

碲处理改善汽车曲轴用非调质钢 38MnVS6 硫化物形貌的研究

轩康乐,刘栋林,俞杰,李义龙,龚宝生
(江苏永钢集团有限公司特钢公司,张家港 215628)

摘要:为研究碲元素对汽车曲轴用非调质钢 38MnVS6 硫化物形貌的影响,在冶炼过程中喂入 70 m 的 Mn-Te 线,加入 0.012% Te,通过金相显微镜及扫描电镜对 $\Phi 380$ mm 连铸圆坯及 $\Phi 105$ mm 热轧圆钢的非金属夹杂物进行研究。研究发现,硫化物的形态在连铸坯横向与纵向的形态相同;MnS 与 MnTe 形成共晶化合物,MnTe 的存在改变了 MnS 的析出形态,可以使硫化物形态向短杆甚至椭球态转变,整体长度尺寸变小,平均长度由 45 μm 缩短为 15 μm ;加入 0.012% Te 后,MnTe 与 MnS 两种夹杂物发生固溶,轧材夹杂物与铸坯相似,而未 Te 处理的圆钢硫化物随轧制的方向被明显的拉长。

关键词:非调质 38MnVS6;硫化物;碲处理;夹杂物形态

Improving Sulfide Morphology of Non-quenched and Tempered Steel 38MnVS6 for Automobile Crankshaft by Tellurium Treatment

Xuan Kangle, Liu Donglin, Yu Jie, Li Yilong, Gong Baosheng
(Special Steel Company, Jiangsu Yonggang Group Co., Ltd., Zhangjiagang 215628)

Abstract: In order to study the effect of tellurium on sulfide morphology of non-quenched and tempered steel 38MnVS6 for automobile crankshaft, 0.012% Te is added by feeding 70 m Mn-Te wire in the smelting process to achieve the purpose of tellurium treatment. The nonmetallic inclusions in $\Phi 380$ mm continuous casting round bloom and $\Phi 105$ mm hot rolling round bar are studied by metallographic microscope and scanning electron microscope. Through the research, it is found that the morphology of sulfide is the same in the transverse and longitudinal direction of continuous casting bloom. MnS and MnTe form eutectic compounds, and the existence of MnTe changes the precipitation morphology of MnS, which can make the sulfide morphology change to short rod or even ellipsoid, and the overall length and size become smaller performance to reduce average length from 45 μm to 15 μm . After adding 0.012% Te, MnTe and MnS inclusions occur solid solution, and the morphology of inclusions is very similar in both size and morphology in bloom and rolled bar, while the sulfide in rolled bar without Te treatment is obviously elongated with the rolling direction.

Key Words: Non Quenched and Tempered Steel 38MnVS6, Sulfide, Tellurium Treatment, Inclusion Morphology

非调质钢具有节能、环保、降低成本等优点,随着汽车工业的飞速发展,我国对高品质汽车用非调质钢的需求日益增加,国内的一些大型汽车企业、钢铁公司正在开发非调质钢或引进国外的先进加工技术,以生产汽车所需要的零部件^[1]。易切削非调质钢是通过向钢中加入 Nb、V、Ti 等合金元素来改善钢的强韧性能使其可以达到调质钢水平的一类钢种,主要用于生产汽车曲轴、连杆等零部件^[2-3]。

钢中硫化物夹杂是促使钢具有良好切削性能的关键,然而其形态和分布又是影响钢的疲劳性能以及造成钢的热脆、轧制开裂、表面质量、磁痕检测超标等众多问题的成因^[4-6]。长条状的硫化物夹杂往往会导致热轧、锻造含硫钢的力学性能呈现出明显

的各向异性。

碲的添加能够显著改善硫化物的评级,调控硫化物的形态,有效减少因硫化物长宽比过大所导致的磁痕缺陷。近年来碲处理对钢中硫化物的变形研究越来越热,并由理论研究转入实践。Ueda 等^[7]用 CALPHAD 模型计算了含碲钢在不同温度下的析出平衡相,发现 Te 和 Mn 能够形成 MnTe 相,且 MnTe 与 MnS 极易形成复合夹杂物。

