

熔盐电解法制备镁合金的研究进展

王世栋, 李明珍, 叶秀深, 李 权, 吴志坚, 火 焱

(中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

摘 要: 熔盐电解法是制备镁合金的一种有效的方法, 与熔炼法相比, 合金成分偏析较少, 产品质量较高。综述了熔盐电解法制备镁合金的研究进展, 并分析了研究现状。提出镁合金的熔盐电解制备有很强的应用背景, 与产业化研发相关的工作值得关注。

关键词: 熔盐电解; 镁合金; 制备

中图分类号: TF822

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2014)04-0061-06

1 引 言

镁合金是迄今在工业中应用的最轻的金属结构材料, 还有降低噪音、电磁屏蔽性和减震性好、可循环利用等特性, 被材料专家誉为 21 世纪最具有开发和应用潜力的绿色工程材料。镁合金作为汽车轻量化的首选材料, 其开发应用也受到了各国的重视。我国镁资源丰富, 储量居世界首位, 其中青海盐湖蕴藏着氯化镁 3.2×10^9 t。将我国的镁资源优势转化为产业优势和经济优势, 能够大大促进我国经济的发展, 关系到国家长远战略利益^[1]。

镁合金的主要制备方法是熔炼法, 即用金属镁与其它金属进行熔炼, 得到组成适宜的合金, 然后用各种成型技术成型, 制造零部件。镁合金也可以采用熔盐电解法制备, 用熔盐电解法制备金属镁合金具有合金成分偏析较少、产品质量较好、制备成本较低等优点^[2]。本文对熔盐电解法制备镁合金的研究工作进行了综合评述。

2 熔盐电解法制备镁合金

2.1 镁-铝合金

镁铝合金在造船业、建筑业上有广泛的应用。Sharma 提出以液态铝或镁铝合金为阴极, 用氧化镁或部分脱水的氯化镁作为原料生产金属镁或镁铝合金的方法。优选电解质组成 $20\% \text{MgCl}_2 - 65\% \text{KCl} - 15\% \text{NaCl}$, 氧化镁或部分脱水的氯化镁以粉末形式分散加到电解液层的上表面上。随着颗粒分散到电解液中, 原料中的氧化镁会与电解过程中生成的氯气反应。金属镁在电解液-阴极界面上生成后即进入下层熔融的镁-铝合金中, 通过加入含镁原料, 保持电解液中的镁含量^[3]。

杨少华以 MgO 为原料, Al 为阴极, 在电解槽中直接生成 Mg-Al 、 Mg-Al-RE 合金, 为镁电解生产提供新的思路和方法。850℃ 下, $\text{MgF}_2\text{-LiF-KCl}$ 体系的 MgO 的饱和溶解度为 1%, KCl 可以明显增加 MgO 在电解质中的溶解度。 Mg-Al 合金中镁含量随电解时间的延长而增加, 最高达到 9.2%, 电流效率随电解时间的延长

收稿日期: 2014-02-26; 修回日期: 2014-07-14

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAE01B04)和中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB3-06)资助

作者简介: 王世栋(1981-), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事镁资源综合利用研究。

通信作者: 火 焱。Email: xnhuoyan@21cn.com。

也有所升高,最高达 79.4%。200 A 实验室扩大实验中槽电压比较平稳,电流效率为 82.6%。 $\text{BaF}_2\text{-LiF-MgF}_2$ 电解质体系的电流效率都比较高。 $\text{BaF}_2\text{-LiF-MgF}_2\text{-KCl}$ 体系的电化学实验说明,镁离子的沉积过程由镁离子在熔体中的扩散控制。以 $\text{RECl}_3\text{-KCl-MgCl}_2$ 为电解质, Mg-Al-RE 合金中 Mg 含量可达 4.76%, 电流密度在 0.8 A/cm^2 时电流效率最高, 可达到 81.3%。实验证实,稀土由铝还原得到,而镁通过电解析出。稀土的浓度可恒定在 0.8% ~ 1.2%, 镁的浓度可以由电解时间的长短来控制^[4]。

