

Mg 对热作模具钢 H13 组织和力学性能的影响

王亮亮¹ 李晶¹ 李勇勇¹ 宁博¹ 谭兵² 陈雪梅² 张波²

(1 北京科技大学钢铁冶金新技术国家重点实验室, 冶金与生态工程学院, 北京 100083;

2 广州市冶金工业研究所, 广州 510440)

摘要 试验钢的生产流程为 2 t 中频感应炉-200 kg 电渣重熔(Φ180 mm)-退火-镦粗至 Φ325 mm-球化退火-1 050 ℃ 淬火-590 ℃ 回火, 炉冷。试验研究了 0~0.001 0% Mg 对热作模具钢 H13 (/%: 0.40~0.41C、0.98~1.01Si、0.29Mn、4.95~5.08Cr、1.21~1.22Mo、0.91~0.93V、0.023~0.027P、0.006~0.007S) 组织和力学性能的影响。结果表明, 随钢中 Mg 含量由 0 提高至 0.001 0% 时, 试验模具钢 H13 的平均抗拉强度和 HRC 硬度值分别从 1 617.6 MPa 和 45.7 提高至 1 702.9 MPa 和 47.8; Mg 可以增加钢中回火马氏体的稳定性, 高温回火后含 Mg 模具钢 H13 的组织中出现大量回火屈氏体, 而且部分碳化物在 Mg-Al 夹杂物周围析出, 成球形, 尺寸小于 10 μm, 有利于改善钢的性能。

关键词 Mg 热作模具钢 H13 组织 强度 硬度

Effect of Mg on Structure and Mechanical Properties of Hot-Working-Die Steel H13

Wang Liangliang¹, Li Jing¹, Li Yongyong¹, Ning Bo¹, Tan Bing², Cheng Xuemei² and Zhang Bo²

(1 State Key Laboratory of Advanced Metallurgy, School of Metallurgy and Ecological Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083; 2 Guangzhou Institute of Metallurgy Industry, Guangzhou 510440)

Abstract The production flow sheet for test steel is 2 t medium frequency induction furnace-200 kg ESR (Φ180 mm)-annealing-upset forging to Φ325 mm-spheroidal annealing-quenching at 1 050 ℃-tempering at 590 ℃, furnace cooling. The effect of 0~0.001 0% Mg on structure and mechanical properties of hot-working-die steel H13 (/%: 0.40~0.41C, 0.98~1.01Si, 0.29Mn, 4.95~5.08Cr, 1.21~1.22Mo, 0.91~0.93V, 0.023~0.027P, 0.006~0.007S) has been tested and studied. Results show that with increasing Mg content in steel from 0 to 0.001 0%, the average tensile strength and HRC value of test die steel H13 increases respectively from 1 617.6 MPa and 45.7 to 1 702.9 MPa and 47.8; Mg is available to increase the stability of tempered martensite in steel, in high temperature tempered die steel H13 containing Mg, a lot of tempering troostite occurs in structure and partial globular carbides with size less than 10 μm precipitate around Mg-Al inclusions, it is favourable to improvement of performance of steel.

Material Index Mg, Hot-Working Die Steel H13, Structure, Tensile Strength, Hardness

H13 模具钢(4Cr5MoSiV1),具有良好的热稳定性和抗热疲劳性能,以其高强度、韧性和优良的耐磨性赢得很多用户的青睐^[1]。近年来,国内外很多研究人员通过加入微合金化元素,如铌、钨、铝、稀土等,提高 H13 模具钢的性能。镁由于在冶金温度下,具有蒸汽压极高、易挥发的特点,较少应用于钢铁生产。随着铁合金生产技术的发展以及真空熔炼技术的成熟,钢中加镁成为可能。含镁夹杂物中能阻碍奥氏体晶粒长大^[2,3],从根本上细化了钢的晶粒,强化了钢基体;Mg 元素还可以缩小铁素体晶粒,促进第二相形核,达到析出强化的目的^[4]。

