

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016 年 11 月 24 日 (24.11.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/184237 A1

- (51) 国际专利分类号:
C22C 21/02 (2006.01) C22C 1/02 (2006.01)
C22C 21/08 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2016/076435
- (22) 国际申请日: 2016 年 3 月 16 日 (16.03.2016)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201510253544.3 2015 年 5 月 19 日 (19.05.2015) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 亚太轻合金 (南通) 科技有限公司 (ASIA-PACIFIC LIGHT ALLOY (NANTONG) TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省南通海安经济开发区海防路 29 号, Jiangsu 226600 (CN)。

- (72) 发明人: 赵玉涛 (ZHAO, Yutao); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 怯喜周 (KAI, Xizhou); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 陈刚 (CHEN, Gang); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 李其荣 (LI, Qirong); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 浦俭英 (PU, Jianying); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (CN)。
- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST,

[见续页]

(54) Title: 6X82 ALUMINIUM-BASED COMPOSITE MATERIAL FOR USE IN AUTOMOBILE CONTROL ARM AND PREPARATION METHOD THEREOF

(54) 发明名称: 一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法

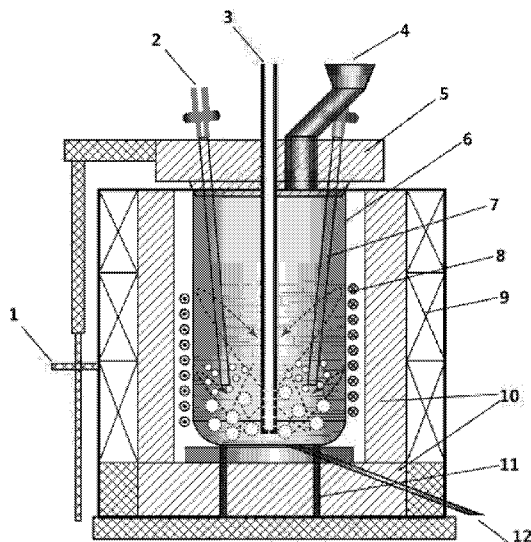


图 1

(57) Abstract: A preparation method of an aluminium-based composite material for use in an automobile control arm, comprising: adding a reinforcement reactant to a 6x82 aluminium alloy melt, obtaining a nanocomposite enhancer by applying a rotating magnetic field and high-intensity ultrasonic field, and adding, according to a performance composition design, an appropriate amount of the nanocomposite enhancer to a purified 6x82 aluminium alloy melt and uniformly mixing, and finally, mass-producing, by an optimized expendable mold casting system, a 6x82 aluminium-based composite material bar.

(57) 摘要: 一种汽车控制臂用铝基复合材料的制备方法, 首先将增强体反应物加入 6X82 铝合金熔体中, 在螺旋磁场和高能超声场的共同作用下制备得到纳米复合强化剂, 然后根据性能成分设计将适量的纳米复合强化剂直接加入至净化处理后的 6X82 合金熔体中并均匀化, 最后通过优化改进的气模铸造系统规模化制备 6X82 基复合材料棒材。



WO 2016/184237 A1



SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, ZA, ZM, ZW。

HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,
CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE,
SN, TD, TG)。

- (84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法

技术领域

[0002] 本发明涉及铝基复合材料，特指一种汽车控制臂用高性能铝基复合材料的制备方法。

背景技术

[0003] 随着对汽车节能环保、轻量化和高机动性的要求，汽车控制臂等部分铁制、钢制构件逐渐被铝合金所替代；出于对强塑性和安全性的考虑，目前国际上大多采用 6082 铝合金（Al-Mg-Si-Cu 系）的锻造件作为轻型汽车控制臂，虽然这些材料经过气模铸造、两次挤压和锻造后抗拉强度 R_m 可达 340MPa，屈服强度 $R_{p0.2}$ 可达 310MPa，延伸率 A 可达 12%，刚度可达 5.0KN/mm，但在长期的使用过程中仍然会出现小幅度变形（强度、刚度不足），以及疲劳断裂（强韧性不足），给汽车的轻量化和安全性带来威胁。

[0004] 对现有的技术文献和综述文献调研表明，目前主要通过对合金的成分进行优化调控并结合苛刻的热处理工艺来进一步提高铝制控制臂的综合性能（如：专利 CN103173664）；然而，上述苛刻的工艺技术依然存在着以下的缺点和不足（1）强塑性提升不显著（一般低于 10%），主要依靠传统的合金强化和析出强韧化，难以摆脱强塑性倒置关系，通常以牺牲塑性的方法提高强度；（2）合金化不能有效提高材料的模量，从而不能从根本上提高材料的刚度，轻量化效益不明显。

发明内容

[0005] 本发明的目的就在于针对现有技术的不足，在优化合金组分及热处理工艺的基础上，在净化的合金熔体中加入富含纳米 AlN 晶须、纳米 ZrB_2 颗粒、亚微米 TiB_2 颗粒、纳米 Al_2O_3 颗粒、微米 Al_3Ti 颗粒的多元多尺度纳米复合强化剂，通过纳米纤维承载强化、纳米粒子 Orowan 强化、纳米增强体增韧以及细晶强韧化等机制的作用，最大限度地保持合金基体塑韧性的同时提高其强度和模量。

