(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 121780971 A
(43)申请公布日 2026.04.03

(21)申请号 202610040794.7

(22)申请日 2026.01.13

(71)申请人 西安工业大学
地址 710021 陕西省西安市未央区学府中路2号

(72)发明人 何佳华 陈建 张亦涛 卢帅丹 邵文婷 周颖惠 杨巍 刘赟姿

(74)专利代理机构 陕西铭一知识产权代理有限公司 61287
专利代理师 魏亮芳

(51)Int.Cl.
C22C 30/00(2006.01)
C22C 1/02(2006.01)
C22C 1/04(2023.01)
C22C 27/04(2006.01)
F42B 12/06(2006.01)

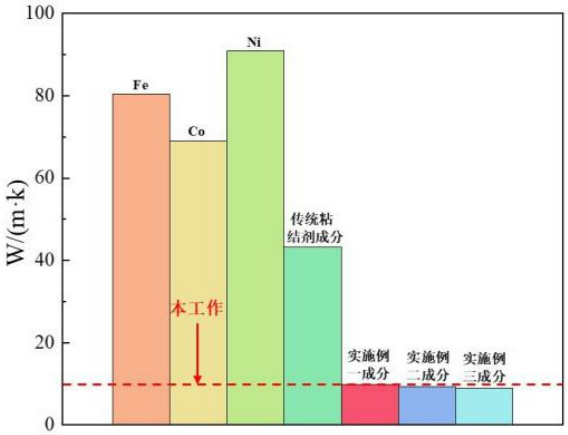
权利要求书1页 说明书7页 附图10页

(54)发明名称

一种高韧性低热导率高锰高熵合金粘结剂及其制备方法和应用

(57)摘要

本发明涉及穿甲弹用高熵合金材料技术领域,具体来说是一种高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂及其制备方法和应用。以原子比计算,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的成分为:Mn_{35-y}-Ti_x-(Fe-Co-Ni)$_{65-x+y}$,其中,x为0at.%~8at.%,y为0at.%~5at.%,且x、y不能同时为0。本发明通过优化合金元素组成,解决传统粘结剂中因Fe、Ni元素的热导率高,使钨-高熵合金复合材料热塑化头部钝化,导致侵彻性能不足问题。具有≤10W/(m·k)的低热导率、延伸率≥10%的高韧性,旨在提升钨-高熵合金复合材料的绝热剪切敏感性,增强钨-高熵合金复合材料的侵彻性能。



CN 121780971 A

1.一种高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂,其特征在于,以原子比计算,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的成分为:Mn_{35-y}-Ti_x-$(Fe\text{-}Co\text{-}Ni)_{65-x+y}$,其中,x为0at.%~8at.%,y为0at.%~5at.%,且x、y不能同时为0。

2.根据权利要求1所述的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂,其特征在于,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的延伸率≥10%。

3.根据权利要求1所述的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂,其特征在于,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的室温热导率≤10W/(m·k)。

4.一种权利要求1~3任一项所述高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的制备方法,其特征在于,包括如下步骤:

根据原子比Mn_{35-y}-Ti_x-$(Fe\text{-}Co\text{-}Ni)_{65-x+y}$,其中,x为0at.%~8at.%,y为0at.%~5at.%,计算所需各元素的质量,然后称取铁、钴、镍、锰、钛,使用非自耗真空电弧熔炼炉进行熔炼,制备高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂。

5.根据权利要求4所述的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的制备方法,其特征在于,熔炼条件为:于搅拌电流10A~20A、熔炼电流350A~500A条件下熔炼5min后冷却,反复熔炼至少8次。

6.根据权利要求4所述的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的制备方法,其特征在于,称取铁、钴、镍、锰、钛的量为其计算值的1.02倍~1.04倍。

7.一种权利要求1所述的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂在制备高韧性低热导率穿甲弹弹芯中的应用。

8.根据权利要求7所述的应用,其特征在于,应用方法为:将钨与高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂混合,于氢气或真空气氛下进行烧结,得到高韧性低热导率穿甲弹弹芯;

其中,钨与高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的质量比为88~97:3~12。

9.根据权利要求8所述的应用,其特征在于,烧结的条件为:于1400℃~1500℃下烧结0.5h。

一种高韧性低热导率高锰高熵合金粘结剂及其制备方法和应用

技术领域

[0001] 本发明属于穿甲弹用高熵合金材料技术领域,主要涉及一种高韧性低热导率高锰高熵合金粘结剂及其制备方法和应用,具体为高韧性低热导率穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂。

背景技术

[0002] 坦克被称为陆战之王。二战以来,发生在全球各地的局部战争冲突表明,以坦克作为主导的装甲部队,逐渐成为决定战争胜利的重要力量。而穿甲弹作为反坦克和反装甲的重要武器之一,在防护装甲的斗争中快速发展,其中,杆式穿甲弹已成为目前世界公认的对坦克杀伤力最大的弹种之一。弹芯是杆式穿甲弹的主体部分,可实现15~30的长径比,侵彻速度通常为1000m/s~1700m/s。由于穿甲弹特殊的服役环境,弹芯材料要求高密度、高硬度、高强度和有较好的韧性,目前穿甲弹弹芯材料主要有贫铀合金和钨合金两种,贫铀合金和钨合金准静态下的力学性能很接近,但是贫铀合金对装甲的侵彻威力更强。其他条件相同时,贫铀合金的侵彻深度超过钨合金约10%~15%,这主要归因于贫铀合金较低的比热容、热导率及熔点,使其在侵彻过程中更易发生热软化和变形局部化,表现出较高的绝热剪切敏感性。在高速侵彻过程中,弹芯头部持续发生破坏与剥落,即出现“自锐化”现象,使弹头保持较尖的形状,降低了侵彻阻力并缩小开孔直径,从而显著提升穿透能力。相比之下,钨合金对绝热剪切不敏感,在高速侵彻初期即发生热塑性软化,使弹芯头部呈现“蘑菇头”形状,随后才形成绝热剪切带,导致弹芯侵彻阻力增大,显著削弱了其侵彻性能。

[0003] 作为近年来兴起的一种新的合金设计理念,高熵合金是由5种或者5种以上合金元素以等摩尔比或近等摩尔比混合形成的固溶体合金,它具有高混合熵、严重晶格畸变、短程有序和迟滞扩散等特征,使其在高低温性能、突破强-塑兼容魔咒、侵彻自锐性能和抗辐照性能等方面有着巨大的优势,因而在航空发动机、破冰船螺旋桨、火炮身管、穿甲弹弹芯及核能等方面有着广阔的应用前景。

[0004] 首先,高熵合金的高混合熵效应会使合金具有良好的高温稳定性;其次,高熵合金多主元的合金设计理念摆脱了主要元素固有性质的约束、实现了原子级别的“自由”设计和组合,有利于突破强塑魔咒,实现强塑匹配;此外,高熵合金具有的严重晶格畸变效应,会增加声子和电子的散射,从而降低热导率。在高速侵彻过程中,易产生绝热剪切带,实现头部自锐;高熵合金中的短程有序/簇能对位错的动态运动产生强短程障碍作用,使合金表现出高的应变率敏感性和正应变率效应,从而使其具有优异的抗冲击性能。

[0005] 钨-高熵合金复合材料是以钨为基体的复合高熵合金相,将钨与穿甲弹用粘结剂混合后进行烧结,制得钨-高熵合金复合材料;钨-高熵合金复合材料结合了钨的高密度、高硬度与高熵合金的高熵效应、迟滞扩散效应、鸡尾酒效应,使复合后的材料在具有低热导率的同时也具有良好的性能。根据绝热剪切耗能公式:

[0006] $\Gamma=\frac{\rho Cp}{a}(\frac{9\rho 3c2\chi 3}{\sigma y3\alpha 2\varepsilon})^{1/4},\chi=\frac{\lambda}{\rho Cp}$

其中,ρ为材料密度,c为比热容,a为热软化系数,χ为热扩散系数,λ为热导率;当λ减小时,Γ减小,有利于材料的绝热剪切,增强其侵彻性能。传统的穿甲弹用粘结剂是以Fe、Ni为主的,在室温下铁的热导率为80.4W/(m·k),镍的热导率为90.9W/(m·k),高热导率会影响整体材料的绝热剪切敏感性,继而使用Fe、Ni基粘结剂制成的穿甲弹会在侵彻过程中导致弹芯头部呈现“蘑菇头”形状,导致弹芯侵彻阻力增大,影响穿甲弹的侵彻性能。

