



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112893468 A

(43) 申请公布日 2021.06.04

(21) 申请号 202110170613.X

C21D 9/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.02.08

G22C 30/00 (2006.01)

(71) 申请人 太原理工大学

地址 030024 山西省太原市万柏林区迎泽西大街79号

(72) 发明人 乔珺威 马齐欣 晋玺 杨慧君 张敏

(74) 专利代理机构 太原市科瑞达专利代理有限公司 14101

代理人 申艳玲

(51) Int. Cl.

B21B 3/02 (2006.01)

B21B 15/00 (2006.01)

G21D 1/773 (2006.01)

G21D 8/02 (2006.01)

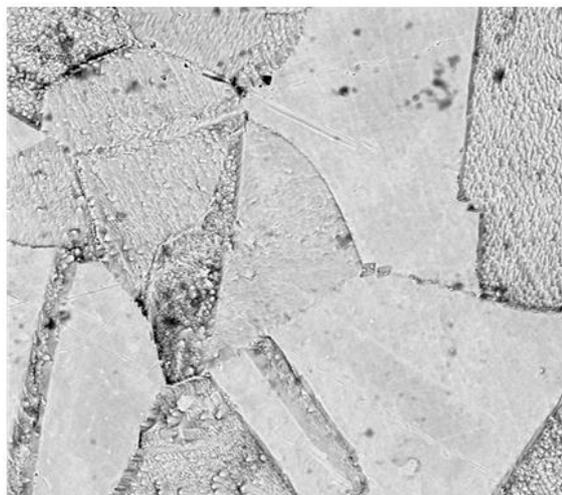
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法,首先将Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金在工厂进行熔炼,随后进行轧制工艺,然后用线切割技术切取上下平行的Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金试样,进行波纹轧机的热轧工艺,轧机使用上下辊分别为波纹和平辊,辊速度保持恒定;随后利用普通轧机将样品进行平轧;最后进行热处理去除残余应力。本发明通过参数计算该合金满足高熵合金形成准则,其组织为单相FCC简单结构;通过波纹轧+平轧工艺明显提高了Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度,改变了其力学性能;获得高性能的高熵合金,使性能满足实际工程领域的要求,能广泛地应用在工业以及生活各个领域。



1. 一种通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法,其特征在于:首先将Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金在工厂进行熔炼,随后进行轧制工艺,然后用线切割技术切取上下平行的Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金试样,进行波纹轧机的热轧工艺,轧机使用上下辊分别为波纹和平辊,辊速度保持恒定;随后利用普通轧机将样品进行平轧;最后进行热处理去除残余应力。

2. 根据权利要求1所述的通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法,其特征在于包括以下步骤:

步骤一:高熵合金各元素的配比:Fe、Mn、Cr、Ni元素的摩尔比为2:1:1:1,利用真空电弧熔炼炉,制备高熵合金锭;铸坯材料进行热锻处理;

步骤二:将步骤一得到的Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金铸锭进行电火花切片,切片得到厚度为2.7-3mm的样品;得到的Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金用砂纸进行氧化皮的去除,随后利用上辊为波纹辊下辊平辊的轧机进行轧制;

步骤三:将步骤二得到的高熵合金,进行热处理去除残余应力,在真空加热炉700-900℃条件下保温1h,水淬。

3. 根据权利要求2所述的通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法,其特征在于:所述步骤一中取FeMnCrNi原料粉,用丙酮进行超声清洁;然后将清洗后的原子按照2:1:1:1的配比,用真空电弧熔炼炉,在氩气气氛下,熔炼至少三次,最后滴铸成为铸态的板材型Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金,所得铸坯厚度为70mm,随后进行加热,加热温度1000-1300℃,加热时间1-2h。

4. 根据权利要求2所述的通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni高熵合金强度的方法,其特征在于:所述步骤一中热轧制后板材厚度15mm,开始轧制温度1150~1200℃,终轧温度1050℃。