1 试验材料及取样方法

试验工艺为:2 t 中频感应炉熔炼 H13 废钢 (/%: 0.42C、1.20Si、0.32Mn、4.59Cr、1.20Mo、

0.85V、0.16Ni、0.025P、0.008S、0.025Al、0.11Cu) →钢包→模铸(自耗电极)→200 kg 电渣重熔(Φ180 mm)→完全退火→镦粗(Φ325 mm)→球化退火→淬火→回火。试验炉次为 3 炉,分别编号为 A、B、C,其中 A 炉不加镁,B、C 炉出钢过程加入 6.02% Mg-20.13% Al-Fe 合金。试验用 H13 模具钢热处理工艺及回火后电渣锭成分分别见表 1 和表 2。

在淬火-回火后模具钢 H13 锻件直径1/4处切取

表 1 试验钢热处理工艺

Table 1 Heat treatment process for test steel

完全退火	球化退火	淬火	回火
650~760 ℃ 2 h,再升温至 860 ℃ 7~8 h,炉冷至 500 ℃,空冷	880 ℃ 5 h,降温至 730 ℃ 2 h,炉冷至 500 ℃,空冷	850 ℃ 1 h,升温至 1050 ℃ 100 min,油淬	590 ℃ 4 h,炉冷

表2 淬火-回火后 H13 热作模具钢的成分 / %
Table 2 Analysis of quenched-tempered hot-working-die steel H13 / %

试验钢	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	P	S	Mg
A	0.41	0.99	0.29	4.91	1.22	0.93	0.023	0.006	-
B	0.40	1.01	0.29	5.08	1.21	0.91	0.027	0.006	0.000 6
C	0.41	0.98	0.29	5.05	1.22	0.91	0.026	0.007	0.001 0

试样。拉伸试样为 $\Phi 5 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 。

2 试验结果及分析

2.1 力学性能

淬火-回火后热作模具钢 H13 的力学性能如表 3 所示。

由表 3 可以看出, A 号试验钢的强度和硬度最低,随着 Mg 含量的增加, B、C 号试验钢的强度和硬度均有一定提高;从 B、C 号试验钢的结果来看,试验钢的强度和硬度值相差并不大。

2.2 组织形貌

淬火-回火后热作模具钢 H13 组织形貌如图 1 所示。

A 号试验钢组织为回火索氏体组织(图 1a), B、C 号试验钢组织为回火索氏体和回火屈氏体混合组织(图 1b, c)。在高温回火工艺下, 3 种钢组织均为

表3 淬火-回火热作模具钢 H13 的拉伸强度和硬度
Table 3 Tensile strength and hardness of quenched-tempered hot-working-die steel H13

试验钢	抗拉强度/MPa		断后延伸率/%		HRC 硬度值	
	测量值	平均值	测量值	平均值	测量值	平均值
A (不含 Mg)	1 624.9		8.0		45.0	
	1 619.6	1 617.6	8.0	7.7	45.8	45.7
	1 608.3		7.0		46.4	
B (0.000 6% Mg)	1 683.0		6.2		47.6	
	1 718.9	1 690.2	5.5	6.3	47.0	47.3
	1 668.7		7.1		47.2	
C (0.001 0% Mg)	1 719.5		5.4		47.5	
	1 716.7	1 702.9	6.1	6.1	47.6	47.8
	1 672.6		6.8		48.2	

回火索氏体组织, 而 B、C 号试验钢中均出现了大量的回火屈氏体组织。合金元素在回火过程中可以推迟马氏体的分解和残留奥氏体的转变, 提高铁素体的再结晶温度, 阻碍碳化物析出^[5]。由于 B、C 号试验钢中均加入 Mg 元素, Mg 阻碍了渗碳体析出和回火马氏体分解, 增加了回火马氏体的稳定性, 说明 Mg 元素的加入从而改变了试验钢的组织结构。回火屈氏体基体的强度和硬度要比回火索氏体高一些, 所以含 Mg 试验钢的强度和硬度高于无 Mg 的试验钢。

2.3 断口碳化物分析

对断口撕裂区的观察发现, 在 A、B、C 三种试验钢断口的撕裂区附近有许多镶嵌在断面撕裂岭里的大块状碳化物, 其形貌和成分如图 2 所示。断口撕裂岭上的这些碳化物主要成分是高 V 低 Cr、Mo 类碳化物, 其熔点高、硬度大, 分布在晶界附近, 降低了晶界强度和附着力, 促进晶界二次裂纹的产生, 是明显的裂纹源。比较 A、B、C 三种试验钢断口中的碳化物, 含镁钢中断口碳化物比较小, 而且分布均匀。这可能是由于钢中含有一定量的 Mg, 增大了碳化物融入奥氏体的量或者加快了溶解的速度, 阻碍了碳化物析出和聚集。

