



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117845119 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 09

(21) 申请号 202311299179.0

C22C 1/02 (2006.01)

(22) 申请日 2023.10.09

(30) 优先权数据

10-2022-0126332 2022.10.04 KR

(71) 申请人 LG电子株式会社

地址 韩国首尔市

申请人 高丽大学校产学协力团

(72) 发明人 金正旭 梁恩寿 边韬均 孙锡秀

金英睦 张泰金

(74) 专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司

72003

专利代理师 金景花

(51) Int. Cl.

C22C 30/02 (2006.01)

C22F 1/02 (2006.01)

权利要求书1页 说明书5页

(54) 发明名称

高熵合金及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及高熵合金及其制造方法,更具体而言,所述高熵合金包含多元系合金基底和Cu,包括具有FCC(Face Centered Cubic)系相的合金,从而在保持FCC系单相的同时可以具有比以往过渡金属合金更高的硬度和强度,并且本发明的高熵合金具有高润滑性。

1. 一种高熵合金, 其中,
包含多元系合金基底和Cu,
所述多元系合金基底包括Cr、Co、Ni以及Mo中的三种以上,
具有FCC系单相。
2. 根据权利要求1所述的高熵合金, 其中,
所述高熵合金由下述化学式1表示,
化学式1
$$\text{Cr}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Cu}_x$$

在所述化学式1中, $a+b+c+x=1$, 且满足 $0 < x \leq 0.2$ 的条件。
3. 根据权利要求2所述的高熵合金, 其中,
所述x满足 $0.02 \leq x \leq 0.2$ 的条件。
4. 根据权利要求1所述的高熵合金, 其中,
所述高熵合金由下述化学式2表示,
化学式2
$$\text{Mo}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Cu}_x$$

在所述化学式2中, $a+b+c+x=1$, 且满足 $0 < x \leq 0.2$ 的条件。
5. 根据权利要求4所述的高熵合金, 其中,
所述x满足 $0.1 \leq x \leq 0.2$ 的条件。
6. 一种高熵合金的制造方法, 其中, 包括:
制造混合有合金基底元素和Cu粉末的混合粉末的步骤;
加热并熔解所述混合粉末, 并铸造成规定形态的步骤;
通过轧制所述铸造的合金来制造合金材料的步骤; 以及
通过对所述合金材料进行热处理来制造高熵合金的步骤;
所述合金基底元素包括Cr、Co、Ni以及Mo中的三种以上,
所述高熵合金具有FCC系单相。
7. 根据权利要求6所述的高熵合金的制造方法, 其中,
所述热处理的步骤是在真空氛围、非活性气体氛围、氧气氛围或包含氮、硼以及碳中的至少一种的氛围中进行。
8. 根据权利要求6所述的高熵合金的制造方法, 其中,
所述热处理的步骤是在200℃至1300℃温度进行1小时至24小时。
9. 根据权利要求6所述的高熵合金的制造方法, 其中,
所述高熵合金由下述化学式1表示,
化学式1
$$\text{Cr}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Cu}_x$$

在所述化学式1中, $a+b+c+x=1$, 且满足 $0 < x \leq 0.2$ 的条件。
10. 根据权利要求9所述的高熵合金的制造方法, 其中,
所述x满足 $0.02 \leq x \leq 0.2$ 的条件。

高熵合金及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及高熵合金及其制造方法,更具体而言,涉及具有高强度、高硬度以及高润滑性的高熵合金及其制造方法。

背景技术

[0002] 高熵合金(high-entropy alloys, HEAs)是将五种以上的组成元素以相似的比率合金化以代替组成合金的主要元素(major element)而获得的多元素合金。高熵合金是合金内的混合熵高从而不形成金属间化合物或中间相,并且具有面心立方晶格(face-centered cubic, FCC)或体心立方晶格(body-centered cubic, BCC)等单相(single phase)组织的金属材料。

[0003] 就设计这种高熵合金而言,重要的两种因素是组成合金的元素的组成比率和合金系的组成熵。

[0004] 其中,第一是高熵合金的组成比率。高熵合金需要由至少五种以上的元素组成合金,各个合金组成元素的组成比率定义为5~35at%。另外,在制造高熵合金时,除了主要合金组成元素之外,若添加其他元素,则其添加量应为5at%以下。

[0005] 通常,合金根据合金元素的组成的组成熵(S_{conf}),分为高熵合金、中熵合金(medium-entropy alloys, MEAs)以及低熵合金(low-entropy alloys, LEAs)。