发明内容

[0007] 针对传统粘结剂的成分是以Fe、Ni为主,热导率较高,导致现有钨-高熵合金复合材料热导率高、头部钝化的问题,本发明提供了一种高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂及其制备方法和应用,通过优化高熵合金粘结剂的合金元素组成,解决传统粘结剂在严苛服役环境下的性能短板,具有低热导率、高韧性的特性,旨在提升钨-高熵合金复合材料的绝热剪切敏感性,增强钨-高熵合金复合材料的侵彻性能。

[0008] 为了实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

本发明保护了一种高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂,由表1可得,本发明考虑到Mn、Ti元素在拥有低热导率的同时利于绝热剪切,故在常规粘结剂Fe-Co-Ni中加入Mn、Ti元素;以原子比计算,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的成分为:Mn_{35-y}-Ti_x-$(Fe\text{-}Co\text{-}Ni)_{65-x+y}$,其中,x为0at.%~8at.%,y为0at.%~5at.%,且x、y不能同时为0。

[0009] 本发明主要通过添加与调节高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂中的元素和比例,结合成品的性能,设计出同时兼具高韧性、低热导率的高锰高熵合金粘结剂。本发明在保证高锰高熵合金粘结剂韧性的同时,降低热导率,使高锰高熵合金粘结剂的延伸率大于10%,室温热导率小于10W/(m·k),由表2可知,传统穿甲弹用粘结剂Fe_{31}-Co_6-Ni_{63}的热导率为43.258W/(m·k),本发明高锰高熵合金粘结剂的热导率远低于传统穿甲弹用粘结剂。

[0010] 优选的,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的延伸率≥10%。

[0011] 本发明还保护了高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的制备方法,包括如下步骤:

根据原子比Mn_{35-y}-Ti_x-$(Fe\text{-}Co\text{-}Ni)_{65-x+y}$,其中,x为0at.%~8at.%,y为0at.%~5at.%,计算所需各元素的质量,然后称取铁、钴、镍、锰、钛,使用非自耗真空电弧熔炼炉进行熔炼,制备高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂。

[0012] 优选的,熔炼条件为:于搅拌电流10A~20A、熔炼电流350A~500A条件下熔炼5min后冷却,反复熔炼至少8次。

[0013] 优选的,称取铁、钴、镍、锰、钛的量为其计算值的1.02倍~1.04倍。

[0014] 本发明还保护了高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂在制备高韧性低热导率穿甲弹弹芯中的应用。

[0015] 优选的,应用方法为:将钨与高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂混合,于氢气或真空气氛下进行烧结,得到高韧性低热导率穿甲弹弹芯。

[0016] 其中,钨与高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的质量比为88~97:3~12;烧结的条件为:于1400℃~1500℃下烧结0.5h。

[0017] 与现有技术比较,本发明由于采用了上述技术方案,具有以下优势:

1、本发明旨在解决现有技术因粘结剂中Fe、Ni元素的热导率高,使钨-高熵合金复合材料热塑化头部钝化,导致侵彻性能不足的问题;针对现有穿甲弹用高熵合金粘结剂的不足,本发明提供了一种穿甲弹用高熵合金粘结剂,通过优化高熵合金粘结剂的合金元素组成和比例,解决传统粘结剂在严苛服役环境下的性能短板。本发明设计的高熵合金粘结剂由Mn、Ti、Fe、Co、Ni五种元素按特定原子比组成,通过真空电弧熔炼工艺制备,形成单相FCC结构,具备优异的性能(延伸率≥10%、热导率≤10W/(m·k))。本发明的高锰高熵合金粘结剂具有低热导率,有利于降低钨-高熵合金复合材料的绝热剪切耗能,使得在穿甲过程中具有高的绝热剪切敏感性,提高穿甲弹的侵彻威力,继而提高穿甲弹的侵彻性能。

[0018] 2、高韧性:通过成分设计,使得高锰高熵合金粘结剂保持了传统粘结剂原有的高韧性特征。

[0019] 3、低热导率:通过成分设计,使得高锰高熵合金粘结剂的热导率相比传统粘结剂显著降低。低的热导率有利于降低钨-高熵合金复合材料的绝热剪切耗能,使得在穿甲过程中具有高的绝热剪切敏感性,从而提高穿甲弹的侵彻威力。

[0020] 4、工艺简单:本发明采用真空电弧熔炼工艺,制备方法简单,便于产业化推广。

附图说明

[0021] 图1为本发明实施例1的Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}成分相图。

[0022] 图2为本发明实施例1的Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}拉伸曲线图。

[0023] 图3为本发明实施例1的Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}拉伸断口分析图。

[0024] 图4为本发明实施例1的Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}的EBSD图。

[0025] 图5为本发明实施例2的Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}成分图。

[0026] 图6为本发明实施例2的Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}拉伸曲线图。

[0027] 图7为本发明实施例2的Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}拉伸断口分析图。

[0028] 图8为本发明实施例2的Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}的EBSD图。

[0029] 图9为本发明实施例3的Mn_{35}-Ti_8-Fe_{10}-Co_{20}-Ni_{27}成分相图。

[0030] 图10为本发明对比例2的Mn_{40}-Ti_5-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25}成分相图。

[0031] 图11为本发明对比例2的Mn_{40}-Ti_5-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25}拉伸曲线图。

[0032] 图12为本发明对比例3的Mn_{35}-Ti_{10}-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25}成分相图。

[0033] 图13为Fe、Co、Ni、对比例1的Fe_{31}-Co_6-Ni_{63}、实施例1的Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}、实施例2的Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}和实施例3的Mn_{35}-Ti_8-Fe_{10}-Co_{20}-Ni_{27}的热导率对比图。

具体实施方式

[0034] 下面通过实施例对本发明进行具体的描述,有必要在此指出的是以下实施例只用于对本发明进行进一步的说明,不能理解为对本发明保护范围的限制,本领域的技术人员可以根据上述内容对本发明做出一些非本质的改进和调整。

[0035] 本发明提供了高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂,以原子比计算,

其成分为:Mn_{35-y}-Ti_x-$(Fe\text{-}Co\text{-}Ni)_{65-x+y}$,其中x为0at.%~8at.%,y为0at.%~5at.%。

[0036] 考虑到传统粘结剂的主要成分为Fe、Ni,热导率较高,本发明提供了一种高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂,与传统粘结剂相比,有效降低了热导率;另外,常规认知是:在传统粘结剂中掺入其他金属后,会导致韧性下降,然而于本发明中,研究结果表明,在传统粘结剂中掺入一定量的Mn、Ti后,还保持了传统粘结剂原有的韧性,即在保证力学性能的同时有效降低了热导率。

[0037] 高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂按照以下步骤制备:

根据原子比Mn_{35-y}-Ti_x-$(Fe\text{-}Co\text{-}Ni)_{65-x+y}$,其中,x为0at.%~8at.%,y为0at.%~5at.%,计算所需各元素的质量,计算过程中须考虑料损,使用非自耗真空电弧熔炼炉进行熔炼,制备成高锰高熵合金粘结剂试样,即高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂。

[0038] 使用扫描电镜搭配EBSD探头拍摄高锰高熵合金粘结剂试样的EBSD。

[0039] 使用线切割机,将高锰高熵合金粘结剂试样切成40mm×9mm×1.5mm的拉伸试样,使用金相砂纸将拉伸试样表面及两侧打磨光滑,无毛刺、划痕、裂纹等缺陷,然后使用万能试验机对高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂进行拉伸测试。

[0040] 使用扫描电镜拍摄高锰高熵合金粘结剂拉伸试样断口。

[0041] 使用热导率仪测试高锰高熵合金粘结剂试样的室温下的热导率。

[0042] 下面采用实施例和对比例对本发明技术方案进行研究,具体研究方法和结果如下所示:

实施例1

一种高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的制备方法,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的成分为Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37},包括以下步骤:

以原子比计算,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂是由铁、钴、镍、锰、钛制备所得,得到Mn_{35-y}-Ti_x-$(Fe\text{-}Co\text{-}Ni)_{65-x+y}$,其中,x为0at.%,y为2at.%。

