

(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
2024 年 8 月 8 日 (08.08.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/159682 A1

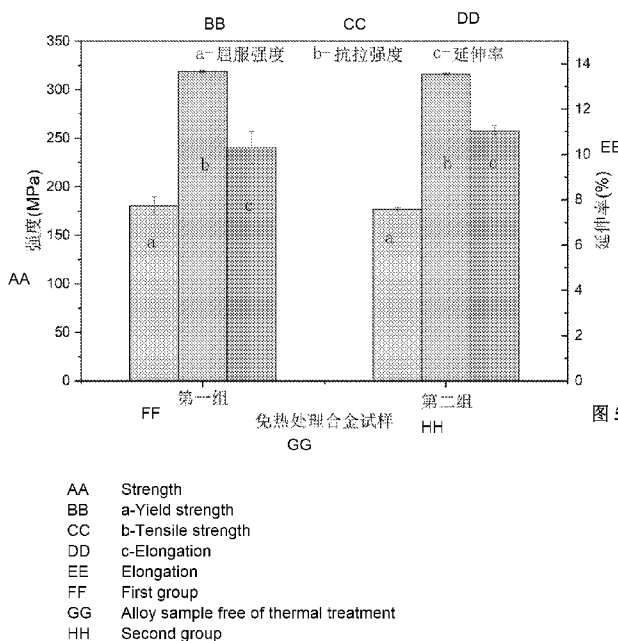
- (51) 国际专利分类号:
C22C 21/04 (2006.01) *C22C 1/03* (2006.01)
B22D 17/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/098373
- (22) 国际申请日: 2023 年 6 月 5 日 (05.06.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310110507.1 2023年2月3日 (03.02.2023) CN
- (71) 申请人:清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。河北新立中有色金属集团有限公司 (HEBEI XINLIZHONG NONFERROUS METALS

GROUP CO., LTD.) [CN/CN]; 中国河北省保定市清苑区发展西路356号, Hebei 071100 (CN)。

- (72) 发明人:熊守美(XIONG, Shoumei); 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。臧永奕(ZANG, Yongyi); 中国河北省保定市清苑区发展西路356号, Hebei 071100 (CN)。刘文宁(LIU, Wenning); 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。葛素静(GE, Sujing); 中国河北省保定市清苑区发展西路356号, Hebei 071100 (CN)。刘亦贤(LIU, Yixian); 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。刘永昌(LIU, Yongchang); 中国河北省保定市清苑区发展西路356号, Hebei 071100 (CN)。万翱翔(WAN, Aoxiang); 中国北京市海淀区清华园 1 号, Beijing 100084 (CN)。田战峰(TIAN, Zhanfeng); 中国河北省保定市清苑区发展西路 356 号, Hebei 071100 (CN)。苑高

(54) Title: HIGH-STRENGTH AND HIGH-TOUGHNESS DIE-CAST ALUMINUM-SILICON ALLOY, AND PREPARATION METHOD THEREFOR AND USE THEREOF

(54) 发明名称: 高强韧压铸铝硅合金及其制备方法和应用



(57) Abstract: A high-strength and high-toughness die-cast aluminum-silicon alloy, and a preparation method therefor and the use thereof. The high-strength and high-toughness die-cast aluminum-silicon alloy comprises: 8.0-10.0 wt% of silicon, 0.35-0.75 wt% of manganese, 0.05-0.15 wt% of chromium, 0.01-0.6 wt% of magnesium, 0.1-3.0 wt% of vanadium, 0.01-0.1 wt% of molybdenum, 0.05-0.3 wt% of zirconium, 0.05-0.3 wt% of titanium, 0.02-0.07 wt% of strontium, not more than 0.2 wt% of iron,

利 (YUAN, Gaoli); 中国河北省保定市清苑区发展西路356号, Hebei 071100 (CN)。

(74) 代理人: 北京清亦华知识产权代理事务所 (普通合伙) (TSINGYIHUA INTELLECTUAL PROPERTY LLC); 中国北京市海淀区阜成路73号裕惠大厦B座806, Beijing 100142 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

not more than 0.15 wt% of inevitable inclusions, and the balance of aluminum. The die-cast aluminum-silicon alloy has a relatively high yield strength, tensile strength and elongation, is applied to the manufacturing field of automobiles, high-speed trains and large aircrafts, is not only more beneficial for achieving the energy-saving and environmental protection requirements and the lightweight design of products such as automobiles, but also prolongs the service life of products such as automobiles.

(57) 摘要: 一种高强韧压铸铝硅合金及其制备方法和应用, 该高强韧压铸铝硅合金包括8.0wt% ~ 10.0wt%的硅、0.35wt% ~ 0.75wt%的锰、0.05wt% ~ 0.15wt%的铬、0.01wt% ~ 0.6wt%的镁、0.1wt% ~ 3.0wt%的锌、0.01wt% ~ 0.1wt%的钒、0.01wt% ~ 0.1wt%的钼、0.05wt% ~ 0.3wt%的锆、0.05wt% ~ 0.3wt%的钛、0.02wt% ~ 0.07wt%的铈、不大于0.2wt%的铁、不大于0.15wt%的不可避免夹杂物, 以及余量的铝。该压铸铝硅合金具有较高屈服强度、抗拉强度和延伸率, 将其用于汽车、高速列车及大飞机制造领域, 不仅更有利于实现节能和环保的需要, 实现汽车等产品的轻量化设计, 而且延长了汽车等产品的使用寿命。

高强韧压铸铝硅合金及其制备方法和应用

优先权信息

本申请请求于 2023 年 02 月 03 日向中国国家知识产权局提交的、专利申请号为
5 202310110507.1、申请名称为“高强韧压铸铝硅合金及其制备方法和应用”的中国专利申请
的优先权，并且其全部内容通过引用结合在本公开中。

技术领域

本公开属于金属合金制备及开发应用技术领域，具体涉及一种高强韧压铸铝硅合金及
10 其制备方法和应用。

背景技术

节能减排是当今世界汽车产业发展的重要聚焦点之一，其中汽车轻量化是最为行之有
效的解决方式。铝硅合金具有密度小、流动性好、比强度和比刚度高的优势，在汽车零部
15 件上应用广泛。传统的汽车车身制造方法是先将单个汽车零部件进行热处理，以提高综合
力学性能，之后再将数个零部件焊接或铆接拼装起来。近几年，特斯拉一体化压铸技术的
实现大大降低了汽车的重量，也去除了焊接或铆接的工序，在提高效率的同时也减少了制
造生产成本。然而，由于一体化压铸结构件的尺寸较大，在热处理时会产生热变形和鼓泡
等问题，因此，急需开发出一种可以在非热处理状态下保持较高强韧性的压铸铝硅合金材
20 料。

公开内容

本公开旨在至少在一定程度上解决相关技术中的技术问题之一。为此，本公开的目的在于
提出一种高强韧压铸铝硅合金及其制备方法和应用。该高强韧压铸铝硅合金具有较高屈
25 服强度、抗拉强度和延伸率，展现出优异的强韧性。

