

· 工艺材料进展 ·

国内外高强度管线钢专利技术研发进展

陈 妍 牟 昊 齐殿威
(鞍钢股份技术中心, 鞍山 114009)

摘 要 根据 2011 年国内外公布的高强度管线钢-平板、热轧板卷和无缝管的专利制造技术, 概述了抗大变形、优良低温韧性、耐腐蚀性管线钢的关键技术、组织和性能。高强度管线钢研发特点和趋势主要有: 抗大变形管线钢- 通过组织中弥散的 M/A 组元提高钢的强度; 低温韧性钢- 采用 Mn-Nb-Mo 合金化, 通过控制轧制获得铁素体和/或贝氏体为主的组织; 抗 HIC(氢致裂纹) 管线钢- 控制 C、P、Mn 偏析引起的 HIC 的前提下, 降低 Nb、Ti 含量, 防止因 Nb、Ti 碳氮化物引起的氢致开裂。

关键词 高强度管线钢 抗大变形 低温韧性 抗 HIC 专利 研发进展

R&D Progress on High Strength Pipeline Steel at Home and Abroad

Chen Yan, Mu Hao and Qi Dianwei
(Technology Center, Ansteel Co Ltd, Anshan 114009)

Abstract Based on published patented manufactured technologies for high strength pipeline steel including heavy plate, hot rolled coil and seamless tube at home and abroad in 2011, the key manufacturing technologies, structure and properties of pipeline steel with excellent anti-large-strain-deformation, low temperature toughness and corrosion resistance are summarized. The main R&D characteristics and trend on high strength pipeline steel are excellent anti-large-strain-deformation steel- through dispersed M/A to increase strength of steel; low temperature toughness steel- using Mn-Nb-Mo alloying and control rolling to get main ferrite and/or bainite structure; and anti-HIC (hydrogen-induced cracking) pipeline steel- with prerequisite to control C, P, Mn segregation induced HIC, lowering Nb and Ti content in steel to prevent Nb, Ti carbo-nitride inducing hydrogen-induced cracking.

Material Index High Strength Pipeline Steel, Anti-Large-Strain-Deformation, Low Temperature Toughness, Anti-HIC, Patent, R&D Progress

1 专利公开的总体情况

2011 年首次公开高强度管线钢专利 70 件, 包括平板、热轧板卷和无缝管, 涉及低温韧性优良管线钢、抗大变形管线钢、耐腐蚀性能优良管线钢以及管线管的生产方法。2011 年管线钢专利公开的总体情况及重点研发领域见表 1。

2 典型高强度管线钢的关键技术

2.1 平板

表 1 最新高强度管线钢研发重点

Table 1 Recent R&D key field for high strength pipeline steel

公司	平板	卷板	无缝管
JFE	抗大变形	低温韧性、耐腐蚀	
新日铁	低温韧性	耐腐蚀	
住友金属	耐腐蚀		低温韧性
POSCO	低温韧性	低温韧性	
现代制铁	低温韧性		
中石油	抗大变形、低温韧性		
南钢股份	抗大变形、高强韧性、耐腐蚀		
鞍钢		高强韧性、耐腐蚀	
首钢	高强韧性、低温韧性		
天津钢管			低温韧性

2.1.1 抗大变形

2011 年公开的抗大变形管线钢(管)专利技术均基于应变设计提出, JFE 和南钢股份通过不同的热处理方法解决管线钢的抗应变时效问题, 中石油公开的专利涉及满足纵向屈服强度、屈强比及均匀伸长率要求的 X70 级直缝埋弧焊管。2011 年公开的典型抗大变形管线钢平板的化学成分、关键技术见表 2^[1]。

2.1.2 低温韧性

2011 年公开的 -30℃ 以下低温韧性优良管线钢平板专利技术可以归纳为: 成分设计上采用 Mn-Nb-Mo 合金体系, 辅以适量的 Ni、Cr、Cu 等元素配合; 生产方法上通过不同的控轧控冷及热处理工艺, 减少偏析, 获得针状铁素体、贝氏体和马氏体、铁素体和珠光体以及铁素体和贝氏体 4 种基本组织类型; 产品种类上中石油以 X70 ~ X100 级管件和弯管为主, 首钢针对 X70 级海底管线用钢, 新日铁针对 X70 级低成本和 X80 级止裂性优良的管线用钢, 浦项则是以 X100 级管线用钢的止裂性为研究方向。