[0043] 根据原子比Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}计算所需各元素的质量,称取40.13g的铁、40.81g的钴、101.723g的镍、88.727g的锰,使用非自耗真空电弧熔炼炉进行熔炼,熔炼条件为:于搅拌电流15A、熔炼电流400A下熔炼5min后冷却,制备成70mm×45mm×10mm、重量为260g的长方体高锰高熵合金粘结剂试样。

[0044] 将成分为Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂采用JMatPro计算得到成分相图,如图1所示,可以看出,相图中只存在液相与FCC相,不存在金属间化合物等其他杂相,杂相比较脆,在与钨形成复合材料后,影响复合材料的塑性。

[0045] 使用扫描电镜搭配EBSD探头拍摄成分为Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂试样的EBSD,如图4所示,可以看出,Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}的晶粒较小,其平均晶粒尺寸为355.98μm。

[0046] 使用线切割机,将成分为Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂切成40mm×9mm×1.5mm的拉伸试样,使用金相砂纸将拉伸试样表面及两侧打磨光滑,无毛刺、划痕、裂纹等缺陷,使用万能试验机对其进行拉伸测试,得到如图2所示的拉伸曲线,可以看出,抗拉强度在480MPa左右,延伸率在52%左右。

[0047] 使用扫描电镜拍摄成分为Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用

高锰高熵合金粘结剂的拉伸试样断口,如图3所示,断口处有许多的韧窝,说明该材料在断裂前发生了较大的塑性变形,属于韧性断裂,结合拉伸曲线说明该材料的延伸率较好。

[0048] 使用热导率仪测试成分为Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂试样的室温热导率,如表2所示,可以看出,Mn_{33}-Ti_0-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}的室温热导率为9.90W/(m·k)。

[0049] 实施例2

一种高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的制备方法,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的成分为Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32},包括以下步骤:

以原子比计算,所述高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂是由铁、钴、镍、锰、钛制备所得,得到Mn_{35-y}-Ti_x-$(Fe\text{-}Co\text{-}Ni)_{65-x+y}$,其中,x为5at.%,y为2at.%。

[0050] 根据原子比Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}计算所需各元素的质量,称取53.585g的铁、26.717g的钴、85.104g的镍、88.567g的锰、13.027g的钛,使用非自耗真空电弧熔炼炉进行熔炼,熔炼条件为:于搅拌电流15A、熔炼电流400A下熔炼5min后冷却,制备成70mm×45mm×10mm、重量为260g的长方体高锰高熵合金粘结剂试样。

[0051] 将成分为Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂通过JMatPro计算得到成分相图,如图5所示,可以看出,相图中只存在液相与FCC相,不存在金属间化合物等其他杂相。

[0052] 使用扫描电镜搭配EBSD探头拍摄成分为Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂试样的EBSD,如图8所示,可以看出,Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}的晶粒较小,其平均晶粒尺寸为308.74μm。

[0053] 使用线切割机,将成分为Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂切成40mm×9mm×1.5mm的拉伸试样,使用金相砂纸将拉伸试样表面及两侧打磨光滑,无毛刺、划痕、裂纹等缺陷,使用万能试验机对其进行拉伸测试,得到如图6所示的拉伸曲线,可以看出,抗拉强度在580MPa左右,延伸率在14%左右。

[0054] 使用扫描电镜拍摄成分为Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的拉伸试样断口,如图7所示,断口处存在解离面,说明该材料在拉伸时发生了脆性断裂;同时,在断口处也能够看出有撕裂楞,说明该材料在拉伸时发生了剪切变形。

[0055] 使用热导率仪测试成分为Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂试样的室温热导率,如表2所示,可以看出,Mn_{33}-Ti_5-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}的室温热导率为9.250W/(m·k)。

[0056] 实施例3

一种高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的制备方法,高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂的成分为Mn_{35}-Ti_8-Fe_{10}-Co_{20}-Ni_{27},包括以下步骤:

以原子比计算,所述高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂是由铁、钴、镍、锰、钛制备所得,得到Mn_{35-y}-Ti_x-$(Fe\text{-}Co\text{-}Ni)_{65-x+y}$,其中,x为8at.%,y为0at.%。

[0057] 根据原子比Mn_{35}-Ti_8-Fe_{10}-Co_{20}-Ni_{27}计算所需各元素的质量,称取26.185g的铁、53.567g的钴、72.306g的镍、93.732g的锰、21.424g的钛,使用非自耗真空电弧熔炼炉进行熔炼,熔炼条件为:于搅拌电流15A、熔炼电流400A下熔炼5min后冷却,制备成70mm×45mm×

10mm、重量为260g的长方体高锰高熵合金粘结剂试样。

[0058] 将成分为Mn_{35}-Ti_8-Fe_{10}-Co_{20}-Ni_{27}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂通过JMatPro计算得到成分相图,如图9所示,可以看出,相图中只存在液相与FCC相,不存在金属间化合物等其他杂相。

[0059] 使用热导率仪测试成分为Mn_{35}-Ti_8-Fe_{10}-Co_{20}-Ni_{27}的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂试样的室温热导率,如表2所示,可以看出,Mn_{35}-Ti_8-Fe_{10}-Co_{20}-Ni_{27}的室温热导率为8.957W/(m·k)。

[0060] 对比例1

常规粘结剂的制备方法,常规粘结剂的成分为Fe_{31}-Co_6-Ni_{63},包括以下步骤:

根据原子比Fe_{31}-Co_6-Ni_{63}计算所需各元素的质量,称取80.524g的铁、15.683g的钴、163.793g的镍,使用型号为MZ-1250非自耗真空电弧熔炼炉进行熔炼,熔炼条件为:于搅拌电流15A、熔炼电流400A下熔炼5min后冷却,制备成70mm×45mm×10mm、重量为260g的长方体高锰高熵合金粘结剂试样。

[0061] 使用热导率仪测试成分为Fe_{31}-Co_6-Ni_{63}的常规粘结剂试样的室温热导率,如表2所示,可以看出,Fe_{31}-Co_6-Ni_{63}的室温热导率为43.258W/(m·k),远远高于实施例1、实施例2、实施例3的高韧性低热导穿甲弹弹芯用高锰高熵合金粘结剂。

[0062] 对比例2

高熵合金粘结剂的制备方法,高熵合金粘结剂的成分为Mn_{40}-Ti_5-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25},作为对比例,使锰元素超过30%~35%的范围,以40%的原子比加入锰元素,最终整体成分为Mn_{40}-Ti_5-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25},包括以下步骤:

根据原子比Mn_{40}-Ti_5-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25}计算所需各元素的质量,称取107.125g的锰、13.394g的钛、40.176g的铁、41.268g的钴、66.958g的镍,使用型号MZ-1250非自耗真空电弧熔炼炉进行熔炼,熔炼条件为:于搅拌电流15A、熔炼电流400A下熔炼5min后冷却,制备成70mm×45mm×10mm、重量为260g的长方体高熵合金粘结剂试样。

[0063] 将成分Mn_{40}-Ti_5-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25}的高熵合金粘结剂通过JMatPro计算得到成分相图,如图10所示,可以看出,锰元素在超出30%~35%的范围时,出现了许多金属间化合物。

[0064] 使用线切割机,将成分Mn_{40}-Ti_5-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25}的高熵合金粘结剂切成40mm×9mm×1.5mm的拉伸试样,使用金相砂纸将拉伸试样表面及两侧打磨光滑,无毛刺、划痕、裂纹等缺陷,使用万能试验机对其进行拉伸测试,得到如图11所示的拉伸曲线,可以看出,延伸率在2.5%左右,只有实施例1的5%。

[0065] 高熵合金粘结剂的成分中,使锰元素超过30%~35%的范围,以低于30%的原子比加入锰元素,最终会导致室温热导率大于10W/(m·k)。

[0066] 对比例3

高熵合金粘结剂的制备方法,高熵合金粘结剂的成分为Mn_{35}-Ti_{10}-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25},作为对比例,使钛元素超过0%~8%的范围,以10%的原子比加入钛元素,最终整体成分为Mn_{35}-Ti_{10}-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25},包括以下步骤:

根据原子比Mn_{35}-Ti_{10}-Fe_{10}-Co_{10}-Ni_{25}计算所需各元素的质量,称取93.732g的锰、24.379g的钛、40.1745g的铁、41.478g的钴、66.954g的镍,使用型号MZ-1250非自耗真空电弧熔炼炉进行熔炼,熔炼条件为:于搅拌电流15A、熔炼电流400A下熔炼5min后冷却,制备成

