



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113246552 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 08

(21) 申请号 202110388577.4

(22) 申请日 2021.04.12

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113246552 A

(43) 申请公布日 2021.08.13

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所  
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

专利权人 宝山钢铁股份有限公司

(72) 发明人 程文强 杨沐鑫 焦四海 张杭州  
武晓雷 袁福平

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11390  
代理人 吴迪

(51) Int. Cl.

B32B 3/30 (2006.01)

B32B 15/01 (2006.01)

B32B 15/18 (2006.01)

B21B 1/38 (2006.01)

审查员 刘忻

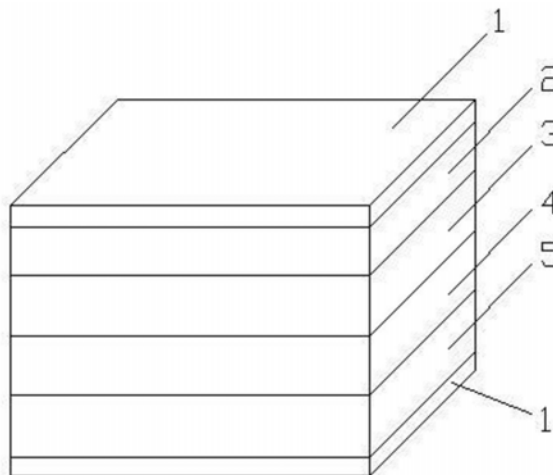
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

## (54) 发明名称

一种亚稳多相构型化叠层复合钢及制备方法

## (57) 摘要

本发明涉及复合钢材料加工技术领域,提供了一种亚稳多相构型化叠层复合钢及制备方法,包括夹心复合层,夹心复合层的表面分别连接有表面复合层,夹心复合层包括低碳钢层和中锰钢层,表面复合层为不锈钢层,两个表面复合层之间至少包括两张夹心复合层,分别为第一夹心复合层和第二夹心复合层;采用该技术方案,减少了复合钢的整体成本,不锈钢层的不锈钢材质避免夹心复合层被腐蚀,从而提升了复合钢的耐腐蚀性;第一夹心复合层和第二夹心复合层的构型化设计,同时结合其具备的强韧性,提升了复合钢的强韧性,并且有效提高了复合层间的微观塑性应变协调作用,增强界面影响区加工硬化能力,从而实现整体力学性能的优化升级。



1. 一种亚稳多相构型化叠层复合钢,其特征在于,包括夹心复合层,所述夹心复合层的表面分别连接有表面复合层;

所述夹心复合层包括低碳钢层和中锰钢层,所述表面复合层为不锈钢层;

两个所述表面复合层之间至少包括两张所述夹心复合层,分别为第一夹心复合层和第二夹心复合层;

所述第一夹心复合层包括第一低碳钢层和第一中锰钢层,所述第二夹心复合层包括第二低碳钢层和第二中锰钢层;

靠近所述第一低碳钢层侧的所述第一中锰钢层上设置有第一凸起部,靠近所述第一中锰钢层侧的所述第一低碳钢层上设置有第一凹陷部,所述第一凸起部和所述第一凹陷部相插接;

所述第一凹陷部的边缘设置有第一凹陷壁,相邻的第一凹陷壁之间设置有第一凹陷槽;

所述第一凸起部的边缘设置有第一凸起壁,与所述第一凹陷槽相接触处的所述第一凸起壁上设置有第一凸起条;

所述第一凹陷槽与所述第一凸起条相插接。

2. 根据权利要求1所述的亚稳多相构型化叠层复合钢,其特征在于,所述第一中锰钢层与所述第二低碳钢层相连接。

3. 根据权利要求1所述的亚稳多相构型化叠层复合钢,其特征在于,所述夹心复合层的数量为4张、8张、16张中的任一数量。

4. 一种根据权利要求1-3中任意一项所述的亚稳多相构型化叠层复合钢的制备方法,其特征在于,包括,

预加热步骤,包括确定材料及材料状态,并在 $T_{RAT}$ 温度下保温2h至24h进行预加热,其中, $T$ 代表温度, $RAT$ 代表奥氏体转变温度;

