

非调质钢 F45MnVS 热顶锻裂纹分析和改进工艺措施

李 泰

(山东钢铁股份有限公司莱芜分公司, 莱芜 271104)

摘 要 非调质钢 F45MnVS 的生产流程为 50 t UHP EAF-LF-VD-260 mm × 300 mm, 180 mm × 220 mm 坯连铸-Φ20 ~ Φ160 mm 材轧制。根据显微组织分析,热顶锻裂纹由块状和片状 MnS 和附着的 Al₂O₃-MnO-FeO 复合氧化物引起,通过控制钢中 Al 0.010% ~ 0.030%, 电弧炉终点 [C] ≥ 0.20%, 终点 [P] ≤ 0.025%, [Mn]/[S] > 20, LF 精炼渣碱度 ≥ 3.0, VD 后软吹氩时间 ≥ 12 min, 保证钢中硫分布均匀; 中间包钢水过热度 20 ~ 30 °C, 控制连铸拉速防止 MnS 偏析; 控制终轧温度 850 ~ 1 000 °C, 轧后冷速 2 ~ 4 °C/s 等工艺措施, 使钢中夹杂物主要为长条状 MnS, 热顶锻试验无裂纹和其他缺陷, 全部合格。

关键词 非调质钢 F45MnVS 热顶锻 裂纹 工艺改进

Analysis on Hot Heading Crack of Non-Quenched and Tempered Steel F45MnVS and Improved Measures of Process

Li Tai

(Laiwu Branch, Shandong Iron and Steel Co Ltd, Laiwu 271104)

Abstract The production flowsheet for non-quenched and tempered steel F45MnVS is 50 t UHP EAF-LF-VD-260 mm × 300 mm and 180 mm × 220 mm billet casting-rolling to Φ20 ~ Φ160 mm products. According to analysis on micro-structure of steel, the hot heading crack is caused by block and lamella MnS and attached with Al₂O₃-MnO-FeO compound oxide. With using the process measures including controlling Al content in steel 0.010% ~ 0.030%, EAF end [C] ≥ 0.20% and end [P] ≤ 0.025%, [Mn]/[S] > 20, LF refining slag basicity ≥ 3.0, after VD soft argon blowing for ≥ 12 min, ensuring homogeneous distribution of sulfur in steel, superheating extent of liquid in tundish 20 ~ 30 °C, controlling casting speed to prevent MnS segregation, and controlling finishing rolling temperature 850 ~ 1 000 °C and cooling rate after rolling 2 ~ 4 °C/s, the main inclusions in steel is long lath MnS, the hot heading test is all qualified without crack and other defects.

Material Index Non-Quenched and Tempered Steel F45MnVS, Hot Heading, Crack, Improvement of Process

F45MnVS 非调质钢用途之一是作为热压力加工用钢代替调质钢^[1], 锻造用钢必须保证热顶锻性能, 近期开发的 F45MnVS 非调质钢出现了部分热顶锻开裂现象, 对裂纹原因进行了分析并通过改进工艺措施, 消除了顶锻开裂现象, 满足了热锻用 F45MnVS 非调质钢的质量要求。

1 工艺流程和技术参数

50 t UHP 电弧炉 → 60 t LF 精炼炉 → 60 t VD → R11 m 合金连铸机 → 缓冷/热送 → 轧制成材 (轧后风冷) → 精整 → 检验入库。

铸坯分为 260 mm × 300 mm、180 mm × 220 mm

两个坯型, 分别成材规格为 Φ65 ~ Φ160 mm、Φ20 ~ Φ60 mm。

2 热顶锻裂纹分析

在 GB/T15712-2008 标准中非调质钢分直接切削加工用钢和热压力加工用钢两类, 直接切削加工用钢对热顶锻性能不作要求; 锻造用钢必须保证热顶锻性能。试制产品主要技术指标见表 1、表 2。前期开发的非调质钢热顶锻试验, 少部分炉次出现热顶锻开裂情况, 如图 1(a)。

