



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106756264 B

(45)授权公告日 2019.06.21

---

(21)申请号 201611047206.5	(51)Int.Cl.
(22)申请日 2016.11.24	<i>G22C 21/00</i> (2006.01)
(65)同一申请的已公布的文献号	<i>G22C 21/02</i> (2006.01)
申请公布号 CN 106756264 A	<i>G22C 32/00</i> (2006.01)
(43)申请公布日 2017.05.31	<i>G22C 1/10</i> (2006.01)
(73)专利权人 湖南江滨机器(集团)有限责任公 司	<i>F02F 1/00</i> (2006.01)
地址 411100 湖南省湘潭市岳塘区板塘铺 (长潭路旁)	<i>F02F 3/00</i> (2006.01)
(72)发明人 易绿林 廖从来 金铭 李世环 朱亿鹏 姚学伟	(56)对比文件
(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限 公司 11227	US 4915903 A,1990.04.10,全文.
代理人 赵青朵	CN 102239272 A,2011.11.09,全文.
	CN 103370429 A,2013.10.23,说明书第 [0021-0025、0036、0096、0106、0145-0159]段.
	审查员 于霞

---

权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种铝基复合材料、其制备方法及其应用

(57)摘要

本发明提供了一种铝基复合材料、其制备方法及其应用,该铝基复合材料包括铝基体及分布于所述铝基体中的 $NbB_2$ 增强相和 $NbAl_3$ 增强相。本发明提供的铝基复合材料中包括 $NbB_2$ 增强相和 $NbAl_3$ 增强相,它们弥散分布于铝基体中, $NbB_2$ 增强相与铝基体界面间存在部分共格关系, $NbB_2$ 增强相作为铝基体非均匀形核的异质形核核心,细化铝基体组织; $NbAl_3$ 增强相与铝晶格系数相近,能够与铝基体很好地结合,使得铝基复合材料具有较高硬度和高温抗拉强度。另外,本发明提供的铝基复合材料延伸率良好和耐磨性优异。

1. 一种铝基复合材料,由以下方法制得:

(1) 将3671g Nb粉和3000g  $\text{KBF}_4$ 粉末充分球磨混合后在150℃保温8h,使其均匀并干燥;

(2) 将6955g纯铝放入坩埚中加热,当熔化后使用Ar气对铝液表面进行保护,并将熔融的铝加热到930℃;

(3) 将Nb粉和 $\text{KBF}_4$ 混合盐加入到铝熔体中,同时使用搅拌器对熔融的铝进行搅拌:每隔10min搅拌一次,持续2h,使混合盐与熔融的铝在坩埚内充分发生反应生成 $\text{NbB}_2$ 和 $\text{NbAl}_3$ ,反应完成后清除浮于熔融的铝表面的熔渣;

(4) 将熔融的铝温度降至850℃,投入占铝质量分数2.5%的精炼剂六氯乙烷( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ )进行除气精炼18min;

(5) 向熔融的铝中添加987g Si、651g Cu、200g Ni、164g Mg、163g Ti、153g Sc、187g Mn、306g Zr和180g V,在760℃保温20min,搅拌30min,静置后浇注入模具,得到铝基复合材料。

2. 一种权利要求1所述铝基复合材料在制备汽车零部件中的应用。

## 一种铝基复合材料、其制备方法及其应用

### 技术领域

[0001] 本发明涉及复合材料技术领域,尤其涉及一种铝基复合材料、其制备方法及其应用。

### 背景技术

[0002] 20世纪初,铝硅共晶合金系列材料的密度小、热传导性好、较低的热膨胀系数等特点被人们认识,开始用来制造各种轻便零部件,广泛应用于汽车业、航天航空等领域。但铝硅共晶合金系列材料高温强度低,强度、硬度有着自生极限,不能同时满足未来向高强度、高耐磨及耐高温的发展需要。有鉴于此,原位自生成颗粒增强铝基复合材料由于具有耐疲劳和质量轻等优点,成为当前复合材料的研究热点。

