

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101238235 B

(45) 授权公告日 2012.09.05

(21) 申请号 200680028756.0

代理人 李宓

(22) 申请日 2006.08.01

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

C22C 38/44 (2006.01)

PA/A/2005/008339 2005.08.04 MX

C21D 9/08 (2006.01)

C21D 8/10 (2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

(56) 对比文件

2008.02.03

WO 2005/061749 A2, 2005.07.07, 权利要求

(86) PCT申请的申请数据

1.

PCT/EP2006/007612 2006.08.01

CN 1265708 A, 2000.09.06, 说明书第4页第
21-23行, 第5页第17行至第6页第3行, 第19页
第6、21-22行。

(87) PCT申请的公布数据

CN 1189111 A, 1998.07.29, 说明书第11-14
页。

WO2007/017161 EN 2007.02.15

US 2005/0076975 A1, 2005.04.14, 权利要求
1-39。

(73) 专利权人 特纳瑞斯连接股份公司

US 2005/0087269 A1, 2005.04.28, 权利要求
1-13。

地址 列支敦士登沙安

JP 特开平11-229079 A, 1999.08.24, 全文。

(72) 发明人 阿方索·伊斯基耶多·加西亚

审查员 张晓冬

埃克托尔·曼努埃尔·金塔尼利亚·卡蒙娜

权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 3 页

马尔科·马尔西奥·蒂维利

(74) 专利代理机构 中国商标专利事务所有限公
司 11234

埃托雷·阿内利 安德烈亚·迪施纳

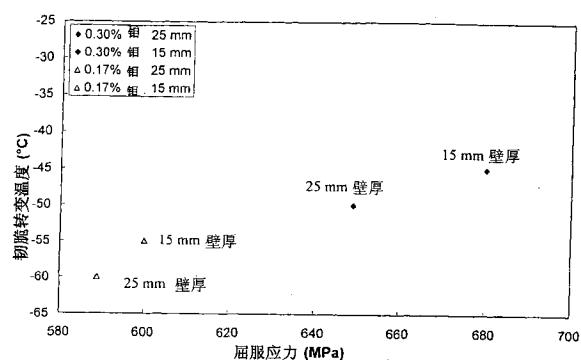
在于, 合金钢的微观组织主要是马氏体, 屈服应力
至少为 690MPa(90ksi)。

(54) 发明名称

用于可焊接无缝钢管的高强度钢

(57) 摘要

本发明提供一种低合金钢, 其以重量计含有:C 0.03 ~ 0.13 %、Mn 0.90 ~ 1.80 %、Si ≤ 0.40 %、P ≤ 0.020 %、S ≤ 0.005 %、Ni 0.10 ~ 1.00 %、Cr 0.20 ~ 1.20 %、Mo 0.15 ~ 0.80 %、Ca ≤ 0.040 %、V ≤ 0.10 %、Nb ≤ 0.040 %、Ti ≤ 0.020 %、N ≤ 0.011 %, 用于制造可焊接的高强无缝管, 其特征在于, 合金钢的微观组织是贝氏体和马氏体的混合物, 屈服应力至少为 621MPa(90Ksi)。本发明的第二目的是提供用一种高强可焊接的无缝管, 其由合金钢构成, 以重量计含有:C 0.03 ~ 0.13%、Mn 0.90 ~ 1.80%、Si < 0.40%、P ≤ 0.020%、S < 0.005%、Ni 0.10 ~ 1.00 %、Cr 0.20 ~ 1.20 %、Mo 0.15 ~ 0.80 %、Ca ≤ 0.040 %、V < 0.10 %、Nb < 0.040 %、Ti < 0.020 %、N < 0.011 %, 其特征



1. 一种可焊接高强无缝管, 其由合金钢构成, 所述合金钢以重量计含有:

C	0.03~0.13%
Mn	0.90~1.80%
Si	≤0.40%
P	≤0.020%
S	≤0.005%
Ni	0.10~1.00%
Cr	0.20~1.20%
Mo	0.15~0.80%
Ca	≤0.040%
V	≤0.10%
Nb	≤0.040%
Ti	≤0.020%
N	≤0.011%

余量为 Fe 和不可避免的杂质, 其特征在于, Q&T 合金钢的微观组织中马氏体超过 60%, 亚晶小于 $1.1 \mu\text{m}$ 且板条束尺寸小于 $3 \mu\text{m}$ 的屈服应力超过 750MPa, 并达到非常低的 FATT 值, 所述 FATT 值低于 -80°C 。

2. 如权利要求 1 所述的可焊接高强无缝管, 其特征在于, 所述合金钢含有至少 70ppm 的 Ti。

3. 如权利要求 1 所述的可焊接高强无缝管, 其特征在于, 所述合金钢含有至少 0.27wt% 的 Mo。

4. 如权利要求 1 所述的可焊接高强无缝管, 其特征在于, 所述合金钢含有至少 0.022wt% 的 Nb。

5. 如权利要求 1 所述的可焊接高强无缝管, 其特征在于, 所述合金钢含有至少 0.01wt% 的 P。

6. 如权利要求 1 所述的可焊接高强无缝管, 其特征在于, 所述合金钢含有至少 0.25wt% 的 Cr。

7. 如权利要求 1 所述的可焊接高强无缝管, 其特征在于, 所述合金钢含有至少 0.15wt% 的 Ni。

8. 一种制造可焊接高强无缝管的方法, 所述可焊接高强无缝管由合金钢构成, 所述合金钢以重量计含有:

C 0.03~0.13%
Mn 0.90~1.80%
Si ≤0.40%
P <0.020%
S ≤0.005%
Ni 0.10~1.00%
Cr 0.20~1.20%
Mo 0.15~0.80%
Ca ≤0.040%
V ≤0.10%
Nb ≤0.040%
Ti ≤0.020%
N ≤0.011%

余量为 Fe 和不可避免的杂质,其中,所述方法包括步骤:

- a) 热轧;
- b) 奥氏体化;
- c) 淬火并回火;

获得 Q&T 合金钢,所述 Q&T 合金钢的微观组织是超过 60% 的马氏体,亚晶小于 $1.1 \mu m$ 且板条束尺寸小于 $3 \mu m$ 的屈服应力超过 750MPa,达到非常低的 FATT 值,所述 FATT 值低于 $-80^{\circ}C$ 。

