



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104152744 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 19

(21) 申请号 201410321947. 2

(22) 申请日 2014. 07. 08

(71) 申请人 宁夏东方铝业股份有限公司

地址 753000 宁夏回族自治区石嘴山市大武口区冶金路

(72) 发明人 李永林 朱宝辉 刘守田 胡革全
汤泉乐 沈立华 孟鑫 马乐
王培军

(74) 专利代理机构 宁夏专利服务中心 64100

代理人 徐淑芬

(51) Int. Cl.

C22C 14/00 (2006. 01)

C22F 1/18 (2006. 01)

权利要求书2页 说明书7页

(54) 发明名称

一种低成本中高强度耐蚀钛合金及其加工方法

(57) 摘要

本发明涉及一种低成本中高强度耐蚀钛合金及其加工方法,其特征在于其合金成分按重量百分数计为:Al:3.5%~4.5%,V:2.0%~3.0%,Fe:1.2%~1.8%,O:0.20%~0.30%,铂族元素Pd:0.04%~0.08%或Ru:0.12%~0.25%或Rh:0.08%~0.14%,余量为Ti,其它杂质要求元素要求为:C≤0.08%,N≤0.03%,H≤0.015%。本发明通过选用廉价的Fe和TiO₂、选用低等级海绵钛和添加TC4回收残料,使得新合金的制备成本相比TC4合金降低30%以上;通过添加铂族元素(钌、钨、铑),使得合金的耐腐蚀性性能与TA9和TA10相当,但机械强度比纯钛高出很多;经过热处理后的新合金,其强度和塑性都好于TC4合金,可以进行冷加工,可以冷轧管材、薄板和片材。

1. 一种低成本中高强度耐蚀钛合金,其特征在于其合金成分按重量百分数计为:Al:3.5%~4.5%,V:2.0%~3.0%,Fe:1.2%~1.8%,O:0.20%~0.30%,铂族元素Pd:0.04%~0.08%或Ru:0.12%~0.25%或Rh:0.08%~0.14%,余量为Ti,其它杂质要求元素要求为: $C \leq 0.08\%$, $N \leq 0.03\%$, $H \leq 0.015\%$;

所得合金的室温力学性能达到: $\sigma_b:1000 \sim 1100\text{Mpa}$, $\delta:18\% \sim 25\%$, $\psi:45\% \sim 60\%$ 。

2. 按照权利要求1所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征是:首先按照合金成分配比将海绵钛、中间合金、TC4二次回收料、二氧化钛和铂族金属粉进行混料,压制电极,然后进行两至三次真空自耗熔炼成铸锭,铸锭经开坯和棒坯锻造后进行棒材、管材和板材的生产;

上述中间合金为铝豆、铝钒和铁钉的混合物。

3. 按照权利要求2所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在于所述开坯和板坯锻造采用快锻机实现,开坯前对铸锭表面进行涂层处理,锻造开坯温度为 $950 \sim 1050^\circ\text{C}$,保温1~2小时,锻造比2~10,终锻温度 $\geq 800^\circ\text{C}$,棒坯锻造温度为 $850 \sim 1000^\circ\text{C}$,保温1~2小时,锻造比2~6,终锻温度 $\geq 750^\circ\text{C}$,棒坯规格为直径 $180 \sim 300 \times L \text{ mm}$,棒坯锻造火次为1~6火次。

4. 按照权利要求2所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在于所述棒材的生产工序包括:成品锻造和成品热处理。

5. 按照权利要求2所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在于所述管材的生产工艺包括:热挤压,表面处理,中间品热处理,管材冷轧和成品热处理。

6. 按照权利要求2所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在于所述板材的生产工艺包括:热轧、表面处理,中间品热处理,板材冷轧和成品热处理。

7. 按照权利要求4所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在于所述成品锻造采用快锻机和精锻机实现,锻造加热前首先对棒坯表面进行涂层处理,棒坯锻造温度为 $850 \sim 1000^\circ\text{C}$,保温1~2小时,锻造比2~6,终锻温度 $\geq 750^\circ\text{C}$,棒坯锻造火次为1~6火次。

8. 按照权利要求5所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在于所述热挤压是指采用挤压方法或斜轧穿孔方法进行管坯制备,其中挤压方法中控制挤压温度为 $850 \sim 930^\circ\text{C}$,保温1~3小时;斜轧穿孔方法中控制中频加热温度为 $900 \sim 950^\circ\text{C}$,保温10~30分钟。