热轧步骤,在温度为 $T_{RAT}$ ,等效应变为0.2至0.33的条件下进行热轧;

加工间隙退火步骤,在 $T_{RAT}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.25-0.5小时;

设定轧制厚度步骤,在所述夹心复合层中,所述低碳钢层或所述中锰钢层的初轧厚度为 $\delta$ ,所述不锈钢层的初始厚度为 $\delta/4$ ,在热轧加工过程中,所述夹心复合层的终轧厚度为 $\delta$ ,经热轧复合加工后,所述夹心复合层和所述表面复合层的总厚度为 $1.25\delta$ ;

热轧复合步骤,将所述设定轧制厚度步骤处理后的所述夹心复合层进行分割后形成所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层,将所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层叠层并与所述表面复合层焊接,在 $T_{RAT}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.5小时,随后在 $T_{RAT}$ 温度下进行压下量为50%的轧制加工,使所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层及所述表面复合层的总厚度为 $\delta$ 。

5. 根据权利要求4所述的亚稳多相构型化叠层复合钢的制备方法,其特征在于,在所述热轧复合步骤中,

当两个所述表面复合层之间的所述夹心复合层的数量为8张时,在所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层加工完成的基础上进行分割,将分割后的所述夹心复合层进行叠层并与表面复合层焊接,在 $T_{RAT}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.5小时,随后在 $T_{RAT}$ 温度下进行压下量为50%的轧制加工,使所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层及所述表面复

合层的总厚度为 $\delta$ 。

6. 根据权利要求5所述的亚稳多相构型化叠层复合钢的制备方法,其特征在于,在所述热轧复合步骤中,

当两个所述表面复合层之间的所述夹心复合层的数量为16张时,在所述夹心复合层的数量为8张时加工完成的基础上进行分割,将分割后的所述夹心复合层进行叠层并与所述表面复合层焊接,在 $T_{\text{RAT}}$ 的温度下增加20至40°C,保温0.5小时,随后在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下进行压下量为50%的轧制加工,使所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层及所述表面复合层的总厚度为 $\delta$ 。

## 一种亚稳多相构型化叠层复合钢及制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及复合钢材料加工技术领域,具体涉及这一种亚稳多相构型化叠层复合钢。

### 背景技术

[0002] 传统金属叠层复合材料是一类具有特殊组织结构和力学性能金属材料,是复合材料的重要分支。通常由几种不同力学性能或理化性质的异质金属或特定形态材料经过不同构型复合方式形成较强界面结合而成,实现比单一基体材料更优异的综合力学性能(如强度、韧性)和一些独特的使役性能(如减震、抗穿透、耐应力腐蚀等)。

[0003] 金属叠层复合材料在强韧化方面的优势,一直是其得以获得广泛工业应用的重要基础。1983年,斯坦福大学Kum等,通过焊后轧制法将高碳钢板与低碳钢复合,获得高碳钢与低碳钢叠层复合构型,大幅度提高冲击韧性,显著降低韧脆转变温度。2017年,浦项科技大学Park等采用热轧复合法制备出以TRIP钢为芯部基体层,低碳钢为双侧复合表层的TWIP复合三层板,获得抗拉强度545-878MPa,以及强塑积48-54GPa·%的综合力学性能匹配。2018年,四川大学Huang等同样利用热轧复合法制备纳米晶/微米晶叠层结构Cu-CuZn-Cu复合材料,利用界面影响区及其对强度-塑性匹配性能的尺度效应,获得优异综合性能。2021年,哈尔滨工业大学Li等通过将粗晶层、细晶层、及混合晶粒层,进行叠层复合制备,并优化不同复合层的厚度匹配,使叠层复合样品整体获得了极高的屈服强度,远超出了Hall-Petch关系和复合法则的预测值,形成了优化单相金属材料性能的新型同质金属的构型化复合设计策略。