9. 一种合金钢的应用,所述合金以重量计含有:

C 0.03~0.13%
Mn 0.90~1.80%
Si ≤0.40%
P <0.020%

S	$\leq 0.005\%$
Ni	0.10~1.00%
Cr	0.20~1.20%
Mo	0.15~0.80%
Ca	<0.040%
V	$\leq 0.10\%$
Nb	$\leq 0.040\%$
Ti	$\leq 0.020\%$
N	$\leq 0.011\%$

余量为 Fe 和不可避免的杂质,用于制造可焊接高强无缝管,其中,Q&T 钢的微观组织是超过 60% 的马氏体,亚晶小于 $1.1 \mu m$ 且板条束尺寸小于 $3 \mu m$ 的屈服应力超过 750MPa,达到非常低的 FATT 值,所述 FATT 值低于 $-80^{\circ}C$ 。

用于可焊接无缝钢管的高强度钢

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于制造无缝钢管材料的钢，例如油井管或线管，更详细地，本发明涉及用于制造可焊接无缝钢管的高强合金钢。

[0002] 背景技术

[0003] 随着海洋行业的技术进步，增加了对高强钢的需求，对于流送管和立管，需要屈服应力在 80 ~ 100ksi 的范围内。在这一领域中，立管系统是一个关键部件，并且随着水深的增加而日益重要。立管系统的成本对于水深非常敏感。

[0004] 尽管工作环境和对环境负荷（例如波浪和海流）的敏感性对于在超深环境中的两类立管，顶部张紧立管（TTR）和钢悬链线立管（SCR），是不同的，但降低立管的重量是非常重要的。通过降低管子的重量，将降低管线的成本，并将对支撑立管的张紧系统产生巨大的影响。

[0005] 另外，使用高强合金钢可以通过更有效的设计来降低管壁厚度达 30%。对于依靠顶部张紧的气罐的浮力所立管系统，可使用的高强钢的管壁越薄，能够降低所需要的浮力，并会相应降低这些器件上的浮力载荷，提高立管的响应性。立管系统的张紧取决于其承载的设施，通过使用高强钢可以降低有效载荷。

[0006] 在过去几年中，在淬火 - 回火（QT）无缝钢管领域也开放了几种高强合金钢，这些无缝管具有高强度、高韧性和良好的圆周焊接性。但是，这些无缝管的壁厚最多要达到 40mm，外径不能超过 22 英寸，因此非常昂贵，并且在淬火和回火后的屈服应力低于 100ksi。

[0007] 例如，已知的国专利 6,217,676 中的用于无缝管的高强可焊接钢，公开了一种合金钢，在淬火和回火后可以达到 X80 的级别，具有对湿二氧化碳腐蚀和海水腐蚀的优良抵抗能力，以重量 % 计含有 0.10 和 0.30 的 C, 0.10 ~ 1.0Si, 0.1 ~ 3.0Mn, 2.5 ~ 7.0Cr, 0.01 ~ 0.10 的 Al, 余量为 Fe 和含有不超过 0.03% P 的杂质。但是，这些种类的钢无法达到高于 X80，且由于含有较多的 Cr 而很昂贵。

[0008] 另外，在 2002 年 1 月 31 日公开的美国专利申请 09/341,722 记载了一种制造无缝管的方法，通过对成分为 0.06 ~ 0.18% C, Si ≤ 0.40%, 0.80 ~ 1.40% Mn, P ≤ 0.025%, S ≤ 0.010%, 0.010 ~ 0.060% Al, Mo ≤ 0.50%, Ca ≤ 0.040%, V ≤ 0.10%, Nb ≤ 0.10%, N ≤ 0.01 ~ 5% 以及 0.30 ~ 1.00% W 的钢的管坯进行热轧来制造，所述无缝管屈服应力的范围是 X52 级别到 90ksi，在高温应用下具有稳定的弹性极限。但是，这种钢无法达到高于 100ksi 的区分强度，并且在一定热输入范围内无法焊接。

[0009] 因此，需要一种高强度、可焊接的合金钢用于无缝钢管，该无缝管可以用于立管系统，屈服应力高于 90ksi，壁厚 (WT) 与外径 (OD) 的比值适合于所希望的弯曲特性，从而克服现有材料的缺点，管体和焊接具有良好的机械性能。

发明内容

[0010] 以下，通过说明、图表和附图来说明本发明的合金钢的具体特征。本发明的第一目的是提供在一种合金钢用于制造高强度、可焊接的无缝管，其以重量计的成分为 0.03 ~

0.13% C、0.90 ~ 1.80% Mn、Si ≤ 0.40%、P ≤ 0.020%、S ≤ 0.005%、0.10 ~ 1.00% Ni、0.20 ~ 1.20% Cr、0.15 ~ 0.80% Mo、Ca ≤ 0.040%、V ≤ 0.10%、Nb ≤ 0.040%、Ti ≤ 0.020% 和 N ≤ 0.011%，其中，合金钢的微观组织为贝氏体和马氏体的混合物，屈服应力至少为 621MPa(90ksi)，在广泛的热输入的范围内可以焊接，含有一种适于使管体达到优异的机械特性以及圆周焊接达到良好的机械特性的化学组合物。

[0011] 本发明的第二目的是提供一种高强度、可焊接的无缝钢管，构成其的合金钢的成分以重量计为 0.03 ~ 0.13% C、0.90 ~ 1.80% Mn、Si ≤ 0.40%、P ≤ 0.020%、S ≤ 0.005%、0.10 ~ 1.00% Ni、0.20 ~ 1.20% Cr、0.15 ~ 0.80% Mo、Ca ≤ 0.040%、V ≤ 0.10%、Nb ≤ 0.040%、Ti ≤ 0.020% 和 N ≤ 0.011%，其中，合金钢的微观组织以马氏体为主体，屈服应力至少为 690MPa(100ksi)。

