

(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
2011年3月3日 (03.03.2011)

PCT

(10) 国际公布号
WO 2011/023059 A1

- (51) 国际专利分类号:
C22C 21/12 (2006.01) C22C 1/02 (2006.01)
C22F 1/057 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2010/075711
- (22) 国际申请日: 2010年8月4日 (04.08.2010)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
200910306182.4 2009年8月27日 (27.08.2009) CN
200910306166.5 2009年8月27日 (27.08.2009) CN
200910306176.9 2009年8月27日 (27.08.2009) CN
200910306784.X 2009年9月9日 (09.09.2009) CN
200910307176.0 2009年9月17日 (17.09.2009) CN
200910307169.0 2009年9月17日 (17.09.2009) CN
200910307210.4 2009年9月18日 (18.09.2009) CN
200910307496.6 2009年9月23日 (23.09.2009) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 贵州华科铝材料工程技术研究有限公司 (GUIZHOU HUA-KE ALUMINUM-MATERIALS ENGINEERING RESEARCH CO., LTD.) [CN/CN]; 中国贵州省贵阳市高新区长岭南路创业大厦, Guizhou 550014 (CN)。
- (72) 发明人; 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 车云 (CHE, Yun) [CN/CN]; 中国贵州省贵阳市高新区长岭南路创业大厦, Guizhou 550014 (CN)。 张中可 (ZHANG, Zhongke) [CN/CN]; 中国贵州省贵阳市高新区长岭南路创业大厦, Guizhou 550014 (CN)。 门三泉 (MEN, Sanquan) [CN/CN]; 中国贵州省贵阳市高新区长岭南路创业大厦, Guizhou 550014 (CN)。 陈新孟 (CHEN, Xinmeng) [CN/CN]; 中国贵州省贵阳市高新区长岭南路创业大厦, Guizhou 550014 (CN)。
- (74) 代理人: 贵阳中新专利商标事务所 (GUIYANG ZHONGXIN PATENT & TRADEMARK AGENT); 中国贵州省贵阳市云岩区中华北路 78 号神奇世纪商务城 1407 房, Guizhou 550001 (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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, 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))。

(54) Title: MULTI-ELEMENT HEAT-RESISTANT ALUMINUM ALLOY MATERIAL WITH HIGH STRENGTH AND PREPARATION METHOD THEREOF

(54) 发明名称: 多元高强耐热铝合金材料及其制备方法

(57) Abstract: A heat-resistant aluminum alloy material with high strength and preparation method thereof are provided. The aluminum alloy comprises (by weight %): Cu 1.0-10.0, Mn 0.05-1.5, Cd 0.01-0.5, Ti 0.01-0.5, B 0.01-0.2 or C 0.0001-0.15, Zr 0.01-1.0, R 0.001-3 or (R1+R2) 0.001-3, RE 0.05-5 and balance Al, wherein R, R1 and R2 include Be, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Ni, W. The Al alloy has the advantages of narrow quasi-solid phase temperature range of alloys, low hot cracking liability during casting, improved high temperature strength and high heat resistance.

(57) 摘要:

提供一种高强耐热铝合金材料及其制备方法, 按重量百分比计其成分为 Cu: 1.0~10.0%, Mn: 0.05~1.5%, Cd: 0.01~0.5%, Ti: 0.01~0.5%, B: 0.01~0.2% 或 C: 0.0001~0.15%, Zr: 0.01~1.0%, R: 0.001~3% 或 (R1+R2): 0.001~3%, RE: 0.05~5%, 其余为 Al。其中 R, R1 和 R2 包括 Be, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Ni, W。所述铝合金具有较窄合金凝固温度范围, 铸造时热裂倾向小, 并具有高温强度高和高强耐热的优点。

WO 2011/023059 A1

多元高强耐热铝合金材料及其制备方法

技术领域

本发明涉及一种铝合金材料及其制备方法，特别涉及一种微合金化元素及稀土元素的铝合金材料及其制备方法。

背景技术

铝合金是一种较年轻的金属材料，在20世纪初才开始工业应用。第二次世界大战期间，铝材主要用于制造军用飞机。战后，由于军事工业对铝材的需求量骤减，铝工业界便着手开发民用铝合金，使其应用范围由航空工业扩展到建筑业、容器包装业、交通运输业、电力和电子工业、机械制造业和石油化工等国民经济各部门，应用到人们的日常生活当中。现在，铝材的用量之多，范围之广，仅次于钢铁，成为第二大金属材料。

从制造业和铝合金制品的角度，习惯上把高强度铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金两类；从制品可用的温度条件划分，高强度铝合金又分为普通铝合金和高温(或耐热)铝合金。到目前为止，能够满足高温高强需要的，只有Al-Cu系铝合金，从牌号系列上讲，Al-Cu系合金包括铸造铝合金和变形铝合金，而不论铸造还是变形，都属于2系铝合金；而能够同时满足铸造性能好又容易进行变形加工的高温高强度铝合金，还没有见公开报道过。

1、高强度铸造铝合金和变形铝合金

一般铸造铝合金包括AlSi系、AlCu系、AlMg系和AlZn系4个系列，其中以AlCu系和AlZn系铝合金的强度最高，但多数在200Mpa~300Mpa之间，高于400Mpa的只有AlCu系的少数几个牌号，但因采用精铝基体且加入贵重元素，制造成本很高；AlZn系铸造合金的耐热性能很差。因此，一般铸造铝合金与变形铝合金相比因强韧性稍逊使其应用范围受到较大的限制。许多重要用途如特种重载车负重轮、航空用铝合金等多采用变形铝合金，而不是铸造铝合金。变形铝合金通过挤压、轧制、锻造等手段减少了缺陷，细化了晶粒，提高了致密度，因而具有很高的强度、优良的韧性以及良好的使用性能。但是，对设备和工装模具要求高，工序多，因此变形铝合金生产周期长、成本很高。与变形铝合金相比，铸造铝合金具有价格低廉、组织各向同性、可以获得特殊的组织、易于生产形状复杂的零件、可以小批量生产也可以大批量生产等诸多优点。因此，开发出能够替代部分变形铝合金的高强韧铸造铝合金材料及其铸造成形工艺，可以达到以铸代锻、缩短制造周期、降低制造成本的目的，具有重要的理论意义和重大的实际应用价值。

在高强韧铸造铝合金的发展过程中，法国于20世纪初研制成功的A-U5GT占有重要的地位，

在目前具有代表性的高强韧铸造铝合金中它的历史最久、应用最为广泛。我国目前没有与它对应的牌号。

美国铝协会牌号201.0（1986年）和206.0（1967年）后是在A-U5GT基础上改造而形成的，具有很好的力学性能和抗应力腐蚀能力。但由于含有0.4%~1.0%的银，材料成本很高，仅用于军事或其他要求高的领域，限制了其应用范围。

在高强韧铸造铝合金领域，我国取得了世界瞩目的成绩。60年代至70年代，北京航空材料研究院研制成功了ZL205A合金。ZL205A合金成分复杂，含有Cu, Mn, Zr, V, Cd, Ti, B等7种合金元素。ZL205A（T6）的抗拉强度为510MPa，是目前已有注册牌号的铸造铝合金材料强度最高的。ZL205A（T5）的强韧性最好，延伸率可达13%。但ZL205A最大的缺陷是铸造性能差、热裂倾向性大，同时因配方成本高，应用范围小。

上述3种高强韧铸造铝合金属Al-Cu系。该系列合金强度高，塑性和韧性也较好。但铸造性能较差，具体表现为热裂倾向大、流动性较差、补缩困难。此外，该系列合金抗蚀性能较差，有晶间腐蚀倾向。该系列合金的铸造成品率很低。

此外，已经公开的申请号为200810302670.3、200810302668.6、200810302669.0和200810302671.8的4个专利名称均为“一种高强度铸造铝合金材料”的文献中介绍了一种由Cu、Mn、Ti、Cr、Cd、Zr、B和稀土元素组成的高强度铸造铝合金材料，这种铝合金材料具有较高的抗拉强度和延伸率，抗拉强度达到了440Mpa，延伸率大于6%；但此类高强度铸造铝合金材料在使用过程中仍未能解决热裂倾向大的问题、合金强度与可铸性的矛盾突出，其主要原因是在合金主元素Cu、Mn成分范围，合金凝固温度范围较宽，铸造凝固时为具有各向异性的枝晶发育提供了充分条件，在凝固后期形成强大的内部收缩应力，故而收缩热裂倾向大。

目前正式注册的2XXX系变形铝合金牌号有70多个，绝大多数是美国注册的，其中只有2001、2004、2011、2011A、2111、2219、2319、2419、2519、2021、2A16、2A17、2A20、2B16等14个牌号是铜含量在5%以上的高铜铝合金，而其中铜含量在6%以上的只有2A16、2A17、2A20、2B16这4个牌号。这些变形铝合金配方中都含有较多的Si、Mg、Zn等成分，而没有稀土(RE)等起微合金化作用的元素，因此其配方组成与2系铸造铝合金相差甚远，反映出两种属性的铝合金不同的生产工艺和深加工工艺。

2、高温铝合金

高温合金又称耐热高强合金、热强合金或超合金，是在20世纪40年代随着航空涡轮发动机的出现发展起来的一种重要金属材料，能在高温氧化气氛和燃气腐蚀条件下长期承受较大的工作负荷，主要用于燃气轮机的热端部件，是航空航天、舰船、发电、石油化工和交通运输工业的重要结构材料。其中有些合金亦可用于生物工程作骨科和齿科材料。

常用的高温合金包括镍基、铁基和钴基合金，能在600~1100℃高温环境下工作；而耐热铝合金则是冷战期间发展起来的。耐热高强铝合金适于在400℃以下的热环境中长期承受较大的工作载荷，在航空航天、重工机械等领域得到越来越多的应用。除航空涡轮发动机、燃气轮机等直接与高温燃气接触的部件之外，其余高温高压强动力部件均可采用耐热高强铝合金铸造。

由于铝合金比较容易加工，随着加工技术水平的提高，在强度满足要求的情况下，人们越来越多地采用变形铝合金替代铸造铝合金。因此耐热高强铝合金又分为铸造用合金和变形用合金两大类。

一般说来，耐热高强合金都含有多种合金化元素，多的达十余种。所加入的元素在合金中分别起固溶强化、弥散强化、晶界强化和表面稳定化等作用，使合金能在高温下保持高的力学性能和环境性能。

选用铸造用高温合金时应考虑的因素：

- (1) 铸件的正常工作温度、最高和最低的工作温度以及温度变化的频率。
- (2) 铸件本身的温差范围及合金的膨胀性能。
- (3) 铸件承受的载荷性能，加载、支承和外部约束方式。
- (4) 对铸件的寿命要求和容许的变形量、工作环境和性质、成形方法和成本因素等。

