



(12) 发明专利



(10) 授权公告号 CN 112848552 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 16

(21) 申请号 202110034945.5

C21D 9/46 (2006.01)

(22) 申请日 2021.01.12

C22F 1/08 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

C22C 9/06 (2006.01)

申请公布号 CN 112848552 A

C22C 38/24 (2006.01)

(43) 申请公布日 2021.05.28

C22C 38/22 (2006.01)

(73) 专利权人 鞍钢股份有限公司

C22C 38/32 (2006.01)

地址 114021 辽宁省鞍山市铁西区鞍钢厂
区内

C22C 38/04 (2006.01)

C22C 38/02 (2006.01)

(72) 发明人 冯丹竹 赵坦 胡筱璇 于明光
朱隆浩 金耀辉

(56) 对比文件

CN 110592473 A, 2019.12.20

CN 105463170 A, 2016.04.06

CN 108179351 A, 2018.06.19

(51) Int. Cl.

审查员 常国勋

B32B 15/01 (2006.01)

B22D 19/00 (2006.01)

B21B 1/22 (2006.01)

C21D 1/18 (2006.01)

权利要求书1页 说明书10页

(54) 发明名称

一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料
及其制备方法

(57) 摘要

本发明提供了一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料及其制备方法,所述双金属复合材料中基板为钢板,铜合金板附着在钢板表面;铜合金与钢的板坯厚度之比为1:(5.6~11.2),制备方法,包括钢板预处理、预热、固液复合、复合板坯加热、热轧、矫直、热处理;应用本发明生产的铜钢双金属复合材料,使该种材料具有192~208HV的截面维氏硬度,截面硬度差 $\leq 16\text{HV}$,Z向抗拉强度 $R_m \geq 440\text{MPa}$,伸长率 $A \geq 25\%$,复合界面剪切强度240~260MPa,弯曲检验均合格,同时具有良好的耐海水腐蚀性能。

1. 一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料,其特征在于,所述复合双金属材料中基板为钢板,铜合金板附着在钢板表面;所述铜合金的成分按重量百分比计如下: Ni:15.0%~25.0%, Zn:5.0%~10.0%, Sn:0.5%~1.0%, Si:2.0%~3.0%, Mn:0.5%~1.3%, Fe:1.0%~1.5%, 余量为Cu及不可避免杂质;所述钢的成分按重量百分比计如下: C:0.07%~0.15%, Si:0.15%~0.25%, Mn:1.30%~1.40%, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.015\%$, Cr:0.10%~0.20%, V:0.05%~0.10%, Mo:0.02%~0.08%, B:0.002%~0.003%, 余量为Fe及不可避免杂质;所述的一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料的制备方法,具体工艺包括钢板预处理、预热、固液复合、复合板坯加热、热轧、热处理;

(1) 钢板预处理:首先在钢板表面铣出凹槽,所述凹槽深度为5~8mm,将凹槽表面进行机械打磨、酸洗、水洗、干燥,使凹槽表面铁锈打磨掉使其露出光亮的新鲜金属面,随后对钢板进行脱脂处理,将脱脂液加热至60~70℃对钢板表面进行脱脂处理,涂抗氧化剂后烘干备用;

(2) 预热:将预处理后的钢板加热至850~900℃,将其置于模具型腔中;

(3) 固液复合:在浇注开始前用惰性气体充满模具型腔,随后迅速将熔炼好的铜合金金属液浇注到预处理的钢板表面,浇注温度为1150~1200℃,之后空冷,空冷至铜合金侧温度为950~980℃时;取出浇注后坯料并立即在钢板底部喷冷却水冷却,直至浇注后坯料冷却至200~250℃,随后空冷至室温,经后续机械加工制得铜钢双金属复合板坯;

(4) 复合板坯加热:复合板坯加热温度910~960℃,均热段保温2~3h;

(5) 热轧:轧制温度控制在800~850℃,第一道次控制压下率为15%~17%,轧制总压下率为50%~60%;

(6) 热处理:随后将热轧后的复合板进行回火热处理,回火温度500~550℃,净保温时间2~3h,出炉空冷至室温。

2. 根据权利要求1所述的一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料,其特征在于,铜合金板与钢板厚度之比为1:(5.6~11.2)。