[0006] 本发明首先将“螺旋磁场约束控制技术”和“高能超声分散技术”相结合原位高效制备多元多尺度纳米复合强化剂；然后将复合强化剂加入至经过成分优化和净化处理的 6X82 合金熔体中，并采用低频磁场搅拌的方法促进复合强化剂的融合与分散；最后通过优化改进的气模铸造系统获得复合材料铸棒，以备后续的热处理、变形以及控制臂构件成形。

[0007] 本发明的纳米复合强化剂及其纳米复合强韧化技术，有效解决目前合金成分优化

手段对材料强度提升不显著，不能提高合金的模量以及牺牲塑韧性的缺点；并有效避免直接在合金熔池中原位合成增强体时，反应物浸润困难、副产物污染合金、设备改造成本高、降低生产效率的缺点，可以在最小改造设备的基础上、低成本、无污染、高效率的规模化生产汽车控制臂用 6X82 基复合材料。

[0008] 本发明的制备方法包括以下步骤：

(1) 多元多尺度纳米复合强化剂的制备：将 6X82 合金加入螺旋磁场-超声场组合复合装置的坩埚中，如附图 1，并升温至所需反应温度，然后将反应物通入或加入熔体中，并启动螺旋磁场和超声场发生系统，使反应物与铝熔体充分混合接触，待反应结束后从出料口获得多元多尺度纳米复合强化剂。

[0009] (2) 汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备：将步骤 1 中制备的复合强化剂加入至汽车控制臂用 6X82 合金半连铸生产线中经过除气、除渣后的合金熔池中，并均匀混合，然后通过优化改进的气模浇铸系统生产复合材料棒材。

[0010] 所述的 6X82 合金，为我公司根据汽车控制臂供应商客户对性能的要求，经过成分优化的专用合金。首先将 Si 含量和 Mg 含量分别由 6082 的 1.05~1.12% 和 0.82~0.95% 调整至 0.9~1.05% 和 0.9~1.05%，在减少游离硅含量（由 0.58% 降至 0.4%）的同时提高 Mg_2Si 的含量（由 1.4% 提高到 1.5%），在保证强度不变的基础上，提高合金的延展性和可锻性；同时将 Cu 的成分控制在 0.5~0.6 之间，提高合金的强度；其次将 Zr 作为添加元素控制在 0.03%、并把 Cr 作为添加元素控制在 0.1~0.15% 范围内，通过这三个元素的复合作用，形成细小弥散的化合物，提高再结晶温度；最终与 6082 合金相比，在强塑性和可锻性方面获得进一步提高；所述的 6X82 合金的具体成分按照重量百分比计算为：Si: 0.9~1.05, Mg: 0.9~1.05, Cu: 0.5~0.6, Fe: 0.2, Cr: 0.1~0.15, Zr: 0.03, 包括 Pb, Sn 和 Na 在内的其他杂质元素单个小于 0.05、合计不大于 0.15，余量为 Al。

[0011] 所述的“螺旋磁场-超声场组合复合装置”，包括位于隔热保温层内的坩埚，坩埚上设有炉盖，其特征在于：设有双超声变幅杆组成的超声系统和螺旋搅拌磁体，双超声变幅杆穿过炉盖伸入坩埚中，沿坩埚中心轴线对称布置；螺旋搅拌磁体安装在隔热保温层表面，具体结构见附图 1 所示，其工艺参数特点为：螺旋搅拌磁体的旋转磁场（周向）和行波磁场（径向）可单独调节，其中电压为 380V，电流 50~190A 可调，频率 2~20Hz 可调；超声功率为 500~2000W，波速为 1500m/s，超声频率为 10~30kHz；通过两个方向磁场强度与频率的调节，可有效实现反应物与铝熔体均匀混合，并约束高能超声破碎反应物产生的细小气泡、熔盐液滴或粉体的上浮和下沉，使铝熔体与反应物充分接触，达

到加速反应进行和均匀化增强体产物的目的；在最佳参数工艺的情况下，旋转磁场：电流 50A，频率 10Hz；行波磁场：电流 90A，频率 15Hz；超声：功率 1500W，频率 20kHz，30min 即可使整个反应进行完毕（无剩余反应物），且增强体分布均匀。

[0012] 所述的多元多尺度纳米复合强化剂中的增强体的成份按照重量百分比计算为：纳米 AlN 晶须（1~2wt.%），纳米 ZrB_2 颗粒（1~5wt.%），纳米 Al_2O_3 颗粒（0~10wt.%）和亚微米 TiB_2 颗粒（1~5wt.%），其余为 6X82 合金。

[0013] 步骤（2）中复合强化剂的加入量为 6X82 合金的 0.5~5wt.%。

[0014] 制备增强体所述的气体反应物为 N_2 或 NH_3 ，纯度不低于 99.8vol.%，流量为 1.5~3.5 L/min；所述的固体反应物由 K_2ZrF_6 和 ZrO_2 中的一种、 K_2TiF_6 和 TiO_2 中的一种与 KBF_4 和 B_2O_3 中的一种组成，其中固体反应物的配比则根据所述的增强体的化学计量比进配比。