目前用于高温零部件铸造的铝合金材料，国家标准中只有A201.0、ZL206、ZL207、ZL208、206.0几种牌号，包括铝铜锰系合金及铝稀土系合金；其中，铝铜锰系合金多数以高纯级铝锭为合金材料，成本较高，而铝稀土系合金则在室温下力学性能相对较差。而且，目前耐热高强铝合金普遍存在着高温强度低(250℃以上瞬时抗拉强度小于200Mpa，持久强度小于100Mpa)、配方成本高、铸造性能差、铸件合格率低、废品料及渣料回用性差等缺陷，造成铸件质量差、成本高、渣料处理流程长等问题。此外，近年来申报的多数耐热铝合金专利新配方中也都含有贵重元素，而且铸造性能差，质量无法满足航空技术进步的要求，不适于产业化生产应用。

而在国民经济和国防现代化建设和发展中具有广泛用途和极光明前景的耐热高强变形铝合金，国内外文献中报导较少，已知的2219、2A02、2A04、2A06、2A10、2A11、2A12、2A14、2A16、2A17、2A50、2A70、2A80等2XXX系变形铝合金及7A04等7XXX系变形铝合金，在250℃以上温度下强度多数小于100 Mpa，而其合金元素除Cu、Mn外，都是以Si、Mg、Zn作为主微合金化元素，而不添加这几种元素、且250℃以上温度下强度在150 Mpa以上的耐热高强变形铝合金材料未见报导。

综上所述，可知目前国内外在耐热高强度铝合金领域研究中存在的问题有：高温强度和

耐久性不足，250℃以上高温瞬时强度均小于250Mpa，高温持久强度均小于100 Mpa；材料加工性能差；废料处理流程长、成本高，无法满足航空技术进步的要求等。

发明内容

5 本发明所要解决的技术问题是，针对目前高强度铝合金领域存在的熔体处理工艺粗放、质量差、热裂倾向大、铸造性能差，制品成品率低、高温强度低、废品料及渣料回用性差等技术难题，以优质熔体、固溶体和相图理论为指导，通过优选合金主元素Cu、Mn及稀土元素配方，降低合金准固相温度范围，解决铸造时热裂倾向大、制品高温强度低（包括瞬时强度和持久强度）的带有普遍性的问题；优选低成本多元微合金化元素配方，为固溶体中高温相和强化相的培育和细晶化作用创造物质基础条件；以及优化熔铸、热处理工艺技术和装备（主

10 要包括精炼、除气、除杂，稀土复合元素除气、除杂，高效复合变质处理，结晶控制，特殊热处理等），实现固溶体中高温相和强化相的足量培育和细晶化作用的充分发挥。最终研制出一种稀土多元微合金化的AlCu系新型高强耐热（铸造性和变形性）铝合金材料。

本发明的技术方案是，按重量百分比计，该合金成分为Cu:1.0~10.0%，Mn:0.05~1.5%，
15 Cd:0.01~0.5%，Ti:0.01~0.5%，B:0.01~0.2%或C:0.0001~0.15%，Zr:0.01~1.0%，
R:0.001~3%或(R₁+R₂):0.001~3%，稀土元素RE:0.05~5%，其余为Al。

上述的特征金属元素R、R₁、R₂有确定的选择范围，包括：Be, Co, Cr, Li, Mo, Nb, Ni, W, 共8种元素。

上述的稀土元素RE为单一稀土元素或一种以上的混合稀土元素。

20 上述的稀土元素RE包括La、Ce、Pr、Nd、Er、Y和Sc。

该新型高强耐热铝合金的制备方法包括如下步骤：

(1)在上述元素比例范围内，选定一组可行的元素比例，再根据需要配制的合金总量，推算出所需的每种单质金属的质量，或者中间合金的质量，或者混合金属添加剂（包括盐类化合物）的质量，编制合金生产配料表，并按配料表选足备料。

25 (2)往熔炼炉中加入适量的铝锭或熔融铝液，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3)再按配方比例先加入Mn、Ti、Zr、R、R₁、R₂纯金属或Al-Mn、Al-Ti、Al-Zr、Al-R、Al-R₁、Al-R₂中间合金或者混合金属添加剂（包括盐类化合物），搅拌均匀后再加入Cu、Cd纯金属或Al-Cu、Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂（包括盐类化合物），再加入B、C和稀土元
30 素RE，搅拌均匀。

其中，混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品。

粉末冶金制品包括锰、铜、锆、R、R₁、R₂、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成；熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物（如NaCl、KCl、Na₃AlF₆等）。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂（可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐、碳化物），并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造（在铸模中结晶凝固）。

(7) 为了防止材料过烧，确定对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

与现有技术相比，本发明具有如下主要优点：

10 解决了目前Al-Cu系高强韧铝合金（ZL201A、ZL 204A、ZL 205A等）大多采用精铝为基体原料并加入千分之一以上贵重元素，成本较高，导致Al-Cu系高强韧铝合金只能用于航空航天、国防军工等尖端领域，民用领域因性价比不高而应用受限的问题。

15 随着中国和世界铝产量的快速增长和铝产业规模在中国的不断扩大，“以铝代钢”日渐成为产业发展的趋势和潮流，而在民用领域也迫切需要性价比高的高强韧铝合金；本发明通过采用普铝为基体原料，不加（或少加）贵重元素，优选特征微合金化元素配方，以及采用集约、简练的熔铸、净化等工艺，研制出新型高强耐热铝合金材料，克服了现有材料的在成本上的门槛。

具体说来，本发明具有以下八个优点。

20 1、高强度和高硬度。从材料强度看，在满足塑性要求前提下，可通过热处理等工艺技术手段，使各种强化相在铸态组织中充分、均匀、合理析出和分布，使材料强度达到480~540MPa；硬度≥HB140。

2、材料的双重属性。从材料用途属性上看，它属于两性铝合金，既有铸造铝合金的特性又有变形铝合金的特性，既可以直接用于铸造各类轻强功能件和结构件，也可以先铸成棒材再进行热挤压成为各种断面的型材。

25 本质上，该材料属于多元微合金化的铸造铝合金，但由于材料具有极好的流动性及晶间自润滑性能，使其同时具备了变形铝合金的易加工特性。

3、工艺的先进性。从生产工艺上看，在熔炼技术上改变了传统的粗放工艺，可使用电炉进行严密的保护性熔炼，从而避免了熔体混入过多的杂质和气体，既保持了合金的纯净度，也简化和缩短了复杂的后续熔体处理流程；同时，熔炼过程较传统反射式熔炼工艺大大提高了能源利用率并降低了对环境的污染，属于绿色环保节能型工艺。

(1) 保护性熔炼显著降低了能耗、污染，简化了生产流程，提高了集约化程度

由于铝及铝合金熔体具有极强的吸气倾向，故在敞开式或封闭性不好的炉内融化和熔炼时，熔融的合金液会大量地吸收空气中的 O_2 、水分等气体，生成不溶性的 Al_2O_3 和具有良好活性的 H_2 ，在熔体中形成杂质和气体，如果不及时除去，会在铸造时形成铸件的夹渣、气孔、疏松等缺陷，导致制品报废；其中尤其以熔体中 H_2 的危害最大，因为 H_2 在铝及铝合金熔融态时的溶解度大大高于固态时的溶解度，因此在凝固时，会有大量的 H_2 从合金中逸出造成大量缺陷。而不溶性渣则相对较易除去。因此，避免熔体吸气是保持熔体质量和铸造质量的重要措施。

普通的大型工业铝合金熔炼炉是以液体或气体燃料为能源的反射式加热炉或保温炉，需要大量的空气助燃，同时燃烧产物中含有大量水蒸汽和 CO_2 、 NO_x 等物质，在高温下极易与铝发生化学反应而生成各种有害杂质，同时这些杂质本身与铝液一样极易吸附 H_2 ，使熔体受到严重污染，在进行铸造之前，熔体必须经历一道或几道专门的净化工序，并经取样检测合格后方可进入铸造流程，这无疑延长了作业流程，能耗和污染指标都难以降低；同时因为生产的连续性要求，必须使装备大型化，增加了投资，提高了技术准入门槛；而设备的大修成本、启动成本均随着设备的大型化和长流程而成倍增长。

而一般的铝合金铸造件生产车间，由于产量规模小，设备简单粗放，对铝合金熔体很少采取密闭保护措施，同样造成熔体质量和铸造质量不高。

本发明要求的制备方法，其熔炼方式是采用带密封盖的感应电热设备，根除了燃料燃烧时空气、水蒸汽和各种燃烧产物对熔体的污染，同时在熔炼过程中，可采用保护性气体进行保护气氛熔炼，最大程度地隔绝空气的侵袭；由于保持了熔体的高纯洁性，在其后的铸造阶段可采取很简单的通过式除气、除渣装置，而不必添加专门的停留式保温净化设备，从而大大简化了工艺流程。

(2) 优化了铸件的热处理工艺，避免了因“过烧”而造成的材料力学性能降低、制品报废的发生

申请号为200810302670.3、200810302668.6、200810302669.0和200810302671.8的4个专利名称均为“一种高强度铸造铝合金材料”的发明中，规定材料的热处理工艺参数为“620℃以下、72小时以内”，在材料应用试验中，发现固溶处理时温度超560℃时，常常会发生“过烧”现象，造成材料微观结构的破坏，其典型特征是强度和延展性等主要指标显著降低，铸件变脆，表面发黑发暗，甚至在热处理过程中即产生裂纹、变形而报废。而当固溶温度低于470℃时，由于强化相的培育、析出强化作用不充分，材料的强度难以达到期望的目标值；同时，在经过多次试验摸索后，发现热处理时间超过30小时，对材料性能的提高没有显著效果。因此，为了提高效果和效率，将热处理工艺参数优化调整为：470~560℃、30小时以内的固

溶处理。

4、配方的科学性和经济性。从原料来源上看，先进的配方创造了两方面的优势-基体材料优势和合金元素优势。一方面，新材料系列的基体合金可以采用普通工业纯铝(即双零铝，包括铝液和重熔用铝锭)，比已有的高强度铝合金必须采用精铝或高纯级铝为基体合金的配方模式，具有原料供应充足、成本低、采购方便等优势；同时，该材料同样可以采用精铝或高纯级铝作为基体合金，而这种配方的材料比该品种的普铝基材料具有更高的延展性。另一方面，因贵重元素对合金成本升高的贡献率是普通元素的数十乃至百倍以上，新材料系列的合金元素组合中多数不采用贵重元素，即使采用，比例也很小，均在千分之一以下；而已有的高强度铝合金贵重元素的比例均在千分之一以上，两方面的优势为系列新材料拓展市场储备了巨大潜力。

本发明通过优选合金主元素铜(Cu)、锰(Mn)，并以铍(Be)、钴(Co)、铬(Cr)、锂(Li)、钼(Mo)、铌(Nb)、镍(Ni)、钨(W)等8特征元素中的一个，或者其中任意两个的组合，组成微合金化元素多元配方，为固溶体中高温相和强化相的培育和细晶化作用创造物质基础条件。