2011 年公开的典型低温韧性优良管线钢平板

表 2 典型抗大变形优良管线钢平板的化学成分、关键技术、组织和性能

Table 2 Chemical composition, key manufacturing technologies, structure and properties of typical pipeline steel plate with excellent anti-large-strain-deformation performance

公司	化学成分/%	关键技术	组织、性能
南钢股份	0.060C, 0.20Si, 1.50Mn, 0.010P, 0.0008S, 0.20Cr, 0.054Nb, 0.010Ti, 0.20Ni, 0.024Al, 0.039Cu	TMCP (Thermal Mechanical Control Processing, 热机械轧制) 工艺, 板坯加热 1150 ~ 1250 °C, 粗轧 950 ~ 1050 °C, 精轧开轧 880 ~ 900 °C; 轧后层流冷却, 终冷 600 ~ 650 °C, 冷却速率 5 ~ 15 °C/s; 然后进行 Ac ₁ ~ Ac ₃ 两相区淬火, 保温 2 min/mm × 板厚 + 10 min。	屈服强度 510 ~ 580 MPa, 抗拉强度 630 ~ 720 MPa, 伸长率 26% ~ 40%, 屈强比 ≤ 0.8, 组织为铁素体、贝氏体和部分 MA, 铁素体占 20% ~ 60%。
中石油	0.050C, 0.25Si, 1.68Mn, 0.0020S, 0.01Mo, Ni + Cr + Cu = 0.688, V + Nb + Ti = 0.055	将成品钢板经铣边、折弯边预折弯、JCO 成型、接缝预焊、接缝内外精焊等工序, 生产直缝埋弧焊管。	钢管原料为厚度 ≤ 21 mm 的 X70 级钢板, 组织为铁素体和贝氏体。
JFE	0.052 ~ 0.062C, 0.20Si, 2.50Mn, 0.008P, 0.001S, 0.034Nb, 0.014Ti, 0.030Al, 0.004N, 0.002O, Ti/N = 3.5	铸坯加热 1000 ~ 1300 °C, Ar ₃ 以上热轧, 900 °C 以下的累计压下率 ≥ 50%, 在 Ar ₃ 以上终轧, ≥ 5 °C/s 冷却至 500 ~ 680 °C, 以 ≥ 2 °C/s 再加热至 550 ~ 750 °C, 保温 ≤ 30 min。	贝氏体 + MA, MA 3% ~ 20%, 且当量直径 ≤ 3.0 μm, 均匀伸长率 ≥ 7%, 屈强比 ≤ 0.85。 贝氏体 5% ~ 70%, MA 3% ~ 20%, 当量直径 ≤ 3.0 μm, 其余为多边形铁素体, 均匀伸长率 ≥ 7%, 屈强比 ≤ 0.85。

表 3 典型低温韧性优良管线钢平板的化学成分、关键技术、组织和性能

Table 3 Chemical composition, key manufacturing technologies, structure and properties of typical pipeline steel plate with excellent low temperature toughness