9. 按照权利要求5所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在于所述管材冷轧采用两辊冷轧开坯一至三道次直接轧制成品,轧制速度为10~60次/分钟,轧制送进量为2~8mm,每一道次变形量为20~50%,总加工率为30~70%。

10. 按照权利要求6所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在于所述热轧过程中,控制开坯或一火加热温度为 $850 \sim 950^\circ\text{C}$,保温1~2小时,总加工率70~90%,终轧温度 $\geq 750^\circ\text{C}$,2~4火次热轧加热温度为 $750 \sim 880^\circ\text{C}$,保温1~2小时,每火次总加工率60~80%,终锻温度 $\geq 600^\circ\text{C}$ 。

11. 按照权利要求6所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在于所述板材冷轧采用两辊冷轧3~5次,道次变形量为10%~30%,总加工率为40%~60%。

12. 按照权利要求4、5或6所述的低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征在

于所述中间品热处理或成品热处理采用真空退火热处理方式,退火温度为 750 ~ 850℃,保温 1 ~ 3 小时,真空度不低于 1×10^{-1} Pa。

一种低成本中高强度耐蚀钛合金及其加工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及有色金属材料技术领域,特别是涉及一种低成本中高强度耐蚀钛合金及其加工方法。

背景技术

[0002] 钛及钛合金因具有密度小、比强度高、耐腐蚀等优点,被誉为“海洋金属”和“太空金属”,广泛用于航空航天、军工、船舶、化工、医学、体育、汽车等领域。

[0003] TC4 (Ti-6Al-4V) 钛合金是 1954 年研制成功的等轴马氏体型两项合金,现在已经发展成为世界各国最通用的钛合金,是中强钛合金的代表,广泛用于航空构件、军工、医疗和其他民用领域。但是由于其冷加工硬化程度强烈,在轧制过程中很容易出现开裂现象,不能进行冷加工,只能采用机加和挤压的方法进行制备,这样就必然存在着成本高、成材率低的问题。而且,研究表明,钛金属在氧化性、中性或弱还原性介质中,表面容易形成保护性钝化膜,使其具有很强的耐蚀性,但在还原性酸溶液或强氧化性介质中,由于表面难以形成完整的保护性钝化膜,耐蚀性便不够理想,在高温氯化物溶液中还会产生缝隙腐蚀。因此,为了进一步提高钛的耐蚀性,开发了典型的 TA9 和 TA10 耐蚀钛合金,但是这两种合金由于合金元素浓度低,适用的介质范围比较窄,其机械强度与纯钛相比没有显著的提高。

[0004] 现有技术中,还有一些针对 TC4、TA9 和 TA10 进行改进的技术,如:

中国专利 CN 103045905 A 公开了一种低成本钛合金制备方法,该专利中合金成分按重量百分比计为 Al :0 ~ 3%, Cr :1.6 ~ 4%, Fe :1 ~ 2%, Si :0.01 ~ 0.13%, B :0 ~ 0.1%, 余量为钛,其中 Cr/Fe 为 1.6 ~ 2.0,所述钛合金的 $K\beta$ 值范围是 0.5 ~ 0.95, $K\beta$ 计算公式如下所示: $K\beta = C1/CK1 + C2/CK2 + C3/CK3 + \dots + Cn/CKn$, 其中 Cn 为合金元素在合金内的重量含量%, CK 为常用 β 稳定元素的临界浓度 (wt%)。将海绵钛、铬铁中间合金、单值硼、铁单质和 / 或铝豆,按所述的合金成分分层布料压制电极,用真空自耗熔炼炉二次熔炼得到铸锭。该发明合金的原材料成本低,且基本力学性能与 Ti-6Al-4V 相当。

[0005] 中国专利 CN 102061408 A 公开了一种低成本钛合金制备方法,该方法采用廉价的 Fe-Mo 中间合金和 Al-Mo 中间合金代替昂贵的合金元素,同时向海绵钛中添加钛的边角料或残料,利用真空自耗电弧炉熔炼制备钛合金。本发明在增大钛边角料或残料在合金制备中所占的比例的同时采用大变形量加工等短流程加工方法,使得钛合金的制备成本降低 30% 以上。

[0006] 中国专利 CN 102828058 A 公开了一种低成本钛合金制备方法,该方法为:一、根据 Ti-1.5Fe-2.5Mo 合金的名义成分将钛粉和 MoFe 中间合金粉末按配比混合均匀,得到混合粉末;二、将混合粉末经冷等静压方式压制成型,得到粉末压坯;三、将粉末压坯在温度为 1250℃ ~ 1350℃ 的真空条件下烧结,得到 Ti-1.5Fe-2.5Mo 合金。该发明采用粒度较粗的纯钛粉为原料,大大降低了钛粉氧含量,从而控制合金中的氧含量,进一步提高了 Ti-1.5Fe-2.5Mo 合金零件的塑性和疲劳性能,制备的合金的相对密度达到 97% 以上,抗拉强度达到 850MPa 以上,延伸率不小于 15%,断面收缩率不小于 20%。