合金在主元素Cu、Mn形成强化 θ 相(Al_2Cu)、T相($Al_{12}Mn_2Cu$)的基础上，选用高活性元素(Be)，在合金中形成 α 、 β 弥散性高温强化相，可防止合金元素的氧化、烧损、吸气，提高合金的冶金质量及表面氧化膜的致密度，可使杂质铁(Fe)由针状变为团粒状，还可防止浇注时砂型铸件与模型的反冲；选择高温元素钴(Co)，能够在合金中形成AlCo、 Al_9Co_2 等8种弥散性高温强化相，Co并且是复杂合金化的高强度铸造铝合金的微量添加元素，它与Mn共存时，形成 $Al_4(CoFeMn)$ 等很复杂的强化相于枝晶间，阻碍位错、阻止晶粒滑移，有效地提高了合金的室温和高温(400℃下)强度；选择高温元素铬(Cr)，在合金中形成 $\beta-CrAl_7$ 、 $\eta-Cr_2Al$ 等5种弥散性高温强化相；选择高溶解性元素锂(Li)，在合金中可形成 Al_2Li_3 、 $AlLi_5$ 等5种弥散性高温强化相，能提高合金的硬度和耐蚀性能；选择高温元素钼(Mo)，在合金中形成 $AlMo_3$ ~ $Al_{12}Mo$ 等13种金属化合物弥散性高温强化相；选择高温元素铌(Nb)，在合金中形成 $AlNb_3$ 、 $AlNb$ 、 Al_3Nb 等3种金属化合物弥散性高温强化相；选择高温元素镍(Ni)，在合金中可形成 $AlNi_3$ 、 Al_3Ni 等5种弥散性高温强化相，提高合金的高温强度和体积、尺寸稳定性，并有使Fe的化合物变成块状的倾向，即降低杂质Fe的有害作用；选择高温元素钨(W)，在合金中形成 $Al_{12}W$ 、 Al_6W 、 Al_4W 等3种弥散性高温强化相，提高合金的高温强度。

稀土元素RE在铝合金中能形成多种金属化合物(如铝镧有 $\alpha-Al_{11}La_3$ 、 $\beta-Al_{11}La_3$ 、 $AlLa_3$ 等，铝铈有 $\alpha-Ce_3Al_{11}$ 、 $CeAl_3$ 、 $CeAl_2$ 等，铝镨有 $\alpha-Al_{11}Pr_3$ 、 $\rho-AlPr_3$ 等，铝钕有 $\alpha-Al_{11}Nd_3$ 、 $AlNd_3$ 等，铝铈有 $Al_{11}Pm_3$ 、 $AlPm_3$ 等，铝钐有 $Al_{11}Sm_3$ 、 $AlSm_3$ 等，铝铕有 Al_4Eu 、 $AlEu$ 等，铝钆有 Al_4Gd 、 $Al_{17}Gd_2$ 等，铝铽有 Al_3Tb 、 $AlTb_3$ 等，铝镱有 $\alpha-Al_3Dy$ 、 $AlDy_2$ 等，铝铟有 Al_3Ho 、 $AlHo_2$ 等，铝铪

有Al-Er: Al_3Er 、 $AlEr_2$ 等, 铝铈有 Al_3Tm 、 $AlTm$ 等, 铝镱有 Al_3Yb 、 Al_2Yb 等, 铝镱有 Al_3Lu 、 $AlLu_2$ 等, 铝钇有 Al_3Y 、 AlY_2 等, 铝钪有 Al_3Sc 、 $AlSc_2$ 等, 共有近百种难熔活性金属化合物), 都显著提高了合金的室温强度、耐热强度和熔体流动性。

本发明的主合金元素作用机理如下。

- 5 ①该材料允许铜(Cu)含量在1~10%范围, 较Al-Cu系铸造铝合金含铜(Cu)量为3~11%的范围略有不同, 但在理论上则具有极为重大的创新意义。

一方面, 在铜(Cu)含量为5.65~5.7%时, 正好等于Cu在Al-Cu合金中的共晶溶解度, 在热处理过程中按照“完全固溶-均匀析出-晶界强化相-晶隙填充剂(粘结、镶嵌、防滑)”的转变模式和作用机理变化, 形成较多的富Cu强化相(其中包括 Al_2Cu 即 θ 相), 从而使铝合金的室
10 温和高温力学性能都大大提高, 也改善了加工性能; 但由于Cu在Al中的溶解度随温度降低而急剧下降, 在结晶凝固过程中, Cu在 α -Al固溶体中的过饱和度快速提高, α -Al枝晶一边长大, 一边强烈增加地向晶界外排出富Cu强化相的倾向, 造成晶内和晶界间巨大的结构应力, 同时合金整体正处于凝固收缩阶段, 收缩应力与结构应力叠加在一起, 当超过合金的即时实际强度, 则形成热裂纹, 因此在铜(Cu)含量 $\leq 5.65\%$ 的一定范围内, 铝合金的铸造性能最差、
15 热裂倾向性最大。但总的趋势是, 随着铜含量的降低, 合金的热裂倾向性也降低; 当Cu含量 $< 1\%$ 时, 其强化相不足, 强化相的转变模式和作用机理难以充分发挥, 在温度变化时在晶界的析出和向晶内的溶入会形成晶界间较多的缺陷, 降低合金的室温和高温强度, 所以Cu含量过低, 对简单的Al-Cu合金来说没有意义; 但如果合金中加入了较多的稀土元素(RE), 则可以起到弥补Cu含量过低的特殊效果。

20 另一方面, 在Cu含量 $\geq 5.7\%$ 时, 富Cu相在热处理时不能被基体全部吸收, 则以边界富Cu金属化合物形态弥散分布于晶界, 降低了 α -Al固溶体内外Cu质点的浓度差, 在凝固过程中平缓了 α -Al固溶体枝晶向晶界排出富Cu相的强度, 即降低了结构应力和热裂倾向。显然, 当Cu含量 $\geq 5.7\%$, 富Cu相越多, 结晶时合金内部的结构应力和热裂倾向越小; 同时, 高熔点
25 细晶弥散的富Cu相在熔体结晶时形成活性异质晶核, 加速熔体结晶反应但又阻止晶核长大, 细化了晶粒, 也降低了合金热裂倾向性; 并使基体晶界之间充填更加饱满; 富Cu相还能与Al、Mn等多种元素形成难熔金属化合物。所有这些作用, 明显地弱化了熔体的表面张力, 降低了熔体粘度, 从而显著提高了熔体流动性及合金的铸造性能。

当Cu含量处于5.7%左右时, 经热处理后, 在基体晶界有较多的富Cu相(溶入-析出相)与较少的(约0.5%)Cu基金属化合物细晶弥散相, 使室温状态下的合金强度保持较高水平, 但当
30 处于高温环境时, 因大量富Cu相重新溶入基体中, 就会造成较多的晶间空隙和缺陷, 这会使合金的高温强度显著下降。随着Cu含量继续增加, 合金强度受温度影响的程度减小, 而当弥

散相与析出相基本处于等量状态时，材料强度受温度变化的影响最低，此时合金中Cu含量应为11~12%。

但当合金中Cu含量>10%时，因结晶时过剩的Cu相具有优先结晶性质而形成巨大的网络结构，合金粘度大大增强，过剩相在结晶过程中取代铝基体成为控制结晶的主要因素，原有弥散相对铝基体相的优良作用全部受到屏蔽，因此合金的各种性能又大幅下降。

根据以上理论基础及实践的验证，确定主合金元素Cu含量的合理范围为：1~10%(wt%)。

②该材料以锰(Mn)元素改善抗蚀性，同时屏蔽杂质Fe，减少Fe的有害作用。

因锰(Mn)元素与基体作用生成的 $MnAl_6$ 与纯铝具有相同的电位，可以有效地改善合金的抗蚀性和焊接性；同时Mn作为高温强化相，具有提高再结晶温度、抑制再结晶晶粒粗化的作用，能够实现合金的固溶强化、补充强化、提高耐热性能；在晶粒细化剂作用下，能与Fe元素生成球团状的 $Al_3(Fe, Mn)$ ，有效消除了Fe对合金的有害作用，因此本发明可允许Fe含量在较宽的范围($Fe \leq 0.5\%$)，这样带来的好处是：实现普铝代替精铝，降低成本，扩大原料来源及材料应用领域。

③主要使用稀土RE作为基础微合金化元素，且其含量范围大，最高可达5%，可充分发挥稀土元素在合金中的除气、除渣、净化作用、细化晶粒和变质作用、提高合金的力学性能以及耐蚀性作用。

稀土元素除气、除渣、净化作用的机理是：稀土元素在活性很强，对氧、氢、硫、氮等具有较强的亲和力，其脱氧能力超过现有最强的脱氧剂铝，可把含量为 50×10^{-6} 氧，脱至 10×10^{-6} 以下，其脱硫作用可把含S量为 20×10^{-6} 脱至 $1 \sim 5 \times 10^{-6}$ 。因此，含稀土的铝合金在熔炼时很容易和铝液中的上述物质发生化学反应，反应产物不溶于铝而进入渣中，从而使合金中的气体含量降低，使合金产品产生气孔和缩松的倾向大大降低。

稀土元素能显著提高合金的力学性能。稀土元素在铝合金中可形成稳定的高熔点金属间化合物如 Al_4RE 、 Al_3CuRE 、 Al_8Mn_4RE 、 $Al_{24}RE_3Mn$ 等。这些高熔点金属间化合物弥散分布于网状或骨架状的晶间和枝晶间，并与基体牢固结合，起到了强化和稳定晶界的作用。同时，合金中还形成一定数量的 $AlSiRE$ 相，由于其熔点和硬度很高，因此对提高合金的耐热性和耐磨性均有良好的作用。此外，还可中和金属液中的低熔点杂质元素Sn、Pb、Sb等，与它们形成高熔点的化合物或使它们从枝晶间向整个晶体内部均匀分布，消除了枝晶组织。

稀土元素有细化晶粒和变质作用。稀土元素为表面活性元素，可集中分布在晶界面上，降低熔体粘度，增强流动性，降低相与相之间的拉力，因为使形成临界尺寸晶核的功减少，结晶核数量增加，从而使晶粒细化。稀土对铝合金的变质作用具有长效性和重熔稳定性，大多数单一或混合稀土加入后对 $\alpha-Al$ 相有很强的细化和变质作用。

此外，稀土元素还能够提高合金的导电性。由于稀土能细化铝晶粒，也能在合金中Fe、Si等杂质形成稳定的化合物（如CeFe₅、CeSi、CeSi₂等）并从晶内析出，再加上稀土对合金的净化作用，使得铝的电阻率得到降低，导电性提高（约2%）。

很少量的稀土元素RE即可对合金性能产生明显的变质改良作用，因此，一般铝合金的稀土加入量在1%以下，在200810302670.3、200810302668.6、200810302669.0和200810302671.8专利申请中，稀土含量确定为0.05~0.3%。从Al-RE合金相图分析，由于大部分稀土在铝中的溶解度很小（如Ce约为0.01%），其存在形态多以高熔点金属间化合物分布于晶界或基晶内部。由于活性很高，在熔体净化中充当净化剂消耗掉一部分，若加入量太少，则其对α-Al相的变质作用就难以充分发挥。为保持稀土变质作用的长效性和重熔稳定性，并充分发挥其高温强化特性，本发明特把铜含量与稀土含量一起考虑，确定其含量范围为0.05~5%。