2.4 基体碳化物分析

A、B、C 三种试验钢组织中典型的偏析碳化物形貌及成分如图 3 所示。

从图 3 可以看出, A、B、C 三种试验钢中均有大块合金碳化物偏聚。A 号试验钢中偏聚的合金碳化物成分主要是 V、Cr, 这类碳化物硬度较大, 难溶于奥氏体, 外形棱角分明而且尺寸比较大, 为 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 。这类合金碳化物偏聚于晶界, 弱化晶界结合力, 而且使钢内部形变协同性变差, 容易产生裂纹。由于 B、C 号试验钢中加入了 Mg 元素, 这些 Mg-Al 夹杂物分布在钢基体中, 可以作为钢的第二相形核

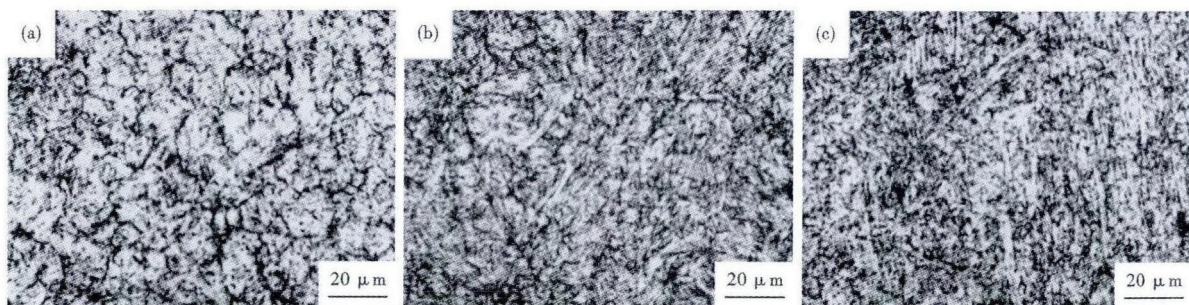


图1 Mg对淬-回火热作模具钢 H13 组织形貌的影响: 钢中 Mg 含量- (a)0; (b)0.000 6%; (c)0.001 0%

Fig. 1 Effect of Mg on structure morphology of quenched-tempered hot-working-die steel H13: Mg content in steel- (a) 0; (b) 0.000 6%; (c) 0.001 0%

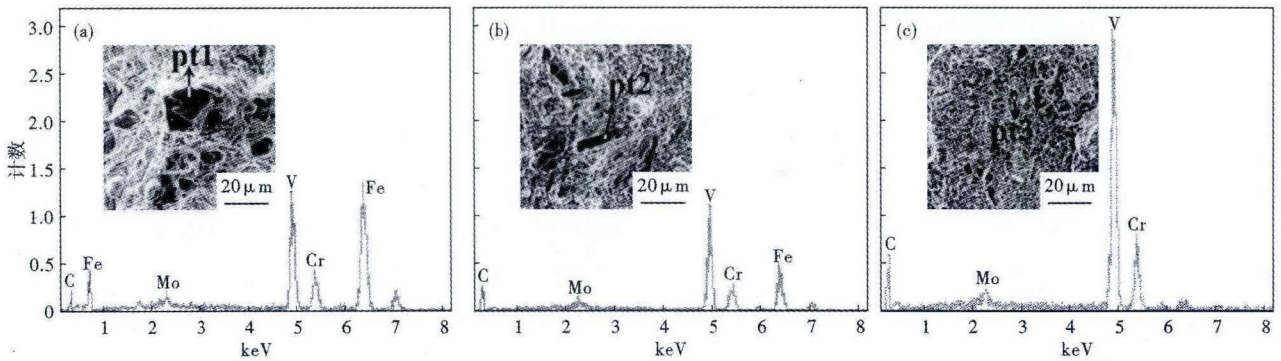


图 2 热作模具钢 H13 断口中镶嵌的偏析的大块状碳化物形貌和成分分析,SEM;钢中 Mg 含量- (a)0;(b)0.000 6%;(c)0.001 0%
 Fig.2 Morphology and analysis of mosaic segregated large-sized carbide at fracture of hot-working-die steel H13, SEM; Mg content in steel- (a) 0; (b) 0.000 6%; (c) 0.001 0%

