

电渣重熔 M42 高速钢稀土孕育处理工艺实践

王凯^{1,2} 王振宇¹ 谢志彬^{1,2} 梁敬斌^{1,2} 张旭阳¹

(1 河冶科技股份有限公司, 石家庄 052165; 2 河北省高速工具钢工程技术研究中心, 石家庄 052165)

摘要 使用稀土对高速钢进行孕育处理可改变高速钢碳化物形貌和提高高速钢热塑性。通过 20 t MIF + 25 t LF + 25 t VD + 4 t ESR 工艺试验和批量生产结果表明, 采用 VD 过程在钢中 Al 0.12% 时加 0.1% 镧铈混合稀土合金及 ESR 过程用 6% REO₂ 渣系, M42 钢 RE 含量稳定在 0.027% ~ 0.038%, 夹杂物形貌和钢的热塑性都得到明显改善。

关键词 M42 高速钢 稀土孕育处理 稀土收得率 钢材稀土含量 稀土夹杂物

Rare Earth Inoculation Process Practice of Electroslag Remelting M42 High Speed Steel

Wang Kai^{1,2}, Wang Zhenyu¹, Xie Zhibin^{1,2}, Liang Jingbin^{1,2} and Zhang Xuyang¹

(1 Heye Science and Technology Co Ltd, Shijiazhuang 052165;
2 Hebei High Speed Tool Steel Engineering and Technology Research Center, Shijiazhuang 052165)

Abstract The morphology of carbides and the thermoplasticity of high speed steel can be improved by inoculating with rare earth. Test and batch production results show that by 20 t MIF + 25 t LF + 25 t VD + 4 t ESR process, as Al 0.12% in steel in VD process adding 0.1% lanthanum-cerium mixed RE alloy and using 6% REO₂ slag series in ESR process, the RE content in M42 steel is 0.027% ~ 0.038% stably to obviously improve inclusions morphology and hot plasticity of steel.

Material Index M42 High Speed Steel, Rare Earth Inoculation, Yield of Rare Earth, Rare Earth Content in Steel, Rare Earth Inclusions

自 20 世纪 80 年代以来,我国有关稀土在钢中的应用研究取得了显著的进展,但对稀土钢的应用仍未全面重视和推广^[1],主要的阻碍在于稀土活泼易氧化、冶炼过程不易控制,钢中形成的稀土夹杂物尺寸易超标^[1],或产生针孔等低倍缺陷^[2]。近年来,随着钢水精炼设备的普遍应用和精炼技术水平的提高,对稀土氧化夹杂物控制水平的提高,以及稀土制备技术的不断完善,推动了稀土在钢中的应用研究。

高速工具钢作为共晶碳化物莱氏体钢,钢中 W、Mo、V、Cr 等合金元素达到 17% 以上,这些合金元素形成大量的共晶碳化物,碳化物的类型、数量、分布均匀性、形状尺寸大小等对高速钢锻轧热加工、钢的质量和工具的使用性能都会产生很大的影响。稀土 Ce 在高速钢中可减轻 W、Mo 等合金元素的偏析,使共晶碳化物量减少并细化;Ce 促进共晶碳化物在高温加热时的断网和球团化^[3,4]。稀土孕育处理 M2 高速钢时稀土含量在 0.021 9% ~ 0.071% 有减小二次枝晶间距、碳化物网的作用,稀土含量 0.030 1% ~ 0.056% 效果明显,稀土含量 0.034 4%

二次枝晶间距、碳化物网达最小值。在实际生产中 M2、M42、W18 等高速钢加入稀土孕育处理,显著提高其热塑性^[2,5]改善其锻制性^[6];但稀土加入量偏大或工艺控制不当时,形成稀土的氧化夹杂物引起针孔等低倍缺陷^[2]。因此,对稀土合金的加入工艺及控制因素的研究,提高稀土收得率、稳定控制钢锭稀土含量,可提高稀土的孕育效果,降低稀土夹杂物危害,对高速钢孕育处理技术应用有重要意义。

