



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108467970 A

(43)申请公布日 2018.08.31

(21)申请号 201810245780.4

G22F 1/02(2006.01)

(22)申请日 2018.03.23

B23P 15/00(2006.01)

(71)申请人 中国石油天然气集团公司管材研究所

地址 710065 陕西省西安市电子二路32号

申请人 西安三环科技开发总公司

(72)发明人 刘强 宋生印 吕能 白强 田峰  
汪鹏勃 贾鹏军 杨专钊 张鸿博

(74)专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211

代理人 杨引雪

(51)Int. Cl.

G22C 14/00(2006.01)

G22C 1/02(2006.01)

G22F 1/18(2006.01)

权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管及其制备方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管及其制备方法,解决现有钛合金管具有高成本、加工复杂性、性能上有较大差距等问题,含铁钛合金管除Ti以外,主要由以下成分按质量百分比组成,Al:5.8~6.4%,V:2.4~3.0%,Fe:0.6~1.2%,Ru:0.02~0.06%,Ni:0.05~1.3%,O≤0.2%,C≤0.04%,N≤0.04%,H≤0.0135%。同时,本发明还提供一种制备上述钛合金管的方法。本发明钛合金管材料采用合理的合金成分设计、降低了原有成份中贵金属Ru和V等的使用量,并使用合理的Fe元素和O元素配比进行β相稳定元素的补充,提高合金强度和韧性,利用Ru、V、Fe、Ni、W、Mo等元素协同作用,提高钛合金表面阴极析氢反应速率,保持表面氧化膜的致密和稳定来提高耐蚀性能。



1. 一种用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管,其特征在於:除Ti以外,主要由以下成分按质量百分比组成,Al:5.8~6.4%,V:2.4~3.0%,Fe:0.6~1.2%,Ru:0.02~0.06%,Ni:0.05~1.3%, $0 < O \leq 0.2\%$ , $0 < C \leq 0.04\%$ , $0 < N \leq 0.04\%$ , $0 < H \leq 0.0135\%$ 。

2. 根据权利要求1所述的用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管,其特征在於:由以下成分按质量百分比组成,Al:6.35%,V:2.89%,Fe:1.14%,Ru:0.05%,O:0.2%,Ni:1.26%,C:0.031%,N:0.04%,H:0.0128%,余量为Ti。

3. 根据权利要求1所述的用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管,其特征在於:还添加有质量百分比为以下成分中的一种或两种以上合金元素,Cr:0.1~0.7%,W:0.02~0.55%,Mo:0.01~0.12%。

4. 根据权利要求3所述的用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管,其特征在於:由以下成分按质量百分比组成,Al:5.85%,V:2.41%,Fe:0.62%,Ru:0.03%,O:0.2%,Ni:0.10%,C:0.035%,N:0.037%,H:0.0131%,Mo:0.12%,余量为Ti。

5. 根据权利要求3所述的用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管,其特征在於:由以下成分按质量百分比组成,Al:5.98%,V:2.65%,Fe:1.12%,Ru:0.04%,O:0.19%,Ni:0.87%,C:0.036%,N:0.031%,H:0.0128%,Cr:0.45%,W:0.51%,余量为Ti。

6. 一种制备权利要求1至5任一所述用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管的方法,其特征在於,包括以下步骤:

1) 将配比好的钛合金成分经真空自耗炉熔炼成铸锭,使用机加工方法车除表面层后,将铸锭加热至1000~1050℃锻造至中间坯状态;

2) 将中间坯加热到970℃~1030℃均匀化退火,在950~1050℃之间对中间坯进行二次锻造,压下量为50%~70%,制成热轧制棒料;

3) 将钛合金热轧棒料加热到940~1020℃进行斜轧穿孔,变形量为50~70%,制得热轧穿孔管坯后空冷至室温,进行酸碱洗后检查内外表面状态,对表面缺陷进行处理;

4) 对热轧管坯在600~800℃之间进行真空退火,真空度小于0.33Pa,退火1~2个小时,空冷至室温,对管坯进行校直,并对校直后的管坯进行酸碱洗,检查表面状态并去除缺陷;