附图说明

[0012] 下面结合附图描述可以更好地了解本发明。

[0013] 图 1 显示厚度和 Mo 含量对本发明的材料的屈服应力 (YS) 和韧脆转变温度 (FATT) 的影响。

[0014] 图 2 显示冷却速度 (CR) 和 Mo 含量对本发明的壁厚为 15mm 的管的屈服应力和 FATT 的影响。

[0015] 图 3 显示平均亚晶尺寸对本发明的 Q&T (淬火 - 回火) 钢的屈服应力的影响。

[0016] 图 4 显示具有各种马氏体含量的 Q&T 钢的 FATT 变化和板条束的负平方根之间的关系。

[0017] 图 5 显示本发明的 Q&T 钢的板条束尺寸随由马氏体构成的淬火组织 (M > 30%) 的变化。

[0018] 图 6 显示本发明的目标材料，具有马氏体为主的结构，其板条束尺寸与奥氏体晶粒度 (PAGS) 实质上无关。

具体实施方式

[0019] 根据本发明的第一方面，用于制造高强无缝钢管且适合于在广泛热输入范围进行焊接的合金钢以重量计的成分包括：

[0020] C 0.03 ~ 0.13%

[0021] Mn 0.90 ~ 1.80%

[0022] Si ≤ 0.40%

[0023] P ≤ 0.020%

[0024] S ≤ 0.005%

[0025] Ni 0.10 ~ 1.00%

[0026] Cr 0.20 ~ 1.20%

[0027] Mo 0.15 ~ 0.80%

[0028] Ca ≤ 0.040%

[0029] V ≤ 0.10%

[0030] Nb ≤ 0.040%

[0031] Ti ≤ 0.020%

[0032] N ≤ 0.011%

[0033] 本发明所提供的化学成分使得高强度、可焊接的合金钢无缝管适合用于立管系统，具有大于 90ksi 的屈服应力，具有的壁厚与外径的比值足以满足焊接管作为立管的加工极限，流送管壁厚的增加使得具有足够的抵抗一般大于 10ksi 的工作压力的能力。

[0034] 选择本发明化学成分的原因如下所述：

[0035] 碳 :0.03 ~ 0.13%

[0036] 碳是最廉价的元素，并对钢的机械抗力具有最显著的影响，因此，其含量不能太低。而且，碳是提高钢硬度所必需的，在钢中的含量越低，钢越适合于焊接且可以使用更多的合金元素。因此，选择碳的量的范围是 0.03 ~ 0.13%。

[0037] 锰 :0.90 ~ 1.80%

[0038] 锰是提高钢的硬度的元素。不低于 0.9% 的锰对于提高钢的强度和硬度是必需的。但是多于 1.80% 的锰会降低钢的硬度和焊接性，并降低对二氧化碳的腐蚀的抗性。

[0039] 硅 : 小于 0.40%

[0040] 硅用作去氧化剂，含量低于 0.4%，可以提高在回火中的强度和软化阻力。高于 0.4% 会对钢的加工性和硬度产生不良影响。

[0041] 磷 : 小于 0.020%

[0042] 磷是钢中所不可避免的元素。但是该元素偏聚于晶界会降低基体材料、热影响区 (HAZ) 和焊接材料 (WM) 的强度，因此其含量的极限是 0.020%。

[0043] 硫 : 小于 0.005%

[0044] 硫也是钢中所不可避免的元素，其与锰结合形成硫化锰，降低基体材料、热影响区 (HAZ) 和焊接材料 (WM) 的强度，因此，硫的含量的极限是不超过 0.005%。

[0045] 镍 :0.10 ~ 1.00%

[0046] 镍是提高基体材料、热影响区 (HAZ) 和焊接材料 (WM) 的强度的元素，但超过一定含量因为饱和而使得有益效果逐渐降低，因此镍的最佳含量范围是 0.10 ~ 1.00%。

[0047] 铬 :0.20 ~ 1.20%

[0048] 铬提高钢的硬度，提高强度和在湿二氧化碳环境和海水中的抗腐蚀性。大量的铬会提高钢的成本，并增加富铬氮化物和富铬碳化物的析出的风险，这些氮化物和碳化物是不希望出现的，会降低强度和对氢脆变的抵抗能力。因此，优选的范围是 0.20 ~ 1.20%。

[0049] 钼 :0.15 ~ 0.80%

[0050] 钼通过固溶强化和析出强化来增加硬度，并提高钢在回火中的软化阻力。其阻止有害元素在奥氏体晶界的偏聚。添加 Mo 对于提高硬度和固溶强化是必需的，因此为了实现这一效果，Mo 的含量必须大于等于 0.15%。但如果 Mo 含量超过 0.80%，在焊接连接中的硬度会非常差，因为钼促进了高碳马氏体孤岛的形成，含有残留的奥氏体 (MA 组分)。因此，该元素优选的含量范围是 0.15 ~ 0.80%。

[0051] 钙 : 小于 0.040%

[0052] 钙与硫和氧结合形成硫化物和氧化物，这样将硬的高熔点氧化物成分转化为低熔点的软的氧化成分，这将提高钢的疲劳抗力。过量钙的添加会导致钢中所不需要的硬夹杂。考虑到这些效果，当添加钙时，其含量极限不能超过 0.040%。

[0053] 钒 : 小于 0.10%

[0054] 钒以碳化物和氮化物形式从固溶体中析出,通过析出强化来提高材料的强度。但是为了避免在焊接中碳化物和碳氮化物的过渡析出,其含量的极限不能超过 0.10%。

[0055] 锰 : 小于 0.040%

[0056] 锰也以碳化物和氮化物的形式从固溶体中析出,因而增加材料的强度。富锰的碳化物或氮化物的析出会抑制晶粒的过渡生长。但是,当 Nb 含量超过 0.04%,产生所不希望的过渡析出,会降低硬度。因此,优选该元素的含量是不超过 0.040%。

[0057] 钛 : 小于 0.020%

[0058] 钛是去氧化剂,被用来通过氮化物的析出而细化晶粒,通过钉扎来阻止晶界的移动。在氮和碳存在下,超过 0.020% 的钛元素会促进形成粗大的钛的碳氮化物或氮化物,降低强度(例如提高转变温度)。因此,该元素的含量不宜超过 0.020%。

[0059] 氮 : 小于 0.010%

[0060] 氮的含量在钢的制造过程中应一直低于 0.010%,这样其析出的量将不会降低材料的硬度。

[0061] 本发明的第二方面是一种高强、可焊接的无缝管,由合金钢构成,该合金钢以重量百分比计包含:

[0062] C 0.03 ~ 0.13%

[0063] Mn 0.90 ~ 1.80%

[0064] Si ≤ 0.40%

[0065] P ≤ 0.020%

[0066] S ≤ 0.005%

[0067] Ni 0.10 ~ 1.00%

[0068] Cr 0.20 ~ 1.20%

[0069] Mo 0.15 ~ 0.80%

[0070] Ca ≤ 0.040%

[0071] V ≤ 0.10%

[0072] Nb ≤ 0.040%

[0073] Ti ≤ 0.020%

[0074] N ≤ 0.011%

[0075] 其中,合金钢的微观组织主要为马氏体,屈服应力至少为 690MPa(100ksi)。

[0076] 该无缝管在 15KJ/in ~ 40KJ/in 的热输入范围内是可焊接的,并且在管体和热影响区都表现出良好的断裂硬度特性(裂纹间断开口位移(CTOD))。

[0077] 本发明可以满足浅水和深水项目中的机械要求,并且满足以下如表 1 和表 2 所示的管子和圆周焊接的机械特性,即强度、硬度和韧性。

[0078] 表 1 母管的机械特性

[0079]

最低屈服应力	100ksi
最低极限拉伸强度 (UTS)	110ksi
屈服应力/拉伸强度	≤ 0.95
最小拉伸	18%
-10°C 下摆锤 V 缺口吸收能 (横向)	每个最低 80 焦耳
-10°C 下最低裂纹尖端开口位移 (CTOD)	0.25mm

[0080] [0079] 表 2 焊接的机械特性

[0081]

最低屈服应力	115ksi
最大硬度	325HV10
-10°C 下最低裂纹尖端开口位移 (CTOD)	0.25mm

[0082] 对于具有屈服应力大于 100ksi 的淬火 - 回火 (Q&T) 无缝管, 尺寸、重量、压力、机械和化学成分的关键范围, 适合用于最大外径 16 英寸、壁厚 12mm ~ 30mm 的无缝管。所述特性是通过冶金模型、试验室试验和工业试验等手段对高强管进行认真的冶金设计而实现的。这样的结果表明至少在一定的尺寸范围内, 制造具有屈服应力高于 100ksi 的 Q&T 无缝管是可能的。

[0083] 使本发明的具有屈服应力高于 100ksi 的 Q&T 无缝管制成可以焊接的钢, 对外径 (OD) 从 6 英寸到 16 英寸、壁厚 (WT) 从 12mm 到 30mm 的几何尺寸的范围的钢管进行了测试。选择代表性的几何尺寸是因为本发明的化学成分与 OD/WT 的比值有关。最有希望的钢被确定为含有微量添加的 Nb 和 0.07 ~ 0.11% 的碳 (钢中碳含量越低所需的合金元素就越多)、1 ~ 1.6% Mn 以及优选添加的 Mo、Ni、Vr 和 V。当量碳 (C 当量 = C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15) 的范围为 0.45% ~ 0.59%。

[0084] 对具有 0.085% C、1.6% Mn、0.4% Ni、0.22% Cr、0.05% V 和 0.03Nb% 的基本成分以及 0.17% Mo 和 0.29% Mo 的试验钢进行热轧和各种 Q&T 处理。

[0085] 试验结果表明屈服应力 / 拉伸强度之比小于 0.95。具有 0.29% Mo 的钢所制造的无缝 Q&T 钢具有接近 100ksi (680MPa) 的屈服应力 (YS) 和 -50°C 的韧脆转变温度 (FATT) (在 920°C 奥氏体化, 在 600 ~ 620°C 回火)。

[0086] 如图 1 和图 2 所示, 机械特性并不对回火温度敏感, 韧性随回火温度轻微上升, 强度保持在合适的水平。如图 1 所示, 显示了 0.17% 和 0.30% 的 Mo 的 15mm 和 25mm 的样品的 FATT 与 YS 的关系。这些样品在相同的冷却速度下进行了淬火。试验结果表明 YS 依赖于 Mo 含量 (Mo 含量越高, 区分强度越大), 这是因为在相同的冷却速度下提高了硬度。

[0087] 对在 920°C 奥氏体化、在 620°C 回火的含有 0.17% 和 0.30% Mo 的钢的冷却速度的影响进行了研究, 结果如表 3 所示, 对于两种 Mo 含量的材料而言, 提高冷却速度增加强度, 但对材料的韧性没有显著影响, 其中, 韧性是通过在一定屈服应力下的标准 FATT 值来测定的。

[0088] 表 3

[0089]

钼 Mo %	冷却速度 CR		屈服应力 YS MPa	标准韧脆转变温 度 FATT, °C
	°C /s			
0.30	30		680	-69.0
	60		732	-69.6
0.17	30		600	-55.0
	60		674	-57.2

[0090] 根据下表 (表 4), 进行了两次工业试验, 计为 T1 和 D1, 生产出具有相近化学成分的与试验室钢相似的钢, 具有高 Mo 含量。

[0091] 表 4

[0092]

加热	化学成分 (质量%)																		B
	C	Mn	Si	P	S		Ca		Ti		N		Cu		Al		Sn		As
					(ppm)	Ni	Cr	Mo	(ppm)	V	Nb	(ppm)	(ppm)	Cu	Al	Sn	As	B	
T1	0.09	1.51	0.24	0.01	16	0.44	0.26	0.25	20	0.064	0.029	<40	60	0.126	0.023	0.007	0.005	0.005	
D1	0.10	1.44	0.28	0.01	20	0.44	0.21	0.23	<5	0.070	0.026	<40	50	0.15	0.022	0.007	0.005	0.005	
T2	0.07	1.67	0.22	0.01	9	0.51	0.5	0.32	10	0.042	0.026	80	50	0.14	0.023	0.007	0.005	0.005	
D2	0.11	1.48	0.25	0.02	20	0.53	0.53	0.31	<5	0.058	0.026	<40	48	0.12	0.024	0.007	0.005	0.005	
T3	0.10	1.27	0.34	0.01	9	0.22	0.51	0.52	17	<0.005	0.025	70	43	0.119	0.020	0.007	0.005	0.005	