70mm×45mm×10mm、重量为260g的长方体高熵合金粘结剂试样。

[0067] 将成分Mn_{35}-Ti_{10}-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{25}的高熵合金粘结剂通过JMatPro计算得到成分相图,如图12所示,可以看出,钛元素在超出0%~8%的范围时,出现了许多金属间化合物。

[0068] 表1 各元素物理性能图

元素	熔点	密度	热导率	是否利于绝热剪切
单位	℃	g/cm^3	W/(mk)	
U	1132	19.05	28	是
Fe	1536	7.87	78.2	
Co	1495	8.9	100	
Ni	1455	8.9	88.5	
Mn	1244	7.4	7.8	是
Ti	1688	4.5	17	是

表2 实施例1~实施例3和对比例1的室温热导率对比表

样品	成分	室温热导率W/(mk)
实施例1	Mn_{33}-Ti_{0}-Fe_{15}-Co_{15}-Ni_{37}	9.906
实施例2	Mn_{33}-Ti_{5}-Fe_{20}-Co_{10}-Ni_{32}	9.250
实施例3	Mn_{35}-Ti_{8}-Fe_{10}-Co_{10}-Ni_{27}	8.957
对比例1	Fe_{31}-Co_{6}-Ni_{63}	43.258

本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

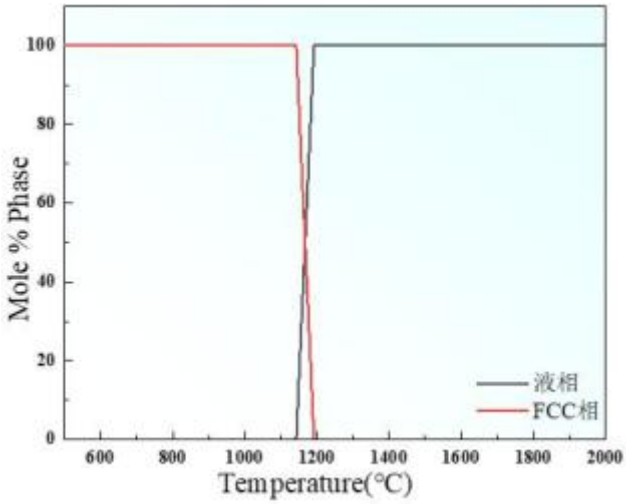

Mole % Phase
Temperature(°C)
液相
FCC相

图1

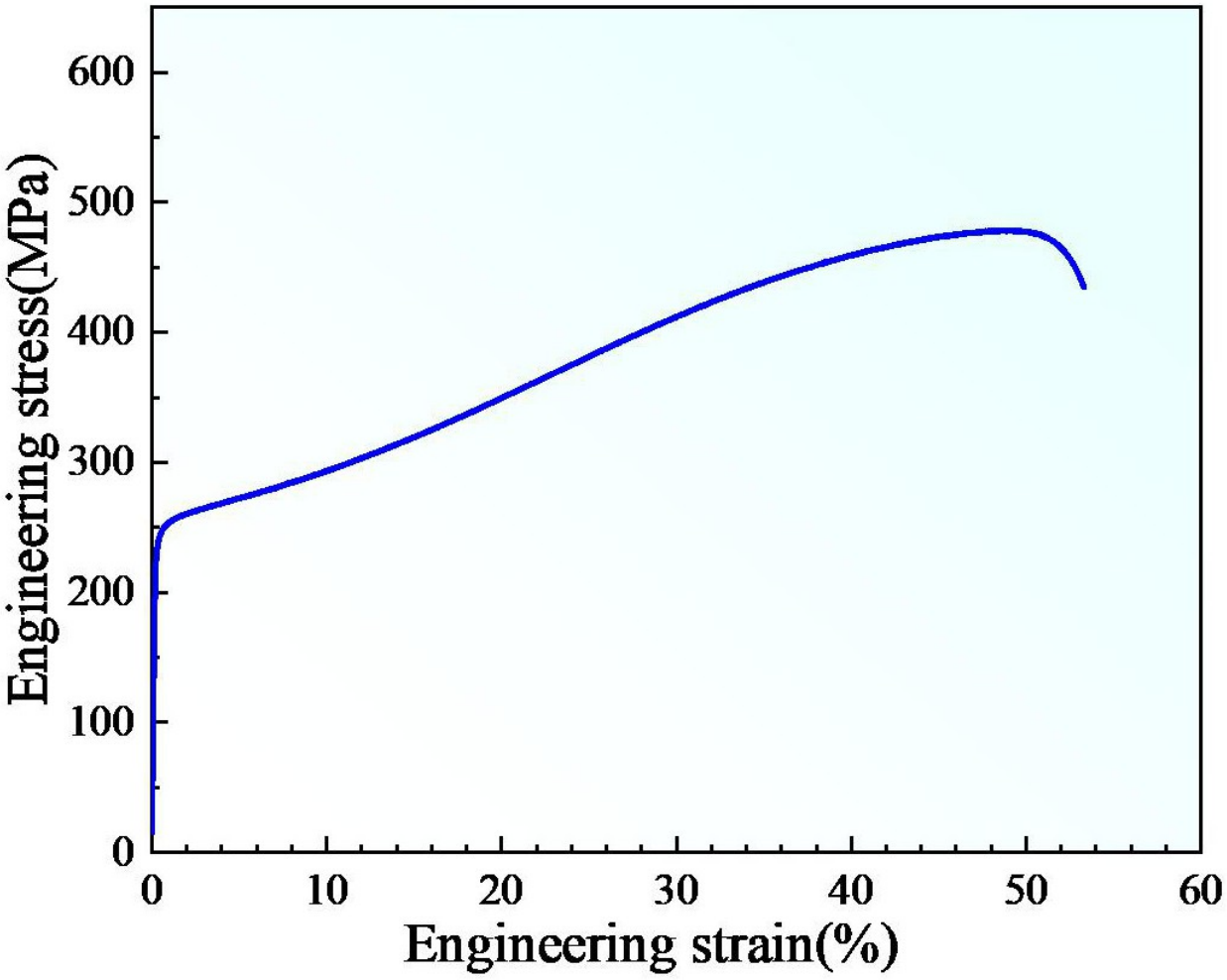

Engineering stress(MPa)
Engineering strain(%)