[0006] 就这种高熵合金和中熵合金而言,当前进行研究的合金系所包含的合金元素的价格非常高,并且主要使用重的合金元素,因此成为商用化的一大障碍。近来,正在进行通过组合轻量合金元素来制造轻量高熵合金的研究,由于轻量合金元素之间的固溶度低,因此在添加接近基于高熵合金定义的不同分率的合金元素时,形成金属间化合物,限制合金的塑性变形且恶化加工性,从而实际情况是没有实现商用化。

[0007] 为了高熵合金和中熵合金的产业化,必须通过调节合金元素来确保价格竞争力并且实现优异的机械特性。

[0008] 上述的高熵合金和中熵合金应用于从航天、航空、汽车、船舶、重型设备的涡轮、压缩机、齿轮箱等到超小型齿轮等超精密机械类部件。

[0009] 对于这些部件之间的摩擦和磨损的部分,非常重要的是具有高硬度和高润滑性的表面特性。因此,需要一种在满足适用于这种部件的现有使用材料的硬度、韧性等基本机械性质要求的同时,能够根据环境适当调整高性能的新材料开发技术。

[0010] 作为涂覆用母合金的主要应用领域,压缩机轴承表面特性也要求高刚性和高硬度的基本特性,同时还要求与前面提及的特性在概念上彼此冲突的低摩擦系数和高润滑性。

[0011] 为了全部满足这些特性,通常使用复合材料和复合结构化,在金属材料方面,以高硬度-高耐蚀性的非晶质为基底,开发包含结晶强化相。但是,存在如下较大缺点:非晶质形成所需的制造工序条件不适合一般的大规模生产,而且很难加工成复杂部件的形状。

发明内容

[0012] 发明所要解决的问题

[0013] 本发明的目的在于,提供一种具有高强度、高硬度以及高润滑性的新型高熵合金。

[0014] 另外,本发明的目的在于,提供一种通过在高熵合金中添加Cu来实现低摩擦系数和高润滑性的新型高熵合金。

[0015] 另外,本发明的目的在于,提供一种高熵合金的制造方法。

[0016] 本发明的目的不限于以上提及的目的,未提及的本发明的其他目的和优点可以通过以下说明来理解,并且可以通过本发明的实施例来更清楚地理解。另外,显而易见的是,本发明的目的和优点可以通过权利要求书中表示的手段及其组合来实现。

[0017] 解决问题的技术方案

[0018] 用于解决上述技术问题的本发明的高熵合金的构成特征在于,通过在多元系合金基底中添加Cu来保持FCC (Face Centered Cubic) 系单相,并且实现高硬度、高强度以及高润滑性。

[0019] 更具体而言,本发明的高熵合金包含多元系合金基底和Cu,所述多元系合金基底包括Cr、Co、Ni以及Mo中的三种以上,包含具有FCC (Face Centered Cubic) 系单相的合金。

[0020] 优选地,本发明一实施例的高熵合金可以由下述化学式1表示。

[0021] [化学式1]

[0022] $\text{Cr}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Cu}_x$

[0023] (在所述化学式1中, $a+b+c+x=1$,且满足 $0< x \leq 0.2$ 的条件)

[0024] 并且,优选地,所述x可以满足 $0.02 \leq x \leq 0.2$ 的条件。

[0025] 此外,本发明一实施例的高熵合金可以由下述化学式2表示。

[0026] [化学式2]

[0027] $\text{Mo}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Cu}_x$

[0028] (在所述化学式2中, $a+b+c+x=1$,且满足 $0< x \leq 0.2$ 的条件)

[0029] 并且,优选地,所述x可以满足 $0.1 \leq x \leq 0.2$ 的条件。

[0030] 接着,本发明另一实施例的高熵合金的制造方法包括:制造混合有合金基底元素和Cu粉末的混合粉末的步骤;加热并溶解所述混合粉末,并铸造成规定形态的步骤;通过轧制所述铸造的合金来制造合金材料的步骤;以及通过对所述合金材料进行热处理来制造合金的步骤;所述合金基底元素包括Cr、Co、Ni以及Mo中的三种以上,所述合金具有FCC (Face Centered Cubic) 系单相。

