

非调质钢在油井管中的发展

叶晓瑜¹, 樊刚¹, 柯晓涛²

(1. 昆明理工大学材料与冶金工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 攀钢钢铁研究院, 四川 攀枝花 617000)

1 前言

微合金非调质钢(简称非调质钢)是伴随国际上能源短缺而发展起来的一种高效节能钢,用以替代传统的淬火+高温回火(调质)热处理的碳素钢或合金结构钢,非调质钢由于取消了淬火回火等工序,从而具有简化生产工艺流程,提高材料利用率,改善零件质量,降低能耗和制造成本(25%~38%)的优点,同时具有降低能耗、减少污染、绿色环保等良好的社会效益,因此而获得广泛应用^[1]。

随着石油工业的发展,对油井管用钢的性能要求不断提高。我国油井管用钢品种不全,钢级较低,生产成本居高不下,远不能满足石油工业发展的需要。因此,迫切需要研制生产成本低、强韧性良好的油井管钢。非调质钢属经济型钢种,已在汽车、拖拉机等行业得到了成功应用,具有明显的经济效益。采用非调质钢生产油井管,可大幅度降低生产成本,同时也为非调质钢的推广应用开辟了新的领域^[2]。

2 非调质钢的发展

非调质钢已先后经历了铁素体—珠光体型、贝氏体型、马氏体型等三个发展阶段。目前工业上应用最多的是第一种,这类钢的化学成分特点是在中碳钢基础上加入 Si、Mn 元素外,还添加微量 V、Nb 或 Ti 元素^[3],使钢的强度达到 800~900MPa,冲击韧性为 20~50J/cm²。但在工业实际生产中,掌握与应用这类新材料时,遇到的主要障碍仍是强度、硬度有余而韧性不足,因此近几年研究工作的重点集中在不降低强、硬度的同时,提高非调质钢的韧性,包括冲击韧性、疲劳韧性和塑性。

随着计算机技术、控制技术、传感技术及精密测量技术等当代高科技与传统钢铁工业、制造业的结合,微合金钢的开发应用获得了新的进展,除汽车工业外,应用范围涉及到建筑用材、重型工程结构(起重机械、载重车辆)、高压输送管道、桥梁、高压容器、集装箱、船舶等。而这些用途钢材一般占社会对钢材总需求量的 60% 左右。所以非调质钢应用前景广阔,是现代钢铁工业中的主力产品之一。

铁素体—珠光体型非调质钢是当前用量最大的非调质钢。它是利用 VC 沉淀强化来达到所要求的强度,这样需增

加钢中 C 含量来增加钢组织中珠光体的体积百分数,但这又会损害韧性,因此很难满足强度和韧性的要求。为此开发了一系列新技术用来提高其韧性。

2.1 优化成分,提高强韧性

C 是最有效的强化元素,而使韧性下降;Mn、Cr 以固溶强化方式强化铁素体和珠光体,减少珠光体片间距,提高淬透性,增加强韧性。微量元素 V、Nb、Ti 以细晶强化和沉淀强化方式提高强韧性。S 可以细化晶粒,促进晶内铁素体析出,提高强韧性,同时也可以改善切削性能^[4]。

2.2 晶粒细化法

日本高田启督等人的研究指出,铁素体含量高的钢(C<0.25%),细化铁素体晶粒能提高韧性,珠光体含量高的钢细化珠光体组织能更有效地使韧性提高。在热锻状态下使用时,使这类钢晶粒细化最有效的方法是在加热时使奥氏体晶粒细化(防止粗化),为防止晶粒粗化在钢中添加 Al 和 Ti 等元素,通过析出 AlN 和 TiN 来钉轧奥氏体晶界很有效^[5]。日本新日铁公司和英国钢铁公司对钒合金化的中碳非调质钢进行微钒处理,各种强度水平的非调质钢冲击韧性达到了调质钢的水平。

2.3 沉淀强化法

微合金元素(如 Nb、Ti、V)在钢中除了细化粒强化外,还有很强的沉淀强化作用,作用大小取决于这些合金化合物在奥氏体中的固溶度、沉淀析出速度、沉淀析出物的数量、尺寸、分布。

2.4 促进晶内铁素体(IGF)组织形成

非调质钢锻件在冷却过程中发生相变时,铁素体易沿奥氏体晶界析出,呈网状分布,损害韧性。日本井上毅等发现通过控制冶金工艺,在奥氏体晶内提供大量铁素体形核位置;使其不仅在晶界,也在奥氏体晶内析出,分割奥氏体晶粒,形成细小且均匀的等轴铁素体,能显著改善钢的韧性^[6,7]。

3 非调质油井管的发展及研究现状

石油油管是石油勘探过程中的主要材料之一,属于专用材料,以套管、油管和钻杆为主体的管材统称为油井管。N80 级石油管适用于 2000~4000 m 的井下开采,是我国目

前油井管中使用量最大的一种,占各类油井管总产量的40%以上。由于石油套管是高风险产品,一旦使用中出现问题将会造成难以挽回的巨大经济损失^[6]。非调质石油套管具有非调质钢生产的优点,但是存在的主要问题是低温冲击韧度差,限制了其发展。