2.2 镁-锂合金

镁锂合金密度很小,一般为 $1.35 \sim 1.65\text{ g/cm}^3$, 具有高的比强度、比刚度和优良的抗振性能及抗高能粒子穿透能力,是航天、航空及兵器工业、核工业等领域最理想的结构材料。

最有代表性的是哈尔滨工程大学张密林课题组的工作,主要方法有阴极合金化和电解共沉积。50% LiCl - 50% KCl 熔盐体系中,用阴极合金化法在固态镁电极上制备镁锂合金,通过选择电解参数可以控制生成合金的相组成^[5]。Li(I) 的电化学还原电位由于在镁电极上的去极化作用,比在惰性工作电极上更正。通过低温电解、高温保温的方法,得到了只有高温电解才能得到的低锂含量的 Mg-Li 合金。电解的最佳工艺条件为: 温度 480°C 、电流密度 1.13 A/cm^2 。在 LiCl-KCl-MgCl₂ 熔体中,以 Al 电极为阴极,电化学沉积制备了 Mg-Li-Al 合金,合金中的锂含量和镁含量可以通过改变 MgCl₂ 的浓度和电解参数来控制^[6]。台湾地区中兴大学 Lin^[7] 在 45% LiCl - 55% KCl 熔盐体系中, 500°C 下以 AZ91 Mg-Al-Zn 合金为阴极材料,石墨棒为阳极,熔盐电解制备了 Mg-Li-Al-Zn 合金, Li 含量达 12%, 锂的合金化造成了基体合金由密排六方转变为体心立方。

虽然阴极合金化法较对掺法和热还原法制备镁锂合金有很多优点,但仍然需要制备阴极材料,电解共沉积制备镁锂基合金更为简单。由于镁和锂从氯化物熔盐中析出的电位相差较大,给共电沉积镁锂合金带来困难,张密林课题

组对镁锂基合金的共电沉积进行了系统研究。在 KCl-LiCl-MgCl₂ 熔盐体系中,共电沉积制备了 Mg-Li 合金,并进行了理论分析^[8]。 670°C 时的电化学研究表明,镁预先沉积到钼丝上,后锂在镁上的欠电位沉积形成了 Mg-Li 合金。在 5% MgCl₂ 的熔盐中, MgCl₂ 的极限电流密度为 0.35 A/cm^2 , 超过此值时,发生镁和锂的共沉积。与熔体中浓度较高的 LiCl 相比, MgCl₂ 先达到极限扩散电流密度,其与它在熔体中的浓度成正比。因此,随着 MgCl₂ 浓度的增加,合金中 Mg 含量增加。Mg-Li 合金中锂的含量能够通过熔盐中的 MgCl₂ 浓度配比和电解参数来控制,当 MgCl₂ 浓度超过 10%, Li 很难从熔体中沉积。在 KCl-LiCl-MgCl₂-CaCl₂ 熔盐体系中,共电沉积制备了 Mg-Li-Ca 合金,研究表明 Ca 欠电位沉积在预先电解出的 Mg 上并合金化,随后 Li 沉积在 Mg-Ca 合金上形成三元合金^[9]。以 $\text{MgCl}_2 + \text{LiCl} + \text{KCl} + \text{KF}$ 为电解质体系,以金属钼为阴极,石墨为阳极, $630 \sim 810^\circ\text{C}$ 下进行电解可制备 Mg-Li-Sm 合金, 阴极电流密度 $6.4 \sim 16.0\text{ A/cm}^2$, 阳极电流密度 0.5 A/cm^2 , 槽电压 $5.1 \sim 8.4\text{ V}$, 不用金属镁、锂、钐,全部采用金属化合物为原料,通过熔盐电解就可直接制备出 Mg-Li-Sm 合金^[10-12]。采用类似方法还可制备 Mg-Li-La-Ce^[13]、Mg-Li-Gd^[14]、Mg-Li-Dy^[15]、Mg-Li-Ho^[16]、Mg-Li-Er^[17]、Mg-Li-Zn^[18]、Mg-Li-Pb^[19]、Mg-Li-La^[20] 合金。

