



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103938094 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 23

(21) 申请号 201410174813. 2

(22) 申请日 2014. 04. 28

(71) 申请人 宝山钢铁股份有限公司

地址 201900 上海市宝山区富锦路 885 号

申请人 上海宝钢商贸有限公司

(72) 发明人 董晓明 张忠铎 钟剑锋 陈功明

(74) 专利代理机构 上海东信专利商标事务所

(普通合伙) 31228

代理人 杨丹莉 李丹

(51) Int. Cl.

C22C 38/28 (2006. 01)

C21D 8/10 (2006. 01)

E21B 17/00 (2006. 01)

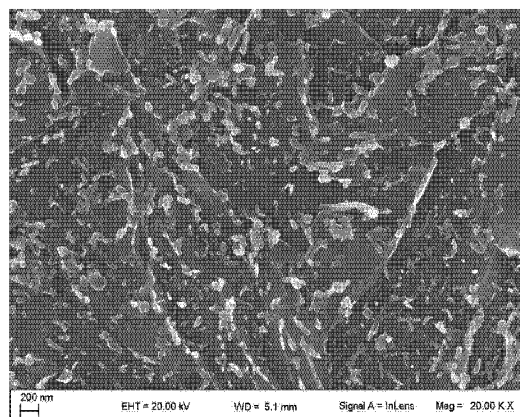
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种超高强度高韧性石油套管及其制造方法

(57) 摘要

本发明公开了一种超高强度高韧性石油套管,其化学元素质量百分比为:C:0.20-0.30%;Si:0.1-0.4%;Mn:0.8-1.1%;Cr:0.8-1.2%;Mo:0.4-0.8%;V:0.05-0.10%;Nb:0.02-0.04%;Ti:0.01-0.04%;Al:0.01-0.05%;Ca:0.0005-0.005%;余量为Fe和不可避免的杂质;其中 $0.48 \leq Cr \times Mo \leq 0.64$, $0.44 \leq Mo \times Mn \leq 0.64$ 。本发明还公开了上述超高强度高韧性石油套管的制造方法。本发明所述的超高强度高韧性石油套管具有140ksi以上的强度,具有良好的韧性和塑性且较低的韧脆转变温度,其适用于油气田。



1. 一种超高强度高韧性石油套管,其特征在于,其化学元素质量百分比为:
C:0.20-0.30%;Si:0.1-0.4%;Mn:0.8-1.1%;Cr:0.8-1.2%;Mo:0.4-0.8%;V:0.05-0.10%;Nb:0.02-0.04%;Ti:0.01-0.04%;Al:0.01-0.05%;Ca:0.0005-0.005%;余量为Fe和不可避免的杂质;其中 $0.48 \leq Cr \times Mo \leq 0.64$, $0.44 \leq Mo \times Mn \leq 0.64$ 。
2. 如权利要求1所述的超高强度高韧性石油套管,其特征在于,其微观组织为铁素体+弥散分布的Cr的碳化物和Mo的碳化物。
3. 如权利要求2所述的超高强度高韧性石油套管,其特征在于,弥散分布的Cr的碳化物基本为 $Cr_{23}C_6$,析出相尺寸为100-200nm。
4. 如权利要求2所述的超高强度高韧性石油套管,其特征在于,弥散分布的Mo的碳化物基本为短杆状的 Mo_2C ,析出相尺寸为50-100nm。
5. 如权利要求1-4中任意一项所述的超高强度高韧性石油套管的制造方法,其特征在于,依次包括步骤:冶炼、铸造、均热、轧制、热处理。
6. 如权利要求5所述的超高强度高韧性石油套管的制造方法,其特征在于,在所述均热步骤中,均热温度为1220-1260°C。
7. 如权利要求5所述的超高强度高韧性石油套管的制造方法,其特征在于,所述轧制步骤包括:轧制、轧后冷却、再加热和张力减径。
8. 如权利要求7所述的超高强度高韧性石油套管的制造方法,其特征在于,在所述轧制步骤中,穿孔温度为1200-1240°C,终轧温度为900-950°C。
9. 如权利要求7所述的超高强度高韧性石油套管的制造方法,其特征在于,在所述轧制步骤中,轧后空冷至700-800°C,再进行温度为960-980°C的再加热,然后张力减径,张减机出口温度为880-900°C。
10. 如权利要求5所述的超高强度高韧性石油套管的制造方法,其特征在于,在所述热处理步骤中,奥氏体化温度为880-930°C,保温30-60min后淬火,然后在620-650°C回火,保温时间40-80min。

一种超高强度高韧性石油套管及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种套管及其制造方法,尤其涉及一种石油套管及其制造方法。

背景技术

[0002] 套管是用于深井、超深井等油气井完井作业不可缺少的专用管材,在下井及固井过程中,起着保护井眼、加固井壁、保证钻进的作用,另外,套管还能隔绝井下油、气、水层及封固各种复杂地层。在将来,西部油田将是中国石油开发的重点之一。西部油田资源埋藏极深,通常为数千米,当前最深井已经超过了 8000m,且地层结构复杂。随着钻井技术的进步,强化钻井工艺会越来越普及,钻压、转速则会显著提高,由此而来的热采、注水、出砂等生产作业的工况也将日益苛刻,因此,油气井所需套管的强度也随之显著提高。

