

高碳微合金非调质钢 C70S6 的开发和工艺实践

万长杰 申丽娟 刘梅 赵天力

(河南济源钢铁集团有限公司科技质量处, 济源 459000)

摘要 开发的高碳微合金非调质钢 C70S6 ($\% : 0.68 \sim 0.73\text{C}, 0.15 \sim 0.25\text{Si}, 0.45 \sim 0.55\text{Mn}, \leq 0.030\text{P}, 0.055 \sim 0.070\text{S}, 0.10 \sim 0.15\text{Cr}, 0.04 \sim 0.08\text{Ni}, 0.03 \sim 0.04\text{V}, 0.012\text{O} \sim 0.014\text{ON}$) 的生产流程为 120 t 顶底复吹转炉-LF-RH-240 mm \times 240 mm 方坯连铸- $\Phi 39$ mm 棒材轧制。生产结果表明,通过控制 $\text{Mn/S} \geq 3$, 采用碱度 $[(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)] 4.32$ 的 LF 精炼渣 ($\% : 59.87\text{CaO}, 13.86\text{SiO}_2, 5.55\text{MgO}, 16.34\text{Al}_2\text{O}_3, 0.64\text{S}, 0.072\text{MnO}$), 钢水过热度 $15 \sim 30^\circ\text{C}$, 连铸转速 0.65 m/min , 弱二冷比水量 0.5 L/t ; 二冷 III 段采用气雾冷却, 终轧温度 $\leq 880^\circ\text{C}$ 等工艺措施, 高碳微合金非调质钢 C70S6 抗拉强度 $\geq 950 \text{ MPa}$, 屈服强度 $\geq 550 \text{ MPa}$, 伸长率 $\geq 10\%$, 断面收缩率 $\geq 20\%$, 硬度 HB 值为 $240 \sim 290$, 其各项指标均满足胀断连杆要求。

关键词 120 t BOF-LF-RH-CC 流程 高碳微合金非调质钢 胀断连杆 C70S6 开发 工艺实践

Development of High Carbon Microalloying Non-Quenched-Tempered Steel C70S6 and Process Practice

Wan Changjie, Shen Lijuan, Liu Mei and Zhao Tianli

(Technology and Quality Department, Henan Jiyuan Iron and Steel Group Co Ltd, Jiyuan 459000)

Abstract The production flowsheet of developed high carbon microalloying non-quenched-tempered steel C70S6 ($\% : 0.68 \sim 0.73\text{C}, 0.15 \sim 0.25\text{Si}, 0.45 \sim 0.55\text{Mn}, \leq 0.030\text{P}, 0.055 \sim 0.070\text{S}, 0.10 \sim 0.15\text{Cr}, 0.04 \sim 0.08\text{Ni}, 0.03 \sim 0.04\text{V}, 0.012\text{O} \sim 0.014\text{ON}$) is 120 t top and bottom combined blowing converter-LF-RH-240 mm \times 240 mm bloom casting- $\Phi 39$ mm bar rolling. Production results show that with process measures including controlling $\text{Mn/S} \geq 3$, using basicity $[(\text{CaO})/(\text{SiO}_2)] 4.32$ LF refining slag ($\% : 59.87\text{CaO}, 13.86\text{SiO}_2, 5.55\text{MgO}, 16.34\text{Al}_2\text{O}_3, 0.64\text{S}, 0.072\text{MnO}$), liquid superheating extent $15 \sim 30^\circ\text{C}$, casting speed 0.65 m/min , weak secondary water rate 0.5 L/t , using air mist spray cooling at III section of secondary water cooling and finishing rolling temperature at $\leq 880^\circ\text{C}$, the mechanical properties of high carbon microalloying non-quenched-tempered steel C70S6 are tensile strength $\geq 950 \text{ MPa}$, yield strength $\geq 550 \text{ MPa}$, elongation $\geq 10\%$, reduction of area $\geq 20\%$ and HB hardness value $240 \sim 290$, and each index all meets the requirement for fracture splitting connecting rod.