[0093] 制造 OD = 323.9mm 和 WT = 15 ~ 16mm 的管子。这些管子在 900 ~ 920°C 进行奥氏体化, 在 610 ~ 630°C 回火。同样, 制作壁厚 25mm 的管子, 在 900°C 进行奥氏体化, 在 600°C 回火。

[0094] 基于第一批试验的结果, 又进行了两次工业试验, 计为 T2 和 D2(表 4), 浇铸成除了 C 和 Mn 成分之外接近的化学成分 (0.3% Mo, 0.5% Cr, 0.5% Ni, 0.05% V, 0.000.026% Nb), 其中在 T2 (0.07% C, 1.67% Mn) 中 C 和 Mn 的含量分别低于和高于 D2 (0.11% C, 1.48% Mn) 中。最后, 特别进行了一次工业试验 (表 4 中的 T3) 以获得淬火后非常高的马氏体含量, 所以在 25 ~ 30mm 壁厚 (WT) 的无缝管中屈服应力高于 100ksi。

[0095] 本发明的合金钢的一个非常重要的特征在于其微观组织, 其特征是马氏体的含量以及板条束 (packet) 和亚晶 (sub-grain) 的尺寸。

[0096] 为了研究强度和韧性与微观组织的关系, 对试验室的钢材和工业生产的钢材进行深入的冶金学分析。同样, 对传统的 X65 和 X80 级的材料也进行分析。

[0097] 采用光学显微镜 (OM) 来测量奥氏体晶粒的平均尺寸 (PAGS), 用扫描电镜 (SEM) 和透射电镜 (TEM) 来鉴定和分析马氏体的成分。除此之外, 还采用取向成像电子显微镜 (OIM) 对局部的取向和晶体形貌进行定量分析。特别是, 这种技术可以用来分析亚晶 (取向偏差小于 5° 的低角度晶界) 和板条束 (由取向偏差大于 50° 的高角度晶界所限定)。

[0098] 平均亚晶尺寸是重要的微观组织参数来确定这些材料的屈服应力, 屈服应力与这

一参数的负平方根 (inverse of square root) 基本是线性关系 (图 3)。另一方面, 不同材料的韧性与板条束尺寸的负平方根相关。特别是, 与屈服应力相同级别的标准 FATT 具有 $\Delta \text{FATT} / \Delta \text{YS} = -0.3^\circ\text{C} / \text{MPa}$ 的关系。结果表明板条束的细化导致韧性的提高 (图 4)。

[0099] 当淬火后的微观组织主要由低碳马氏体构成时 (马氏体 M > 60%) , 可以得到细微的板条束尺寸 (图 5)。

[0100] 图 6 显示, 在马氏体组织为主体 (马氏体 M > 60%) 的材料中, 板条束尺寸与奥氏体晶粒度 (PAGS) 没有关系。因此, 但对钢实施热处理来形成马氏体为主体的组织时, 不需要对奥氏体化温度进行特别的控制来维持细微的奥氏体晶粒尺寸。

[0101] 由样品可知, 表 4 中本发明的全部钢材都满足至少 90ksi 的屈服应力以及良好的韧性水平 (例如 FATT $\leq -30^\circ\text{C}$), 因为这些材料被设计为在对壁厚为 12 ~ 30mm 的无缝管进行工业淬火中形成 M > 30% 的微观组织。

[0102] 在回火后可以形成超过 60% 的马氏体, 亚晶小于 1.1 μm 的微观组织可以导致超过 750MPa 的屈服应力, 并且板条束尺寸小于 3 μm , 可以达到非常低的 FATT 值 ($< -80^\circ\text{C}$)。

[0103] 实施例 1

[0104] 使用的材料的化学组成为 :0.09% C、1.51% Mn、0.24% Si、0.010% P、16ppm S、0.25% Mo、0.26% Cr、0.44% Ni、0.06% V 和 0.029% Nb, 管子的外径为 323.9mm, 壁厚为 15 ~ 16mm, 在 900 ~ 920°C 进行奥氏体化, 在水箱 (从外部和内部冷却管子) 中淬火, 在 610 ~ 630°C 进行回火。结果发现 (表 5) 壁厚 15 ~ 16mm 的无缝 Q&T 管适合于达到 $\text{YS} > 95\text{ksi}$ (660MPa)。使用相同化学成分和外径, 使壁厚为 25mm, 在 900°C 奥氏体化, 在 600°C 回火, 结果发现 (表 5) 壁厚 25mm 的无缝 Q&T 管适合于达到 $\text{YS} > 90\text{ksi}$ (621MPa), FATT 值为 -65°C (表 5)。

[0105] 表 5

[0106]

壁厚 WT (mm)	屈服应力 YS (MPa)	最低极限拉伸强度 UTS (MPa)	50% 韧脆转变温 度 FATT (°C)
15	680	789	-65
25	630	789	-65

[0107] 实施例 2

[0108] 使用的材料的化学组成为 :0.10% C、1.44% Mn、0.28% Si、0.010% P、20ppm S、0.230% Mo、0.26% Cr、0.070% V、0.026% Nb 和 0.44% Ni, 管子的外径为 323.9mm, 壁厚为 15 ~ 16mm, 在 900 ~ 920°C 进行奥氏体化, 从外部和内部对旋转的管子进行淬火, 在 610 ~ 630°C 进行回火。结果发现 (表 6) 壁厚 15 ~ 16mm 的无缝 Q&T 管适合于达到高于 100ksi 的屈服应力 (690MPa)。

[0109] 表 6

[0110]

WT (mm)	YS (MPa)	UTS (MPa)	50%FATT (°C)
15	775	857	-55
25	770	775	-30

[0111] 实施例 3

[0112] 使用的材料的化学组成为 :0.11% C、1.48% Mn、0.25% Si、0.016% P、20ppm S、0.31% Mo、0.53% Cr、0.058% V、0.026% Nb 和 0.53% Ni, 管子的外径为 323.9mm, 壁厚为 15 ~ 16mm, 加工步骤与实施例 2 相同, 机械性能显示于表 7 中。

[0113] 表 7

[0114]

