

Φ160 mm 高强韧性非调质钢 S38MnSiV 的研制

王荣武 卢秉军

(本钢板材股份有限公司技术中心, 本溪 117000)

摘要 采用 30 t EBT EAF - 40 t LF + VD - 3.16 t 铸锭 - 800/650 × 4 轧机流程开发了 Φ160 mm 非调质钢 S38MnSiV (% : 0.38 ~ 0.45C, 0.55 ~ 0.75Si, 1.40 ~ 1.55Mn, 0.08 ~ 0.15V, 0.020 ~ 0.050S, ≤ 0.025P)。检验结果表明, 钢材中氧含量 $(8 \sim 13) \times 10^{-6}$, 氮含量 $(128 \sim 186) \times 10^{-6}$, 氢含量 $(0.4 \sim 1.2) \times 10^{-6}$; Φ160 mm 非调质钢 S38MnSiV 锻成 Φ110 mm 圆钢的组织 and 机械性能均满足标准要求, 用该钢生产的曲轴中值弯曲疲劳极限为 3 633.3 N · m, 安全系数 1.771。

关键词 非调质钢 S38MnSiV 高强韧性 力学性能

Development of Φ160 mm High Strength-Toughness Non-Quenched-Tempered Steel S38MnSiV

Wang Rongwu and Lu Bingjun

(Technology Center, Bengang Steel Plate Co Ltd, Benxi 117000)

Abstract The Φ160 mm non-quenched-tempered steel S38MnSiV (0.38 ~ 0.45C, 0.55 ~ 0.75Si, 1.40 ~ 1.55Mn, 0.08 ~ 0.15V, 0.020 ~ 0.050S, ≤ 0.025P) has been developed by 30 t EBT EAF - 40 t LF + VD - 3.16 t ingot - 800/650 × 4 mill flow sheet. Examination results showed that the oxygen content in finished products was $(8 \sim 13) \times 10^{-6}$, nitrogen content $(128 \sim 186) \times 10^{-6}$, and hydrogen content $(0.4 \sim 1.2) \times 10^{-6}$; the structure and mechanical properties of Φ110 mm bar forged by Φ160 mm rolled products of steel S38MnSiV all met the requirement of standard; and the mean value bending fatigue limit of crankshafts made of this steel was 3 633.3 N · m with safety factor 1.771.

Material Index Non-Quenched-Tempered Steel S38MnSiV, High Strength and Toughness, Mechanical Properties

高强韧性非调质钢 S38MnSiV 主要用于生产 D6114 曲轴。该钢经锻造加工成曲轴毛坯后, 利用锻后余热进行正火控制冷却处理的新工艺, 改善锻后组织, 提高综合机械性能。

1 生产工艺

S38MnSiV 钢主要工艺流程为: 30 t EBT 熔炼 → 40 t LF + VD → 3.16 t 钢锭 → 800/650 × 4 轧机轧制。

电弧炉冶炼 S38MnSiV 钢的炉料为 40% ~ 45% 铁水 + 板坯切头和生铁, 矿石氧气综合氧化, 脱碳量 ≥ 0.30%, 脱碳速度 ≥ 0.02% C/min。限定初炼出钢条件: C ≥ 0.20%, P ≤ 0.015%。出钢前进行合金化, 并加 Fe-Al 预脱氧, 偏心底自动流渣。LF 精炼分两批加入 Fe-Si 粉脱氧, 全分析报炉中 N 含量, 然后用氮化锰^[1]进行氮的前期调整, 随时用 Fe-Si 粉调渣, 渣碱度 3 ~ 4; 保证炉内还原气氛, 氩气压力控制在 0.3 ~ 0.4 MPa。由表 1 渣样分析结果可见, 碱度平均为 3.42, FeO 平均含量为 0.86%。VD 真空处理氩气控制在 0.1 ~ 0.3 MPa, 真空度 100 Pa 以下保持时间 ≥ 15 min, 根据钢中 N 含量最终调整成分, 氮按中上限控制。终脱氧前喂 S 线, 然后分别喂 Al

表 1 LF 精炼渣样分析结果, 30 炉

Table 1 Analysis results of LF refining slag samples, 30 heats

项目	成分/%					R(碱度)
	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	
最高	64.06	20.60	11.56	14.50	0.96	4.09
最低	53.31	14.92	7.10	8.73	0.59	3.15
平均	59.40	17.35	9.21	11.26	0.86	3.42

线和 Ca-Si 线处理, 终脱氧后进行软吹氩, 时间 ≥ 10 min。S38MnSiV 钢化学成分见表 2。

水口采用氩气保护浇注。吊包浇注前在距模底 200 ~ 300 mm 高处吊挂保护渣 5 kg/支, 平稳浇注。锭身浇注时间 ≥ 5 min, 钢水浇注到帽口线上 20 ~ 30 mm 时开始减流充填, 帽口充填时间 ≥ 3 min; 浇注至帽口 2/3 高度时, 平稳均匀加入发热剂 3 kg/支, 保证帽口浇注高度 ≥ 270 mm。

二辊可逆式 Φ800 mm 初轧机轧制预备方, 4 架 Φ650 mm 连轧机生产 Φ160 mm 棒材, 保温后由六辊棒材矫直机矫直。热工制度: 均热温度 1 160 ~ 1 220 °C, 开轧温度 ≥ 1 150 °C, 终轧温度 ≤ 900 °C。冷却制度: 入坑温度 ≥ 650 °C, 保温时间 ≥ 48 h。

表2 S38MnSiV 钢化学成分,128 炉/%
Table 2 Chemical compositions of steel S38MnSiV, 128 heats /%