江苏永钢特钢公司生产的大规格曲轴用非调质钢 38MnVS6, A 类夹杂物控制水平稍差,用户曾反映曲轴表面出现明显磁痕,经分析与条带状硫化物有很大关系,所以希望通过 Te 处理来改善硫化物形态。

1 生产工艺及分析方法

永钢特钢公司生产含硫非调钢工艺流程为:电炉冶炼(110 t)→LF 精炼(120 t)→VD 真空精炼(120 t)→Φ380 mm 连铸圆坯(R17 m 弧形连铸机)

→连铸坯坑冷→加热轧制 Φ105 mm→剪切→收集→坑冷→剥皮→漏磁探伤→检验。在 VD 真空冶炼末期喂入 70 m Mn-Te 线。本次试验共冶炼 8 炉,在连浇最后一炉进行 Te 处理试验。试验钢成分见表 1。

表 1 试验钢成分/%
Table 1 Composition of test steel grade/%

试验钢	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Ti	Ni	N	Te
未加 Te	0.38	0.62	1.42	0.010	0.063	0.17	0.11	0.001 9	0.13	0.016	-
加 Te	0.38	0.62	1.42	0.010	0.063	0.17	0.11	0.001 9	0.13	0.016	0.012

在连铸坯横向和纵向以及热轧圆钢轧制方向上分别取金相试样,试样进行磨制、抛光处理后,使用蔡司金相显微镜,观察碲处理炉次与同批次未加 Te 炉次连铸坯中硫化物的形态。采用扫描电子显微镜对硫化物进行观察分析,对夹杂物进行面扫及能谱

分析。

2 结果与讨论

2.1 连铸坯中硫化物夹杂形貌

在连铸圆坯 R/2 处取 20 mm × 20 mm × 20 mm

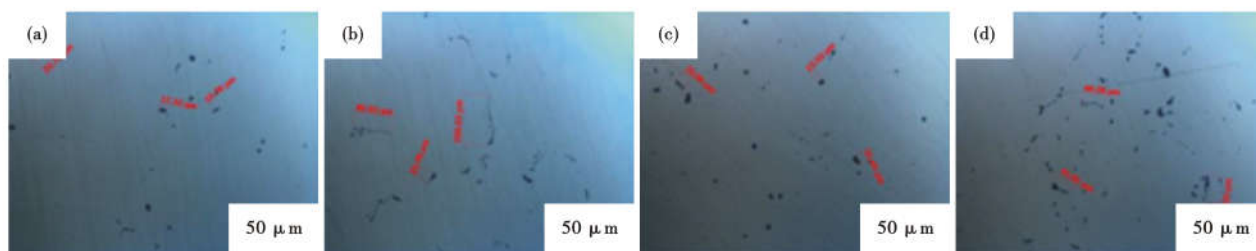
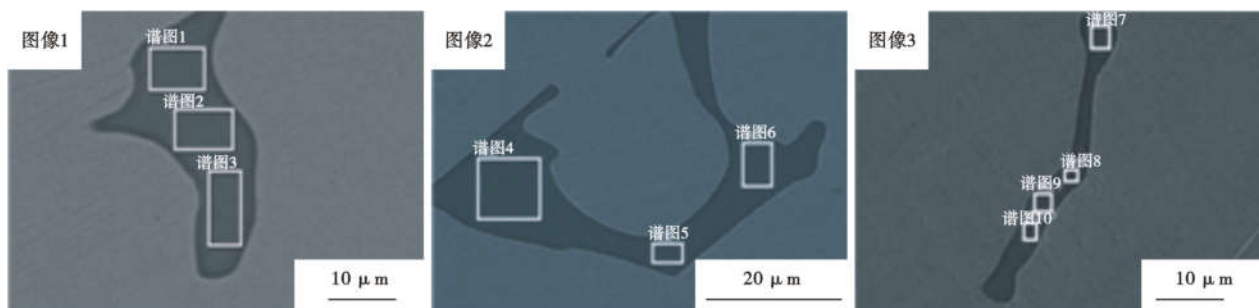


图 1 加 0.012% Te (a) (c) 和不加 Te (b) (d), 38MnVS6 钢 Φ380 mm 连铸坯中硫化物形态分布, (a) (b) 横向, (c) (d) 纵向

