

汽车发动机连杆用钢 C70S6BY 的研制

张渊普 韦泽洪 张欢 鲍海燕 梁宝珠
(宝武集团鄂城钢铁有限公司技术中心,鄂州 436002)

摘要 汽车发动机连杆用钢 C70S6BY 的工艺流程为 130 t 转炉-LF-RH-CCM-加热-轧制。LF 精炼通过低碱度 1.5~2.0 的 CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 渣系, RH 采用氮气驱动, 退泵后循环 5~10 min, 可以精准控制钢中 S、N 含量(0.064%~0.068% S 和 136×10⁻⁶~142×10⁻⁶ N)。轧制后入坑缓冷, 钢材组织由珠光体和少量铁素体组成, 钢中非金属夹杂物主要是硫化锰和复合夹杂物。1 050 °C 30 min 空冷钢的抗拉强度达到 995~1 018 MPa, 屈服强度 586~611 MPa, 伸长率 11.5%~13.0%, 断面收缩率 22%~24%, HB 布氏硬度值 285~301。各项指标均满足涨断连杆的要求。

关键词 C70S6BY 钢 连杆 成分控制 低碱度 RH 氮气驱动

Development and Production of C70S6BY Steel for Automobile Engine Connecting Rod

Zhang Yuanpu, Wei Zehong, Zhang Huan, Bao Haiyan and Liang Baozhu
(Technology Center, Baowu Group Echeng Iron & Steel Co Ltd, Ezhou 436002)

Abstract The technological process of C70S6BY steel for automobile engine connecting rod is 130 t BOF-LF-RH-CCM-Heating-Rolling. The content of S and N in steel (0.064%~0.068% S and 136×10⁻⁶~142×10⁻⁶ N) can be accurately controlled by using 1.5~2.0 low basicity CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO slag system in LF refine, nitrogen driving in RH and for 5~10 min circulation after pump withdrawal. The microstructure of the steel is pearlite and a small amount of ferrite by slow cooling in pit after rolling, the non-metallic inclusions in the steel are mainly MnS and composite inclusions. Of 1 050 °C 30 min air cooling steel, the tensile strength is 995~1 018 MPa, the yield strength is 586~611 MPa, the elongation is 11.5%~13.0%, the reduction of area is 22%~24%, and the HB brinell hardness number is 285~301. All indexes meet the requirements of breaking connecting rod.

Material Index C70S6BY Steel, Connecting Rod, Ingredient Control, Low Alkalinity, RH Nitrogen Driving

连杆裂解技术是 20 世纪 90 年代出现的一种先进的连杆加工新技术^[1]。目前该技术在美国通用、福特、德国宝马、大众等汽车公司率先应用^[2]。

C70S6BY 钢的胀断特性决定了其需要较为严格的窄成分控制、合理的各项力学性能匹配, 并采取微合金化方式控制晶粒度, 生产难度较大, 国内具备生产能力的厂家较少^[3]。

1 试验方法

C70S6BY 钢的生产工艺流程: 130 t 转炉→LF→RH→CCM(200 mm×200 mm)→铸坯缓冷→加热→轧制→缓冷→探伤→修磨→入库。

1.1 化学成分和力学性能

C70S6BY 钢的化学成分要求见表 1。Φ38~75 mm 材取直径 Φ25 mm 的样坯经 1 000~1 100 °C

0.5 h, 空冷, 力学性能应满足表 2 规定。

1.2 冶炼工艺

1.2.1 转炉

130 t 转炉冶炼采用高拉补吹操作, 出钢 C 0.10%~0.30%, 出钢温度 1 580~1 620 °C, 滑板挡渣 P≤0.025%, 出钢时间≥3 min。

