

稀土元素 Ce 对 2Cr13 不锈钢中夹杂物变性的影响

杨吉春 刘 晓 高学中 曹 雄
(内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010)

摘 要 2Cr13(0.19% C、12.88% Cr) 马氏体不锈钢由非自耗真空电弧炉冶炼, 在铸模加入 0~0.18% 的 Ce。用光学和扫描电镜(SEM)、X-射线能谱仪观察和分析钢中央杂物形貌和成分。结果表明, 未加稀土元素 Ce 时, 钢中央杂物尺寸为 19.33 μm 的不规则 MnS、Cr₂S₃ 和 FeS 复合夹杂物; 加入 0.14% Ce, 钢中央杂物为近似椭球状稀土夹杂物, 尺寸 18.64 μm; 复合夹杂物内部为稀土硫化物, 外部为稀土硅酸盐; 加入 0.16%~0.18% Ce 时, 钢中央杂物为椭球或球形稀土硅酸盐, 尺寸为 7.69~8.15 μm。

关键词 稀土 2Cr13 不锈钢 夹杂物变性

Effect of Rare-Earth Element Ce on Modification of Inclusion in Stainless Steel 2Cr13

Yang Jichun, Liu Xiao, Gao Xuezhong and Cao Xiong
(Materials and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

Abstract Martensite stainless steel 2Cr13 (0.19C, 12.88Cr) was melted by a vacuum non-consumable arc furnace and 0~0.18% Ce was added in casting ingot. The morphology and ingredient of inclusion in steel was observed and analyzed by using optical and scanning electron microscope and X-ray energy dispersive spectrometer. Results showed that with no-adding rare-earth element Ce the inclusion in steel was irregular MnS, Cr₂S₃ and FeS compound inclusion with dimension 19.33 μm, with added 0.14% Ce the inclusion in steel was compound rare-earth (RE) inclusion (inner RE sulphide and outside RE silicate) approximated ellipsoid with dimension 18.64 μm and with added 0.16%~0.18% Ce the inclusion in steel was ellipsoid or spheroid RE silicate with dimension 7.69~8.15 μm.

Material Index Rare Earth Element, Stainless Steel 2Cr13, Modification of Inclusion

2Cr13 不锈钢虽是应用比较广泛的一种马氏体不锈钢,但在应用中也会出现一些问题,如 GT3-102 型补充氢气压缩机填料盒材质为 2Cr13 不锈钢,在使用过程中发生开裂,通过分析,发现断口表面因条状硫化锰夹杂物脱落而形成的条状凹坑。综合其原因是由于内部夹杂物与应力腐蚀共同作用的结果^[1]。试验通过加入稀土元素 Ce 来处理 2Cr13 不锈钢,改变夹杂物的形态,从而改善 2Cr13 不锈钢的韧塑性和横向冲击性能。

1 试验研究方法

试验用钢在 WKDHL-II 型非自耗真空电弧炉中冶炼,在 4 个铸模中同时注入 2Cr13 不锈钢液并加入不同量的稀土元素 Ce; 每个铸模重量为 60 g, 然后抽真空到 3×10^{-2} Pa, 充氩, 这样重复 3 次, 然后起弧熔炼, 最后冷却。试验钢的化学成分见表 1。

用光学显微镜和 Quanta 400 型扫描电镜对夹杂物进行形貌观察和测定,并用 VUESTL2X 射线能谱仪进行 X-EDS (X-Energy Dispersive Spectrometer) 分析,确定夹杂物的成分。试验钢的稀土元素 Ce 加

表 1 2Cr13 不锈钢的化学成分/%
Table 1 Chemical composition of stainless steel 2Cr13 / %

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr
0.19	0.65	0.36	0.018	0.020	0.15	12.88

表 2 稀土元素 Ce 加入量/%
Table 2 Rare earth element Ce addition percent / %

试样编号	0	1	2	3
Ce 加入量	0	0.14	0.16	0.18

入量见表 2。

2 试验结果及分析

2.1 稀土对硫化物夹杂的影响

图 1(a)是在未加稀土的 0[#] 试样中观察到的夹杂物形貌。这类夹杂物经能谱分析测定,含有 S、Cr、Mn、Fe 元素,如图 1(b),该夹杂物为 MnS、Cr₂S₃ 和 FeS 的复合硫化物夹杂。此复合夹杂物形状极不规范,且棱角突出,尺寸大小为 19.33 μm,这种硫化物夹杂可显著降低钢的横向冲击韧性^[2]。

