

· 组织和性能 ·

Nb-RE 微合金化对复杂刀具用 TGM2 高速钢组织和性能的影响

雷利军 朱小坤 李德辉 周英孝 徐文瑛

(天工国际有限公司,丹阳212312)

摘要 Nb-RE 微合金化 TGM2 高速钢(% : 0.88 ~ 0.89C, 4.14 ~ 4.16Cr, 4.73 ~ 4.76Mo, 6.09 ~ 6.12W, 1.85 ~ 1.86V, 0.05 ~ 0.10Nb, 0.05 ~ 0.06RE) 由 25 t EAF- 30 t LF (VD, 加 Nb-RE)- 1 t ESR 工艺冶炼。试验结果表明, 经 Nb-RE 微合金化后, TGM2 高速钢 $\Phi 96$ mm 材淬火晶粒尺寸明显细化, 晶粒度由原来未微合金化钢的 9.5 级提高至 10 ~ 10.5 级; 淬、回火后硬度 HRC 为 65.2 ~ 65.8, 600 °C 4 h 红硬性 HRC 为 62.1 ~ 62.3, Nb-RE TGM2 钢制成刀具的切削寿命较原 TGM2 钢提高 20%。

关键词 Nb-RE 微合金化 TGM2 高速钢 复杂刀具 使用寿命

Effect of Nb-RE Microalloying on Structure and Properties of High Speed Steel TGM2 for Complicated Tool

Lei Lijun, Zhu Xiaokun, Li Dehui, Zhou Yingxiao and Xu Wenying

(Tiangong International Corp Ltd, Danyang 212312)

Abstract Nb-RE microalloying high speed steel TGM2 (% : 0.88 ~ 0.89C, 4.14 ~ 4.16Cr, 4.73 ~ 4.76Mo, 6.09 ~ 6.12W, 1.85 ~ 1.86V, 0.05 ~ 0.10Nb, 0.05 ~ 0.06RE) was melted by 25 t EAF- 30 t LF (VD, adding Nb-RE)- 1 t ESR process. Test results show that with Nb-RE microalloying, the grain size of quenched $\Phi 96$ mm bar of high speed steel TGM2 is obviously fine i. e. the grain rating increases to 10 ~ 10.5 from 9.5 of original steel without microalloying; the hardness HRC of quenched and tempered Nb-RE steel is 65.2 ~ 65.8 and its red hardness HRC at 600 °C for 4 h is 62.1 ~ 62.3; as compared with original TGM2 steel without added Nb-RE, the service life of tool manufactured by Nb-RE TGM2 steel increases by 20%.

Material Index Nb-RE Microalloying, High Speed Steel TGM2, Complicated Tool, Service Life

M2 高速钢是复杂刀具用量最大的通用高速钢之一, 通过微合金化理论并进行优化成分设计有望达到改善该钢的综合性能的目的。本文选择添加铌和稀土元素进行了微合金化试验。

1 试验方法

原工艺: 25 t 电弧炉炼钢 → 30 t LF → 浇铸电渣棒 → 电渣重熔 (1 t 钢锭) → 快锻开坯 → 5 t 锤开坯 → 精锻成材 ($\Phi 96$ mm) → 检验 → 入库。

新工艺: 25 t 电弧炉炼钢 → 30 t LF → VD 真空脱

气 (微合金化) → 浇铸电渣棒 → 电渣重熔 (1 t 钢锭) → 快锻开坯 → 5 t 锤开坯 → 精锻成材 ($\Phi 96$ mm) → 检验 → 入库。

分别在 LF 精炼结束和 VD 精炼结束加入铌铁和稀土金属。为了便于比较, 同时选取同钢种 A-M2 同规格钢材进行了对比。

2 试验结果

2.1 钢材的成分、低倍组织和夹杂物

钢材的化学成分及气体含量见表 1。

表 1 试验钢材的化学成分和气体含量

Table 1 Chemical composition and gas content of test steel products

工艺	牌号	化学成分/%											气体含量/ 10^{-6}		
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V	Nb	RE	O	N	H
1 (原工艺)	TGM2	0.89	0.28	0.26	0.026	0.008	4.13	4.78	6.18	1.85	-	-	32.4	86.6	2.14
2 (新工艺)	TGM2(0.05Nb)	0.89	0.27	0.24	0.025	0.007	4.16	4.76	6.09	1.85	0.05	0.05	23.2	79.7	1.23
3 (新工艺)	TGM2(0.10Nb)	0.88	0.30	0.38	0.025	0.003	4.14	4.73	6.12	1.86	0.10	0.06	24.6	90.7	1.18
4	A-M2	0.89	0.34	0.28	0.024	0.004	4.19	4.85	6.20	1.91	0	0	34.8	102.3	2.18

TGM2, TGM2(0.05Nb), TGM2(0.10Nb) 的一般和中心疏松均为 0.5 级, A-M2 一般疏松 1.0 级, 中心疏松 0.5 级。试验钢材的非金属夹杂物评级, 按照 ASTM E45A 法评定, 检验结果见表 2。

2.2 钢材的共晶碳化物及退火组织

试样经过 1 205 °C 盐浴淬火, 550 °C 1 h 3 次回火, 分别取钢材 1/4D 处和边缘 6 ~ 8 mm 处进行检验评定, 其结果如表 3。钢材 1/4 处横向退火组织都均