本公开的一个方面，本公开提出了一种高强韧压铸铝硅合金。根据本公开的实施例，
该高强韧压铸铝硅合金包括：8.0wt%~10.0wt%的硅、0.35wt%~0.75wt%的锰、0.05wt%~0.15wt%
的铬、0.01wt%~0.6wt%的镁、0.1wt%~3.0wt%的锌、0.01wt%~0.1wt%的钒、0.01wt%~0.1wt%
的钼、0.05wt%~0.3wt%的锆、0.05wt%~0.3wt%的钛、0.02wt%~0.07wt%的锑、不大于 0.2wt%
30 的铁、不大于 0.15wt%的不可避免夹杂物，以及余量的铝。

根据本公开上述实施例的高强韧压铸铝硅合金，通过按照上述各元素含量范围配比制

备铝硅合金，其中，因为铁是不可避免的杂质元素，但也是为保证脱模的必要元素，而铁在压铸铝硅合金中容易与铝、硅结合在压室中形成较粗大的初生富铁化合物，其为硬脆相，容易割裂基体，降低力学性能，发明人发现，添加钼可以细化初生富铁相，使得其尺寸减小，数量减少，形状转变为球状，同时钼与锰、铬、钒共同协调优化初生富铁相，从而细化、球化初生富铁相，进而提高了硅铝合金的力学性能；另一方面，提高锌的添加量，可以降低初生 α -Al 相的形核温度，起到细化初生 α -Al 晶粒的作用，实现了细晶强化，具体地，利用 Thermo-Calc 软件计算发现，Zn 的添加量从 1% 提高至 3% 后，初生 α -Al 相的形核温度降低 8℃，且锌与镁可以形成 $MgZn_2$ 相，再次对铝基体起到第二相强化的作用。由此，本申请通过上述各元素含量的整体调整，通过实现细化、球化初生富铁相、细化初生 α -Al 晶粒以及析出第二相强化，综合优化压铸铝硅合金组织，制备得到性能优异的压铸铝硅合金，使其在非热处理状态下便具有较高的强韧性，可以较好满足高压铸造薄壁件以及一体化压铸结构件的生产制造需求。具体地，采用上述含量配比的各元素形成的硅铝合金棒状试样的屈服强度为 150MPa~180MPa、抗拉强度为 300MPa~350MPa、延伸率为 10%~15%，该硅铝合金展现出优异的强韧性。

另外，根据本公开上述实施例的高强韧压铸铝硅合金还可以具有如下技术特征：

在本公开的一些实施例中，高强韧压铸铝硅合金还包括不大于 0.01wt% 的钙。由此，可以提高硅铝合金的强塑性。

在本公开的一些实施例中，所述钒和所述钼的总质量为 0.05wt%~0.15wt%，优选 0.1wt%。由此，可以避免析出粗大的初生富铁相。

在本公开的一些实施例中，所述锆和所述钛的质量比为 (0.5~2): 1，优选 1: 1。由此，可以细化初生 α -Al 晶粒，实现细晶强化。

本公开的第二个方面，本公开提出了一种制备上述高强韧压铸铝硅合金的方法。根据本公开的实施例，该方法包括：

(1) 按质量分数分别称取硅、锰、铬、镁、锌、钒、钼、锆、钛、锑和铝混合后进行熔炼处理后浇铸切割，以便得到铸锭；

(2) 对所述铸锭加热熔化，以便得到熔体；

(3) 对所述熔体进行压铸，以便得到高强韧压铸铝硅合金。

由此，通过将上述含量范围内的硅、锰、铬、镁、锌、钒、钼、锆、钛、锑和铝混合后进行熔炼处理后浇铸切割得到铸锭，再对铸锭加热熔化后进行压铸得到高强韧压铸铝硅合金，其中，添加钼可以细化初生富铁相，同时钼与锰、铬、钒共同协调来细化、球化初

生富铁相，进而提高了硅铝合金的力学性能；另一方面，提高锌的添加量，可以降低初生 α -Al 相的形核温度，起到细化初生 α -Al 晶粒的作用，实现了细晶强化，且锌与镁可以形成 $MgZn_2$ 相，再次对铝基体起到第二相强化的作用。由此，采用本申请的方法可以制备得到具有较高屈服强度、抗拉强度和延伸率的压铸铝硅合金。

5 另外，根据本公开上述制备高强韧压铸铝硅合金的方法还可以具有如下技术特征：

在本公开的一些实施例中，步骤（2）中，所述铸锭加热的温度为 $730^{\circ}\text{C}\sim 750^{\circ}\text{C}$ 。

在本公开的一些实施例中，步骤（3）中，所述压铸工艺参数包括：所述熔体的浇铸温度为 $690^{\circ}\text{C}\sim 710^{\circ}\text{C}$ ，模具温度 $140^{\circ}\text{C}\sim 160^{\circ}\text{C}$ ，模具型腔内部的真空度低于 10kPa ，三级低速压射速度 $0.2\sim 0.4\text{m/s}$ ，高速压射速度 $2.5\text{m/s}\sim 3.5\text{m/s}$ ，高速蓄能器压力值
10 $12.5\text{MPa}\sim 13.7\text{MPa}$ ，增压蓄能器压力值 $12.5\text{MPa}\sim 13.7\text{MPa}$ 。

本公开的第三个方面，本公开提出了一种铝硅合金部件。根据本公开的实施例，所述铝硅合金部件包括上述高强韧压铸铝硅合金或采用上述方法制备得到的高强韧压铸铝硅合金。由此，该铝硅合金部件使用寿命长，力学性能优异。

本公开的第四个方面，本公开提出了上述高强韧压铸铝硅合金或采用上述方法制备得
15 到的高强韧压铸铝硅合金在汽车、高速列车及大飞机制造领域中的用途。由此，不仅更有利于实现节能和环保的需要，实现汽车等产品的轻量化设计，而且延长了汽车等产品的使用寿命。

本公开的附加方面和优点将在下面的描述中部分给出，部分将从下面的描述中变得明显，或通过本公开的实践了解到。

20

附图说明

此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解，构成本申请的一部分，本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请，并不构成对本申请的不当限定。在附图中：

