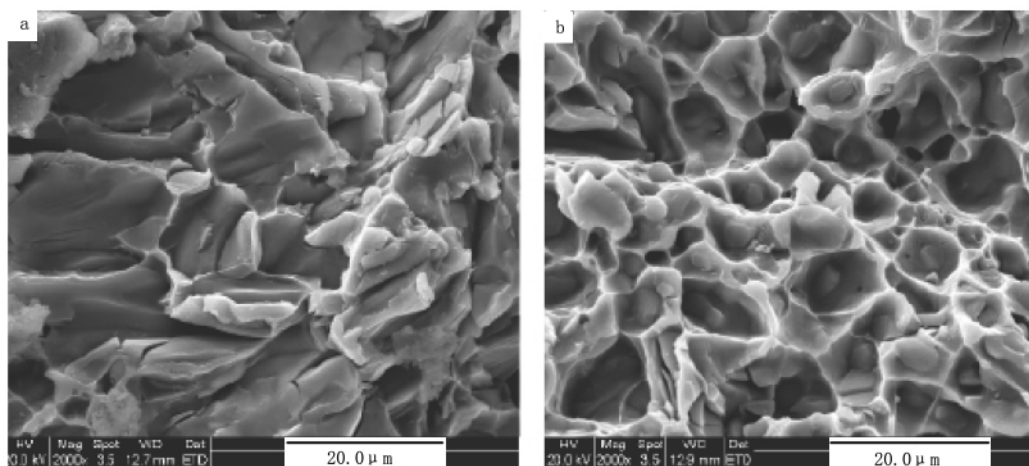
稀土在铝及铝合金中的存在形式与其加入量有很大关系,一般当 RE 含量小于 0.1% 时,RE 的作用主要以细晶强化和有限固溶强化为主;当 RE 含量为 0.25% ~ 0.30% 时,RE 与 Al 等形成大量球状或短棒状的金属间化合物,分布在晶粒内或晶界中,并出现大量位错及细晶粒球化组织和弥散稀土化合物,会产生第二相强化等微合金化效果^[8,12]。

1.2 稀土对铝及铝合金性能的影响

1.2.1 稀土对合金综合力学性能的影响

适量稀土的加入可以提高合金的强度、硬度、伸长率、断裂韧度和耐磨性等综合力学性能^[13~15]。铸铝 ZL10 系合金中加入 0.3% RE,其 σ_b 由 205.9MPa

提高到 274MPa,HB 由 80 提高到 108^[16];7005 合金中加入 0.42% 的 Sc,其 σ_b 由 314MPa 增加到 414MPa, $\sigma_{0.2}$ 由 282MPa 增加到 378MPa,塑性由 6.8% 增加到 10.1%,而且高温稳定性显著增强^[6];La 和 Ce 可明显提高合金的超塑性,Al-6Mg-0.5Mn 合金中加入 0.14% ~ 0.64% La,其超塑性从 430% 增加到 800% ~ 1000%^[17];对 Al-Sc 合金进行系统研究,发现添加适量的 Sc 可以大幅度提高合金材料的屈服强度和极限拉伸强度^[18,19]。图 3 为 Al-Si7-Mg_{0.8} 合金拉伸断口 SEM 形貌图,说明未加入 RE 时为典型的脆性解理断裂,而加入 0.3% RE 后,断口中出现了明显的韧窝状组织,说明其具有良好的韧性和延展性^[8]。



a: 未加 RE; b: 加入 0.3% RE

图 3 拉伸断口形貌

Fig. 3 SEM photographs of fracture surface of the alloy

1.2.2 稀土对合金高温性能的影响

在铝合金中加入一定量的稀土,可以有效提高铝合金的耐高温氧化性能。向铸造 Al-Si 系共晶合金中添加 1% ~ 1.5% 混合稀土,高温强度提高了 33%,高温持久强度(300℃、1000 小时)提高了 44%,而且耐磨性和高温稳定性显著提高;在铸造 Al-Cu 系合金中添加 La、Ce、Y 和混合稀土可以改善合金的高温性能^[20];快速凝固的 Al-8.4% Fe-3.4% Ce 合金,可以在 400℃ 以下长时间工作,大大提高了铝合金的使用工作温度^[6];将 Sc 加入到 Al-Mg-Si 合金中,形成在高温下不易粗化与基体共格的 Al_3Sc 粒子钉扎晶界使得合金在退火过程中保持未再结晶组织,大幅度提高合金的高温性能^[21]。