3. 根据权利要求1所述的一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料,其特征在于,所述铜合金板附着在钢板的一面或两面。

4. 根据权利要求1所述的一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料,其特征在于,所述复合材料截面硬度192~208HV,截面硬度差 $\leq 16\text{HV}$,Z向抗拉强度 $R_m \geq 440\text{MPa}$,伸长率 $A \geq 25\%$,复合界面剪切强度240~260MP。

5. 根据权利要求1所述的一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料,其特征在于,步骤(3)中复合双金属材料板坯中铜合金板坯厚度为5~8mm,铜合金板坯与钢板板坯厚度之比为1:(5~10)。

6. 根据权利要求1所述的一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料,其特征在于,步骤(2)中的模具型腔为石墨模具型腔。

7. 根据权利要求1所述的一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料,其特征在于,步骤(2)、步骤(4)一步骤(6)中任一工艺过程采用惰性气体或真空保护。

8. 根据权利要求7所述的一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料,其特征在于,所述惰性气体为氩气。

一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于金属材料生产领域,尤其涉及一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料及其制备方法。

背景技术

[0002] 海洋是最具有腐蚀的环境,是含3%NaCl海水+溶解气体+悬浮固体+有机物+生物体所组成的复合体。众多材料中碳钢的耐海水腐蚀性差,不锈钢会发生缝隙、应力、点蚀;在金属材料中,铜合金具有优良的耐海水腐蚀性能和抗氧化物生长能力,但成本较高。因此发展铜钢复合材料不仅可以发挥各自组元材料的性能优势,而且可以实现各组元材料之间的性能优势互补,满足单一金属材料不能达到的性能要求,并且可以节约贵重金属材料,具有较高的经济效益和社会效益。

[0003] 国内外一些专家学者致力于铜-钢双金属的研究,一方面减少贵重金属Cu的使用,另一方面提高复合材料的性能。

[0004] 申请号为200910044854.9的发明《铍青铜-钢复合材料双金属轴承材料及其制造方法》中提供的技术方案中,材料基层采用碳素钢为材料,表层为铍青铜合金,铍青铜合金烧结在碳素钢表面。采用粉末冶金烧结法原理把铍青铜合金烧结在碳素钢材料表面。其不足之处在于,但是烧结的双金属复合材料孔隙率大,力学性能差,承载能力和抗冲击性较差,使用寿命较短。

[0005] 申请号为200910162920.2的发明《一种铜钢复合材料及其制备方法》公开的技术方案中复合材料的化学成分重量比为:Cu 10%~15%,钢85%~90%,其结构为铜与钢复合为一体。将铜与钢带通过表面处理后,经冷轧轧制成高精度钢带和高精度铜带;经过表面清洗后,去除表面残留物,脱脂,经冷轧机轧制成高精度铜钢复合带,并进行退火。其不足之处在于,采用冷轧轧制复合的方法生产效率低,且成功率较低,产品易分层。

[0006] 申请号为01107029.3的发明《生产铜钢复合材料的等温熔接法》中首先将保护剂加入没有钢芯棒的复合坯料的钢芯棒与外壁间隙中,然后将电解铜加入复合坯料的料斗内;将加料后的复合坯料放入已经升温的井式电炉内,加热至1130~1150℃,待电解铜全部熔化后,电炉从底部开始逐段断电,使复合坯件从底向上顺序冷却。其不足之处在于,生产双金属复合材料受生产装备限制,尺寸有限,且不能大规模生产。

[0007] 申请号为200910306947.4的发明《铜钢复合构件的感应熔铸连接方法》解决了现有钎焊方法焊后工件气密性差、接头抗拉强度低的问题。采用感应熔铸方法,使复合构件中抗拉强度可达232MPa,但应用具有局限性,产品仅用于铜钢复合构件的连接。

[0008] 申请号为201210188109.3的发明《一种铜钢复合板材的生产方法》中采用表面清理-毛化处理-喷涂结合层-轧制-退火-平整、抛光等步骤进行双金属复合材料的生产,其不足之处在于,该方法对钢和铜表面粗糙度要求较高,且需喷涂结合层,不仅过程繁琐,生产效率低,且易造成结合界面不均匀。