图 1 是本公开实施例 1 的铝硅合金的初生富铁相与初生 α -Al 相组织的扫描表征图；

25 图 2 是本公开实施例的铝硅合金的热力学计算结果图；

图 3 是本公开实施例 1 的铝硅合金的异质核心 $\text{AlSi}(\text{Ti},\text{Zr})_x$ 的扫描表征图；

图 4 是本公开实施例 1 的铝硅合金共晶硅变质结果扫描表征图；

图 5 是本公开实施例 1 的铝硅合金的力学性能结果测试图；

图 6 是本公开实施例 2 的铝硅合金的力学性能结果测试图；

30 图 7 是本公开实施例 3 的铝硅合金的力学性能结果测试图。

具体实施方式

下面参考具体实施例，对本公开进行描述，需要说明的是，这些实施例仅仅是描述性的，而不以任何方式限制本公开。

本公开的一个方面，本公开提出了一种高强韧压铸铝硅合金。根据本公开的实施例，

- 5 该高强韧压铸铝硅合金包括：8.0wt%~10.0wt%的硅、0.35wt%~0.75wt%的锰、0.05wt%~0.15wt%的铬、0.01wt%~0.6wt%的镁、0.1wt%~3.0wt%的锌、0.01wt%~0.1wt%的钒、0.01wt%~0.1wt%的钼、0.05wt%~0.3wt%的锆、0.05wt%~0.3wt%的钛、0.02wt%~0.07wt%的铈、不大于 0.2wt%的铁、不大于 0.15wt%的不可避免夹杂物，以及余量的铝。

- 10 根据本公开上述实施例的高强韧压铸铝硅合金，通过按照上述各元素含量范围配比制备铝硅合金，其中，因为铁是不可避免的杂质元素，但也是为保证脱模的必要元素，而铁在压铸铝硅合金中容易与铝、硅结合在压室中形成较粗大的初生富铁化合物，其为硬脆相，容易割裂基体，降低力学性能，发明人发现，添加钼可以细化初生富铁相，使得其尺寸减小，数量减少，形状转变为球状，同时钼与锰、铬、钒共同协调优化初生富铁相，从而细化、球化初生富铁相，进而提高了硅铝合金的力学性能；另一方面，提高锌的添加量，可以降低初生 α -Al 相的形核温度，起到细化初生 α -Al 晶粒的作用，实现了细晶强化，具体地，利用 Thermo-Calc 软件计算发现，Zn 的添加量从 1%提高至 3%后，初生 α -Al 相的形核温度降低 8℃，且锌与镁可以形成 $MgZn_2$ 相，再次对铝基体起到第二相强化的作用。由此，本申请通过上述各元素含量的整体调整，通过实现细化、球化初生富铁相、细化初生 α -Al 晶粒以及析出第二相强化综合优化压铸铝硅合金组织，制备得到性能优异的压铸铝硅合金，
- 20 使其在非热处理状态下便具有较高的强韧性，可以较好满足高压铸造薄壁件以及一体化压铸结构件的生产制造需求。具体地，采用上述含量配比的各元素形成硅铝合金的棒状试样的屈服强度为 150MP~180MPa、抗拉强度为 300MP~350MPa、延伸率为 10%~15%，该硅铝合金展现出优异的强韧性。

- 25 根据本公开的实施例，高强韧压铸铝硅合金还包括不大于 0.01wt%的钙。发明人发现，如果添加不大于 0.01wt%的钙，铈与 Ca 形成复合变质，可以使共晶硅处于较高的变质等级，进而片状的共晶硅将完全转化为细小均匀的纤维状共晶硅，有利于提高硅铝合金的强塑性，另一方面，Ca 添加后可在铝熔体表面形成氧化膜，防止内部氧化，并减少吸气，保护熔体。由此，本申请的高强韧压铸铝硅合金还包括不大于 0.01wt%的钙，可以提高硅铝合金的强塑性，且有效保护铝熔体。

- 30 根据本公开的实施例，钒和钼的总质量为 0.05wt%~0.15wt%，优选 0.1wt%。发明人发

现，以 Mn 和 Cr 元素为主，适当降低钒和钼元素的含量，即使钒和钼的总质量为 0.05wt%~0.15wt%，可以使初生富铁相析出温度基本维持在 582~585℃，从而避免析出粗大的初生富铁相。由此，本申请的钒和钼的总质量为 0.05wt%~0.15wt%，可以避免析出粗大的初生初生富铁相。

5 根据本公开的实施例，锆和钛的质量比为 (0.5~2): 1，优选 1: 1。发明人发现，控制锆和钛的质量比在一定范围内，有利于析出 $\text{AlSi}(\text{Ti,Zr})_x$ 相， $\text{AlSi}(\text{Ti,Zr})_x$ 相与铝基体具有较好的晶格匹配关系，能够成为初生 α -Al 相的形核核心，从而达到细化初生 α -Al 晶粒的作用。由此，本申请采用锆和钛的质量比为 (0.5~2): 1，可以细化初生 α -Al 晶粒，实现细晶强化。

10 本公开的第二个方面，本公开提出了一种制备上述高强韧压铸铝硅合金的方法。根据本公开的实施例，该方法包括：

S100：按质量分数分别称取硅、锰、铬、镁、锌、钒、钼、锆、钛、锆和铝混合后进行熔炼处理后浇铸切割

该步骤中，按质量分数分别称取硅、锰、铬、镁、锌、钒、钼、锆、钛、锆和铝混合
15 后进行熔炼处理，并控制 Fe 元素含量低于 0.2wt%，其他杂质元素含量之和低于 0.15wt.%，浇铸切割成 3kg 左右的块状铸锭。需要说明的是，考虑到成本因素，可选用 Al-Mn 中间合金、Al-Cr 中间合金、Al-V 中间合金、Al-Mo 中间合金、Al-Zr 中间合金、Al-Ti 中间合金、Al-Ca 中间合金、Al-Sr 中间合金等做原料，只要最后保证上述各元素含量在本申请的含量范围内即可。

20 S200：对铸锭加热熔化。

该步骤中，将 S100 得到的块状铸锭放入压铸机熔炼炉内加热，待合金熔化后在内部通入氩气，同时借助搅拌器实现搅拌均匀，以便除去熔体内部的气体 and 夹杂，最后静置熔体 15 分钟后，扒渣除去表面的氧化夹杂物。进一步地，铸锭加热的温度为 730℃~750℃。

S300：对熔体进行压铸

25 该步骤中，待 S200 得到的熔体降温至 710~720℃，准备进行压铸，压铸工艺参数包括：熔体的浇铸温度为 690℃~710℃，模具温度 140℃~160℃，模具型腔内部的真空度低于 10kPa，三级低速压射速度 0.2~0.2-(0.2~0.4)m/s，高速压射速度 2.5m/s~3.5m/s，高速蓄能器压力值 12.5MPa~13.7MPa，增压蓄能器压力值 12.5MPa~13.7MPa。

由此，通过将上述含量范围内的硅、锰、铬、镁、锌、钒、钼、锆、钛、锆和铝混合
30 后进行熔炼处理后浇铸切割得到铸锭，再对铸锭加热熔化后进行压铸得到高强韧压铸铝硅

合金，其中，添加钼可以细化初生富铁相，同时钼与锰、铬、钒共同协调来细化、球化初生富铁相，进而提高了硅铝合金的力学性能；另一方面，提高锌的添加量，可以降低初生 α -Al 相的形核温度，起到细化初生 α -Al 晶粒的作用，实现了细晶强化，且锌与镁可以形成 $MgZn_2$ 相，再次对铝基体起到第二相强化的作用。由此，采用本申请的方法可以制备得到具有较高屈服强度、抗拉强度和延伸率的压铸铝硅合金。需要说明的是，针对上述高强韧压铸铝硅合金所描述的特征和优点同样适用于该方法，此处不再赘述。