5) 将步骤4)得到的管坯加热至680~770℃,使用多棍轧机多次热轧工艺管坯,将工艺管坯加工至石油管尺寸和精度,对工艺管坯在同样温度范围内进行去应力退火处理制成成品管,对退火处理后的管材进行超声波探伤和涡流探伤;

6) 将合格钛合金管的两端用数控机床加工API标准螺纹或者特殊螺纹,完成该钛合金石油管的制备加工。

7. 根据权利要求6所述制备用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管的方法,其特征在於:步骤4)中所述对管坯进行校直是使用真空蠕变校形机对管坯进行校直。

## 一种用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及石油天然气工业油气开发用管材领域,具体涉及一种用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管及其制备方法,以保证油气井安全有效开采。

### 背景技术

[0002] 随着石油天然气开发的进一步深入,中国许多西部和西南油气田开发具有高温(大于140℃)、高压(大于100MPa)、井深(大于5000m)、含高腐蚀介质(CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、Cl<sup>-</sup>)等苛刻环境,为了适应油气田开发对油套管耐腐蚀性的要求,考虑到钛合金材料具有强度高、耐腐蚀性优异、弹性模量低、易于冷成型、耐海水冲刷等优良特性,已被用于制造油套管且具有非常优异的性能表现。

[0003] 由于中国油气开发工况和其他国家有较大的区别,很多油气田的总压力、CO<sub>2</sub>分压和H<sub>2</sub>S分压等腐蚀条件都远超过国外,因此不是所有的钛合金材料都适用于中国的严酷油气开发工况,常规的钛合金如TA18、TC4等在此种工况下都会出现严重的腐蚀问题(如应力腐蚀开裂、缝隙腐蚀等)从而制约了钛合金材料在石油开发工业中的使用,国际上目前已有并使用的耐蚀钛合金如Ti-0.15Pd、Ti-Ru等合金,添加了大量的贵金属如钯、钌等,极大的提高了合金的成本和加工复杂性,同时在性能上也有较大差距,从而限制了钛合金的应用和推广,因此需要在保持一定强度和耐蚀性的条件下,开发出满足工况要求的钛合金管材料及其制备加工工艺,实现钛合金油井管产品在油气开采领域的工业化应用。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是解决现有钛合金管存在高成本、加工复杂、性能上有较大差距等问题,提供一种用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管及其制备方法,该钛合金材料制备的石油管材在满足中国严酷油气开发工况使用的力学性能和耐腐蚀性能之外,还含有对耐蚀性有益的微量铁元素,可以满足中国油气开采领域的使用需要。

[0005] 本发明解决上述问题的技术方案是:

[0006] 一种用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管,除Ti以外,主要由以下成分按质量百分比组成,Al:5.8~6.4%,V:2.4~3.0%,Fe:0.6~1.2%,Ru:0.02~0.06%,Ni:0.05~1.3%,0<O≤0.2%,0<C≤0.04%,0<N≤0.04%,0<H≤0.0135%。

[0007] 进一步地,上述用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管由以下成分按质量百分比组成,Al:6.35%,V:2.89%,Fe:1.14%,Ru:0.05%,O:0.2%,Ni:1.26%,C:0.031%,N:0.04%,H:0.0128%,余量为Ti。

[0008] 进一步地,上述用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管还添加有质量百分比为以下成分中的一种或两种以上合金元素,Cr:0.1~0.7%,W:0.02~0.55%,Mo:0.01~0.12%。在钛合金中添加Mo元素不但可以细化晶粒,提高合金的强度和塑性,而且在钛中加入适当微量的Mo元素使得Ru-Mo元素配合作用可以提高钛合金的耐蚀性,在钛中添加Cr元素可以使钛的FLADE电位(钝化电位)向活跃区移动,与Ru元素配合使用可以促进钛合金的