Fig. 1 Added 0.012% Te (a) (c) and non-added Te (b) (d), sulfide morphology distribution in 38MnVS6 steel Φ380 mm cast bloom, (a) (b) transverse, (c) (d) longitudinal



元素	图像1			图像2			图像3			
	谱图1	谱图2	谱图3	谱图4	谱图5	谱图6	谱图7	谱图8	谱图9	谱图10
C	4.96	4.91	4.49	4.46	5.06	4.75	4.94	6.33	4.83	4.85
S	33.61	33.80	33.28	34.76	34.60	34.61	33.19	32.00	33.13	32.21
Mn	58.80	58.47	58.54	60.78	60.34	60.63	58.21	56.74	58.15	56.96
O	-	-	-	-	-	-	0.69	1.10	-	1.15
Fe	2.63	2.81	3.70	-	-	-	2.96	3.83	3.88	4.82
总量	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

图 2 不加 Te 的 38MnVS6 钢铸坯中夹杂物形貌和能谱分析/%

Fig. 2 Morphology and energy spectrum composition analysis of inclusions in 38MnVS6 steel cast bloom without Te/%

的金相样,在德国蔡司显微镜下观察硫化物形态。从图 1(b、d)中横向与纵向两个方向对比看,硫化物分布形态相似,即硫化物在连铸坯中的分布形态是随机的。从图 1 中(a)与(b),(c)与(d)的对比可以看出,碲元素的加入改变了硫化物在连铸坯中的分布形态。含碲组硫化物形态向短杆甚至椭球态转变,整体长度尺寸变小,平均长度 15 μm ,不加碲组

硫化物形态则偏细长的条状,整体长度尺寸较大,平均长度 45 μm 。

在图 1(d)试样上取金相样进行能谱分析夹杂物成分的形貌。由图 2 可见,不加碲钢中夹杂物主要为 MnS 夹杂,含有少量的碳及 Fe、O,且夹杂物形貌不规则,沿晶界析出。

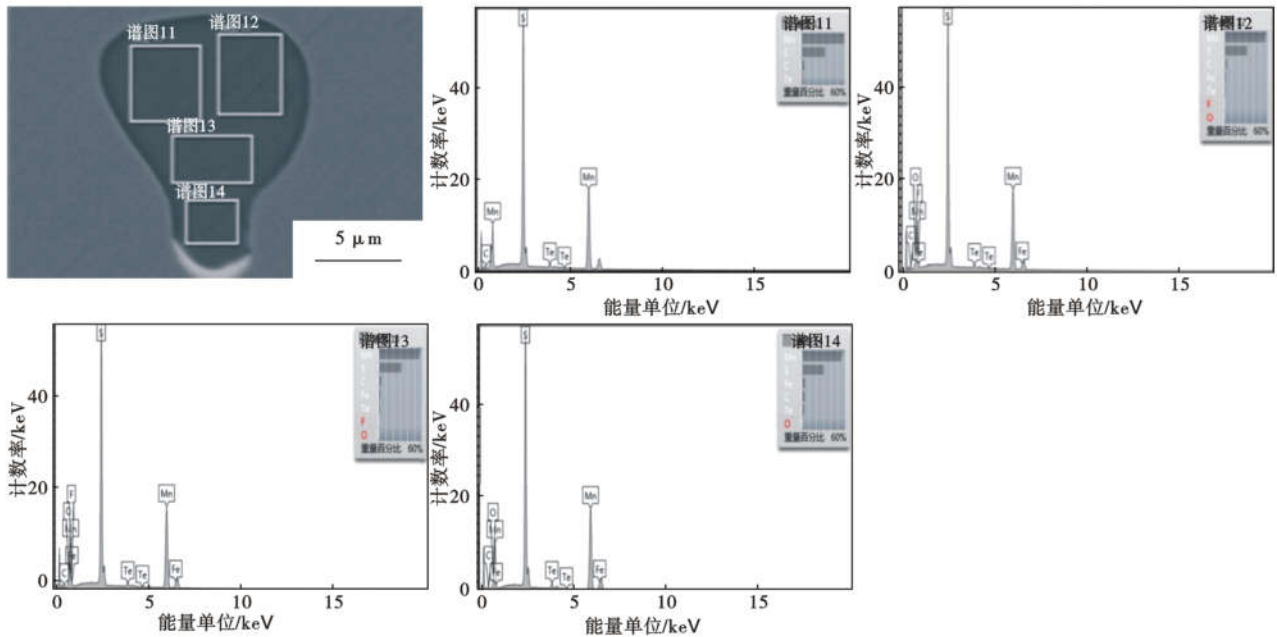


图 3 加 0.012% Te 的 38MnVS6 钢铸坯中夹杂物形貌和能谱分析

Fig.3 Morphology and energy spectrum composition analysis of inclusions in 38MnVS6 steel cast bloom with 0.012% Te