④铍(Be)元素作为复杂合金化的特征添加元素，在合金中形成α、β弥散性高温强化相，可防止合金元素的氧化、烧损、吸气，提高合金的冶金质量及表面氧化膜的致密度，可使杂质铁(Fe)由针状变为团粒状，还可防止浇注时砂型铸件与模型的反冲；

铬(Cr)元素作为复杂合金化的特征添加元素，在合金中能形成β-CrAl₇、γ-Cr₂Al等5种弥散性高温强化相，分布于基体晶界，提高合金的室温和高温强度。

钴(Co)作为复杂合金化的微量添加元素，在合金中形成AlCo、Al₉Co₂等8种弥散性高温强化相，Co是复杂合金化的高强度铸造铝合金的微量添加元素，它与Mn共存时，形成Al₄(CoFeMn)等很复杂的强化相于枝晶间，阻碍位错、阻止晶粒滑移，有效地提高了合金的室温和高温（400℃下）强度；

镍(Ni)作为复杂合金化的微量添加元素，在合金中形成AlNi₃、Al₃Ni等5种弥散性高温强化相，提高合金的高温强度和体积、尺寸稳定性，并有使Fe的化合物变成块状的倾向，即降低杂质Fe的有害作用；

锂(Li)作为复杂合金化的微量添加元素，在合金中形成Al₂Li₃、AlLi₅等5种弥散性高温强化相，能提高合金的硬度和耐蚀性能；

铌(Nb)作为复杂合金化的微量添加元素，在合金中形成AlNb₃、AlNb、Al₃Nb等3种金属化合物弥散性高温强化相；

钼(Mo)作为复杂合金化的微量添加元素，在合金中形成AlMo₃~Al₁₂Mo等13种金属化合物弥散性高温强化相；

钨(W)作为复杂合金化的微量添加元素，在合金中形成Al₁₂W、Al₆W、Al₄W等3种弥散性高温强化相，提高合金的高温强度。

以上8种元素，每一种单独添加，或两种元素组合添加，形成的饱和熔体和过饱和固溶体，

都对合金产生固溶强化、强化相强化、弥散强化和晶粒细化作用。

5、优异的铸造性能。通过在高科技结构、航空、航天、民用重工等几个领域使用的铸件多次铸造试验，验证了该新材料的优异性能：铸造性能高于目前的A201.0、ZL206、ZL207、ZL208、206.0等高强度铸造铝合金，彻底解决了上述铝合金铸造时热裂倾向性大、铸件合格率低的重大问题；旧料回炉重熔与新料可实现任意比例配料，新旧料混合熔体浇注性能无改变，且有稳定材料强度、提高延展性的良好作用，较原有高强度铝合金废料回用性差、循环路线长的状况，具有极显著的经济性和集约性。

新材料消除热裂倾向的原理在于：因合金中铜含量增多形成富Cu相，富Cu相作为高熔点细晶弥散相以金属化合物形态弥散分布于晶界，在熔体结晶时有效抵消了晶粒内富Cu溶质因过饱和度急剧升高而形成的向晶界扩散的强烈倾向，从而减缓了结晶时的结构应力；同时晶界上富Cu弥散相与R(Be、Co、Cr、Li、Mo、Nb、Ni、W)特征微合金化元素、RE稀土微合金化元素及Mn、Zr、Ti、B等元素的多种弥散相，都具有细化晶粒、充填基体晶界、形成近铝电位金属化合物的多种作用，所有这些作用明显地弱化了熔体的表面张力，降低了熔体粘度，从而显著提高了熔体流动性及合金的铸造性能，保证了铸造产品具有较高的合格率。

15 旧料回用性好的原理在于：本发明中多元微合金化作用具有长效性和重熔稳定性，重熔时，熔体的结构特性保持了一次合金熔体形成的原子集团结构和细晶结构，大量的活性晶核能够在熔体中充分发挥凝聚、同化微晶结构的作用，并能保持原有的流动性。因此，旧料的配入有稳定材料强度、提高延展性的良好作用。

20 旧料的这种特性，完全可以在生产现场的即时回用，无论是渣料、加工余料还是不合格铸件，均可与新料一同熔炼或直接加入熔体中。

本发明的此种特性，较目前大量应用的1XXX系和2XXX系高强度铝合金材料铸造成品率显著提高，大大降低了废品量，因此在生产现场不需要大的废品堆场(实际生产中，铝合金铸造车间往往要规划出很大的废品堆放场地)；同时，很多铸造铝合金不具备重熔稳定性，无法在现场直接回用，因此需要组批进行集中处理，占据很大的制造成本，衍生出一系列处理环节和无效劳动；而应用本发明提供的新材料，所有这些额外的环节、成本和无效劳动均可省去。

25 6、优异的加工、表面防腐处理性能。通过将新材料加工成轴、球、管、角材、螺栓等各种形状的成品件的试验，证明材料具有极好的可加工性能，表面可达到近镜面程度的精洁度，光反射率高于纯铝；表面氧化和涂覆试验表明，表面阳极氧化后膜厚可达到标准要求等级、表面颜色无改变，涂料与氧化表面的附着性完全达到抗破坏性试验的标准等级。

30 7、优异的高温性能。该材料具有高温铝合金的特性，可以达到400℃条件下强度高于200Mpa以上，高于传统的高温(耐热)铝合金材料，这一特性使新材料可以替代除航空发动机

匣体直接承受高温燃气灼烧的部件之外的其它各部位耐热部件材料。(耐热性原理参见特性4 “配方的科学性和经济性”中关于富铜相、稀土RE、高温高活性耐热合金元素Be、Co、Cr、Li、Mo、Nb、Ni、W等的內容)。

8、典型的原创性。该系列新型材料是申请人在取得合金化理论创新突破后快速研发出来的，材料优异性质的验证同时就是对新合金化理论的验证，而这种理论突破目前在所有的文献资料上都没有明确记载过，因此该系列新材料在国际上属于原始性、基础性的重大创新。

本发明的创新点

表一列出了与本发明在某一方面的性能和用途上相近的31种铝合金的元素组成。可以看出，与已有各种高铜含量变形铝合金、耐热变形铝合金、耐热铸造铝合金相比，本发明主要有以下创新内容。

一是铜(Cu)含量允许范围大，在1~10%；同时以锰(Mn)元素配合形成多种高温强化相。

二是主要使用稀土RE作为基础微合金化元素，且其含量范围大，最高可达5%，可充分发挥稀土RE在合金中的除气、除渣、净化作用、细化晶粒和变质作用、提高合金的力学性能以及耐蚀性作用；稀土元素RE对氧、硫、氮、氢的亲合力都很强，因而其脱氧、脱硫、去除氢气

和氮气的的作用都很强，此外，RE为表面活性元素，可集中分布在晶界面上，降低相与相之间的拉力，因为使形成临界尺寸晶核的功减少，结晶核数量增加，从而使晶粒细化。

三是对铁元素的限制比较宽松，允许其含量最大可达0.5%，这为使用普铝为基体进行合金材熔铸开拓了空间。

四是不使用镁、锌等低熔点元素作为产生强化相的物质，避免了高温下材料强化相的分解和转化，从而显著提高了材料的高温强度。

五是以铍(Be)、钴(Co)、铬(Cr)、锂(Li)、钼(Mo)、铌(Nb)、镍(Ni)、钨(W)等8特征元素中的一个，或者其中任意两个的组合，作为高活性复杂微合金化的特征添加元素，在熔体中能够形成多种高温强化相，同时具有变质剂的作用，提高合金的室温和高温强度。结合使用钛(Ti)、硼(B)、碳(C)、锆(Zr)元素作为综合晶粒细化剂，以及镉(Cd)作为强化相形成的催化剂和润滑剂，使合金材料具备了高强高韧耐热和熔体高流动性等全部优良性能的物质基础。

以上是本发明特征配方中最明显的五个方面。

表一 与本发明有关的各种铝合金化学成分

高铜含量变形铝合金、耐热变形铝合金、耐热铸造铝合金与本发明的成分比较
一、高铜含量变形铝合金

序号	牌号/名称	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	B	Zr	V	
1	2001	0.20	0.20	5.2 ~ 6.0	0.15 ~ 0.50	0.20 ~ 0.45	0.10	0.20	...	0.05	...	0.05 Ni;0.10 Cr
2	2004	0.20	0.20	5.5 ~ 6.5	0.10	0.50	0.10	0.20	...	0.30 ~ 0.50	...	
3	2011	0.40	0.7	5.0 ~ 6.0	...	...	0.30	...	...	...	...
4	2011A	0.40	0.50	4.5 ~ 6.0	...	...	0.30	...	...	...	...
5	2111	0.40	0.7	5.0 ~ 6.0	...	...	0.30	...	...	...	...
6	2219	0.20	0.30	5.8 ~ 6.8	0.20 ~ 0.40	0.02	0.10	0.02 ~ 0.10	...	0.1 ~ 0.25	0.05 ~ 0.15	
7	2319	0.20	0.30	5.8 ~ 6.8	0.20 ~ 0.40	0.02	0.10	0.10 ~ 0.20	...	0.1 ~ 0.25	0.05 ~ 0.15	
8	2419	0.15	0.15	5.8 ~ 6.8	0.20 ~ 0.40	0.02	0.10	0.20 ~ 0.10	...	0.1 ~ 0.25	0.05 ~ 0.15	
9	2519	0.25	0.30	5.3 ~ 6.4	0.10 ~ 0.50	0.05 ~ 0.40	0.10	0.02 ~ 0.10	...	0.1 ~ 0.25	0.05 ~ 0.15	
10	2021	0.20	0.30	5.3 ~ 6.6	0.20 ~ 0.40	0.02	0.10	0.02 ~ 0.10	...	0.1 ~ 0.25	0.05 ~ 0.15	
11	2A16	0.30	0.30	6.0 ~ 7.0	0.40 ~ 0.8	0.05	0.10	0.1~ 0.2	...	...	...
12	2B16	0.25	0.30	5.8 ~ 6.8	0.20 ~ 0.4	0.05	...	0.08 ~0.2	...	0.1 ~ 0.25	0.05 ~ 0.15	
13	2A17	0.30	0.30	6.0 ~ 7.0	0.40 ~ 0.8	0.25 ~ 0.45	0.10	0.1~ 0.2	...	...	...
14	2A20	0.20	0.30	5.8 ~ 6.8	...	0.02	0.10	0.07 ~ 0.16	0.001 ~ 0.01	0.1 ~ 0.25	0.05 ~ 0.15	

二、耐热高强变形铝合金

序号	牌号/名称	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	B	Zr	V	
1	2A01	0.5	0.5	2.2~3.0	0.2	0.2~0.5	0.1	0.15				
2	2A02	0.3	0.3	2.6~3.2	0.45~0.7	2.0~2.4	0.1	0.15				
3	2A10	0.25	0.2	3.9~4.5	0.3~0.5	0.15~0.3	0.1	0.15				
4	2A12	0.5	0.5	3.8~4.9	0.3~0.9	1.2~1.8	0.3	0.15				
5	7A04	0.5	0.5	1.4~2.0	0.2~0.6	1.8~2.8	5.0~7.0	0.1				0.1~0.25 Cr