1 试验设备、钢种、检测方法、工艺流程及控制目标

1.1 试验设备

包括 20 t MIF、25 t LF、25 t VD,电极浇注设备,4 t 电渣炉。

1.2 试验钢种

试验钢种 M42(W2Mo9Cr4VCo8)高速钢,成分见表 1。中频冶炼添加稀土采用 La + Ce 混合稀土,后文中以“RE”表示。电渣重熔时向重熔渣中添加(La + Ce)稀土氧化物,后文中以“REO₂”表示。

1.3 检测方法

成分用 M10 直读光谱仪检测,钢水样为铸铁模取样,钢材样为锻坯、轧材样。非金属夹杂物按 GB/

表 1 M42 高速钢的化学成分 / %
Table 1 Chemical composition of M42 high speed steel / %

| C | Si | Mn | P | S | W | Mo | Cr | V | Co | Al |
|-------------|-------------|-------------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1.02 ~ 1.13 | 0.30 ~ 0.45 | 0.30 ~ 0.40 | ≤ 0.030 | ≤ 0.030 | 1.20 ~ 1.80 | 9.10 ~ 9.90 | 3.60 ~ 4.40 | 1.00 ~ 1.30 | 7.60 ~ 8.35 | 0.04 ~ 0.14 |

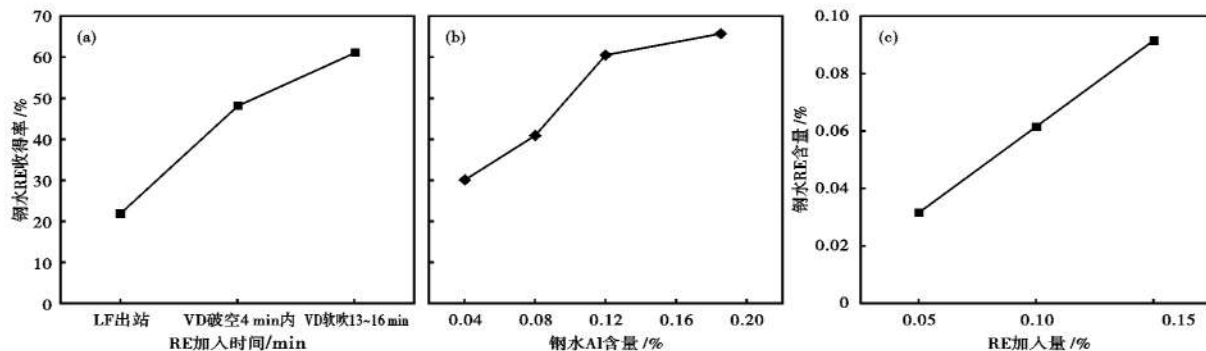


图 1 (a) RE 加入时间和(b)钢水 Al 含量对 RE 收得率的影响;(c) RE 加入量对应的钢水稀土含量 (Al 0.12%, 软吹时间加入)
Fig. 1 Effect of RE adding time (a) and Al content in liquid (b) on RE yield in molten steel; RE content in liquid corresponding to RE addition (Al 0.12%, adding in soft blowing) (c)

T 10561-2005 A 法检验, 检验样为轧材。

1.4 试验工艺流程及控制目标

试验工艺流程为: 20 t IF → 25 t LF → 25 t VD → 浇铸 R120 自耗电极 → 电渣重熔 Φ315 mm 锭 → 20MN 开坯 140 mm × 140 mm 方 → Φ600 mm 轧机 + 连轧机成材。

控制目标: 钢锭钢材 RE 含量控制在 0.025% ~ 0.045%。

2 试验方案及试验结果

2.1 钢水精炼工艺试验方案及试验结果

为保证 RE 在钢中成分均匀, 在钢水精炼过程中对影响 RE 收得率的 RE 加入时间、RE 加入量、钢水 Al 含量(加 RE 前)分别进行三组试验工艺研究, 自耗电极浇注时使用氩气保护。RE 加入方法为: 分 3 ~ 4 批, 采用人工抛入到吹氩口位置。方案及试验结果见图 1。