2.3 镁-稀土合金

稀土金属对镁合金具有细化晶粒、防止偏析、改善金相组织、净化除杂等作用,可以有效改善镁合金的物理化学性能、机械性能和加工性能,从而使合金强度高、抗蠕变性能好^[2, 22]。

采用无水原料用熔盐电解法制备镁稀土合金时,从电解原料来看,可采用无水氯化物、氧化物、碳酸盐或它们的混合物等。从电解方式来看,可分为共电沉积和非共电沉积两种情况。所采用的电解质体系主要是氯化物和氟化物体系。

由于镁和稀土的电极电位相近,电解共沉积在镁稀土合金制备上得到广泛应用。以铂丝、钨丝和石墨棒分别为参比电极、工作电极和

辅助电极,在添加 Y_2O_3 和 MgO 的 YF_3 - LiF 熔盐体系中,采用循环伏安法对 Y^{3+} 和 Mg^{2+} 在钨电极上的电化学还原过程研究结果表明, Y^{3+} 和 Mg^{2+} 的析出是可逆的简单电荷传递反应,过程受扩散控制。随着混合氧化物中 Y_2O_3 比例的增大, Y 的析出电位向正方向移动, Mg 的析出电位向负方向移动,两者的析出电位差减小。当 $Y_2O_3:MgO=4:1$ (质量比) 时,钇离子和镁离子共电析出^[22-23]。

Toshihide 在 $MgCl_2$ - $NaCl$ - KCl - $LaCl_3$ 体系中电解制备了含镧的镁合金,研究发现 Mg - La 合金中的 La 含量取决于熔盐中 $LaCl_3$ 的浓度和阴极电压。相反,通过控制 $LaCl_3$ 浓度和阴极电压,可以制备得到一定 La 含量的 Mg - La 合金^[24]。Soare 在一个小电解池中,以溶解在 LiF - NdF_3 - MgF_2 熔盐中的 $Nd_2(CO_3)_3$ 和 $MgCO_3$ 为原料,通过电解制备了 Mg - Nd 合金。在实验室电解槽中,在给定阳极面积的情况下,在发生阳极效应前,极限阳极电流密度为 $0.3 A/cm^2$ 。溶解度研究表明碳酸盐分解为氧化物,并且溶解比以纯氧化物为原料速度快^[25]。彭光怀以混合 Gd_2O_3 - MgO 为原料,在 GdF_3 - LiF - BaF_2 - CaF_2 氟化物熔盐体系中共电沉积制备了 Gd - Mg 中间合金,成分均匀,电流效率最高达 80%,为低成本、环保型的稀土镁中间合金生产打下一定基础^[26]。张密林等以 $MgCl_2$ - $LiCl$ - KCl - KF 为电解质体系,加入富铈碳酸稀土(碳酸铈和碳酸镧)后,于 $750 \sim 800^\circ C$ 下熔融,以惰性金属电极为阴极,石墨为阳极,在 $650 \sim 800^\circ C$ 下进行电解,阴极电流密度 $12 \sim 20 A/cm^2$,阳极电流密度 $0.5 A/cm^2$,槽电压 $5.5 \sim 9.0 V$,经过 $1 \sim 2 h$ 的电解,可得 Mg - Li - Ce - La 合金产物^[13]。

采用液态金属为阴极电解制备稀土-镁合金时,主要有上浮阴极和下沉阴极两种情况。以 KCl - $CaCl_2$ - $NdCl_3$ 为熔盐电解质体系,以液态金属镁为上浮阴极,以石墨为阳极,在 $680 \sim 750^\circ C$ 下电解可以得到 Mg - Nd 合金^[27]。在氟化物体系中熔盐电解氧化钕制取镁-钕合金时,先以液态金属镁作为上浮阴极,随着电解过程的进行,越来越多的钕进入合金,合金密度越来越大,原来上浮的阴极逐渐下沉变为下沉阴极,适宜的电解条件为:电解温度 $(1050 \pm 10)^\circ C$ 、