三、耐热高强铸造铝合金												
序号	牌号/名称	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	B	Zr	V	
1	ZL107A	6.5~7.5		3.5~4.5		0.1~0.2		0.1~0.2	0.01~0.05			0.04~0.1 Be 0.1~0.2 Cd
2	ZL201A	≤0.3	≤0.15	4.8~5.3	0.3~1.0			0.15~0.35				
3	ZL205A	≤0.06	≤0.15	4.8~5.3	0.3~0.5			0.15~0.35	0.005~0.060	0.05~0.2	0.05~0.30	0.15~0.25 Cd
4	高韧205A			4.6~5.3	0.3~0.5			0.05~0.25	0.05~0.10	0.05~0.25	0.10~0.25	
5	ZL206	≤0.3	≤0.5	7.6~8.4	0.7~1.1	≤0.2	≤0.4	≤0.05	0.05~0.10	0.1~0.25	0.10~0.25	0.2~0.3Ni; 1.5~2.3RE
6	ZL207	1.6~2.0	≤0.6	3.0~3.4	0.9~1.2	0.15~0.25	0.2	.....	0.05~0.10	0.15~0.25	0.10~0.25	0.2~0.3Ni; 4.4~5.0RE
7	ZL208	≤0.3	≤0.5	4.5~5.5	0.2~0.3			0.15~0.25	0.05~0.10	0.1~0.3	0.10~0.25	1.3~1.8Ni; 0.1~.4Co; 0.1~0.4Sb
8	A-U5GT	≤0.20	≤0.35	4.2~4.5		0.15~0.35		0.05~0.30				
9	206.0	≤0.10	≤0.35	4.2~4.5	0.2~0.5	0.15~0.35		0.15~0.35				
10	K0-1	≤0.10	≤0.35	4.0~5.2	0.2~0.5	0.15~0.55		0.15~0.35				Ag:0.4~1.0
11	ZL301					9.5~11.0						

四、200810302670.3等4项专利申请与本发明											
序号	牌号/名称	Si	Fe	Cu	Mn	Ti	B/C	Zr			
1	一种高强度铸造铝合金	...	...	2~6	0.05~1.0	0.01~0.5	B: 0.005~0.04	0.01~0.25	0.01~0.2Cr, 0.05~0.3 RE; 0.01~0.4 Cd		
2	本发明	≤0.1	≤0.5	1~10	0.05~1.5	0.01~0.5	B: 0.01~0.2 或 C: 0.0001~0.15	0.01~1.0	0.001~3R 或 0.001~3.0(R ₁ +R ₂); 0.05~5RE;0.01~0.5 Cd		

注1: 本发明 R、R₁、R₂ 都只有 8 个元素供选择, 包括: Be、Co、Cr、Li、Mo、Nb、Ni、W。
注2: 本表中所列各合金其它杂质元素单个含量不大于 0.05%, 总和不大于 0.15%, 除此之外, Al 为余量。

力学性能比较

申请人将本发明与现有几种高强韧铝合金的力学性能进行对比, 见表二。

表二 本发明与几种高强韧铸造铝合金的力学性能

合金代号	铸造方法	热处理状态	抗拉强度 σ _b MPa	延伸率 δ ₅ %	硬度 HBS
ZL201A	S	T4	365~370	17~19	100
	S	T5	440~470	8~15	120
ZL205A	S	T5	480	13	120
	S	T6	510	7	140
	S	T7	495	3.4	130
高韧 205A	J	T5	385~405	19~23	
206.0①	S	T7	435	11.7	90
K0-1	S	T6	460	5.0	135
	J	T6	460	9.0	
	R	T5	358~450	4.0~7.0	
ZL107A	J	T5	420~470	4~6	
本发明	J、S	T6	480~540	3~8	140

①所列数据是高纯的206.0合金，即W(Si) ≤ 0.05%，W(Fe) ≤ 0.10%。S-砂型铸造，J-金属型铸造，R-熔模铸造

从表二可以看出，本发明的抗拉强度480~540 MPa，硬度大于HB140，明显优于现有高强韧铝合金的力学性能。

5 3、高温性能

申请人对本发明在各种温度条件下的强度高温持久性能进行了测试，并与现有常用耐热铝合金的高温持久性能进行了对比，见表三。

表三 本发明与常用耐热铝合金的高温持久性能

合金代号	热处理状态	高温持续 100 小时的强度		
		σ (200℃)	σ (250℃)	σ (300℃)
ZL201	T4	120	80	50
ZL201A	T5	165	—	80
ZL204A	T5	100	65	—
ZL205A	T5	90	70	—
	T6	80	70	—
ZL206A	T7	—	135	90
ZL207A	T1	155	125	80
ZL208A	T7	—	135	90
2A01	T4	200	120	95
2A02	T6	370	240	110
2A10	T6	280	235	147
2A12	T4	420	290	190
7A04	T6	280	150	—
BAJI10	ST5	100	75	40
	JT6	100	75	
本发明	ST6	450~510	320	200
	JT6	480~520	380	260

从表三可以看出，本发明的室温强度大于450Mpa，高温强度250℃时在300Mpa以上，高温强度300℃时，高温持久性能大于200 Mpa，明显优于已有耐热高强合金的高温持久性。

综上所述，本发明新型高强耐热铝合金材料具有高科技含量、广袤的应用领域和极佳的市场前景，其极优的性价比使其可以替代目前几乎所有高强度铝合金和高温铝合金，代表了中国乃至世界轻强结构材料的发展方向。

15 具体实施方式

实施例1: Cu-1.0%，特征微合金化元素-Be、Cr，基础微合金化稀土元素-镧La

(1)按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	铍 Be	铬 Cr	钛 Ti	La	硼 B
质量(g)	7155.9	80	120	36	80	0.1	80	40	400	8
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Cr、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，
5 再加入B和稀土元素La，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铍、铬、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用
10 氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

15 (8) 试样指标：抗拉强度535Mpa，延伸率8%。

实施例2：Cu-4.2%，特征微合金化元素-Be、Cr，基础微合金化稀土元素-La、Ce混合稀土

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	铍 Be	铬 Cr	钛 Ti	La、Ce 混合稀土	硼 B
质量(g)	7323.6	336	64	24	64	0.4	64	32	80	12
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

20 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Cr、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素La、Ce混合稀土，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括
25 锰、铜、锆、铍、铬、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用
氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度515Mpa，延伸率6.2%。

5 实施例3：Cu-6.01%，特征微合金化元素-Be、Cr，基础微合金化稀土元素-La、Ce、Pr混合稀土

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	铍 Be	铬 Cr	钛 Ti	La、Ce、Pr 混合稀土	硼 B
质量(g)	7178.2	480.8	64	24	64	1	64	32	80	12
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

10 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Cr、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素La、Ce、Pr混合稀土，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铍、铬、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

15 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

20 (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度535Mpa，延伸率5%。

实施例4：Cu-8%，特征微合金化元素-Be、Cr，基础微合金化稀土元素-钕Nd

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	铍 Be	铬 Cr	钛 Ti	稀土 Nd	硼 B
质量(g)	7143.4	640	40	20	40	1.6	50	28	30	7
合计	8000(g)									

25 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Cr、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，

再加入B和稀土元素Nd，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、铍、铬、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

5 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

10 (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度523Mpa，延伸率4%。

实施例5：Cu-7%，特征微合金化元素-Be、Cr，基础微合金化稀土元素-铈Er

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	铅 Zr	铍 Be	铬 Cr	钛 Ti	稀土 Er	硼 B
质量(g)	7221	560	40	20	40	4	50	28	30	7
合计	8000(g)									

15 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Cr、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素Er，搅拌均匀。

20 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、铍、铬、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

25 (5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度535Mpa，延伸率4.7%。

实施例6：Cu-10.0%，特征微合金化元素-Be、Cr，基础微合金化稀土元素-Y

(1) 按下列配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	铍 Be	铬 Cr	钛 Ti	稀土 Y	硼 B
质量(g)	7093	800	20	10	20	8	25	15	4	5
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Cr、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素Y，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铍、铬、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度485Mpa，延伸率3%。

实施例7：Cu-1.0%，特征微合金化元素-Co、Ni，基础微合金化稀土元素-镧La

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	钴 Co	镍 Ni	钛 Ti	La	硼 B
质量(g)	7076	80	120	36	80	80	80	40	400	8
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Co、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素La，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钴、镍、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体

吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

5 (8) 试样指标：抗拉强度485Mpa，延伸率7.5%。

实施例8：Cu-4.2%，特征微合金化元素-Co、Ni，基础微合金化稀土元素La、Ce混合稀土

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钴Co	镍Ni	钛Ti	La、Ce混合稀土	硼B
质量(g)	7260	336	64	24	64	64	64	32	80	12
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

10 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Co、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素La、Ce混合稀土，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钴、镍、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

15 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

20 (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度538Mpa，延伸率7.4%。

实施例9：Cu-5.1%，特征微合金化元素-Co、Ni，基础微合金化稀土元素Eu

(1) 按下列配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钴Co	镍Ni	钛Ti	稀土Eu	硼B
质量(g)	8956	510	70	30	50	60	60	50	200	14
合计	10000(g)									

25 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Co、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添

加剂(包括盐类化合物),搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂,再加入B和稀土元素Eu,搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品,包括锰、铜、锆、钴、镍、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物,包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4)然后对上述合金熔体进行炉内精炼;往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂,以及硼盐变质剂等),并搅拌均匀,同时为防止熔体吸入水份和烧损,熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5)精炼后打渣、静置、调温至630~850℃,合金液倾倒入炉,在线除气、除渣处理。

10 (6)铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7)对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8)试样指标:抗拉强度503Mpa,延伸率6.1%。

实施例10:Cu-6.01%,特征微合金化元素-Co、Ni,基础微合金化稀土元素-La、Ce、Pr混合稀土

15 (1)按配料计算表称量好所需的各种合金元素,如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钴Co	镍Ni	钛Ti	LaCePr混合稀土	硼B
质量(g)	7115.2	480.8	64	24	64	64	64	32	80	12
合计	8000(g)									

(2)往熔炼炉中加入适量的铝锭,加热使之完全融化并在700~800℃下保温;为防止熔体吸入过多的空气,熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3)再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Co、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物),搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂,再加入B和稀土元素La、Ce、Pr混合稀土,搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品,包括锰、铜、锆、钴、镍、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物,包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4)然后对上述合金熔体进行炉内精炼;往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂,以及硼盐变质剂等),并搅拌均匀,同时为防止熔体吸入水份和烧损,熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5)精炼后打渣、静置、调温至630~850℃,合金液倾倒入炉,在线除气、除渣处理。

(6)铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7)对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标: 抗拉强度533Mpa, 延伸率7.1%