1.2.3 稀土对合金光学性能的影响

将稀土加入铝合金中可以改变其表面氧化膜的结构,使表面更加光亮美观。向铝合金中加入 0.12% ~ 0.25% 的 RE 时,被氧化着色的稀土 6063 型材的反射率高达 92%;向 Al-Mg 系铸造铝合金中添加 0.1% ~ 0.3% 的 RE 时,可使合金获得最好的表面光洁度和光泽持久性^[6]。

1.2.4 稀土对合金电学性能的影响

向高纯铝中添加稀土对合金导电性是有害的,但是在工业纯铝和 Al-Mg-Si 导电合金中添加适量的 RE,电导率却可以得到一定程度的提高^[4]。实验结果表明^[22]在铝中添加 0.2% 的 RE,可使电导率提高 2% ~ 3%。在 Al-Zr 合金中加入少量富钇稀

土,可提高合金导电率,该合金已为国内大多数电线厂采用;向高纯铝中添加微量稀土,制成 Al-RE 箔电容器,用于 25kV 产品中,电容指标提高 1 倍,单位体积容量提高 5 倍,重量减轻 47%,电容器体积显著减小^[6]。

1.2.5 稀土对合金耐腐蚀性能的影响

在一些使用环境中尤其是存在 Cl^- 时,合金极易遭受腐蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀和腐蚀疲劳等破坏。为了提高铝合金的耐腐蚀性能,人们进行了许多研究,研究中发现向铝合金中添加适量的稀土可以有效的提高其耐腐蚀性能^[22-24,26]。

向铝中添加不同量(0.1%~0.5%)混合稀土制得的试样,在含盐水和人造海水中连续 3 年浸泡试验结果表明,铝中加入少量稀土可以提高铝的耐腐蚀性,在含盐水和人造海水中耐腐蚀性比铝分别高 24% 和 32%^[2,22];采用化学气相法,加入稀土多组元渗剂(La、Ce 等),能在 2024 合金表面形成一层稀土转化膜,使铝合金的表面电极电位趋于均匀,提高抗晶间腐蚀和应力腐蚀性能^[23];将 La 加入到高 Mg 铝合金中,能显著提高合金的抗海洋腐蚀能力;在铝合金中添加 1.5%~2.5% Nd,可提高合金的高温性能、气密性和耐腐蚀性,广泛用作航空航天材料;官素珍等研究了铝锰和铝镁两种合金体系中,添加微量稀土对合金材料耐腐蚀性的影响,除浓 HAC 溶液外其余所有介质中,其小孔腐蚀、均匀腐蚀、海洋大气腐蚀都明显改善^[24];北京铝制品厂生产的铝镁稀土合金耐腐蚀性提高 5.8 倍^[27]。

1.3 稀土铝合金的制备技术

稀土在铝合金及其它合金中多以微量元素形式加入,稀土化学活性很高、熔点高、高温下易氧化烧损等,这给稀土铝合金的制备和应用研究造成了一定的困难。在长期的试验研究中,人们不断探索稀土铝合金的制备方法。目前制备稀土铝合金的生产方法主要有混熔法、熔盐电解法和铝热还原法^[2,4,25]。

1.3.1 混熔法

混熔法是将稀土或混合稀土金属按比例加到高温铝液中,制得中间合金或应用合金,将中间合金和按计算余量剩下的铝再一起熔炼、充分搅拌、精炼。夏原^[28]等采用该法制备了热浸镀用稀土铝合金,方法简便成本较低,该铈硅铝合金综合性能优良是一种广泛适合于工业应用的热浸镀材料;聂祚仁^[29]等在 Al-Zn-Mg 合金熔炼过程中加入经真空熔炼的 Al-