图 1(c)是加入稀土量为 0.14% 的 1[#] 试样夹杂

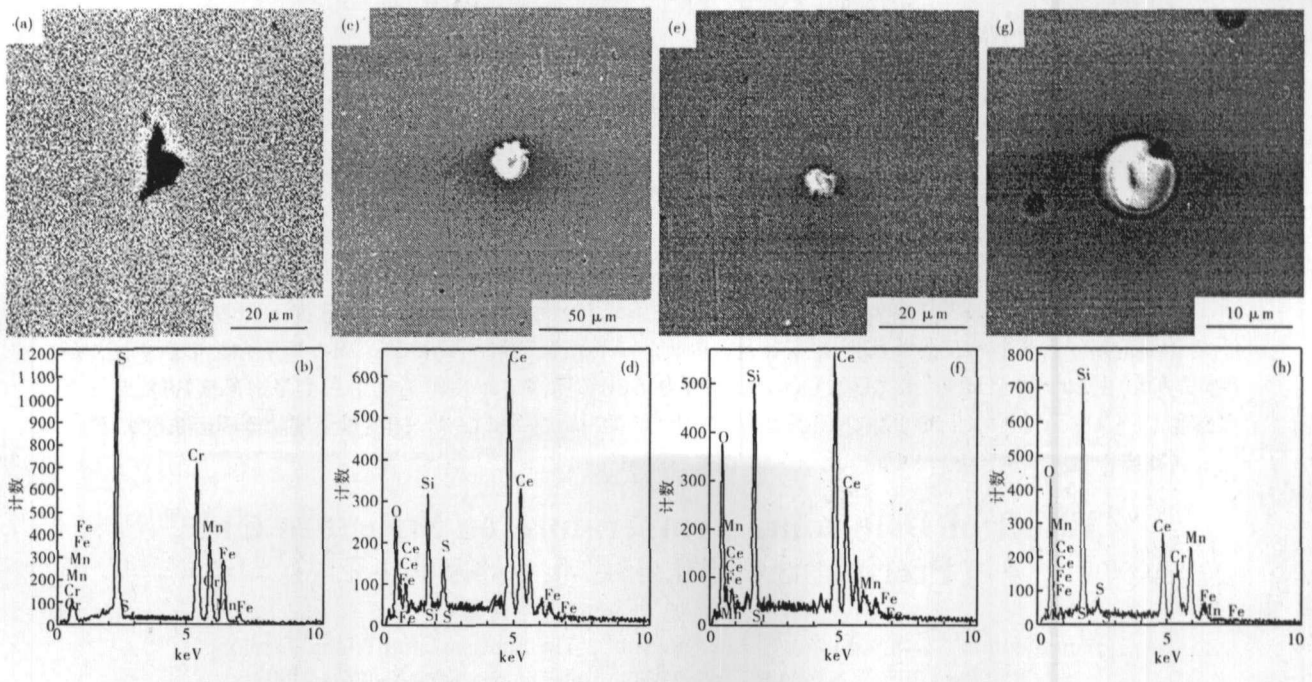


图1 2Cr13 钢中夹杂物形貌和 X-射线能谱分析:(a)(b)未加稀土,硫化物;(c)(d) 0.14% Ce,复合稀土硫化物;(e)(f) 0.16% Ce,复合稀土硅酸盐;(g)(h) 0.18% Ce,复合稀土硅酸盐

Fig. 1 Morphology of inclusion in steel 2Cr13 and X-ray EDS analysis: (a)(b) no-adding RE element, sulphide; (c)(d) 0.14% Ce, compound RE sulphide; (e)(f) 0.16% Ce, compound RE silicate; (g)(h) 0.18% Ce, compound RE silicate

物形貌,其形貌近似椭球状,内部浅灰色的为稀土硫化物夹杂,外部白亮色的为稀土硅酸盐夹杂物,其尺寸大小为 $18.64 \mu\text{m}$,其能谱图分析如图 1(d) 所示,夹杂物中主要含有 O、Si、S、Ce 等元素。从生成自由能看,稀土与硫和氧的亲合力很强,钢中加入稀土,除少量固溶外,其余形成稀土夹杂物^[3]。稀土在钢中的作用主要表现为稀土与硫的作用,所以将钢中的 RE/S 作为主要参数^[4]。1# 试样中 RE/S 为 37.97, MnS 夹杂形态由未加稀土的 0# 试样的长条不规则状变成了 1# 试样的椭球状,证明具有比较明显的变性作用。

2.2 稀土对硅酸盐夹杂的影响

图 1(e) 是加入稀土量为 0.16% 的 2# 试样,其夹杂物形态为椭球形。经能谱分析可知含有 O、Si、Ce、Mn、Fe 等元素,如图 1(f),该夹杂物为稀土硅酸盐类夹杂物,其直径最长处为 $7.69 \mu\text{m}$;图 1(g)、(h) 是加入稀土量为 0.18% 的 3# 试样,经能谱分析可知也为稀土硅酸盐夹杂物,形态较 2# 试样有明显改变,为规则的球形,直径为 $8.15 \mu\text{m}$ 。

硅酸盐夹杂物是一种氧化物夹杂,此类夹杂物在钢轧制时具有较大危害性,除诱发裂纹外,还能降低钢的塑韧性和疲劳极限。本试验在 2Cr13 不锈钢中加入稀土元素 Ce 后,硅酸盐夹杂物与 Ce 发生作用,形成了稀土硅酸盐复合夹杂物,并随着稀土加入

量的增加,不仅夹杂物形态发生改变,而且其性质也发生了变化,从而比较明显地起到了变性作用。

3 结论

(1) 2Cr13 不锈钢加入稀土元素 Ce 后,稀土不但改变了硫化物夹杂的形态,而且也使夹杂物的成分改变,球状硫化物在轧制时改善了钢材的横向韧性、焊接性能和疲劳性能。

(2) 不锈钢中硅酸盐夹杂物与稀土结合后,形成稀土硅酸盐复合夹杂,从而使原夹杂物在钢中得到变性,可以改善钢材的各向异性。

国家自然科学基金资助项目(编号 50364001)

参考文献

- 1 陆晓峰,丁毅,顾伯勤,等.加氢压缩机填料盒开裂失效原因分析.压缩机技术,2004(6):38
- 2 毛志强.国内外易切削钢发展概况.汽车工艺与材料,2000(2):1
- 3 褚幼义,赵琳.钢中稀土夹杂物鉴定.北京:机械工业出版社,1985
- 4 朱兴元,陈邦文,曾静,等.稀土在低硫钢中的作用规律.炼钢,1999,15(6):27

杨吉春(1963-),男,博士,教授,1984年包头钢铁学院毕业,炼钢及连铸新技术研究。

收稿日期:2006-11-22