对开裂试样进行了分析, 将顶锻试样沿垂直于轴向的方向切开, 并将表面裂纹切开, 裂纹上有一层

表 1 热锻用非调质钢 F45MnVS 的标准和内控化学成分/%

Table 1 Standard and interior control chemical composition of non-quenched and tempered steel F45MnVS for hot forging /%

项目	C	Si	Mn	P	S	V	Cu	Cr	Ni	Al
标准	0.42 ~	0.32 ~	1.00 ~	≤	0.035 ~	0.06 ~	≤	≤	≤	0.010 ~
	0.45	0.40	1.30	0.035	0.045	0.09	0.30	0.30	0.30	0.030
内控	0.44 ~	0.35 ~	1.25 ~	≤	0.040 ~	0.08 ~	≤	≤	≤	0.010 ~
	0.48	0.45	1.45	0.035	0.065	0.11	0.30	0.30	0.30	0.030

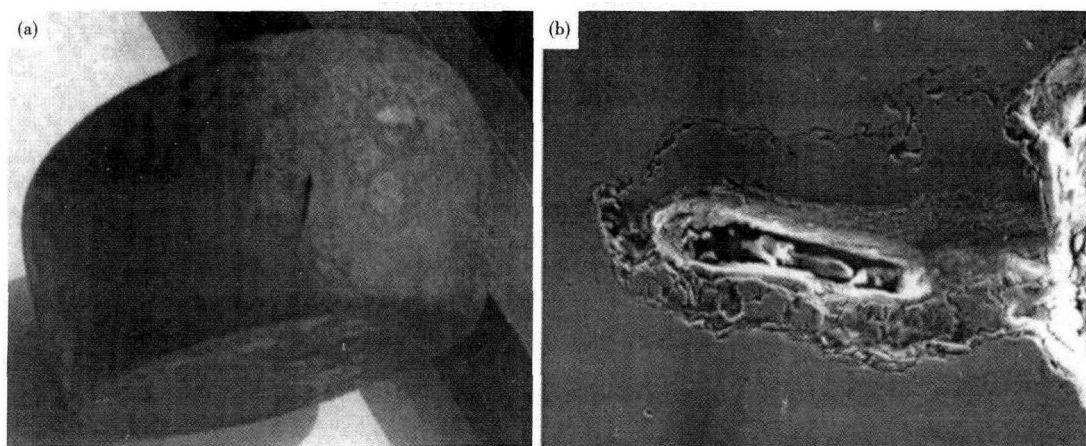


图1 工艺改进前 F45MnVS 非调质钢顶锻裂纹, $\times 1$ (a) 和附近区域组织, $\times 1000$ (b) 形貌

Fig.1 Morphology of hot heading crack, $\times 1$ (a) and structure near crack, $\times 1000$ (b) of non-quenched and tempered steel F45MnVS before process improvement

表2 优化前和优化后 LF 精炼渣成分和碱度

Table 2 Ingredient and basicity of LF refining slag before and after optimization

项目	成分/%					碱度 (R)
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	
优化前	50.74	15.26	10.45	6.25	0.85	3.33
优化后	≥ 50.00	≤ 15.00	25~30	≤ 8	≤ 0.50	≥ 3.33

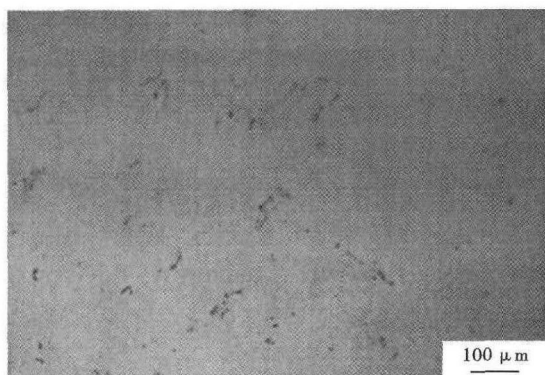


图2 改进工艺前热顶锻非调质钢 F45MnVS 裂纹附近 MnS + Al₂O₃ · MnO · FeO 复合氧化物形貌

Fig.2 Morphology of MnS + Al₂O₃ · MnO · FeO compound oxide near hot heading crack of non-quenched and tempered steel F45MnVS before process improvement