阴极电流密度 $6 \sim 7 A/cm^2$,所得到的钕-镁合金化学成份均匀、杂质含量低^[21]。

氯化物体系的电解原料一般为制备成本较高的无水氯化物,如果采用部分脱水氯化物或不脱水的氯化物为电解原料,则可降低成本。几十年来,在氯化物体系熔盐电解生产镁稀土合金领域,一直追求用半脱水料或不脱水料直接投入到电解槽进行电解,以缩短生产流程,降低脱水成本和与镁行业上游产品 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 和稀土行业上游产品 $RECl_3 \cdot 6H_2O$ 进行完美对接。

中国科学院长春应用化学研究所对不完全脱水氯化物熔盐电解制备镁稀土中间合金进行了系统的研究,以氯化钾、氯化钠、氯化镧镨铈为电解质,石墨坩埚为阳极,阴极材料为金属 W 或 Mo ,电解方式有液态阴极法和共电沉积法。液态阴极法采用稀土含量为 $5\% \sim 8\%$ 的镁-镧镨铈中间合金作为初始下沉液态阴极,与总电解质的质量比为 $1:4 \sim 5$,原料氯化镧镨铈含水和水不溶物量小于 15% ,在 $700 \sim 900^\circ C$ 下电解,电解过程中在液态阴极表面上析出的稀土金属向合金内部扩散,使稀土的析出速度与其向液态阴极的扩散速度相匹配,在较低温度下获得镁-($8 \sim 30$)% 镧镨铈中间合金^[28]。共电沉积法所用原料混合轻稀土水含量控制在 $15\% \sim 25\%$,氯化镁水含量控制在 $2\% \sim 8\%$,阴极电流密度 $10 \sim 30 A/cm^2$,温度在 $700 \sim 900^\circ C$ 之间,让稀土离子和镁离子在阴极上共电沉积生成熔点接近稀土镁共晶温度的中间合金,其含量为 $24\% \sim 65\%$,电流效率 $60\% \sim 85\%$,镁和稀土的直收率分别达到 $80\% \sim 95\%$ 和 $80\% \sim 93\%$ ^[29]。亦有更高含水量氯化镁为原料的报道^[30]。在熔融氯化物体系中,还实现了在同一电解槽中,上浮液态镁阴极、下沉液态高浓度稀土镁阴极和非自耗铅直表面中等浓度稀土镁液态阴极共存,电化学沉积同时发生在三维空间的阴极表面。连续流淌的动态阴极,使枝晶难以在发生电化学沉积的表面生成,形成自然搅拌^[31]。

中国科学院青海盐湖研究所采用含水氯化镁和含水氯化稀土为电解原料,利用共电沉积也制备出了镁稀土合金。以含水氯化镁和含水

氯化稀土为电解原料,以氯化镁-氯化稀土-氯化钾为电解质体系,以钼棒为阴极或以液态金属稀土或液态镁稀土合金为下沉阴极,以石墨坩埚为阳极,于电流为 1 000 ~ 2 000 A,电压为 5 ~ 15 V,温度为 800 ~ 1 000℃ 下进行直流电解,在阴极共电沉积,得到稀土含量在 5% ~ 95% 的镁稀土合金。所采用的电解原料,既可以是部分脱水的氯化物,也可以是不脱水的氯化物,可以进一步降低电解原料的制备成本。采用不脱水的氯化物为原料进行电解时,需要采用特殊的加料方式^[32]。

电解制备稀土-镁合金时电解温度很重要。如果电解温度过低,电解原料在电解质中的溶解度和溶解速度减小,电解质粘度大,流动性差,金属离子及液态金属的扩散速度慢,导致电流效率和收率低;如果电解温度过高,液态金属在电解质中的溶解损失增大,电解质的循环加剧,熔体对槽衬和电极的侵蚀作用增强,合金产物受污染的可能性增大,能耗也增加^[2]。

