

· 组织和性能 ·

Al 对 M2 高速钢铸态组织的影响

周雪峰¹ 方峰¹ 蒋建清¹ 李德辉² 朱旺龙²

(1 东南大学江苏省先进金属材料高技术重点实验室,南京 211189; 2 天工集团,丹阳 215400)

摘要 试验 M2 高速钢(% :0.85C,5.92W,4.74Mo,3.86Cr,1.81V)由 25 kg 真空感应炉熔炼,并用砂型铸造成锭。研究了 0~1.3% Al 对钢铸态组织的影响。结果表明,加入 0.6% Al,可细化共晶莱氏体网,改善碳化物分布;加入过量 Al(1.3%),初生晶粒内部出现大量由 δ 铁素体通过共析转变产生的针状碳化物。Al 促进 M_2C 共晶碳化物形态由弯曲棒状变为平直片层状,并提高其合金元素含量。与片层状 M_2C 相比,棒状 M_2C 在高温易分解成短棒状或球状碳化物,有利改善碳化物形态。

关键词 Al 高速钢 M2 铸态组织 M_2C 共晶碳化物

Effect of Al on Structure of As-cast High Speed Steel M2

Zhou Xuefeng¹, Fang Feng¹, Jiang Jianqing¹, Li Dehui² and Zhu Wanglong²

(1 Jiangsu Key Lab of Advanced Metallic Materials, Southeast University, Nanjing 211189; 2 Tiangong Group, Danyang 215400)

Abstract Test high speed steel M2 (% : 0.85C, 5.92W, 4.74Mo, 3.86Cr, 1.84V) was melted by 25kg vacuum induction furnace and ingot was cast by sand mould. The effect of 0 ~ 1.3% Al on structure of as-cast steel has been studied. Results showed that added 0.6% Al was available to fine the ledeburite network and improve the distribution of carbides in steel; while added excessive amount of Al (1.3%) promoted the formation of a great lot of acicular carbide eutectoid-transformed from δ ferrite in primary grain. Al promoted the M_2C carbide transformed from curved rod-like to straight lamella-like in which the alloy element content increased. Compared with lamellar M_2C , the rod-like M_2C easily decomposed short rod-like and granular carbides favorably to improve the morphology of carbide in steel.

Material Index Al, High Speed Steel M2, As-cast Structure, M_2C Eutectic Carbide

含铝高速钢是一种高性能高速钢,具有极高的硬度和耐磨性,广泛应用于切削超高强度钢、高温合金、钛合金等难加工材料^[1],典型牌号如M2Al。目前,有关 Al 在高速钢中应用的研究多偏重于其在热处理过程的作用^[2-4],而关于 Al 对高速钢铸态组织特别是共晶碳化物的影响研究较少。共晶碳化物分布、形态及性质直接决定了锻轧变形后碳化物的分布及尺寸,从而影响到高速钢的组织和使用性能。本文研究了 Al 对 M2 高速钢铸态组织和共晶碳化物的影响规律,以期为进一步研究含铝高性能高速钢的碳化物分布及形态控制提供指导。

1 试验材料与方法

采用 25 kg 真空感应炉对 M2 高速钢成品棒料重熔,试验原料成分如表 1 所示。待棒料完全熔化后,1600℃ 出炉。第 1 炉钢水直接浇铸至砂型中,得到普通 M2 高速钢试样;第 2 炉和第 3 炉钢水出炉前分别加入 0.6% Al 和 1.3% Al,待成分均匀化后浇铸,得到含 Al 高速钢试样。

分别采用 Murakami 试剂和 4% 硝酸酒精对样品腐蚀,在 Axiovert-200 金相显微镜和 FEI Sirion-

表 1 试验用 M2 高速钢棒料主要化学成分/%

Table 1 Chemical composition of test high speed steel M2 /%

C	Si	Mn	W	Mo	Cr	V	S	P	Cu
0.85	0.35	0.23	5.92	4.74	3.86	1.81	0.005	0.024	0.095

400 场发射扫描电镜下观察高速钢铸态组织。Murakami 试剂是一种选择腐蚀剂^[5],仅腐蚀碳化物,而对基体不腐蚀,便于研究共晶碳化物形态变化。利用 EDS 能谱对共晶碳化物成分进行分析。电解萃取铸锭中碳化物,采用 XD-3A 型 X 射线衍射仪对萃取所得碳化物粉末进行物相分析。铸锭于 1100℃ 加热 2 h,随炉冷却,用扫描电镜观察碳化物高温加热后形态变化。