公司	化学成分/%	关键技术	组织、性能
中石油	0.120C, 0.36Si, 1.68Mn, 0.0090P, 0.0030S, 0.23Cr, 0.070Nb, 0.030Ti, 0.17Cu, 0.25Mo, 0.0700N, 0.30Ni, 0.030Al, 0.0030Ca, 0.0015B, 0.100C, 0.30Si, 1.90Mn, 0.015P, 0.010S, 0.4Cr, 0.10Nb, 0.020Ti, 0.30Cu, 0.35Mo, 3.50Ni, 0.050Al, 0.0010B, 0.05V	转炉熔炼, Ca 处理, 二次精炼和真空脱气, 连铸电磁搅拌, 板坯加热 1200 °C, 在 1000 ~ 1100 °C 粗轧, 700 ~ 950 °C 精轧, 轧后冷却速率 20 ~ 50 °C/s, 将钢板焊接成钢管, 焊管经 930 ~ 1030 °C 感应加热制成 10° ~ 90° 弯管, 喷水冷却, 再加热至 600 ~ 700 °C, 2 ~ 3 h 回火, 水冷。 将钢板卷筒进行焊接, 焊后采用模具热压成型, 成型温度为 800 ~ 1000 °C, 管件 900 ~ 1050 °C 淬火, 520 ~ 650 °C 回火, 冷却速率 > 15 °C/s。	X100 级弯管和管件, 管径 508 ~ 1422 mm, 弯管壁厚 15 ~ 35 mm, 管件壁厚 30 ~ 70 mm, 屈强比 ≤ 0.93, 伸长率 ≥ 25%, -35 ~ -50 °C 的冲击吸收功为 60 ~ 250 J。 X80 级耐低温管件为三通或弯头, 直径为 406 ~ 1422 mm, 壁厚 15 ~ 60 mm, 组织为贝氏体或贝氏体 + 马氏体, -45 °C 的冲击吸收功 ≥ 40 J。
首钢	0.062C, 0.19Si, 1.53Mn, 0.0090P, 0.0020S, 0.18Cr, 0.048Nb, 0.018Ti, 0.23Cu, 0.17Mo, 0.18Ni, 0.042Al	板坯加热 1120 ~ 1210 °C, 1.5 ~ 2.5 h, 粗轧温度 980 ~ 1070 °C, 钢坯展宽后至待温前总变形率为 60% ~ 75%, 单次总变形率 15.5% ~ 30%, 最后 3 个道次压下率均 ≥ 23%, 精轧开轧 850 ~ 920 °C, 终轧 760 ~ 840 °C, 钢坯总变形率 70% ~ 80%, 最后以 12 ~ 28 °C/s 冷却至 455 ~ 570 °C。	X70 级海底管线用钢, 板厚 25 ~ 35 mm, 纵向屈服强度 ≥ 500 MPa, 抗拉强度 ≥ 620 MPa, 屈强比 ≤ 0.83, -60 °C 纵向冲击功 ≥ 240 J, 50% FATT (韧脆转变温度) < -60 °C, -40 °C DWTT (Drop Weight Tear Test, 落锤撕裂试验) 剪切面积 (SA%) 单值 ≥ 60%, 针状铁素体。
新日铁	0.042C, 0.08Si, 1.75Mn, 0.0030P, 0.0008S, 0.30Cr, 0.030Nb, 0.012Ti, 0.30Cu, 0.10Mo, 0.0021N, 0.15Ni, 0.008Al, 0.0021Ca, 0.0053Mg, 0.0020O, 0.070C, 0.32Si, 1.30Mn, 0.0060P, 0.0044S, 0.062Nb, 0.011Ti, 0.15Mo, 0.0039N, 0.006Al, 0.0032Ca, 0.0580V, 0.0011B, 0.00080	钢坯加热 1100 ~ 1250 °C, 在 900 °C 以上再结晶温度区域热轧, 再在 750 ~ 900 °C 未再结晶温度区域热轧, 750 °C 以上开始水冷至 400 ~ 500 °C。 采用轻压下技术, 将获得的板坯加热至 1500 °C 以下, 850 °C 以上累计压下率 ≥ 40%, 终轧温度为 700 ~ 800 °C, 终轧后空冷, 空冷后可进行 300 ~ 500 °C 回火处理。	抗拉强度 ≥ 600 MPa, 中心 Mn, Nb, Ti 的偏析度分别 ≤ 2.0, ≤ 4.0 和 ≤ 4.0, 中心偏析的最大硬度 (HV) ≤ 400, 贝氏体 + 马氏体 ≥ 90%, 其余为铁素体, 且原奥氏体平均直径 ≤ 10 μm。 壁厚 ≥ 18 mm, 屈服强度 ≥ 450 MPa, 钢板中 Mn, Si, P 偏析度分别 ≤ 1.7, ≤ 1.5, ≤ 8.0, 组织以铁素体和珠光体为主, MA ≤ 1.5%, -20 °C DWTT SA% ≥ 70%。
POSCO	0.053C, 0.15Si, 1.90Mn, 0.0052P, 0.0011S, 0.48Cr, 0.038Nb, 0.014Ti, 0.20Cu, 0.12Mo, 0.0042N, 0.48Ni, 0.024Al, 0.0013Ca, 0.0021B, 0.0380V	板坯加热 1050 ~ 1150 °C, 奥氏体再结晶温度以上轧制, 累计压下率 20% ~ 60%; 然后在 Ar ₃ 到奥氏体再结晶温度之间轧制, 累计压下率 40% ~ 80%, 5 ~ 15 °C/s 冷却至 (Ar ₃ -20) ~ (Ar ₃ -10) °C, 二次冷却 20 ~ 50 °C/s 冷却至 200 ~ 400 °C。	抗拉强度 ≥ 930 MPa, 表面硬度为 170 ~ 260 HV, -40 °C 冲击功 ≥ 230 J, 组织含有 75% 以上的多边形铁素体和针状铁素体, 5% 以下的粒状贝氏体, 其余为珠光体或马氏体。
现代制铁	0.040C, 0.25Si, 1.90Mn, 0.0080P, 0.0020S, 0.040Nb, 0.015Ti, 0.20Cu, 0.30Mo, 0.20Ni, 0.030Al, 0.0600V	板坯加热 1100 ~ 1200 °C, 终轧 750 ~ 770 °C, ≤ 15 °C/s 从 740 ~ 760 °C 冷却至 400 °C。	屈服强度 730 ~ 750 MPa, 抗拉强度 820 ~ 850 MPa, -40 °C 冲击功 ≥ 250 J, 铁素体和贝氏体。