2.4 其它镁合金

金属 Zr 在镁合金中具有强烈的晶粒细化作用,陈增^[33]在 K_2ZrF_6 -LiCl-KCl 熔盐体系中电解制备了 Mg-Zr 合金,Zr 的还原是通过两步电子转移反应完成的。Mg-Zr 合金存在两种形成机制:1) 锆在液态镁电极上电沉积形成合金;2) 金属镁还原锆形成合金。研究得到了优化的工艺参数:电解温度 725℃、电流密度 5.66 A/cm², K_2ZrF_6 的浓度 5% 时电解 1 h,合金中 Zr 的含量达到 1.55%。

金属 Sr 作为镁合金的一种合金化元素,微量的 Sr 就会改变镁合金组织行为及力学性能。重庆大学李海东^[34]以 Mg-Al 合金作为阴极, $SrCl_2$ -LiCl 为电解质体系,成功制备了 Mg-Al-Sr 合金,电流效率取决于金属锶的析出速率和析出锶在镁铝合金液内的扩散速度。彭晓东^[35]以镁熔体为液态阴极,电解的原料可以是锶和锂的氯化物、氟化物、氧化物、碳酸盐等,在 700 ~ 1 000℃,电解电压 2.5 ~ 7.0 V,电解获得 Mg-Li-Sr 合金,工艺流程短,材料来源广泛,材料利用率较高。

3 结 语

熔盐电解制取镁合金主要有三种方法:电解共沉积法、阴极合金化法和液态阴极法。电解共沉积是熔盐电解法制备镁合金的普遍的方法,电解共沉积的基本条件是两种金属离子的沉积电位相等。阴极合金化是以合金中的一个组分为阴极,另一个组分沉积在其上并进入内部,形成固溶体或金属间化合物。液态阴极法过程中,沉积金属原子向阴极金属本体内扩散往往成为电极过程的控制步骤,当沉积速度超过扩散入合金的速度时,金属便容易从阴极上分离出来。

Mg-Li 合金及其 Mg-Li 基多元合金的电化学原理和基本过程的研究取得了一定的进展,但产业化方面的工艺、技术研究较少。Mg-Al 合金的研究主要基于避开氯化镁完全脱水的苛刻条件及高能耗,以不完全脱水氯化镁或氧化镁为原料,采用液态阴极法为镁电解提供新的思路,目前主要是小电解槽的应用基础研究。稀土、锆、铈作为镁合金中重要的合金化元素,镁稀土合金的研究较多,在理论基础和工艺技术方面都有一定的突破,而 Mg-Zr、Mg-Sr 合金的研究较少,且仅仅是实验室内的基础研究。

随着镁合金产业的快速发展,熔盐电解法制备镁合金在应用基础研究和技术创新方面都取得了明显的进步,但离产业化尚有一定的距离。镁合金的熔盐电解制备有很强的应用背景,且很明确,与产业化研发相关的工作如电解槽的大型化、成本和能耗的降低、自动化水平的提高等值得关注。

参考文献:

- [1] 师昌绪,李恒德,王淀佐,等. 加速我国金属镁工业发展的建议[J]. 材料导报, 2001, 15(4): 5-6.
- [2] 刘腾云,叶秀深,刘海宁,等. 以不完全脱水氯化镁电解制备稀土镁合金的相关技术问题[J]. 盐湖研究, 2008, 16(3): 33-39.
- [3] 沙马 R A. 镁及其合金的电解生产法[P]. 中国专利: 96106838.8, 1996-06-08.
- [4] 杨少华. 以氧化镁为原料熔盐电解法制备 Al-Mg 合金的研究[D]. 沈阳: 东北大学, 沈阳, 2007, 12.