2 试验结果与分析

2.1 铸态组织

图 1 为经 Murakami 试剂选择腐蚀后,不同 Al 加入量的 M2 高速钢铸态组织照片。可以看到,未加 Al 时,共晶莱氏体网较厚,碳化物形态以弯曲棒状为主。加 0.6% Al,共晶区域缩小,莱氏体网细化,碳化物形态由棒状变为平直片层状。添加

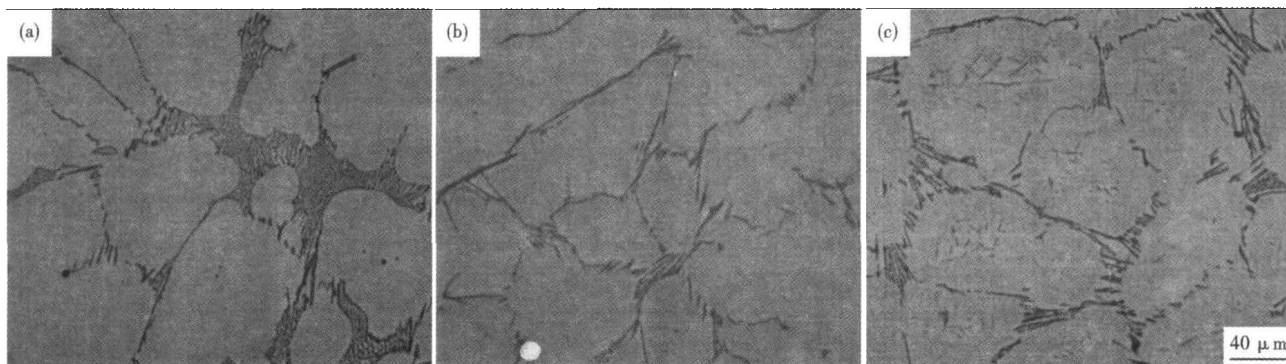


图1 加 Al 量对 M2 钢共晶碳化物分布及形态的影响:(a)未加 Al;(b)0.6% Al;(c)1.3% Al

Fig.1 Effect of added Al amount on distribution and morphology of eutectic carbides in steel M2: (a) non-added Al; (b) 0.6% Al; (c) 1.3% Al

1.3% Al 后,碳化物形态呈片层状,晶粒内部有针状物析出。结果表明,适量 Al 的加入可以改善共晶碳化物分布和形态,使铸态组织更均匀。

图2 为硝酸酒精腐蚀后 M2 高速钢 SEM 显微组织照片。可以看到,未加 Al 和加 0.6% Al 时,基体内部组织均匀。加 1.3% Al 后,基体组织出现明显变化,靠近晶界区域的基体中弥散析出大量细小颗

粒状碳化物[图2(c)中 A 区域所示],而晶粒中心区域存在大量针状物,针状物周围基体无碳化物析出[图2(c)中 B 区域所示]。采用能谱分析针状物成分,元素含量分别为(%):55.45Fe、20.23W、8.19Mo、10.05V、3.98Cr、1.47Al,并含有一定量的 C,这说明针状物为含 Al 的合金碳化物。