实施例11: Cu-6.5%, 特征微合金化元素-Co、Ni, 基础微合金化稀土元素铈Er

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钴Co	镍Ni	钛Ti	稀土Er	硼B
质量(g)	7123	520	50	32	40	80	80	28	40	7
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Co、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B和稀土元素Er, 搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品, 包括锰、铜、锆、钴、镍、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物, 包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼; 往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂, 以及硼盐变质剂等), 并搅拌均匀, 同时为防止熔体吸入水份和烧损, 熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃, 合金液倾倒出炉, 在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标: 抗拉强度527Mpa, 延伸率6.9%。

实施例12: Cu-7%, 特征微合金化元素-Co、Ni, 基础微合金化稀土元素钕Nd

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钴Co	镍Ni	钛Ti	稀土Nd	硼B
质量(g)	10841	840	60	48	100	12	12	60	12	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Co、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B和稀土元素Nd, 搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品, 包括锰、铜、锆、钴、镍、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐

类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

5 (5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度517Mpa，延伸率5.2%。

实施例13：Cu-8%，特征微合金化元素-Co、Ni，基础微合金化稀土元素铈Ce

10 (1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钴Co	镍Ni	钛Ti	稀土Ce	硼B
质量(g)	10671	960	72	60	96	15	15	60	36	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Co、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，

15 再加入B和稀土元素Ce，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钴、镍、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

25 (8) 试样指标：抗拉强度501Mpa，延伸率4.8%。

实施例14：Cu-10%，特征微合金化元素-Co、Ni，基础微合金化稀土元素钇Y

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钴Co	镍Ni	钛Ti	稀土Y	硼B
质量(g)	10485	1200	60	48	72	18	18	60	24	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Co、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，
5 再加入B和稀土元素Y，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、钴、镍、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用
10 氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

15 (8) 试样指标：抗拉强度 487Mpa，延伸率 4.3%。

实施例15：Cu-1.0%，特征微合金化元素-Li、Nb，基础微合金化稀土元素-镧La

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	锂 Li	铌 Nb	钛 Ti	La	硼 B
质量(g)	7076	80	120	36	80	80	80	40	400	8
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

20 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素La，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、锂、铌、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐
25 类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用
氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

30 (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7)对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8)试样指标：抗拉强度485Mpa，延伸率7.5%。

实施例16：Cu-4.2%，特征微合金化元素-Li、Nb，基础微合金化稀土元素La、Ce混合稀土

(1)按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	锂 Li	铌 Nb	钛 Ti	La、Ce 混合稀土	硼 B
质量(g)	7316	336	64	24	64	8	64	32	80	12
合计	8000(g)									

5 (2)往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3)再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素La、Ce混合稀土，搅拌均匀。

10 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、锂、铌、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4)然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体
15 吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5)精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6)铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7)对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8)试样指标：抗拉强度538Mpa，延伸率7.4%。

20 实施例17：Cu-5.1%，特征微合金化元素-Li、Nb，基础微合金化稀土元素Eu

(1)按下列配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	锂 Li	铌 Nb	钛 Ti	稀土 Eu	硼 B
质量(g)	8836	510	70	30	50	180	60	50	200	14
合计	10000(g)									

(2)往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3)再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添
25 加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素Eu，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、锂、铌、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐

类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

5 (5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度503Mpa，延伸率6.1%。

实施例18：Cu-6.01%，特征微合金化元素-Li、Nb，基础微合金化稀土元素-La、Ce、Pr

10 混合稀土

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	锂 Li	铌 Nb	钛 Ti	LaCePr 混合稀土	硼 B
质量(g)	7099.2	480.8	64	24	64	80	64	32	80	12
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

15 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素La、Ce、Pr混合稀土，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、锂、铌、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

20 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

25 (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度533Mpa，延伸率7.1%

实施例19：Cu-6.5%，特征微合金化元素-Li、Nb，基础微合金化稀土元素铒Er

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	锂 Li	铌 Nb	钛 Ti	稀土 Er	硼 B
质量(g)	7163	520	50	32	40	40	80	28	40	7
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，
5 再加入B和稀土元素Er，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、锂、铌、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用
10 氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度527Mpa，延伸率6.9%。
15

实施例20：Cu-7%，特征微合金化元素-Li、Nb，基础微合金化稀土元素钕Nd

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	锂 Li	铌 Nb	钛 Ti	稀土 Nd	硼 B
质量(g)	10841	840	60	48	100	12	12	60	12	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，
20 再加入B和稀土元素Nd，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、锂、铌、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐
25 类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用
氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

- (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。
- (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。
- (8) 试样指标: 抗拉强度517Mpa, 延伸率5.2%。

实施例21: Cu-8%, 特征微合金化元素-Li、Nb, 基础微合金化稀土元素铈Ce

- 5 (1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	锂 Li	铌 Nb	钛 Ti	稀土 Ce	硼 B
质量(g)	10671	960	72	60	96	15	15	60	36	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

- (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B和稀土元素Ce, 搅拌均匀。
- 10

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品, 包括锰、铜、锆、锂、铌、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物, 包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

- (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼; 往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂, 以及硼盐变质剂等), 并搅拌均匀, 同时为防止熔体吸入水份和烧损, 熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。
- 15

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃, 合金液倾倒入炉, 在线除气、除渣处理。

- (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。
- (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

- 20 (8) 试样指标: 抗拉强度501Mpa, 延伸率4.8%。

实施例22: Cu-10%, 特征微合金化元素-Li、Nb, 基础微合金化稀土元素钇Y

- (1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	锂 Li	铌 Nb	钛 Ti	稀土 Y	硼 B
质量(g)	10485	1200	60	48	72	18	18	60	24	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

- (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B和稀土元素Y, 搅拌均匀。
- 25

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品, 包括

锰、铜、锆、锂、铌、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

- (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度487Mpa，延伸率4.3%。

10 实施例23：Cu-1.0%，特征微合金化元素-Mo、W，基础微合金化稀土元素-镧La

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	钼 Mo	钨 W	钛 Ti	La	硼 B
质量(g)	7076	80	120	36	80	80	80	40	400	8
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

- (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素La，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、钨、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

- 20 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

- 25 (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度485Mpa，延伸率7.5%。

实施例24：Cu-4.2%，特征微合金化元素-Mo、W，基础微合金化稀土元素La、Ce混合稀土

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	钼 Mo	钨 W	钛 Ti	La、Ce 混合稀土	硼 B
质量(g)	7260	336	64	24	64	64	64	32	80	12
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再
5 加入B和稀土元素La、Ce混合稀土，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、钼、钨、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用
10 氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度538Mpa，延伸率7.4%。
15

实施例25：Cu-5.1%，特征微合金化元素-Mo、W，基础微合金化稀土元素Eu

(1) 按下列配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	钼 Mo	钨 W	钛 Ti	稀土 Eu	硼 B
质量(g)	8956	510	70	30	50	60	60	50	200	14
合计	10000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再
20 加入B和稀土元素Eu，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括
25 锰、铜、铅、钼、钨、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用
氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

- (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。
- (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。
- (8) 试样指标: 抗拉强度503Mpa, 延伸率6.1%。

实施例26: Cu-6.01%, 特征微合金化元素-Mo、W, 基础微合金化稀土元素-La、Ce、Pr

5 混合稀土

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	钼 Mo	钨 W	钛 Ti	LaCePr 混合稀土	硼 B
质量(g)	7115.2	480.8	64	24	64	64	64	32	80	12
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

- (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B和稀土元素La、Ce、Pr混合稀土, 搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品, 包括锰、铜、锆、钼、钨、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物, 包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

- (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼; 往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂, 以及硼盐变质剂等), 并搅拌均匀, 同时为防止熔体吸入水份和烧损, 熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃, 合金液倾倒出炉, 在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

- (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标: 抗拉强度533Mpa, 延伸率7.1%。

实施例27: Cu-6.5%, 特征微合金化元素-Mo、W, 基础微合金化稀土元素铒Er

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	钼 Mo	钨 W	钛 Ti	稀土 Er	硼 B
质量(g)	7123	520	50	32	40	80	80	28	40	7
合计	8000(g)									

- (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B和稀土元素Er, 搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、钨、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

10 (8) 试样指标：抗拉强度527Mpa，延伸率6.9%。

实施例28：Cu-7%，特征微合金化元素-Mo、W，基础微合金化稀土元素钕Nd

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	钼 Mo	钨 W	钛 Ti	稀土 Nd	硼 B
质量(g)	10841	840	60	48	100	12	12	60	12	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

15 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素Nd，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、钨、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

20 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

25 (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度517Mpa，延伸率5.2%。

实施例29：Cu-8%，特征微合金化元素-Mo、W，基础微合金化稀土元素铈Ce

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	钼 Mo	钨 W	钛 Ti	稀土 Ce	硼 B
质量(g)	10671	960	72	60	96	15	15	60	36	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素Ce，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、钨、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度501Mpa，延伸率4.8%。

实施例30：Cu-10%，特征微合金化元素-Mo、W，基础微合金化稀土元素钇Y

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝 Al	铜 Cu	锰 Mn	镉 Cd	锆 Zr	钼 Mo	钨 W	钛 Ti	稀土 Y	硼 B
质量(g)	10485	1200	60	48	72	18	18	60	24	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B和稀土元素Y，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、钨、硼或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂，以及硼盐变质剂等)，并搅拌均匀，同时为防止熔体

吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

5 (8) 试样指标：抗拉强度487Mpa，延伸率4.3%。

实施例31：Cu-1.0%，特征微合金化元素-Be、Co，基础微合金化稀土元素-镧La，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铍Be	钴Co	钛Ti	La	碳C
质量(g)	7163.892	80	120	36	80	0.1	80	40	400	0.008
合计	8000(g)									

10 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Co、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入C和稀土元素La，搅拌均匀。

15 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铍、钴或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

20 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度485Mpa，延伸率7.5%。

25 实施例32：Cu-4.2%，特征微合金化元素-Be、Co，基础微合金化稀土元素La、Ce混合稀土，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铍Be	钴Co	钛Ti	La、Ce混合稀土	碳C
质量(g)	7335.588	336	64	24	64	0.4	64	32	80	0.012
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Co、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，
5 再加入C和稀土元素La、Ce混合稀土，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、铍、钴或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。
15

(8) 试样指标：抗拉强度538Mpa，延伸率6.7%。

实施例33：Cu-5.1%，特征微合金化元素-Be、Co，基础微合金化稀土元素Eu，高效变质元素-C

(1) 按下列配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铍Be	钴Co	钛Ti	稀土Eu	硼B+碳C
质量(g)	9027.5	510	70	30	50	2	60	50	200	0.5
合计	10000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。
20

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Co、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Eu，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、铍、钴、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。
25

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用

氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

5 (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度503Mpa，延伸率5.1%。

实施例34：Cu-6.01%，特征微合金化元素-Be、Co，基础微合金化稀土元素-La、Ce、Pr混合稀土，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铍Be	钴Co	钛Ti	LaCePr混合稀土	硼B+碳C
质量(g)	7190	480.8	64	24	64	1	64	32	80	0.2
合计	8000(g)									

10 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Co、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Eu，搅拌均匀。

15 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铍、钴、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₂AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