钝化,Ru-W元素配合添加将会大大增强钛合金的耐蚀性,同时较少元素添加量降低合金成本。

[0009] 进一步地,上述用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管由以下成分按质量百分比组成,Al:5.85%,V:2.41%,Fe:0.62%,Ru:0.03%,O:0.2%,Ni:0.10%,C:0.035%,N:0.037%,H:0.0131%,Mo:0.12%,余量为Ti。

[0010] 进一步地,上述用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管由以下成分按质量百分比组成,Al:5.98%,V:2.65%,Fe:1.12%,Ru:0.04%,O:0.19%,Ni:0.87%,C:0.036%,N:0.031%,H:0.0128%,Cr:0.45%,W:0.51%,余量为Ti。

[0011] 同时,本发明还提供了一种制备上述用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管的方法,包括以下步骤:

[0012] 1) 将配比好的钛合金成分经真空自耗炉熔炼成铸锭,使用机加工方法车除表面层后,将铸锭加热至1000~1050℃锻造至中间坯状态;

[0013] 2) 将中间坯加热到970℃~1030℃均匀化退火,在950~1050℃之间对中间坯进行二次锻造,压下量为50%~70%,制成热轧制棒料;

[0014] 3) 将钛合金热轧棒料加热到940~1020℃进行斜轧穿孔,变形量为50~70%,制得热轧穿孔管坯后空冷至室温,进行酸碱洗后检查内外表面状态,对表面缺陷进行处理;

[0015] 4) 对热轧管坯在600~800℃之间进行真空退火,真空度小于0.33Pa,退火1~2个小时,空冷至室温,对管坯进行校直,并对校直后的管坯进行酸碱洗,检查表面状态并去除缺陷;

[0016] 5) 将步骤4)得到的管坯加热至680~770℃,使用多棍轧机多次热轧工艺管坯,将工艺管坯加工至石油管尺寸和精度,对工艺管坯在同样温度范围内进行去应力退火处理制成成品管,对退火处理后的管材进行超声波探伤和涡流探伤;

[0017] 6) 将合格钛合金管的两端用数控机床加工API标准螺纹或者特殊螺纹,完成该钛合金石油管的制备加工。

[0018] 进一步地,步骤4)中所述对管坯进行校直是使用真空蠕变校形机对管坯进行校直。

[0019] 本发明的有益效果为:

[0020] 1. 本发明油气开发用高耐蚀含铁钛合金石油管由于采用合理的合金成分设计,使用少量成本较低的Fe元素来代替部分价格较高的V元素,同时降低了成份中贵金属Ru和V等的使用量,并使用合理的O元素与Fe元素进行搭配,提高了合金的强度和韧性;同时利用Ru和Ni、Cr、W、Mo等元素协同作用,提高了钛合金表面析氢反应速率,加速了氢气的形成速度,使钛合金的表面钝化膜(氧化钛)在恶劣的酸性环境中保持较高的稳定和完整,从而提高了该合金的耐腐蚀性能,使该钛合金管在具有较高强度和优良韧性的同时,仍然具有较高的耐腐蚀性能。

[0021] 2. 本发明由于合金中贵金属元素用量较少,成本较低,成分中对Fe元素和O元素的要求较为宽泛,可以使用品级较低的海绵钛进行熔炼加工,后期也可使用纯钛或者TC4返回料进行重熔制备,可以显著的降低钛合金管的成本。

[0022] 3. 本发明使用合金成分和制备工艺制备的含铁钛合金石油管显微组织为魏氏体组织,成分均匀、晶粒细小,无明显偏析,整个钛合金管具有优良的力学性能,屈服强度 $\geq$

758MPa,抗拉强度 $\geq 860$ MPa,延伸率 $\geq 10\%$ ,全尺寸夏比V型冲击能 $\geq 40$ J。

[0023] 4.本发明制备的钛合金石油管在中国西南油气田的典型环境中的年均匀腐蚀速率 $\leq 0.25$ mm/y,在具有优异耐腐蚀性能和机械性能的同时,成本低廉方便制备加工,可以满足中国严酷油气开发工况下对高耐蚀钛合金石油管的需求。

#### 附图说明

[0024] 图1为本发明实施例一制备的钛合金管金相组织图;