可以看出, RE 加入时间对钢水 RE 含量、RE 收得率影响很大, LF 出站加入因经 VD 真空处理大搅拌 RE 损失很大, VD 破空加入因钢水中夹杂物上浮去除量少、软吹时间长 RE 仍有损失, RE 在软吹时加入收得率较高。主要是 RE 是易氧化元素, RE 氧化物反应的自由能显著高于 Fe、Mn、Cr、V、Si 氧化物^[7]。熔渣中的 Fe、Mn、Cr、V、Si 氧化物、钢水中 Mn、Si 氧化物都能使金属 RE 氧化生成 RE 氧化物。

随着加 RE 前钢水 Al 含量增加, 钢水 RE 含量增加、RE 收得率升高, 但 Al 含量增至 0.12% 后 RE 收得率增幅变小。同时因为 Al 含量

过高后会超出一些客户的标准控制要求。因此 Al 含量控制在 0.12% 较为适宜。

RE 的加入量仅影响钢水中 RE 含量, 对 RE 收得率影响不大。

2.2 电渣重熔试验方案及试验结果

2.2.1 电渣重熔试验方案

采用含 REO₂ 的渣系, 重熔钢锭会实现稀土合金化^[8]; 本试验以 REO₂ 替代 CaO, 根据熔渣组元熔点和含 REO₂ 相图^[9], REO₂ 含量设定为 3% 和 6%, 工艺方案见表 2。电渣重熔所用电极成分见表 3。

2.2.2 试验结果

试验结果见图 2。

可以看出, 渣系 C 重熔渣中以 6% REO₂ 替代氧化钙, 因熔渣中有一定含量的 REO₂, 减少了 RE 的烧损。所以钢材的 RE 含量、RE 收得率优于常规渣系。

2.3 试验电渣锭钢材质量

综合上述试验结果和分析, 电渣重熔 M42 高速

表 2 电渣试验工艺方案
Table 2 ESR test process scheme

| 序号 | 渣系 | CaF ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | REO ₂ |
|----|-------|------------------|--------------------------------|-----|------------------|
| 1 | A(常规) | 60 | 20 | 20 | 0 |
| 2 | B | 60 | 20 | 17 | 3 |
| 3 | C | 60 | 20 | 14 | 6 |

表 3 M42 钢电极的化学成分 / %
Table 3 Chemical composition of M42 steel electrode / %

| C | Si | Mn | P | S | W | Mo | Cr | V | Co | Al | RE |
|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1.12 | 0.38 | 0.32 | 0.022 | 0.005 | 1.42 | 9.56 | 4.25 | 1.21 | 7.92 | 0.13 | 0.061 |

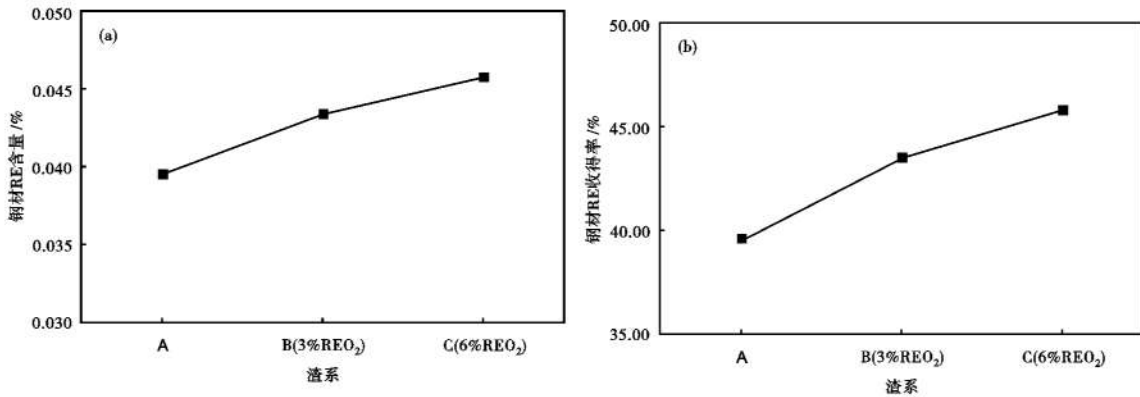


图2 ESR渣系对M42钢材RE含量(a)和RE收得率(b)的影响
Fig.2 Effect of ESR slag series on RE content in steel product (a) and RE yield (b)