的化学成分、关键技术见表 3^[5-11]。

2.1.3 耐腐蚀性

2011 年公开耐腐蚀管线钢的专利技术方案包

括两个方面: 国内南钢股份通过调质处理改善组织和成分的均匀性, 提高钢板抗 HIC 性; 日本住友金属通过成分控制提高钢板的抗 HIC 性。2011 年公

开的典型耐腐蚀管线钢平板的化学成分、关键技术见表4^[12-14]。

2.2 卷板

2.2.1 低温韧性

2011年公开的低温韧性优良管线钢卷板专利的主要申请人为日本JFE和韩国POSCO,采取的技术

方案为:JFE是在成分调整的基础上,采用控制轧制及轧后的加速冷却获得高强韧性,特别重视加速冷却方面的研究,韩国POSCO则关注成本,研究方向是通过成分调整,获得良好性能。2011年公开的典型低温韧性优良管线钢卷板的化学成分、关键技术见表5^[15-18]。

表4 典型耐腐蚀优良管线钢平板的化学成分、关键技术、组织和性能

Table 4 Chemical composition, key manufacturing technologies, structure and properties of typical pipeline steel plate with excellent corrosion resistance

公司	化学成分/%	关键技术	组织、性能
南钢股份	0.06C, 0.22Si, 1.55Mn, 0.009P, 0.0007S, 0.050Nb, 0.016Ti, 0.035Al, 0.040Cu, 0.17Cr, 0.02Ni	铸坯加热1150~1250℃,粗轧1000~1100℃,精轧850~1000℃;层流冷却,返红450~600℃,冷却速率5~25℃/s;调质处理,淬火910~950℃ 20~50 min,回火450~700℃ 20~50 min,空冷。	组织为均匀细小的粒状贝氏体和铁素体、板条贝氏体和铁素体以及铁素体组织。
住友金属	0.06C, 0.40Si, 0.91Mn, 0.010P, 0.0008S, 0.006Nb, 0.024Al, 0.006Mo, 0.0042N, 0.0010O; 0.05C, 0.11Si, 1.40Mn, 0.005P, 0.0004S, 0.038Nb, 0.013Ti, 0.029Al, 0.0019Ca, 0.041V, 0.1≤Cu+Ni+Cr+Mo≤1.5	铸坯加热Ac ₃ ~1000℃,≥930℃粗轧,≥800℃精轧终轧;5~80℃/s从Ar ₃ 以上温度急冷至400~550℃后空冷。 铸坯加热1100~1200℃,热轧,在大于Ar ₃ 温度以5~30℃/s冷却。	板厚≥20 mm,屈服强度448~483 MPa,抗拉强度531~565 MPa,组织以贝氏体为主。 板厚6.0~38.1 mm,屈服强度≥483 MPa。

注:厚度方向距中心5%板厚处的Nb含量<0.06%,Ti含量<0.025%。

表5 典型低温韧性优良管线钢卷板的化学成分、关键技术、组织和性能

Table 5 Chemical composition, key manufacturing technologies, structure and properties of typical pipeline steel strip coil with excellent low temperature toughness