[0007] 中国专利 CN 1962913 A 公开了一种可调节性能的低成本钛合金,该技术在钛中加入 Al、Fe、Cr、Ni、S、B、C、Mo 等八种元素,其重量百分数组成按以下公式描述: $X+Y+Z+Ti=100\%$,其中 $X=Al \leq 6\%$, $Y=[(0.3 \leq Fe \leq 5\%)+(0.1 \leq Cr \leq 2\%)] \leq 7\%$, $Z=[(Ni \leq 0.5\%)+(S \leq 1\%)+(B \leq 0.5\%)+(Mo \leq 0.8\%)+(C \leq 0.5\%)] \leq 3\%$,按上述配置好的合金料经混合压制制成自耗电极,在真空电弧炉中两次熔炼制成: X 、 Y 、 Z 参数任意固定一个改变另两个能调配出所需钛合金的力学性能, σ_b 可以在 350Mpa ~ 1250Mpa 内调节, δ 可以在 5% ~ 30% 内调节, ψ 可以在 10% ~ 55% 内调节。这样不仅成本可大幅度下降,而且可以得到不同力学性能的钛合金,使钛合金的应用领域更加广阔。

[0008] 中国专利 CN 1170767 A 公开了一种新型耐蚀钛合金,该合金成分(按 % 重量计)为: $Ni=0.3 \sim 3$, $Cr=0.3 \sim 3$, $Mo=0.3 \sim 3$, $Cu=0.3 \sim 3$ 及平衡量的 Ti,且合金可用熔铸压力加工方法或粉末冶金方法制造。该技术由于采用少量多元合金化的方法,在合金中加入适量的 Ni、Cr、Mo、Cu 元素,大大提高了合金的机械强度和在各种介质中的耐蚀性,扩大了适用介质范围,此外合金加工性能良好,不含稀贵金属,制造成本低,具有市场竞争力和推广使用价值。

[0009] 中国专利 CN 101481759 A 公开了一种制备含钎耐蚀钛合金的方法,该技术不改变原钛及钛合金生产工艺,仅需在电极压制工序添加一定量的钎粉即可生产含钎钛合金的新冶炼工艺,生产的钛钎钎元素分布均匀,无夹杂等冶金缺陷,具有操作简便、成本低廉和成分控制精确、稳定等显著优点,解决了钎元素在钛钎冶炼中的添加问题,生产的含钎钛合金材不影响其常规性能的前提下,提高了钛材料的耐蚀性,可以满足工业领域钛材的使用需要。

[0010] 中国专利 CN 101476059 A 公开了一种中强高塑钛合金,该技术中由于铝、锆、钼、钒和铁等元素的固溶强化效果,合金可保持一定的强度等级,降低合金的原材料成本,改善了合金的冷加工性能,冷变形量增加,工艺流程缩短,相应的降低了材料的加工成本,改善了材料的弯曲、折弯、冲压等工艺性能,可进一步满足用户的成型需要。

[0011] 但是,上述专利技术仅仅是针对 TC4、TA9 和 TA10 的某一项性能进行的改进:即或实现了成本的减低,或提高了合金的强度和塑性,或改善了合金的冷加工性能,或提高了耐腐蚀性能,并没有一项技术可以使钛合金的加工在成本降低的同时,又能够在强度、塑性、冷加工性能和耐腐性能上同时得到提高。

发明内容

[0012] 本发明的目的就在于克服上述现有技术的缺陷,提供一种在成本降低的同时,又能够在强度、塑性、冷加工性能和耐腐性能上同时得到提高的低成本中高强度耐蚀钛合金。

[0013] 本发明的另一目的是提供上述低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法。

[0014] 为实现本发明的目的所采取的技术方案为:

一种低成本中高强度耐蚀钛合金,其特征在于其合金成分按重量百分数计为:Al:3.5% ~ 4.5%,V:2.0% ~ 3.0%,Fe:1.2% ~ 1.8%,O:0.20% ~ 0.30%,铂族元素 Pd:0.04% ~ 0.08% 或 Ru:0.12% ~ 0.25% 或 Rh:0.08% ~ 0.14%,余量为 Ti,其它杂质要求元素要求为:C \leq 0.08%,N \leq 0.03%,H \leq 0.015%;