- [5] Zhang M L, Yan Y D, Hou Z Y, *et al.* An electrochemical method for the preparation of Mg-Li alloys at low temperature molten salt system[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2007, 440(1-2): 362-366.
- [6] Ye K, Zhang M L, Chen Y, *et al.* Electrochemical codeposition of Al-Li-Mg alloys at solid aluminum electrode from LiCl-KCl-MgCl₂ molten salt system[J]. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2010, 41(3): 691-698.
- [7] Lin M C, Tsai C Y, Uan J Y. Converting hcp Mg-Al-Zn alloy into bcc Mg-Li-Al-Zn alloy by electrolytic deposition and diffusion of reduced lithium atoms in a molten salt electrolyte LiCl-KCl[J]. *Scripta Materialia*, 2007, 56(7): 597-600.
- [8] 颜永得, 张密林, 韩伟, 等. KCl-LiCl-MgCl₂ 熔盐体系中共电沉积制备 Mg-Li 合金及理论分析[J]. *无机化学学报*, 2008, 24(6): 902-906.
- [9] Yan Y D, Zhang M L, Xue Y, *et al.* Electrochemical formation of Mg-Li-Ca alloys by codeposition of Mg, Li and Ca from KCl-LiCl-MgCl₂-CaCl₂ melts[J]. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2009, 11: 6148-6155.
- [10] 张密林, 韩伟, 田阳, 等. 一种镁锂-钐合金及其熔盐电解制备方法[P]. 中国:200810064625.9, 2008-10-15.
- [11] Han W, Tian Y, Zhang M L, *et al.* Preparation of Mg-Li-Sm alloys by electrocodeposition in molten salt[J]. *Journal of Rare Earths*, 2009, 27(6): 1046-1050.
- [12] Han W., Tian Y., Zhang M. L., *et al.* Preparing different phases of Mg-Li-Sm alloys by molten salt electrolysis in LiCl-KCl-MgCl₂-SmCl₃ melts[J]. *Journal of Rare Earths*, 2010, 28(2): 227-231.
- [13] 张密林, 韩伟, 田阳, 等. 一种镁锂-铈镧合金及其熔盐电解法制备方法[P]. 中国:200810064664.9, 2008-11-12.
- [14] Wei S Q, Zhang M L, Han W, *et al.* Electrochemical codeposition of Mg-Li-Gd alloys from LiCl-KCl-MgCl₂-Gd₂O₃ melts[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2011, 21(4): 825-829.
- [15] 张密林, 韩伟, 杨育圣, 等. 一种熔盐电解制备镁锂镧合金的方法[P]. 中国:200810064626.3, 2008-10-15.
- [16] 张密林, 李梅, 赵全友, 等. 镁锂钛合金、镁锂钽合金的熔盐电解制备方法及装置[P]. 中国:200810064663.4, 2008-11-12.
- [17] Cao P, Zhang M L, Han W, *et al.* Electrochemical behaviour of erbium and preparation of Mg-Li-Er alloys by codeposition[J]. *Journal of Rare Earths*, 2011, 29(8): 763-767.
- [18] Yan Y D, Zhang M L, Xue Y, *et al.* Study on the preparation of Mg-Li-Zn alloys by electrochemical codeposition from KCl-LiCl-MgCl₂-ZnCl₂ melts[J]. *Electrochimica Acta*, 2009, 54(12): 3387-3393.
- [19] Zhang M L, Chen L J, Han W, *et al.* Electrochemical behavior of Pb(II) in KCl-LiCl-MgCl₂-PbCl₂ melts on Mo electrode[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2012, 22(3): 711-716.
- [20] Zhang M L, Cao P, Han W, *et al.* Preparation of Mg-Li-La alloys by electrolysis in molten salt[J]. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2012, 22(1): 16-22.
- [21] 杨庆山, 陈建军, 谢建秋. 氟化物熔盐体系中电解制备镁-钕中间合金[J]. *稀有金属*, 2007, 31(专辑): 45-49.
- [22] 贺圣, 李宗安, 颜世宏, 等. YF₃-LiF 熔盐体系中氧化物电解共沉积钕镁合金的阴极过程研究[J]. *中国稀土学报*, 2007, 25(1): 120-123.
- [23] Yang S H, Yang F L, Liao C F, *et al.* Electrodeposition of magnesium-yttrium alloys by molten salt electrolysis[J]. *Journal of Rare Earths*, 2010, 28(Supplement 1): 385.
- [24] Toshihide T, Yusuke N, Nobuo N, *et al.* Direct electrodeposition of Mg containing La in molten salt and its corrosion property[J]. *Electrochemistry*, 2005, 73(8): 706-709.
- [25] Sore V, Gurgu C, Burada M, *et al.* Production of a Mg-Nd alloy by direct electrolysis from an oxifluoride melt[J]. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 2006, 45(2): 153-160.
- [26] 彭光杯, 郭雪锋, 邱承洲, 等. 氟化物熔盐共电沉积制备 Gd-Mg 中间合金研究[J]. *昆明理工大学学报(理工版)*, 2010, 35(2): 16-19, 26.
- [27] Claus K G, Schoppe D W, Earlam M R. Electrolytic process for producing neodymium metal or neodymium metal alloys[P]. US patent: 5118396, 1992-06-02.
- [28] 孟健, 张德平, 房大庆, 等. 低温下沉液态阴极电解制备镁稀土中间合金的方法[P]. 中国:200510017229.7, 2005-10-28.
- [29] 孟健, 房大庆, 张德平, 等. 镁-镧镨铈中间合金的共电沉积制备方法[P]. 中国:200510017209.X, 2005-10-21.
- [30] 孟健, 房大庆, 张德平, 等. 镁-镧镨铈中间合金的制备方法[P]. 中国:200710300339.3, 2007-12-27.
- [31] 孟健, 吴耀明, 张洪杰, 等. 复合阴极熔盐电解稀土-镁中间合金的制备方法[P]. 中国:200510119117.2, 2005-12-28.
- [32] 吴志坚, 孙庆国, 李权, 等. 熔盐电解法制备镁稀土合金的方法[P]. 中国:200910117402.9, 2009-12-30.
- [33] Chen Z, Zhang M L, Han W, *et al.* Electrodeposition of Zr and electrochemical formation of Mg-Zr alloys from the eutectic LiCl-KCl[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2008, 459(1-2): 209-214.
- [34] 李海东, 彭晓东. 碱土镁合金的研究及开发[J]. *轻金属*, 2006, (6): 39-44.
- [35] 彭晓东, 杨艳, 谢卫东. Mg-Li-Sr 合金电解制备方法[P]. 中国:200710078627.9, 2007-6-15.