Material Index 120 t BOF-LF-RH-CC Flowsheet, High Carbon Microalloying Non-Quenched-Tempered Steel, Fracture Splitting Connecting Rod, C70S6, Development, Process Practice

目前,我国胀断^[1-3]连杆用非调质钢材料 C70S6 大部分来自进口,且价格昂贵。非调质钢由于省略调质工序,可缩短工期,降低能耗成本达 $25\% \sim 38\%$ ^[4-5]。胀断连杆要求有较高的抗拉强度、较高的抗扭曲和较好的韧性,若韧性偏低胀断时容易掉渣,但韧性高了又不易胀断,因此还要有一定的脆性,以利于胀断。因此生产过程中要求控制好钢水成分及轧制后材料的微观组织。

1 非调质钢中合金元素的作用

1.1 合金元素的作用

钢中各元素对材料组织及性能的作用非常重要:

硅有利于钢水的脱氧,可促进铁素体的形成,在钢中形成带状组织,使横向性能低于纵向性能;

锰可以使钢中的硫元素形成较高熔点的硫化

锰,避免在晶界形成低熔点物质(硫化亚铁薄膜),消除钢的热脆性,改善加工性能,此外,锰元素还可以降低相变温度、细化珠光体和减少珠光体片间距,提高强度等;

铬在提高钢的强度和硬度同时还可以显著提高钢的脆性转变温度,降低相变温度、细化铁素体晶粒、减小珠光体片层间距;高氮钢中形成氮化钒的化学驱动力大,形核密度较高,降低了析出相(氮化钒)长大速率,有利于弥散的超显微碳氮化物析出,在起到强化和硬化的同时,钢的韧性下降,缺口敏感性增加;

镍可以强化铁素体并降低共析珠光体的碳含量,细化和增多珠光体,提高钢的强度,降低钢的低温脆性,提高钢的疲劳抗力,降低钢的缺口敏感性;

少量的钒形成细小弥散的稳定难熔的碳氮化

物,使钢晶粒细化,在较高温度时仍保持细晶组织,显著降低钢的过热敏感性,韧性增大,在较低温度加工时显著增加变形抗力;

低熔点的硫化亚铁在晶界偏析时可显著提高钢的热脆性,但细小弥散分布的高熔点的硫化锰夹杂却可以明显改善钢的切削加工性能,而对热脆性影响较小。

1.2 胀断连杆用非调钢对合金元素的要求

胀断工艺要求连杆胀断后的塑性变形量小,又要保证材料有良好的可切削加工性。高碳非调钢含碳量提高后,钢材的淬透性提高,如果保持含 Mn 量不变,连杆锻造空冷后硬度会提高,而且金相组织中会出现贝氏体,恶化可切削加工性能,因此冶炼过程中要适当降低锰含量。

为了改善可切削加工性能,需提高硫含量,钢中

的锰元素和硫元素的亲和力大于铁元素和硫元素的亲和力,会优先形成硫化锰,从而降低钢的塑性,防止金相组织中可能会出现贝氏体;另外,硫化亚铁会引起钢的“热脆”,促进了胀断时的断裂。锰和硫结合时含锰量不能过低,至少要 3 倍于硫的含量。C70S6 化学成分见表 1 所示。

2 生产工艺

2.1 工艺路线的选择

非调质钢生产工艺为:120 t 转炉冶炼-LF 精炼-软吹-RH 精炼-7 机 7 流 240 mm × 240 mm 连铸机浇铸-铸坯缓冷-加热-轧制(Φ39 mm)-检查-入库。

2.2 冶炼和连铸工艺

硫元素在胀断连杆用非调钢中不是传统意义上的有害元素,精炼过程中精炼渣成分和碱度如表 2

表 1 C70S6 钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of steel C70S6 /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V	N
0.68 ~ 0.73	0.15 ~ 0.25	0.45 ~ 0.55	≤ 0.030	0.055 ~ 0.070	0.10 ~ 0.15	0.04 ~ 0.08	0.03 ~ 0.04	0.012 0 ~ 0.014 0