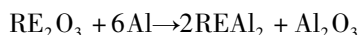
Er 中间合金,制备出 Al-Zn-Mg-Er 稀土铝合金,经检测发现 Er 的加入能够显著细化合金晶粒,大幅度提高合金强度,抑制再结晶;菅少霆^[30]等也采用此法制备出了高强度、高韧性的稀土铝合金,该合金具有细小均匀的冶金组织,而且析出相分布均匀没有粗大片状、针状或棒状 β -FeAlSi 相,显著缩短均匀化处理保温时间,降低制造成本和能源消耗。

1.3.2 熔盐电解法

熔盐电解法是在电解铝时,向工业铝电解槽中加入稀土氧化物或稀土盐类,同氧化铝一起电解,以制取稀土铝合金。该方法在国内外均有非常充分的研究和利用,我国在这方面也取得了很大的成绩,如程兴^[31]采用此法,将富镧稀土均匀地加入到电解槽大面上预热 2h~3h(预热温度 400℃~450℃)后,再加入到电解槽的电解质(电解质温度 $948 \pm 8^\circ\text{C}$)中,经共电沉积析出重熔富镧稀土铝合金。熔盐电解法在我国发展比较快,一般可以有两种途径即液态阴极法和电解共析法,目前已经发展到了可以直接把稀土化合物加入工业铝电解槽里,用共析法电解氯化物熔体生产出稀土铝合金。

1.3.3 铝热还原法

由于金属铝具有很强的还原能力,铝又可以与稀土形成多种金属间化合物,因此可以采用铝作还原剂来制备稀土铝合金。其主要化学反应如下式表示^[2]:



其中,稀土原料可用稀土氧化物或稀土富渣;还原剂可采用工业用纯铝或硅铝等;还原温度 1400℃~1600℃。

早期是在有助热剂和助熔剂存在的条件下进行的,而且还原温度较高都会产生很多问题;近年来,研究人员研究出一种新的铝热还原法,在较低温度(780℃)在氯化钠、氯化钠体系中完成的铝热还原反应,避免了原来高温产生的问题。

2 稀土铝合金的应用进展

2.1 稀土铝合金在电力行业中的应用

由于稀土铝合金具有导电性好、载流量大、强度高、耐磨损、易加工、寿命长等优点可用于制造电缆线、架空输电线、线芯、滑接线和特殊用途的细导线^[2,32]。在铝-硅合金系中加入微量的 RE 可以提高导电性,这是因为铝合金中硅是含量较高的杂质元素对电性能的影响较大,而添加适量的稀土可以

改善硅在合金中的存在形态和分布情况,能够有效改善铝的电性能;在耐热铝合金导线中加入少量的钇或富钇混合稀土后,不仅保持良好的高温性能还可以提高导电率;稀土可以提高铝合金系的拉伸强度、耐热性和耐腐蚀性,采用稀土铝合金的电缆、导线可以加大架设电缆线铁塔的跨距,并延长电缆的使用寿命^[2]。

目前,稀土在导电铝合金中的应用是我国应用面较广、技术较成熟、工业价值较高和经济效益较好的一个领域^[33~34]。我国的稀土铝导线主要有:用于高压输电线路的高强度稀土铝合金(Al-Mg-Si-RE)电缆(由武汉电缆厂和上海电缆厂共同研制),现已成功用于跨越长江和汉水 50 万伏超高压输变电工程的架线上;高导电稀土铝(Al-RE)电线(由广州有色院研制),现已在沈阳、哈尔滨等多家电缆厂投入批量生产;较高温下使用的高导电稀土铝合金导线,在 Al-Cu-Mn 系合金中加入 0.5% 以下的混合稀土,制成的导线可在 150℃ 以下使用,导电率可达 60% IACS,该产品由上海、武汉等电缆厂研制成功并批量生产^[32,35]。现在,国内已有二十多个省市的厂家生产稀土铝合金电线,年产量达到十几万吨^[7],稀土铝导体已出口十多个国家^[3]。