所得合金的室温力学性能达到: σ_b :1000 ~ 1100Mpa, δ :18% ~ 25%, ψ :45% ~ 60%。

[0015] 一种低成本中高强度耐蚀钛合金的加工方法,其特征是:首先按照合金成分配比将海绵钛、中间合金、TC4 二次回收料、二氧化钛和铂族金属粉进行混料,压制成电极,然后进行两至三次真空自耗熔炼成铸锭,铸锭经开坯和棒坯锻造后进行棒材、管材和板材的生产;

上述中间合金为铝豆、铝钒和铁钉的混合物。

[0016] 所述开坯和板坯锻造采用快锻机实现,开坯前对铸锭表面进行涂层处理,锻造开坯温度为 950 ~ 1050℃,保温 1 ~ 2 小时,锻造比 2 ~ 10,终锻温度 \geq 800℃,棒坯锻造温度为 850 ~ 1000℃,保温 1 ~ 2 小时,锻造比 2 ~ 6,终锻温度 \geq 750℃,棒坯规格为直径 180 ~ 300×L mm,棒坯锻造火次为 1 ~ 6 火次。

[0017] 所述棒材的生产工序包括:成品锻造和成品热处理。

[0018] 所述管材的生产工艺包括:热挤压,表面处理,中间品热处理,管材冷轧和成品热处理。

[0019] 所述板材的生产工艺包括:热轧、表面处理,中间品热处理,板材冷轧和成品热处理。

[0020] 所述成品锻造采用快锻机和精锻机实现,锻造加热前首先对棒坯表面进行涂层处理,棒坯锻造温度为 850 ~ 1000℃,保温 1 ~ 2 小时,锻造比 2 ~ 6,终锻温度 \geq 750℃,棒坯锻造火次为 1 ~ 6 火次。

[0021] 所述热挤压是指采用挤压方法或斜轧穿孔方法进行管坯制备,其中挤压方法中控制挤压温度为 850 ~ 930℃,保温 1 ~ 3 小时;斜轧穿孔方法中控制中频加热温度为 900 ~ 950℃,保温 10 ~ 30 分钟。

[0022] 所述管材冷轧采用两辊冷轧开坯一至三道次直接轧制成品,轧制速度为 10 ~ 60 次/分钟,轧制送进量为 2 ~ 8mm,每一道次变形量为 20 ~ 50%,总加工率为 30 ~ 70%。

[0023] 所述热轧过程中,控制开坯或一火加热温度为 850 ~ 950℃,保温 1 ~ 2 小时,总加工率 70 ~ 90%,终轧温度 \geq 750℃,2 ~ 4 火次热轧加热温度为 750 ~ 880℃,保温 1 ~ 2 小时,每火次总加工率 60 ~ 80%,终锻温度 \geq 600℃。

[0024] 所述板材冷轧采用两辊冷轧 3 ~ 5 次,道次变形量为 10% ~ 30%,总加工率为 40% ~ 60%。

[0025] 所述中间品热处理或成品热处理采用真空退火热处理方式,退火温度为 750 ~ 850℃,保温 1 ~ 3 小时,真空度不低于 1×10^{-1} Pa。本发明是在 TC4 钛合金的基础上提出的一种新合金,用廉价的 Fe 和 TiO₂ 代替昂贵的金属 V,在合金的组成上降低了成本;同时由于 Fe 和 O 元素含量较高,在电极制备过程中又选用低等级海绵钛和添加 TC4 回收残料,从而进一步降低了成本,最终使得新合金的制备成本相比 TC4 合金降低 30% 以上。

[0026] 本发明的新合金经过热处理后 σ_b 为 1000 ~ 1100Mpa, δ 为 18% ~ 25%, ψ 为 45% ~ 60%,其强度和塑性都好于 TC4 合金,可以进行冷加工,可以冷轧管材、薄板和片材。

[0027] 本发明的新合金通过添加铂族元素(钯、钌、铑),使得合金的耐腐蚀性性能与 TA9 和 TA10 相当,但机械强度比纯钛高出很多。

具体实施方式

[0028] 下面结合实例对本发明的具体实施方式作详细说明。应该理解的是,实例是用于

说明本发明而不是对本发明的限制。本发明的范围与核心内容依据权利要求书加以确定。

[0029] 本发明的低成本中高强度耐蚀钛合金棒材制造的工艺路线如下：

海绵钛 + 中间合金 + TC4 二次回收料 + 二氧化钛 + 铂族金属粉 → 混料 → 制备电极 → 两次真空自耗电弧炉熔炼 → 扒皮 → 锻造 → 热处理 → 机加工 → 精整 → 成品棒材。