所示,喂入硫线前后钢水硫含量由 0.04% 上升至 0.06%,物料准备过程中要严把硫线质量关(长时间存放的硫线易被腐蚀),确保硫含量控制准确避免对钢水的污染;防止后期钢包顶渣吸硫导致硫含量偏低,因此 LF 钢水终点样硫含量按上限控制;精炼炉采用白渣操作,确保白渣时间 > 15 min,LF 终点钢水化学成分如表 3 所示;保证软吹氩时间 ≥ 9 min,促进钢水中夹杂物充分上浮以及气体的排出,软吹流量控制在 250 ~ 300 L/min。

连铸过程中严格控制钢水过热度(15 ~ 30 ℃),钢水浇铸温度 1 500 ~ 1 515 ℃,拉速控制为 0.65 m/min,控制铸坯中心疏松和偏析;控制中间包和结晶器液面稳定;严格控制浸入式水口插入深度及对弧对中,保证连铸机设备精度,防止结晶器钢水卷渣、铸坯冷却不均匀;连铸二冷实施弱冷工艺,比水量控制在 0.5 L/t 左右,二冷室 III 段采用气雾冷却,有效解决了二冷回温与弱冷的问题。

2.3 加热及轧制工艺

由于该钢种碳高、硫高,在连铸过程中很容易产生偏析和疏松缺陷,同时考虑到该钢裂纹热敏感性,要求预热温度 ≤ 850 ℃,加热温度 1 050 ~ 1 150 ℃,终轧温度 ≤ 880 ℃,轧后进入冷床,入缓冷坑表面温度控制 ≥ 300 ℃,出坑温度 ≤ 100 ℃。

表 2 C70S6 钢 LF 精炼过程中精炼渣成分和碱度
Table 2 Ingredient and basicity of refining slag in LF refining process of steel C70S6

渣成分/%						碱度
CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	S	MnO	(CaO/ SiO ₂)
59.87	13.86	5.55	16.34	0.64	0.072	4.32

表 3 C70S6 钢 LF 终点钢水化学成分/%
Table 3 Chemical composition of liquid of steel C70S6 at end LF /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	V
0.68	0.17	0.58	0.016	0.057	0.11	0.05	0.035

表 4 C70S6 钢 240 mm × 240 mm 铸坯低倍组织级别
Table 4 Rating of macro structure of 240 mm × 240 mm casting bloom of steel C70S6

一般疏松/级	中心疏松/级	锭型偏析/级
1.0	1.0	0.5

3 效果及质量分析

3.1 铸坯质量

C70S6 钢铸坯低倍组织均匀致密,疏松和缩孔均 < 1.5 级,未出现裂纹、皮下气泡、宏观夹杂等缺陷,宏观组织级别实测值见表 4。

3.2 微观组织

采用蔡司金相显微镜对 C70S6 钢微观组织及

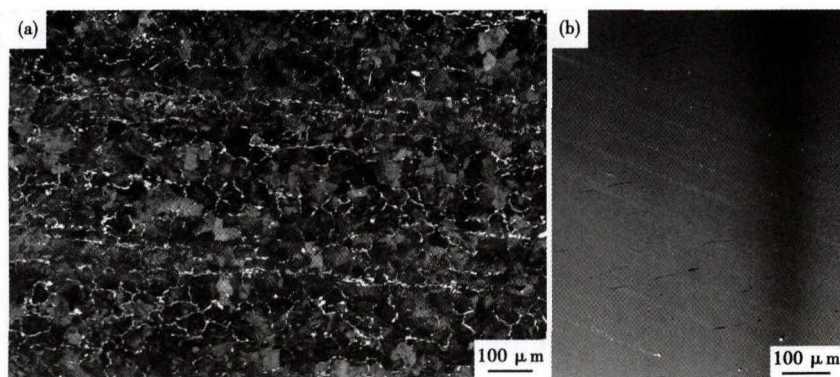


图1 C70S6 钢 Φ39 mm 热轧材组织(a)和夹杂物(b)形貌

Fig. 1 Morphology of structure (a) and inclusions (b) in Φ39 mm hot-rolled products of steel C70S6