表 2 试验钢材夹杂物/级
Table 2 Inclusions in test steel products /rating

工艺	A(硫化物)		B(氧化物)		C(硅酸盐)		D(点状氧化物)	
	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗
1	0.5	0	1.0	0.5	0.5	0	1.0	0.5
2	0.5	0	1.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0
3	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	0	1.0	0.5
4	1.0	0.5	2.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0

表 3 试验钢 $\Phi 96$ mm 材共晶碳化物不均匀度和碳化物颗粒尺寸

Table 3 Non-uniformity of eutectic carbides and size of carbide particle in $\Phi 96$ mm bar of test steel

工艺	共晶碳化物不均匀度/级		碳化物颗粒尺寸/ μm
	1/4D	边缘 6~8 mm	
1	5.5	3	8
2	5.5	3.5	13.5
3	5.5	3	11
4	6	3	12.5

注: D- 钢材直径。

匀细小,正常高速钢的退火组织应为球状珠光体 + 一次碳化物,其碳化物颗粒尺寸见表 3。

2.3 钢材的淬火组织及硬度

热处理试验采用盐浴淬火,从表 4 可以看出,微量的铌和稀土元素加入后对淬回火硬度及红硬性没有明显影响,但对淬火晶粒度有明显的影响。加入 0.05% Nb 和 0.10% Nb 后,分别使淬火晶粒度细 0.5 级和 1 级。

表 4 试验钢的淬火晶粒度、回火硬度和 600 °C 4 h 红硬性
Table 4 Quenched grain rating, tempered hardness and red hardness of test steel at 600 °C for 4 h

工艺	淬火温度/ °C	晶粒度/ 级	回火工艺	回火程度	HRC 硬度值	
					回火后	600 °C 4 h 红硬性
1	1 215	9.5	550 °C 1 h × 3	1	65.5	62.2
					65.7	62.3
2	1 215	10	550 °C 1 h × 3	1	65.6	62.1
					65.8	62.3
3	1 215	10.5	550 °C 1 h × 3	1	65.2	62.2
					65.4	62.1
4	1 215	10	550 °C 1 h × 3	1	65.8	62.2
					65.3	62.0

3 刀具的应用

使用单位用 $\Phi 96$ mm 圆钢经改锻加工成 240 mm 剃齿刀,做切削寿命对比实验表明,没有微合金化的材料加工的刀具平均切削 8 000 件,微合金化后材料加工的刀具平均加工工件 10 000 件,平均寿命提高 20% 以上;比 A-M2 钢加工的刀具使用寿命提高 15%。原刀具主要失效形式为崩刃,改进后刀具主要失效形式

为磨损,说明微合金化后改善了刀具的韧性。

4 结果分析与讨论

稀土在钢中的应用早已被实践证明,稀土元素在钢中有脱氧去气,脱硫,改变夹杂物形态,使晶界净化,细化铸态组织等作用。高速钢中加入微量稀土可以提高钢的热塑性^[1]。

析出的 NbC 长大有限,不会发生显著的质点粗化^[2,3],因此,NbC 质点将提供类似传统的正火钢或渗碳钢种中的晶界钉扎作用,用来保证细晶显微组织^[4]。从淬火试验结果可以看出,M2 钢中添加 0.05% ~ 0.10% Nb 可以细化晶粒 0.5 ~ 1.0 级;同样的硬度由于晶粒细因而有更好的韧性,或者在达到相同的晶粒度时,含铌钢可以采用更高的温度淬火。这样就会溶解更多的碳化物,因而使钢材具备更佳的红硬性。

采用快锻机 + 5 t 锤 + 精锻机成材工艺,有效提高锻透性,使得内部碳化物充分破碎,不仅保证了内外部组织均匀,还保证成材率。

从试验结果可以看出,微量的铌和稀土元素加入后对淬回火硬度及红硬性没有明显影响。

添加微量合金元素对钢的成本略有提高。钢中加入 0.10% Nb 和 0.10% 的混合稀土,铌收得率 98%,混合稀土收得率 50%。混合稀土的价格与钢材价基本持平;而加入的铌铁每吨增加 500 元人民币,但与改善钢材性能相比,增加这点成本是值得的。

5 结论

(1) TGM2 高速钢经电弧炉冶炼,LF + VD + ESR 三次精炼结合微合金化,再经快锻、精锻开坯、成材,工艺先进,质量稳定可靠。经微合金化后刀具的切削寿命明显提高。

(2) 加铌及稀土微合金化后,对材料的宏观组织、微观组织、淬回火硬度及红硬性没有明显影响,但使淬火晶粒细化,提高了材料的韧性。

参考文献

- 蒋志强,冯锡兰,符寒光. 稀土对高碳高速钢组织和性能的影响. 航空材料学报,2007,27(1):6
- 付俊岩. Nb 微合金化和含铌钢的发展及技术进步. 钢铁,2005,40(8):1
- Franz Jeglitseh. 铌在工具钢与硬质合金中的应用. 张敏译. 微合金化技术,2005,5(1):1
- 张永,马党参,刘建华,等. Nb 含量对 W3Mo2Cr4V(Nb) 高速钢组织和力学性能的影响. 特殊钢,2007,28(3):44

雷利军(1963-),男,工学硕士,高级工程师,1991 年河北工业大学毕业,工模具钢研究生产。

收稿日期:2009-05-28