2.2 稀土铝合金在建筑行业中的应用

在建筑行业应用最广泛的是 6063 铝合金,加入 0.15% ~ 0.25% 的稀土,可以明显改善铸态组织和加工组织,可以提高挤压性能、热处理效果、力学性能、耐腐蚀性能、表面处理性能和色调^[32]。研究发现,在 6063 铝合金中稀土主要分布在 α -Al 中和相界、晶界以及枝晶间,它们固溶在化合物中或以化合物的形式存在,细化枝晶组织和晶粒,使未溶共晶尺寸和韧窝区中的韧窝尺寸显著变小,分布均匀,密度增加,使合金的各项性能得到不同程度的改善,如型材强度提高 20% 以上,延伸率提高 50%,腐蚀速率降低一倍以上,氧化膜厚度增加 5% ~ 8%,着色性能提高 3% 左右^[2]。因此 RE-6063 合金建筑型材获得广泛应用,到 2005 年,我国的 RE-6063 合金年产量达 15 万吨以上^[32]。

2.3 稀土铝合金在日用制品中的应用

在日用铝制品用纯铝和 Al-Mg 系等铝合金中添加微量稀土,能明显提高力学性能、深冲性和耐腐蚀性。采用 Al-Mg-RE 合金制造的铝壶、铝锅、铝盘、铝饭盒、铝家具支架、铝自行车和家电零部件等生活日用品,与未加稀土的铝合金制品相比,耐腐蚀性提

高 2 倍多,重量减轻 10% ~ 15%,成品率增加 10% ~ 20%,生产成本降低 10% ~ 15%,且具有更好的深冲和深加工性能^[5,7]。目前,稀土铝合金日用品获得了广泛的应用,产品大幅增加,畅销国内外市场。另外,用稀土铝合金来制作洗衣机内衬、大型聚光灯的反射、铝自行车部件、装饰用镜框、家具支架、眼镜架、家电零部件以及其他用品,并取得了一定的成果,前景看好^[7,32]。

2.4 稀土铝合金在其它方面的应用

由于稀土铝合金窗纱在强度、耐腐蚀性、光亮度、透风性、加工性和成本等方面的优越性,使其获得广泛的应用。如安陆窗纱厂、庐江活塞厂等生产的稀土铝合金窗纱已畅销国内外^[7,32]。在用量最多的铝硅系铸造合金中,加上千分之几的稀土,就能明显改善合金的机械加工性能,已有多牌号的产品用于飞机、船舶、汽车、柴油机、摩托车和装甲车(活塞、齿轮箱、汽缸和仪器仪表等器部件)等方面^[5]。在研究和应用中发现,Sc 是优化铝合金组织性能的最有效元素,对铝有很强的弥散强化、细晶强化、固溶强化和微合金强化作用,可以提高合金的强度、硬度、塑性、韧性、抗蚀性、耐热性等^[5,36]。Sc-Al 系合金已应用于航天航空、舰船、高速列车、轻型汽车等高新技术工业。美国航天局开发的 C557Al-Mg-Zr-Sc 系钪铝合金具有高强度和高温与低温稳定性已应用于飞机机身与飞机结构件;俄罗斯研究开发的 0146Al-Cu-Li-Sc 系合金已应用于航天器低温燃料贮箱^[5]。