[0003] 原位自生技术是根据所需材料成分设计的要求,选择适当的反应物,通过基体金属与所加盐在合适的反应温度下发生化学反应,在金属基体中直接生成所需增强相。中国专利CN1180383A公开了一种TiB<sub>2</sub>颗粒陶瓷增强铝合金金属基复合材料,该发明提供了一种方法制备铝合金金属基复合材料:氯化物熔剂被熔融铝或其合金元素(Mg,Ca)原位还原生成不同晶粒尺寸和尺寸分布的TiB<sub>2</sub>微晶,通过确定熔剂和合金组成及工艺温度可预先确定微晶的尺寸和尺寸分布。

[0004] 该合金中TiB<sub>2</sub>颗粒虽然具有高模量,有很大的界面能,但容易在晶界处偏聚,铸造工艺性差,使得制备的复合材料的硬度较差,且高温抗拉强度低。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种铝基复合材料、其制备方法及其应用,本发明提供的铝基复合材料具有较高硬度和高温抗拉强度。

[0006] 本发明提供了一种铝基复合材料,包括铝基体及分布于所述铝基体中的NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相。

[0007] 优选地,所述NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相的总质量占铝基体的1.0wt%~12.0wt%。

[0008] 优选地,所述NbB<sub>2</sub>增强相的粒径为400~600nm;

[0009] 所述NbAl<sub>3</sub>增强相的粒径为4~6 $\mu$ m。

[0010] 优选地,所述合金元素选自稀土元素、Si、Zr、Ni、Mg、Cu、Ti、Sc、Mn和B中的一种或多种。

[0011] 优选地,所述合金元素由Si和Zr组成。

[0012] 优选地,所述Si在铝基复合材料中的质量含量为11.0wt%~12.5wt%;

[0013] 所述Zr在铝基复合材料中的质量含量为1.0wt%~2.5wt%。

[0014] 本发明提供了一种上述技术方案所述铝基复合材料的制备方法,包括以下步骤:

[0015] a)、将铌、氟硼酸钾与熔融的铝混合,反应,得到铝基复合材料。

[0016] 优选地,所述步骤a)中反应的温度为900 $^{\circ}$ C~950 $^{\circ}$ C;

[0017] 所述反应的时间为1h~3.0h。

[0018] 优选地,所述步骤a)中反应后还包括以下步骤:

[0019] 将得到的反应产物与合金元素混合,保温,浇注,得到铝基复合材料。

[0020] 本发明提供了一种上述技术方案所述铝基复合材料或上述技术方案所述制备方法制备的铝基复合材料在制备汽车零部件中的应用。

[0021] 本发明提供了一种铝基复合材料,包括铝基体及分布于所述铝基体中的 $\text{NbB}_2$ 增强相和 $\text{NbAl}_3$ 增强相。本发明提供的铝基复合材料中包括 $\text{NbB}_2$ 增强相和 $\text{NbAl}_3$ 增强相,它们弥散分布于铝基体中, $\text{NbB}_2$ 增强相与铝基体界面间存在部分共格关系, $\text{NbB}_2$ 增强相作为铝基体非均匀形核的异质形核核心,细化铝基体组织; $\text{NbAl}_3$ 增强相与铝晶格系数相近,能够与铝基体很好地结合,使得铝基复合材料具有较高硬度和高温抗拉强度。另外,本发明提供的铝基复合材料的延伸率良好和耐磨性优异。实验结果表明:本发明提供的铝基复合材料的抗拉强度:155~280MPa (20℃),71~95MPa (360℃);延伸率为1.6%~2.0%;硬度:110~160HBW (20℃);随着 $\text{NbB}_2$ 增强相和 $\text{NbAl}_3$ 增强相的总质量占铝基体的1.0wt%~12.0wt%百分比增加,其硬度值和耐磨性也明显增加。

## 附图说明

[0022] 图1为本发明实施例1制备的铝基复合材料100倍下的扫描电镜图;

[0023] 图2为本发明实施例1制备的铝基复合材料8000倍下的 $\text{NbB}_2$ 颗粒形貌图;

