



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113322406 A

(43) 申请公布日 2021.08.31

(21) 申请号 202110615106.2

(22) 申请日 2021.06.02

(71) 申请人 沈阳工业大学

地址 110870 辽宁省沈阳市铁西区经济技术开发区沈辽西路111号

(72) 发明人 王洪鼎 邱季 邱克强 向青春  
于波 曲迎东 任英磊

(74) 专利代理机构 沈阳智龙专利事务所(普通合伙) 21115

代理人 宋铁军

(51) Int. Cl.

G22C 30/00 (2006.01)

G22C 1/02 (2006.01)

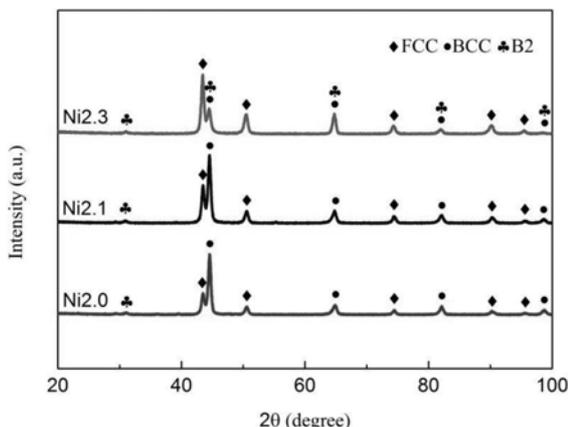
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种中熵阻尼合金及其控制成形方法

(57) 摘要

一种中熵阻尼合金,该合金由摩尔比为1:1:2:2.0~2.2的Al、Cr、Fe、Ni组成。合金的控制成形方法包括:(1)原料前处理:将Al、Cr、Fe、Ni原材料表面的氧化皮打磨干净,按摩尔比计算重量后称取原料,放入装有无水乙醇中,进行超声波清洗后干燥;(2)熔炼过程:熔炼前:放入真空电弧炉的水冷铜坩埚中,开启机械泵在真空度低于5Pa后启动分子泵,继续抽真空至 $5 \times 10^{-3}$ Pa以下,关闭分子泵及机械泵的阀门;充入高纯氩气;进行熔炼:对中熵合金进行熔炼,合金锭每次上下翻转以便成分均匀;将熔炼所得纽扣锭取出切割后放入喷铸坩埚中进行喷铸;(3)加工处理:切割喷铸试样平整,打磨后抛光。



1. 一种中熵阻尼合金,其特征在于,该合金由Al、Cr、Fe、Ni组成,所述Al、Cr、Fe、Ni成分的摩尔比为1:1:2:2.0~2.3。

2. 一种如权利要求1所述的中熵阻尼合金的控制成形方法,其特征在于:该方法包括以下步骤:

(1) 原料前处理:将Al、Cr、Fe、Ni原材料表面的氧化皮打磨干净,按照Al、Cr、Fe、Ni元素的摩尔比计算重量后称取原料,放入装有无水乙醇的烧杯中,进行超声波清洗并干燥;

(2) 熔炼过程:

熔炼前:将干燥后的原料放入真空电弧炉的水冷铜坩埚中,关闭炉门,开启机械泵在真空度低于5Pa后启动分子泵,继续抽真空至 $5 \times 10^{-3}$ Pa以下,关闭分子泵及机械泵的阀门;充入高纯氩气;

进行熔炼:对中熵合金进行5遍熔炼,合金锭每次上下翻转180度以便成分均匀;

将熔炼所得纽扣锭取出切割后放入喷铸坩埚中进行喷铸,喷铸炉气氛控制与电弧炉相同;

(3) 加工处理:切割喷铸试样使其表面平整,打磨后再进行抛光。

3. 根据权利要求2所述的中熵阻尼合金的控制成形方法,其特征在于:步骤(1)所述Al、Cr、Fe、Ni的纯度均 $\geq 99.9\%$ ,用砂轮机以及锉刀分别打磨其表面的氧化皮。

