

表面活性元素硒对非调质钢 49MnVS3 中硫化物的影响

马彦硕，李阳*，姜周华，孙萌，李天赐，杨睿

东北大学冶金学院，沈阳 110819

Effect of Surface Active Element Selenium on Sulfide Morphology in Non-quenched and tempered Steel 49MnVS3

Ma YanShuo, Li Yang*, Jiang Zhouhua, Sun Meng, Li Tianci, Yang Rui

School of Metallurgy, Northeastern University, Shengyang, 110819, China

1. 前言

在全球能源日益紧缺的大背景下，非调质钢以生产周期短、节省能源、成本低廉、切削性能优异等优点，引起了冶金工作者的广泛关注。非调质钢一般应用于制作汽车的曲轴、连杆等[1],49MnVS3 是一种典型的铁素体-珠光体组织的非调质钢，为改善切削性能，非调质 钢中的 S 含量通常在 0.035~0.075%[2],通过在钢中形成大量的 MnS 夹杂物来促进钢基体改 善钢材及零件的切削性能[3]，然而，钢中大尺寸树状 MnS 夹杂，在轧制过程中常常延伸成 条带状，造成钢的力学性能各向异性，极大的影响了产品质量[4-6]。20 世纪 80 年代，Goldshtein 等人[7-8]研究了硒对硫化物形态及切削性能的影响，发现硒在钢中有助于形成球状硫化物，改善硫化物尺寸和长径比，硫化物夹杂长径比小、球形、分布弥散不仅避免了力学性能的各 向异性，还有助于进一步降低切削力。但是对于硒的冶金作用，缺乏进一步的研究本文以高 温硅钼炉中设计冶炼实验，以硒含量为变量，分析了不同硒含量下非调制钢中硫化物的尺寸、形态及分布的影响。

2. 实验材料和方法

2.1. 实验材料

实验用添加及未添加微量硒元素的 49MnVS3 非调质钢采用实验室小型硅钼炉冶炼，共冶炼 3 炉硒含量分别为 0 ppm (1#)、400ppm (2#)、1800ppm (3#)的 49MnVS3 钢，其目 标成分如表 1 所示。

表 1 49MnVS3 钢的目标成分(质量分数, %)

Table 1 Target composition of 49MnVS3 steel (mass fraction, %)										
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	Cu	Al	Se
0.47	0.40	0.85	0.20	0.20	0.02	0.02	0.065	0	0.05	~

2.2. 实验方法

实验材料为实验室硅钼炉炼制，实验过程如图 1 所示，硒为易挥发元素，加入时使用铁皮层层包裹，并且加入铝箔纸是纯硒粉分散，防止遇热挥发，使收得率降低，冶炼过程全程氩气保护，冶炼为圆形铸锭，进行切割取样。

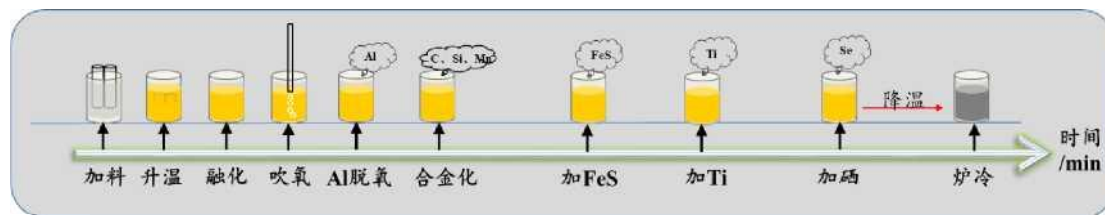


图 1 实验流程

Fig 1 Experimental process

用线切割在铸锭中心 1/4 直径处，分别取 10mmX10mmX8mm 的金相试样，经多道砂纸打磨、抛光处理后，使用蔡司金相显微镜、扫描电子显微镜对硫化物进行观察及能谱采集，利用夹杂物自动分析系统对试样进行夹杂物分析与统计，并用夹杂物三维电解技术对钢中硫化物进行三维解析，观察在二维、三维情况下夹杂物的形貌。

3.实验结果与分析

3.1 铸态下硫化物夹杂的形貌

通过 SEM 对添加不同硒含量的试验钢中夹杂物的形貌进行了观察，图 2(a-b)为 1#钢 中典型夹杂物形貌，可以明显看出，在不添加硒的试样中存在球状、长条状和不规则形状的 硫化物夹杂，其中树状或者链状 MnS 夹杂会对钢材的切削性能和力学性能产生不利影响。

图 2 (c)为 2#钢中添加 400ppm 硒元素时钢中夹杂物的形貌，采用 SEM 可以看出，微量硒元素可使小部分硫化物发生改性，使大尺寸树状 MnS 夹杂的形貌变小。