[0024] 图3为本发明实施例2制备的铝基复合材料500倍下的扫描电镜图;

[0025] 图4为本发明实施例2制备的铝基复合材料2000倍下的扫描电镜图;

[0026] 图5为本发明实施例3制备的铝基复合材料的扫描电镜图。

## 具体实施方式

[0027] 本发明提供了一种铝基复合材料,包括铝基体及分布于所述铝基体中的 $\text{NbB}_2$ 增强相和 $\text{NbAl}_3$ 增强相。

[0028] 本发明提供的铝基复合材料中包括 $\text{NbB}_2$ 增强相和 $\text{NbAl}_3$ 增强相,它们弥散分布于铝基体中, $\text{NbB}_2$ 增强相与铝基体界面间存在部分共格关系, $\text{NbB}_2$ 增强相作为铝基体非均匀形核的异质形核核心,能够细化铝基体组织; $\text{NbAl}_3$ 增强相与铝晶格系数相近,能够与铝基体很好地结合,它们共同使得铝基复合材料具有较高硬度和高温抗拉强度。另外,本发明提供的铝基复合材料的延伸率良好和耐磨性优异。实验结果表明:本发明提供的铝基复合材料的抗拉强度:155~280MPa (20℃),71~95MPa (360℃);延伸率为1.6%~2.0%;硬度:110~160HBW (20℃);随着 $\text{NbB}_2$ 增强相和 $\text{NbAl}_3$ 增强相的总质量占铝基体的1.0wt%~12.0wt%百分比增加,其硬度值和耐磨性也明显增加。

[0029] 本发明提供的铝基复合材料包括铝基体。在本发明中,所述铝基体选自纯铝或铝合金;所述铝合金由铝元素和合金元素组成。在本发明中,所述合金元素优选选自稀土元素、Si、Zr、Ni、Mg、Cu、Ti、Sc、Mn和B中的一种或多种。在本发明的某些实施例中,所述合金元素由Si和Zr组成。在本发明中,所述Si在铝基复合材料中的质量含量优选为11.0wt%~12.5wt%,此含量的硅处在共晶点时能够提高液态状的铝基体的流动性,增加铝基体的耐磨性和强度,提高铸造性能。在本发明的某些实施例中,铝基体为铝合金基体,所述铝合金基体中含有Zr元素,所述Zr在铝基复合材料中的质量含量优选为1.0wt%~2.5wt%;Zr元

素在NbAl<sub>3</sub>增强相中的溶解度极大,一般会形成Nb(AlZr)<sub>3</sub>化合物,其具有优良的固溶强化作用和弥散强化作用,能够提高NbAl<sub>3</sub>和NbB<sub>2</sub>细化晶粒效果,改善NbAl<sub>3</sub>增强相的分布均匀性。

[0030] 本发明提供的铝基复合材料包括NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相;所述NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相的总质量优选占铝基体的1.0wt%~12.0wt%。在本发明中,所述NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相的摩尔比优选为0.8~1.2:1.0,更优选为1:1。在本发明中,所述NbB<sub>2</sub>增强相的粒径优选为400~600nm;所述NbAl<sub>3</sub>增强相的粒径优选为4~6μm;在本发明中,所述NbB<sub>2</sub>熔点为3050℃,密度为6.4g/cm<sup>3</sup>,NbB<sub>2</sub>增强相为颗粒状的,呈六方形,其结构为C32型,在晶粒的一个或多个表面上均存在明显的生长台阶,晶格常数a=0311nm,c=0326nm。NbB<sub>2</sub>与铝基体之间存在以下位向关系:

[0031] NbB<sub>2</sub>//[110]Al (0111)NbB<sub>2</sub>//(002)Al;

[0032] NbB<sub>2</sub>增强相与铝基体界面间存在部分共格关系,NbB<sub>2</sub>增强相作为铝基体非均匀形核的异质形核核心,能够细化铝基体组织。

