

胀断连杆用非调质钢 C70S6BY 产品研发

韩常海^{1,2} 王志利^{1,3} 施进卿^{1,3}

(1 河北省锻造用钢技术创新中心,承德 067300;承德建龙特殊钢有限公司 2 研发处;3 钢轧厂,承德 067300)

摘要 C70S6BY 非调质热轧圆钢经过 80 t 顶底复吹转炉-LF + VD 精炼-240 mm × 240 mm 方坯连铸-Φ60 mm 圆钢连轧-缓冷-精整、探伤工艺生产。采用碱度 4 ~ 8 Al₂O₃-CaO-SiO₂ 渣系,LF 精炼 45 ~ 60 min;LF 离站[S] ≤ 0.010%, [O] ≤ 0.001%;VD 后硫合金化,[S]控制在 0.063% ~ 0.065%。VD 出钢前喂入含镁包芯线 100 ~ 150 m, Mg 收得率在 11% ~ 17%, 镁硫含量比值约为 1.56%。中间包钢水过热度 15 ~ 30 °C, 铸坯拉速 0.9 m/min。经正火后,试验钢抗拉强度和屈服强度达 957 MPa 和 563 MPa;伸长率和断面收缩率达 12% 和 21%。镁改质处理后,硫化物夹杂长宽比 1 ~ 2 占比达到 55% 以上。

关键词 胀断连杆 非调质钢 C70S6BY 产品研发 镁处理 MnS 夹杂物

Research and Development of Non-Quenched-Tempered Steel C70S6BY for Expanding Fracture Connecting Rod

Han Changhai^{1,2}, Wang Zhili^{1,3} and Shi Jinqing^{1,3}

(1 Hebei Forging Steel Technology Innovation Centre, Chengde 067300;
2 R & D department, 3 Steel Rolling Plant, Chengde Jianlong Special Steel Co Ltd, Chengde 067300)

Abstract The process of developed C70S6BY non-quenched and tempered hot-rolled round steel is 80 t top-bottom combined blowing converter-LF + VD refining-240 mm × 240 mm bloom continuous casting-Φ60 mm round steel continuous rolling-slow cooling-finishing and non-destructive testing process. The Al₂O₃-CaO-SiO₂ slag with basicity 4 ~ 8 has been used, LF refining time is 45 ~ 60 min; after LF, the [S] ≤ 0.010% and [O] ≤ 0.001%; sulphur alloying is carried out after VD, [S] is controlled at 0.063% ~ 0.065%. Before VD tapping, 100 ~ 150 m of magnesium-containing cored wire is fed, and the yield of Mg is 11% to 17%, and the ratio of magnesium to sulphur content is approximately 1.56%. The superheat of the tundish liquid is 15 ~ 30 °C, and the casting speed is 0.9 m/min. After normalizing, the tensile strength and yield strength of test steel are 957 MPa and 563 MPa. The material elongation and reduction of area are 12% and 21%. After the magnesium modification treatment, the percentage of sulphide inclusions with length-width ratio 1 ~ 2 reaches more than 55%.

Material Index Expanding Fracture Connecting Rod, Non-Quenched-Tempered Steel C70S6BY, Product Development, Magnesium Treatment, MnS Inclusion

连杆为发动机的核心部件,需承受强烈的交变载荷和运行复杂的平面运动,因此,作为连杆原料的非调质钢品质直接影响着发动机的动力性和可靠性^[1-3]。胀断连杆是通过胀断工艺实现连杆与盖的分离和无缝装配,是目前连杆生产的先进技术^[4-5]。

C70S6BY 非调质钢是目前应用最广泛的胀断连杆用材料,具有较高抗拉强度和抗扭曲性能及良好韧性,连杆胀断后塑性变形量小和良好的可切削加工性^[6-8]。为此,承德建龙特殊钢有限公司(承德建龙)针对 C70S6BY 钢特性,为提升产品切削性能、控制 C70S6BY 钢硫化物形态,对该钢进行镁处理生产实践。

1 技术要求与质量检测

优异的切削加工性要求其钢中具有形态良好的易切削相,故 C70S6BY 钢 Mn 含量应控制在

0.50% ~ 0.60%, S 含量控制在 0.050% ~ 0.070%, 其余合金元素则在钢中起到提高抗拉强度、抗扭曲性能和韧性的作用。C70S6BY 非调质钢的化学成分如表 1 所示。