[0031] 发明效果

[0032] 本发明可以提供一种在常温和高温下机械特性得到改善的新型高熵合金。

[0033] 本发明的高熵合金在保持FCC系单相的同时具有比以往过渡金属合金更高的强度。

[0034] 此外,本发明的高熵合金具有高强度、高硬度以及高润滑性。

[0035] 另外,本发明的高熵合金实现低摩擦系数和高润滑性。

[0036] 另外,本发明的高熵合金制造方法通过基于热处理的均质化工序来改变高熵合金的微细组织,从而能够使高强度、高硬度以及高润滑性最大化。

[0037] 与上述效果一起,本发明的具体效果将在说明以下具体实施方式的同时一起说

明。

具体实施方式

[0038] 以下,参照附图对上述目的、特征以及优点进行详细说明,据此,本发明所属技术领域的普通技术人员能够容易地实施本发明的技术思想。在说明本发明时,如果判断对于本发明相关的公知技术的具体说明可能不必要地混淆本发明的主旨,则将省略对其详细说明。以下,说明本发明的优选实施例。

[0039] 在整个说明书中,除非另有特别相反的记载,否则各个构成要素可以是单数,也可以是复数。

[0040] 在本发明中使用的单数的表述除非在上下文中明确表示相反意思,否则包括复数的表述。在本申请中,“组成”或“包括”等术语不应解释为必须包括说明书中记载的复数个构成要素或复数个步骤,而应当解释为可以不包括其中一部分构成要素或一部分步骤,或者可以还包括额外的构成要素或步骤。

[0041] 以下,对本发明的高熵合金及其制造方法进行说明。

[0042] 高熵合金

[0043] 为了在弥补FCC系高熵合金的低强度特性的同时赋予高润滑性,本发明提供一种在以往的合金中掺杂Cu并通过调节掺杂量来具有高硬度、高强度以及高润滑性的新型合金。

[0044] 本发明的高熵合金包含多元系合金基底和Cu,所述多元系合金基底包括Cr、Co、Ni以及Mo中的三种以上,包含具有FCC(Face Centered Cubic:面心立方)系单相的合金。

[0045] 和现有技术一样,本发明的高熵合金包含多元系合金基底,所述合金基底包括Cr、Co、Ni以及Mo中的三种以上。并且,本发明的合金包含所述合金基底以及Cu。由此,本发明的合金的晶格扭曲(Lattice Distortion)严重,能够保持FCC系单相,并且硬度和强度增加。不仅如此,本发明的合金具有低摩擦特性和高润滑性。

[0046] 尤其,所述Cu作为代表性的金属润滑相,通过软质相在高温下也能起到润滑作用。在合金内,所述Cu通过析出表现特性。Cu元素在大部分合金内固溶度低,从而析出成与基底不同组成的富Cu(Cu-rich)相。但是,所述Cu元素可能降低合金的硬度和强度,因此通常不适用于高熵合金。

[0047] 然而,本发明的高熵合金在Cr、Co、Ni以及Mo中的三种以上的多元系合金基底中应用了Cu,从而不仅具有优异的硬度和强度,而且具有润滑性也优异的特性。

[0048] 更具体而言,本发明一实施例的高熵合金由下述化学式1表示,可以包含具有FCC(Face Centered Cubic)系单相的合金。

[0049] [化学式1]

[0050] $\text{Cr}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Cu}_x$

[0051] (在所述化学式1中, $a+b+c+x=1$,且满足 $0< x \leq 0.2$ 的条件)

[0052] 并且,优选地,所述x可以满足 $0.02 \leq x \leq 0.2$ 的条件。

[0053] 此外,本发明一实施例的高熵合金可以由下述化学式2表示,可以包含具有FCC(Face Centered Cubic)系单相的合金。

[0054] [化学式2]

[0055] $\text{Mo}_a\text{Co}_b\text{Ni}_c\text{Cu}_x$

[0056] (在所述化学式2中, $a+b+c+x=1$, 且满足 $0 < x \leq 0.2$ 的条件)

[0057] 并且, 优选地, 所述 x 可以满足 $0.1 \leq x \leq 0.2$ 的条件。

[0058] 高熵合金的制造方法

[0059] 接下来, 本发明的高熵合金的制造方法包括: 制造混合有合金基底元素和Cu粉末的混合粉末的步骤; 加热并熔解所述混合粉末, 并铸造成规定形态的步骤; 通过轧制所述铸造的合金来制造合金材料的步骤; 以及通过对所述合金材料进行热处理来制造合金的步骤; 所述合金基底元素包括Cr、Co、Ni以及Mo中的三种以上, 所述合金具有FCC (Face Centered Cubic) 系单相。

