

Cr-N 微合金含量和正火对 Mn 系气瓶用无缝钢管屈服强度的影响

李诗斌^{1,2} 童立芬^{1,2} 姚忠^{1,2} 李刚^{1,2} 闫庆涛^{1,2}

(1 承德建龙特殊钢有限公司研发处;2 河北省锻造用钢工程技术研究中心, 承德 067201)

摘要 常见的医用气瓶、工业气瓶主要材质为 37Mn 类 Mn 系气瓶钢。气瓶钢主要采用正火热处理工艺,但正火态 37Mn 钢材质的气瓶力学性能不稳定,屈服强度及冲击功达不到标准设定要求。通过加入 Cr、N 等微量元素的微合金化 37Mn 钢化学成分为/%:0.34~0.38 C,0.20~0.27 Si,1.60~1.70 Mn,0.10~0.20 Cr,0.004 0~0.009 0 N,经正火轧制的 Φ219 mm×6 mm 钢管屈服强度≥530 MPa,抗拉强度≥750 MPa,冲击功≥13.2 J,完全能满足客户使用需求。

关键词 气瓶钢 37Mn 钢 Cr-N 微合金化 正火 无缝钢管 力学性能

Effect of Cr-N Microalloy Content and Normalizing on Yield Strength of Seamless Steel Tube for Mn Series Gas Cylinder

Li Shibin^{1,2}, Tong Lifen^{1,2}, Yao Zhong^{1,2}, Li Gang^{1,2} and Yan Qingtao^{1,2}

(1 Research and Development Department, Chengde Jianlong Special Steel Co Ltd;
2 Hebei Engineering Research Center for Forging Steel, Chengde 067201)

Abstract The main material of common medical and industrial gas cylinders is 37Mn steel of Mn series. Normalizing treatment is mainly adopted for cylinder steel. However, the mechanical properties of normalized 37Mn cylinder steel are unstable, and its yield strength and impact energy cannot meet setting in standards. In this paper, by adding Cr and N micro elements, the chemical composition of microalloying 37Mn steel is /%:0.34~0.38 C,0.20~0.27 Si,1.60~1.70 Mn,0.10~0.20 Cr,0.004 0~0.009 0 N, of normalized rolled Φ219 mm×6 mm steel tube, the yield strength≥530 MPa, tensile strength≥750 MPa and impact energy≥13.2 J, fully meet the needs of customer.

Material Index Cylinder Steel, Steel 37Mn, Cr-N Microalloying, Normalization, Seamless Steel Tube, Mechanical Properties

钢制气瓶是用于承压(5~20 MPa)、并可重复充气使用的可移动式的压力容器。由于气瓶所充装的介质种类很多,且具有易燃、易爆、剧毒及腐蚀等特性,加之气瓶重复充装和流动性大,一旦发生爆炸或泄漏,往往会引发火灾或中毒等灾难性事故发生,因此气瓶的力学性能、内外部质量对于生产使用安全极为重要。

制作气瓶用钢品种主要为中碳 Mn 系或中碳 Cr-Mo 系^[1]。目前国内气瓶用无缝钢管绝大多数采用中碳 Mn 系,占总量 70%~80%。

在相同的化学成分下,国外的气瓶生产多采用调质(淬火+回火)的热处理工艺后,各项力学性能均达到并超过现有标准。但国内 Mn 系气瓶钢生产厂由于环境、成本的考虑,普遍采用提高主元素 C、Mn,进行正火热处理,使屈服强度≥520 MPa,-20℃冲击功≥13.2J。但在实际生产中,往往经正火态后不易满足上述要求,造成气瓶钢力学性能的不稳定^[2],为此,本试验采用同一炉号的 37Mn、规格 Φ219 mm×

6 mm 热轧气瓶钢管,对进行调质与正火处理后可满足要求、基本达标和不能实现预期目标的几种状态进行了从理论到实践的一系列分析,以期可稳定使正火态 Mn 系气瓶用无缝钢管的屈服强度、冲击韧性符合设定的目标要求。