3 结语

稀土具有很多独特的性质,添加少量的稀土就可以极大地影响材料的组织与性能,目前国际上把稀土元素誉为新技术革命的战略元素、高新技术的生长点、新材料的宝库。我国是一个世界上稀土蕴藏最丰富的国家,充分开发利用丰富的矿产资源,进行稀土在铝及其合金中的应用研究,将对我国工业以至整个国民经济的发展起到巨大的推动作用。近年来,随着世界经济的发展,稀土材料已成为国家的战略资源,为此我们应该加强基础理论的研究工作,尤其是稀土对铝合金作用机理、稀土在铝合金中分布和存在状态要深入研究。可以预见,随着稀土在铝合金中的应用研究进一步深入和技术水平的不断提高,将会开发出更多的性能优异的新型铝合金,使之对人类做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 黄拿灿, 胡社军. 稀土表面改性及其应用(第一版) [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [2] 刘光华. 稀土材料与应用技术(第一版) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] 唐定骧, 王成辉. 我国独具特色的稀土电工铝和铝稀土合金[J]. 四川有色金属, 2003, 2: 19-24.
- [4] 杨军军, 聂祚仁, 付静波, 等. 稀土在铝合金中的作用及研究进展[J]. 北京工业大学学报, 2002, 28(4): 500-505.
- [5] 王荣滨. 稀土铝合金的研究与应用[J]. 有色金属加工, 2007, 36(2): 21-23.
- [6] 曹大力, 石忠宁, 杨少华, 等. 稀土在铝及铝合金中的作用[J]. 稀土, 2006, 27(5): 88-94.
- [7] 袁孚胜, 李明茂, 朱应禄, 等. 稀土在铝及其合金中的作用和应用[J]. 上海有色金属, 2009, 30(3): 129-134.
- [8] 钟建华, 朱洪斌, 冯凯, 等. 稀土元素对 7075 铝合金组织的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2010, 30(10): 899-901.
- [9] 成平, 樊自田, 赵忠, 等. 富 Ce 稀土对 Al-Si₇-Mg_{0.8} 合金消失模凝固组织性能影响[J]. 铸造, 2010, 59(8): 833-837.
- [10] Bian X F. A master alloy for spheriodisation of needle-form iron compounds in aluminium alloy [J]. Cast Metals, 1993, 6(3): 159-161.
- [11] Chang J, Moon I, Chol C. Refinement of cast microstructure of hypereutectic Al-Si Alloys through the addition of rare earth metals [J]. J. of Mater Sci, 1998, 33: 5015-5023.
- [12] 王荣滨. 稀土在铝合金中的作用及新型含钪铝合金[J]. 有色金属加工, 2006, 35(2): 12-13.
- [13] 王丽萍, 康福伟, 郭二军. 单一稀土 Ce、La 和混合稀土在工业纯铝中的作用[J]. 中国稀土学报, 2003, 21(4): 218-222.
- [14] Lawrence S, Kramer K. Scadium in aluminium alloys [J]. Advanced Materials & Process, 1997, (10): 23-24.
- [15] Meng L, Zheng X L. Overview of the effects of impurities and rare earth elements in Al-Li alloys [J]. Materials Science and Engineering, 1997, (237A): 109-118.
- [16] 孙伟成, 张淑荣, 侯爱芹. 稀土在铝合金中的行为[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992.
- [17] 王经涛. 稀土元素对铝镁合金超塑性影响的探讨[D]. 沈阳: 东北大学, 1984.
- [18] Norman A F, Prangnell P B, McEwen R S. The solidification behavior of dilute aluminium-scandium alloys [J]. Acta Mater, 1998, 46(16): 5715-5732.
- [19] Filatov Y A, Yelagin V I, Zhkharov V V. New Al-Mg-Sc alloys [J]. Mater Sci & Eng, 2000(A280): 97-101.
- [20] 张绍兴, 刘春芳. 稀土对 Al-4.5Cu 合金作用的研究[J]. 稀土, 1992, 13(2): 36-39.
- [21] 王祝堂, 张艳, 江斌. 钪-铝合金的新型微量合金元素[J]. 轻合金加工技术, 2000, 28(1): 31-32.
- [22] 徐秀芝, 魏绪钧, 冯法伦. 稀土对铝性能的影响[J]. 中国稀土学报, 1995, 13: 425-427.
- [23] Bethencourt M, Botana F J, Calvino J J, et al. Lanthanide compounds as environmental-friendly corrosion inhibitors of aluminum alloy [J]. Corrosion Science, 1998, 40(11): 1803-1819.
- [24] 官素珍, 赵敏寿, 唐定骧, 等. 稀土对铝和铝合金耐腐蚀性能影响的研究[J]. 稀土, 1987, 5: 36-39.
- [25] 曾桂生, 谢刚, 张记市. 稀土铝合金制备方法的研究现状[J]. 南方金属, 2003, 5: 9-11.
- [26] Bethencourt M, Botana F J, Cauqui M A. Protection against corrosion in marine environments of AA5083 Al-Mg alloy by lanthanide chlorides [J]. Journal of Alloy and Compounds, 1997, 250: 455-460.
- [27] 吴克义. 稀土在铝及其合金中作用简介[J]. 稀土, 1987, 5: 60-62, 24.
- [28] 夏原, 崔瑞意. 钢材热浸镀用稀土铝合金[P]. 中国专利. 99127120.3, 2001-07-04.
- [29] 聂祚仁, 金头男, 杨军军, 等. Al-Zn-Mg-Er 稀土铝合金[P]. 中国专利: 03119119.3, 2003-08-20.
- [30] 菅少霆, 萧俊彪, 孙廷富, 等. 高强度、高韧性稀土铝合金材料及其制备方法[P]. 中国专利: 200910005471.0, 2009-08-19.
- [31] 程兴. 低电阻率镧铝合金制备及应用[P]. 中国专利: 92101775.8, 1993-02-10.
- [32] 胥锴, 刘政, 刘萍. 稀土在铝及铝合金中的应用现状与展望[J]. 有色金属加工, 2005, 34(5): 10-14.
- [33] 汪良宣. 稀土铝合金导体材料在电线电缆中的应用概况[J]. 中国稀土学报, 1995, 13: 404-407.
- [34] 陈越. 稀土在铝及铝合金中的应用[J]. 上海有色金属, 1998, 19(3): 136-141.
- [35] 周晓霞, 张仁元, 刘银弟. 稀土元素在铝合金中的作用和应用[J]. 新技术新工艺, 2003, 4: 43-45.
- [36] 朱敏杰, 沈春英, 丘泰. 稀有元素钪的研究现状[J]. 材料导报, 2006, 20: 379-381.