根据出钢碳加入铝碳 2.5~3.0 kg/t, 增碳剂用量根据出钢 C 加入, 硅锰、高铬、钒氮合金、硫化亚铁用量根据氩站成分要求加入。

钢包吹氩后测温, 钢水在氩站吹氩≥3 min 后取样, 氩后温度≥1 520 °C, 氩后成分控制见表 3。

1.2.2 LF

采用活性石灰、石英砂、电石等材料造低碱度渣, 碱度 1.5~2.0, 精炼渣成分(%)如下: 40~45CaO,

表 1 C70S6BY 钢化学成分/%
Table 1 Chemical composition of C70S6BY steel /%

项目	C	Si	Mn	Cr	P	S	Al	Ni	V	N
目标	0.70	0.20	0.58	0.12	≤0.030	0.065	≤0.005	0.06	0.035	0.014
标准	0.69~0.73	0.15~0.25	0.55~0.60	0.10~0.15	≤0.045	0.060~0.070	≤0.010	0.04~0.08	0.03~0.04	0.012~0.016

20 ~ 25SiO₂, 15 ~ 20Al₂O₃, 8 ~ 15MgO, 试验钢 LF 渣样成分和碱度见表 4。

如此控制渣系, 可以保持整个精炼过程 S 含量较为稳定, 若 S 含量低于目标, 则加入硫化亚铁进行增 S, 试验钢冶炼过程 S 含量变化见表 5。

1.2.3 RH

RH 处理全程采用氮气驱动, 流量 80 ~ 100 m³/h, 极限真空度(小于 67 Pa)保持时间 ≥ 10 min, 破空后从一级泵退到四级泵, 即压力从 67 Pa 升到 8 000 Pa 左右, 加入氯化硅铁 1.2 ~ 1.3 kg/t, 循环 5 ~ 10 min。

表 4 LF 渣样成分和碱度
Table 4 Ingredient of LF slag sample and basicity

渣的成分 / %							碱度 (R)
CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	S	P ₂ O ₅	TFe	
40.62 ~ 42.36	22.08 ~ 23.24	10.04 ~ 12.72	18.32 ~ 19.78	0.247 ~ 0.368	0.037 ~ 0.056	0.82 ~ 0.89	1.81 ~ 1.89

表 5 炼钢过程 C70S6BY 钢 S 含量 / %
Table 5 S content of C70S6BY steel in steelmaking process / %

氩后	LF 进站	LF 出站	RH 出站	中间包
0.062 ~ 0.068	0.059 ~ 0.062	0.065 ~ 0.069	0.064 ~ 0.068	0.061 ~ 0.064

表 6 RH 至轧材过程 C70S6BY 钢 N 含量 / 10⁻⁶
Table 6 N content in C70S6BY steel in RH to rolled product / 10⁻⁶

RH 进站	循环 5 min	循环 10 min	RH 出站	中间包	轧材
75 ~ 82	118 ~ 130	135 ~ 146	136 ~ 142	138 ~ 142	134 ~ 148

N 含量过程变化见表 6。

钙处理: 钙铁线用量 300 ~ 400 m/炉。

钙处理结束进行软吹氩, 软吹时间 ≥ 5 min, 吹氩强度要求渣面有明显波动但钢液面无裸露。

1.2.4 连铸

采用电磁搅拌和弱冷制度的连铸工艺^[4], 电磁搅拌电流 350 A, 频率 3.5 Hz; 结晶器冷却水量 130 ~ 140 m³/h, 二冷水比水量 0.60 ~ 0.70 L/kg, 200 mm² 方连铸坯拉坯速度为 1.0 ~ 1.2 m/min, 连铸坯矫直温度为 950 ~ 1 000 °C, 铸坯切割后入坑缓冷 48 h, 避开高温脆化区域, 消除应力。

2 轧制工艺

钢坯加热制度按表 7 规定执行。开轧 ≤ 1 100 °C; 终轧 ≤ 1 000 °C; 冷床保温罩开启角度 30°, 钢材剪切温度 ≥ 400 °C。

Φ50 mm 及以上圆钢入坑温度 ≥ 400 °C, Φ50

表 2 C70S6BY 钢力学性能要求
Table 2 Requirements of mechanical properties of C70S6BY steel

R _m /MPa	R _{el} /MPa	A / %	Z / %	HB 布氏硬度值
900 ~ 1 050	≥ 550	≥ 10	≥ 20	280 ~ 310

表 3 氩站 C70S6BY 钢控制成分 / %
Table 3 Chemical composition control of C70S6BY steel at argon station / %