较厚的氧化皮,裂纹前沿圆滑,裂纹起始处有夹杂物存在致使顶锻开裂,显微分析如图 1(b) 所示。

通过金相显微镜观察, F45MnVS 非调质钢中的夹杂物含量很高,呈块状和片状,较均匀分布在钢中,绝大多数是 MnS 和附着的 Al₂O₃-MnO-FeO 复合氧化物,仅有少量的其他氧化物等^[2],如图 2 所示。

通过夹杂物及裂纹分析,顶锻开裂主要是由块状和片状的 MnS 热脆性相^[3]引起。因此,控制 MnS 夹杂物是解决问题的关键。

3 改进措施

3.1 化学成分设计

热锻用 F45MnVS 是含硫易切削微合金化非调质钢,冶炼时钢中加入微量 V 元素,形成高熔点、难溶解的 VC、VN 等化合物,牢固存在于奥氏体晶界,使晶粒细化,抑制加热时奥氏体晶粒长大和抑制轧、锻造形变过程中奥氏体再结晶并促进晶内铁素体组织形成,分割奥氏体晶粒,形成细小均匀等轴铁素体组织。为减少 MnS 热脆性对锻造热加工的不利影响,通过控制 $[Mn]/[S] > 20$ ^[4];其它成分取中限控制。当酸溶铝小于 0.005% 时,不形成易于 MnS 在其上析出的 Al₂O₃ 与 MnO、FeO 结合的复合氧化物;酸溶铝大于 0.030% 时形成单纯的 Al₂O₃,不利于细小弥散的 MnS 析出,因此,Al 含量设计控制在 0.010% ~ 0.030%。为保证钢材质量稳定,设计了内控成分要求,见表 1。

3.2 冶炼和连铸工序

热锻用 F45MnVS 为中碳锰钒含硫非调质钢,电弧炉控制好终点成分,控制终点 $[C] \geq 0.20\%$, $[P] \leq 0.025\%$ 。LF 精炼控制渣碱度 ≥ 3.0 ,精炼过程保持白渣时间 ≥ 20 min。喂入铝线调整控制钢中酸溶铝含量目标在 0.030% ~ 0.050%,调整后精炼渣成分见表 2。

钢中硫含量关系到钢的切削性能和力学性能,稳定生产工艺、确保硫的收得率,按照 $[Mn]/[S]$ 比在 20 以上喂入硫线,硫线收得率按照 70% ~ 90% 考虑。钢水在真空脱气后软吹氩时间 ≥ 12 min,使 S 在钢液中均匀分布。

连铸采用全程保护浇注,钢包浇注采用长水口,

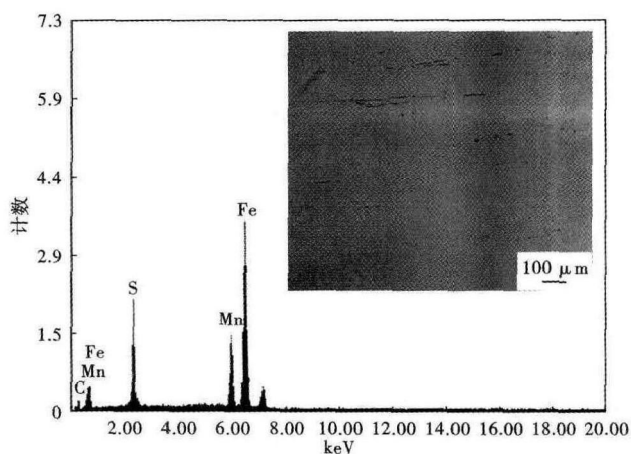


图 3 改进工艺后非调质钢 F45MnVS 中非金属夹杂物 MnS 形貌及能谱分析

Fig. 3 Morphology and energy spectrum analysis of non-metallic inclusion MnS in non-quenched and tempered steel F45MnVS after process improvement

