

碳化物堆积对钨钼系高速钢性能的影响

秦 茶¹ 于旭光¹ 吴立志² 郎英翠² 许昌玲¹ 王 红²

(1 石家庄铁道学院材料科学与工程分院, 石家庄 050043; 2 河北冶金科技股份有限公司, 石家庄 050031)

摘 要 研究了高速钢 W6Mo5Cr4V2 (M2) 和 W9Mo3Cr4V (W9) 中的碳化物堆积程度对钢的力学性能和加工性能的影响。结果表明, 随着钢中碳化物堆积程度的增加, M2 和 W9 钢的硬度、抗拉强度和屈服强度增加, 冲击韧性、抗弯强度和冷拔性能降低; 碳化物堆积程度对高速钢淬回火硬度和红硬性影响较小。

关键词 碳化物堆积 高速钢 力学性能 加工性能

Effect of Carbides Pile-up on Properties of Tungsten Molybdenum High Speed Steel Series

Qin Cha¹, Yu Xuguang¹, Wu Lizhi², Lang Yingcui², Xu Changling¹ and Wang Hong²

(1 School of Materials Science and Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043; 2 Hebei Metallurgy Science and Technology Co Ltd, Shijiazhuang 050031)

Abstract The effect of carbides pile-up degree in high speed steels W6Mo5Cr4V2 (M2) and W9Mo3Cr4V (W9) on mechanical properties and workability of steels has been studied. Results showed that with increasing carbides pile-up degree in steels, the hardness, tensile and yield strength of steel M2 and W9 increased, but the impact toughness and flexural strength and cold drawing ability of steel decreased. The effect of carbides pile-up degree on red hardness and hardness of quenched and tempered high speed steels was minor.

Material Index Carbides Pile-up, High Speed Steel, Mechanical Properties, Workability

近年来, 国内外对高速钢中的大颗粒碳化物研究较多, 研究表明, 大颗粒碳化物是高速钢韧性降低, 磨削性能降低的重要原因^[1-6]。初生的 MC 型碳化物是高速钢中大颗粒碳化物的主要来源之一^[7,8], 碳化物是一把双刃剑, 一方面初始碳化物数量越多, 高速钢的耐磨性越好, 另一方面多数疲劳破坏起源于碳化物。但近期对高速钢质量中存在的碳化物堆积、粘连现象较少研究^[9]。本文主要研究了横向碳化物堆积对高速钢的拉伸、弯曲、抗冲击、冷拔和热扭轧等性能的影响。

1 试验内容及方法

1.1 试验材料

试验所用材料为 W6Mo5Cr4V2 (M2) Φ 18 mm 圆材、W6Mo5Cr4V2 Φ 8 mm 盘条和 W9Mo3Cr4V (W9) Φ 18 mm 圆材(表 1)。分别选取同一退火炉次的圆材, 检查横向碳化物分布情况, 由于没有现成

的碳化物堆积等级标准, 根据碳化物分布情况暂定为三级。碳化物均匀地分散分布为 1 级; 几颗碳化物堆在一起, 但碳化物界限基本清晰为 2 级; 碳化物外形不规则, 界限不清晰为 3 级(图 1)。大量的试验证明, 高速钢退火不当是造成碳化物堆积的主要原因。

1.2 试样制备

拉伸试样按上述碳化物堆积等级界定标准各级别取 3 支试样, 所有试样须经无心磨加工, 去掉表皮, 以消除试样表层对结果的影响。按要求制成 Φ 15 mm \times 230 mm 拉伸试样, 状态为退火态。

冲击试样对退火态圆材磨去表层, 制成 10.5 mm \times 10.5 mm \times 55 mm 试样, 然后进行 1 180 $^{\circ}$ C 2 min 淬火 + 550 $^{\circ}$ C 1 h 回火 3 次处理, 精磨加工成 10 mm \times 10 mm \times 55 mm 无缺口冲击试样。