[0009] 申请号为201710630328.5的发明《一种焊接式铜钢复合冷却壁制作方法》中首先

对铜板和钢板进行预处理:切割处理、除锈、打磨抛光、整平和弯曲,随后在惰性环境、高温、高压条件下,将铜板和钢板预处理过的板面相对,边轧制边进行跟踪焊接,形成铜钢复合冷却壁坯体,最后进行后续加工。其不足之处在于,该发明采用边轧制边进行焊接,难度较大,很难在大生产中同步进行,实施困难。

发明内容

[0010] 本发明的目的在于克服上述问题和不足而提供一种兼顾成本及使用性能,使复合材料具有高耐海水腐蚀性能,高强度、硬度、较高的剪切强度及高效的生产流程的一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料及其制备方法。

[0011] 本发明目的是这样实现的:

[0012] 一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料,所述双金属复合材料中基板为钢板,铜合金板附着在钢板表面;所述铜合金的成分按重量百分比计如下: Ni:15.0%~25.0%, Zn:5.0%~10.0%, Sn:0.5%~1.0%, Si:2.0%~3.0%, Mn:0.5%~1.3%, Fe:1.0%~1.5%, 余量为Cu及不可避免杂质;所述钢的成分按重量百分比计如下: C:0.07%~0.15%, Si:0.15%~0.25%, Mn:1.30%~1.40%, $P \leq 0.015\%$, $S \leq 0.015\%$, Cr:0.10%~0.20%, V:0.05%~0.10%, Mo:0.02%~0.08%, B:0.002%~0.003%, 余量为Fe及不可避免杂质。

[0013] 本发明双金属复合材料由铜合金板和基板钢板复合而成,铜合金与钢的板坯厚度之比为1:(5.6~11.2),所述铜合金板附着在钢板的一面或两面。

[0014] 所述复合材料截面硬度192~208HV,截面硬度差 $\leq 16\text{HV}$,Z向抗拉强度 $R_m \geq 440\text{MPa}$,伸长率 $A \geq 25\%$,复合界面剪切强度240~260MPa。

[0015] 本发明铜合金成分设计理由如下:

[0016] Ni:在本发明中,Ni在该种铜合金具有提高合金强度、韧性,抗应力腐蚀开裂作用,同时可以改善合金的加工性能,提高合金的耐腐蚀疲劳性能、耐侵蚀腐蚀、耐空泡腐蚀和抗海洋生物污损等性能,本发明在其他合金元素共同作用下,可达到B30合金的耐蚀效果,同时降低成本,因此本发明选择加入Ni:15.0%~25.0%。

[0017] Zn:提高本发明中铜合金 α 固溶体的塑性,合金强度随Zn含量的增加而不断提高。但Zn含量过高将影响材料塑性,因此本发明选择加入Zn:5.0%~10.0%。

[0018] Sn:本发明中Sn的加入不但可以提高铜合金的力学性能,还可以抑制铜合金脱Zn,增强铜合金的耐蚀性能。本发明中采用适量的Sn与Ni同时添加,一方面可提高强度和硬度,获得较好的弹性性能,而且在制备过程中很大程度上节约成本。因此本发明选择加入Sn:0.5%~1.0%。

[0019] Si:在该种铜合金中在不损失其耐蚀性能下,加入适量Si可提高强度,因此本发明选择加入Si:2.0%~3.0%。

[0020] Mn:本发明中适量的Mn起到固溶强化作用,提高合金强度而塑性不下降,因此本发明中Mn为0.5%~1.3%。

[0021] Fe:加入适量Fe有利于晶粒细化,并和Ni生成金属化合物析出,有利于提高合金耐冲刷腐蚀性能。但Fe含量过高,容易在晶界上出现脆性化合物,会降低腐蚀电位,从而影响合金的耐腐蚀性能。因此本发明中Fe:1.0%~1.5%。

[0022] 本发明钢的成分设计理由如下:

[0023] C:在本发明中,钢中的碳一部分进入钢的基体中引起固溶强化,另外一部分碳将与合金元素中的碳化物形成元素结合成合金碳化物,因此它对强度、塑韧性和焊接性等影响极大。但碳含量过高会与Cr形成碳化物,导致钢中耐蚀性下降,且影响抗碳化腐蚀的性能,因此本发明选择加入C含量为0.07%~0.15%。

[0024] Si:硅是强化铁素体重要元素之一,可以显著提高钢的强度和硬度,提高淬透性。当处在强氧化介质中时,Si可以提高钢的耐蚀性,研究表明Si和Mo一样具有良好的耐Cl⁻腐蚀性能,钢中Si含量越高,其点蚀电位越正,越不易腐蚀。但是Si的量过多,可使球化的碳化物颗粒直径变大,间距增大,同时促进偏析,导致带状组织形成,使横向性能低于纵向,因此,本发明选择加入Si含量为0.15%~0.25%。

[0025] Mn:是钢中的固溶强化元素,细化晶粒,降低韧脆转变温度,提高淬透性,钢中含有Mn可以改变钢在凝固时所形成的氧化物的性质和形状。同时它与S有较大的亲合力,可以避免在晶界上形成低熔点的硫化物FeS。但含量过高将影响钢的塑性,因此本发明选择加入Mn含量为1.30%~1.40%。

[0026] P、S:以MnS的形式分布于钢中,MnS在热轧过程中沿着轧制方向伸长,使得硫易切削钢的横向力学性能显著降低,加剧了钢材的各向异性。同时S对模具钢耐蚀性能有害,使焊接性能恶化。P虽能适量提高铁素体硬度,改进零件的表面光洁度和切削性能,但钢中P过高会增加冷脆,而且S、P过多会影响钢的均质性及纯净度。因此本发明选择加入P≤0.015%,S≤0.015%。

[0027] Cr:Cr可提高铁-铬合金的淬透性,能使钢钝化并赋予良好的耐蚀性和不锈性,Cr的腐蚀电位比铁要更负,钝化能力较铁要更强,在铁铬合金中,Cr含量增加会导致合金的腐蚀电位和临界钝化电位向负电位方向移动。因此本发明选择加入Cr含量为0.10%~0.20%。

[0028] V:V在本发明钢中以V₄C₃等碳化物稳定存在,通常以细小颗粒状态来抑制钢中晶界的移动和晶粒长大,钢中部分C、N被固定,直接影响钢中铁素体与珠光体含量,并改变铁素体的分布与形态。固溶于奥氏体中的V能够提高过冷奥氏体稳定性,降低转变温度,使珠光体团变小,珠光体片碎化,片间距变小。本发明中添加V可有效细化晶粒,起到细晶强化作用,因此本发明选择加入V含量为0.05%~0.10%。

[0029] Mo:Mo在钢中可提高钢的淬透性,同时在钢中形成特殊的碳化物,提高钢的热处理稳定性。Mo元素是提高该种钢耐点蚀性能最有效元素之一,Mo元素以MoO₄²⁻的形式溶解并吸附在金属表面形成保护膜,抑制Cl⁻的破坏,防止Cl⁻的穿透,使点蚀电位升高,点蚀速度降低,从而改善耐点蚀性能,但Mo含量过多将会促进δ铁素体的形成,导致不利影响。因此本发明选择加入Mo含量为0.02%~0.08%。

[0030] B:由于B与Fe原子半径比为0.79,硼原子无论与铁形成间隙固溶体或代为固溶体都会引起较大的畸变能。因此B易于在奥氏体晶界偏聚,填充部分晶界缺陷导致晶界处能量的降低,晶界处能量起伏降低,碳原子在晶界处的扩散受阻,奥氏体分解时新相在奥氏体晶界处形核困难,从而造成奥氏体分解的孕育期增长,抑制先共析铁素体在奥氏体晶界的形核,提高淬透性,有利于保证海洋工程用钢全厚度的强度。但若B含量过高,倾向于在晶界发生强烈偏聚,形成具有一定宽度的富集带,形成碳化物析出相,在变形过程中易造成应力集中,碳化物也提供连续扩展路径,呈解理断裂,同时B的过量析出也会对韧性产生一定影响。