[0003] 受到套管性能和井深结构的限制,套管的设计和选择面临着很大的难题。例如,深井、超深井套管的选择需要考虑抗拉、抗压、抗外挤、整体密封性、温度、腐蚀、磨损、接箍强度等多种因素。若套管选材错误,将会造成严重的生产事故。

[0004] 通常,钢级越高,高强度套管对其表面缺陷就越为敏感。随着钢级的增高,套管的屈服强度增大,套管的硬度相应变高,然而其韧性逐渐下降,其对于表面缺陷的敏感程度增大。如果在生产过程中在套管表面形成缺陷,那么该缺陷就会成为导致事故发生的潜在风险。曾经发生过高钢级套管因冲击韧性差而失效弃井的情况,造成上亿元的直接经济损失。在高强度条件下,高韧性可以确保套管管体在高应力场中抵抗裂纹失稳扩展,对微细缺陷具有包容能力,从而使得套管具有更高的安全可靠。超高钢级套管的设计需要兼顾到强度和韧性,即在满足高强度的同时尽可能提高韧性指标,这样才能在深井或超深井钻探的过程中提高生产使用的安全性。

[0005] 公开号为 JP 特开平 11-131189A,公开日为 1999 年 5 月 18 日,名称为“一种钢管的制造方法”的日本专利文献公开了在 750-400℃范围内加热,然后在 20%或 60%变形量以上的范围内进行轧制,得到屈服强度 950Mpa 以上的钢管产品。

[0006] 公开号为 JP 特开 2000-256783A,公开日为 2000 年 9 月 19 日,名称为“具有良好韧性和抗硫化氢应力腐蚀开裂性能的石油套管及其制造方法”的日本专利文献主要采用 Ac3 以上两次淬火后再进行一次回火的热处理工艺或者两次调质的工艺生产出晶粒度细小的套管产品。

[0007] 公开号为 CN1902330A,公开日为 2007 年 1 月 24 日,名称为“在低温下具有超高强度和极好韧性的低碳合金钢管及其制造方法”的中国专利文献公开了一种低碳合金钢管及其制造方法,其中钢管的化学元素的质量百分含量配比为 :C:0.06% -0.18% ; Mn :0.5 % -1.5 % ;Si :0.1 % -0.5 % ;S ≤ 0.015 % ;P ≤ 0.025 % ;Ni ≤ 0.50 % ;Cr : 0.1% -1.0% ;Mo :0.1% -1.0% ;V :0.01% -0.1% ;Ti :0.01% -0.1% ;Cu :0.05% -0.35% ; Al :0.010% -0.050% ;Nb ≤ 0.05% ;残余元素 ≤ 0.15% ;以及平衡量的铁和不可避免杂质,其中钢管具有 930Mpa 以上的屈服强度和 1000Mpa 以上的抗拉强度,低于 -60℃的韧 -脆转变温度,但是其延伸率仅为 9%,塑性较差。

[0008] 一般来说,钢的强度和韧性 / 塑性通常表现为此消彼长的关系,强度高的钢管通常塑性和韧性较低,反之也亦然。上述专利文件所公开的钢管在同时兼顾强度,韧性和塑性三项性能上均存在着一定的不足之处。因此,企业亟需要解决的问题就是要获得一种兼具高韧性、高塑性和高强度的套管。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种具有超高强度、高韧性及高塑性的石油套管,该石油套管具有 140ksi 以上的强度,同时还具有良好的韧性和塑性、较低的韧脆转变温度,能够满足油气田的苛刻工况对于石油套管的强韧性配合需求。

[0010] 为了实现上述目的,本发明提出了一种超高强度高韧性石油套管,其化学元素质量百分比为:

[0011] C:0.20-0.30% ;

[0012] Si :0.1-0.4% ;

[0013] Mn :0.8-1.1% ;

[0014] Cr :0.8-1.2% ;

[0015] Mo :0.4-0.8% ;

[0016] V :0.05-0.10% ;

[0017] Nb :0.02-0.04% ;

[0018] Ti :0.01-0.04% ;

[0019] Al :0.01-0.05% ;

[0020] Ca :0.0005-0.005% ;

[0021] 余量为 Fe 和不可避免的杂质 ;

[0022] 其中 $0.48 \leq Cr \times Mo \leq 0.64$, $0.44 \leq Mo \times Mn \leq 0.64$ 。

[0023] 本技术方案中不可避免的杂质主要是指 S 和 P 元素,作为杂质元素 S 和 P 元素含量应尽可能地低。

[0024] 本发明所述的超高强度高韧性石油套管中的各化学元素的设计原理为:

[0025] C :C 为碳化物的形成元素,其可以提高钢的强度。当 C 含量低于 0.20wt% 时,会降低钢的淬透性,由此降低套管的韧性,而当 C 含量高于 0.30wt% 时,钢的韧性会显著降低,难以达到石油套管对于高韧性的要求。因此,在本发明的技术方案中,需要将本发明的超高强度高韧性石油套管中的 C 含量控制为 0.20 ~ 0.30wt%。

[0026] Si :Si 可以固溶于铁素体中以提高钢的屈服强度。不过 Si 的添加含量不宜过高, Si 含量太高会使钢的加工性能和韧性恶化,若 Si 含量低于 0.1wt% 时,会使钢材容易氧化。因而,本发明的超高强度高韧性石油套管中的 Si 添加量为 0.1% ~ 0.4wt%。

[0027] Mn :Mn 为奥氏体的形成元素,其可以提高钢的淬透性。当 Mn 含量小于 0.8wt% 时, Mn 元素的添加作用不明显,当 Mn 含量大于 1.1wt% 时,会显著增加钢中的组织偏析,由此影响热轧组织的均匀性和冲击性能。综合考虑,本发明中的 Mn 含量应控制在 0.80% ~ 1.10wt% 的范围之内。

[0028] Cr :Cr 是提高淬透性的元素,也是强碳化物的形成元素。回火时析出的强碳化物可以提高钢的强度。但是,如果 Cr 含量超过 1.2wt% 时,回火时析出粗大的 $M_{23}C_6$ 碳化物,由

此会降低套管的韧性；如果 Cr 含量不到 0.8wt% 时，析出物则会显著降低钢的淬透性。因此，在本发明中，Cr 含量需要控制在 0.80% ~ 1.20wt%。

[0029] Mo: Mo 主要通过碳化物及固溶强化形式来提高钢的强度及回火稳定性能的。若 Mo 含量高于 0.8wt% 时，在钢中容易形成粗大的析出相组织，导致套管的韧性降低；若 Mo 含量低于 0.4wt% 时，套管强度无法满足油田钻探的工作要求。本发明的技术方案需要将 Mo 元素的含量设定为 0.4 ~ 0.8wt%。

[0030] V: V 元素能够细化钢中晶粒，其参与形成的碳化物，能够大幅提高钢的强度。然而，当 V 的添加量达到一定程度时，其增强效果并不明显，并且 V 是比较昂贵的合金元素，因此，对于本发明的技术方案来说，合适的 V 元素范围为 0.05% ~ 0.10wt%。

[0031] Nb: Nb 是细化晶粒和析出强化元素，其可以弥补因碳含量降低而引起的强度下降。在 Nb 含量小于 0.02wt% 时，其增强作用不明显，在 Nb 含量大于 0.04wt% 时，则容易形成粗大的 Nb(CN)，从而降低钢的韧性。因此，在本发明中，将 Nb 的含量设计为 0.02 ~ 0.04wt%。

[0032] Ti: Ti 也是强碳氮化物的形成元素，其能够显著细化钢中的奥氏体晶粒，由此弥补因碳含量的减少而引起套管强度的降低。但是，Ti 含量太高则容易在钢中形成粗大的 TiN，从而降低钢材的韧性。故而，为了同时兼顾钢的强度和韧性，需要本发明中的 Ti 含量控制为 0.01 ~ 0.04wt%。

[0033] Al: Al 是传统脱氧固氮元素，其可细化晶粒，在本技术方案中，其适宜含量为 0.01 ~ 0.05%。

[0034] Ca: Ca 是可以净化钢液的元素，其能够促使 MnS 球化，提高钢的冲击韧性。尽管如此，过高含量的 Ca 也会使得钢中容易形成粗大的非金属夹杂物。

[0035] 此外，为了能够发挥 Mn、Cr 和 Mo 三种元素之间的协同作用，这三种元素还需要满足： $0.48 \leq Cr \times Mo \leq 0.64$ 且 $0.44 \leq Mo \times Mn \leq 0.64$ 。

[0036] 在合金钢中，Mn、Cr 和 Mo 均是主要的增强淬透性的合金元素，向钢中添加这些合金元素可以为钢材提供良好的淬透性，故合金元素含量不能过低，否则就无法保证良好的淬透性。Cr 和 Mo 在提高钢材的淬透性的同时，还可以通过固溶强化和析出强化来提高钢材的强度，但是当 Cr 和 Mo 含量过高时会造成钢中析出相的粗化，从而降低钢材的韧性。此外，Mn 也可以提高钢材的淬透性，然而，若其含量偏高则会在生产过程中加大管坯的枝晶偏析，使得套管产生严重的偏析组织，由此降低钢材韧性。为了使得钢材能够获得优良韧性和塑性，因此，在限定了 Mn、Cr 和 Mo 的质量百分比的基础上，还需要令 Mn、Cr 和 Mo 三种元素满足上述关系式。