公司	化学成分/%	关键技术	组织、性能
JFE	0.055C, 0.23Si, 1.77Mn, 0.010P, 0.0020S, 0.080Nb, 0.010Ti, 0.120V, 0.022Al, 0.004N, 0.29Mo; 0.080C, 0.20Si, 0.99Mn, 0.006P, 0.0003S, 0.24Cr, 0.055Nb, 0.011Ti, 0.070V, 0.17Cu, 0.17Ni, 0.040Al, (Ti+Nb/2)/C<4; 0.046C, 0.23Si, 1.21Mn, 0.006P, 0.0004S, 0.24Cr, 0.049Nb, 0.011Ti, 0.069V, 0.16Cu, 0.17Ni, 0.041Al, (Ti+Nb/2)/C<4	板坯加热1100~1300℃,950℃以下温度区域内的累计压下率≥45%,精轧终轧≥(Ar ₃ -30)℃,热轧,以>20℃/s冷却至550~650℃,空冷,卷取后,以板卷1/2厚度处冷却速率≤1℃/s放冷。 三次冷却工艺:(1)终轧后,以≥(20℃/s~马氏体生成临界冷速)的平均冷却速度加速冷却;(2)第一次冷却后,将板厚中心急冷至350~600℃,前两次冷却时间<60s;(3)将带钢卷取后,板卷厚度方向1/4~3/4处温度保持在350~600℃≥30 min。 三次冷却工艺:(1)终轧后,以≥30℃/s将钢板表面冷却到500℃以下;(2)第一次冷却后,进行10s以内的空冷;(3)以≥10℃/s板厚中心平均冷速,将板厚中心急冷至350~600℃,冷却总时间<60s,350~600℃卷取。	抗拉强度≥760 MPa,母材和HAZ(Heat Affected Zone,焊接热影响区)的韧脆转变温度分别为-100℃和-40℃。组织为贝氏体,且其中分布规定量的Nb、V碳氮化物。 板厚20.0~35.4 mm,抗拉强度≥535 MPa,-80℃冲击功≥200 J。 板厚20.0~35.4 mm,抗拉强度≥535 MPa,表层含有50%以上的马氏体相,在晶界析出渗碳体的长度占整个晶界长度的10%以下,-80℃冲击功≥200 J。
POSCO	0.080C, 0.20Si, 1.60Mn, 0.20Cr, 0.060Nb, 0.020Ti, 0V, Mn/20+Si/14+Cr/24≥0.11	板坯加热到950~1100℃热轧,累计压下率≥60%,最后3道次的压下率均≥18%,终轧750~880℃,冷却速率≥10~50℃/s,卷取450~600℃。	屈服强度≥560 MPa,抗拉强度≥625 MPa,-20℃冲击功≥272 J。

2.2.2 耐腐蚀性

2011年公开的耐腐蚀管线钢卷板(或钢管)专利主要设计思路是在保证强韧性的基础上如何获得优良的耐腐蚀性能。鞍钢采用微Ti处理、C-Mn-Nb成分设计,控制钢中的夹杂物和带状组织,获得良好的HIC性能和抗SSCC(Sulfide Stress Corrosion Cracking,硫化氢应力腐蚀开裂)性。新日铁对钢管

进行低温热处理,提高钢管的抗HIC性能,热处理温度根据钢材的碳当量(CE)值确定。JFE通过对12Cr马氏体不锈钢焊管的焊缝进行焊后热处理,提高焊缝的抗晶粒间应力腐蚀开裂性(IGSCC)。2011年公开的典型耐腐蚀管线钢卷板的化学成分、关键技术见表6^[19-21]。

2.3 无缝管

表 6 典型耐腐蚀优良管线钢卷板的化学成分、关键技术、组织和性能

Table 6 Chemical composition, key manufacturing technologies, structure and properties of typical pipeline steel strip coil with excellent corrosion resistance

