

## 100 t EAF-LF-VD-CC 流程生产非调质钢的工艺实践

黄周华 左立杰 颜丽华  
(苏钢集团技术中心, 苏州 215151)

**摘要** 非调质钢 S38MnSiV (/%: 0.41 ~ 0.45C, 0.55 ~ 0.70Si, 1.40 ~ 1.55Mn, ≤0.025P, ≤0.025S, 0.10 ~ 0.20Cr, 0.11 ~ 0.15V, 0.012 0 ~ 0.020 0N) 的生产流程为 40% 铁水 + 废钢-100 t EAF-LF-VD-160 mm × 160 mm ~ 260 mm × 340 mm CC 工艺。通过控制电弧炉出钢终点 [C] 0.15% ~ 0.30%, 出钢 [P] ≤ 0.012%, 出钢温度 1 640 ~ 1 680 °C, 高碱度渣精炼, 控制钢液铝含量, VD 后喂氮化锰线控制钢液中氮含量等工艺措施, 8 炉生产结果表明, 钢中氧含量 - [O]  $5 \times 10^{-6} \sim 11 \times 10^{-6}$ , [H]  $1.2 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-6}$ , [N]  $135 \times 10^{-6} \sim 180 \times 10^{-6}$ ; 260 mm × 340 mm 铸坯热轧成 Φ140 mm 棒材经 880 °C 120 min 正火风冷, 580 °C 240 min 回火空冷后的抗拉强度  $R_m$  为 870 ~ 925 MPa, 屈服强度  $R_{e1}$  为 560 ~ 605 MPa, 其冶金质量满足标准要求。

**关键词** S38MnSiV 非调质钢 100 t EAF-LF-VD-CC 流程 工艺实践

## Process Practice for Production of Non-Quenched and Tempered Steel by 100 t EAF-LF-VD-CC Flow Sheet

Huang Zhouhua, Zuo Lijie and Yan Lihua  
(Technology Center, Sugang Group, Suzhou 215151)

**Abstract** The production flow sheet of non-quenched and tempered steel S38MnSiV (/%: 0.41 ~ 0.45C, 0.55 ~ 0.70Si, 1.40 ~ 1.55Mn, ≤0.025P, ≤0.025S, 0.10 ~ 0.20Cr, 0.11 ~ 0.15V, 0.012 0 ~ 0.020 0N) is 40% hot metal + scrap-100 t EAF-LF-VD-160 mm × 160 mm ~ 260 mm × 340 mm CC process. With controlling arc furnace tap end [C] 0.15% ~ 0.30%, tapping [P] ≤ 0.012%, tapping temperature 1 640 ~ 1 680 °C, refining by high basicity slag, controlling aluminium content in liquid, after VD feeding manganese-nitride wire to control nitrogen content in liquid etc. process measure, the 8 heat steelmaking results show that oxygen content in steel- [O]  $5 \times 10^{-6} \sim 11 \times 10^{-6}$ , [H]  $1.2 \times 10^{-6} \sim 1.5 \times 10^{-6}$  and [N]  $135 \times 10^{-6} \sim 180 \times 10^{-6}$ , for the Φ140 mm round bar products rolled from 260 mm × 340 mm casting bloom with normalizing at 880 °C for 120 min, air-flow cooling and tempered at 580 °C for 240 min air cooling, the tensile strength  $R_m$  is 870 ~ 925 MPa and the yield strength  $R_{e1}$  is 560 ~ 605 MPa, its metallurgy quality all meets the requirement of standard.