[0015] 所述的优化改进的气模浇铸系统如附图 2 所示，由于在复合强化剂熔于 6X82 合金熔体后，其中的纳米增强体在自由能降低的驱动力下趋于团聚，会使最终复合材料中的纳米增强体团聚不利于其强化作用的发挥；本发明采用在气模浇铸系统的熔体流入端加装四周设置有电磁搅拌磁体的矩形导流套，并在导流套中央加装高能超声器，功率 500W，频率 20kHz；高能超声可使熔体中团聚的纳米增强体重新分散，而导流套周围的高强度旋转磁场，电压 380V，电流 25A，频率 20Hz；则使导流套内的熔体高速旋转并与导流套的矩形内壁碰撞促进纳米颗粒的分散和传输，当导流套内纳米增强体均匀分布的熔体进入结晶器时，迅速凝固；从而不仅保证复合材料具有细小的晶粒，纳米增强体的均匀分布，而且复合熔体在磁场和重力场作用下螺旋下降的过程中凝固，还可有效降低铸棒的表层偏析。

[0016] 现有技术仅通过优化合金成分以及制定严格的热处理制度的方法，对合金的强度提升不明显，仅提升 10%左右，而且从技术文献中的工艺优选过程可以看出，强度的提升是以牺牲合金的塑韧性为代价的，最致命的是通过合金化不能从本质上提高材料的模量，从而对合金刚度的提升有限；与此同时目前的合金成分及工艺，是国内外经过多年的精心优化，从工程的角度可以认为通过合金化来提升汽车控制臂用 6082 合金的性能已经达到了优化升级的极限，然而疲劳断裂和长时间服役变形依然时有发生；因此通过新的技术手段在保持合金塑韧性的基础上提高其强度、模量、和疲劳性能是提高其寿命和可靠性，并大规模推广铝制汽车控制臂的重要途径。

[0017] 本发明提出的多元多尺度纳米复合强化技术及其复合材料制备方法，利用纳米增

强体的纳米尺度效应，在保持材料塑韧性的同时，显著提高材料的强度和模量。与传统的直接原位合成铝基复合材料相比，本发明将复合强化剂的制备和复合材料的生产分开，在最小限度改造原有生产线的基础上，可有效发挥复合强化剂生产装置的方便可控与合金连铸生产线的连续高效双重优势；解决直接反应工艺存在增强体反应物与铝熔体浸润困难、反应效率低的问题，同时避免直接将增强体反应物直接加入合金连铸生产线熔池产生的反应副产物污染熔体、降低连铸生产线效率的缺点；从而本发明可以绿色、高效、低成本、宏量化生产汽车控制臂用 6X82 基纳米复合材料，为汽车的节能环保、轻量化和机动性的提升提供技术保障。

附图说明

[0018] 图 1 为本发明的螺旋磁场-超声场组合复合装置结构示意图；1、炉盖升降装置，2、超声器，3、通气管，4.入料口，5、炉盖，6、坩埚，7、超声变幅杆，8 感应加热线圈，9、螺旋搅拌磁体，10、隔热保温层，11、支撑架，12、出料口。

[0019] 图 2 为本发明的优化改进的气模浇注系统结构示意图；13、高能超声头，14、矩形导流套，15、搅拌磁场，16.结晶器。

[0020] 图 3 为本发明的优化改进的气模浇注系统结构主视图。

[0021] 图 4 为本发明制备的 $(\text{ZrB}_2+\text{AlN}+\text{TiB}_2)/6\text{X82Al}$ 强化剂组织结构图。

[0022] 图 5 为本发明制备的 $(\text{ZrB}_2+\text{AlN}+\text{TiB}_2)/6\text{X82Al}$ 复合材料组织图。

具体实施方式

[0023] 以下结合附图对本发明实施方案进一步描述：以下实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施，给出了详细的实施方式和具体的操作过程，但本发明的保护范围不限于下述的实施例，如图 1 所示复合材料制备工艺设备工位示意图。

[0024] 实施例 1

以 N_2 气、 K_2ZrF_6 ， K_2TiF_6 和 KBF_4 为反应物生产 $(\text{ZrB}_2+\text{AlN}+\text{TiB}_2)/6\text{X82Al}$ 复合材料，其中最终复合材料中纳米 ZrB_2 颗粒 (0.15wt.%), 纳米 AlN 晶须 (0.05~0.1wt.%) 和亚微米 TiB_2 颗粒 (0.1wt.%), 其余为 6X82 合金。

