

稀土元素镧对 20 钢组织和性能的影响

张 芳 杨吉春

(内蒙古科技大学材料与冶金学院, 包头 014010)

摘 要 通过 10 kg 真空中频感应炉熔炼、扫描电镜、能谱分析和 Gleeble-1500 试验机热模拟试验研究了 0 ~ 0.072% La 对 20 钢夹杂物、组织和高温拉伸性能的影响。结果表明,经稀土金属镧对钢中 MnS、Al₂O₃ 等夹杂物变质处理后,形成尺寸 ≤ 2 μm 的椭圆体和球形 RE₂O₃、RE₂O₃S 和 RES 稀土夹杂物,显著提高 20 钢在 850 ~ 1 050 °C 的热塑性,与未加 La 钢相比,高温拉伸后水冷的马氏体板条组织更细。

关键词 稀土元素镧 20 钢 夹杂物 热塑性

Effect of Rare Earth Element Lanthanum on Structure and Properties of 0.20C Steel

Zhang Fang and Yang Jichun

(Material and Metallurgy School, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010)

Abstract Effect of 0 ~ 0.072% La on inclusion, structure and elevated temperature tensile properties of 0.20C steel melted by a 10 kg medium frequency vacuum induction furnace has been studied by scanning electron microscope, energy dispersive X-ray spectrometer and Gleeble-1500 simulating test machine. Results showed that with rare earth metal La modified treated on inclusions in steel such as MnS and Al₂O₃, the ellipsoidal and spherical RE inclusions RE₂O₃, RE₂O₃S and RES with size ≤ 2 μm formed in steel, the hot ductility of 0.20C steel at 850 ~ 1 050 °C obviously increased and the lath martensite structure in steel water-quenched after high temperature tensile test was finer than that non-adding La.

Material Index Rare Earth Element La, 0.20C Steel, Inclusion, Hot Ductility

稀土元素是钢极强的净化剂和洁净钢夹杂物的有效变质剂^[1]。随着冶金技术的进步,钢中 S、O 含量不断下降,为稀土元素合金化作用的发挥提供了条件^[2]。

1 试验方法和过程

试验钢用 10 kg ZG-0.01 真空中频感应炉熔炼。熔炼前,抽真空至 4 Pa 后,充入高纯氩气,冶炼时通氩气保护。为了冶炼洁净钢,必须进行脱氧、硫处理,通过采用喂 CaSi 合金线来达到降低氧硫含量的目的。之后由布料器采用投入法加入事先切割好的块状稀土金属镧,进行微合金化处理,稀土金属中 La 含量 ≥ 99%。各炉最终化学成分见表 1。

从试样中心纵向取样,用 Axiovert 25 型蔡司 (ZEISS) 光学显微镜、Quanta 400 型扫描电镜和

VUESTL2X-射线能谱仪 X-EDS (X-Energy Dispersive Spectrometer) 进行观察和分析夹杂物成分。

10 kg 钢锭在 950 °C 扩散退火 5 h,然后在 1 100 °C 锻成 Φ15 mm × 130 mm 圆棒;锻后试样经 750 °C,保温 2 h,炉冷退火;最后将试验钢加工成 Φ10 mm × 120 mm 热拉伸试样。

在 Gleeble-1500 热模拟机上进行模拟连铸工艺过程试验,通氩气保护,以 10 °C/s 的速度加热至 1 150 °C,保温 3 min 后以 3 °C/s 的速度分别降至 850、900、950、1 000、1 050 °C,保温 3 min 后,以 ε = 10⁻³/s 的变形速率拉断,拉断后立即喷水激冷。

2 试验结果及分析

2.1 镧对硫化物的变质效果

图 1(a) 中呈长条状、短条状或长圆形的灰褐色夹杂物为硫化物夹杂,其长度为 3 ~ 18 μm。

稀土变质钢主要有 3 种硫化物:稀土硫氧化物、稀土硫化物、稀土复合夹杂^[3],如图 1(b,c) 所示。3 种稀土夹杂物均近似为椭球形,外形尺寸约为 2 μm。所以,添加稀土后钢中的硫化物夹杂除了形态明显改善外,尺寸也大幅减小。并且夹杂的分布也在向弥散分布转变,较原来变得更为均匀。

表 1 试验 20 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test 0.20C steels /%