Al 是强铁素体形成元素,能够扩大 δ 铁素体相

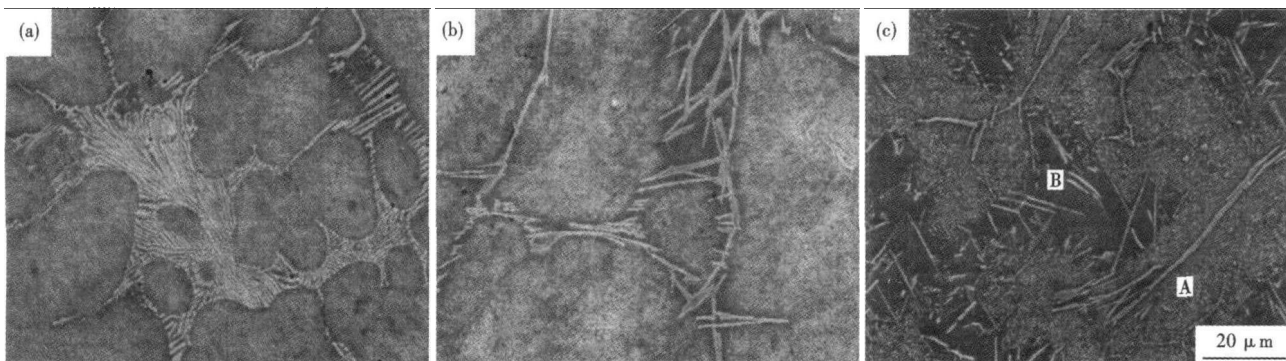


图2 加 Al 量对 M2 钢基体组织的影响:(a)未加 Al;(b)0.6% Al;(c)1.3% Al

Fig.2 Effect of added Al amount on matrix structure of steel M2: (a) non-added Al; (b) 0.6% Al; (c) 1.3% Al

区^[6],使得凝固时形成的高温 δ 铁素体量增加。在随后的包晶反应 $L + \delta \rightarrow \gamma$ 中,晶粒心部的 δ 铁素体未能发生包晶转变,继续冷却时将发生共析转变^[7],形成 γ 相和针状碳化物。

2.2 碳化物类型和成分

TEM 研究表明,棒状和片层状共晶碳化物均为 M_2C 碳化物^[8]。图3 为不同 Al 加入量的 M2 铸锭萃取所得碳化物粉末的 X 射线衍射图谱。可以看出,铸锭中均含有 M_2C 、MC 及少量的 M_6C 碳化物,Al 含量变化并未改变碳化物类型。

表2 反映了 M_2C 共晶碳化物成分随 Al 含量的变化。与不加 Al 相比,加 0.6% Al 后 M_2C 中各主要合金元素含量均有所升高,继续增加 Al 含量,碳化

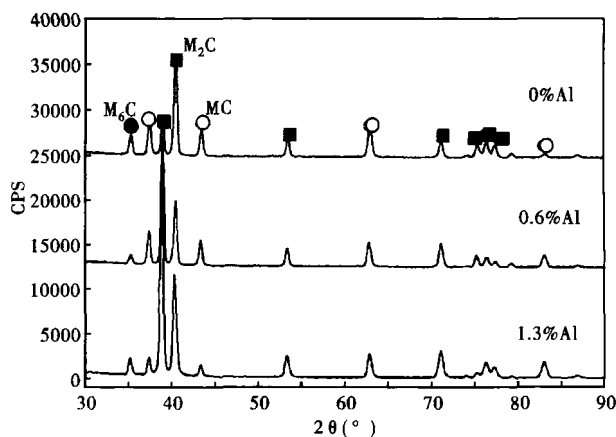


图3 不同加 Al 量的 M2 钢碳化物 X-射线粉末衍射图谱
Fig.3 X-ray diffraction patterns of carbides in steel M2 with different added Al amount

表 2 加 Al 量对 M_2C 成分的影响 / %Table 2 Effect of Al content on chemical composition of M_2C carbides / %

Al	碳化物成分			
	W	Mo	V	Cr
0	35.34	18.87	7.19	5.68
0.6	42.44	23.26	10.20	6.11
1.3	43.34	24.18	10.33	6.17

物成分变化不大。而 M_2C 中未检测到 Al 元素存在。结果表明, Al 不参与形成 M_2C , 但提高了 M_2C 中合金元素含量。

2.3 碳化物加热后形态变化

1 100 °C 加热 2 h, 不同 Al 加入量时碳化物形态变化如图 4 所示。可以看到, 未加 Al 时, 棒状碳化物高温加热后断开, 成为短棒状, 局部区域甚至已经球化。相比之下, 加 Al 形成的片层状碳化物加热后外观形态变化不大(见图 4b, c)。可见, 铸态形成棒状碳化物对加热时碳化物形态改善更为有利。与共晶碳化物相比, 加 1.3% Al 后晶内析出的针状碳化物表现出较低的热稳定性, 加热后呈孤立团块状(如图 4c 中箭头 A 所示)。这可能与 Al 元素参与