[0025] 图2为本发明实施例二制备的钛合金管金相组织图;

[0026] 图3为本发明实施例三制备的钛合金管金相组织图。

#### 具体实施方式

[0027] 以下结合具体实施例对本发明的内容作进一步详细描述:

[0028] 本发明用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管,除Ti以外,主要由以下成分按质量百分比组成:Al:5.8~6.4%,V:2.4~3.0%,Fe:0.6~1.2%,Ru:0.02~0.06%,Ni:0.05~1.3%, $0 < O \leq 0.2\%$ , $0 < C \leq 0.04\%$ , $0 < N \leq 0.04\%$ , $0 < H \leq 0.0135\%$ ;在此基础上还可添加质量百分比Cr:0.1~0.7%,W:0.02~0.55%,Mo:0.01~0.12%中的一种或两种以上的合金元素。

[0029] 本发明的合金成分中以少量的Fe元素来代替部分价格较高的V元素;Fe元素是一种共析型 $\beta$ 相稳定元素,在含钒的钛合金中含有一定量的Fe元素,不但可以在一定程度上提高钛合金的强度,同时该钛合金的耐蚀性能将和含Pd耐蚀钛合金相当,由于Ru和Fe的价格远远低于Pd元素,给提高钛合金耐蚀性能同时降低了管材的成本;同时,在酸性环境中随着Fe离子含量的增高,钛合金的腐蚀速率显著下降,当Fe离子浓度达到一定的含量时(约为10000ppm)腐蚀速率趋于稳定,并且随着盐酸浓度和温度的增加,要获得较好的耐蚀性能所需的Fe离子数量越多。

[0030] Mo元素是一种同晶型 $\beta$ 相稳定元素,Mo可在 $\beta$ 相中无限固溶,在钛合金中添加Mo元素不但可以细化晶粒,提高合金的强度和塑性,而且在钛中加入适当微量的Mo元素使得Ru-Mo元素配合作用可以提高钛合金的耐蚀性,但是当Mo元素添加到一定量时再继续添加反而会带来耐蚀性的下降。

[0031] Cr元素可以和钛合金中的 $\beta$ 相形成无限固溶体并稳定 $\beta$ 相,当667 $^{\circ}$ C时05%wt.的Cr元素可以与钛发生共析反应,生成 $\alpha$ 相和TiCr<sub>2</sub>相,在钛中添加Cr元素可以使钛的FLADE电位(钝化电位)向活跃区移动,与Ru元素配合使用可以促进钛合金的钝化。

[0032] W元素也是一种共析型 $\beta$ 相稳定元素,W和Cr相似,与 $\beta$ 相形成连续固溶体。在钛中加入W元素也可以提高钛的在盐酸和硫酸中的耐蚀性,特别是和钪族金属配合使用时,可以相互作用极大提高耐蚀能力;但在还原性酸中,只添加W元素会降低钛的耐蚀性,但是Ru-W元素配合添加将会大大增强钛合金的耐蚀性,同时较少元素添加量降低合金成本

[0033] 本发明提供的用于高腐蚀性油气开发的含铁钛合金管的方法,包括以下步骤:

[0034] 1) 配比好的该钛合金成分经过真空自耗炉熔炼成铸锭,使用机加工的方法车除表面层后,将铸锭加热至1000~1050 $^{\circ}$ C进行锻造至中间坯状态;

[0035] 2) 将中间坯加热到970 $^{\circ}$ C~1030 $^{\circ}$ C均匀化退火以改善偏析,使组织更加均匀,然后

在950~1050℃之间对中间坯进行二次锻造,压下量为50%~70%,制成热轧制棒料;

[0036] 3) 将该钛合金热轧棒料加热到940~1020℃进行斜轧穿孔,变形量为50~70%,制得该钛合金的热轧穿孔管坯后空冷至室温,进行酸碱洗后检查内外表面状态,将表面缺陷处理掉,

[0037] 4) 对热轧管坯在600~800℃之间进行真空退火,真空度小于0.33Pa,退火1~2个小时,空冷至室温,并使用真空蠕变校形机对管坯进行校直,并对校直后的管坯进行酸碱洗,检查表面状态并去除缺陷;