熔炼号	C	Si	Mn	P	O	S	La	
							总量	合金化量
0	0.181	0.243	0.486	0.022	0.002 4	0.010	0	0
1	0.195	0.306	0.506	0.019	0.001 1	0.008	0.024	0.004
2	0.163	0.348	0.487	0.022	0.001 6	0.007	0.072	0.018

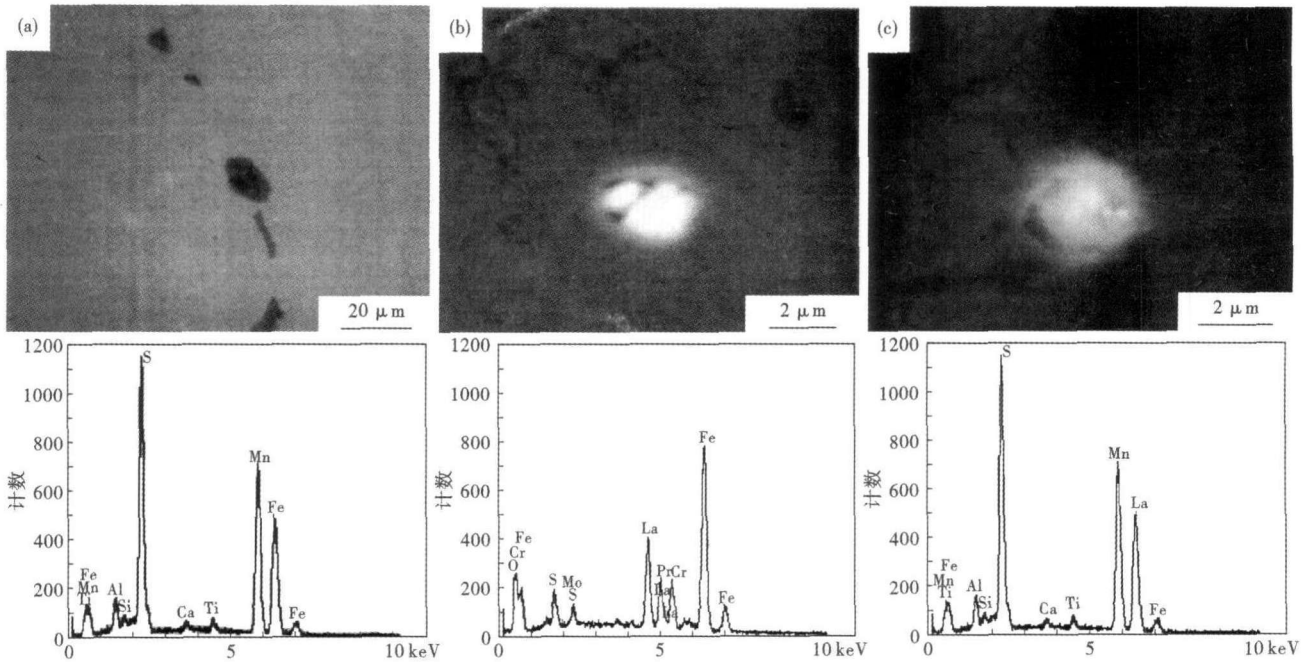


图 1 20 钢中硫化物夹杂形貌及 X-EDS 分析:(a) 硫化锰,未加 La;(b) 稀土硫化物,0.024% La;(c) 稀土硫化物,0.072% La
 Fig.1 Morphology of sulfide inclusion in 0.20C steel and its X-ray EDS: (a) manganese sulfide, non-adding La; (b) RE oxysulfide, 0.024% La; (c) RE sulfide, 0.072% La