WT (mm)	YS (MPa)	UTS (MPa)	50%FATT (°C)
15	773	840	-50

[0115] 与实施例 2(表 6) 比较, 发现添加 Cr 和 Mo 并未对韧性带来改善, 因此, 维持了壁厚为 15 ~ 16mm 的无缝 Q&T 管所需的强度水平。

[0116] 实施例 4

[0117] 使用的材料的化学组成为 :0.11% C、1.48% Mn、0.25% Si、0.016% P、20ppm S、0.31% Mo、0.53% Cr、0.058% V、0.026% Nb 和 0.53% Ni, 管子的外径为 323.9mm, 壁厚为 25mm, 水淬的效果被有意识地降低, 机械性能显示于表 8 中。

[0118] 表 8

[0119]

WT (mm)	YS (MPa)	UTS (MPa)	50%FATT (°C)
25	760	826	-5

[0120] 与实施例 2(表 6) 比较, 发现添加 Cr 和 Mo 显著提高了强度(从 700MPa 到 760MPa), 但是韧性下降(从 -30°C 降低到 -5°C) 这种变化归结为马氏体含量的降低和相应的相对粗大的板条束。

[0121] 实施例 5

[0122] 使用的材料的化学组成为 :0.07% C、1.67% Mn、0.22% Si、0.010% P、0.042% V、0.026% Nb、0.51% Ni、80ppm Ti、9ppm S, 管子的外径为 323.9mm, 壁厚为 15mm, 发现 Cr 和 Mo 的添加(将本实施例与实施例 1 相比较) 在相同的回火温度, 例如 600°C, 获得更高的强度(YS > 710MPa, Δ YS = 40MPa), 并维持良好的韧性水平。

[0123] 表 9

[0124]

WT (mm)	YS (MPa)	UTS (MPa)	50%FATT (°C)
15	710	798	-60
25	690	788	-65

[0125] 采用相同化学成分和外径的壁厚 25mm 的管子,发现 Cr 和 Mo 的添加(将本实施例与实施例 1 相比,WT = 25mm),在相同的回火温度下,例如,600℃,硬度少量提高(Δ YS = 30MPa),对韧性没有损害。

[0126] 实施例 6

[0127] 使用的材料的化学组成为:0.10% C、1.27% Mn、0.34% Si、0.010% P、0.025% Nb、0.50% Mo、0.32% Cr、0.22% Ni、70ppm Ti、9ppm S,管子的外径为 323.9mm,壁厚为 16mm,发现更多的 Mo 的添加(将本实施例与实施例 5 相比较)在稍高一点的回火温度(625℃相对 600℃),获得更高的强度(YS = 760MPa, Δ YS = 50MPa),并维持较好的韧性(Δ FATT = -60℃),这些改变归结于马氏体的含量接近 100%。

[0128] 表 10

[0129]

WT (mm)	YS (MPa)	UTS (MPa)	50%FATT (℃)
16	760	800	-120
25	768	830	-90

[0130] 采用相同化学成分和外径的壁厚 25mm 的管子,发现 Mo 的添加(将本实施例与实施例 5 相比,WT = 25mm),在相同的回火温度下,例如 600℃,同样提高了硬度(Δ YS = 80MPa),韧性良好(FATT = -90℃)没有损害。这些改变归结于马氏体的含量超过 65%。

[0131] 本发明采用具体实施例来说明和描述,但本发明并不限于这些实施例,在不脱离本发明宗旨的前提下可以进行各种的改进和结构变化。本发明所选择和描述的实施方式是用来很好地解释本发明的原理,本领域技术人员应用本发明和各种实施方式进行的各种改进都包括在本发明范围内。