4. 根据权利要求2所述的中熵阻尼合金的控制成形方法,其特征在于:步骤(1)所述Al、Cr、Fe、Ni,使用精度为0.001g的天平进行称取。

5. 根据权利要求2所述的中熵阻尼合金的控制成形方法,其特征在于:步骤(1)所述超声波清洗10分钟,所使用的超声波频率为40kHz。

6. 根据权利要求2所述的中熵阻尼合金的控制成形方法,其特征在于:

步骤(2)所述喷铸使用冷却模具为钢制模具或铜制模具,冷却腔尺寸为 $2 \sim 6\text{mm} \times 14 \sim 18\text{mm} \times 35 \sim 60\text{mm}$ ,冷却后形成体心立方BCC和面心立方晶FCC的双相结构,其中体积分数较多的相为基体相,体积分数较少的相为第二相,该第二相主要分布在基体上,其体积分数大于8%,小于50%。

7. 根据权利要求2所述的中熵阻尼合金的控制成形方法,其特征在于:

步骤(3)所述使用线切割的方式将喷铸所得试样切割平整,所述打磨采用的是砂纸。

8. 根据权利要求2所述的中熵阻尼合金的控制成形方法,其特征在于:

该方法控制形成的具有BCC基体和FCC第二相的中熵阻尼合金,具有多相界面阻尼和铁磁性阻尼的双阻尼特性,在室温下,阻尼性能 $Q^{-1}$ 为0.066~0.070;该合金具备综合力学性能,压缩状态下合金的屈服强度不低于1000MPa,断裂强度不低于2900MPa,塑性应变大于29%。

## 一种中熵阻尼合金及其控制成形方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于金属新材料领域,涉及一种Al-Cr-Fe-Ni系中熵高性能阻尼合金及其控制成形方法。

### 背景技术

[0002] 随着社会的快速发展,噪声和振动问题逐渐成为人们关注的焦点,这些问题不仅影响了人们的日常生活,而且严重制约了航海、航空航天领域的进一步发展。因此,采用阻尼合金制造部件以降低振动和噪声成为一个重要的研究领域。铁铬基阻尼合金具有较强的抗辐射性、优良的机械性能、加工性能、更好的耐腐蚀性和阻尼能力,已成为减小振动和噪声的最佳选择。铁铬合金的阻尼机理是磁畴壁的不可逆运动。当受到外部交流振动时,合金中的磁畴壁呈反向运动,形成磁机械迟滞,导致应力和应变关系中的磁滞曲线,从而导致能量耗散。

[0003] 然而基于铁磁性阻尼的影响因素复杂,合金处理成本高,阻尼性能不稳定。本申请基于中熵合金中体心立方(BCC)相和面心立方(FCC)相可调节特性,通过成分设计和逐步优化处理,开发了 $\text{Fe}_2\text{CrAl Ni}_x$ 中熵阻尼合金,该合金不仅具有优异的阻尼性能,同时具有良好的强度和塑性,是高强度、耐腐蚀领域用阻尼合金的良好选择。

### 发明内容

[0004] 发明目的

[0005] 本发明提供了一种Al-Cr-Fe-Ni系中熵合金的成分及制备方法,目的是利用几种工业上常用的低价金属,开发出了非等摩尔比的Al-Cr-Fe-Ni系中熵合金,在具有高阻尼性能的同时降低了生产成本,为工业化生产和应用奠定基础。

[0006] 技术方案

[0007] 一种中熵阻尼合金,该合金由Al、Cr、Fe、Ni组成,所述Al、Cr、Fe、Ni成分的摩尔比为1:1:2:2.0~2.3。

[0008] 该合金的控制成形方法包括以下步骤:

[0009] (1) 原料前处理:将纯度均 $\geq 99.9\%$ 的Al、Cr、Fe、Ni原材料分别用砂轮机以及锉刀将其表面的氧化皮打磨干净,按照Al、Cr、Fe、Ni元素的摩尔比计算重量后,使用精度为0.001g的天平称取原料,放入装有无水乙醇的烧杯中,进行超声波清洗9-11分钟,然后再干燥处理;

[0010] (2) 熔炼过程:

[0011] 熔炼前:将干燥后的原料放入真空电弧炉的水冷铜坩埚中,关闭炉门,开启机械泵在真空度低于5Pa后启动分子泵,继续抽真空至 $5 \times 10^{-3}$ Pa以下,关闭机械泵及分子泵的阀门;充入高纯氩气;