[0033] 在本发明中,所述NbAl<sub>3</sub>的熔点为1605℃,密度为4.54g/cm<sup>3</sup>,与铝晶格系数相近,能够与铝基体很好的结合。

[0034] 在本发明中,所述NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相是由铌和氟硼酸钾在熔融的铝中原位自生得到的,具体反应式如式①~式④所示:

[0035] Nb+3Al→NbAl<sub>3</sub> ①

[0036] 2KBF<sub>4</sub>+3Al→AlB<sub>2</sub>+2KA1F<sub>4</sub> ②

[0037] AlB<sub>2</sub>+NbAl<sub>3</sub>→NbB<sub>2</sub>+4Al ③

[0038] 总反应式为:

[0039] 2Nb+2KBF<sub>4</sub>+5Al→NbB<sub>2</sub>+NbAl<sub>3</sub>+2KF+2AlF<sub>3</sub> ④

[0040] 在本发明中,原位合成法制备NbB<sub>2</sub>和NbAl<sub>3</sub>增强铝基复合材料的过程中会生成AlB<sub>2</sub>杂质相,由于AlB<sub>2</sub>杂质相在铝基体熔体中多呈条块状,尺寸又比较粗大,所以会大大降低复合材料的塑性。而NbAl<sub>3</sub>相在熔融的铝中是稳定的热力相,与反应产生的高温下AlB<sub>2</sub>相会分解为Al和B,分解产生的B与NbAl<sub>3</sub>结合会生成Al和NbB<sub>2</sub>相。

[0041] 本发明提供了一种上述技术方案所述铝基复合材料的制备方法,包括以下步骤:

[0042] a)、将铌、氟硼酸钾与熔融的铝混合,反应,得到铝基复合材料。

[0043] 在本发明中,所述铌的纯度为99at.%;所述氟硼酸钾的纯度为99.0%。在本发明的具体实施例中,所述铌、氟硼酸钾与铝基体混合具体为:

[0044] 将铌和氟硼酸钾混合,得到混合物;

[0045] 将混合物和熔融的铝基体混合,反应,得到铝基复合材料。

[0046] 在本发明中,所述铌为粉状,铌粉的纯度优选为99.0%。在本发明中,所述氟硼酸钾的化学式为KBF<sub>4</sub>,氟硼酸钾为粉状,其分子量为125.9g/mol;密度为2.5g/cm<sup>3</sup>;熔点为530℃。在本发明中,所述铌和氟硼酸钾优选在145℃~155℃下保温7~9h,使它们干燥并混合均匀。

[0047] 在本发明中,所述熔融的铝优选通过以下方法制得:

[0048] 将固态铝加热,熔化,得到熔融的铝。

[0049] 本发明优选将固态铝置于本领域技术人员熟知的坩埚中进行加热。本发明优选采用Ar气作为保护气对熔融的铝表面进行保护。

[0050] 本发明优选将熔融的铝加热到900℃~950℃后再和混合物混合。本发明优选将混合物加入到熔融的铝中。

[0051] 本发明优选在搅拌的条件下进行铌、氟硼酸钾与熔融的铝反应；本发明优选每隔10min搅拌一次，使得反应充分；所述步骤a)中反应的时间优选为1h~3h；所述步骤a)中反应的温度优选为900℃~950℃。

[0052] 在本发明中，铝在较高温度下会发生氧化而生成副产物氧化铝，此时优选加入冰晶石，即六氟铝酸钠( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )，它会对铝基体起到精炼作用，还能起还原氧化铝的作用，从而也消除了杂质相 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ，其反应如化学方程式⑤所示：

[0053]  $2\text{Na}_3\text{AlF}_6 + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 3\text{Na}_2\text{O} + 4\text{Al} + 6\text{F}_2$  ⑤。

[0054] 本发明优选将Nb粉、 $\text{KBF}_4$ 粉与熔融的铝反应得到的产物中浮于表面的熔渣清除。本发明对清除的方法没有特殊的限制，采用本领域技术人员熟知的清除方式即可，如自然挥发或扒渣。在本发明的具体实施例中，上述反应产生的产物 $\text{KAlF}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 和 $\text{F}_2$ 即可通过上述方式清除。