[0038] 5) 将步骤4)得到的管坯加热至680~770℃,使用多棍轧机多道次热轧工艺管坯将所需加工至所需石油管尺寸和精度;对热轧管在同样温度范围内进行去应力退火处理制成成品管,对退火处理后的管材进行超声波探伤和涡流探伤;

[0039] 6) 将合格钛合金管的两端用数控机床加工API标准螺纹或者特殊螺纹,即可完成该钛合金石油管的制备加工。

[0040] 实施例一

[0041] 本发明油气开发用高耐蚀低成本钛合金石油管材料成分按质量百分比组成为: Al:5.85%,V:2.41%,Fe:0.62%,Ru:0.03%,O:0.2%,Ni:0.10%,C:0.035%,N:0.037%,H:0.0131%,Mo:0.12%,Ti:90.5849%;

[0042] 钛合金管的制备加工工艺:

[0043] 上述配比好的该钛合金成分经过真空自耗炉熔炼成铸锭,使用机加工的方法车除表面层后,将铸锭加热至1000~1030℃进行锻造至中间坯状态,然后将中间坯加热到980~1010℃均匀化退火以改善偏析,使组织更加均匀,然后在980~1010℃之间对中间坯进行二次锻造,压下量为60%,制成热轧制棒料;

[0044] 将该钛合金热轧棒料加热到1000~1020℃进行斜轧穿孔,变形量为70%,制得该钛合金的热轧穿孔管坯后空冷至室温,进行酸碱洗后检查内外表面状态,将表面缺陷处理掉,然后对热轧管坯在740~780℃之间进行真空退火,真空度小于0.33Pa,退火1.5个小时,空冷至室温,并使用真空蠕变校形机对管坯进行校直,并对校直后的管坯进行酸碱洗,检查表面状态并去除缺陷;

[0045] 将上述状态的管坯加热至740~770℃,使用多棍轧机多道次热轧工艺管坯将所需加工至所需石油管尺寸和精度,然后对热轧管在同样温度范围内进行去应力退火处理制成成品管,对退火处理后的管材进行超声波探伤和涡流探伤,在每根合格钛合金的两端用数控机床加工API标准螺纹或者特殊螺纹,即可完成该钛合金石油管的制备加工。

[0046] 对该成分和工艺制备的钛合金石油管进行性能测试,管材组织为魏氏组织,成分均匀无明显偏析,晶粒大小为20~30μm,屈服强度800MPa,抗拉强度890MPa,横向延伸率13%,全尺寸夏比V型冲击能46J,压扁试验及扩口试验均无裂纹产生。

[0047] 对本发明制备的钛合金石油管取样,将本实施例钛合金石油管材制成试样,在下表1环境条件中进行高温高压腐蚀试验,动态转速为300转/分,试验时间96小时,试验后按照标准NACE RP0775-2005计算得出平均年腐蚀速率,由结果可见,该钛合金材料具有优异的耐腐蚀性能。

[0048] 表1实施例1腐蚀试验条件及试验结果

[0049]

试验环境介质	腐蚀速率,mm/y	试验时间,天
100%的乙酸	0	7
21℃海水,缝隙腐蚀试样	0	21
160℃+9MPa H <sub>2</sub> S+6MPaCO <sub>2</sub> +250000mg/L的Cl <sup>-</sup>	0.021	14

[0050] 实施例二

[0051] 本发明油气开发用高耐蚀低成本钛合金石油管材料成分按质量百分比组成为: Al:6.35%,V:2.89%,Fe:1.14%,Ru:0.05%,O:0.2%,Ni:1.26%,C:0.031%,N:0.04%,H:0.0128%,Ti:88.0262%;

[0052] 钛合金管的制备加工工艺

[0053] 上述配比好的该钛合金成分经过真空自耗炉熔炼成铸锭,使用机加工的方法车除表面层后,将铸锭加热至1020~1050℃进行锻造至中间坯状态,然后将中间坯加热到1000~1030℃均匀化退火以改善偏析,使组织更加均匀,然后在1020~1050℃之间对中间坯进行二次锻造,压下量为50%,制成热轧制棒料;