根据表 2 可知, C70S6BY 非调质钢中的主要夹杂物为 MnS 夹杂物,因此,试验钢种要求钢中 A 类夹杂物细系 ≤ 4 级,粗系 ≤ 3 级;其次,钢中 B 类夹杂物细系 ≤ 2 级,粗系 ≤ 1.0 级;C 类夹杂物细系 ≤ 1.5 级,粗系 ≤ 1.0 级;D 类夹杂物细系 ≤ 1.5 级,粗系 ≤ 1.0 级。根据钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法,评定试验钢中 A 类夹杂物细系 ≤ 2.5 级,粗系 ≤ 2.5 级;B 类及 C 类夹杂物均为 0 级;D 类夹杂物细系 0.5 ~ 1.0 级,粗系 ≤ 0.5 级,如表 2 所示。

C70S6BY 非调质钢对力学性能的技术标准要求为抗拉强度 (R_m) 900 ~ 1 050 MPa, 屈服强度 (R_{el}) ≥

表 1 C70S6BY 非调质钢标准化学成分和实际检测成分/%
Table 1 Standard and tested chemical composition of C70S6BY non-quenched-tempered steel / %

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Ni	N	O	Mg
实际检测	0.70 ~ 0.71	0.18 ~ 0.20	0.55 ~ 0.57	≤0.015	0.063 ~ 0.065	0.12 ~ 0.14	0.03 ~ 0.04	0.06 ~ 0.08	0.012 ~ 0.016	0.000 7 ~ 0.001 0	0.001
标准要求	0.68 ~ 0.73	0.15 ~ 0.25	0.50 ~ 0.60	≤0.030	0.050 ~ 0.070	0.10 ~ 0.20	0.03 ~ 0.04	0.04 ~ 0.08	0.012 ~ 0.016	-	-

表 2 C70S6BY 钢非金属夹杂物标准要求及实际评级/级
Table 2 Standard requirement and measured rating of non-metallic inclusion in C70S6BY steel / rating

项目	A 类		B 类		C 类		D 类	
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系
实际评级	2.5/2.5	2.5/2.5	0/0	0/0	0/0	0/0	0.5/1.0	0.5/0.5
标准要求	≤4.0	≤3.0	≤2.0	≤1.0	≤1.5	≤1.0	≤1.5	≤1.0

表 3 C70S6BY 钢力学性能标准要求和正火钢检测值
Table 3 Standard requirement of mechanical properties of C70S6BY steel and normalized steel test value

项目	抗拉强度 (R_m)/MPa	屈服强度 (R_{el})/MPa	伸长率 (A)/%	断面收缩率 (Z)/%
检测值	957	563	12	21
标准要求	900 ~ 1 050	≥550	≥10	≥20

550 MPa; 伸长率 (A) ≥ 10%; 断面收缩率 (Z) ≥ 20%。对直径为 $\Phi 60$ mm 规格的 C70S6BY 非调质钢进行正火热处理后, 其力学性能检测结果如表 3 所示。钢材抗拉强度达到 957 MPa、屈服强度 563 MPa、伸长率 12%、断面收缩率 21%, 各项性能均达到标准要求。

2 产品设计要点

C70S6BY 钢是国际通用的高碳胀断连杆材料, 其断口为脆性的解理断裂, 基本无塑性变形的特点。由于该钢碳含量接近共析钢, 锻件空冷后可得到 90% 以上的珠光体, 以保证材料的脆性, 有利于裂解加工。因此, 需将化学成分控制在较窄的范围^[9], 以保证锻件性能一致性。钢中加入 0.050% ~ 0.070% S 改善钢材切削性能, 但 S 与 Mn 结合形成 MnS 夹杂物沿轧制方向分布, 对钢材的性能有一定影响, 应控制硫化物形态^[10-11]。

生产过程重点控制点:

(1) 采用窄成分控制技术, 保证材料性能一致性、稳定性; (2) 钢中 S 含量较高, 连铸生产易堵水口, 冶炼过程中 S 含量按中限控制; (3) VD 采用通过稀有元素进行硫化物改质处理, 改善硫化物形态; (4) 由于 C、S 元素含量较高, 易产生偏析, 连铸生产过程中严格控制过热度 ≤ 30 °C, 以保证成分均匀

性; (5) C70S6BY 钢裂纹敏感性较高, 连铸采用弱冷工艺, 钢坯入坑缓冷; 加热时避免加热速率过快, 控制炉内为还原性气氛; (6) 轧制采用快速下冷床缓冷方式, 轧材保温 24 h 以上。