[0055] 本发明优选将步骤a)反应后得到的反应产物和精炼剂混合，精炼后得到铝基复合材料。本发明优选六氯乙烷( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ )为精炼剂对步骤a)反应后得到的反应产物进行除气精炼；所述精炼的温度优选为780℃~850℃；所述精炼的时间优选为10~15min。

[0056] 在铌、氟硼酸钾与熔融的铝混合并反应后，得到反应产物，本发明优选将合金元素和所述反应产物混合，保温，浇注，得到铝基复合材料。在本发明中，所述保温的温度优选为750℃~780℃，更优选为760℃；所述保温的时间优选为8~15min，更优选为10~12min。在本发明中，所述合金元素优选选自稀土元素、Si、Zr、Ni、Mg、Cu、Ti、Sc、Mn中的一种或多种。在本发明的某些实施例中，所述合金元素选自Si、Zr、Cu、Mg和Ti；在本发明的某些实施例中，所述合金元素选自Si、Cu、Ni、Mg、Ti、Sc、Mn、Zr和V。

[0057] 本发明对浇注的方法没有特殊的限制，采用本领域技术人员熟知的浇注技术方案即可。

[0058] 本发明提供了一种上述技术方案所述铝基复合材料或上述技术方案所述制备方法制备的铝基复合材料在制备汽车零部件中的应用。

[0059] 在本发明的具体实施中，所述汽车零部件具体为发动机缸体、发动机缸套或发动机活塞。

[0060] 本发明采用CMT-7105型电子万能材料试验机对上述铝基复合材料进行高温抗拉强度和延伸率的测试，复合材料室温拉伸性能的测定，高温(360℃)拉伸性能的测定，将浇铸好的复合材料试样按国标加工拉伸试样，每种材料加工3个试样进行测试，取其平均值作为复合材料的测试结果。测试结果表明：本发明提供的铝基复合材料具有较高的高温抗拉强度和延伸率。

[0061] 本发明采用布氏硬度机对复合材料进行硬度测试，载荷为613N，压头 $\text{Ø}2.5\text{mm}$ 的钢球，加载时间为30s，卸载后用读数显微镜测量压痕直径d，然后由d查得材料的布氏硬度值。对于每一个试样，取6个不同位置硬度值，将其平均值作为复合材料的硬度值。对上述铝基复合材料进行硬度的测试，测试结果表明：本发明提供的铝基复合材料具有优异的硬度值。

[0062] 本发明采用摩擦磨损实验采用MHK-500环块摩擦磨损试验机，试验时，环为基体合

金,试验条件如下:转速=800转/分钟,1转=0.15m,载荷=76N,试验时间为30min。对上述铝基复合材料进行耐磨性 $\mu$ 的测试,测试结果表明:本发明提供的铝基复合材料具有较高的耐磨性。

[0063] 本发明提供了一种铝基复合材料,包括铝基体及分布于所述铝基体中的NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相。本发明提供的铝基复合材料中包括NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相,它们弥散分布于铝基体中,NbB<sub>2</sub>增强相与铝基体界面间存在部分共格关系,NbB<sub>2</sub>增强相作为铝基体非均匀形核的异质形核核心,细化铝基体组织;NbAl<sub>3</sub>增强相与铝晶格系数相近,能够与铝基体很好地结合,使得铝基复合材料具有较高硬度和高温抗拉强度。另外,本发明提供的铝基复合材料的延伸率良好和耐磨性优异。实验结果表明:本发明提供的铝基复合材料的抗拉强度:155~280MPa (20℃),71~95MPa (360℃);延伸率为1.6%~2.0%;硬度:110~160HBW (20℃);随着NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相的总质量占铝基体的1.0wt%~12.0wt%百分比增加,其硬度值和耐磨性也明显增加。

[0064] 为了进一步说明本发明,下面结合实施例对本发明提供的一种铝基复合材料、其制备方法及其应用进行详细地描述,但不能将它们理解为对本发明保护范围的限定。

[0065] 实施例1

[0066] (1) 将186g Nb粉和152g KBF<sub>4</sub>粉末充分球磨混合后在153℃保温8h,使其均匀并干燥;