5. 根据权利要求2所述的通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni高熵合金强度的方法,其特征在于:所述步骤二中轧机使用上下辊分别为波纹和平辊,辊速度保持恒定,初始温度为20℃,加热速度为20℃/min,加热到800℃保温10min,后迅速用钳子将样品从加热炉中取出,利用波纹辊实施第1道次波纹轧制,方向设定为平行于所述板材的一个边,然后迅速再放入此加热炉,继续加热到800℃,同时减小辊缝,将样品旋转90度进行第2道次波纹轧制,重复此操作轧5个道次,最后把轧好后的样品放入加热炉中保温5min,进行空冷,随后利用平轧辊对所述板材进行小压下量的平轧轧制。

6. 根据权利要求5所述的通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法,其特征在于:经过波纹轧制的高熵合金板的压下量为40%,经过平板轧制的高熵合金的压下量为20%。

7. 根据权利要求5所述的通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法,其特征在于:所述步骤二中调整上下辊的辊速是一样的,辊速度保持15mm/min。

一种通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法,属于材料加工技术领域。

背景技术

[0002] 近年来,发现了一类新合金被称为高熵合金(HEAs),提出于20世纪90年代,高熵合金是由五种或五种以上的主元素按照等原子比或接近于等原子比组成的一类合金,它是基于20世纪90年代大块非晶合金开发的情况下提出的,高熵合金可以结晶成为一种单一的晶体结构,也可以含有多种不同的晶体结构。尽管高熵合金具有多组元,但是形成的是简单结构的面心立方、体心立方或者面心立方和体心立方的混合。一种解释就是配位熵等于合金中总自由能使五种或更多元素形成稳定的固溶体结构。由于异类原子种类繁多,高熵合金表现为扩散迟缓和严重晶格畸变等效应,使得高熵合金可能同时具有一种或者多种突出性能,如高强度和塑性、高硬度、耐磨、优越的抗回火软化特性、耐腐蚀、抗高温氧化,这些优越的性能使得高熵合金具有广阔的工业应用前景。

[0003] Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金被发现是一种单相的面心立方(fcc)固溶体。面心立方结构比体心立方结构的原子堆垛密度大,具有较小的晶格扩散系数和低的层错能,具有较高的塑性变形能力。

发明内容

[0004] 本发明旨在提供一种通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法,第一道次在轧制过程中采用“波纹辊+平辊”,后续道次中的上辊和下辊是平辊

本发明利用波纹辊的形状特征来提高硬质金属的变形程度,在改善板材形状的同时,可以细化晶粒,增加结合界面的强度。

[0005] 本发明提供了一种通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系熵合金强度的方法,首先将Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金在工厂进行熔炼,随后进行轧制工艺,然后用线切割技术切取上下平行的Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金试样,进行波纹轧机的热轧工艺,轧机使用上下辊分别为波纹和平辊,辊速度保持恒定;随后利用普通轧机将样品进行平轧;最后进行热处理去除残余应力。

[0006] 上述制备方法包括以下步骤:

步骤一:高熵合金各元素的配比:Fe、Mn、Cr、Ni元素的摩尔比为2:1:1:1,利用真空电弧熔炼炉,制备高熵合金锭;铸坯材料进行热锻处理;

步骤二:将步骤一得到的Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金铸锭进行电火花切片,切片得到厚度为2.7-3mm的样品;得到的Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金用砂纸进行氧化皮的去除,随后利用上辊为波纹辊下辊平辊的轧机进行轧制;

步骤三:将步骤二得到的高熵合金,进行热处理去除残余应力,在真空加热炉700-

900℃条件下保温1h,水淬。

[0007] 所述步骤一中取FeMnCrNi原料粉,用丙酮进行超声清洁;然后将清洗后的原子按照2:1:1:1的配比,用真空电弧熔炼炉,在氩气气氛下,熔炼至少三次,最后滴铸成为铸态的板材型 $Fe_{40}Mn_{20}Cr_{20}Ni_{20}$ 高熵合金,铸坯厚度70mm,随后进行加热,加热温度1300℃,加热时间1-1.5h。轧制后板材厚度15mm,开始轧制温度1150~1200℃,终轧温度约1050℃。本次轧制实验加热温度偏高,考虑优化加热温度为1150℃,加热时间1-1.5h。

