

浅谈我国微合金非调质油井管的发展

成海涛, 崔润炯

(攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司, 四川 成都 610066)

摘 要: 简述了微合金非调质钢的发展过程, 介绍了我国微合金非调质油井管的研究成果, 指出了用于生产 N80 级油井管的微合金非调质钢的化学成分控制范围和通过控轧控冷工艺应获得的管材金相组织。

关键词: 微合金非调质钢; 油井管; 开发; 现状

中图分类号: TC33-01 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2311(2002)03-0007-04

Brief Discussion on Domestic Development of Production of Microalloyed Non-Quenched and Tempered Oil Well Pipe

Cheng Haitao, Cui Runjiong

(Pangang Group Chengdu Seamless Steel Tube Co., Ltd., Chengdu 610066, China)

Abstract: The development history of the microalloyed non-quenched and tempered steel is briefed, and the achievements in the domestic field of research on microalloyed non-quenched and tempered oil well pipe is introduced, giving details concerning permissible deviations for the chemical composition of the microalloyed steel of the N80 oil well pipe and the metallographic structures resulting in the techniques for proper control of rolling and cooling operations.

Key words: Microalloyed non-quenched and tempered steel; Oil well pipe; Development; Current situation

0 前 言

微合金非调质钢是在中碳钢和中碳锰钢中添加微合金化元素(如 V、Ti、Nb 等), 并控制其热加工及轧后冷却工艺(控制轧制工艺), 通过析出强化和细化晶粒而使其强度、硬度和韧性提高, 达到调质钢的性能水平(省略了调质处理工序)。这种新型钢种与调质钢相比, 能使总的制造成本降低 15% 以上。

早期开发的微合金非调质钢主要用于汽车曲轴。自 1972 年德国的 THYSEN 钢公司开发了 49MnVS3 中碳微合金非调质钢以来, 日本、法国、意大利、英国、瑞典、芬兰以及美国等先后均研究出具有自己特色的微合金非调质钢。目前, 欧洲采用微合金非调质钢制造的曲轴已超过 75%。

我国对微合金非调质钢的开发始于 20 世纪 80 年代, 到目前为止, 微合金非调质钢的年产量约达 10 万 t, 这类钢主要用于生产汽车、拖拉机、机床的轴类零件及 N80 级油井管^[1]。

1 微合金非调质钢的发展

微合金非调质钢按钢的组织可分为铁素体—珠光体、贝氏体、马氏体三种类型。由于获得铁素体—珠光体组织的生产工艺相对简单, 因此, 铁素体—珠光体型微合金非调质钢应用范围相对最广。我国当前开发的微合金非调质 N80 级油井管均以铁素体—珠光体型为主, 个别厂家也在研究开发贝氏体型微合金非调质钢。

虽然铁素体—珠光体型微合金非调质钢的强度和硬度达到了相应的调质钢水平, 但是, 微合金非调质钢中先共析铁素体易于在原奥氏体晶界析出, 形成网状铁素体和粗大的珠光体团混合组织, 这种组织的韧性较低。我国在进行油井管开发时, 均不

成海涛(1958-), 男, 湖北大冶人, 副总经理, 高级工程师, 主要从事新产品研制开发及生产工艺和技术质量的管理工作。

同程度地遇到了这一问题, 因此限制了其应用范围的进一步扩大。

为了解决铁素体—珠光体型微合金非调质钢韧性低的问题, 通常采用降低碳含量, 即增加铁素体体积百分比和降低珠光体体积百分比的方法来弥补。碳含量的减少引起的强度降低可以通过添加合金元素来弥补。但是, 降低碳含量和添加合金元素的方法有一定局限性, 在空冷条件下, 它容易导致贝氏体, 甚至马氏体组织的产生, 这就使得微合金非调质钢的性能不太稳定, 必要时还需作正火处理, 这就增加了制造成本。

在不明显改变化学成分的条件下, 通过成分优化, 加大终轧变形量, 降低终轧温度并加快轧后冷却速度, 可以细化钢的组织, 这是同时提高微合金非调质钢的强度和韧性的唯一途径。我国众多无缝钢管生产企业均在这一方面作了大量有益的工作, 并取得了较好的效果。

通过采用再结晶控制轧制, 控制相变温度区间的冷却速度和析出粒子, 以促进晶内铁素体细小分散形成, 可以达到细化晶粒的目的。近年来, 基于“氧化物冶金”发展起来的晶内铁素体技术, 在改善铁素体—珠光体型微合金非调质钢韧性方面取得了突破性进展。

为了避免在铁素体—珠光体型非调质钢中生成网状铁素体, 获得细小的晶内铁素体, 必须选择适当的脱氧工艺, 控制氧化物成分, 使氧化物细小弥散分布在原奥氏体晶粒内, 成为 MnS、VN、 V_4C_3 等的析出核心, 促进晶内铁素体的分散析出。不同的脱氧元素, 其形成的氧化物种类也就