公司	化学成分/%	关键技术	组织、性能
鞍钢	0.040C, 0.19Si, 1.30Mn, 0.009P, 0.0014S, 0.012Ti, 0.026Al, 0.0018Ca, 0.02Nb, 0.0034N, 0.0008O, 0.0001H	连铸后 500 ~ 850 °C 热装, 1150 ~ 1250 °C 热轧, 粗轧终轧 950 ~ 1050 °C, 精轧终轧 770 ~ 870 °C, 精轧压下率 > 60%, 层流冷却, 冷却速度 8 ~ 20 °C/s, 终冷 550 ~ 700 °C, 冷却后卷取	X65 级管线用卷板, 壁厚 6.25 ~ 12.5 mm, 组织为细小铁素体和少量珠光体, 并控制带状组织产生
新日铁	0.054C, 0.25Si, 1.05Mn, 0.008P, 0.0008S, 0.035V, 0.021Ti, 0.026Al, 0.0025Ca, 0.015Nb, 0.0021N, 0.0017O	制成焊管热处理, 加热温度 (1250 CE + 225) °C 以上, Ac ₁ 或 700 °C 以下 (式中 CE = C + Mn/6 + (Ni + Cu)/15 + (Cr + Mo + V)/5) ≥ 30 s	X65 级以上管线用焊管, 抗拉强度 ≥ 530 MPa, CE 为 0.22 ~ 0.30
JFE	0.0112C, 0.21Si, 0.52Mn, 0.014P, 0.0015S, 12.5Cr, 2.1Mo, 0.033V, 0.075Ti, 0.022Al, 0.0020Ca, 0.024Nb, 0.011N, 5.5Ni, 1.1Cu	热轧后, 对钢板进行回火处理, 制成焊管后, 对焊缝进行 550 ~ 700 °C 保温 1 ~ 20 min 的热处理	马氏体不锈钢, 屈服强度 ≥ 590 MPa, 抗拉强度 ≥ 760 MPa, 伸长率 ≥ 21%

2011 年用于油气输送的无缝管专利主要集中在厚壁海底管线用无缝管的研究。天津钢管采用不同的合金设计, 一方面确保钢管不同壁厚值下淬透性问题; 另一方面解决耐腐蚀性和低温韧性。住友金属主要是对晶粒细化方法进行探讨, 采用加速冷却和回火工序之间增加淬火处理, 提高韧性。2011 年公开的典型低温韧性优良管线钢无缝管的化学成分、关键技术见表 7^[22-23]。

3 高强度管线钢研发特点及趋势

(1) 随着全球对能源需求的不断增加以及能源开采环境越来越恶劣, 抗大变形性能、低温韧性、止裂性能和耐腐蚀性已成为研发关注点, 并且具有上述复合特性的管线钢研发备受重视, 已成为各钢板(管)生产企业的研发趋势。

(2) 2011 年公开的抗大变形管线钢专利基于应

表 7 典型低温韧性优良的海底管线用无缝管的化学成分、关键技术、组织和性能

Table 7 Chemical composition, key manufacturing technologies, structure and properties of typical seamless tube for pipeline used in sea with excellent low temperature toughness

公司	化学成分/%	关键技术	组织、性能
天津钢管	0.080C, 0.23Si, 1.25Mn, 0.011P, 0.0010S, 0.08Cr, 0.10Mo, 0.060V, 0.030Nb, 0.12Cu, 0.10Ni, 0.029Al	电弧炉炼钢, VD, Ca 处理, 铸坯, 铸坯加热 1260 ~ 1320 °C, 穿孔温度 1100 ~ 1200 °C, 终轧 900 ~ 950 °C 轧制成钢管; 钢管加热至 Ac ₃ 温度以上 20 ~ 25 °C, 30 ~ 68 min, 水淬, 钢管在 45 s 内冷却至室温, [(11420-12Y)/7] °C 回火, 其中 Y 为目标屈服强度, 保温 54 ~ 130 min	壁厚 12 ~ 50 mm, 调质处理后成品管屈服强度 ≥ 625 MPa, -40 °C 横向全尺寸夏比冲击功 ≥ 150 J, 纵向冲击功 ≥ 160 J, 伸长率 ≥ 20%, DWTT SA% ≥ 90%, 组织为均匀回火贝氏体
住友金属	0.062C, 0.24Si, 1.51Mn, 0.014P, 0.0011S, 0.24Cr, 0.16Mo, 0.015V, 0.026Nb, 0.19Ni, 0.032Al, 0.0021Ca, 0.003Ti, 0.0041N	圆坯加热 1100 ~ 1300 °C, 采用连续轧管机, 多辊定径机轧成无缝管后再加热至 900 ~ 1100 °C, 保温 < 30 min, 以 100 °C/min 以上的速率冷却至 Ar ₁ 以下, 然后在 Ac ₃ 以上进行淬火处理, 最后在 Ac ₁ 以下进行回火处理	母材组织为马氏体和贝氏体, 屈服强度 ≥ 450 MPa, 壁厚 ≥ 32 mm, 韧脆转变温度 ≤ -70 °C