[0025] 将经过杂质过滤、除渣、除气的 500kg 的 6X82 合金熔体，导入螺旋磁场-超声场组合复合装置并启动螺旋磁场（旋转磁场：电流 50A，频率 10Hz；行波磁场：电流 90A，频率 15Hz；超声：功率 1500W，频率 20kHz，然后将工业氮气， $\text{N}_2 \geq 99.8\text{vol.}\%$ ，流量为 2L/min，通过底端设置有出气孔的高纯石墨通气管通入熔体内部，同时把反应物粉剂 K_2ZrF_6 ， K_2TiF_6 和 KBF_4 按照生成 3wt.% 纳米 ZrB_2 颗粒，2wt.% 亚微米 TiB_2 颗粒，3wt.%

微米 Al_3Ti 颗粒的量, 通过入料口加入 6X82 合金熔体中; 在磁场与超声的高强度搅拌、分散作用下, 从石墨通气管底端进入熔体的大量 N_2 气泡被高能超声破碎成细小气泡, 在螺旋磁场的约束搅动下, 伴随熔体的复杂紊流被分散于熔体内部, 并在高能的超声“空化”作用产生的高温高压下与铝熔体发生反应; 而加入的反应物粉剂则熔化, 迅速地被卷入熔体, 并破碎成小液滴与铝熔体混合反应, 反应 30min 后停止磁场搅拌, 继续通入 N_2 气、开启超声 10min, 以净化复合强化剂熔体; 如图 4 所示复合强化剂组织结构图, 其中针状微米颗粒的为 Al_3Ti 颗粒, 大量弥散的纳米颗粒为 ZrB_2 相, 亚微米的颗粒为 TiB_2 , 絮状的为复合强化剂凝固过程中团聚的纳米 AlN ; 按 6X82 合金总量的 5wt.%, 将强化剂加入待气模浇铸的纯净化合金熔池中, 并通过磁场搅拌使熔体均匀混合, 最后通过气本发明优化设计的气模连铸系统浇铸成 $(\text{ZrB}_2+\text{AlN}+\text{TiB}_2)/6\text{X82Al}$ 复合材料棒材; 其中 Al_3Ti 中间相颗粒, 在合金凝固过程中与铝发生包晶反应溶于合金的同时, 并产生大量的大量晶核、起到细晶作用, 最终是消失的, 以备后续的均匀化热处理、挤压、控制臂锻造等工序; 如图 5 所示本发明制备的 $(\text{ZrB}_2+\text{AlN}+\text{TiB}_2)/6\text{X82Al}$ 复合材料组织图, 从图中可以看出所制备的复合材料组织晶粒细小, 增强体分布均匀。

[0026] 力学性能取样测试表明, 锻造后的该复合材料控制臂抗拉强度为 440MPa, 屈服强度为 380MPa, 延伸率为 14.3%, 模量为 75GPa, 相对 6X82 合金基体分别提升了 29.4%, 22.5%, 19.1% 和 11.4%。

[0027] 实施例 2

以 NH_3 气、 ZrO_2 、 TiO_2 和 B_2O_3 为反应物生产 $(\text{ZrB}_2+\text{AlN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiB}_2)/6\text{X82Al}$ 复合材料, 其中最终复合材料中纳米 ZrB_2 颗粒 0.08wt.%, 纳米 Al_2O_3 颗粒 0.248wt.%, 纳米 AlN 晶须 0.05~0.1wt.% 和亚微米 TiB_2 颗粒 0.04wt.%, 其余为 6X82 合金。

[0028] 增强体反应物选择 NH_3 , ZrO_2 、 TiO_2 和 B_2O_3 , 旋转磁场: 电流 50A, 频率 10Hz; 行波磁场: 电流 90A, 频率 15Hz; 超声: 功率 1500W, 频率 20kHz; 工业氨气, $\text{NH}_3 \geq 99.8\text{vol.}\%$, 流量为 3L/min, 反应物粉剂 ZrO_2 、 TiO_2 和 B_2O_3 按照生成 2wt.% 纳米 ZrB_2 颗粒, 1wt.% 亚微米 TiB_2 颗粒, 2wt.% 微米 Al_3Ti 颗粒的量加入, 则复合强化剂熔体中生成纳米 Al_2O_3 的理论量为 6.2wt.%, 按 6X82 合金总量的 4wt.%, 将强化剂加入待气模浇铸的纯净化合金熔池中, 具体步骤与实施例 1 相同, 最终生产获得 $(\text{ZrB}_2+\text{AlN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiB}_2)/6\text{X82Al}$ 复合材料。

[0029] 力学性能取样测试表明, 锻造后的该复合材料控制臂抗拉强度为 442MPa, 屈服强度为 390MPa, 延伸率为 13.5%, 模量为 78GPa。

[0030] 实施例 3

以 N_2 气、 K_2ZrF_6 、 K_2TiF_6 和 B_2O_3 为反应物生产 $(ZrB_2+AlN+Al_2O_3+TiB_2)/6X82Al$ 复合材料，其中最终复合材料中纳米 ZrB_2 颗粒 0.12wt.%，纳米 Al_2O_3 颗粒 0.183wt.%，纳米 AlN 晶须 0.05~0.1wt.% 和亚微米 TiB_2 颗粒 0.12wt.%，其余为 6X82 合金。