图 2 (d-f)为 3#钢中添加 1800ppm 硒元素时钢中夹杂物的形貌，采用 SEM 观察，可以 明显看出，当硒含量增加到一定程度时，大部分硫化物发生改性，夹杂物形状多数呈球状，尺寸较小，形成以 MnS 夹杂为核心外部包裹大量白色物质的(Se、Mn)S 复合夹杂物。

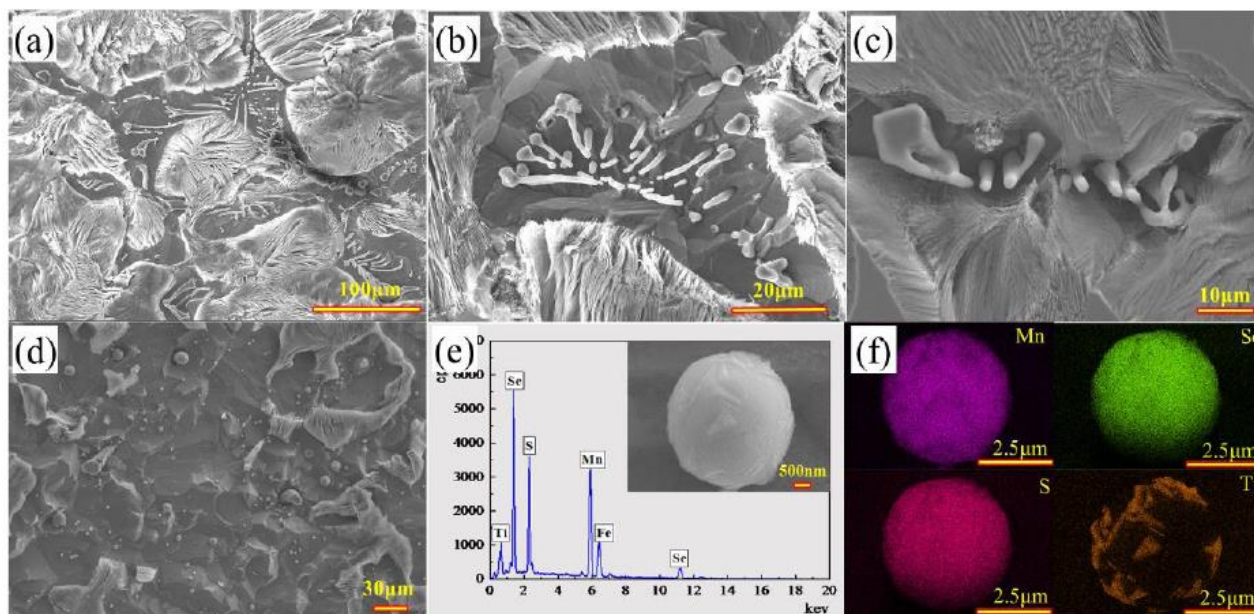


图 2 1#~3#试验钢中 MnS 夹杂物形貌(a~b)1#钢, (c)2#钢, (d~f)3#钢

Fig. 2 Morphologies of MnS inclusions in 1#~3# experimental steel (a~b) 1# steel, (c) 2# steel, (d~f) 3# steel

3.2 硒改性夹杂物的分析

为了进一步了解硒元素对 MnS 夹杂物的改性效果,采用 Imagepro plus 软件对不同试验 钢中夹杂物的单位面积的数量及长宽比等进行统计分析,图 3 (a)为各试样钢中单位面积夹杂物的数量对比图,在 1#~3#钢中, 1#钢中单位面积夹杂物数量最小, 3#钢中单位面积夹杂物的数量最大,当硒含量升高时,单位面积夹杂物数量由 46 个/mm² 增加到 102 个/mm²,表明大尺寸树状的 MnS 夹杂物变为更加细小。由图 3 (b)可直观的看出,夹杂物的长宽比呈递减趋势, 1#钢中未添加硒,夹杂物的长宽比最高,为 3.12,通过不同含量的硒处理,效果 也各不相同,但都有不同程度的降低,通过硒元素对夹杂物的改性,长宽比由 3.12 降到 1.76, 这表明其改性效果显著。3#钢的单位面积夹杂物数量最大,且夹杂物的长宽比变小,这表明 试验钢中夹杂物经硒元素改性后,变得更加细小且分布弥散。图 4 为随着硒的增加钢中 MnS 夹杂物的变性示意图,在未添加硒元素的钢中存在大尺寸树状的 MnS 夹杂物,随着硒的含量升高,逐渐变为球状。