[0067] (2) 将500g纯铝放入坩埚中加热,当熔化后使用Ar气对铝液表面进行保护,并将熔融的铝加热到930℃;

[0068] (3) 将Nb粉和KBF<sub>4</sub>混合盐加入到铝熔体中,同时使用搅拌器对熔融的铝进行搅拌:每过10min搅拌一次,持续1h,使混合盐与熔融的铝在坩埚内充分发生反应生成NbB<sub>2</sub>和NbAl<sub>3</sub>,反应完成后清除浮于熔融的铝表面的熔渣;

[0069] (4) 将熔融的铝温度降至800℃,投入占铝质量分数2.5%的精炼剂六氯乙烷(C<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>)进行除气精炼12min,浇注入模具,得到铝基复合材料。

[0070] 本发明对得到的铝基复合材料进行扫描电镜-能谱分析,如图1和图2所示,图1为本发明实施例1制备的铝基复合材料100倍下的扫描电镜图,图2为本发明实施例1制备的铝基复合材料8000倍下的NbB<sub>2</sub>颗粒形貌图。从图1和图2可以看出试样合金的显微组织形态,NbB<sub>2</sub>和NbAl<sub>3</sub>相通过原位自生反应均匀的分布在纯铝基体中,尺寸小,需在高倍下观察。

[0071] 本发明采用上述技术方案所述测试方法对实施例1制备的铝基复合材料进行延伸率、硬度值、抗拉强度和耐磨性进行测试,测试结果见表1,表1为本发明实施例1~3制备的铝基复合材料的性能测试结果:

[0072] 本发明实施例1~3制备的铝基复合材料的性能测试结果 (T6热处理)

[0073]

实施例	常温抗拉 /MPa	常温延伸率 /%	高温抗拉/MPa (360℃)	高温延伸率 /%	硬度值(常 温) HBW	耐磨性 $\mu$
实施例 1	155	1.5	71	2.0	100	0.355
实施例 2	212	1.3	81	1.8	125	0.392
实施例 3	280	1.3	95	1.6	155	0.438

[0074] 实施例2

[0075] (1) 将2450g Nb粉和2000g  $\text{KBF}_4$ 粉末充分球磨混合后在150℃保温8.5h,使其均匀并干燥;

[0076] (2) 将4827g纯铝放入坩埚中加热,当熔化后使用Ar气对铝液表面进行保护,并将熔融的铝加热到930℃;

[0077] (3) 将Nb粉和 $\text{KBF}_4$ 混合盐加入到铝熔体中,同时使用搅拌器对熔融的铝进行搅拌:每隔10min搅拌一次,持续1.5h,使混合盐与熔融的铝在坩埚内充分发生反应生成 $\text{NbB}_2$ 和 $\text{NbAl}_3$ ,反应完成后清除浮于熔融的铝表面的熔渣;

[0078] (4) 将熔融的铝温度降至780℃,投入占铝质量分数2.5%的精炼剂六氯乙烷( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ )进行除气精炼13min;

[0079] (5) 向熔融的铝中添加685g Si、165g Zr、126g Cu、182g Mg和63g Ti,在760℃保温10min,搅拌10min,静置后浇注入模具,得到铝基复合材料。

[0080] 本发明对得到的铝基复合材料进行扫描电镜-能谱分析,如图3和图4所示,图3为本发明实施例2制备的铝基复合材料500倍下的扫描电镜图,图4为本发明实施例2制备的铝基复合材料2000倍下的扫描电镜图,从图3和图4可以看出:原位合成的 $\text{NbB}_2$ 和 $\text{NbAl}_3$ 相,呈现出圆形、六边形、四方形的特征,没有明显的尖角,而且在合金基体中分布均匀。