[0031] 制备增强体所述的气体反应物为 N_2 ， K_2ZrF_6 、 K_2TiF_6 和 B_2O_3 ，旋转磁场：电流 50A，频率 10Hz；行波磁场：电流 90A，频率 15Hz；超声：功率 1500W，频率 20kHz，工业 N_2 气纯度不低于 99.8vol.%，流量为 1.5~3.5 L/min；所述的固体反应物由 K_2ZrF_6 、 K_2TiF_6 和 B_2O_3 组成，按照生成 4wt.% 纳米 ZrB_2 颗粒，4wt.% 亚微米 TiB_2 颗粒，5wt.% 微米 Al_3Ti 颗粒的量加入，则复合强化剂熔体中生成纳米 Al_2O_3 的理论量为 6.3wt.%，按 6X82 合金总量的 3wt.%，将强化剂熔体导入待气模浇铸的纯净化合金熔池中，具体步骤与实施例 1 相同，最终生产获得 $(ZrB_2+AlN+Al_2O_3+TiB_2)/6X82Al$ 复合材料。

[0032] 力学性能取样测试表明，锻造后的该复合材料控制臂抗拉强度为 455MPa，屈服强度为 394MPa，延伸率为 12.8%，模量为 79GPa。

权 利 要 求 书

1. 一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法，其特征在于具体步骤如下：
将 6X82 合金加入螺旋磁场-超声场组合复合装置的坩埚中，并升温至所需反应温度，然后将反应物通入或加入熔体中，并启动螺旋磁场和超声场发生系统，使反应物与铝熔体充分混合接触，待反应结束后从出料口获得多元多尺度纳米复合强化剂；将复合强化剂加入至汽车控制臂用 6X82 合金半连铸生产线中经过除气、除渣后的合金熔池中，并均匀混合，然后通过气模浇铸系统生产复合材料棒材。
2. 如权利要求 1 所述的一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法，其特征在于：所述的 6X82 合金的具体成分按照重量百分比计算为：Si: 0.9~1.05, Mg: 0.9~1.05, Cu: 0.5~0.6, Fe: 0.2, Cr: 0.1~0.15, Zr: 0.03, 包括 Pb, Sn 和 Na 在内的其他杂质元素单个小于 0.05、合计不大于 0.15, 余量为 Al。
3. 如权利要求 1 所述的一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法，其特征在于：所述的螺旋磁场-超声场组合复合装置，包括位于隔热保温层内的坩埚，坩埚上设有炉盖，设有双超声变幅杆组成的超声系统和螺旋搅拌磁体，双超声变幅杆穿过炉盖伸入坩埚中，沿坩埚中心轴线对称布置；螺旋搅拌磁体安装在隔热保温层表面，螺旋搅拌磁体的周向旋转磁场和径向行波磁场能够单独调节，其中电压为 380V，电流 50~190A 可调，频率 2~20Hz 可调；超声功率为 500~2000W，波速为 1500m/s，超声频率为 10~30kHz；通过两个方向磁场强度与频率的调节，有效实现反应物与铝熔体均匀混合，并约束高能超声破碎反应物产生的细小气泡、熔盐液滴或粉体的上浮和下沉，使铝熔体与反应物充分接触，达到加速反应进行和均匀化增强体产物的目的。
4. 如权利要求 1 所述的一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法，其特征在于：周向旋转磁场：电流 50A，频率 10Hz；径向行波磁场：电流 90A，频率 15Hz；超声：功率 1500W，频率 20kHz；30min 整个反应进行完毕，无剩余反应物，且增强体分布均匀。
5. 如权利要求 1 所述的一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法，其特征在于：所述的多元多尺度纳米复合强化剂中的增强体的成份按照重量百分比计算为：纳米 AlN 晶须 1~2wt%，纳米 ZrB₂ 颗粒 1~5wt%，纳米 Al₂O₃ 颗粒 0~10wt%和亚微米 TiB₂ 颗粒 1~5wt%，其余为 6X82 合金。
6. 如权利要求 1 所述的一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法，其特征在于：所述的多元多尺度纳米复合强化剂的加入量为 6X82 合金的 0.5~5wt.%。
7. 如权利要求 1 所述的一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法，其特征在于：

制备增强体的反应物中的气体反应物为 N_2 或 NH_3 ，纯度不低于 99.8vol.%，流量为 1.5~3.5 L/min；反应物中的固体反应物由 K_2ZrF_6 和 ZrO_2 中的一种、 K_2TiF_6 和 TiO_2 中的一种与 KBF_4 和 B_2O_3 中的一种组成，其中固体反应物的配比则根据所述的增强体的化学计量比进行配比。

8. 如权利要求 1 所述的一种汽车控制臂用 6X82 基复合材料的制备方法，其特征在于：所述气模浇铸系统的熔体流入端加装四周设置有电磁搅拌磁体的矩形导流套，并在导流套中央加装高能超声器，功率 500W，频率 20kHz；高能超声可使熔体中团聚的纳米增强体重新分散，而导流套周围的高强度旋转磁场，电压 380V，电流 25A，频率 20Hz；则使导流套内的熔体高速旋转并与导流套的矩形内壁碰撞促进纳米颗粒的分散和传输，当导流套内纳米增强体均匀分布的熔体进入结晶器时，迅速凝固；从而不仅保证复合材料具有细小的晶粒，纳米增强体的均匀分布，而且复合熔体在磁场和重力场作用下螺旋下降的过程中凝固，还可有效降低铸棒的表层偏析。