[0037] 进一步地，本发明所述的超高强度高韧性石油套管中的微观组织为铁素体 + 弥散分布的 Cr 的碳化物和 Mo 的碳化物。

[0038] Cr 和 Mo 都是增强淬透性的合金元素，其析出相主要为 Cr 的碳化物和 Mo 的碳化物。根据史密斯解理裂纹成核模型，碳化物厚度或直径的增加容易造成解理裂纹的形成和扩展，从而使得钢材的脆性增加，因此，控制在钢中均匀细小的 Cr 的碳化物和 Mo 的碳化物呈弥散分布能够相应地提高钢的韧性和塑性。此外，为了获得更好的强韧性配合，钢的微观组织中包括铁素体。

[0039] 更进一步地，本发明所述的超高强度高韧性石油套管中弥散分布的 Cr 的碳化物

基本为 Cr_{23}C_6 ，析出相尺寸为 100-200nm。

[0040] 更进一步地，本发明所述的超高强度高韧性石油套管中弥散分布的 Mo 的碳化物基本为短杆状的 Mo_2C ，析出相尺寸为 50-100nm。

[0041] 控制 Cr 的碳化物和 Mo 的碳化物的析出相尺寸均匀细小，能够更好地提高钢材的韧性和塑性。

[0042] 相应地，本发明还提供了一种超高强度高韧性石油套管的制造方法，该制造方法通过优化的工艺控制可以制造生产出高强度、高塑性、高韧性且韧脆转变温度低好的套管，其完全能够满足油气井严苛的工作环境。

[0043] 为了实现上述目的，本发明的一种超高强度高韧性石油套管的制造方法，其依次包括步骤：冶炼、铸造、均热、轧制、热处理。

[0044] 本发明的技术方案在合理的成分设计的基础上，通过优化的制造工艺获得兼具高强度，高韧性和高塑性的石油套管。

[0045] 进一步地，在上述均热步骤中，均热温度为 1220-1260℃。

[0046] 进一步地，上述轧制步骤包括：轧制、轧后冷却、再加热和张力减径。其中，在轧制步骤中，轧后冷却后重新加热，并采用张力减径的工艺可以有效地细化套管晶粒，从而提高钢的韧性。

[0047] 进一步地，在上述热处理步骤中，奥氏体化温度为 880-930℃，保温 30-60min 后淬火，然后在 620-650℃回火，保温时间 40-80min。

[0048] 更进一步地，在上述轧制步骤中，穿孔温度为 1200-1240℃，终轧温度为 900-950℃。

[0049] 更进一步地，在上述轧制步骤中，轧后空冷至 700-800℃，再进行温度为 960-980℃的再加热，然后张力减径，张减机出口温度为 880-900℃。

[0050] 本发明所述的超高强度高韧性石油套管由于采用了上述技术方案，其能够获得具有良好强韧性配合的石油套管，该石油套管所具备的优点如下：

[0051] 1) 强度：机械强度达到 140ksi 以上，屈服强度 $\geq 965\text{MPa}$ ，抗拉强度 $\geq 1034\text{MPa}$ ；

[0052] 2) 塑性：延伸率 20% -30%；

[0053] 3) 韧性：0℃横向夏比冲击功 $\geq 110\text{J}$ ，韧脆转变温度 $\leq -50^\circ\text{C}$ 。

[0054] 上述该石油套管能够替代低强度厚壁套管，而适用于工作条件严苛的油气井钻探，从而提高了钻井的安全可靠性。

[0055] 此外，本发明的超高强度高韧性石油套管材料的合金成本低，制造工艺简单，节能减排效果佳，具有良好的经济效益。

附图说明

[0056] 图 1- 图 3 为实施例 A5 中的超高强度高韧性石油套管的金相组织图。

[0057] 图 4 为对比例 B8 中的套管的金相组织图。

[0058] 图 5 为对比例 B9 中的套管的金相组织图。

[0059] 图 6 为对比例 B10 中的套管的金相组织图。

具体实施方式

[0060] 下面将根据具体实施例和说明书附图对本发明所述的超高强度高韧性石油套管及其制造方法做进一步说明,但是具体实施例和相关说明并不构成对于本发明的技术方案的不当限定。

[0061] 实施例 A1-A5 和对比例 B6-B10

[0062] 按照下列步骤制造超高强度高韧性石油套管,控制其化学元素质量百分比如表 1 所示:

[0063] 1) 冶炼:钢水经电炉冶炼,通过炉外精炼和真空脱气后,经过 Ca 处理;

[0064] 2) 铸造:冶炼后,连铸成坯;

[0065] 3) 均热:坯件在环形炉内均热,均热温度为 1220-1260℃;

[0066] 4) 轧制:轧制,其中,穿孔温度为 1200-1240℃,终轧温度为 900-950℃,轧后空冷至 700-800℃,再进行温度为 960-980℃的再加热,然后张力减径,张减机出口温度为 880-900℃,变形量为 10-15%;

[0067] 5) 热处理:奥氏体化温度为 880-930℃,保温 30-60min 后淬火,然后在 620-650℃回火,保温时间 40-80min。

[0068] 实施例 A1-A5 和对比例 B6-B10 中的制造方法的具体参数如表 2 所示。

[0069] 表 1. 实施例 A1-A5 和比较例 B6-B10 的化学元素的质量百分比 (wt. %, 余量为 Fe 和其他不可避免的杂质)