[0054] 将该钛合金热轧棒料加热到1000~1020℃进行斜轧穿孔,变形量为60%,制得该钛合金的热轧穿孔管坯后空冷至室温,进行酸碱洗后检查内外表面状态,将表面缺陷处理掉,然后对热轧管坯在650~700℃之间进行真空退火,真空度小于0.33Pa,退火1.5个小时,空冷至室温,并使用真空蠕变校形机对管坯进行校直,并对校直后的管坯进行酸碱洗,检查表面状态并去除缺陷;

[0055] 将上述状态的管坯加热至690~720℃,使用多棍轧机多道次热轧工艺管坯将所需加工至所需石油管尺寸和精度,然后对热轧管在同样温度范围内进行去应力退火处理制成成品管,对退火处理后的管材进行超声波探伤和涡流探伤,在每根合格钛合金的两端用数控机床加工API标准螺纹或者特殊螺纹,即可完成该钛合金石油管的制备加工。

[0056] 对该成分和工艺制备的钛合金石油管进行性能测试,管材组织为魏氏组织,成分均匀无明显偏析,晶粒大小为15~25μm,屈服强度845MPa,抗拉强度927MPa,横向延伸率11%,全尺寸夏比V型冲击能41J,压扁试验及扩口试验均无裂纹产生。

[0057] 对本发明制备的钛合金石油管取样,将本实施例钛合金石油管材制成试样,在下表2环境条件中进行高温高压腐蚀试验,动态转速为300转/分,试验时间96小时,试验后按照标准NACE RP0775-2005计算得出平均年腐蚀速率,由结果可见,该钛合金材料具有优异的耐腐蚀性能。

[0058] 表2实施例二腐蚀试验条件及试验结果

[0059]

试验环境介质	腐蚀速率,mm/y	试验时间,天
100%的乙酸	0	7
试验总压: 25MPa; 温度: 60℃; H <sub>2</sub> S分压: 1.4MPa CO <sub>2</sub> 分压: 2MPa, 200000mg/L的Cl <sup>-</sup>	0	14
21℃海水,缝隙腐蚀试样	0	21

[0060] 实施例三

[0061] 本发明油气开发用高耐蚀低成本钛合金石油管材料成分按质量百分比组成为：Al:5.98%，V:2.65%，Fe:1.12%，Ru:0.04%，O:0.19%，Ni:0.87%，C:0.036%，N:0.031%，H:0.0128%，Cr:0.45%，W:0.51%，Ti:88.1102%；

[0062] 钛合金管的制备加工工艺

[0063] 上述配比好的该钛合金成分经过真空自耗炉熔炼成铸锭，使用机加工的方法车除表面层后，将铸锭加热至1020~1050℃进行锻造至中间坯状态，然后将中间坯加热到1020~1050℃均匀化退火以改善偏析，使组织更加均匀，然后在1020~1050℃之间对中间坯进行二次锻造，压下量为50%，制成热轧制棒料；

[0064] 将该钛合金热轧棒料加热到980~1020℃进行斜轧穿孔，变形量为70%，制得该钛合金的热轧穿孔管坯后空冷至室温，进行酸碱洗后检查内外表面状态，将表面缺陷处理掉，然后对热轧管坯在770~800℃之间进行真空退火，真空度小于0.33Pa，退火2个小时，空冷至室温，并使用真空蠕变校形机对管坯进行校直，并对校直后的管坯进行酸碱洗，检查表面状态并去除缺陷；

[0065] 将上述状态的管坯加热至750~770℃，使用多棍轧机多道次热轧工艺管坯将所需加工至所需石油管尺寸和精度，然后对热轧管在同样温度范围内进行去应力退火处理制成成品管，对退火处理后的管材进行超声波探伤和涡流探伤，在每根合格钛合金的两端用数控机床加工API标准螺纹或者特殊螺纹，即可完成该钛合金石油管的制备加工。