[0008] 所述步骤二中轧机使用上下辊分别为波纹和平辊,辊速度保持恒定,初始温度为20℃,加热速度为20℃/min,加热到800℃保温10min,后迅速用钳子将样品从加热炉中取出,利用波纹辊实施第1道次波纹轧制,方向设定为平行于所述板材的一个边,然后迅速再放入此加热炉,继续加热到800℃,同时减小辊缝,将样品旋转90度进行第2道次波纹轧制,重复此操作轧5个道次,最后把轧好后的样品放入加热炉中保温5min,进行空冷,随后利用平辊对所述板材进行小压下量的平轧轧制。

[0009] 进一步地,经过波纹轧制的高熵合金板的压下量为40%,经过平板轧制的高熵合金的压下量为20%。

[0010] 进一步地,调整上下辊的辊速是一样的,辊速度保持15mm/min。

[0011] 所述步骤三中将步骤二得到的高熵合金,在真空加热炉800℃条件下保温1h,水淬,去除残余应力。

[0012] 本发明的有益效果:

(1)本发明通过参数计算该合金满足高熵合金形成准则,其组织为单相FCC简单结构;

(2)通过波纹轧+平轧工艺明显提高了 $Fe_{40}Mn_{20}Cr_{20}Ni_{20}$ 高熵合金强度,改变了其力学性能;

(3)铸态高熵合金具有缩孔缩松、成分偏析等铸造缺陷,严重弱化高熵合金的力学性能,本发明主要通过波纹辊进行初轧,波纹辊比平辊有较好的强韧性和实用性,获得高强度的高熵合金,使性能满足实际工程领域的要求,能广泛地应用在工业以及生活各个领域。

附图说明

[0013] 图1为本发明实施例1的金相显微组织;

图2为本发明实施例1的XRD图;

图3为本发明实施例2的室温拉伸试验图。

[0014]

具体实施方式

[0015] 下面通过实施例来进一步说明本发明,但不局限于以下实施例。

[0016] 本实施例材料为经过铸态材料经过热轧后的Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金。

[0017] 实施例1:

一种通过波纹轧和平轧工艺提高Fe-Mn-Cr-Ni系高熵合金强度的方法
步骤一、

步骤1.1取FeMnCrNi原料粉,用丙酮进行超声清洁;然后将清洗后的原子按照中2:

1:1:1的配比,用真空电弧熔炼,在氩气气氛下,熔炼至少三次,最后滴铸成为铸态的板材型 $Fe_{40}Mn_{20}Cr_{20}Ni_{20}$ 高熵合金;

步骤1.2铸坯厚度70mm,随后进行加热温度1300℃,加热时间1-1.5h。轧制后板材厚度15mm,开始轧制温度1150~1200℃,终轧温度约1050℃。本次轧制实验加热温度偏高,考虑优化加热温度为1150℃,加热时间1-1.5h;

步骤二、将得到的 $Fe_{40}Mn_{20}Cr_{20}Ni_{20}$ 高熵合金铸锭进行电火花切片,切片得到厚度为3mm的样品。得到的 $Fe_{40}Mn_{20}Cr_{20}Ni_{20}$ 高熵合金用砂纸进行氧化皮的去除,随后利用波纹轧机进行波纹轧制的热轧工艺。

[0018] 步骤2.1轧机使用上下辊分别为波纹和平辊,辊速度保持恒定,初始温度为20摄氏度,加热速度为20℃/min,加热到800℃保温10min,后迅速用钳子从加热炉中取出迅速放入加热炉,继续进行加热到800℃,同时减小辊缝,重复此操作轧5个道次,最后把轧好后的样品放入加热炉中保温5min,进行空冷;

步骤2.2 利用普通轧机将样品进行平轧。

[0019] 步骤二中,经过波纹轧制的高熵合金的压下量为60%。经过平辊轧制的高熵合金的压下量为20%。

[0020] 步骤二中,调整上下辊的辊速是一样的,保持15mm/min。

[0021] 步骤三、将得到的高熵合金,进行热处理去除残余应力,在真空加热炉800℃条件下保温1h,水淬。

[0022] 性能检测结果:

图1为步骤二 $Fe_{40}Mn_{20}Cr_{20}Ni_{20}$ 高熵合金轧制处理后的金相显微组织从图中可清楚看出晶粒经过热轧发生了完全再结晶,并且沿轧制方向拉长。

[0023] 图2为步骤二的 $Fe_{40}Mn_{20}Cr_{20}Ni_{20}$ 高熵合金的XRD图,从图中可看出此种材料为单相FCC结构。

[0024] 实施例2:

对 $Fe_{40}Mn_{20}Cr_{20}Ni_{20}$ 高熵合金轧制后进行硬度测试,首先用线切割切取待测试样品,然后用热镶样机镶样,依次用100#、240#、600#、800#、1000#、1200#、1500#、2000#型号的砂纸打磨试样表面后用金刚石研磨膏进行抛光,保证试样平面足够平整。测试所使用的显微维氏硬度为MH-600型显微维氏硬度计,载荷为500gf,为确保实验结果的准确性,将每个试样选择不同的位置测试6次,保载时间为15s,最后读取显微镜显示的维氏硬度值,测试完毕后将六次测量的平均值作为最终值。如下表1所示:

表1维氏硬度(HV)

试样	1	2	3	4	5	6	平均值
铸态热锻后样品	140.1	141.5	134.3	139.8	139.1	136.9	138.6
波纹轧+平轧态	339	316.8	328.3	316.8	310.2	330.1	323.5

由表1可知,本发明方法处理后 $Fe_{40}Mn_{20}Cr_{20}Ni_{20}$ 高熵合金的维氏硬度比铸态热锻后的增加了一倍多。

[0025] 实施例3:

将实施例1步骤二所处理之后的试样用线切割切取拉伸试样,标距段长度14mm,宽度3mm,厚度3mm。为保证数据的准确性,每种状态用线切割切取三个拉伸试样,依次用180#、240#、600#、800#、1000#、1200#、1500#、2000#型号的砂纸打磨后进行拉伸实验。使用 INSTRON5969型力学试验机进行室温静态拉伸实验,应变速率为 $1 \times s^{-1}$,为得到精确地屈服强度,从工程应力应变曲线上可以看出,轧制后试样的强度大大增加,延伸率能够保持稳定,其屈服强度为650Mpa,极限抗拉强度为730Mpa,延伸率为35%。