[0030] 本发明的低成本中高强度耐蚀钛合金板材制造的工艺路线如下：

海绵钛 + 中间合金 + TC4 二次回收料 + 二氧化钛 + 铂族金属粉 → 混料 → 制备电极 → 两次真空自耗电弧炉熔炼 → 扒皮 → 锻造 → 机加工 → 涂层 → 热轧 → 表面处理 → 热处理 → 表面处理 → 冷轧 → 表面处理 → 热处理 → 精整 → 成品板材。

[0031] 本发明的低成本中高强度耐蚀钛合金管材制造的工艺路线如下：

海绵钛 + 中间合金 + TC4 二次回收料 + 二氧化钛 + 铂族金属粉 → 混料 → 制备电极 → 两次真空自耗电弧炉熔炼 → 扒皮 → 锻造 → 机加工 → 钻孔 → 热挤压 → 表面处理 → 冷轧 → 表面处理 → 热处理 → 精整 → 成品管材。

[0032] 下述各个实施例，均采用上述工艺路线，只不过对于常规工艺的描述进行了省略，如扒皮、机加工、表面处理、精整等工序。其中表面处理：对热加工板坯需进行碱洗（配比为 85 ~ 95%NaOH+15 ~ 5NaNO₃，重量百分比）和酸洗（配比为 HF :HNO₃ :H₂O=5 ~ 10% :30 ~ 40% :余量，体积比）去除表面氧化皮，水洗清洁，再进行表面修磨，保证表面无肉眼可见的表面缺陷。对热加工管坯需进行酸洗和水洗或者碱洗、酸洗和水洗除去表面涂层或表面氧化皮（在 HF :H₂SO₄ :HNO₃ :H₂O=1.5 ~ 2.5 :20 :34 ~ 39 :100（体积比）混合液中，浸泡 1 ~ 3 小时），再进行表面扒皮（机械扒皮或手工刮料），内表面采用镗孔处理，镗孔量 0.2 ~ 1.5mm，成品外表面采用机械抛光的方式，磨抛量 0.1 ~ 0.3mm。

[0033] 实施例 1：

本实施例合金配方为：Al :3.5%，V :2.5%，Fe :1.5%，O :0.25%，Pd :0.04%，余量为 Ti 和不可避免的杂质，采用二级海绵钛，二氧化钛、TC4 二次回收料、Al-V、铝豆和铁钉，按上述重量百分比配料、混料、压制成电极，在真空自耗电弧炉中进行二次熔炼，铸锭规格为 Φ365×Lmm，扒皮后为 Φ350×Lmm。铸锭先进行涂层处理，然后进行开坯和板坯锻造，锻造开坯温度为 950℃，保温 1.5 小时，终锻温度 ≥ 800℃，板坯锻造温度为 850℃，保温 1 小时，终锻温度 ≥ 750℃，板坯规格为厚度 30×宽度 300×L mm，板坯锻造火次为 3 火次。板坯机加工去除表面缺陷后，涂层，加热 900℃ /1h，热轧至厚度 20mm 的中间坯料。中间坯料经除油处理，700℃退火、表面修磨处理后，在冷轧机上三道次最终轧制到 3mm，经除油、退火碱酸洗精整工序得到成品板材。成品板材经 700℃ /1h 的热处理制度后，取力学样品进行测试，结果：抗拉强度为 1050MPa，规定非比例延伸强度 950MPa，延伸率为 21%，断面收缩率为 55%。常温下在 15% 盐酸和 20% 硫酸中年腐蚀率分别为 0.17 和 0.12mm/a。经测算成品板材的制造成本相比同规格 TC4 板材的成本降低了 32%。

[0034] 实施例 2：

本实施例合金配方为：Al :4.0%，V :2.5%，Fe :1.5%，O :0.25%，Pd :0.06%，余量为 Ti 和不可避免的杂质，采用二级海绵钛，二氧化钛、TC4 二次回收料、Al-V、铝豆和铁钉，按上述重量百分比配料、混料、压制成电极，在真空自耗电弧炉中进行二次熔炼，铸锭规格为 Φ365×Lmm，扒皮后为 Φ350×Lmm。铸锭先进行涂层处理，然后进行开坯和板坯锻造，锻造开坯温度为 950℃，保温 1.5 小时，终锻温度 ≥ 800℃，板坯锻造温度为 850℃，保温 1 小时，