附图

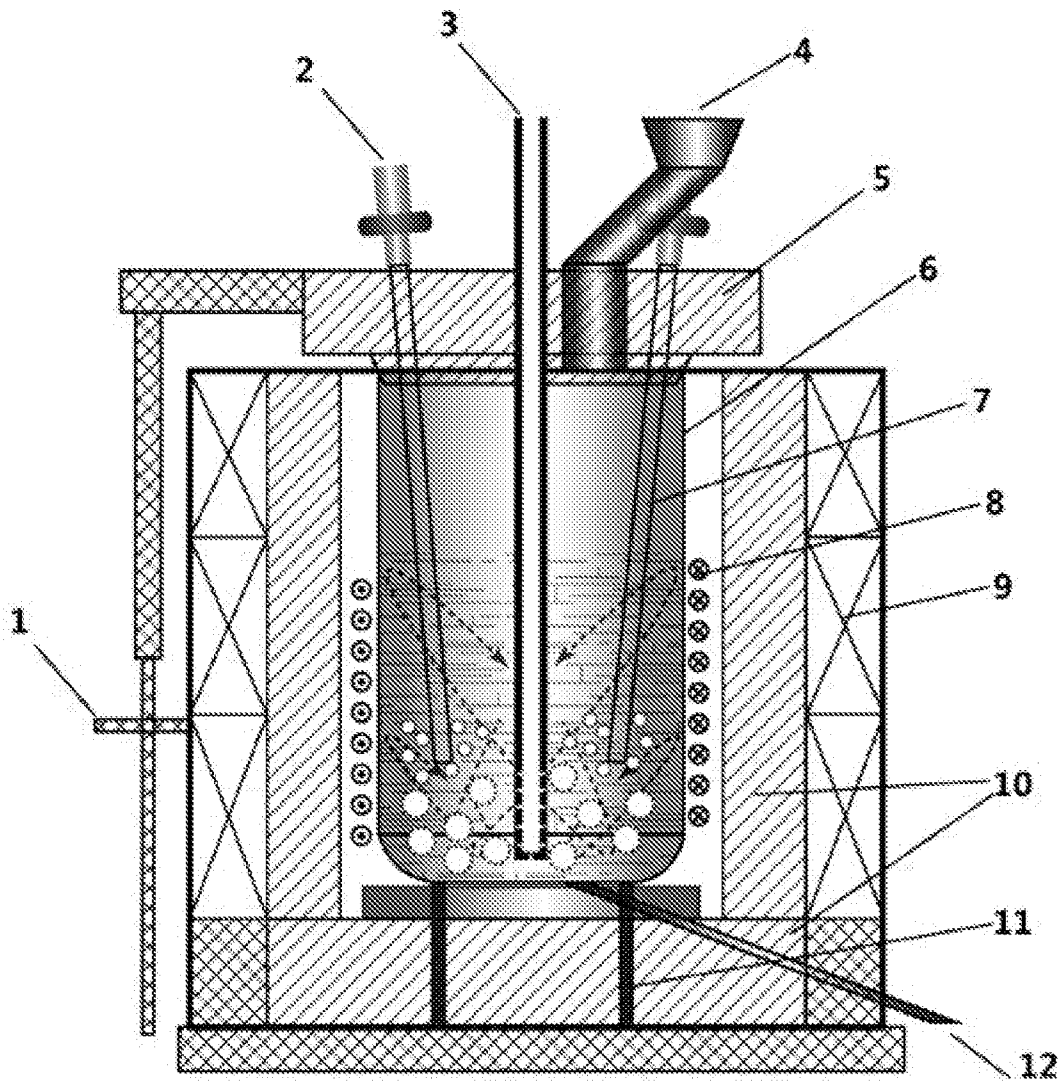


图 1

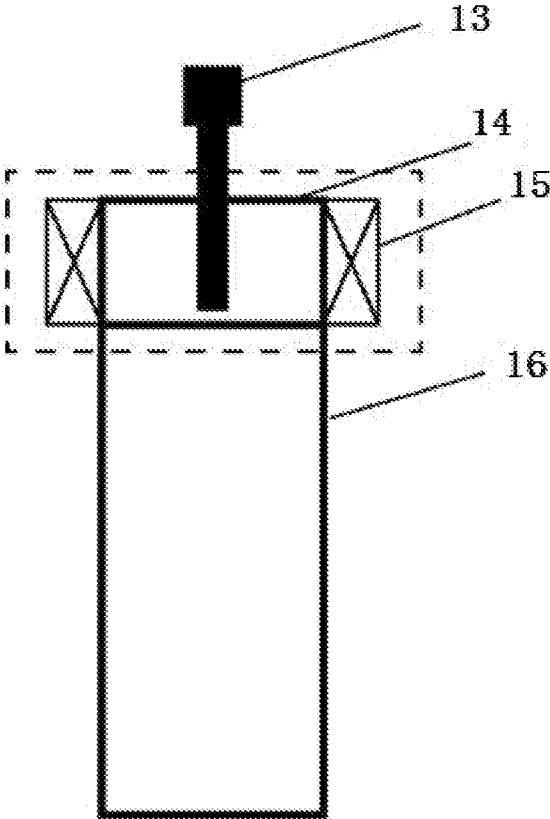


图 2

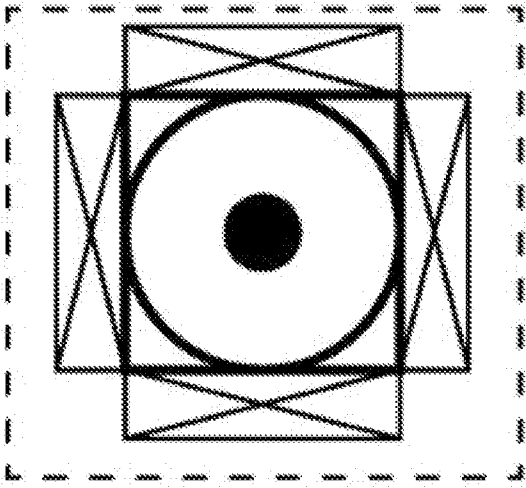


图 3

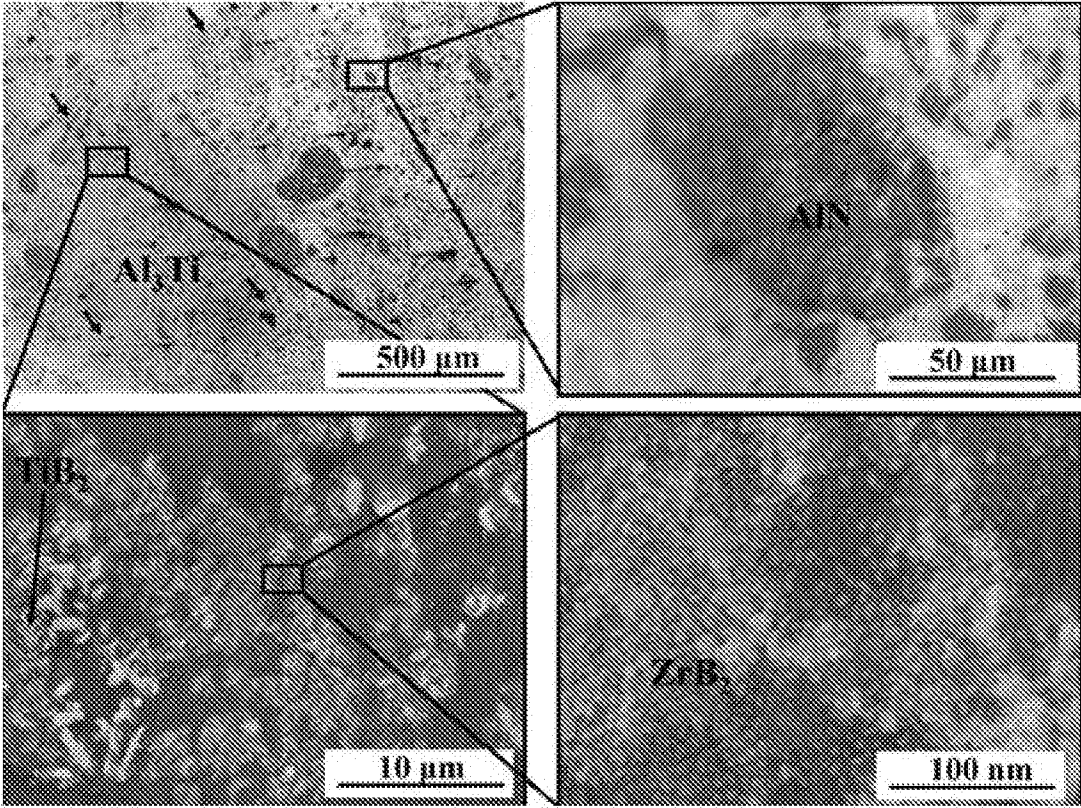


图 4

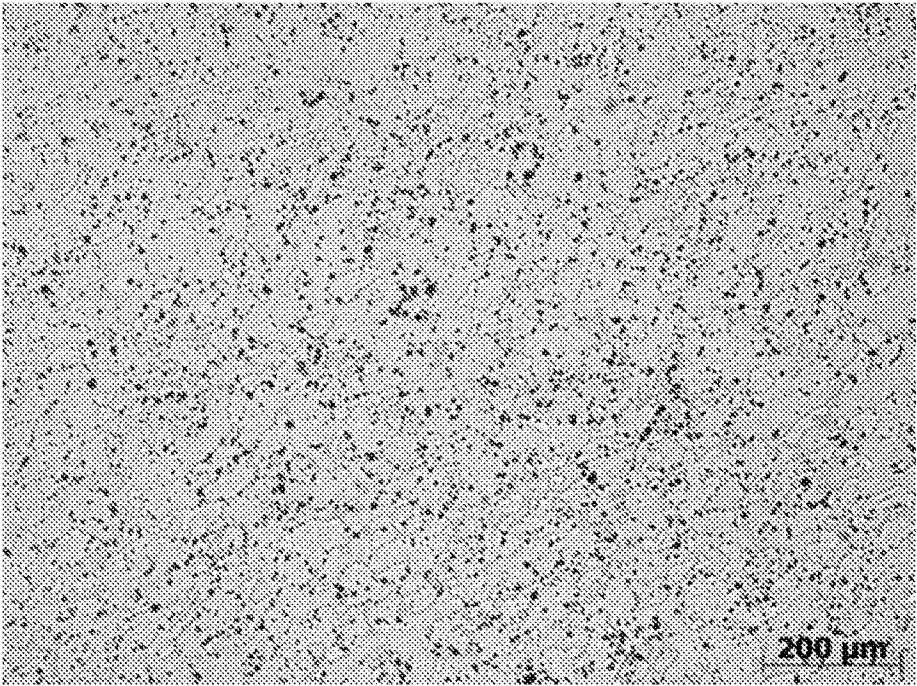


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2016/076435

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C 21/02 (2006.01) i; C22C 21/08 (2006.01) i; C22C 1/02 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22C 21; C22C 1

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

DWPI, SIPOABS, VEN, CN-PAT, CNKI: magnetic field, react+, magnet+, ultrasonic, stir+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 104928542 A (JIANGSU UNIVERSITY et al.), 23 September 2015 (23.09.2015), claims 1-8	1-8
A	CN 101391290 A (JIANGSU UNIVERSITY), 25 March 2009 (25.03.2009), the whole document	1-8
A	CN 102994814 A (JIANGSU UNIVERSITY), 27 March 2013 (27.03.2013), the whole document	1-8
A	CN 1352314 A (DING, Gang), 05 June 2002 (05.06.2002), the whole document	1-8
A	CN 102319756 A (SOUTHWEST ALUMINIUM (GROUP) CO., LTD.), 18 January 2012 (18.01.2012), the whole document	1-8