不同, 这对 MnS、VN、 V_4C_3 的析出有很大影响。用 Al 脱氧时, Al 含量应控制在 0.01% ~ 0.03%。用 Si 脱氧时, MnS 依附于几个微米的 SiO_2 析出, 析出量较少, Si 的含量为 0.20% ~ 1.30%。用 Ti 脱氧时, Ti 含量控制在 0.02% 左右较为适宜。为了确保晶内铁素体分散析出, 在钢中还必须添加适量的 V、N 和 S, 它们的含量分别是 0.05% ~ 0.20%、0.011% ~ 0.013% 和 0.05% 左右。

2 我国微合金非调质油井管的开发与应用

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、 $\Phi 139.7 \sim 339.7\text{mm}$ 的套管和 $\Phi 88.9\text{mm} \times 12.5\text{mm}$ 的接箍料。

2.1 微合金非调质 N80 级油井管的化学成分研究

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。表 1 列出了国内部分企业研制的用于生产 N80 级油井管的微合金非调质钢的化学成分。

表 1 部分企业研究的用于生产 N80 级油井管的微合金非调质钢化学成分

企业	钢号	化学成分%								钢管规格 ($D \times S$) /mm
		C	Si	Mn	V	Ti	N	S	Re	
A	35Mn2V	≤ 0.50	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.20	—	适量	≤ 0.030	适量	$\Phi 139.70 \times 7.72$ $\Phi 339.70 \times 12.19$
B	中 C-Mn-V	不详								不详
C	38Mn6V 等	0.32 ~ 0.40	—	1.20 ~ 1.50	0.06 ~ 0.10	—	—	—	—	$\Phi 73.03 \times 5.51$ $\Phi 139.7 \times 7.72$ $\Phi 153.67 \times 14$
D	33Mn2V	0.31 ~ 0.35	—	1.40 ~ 1.80	适量	—	适量	—	—	$\Phi 73.03 \times 5.51$
	36Mn2V	0.34 ~ 0.38	—	1.40 ~ 1.80	适量	—	适量	—	—	$\Phi 88.9 \times 12.5$
E	中 C-Mn-V	≤ 0.50	0.30 ~ 0.50	1.20 ~ 1.80	0.10 ~ 0.20	—	≤ 0.010	≤ 0.030	—	$\Phi 73.03 \times 5.51$ $\Phi 88.9 \times 13.5$

注: 部分数据摘自国内有关会议交流资料。

从表 1 可以看出,用于生产 N80 级油井管的微合金非调质钢中,碳是作为提高强度最有效的元素之一。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,应尽量降低碳的含量,一般将其控制在 0.5% 以下。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,但 N80 级油井管对钢的塑性韧性指标要求较高,因此, Si 的含量一般不超过 1%。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_{r1} 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。通常采用的方法是降低碳含量,提高锰含量。但钢中锰含量过高将会促使形成贝氏体,一旦钢中贝氏体量超过一定比例,钢的韧性将会明显下降。因此,锰含量一般控制在 1.1% ~ 2.0%。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。固溶者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。不固溶者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,从而细化钢的最终组织,提高钢的韧性。另外还因它夺取了钢中的碳而使钢的强度有所降低,但可进一步提高钢的韧性。国内一些企业的研究结果表明,钢中的 V、Nb、Ti 含量均应控制在 0.2% 以下。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。在不要求抗硫性能的石油油井管钢中,不一定非要追求超低硫含量。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,生产 N80 级油井管的微合金非调质钢的化学成分设计原则为:①在中 C-Mn 钢基础上应走降低碳提高锰的合金化路线;②适当添加 V、Ti、Nb、Re 元素,充分发挥其析出强化和细化晶粒的作用;③适当增加钢中的 N 含量,保留适量的 S。

2.2 N80 级微合金非调质油井管的生产工艺研究

国内采用微合金非调质钢生产 N80 级油井管的企业,根据各自的轧管工艺流程、结合机组的变形特点及所选钢种等,对轧管工艺参数、加热和冷却条件进行了大量的研究。研究认为:在钢的加热方面,既要防止钢的奥氏体晶粒过分粗大,增加相变后的珠光体数量,又要考虑碳、氮化物的溶解和析出程度,所以,钢的加热温度一般控制在 1 230 ~ 1 280℃。对需在步进炉中进行再加热的钢管,入炉前钢管的温度最好控制在 600℃ 左右,使其在轧后和入步进炉前发生相变,细化晶粒。在选择终轧变形温度及变形量时,应在设备能力允许的条件下采用较低的终轧变形温度及较大的变形量,这样可抑制奥氏体晶粒长大,且使变形渗透,形成奥氏体晶粒显著伸长,晶内产生变形带,晶体缺陷增多,从而使奥氏体有效晶界面积增加和铁素体形核点增多及相变后铁素体量增加,晶粒更加细小均匀,由此提高钢的韧性。在步进炉内加热的温度一般应控制在 950℃ 以下。宝山钢铁股份有限公司钢管分公司在采用微合金非调质钢生产 N80 级 $\Phi 73$ mm 油井管时,由于终轧变形量大于生产同钢级的 $\Phi 139.7$ mm 套管,所以,在其强度基本相同时,韧性却显著增加,这也说明增大终轧变形量对提高钢管的韧性有利。