我国微合金非调质油井管的开发是从20世纪90年代中期开始的。目前,攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司、天津钢管有限责任公司、无锡西姆莱斯钢管有限责任公司、衡阳钢管集团有限责任公司等均开发出微合金非调质N80级油井管,有的已实现批量生产;宝山钢铁股份有限公司钢管分公司正在致力于微合金非调质N80级油井管的生产试验,并取得初步成功。国内新开发的微合金非调质N80级油井管的规格包括 $\Phi 73\text{mm} \times 5.51\text{mm}$ 的油管、 $\Phi 139.7\text{mm} \sim 339.7\text{mm}$ 的套管和 $\Phi 88.9\text{mm} \times 12.5\text{mm}$ 的接箍料^[9]。

微合金非调质钢是通过在碳锰钢中添加微合金化元素,经过合理的变形和冷却,使之在基体组织中弥散析出如碳氮化物的强化相,以及它们细化晶粒的作用而获得优良的机械性能。用于生产N80级油井管的微合金非调质钢中,C是作为提高强度最有效的元素之一。C含量增加,钢的强度增大,塑性降低,冲击韧性变差;C含量降低,钢中珠光体含量降低,铁素体含量提高,钢的韧性增强。但C含量过低,强度降低,屈服强度难以达到API 5CT要求。综合国内有关会议的交流资料可以看出,众多研究者主张,在保证钢必要的强度前提下,应尽量降低C的含量,一般将其控制在0.5%以下^[10]。Si在钢中一般认为是起脱氧作用的元素,其含量过高会降低钢的塑性韧性,因此要适当控制Si的含量。在研究用于N80级油井管的微合金非调质钢时,Mn是这类钢中的主要添加元素,它在钢中起固溶强化的作用。同时,Mn可以使钢的相变点 A_{r3} 降低,从而可使铁素体晶粒变细,珠光体团变小,珠光体片层间距减小, Fe_3C 片的厚度减薄,这些都有利于提高钢的韧性。但钢中Mn含量过高将会促使形成贝氏体,一旦钢中贝氏体含量超过一定比例,钢的韧性将会明显下降。V、Nb、Ti等元素也是微合金非调质钢中常加的元素。这些元素是强碳、氮化物形成元素,通常在钢中以碳化物、氮化物、碳氮化物等形式存在,它们在一般的加热过程中,有的会部分固溶,如V(C,N)等;有的会完全固溶,如VC等;有的不固溶,如TiN等。固溶的在加工后冷却的过程中析出,起到析出强化的作用,提高钢的强度而降低钢的韧性。不固溶的在普通的加热条件下仍以弥散细小的颗粒状态存在,可以起到阻止奥氏体晶粒长大的作用,从而细化钢的组织,提高其韧性。另外还因它夺取了钢中的C而使钢的强度有所降低,但可进一步提高钢的韧性^[11]。N在钢中主要是与V、Nb、Ti等结合成氮化物,使V、Nb、Ti发挥作用,但N的含量应严格控制。S一般被认为是钢中有害元素,但近期的研究表明,适当增加S含量,其在钢中形成的MnS可起到在奥氏体晶内形成晶

内铁素体的核心作用。为满足API标准要求,还是应将S的含量控制在0.030%以下^[12,13]。

攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司进行了在生产N80级油井管的微合金非调质钢中添加稀土的试验研究。试验表明,添加稀土不但净化了钢质,使硫化物变性。同时,在起合金化作用时,对提高钢的韧性有积极作用,但加入量应适当。

综上所述,可以看出生产N80级油井管的微合金非调质钢应当降低C含量,增加Mn含量,但不宜过高,并添加一定的V、Ti、Nb、Re等微合金元素,充分发挥其析出强化和细化晶粒的作用,并适当增加钢中的N含量,保留适量的S。

4 结论

微合金非调质N80级油井管是一种经济的钢管品种,其具有生产工艺简单的优点,应用前景十分广阔。目前,我国对该品种的开发已获得初步成功。但在改善其低温冲击性能发面还有待进一步的研究。

参考文献

- [1]陈蕴博,马炜,金康. 强韧微合金化非调质钢的研究动向. 机械工程材料,2001;25(3):1-6
- [2]雍岐龙,马鸣图,吴宝椿. 微合金钢物理和力学冶金. 北京:机械工业出版社,1989. 633.
- [3]朱大如. 锻造用非调质钢的成分探讨[J]. 钢铁,1985(8):38-43.
- [4]JhaG,Sharma R.Medinm carbon microalloyed steel-49Mn-VS3:develoPment towards inProved quality.Transactions of the Indian Institute of Metals 50 [C]1997,(2-1):181-190.
- [5]子安善郎. 制铁研究,1986,(320):20
- [6]黄维刚,郑燕康. 晶内析出铁素体非调质钢[J]. 机械工程材料,1995(2):5-8
- [7]胡赛祥,钱苗根. 金属学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1983. 348-349.
- [8]王文才,刘根生,李海鹏. SYC和冷却速度对中铬铸铁铸态组织和性能的影响[J]. 河北工业大学学报,2001,(6):16-20.
- [9]成海涛,崔润炯. 浅谈我国微合金非调质油井管的发展[J]. 钢管,2002,31(3):7-10.
- [10]董成瑞等. 微合金非调质钢[M]. 北京:冶金工业出版社,2000.
- [11]宋宝湘,朱茂荣,曾长贵等. 用非调质钢生产高强度油管的试验[J]. 钢管,2001,30(5):15-17.
- [12]黄涛,崔润炯,李晓. 用非调质钢开发N80级大口径石油套管[J]. 钢管,2002,31(5):24~26.
- [13]肖鸿光. 非调质N80(F-N80)油井管的开发[J]. 钢管,2002,31(1):31-34.