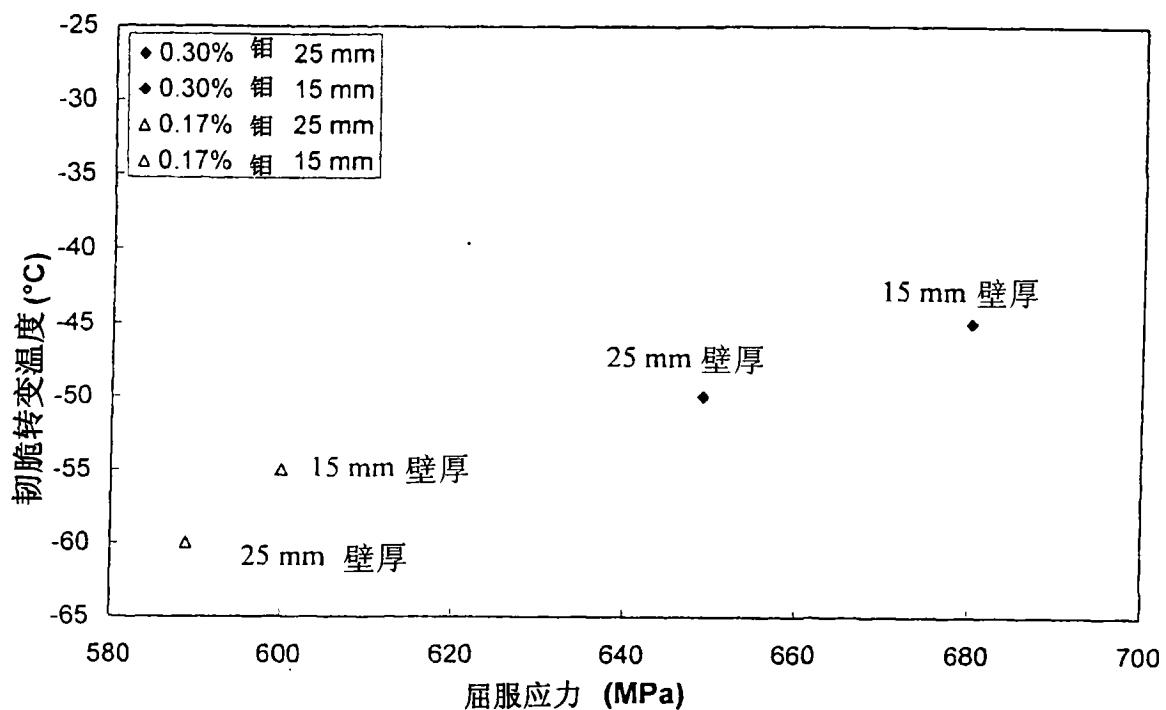


图 1

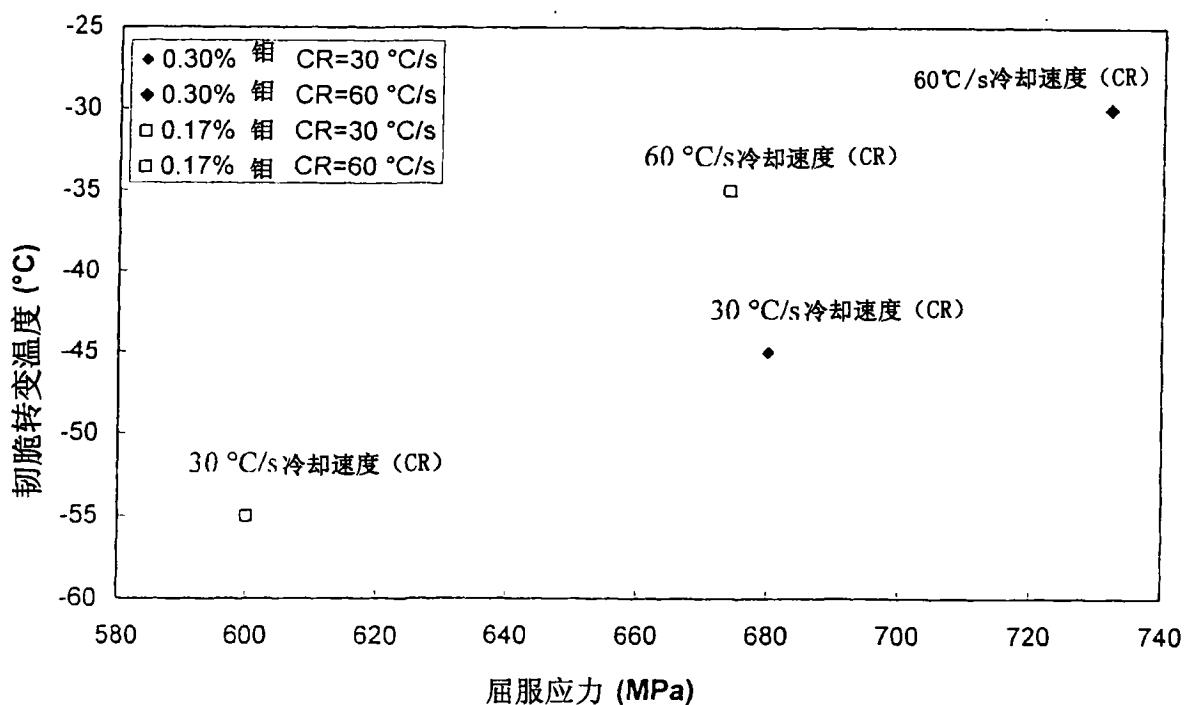


图 2

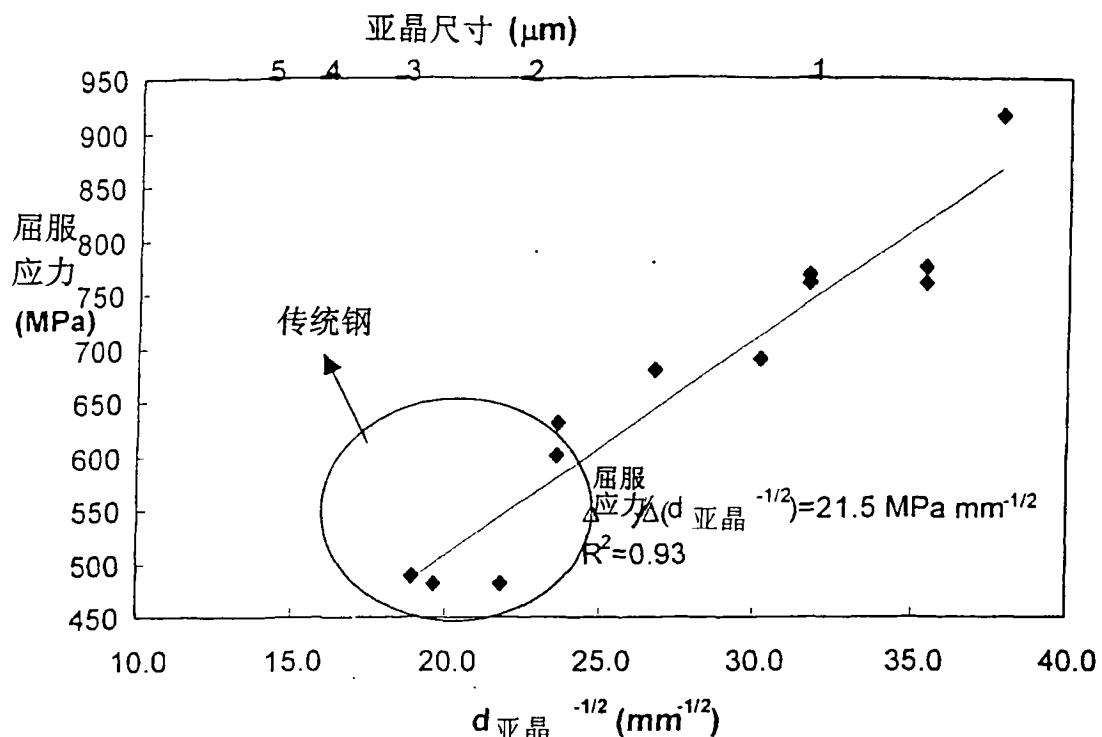


图 3