[0012] 进行熔炼:对中熵合金进行4-6遍熔炼,合金锭每次上下翻转180度以便成分均匀;

[0013] 将熔炼所得纽扣锭取出切割后放入坩埚中进行喷铸,使其在钢制模具或铜制模具

中进行冷却,冷却腔尺寸为 $2\sim 6\text{mm}\times 14\sim 18\text{mm}\times 35\sim 60\text{mm}$ ,冷却后确保形成体心立方BCC和面心立方FCC双相结构,其中体积分数较多的相为基体相,体积分数较少的相为第二相,该第二相主要分布在基体上,其体积分数大于8%,小于50%,喷铸炉气氛控制与电弧炉相同;

[0014] (3) 加工处理:使用线切割的方式切割喷铸试样平整,用砂纸打磨后再进行抛光。

[0015] 该方法控制形成的具有BCC基体和FCC第二相的中熵阻尼合金,具有多相界面阻尼和铁磁性阻尼的双阻尼特性,在室温下,阻尼性能 $Q^{-1}$ 为 $0.066\sim 0.070$ ;该合金具备良好的综合力学性能,压缩状态下合金的屈服强度不低于 $1000\text{MPa}$ ,断裂强度不低于 $2900\text{MPa}$ ,塑性应变大于29%。

[0016] 优点及效果

[0017] 本发明中的Al-Cr-Fe-Ni系中熵合金成分不含贵金属和稀有元素,显著降低成本,中熵合金中不仅满足形成简单稳定的双相固溶体结构,而且比其他阻尼合金有着更优越的性能;本发明产品经过转化可以实施工业生产,适合广泛应用。

[0018] 本发明的中熵合金为BCC和FCC双相固溶体结构, $\text{AlCrFe}_2\text{Ni}_x$  ( $x=2.0, 2.1, 2.3$ ) 中具有BCC基体和FCC第二相的中熵合金室温压缩下屈服强度大于 $1000\text{MPa}$ ,断裂强度不低于 $2900\text{MPa}$ ,塑性应变大于29%。室温阻尼性能 $Q^{-1}$ 为 $0.066\sim 0.070$ 。

## 附图说明

[0019] 图1为本发明制备的中熵合金 $\text{AlCrFe}_2\text{Ni}_x$  ( $x=2.0, 2.1, 2.3$ ) 的X射线衍射图谱;

[0020] 图2 (a) 为本发明的合金 $\text{AlCrFe}_2\text{Ni}_x$  ( $x=2.0$ ) 电子背散射衍射分析图,

[0021] 图2 (b) 为本发明的合金 $\text{AlCrFe}_2\text{Ni}_x$  ( $x=2.1$ ) 电子背散射衍射分析图,

[0022] 图2 (c) 为本发明的合金 $\text{AlCrFe}_2\text{Ni}_x$  ( $x=2.3$ ) 电子背散射衍射分析图;

[0023] 图3为本发明的三个中熵合金 $\text{AlCrFe}_2\text{Ni}_x$  ( $x=2.0, 2.1, 2.3$ ) 阻尼性能图;

[0024] 图4为本发明的三个中熵合金 $\text{AlCrFe}_2\text{Ni}_x$  ( $x=2.0, 2.1, 2.3$ ) 室温压缩应力应变曲线。

## 具体实施方式

[0025] 下面结合附图对本发明做进一步的说明:

[0026] 实施例1

[0027] 一种中熵阻尼合金,该合金由Al、Cr、Fe、Ni组成,所述Al、Cr、Fe、Ni成分的摩尔比为 $1:1:2:2.0$ 。

[0028] (1) 原料前处理:将纯度均 $\geq 99.9\%$ 的Al、Cr、Fe、Ni原材料分别用砂轮机以及锉刀将其表面的氧化皮打磨干净,按照Al、Cr、Fe、Ni元素的摩尔比依次为 $1:1:2:2.0$ 计算重量后使用精度为 $0.001\text{g}$ 的天平称取原料,然后放入装有无水乙醇的烧杯中,进行超声波清洗10分钟,然后再进行干燥;

[0029] (2) 熔炼过程:

[0030] 熔炼前:将干燥后的原料放入真空电弧炉的水冷铜坩埚中,关闭炉门,开启机械泵在真空度低于 $5\text{Pa}$ 后启动分子泵,继续抽真空至 $5\times 10^{-3}\text{Pa}$ 以下,关闭机械泵及分子泵的阀门;充入高纯氩气。

[0031] 进行熔炼:对合金进行5遍熔炼,每次翻转 $180^\circ$ 以便成分均匀;

[0032] 将熔炼所得纽扣锭取出切割后放入坩埚中进行喷铸,使其在钢制模具或铜制模具中进行冷却,冷却腔尺寸为 $2\text{mm} \times 14\text{mm} \times 35\text{mm}$ ,冷却后确保形成体心立方BCC基体和面心立方晶FCC基体双相结构,面心立方FCC相作为第二相主要分布在体心立方BCC的基体上,其体积分数大于8%,小于50%,喷铸炉气氛控制与电弧炉相同;

[0033] (3) 加工处理:使用线切割的方式将喷铸所得试样切割平整,用砂纸打磨后在进行抛光。

[0034] 实施例2

[0035] 一种中熵阻尼合金,该合金由Al、Cr、Fe、Ni组成,所述Al、Cr、Fe、Ni成分的摩尔比为1:1:2:2.1。

[0036] (1) 原料前处理:将纯度均 $\geq 99.9\%$ 的Al、Cr、Fe、Ni原材料分别用砂轮机以及锉刀将其表面的氧化皮打磨干净,按照Al、Cr、Fe、Ni元素的摩尔比依次为:1:1:2:2.1计算重量后使用精度为0.001g的天平称取原料,然后放入装有无水乙醇的烧杯中,进行超声波清洗10分钟,然后再进行干燥;

[0037] (2) 熔炼过程:

[0038] 熔炼前:将干燥后的原料放入真空电弧炉的水冷铜坩埚中,关闭炉门,开启机械泵在真空度低于5Pa后启动分子泵,继续抽真空至 $5 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 以下,关闭机械泵及分子泵的阀门;充入高纯氩气。

[0039] 进行熔炼:对合金进行5遍熔炼,每次翻转180度以便成分均匀;

[0040] 将熔炼所得纽扣锭取出切割后放入坩埚中进行喷铸,使其在钢制模具或铜制模具中进行冷却,冷却腔尺寸为 $2\text{mm} \times 14\text{mm} \times 35\text{mm}$ ,冷却后确保形成体心立方BCC基体和面心立方晶FCC基体双相结构,面心立方FCC作为第二相主要分布在体心立方BCC基体的晶界上,其体积分数大于8%,小于50%,喷铸炉气氛控制与电弧炉相同;

[0041] (3) 加工处理:使用线切割的方式将喷铸所得试样切割平整,用砂纸打磨后在进行抛光。

[0042] 实施例3

[0043] 一种中熵阻尼合金,该合金由Al、Cr、Fe、Ni组成,所述Al、Cr、Fe、Ni成分的摩尔比为1:1:2:2.3。

[0044] (1) 原料前处理:将纯度均 $\geq 99.9\%$ 的Al、Cr、Fe、Ni原材料分别用砂轮机以及锉刀将其表面的氧化皮打磨干净,按照Al、Cr、Fe、Ni元素的摩尔比依次为:1:1:2:2.3计算重量后使用精度为0.001g的天平称取原料,然后放入装有无水乙醇的烧杯中,进行超声波清洗10分钟,然后再进行干燥;

[0045] (2) 熔炼过程:

[0046] 熔炼前:将干燥后的原料放入真空电弧炉的水冷铜坩埚中,关闭炉门,开启机械泵在真空度低于5Pa后启动分子泵,继续抽真空至 $5 \times 10^{-3}\text{Pa}$ 以下,关闭机械泵及分子泵的阀门;充入高纯氩气。

[0047] 进行熔炼:对合金进行5遍熔炼,每次翻转180度以便成分均匀;

[0048] 将熔炼所得纽扣锭取出切割后放入坩埚中进行喷铸,使其在钢制模具或铜制模具中进行冷却,冷却腔尺寸为 $2\text{mm} \times 14\text{mm} \times 35\text{mm}$ ,冷却后确保形成面心立方FCC基体和体心立方晶FCC基体双相结构,体心立方晶BCC作为第二相主要分布在面心立方晶FCC基体的上,其