图2

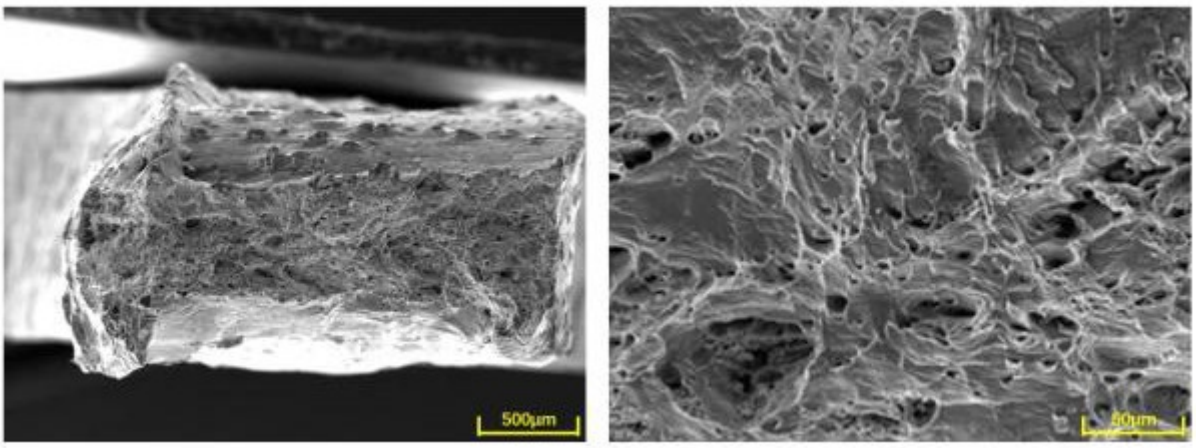

500μm
50μm

图3

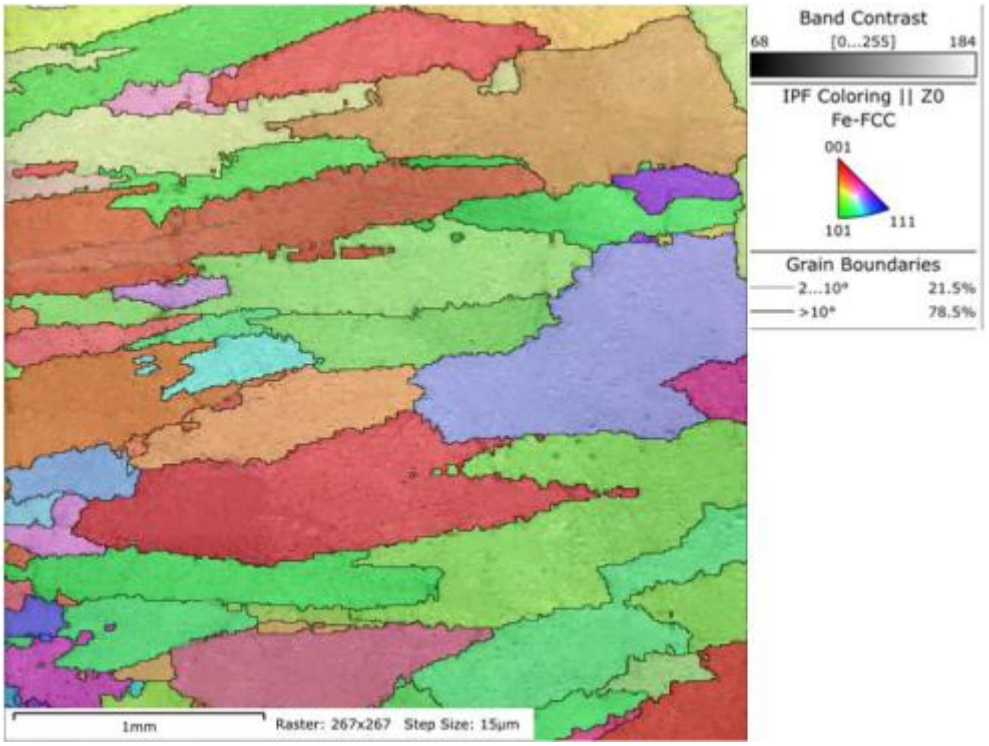

Band Contrast
68 [0...255] 184
IPF Coloring || Z0
Fe-FCC
001
101
111
Grain Boundaries
2...10° 21.5%
>10° 78.5%
1mm
Raster: 267x267 Step Size: 15μm

图4

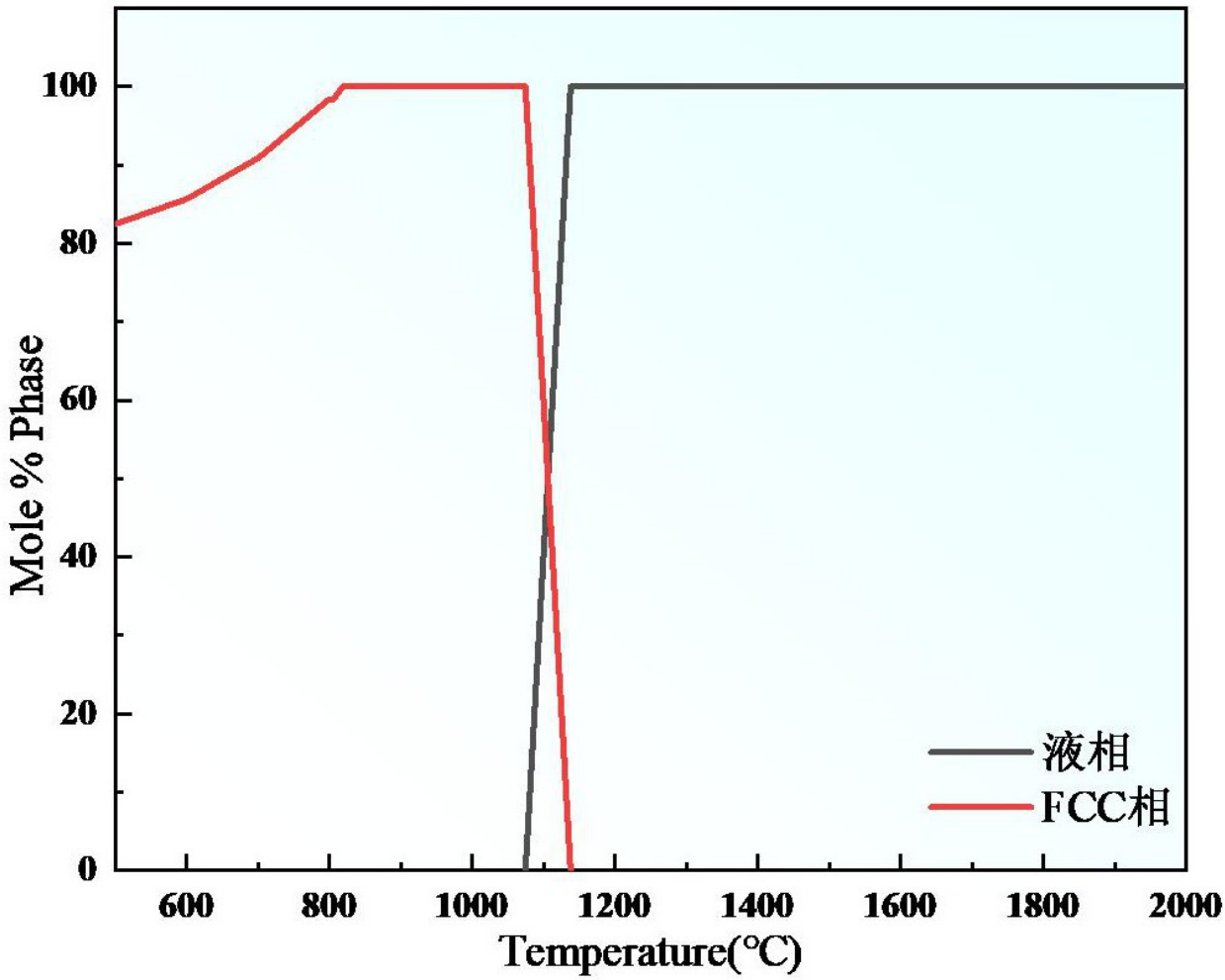

100
80
60
40
20
0
Mole % Phase
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
Temperature(℃)
液相
FCC相