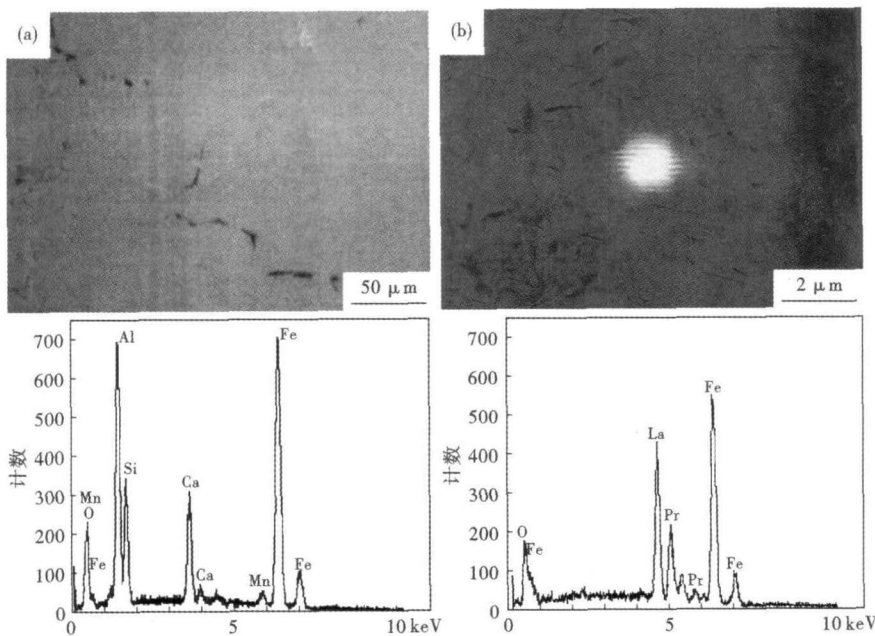


图 2 20 钢氧化物夹杂形貌及 X-EDS 分析:(a) Al₂O₃ 或铝硅酸盐,未加 La;(b) 稀土氧化物,0.024% La
 Fig.2 Morphology of oxide inclusion in 0.20C steel and its X-ray EDS: (a) Al₂O₃ or silico-aluminate, non-adding La; (b) RE oxide, 0.024% La

2.2 钕对氧化物的变质效果

图 2(a) 的串状夹杂物为 Al₂O₃ 或铝酸盐、硅酸盐复合夹杂。这类夹杂物属脆性夹杂,熔点高,硬度高,在轧制过程中不易变形,在外力作用下,会破碎成带棱角的小块,影响钢的疲劳性能。稀土变质钢中氧化物夹杂生成物的种类也主要有 3 种:稀土硫

氧化物、稀土氧化物、稀土复合夹杂。图 2(b) 是稀土氧化物夹杂,形貌为近似球形,尺寸有 1 μm 左右。

向 20 钢中添加适量的稀土,能够有效地变质钢中的 MnS、Al₂O₃ 或铝酸盐、硅酸盐等夹杂物。变质后的夹杂为硬度较低、球状或近球状,外形尺寸减小,具有高熔点,其热膨胀系数和弹性模量与钢基体接近,周围不易产生应力集中,在轧制过程中不变形或变形很小,从而改善钢材的热加工性能。不同稀土钕含量的 20 钢中,生成稀土夹杂物的种类和数量有所区别。随着稀土含量的增加,钢中稀土硫化物夹杂

的数量有所增加。按稀土化合物的稳定顺序和稀土含量,钢中夹杂应依次为 RE₂O₃、RE₂O₂S 和 RES^[4]。

2.3 钕对 20 钢高温性能的影响

图 3 给出了 850 ~ 1 050 °C 范围内,不同稀土含量的 20 钢拉伸试样的断面收缩率-温度、强度-温度的关系曲线。从试验结果可以看出,随着钢中稀

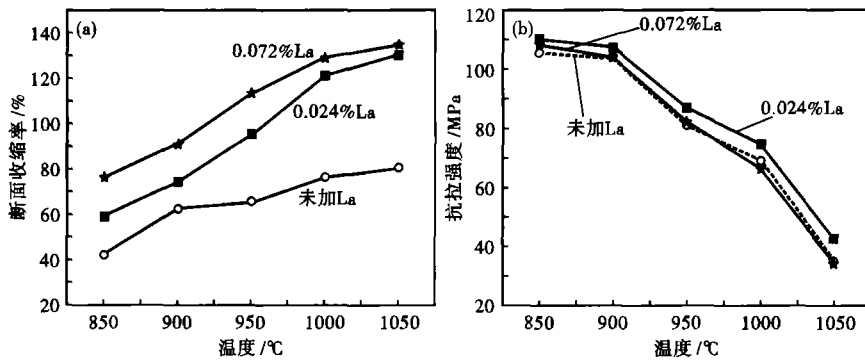


图3 稀土元素La对20钢高温断面收缩率(a)和抗拉强度(b)的影响

Fig. 3 Effect of RE element La on reduction of area (a) and tensile strength (b) of 0.20C steel at elevated temperature