体积分数大于8%，小于50%，喷铸炉气氛控制与电弧炉相同；

[0049] (3) 加工处理：使用线切割的方式将喷铸所得试样切割平整，用砂纸打磨后在进行抛光。

[0050] 该方法控制形成的具有BCC基体和FCC第二相的中熵阻尼合金，具有多相界面阻尼和铁磁性阻尼的双阻尼特性，在室温下，阻尼性能 $Q^{-1}$ 为0.066~0.070；该合金具备良好的综合力学性能，压缩状态下合金的屈服强度不低于1000MPa，断裂强度不低于2900MPa，塑性应变大于29%。

[0051] 实验表明：

[0052] 图1为X射线衍射图谱： $x=2.0, 2.1, 2.3$ 时，合金由BCC和FCC双相结构组成，随着 $x$ 值的增加合金中BCC相的衍射峰强度降低，BCC相的衍射峰强度增加。

[0053] 图2(a)为本发明的合金 $AlCrFe_2Ni_x$  ( $x=2.0$ ) 电子背散射衍射分析图，合金由BCC基体和分布在基体上的FCC相组成，其对应的体积分数分别为91.5%和8.5%。

[0054] 图2(b)为本发明的合金 $AlCrFe_2Ni_x$  ( $x=2.1$ ) 电子背散射衍射分析图，合金由BCC基体和分布在基体上的FCC相组成，其对应的体积分数分别为89.2%和10.8%。

[0055] 图2(c)为本发明的合金 $AlCrFe_2Ni_x$  ( $x=2.3$ ) 电子背散射衍射分析图，合金由FCC基体和分布在基体上的BCC相组成，其对应的体积分数分别为83.8%和16.2%；

[0056] 图3为本发明的三个中熵合金 $AlCrFe_2Ni_x$  ( $x=2.0, 2.1, 2.3$ ) 阻尼性能图， $x=2.0, 2.1$ 时合金的阻尼性能 $Q^{-1}$ 为0.066~0.070， $x=2.3$ 时合金的阻尼性能 $Q^{-1}<0.066\sim 0.070$ ，其主要原因是在 $x=2.0, 2.1$ 时合金由BCC基体和FCC第二相组成，使其具有BCC相所引起的铁磁性阻尼，同时具有BCC相和FCC相两相之间的界面阻尼；

[0057] 图4为本发明的三个中熵合金 $AlCrFe_2Ni_x$  ( $x=2.0, 2.1, 2.3$ ) 室温压缩应力应变曲线。 $x=2.0, 2.1$ 时合金时，合金由BCC和FCC双相结构组成，压缩状态下合金的屈服强度不低于1000MPa，断裂强度不低于2900MPa，塑性应变大于29%。 $x=2.3$ 时合金由FCC基体组成，压缩状态下合金未发生断裂，其屈服强度 $<1000$ MPa。