图5

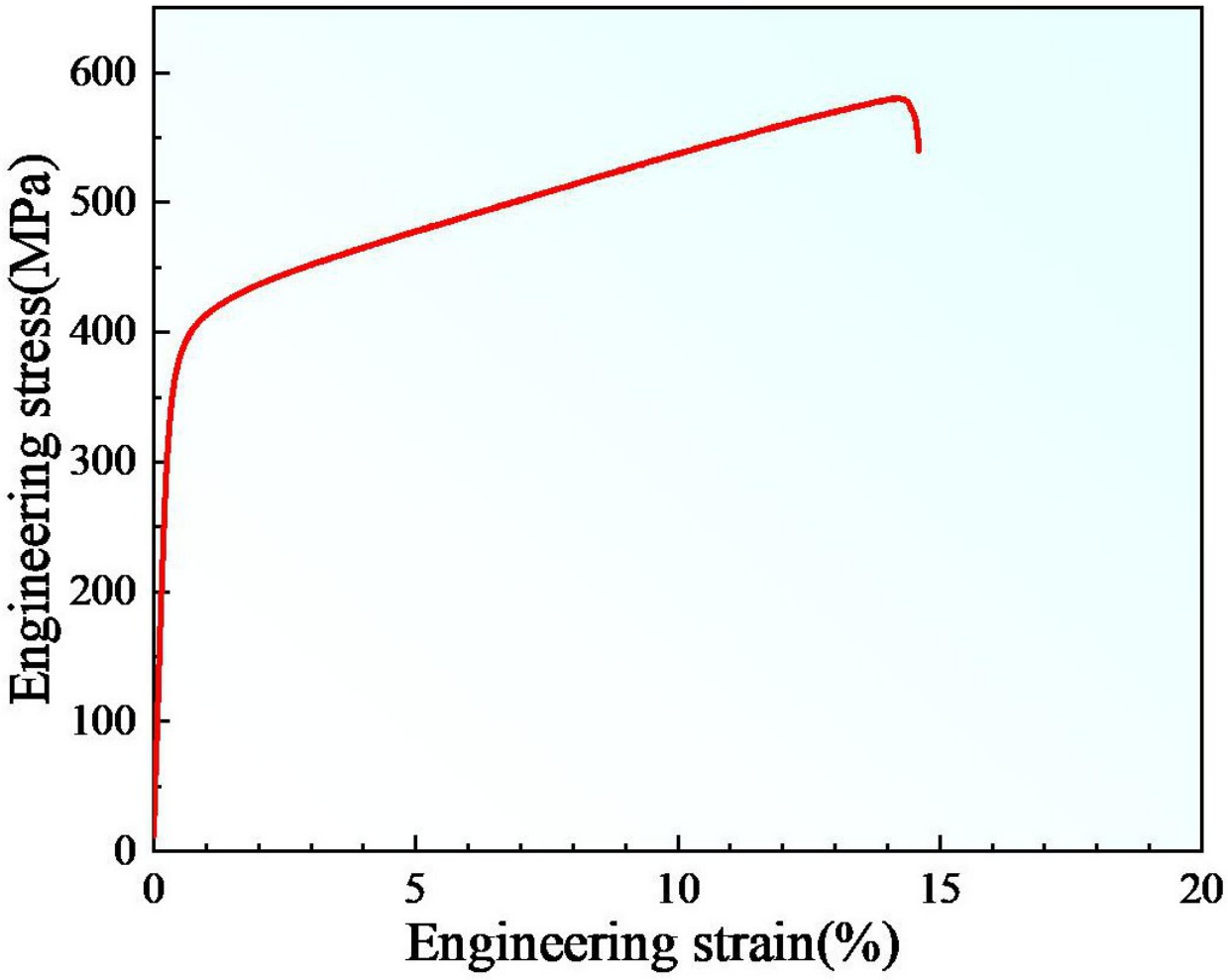

Engineering stress(MPa)
600
500
400
300
200
100
0
0
5
10
15
20
Engineering strain(%)

图6

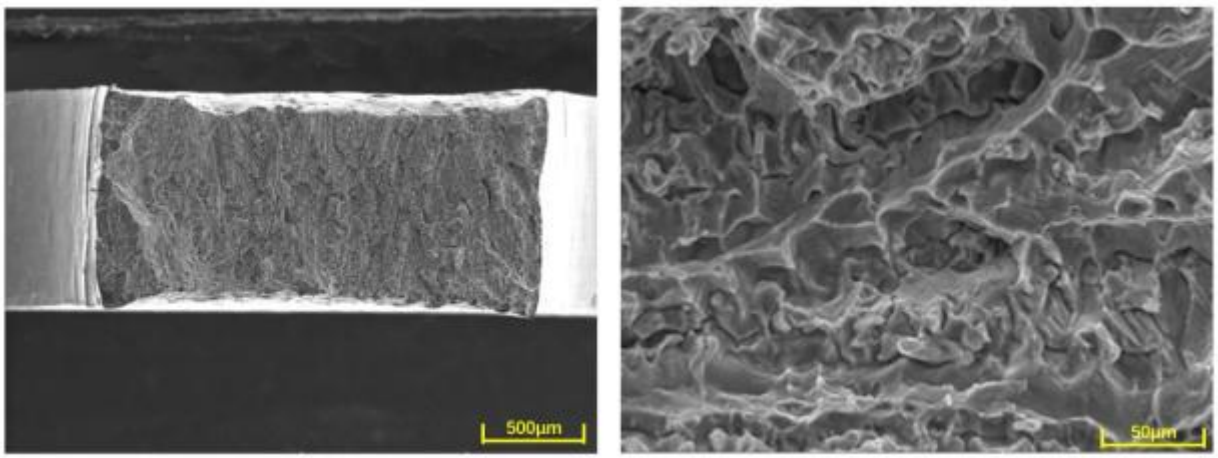

500μm
50μm

图7

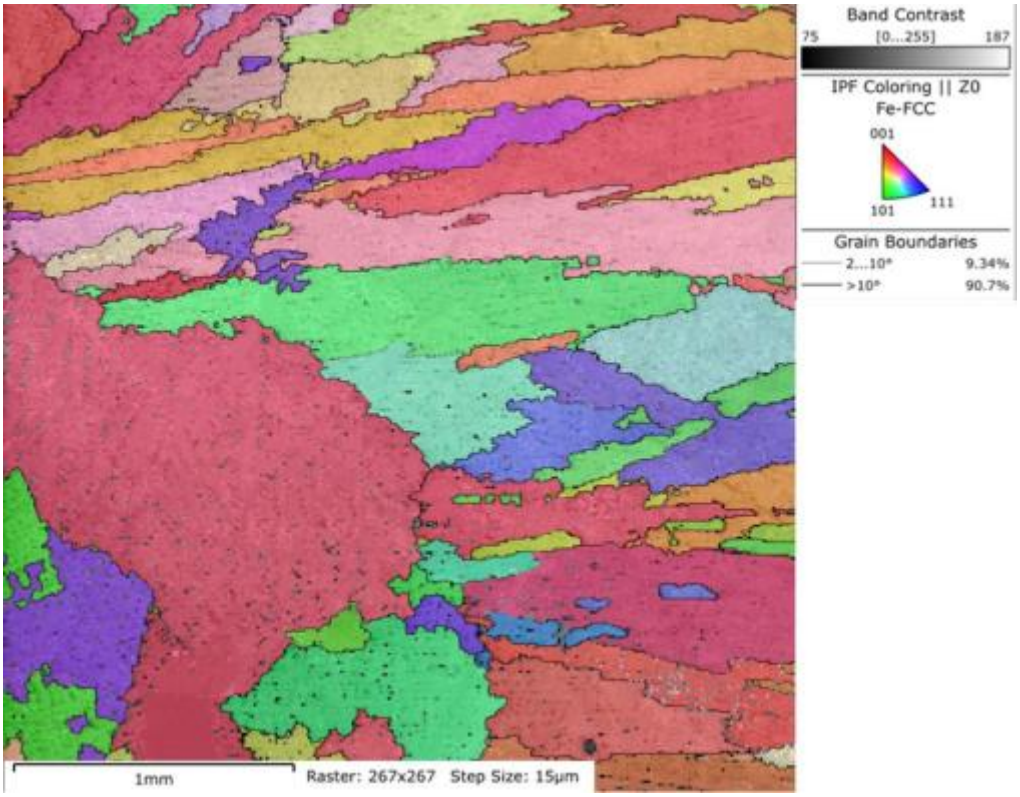

Band Contrast
75
[0...255]
187
IPF Coloring || Z0
Fe-FCC
001
101
111
Grain Boundaries
2...10°
9.34%
>10°
90.7%
1mm
Raster: 267x267 Step Size: 15µm