Research Progress in the Preparation of Magnesium Alloys by Molten Salt Electrolysis

WANG Shi-dong, LI Ming-zhen, YE Xiu-shen, LI Quan, Wu Zhi-jian, HUO Yan
(Key Laboratory of Salt Lake Resources and Chemistry, Qinghai Institute of Salt Lakes,
Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract: As the lightest metal structure material applied in the industry, magnesium alloy has a wide application prospect. Molten salt electrolysis is an effective method for preparation of magnesium alloys. Compared to melting method, it has advantages such as the composition of the alloy is more uniform and the quality is better, etc. The alloys of Mg-Al, Mg-Li, Mg-RE were used widely. In this paper, the research progress was reviewed and analyzed. The present study focuses on applied basic research and technological innovation. As the work has a strong application background, it is proposed that the related research for industrialization is worthy of attention.

Key words: Molten salt electrolysis; Magnesium alloys; Preparation

(上接第 60 页)

Progress in Application of Magnesium Hydroxide as An Adsorbent

HUO Shan^{1,2}, QING Bin-ju¹, DENG Xiao-chuan¹, ZHU Chao-liang¹,
WEN Xian-ming, SHI Yi-fei¹, SHAO Fei¹
(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

Abstract: Due to the high activity, good buffer effect, security, non-corrosive and non-poisonous properties, magnesium hydroxide has been widely used as an effective adsorbent for environmental protection. The applications of magnesium hydroxide used as an adsorbent for the removal of dyes, heavy metal and ammonium ions, and phosphate from wastewater, for the removal of boron from seawater or brine, for flue gas desulfurization, etc., were comprehensively reviewed. In addition, nanometer magnesium hydroxide is a new type of inorganic material, which has many properties such as the surface effect and small size effect, and interface effect. Therefore, nanometer magnesium hydroxide has higher adsorption capacity, making it easy to get bigger promotion in the application of environmental protection. If the surface of nano-sized magnesium hydroxide is modified with different characteristic active groups, its application in the rare and expensive elements' extraction will be very significant.

Key words: Magnesium hydroxide; Adsorbent; Waste water treatment; Tail gas treatment