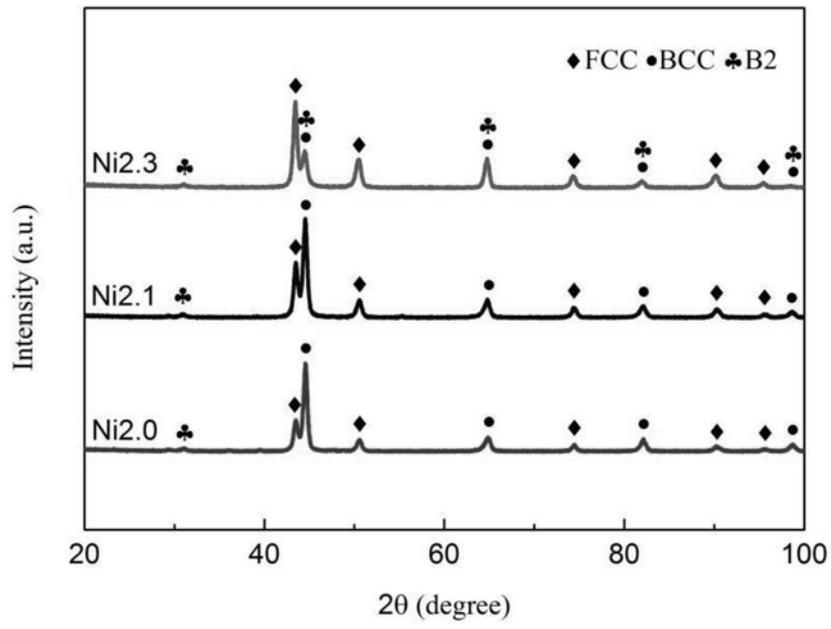
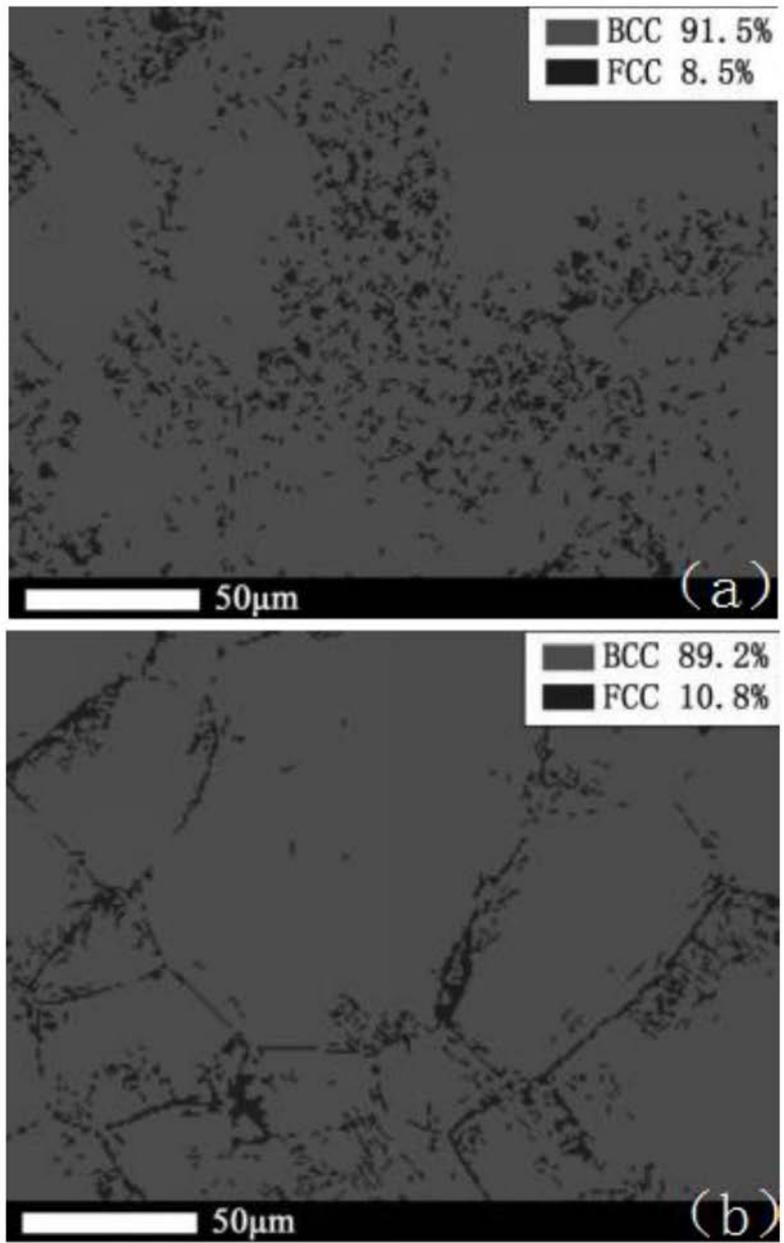