终锻温度 $\geq 750^{\circ}\text{C}$,板坯规格为厚度 $30\times$ 宽度 $300\times L$ mm,板坯锻造火次为3火次。板坯机加祛除表面缺陷后,涂层,加热 $900^{\circ}\text{C}/1\text{h}$,热轧至厚度20mm的中间坯料。中间坯料经除油处理, 700°C 退火、表面修磨处理后,在冷轧机上三道次最终轧制到1.5mm,经除油、退火碱酸洗精整工序得到成品板材。成品板材经 $700^{\circ}\text{C}/1\text{h}$ 的热处理制度后,取力学样品进行测试,结果:抗拉强度为1100MPa,规定非比例延伸强度980MPa,延伸率为20%,断面收缩率为54%。常温下在15%盐酸和20%硫酸中年腐蚀率分别为0.16和0.11mm/a。经测算成品板材的制造成本相比同规格TC4板材的成本降低了31%。

[0035] 实施例3:

本实施例合金配方为:Al:4.5%,V:2.5%,Fe:1.5%,O:0.25%,Pd:0.08%,余量为Ti和不可避免的杂质,采用二级海绵钛,二氧化钛、TC4二次回收料、Al-V、铝豆和铁钉,按上述重量百分比配料、混料、压制成电极,在真空自耗电弧炉中进行二次熔炼,铸锭规格为 $\Phi 365\times L$ mm,扒皮后为 $\Phi 350\times L$ mm。铸锭先进行涂层处理,然后进行开坯和板坯锻造,锻造开坯温度为 950°C ,保温1.5小时,终锻温度 $\geq 800^{\circ}\text{C}$,板坯锻造温度为 850°C ,保温1小时,终锻温度 $\geq 750^{\circ}\text{C}$,板坯规格为厚度 $30\times$ 宽度 $300\times L$ mm,板坯锻造火次为3火次。板坯机加祛除表面缺陷后,涂层,加热 $900^{\circ}\text{C}/1\text{h}$,热轧至厚度20mm的中间坯料。中间坯料经除油处理, 700°C 退火、表面修磨处理后,在冷轧机上四道次最终轧制到1mm,经除油、退火碱酸洗精整工序得到成品板材。成品板材经 $750^{\circ}\text{C}/1\text{h}$ 的热处理制度后,取力学样品进行测试,结果:抗拉强度为1090MPa,规定非比例延伸强度970MPa,延伸率为22%,断面收缩率为55%。常温下在15%盐酸和20%硫酸中年腐蚀率分别为0.17和0.13mm/a。经测算成品板材的制造成本相比同规格TC4板材的成本降低了30.5%。

[0036] 实施例4:

本实施例合金配方为:Al:3.9%,V:2.6%,Fe:1.2%,O:0.3%,Ru:0.08%,余量为Ti和不可避免的杂质,采用二级海绵钛,二氧化钛、TC4二次回收料、Al-V、铝豆和铁钉,按上述重量百分比配料、混料、压制成电极,在真空自耗电弧炉中进行二次熔炼,铸锭规格为 $\Phi 625\times L$ mm,扒皮后为 $\Phi 590\times L$ mm。铸锭经 1000°C 加热,保温1.5小时,3火次锻至 $\Phi 220$ mm的挤压管坯用棒材。棒坯经钻孔后,在3500吨挤压机上加热 $900^{\circ}\text{C}/1.5\text{h}$,挤压成 $\Phi 70\times 8$ mm的管坯,管坯经酸洗、 $750^{\circ}\text{C}/1\text{h}$ 退火、矫直和精整工序得到冷轧管材坯料。采用两辊冷轧开坯两道次,多辊直接冷轧成 $\Phi 38\times 1.2$ mm成品管材。管坯或半成品管内表面使用氯化石蜡、外表面使用机油和石蜡混合液进行润滑,轧制速度为10~60次/分钟,轧制送进量为2~8mm,每一道次变形量为20~50%,总加工率为30~70%。成品管材经 $700^{\circ}\text{C}/1\text{h}$ 的热处理制度后,取力学样品进行测试,结果:抗拉强度为1100MPa,规定非比例延伸强度970MPa,延伸率为24%,断面收缩率为60%。常温下在15%盐酸和20%硫酸中年腐蚀率分别为0.11和0.09mm/a。经测算成品管材的制造成本相比同规格TC4管材的成本降低了35%。

[0037] 实施例5:

本实施例合金配方为:Al:3.9%,V:2.6%,Fe:1.5%,O:0.3%,Ru:0.10%,余量为Ti和不可避免的杂质,采用二级海绵钛,二氧化钛、TC4二次回收料、Al-V、铝豆和铁钉,按上述重量百分比配料、混料、压制成电极,在真空自耗电弧炉中进行二次熔炼,铸锭规格为 $\Phi 625\times L$ mm,扒皮后为 $\Phi 590\times L$ mm。铸锭经 1000°C 加热,保温1.5小时,3火次锻至 $\Phi 220$ mm的挤压管坯用棒材。棒坯经钻孔后,在3500吨挤压机上加热 $930^{\circ}\text{C}/1.5\text{h}$,挤压

成 $\Phi 120 \times 10\text{mm}$ 的管坯,管坯经酸洗、 $800^\circ\text{C} / 1\text{h}$ 退火、矫直和精整工序得到冷轧管材坯料。采用两辊冷轧开坯两道次,多辊直接冷轧成 $\Phi 89 \times 3.5\text{mm}$ 成品管材。管坯或半成品管内表面使用氯化石蜡、外表面使用机油和石蜡混合液进行润滑,轧制速度为 $10 \sim 60$ 次 / 分钟,轧制送进量为 $2 \sim 8\text{mm}$,每一道次变形量为 $20 \sim 50\%$,总加工率为 $30 \sim 70\%$ 。成品管材经 $750^\circ\text{C} / 1\text{h}$ 的热处理制度后,取力学样品进行测试,结果:抗拉强度为 1080MPa ,规定非比例延伸强度 950MPa ,延伸率为 23% ,断面收缩率为 58% 。常温下在 15% 盐酸和 20% 硫酸中年腐蚀率分别为 0.09 和 0.11mm/a 。经测算成品管材的制造成本相比同规格 TC4 管材的成本降低了 36% 。

[0038] 实施例 6:

本实施例合金配方为:Al :3.9%, V :2.6%, Fe :1.8%, O :0.3%, Ru :0.14%, 余量为 Ti 和不可避免的杂质,采用二级海绵钛,二氧化钛、TC4 二次回收料、Al-V、铝豆和铁钉,按上述重量百分比配料、混料、压制成电极,在真空自耗电弧炉中进行二次熔炼,铸锭规格为 $\Phi 625 \times L\text{mm}$,扒皮后为 $\Phi 590 \times L\text{mm}$ 。铸锭经 1000°C 加热,保温 1.5 小时,4 火次锻至 $\Phi 155\text{mm}$ 的挤压管坯用棒材。棒坯经钻孔后,在 3500 吨挤压机上加热 $850^\circ\text{C} / 1.5\text{h}$,挤压成 $\Phi 48 \times 5\text{mm}$ 的管坯,管坯经酸洗、 $700^\circ\text{C} / 1\text{h}$ 退火、矫直和精整工序得到冷轧管材坯料。采用两辊冷轧开坯四道次,多辊两道次直接冷轧成 $\Phi 8 \times 0.5\text{mm}$ 成品管材。管坯或半成品管内表面使用氯化石蜡、外表面使用机油和石蜡混合液进行润滑,轧制速度为 $10 \sim 60$ 次 / 分钟,轧制送进量为 $2 \sim 8\text{mm}$,每一道次变形量为 $20 \sim 50\%$,总加工率为 $30 \sim 70\%$ 。成品管材经 $700^\circ\text{C} / 1\text{h}$ 的热处理制度后,取力学样品进行测试,结果:抗拉强度为 1070MPa ,规定非比例延伸强度 930MPa ,延伸率为 26% ,断面收缩率为 60% 。常温下在 15% 盐酸和 20% 硫酸中年腐蚀率分别为 0.10 和 0.10mm/a 。经测算成品管材的制造成本相比同规格 TC4 管材的成本降低了 33% 。

[0039] 实施例 7:

本实施例合金配方为:Al :3.9%, V :2.0%, Fe :1.5%, O :0.2%, Pd :0.12%, 余量为 Ti 和不可避免的杂质,采用二级海绵钛,二氧化钛、TC4 二次回收料、Al-V、铝豆和铁钉,按上述重量百分比配料、混料、压制成电极,在真空自耗电弧炉中进行三次熔炼,铸锭规格为 $\Phi 920 \times L\text{mm}$,扒皮后为 $\Phi 890 \times L\text{mm}$ 。采用快锻机对铸锭进行开坯和棒坯锻造,开坯加热前对铸锭表面进行涂层处理,锻造开坯温度为 1050°C ,保温 2 小时,终锻温度 $\geq 800^\circ\text{C}$,棒坯锻造温度为 1000°C ,保温 2 小时,终锻温度 $\geq 750^\circ\text{C}$,棒坯规格为直径 $300 \times L\text{mm}$,棒坯锻造火次为 2 火次。采用快锻机进行成品棒材锻造,加热前对棒坯表面进行涂层处理,棒坯锻造温度为 950°C ,保温 2 小时,终锻温度 $\geq 750^\circ\text{C}$,成品棒材规格为直径 $120 \times L\text{mm}$,棒坯锻造火次为 2 火次。成品棒材经 $840^\circ\text{C} / 1\text{h}$ 的热处理制度后,取力学样品进行测试,结果:抗拉强度为 1080MPa ,规定非比例延伸强度 950MPa ,延伸率为 22% ,断面收缩率为 50% 。常温下在 15% 盐酸和 20% 硫酸中年腐蚀率分别为 0.12 和 0.11mm/a 。经测算成品棒材的制造成本相比同规格 TC4 棒材的成本降低了 35% 。

[0040] 实施例 8:

本实施例合金配方为:Al :3.9%, V :2.5%, Fe :1.5%, O :0.2%, Pd :0.20%, 余量为 Ti 和不可避免的杂质,采用二级海绵钛,二氧化钛、TC4 二次回收料、Al-V、铝豆和铁钉,按上述重量百分比配料、混料、压制成电极,在真空自耗电弧炉中进行三次熔炼,铸锭规格为 $\Phi 920 \times L\text{mm}$,扒皮后为 $\Phi 890 \times L\text{mm}$ 。采用快锻机对铸锭进行开坯和棒坯锻造,开坯加热前对

铸锭表面进行涂层处理,锻造开坯温度为 1050℃,保温 2 小时,终锻温度 $\geq 800^{\circ}\text{C}$,棒坯锻造温度为 950℃,保温 1.5 小时,终锻温度 $\geq 750^{\circ}\text{C}$,棒坯规格为直径 180×L mm,棒坯锻造火次为 3 火次。采用快锻机进行成品棒材锻造,加热前对棒坯表面进行涂层处理,棒坯锻造温度为 850℃,保温 1.5 小时,终锻温度 $\geq 750^{\circ}\text{C}$,成品棒材规格为直径 80×L mm,棒坯锻造火次为 2 火次。成品棒材经 820℃ /1h 的热处理制度后,取力性样品进行测试,结果:抗拉强度为 1090MPa,规定非比例延伸强度 970MPa,延伸率为 23%,断面收缩率为 52%。常温下在 15% 盐酸和 20% 硫酸中年腐蚀率分别为 0.11 和 0.12mm/a。经测算成品棒材的制造成本相比同规格 TC4 棒材的成本降低了 36%。

[0041] 实施例 9:

本实施例合金配方为:Al :3.9%, V :3.0%, Fe :1.5%, O :0.2%, Pd :0.25%, 余量为 Ti 和不可避免的杂质,采用二级海绵钛,二氧化钛、TC4 二次回收料、Al-V、铝豆和铁钉,按上述重量百分比配料、混料、压制成电极,在真空自耗电弧炉中进行三次熔炼,铸锭规格为 $\Phi 920 \times L\text{mm}$,扒皮后为 $\Phi 890 \times L\text{mm}$ 。采用快锻机对铸锭进行开坯和棒坯锻造,开坯加热前对铸锭表面进行涂层处理,锻造开坯温度为 1050℃,保温 2 小时,终锻温度 $\geq 800^{\circ}\text{C}$,棒坯锻造温度为 950℃,保温 1.5 小时,终锻温度 $\geq 750^{\circ}\text{C}$,棒坯规格为直径 180×L mm,棒坯锻造火次为 3 火次。采用精锻机进行成品棒材锻造,加热前对棒坯表面进行涂层处理,棒坯锻造温度为 850℃,保温 1.5 小时,终锻温度 $\geq 750^{\circ}\text{C}$,成品棒材规格为直径 30×L mm,棒坯锻造火次为 3 火次。成品棒材经 800℃ /1h 的热处理制度后,取力性样品进行测试,结果:抗拉强度为 1100MPa,规定非比例延伸强度 980MPa,延伸率为 22%,断面收缩率为 50%。常温下在 15% 盐酸和 20% 硫酸中年腐蚀率分别为 0.13 和 0.09mm/a。经测算成品棒材的制造成本相比同规格 TC4 棒材的成本降低了 37%。