[0004] 同时,叠层复合材料制备用基体材料的高性能化研究也正在同步升级,2006年,德国马普所Frommeyer等报导一种具有较高强度和极佳塑性的Fe-Mn-Al-C高比强度相变/孪晶诱发塑性(TRIP/TWIP)钢,其微观组织以奥氏体为基体,在基体上层状分布着10~15%铁素体,以及少于10%纳米尺度 $\kappa$ -型碳化物,强塑积可达60GPa·%,具有极佳的强度和塑性。2008年,日本学者Tsuzaki对0.4C-2Si-1Cr-1Mo中碳低合金钢进行500℃中温轧制处理,获得了以扁平状铁素体晶粒为基体,细小碳化物弥散分布其上的复合型微结构,其在低温区具有超高强度和极高的冲击韧性,即抗拉强度1800MPa和-50℃冲击韧性290J,比同等强度下均匀等轴晶结构高强钢的冲击韧性提高10倍以上。2015年,韩国学者Kim等报导了等轴状奥氏体晶粒基体,断续层状、以及弥散粒状硬脆B2-金属间化合物相穿插其间的组织形态,抗拉强度达1500MPa,均匀延伸率不低于25%的高比强度钢,其均匀延伸率是普通超高强度钢的5倍以上。2017年,钢铁研究总院Cao等研发的含中锰TRIP/TWIP钢,利用高温双相区轧制使得奥氏体与铁素体发生几何扁平化,后续冷却至室温后形成层片状铁素体与马氏体相间排列的层片双相组织,同时实现450J冲击韧性和1.2GPa抗拉强度的优异性能匹配,充分发挥层片状微观组织的超高韧性和良好综合力学性能特点。

[0005] 纵观上述高强韧性叠层复合材料设计与复合基材的发展概况可知,构型化复合结构设计与高性能化复合基层材料开发是近年来高强韧化叠层复合材料研发的核心思路。其

中,构型化设计尤以将等轴状组织向层状、多相、TRIP/TWIP组织转变的设计及可控制备技术探索为前沿。

[0006] 但是,现有技术中的复合钢存在下述问题:一方面成本太高,少量成本较低的复合钢的耐腐蚀性能却有待提升;另一方面部分复合钢的强韧性能有待进一步提升;再一方面复合钢的复合层间的微观塑性应变协调作用较差,无法实现增强界面影响区加工硬化能力,从而无法实现整体力学性能的优化。

[0007] 如何有效地解决上述技术问题,是目前本领域技术人员需解决的问题。

## 发明内容

[0008] 为了解决上述技术问题或者至少部分地解决上述技术问题,本发明提供了一种亚稳多相构型化叠层复合钢及制备方法。

[0009] 亚稳多相构型化叠层复合钢包括夹心复合层,所述夹心复合层的表面分别连接有表面复合层;

[0010] 所述夹心复合层包括低碳钢层和中锰钢层,所述表面复合层为不锈钢层;

[0011] 两个所述表面复合层之间至少包括两张所述夹心复合层,分别为第一夹心复合层和第二夹心复合层。

[0012] 可选的,所述第一夹心复合层包括第一低碳钢层和第一中锰钢层;

[0013] 所述第二夹心复合层包括第二低碳钢层和第二中锰钢层。

[0014] 可选的,所述第一中锰钢层与所述第二低碳钢层相连接。

[0015] 可选的,靠近所述第一低碳钢层侧的所述第一中锰钢层上设置有第一凸起部;

[0016] 靠近所述第一中锰钢层侧的所述第一低碳钢层上设置有第一凹陷部;

[0017] 所述第一凸起部和所述第一凹陷部相插接。

[0018] 可选的,所述第一凹陷部的边缘设置有第一凹陷壁,相邻的第一凹陷壁之间设置有第一凹陷槽;

[0019] 所述第一凸起部的边缘设置有第一凸起壁,与所述第一凹陷槽相接触处的所述第一凸起壁上设置有第一凸起条;

[0020] 所述第一凹陷槽与所述第一凸起条相插接。

[0021] 可选的,所述夹心复合层的数量为4张、8张、16张中的任一数量。

[0022] 可选的,亚稳多相构型化叠层复合钢的制备方法,包括,

[0023] 预加热步骤,包括确定材料及材料状态,并在 $T_{RAT}$ 温度下保温2h至24h进行预加热,其中,T代表温度,RAT代表奥氏体转变温度;