因此,本发明选择加入B含量为0.002%~0.003%。

[0031] 本发明技术方案之二是提供一种海洋工程用铜钢固液复合双金属材料的制备方法,包括钢板预处理、预热、固液复合、复合板坯加热、热轧、矫直、热处理;

[0032] (1) 钢板预处理:首先在钢板表面铣出凹槽,所述凹槽深度为5~8mm,将凹槽表面进行机械打磨、酸洗、水洗、干燥,使凹槽表面铁锈打磨掉使其露出光亮的新鲜金属面,同时也使钢板表面变得毛化粗糙,大大增加了铜合金和基体钢板之间的有效接触面积,有利于提高复合材料过渡界面的力学性能。随后对钢板进行脱脂处理,为了有效去除钢板表面的油污,将脱脂液加热至60℃~70℃对钢板表面进行脱脂处理,随后进行丙酮清洗,涂抗氧化剂后烘干备用。

[0033] (2) 预热:将预处理后的钢板加热至850℃~900℃,之后将其置于石墨模具型腔中。钢板预热可保证铜合金在浇注过程中,液态铜合金与固态钢板之间存在一定的热量体积比,因为铜合金与钢板在复合时会发生元素扩散现象,较高的预热温度能够改善铜合金与基体钢板复合过程中的扩散反应条件,使得界面结合处原子具有足够的能量进行互扩散。优选预热过程处于惰性气体保护或真空保护。

[0034] (3) 固液复合:在浇注开始前用惰性气体充满石墨模具型腔,降低含氧量,减少氧化;随后迅速将熔炼好的铜合金金属液浇注到预处理的钢板表面,浇注温度为1150℃~1200℃,之后空冷,空冷至铜合金侧温度为950℃~980℃时;取出浇注后坯料并立即在钢板底部喷冷却水冷却,直至浇注后坯料冷却至200℃~250℃,立即在铜合金侧涂抗氧化剂,防止铜合金氧化,随后空冷至室温,经后续机械加工制得铜合金/钢双金属复合板坯。双金属复合板坯中铜合金板坯厚度为5~8mm,铜合金与钢的板坯厚度之比为1:(5~10)。

[0035] 本发明中采用该种厚度要求一方面根据铜钢双金属的流动变形行为,在后续轧制过程中以获得较为均匀的金属流动;一方面满足了海洋工程用钢使用需求,发挥铜合金优良的耐海水腐蚀性能和抗氧化物生长能力,同时节约贵重金属材料铜合金,具有较高的经济效益和社会效益。

[0036] 温度对促进原子扩散起主要作用,温度越高原子的热运动越激烈,原子在高温热源作用下被激活而进行迁移的几率就越大,在高温状态下原子在短时间内就可以获得足够的能量,偏离平衡位置进行迁移。本发明采用较高的铜合金浇注温度,使原子偏离平衡位置数目增多,各原子之间键合的几率越大,界面有效结合点迅速增加,使板坯复合界面宽度增加,界面结合强度增加。

[0037] 本发明在浇注后双金属复合坯料采用分段冷却的方法,一方面防止浇注复合后铜合金与钢板冷却速度慢,长时间处于高温段,使得晶粒长大,对材料剪切强度及抗拉强度产生不利影响,一方面提高冷却速度以减少氧化,减少复合板坯结合面处氧化物的产生同时提高生产效率,缩短复合材料制备周期。

[0038] (4) 复合板坯加热:由于铜合金和钢的熔点差别较大,钢的热轧温度几乎接近铜合金的熔化温度,所以应合理选择轧制加热温度。本发明板坯的加热温度控制在910℃~960℃,均热段保温2~3h。优选,复合板加热工艺过程处于惰性气体保护或真空保护。

[0039] (5) 热轧:由于钢和铜合金的热膨胀系数和延伸率不同,所以应合理确定压下量,以保证复合强度及设备安全。轧制温度在800℃~850℃,本发明热轧温度控制在熔点较低的铜合金再结晶温度以上,第一道次控制压下率为15%~17%,铜/钢板坯厚度比、热变形