本公开的第三个方面，本公开提出了一种铝硅合金部件。根据本公开的实施例，铝硅合金部件包括上述高强韧压铸铝硅合金或采用上述方法制备得到的高强韧压铸铝硅合金。由此，该铝硅合金部件使用寿命长，力学性能优异。需要说明的是，针对上述高强韧压铸铝硅合金及其制备方法所描述的特征和优点同样适用于该铝硅合金部件，此处不再赘述。

本公开的第四个方面，本公开提出了上述高强韧压铸铝硅合金或采用上述方法制备得到的高强韧压铸铝硅合金在汽车、高速列车及大飞机制造领域中的用途。由此，不仅更有利于实现节能和环保的需要，实现汽车等产品的轻量化设计，而且延长了汽车等产品的使用寿命。需要说明的是，针对上述高强韧压铸铝硅合金及其制备方法所描述的特征和优点同样适用于该交通工具，此处不再赘述。

下面参考具体实施例，对本公开进行描述，需要说明的是，这些实施例仅仅是描述性的，而不以任何方式限制本公开。

实施例 1

(1) 按照计量分数称量合金原料纯 Al、结晶 Si、Al-Mn 中间合金、Al-Cr 中间合金、纯 Mg、纯 Zn、Al-V 中间合金、Al-Mo 中间合金、Al-Zr 中间合金、Al-Ti 中间合金、Al-Ca 中间合金、Al-Sr 中间合金，配置好后进行熔炼处理。控制各元素符合含量要求，并控制 Fe 元素含量低于 0.2wt%，其他杂质元素含量之和低于 0.15wt%，浇铸切割成 3kg 左右的块状铸锭。具体地，硅铝合金的具体元素含量为：Si: 9.60wt%；Mn: 0.41wt%；Cr: 0.08wt%；Mg: 0.02wt%；Zn: 0.18wt%；V: 0.07wt%；Mo: 0.03wt%；Zr: 0.14wt%；Ti: 0.16wt%；Ca: 0.005wt%；Sr: 0.02wt%；Fe: 0.11wt%；

(2) 将块状铸锭放入压铸机熔炼炉内加热，温度设置为 750℃，待合金熔化后在内部通入氩气，同时借助搅拌器实现搅拌均匀，以便除去熔体内部的气体 and 夹杂。静置熔体 15 分钟后，扒渣除去熔体表面的氧化夹杂物。

(3) 待熔体降温至 710℃，进行压铸试验。

所采用的压铸工艺参数为浇铸温度 710℃，模具温度 150℃，三级低速压射速度 0.2-0.2-0.2m/s，高速压射速度 3.0m/s，高速 ACC13.7MPa，增压 ACC13.7MPa，确保模具型腔内部的真空度低于 10kPa。

对实施例 1 制备的压铸铝硅合金棒状试样进行组织分析和力学性能测试，相关结果如下：

如图 1 所示，常规的压铸铝硅合金中的初生富铁相尺寸为粗大的块状，尺寸在 10μm 左右，从图 1 可以看出，本申请添加 Mn、Cr、Mo 和 V 元素后，对初生富铁相的尺寸和形貌得到了很好的调控，其尺寸在 1μm 左右，且形貌趋于球状。常规的压铸铝硅合金中的初生 α-Al 相尺寸粗大且枝晶发达，尺寸接近 50μm，最大的尺寸可高于 100μm，从图 1 中可以观察到实施例 1 的初生 α-Al 相，尺寸较小，枝晶化程度不高，趋于球状，尺寸在 20μm 左右。

借助 Thermo-Calc 软件对硅铝合金添加 3wt%Zn 前后的凝固路径进行计算，如图 2 所示，初生 α-Al 相的析出点从 604℃降低到 596℃，下降了 8℃，为凝固形核提供了更大的过冷度，促进了初生 α-Al 相晶粒细化。说明本申请通过提高 Zn 元素含量可以降低初生 α-Al 相的形核温度，从而促进了初生 α-Al 相晶粒细化。

如图 3 所示，合金中添加了 Ti 和 Zr 元素以促进晶粒细化，实施例 1 中控制锆和钛的质量比为 7: 8，有利于在凝固初期析出 AlSi(Ti,Zr)_x 相，该相与初生 α-Al 相具有较好的晶格错配度，可以为初生 α-Al 相的形核提供形核核心，有利于晶粒细化。

如图 4 所示，Sr 与 Ca 形成复合变质，确保共晶硅处于较高的变质等级，从而将板片状的共晶硅完全变质为细小纤维状的共晶硅组织，图 4 中的共晶硅已完全纤维化，且尺寸细小，达到微米级，有利于合金的强韧性。

如图 5 所示，通过两组平行试验，可以发现该压铸铝硅合金的拉伸强度和屈服强度都很高，抗拉强度可达 320MPa，屈服强度可到 170MPa，与此同时，还能保持将近 11%的延伸率，说明本申请的压铸铝硅合金展现了优异的综合力学性能，可以较好满足高压铸造薄壁件以及一体化压铸结构件的生产制造需求。

实施例 2

(1) 按照计量分数称量合金原料纯 Al、结晶 Si、Al-Mn 中间合金、Al-Cr 中间合金、纯 Mg、纯 Zn、Al-V 中间合金、Al-Mo 中间合金、Al-Zr 中间合金、Al-Ti 中间合金、Al-Ca 中间合金、Al-Sr 中间合金，配置好后进行熔炼处理。控制各元素符合含量要求，并控制 Fe 元素含量低于 0.2wt%，其他杂质元素含量之和低 0.15wt%，浇铸切割成 3kg 左右的块状铸

锭。具体地，硅铝合金的具体元素含量为：Si：8.58wt%；Mn：0.46wt%；Cr：0.12wt%；Mg：0.43wt%；Zn：0.37wt%；V：0.08wt%；Mo：0.01wt%；Zr：0.14wt%；Ti：0.13wt%；Ca：0.001wt%；Sr：0.06wt%；Fe：0.08wt%；

(2) 将块状铸锭放入压铸机熔炼炉内加热，温度设置为 750℃，待合金熔化后在内部通入氩气，同时借助搅拌器实现搅拌均匀，以便除去熔体内部的气体 and 夹杂。静置熔体 15 分钟后，扒渣除去熔体表面的氧化夹杂物。

(3) 待熔体降温至 710℃，进行压铸试验。

所采用的压铸工艺参数为浇铸温度 710℃，模具温度 150℃，三级低速压射速度 0.2-0.2-0.2m/s，高速压射速度 3.0m/s，高速 ACC13.7MPa，增压 ACC13.7MPa，确保模具型腔内部的真空度低于 10kPa。