[0081] 本发明采用上述技术方案所述测试方法对实施例2制备的铝基复合材料进行延伸率、硬度值、抗拉强度和耐磨性进行测试,测试结果见表1。

[0082] 实施例3

[0083] (1) 将3671g Nb粉和3000g  $\text{KBF}_4$ 粉末充分球磨混合后在150℃保温8h,使其均匀并干燥;

[0084] (2) 将6955g纯铝放入坩埚中加热,当熔化后使用Ar气对铝液表面进行保护,并将熔融的铝加热到930℃;

[0085] (3) 将Nb粉和 $\text{KBF}_4$ 混合盐加入到铝熔体中,同时使用搅拌器对熔融的铝进行搅拌:每隔10min搅拌一次,持续2h,使混合盐与熔融的铝在坩埚内充分发生反应生成 $\text{NbB}_2$ 和 $\text{NbAl}_3$ ,反应完成后清除浮于熔融的铝表面的熔渣;

[0086] (4) 将熔融的铝温度降至850℃,投入占铝质量分数2.5%的精炼剂六氯乙烷( $\text{C}_2\text{Cl}_6$ )进行除气精炼18min;

[0087] (5) 向熔融的铝中添加987g Si、651g Cu、200g Ni、164g Mg、163g Ti、153g Sc、187g Mn、306g Zr和180g V,在760℃保温20min,搅拌30min,静置后浇注入模具,得到铝基复合材料。

[0088] 本发明对得到的铝基复合材料进行扫描电镜-能谱分析,如图5所示,图5为本发明实施例3制备的铝基复合材料的扫描电镜图,从图5可以看出:基体合金为铸造铝硅共晶合金,短杆状共晶Si和细小块状初生Si晶粒组织均匀分布, $\text{NbB}_2$ 和 $\text{NbAl}_3$ 增强相没有大规模团聚现象。

[0089] 本发明采用上述技术方案所述测试方法对实施例3制备的铝基复合材料进行延伸率、硬度值、抗拉强度和耐磨性进行测试,测试结果见表1。

[0090] 由以上实施例可知,本发明提供了一种铝基复合材料,包括铝基体及分布于所述铝基体中的 $\text{NbB}_2$ 增强相和 $\text{NbAl}_3$ 增强相。本发明提供的铝基复合材料中包括 $\text{NbB}_2$ 增强相和

NbAl<sub>3</sub>增强相,它们弥散分布于铝基体中,NbB<sub>2</sub>增强相与铝基体界面间存在部分共格关系,NbB<sub>2</sub>增强相作为铝基体非均匀形核的异质形核核心,细化铝基体组织;NbAl<sub>3</sub>增强相与铝晶格系数相近,能够与铝基体很好地结合,使得铝基复合材料具有较高的延伸率。另外,本发明提供的铝基复合材料耐腐蚀、耐高温和耐磨性好。实验结果表明:本发明提供的铝基复合材料的抗拉强度:155~280MPa(20℃),71~95MPa(360℃);延伸率为1.6%~2.0%;硬度:110~160HBW(20℃);随着NbB<sub>2</sub>增强相和NbAl<sub>3</sub>增强相的总质量占铝基体的1.0wt%~12.0wt%百分比增加,其硬度值和耐磨性也明显增加。

[0091] 以上所述仅是本发明的优选实施方式,应当指出,对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明原理的前提下,还可以做出若干改进和润饰,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