[0024] 热轧步骤,在温度为 $T_{RAT}$ ,等效应变为0.2至0.33的条件下进行热轧;

[0025] 加工间隙退火步骤,在 $T_{RAT}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.25至0.5小时;

[0026] 设定轧制厚度步骤,在所述夹心复合层中,所述低碳钢层或所述中锰钢层的初轧厚度为 $\delta$ ,所述不锈钢层的初始厚度为 $\delta/4$ ,在热轧加工过程中,所述夹心复合层的终轧厚度为 $\delta$ ,经热轧复合加工后,所述夹心复合层和所述表面复合层的总厚度为 $1.25\delta$ ;

[0027] 热轧复合步骤,将所述设定轧制厚度步骤处理后的所述夹心复合层进行分割后形成所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层,将所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层叠层并与所述表面复合层焊接,在 $T_{RAT}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.5小时,随后在

$T_{\text{RAT}}$  温度下进行压下量为50%的轧制加工,使所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层及所述表面复合层的总厚度为 $\delta$ 。

[0028] 可选的,在所述热轧复合步骤中,

[0029] 当两个所述表面复合层之间的所述夹心复合层的数量为8张时,在所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层加工完成的基础上进行分割,将分割后的夹心复合层进行叠层并与表面复合层焊接,在 $T_{\text{RAT}}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.5小时,随后在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下进行压下量为50%的轧制加工,使所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层及所述表面复合层的总厚度为 $\delta$ 。

[0030] 可选的,在所述热轧复合步骤中,

[0031] 当两个所述表面复合层之间的所述夹心复合层的数量为16张时,在所述夹心复合层的数量为8张时加工完成的基础上进行分割,将分割后的所述夹心复合层进行叠层并与所述表面复合层焊接,在 $T_{\text{RAT}}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.5小时,随后在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下进行压下量为50%的轧制加工,使所述第一夹心复合层和所述第二夹心复合层及所述表面复合层的总厚度为 $\delta$ 。

[0032] 在本发明中,利用低碳钢层的低碳钢材质低成本,结合中锰钢层的中锰TRIP钢材质具备的抗拉强度及可塑性,减少了复合钢的整体成本,不锈钢层的不锈钢材质避免夹心复合层被腐蚀,从而提升了复合钢的耐腐蚀性;第一夹心复合层和第二夹心复合层的构型化设计,同时结合其具备的强韧性,提升了复合钢的强韧性,并且有效提高了复合层间的微观塑性应变协调作用,增强界面影响区加工硬化能力,从而实现整体力学性能的优化升级。

## 附图说明

[0033] 图1是本发明提供的夹心复合层的结构示意图;

[0034] 图2是本发明提供的第一凸起部和第一凹陷部的结构示意图;

[0035] 图3是本发明提供的夹心复合层的数量为16张的结构示意图;

[0036] 图4是本发明提供的夹心复合层的数量为16张的构型结构示意图;

[0037] 图5是本发明提供的中锰钢层的双相亚稳微结构的电子背散射衍射图;

[0038] 图6是本发明提供的中锰钢层的双相亚稳微结构的透射电子显微镜下照片。

[0039] 附图标记:

[0040] 1、表面复合层;

[0041] 2、第一低碳钢层;21、第一凹陷部;22、第一凹陷槽;23、第一凹陷壁;

[0042] 3、第一中锰钢层;31、第一凸起部;32、第一凸起条;33、第一凸起壁;

[0043] 4、第二低碳钢层;

[0044] 5、第二中锰钢层。

## 具体实施方式

[0045] 为了能够更清楚地理解本发明的上述目的、特征和优点,下面结合附图和实施例对本发明作进一步的详细说明。可以理解的是,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。以下实施例仅用于解释本发明,而非对本发明的限定。基于所描述的

本发明的实施例,本领域普通技术人员所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范  
围。若未特别指明,实施例中所用的技术手段为本领域技术人员所熟知的常规手段。