项目	C	Mn	Si	Cr	Ni	V	S	P	Cu	N	O	H
标准	0.38 ~ 0.45	1.40 ~ 1.55	0.55 ~ 0.70	0.10 ~ 0.20	≤0.15	0.08 ~ 0.15	0.020 ~ 0.050	≤0.025	≤0.25	(120~200) × 10 ⁻⁴	≤20 × 10 ⁻⁴	≤1.5 × 10 ⁻⁴
内控	0.42 ~ 0.43	1.45 ~ 1.55	0.60 ~ 0.70	0.10 ~ 0.20	≤0.10	0.09 ~ 0.14	0.025 ~ 0.045	≤0.020	≤0.20	(120~200) × 10 ⁻⁴	≤15 × 10 ⁻⁴	≤1.2 × 10 ⁻⁴
成品	0.39 ~ 0.44	1.44 ~ 1.53	0.58 ~ 0.69	0.10 ~ 0.19	≤0.08	0.09 ~ 0.14	0.025 ~ 0.045	≤0.019	≤0.18	(128~186) × 10 ⁻⁴	(8~13) × 10 ⁻⁴	(0.4~1.0) × 10 ⁻⁴

2 组织和非金属夹杂

S38MnSiV 钢材检验结果为一般疏松 0~1.5 级,中心疏松 0~1.5 级,偏析 0~2 级,点状偏析 0 级。非金属夹杂按照 GB10561 中 JK 图评级^[2](表 3)。

表3 S38MnSiV 钢非金属夹杂物检验结果,128 炉/级
Table 3 Examination results of non metallic inclusions in steel S38MnSiV, 128 heats /rating

项目	A		B		C		D	
	粗	细	粗	细	粗	细	粗	细
标准	≤3.0	≤3.0	≤2.0	≤2.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0
成品	2.0~3.0	2.0~3.0	0.5~2.0	0.5~2.0	0~1.0	0~1.0	0~1.0	0~1.0

该钢材带状组织 1~2 级,实际晶粒度 5~6.5 级。钢材轧后组织为珠光体+铁素体,晶界上分布细小的硫化物。

钢材经锻造成曲轴毛坯后余热正火控制冷却,其晶粒明显细化(图 1)。

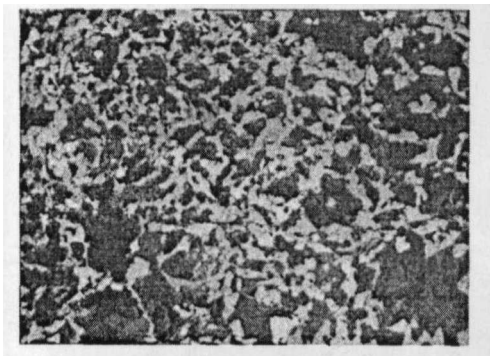


图1 S38MnSiV 钢成品曲轴的组织
Fig. 1 Structure of finished crankshaft of steel S38MnSiV

3 力学性能

采用模仿实物曲轴热加工工艺进行力学性能检验。将圆钢改锻成 Φ110 mm × 250 mm 棒料,锻制温度 1 200 ~ 1 250 °C,试棒经热处理后在 R/2 处取样,热处理制度:正火(880 ± 10) °C 120 min 风冷,回火(580 ± 10) °C 240 min 空冷,检验结果见表 4。经

表4 S38MnSiV 钢的力学性能,128 炉

Table 4 Mechanical properties of steel S38MnSiV, 128 heats

项目	R_{el} / MPa	R_m / MPa	A/ %	Z/ %	A_K / J
标准	≥530	≥850	≥16	≥36	≥30
钢材	540~605	865~980	16.5~22.5	45.5~60.0	46~68
曲轴	535~575	855~920	16.5~20.0	40.5~55.0	46~68

与实物曲轴检验结果对比,力学性能吻合良好。

4 曲轴疲劳试验

依据 QC/T637-2000《汽车发动机曲轴弯曲疲劳试验方法》,对曲轴(主轴颈 Φ98 mm,连杆颈 Φ76 mm)进行疲劳试验,曲轴采取轴颈及圆角感应淬火处理。曲轴工作弯矩:

$$M_{-1} = D^2 L_1 KGP/4L$$

式中: M_{-1} -工作弯矩; G -曲柄臂中心至主轴颈中心距离,33.5 mm; L_1 -连杆轴颈中心至主轴颈中心距离,68.5 mm; L -相邻两主轴颈中心距离,137 mm; K -支承约束系数,全支承 $K = 0.75$; D -气缸直径,114 mm; P -气缸爆发压力,16 MPa。

理论工作弯矩 $M_{-1} = 2 051.6 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

用升降法在 QY 曲轴疲劳试验机进行测试,施加平面弯曲对称循环载荷,循环基数 1×10^7 ,曲轴中值弯曲疲劳极限 3 633.3 N · m,安全系数 1.771。

5 结语

所研制的高强韧性非调质钢 S38MnSiV,通过化学成分控制和合理工艺控制,其组织、非金属夹杂物、力学性能、晶粒度等均满足标准和用户要求。经疲劳试验,满足曲轴产品要求,使用情况良好。

参考文献

- 董成瑞,任海鹏,金同哲,等.微合金非调质钢.北京:冶金工业出版社,2000
- 朱学仪,陈训浩.钢的检验.北京:冶金工业出版社,1992

王荣武(1955-),男,高级工程师,处长,1991 年东北大学毕业,硕士研究生,特殊钢新产品开发和管理。

稿日期:2007-05-21