[0070]

| 序号 | C | Si | Mn | Cr | Mo | V | Nb | Ti | Al | Ca | Cr×Mo | Mo×Mn |
|-----|-------------|------|------------|------------|----------|-------------|------|------|-------|--------------|------------|-------------|
| A1 | 0.27 | 0.2 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.09 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.0005 | 0.64 | 0.64 |
| A2 | 0.28 | 0.1 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.001 | 0.56 | 0.63 |
| A3 | 0.25 | 0.3 | 1 | 0.9 | 0.6 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.005 | 0.54 | 0.6 |
| A4 | 0.3 | 0.4 | 1 | 1 | 0.5 | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.003 | 0.5 | 0.5 |
| A5 | 0.29 | 0.25 | 1.1 | 1.2 | 0.4 | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.002 | 0.48 | 0.44 |
| B6 | <u>0.38</u> | 0.26 | <u>0.5</u> | <u>2</u> | <u>2</u> | <u>0.12</u> | 0.04 | 0.02 | 0.023 | <u>0.008</u> | <u>4</u> | <u>1</u> |
| B7 | 0.23 | 0.33 | <u>0.7</u> | <u>0.5</u> | 0.6 | <u>0.04</u> | - | - | 0.04 | 0.002 | <u>0.3</u> | <u>0.42</u> |
| B8 | 0.28 | 0.1 | 0.9 | 1 | 0.7 | 0.05 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.001 | <u>0.7</u> | 0.63 |
| B9 | 0.25 | 0.3 | 1.1 | 0.9 | 0.7 | 0.06 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.005 | 0.63 | <u>0.77</u> |
| B10 | 0.29 | 0.25 | 1.1 | 1.1 | 0.5 | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.002 | 0.55 | 0.55 |

[0071] 表 2 列出了实施例 A1-A5 和对比例 B6-B10 的制造方法的工艺参数。

[0072] 表 2.

[0073]

| 序号 | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B6 | B7 | B8 | B9 | B10 |
|-------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 均热步骤 | 均热温度(°C) | 1220 | 1230 | 1240 | 1250 | 1260 | 1230 | 1240 | 1250 | 1260 | 1260 |
| | 穿孔温度(°C) | 1200 | 1210 | 1220 | 1230 | 1240 | 1210 | 1220 | 1230 | 1240 | 1240 |
| 轧制步骤 | 终轧温度(°C) | 910 | 900 | 940 | 950 | 920 | 940 | 940 | 950 | 920 | 920 |
| | 轧后空冷温度(°C) | 710 | 720 | 750 | 780 | 790 | 720 | 750 | 780 | 790 | 720 |
| | 再加热温度(°C) | 960 | 970 | 980 | 965 | 975 | 970 | 980 | 965 | 975 | — |
| 热处理步骤 | 张减机出口温度(°C) | 880 | 890 | 900 | 880 | 890 | 890 | 900 | 880 | 890 | — |
| | 奥氏体化温度(°C) | 900 | 930 | 910 | 880 | 900 | 900 | 890 | 900 | 900 | 900 |
| | 保温时间(min) | 50 | 30 | 60 | 60 | 40 | 40 | 60 | 40 | 40 | 40 |
| | 回火温度(°C) | 620 | 630 | 650 | 620 | 630 | 640 | 620 | 640 | 640 | 640 |
| | 保温时间(min) | 40 | 60 | 60 | 80 | 70 | 70 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| | | | | | | | | | | | |

[0074] 表 3 列出了实施例 A1-A5 和对比例 B6-B10 中的套管的力学性能参数。

[0075] 表 3.

[0076]

| 序号 | 屈服强度 (MPa) | 抗拉强度 (MPa) | 延伸率 (%) | 横向冲击功, 0°C (J) | 韧脆转变温度 (°C) |
|-----|------------|------------|---------|----------------|-------------|
| A1 | 1130 | 1200 | 22 | 119 | -50 |
| A2 | 1100 | 1180 | 23 | 115 | -55 |
| A3 | 1040 | 1100 | 26 | 138 | -75 |
| A4 | 1090 | 1160 | 27 | 125 | -65 |
| A5 | 1070 | 1150 | 29 | 122 | -60 |
| B6 | 1190 | 1250 | 21 | 78 | -25 |
| B7 | 920 | 990 | 29 | 110 | -55 |
| B8 | 1090 | 1160 | 25 | 88 | -35 |
| B9 | 1070 | 1150 | 24 | 89 | -25 |
| B10 | 1050 | 1110 | 26 | 82 | -30 |
| 参照值 | 965 | 1034 | 20-30 | 110 | ≤ -50 |

[0077] 从表 3 中可以看出, 实施例 A1-A5 中的超高强度高韧性石油套管的屈服强度均达到了 1040MPa 以上, 抗拉强度均达到了 1100MPa 以上, 延伸率为 22-29%, 横向冲击功均达到了 115J, 且韧脆转变温度 ≤ -50°C, 因此, 实施例 A1-A5 的超高强度高韧性石油套管均具有较高的强度、良好的韧性和优良的韧性。