弯曲试样尺寸为 Φ 13 mm \times 230 mm, 淬回火工艺及加工方法同冲击试样。

2 实验结果

2.1 碳化物堆积对钢力学性能、淬回火硬度及红硬性的影响

表 2、表 3 试验结果表明, 碳化物堆积使 W9 材退火硬度增加 2.56%, 抗拉强度增加 1.26%, 伸长

表 1 试验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of test Steels /%

钢号	C	Si	Mn	P	S	W	Mo	Cr	V
M2	0.86	0.31	0.34	0.018	0.009	5.75	4.65	3.96	1.77
W9	0.82	0.30	0.32	0.020	0.008	8.80	2.98	4.20	1.49

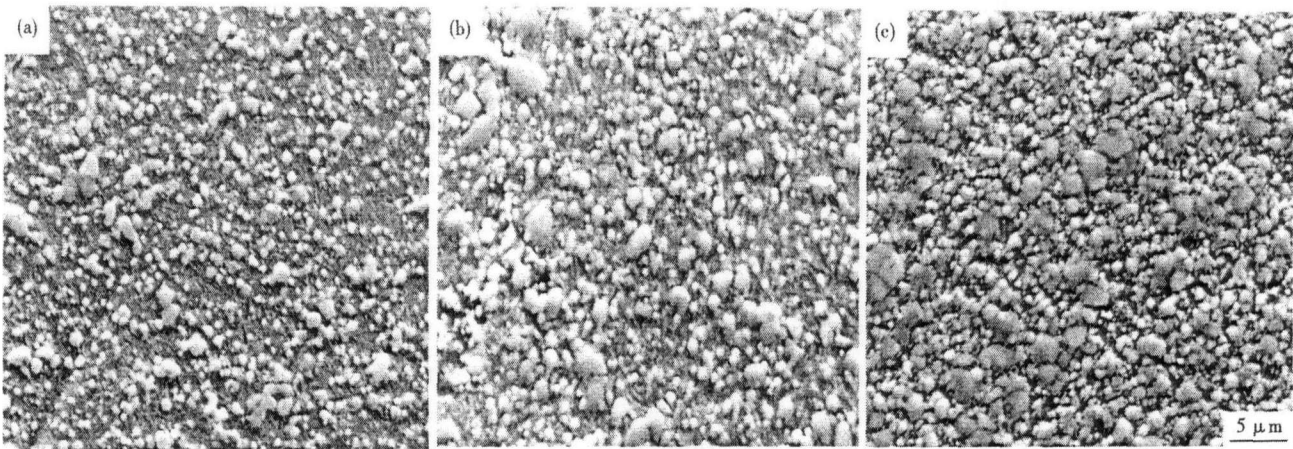


图 1 高速钢碳化物堆积度级别:(a) 1 级;(b) 2 级;(c) 3 级,SEM

Fig. 1 Rating of carbides pile-up degree of high speed steels: (a) rating 1; (b) rating 2; (c) rating 3, SEM

表 2 W9 圆材退火硬度、拉伸、冲击、弯曲性能、红硬性和淬回火硬度

Table 2 Examination results of hardness, tensile, impact toughness and flexural properties, red hardness and quenched-tempered hardness of steel W9

碳化物堆积 级别/级	硬度值 (HB)	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 / %	断面收缩率 ψ /%	冲击韧性/ ($J \cdot cm^{-2}$)	淬回火态弯 曲强度/MPa	红硬性 (HRC)	淬回火硬度 (HRC)
1	234	407.5	792.5	7.0	6.0	46.3	3 470	63.1	65.5
2	234	410.0	795.0	6.5	5.0	44.2	3 143	62.5	65.0
3	240	412.5	802.5	6.0	4.5	37.7	3 260	62.6	65.0

表 3 M2 圆材退火硬度、拉伸、冲击、弯曲性能、红硬性和淬回火硬度

Table 3 Examination results of hardness, tensile, impact toughness and flexural properties, red hardness and quenched-tempered hardness of steel M2

碳化物堆积 级别/级	硬度值 (HB)	屈服强度 $\sigma_{0.2}$ /MPa	抗拉强度 σ_b /MPa	伸长率 δ_5 / %	断面收缩率 ψ /%	冲击韧性/ ($J \cdot cm^{-2}$)	淬回火态弯 曲强度/MPa	红硬性 (HRC)	淬回火硬度 (HRC)
1	234	386.68	763.33	19.67	39	43.67	3 843	62.2	64.5
2	234	393.33	778.33	18.17	34	40.00	3 853	62.8	64.5
3	240	391.67	776.67	16.17	33	39.33	3 780	62.2	64.7