在选择轧后冷却速度时,应尽可能采取强制冷却工艺,因强制冷却工艺有利于晶粒细化和细小颗粒状析出物的析出,这样可以同时提高钢的强度和韧性。在实际生产中,一般采用强制风冷或雾化冷却。但应注意,如果冷速过快、快速冷却终止温度过低,则会产生大的内应力和导致贝氏体或马氏体相变的发生,使钢的综合性能急剧恶化。

由于钢管生产还受钢管坯料、孔型设计、轧机能力以及变形特点等诸多因素的限制,在板材轧制上已被广泛应用的控轧控冷技术在轧管时则会受到制约。所以,为提高微合金非调质 N80 级油井管的综合性能,研究的重点应放在各轧管设备变形量的合理分配、进入步进炉的钢管温度、

步进炉的加热温度、终轧变形量及轧后的冷却方式方面。

2.3 在 N80 级微合金非调质油井管方面的研究成果

国内有关企业开发的 N80 级微合金非调质油井管包括油管、套管及接箍料，其有关性能见表 2。

从表 2 可以看出，几个企业的 N80 级微合金非调质油井管均达到 API 标准，并具有批量生产能力。这些企业生产的此类产品已在油田中试用，有的企业产品还出口到土库曼斯坦、埃及、美国等。

表 2 我国已研制的 N80 级微合金非调质油井管的力学性能

企业	钢管规格 (D×S)/mm	力学性能				金相组织	晶粒度 /级	用途
		$\sigma_{10.5}/\text{MPa}$	σ_s/MPa	$\delta\%$	$A_{KV}(0^\circ\text{C})/\text{J}$			
A	Φ339.7×12.19	605~655	790~870	22~27	15~28(7.5×10 横)	F+P+B ₂	7	套管
	Φ139.7×7.72	615	810	27	25(5×10 纵)	F+P	7~9	套管
D	Φ73.03×5.51	570~665	770~885	16~20	20~42(5×10 纵)	F+P+B ₂	5~9	油管
	Φ88.9×12.50	560~600	745~820	22~29	64~86(10×10)	F+P	7~8	接箍料
E	Φ73.03×5.51	571~609	743~762	26~30	74~78(5×10)	F+P	9~12	油管
	Φ88.90×13.50	625	830	24	26~30(5×10)	S+P+F	8~9	接箍料
C	Φ73.03×5.51	>555	>700	>14	>16(5×10)	F+P+B ₂	8~9	油管
	Φ139.7×7.72							套管
	Φ153.67×14							接箍料
API 标准		552~758	≥689	按公式计算	按规格查标准		≥5	

注：括号内的数值为试样尺寸，mm。

3 结 语

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。但是，N80 级油井管用微合金非调质钢在变形过程中的动、静态再结晶行为的研究和轧后冷却速度对组织形态、析出行为的影响研究还有待加强，以便优化工艺，获得性能更加稳定的产品。同时应

考虑将微合金非调质钢推广应用到 L80、X60 等钢管品种上。

4 参考文献

1 董成瑞等，微合金非调质钢[M]，北京：冶金工业出版社，2000。

(收稿日期：2001-11-07)

●信 息

辛那尔钢管厂加入俄罗斯钢管冶金公司

为抗衡俄罗斯联合冶金公司和钢管冶金公司两大钢管生产集团的威胁，尚未结盟的俄罗斯塔干罗格钢厂、第一乌拉尔新钢管厂和辛那尔钢管厂三家钢管生产企业曾于 2001 年年底举行了联合成立统一的钢管生产集团的谈判。不过辛那尔钢管厂通过多方权衡，终于在俄罗斯钢管冶金公司的不懈努力下，于今年（2002 年）2 月底加入俄罗斯钢管冶金公司。由于辛那尔钢管厂的加盟，俄罗斯钢管冶金公司旗下已有伏尔加钢管厂、北方钢管厂和辛那尔钢管厂三家大型钢管生产企业，钢管生产实力已超过俄罗斯联合冶金公司，成为俄罗斯最大的钢管生产集团。

车里雅宾斯克钢管厂 2001 年纯利润达到 4.144 亿卢布

在 2002 年 4 月 18 日召开的俄罗斯车里雅宾斯克钢管厂股东大会上，车里雅宾斯克钢管厂的总经理向股东宣布，2001 年该厂钢管产量比 2000 年增长了 10.4%，达到 68.36 万 t，产品销售收入达到 74.088 亿卢布，比 2000 年增长 32.6%。2001 年工厂的纯利润为 4.144 亿卢布。在该次股东大会上选出了 9 名董事会成员，阿·科马罗夫当选为董事长。由于 2001 年的良好业绩，车里雅宾斯克钢管厂总经理阿·费多罗夫继续被任命为总经理。

(攀钢集团成都无缝钢管有限责任公司 杜厚益)