对实施例 2 制备的压铸铝硅合金棒状试样进行组织分析和力学性能测试，相关结果如图 6 所示。从图 6 可以看出，实施例 2 制备的压铸铝硅合金的抗拉强度为 318MPa，屈服强度为 174MPa，延伸率为 10.17%。

实施例 3

(1) 按照计量分数称量合金原料纯 Al、结晶 Si、Al-Mn 中间合金、Al-Cr 中间合金、纯 Mg、纯 Zn、Al-V 中间合金、Al-Mo 中间合金、Al-Zr 中间合金、Al-Ti 中间合金、Al-Ca 中间合金、Al-Sr 中间合金，配置好后进行熔炼处理。控制各元素符合含量要求，并控制 Fe 元素含量低于 0.2wt%，其他杂质元素含量之和低 0.15wt%，浇铸切割成 3kg 左右的块状铸锭。具体地，硅铝合金的具体元素含量为：Si：8.67wt%；Mn：0.40wt%；Cr：0.05wt%；Mg：0.43wt%；Zn：0.47wt%；V：0.06wt%；Mo：0.02wt%；Zr：0.23wt%；Ti：0.17wt%；Ca：0.004wt%；Sr：0.04wt%；Fe：0.09wt%；

(2) 将块状铸锭放入压铸机熔炼炉内加热，温度设置为 750℃，待合金熔化后在内部通入氩气，同时借助搅拌器实现搅拌均匀，以便除去熔体内部的气体 and 夹杂。静置熔体 15 分钟后，扒渣除去熔体表面的氧化夹杂物。

(3) 待熔体降温至 710℃，进行压铸试验。

所采用的压铸工艺参数为浇铸温度 710℃，模具温度 150℃，三级低速压射速度 0.2-0.2-0.2m/s，高速压射速度 3.0m/s，高速 ACC13.7MPa，增压 ACC13.7MPa，确保模具型腔内部的真空度低于 10kPa。

对实施例 3 制备的压铸铝硅合金棒状试样进行组织分析和力学性能测试，相关结果如

图 7 所示。从图 7 可以看出，实施例 3 制备的压铸铝硅合金的抗拉强度为 315MPa，屈服强度为 179MPa，延伸率为 10.23%。

上面结合附图对本申请的实施例进行了描述，但是本申请并不局限于上述的具体实施方式，上述的具体实施方式仅仅是示意性的，而不是限制性的，本领域的普通技术人员在本申请的启示下，在不脱离本申请宗旨和权利要求所保护的范围情况下，还可做出很多形式，均属于本申请的保护之内。

5

权利要求书

1、一种高强韧压铸铝硅合金，其中，包括：8.0wt%~10.0wt%的硅、0.35wt%~0.75wt%的锰、0.05wt%~0.15wt%的铬、0.01wt%~0.6wt%的镁、0.1wt%~3.0wt%的锌、0.01wt%~0.1wt%的钒、0.01wt%~0.1wt%的钼、0.05wt%~0.3wt%的锆、0.05wt%~0.3wt%的钛、0.02wt%~0.07wt%的锆、不大于0.2wt%的铁、不大于0.15wt%的不可避免夹杂物，以及余量的铝。

2、根据权利要求1所述的高强韧压铸铝硅合金，其中，还包括不大于0.01wt%的钙。

3、根据权利要求1或2所述的高强韧压铸铝硅合金，其中，所述钒和所述钼的总质量为0.05wt%~0.15wt%。

4、根据权利要求1-3中任一项所述的高强韧压铸铝硅合金，其中，所述钒和所述钼的总质量为0.1wt%。

5、根据权利要求1-4中任一项所述的高强韧压铸铝硅合金，其中，所述锆和所述钛的质量比为(0.5~2):1。

6、根据权利要求1-5中任一项所述的高强韧压铸铝硅合金，其中，所述锆和所述钛的质量比为1:1。

7、根据权利要求1-6中任一项所述的高强韧压铸铝硅合金，其中，形成的棒状试样的屈服强度为150MPa~180MPa、抗拉强度为300MPa~350MPa、延伸率为10%~15%。

8、一种制备权利要求1-7中任一项所述高强韧压铸铝硅合金的方法，其中，包括：

(1)按质量分数分别称取硅、锰、铬、镁、锌、钒、钼、锆、钛、锆和铝混合后进行熔炼处理后浇铸切割，以便得到铸锭；

(2)对所述铸锭加热熔化，以便得到熔体；

(3)对所述熔体进行压铸，以便得到高强韧压铸铝硅合金。

9、根据权利要求8所述的方法，其中，步骤(2)中，所述铸锭加热的温度为730℃~750℃。

10、根据权利要求8所述的方法，其中，步骤(3)中，所述压铸工艺参数包括：所述熔体的浇铸温度为690℃~710℃，模具温度140℃~160℃，模具型腔内部的真空度低于10kPa，三级低速压射速度0.2~0.2-(0.2~0.4)m/s，高速压射速度2.5m/s~3.5m/s，高速蓄能器压力值12.5MPa~13.7MPa，增压蓄能器压力值12.5MPa~13.7MPa。

11、一种铝硅合金部件，其中，所述铝硅合金部件包括权利要求1-7中任一项所述的高强韧压铸铝硅合金或采用权利要求8-10中任一项所述的方法制备得到的高强韧压铸铝硅合金。

12、权利要求 1-7 中任一项所述的高强韧压铸铝硅合金或采用权利要求 8-10 中任一项所述的方法制备得到的高强韧压铸铝硅合金在汽车、高速列车及大飞机制造领域中的用途。