温度及压下率综合作用对双金属复合材料的流动差异产生较大影响,采用该种厚度比、热轧温度及较大的首道次压下率可使结合界面变得平直,两侧金属间元素相互扩散增多,扩散距离较大,远离难变形区,进入易变形区,有利于金属间的协调变形,且首道次采用较大压下率可破碎铸态组织中的树枝晶,使复合处新生的结合界面增加,使结合处的夹杂减少并破碎分离,为后续轧制做准备。由于钢板和铜合金的延展性不同,经过轧制,势必会引起铜合金向四周铺展,铜合金在向四周铺展的同时,势必产生一个挤压力和横向撕力,因此为防止铜合金表面及结合界面开裂,并使界面结合处和基体组织均匀细小,后续采用小变形量多道次轧制生产,轧制过程中铜合金在上,钢板在下,防止铜合金磨损及划伤。本发明中控制轧制过程总压下率为50%~60%,一方面可使界面处脆性夹杂物和氧化物分布更加弥散,复合界面形成冶金结合;一方面晶粒发生滑移,出现位错的缠结,使晶粒拉长、破碎和纤维化,使金属塑性变形抗力增大,因此使得抗剪强度和抗拉强度进一步提升度。若进一步增加变形率对结合界面扩散层厚度几乎无影响,即结合界面性能几乎不变,且由于铜合金与钢的机械性能差异在轧制过程中易产生不相容的变形,因此进一步增加变形率对复合材料易产生不利影响。优选所述热轧工艺过程处于惰性气体保护或真空保护。

[0040] (6) 热处理:随后将热轧后的复合板进行回火热处理;回火温度500℃~550℃,净保温时间2~3h,出炉空冷至室温。由于复合材料结合层中金属原子扩散程度有限,且轧制过程中存在一定内应力,会导致复合材料强度降低。因此采用回火热处理使元素发生扩散有利于结合界面强度提高,降低复合界面原子间的内应力,进一步提升原子扩散效率,同时还可有效清除轧制导致的应力残余,确保产品具有良好的综合力学性能及良好的冶金结合。优选所述热处理工艺过程处于惰性气体保护或真空保护。

[0041] 进一步,所述步骤(2)、步骤(4)一步骤(6)中任一工艺过程采用惰性气体或真空保护;所述惰性气体为氩气;目的是为了防止铜合金氧化。

[0042] 本发明的有益效果在于:

[0043] 本发明双金属复合材料由铜合金板和基板钢板复合而成。本发明铜合金板采用增Sn降Ni,Si、Mn共同作用提高强度的铜合金成分设计思路,一方面可提高铜合金力学性能,提高弹性性能,一方面降低制造成本。配合基体铜合金钢板预处理、预热、固液复合、复合板坯加热、热轧、矫直、热处理的生产工艺得到铜钢双金属复合材料,使该种材料具有192~208HV的截面维氏硬度,截面硬度差 $\leq 16\text{HV}$,Z向抗拉强度 $R_m \geq 440\text{MPa}$,伸长率 $A \geq 25\%$,复合界面剪切强度240~260MPa,弯曲检验均合格,同时具有良好的耐海水腐蚀性能。本发明的双金属复合材料在海洋工程上具有广阔的应用前景。

具体实施方式

[0044] 下面通过实施例对本发明作进一步的说明。

[0045] 本发明实施例根据技术方案的组分配比,具体工艺包括钢板预处理、预热、固液复合、复合板坯加热、热轧、矫直、热处理。

[0046] (1) 钢板预处理:首先在钢板表面铣出凹槽,所述凹槽深度为5~8mm,将凹槽表面进行机械打磨、酸洗、水洗、干燥,使凹槽表面铁锈打磨掉使其露出光亮的新鲜金属面,随后对钢板进行脱脂处理,将脱脂液加热至60~70℃对钢板表面进行脱脂处理,涂抗氧化剂后烘干备用;

[0047] (2) 预热:将预处理后的钢板加热至850~900℃,将其置于模具型腔中;

[0048] (3) 固液复合:在浇注开始前用惰性气体充满模具型腔,随后迅速将熔炼好的铜合金金属液浇注到预处理的钢板表面,浇注温度为1150~1200℃,之后空冷,空冷至铜合金侧温度为950~980℃时;取出浇注后坯料并立即在钢板底部喷冷却水冷却,直至浇注后坯料冷却至200~250℃,立即在铜合金侧涂抗氧化剂,随后空冷至室温,经后续机械加工制得铜钢双金属复合板坯;