**Material Index** Non-quenched and Tempered Steel S38MnSiV, 100 t EAF-LF-VD-CC Flow Sheet, Process Practice

非调质钢是在热轧状态、正火状态或锻造后空冷状态下具有和调质(淬火 + 回火)状态下相当的综合力学性能的中低碳合金钢, 由于用时处于热轧或正火状态, 故其显微组织大部分是铁素体和珠光体组织。含氮非调质钢以其性能优良、高效节能, 并且有利于环境保护等突出优点, 被当今誉为“绿色钢材”, 深受冶金和机械行业重视, 被广泛应用于汽车、机床、工程机械等制造行业<sup>[1-3]</sup>。随着我国经济的高速发展, 对非调质钢的需求与日俱增, 为此, 苏

钢集团开展了非调质钢的研发。本文主要阐述了非调质钢 S38MnSiV 的设计与生产工艺。

### 1 非调质钢 S38MnSiV 成分设计

非调质钢(表 1)的力学性能只要取决于基体的显微组织与析出相的强化, 故而非调质的基本设计原则就是向中碳钢中加入微合金元素钒、氮, 依靠细小的碳氮化钒的析出来强化铁素体-珠光体组织, 进而达到与传统调质钢相匹敌的综合力学性能。

表 1 非调质钢 S38MnSiV 的化学成分/%  
Table 1 Chemical composition of non-quenched and tempered steel S38MnSiV / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Ni	Cu	N
标准	0.41 ~ 0.45	0.55 ~ 0.70	1.40 ~ 1.55	≤0.025	≤0.025	0.10 ~ 0.20	0.11 ~ 0.15	0.15	0.20	0.012 0 ~ 0.020 0
内控	0.42 ~ 0.45	0.60 ~ 0.70	1.45 ~ 1.55	≤0.015	≤0.015	0.10 ~ 0.20	0.13 ~ 0.15	≤0.15	≤0.20	0.013 0 ~ 0.018 0
内控目标	0.44	0.65	1.50	≤0.015	≤0.015	0.17	0.14	≤0.15	≤0.20	0.016 0
成品	0.42 ~ 0.44	0.61 ~ 0.67	1.47 ~ 1.52	0.011 ~ 0.014	0.002 ~ 0.007	0.14	0.17 ~ 0.18	0.02	0.04 ~ 0.05	0.013 5 ~ 0.018 0

注: 钢中气体标准要求/ $10^{-6}$ - [O] ≤ 20, [H] ≤ 1.5, [N] 120 ~ 200; 钢中气体成品分析/ $10^{-6}$ - [O] 11 ~ 15, [H] 1.2 ~ 1.5, [N] 135 ~ 180。

非调质钢 S38MnSiV 的组织为铁素体-珠光体,铁素体和珠光体的比例会影响到其力学性能<sup>4</sup>。铁素体偏高:韧性较好,强度偏低;珠光体偏高:强度较好,韧性偏低,为了保证 S38MnSiV 的韧性要求,碳含量要适中,Mn 按上限控制,又必须防止产生贝氏体组织,故内控成分定为 0.42% ~ 0.45% C, 1.45% ~ 1.55Mn。作为起到主要的沉淀强化的微合金元素钒在不影响韧性的情况下按上限控制,V 的含量定为 0.13% ~ 0.15%。N 元素主要是与其他合金元素形成氮化物,弥散分布在钢中,阻碍奥氏体晶粒的长大,进而影响到 V 元素沉淀强化的效果<sup>5</sup>,故 N 元素的控制必须以 V 元素含量来控制,为了加强 V 元素的沉淀强化的效果,设计 V/N 为 7.0,故 N 元素目标控制量为 0.013% ~ 0.018%。Si 元素可以固溶在铁素体中,增加铁素体组织的强度,当 Si 含量在 0.15% ~ 0.70% 时可以改善钢的韧性,故 Si 为 0.60% ~ 0.70%。

综合上述分析,非调质钢 S38MnSiV 的内控成分如表 1 所示。

## 2 非调质钢 S38MnSiV 生产工艺

非调质钢 S38MnSiV 的冶炼工艺流程为:40 t 铁水 + 废钢 → 100 t EAF → LF → VD → 160 mm × 160 mm ~ 260 mm × 340 mm CCM。