20 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

25 (8) 试样指标：抗拉强度533Mpa，延伸率4.1%

实施例35：Cu-6.5%，特征微合金化元素-Be、Co，基础微合金化稀土元素铒Er，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铍Be	钴Co	钛Ti	稀土Er	硼B+碳C
质量(g)	7201	520	50	32	40	8	80	28	40	1
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Co、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Eu，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铍、钴、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度527Mpa，延伸率6.9%。

实施例36：Cu-7%，特征微合金化元素-Be、Co，基础微合金化稀土元素钕Nd，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铍Be	钴Co	钛Ti	稀土Nd	硼B+碳C
质量(g)	10850	840	60	48	100	6	12	60	12	12
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Co、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Eu，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铍、钴、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤

素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

- (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度517Mpa，延伸率5.3%。

- 10 实施例37：Cu-8%，特征微合金化元素-Be、Co，基础微合金化稀土元素铈Ce，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铍Be	钴Co	钛Ti	稀土Ce	硼B+碳C
质量(g)	10690	960	72	60	96	5	15	60	36	6
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

- 15 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Co、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Eu，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铍、钴、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

- 20 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

25 (5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度501Mpa，延伸率4.8%。

实施例38：Cu-10%，特征微合金化元素-Be、Co，基础微合金化稀土元素钇Y，高效变质

元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铍Be	钴Co	钛Ti	稀土Y	硼B+碳C
质量(g)	10492	1200	60	48	72	8	18	60	24	18
合计	12000 (g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

- 5 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Be、Al-Co、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Eu，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铍、钴、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

10

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

- 15 (5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度487Mpa，延伸率3.9%。

实施例39：Cu-1.0%，特征微合金化元素-Mo、Ni，基础微合金化稀土元素-镧La，高效变

20 质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钼Mo	镍Ni	钛Ti	La	碳C
质量(g)	7083.992	80	120	36	80	80	80	40	400	0.008
合计	8000 (g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

- 25 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入C和稀土元素La，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，

包括锰、铜、锆、钼、镍或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

10 (8) 试样指标：抗拉强度485Mpa，延伸率7.5%。

实施例40：Cu-4.2%，特征微合金化元素-Mo、Ni，基础微合金化稀土元素La、Ce混合稀土，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钼Mo	镍Ni	钛Ti	La、Ce混合稀土	碳C
质量(g)	7271.988	336	64	24	64	64	64	32	80	0.012
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入C和稀土元素La、Ce混合稀土，搅拌均匀。

20 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、镍或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度538Mpa，延伸率6.7%。

实施例41: Cu=5.1%, 特征微合金化元素-Mo、Ni, 基础微合金化稀土元素Eu, 高效变质元素-C

(1) 按下列配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钼Mo	镍Ni	钛Ti	稀土Eu	硼B+碳C
质量(g)	8969.5	510	70	30	50	60	60	50	200	0.5
合计	10000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B、C和稀土元素Ce, 搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品, 包括锰、铜、锆、钼、镍、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物, 包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金, 包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼; 往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂), 并搅拌均匀, 同时为防止熔体吸入水份和烧损, 熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃, 合金液倾倒出炉, 在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标: 抗拉强度503Mpa, 延伸率5.1%。

实施例42: Cu=6.01%, 特征微合金化元素-Mo、Ni, 基础微合金化稀土元素-La、Ce、Pr混合稀土, 高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钼Mo	镍Ni	钛Ti	LaCePr混合稀土	硼B+碳C
质量(g)	7127	480.8	64	24	64	64	64	32	80	0.2
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B、C和稀土元素Ce, 搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、镍、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

- 5 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

- 10 (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度533Mpa，延伸率4.1%

实施例43：Cu-6.5%，特征微合金化元素-Mo、Ni，基础微合金化稀土元素铒Er，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钼Mo	镍Ni	钛Ti	稀土Er	硼B+碳C
质量(g)	7129	520	50	32	40	80	80	28	40	1
合计	8000(g)									

- 15 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Ce，搅拌均匀。

- 20 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、镍、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

- 25 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度527Mpa，延伸率6.9%。

实施例44：Cu-7%，特征微合金化元素-Mo、Ni，基础微合金化稀土元素钕Nd，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钼Mo	镍Ni	钛Ti	稀土Nd	硼B+碳C
质量(g)	10844	840	60	48	100	12	12	60	12	12
合计	12000 (g)									

5 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Ce，搅拌均匀。

10 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、镍、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

15 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

20 (8) 试样指标：抗拉强度517Mpa，延伸率5.3%。

实施例45：Cu-8%，特征微合金化元素-Mo、Ni，基础微合金化稀土元素铈Ce，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钼Mo	镍Ni	钛Ti	稀土Ce	硼B+碳C
质量(g)	10680	960	72	60	96	15	15	60	36	6
合计	12000 (g)									

25 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，

再加入B、C和稀土元素Ce，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、镍、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

5 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

10 (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度501Mpa，延伸率4.8%。

实施例46：Cu-10%，特征微合金化元素-Mo、Ni，基础微合金化稀土元素钇Y，高效变质元素-C

15 (1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	钼Mo	镍Ni	钛Ti	稀土Y	硼B+碳C
质量(g)	10482	1200	60	48	72	18	18	60	24	18
合计	12000 (g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Mo、Al-Ni、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，
20 再加入B、C和稀土元素Ce，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、钼、镍、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

25 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7)对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8)试样指标：抗拉强度487Mpa，延伸率3.9%。

实施例47：Cu-1.0%，特征微合金化元素-Cr、Nb，基础微合金化稀土元素-镧La，高效变质元素-C

5 (1)按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铬Cr	铌Nb	钛Ti	La	碳C
质量(g)	7083.992	80	120	36	80	80	80	40	400	0.008
合计	8000(g)									

(2)往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3)再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Cr、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，
10 再加入C和稀土元素La，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铬、铌或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

15 (4)然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5)精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6)铸造(在铸模中结晶凝固)。

20 (7)对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8)试样指标：抗拉强度485Mpa，延伸率7.5%。

实施例48：Cu-4.2%，特征微合金化元素-Cr、Nb，基础微合金化稀土元素La、Ce混合稀土，高效变质元素-C

(1)按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铬Cr	铌Nb	钛Ti	La、Ce混合稀土	碳C
质量(g)	7271.988	336	64	24	64	64	64	32	80	0.012
合计	8000(g)									

25 (2)往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3)再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Cr、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添

加剂(包括盐类化合物),搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂,再加入C和稀土元素La、Ce混合稀土,搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品,包括锰、铜、钨、铬、铌或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物,包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金,包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4)然后对上述合金熔体进行炉内精炼;往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂),并搅拌均匀,同时为防止熔体吸入水份和烧损,熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

10 (5)精炼后打渣、静置、调温至630~850℃,合金液倾倒出炉,在线除气、除渣处理。

(6)铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7)对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8)试样指标:抗拉强度538Mpa,延伸率6.7%。

15 实施例49: Cu-5.1%,特征微合金化元素-Cr、Nb,基础微合金化稀土元素Eu,高效变质元素-C

(1)按下列配料计算表称量好所需的各种合金元素,如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铬Cr	铌Nb	钛Ti	稀土Eu	硼B+碳C
质量(g)	8969.5	510	70	30	50	60	60	50	200	0.5
合计	10000(g)									

(2)往熔炼炉中加入适量的铝锭,加热使之完全融化并在700~800℃下保温;为防止熔体吸入过多的空气,熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

20 (3)再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Cr、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物),搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂,再加入B、C和稀土元素Y,搅拌均匀。

25 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品,包括锰、铜、钨、铬、铌、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物,包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金,包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4)然后对上述合金熔体进行炉内精炼;往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂),并搅拌均匀,同时为防止熔体吸入水份和烧损,熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5)精炼后打渣、静置、调温至630~850℃,合金液倾倒出炉,在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标: 抗拉强度503Mpa, 延伸率5.1%。

实施例50: Cu-6.01%, 特征微合金化元素-Cr、Nb, 基础微合金化稀土元素-La、Ce、Pr

5 混合稀土, 高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铬Cr	铌Nb	钛Ti	LaCePr混合稀土	硼B+碳C
质量(g)	7127	480.8	64	24	64	64	64	32	80	0.2
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Cr、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B、C和稀土元素Y, 搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品, 包括锰、铜、锆、铬、铌、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物, 包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金, 包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼; 往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂), 并搅拌均匀, 同时为防止熔体吸入水份和烧损, 熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃, 合金液倾倒出炉, 在线除气、除渣处理。

20 (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标: 抗拉强度533Mpa, 延伸率4.1%

实施例51: Cu-6.5%, 特征微合金化元素-Cr、Nb, 基础微合金化稀土元素铒Er, 高效变质元素-C

25 (1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铬Cr	铌Nb	钛Ti	稀土Er	硼B+碳C
质量(g)	7129	520	50	32	40	80	80	28	40	1
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Cr、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B、C和稀土元素Y, 搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品, 包括
5 锰、铜、锆、铬、铌、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物, 包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金, 包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼; 往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂), 并搅拌均匀, 同时为防止熔体吸入水份和烧损, 熔
10 体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃, 合金液倾倒入炉, 在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标: 抗拉强度527Mpa, 延伸率6.9%。

15 实施例52: Cu-7%, 特征微合金化元素-Cr、Nb, 基础微合金化稀土元素钕Nd, 高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素, 如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铬Cr	铌Nb	钛Ti	稀土Nd	硼B+碳C
质量(g)	10844	840	60	48	100	12	12	60	12	12
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭, 加热使之完全融化并在700~800℃下保温; 为防止熔体吸入过多的空气, 熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

20 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Cr、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物), 搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂, 再加入B、C和稀土元素Y, 搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品, 包括
25 锰、铜、锆、铬、铌、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物, 包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金, 包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼; 往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂), 并搅拌均匀, 同时为防止熔体吸入水份和烧损, 熔
体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

- (5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。
- (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。
- (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。
- (8) 试样指标：抗拉强度517Mpa，延伸率5.3%。

5 实施例53：Cu-8%，特征微合金化元素-Cr、Nb，基础微合金化稀土元素铈Ce，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铬Cr	铌Nb	钛Ti	稀土Ce	硼B+碳C
质量(g)	10680	960	72	60	96	15	15	60	36	6
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

- 10 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Cr、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Y，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、铬、铌、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

- 15 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

- 20 (5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。
- (6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。
 - (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。
 - (8) 试样指标：抗拉强度501Mpa，延伸率4.8%。

25 实施例54：Cu-10%，特征微合金化元素-Cr、Nb，基础微合金化稀土元素钇Y，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	铬Cr	铌Nb	钛Ti	稀土Y	硼B+碳C
质量(g)	10482	1200	60	48	72	18	18	60	24	18
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体

吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3)再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Cr、Al-Nb、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Y，搅拌均匀。

5 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、铬、铌、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4)然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5)精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6)铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7)对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

15 (8)试样指标：抗拉强度487Mpa，延伸率3.9%。

实施例55：Cu-1.0%，特征微合金化元素-Li、W，基础微合金化稀土元素-镧La，高效变质元素-C

(1)按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	锂Li	钨W	钛Ti	La	碳C
质量(g)	7083.992	80	120	36	80	80	80	40	400	0.008
合计	8000(g)									