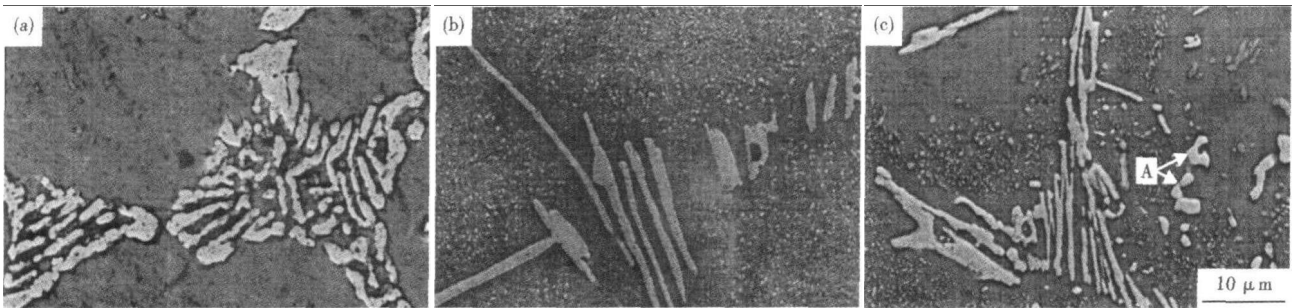


图 4 M2 钢碳化物 1 100 °C 2 h 加热后形态: (a) 未加 Al; (b) 0.6% Al; (c) 1.3% Al

Fig. 4 Morphology of carbides in steel M2 heating at 1 100 °C for 2 h: (a) non-added Al; (b) 0.6% Al; (c) 1.3% Al

形成针状碳化物, 从而降低碳化物稳定性有关^[9]。

试验结果看出, Al 对高速钢铸态组织的影响包括两个方面: (1) Al 细化共晶莱氏体网, 使碳化物分布更均匀; (2) Al 促进 M_2C 形态由棒状变为片层状, 片层状 M_2C 高温加热形态变化不大, 削弱了热分解对碳化物形态改善的有益作用。由于前者对锻轧后高速钢组织影响更为显著^[6], 因此加 Al 有利于改善锻轧后高速钢碳化物分布, 从而为其性能提高做好组织准备。

由于过量 Al 的加入会阻碍钢的奥氏体化、降低淬火硬度^[10], 因此应控制 Al 的加入量, 避免因 Al

过量对钢的性能产生不利影响。

3 结论

(1) Al 细化高速钢共晶莱氏体网, 改善碳化物分布, 提高铸态组织均匀性。

(2) Al 促使 M_2C 共晶碳化物形态由棒状转变为片层状, 提高其合金元素含量。与片层状 M_2C 相比, 棒状 M_2C 加热易断开, 呈短棒状或球状, 对碳化物形态改善更为有利。

江苏省科技成果转化资金专向资助项目 (BA2005053)

参考文献

- 1 成都工具研究所, 上海交通大学. 含铝超硬型高速钢. 机械工程材料, 1977, 1(2): 1
- 2 徐佐仁. 铝对高速钢回火过程的影响. 工具技术, 1978, 1(3): 1
- 3 徐祖耀. 铝在高速钢中的作用. 机械工程材料, 1993, 17(2): 4
- 4 钱小容, 刘荣运, 刘可. 含铝高速钢回火组织特征的电镜观察. 电子显微学报, 1986(3): 151
- 5 Hwang K C, Lee S, Lee H C. Effects of Alloying Elements on Microstructure and Fracture Properties of Cast High Speed Steel Rolls, Part I: Microstructural Analysis. Materials Science and Engineering A, 1998, 254(1-2): 282
- 6 邓玉昆, 陈景榕, 王世章. 高速工具钢. 北京: 冶金工业出版社, 2002
- 7 McLaughlin J, Kraft R W, Goldstein J I. Characterization of the Solidification Structures Within the Dendritic Core of M2 High Speed Steel. Metallurgical Transactions A, 1977, 8(11): 1787
- 8 周雪峰, 方峰, 蒋建清. 冷却速度对 M2 高速钢凝固组织及共晶碳化物的影响. 铸造, 2008, 57(7): 658
- 9 姚月岩, 景利明, 王霞, 等. 铝对 9341 高速钢组织和硬度的影响. 特殊钢, 1995, 16(5): 27
- 10 李彦军, 姜启川, 何振明, 等. Al 对 M2 高速钢凝固过程的作用. 材料研究学报, 1997, 11(2): 216

周雪峰(1982-), 男, 博士研究生, 从事高性能高速钢研究。

收稿日期: 2008-11-13