A	US 5409661 A (TOYOTA MOTOR CO., LTD. et al.), 25 April 1995 (25.04.1995), the whole document	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 02 June 2016 (02.06.2016)	Date of mailing of the international search report 29 June 2016 (29.06.2016)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer DANG, Xing Telephone No.: (86-10) 62084417

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2016/076435

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104928542 A	23 September 2015	None	
CN 101391290 A	25 March 2009	CN 101391290 B	08 December 2010
		WO 2010051675 A1	14 May 2010
		US 2011247778 A1	13 October 2011
CN 102994814 A	27 March 2013	None	
CN 1352314 A	05 June 2002	CN 1117165 C	06 August 2003
CN 102319756 A	18 January 2012	None	
US 5409661 A	25 April 1995	JP H05311302 A	22 November 1993
		DE 69219431 E	05 June 1997
		EP 0539172 A1	28 April 1993
		EP 0539172 B1	02 May 1997

A. 主题的分类 C22C 21/02 (2006.01) i; C22C 21/08 (2006.01) i; C22C 1/02 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) C22C 21; C22C 1 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) DWPI, SIPOABS, VEN, CN-PAT, CNKI: 反应, 磁场, 超声, 搅拌, react+, magnet+, ultrasonic, stir+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 104928542 A (江苏大学 等) 2015年 9月 23日 (2015 - 09 - 23) 权利要求1-8	1-8