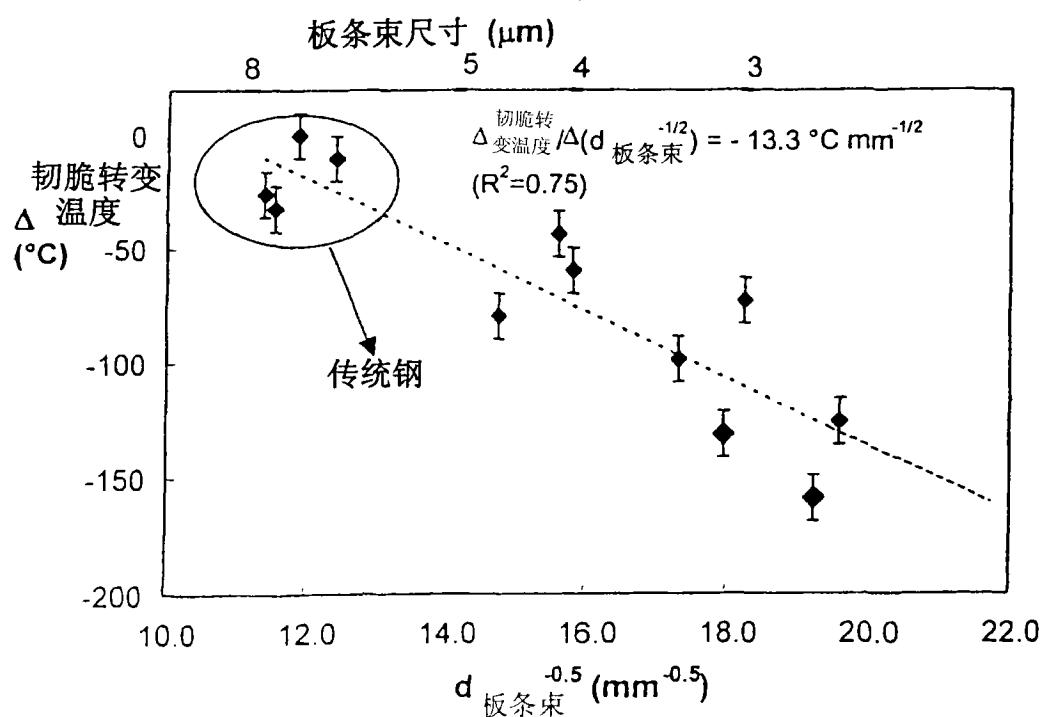


图 4

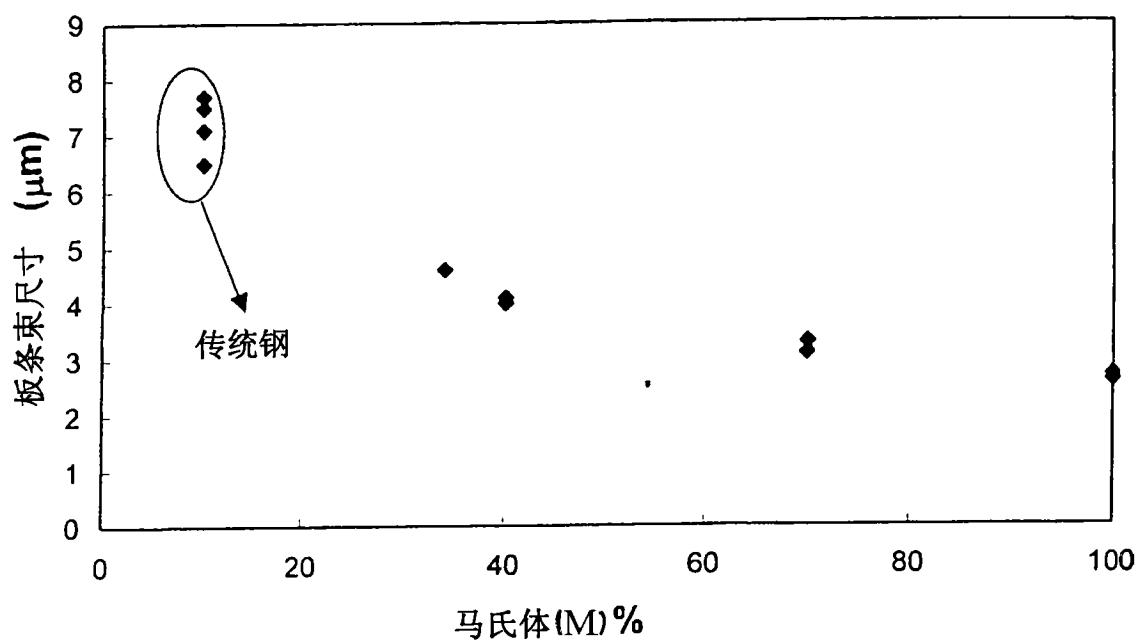


图 5

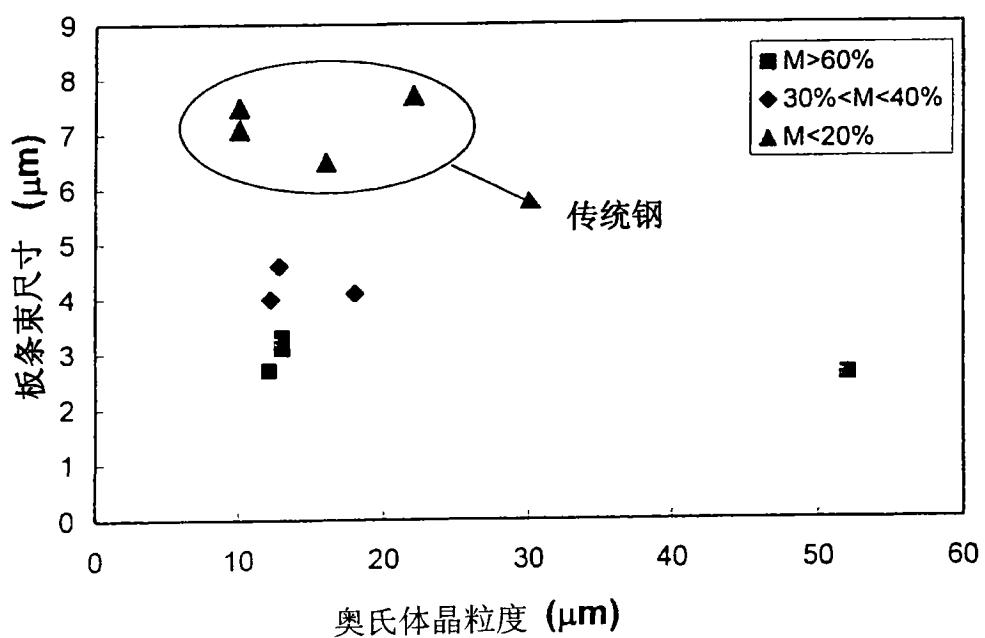


图 6