[0060] 首先, 本发明的高熵合金的制造方法包括制造混合有合金基底元素和Cu粉末的混合粉末的步骤。

[0061] 所述多元系合金基底包括Cr、Co、Ni以及Mo中的三种以上。所述合金的优选的原子%比如上所述。

[0062] 接着, 本发明的高熵合金的制造方法包括加热并熔解所述混合粉末, 并铸造成规定形态的步骤。铸造方式没有特别的限制, 可以在坩埚中装入原料的方式进行铸造。

[0063] 另外, 在所述铸造步骤之前, 本发明的制造方法还可以包括研磨 (Milling) 所述混合粉末来形成机械合金化的机械合金化粉末的步骤。

[0064] 接着, 本发明的高熵合金的制造方法包括通过轧制所述铸造的合金来制造合金材料的步骤。优选地, 所述轧制可以包括热轧和冷轧。优选地, 可以轧制铸造的合金, 以使压下率成为60~80%。

[0065] 接着, 本发明的高熵合金的制造方法包括通过对所述合金材料进行热处理来制造合金的步骤。在此, 可以通过所述热处理来使所述合金均质化。

[0066] 所述热处理的步骤可以在真空氛围、非活性气体氛围、氧气氛围或包含氮、硼以及碳中的至少一种的氛围中进行。

[0067] 另外, 所述热处理的步骤是在200℃至1300℃温度进行1小时至24小时, 更优选地, 可以在900℃至1000℃温度进行6小时以上。

[0068] 通过以上提及的本发明的制造方法制造出的高熵合金可以包含上述的合金。

[0069] 以下, 通过本发明的优选实施例, 更具体说明本发明。

[0070] <实施例>

[0071] 1. 实施例和比较例的制造

[0072] 按如下表的比例混合合金基底元素和Cu粉末来制造混合粉末。以具有99.5%以上的纯度的10mm以下的颗粒形式准备了各个纯元素。

[0073] 将其装入坩埚, 加热至1550℃并熔解之后, 熔解的合金在氧化锆坩埚中被制成锭。在凝固的过程中, 压力保持为2.5bar的水平。在900至1100℃的温度下, 以60%的压下率对所述锭进行了热轧。然后, 进行了空冷 (Air Quenching)。然后, 对冷轧的板材进行了热处理。所述热处理过程均在非活性气体Ar氛围下以1100℃进行了6小时。

[0074] [表1]

[0075]	Cr (at %)	Mo (at %)	Fe (at %)	Co (at %)	Ni (at %)	Cu (at %)
比较例1	33.33	0	0	33.33	33.33	0

实施例1	10	0	0	34	54	2
实施例2	10	0	0	32.5	52.5	5
实施例3	10	0	0	30	50	10
实施例4	10	0	0	10	60	20
实施例5	0	5	0	42.5	42.5	10
实施例6	0	5	0	37.5	37.5	10

[0076] 2. 试验评价

[0077] 以下表中记载了关于制造出的合金的HV硬度、抗拉强度的试验结果。

[0078] [表2]

[0079]

	HV硬度	YS (MPa)	UTS (MPa)	EL (%)	摩擦系数
比较例1	153.0±3.0	275.0	630.0	83.8	0.671
实施例1	122.0±5.0	174.0	509.0	51.0	0.381
实施例2	136.0±5.0	196.0	522.0	52.3	0.379
实施例3	141.3±5.5	217.0	521.0	46.4	0.372
实施例4	149.8±5.2	242.0	562.0	25.8	0.383
实施例5	160.0±5.2	249.0	702.0	41.8	0.422
实施例6	211.0±5.2	563.0	707.0	25.1	0.402

[0080] 参照表2,可以确认包含Cu的实施例1至4与未包含Cu的合金(比较例)相比,硬度和强度稍微下降,但是摩擦系数明显减小。但是,可以确认包含Mo的实施例5和6与比较例相比,硬度和强度更优异,并且摩擦系数也较小。

[0081] 如上所述,本发明的高熵合金与以往的合金一样不仅硬度和强度优异,而且具有以往的合金无法实现的高润滑性。

[0082] 如上所示,基于本发明的优选实施例进行了说明,但是本发明不受限于本说明书中公开的实施例,可以在本发明的技术思想的范围内由本领域的普通技术人员进行各种变形,这是显而易见的。此外,即使在以上说明本发明的实施例时没有明确地记载本发明的构成的作用效果,也应当认可通过所述构成来可预测的效果。