表5 C70S6 钢 Φ39 mm 热轧材的力学性能

Table 5 Mechanical properties of Φ39 mm hot-rolled products of steel C70S6

抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 R_{d1} /MPa	伸长率 A /%	断面收缩率 Z /%	HB 硬度值
970	580	12	22	265

夹杂物形貌检验结果见图1,金相组织为珠光体加断续的铁素体,铁素体含量在6%左右,晶粒度在6级以上,如图1(a)所示,夹杂物分布情况如图1(b)所示,检验指标满足非调质钢质量要求。

3.3 力学性能

布氏硬度值分布均匀,HB 硬度值在260~290,满足德国连杆技术要求。表5为C70S6力学性能检测结果。

4 结论

(1)采用碱度(CaO/SiO₂)4.32的LF精炼渣,降低精炼过程脱硫率,LF终点硫含量按上限控制,软吹氩时间≥9 min,严格控制钢水过热度20~30℃,

全程保护浇铸,液面自动控制等技术可获得良好铸坯质量:一般疏松和中心疏松均为1级,偏析0.5级。

(2)通过控制C70S6钢中的锰含量,Mn/S≥3,轧制预热温度≤850℃,加热温度1050~1150℃,入缓冷坑温度≥300℃,出坑温度≤100℃,成品C70S6钢的组织为珠光体+6%铁素体,抗拉强度970MPa,屈服强度580MPa,伸长率12%,断面收缩率22%,HB硬度值265,各项指标均满足胀断连杆的要求。

参考文献

[1] Gu Z W, Yang S H, Ku S Q. Fracture Splitting Technology of Automobile Engine Connecting Rod [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2005, 25: 883-887.
 [2] Fukuda S. Development of Fracture Splitting Connecting Rod [J]. Society of Automotive Engineers of Japan Review, 2002, 23 (1): 101-104.
 [3] 杨慎华,寇淑清,谷净巍,等. 发动机连杆裂解加工新技术[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2000, 32(3): 129-131.
 [4] Hyounsoo Park, Yong Sang K. Development of Fracture Split Steel Connecting Rods [J]. Innovation of Steel Bar and Steel Plant, 2003, 29(2): 91-95.
 [5] 丁洁. 汽车用微合金非调质钢的应用现状及发展[J]. 金属热处理, 2006, 9(1): 46-48.

万长杰(1964-),男,高级工程师,1987年北京科技大学(本科)毕业,特殊钢品种开发与工艺技术研究。
E-mail:biaozhun168@163.com

收稿日期:2017-04-20

下期要目

顶底复吹转炉双渣冶炼“脱磷窗口”温度控制模型	汪成义等
70CaF ₂ -30Al ₂ O ₃ 渣系电渣重熔Cr13Mn4Mo不锈钢中夹杂物的演变	张钊等
V-微合金化高强度钢Q420C 180 mm × 180 mm 连铸坯热塑性的研究	赵斌等
25Mn 钢 Φ185 mm × 13 mm 冷拔管内表面麻点状缺陷的分析和控制工艺	邓明明等
减少45 t AOD 奥氏体不锈钢精炼过程喷溅的工艺优化	谭建兴等
9.5 mm 热轧带钢SPHC氧化皮控制技术及应用	殷胜等
单辊轻压下对高碳钢SWRH72B 180 mm × 180 mm 铸坯内部质量的影响	李德军等
退火温度对06Cr13 不锈钢冷轧板结构和力学性能的影响	田华等
Ti 含量和正火工艺对Nb-V-Ti 微合金电机轴用钢16MnT 低温冲击韧性的影响	郭中华等