在图 1 中(c)试样上取金相样做能谱分析夹杂物成分,如图 3 所示。加碲钢夹杂物成分比较复杂,主要含有 S、Mn、Fe、Te 等元素,且形状规则,呈椭球状。灰色部分为 MnS,Te 均匀分布在 MnS 当中,与 MnS 形成复合相,这是因为 MnTe 在 1 850 $^{\circ}\text{C}$ 开始生成,但因其熔点较低仅为 1 170 $^{\circ}\text{C}$,而 MnS 的析出温

度为 1 450 $^{\circ}\text{C}$,所以在 MnS 析出过程中 MnTe 以液态形式存在,MnS 附着 MnTe 形核析出,很容易形成 MnS-MnTe 共晶化合物,MnTe 的存在改变了 MnS 的析出形态。

2.2 圆钢中硫化物形貌

从 $\Phi 380$ mm 连铸圆坯加热轧制 $\Phi 105$ mm 圆

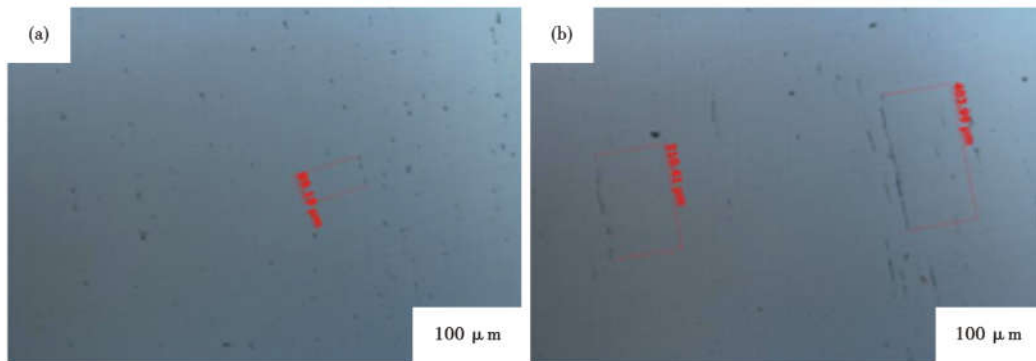


图 4 加 0.012% Te (a) 和不加 Te (b) 38MnVS6 钢 $\Phi 105$ mm 热轧材纵向夹杂物形貌

Fig.4 Longitudinal inclusion smorphology of added 0.012% Te (a) and non-added Te (b) 38MnVS6 steel $\Phi 105$ mm hot-rolled bar

钢,轧制比 13,可以看出硫化物不同程度的被拉长。从图 4(a)可见,加碲钢硫化物得到较好控制,硫化物呈弥散分布的纺锤状,而图 4(b)不加碲钢硫化物大部分呈长条状。

Katoh 等人认为^[8],钢中加 Te 后可形成 MnTe 并包裹在 MnS 夹杂外围,MnTe-MnS 存在共晶点温度 810 ℃,在热加工过程中可形成液相,到达 MnS 夹杂两端,在轧制过程中吸收轧制应力,避免了 MnS 夹杂的变形,在随后的缓冷或再加热过程中,低熔点液相又恢复成椭球。也有研究表明^[9],一些未被 MnTe 包裹的夹杂物,同样具有较好的轧制抗变形能力。由于 Te 在 MnS 中存在一定固溶度,可使 MnS 硬度增加,从而抑制 MnS 在轧制过程中的变形^[10],有学者研究 Te 改质 MnS 夹杂物 HV10 显微硬度值由 142.2 增至 152.1^[11]。对比图 4(a)与图 1(a)可见,经过 Te 处理后夹杂物形态在铸坯和圆钢上看无论是尺寸还是形态上都十分相似,即碲处理使 MnS 的形貌得到了明显改善^[12],而未 Te 处理的圆钢硫化物随轧制的方向被明显的拉长。