图1



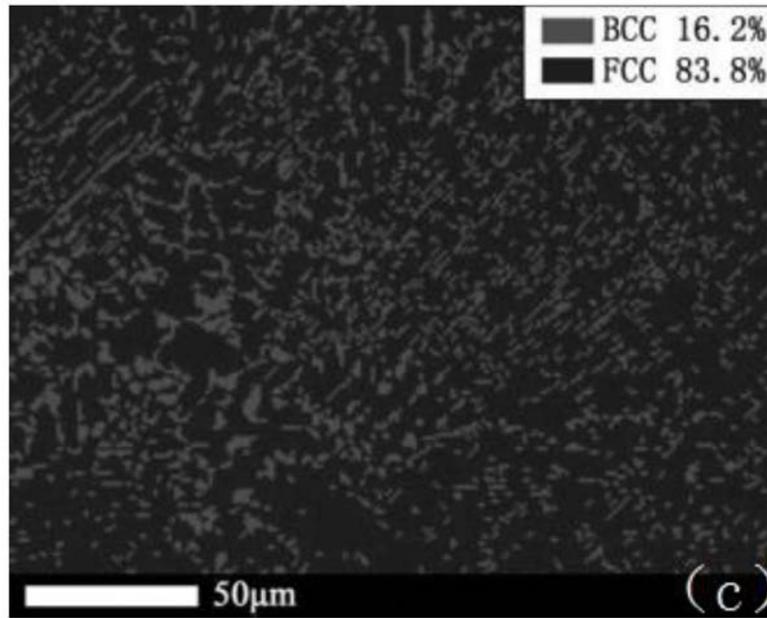


图2 (a) 图2 (b) 图2 (c)

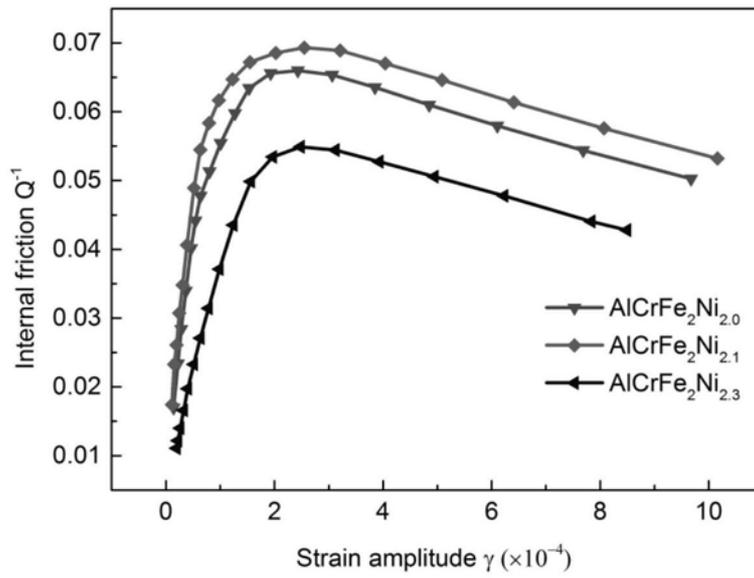


图3

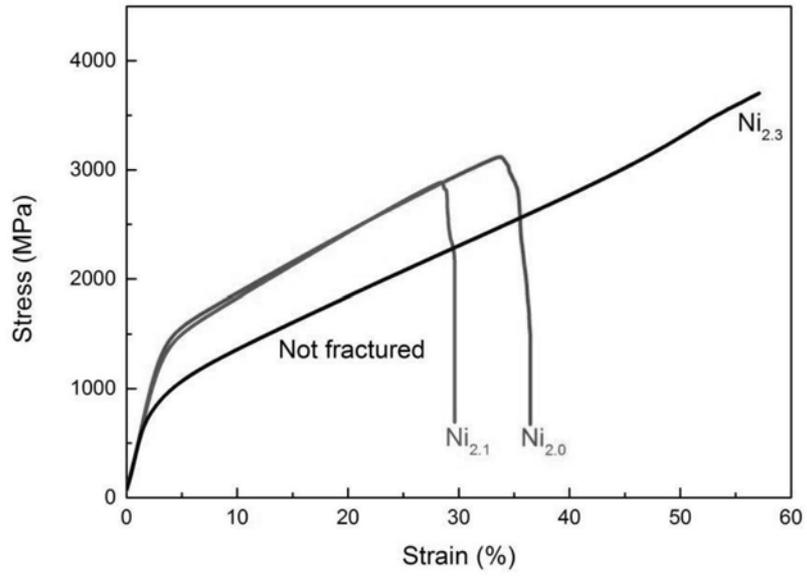


图4