A	CN 101391290 A (江苏大学) 2009年 3月 25日 (2009 - 03 - 25) 全文	1-8
A	CN 102994814 A (江苏大学) 2013年 3月 27日 (2013 - 03 - 27) 全文	1-8
A	CN 1352314 A (丁刚) 2002年 6月 5日 (2002 - 06 - 05) 全文	1-8
A	CN 102319756 A (西南铝业集团有限责任公司) 2012年 1月 18日 (2012 - 01 - 18) 全文	1-8
A	US 5409661 A (TOYOTA MOTOR CO LTD等) 1995年 4月 25日 (1995 - 04 - 25) 全文	1-8
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2016年 6月 2日		国际检索报告邮寄日期 2016年 6月 29日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 党兴 电话号码 (86-10)62084417

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2016/076435

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	104928542	A	2015年 9月 23日	无	
CN	101391290	A	2009年 3月 25日	CN	101391290 B 2010年 12月 8日
				WO	2010051675 A1 2010年 5月 14日
				US	2011247778 A1 2011年 10月 13日
CN	102994814	A	2013年 3月 27日	无	
CN	1352314	A	2002年 6月 5日	CN	1117165 C 2003年 8月 6日
CN	102319756	A	2012年 1月 18日	无	
US	5409661	A	1995年 4月 25日	JP	H05311302 A 1993年 11月 22日
				DE	69219431 E 1997年 6月 5日
				EP	0539172 A1 1993年 4月 28日
				EP	0539172 B1 1997年 5月 2日