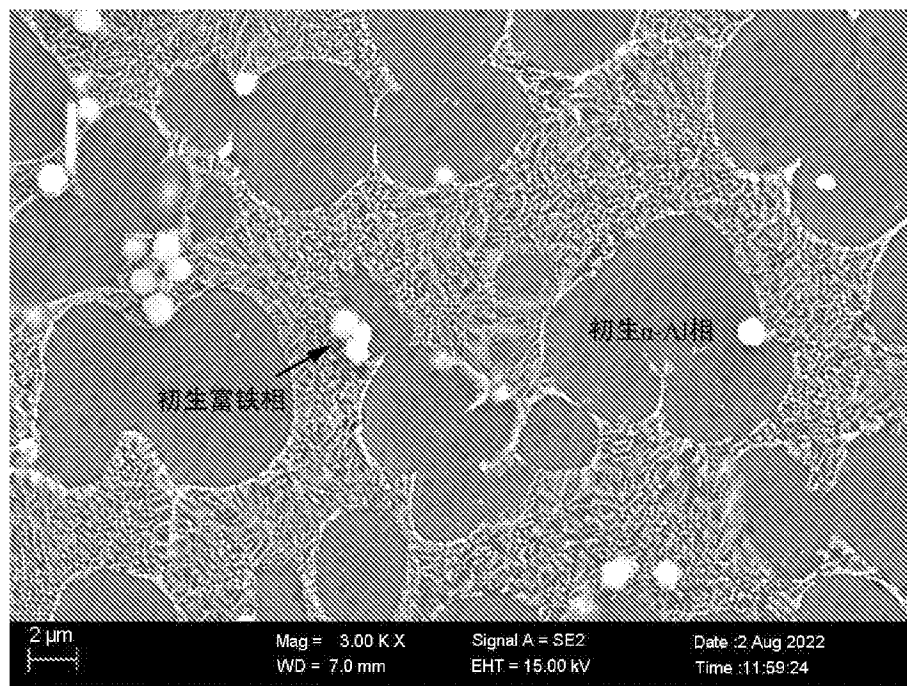


图 1

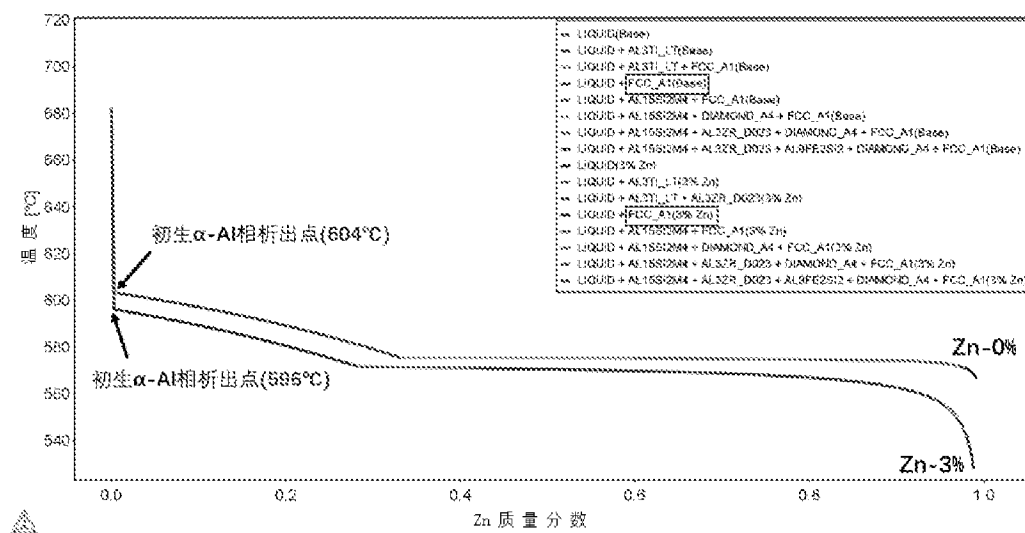


图 2

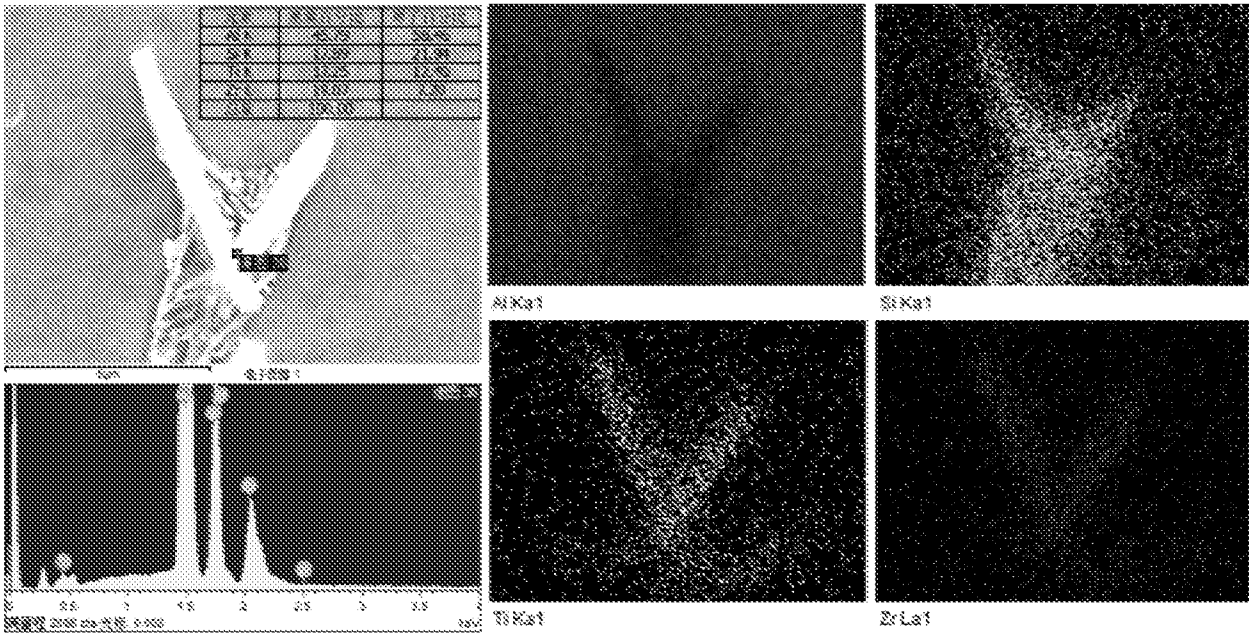


图 3

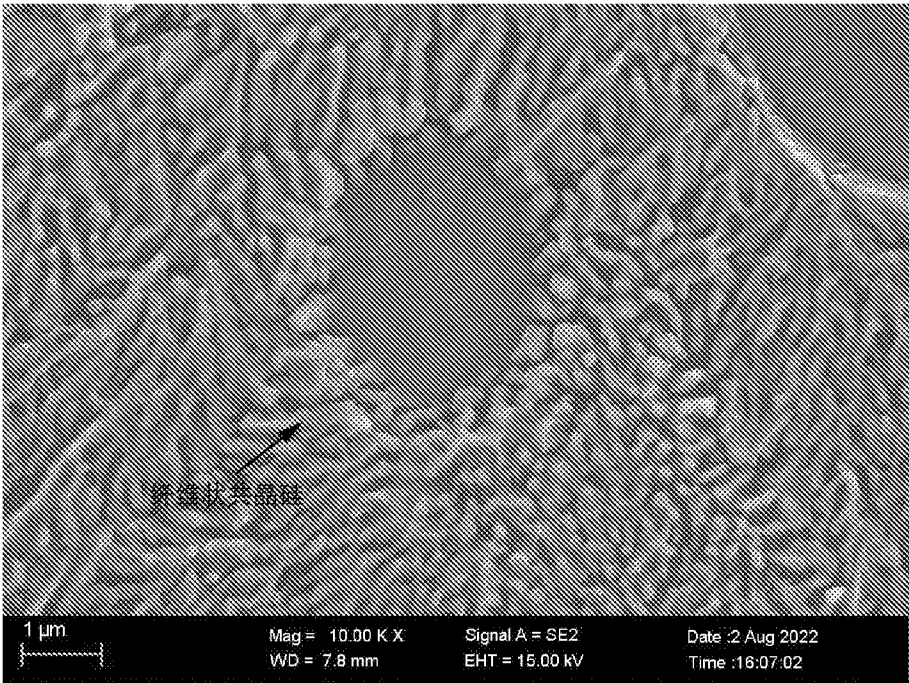


图 4

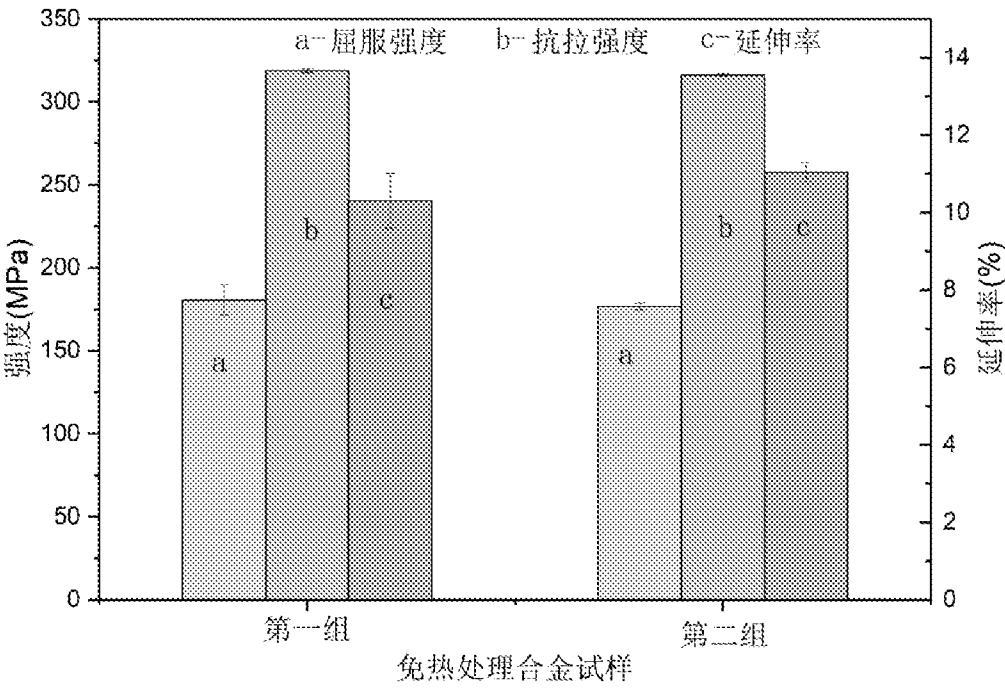


图 5

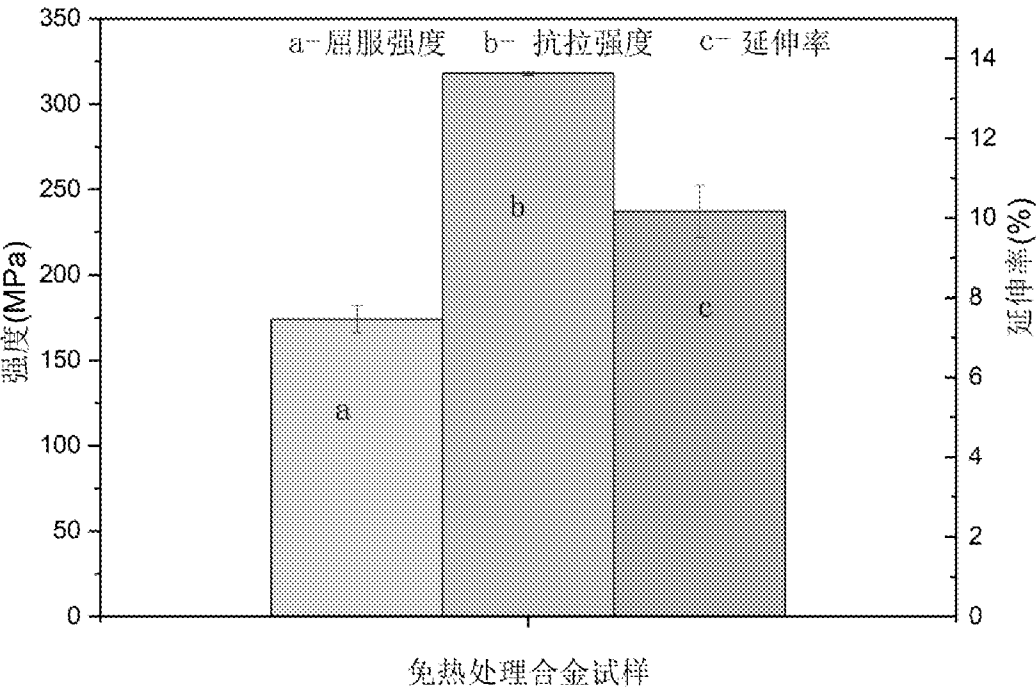