率降低 14.3%，断面收缩率降低 25% 左右；碳化物堆积使 M2 材退火硬度增加 2.56%，抗拉强度增加 1.75%，伸长率降低 1.78%，断面收缩率降低 15.38% 左右。

本试验主要考虑的是退火态存在碳化物堆积的试样，经正常淬、回火处理后，研究其组织对冲击韧性和抗弯性能的影响程度。对每一级别试验结果取平均值。试验结果可得，碳化物堆积使 W9、M2 圆材抗弯强度分别降低 6.05% 和 1.65%，W9、M2 高速钢冲击韧性分别降低 18.57% 和 9.94%。

对同一批次、同一炉批号 W9、M2 圆材，采用 1 180 °C 2 min + 580 °C 2 min 盐浴分级淬火，550 °C 1 h 盐浴回火 3 次，测定其硬度值；红硬性的测定采用将经上述淬回火后试样再进行 600 °C 4 h 一次回火，然后测其室温硬度。同一级别取 3 支试样，对每一级别试验结果取平均值，所得试验数据如表 2、表 3 所示。试验结果表明，碳化物堆积对淬回火硬度和红硬性的影响不大。

2.2 碳化物堆积对拉拔性能的影响

取 7 支 M2 高速钢 $\Phi 8$ mm 盘条做拉拔试验，试验前按碳化物分布情况进行分类，然后观察拉拔效果，结果如表 4 所示。

由表 4 结果看出，在硬度和表面质量相近的情况下，碳化物分布优劣影响后续的拔丝工序。当碳化物堆积较轻时，冷拔加工可顺利进行；而当碳化物外形不规则时，容易造成断头或开裂。另外，根据用

表 4 碳化物堆积对 M2 钢冷加工工艺性能的影响

Table 4 Effect of carbides pile-up degree on cold drawing properties of steel M2

盘条编号	碳化物堆积 级别/级	盘条表面 情况	硬度值 (HB)	拉拔情况
1	3	有轻微脱碳	239	拉拔断裂
2	2	有轻微脱碳	234	顺利通过
3	3	有轻微脱碳	239	拉拔断裂
4	3	有轻微脱碳	234	拉拔断裂
5	2	有轻微脱碳	224	顺利通过
6	3	有轻微脱碳	234	顺利通过
7	2	有轻微脱碳	229	顺利通过

户反映,在用一批冷拉钢丝生产钻头时,轧裂率达40%,对反馈回试样分析发现有碳化物堆积现象。综合以上情况,碳化物堆积严重影响高速钢的冷加工性能和后续的工具加工。

3 结果分析与讨论

碳化物堆积影响高速钢的力学和工艺性能,其机理为设在铁素体边界上有一厚度为 c_0 的碳化物,在外力 σ 作用下,碳化物界面前的铁素体中将形成一个位错塞积群,推动位错运动的有效切应力为 $(\tau - \tau_i)$, τ_i 为晶格阻力, τ 为 σ 在滑移面上的切应力分量。由于在塞积头前端将造成拉应力集中,在该应力作用下将使碳化物开裂。

对于裂纹形核所控制的断裂,若满足下式,则裂纹一旦形成,就会立即扩展至断裂。

$$(\tau_c - \tau_i) \geq \left[\frac{4Er_p}{\pi(1-\nu^2)d} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中: ν -泊松比; r_p -铁素体的比表面能与碳化物的比表面能之和; E -弹性模量; d -晶粒直径。

对于裂纹扩展所控制的断裂,碳化物中形成裂纹之后,还需经过裂纹扩展阶段,裂纹才能通过相邻铁素体。类似柯垂尔模型的推导,可以得到裂纹扩展所控制的断裂判据:

$$\sigma_f \geq \left[\frac{4Er_p}{\pi(1-\nu^2)c_0} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中: σ_f -断裂应力; c_0 -碳化物片层厚度。可以看出, c_0 愈大, σ_f 愈低。一般来说, d 愈小, c_0 愈小。