图8

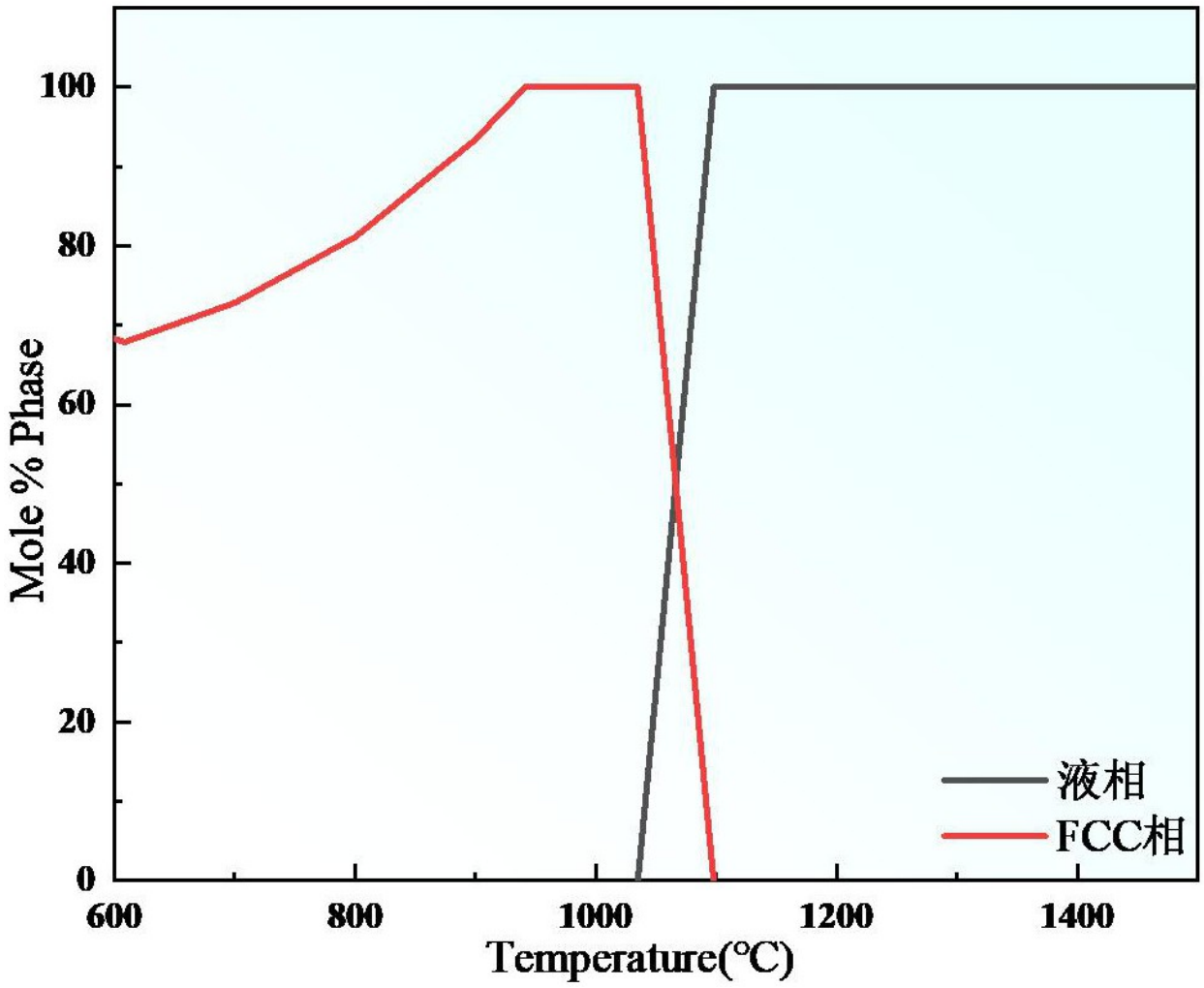

100
80
60
40
20
0
Mole % Phase
600
800
1000
1200
1400
Temperature(℃)
液相
FCC相

图9

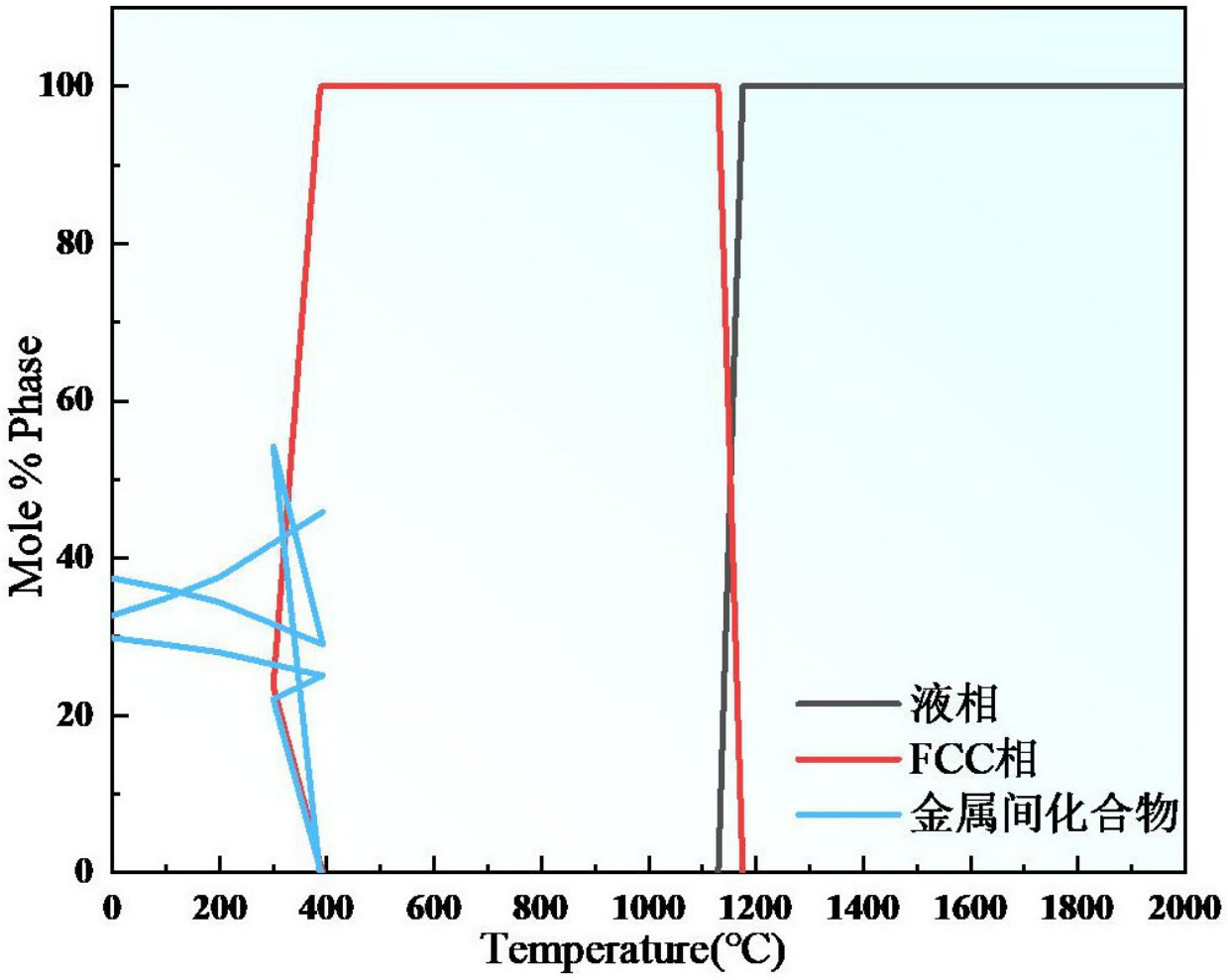

100
80
60
40
20
0
Mole % Phase
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
Temperature(℃)
液相
FCC相
金属间化合物