### 2.1 原料准备

为了加强对残余元素的控制,防止其对非调质钢 S38MnSiV 性能产生负面影响,电弧炉原料的铁水和生铁的配比大于 40%,铁水也须经过炉外处理,严格控制 P、S 含量。

### 2.2 电弧炉冶炼

由于苏钢电弧炉(公称容量 100 t)采取了偏心炉底出钢技术和红外下渣检测技术,可以很好的避免出钢下渣,有利于精炼造高碱度还原渣,同时采用高拉碳操作降低了钢液中原始氧含量,提高钢水质量,严格控制出钢终点碳 0.15% ~ 0.30%、出钢磷 ≤ 0.012%、出钢温度 1 640 ~ 1 680 ℃。

### 2.3 钢包精炼

钢包精炼炉(LF)公称容量 100 t,变压器额定功率 18 MVA,加热速率 4 ~ 6 ℃/min,加入适量脱氧剂、造渣原料后,快速升温熔渣,以便尽快造出高碱度的还原渣,测温、取样,根据测试结果分析添加合金,通过多次取样分析达到对各合金元素成分(除 N、Mn 外)的精确控制,确保成品符合内控要求,为了确保氧含量符合内控要求,生产过程中全程严格

控制钢液中的铝含量-[Al]。

真空脱气精炼炉(VD)公称容量 100 t,采用 5 级蒸汽喷射泵 + 启动辅助泵,极限真空度达到 20 Pa,工作真空度 67 Pa。苏钢电弧炉钢水经 VD 处理(满足  $[H] \leq 1.5 \times 10^{-6}$ )后残余氮含量一般为  $40 \times 10^{-6} \sim 60 \times 10^{-6}$ ,为达到目标成分氮含量的控制必须采取增氮措施,通过喂入氮化锰线来控制钢液中的氮含量。

### 2.4 连铸设备

苏钢集团采用的是 5 机 5 流大方坯合金钢连铸机弧形半径为 10 m,浇铸断面(mm × mm) 160 × 160、195 × 195、240 × 240、220 × 220、260 × 340,中间包容量 30 t,采用了液面自动控制技术、结晶器电磁搅拌和凝固末端电磁搅拌技术、二冷自动配水技术、钢包下渣检测等,充分确保连铸坯的质量。

## 3 实验结果与分析

试验生产了 8 炉 S38MnSiV 非调质曲轴钢连铸坯,检验结果分析如下:

### 3.1 化学成分控制

S38MnSiV 的实际化学成分见表 1。由表 1 可以看出 C、Si、Mn、V 等主要成分均在内控范围内波动,且波动幅度很小,这就确保了非调质钢力学性能的稳定性,Ni、Cu 等残余元素控制的也很低,主要是得益于对电弧炉原料的严格控制。

S38MnSiV 的实际气体成分为( $/10^{-6}$ ): 135 ~ 180[N]、5 ~ 11[O]和 1.2 ~ 1.5[H]。

由氧含量数值看出,采用高拉碳技术、冶炼全程控制[Al]能够保证降低钢液氧含量,提高钢水质量;VD 处理后钢液 H 含量也很低,满足客户要求;氮元素的波动范围比较大,主要原因是成分分析时,暂时不能提供准确的氮含量,完全由经验去调整氮元素含量,故很难把握,但是经分析 VD 处理钢的以往数据能把氮含量控制在内控范围内,满足非调质钢 S38MnSiV 对氮元素的要求。

### 3.2 低倍组织及非金属夹杂物

在 260 mm × 340 mm 的连铸坯轧成  $\Phi 140$  mm 的热轧棒材上取样做非金属夹杂物检验的结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出,非金属夹杂的等级比较低,这是由于采用钢水全程控氧、VD 真空脱气、精炼后变质夹杂物以及足够的软吹氩时间,充分保证了夹杂物的上浮去除,为连铸提供了纯净的钢水;连铸采用氩气保护浇注,避免了二次氧化,精确的结晶器液面控制系统确保了连铸坯的质量。