[0078] 结合表 1 和表 2 可以得知, 对比例 B6-B7 中的某些化学元素 (wt. %) 超出本发明

技术方案所限定的范围,对比例 B8 中的 Cr×Mo 超出本发明技术方案所限定的范围,对比例 B9 中的 Mo×Mn 超出本发明技术方案所限定的范围,对比例 B10 所采用的制造方法未在轧制步骤中进行再加热和张应力减径工艺。由此,从表 3 中可以看出,对比例 B6-B10 中的套管的各项性能参数中的至少一项要低于参照值,因此,对比例 B6-B10 中的套管不能适用于工况恶劣,工作环境差的油气井钻探。

[0079] 图 1 和图 2 示出了实施例 A5 中的超高强度高韧性石油套管的析出相形貌,而图 3 则示出了实施例 A5 中的超高强度高韧性石油套管的晶粒度。

[0080] 图 4 和图 5 分别示出了对比例 B8 和 B9 中的套管的析出相形貌,而图 6 则示出了对比例 B10 中的超套管的晶粒度。

[0081] 如图 1 和图 4 所示,实施例 A5 的析出相细小均匀,而对比例 B8 的析出相粗大并沿晶界析出,因此,实施例 A5 中的超高强度高韧性石油套管的冲击功和延伸率均较高,韧脆转变温度较低,强韧性能优良。相反地,对比例 B8 中的套管的横向冲击功较低,韧脆转变温度较高,其综合力学性能较差。

[0082] 如图 2 和图 5 所示,实施例 A5 的析出相细小均匀,而对比例 B9 的偏析较严重,析出相粗大,因此,实施例 A5 中的超高强度高韧性石油套管的冲击功和延伸率均较高,韧脆转变温度较低,强韧性能优良,而对比例 B9 中的套管的横向冲击功较低且韧脆转变温度较高。

[0083] 如图 3 和图 6 所示,实施例 A5 的晶粒尺寸较小,保证了良好的韧性;对比例 B10 由于未在轧制步骤中采用再加热和张应力减径工艺,故其晶粒尺寸较大。由此,相较于实施例 A5 中的超高强度高韧性石油套管,对比例 B10 中的套管的冲击功较低且韧脆转变温度较高。

[0084] 要注意的是,以上列举的仅为本发明的具体实施例,显然本发明不限于以上实施例,随之有着许多的类似变化。本领域的技术人员如果从本发明公开的内容直接导出或联想到的所有变形,均应属于本发明的保护范围。