The Research Progress of Rare Earth Application in Aluminum and Aluminum Alloys

WANG Hui-yang¹, AN Yun-qi^{1,2}, LI Cheng-yu¹, CHAO Bing²

(1. School of Material Science and Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. Jiangsu CUMT Dazheng surface Engineering Technology Co., Ltd., Xuzhou 221008, China)

Abstract: The addition of rare earths as trace elements in aluminum and aluminum alloys does not only refine the grains but also purifies the melt, reduces the gas and inclusions contents in them so as to improve the comprehensive properties of aluminum and aluminum alloys. The mechanism of RE in aluminum and aluminum alloys was discussed, the current situation of development and application of RE in this area was expounded, and the future development of RE aluminum alloys was prospected.

Key words: rare earth; aluminum; aluminum alloys; application; research progress

中国科学院地质与地球物理研究所等用热电离质谱仪 直接测定稀土中钕同位素比值

钕同位素在同位素地球化学与地质年代学研究中具有重要的应用价值。为准确获得 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位素比值,传统方法需要通过两阶段离子交换技术分离出纯净的钕,再采用热电离质谱仪(TIMS)或多接收电感耦合等离子体质谱仪(MC-ICP-MS)进行测试。首先,将溶解后的样品溶液通过阳离子交换柱(AG50W-X8/12)去除基体,同时回收稀土元素(REEs)。然后,采用萃淋树脂交换柱(P507/204 or LN)分离出纯净的Nd,再进行测试。近年来,采用MC-ICP-MS已实现了直接测定稀土中的Nd同位素比值。然而,对于钕同位素最主要的分析仪器TIMS,至今未实现该技术的建立,其中如何准确扣除 ^{144}Sm 干扰是该技术的主要难点。

中科院地质与地球物理研究所固体同位素实验室李潮峰高级工程师及其合作者利用Triton TIMS质谱仪进行了该方法的研制,建立了有效的扣除方法。系列混和标准溶液和岩石标样的测定结果表明:通过阳离子交换柱分离出的REEs溶液,无需Sm-Nd分离,热电离质谱仪同样可以获得准确的 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位素比值,减少了化学分离纯化步骤,提高了一倍的制备效率。该研究成果近期发表在国际知名的分析化学期刊Journal of Analytical Atomic Spectrometry上(Li et al. Directly determining $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ isotoperatios using thermal ionization mass spectrometry for geological samples without separation of Sm-Nd. Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 2011, 26(10): 2012-2022)。

[中国科学院网站]