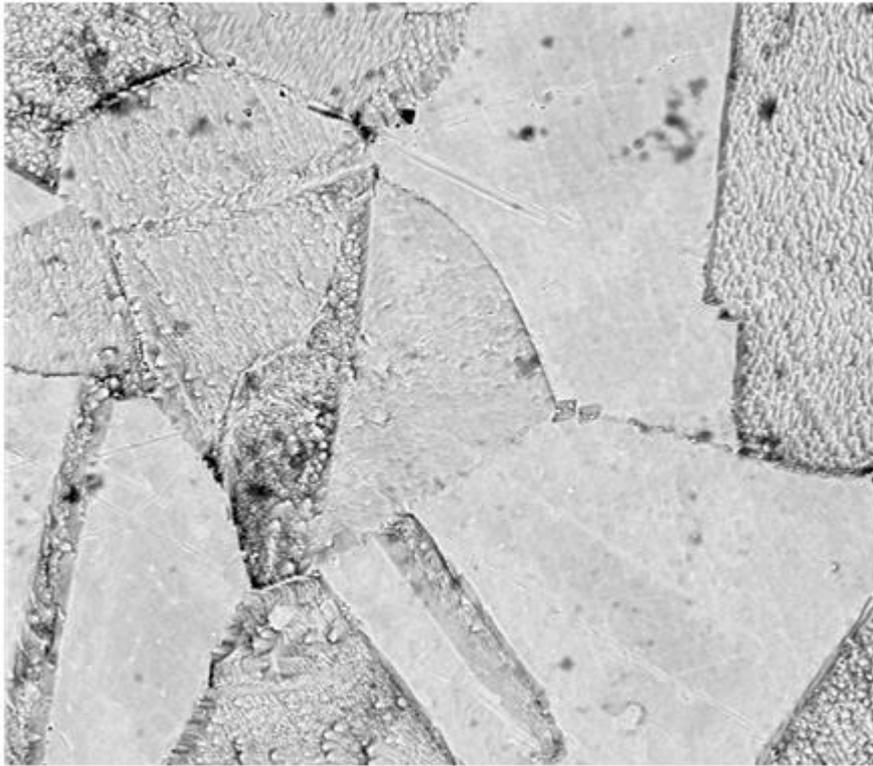


图1

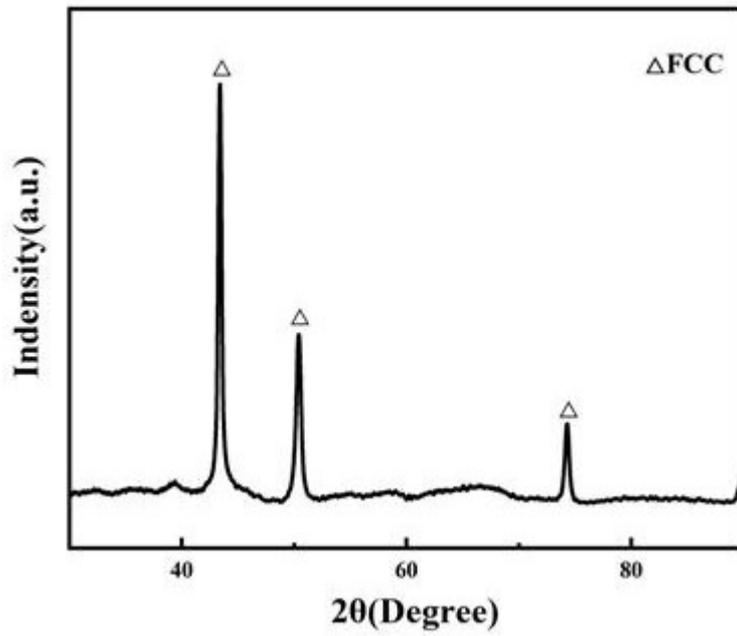


图2

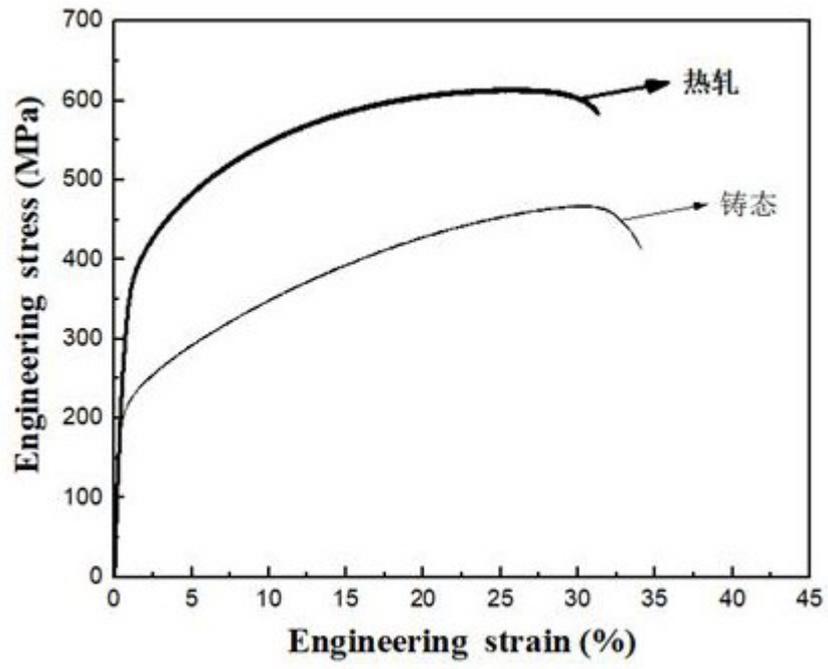


图3