3 生产工艺

3.1 生产工艺流程

80 t 顶底复吹转炉-LF 精炼-VD 真空脱气-连铸 (断面 240 mm × 240 mm)-连轧 ($\Phi 60$ mm)-缓冷-精整、探伤。

3.2 冶炼连铸工艺

高炉铁水经半钢氧化法提钒后进行铁水预处理。转炉冶炼时采用高拉补吹技术, 终点成分 [C] ≥ 0.08%, [P] ≤ 0.010%, 出钢温度 ≥ 1 600 °C。出钢时采用滑板挡渣、下渣检测技术, 有效控制出钢下渣量。

LF 精炼过程使用 SiC 扩散脱氧, 保持炉内良好的还原性气氛。采用 Al_2O_3 -CaO-SiO₂ 高碱度渣系, 渣中 ($FeO + MnO$) ≤ 1%, 碱度控制在 4 ~ 8, 精炼渣成分如表 4 所示; LF 精炼时间 45 ~ 60 min, 白渣保持时间 ≥ 15 min。精炼采用先脱硫后硫合金化工艺, LF 到站后 S 控制在 0.020% ~ 0.040%, LF 离站 S ≤ 0.010%, O 含量控制在 10×10^{-6} 以下。VD 破空后喂入硫线, S 含量控制在 0.063% ~ 0.065%。

VD 深真空度 ≤ 67 Pa, 保持真空时间 ≥ 15 min; VD 精炼出钢前喂入含镁包芯线 100 ~ 150 m, 软吹时间 ≥ 15 min, 确保 Mg 元素能在钢中均匀扩散并对硫化物夹杂起到改质效果。根据表 1 中实际检测的 Mg 含量 (10×10^{-6}) 可计算得到 Mg 收得率为 11% ~ 17%, 镁硫含量比值 (Mg/S) 约为 1.56%。

浇铸前对连铸工况进行维护, 确保对弧精度、二冷喷嘴无堵塞。结晶器保护渣采用 C70S6BY 专用保护渣, 中间包过热度控制在 15 ~ 30 °C, 铸坯拉速

表 4 精炼渣成分和碱度
Table 4 Refining slag ingredient and basicity

渣成分 / %						碱度 (R)
FeO + MnO	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	
≤1	45 ~ 55	≤5	7 ~ 10	20 ~ 30	0.5 ~ 1.5	4 ~ 8

0.9 m/min,二冷配水采用弱冷方式,通过结晶器液面自动控制、结晶器和末端电磁搅拌工艺改善连铸坯低倍质量。钢坯入坑缓冷,缓冷温度 ≥ 500 °C,缓冷时间 ≥ 24 h。

3.3 加热轧制工艺

针对 C70S6BY 钢碳高、硫高、裂纹敏感性强的特点,预热段温度要求 ≤ 800 °C,总加热时间 ≥ 180 min,开轧温度 $1\ 000 \sim 1\ 050$ °C;炉内采用还原性气氛,残氧量要求 $\leq 2\%$ 以下。轧后采用快速收集入箱缓冷方式,缓冷温度 ≥ 400 °C,保温时间 ≥ 24 h。

4 夹杂物控制

该非调质钢经镁处理后,钢中夹杂物普遍为 $MgAl_2O_4$ -MnS 复合夹杂物,说明 Mg 元素能起到较好的异质形核作用,诱导 MnS 在其表面析出,从而增大硫化物密度、降低硫化物长度,改质效果如图 1 所示。

从圆钢边部至中心,对钢中硫化物夹杂形态进行了统计,如图 2 所示。Mg 处理后的轧材中,夹杂物长宽比在 1~2 的占比可达到 55% 以上,大于 6 的占比约为 10%。

5 结论

(1) 胀断连杆用 C70S6BY 非调质钢的设计要点主要包括:窄成分控制技术;冶炼过程中 S 含量按中限控制;VD 过程硫化物改质处理;连铸过程过热度 ≤ 30 °C;连铸弱冷工艺,钢坯入坑缓冷;加热炉缓慢加热;轧材快速下冷床缓冷方式,保温 24 h 以上。

(2) C70S6BY 非调质钢生产采用 80 t 转炉-LF+VD 精炼-连铸-连轧-缓冷-精整-探伤工艺,产品抗拉强度 957 MPa、屈服强度 563 MPa、伸长率