[0046] 需要说明的是,在本文中,诸如“第一”和“第二”等之类的关系术语仅仅用来将一  
个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之  
间存在任何这种实际的关系或者顺序。术语“连接”、“相连”等术语应作广义理解,例如,  
可以是固定连接,也可以是可拆卸连接,或成一体;可以是机械连接,也可以是电连接;可以  
是直接连接,也可以是通过中间媒介间接相连。术语“包括”、“包含”或者任何其他变体意  
在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括  
那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种过程、方法、物品  
或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括……”限定的要素,并不  
排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0047] 本发明提供的一实施例,如图1所示,一种亚稳多相构型化叠层复合钢,包括夹心  
复合层,夹心复合层的表面分别连接有表面复合层1;

[0048] 夹心复合层包括低碳钢层和中锰钢层,表面复合层1为不锈钢层;

[0049] 两个表面复合层1之间至少包括两张夹心复合层,分别为第一夹心复合层和  
第二夹心复合层。

[0050] 在本实施例中,利用低碳钢层的低碳钢材质低成本,结合中锰钢层的双相亚  
稳层状结构的中锰TRIP钢材质具备的抗拉强度及可塑性,减少了复合钢的整体成本,  
不锈钢层的不锈钢材质避免夹心复合层被腐蚀,从而提升了复合钢的耐腐蚀性;第  
一夹心复合层和第二夹心复合层的构型化设计,同时结合其具备的强韧性,提升  
了复合钢的强韧性,并且有效提高了复合层间的微观塑性应变协调作用,增强界  
面影响区加工硬化能力,从而实现整体力学性能的优化升级。

[0051] 中锰钢层的抗拉强度大于600-1800MPa,以及强塑积大于50-70GPa·%。

[0052] 本发明提供的又一实施例,如图1所示,第一夹心复合层包括第一低碳钢层  
2和第一中锰钢层3;

[0053] 第二夹心复合层包括第二低碳钢层4和第二中锰钢层5。

[0054] 在本实施例中,第一低碳钢层2和第一中锰钢层3以及第二低碳钢层4  
和第二中锰钢层5之间的结构,在实现目标厚度的前提下,进一步地增加了复合  
钢的强韧性,并且进一步地减少了材料成本。

[0055] 本发明提供的又一实施例,如图1所示,第一中锰钢层3与第二低碳钢层  
4相连接。

[0056] 在本实施例中,通过第一中锰钢层3与第二低碳钢层4相连接的方式,  
进一步地实现了第一低碳钢层2、第一中锰钢层3、第二低碳钢层4、第二中锰  
钢层5之间的依次连接关系。

[0057] 本发明提供的又一实施例,如图2所示,靠近第一低碳钢层2侧的第一  
中锰钢层3上设置有第一凸起部31;

[0058] 靠近第一中锰钢层3侧的第一低碳钢层2上设置有第一凹陷部21;

[0059] 第一凸起部31和第一凹陷部21相插接。

[0060] 在本实施例中,第一凸起部31设置在第一中锰钢层3上,并且其材质  
也是中锰钢材质,因此当第一凸起部31插入第一凹陷部21,实现了只少量增加  
中锰钢材质,即可更进一步

地提升复合钢的强韧性。

[0061] 在第二夹心复合层中,靠近第二低碳钢层4侧的第二中锰钢层5上也设置有第一凸起部31,靠近第二中锰钢层5侧的第二低碳钢层4上也设置有第一凹陷部21,第一凸起部31和第一凹陷部21相插接。

[0062] 本发明提供的又一实施例,如图1所示,第一凹陷部21的边缘设置有第一凹陷壁23,相邻的第一凹陷壁23之间设置有第一凹陷槽22;

[0063] 第一凸起部31的边缘设置有第一凸起壁33,与第一凹陷槽22相接触处的第一凸起壁33上设置有第一凸起条32;

[0064] 第一凹陷槽22与第一凸起条32相插接。

[0065] 在本实施例中,第一凸起条32的材质也是中锰钢材质,通过第一凸起条32插入第一凹陷槽22,在热轧过程中进一步地实现了只少量增加中锰钢材质,即可更进一步地提升复合钢的强韧性,从而实现了减少材料成本的目的。