表 2 S38MnSiV 非调质钢 Φ140 mm 热轧材的非金属夹杂物/级

Table 2 Nonmetallic inclusions of Φ140 mm hot rolled products of non-quenched and tempered steel S38MnSiV / rating

项目	Ae	A	Be	B	Ce	C	De	D
标准	≤3.0	≤3.0	≤2.0	≤2.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0
实测	0.5~1.0	0.5~1.5	0	0.5~1.0	0	0	0.5	0.5~1.0

表 3 S38MnSiV 非调质钢 Φ140 mm 热轧材的低倍组织/级  
Table 3 Macrostructure of Φ140 mm hot rolled products of non-quenched and tempered steel S38MnSiV / rating

类别	一般疏松	中心疏松	锭型疏松	中心偏析
标准	≤2	≤2	≤2	≤2
实测	0.5~1.0	1.5	0.5	0.5

表 4 S38MnSiV 非调质钢 Φ140 mm 热轧棒材的力学性能  
Table 4 Mechanical properties of Φ140 mm hot rolled products of non-quenched and tempered steel S38MnSiV

项目	R <sub>m</sub> /MPa	R <sub>el</sub> /MPa	A/%	Z/%	A <sub>KU</sub> /J
标准	≥850	≥530	≥16	≥36	≥30
实测	870~925	560~605	16~21	42.5~50.5	36~51

非调质钢 S38MnSiV 的低倍检验结果如表 3 所示。表 3 表明除了中心疏松级别稍微高点,但是也符合标准要求,其他分析结果均远优于标准要求。

3.3 力学性能及其他项目检测

将 260 mm × 340 mm 的连铸坯轧成 Φ140 mm 的热轧棒材经 880 °C 保温 120 min 正火风冷,再加热到 580 °C 保温 240 min 回火空冷,力学性能测试结果如表 4 所示。力学性能检测表明强度、塑韧性均满足标准要求,各种性能均较优异。

钢材超声探伤根据国标 GB/T4162-2008 中的 A 级规定进行,探伤结果全部合格。另外带状组织和晶粒度检测均满足要求,带状为 0~1,晶粒度为 8~9.5。

通过产品的性能检验结果可以看出,苏钢生产非调质钢 S38MnSiV 的性能完全满足标准要求,而且波动较小,性能稳定。

4 结论

(1) 苏钢在 40% 铁水 + 废钢 → 100 t EAF → LF → VD → CCM 生产工艺下,严格控制各工序操作,生产非调质钢 S38MnSiV 的质量满足标准要求,说明了该工艺的可行性。

(2) 钢水经 VD 真空脱气后,通过喂入氮化锰线能够准确的控制钢水中 N 的含量,收得率较高。

参考文献

[1] 王开远. 汽车发动机曲轴技术条件标准新旧版比对[J]. 汽车标准化,2006(9):6-9.

[2] 于天忱,宋满堂. 非调质钢 S38MnSiV 采用转炉-矩形坯连铸工艺的生产实践[J]. 中国冶金,2011(6):27-30.

[3] 范连明. 转炉矩形坯生产曲轴钢 S38MnSiV 工艺实践[J]. 本钢技术,2010(4):12-14.

[4] 刘麒麟,顾文兵. 电炉冶炼非调质钢 38Mn6V 工艺探究[J]. 宝钢技术,2004(增刊):47-50.

[5] 陆利明,李宏,壮云乾,等. 氮气加压熔炼高氮钢若干理论问题探究[J]. 钢铁研究学报,1996(1):16-19.

黄周华(1976-),男,工程师,1999年毕业于武汉科技大学,炼钢工艺研究。E-mail:huangzh@sugang.com.cn

收稿日期:2013-03-03

“讲文明树新风”公益广告

低碳从我做起

再生循环利用