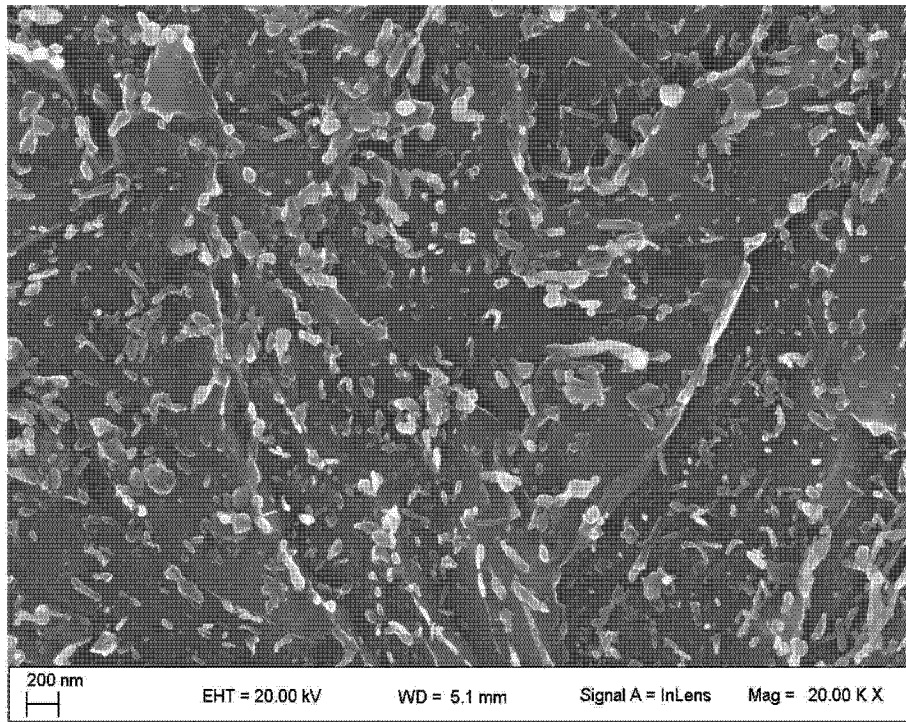


图 1

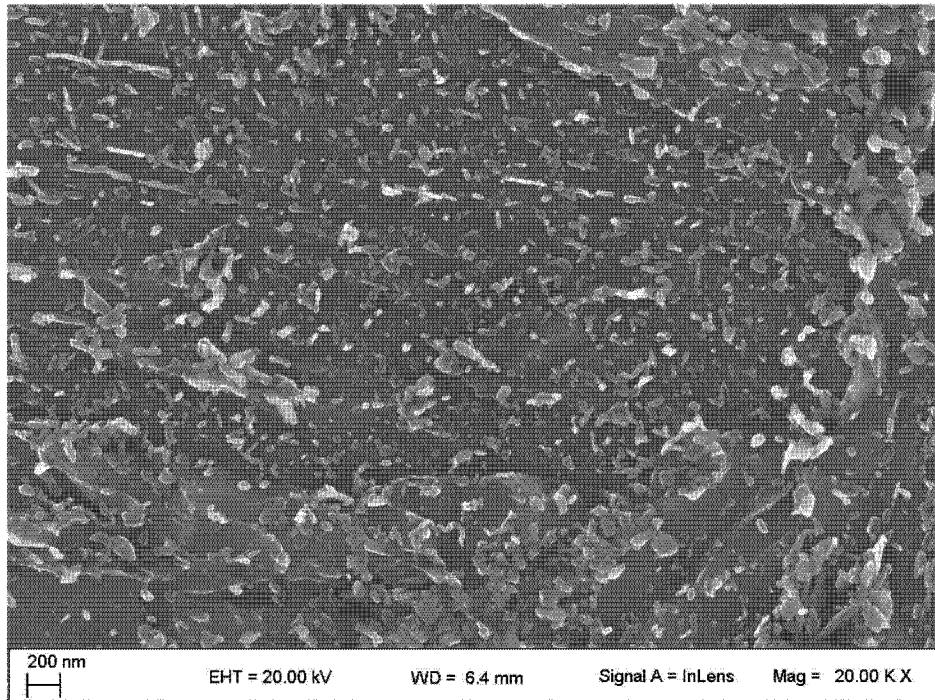


图 2

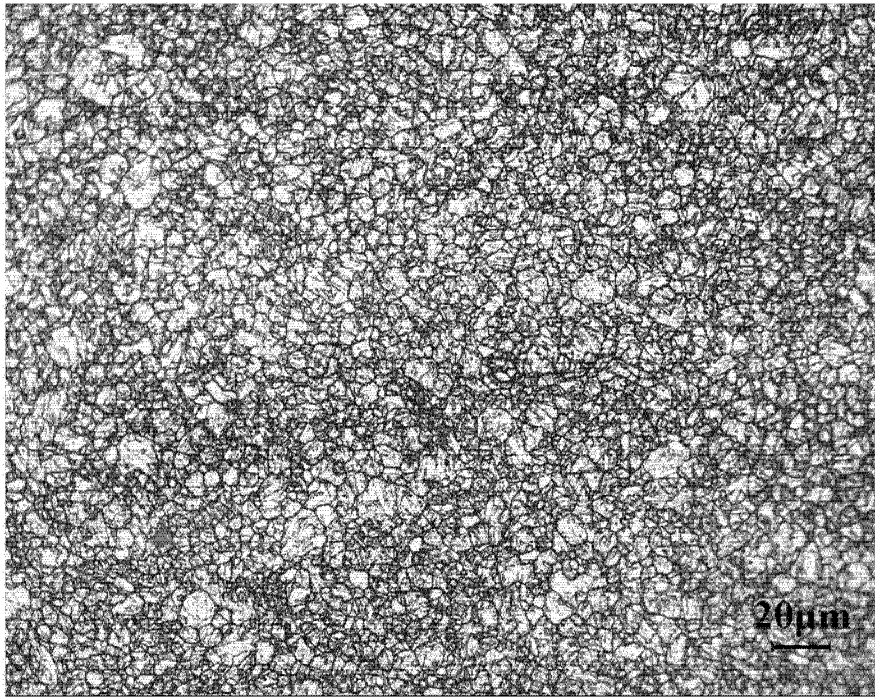


图 3