C	Mn	S	P	V	Als
0.45 ~ 0.60	0.40 ~ 0.50	0.055 ~ 0.070	≤ 0.030	0.030 ~ 0.040	0.070 ~ 0.120

表 7 轧制坯加热制度
Table 7 Heating scheme of rolling billet

连铸坯规格 / (mm × mm)	预热区温度 / °C	加热区温度 / °C	均热区温度 / °C	总加热时间 / min
200 × 200	≤ 850	1 140 ~ 1 190	1 130 ~ 1 180	≥ 130

mm 以下圆钢入坑温度 ≥ 350 °C, 第一时间盖好缓冷盖, 缓冷时间 ≥ 36 h 方可起坑^[5]。

3 质量控制情况

3.1 力学性能

从 Φ55 mm 轧材截取 Φ25 mm 的样坯, 将样坯于 1 050 °C 保温 0.5 h 后, 于空气中冷却, 其力学性能指标见表 8。试验钢的各项力学性能均满足标准要求。

3.2 夹杂物

汽车发动机连杆用钢中的硫化物大小、数量、分布及类型直接影响其切削性能及胀断性能, 合适的硫含量有利于提高其切削加工性能。这就要求降低 C70S6BY 钢中的氧含量、氧化物 Al₂O₃ 夹杂和 D 类不变形夹杂以及合适的硫化物数量和形态。试验钢的硫化物夹杂物形貌、成分和尺寸见图 1。

对含硫钢来说, 当 [Mn] / [S] ≥ 4.0 时, 硫在铁中溶解度降低, 硫与锰的亲合力大于硫与铁, 所以随着温度下降, 硫化物逐渐从钢液析出, 室温下硫主要

表 8 Φ55 mm C70S6BY 钢 1 050 °C 30 min 空冷的力学性能
Table 8 Mechanical properties of Φ55 mm C70S6BY steel treated by 1 050 °C 30 min air cooling

R _m /MPa	R _{el} /MPa	A / %	Z / %	HB 布氏硬度值
995 ~ 1 018	586 ~ 611	11.5 ~ 13.0	22 ~ 24	285 ~ 301