钢RE孕育处理工艺为,钢水精炼Al含量控制在0.12%、VD软吹时加入0.1%的RE,电极浇注采用全密封氩气保护,电渣采用渣系C(含6%REO₂)。经批量生产表明,钢锭20MN开坯锻制由近5火降至4火,锻坯表面开裂明显减少,钢锭热塑性改善显著;生产的锻坯钢材探伤良好、未发现因RE夹杂物产生的针眼缺陷。整个量产工艺过程中RE含量见表4所示。

生产的钢材Al含量为0.035%~0.070%、RE含量为0.027%~0.038%,达到了RE控制在0.025%~0.045%预期目标;非金属夹杂物评级为A_细0.5级、A_粗0级;B_细1.0级、B_粗0级;C_细和C_粗均为0级、D_细1.0级、D_粗0级,符合国标和客户协议标准。试验Φ315mm电渣锭经20MN锻造开坯140mm×140mm方坯,Φ600mm轧机+连轧机成Φ60mm钢材夹杂物形貌见图3。

表4 量产阶段各工序钢中RE含量/%

Table 4 RE content in steel of each process in mass production stage / %

| VD出站钢水 | 自耗电极 | 钢材(电渣钢锭) |
|-------------|-------------|-------------|
| 0.058~0.074 | 0.055~0.066 | 0.027~0.038 |

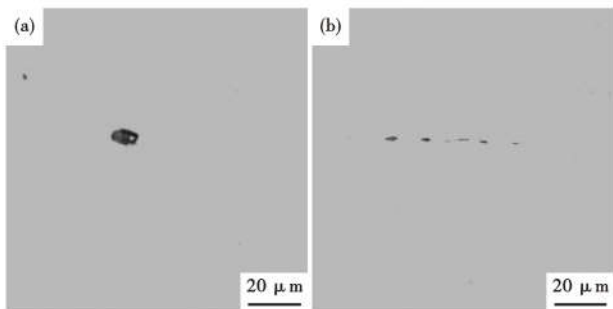


图3 Φ60mm试验钢材夹杂物形貌
Fig.3 Morphology of inclusions in Φ60mm test steel bar

3 结论

(1) 钢水精炼过程可在VD破空软吹时加入0.1%RE,加入前钢水Al含量为0.12%,可使钢锭有较为稳定的RE收得率和适宜的RE含量。

(2) 电渣重熔时采用含6%REO₂渣系重熔,可提高电渣重熔过程RE收得率,满足钢锭改善碳化物组织和热塑性的要求。

(3) M2高速钢钢水精炼Al含量控制在0.12%、VD软吹时加入0.1%的RE,电极浇注采用氩气保护,电渣采用含6%REO₂渣系重熔,钢锭RE含量稳定在0.027%~0.038%,钢锭热塑性改善明显,钢材RE夹杂物达标。

参考文献

- [1] 赵晓栋,姜江,李国宝,等.钢中大尺寸稀土夹杂物的形成动力学研究[J].中国稀土学报,2004,22(1):142-144.
- [2] 邓玉昆,陈景榕,王世章.高速工具钢[M].北京:冶金工业出版社,2002:50-365.
- [3] 李彦军,姜启川,赵宇光,等.铈对M2高速钢凝固组织的作用[J].中国稀土学报,1999,18(2):3-5.
- [4] 符寒光,邢建东.高速钢轧辊制造技术[M].北京:冶金工业出版社,2007:90-95.
- [5] 罗迪,邢国华,路东元.稀土元素在高速钢晶界偏聚的研究[J].中国稀土学报,1985,3(2):73-75.
- [6] 王栋,田辉,蒋建清.添加稀土元素对M42高速钢盘条拉拔断丝率的研究[J].河北冶金,2005(6):25-27.
- [7] 黄希祐.钢铁冶金原理[M].北京:冶金工业出版社,2002:436.
- [8] 姜周华,董艳伍,耿鑫,等.电渣冶金学[M].北京:科学出版社,2015:214.
- [9] 陈家祥.炼钢常用图表数据手册(第2版)[M].北京:冶金工业出版社,2010:178-262.

王凯(1986-),男,工程师,2009年华北理工大学(本科)毕业,工模具钢冶炼工艺研究。E-mail:18033719023@qq.com