1 优化前调质态与正火态的金相组织

因为调质态可以稳定满足设定目标要求,而正火态却不稳定^[3]。在化学成分一致的情况下(见表 1),应该就是金相组织的差异导致。两种状态的金相组织见图 1 和图 2,力学性能见表 2。

A、调质态—840℃,30 min 水淬+690℃+90 min(取 Φ219 mm×6 mm 钢管)

B、正火态(取 Φ219 mm×6 mm 钢管)

表 1 37Mn 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of 37Mn steel /%

C	Si	Mn	Ni	Cu	S	P	Cr	N
0.38	0.24	1.62	0.03	0.01	0.005	0.012	0.06	0.003 8



图 1 调质 37Mn 钢管组织, 回火索氏体

Fig. 1 Structure of quenched-tempered 37Mn steel tube, tempering sorbite

- ①920 ℃, 20 min + 空冷 (图 2a);
- ②860 ℃, 30 min, 空冷(图 2b);
- ③830 ℃, 20 min, 缓冷 600 ℃后空冷(图 2c)。

调质态综合性能最好, 这是其经淬火 + 高温回火, 得到索氏体组织所决定的^[4]。

三种正火态的则是温度愈低, 屈服强度愈低; 同样, 冲击性能也低。这是因为稍高的正火温度对消除带状组织有利。而带状组织与铸态成分偏析、终轧温度偏高等有关。理论上, 这种带状组织在热处理温度条件下是很难被消除的, 只是程度上有差异。也因此决定在化学成分一定时, 受铸态组织的偏析

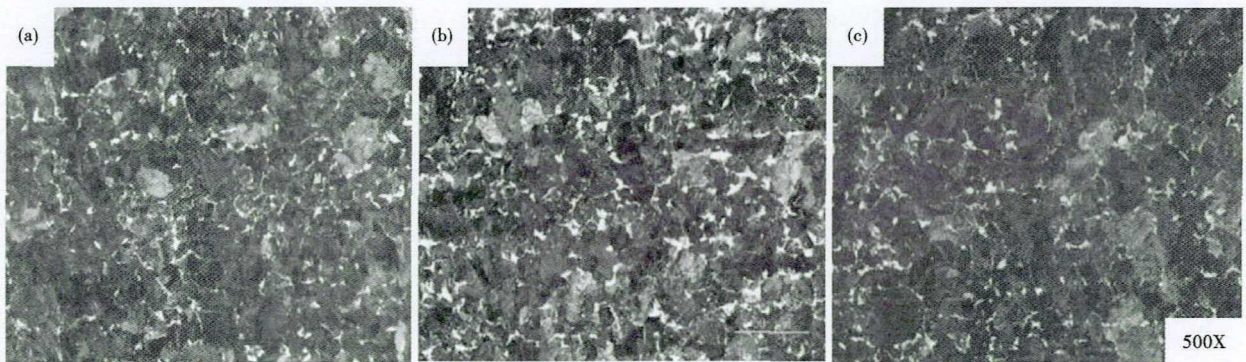


图 2 正火 37Mn 钢管组织, 片状 P + 网状 F: (a) ① 920 ℃ 20 min, 空冷; (b) ② 860 ℃ 30 min, 空冷; (c) ③ 830 ℃ 20 min 缓冷至 600 ℃空冷

Fig. 2 Structure of normalized 37Mn steel tube, lamellar P + reticular F: (a) ① 920 ℃ 20 min, air cooling; (b) ② 860 ℃ 30 min, air cooling; (c) ③ 830 ℃ 20 min, slow cooling 600 ℃, air cooling