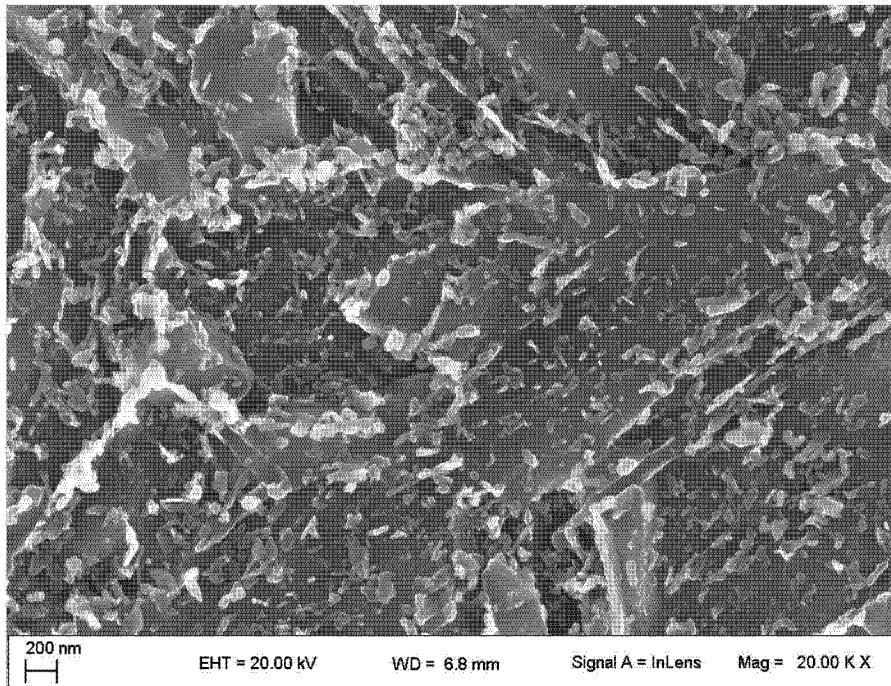


图 4

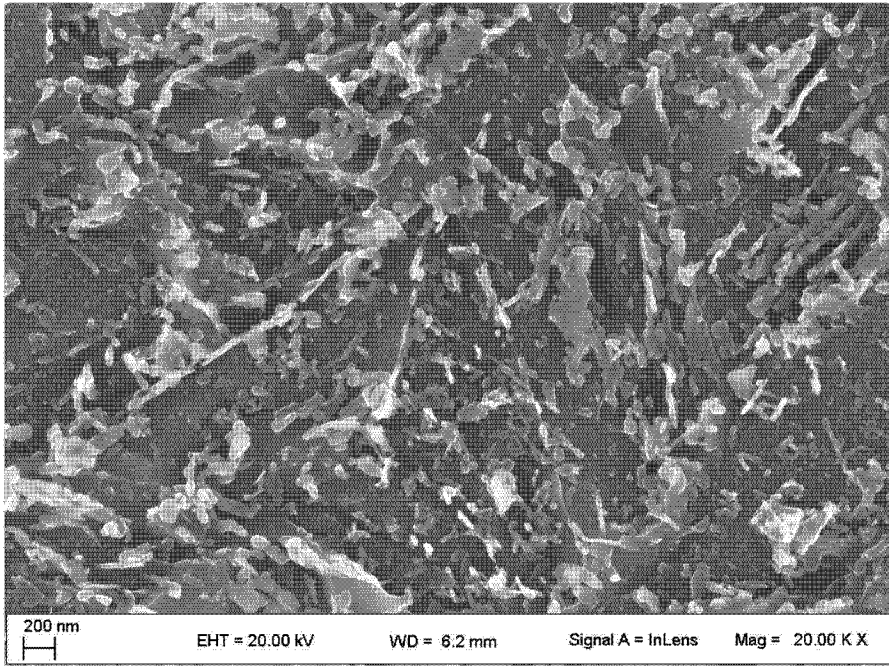


图 5

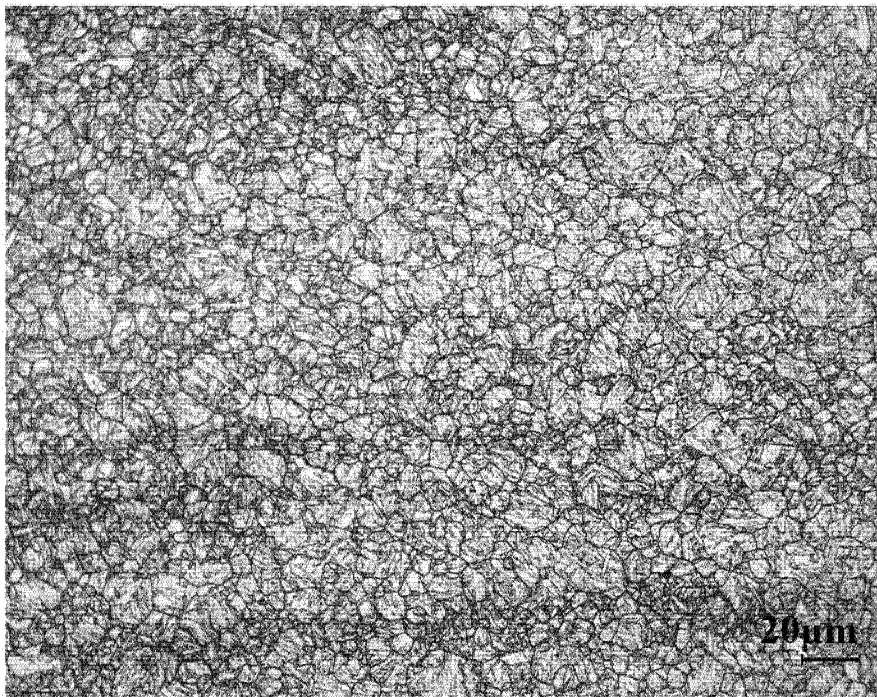


图 6