图 6

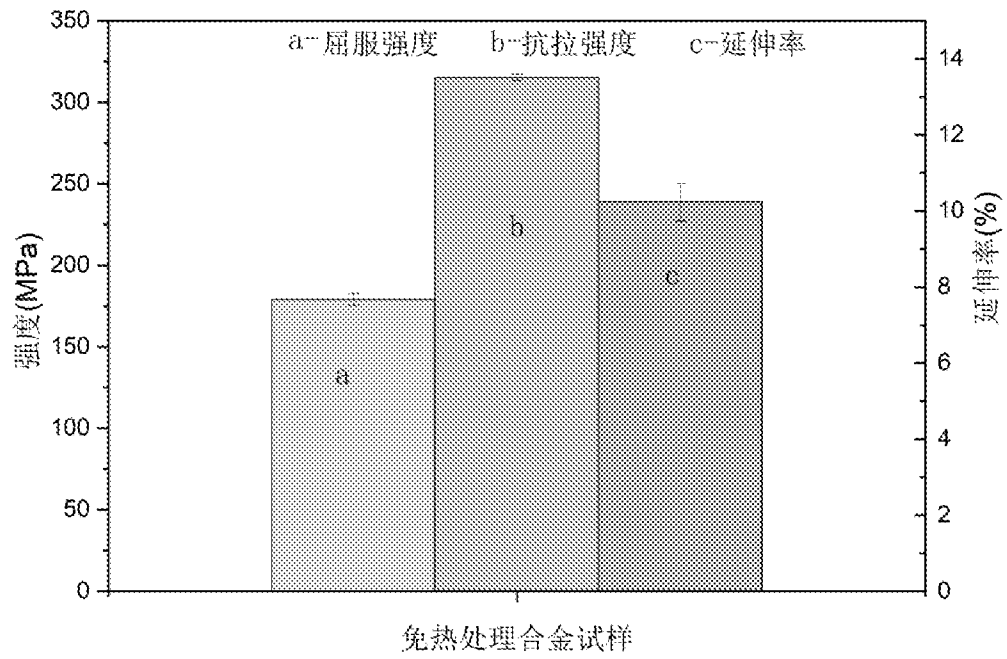


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/098373

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C 21/04(2006.01)i; B22D 17/00(2006.01)i; C22C 1/03(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)