从上述裂纹形成模型可以看出,裂纹一般均在有界面存在的地方形成,如晶界、相界、孪晶界等。因为这些地方容易造成位错塞积,试验结果表明,裂纹经

常在晶界、第二相粒子与基体界面等地方首先形成。

碳化物堆积使得碳化物与基体的相界面增大,形成裂纹的几率增大,同时碳化物堆积使得碳化物对碳化物堆积处的基体的割裂作用加剧,从而影响高速钢的力学性能。这就是为什么碳化物堆积严重时,钢的各项性能降低的原因。在高倍扫描电镜下,高速钢断裂表面上暴露的碳化物颗粒表明基体与碳化物界面容易分离,裂纹扩展时优先通过碳化物密集区,因此裂纹优先在碳化物带状堆积区扩展,表明碳化物-碳化物界面,碳化物-基体界面或者碳化物颗粒之间狭窄的基体都是裂纹的有利通道,裂纹沿以上通道扩展比穿过基体消耗能量少。这与文献[10]的观点是一致的。即应力较低时在碳化物带状堆积区产生显微裂纹,并随载荷的增加显微裂纹由一个颗粒亚临界扩展到邻近的下一个颗粒。

关于碳化物堆积对硬度和红硬性影响不大,分析认为退火态碳化物堆积主要由于二次析出造成,在随后淬火处理中,碳化物发生溶解,使得基体碳含量和合金元素含量趋于正常组织,因而可得正常的硬度和红硬性,不影响刀具的耐磨性。淬火时碳化物固溶量受轧制和退火工艺影响不大,而主要受淬火温度的影响^[10]。但是严重碳化物堆积时,会影响高速钢的回火充分性,从而影响刀具的使用寿命。

4 结论

(1)碳化物堆积使钨钼系高速钢的退火硬度和抗拉强度提高,伸长率和断面收缩率降低。

(2)碳化物堆积严重影响高速钢的冷拔、冷轧性能以及后续的工具机械加工性能,容易出现拉拔断裂等缺陷。碳化物堆积对高速钢的淬回火硬度和红硬性影响不大。

参考文献

- 郭耕三. 高速钢及其热处理. 北京:机械工业出版社,1985
- Leskovsek V, Ule B. Improved Vacuum Heat-treatment for Fine-blanking Tools From High-speed Steel M2. *Materials Processing Technology*, 1998, 82:89
- Bergman F, Hedenqvist P, Hogmark S. The Influence of Primary Carbides and Test Parameters on Abrasive and Erosive Wear of Selected PM High Speed Steels. *Tribology International*, 1997, 30(3):183
- Shaikh Q A, Coleman D S, Bates J, et al. Wear and Microstructural Studies of Alloy Sintered Steels. *Mater. Sci. Technol.* 1991, 7:728
- Dunlop G L, Wang Rong. Development of Microstructure during Heat Treatment of High Speed Steels. *Proc. Int. HSS Conf. Leoben*, 26 March 1990, Klampfer Gmbh, Wienz 33
- El-Rakayby A M, Mills B. On the Microstructure and Mechanical Properties of High Speed Steels. *J. Mater. Sci.* 1988, 23:4340
- Karagoz S, Fischmeister H F. The Relative Contribution of Primary Carbides and Secondary Hardening to the Performance of High Speed Steels. *Proc. First Int. HSS Conf. Leoben*, 26 March 1990, Klampfer Gmbh, Wienz 41
- El-Rakayby A M, Mills B. The Role of Primary Carbides in the Wear of High Speed Steels. *Wear* 1974, 28:69
- 许 达. 近期高速钢中存在的一些质量问题. *中国冶金*, 2006, 16(3):16
- Karagoz S, Fibchmeiste H. 热加工变形和奥氏体化温度对高速钢显微组织和韧性的影响. 吴立志译. *河北冶金*, 1994(3):42

秦 茶(1966-),女,高级工程师,1987年河北科技大学毕业,从事金属材料工艺、组织、性能研究。

收稿日期:2007-11-13