[0049] (4) 复合板坯加热:复合板坯加热温度910~960℃,均热段保温2~3h;

[0050] (5) 热轧:轧制温度控制在800~850℃,第一道次控制压下率为15%~17%,轧制总压下率为50%~60%;

[0051] (6) 热处理:随后将热轧后的复合板进行回火热处理,回火温度500~550℃,净保温时间2~3h,出炉空冷至室温。

[0052] 所述步骤(3)中双金属复合材料板坯中铜合金板坯厚度为5~8mm,铜合金与钢的板坯厚度之比为1:(5~10)。

[0053] 所述步骤(2)中的模具型腔为石墨模具型腔。

[0054] 所述步骤(2)、步骤(4)~步骤(6)中任一工艺过程可采用惰性气体或真空保护。所述惰性气体为氩气。

[0055] 本发明实施例复合材料的成分见表1。本发明实施例复合材料预处理及浇铸主要工艺参数见表2。本发明实施例复合材料加热和热轧主要工艺参数见表3。本发明实施例复合材料热处理工艺见表4。本发明实施例复合材料维氏硬度见表5。本发明实施例复合材料Z向拉伸性能见表6。本发明实施例复合材料复合界面剪切强度及弯曲性能见表7。本发明实施例复合材料平均腐蚀速率及最大点蚀深度见表8。

[0056] 表1本发明实施例复合材料的成分(wt%)

[0057]

实施例	铜合金化学成分								
	Ni	Zn	Sn	Si	Mn	Fe			
1	17	5.8	0.9	2.1	1.0	1.1			
2	18	9.0	0.52	2.5	0.8	1.48			
3	20	6.0	0.97	2.92	1.28	1.2			
4	15.2	9.9	0.8	2.9	1.1	1.45			
5	24	8.0	0.7	2.2	0.53	1.0			
6	24.8	5.3	0.76	2.7	0.6	1.35			
7	21	6.0	0.6	2.4	1.2	1.3			
8	19	7.0	0.85	2.3	0.7	1.19			
9	22	6.5	0.95	2.6	0.9	1.25			
10	23	8.5	0.58	2.8	1.0	1.4			
实施例	钢的化学成分								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo	B
1	0.08	0.16	1.39	0.013	0.010	0.15	0.09	0.075	0.0028
2	0.10	0.19	1.34	0.010	0.011	0.13	0.056	0.055	0.0024
3	0.12	0.21	1.35	0.015	0.015	0.13	0.083	0.04	0.0023
4	0.07	0.22	1.40	0.014	0.009	0.20	0.10	0.08	0.003
5	0.09	0.15	1.37	0.009	0.007	0.19	0.08	0.06	0.0027
6	0.15	0.24	1.30	0.007	0.012	0.10	0.05	0.02	0.002
7	0.13	0.25	1.32	0.011	0.014	0.12	0.055	0.034	0.0022
8	0.14	0.20	1.31	0.012	0.013	0.11	0.06	0.03	0.0021
9	0.09	0.18	1.38	0.008	0.008	0.17	0.076	0.07	0.0026
10	0.10	0.23	1.33	0.006	0.010	0.14	0.07	0.05	0.0025

[0058] 表2本发明实施例复合材料预处理及浇铸主要工艺参数

[0059]

实 施 例	成品双 金属复 合材料 厚度 mm	成品双 金属复 合材料 铜钢厚 度比例	脱脂液 加热温 度 ℃	钢板 加 热温 度 ℃	浇注温 度 ℃	空冷温 度 ℃	水冷温 度 ℃	铜合金 厚度 mm	铜钢 厚度比 例
1	27.83	1:11.2	65	880	1170	960	210	5.5	1:10
2	27.09	1:9.0	70	876	1185	955	220	7	1:8
3	24.00	1:5.6	67	900	1160	978	225	8	1:5
4	25.20	1:10.6	61	860	1155	980	230	5	1:9.5
5	29.21	1:9.5	66	850	1150	968	215	7.5	1:8.5
6	24.00	1:10.1	62	865	1200	950	250	6	1:9
7	22.91	1:7.3	69	889	1190	965	245	6.5	1:6.5
8	28.30	1:8.4	68	870	1198	975	240	7.4	1:7.5
9	27.45	1:7.8	63	890	1195	972	235	7.8	1:7
10	23.22	1:6.8	60	895	1180	964	200	7.9	1:6