表 2 37Mn 钢管热处理、组织和性能

Table 2 Heat treatment, structure and properties of 37Mn steel tube

热处理工艺	金相组织	R _{p0.2} /MPa	R _m /MPa	A/%	R _{p0.2} /R _m	纵向冲击 KV ₂ (-20 ℃)/J			备注	
调质态	回火索氏体	734	841	19	0.86	47	47	45	46	回火 S, 呈带状
正火态①	片状 P + 网状 F	522	824	19.5	0.63	17	13	19	7	带状不明显
正火态②	片状 P + 网状 F	503	798	23.5	0.63	12	8	2	7	呈带状
正火态③	片状 P + 网状 F	490	810	20.5	0.60	5	2	15	7	带状明显
标准		≥520	≥730	≥16		≥13.2				

表 3 标准对 37Mn 钢的化学成分要求/%

Table 3 Standard requirement for chemical composition of 37Mn steel / %

C	Si	Mn	Ni	Cu	S	P	P+S	Cr
0.34~0.40	0.10~0.30	1.35~1.75	≤0.30	≤0.20	≤0.020	≤0.020	≤0.030	≤0.30

注: Al 0.020% ~ 0.045%

碳素钢的 C-曲线很靠左, 所以冷却时奥氏体很容易分解为 F + Fe₃C, 不易得到马氏体, 所以碳钢的淬透性差。加入合金元素以后,

可以使 C-曲线发生变化。如加入 Mn、Cr、Ni、Mo 等合金元素可使 C-曲线右移, 同时可降低钢的 Ms 点。

关于这一点已经在实际生产中得到验证。即 37Mn 钢系在规定的化学成分内, 正火态下电炉钢较转炉钢更容易满足性能要求。从化学成分看, 主要成分均接近或一致, 差别在于电炉钢采用废钢作原

与钢管加热制度和终轧温度影响, 屈服强度与冲击韧性处于不稳定状态

2 成分优化

研究各元素在 Mn 系钢中的作用及对力学性能的影响, 在标准规定的范围内 (表 3), 优化配比 (表 4), 以期使正火态满足标准要求。

表 4 优化的 Cr-N 微合金化 37Mn 电炉钢成分/%
Table 4 Optimized chemical composition of Cr-N microalloying 37Mn EAF steel/%

C	Si	Mn	Ni	Cu	S	P	P+S	Cr	N
0.37	0.25	1.66	0.03	0.01	0.004	0.010	0.014	0.15	0.008 1

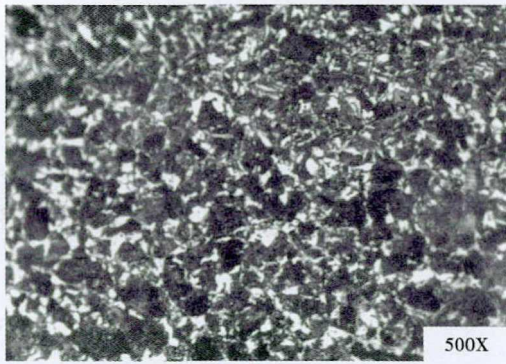


图 3 优化的 Cr-N 微合金化 37Mn 钢管正火组织(850 °C, 30 min 空冷)

Fig. 3 Normalized structure of optimized Cr-N microalloying 37Mn steel tube, 850 °C 30 min air cooling

料,其残余元素 Cr、Ni、Cu 及含 N 量均高于转炉钢。这些元素均可使钢的 C 曲线右移,从而延缓了奥氏体的转变,并且可能与钢中的 Fe、C 等形成复杂的碳化物,使晶粒更细;还可以有合金元素固溶强化和 C、N 化合物的沉淀强化。见图 3(取 $\Phi 219$ mm \times 6 mm 钢管,化学成分见表 4),经 850 °C,30 min 空冷,组织均匀,晶粒度(10 级),可见极少量马氏体 + 贝氏体。力学性能测试见表 5。