注: 成分满足 $Ti + V + Nb < 0.06$, $CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15 \geq 0.38$

变设计的理念下, 更关注如何采用热处理方法解决管线钢的抗应变时效问题, 并通过组织中细微分散的 MA 组元, 提高钢材的强度。

低温韧性优良管线钢是以采用 Mn-Nb-Mo 合金体系作为成分设计基础, 组织以铁素体和/或贝氏体为主, 国内的研发更贴近市场需求。

抗 HIC 性优良管线钢研发的主要内容是在控制 C、P、Mn 偏析引起的 HIC 的前提下, 降低 Nb、Ti 含量, 防止因 Nb、Ti 的碳氮化物引起的氢致开裂。

(3) 为解决 UOE 钢管供应能力不足以及降低

管线施工成本等要求, 采用厚壁电焊管和螺旋焊管替代 UOE 钢管的研究不断深入, 具有更高强度和低温韧性的管线用卷板成为重点研究内容, 作为技术领先的日本企业, 利用相变强化和析出强化获得高强度、利用组织细化获得高韧性依然是实现钢板高强度韧性的主要手段。

(4) 随着人类对海上油田管线安全性能越来越重视, 无缝管显示出焊管无法替代的优势, 尤其是深海钻井油田加速开发, 促进了厚壁管线的发展, 高强度韧性厚壁海底管线用无缝管的研发将成为今后的重点方向之一。