(2)往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3)再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入C和稀土元素La，搅拌均匀。

25 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、锂、钨或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4)然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔

体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

5 (8) 试样指标：抗拉强度485Mpa，延伸率7.5%。

实施例56：Cu-4.2%，特征微合金化元素-Li、W，基础微合金化稀土元素La、Ce混合稀土，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	锂Li	钨W	钛Ti	La、Ce混合稀土	碳C
质量(g)	7327.88	336	64	24	64	8	64	32	80	0.12
合计	8000(g)									

10 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入C和稀土元素La、Ce混合稀土，搅拌均匀。

15 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、锂、钨或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

20 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度538Mpa，延伸率7.4%。

25 实施例57：Cu-5.1%，特征微合金化元素-Li、W，基础微合金化稀土元素Eu，高效变质元素-C

(1) 按下列配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	锂Li	钨W	钛Ti	稀土Eu	碳C
质量(g)	8849.85	510	70	30	50	180	60	50	200	0.15
合计	10000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再
5 加入C和稀土元素Eu，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、锂、钨或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。
15

(8) 试样指标：抗拉强度503Mpa，延伸率6.1%。

实施例58：Cu-6.01%，特征微合金化元素-Li、W，基础微合金化稀土元素-La、Ce、Pr混合稀土，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	锂Li	钨W	钛Ti	LaCePr混合稀土	碳C
质量(g)	7111	480.8	64	24	64	80	64	32	80	0.2
合计	8000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。
20

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入C和稀土元素La、Ce、Pr混合稀土，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、铅、锂、钨或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。
25

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用

氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

5 (7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度533Mpa，延伸率7.1%

实施例59：Cu-6.5%，特征微合金化元素-Li、W，基础微合金化稀土元素铒Er，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	锂Li	钨W	钛Ti	稀土Er	硼B+碳C
质量(g)	7169.7	520	50	32	40	40	80	28	40	0.3
合计	8000(g)									

10 (2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Er，搅拌均匀。

15 混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、锂、钨、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

20 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

25 (8) 试样指标：抗拉强度527Mpa，延伸率6.9%。

实施例60：Cu-7%，特征微合金化元素-Li、W，基础微合金化稀土元素钕Nd，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	锂Li	钨W	钛Ti	稀土Nd	硼B+碳C
质量(g)	10855.5	840	60	48	100	12	12	60	12	0.5
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Er，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、锂、钨、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒出炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度517Mpa，延伸率5.2%。

实施例61：Cu-8%，特征微合金化元素-Li、W，基础微合金化稀土元素铈Ce，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	锂Li	钨W	钛Ti	稀土Ce	硼B+碳C
质量(g)	10681	960	72	60	96	15	15	60	36	5
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间内和封闭环境内完成。

(3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Er，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、锂、钨、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤

素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

- (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度501Mpa，延伸率4.8%。

- 10 实施例62：Cu-10%，特征微合金化元素-Li、W，基础微合金化稀土元素钇Y，高效变质元素-C

(1) 按配料计算表称量好所需的各种合金元素，如下。

元素	铝Al	铜Cu	锰Mn	镉Cd	锆Zr	锂Li	钨W	钛Ti	稀土Y	硼B+碳C
质量(g)	10485	1200	60	48	72	18	18	60	24	15
合计	12000(g)									

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；为防止熔体吸入过多的空气，熔化过程应尽可能在短时间和封闭环境内完成。

- 15 (3) 再按配方比例先加入Al-Mn、Al-Ti、Al-Li、Al-W、Al-Zr中间合金或者混合金属添加剂(包括盐类化合物)，搅拌均匀后再加入Cu纯金属及Al-Cd中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素Er，搅拌均匀。

混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品，包括锰、铜、锆、锂、钨、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。

- 20 (4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂(可根据不同工况采用氯气、六氯乙烷、氯化锰等作为精炼剂)，并搅拌均匀，同时为防止熔体吸入水份和烧损，熔体精炼应尽可能在封闭环境中操作。

25 (5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理。

(6) 铸造(在铸模中结晶凝固)。

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

(8) 试样指标：抗拉强度487Mpa，延伸率4.3%。

权利要求书

1、一种多元组合强化变质的高强耐热铝合金材料，其特征在于：按重量百分比计，该合金成分为Cu:1.0~10.0%，Mn:0.05~1.5%，Cd:0.01~0.5%，Ti:0.01~0.5%，B:0.01~0.2%
5 或C:0.0001~0.15%，Zr:0.01~1.0%，R:0.001~3%或 R_1+R_2 :0.001~3%，稀土元素RE:0.05~5%，其余为Al。

2、根据权利要求1所述的多元组合强化变质的高强耐热铝合金材料，其特征在于：特征金属元素R、 R_1 、 R_2 包括：Be，Co，Cr，Li，Mo，Nb，Ni，W，共8种元素。

10

3、根据权利要求1所述的多元组合强化变质的高强耐热铝合金材料，其特征在于：稀土元素RE为单一稀土元素或一种以上的混合稀土元素，包括La、Ce、Pr、Nd、Er、Y和Sc。

4、根据权利要求1所述的多元组合强化变质的高强耐热铝合金材料，其特征在于：B、C
15 两种元素可以只使用其中一种，也可以两种一起使用。

5、一种如权利要求1~4所述的多元组合强化变质的高强耐热铝合金材料的制备方法，其特征在于：包括如下步骤：

(1) 在上述元素比例范围内，选定一组元素比例，再根据需要配制的合金总量，推算出
20 所需的每种单质金属的质量，或者中间合金的质量，或者混合金属添加剂的质量，编制合金生产配料表，并按配料表选足备料；

(2) 往熔炼炉中加入适量的铝锭或熔融铝液，加热使之完全融化并在700~800℃下保温；
熔化过程在封闭环境内完成；

(3) 再按配方比例先加入Mn、Ti、Zr、R、 R_1 、 R_2 纯金属或Al-Mn、Al-Ti、Al-Zr、Al-R、
25 Al- R_1 、Al- R_2 中间合金或者混合金属添加剂，搅拌均匀后再加入Cu、Cd纯金属或Al-Cu、Al-Cd
中间合金或者混合金属添加剂，再加入B、C和稀土元素RE，搅拌均匀；

(4) 然后对上述合金熔体进行炉内精炼；往合金熔体中加入精炼剂，并搅拌均匀，熔体
精炼在封闭环境中操作；

(5) 精炼后打渣、静置、调温至630~850℃，合金液倾倒入炉，在线除气、除渣处理；

30 (6) 铸造；

(7) 对铸件进行470~560℃、30小时以内的固溶处理。

- 6、根据权利要求5所述的多元组合强化变质的高强耐热铝合金材料的制备方法，其特征在于：混合金属添加剂是指添加、调整合金组元用的饼状或块状非烧结性粉末冶金制品。
- 5 7、根据权利要求5所述的以C变质的Cr-RE高强耐热铝合金材料的制备方法，其特征在于：在步骤（3）中，C是指化合物或铝碳中间合金，包括二元中间合金、三元中间合金和多元中间合金。
- 8、根据权利要求6所述的多元组合强化变质的高强耐热铝合金材料的制备方法，其特征
10 在于：粉末冶金制品包括锰、铜、铅、R、R₁、R₂、硼、碳或钛金属粉末与熔剂混合而成。
- 9、根据权利要求8所述的多元组合强化变质的高强耐热铝合金材料的制备方法，其特征
在于：熔剂是指碱金属或碱土金属卤素盐类的混合物，包括NaCl、KCl和Na₃AlF₆。
- 15 10、根据权利要求5所述多元组合强化变质的高强耐热铝合金材料的制备方法，其特征在
于：在步骤（4）中，精炼剂是指氯气、六氯乙烷、氯化锰以及硼盐变质剂。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2010/075711

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
See extra sheet		
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; C22F		
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)		
CNKI,CNPAT,EPODOC,WPI,CA: Al, aluminum, Cu, copper, manganese, Mn, Cd, cadmium, Ti, titanium, B, boron, C, carbon, Zr, zirconium, rare earth, RE, Be, beryllium, Nb, niobium		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN101319287A(UNIV. GUIZHOU) 10 Dec.2008 (10.12.2008) Claims 1-2, description, page 2, lines 7-24	1-10
Y	Claims 1-2, description, page 2, lines 7-24	1-10
Y	EP0079749A2(MPD TECHNOLOGY CORPORATION) 25 May 1983 (25.05.1983) Example 1	1-10
Y	SU1746737 A1 (MOSC MECH. ENG. WKS.) 30 Nov.1994 (30.11.1994) WPI English abstract	2, 5-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "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 13 Oct.2010 (13.10.2010)	Date of mailing of the international search report 18 Nov. 2010 (18.11.2010)	
Name and mailing address of the ISA/CN The State Intellectual Property Office, the P.R.China 6 Xitucheng Rd., Jimen Bridge, Haidian District, Beijing, China 100088 Facsimile No. 86-10-62019451	Authorized officer WANG, Suyan Telephone No. (86-10)82245672	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2010/075711

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN101319287A	10.12.2008	WO2010003349A1	14.01.2010
EPC079749A2	25.05.1983	JP58136738A	13.08.1983
SU1746737 A1	30.11.1994	NONE	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2010/075711

Continuation of: A. **CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

G22G 21/12 (2006.01) i

G22F 1/057 (2006.01) i

G22C 1/02 (2006.01) i

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2010/075711

A. 主题的分类		
见附加页		
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; C22F		
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))		
CNKI,CNPAT,EPODOC,WPI,CA: 铝, 合金, 铜, 锰, 镉, 钛, 硼, 碳, 铅, 稀土, 铍, 铌 Al, aluminum, Cu, copper, manganese, Mn, Cd, cadmium, Ti, titanium, B, boron, C, carbon, Zr, zirconium, rare earth, RE, Be, beryllium, Nb, niobium		
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
X	CN101319287A(贵州大学) 10.12 月 2008 (10.12.2008) 权利要求 1-2, 说明书第 2 页 7-24 行	1-10
Y	权利要求 1-2, 说明书第 2 页 7-24 行	1-10
Y	EP0079749A2(MPD TECHNOLOGY CORPORATION) 25.5 月 1983 (25.05.1983) 实施例 1	1-10
Y	SUI746737 A1 (MOSC MECH. ENG. WKS.) 30.11 月 1994 (30.11.1994) WPI 英文摘要	2, 5-10
<input type="checkbox"/> 其余文件在 C 栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 13.10 月 2010 (13.10.2010)		国际检索报告邮寄日期 18.11 月 2010 (18.11.2010)
ISA/CN 的名称和邮寄地址: 中华人民共和国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号: (86-10)62019451		受权官员 王素燕 电话号码: (86-10) 82245672

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2010/075711

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN101319287A	10.12.2008	WO2010003349A1	14.01.2010
EP0079749A2	25.05.1983	JP58136738A	13.08.1983
SU1746737 A1	30.11.1994	无	

续：A. 主题的分类

C22C 21/12(2006.01) i

C22F 1/057(2006.01) i

C22C 1/02(2006.01) i