中间包采用浸入式水口、使用覆盖剂、专用保护渣等材料,以防止钢水二次氧化;塞棒控制浇铸,采用低过热度(中间包钢水过热度 20 ~ 30 ℃)浇注。控制连铸拉速,为防止 MnS 偏析,使用结晶器和末端电磁搅拌;控制好过热度和二冷配水量,保证铸坯冷却均匀。

3.3 轧制工序

为使 F45MnVS 非调质钢的热轧材达到要求的力学性能,在钢的化学成分符合要求的情况下,关键在合理的热轧工艺制度;钢坯的加热温度、钢材的终轧温度和轧后冷却速度。加热炉的均热温度为 1 180 ~ 1 220 ℃,保证 V 化合物充分固溶,为其析出强化创造条件。终轧温度控制在 850 ~ 1 000 ℃^[5],提高非调质钢的塑、韧性。轧后钢材冷却速度为 2 ~ 4 ℃/s,保证最佳的析出强化效果。下冷床堆冷温度控制在 600 ~ 700 ℃,保证钢材性能和产品质量。

4 实施效果

通过工艺优化试验,开发的热锻用 F45MnVS 非调质钢热顶锻检验全部合格,无任何缺陷,表明钢材的表面质量和内在质量良好。

在金相显微镜下对夹杂物形态进行了观察,主要为硫化物夹杂,呈长条状;对硫化物夹杂进行了能谱分析,结果为 MnS 夹杂,见图 3,说明细长条状 MnS 夹杂具有良好的塑性,在热轧时沿轧向变形。

5 结语

(1)热锻用 F45MnVS 非调质钢顶锻裂纹主要是由块状和片状的 MnS 热脆性相引起。

(2)采取控制 [Al] 0.010% ~ 0.030%, [Mn]/[S] > 20,保证 VD 后软吹氩时间,使钢液中硫分布均匀,控制中间包钢水过热度和连铸拉速、防止 MnS 偏析,控制终轧温度和轧后冷速等工艺优化措施后,使非调质钢中 MnS 夹杂呈细长条状,有效消除了顶锻裂纹,产品质量优良,满足了用户的使用要求。

参考文献

[1] 元显玲,戈文英,翟正龙,等. YF45MnV 非调质结构钢的研制[J]. 中国钢铁业,2009(1):27-29.
 [2] 赵冠夫,王静松,吴兵,等. 50 t UHP EAF-LF-VD-CC 流程生产 MnVS 系非调质钢的质量控制[J]. 特殊钢,2013,34(4):43-45.
 [3] 夏云进,王福明,王世俊,等. 国内外含硫易切削非调质钢成分及显微组织分析[J]. 炼钢,2013,29(3):59-61.
 [4] 李梦龙,王福明,陶素芬,等. 易切削非调质钢凝固过程及钢中 MnS 析出规律[J]. 材料热处理学报,2014,35(4):87-89.
 [5] 张英建,惠卫军,董瀚. 热轧工艺参数对非调质钢 F45MnV 力学性能的影响[J]. 特殊钢,2007,28(6):27-29.

李泰(1981-),男,硕士(2008年安徽工业大学),工程师,2005年山西大学(本科)毕业,特殊钢品种开发与工艺技术研究。E-mail:litail230@163.com

收稿日期:2015-04-10

邮发代号:38-183

欢迎订阅 2016 年《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00 元/期 96.00 元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社