[0066] 本发明提供的又一实施例,夹心复合层的数量可以是4张,也可以是8张或16张。

[0067] 在本实施例中,当夹心复合层的数量为4张时,包括第一低碳钢层2、第一中锰钢层3、第二低碳钢层4、第二中锰钢层5构成的4张。

[0068] 当夹心复合层的数量为8张时,是将前述热轧后的4张夹心复合层进行切割,形成了8张并将其堆叠后再进行热轧。

[0069] 当夹心复合层的数量为16张时,是将前述热轧后的8张夹心复合层进行切割,形成了16张并将其堆叠后再进行热轧,如图3所示。

[0070] 其中,切割的方向垂直于热轧方向,也就是说,如图1所示,当夹心复合层为水平放置进行热轧时,切割的方向垂直于地面。需要说明的是,本发明中的切割方向均如此。

[0071] 本发明提供的又一实施例,一种亚稳多相构型化叠层复合钢的制备方法,包括,

[0072] 预加热步骤,包括确定材料及材料状态,并在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下保温2h至24h进行预加热,其中,T代表温度,RAT代表奥氏体转变温度;

[0073] 热轧步骤,在温度为 $T_{\text{RAT}}$ ,等效应变为0.2至0.33的条件下进行热轧;

[0074] 加工间隙退火步骤,在 $T_{\text{RAT}}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.25至0.5小时;

[0075] 设定轧制厚度步骤,在夹心复合层中,低碳钢层或中锰钢层的初轧厚度为 $\delta$ ,不锈钢层的初始厚度为 $\delta/4$ ,在热轧加工过程中,夹心复合层的终轧厚度为 $\delta$ ,经热轧复合加工后,夹心复合层和表面复合层的总厚度为 $1.25\delta$ 。

[0076] 热轧复合步骤,将设定轧制厚度步骤处理后的夹心复合层进行分割后形成第一夹心复合层和第二夹心复合层,将第一夹心复合层和第二夹心复合层叠层并与表面复合层焊接,在 $T_{\text{RAT}}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.5小时,随后在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下进行压下量为50%的轧制加工,使第一夹心复合层和第二夹心复合层及表面复合层的总厚度为 $\delta$ 。

[0077] 在本实施例中,确定材料及材料状态包括确定低碳钢层为冷轧态低碳马氏体钢,中锰钢层为冷轧态中锰TRIP钢,不锈钢层为退火态奥氏体不锈钢。

[0078] 经过预加热步骤和热轧步骤的处理,在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下保温2h至24h,以使中锰钢层经历充分的逆相变,获得体积分数不小于20-45%的奥氏体含量,同时,通过再结晶调整低碳钢层及中锰钢层的晶粒尺寸,使材料的组织充分细小,足够均匀,保证较好强韧性。

[0079] 经过加工间隙退火步骤的处理,实现了维持中锰钢层中逆转变奥氏体含量及其变



形协调能力,同时使低碳钢层的材质发生再结晶软化,减小应力集中,避免裂纹率先在低碳钢层中萌生及开裂,还避免了中锰钢层及低碳钢层的表面温度过高,复合后造成界面附近脱碳或晶粒过于粗大。

[0080] 经过热轧复合步骤的处理,一方面利用低碳钢层的低碳钢材质低成本,减少了复合钢的整体成本,不锈钢层的不锈钢材质避免夹心复合层被腐蚀,从而提升了复合钢的耐腐蚀性;另一方面通过第一夹心复合层和第二夹心复合层的构型化设计,同时结合其具备的强韧性,提升了复合钢的强韧性,并且有效提高了复合层间的微观塑性应变协调作用,增强界面影响区加工硬化能力,从而实现整体力学性能的优化升级。

[0081] 通过本制备方法制备的亚稳多相构型化叠层复合钢的效果,如图5和图6所示。

[0082] 本发明提供的又一实施例,在热轧复合步骤中,当两个表面复合层之间的夹心复合层的数量为8张时,在第一夹心复合层和第二夹心复合层加工完成的基础上进行分割,将分割后的夹心复合层进行叠层并与表面复合层焊接,在 $T_{\text{RAT}}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.5小时,随后在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下进行压下量为50%的轧制加工,使第一夹心复合层和第二夹心复合层及表面复合层的总厚度为 $\delta$ 。