IPC:C22C,B22D

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)

CNTXT, ENTXT, SIPOABS, DWPI, CNKI: 铝硅合金, 硅, Si, 锰, Mn, 铬, Cr, 镁, Mg, 锌, Zn, 钒, V, 钼, Mo, 锆, Zr, 钛, Ti, 锶, Sr, 铁, Fe, aluminum-silicon, alloy, silicon, manganese, chromium, magnesium, zinc, vanadium, molybdenum, zirconium, titanium, strontium, iron, ferrum

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116024467 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 28 April 2023 (2023-04-28) claims 1-10	1-12
Y	CN 115305392 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 08 November 2022 (2022-11-08) description, paragraphs 31-45	1-12
Y	CN 1737176 A (RHEINFELDEN ALUMINIUM GMBH) 22 February 2006 (2006-02-22) description, page 5, line 10-page 6, line 5	1-12
Y	CN 111455228 A (FAW FOUNDRY CO., LTD. et al.) 28 July 2020 (2020-07-28) description, paragraphs 6-19	1-12
A	CN 110079712 A (TSINGHUA UNIVERSITY et al.) 02 August 2019 (2019-08-02) entire document	1-12
A	US 2013269480 A1 (XU CHANGQUAN et al.) 17 October 2013 (2013-10-17) entire document	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 September 2023

Date of mailing of the international search report

23 September 2023

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/098373

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2014130637 A1 (NATIONAL CHUNG-SHAN INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 15 May 2014 (2014-05-15) entire document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/098373

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	116024467	A	28 April 2023	None			
CN	115305392	A	08 November 2022	None			
CN	1737176	A	22 February 2006	CA	2510545	A1	29 December 2005
				CA	2510545	C	30 September 2014
				BRPI	0502521	A	13 February 2007
				BRPI	0502521	B1	11 August 2015
				BRPI	0502521	B8	13 September 2016
				KR	20060046361	A	17 May 2006
				KR	101295458	B1	09 August 2013
				ES	2368923	T3	23 November 2011
				NO	20053158	D0	28 June 2005
				NO	20053158	L	30 December 2005
				NO	339588	B1	09 January 2017
				JP	2006016693	A	19 January 2006
				EP	1612286	A2	04 January 2006
				EP	1612286	A3	30 May 2007
				EP	1612286	B1	13 July 2011
				SI	1612286	T1	28 October 2011
				PL	1612286	T3	30 December 2011
				DK	1612286	T3	24 October 2011
				US	2006011321	A1	19 January 2006
				US	7108042	B2	19 September 2006
				MXPA	05006962	A	24 January 2006
				AT	516379	T	15 July 2011
				KR	20130023330	A	07 March 2013
				KR	101490581	B1	05 February 2015
				PT	1612286	E	19 September 2011
CN	111455228	A	28 July 2020	CN	111455228	B	09 November 2021
CN	110079712	A	02 August 2019	CN	110079712	B	10 November 2020
US	2013269480	A1	17 October 2013	None			
US	2014130637	A1	15 May 2014	None			

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2023/098373

A. 主题的分类 C22C 21/04(2006.01)i; B22D 17/00(2006.01)i; C22C 1/03(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) IPC:C22C, B22D 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)) CNTXT, ENTXT, SIPOABS, DWPI, CNKI: 铝硅合金, 硅, Si, 锰, Mn, 铬, Cr, 镁, Mg, 锌, Zn, 钒, V, 钼, Mo, 锆, Zr, 钛, Ti, 锶, Sr, 铁, Fe, aluminum-silicon, alloy, silicon, manganese, chromium, magnesium, zinc, vanadium, molybdenum, zirconium, titanium, strontium, iron, ferrum		
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 116024467 A (清华大学等) 2023年4月28日 (2023 - 04 - 28) 权利要求1-10	1-12
Y	CN 115305392 A (清华大学等) 2022年11月8日 (2022 - 11 - 08) 说明书第31-45段	1-12
Y	CN 1737176 A (莱茵费尔登炼铝厂有限责任公司) 2006年2月22日 (2006 - 02 - 22) 说明书第5页第10行-第6页第5行	1-12
Y	CN 111455228 A (一汽铸造有限公司等) 2020年7月28日 (2020 - 07 - 28) 说明书第6-19段	1-12
A	CN 110079712 A (清华大学等) 2019年8月2日 (2019 - 08 - 02) 全文	1-12
A	US 2013269480 A1 (HSU CHANG-CHUAN等) 2013年10月17日 (2013 - 10 - 17) 全文	1-12
A	US 2014130637 A1 (CHUNG SHAN INST OF SCIENCE) 2014年5月15日 (2014 - 05 - 15) 全文	1-12
☐ 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 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “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 2023年9月21日		国际检索报告邮寄日期 2023年9月23日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088		授权官员 扈智静 电话号码 (+86) 010-62084762

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/098373

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	116024467	A	2023年4月28日	无			
CN	115305392	A	2022年11月8日	无			
CN	1737176	A	2006年2月22日	CA	2510545	A1	2005年12月29日
				CA	2510545	C	2014年9月30日
				BR- PI	0502521	A	2007年2月13日
				BR- PI	0502521	B1	2015年8月11日
				BR- PI	0502521	B8	2016年9月13日
				KR	20060046361	A	2006年5月17日
				KR	101295458	B1	2013年8月9日
				ES	2368923	T3	2011年11月23日
				NO	20053158	D0	2005年6月28日
				NO	20053158	L	2005年12月30日
				NO	339588	B1	2017年1月9日
				JP	2006016693	A	2006年1月19日
				EP	1612286	A2	2006年1月4日
				EP	1612286	A3	2007年5月30日
				EP	1612286	B1	2011年7月13日
				SI	1612286	T1	2011年10月28日
				PL	1612286	T3	2011年12月30日
				DK	1612286	T3	2011年10月24日
				US	2006011321	A1	2006年1月19日
				US	7108042	B2	2006年9月19日
				MXPA	05006962	A	2006年1月24日
				AT	516379	T	2011年7月15日
				KR	20130023330	A	2013年3月7日
				KR	101490581	B1	2015年2月5日
				PT	1612286	E	2011年9月19日
CN	111455228	A	2020年7月28日	CN	111455228	B	2021年11月9日
CN	110079712	A	2019年8月2日	CN	110079712	B	2020年11月10日
US	2013269480	A1	2013年10月17日	无			
US	2014130637	A1	2014年5月15日	无			