[0060] 表3本发明实施例复合材料加热和热轧主要工艺参数

[0061]

实施例	加热温度 ℃	保温时间 h	轧制温度 ℃	第一道次压下率 %	总压下率 %
1	950	2.4	845	16.0	54
2	910	2.8	800	15.5	57
3	925	3	825	17.0	50
4	930	2	830	16.8	52
5	940	2.1	840	15.0	59
6	960	2.9	850	15.3	60
7	955	2.7	840	16.3	53
8	915	2.5	810	16.5	55
9	920	2.6	820	15.8	56
10	945	2.2	836	15.2	58

[0062] 表4本发明实施例复合材料热处理工艺

[0063]

实施例	加热温度/℃	保温时间/h
1	510	2.5
2	550	2.3
3	525	2.9
4	518	3.0
5	500	2.1
6	505	2.0
7	520	2.4
8	530	2.7
9	540	2.8
10	545	2.2

[0064] 表5本发明实施例复合材料维氏硬度

[0065]

实施例	位置	HV			截面硬度差 (HV)
1	铜	194	192	193	15
	界面	200	199	198	
	钢	207	206	207	
2	铜	192	193	192	12
	界面	198	197	199	
	钢	200	204	203	
3	铜	193	194	193	14
	界面	199	200	201	
	钢	206	205	207	
4	铜	197	195	196	13
	界面	200	199	202	
	钢	208	206	206	
5	铜	199	198	199	10
	界面	200	203	201	
	钢	208	206	207	
6	铜	197	196	195	11
	界面	198	199	202	
	钢	206	206	204	
7	铜	193	192	192	16
	界面	199	200	203	
	钢	206	208	205	
8	铜	198	196	195	10
	界面	203	200	204	
	钢	205	205	204	
9	铜	196	195	196	12
	界面	204	201	198	
	钢	207	206	204	
10	铜	192	195	193	14
	界面	200	202	203	
	钢	204	206	203	

[0066] 表6本发明实施例复合材料Z向拉伸性能

[0067]

实施例	Rm (MPa)	A (%)
1	445	25.6
2	448	25.2
3	442	25.9
4	440	26.2
5	449	25.0
6	450	25.0
7	441	26.3
8	447	25.7
9	444	25.8

10	443	26.1
----	-----	------

[0068] 表7发明实施例复合材料复合界面剪切强度及弯曲性能

实施例	剪切强度 (MPa)	弯曲试验 (d=2a)	
		正弯	反弯
1	252	合格	合格
2	258	合格	合格
3	247	合格	合格
4	245	合格	合格
5	240	合格	合格
6	259	合格	合格
7	253	合格	合格
8	244	合格	合格
9	260	合格	合格
10	255	合格	合格

[0070] 表8本发明实施例复合材料平均腐蚀速率及最大点蚀深度

实施例	平均腐蚀速率 (mm/a)	最大点蚀深度 (mm)
1	0.015	0.078
2	0.0137	0.077
3	0.0146	0.071
4	0.014	0.072
5	0.012	0.075
6	0.0135	0.079
7	0.013	0.074
8	0.0127	0.073
9	0.0138	0.076
10	0.0126	0.070

[0072] 备注：腐蚀试验：各实施例铜侧（规格为 $50 \times 20 \times 2\text{mm}$ ）在人造海水（pH=8）温度 25°C ，试验3个月的平均腐蚀速率及最大点蚀深度

[0073] 为了表述本发明，在上述中通过实施例对本发明恰当且充分地进行了说明，以上实施方式仅用于说明本发明，而并非对本发明的限制，有关技术领域的普通技术人员，在不脱离本发明的精神和范围的情况下，还可以做出各种变化和变型，所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内，本发明的专利保护范围应由权利要求限定。