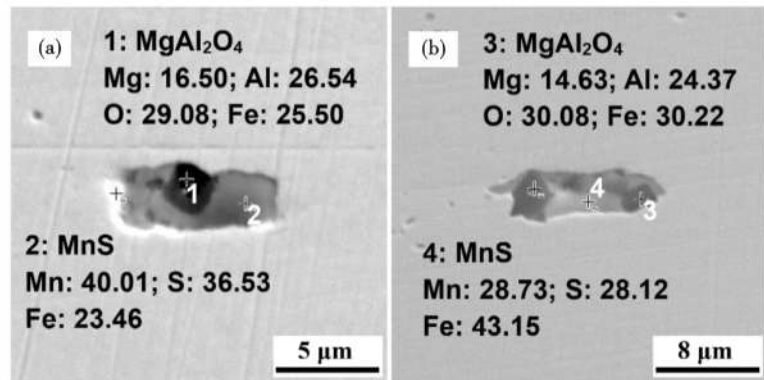


图 1 镁处理 C70S6BY 钢轧材 $MgAl_2O_4$ -MnS 复合夹杂物形貌和成分(原子分数)/%

Fig. 1 Morphology and composition of $MgAl_2O_4$ -MnS composite inclusions in magnesium treated C70S6BY steel rolled product (atomic percentage)/%

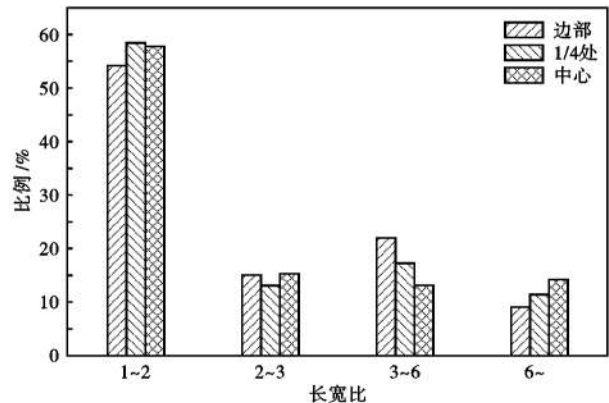


图 2 C70S6BY 钢中硫化物长宽比统计

Fig. 2 Statistics of length-width ratio of sulfide in C70S6BY steel

12%、断面收缩率 21%,质量要求合格。

(3) 用 Mg 进行硫化物改质处理的轧材中,夹杂物长宽比在 1~2 的占比达到 55% 以上,大于 6 的占比约为 10%,硫化物形态得到有效地改善。

参考文献

- [1] 马群,王连海,顾文涛,等.胀断连杆用 C70S6 高碳非调质圆钢冷剪过程开裂分析和改进措施[J].特殊钢,2017,38(5):44-46.
- [2] 康涪,刘向艳,杨建华,等.胀断连杆用 C70S6 BY 钢连铸坯探伤不合格原因分析和工艺改进[J].特殊钢,2019,40(2):21-23.
- [3] 邓向阳,李健,谢剑波,等.国内外 C70S6 胀断连杆用钢质量对比分析[J].钢铁钒钛,2018,39(1):148-154.
- [4] 孙华,周蕾,王占花,等.正火处理对胀断连杆用 C70S6 非调质钢组织和力学性能的影响[J].金属热处理,2017,42(11):93-97.
- [5] 张朝磊,胡佳丽,李戩,等.汽车胀断连杆用非调质钢的应用现状与发展[J].材料导报,2017,31(5):58-64.
- [6] 王占花,李慎,葛宇,等.C70S6 非调质钢锻造连杆的组织力学性能和胀断性能研究[J].热加工工艺,2015,44(19):39-43.
- [7] 王芝林,钱才让,胡发贵,等.C70S6 非调质钢连杆胀断缺陷分析[J].热加工工艺,2018,47(13):250-252.
- [8] 车从荣,蒋栋初.C70S6BY 开发生产实践[J].现代冶金,2017,45(5):28-30.
- [9] 王明元,王忠英,陈子坤.C70S6BY 非调质钢中硫的窄成分控制技术[J].现代冶金,2017,45(3):25-28.
- [10] 万长杰,申丽娟,刘梅,等.高碳微合金非调质钢 C70S6 的开发和工艺实践[J].特殊钢,2017,38(5):31-33.
- [11] 丁志军,刘炜,卫广运,等.提高 C70S6 胀断连杆钢水纯净度的工艺优化[J].河北冶金,2020,42(11):49-52.

韩常海(1983-),男,工程师,河北理工大学(本科)毕业,优特钢产品研发。E-mail:1656381030@qq.com

收稿日期:2021-04-30