[0066] 对该成分和工艺制备的钛合金石油管进行性能测试，管材组织为魏氏组织，成分均匀无明显偏析，晶粒大小为20~30μm，屈服强度829MPa，抗拉强度910MPa，横向延伸率12%，全尺寸夏比V型冲击能41J，压扁试验及扩口试验均无裂纹产生。

[0067] 对本发明制备的钛合金石油管取样，将本实施例钛合金石油管材制成试样，在下表2环境条件中进行高温高压腐蚀试验，动态转速为300转/分，试验时间96小时，试验后按照标准NACE RP0775-2005计算得出平均年腐蚀速率，由结果可见，该钛合金材料具有优异的耐腐蚀性能。

[0068] 表3实施例三腐蚀试验条件及试验结果

[0069]

试验环境介质	腐蚀速率,mm/y	试验时间,天
100%的乙酸	0	7
试验总压: 25MPa; 温度: 60℃; H <sub>2</sub> S 分压: 1.4MPa CO <sub>2</sub> 分压: 2MPa, 200000mg/L 的 Cl <sup>-</sup>	0	14
21℃海水, 缝隙腐蚀试样	0	21





图1

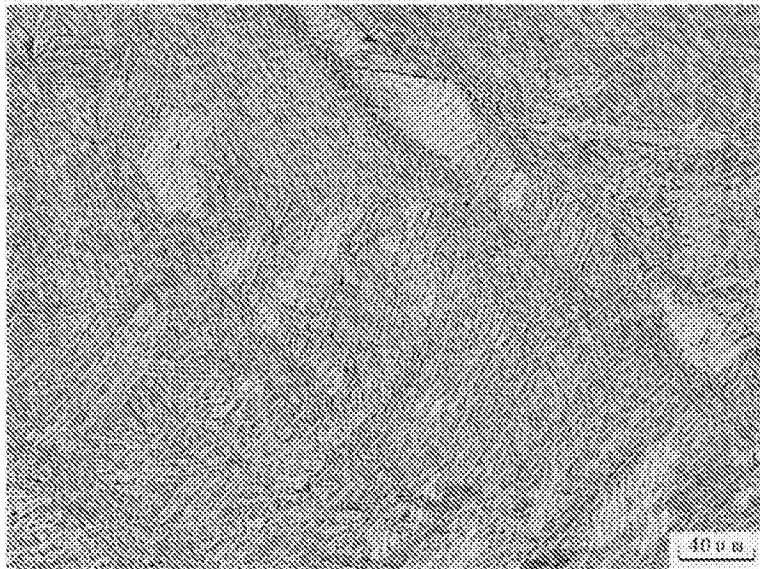


图2

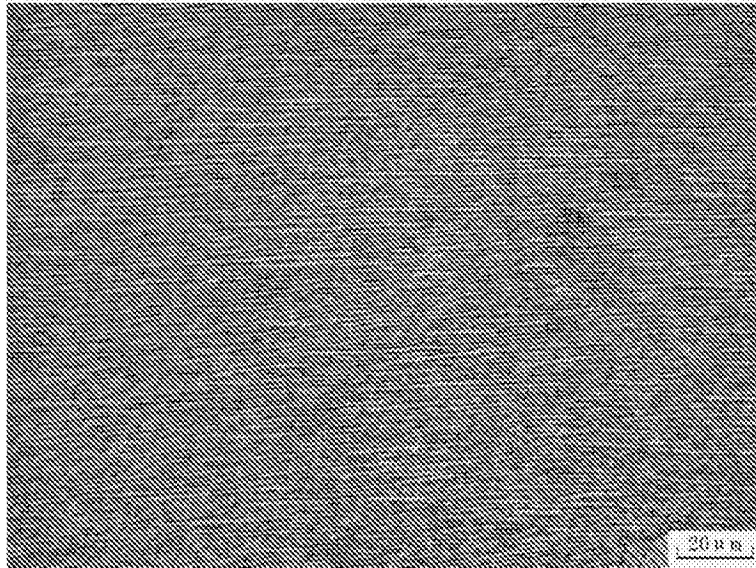


图3