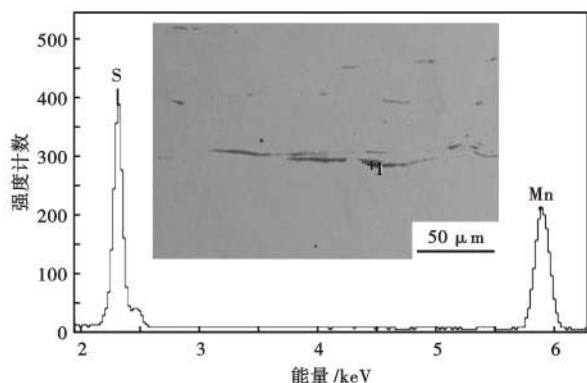


图 1 C70S6BY 钢 MnS 夹杂形貌和成分

Fig. 1 Morphology and analysis of MnS inclusions in C70S6BY steel

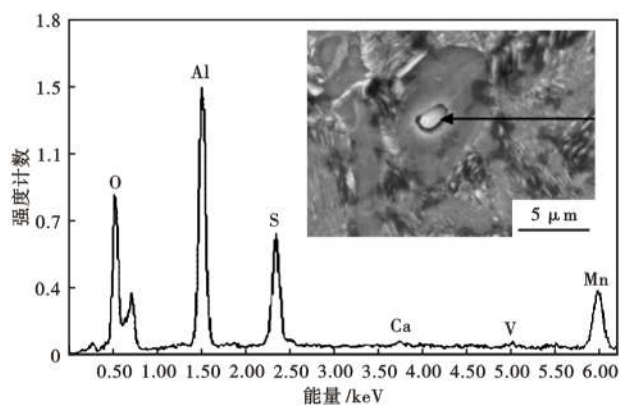


图 2 C70S6BY 钢复合夹杂物形貌和成分

Fig. 2 Morphology and analysis of composite inclusion in C70S6BY steel

以硫化锰为主。

由图 1 可以看出,试验钢中的硫化锰在钢中呈断续条状分布,夹杂物长度为 10 ~ 75 μm ,少量的硫化锰呈纺锤状,有利于试验钢切削加工性能的提高。

试验钢的复合夹杂物形貌、成分和尺寸见图 2。由硫化物夹杂以不易变形的氧化物夹杂为形核核心,最终形成复合夹杂物,对氧化物夹杂有包裹作用,有利于材料疲劳性能的提高。

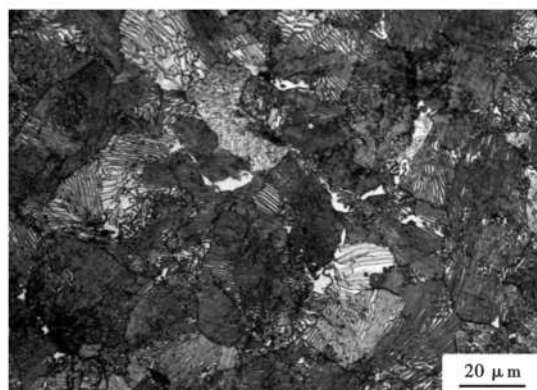
3.3 金相组织

试验钢的预热区温度为 750 $^{\circ}\text{C}$,加热区温度 1 170 $^{\circ}\text{C}$,均热区温度 1 160 $^{\circ}\text{C}$,加热时间 140 min,开轧温度 1 055 $^{\circ}\text{C}$,终轧温度 980 $^{\circ}\text{C}$,剪切温度 510 $^{\circ}\text{C}$,其热轧态金相组织见图 3。

由图 3 可以看出,试验钢的热轧态组织为珠光体 + 少量铁素体组织,该组织较利于连杆涨断加工^[6]。

4 结束语

(1) 通过采用合适的脱氧、造渣、合金化、增硫、

图 3 $\Phi 55$ mm C70S6BY 钢金相组织Fig. 3 Metallographic structure of $\Phi 55$ mm C70S6BY steel

增氮工艺,保证了钢水化学成分满足标准要求。

(2) 通过 LF 造低碱度渣,可以精准控制 C70S6BY 钢中的 S 含量;RH 处理全程采用氮气驱动,可以保证整个 RH 真空处理过程中 N 含量不会降低,为成品 N 含量精准控制提供了保障。

(3) 研制的 C70S6BY 钢热轧态组织是由珠光体和少量铁素体组成,钢中非金属夹杂物主要是硫化锰和复合夹杂物,能够满足连杆的切削加工和内在组织要求。其抗拉强度 995 ~ 1 018 MPa,屈服强度 586 ~ 611 MPa,伸长率 11.5% ~ 13.0%,断面收缩率 22% ~ 24%,HB 布氏硬度值 285 ~ 301,各项指标均满足涨断连杆的技术要求。

(4) 通过在国内著名连杆专业制造企业使用表明,该公司研制的汽车发动机连杆用钢 C70S6BY 的裂解性能优越,断口掉渣少、塑性变形小、切削加工性能优良。

参考文献

- [1] 赵立新,刘志民,赵树国. C70S6 连杆材料的研究[J]. 车用发动机,2005(5):28-30.
- [2] 刘智雄,惠卫军,刘荣佩. 连杆用 C70S6 钢的涨断性能[J]. 特殊钢,2011,32(5):66-68.
- [3] 车从荣,蒋栋初. C70S6BY 开发生产实践[J]. 现代冶金,2017,45(5):28-30.
- [4] 卢盛意. 连铸坯质量研究[M]. 北京:冶金工业出版社,2011.
- [5] 万长杰,申丽娟,刘梅,等. 高碳微合金非调质钢 C70S6BY 的开发和工艺实践[J]. 特殊钢,2017,38(5):31-33.
- [6] 陈思联,李桂芬,董瀚,等. 硫对非调质钢先共析铁素体析出的影响[J]. 汽车工艺与材料,1999(12):14-18.

张渊普(1987-),男,工程师,2008 年河南科技大学(本科)毕业,炼钢轧钢工艺研究. E-mail:6506502@qq.com

收稿日期:2021-03-25