图10

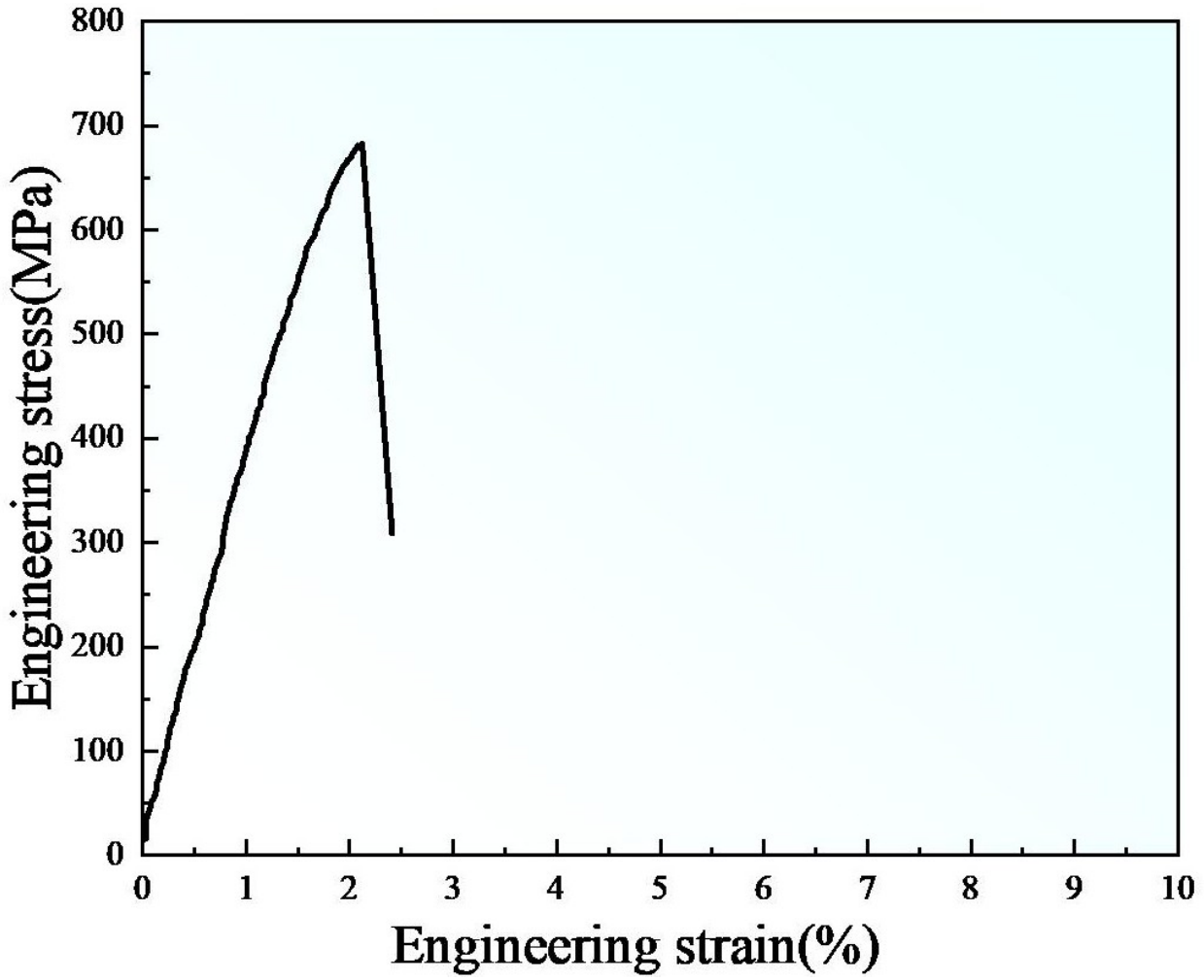

Engineering stress(MPa)
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
Engineering strain(%)

图11

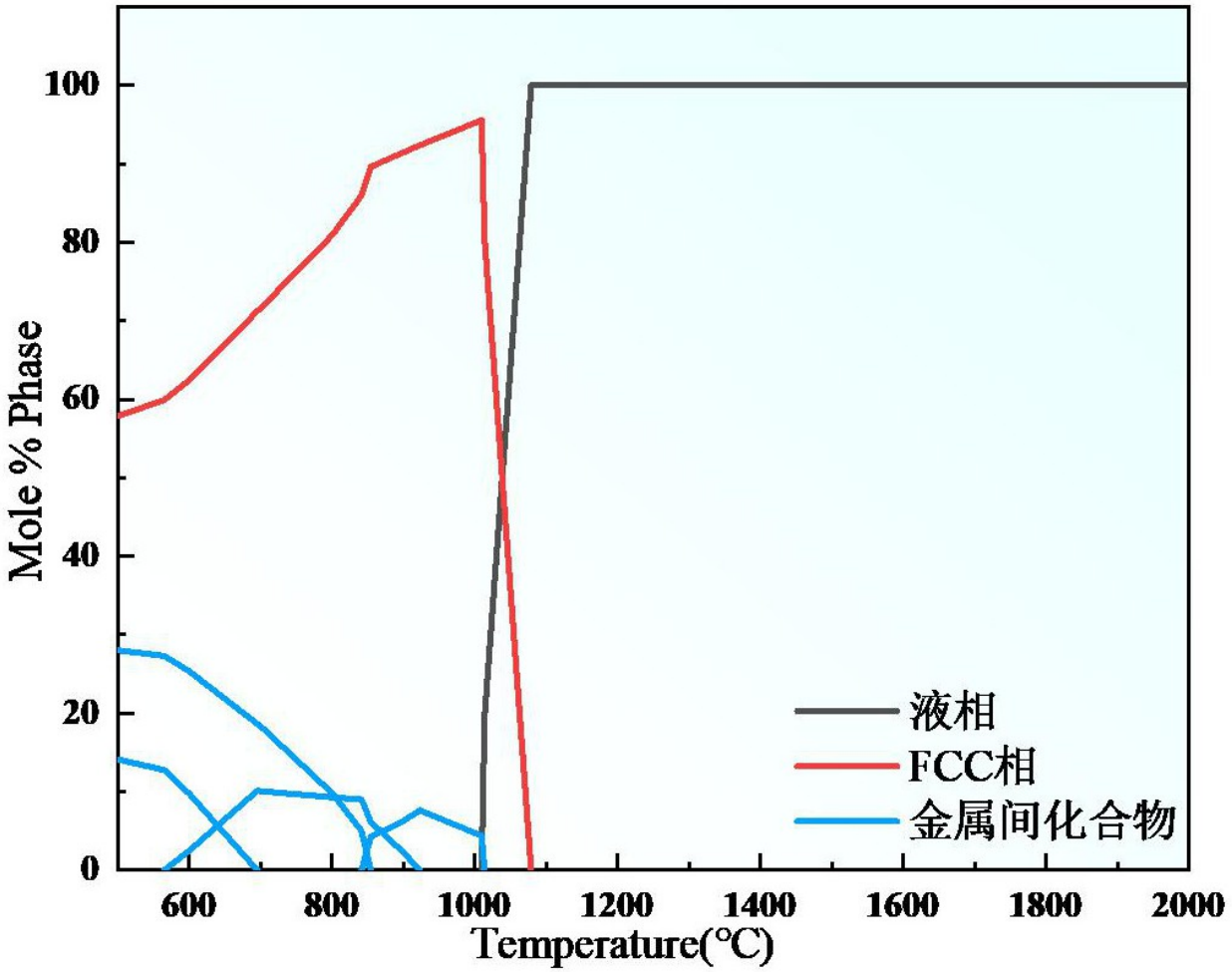

100
80
60
40
20
0
Mole % Phase
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
2000
Temperature(℃)
液相
FCC相
金属间化合物

图12

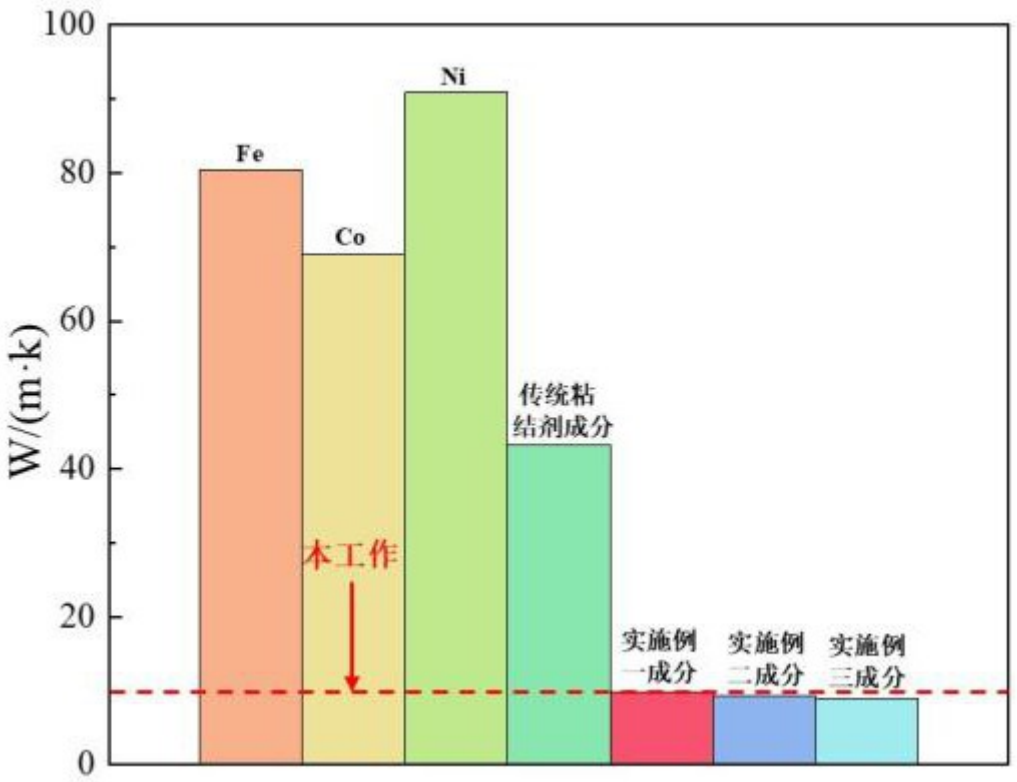


图13