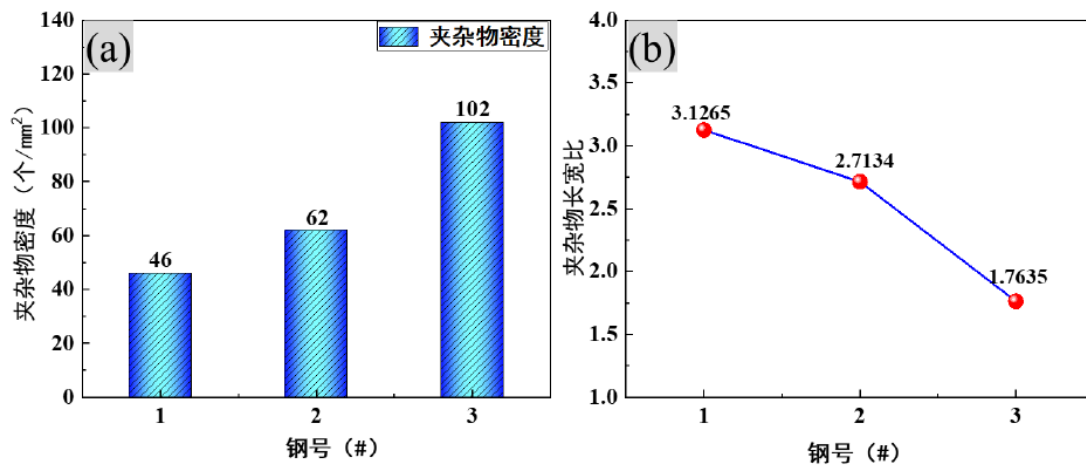


图 3 钢中夹杂物密度与长宽比 (a) 夹杂物密度, (b) 夹杂物长宽比

Fig 3 Inclusion density and inclusion aspect ratio in steel (a) inclusion density, (b) inclusion aspect ratio

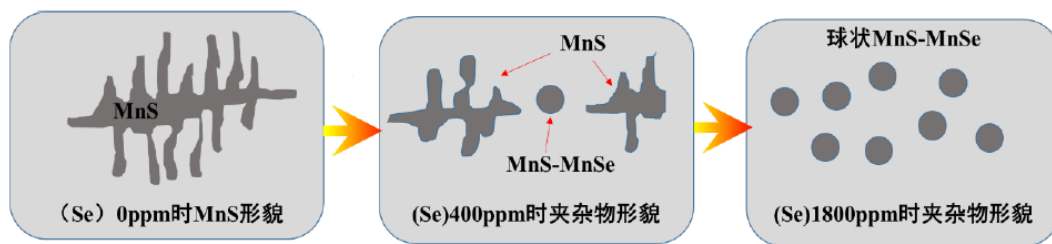


图 4 不同硒含量改性 MnS 夹杂物示意图

Fig. 4 Schematic diagram of MnS inclusions modified by different selenium contents

4.结论

(1) 通过 SEM 观察, 硒的加入可改善 49MnVS3 非调质钢中硫化物夹杂的形貌, 使夹杂物球化, 改性效果显著, 在一定程度上改善钢材切削性能。

(2) 经过统计研究, 硒的加入使 49MnVS3 非调质钢中单位平方微米的面积中夹杂物的密度由 46 升到 102, 夹杂物的长宽比由 3.12 降到 1.76, 表明经硒处理后钢中硫化夹杂物细小且弥散。

(3) 随着硒含量的增加, 树状或不规则 MnS 夹杂物逐渐变为球状, 当硒增加到一定含量, 会形成以 MnS 夹杂为核心外部包裹大量白色物质的球状 MnS-MnSe 复合夹杂物(SEM 观察所得)。

致谢

感谢国家自然科学基金项目(项目号：52074075)的支持。

参考文献

- [1] Lu J, Cheng G, Chen L, et.al. Distribution and morphology of MnS inclusions in resulfurized non-quenched and tempered steel with Zr addition [J]. ISIJ International, 2018, 58(7): 1307-15.
- [2]中国钢铁工业协会. GB15712-2016 非调质机械结构钢[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016:
- [3] Tsunekage N, Tsubakino H. Effects of sulfur content and sulfide-forming elements addition on impact properties of ferrite-pearlitic microalloyed steels [J]. ISIJ international, 2001,41(5): 498-505.
- [4] Brunet J-C, Torterat P, Hugo M, et.al. influence des inclusions de sulfures sur le comportement a la rupture des aciers de construction metallique [J]. Revue de Metallurgie, 1977, 74(1): 1-10.
- [5]车巨龙, 鲜奋强, 窦亚斌, 等. 非调质钢中 MnS 分布对轧材横向塑性的影响 [J]. 中国冶金, 2020, 30(6): 48-54.
- [6]王占花, 惠卫军, 张永健, 等. 硫化物形貌对非调质钢力学性能各向异性的影响 [J]. 钢铁研究学 报, 2019, 31(03): 327-35.
- [7] Gol'Dshtein Y E, Mushtakova T, Komissarova T. Effect of selenium on the structure and properties of structural steel [J]. Metal Science and Heat Treatment, 1979, 21: 741-6.
- [8] Gol'dshtein Y E, Morozov A. Steels with selenium and calcium [J]. Metal Science and Heat Treatment, 1980, 22(11): 787-93.