参考文献

- [1] 南京钢铁股份有限公司. 一种具有优异抗时效性的抗大变形管线钢及其生产方法. CN, 102080194. [DB/OL]. 2011-03-08 [2011-06-01]. <http://search.cnipr.com/search! do Detail Search. action>
- [2] 中国石油集团渤海石油装备制造有限公司, 巨龙钢管有限公司, 南京巨龙钢管有限公司. 一种 X70 钢级抗大变形直缝埋弧焊管制造方法. CN, 102248023. [DB/OL]. 2011-08-05 [2011-11-23]. <http://search.cnipr.com/search! do Detail Search. action>
- [3] JFE Steel Corp.. Steel Plate Having Low Yield Ratio, High Strength and High Uniform Elongation and Method for Producing Same. WO, 2011040622. [DB/OL]. 2009-09-30 [2011-04-07]. http://worldwide.espacenet.com/search Results? compact = false&PN = WO2011040622&ST = advanced&locale = en_EP&DB = EPODOC
- [4] JFE Steel Corp.. Steel Plate with Low Yield Ratio, High Strength, and High Toughness and Process for Producing Same. WO, 2011040624. [DB/OL]. 2009-09-30 [2011-04-07]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110407&CC = WO&NR = 2011040624A1&KC = A1
- [5] 中国石油天然气集团公司, 中国石油天然气集团公司管材研究所. 一种 X100 钢级弯管和管件的制备方法. CN, 102127698. [DB/OL]. 2011-02-22 [2011-07-20]. <http://search.cnipr.com/search! do Overview Search. action>
- [6] 中国石油集团渤海石油装备制造有限公司, 巨龙钢管有限公司. 一种 X80 钢及其所制耐低温管件和管件的制造方法. CN, 102242323. [DB/OL]. 2011-08-25 [2011-11-16]. <http://search.cnipr.com/search! do Overview Search. action>
- [7] 首钢总公司. 一种海底管线用 X70 热轧中厚板的生产方法. CN, 102181796. [DB/OL]. 2011-03-31 [2011-09-14]. <http://search.cnipr.com/search! do Detail Search. action>
- [8] Nippon Steel Corp.. High-strength Steel Plate and High-strength Steel Pipe with Superior Low-temperature Toughness for Use in Line Pipes. WO, 2011027900. [DB/OL]. 2009-09-02 [2011-03-10]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110310&CC = WO&NR = 2011027900A1&KC = A1
- [9] Nippon Steel Corp.. Steel for Linepipe Having Good Strength and Malleability, and Method for Producing the Same. WO, 2011043287. [DB/OL]. 2009-10-05 [2011-04-14]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110414&CC = WO&NR = 2011043287A1&KC = A1
- [10] POSCO. Ultra High Strength Steel Plate for A Pipelining with Excellent Resistance to Surface Cracking and Manufacturing Method Thereof. KR, 2011062903. 2009-12-04 [2011-06-10]. <http://kpa.kipris.or.kr/kpa2010/rcsa1000a.do>
- [11] HYUNDAI Steel Co.. The High Strength Steel Plate for the Line Pipe and Manufacturing Method Thereof. KR2011098185. 2010-2-26 [2011-9-01]. <http://kpa.kipris.or.kr/kpa2010/rcsa1000a.do>
- [12] 南京钢铁股份有限公司. 一种具有抗氢致开裂性的管线钢板及其生产方法. CN, 102286690. [DB/OL]. 2011-08-30 [2011-12-21]. <http://search.cnipr.com/search! do Detail Search. action>
- [13] Sumitomo Metal IND.. Thick Steel Plate Having Excellent Hydrogen-induced Cracking Resistance and Brittle Crack Arrest Property. JP, 2011001607. [DB/OL]. 2009-06-19 [2011-01-26]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110106&CC = JP&NR = 2011001607A&KC = A
- [14] Sumitomo Metal IND.. Steel Sheet Having Excellent HIC Resistance and UOE Steel Pipe. JP, 2011063840. [DB/OL]. 2009-06-19 [2011-01-06]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110331&CC = JP&NR = 2011063840A&KC = A
- [15] JFE Steel Corp.. High-tensile-strength Hot Rolled Steel Plate for High Strength Welded Steel Pipe and Manufacturing Method Therefor. JP, 2011017061. [DB/OL]. 2009-07-10 [2011-01-27]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110127&CC = JP&NR = 2011017061A&KC = A
- [16] JFE Steel Corp.. Method for Manufacturing Thick-wall High-tensile-strength Hot-rolled Steel Plate Superior in Low-temperature Toughness. JP, 2011179042. [DB/OL]. 2010-02-26 [2011-09-15]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110915&CC = JP&NR = 2011179042A&KC = A
- [17] JFE Steel Corp.. Method for Manufacturing Thick-wall High-tensile-strength Hot-rolled Steel Plate Superior in Low-temperature Toughness. JP, 2011179043. [DB/OL]. 2010-02-26 [2011-09-15]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110915&CC = JP&NR = 2011179043A&KC = A
- [18] POSCO. The Hot-rolled Sheet for the Line Pipe and Manufacturing Method Thereof. KR, 2011077091. [DB/OL]. 2010-12-30 [2010-07-07]. <http://kpa.kipris.or.kr/kpa2010/rcsa1000a.do>
- [19] 鞍钢股份有限公司. 一种低成本抗酸性管线钢热轧卷板及其制造方法. CN, 102021476. [DB/OL]. 2009-09-18 [2011-04-20]. <http://search.cnipr.com/search! do Detail Search. action>
- [20] NIPPON Steel Corp.. Method for Manufacturing Electrosealed Steel Pipe Having Sour-gas Resistance for Line Pipe. JP, 2011017048. [DB/OL]. 2009-07-08 [2011-01-27]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110127&CC = JP&NR = 2011017048A&KC = A
- [21] JFE Steel Corp.. Method for Manufacturing Martensitic Stainless Steel Welded Tube Excellent in Intergranular Stress Corrosion Cracking Resistance. JP, 2011089159. [DB/OL]. 2009-10-21 [2011-05-06]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20110506&CC = JP&NR = 2011089159A&KC = A
- [22] 天津钢管集团股份有限公司. 高强度高韧性 X90 厚壁无缝管线钢管及其制造方法. CN, 102051527. [DB/OL]. 2010-11-16 [2011-05-11]. <http://search.cnipr.com/search! do Detail Search. action>
- [23] Sumitomo Metal IND. Seamless Steel Pipe for Line Pipe and Method for Producing the Same. WO, 2011152240. [DB/OL]. 2010-06-02 [2011-12-8]. http://worldwide.espacenet.com/publication Details/biblio? DB = EPODOC&II = 0&ND = 3&adjacent = true&locale = en_EP&FT = D&date = 20111208&CC = WO&NR = 2011152240A1&KC = A1

陈妍(1971-),女,鞍山师范学院毕业,副研究员,国内外钢铁专利研究。E-mail:lychenyan@sina.com

收稿日期:2012-12-14