[0083] 在本实施例中,实现了两个表面复合层之间的夹心复合层的数量为8张时的热扎复合过程,更进一步地通过第一夹心复合层和第二夹心复合层的构型化设计,同时结合其具备的强韧性,提升了复合钢的强韧性,并且有效提高了复合层间的微观塑性应变协调作用,增强界面影响区加工硬化能力,从而实现整体力学性能的优化升级。

[0084] 本发明提供的又一实施例,在热轧复合步骤中,当两个表面复合层之间的夹心复合层的数量为16张时,在夹心复合层的数量为8张时加工完成的基础上进行分割,将分割后的夹心复合层进行叠层并与表面复合层焊接,在 $T_{\text{RAT}}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.5小时,随后在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下进行压下量为50%的轧制加工,使第一夹心复合层和第二夹心复合层及表面复合层的总厚度为 $\delta$ ,如图3和图4所示。

[0085] 在本实施例中,实现了两个表面复合层之间的夹心复合层的数量为16张时的热扎复合过程,更进一步地通过第一夹心复合层和第二夹心复合层的构型化设计,同时结合其具备的强韧性,提升了复合钢的强韧性,并且有效提高了复合层间的微观塑性应变协调作用,增强界面影响区加工硬化能力,从而实现整体力学性能的优化升级。

[0086] 为了满足不同的使用需求,本发明提供的又一实施例,两个表面复合层之间也可以只设置有一张夹心复合层,其制备方法,包括,

[0087] 预加热步骤,包括确定材料及材料状态,并在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下保温2h至24h进行预加热;

[0088] 热轧步骤,在温度为 $T_{\text{RAT}}$ ,压下量为 $\varepsilon \approx 25-50\%$ 下进行热轧;

[0089] 加工间隙退火步骤,在 $T_{\text{RAT}}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.25至0.5小时;

[0090] 设定轧制厚度步骤,在夹心复合层中,低碳钢层或中锰钢层的初轧厚度为 $\delta$ ,不锈钢层的初始厚度为 $\delta/4$ ,在热轧加工过程中,夹心复合层的终轧厚度为 $\delta$ ,经热轧复合加工后,夹心复合层和表面复合层的总厚度为 $1.25\delta$ ;

[0091] 热轧步骤,将设定轧制厚度步骤处理后的夹心复合层与表面复合层焊接,在 $T_{\text{RAT}}$ 的温度下增加20至40℃,保温0.5小时,随后在 $T_{\text{RAT}}$ 温度下进行压下量为50%的轧制加工,使夹心复合层和表面复合层的总厚度为 $\delta$ 。

[0092] 以上所述并非是对本发明的限制,最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发

明的技术方案,而非对其限制。尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明。本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换,在不偏离本发明精神的基础上所做的修改或替换,均属于本发明要求保护的范围内。