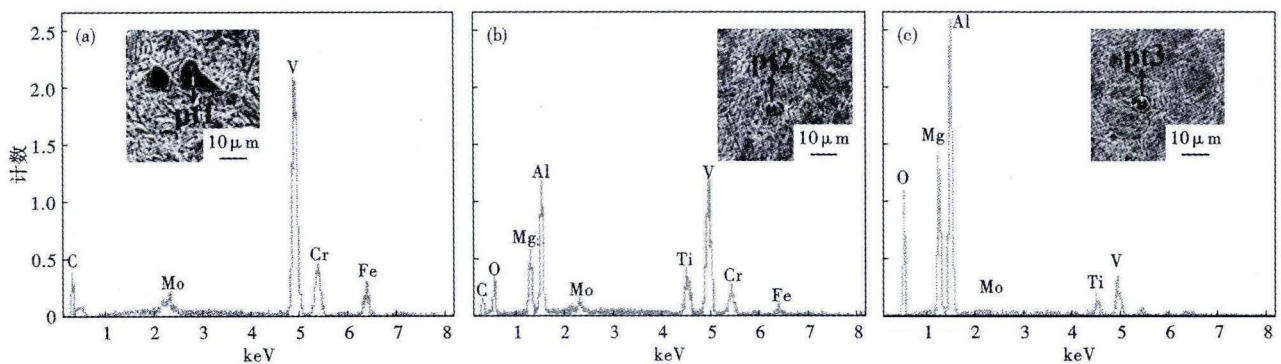


图 3 热作模具钢 H13 组织中偏析大块碳化物形貌和成分分析,SEM;钢中 Mg 含量- (a)0;(b)0.000 6%;(c)0.001 0%
 Fig.3 Morphology and analysis of segregated large-size carbide in structure of hot-working-die steel H13, SEM; Mg content in steel- (a) 0; (b) 0.000 6%; (c) 0.001 0%

核心^[4,6]。回火过程中碳化物在 Mg-Al 夹杂物周围析出,析出的碳化物小于 10 μm,形状从尖锐的不规则型变成球状,减少了不规则碳化物的聚集长大,进而改善钢的性能。

3 结论

(1)钢中含有一定量的 Mg 可以增强回火马氏体的稳定性。高温回火组织中有大量回火屈氏体,增加了钢的强度和硬度。

(2)H13 模具钢回火后断口碳化物成分主要是高 V 低 Cr、Mo 类。含镁钢中断口碳化物比较小,而且分布均匀。

(3)含镁钢中部分碳化物在 Mg-Al 夹杂物周围析出,成球形,尺寸小于 10 μm,减少了不规则碳化物的聚集长大,有利于改善钢的性能。

高等学校博士学科点专项科研基金资助 (No. 20100006110020)

参考文献

- [1] 潘振鹏,王桂棠,蔡莲淑,等.我国高强度热作模具钢的研究和应用[J].特殊钢,2003,24(1):1-5.
- [2] Zhu K, Yang J, Wang R Z, et al. Effect of Mg Addition on Inhibiting Austenite Grain Growth in Heat Affected Zones of Ti-bearing Low Carbon Steels[J]. Journal of Iron and Steel Research, International, 2011, 18(9): 60-64.
- [3] Duan J T, Jiang Z Q, Fu H G. Effect of Re-Mg Complex Modifier on Structure and Performance of High Speed Steel Roll[J]. Journal of Rare Earths, 2007, 25: 259-263.
- [4] Zhu K, Yang Z G. Effect of Mg Addition on the Ferrite Grain Boundaries Misorientation in HAZ of Low Carbon Steels[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2011, 27(3): 252-256.
- [5] 文九巴,马勤,庞国星.金属材料学[M].北京:机械工业出版社,2011.
- [6] 李贵阳,李太全.含镁夹杂物对一种管线钢固体相变的影响[J]:钢铁,2010,45(7):76-80,102.

王亮亮(1982-),男,博士研究生(北京科技大学),2006年河北理工大学毕业,模具钢新品种的开发和研究。

E-mail: Liangliangwang927@163.com

收稿日期:2013-05-06