按照这个思路与分析,对转炉钢,可在标准范围内,进行回归计算,添加如电炉钢的微量的残余元素,保证一定的氮含量,也可在正火态满足性能要求。

表 5 优化的 Cr-N 微合金化 37Mn 钢管的力学性能
Table 5 Optimized mechanical properties of Cr-N microalloyed 37Mn steel tube

试样号	R _{p0.2} /MPa	R _m /MPa	冲击功 KV ₂ (-20 °C)/J		
电炉钢管管 1	568	796	34	44	39
电炉钢管管 2	562/529	769/746	38	36	34

表 6 转炉钢加 Cr 控氮成分优化/%

Table 6 BOF steel adding Cr control nitrogen component optimization/%

C	Si	Mn	Ni	Cu	S	P	P+S	Cr	N
0.34 ~ 0.38	0.20 ~ 0.27	1.60 ~ 1.70	≤ 0.30	≤ 0.20	≤ 0.020	≤ 0.020	≤ 0.030	0.10 ~ 0.20	0.004 0 ~ 0.009 0

表 7 转炉钢的实测化学成分和力学性能

Table 7 Measured chemical composition and mechanical properties of BOF steel

试样号	化学成分/%										力学性能				
	C	Si	Mn	Cr	P	S	N	Ni	Cu	R _{p0.2} /MPa	R _m /MPa	冲击功 KV ₂ (-20 °C)/J			
1	0.36	0.25	1.65	0.12	0.011	0.003	0.006 6	0.03	0.01	547/552	764/781	42	46	42	
2	0.37	0.25	1.66	0.15	0.010	0.004	0.008 1	0.03	0.01	546	798	23	22	22	

如加 Cr 控氮,见表 6,经同样的热处理工艺,测得实际化学成分和对应力学性能,见表 7。

抗拉强度高而对应的屈服强度与冲击性能较低,这可能与冷却太快有关。可以通过调整正火工艺加以纠正。V(C,N)化物沉淀强化其体^[5],提高冲击韧性。

3 结语

(1) 由于电弧炉冶炼所用原料主要是废钢,其中一般含有 Cr、Ni、Cu 等残余元素;而且电弧炉冶炼的钢中 N 含量高于转炉钢,因此,客观上采用电弧炉生产气瓶用钢有着原材料的优势。缺点是由于残余元素与含量的不确定性,正火态也只是合格率高于不添加额外元素的转炉钢;另外,在实际生产中要根据含量情况,对热处理工艺作调整,不可能一种热处理工艺都普遍适用,这给操作带来不便。

(2) 转炉钢采用加 Cr 控[N]方案,即保证成品

37Mn 钢(/% :0.34 ~ 0.38 C,0.20 ~ 0.27 Si,1.60 ~ 1.70 Mn,0.10 ~ 0.20 Cr,0.0040 ~ 0.009 0 N),生产出的连铸坯经轧制后完全可以满足正火态后钢瓶的力学性能,避免由于性能不合格导致后续额外增加调质工序,从而降低了产品的生产成本。

参考文献

- [1] 严泽生. 高压气瓶管的研制与开发[J]. 钢铁, 1999(1): 25-28.
- [2] 李润洪, 张健, 吴春霞, 等. 气瓶管机械性能的试验研究[J]. 钢管, 2002(4): 25-27.
- [3] 王长生. 影响气瓶钢力学性能相关因素分析[J]. 冶金标准化与质量, 1995(11): 40-42.
- [4] 黄召昌, 潘刘良, 张全林, 等. 高压无缝气瓶调质热处理工艺研究[J]. 湖北农机化, 2019(17): 154-155.
- [5] 刘孝荣, 马列. 气瓶钢性能预测的研究[J]. 宝钢技术, 2003(3): 42-46, 54.

李诗斌(1988-), 男, 工程师, 2011 年辽宁科技学院(本科)毕业, 钢铁冶金和金属材料研究。

E-mail: lishibin@ejianlong.com

收稿日期: 2019-11-13