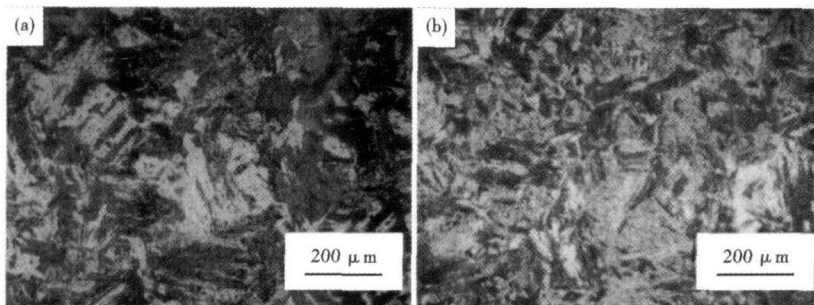


图4 20钢的马氏体组织形貌,高温拉伸试验后水冷:(a)未加La;(b)0.072%La

Fig. 4 Morphology of martensite structure of 0.20C steel, water cooling after tensile test at elevated temperature: (a) non-adding La; (b) 0.072% La

晶粒增大而增大。所以,存在于板条马氏体中的,能够细化奥氏体晶粒的固溶稀土,能够减小板条马氏体束。

由于稀土的原子半径比铁原子约大40%,它在铁的晶体内的固溶度极低,难以溶入完整的 γ -Fe和 α -Fe点阵中,故只能向晶界等缺陷处偏聚,并且由于在晶界处偏聚而产生内吸附现象,降低奥氏体的相对晶界能^[5],从而推迟晶界上的形核过程,阻止碳的扩散,延缓珠光体转变,当后一因素占主导地位,稀土的加入延长珠光体转变孕育期,从而使马氏体板条细化。

3 结论

(1)稀土镧变质20钢中硫化物、氧化物夹杂生成物的种类包括 RE_2O_3 、 RE_2O_2S 、RES以及稀土复合夹杂,其形态明显改善,尺寸大幅减小,并且夹杂的分布也在向弥散分布转变,较原来变得更为均匀。

(2)在稀土镧的综合作用下,20钢的热塑性有所提高,稀土镧的微合金化作用使其组织细化。

国家自然科学基金资助项目(50364001)

参考文献

- 1 王龙妹. 稀土元素在新一代高强韧钢中的作用和应用前景. 中国稀土学报, 2004, 22(1): 48
- 2 林勤, 郭锋, 张路明. 镧在碳锰纯净钢中合金化作用的研究. 稀土, 2005, 26(5): 37
- 3 杜廷. 稀土元素在金属材料中的一些物理化学作用. 金属学报, 1997, 33(1): 66
- 4 杜挺, 王龙妹, 吴夜明, 等. 稀土在钢中应用的热力学基础作用、问题和前景. 中国稀土学会稀土在钢中应用委员会, 稀土在钢中应用技术研讨会论文集. 包头: 包钢冶金研究所, 1999
- 5 邱巨峰. 稀土在钢铁中的应用. 北京: 冶金工业出版社, 1987

张芳(1972-),女,讲师,2005年内蒙古科技大学毕业,冶金工艺和技术-稀土钢研究。

收稿日期:2008-07-21

土镧残留量的增加,20钢的断面收缩率有所增加。

热塑性的提高是稀土镧对20钢综合作用的结果。当钢中添加稀土元素时,稀土元素与钢中O、S等杂质元素有很强的亲和力和吸附作用。稀土镧能与S生成密度大、熔点高的 La_2O_2S 和 La_2S_3 等稀土化合物。一方面它能降低钢中MnS的生成量及其在晶界的析出;另一方面,这些高熔点硫化物可作为等轴晶的晶核而扩大等轴晶区,并细化奥氏体晶粒,从而提高钢的热塑性。同时,稀土元素可与有害杂质作用主要表现在:可深度脱氧和脱硫,与P、S、H、As、Sb、Pb、Sn等元素形成高熔点化合物以抵消这些杂质的有害作用,而且还能抑制这些杂质在晶界上的偏析^[1]。在以上因素的共同作用下,添加稀土镧后,20钢的热塑性提高。而从强度来看,20钢中添加稀土镧前后,变化量不大。

2.4 对马氏体组织的影响

20钢生成的马氏体一般均为板条马氏体。在金相显微镜下很难观察到板条的宽度,看到的是板条马氏体束和束群,如图4所示。奥氏体晶粒的变化对板条尺寸的影响不敏感,而板条束则随奥氏体