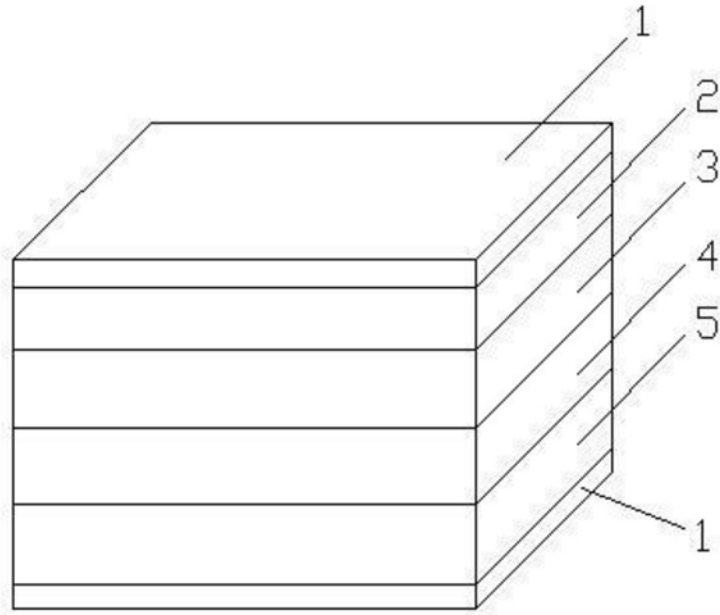


图1

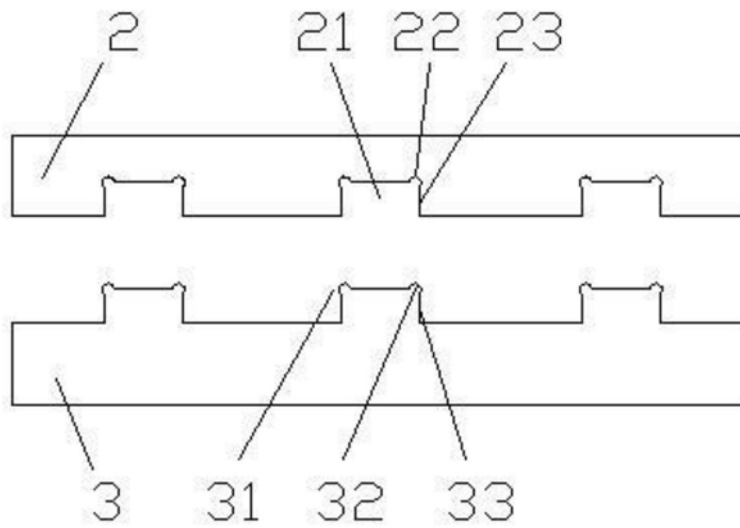


图2

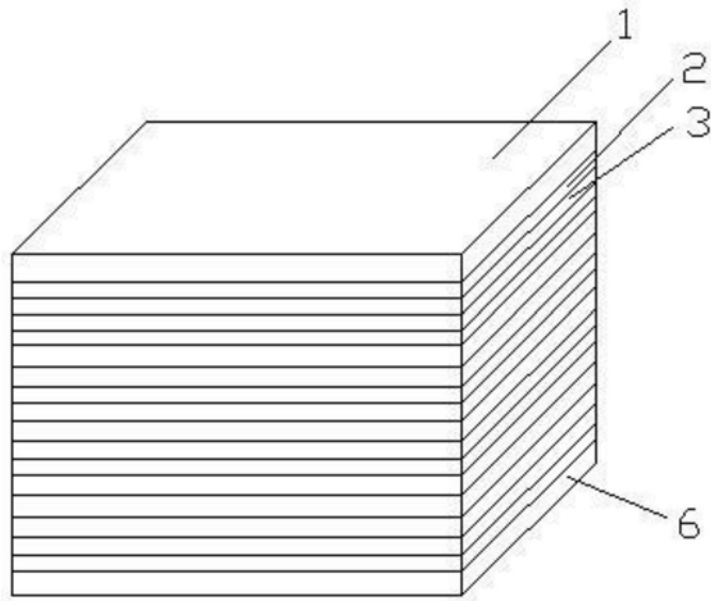


图3

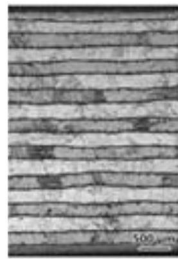


图4

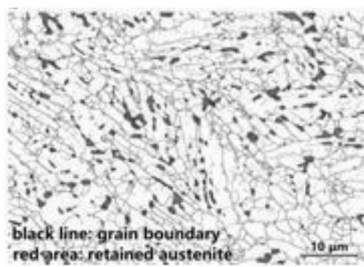


图5

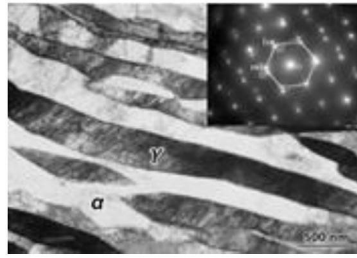


图6