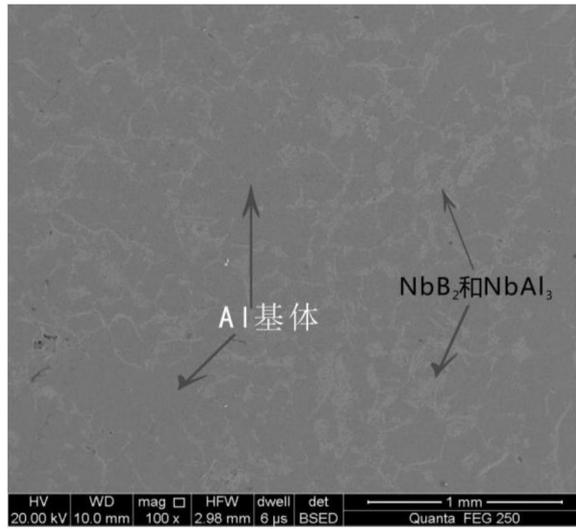


图1

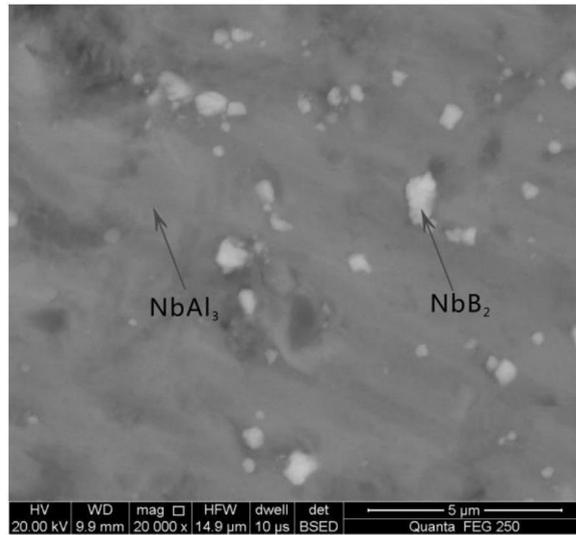


图2

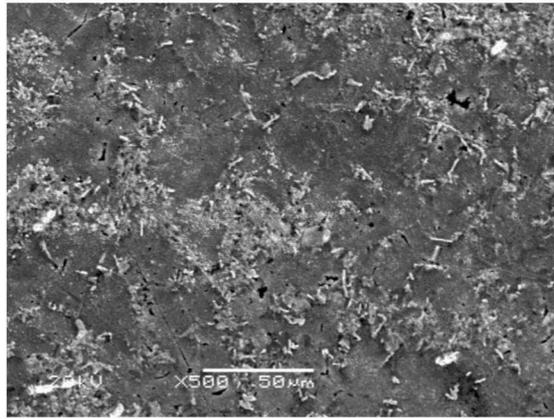


图3

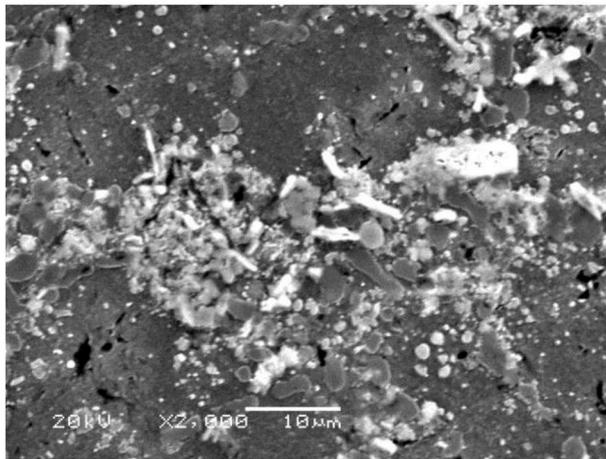


图4

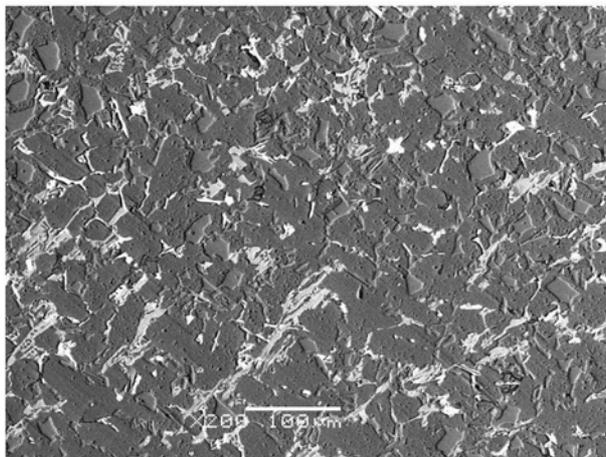


图5