同样采用扫描电子显微镜对热轧圆钢含 Te 夹杂物进行分析。加 Te 钢夹杂物成分含有 S、Mn、Fe、Te 等元素与连铸圆坯夹杂物成分含量基本一致。

采用扫描电子显微镜对夹杂物进行面扫描,由表 3 可见,夹杂物中主要有 S、Mn 组成,S、Mn 均匀分布在夹杂物中,可看出 Te 元素在夹杂物中基本

表 3 加 0.012% Te 的 38MnVS6 钢 Φ105 mm 热轧材中夹杂物组成/%

Table 3 Energy spectrum composition Analysis of inclusions in Φ105 mm hot-rolled bar of 38MnVS6 added 0.012% Te/%

元素	1	2	3
C	4.56	4.10	3.24
O	-	0.74	19.77
F	-	1.12	-
Al	-	-	15.18
S	32.79	32.55	22.98
Mn	57.74	57.13	36.03
Fe	2.59	2.16	1.24
Te	2.32	2.20	1.56
总量	100	100	100

均匀分布,这说明 MnTe 与 MnS 两种夹杂物发生固溶,二者形成共晶化合物。

3 结论

(1)38MnVS6 钢从横向与纵向对比看,硫化物分布形态相似,硫化物在连铸坯中的分布形态是随机的。

(2)钢中 MnS 与 MnTe 形成共晶化合物,MnTe 的存在改变了 MnS 的析出形态。

(3)经过 Te 处理后,MnTe 与 MnS 两种夹杂物发生固溶,夹杂物形态在铸坯和圆钢上看无论是尺寸还是形态上都十分相似,而未 Te 处理的圆钢中硫化物随轧制的方向被明显拉长。

参考文献

- [1]王 勇,何光楚,揭晓华. 非调质钢的性能与发展及在汽车上的应用[J]. 汽车工艺与材料,2000(1):16-18.
- [2]董成瑞,任海鹏,金同哲. 微合金非调质钢[M]. 北京:冶金工业出版社. 2000:91-100.
- [3]俞振隆,康正玲,邱玉贵. 微合金化硫易切非调质钢在汽车上的应用[J]. 钢铁钒钛,1992,13(3):21-23.
- [4]Shao X, Wang X, Jiang M, et al. Effect of Heat Treatment Conditions on Shape Control of Large-size Elongated MnS Inclusions in Resulfurized Free-Cutting Steels[J]. ISIJ International, 2011, 51(12):1995-2001.
- [5]李学保,周小兵,潘泽林. 低碳高含硫钢易切削钢轧制技术应用[J]. 南方金属, 2020, 233(2):17-20.
- [6]艾克南,张盼盼,赵梦豪,等. 1215 易切削钢拉拔表面裂纹形成机制分析[J]. 钢铁, 2020, 55(2):88-94.
- [7]UEDAS, MORITA K. Thermodynamics on the Composition and Morphology Control of MnS-MnTe Inclusions[C]//171 th ISIJ Meeting, 2016.
- [8]KATOHT, ANEVAMA S, KIMURA A, et al. A Study on Resulfurized Free-Machining Steel Containing a Small Amount of Tellurized[J]. Electric Furnace Steel, 1982, 53(3):195-202.
- [9]YAGUCHI H, ONODERA N. The Effect of Tellurium on the Machinability of AISI 12114 + Te Steel[J]. Transactions of the Iron & Steel Institute of Japan, 1988, 28(12):1051-1059.
- [10]ZHENG L X, MALFLIET A, WOLLANTS P, et al. Effect of Surfactant Te on the Formation of MnS Inclusions in Steel[J]. Metallurgical & Materials Transactions B, 2017, 48(5):2447-2458.
- [11]钟亮美,田钱仁,李志伟,等. Te 对 46MnVS 非调质钢中硫化物改质的工业实践[J]. 特殊钢, 2022, 43(2):29-33.
- [12]吴翔宇,王高峰,李 杰,等. MnS 形态和轧制参数对高硫易切削不锈钢 430F 成材率的影响[J]. 特殊钢, 2021, 40(4):20-24.