

文章编号: 1005-3026(2003)09-0817-03

# 回火温度对新型冷作模具钢 显微组织和性能的影响

孙荣耀, 茹红强, 赵 媛, 刘春明  
(东北大学 材料与冶金学院, 辽宁 沈阳 110004)

**摘 要:** 由于莱氏体钢中含有大量的碳化物, 常用的 AISI D<sub>2</sub> 冷作磨具钢具有很高的耐磨性, 但由此而易于崩裂且不易锻造及线切割加工。为此, 调整其成分和热处理工艺而开发了一种新型模具钢(实验钢)。采用金相显微镜、硬度计及冲击实验机研究了回火温度对该新型钢显微组织硬度和冲击韧性的影响。结果表明, 在 1 050 ℃ 淬火及 500 ℃ 回火处理时, 实验钢与 D<sub>2</sub> 钢相比所含碳化物较少且颗粒尺寸较小, 而且在各种回火温度下其冲击韧性和硬度均高于 D<sub>2</sub> 钢。例如经 500 ℃ 回火处理, 其硬度与冲击韧性分别为 HRC64 和 45 J/cm<sup>2</sup>。由于排除了其中的粗大又不均匀的碳化物, 实验钢组织大为改善, 由此而消除了在使用中的崩裂失效现象并延长了使用寿命。

**关键词:** 冷作模具钢; 冲击韧性; 硬度; 显微组织; 回火温度; 莱氏体  
中图分类号: TG 142 文献标识码: A

目前, 世界上通用的冷作模具钢是 AISI D<sub>2</sub> 钢。由于 D<sub>2</sub> 钢为莱氏体钢, 含有大量的碳化物, 因而具有优秀的耐磨性。但恰恰是由于大量的碳化物, 造成 D<sub>2</sub> 钢本身存在冲击韧性低的缺陷。这些碳化物由于是莱氏体中的碳化物, 很难通过热处理细化, 所以一般均粗大且不均匀, 这种组织造成 D<sub>2</sub> 钢在使用时容易发生脆性崩裂而失效<sup>[1, 2]</sup>。此外由于大量的莱氏体碳化物, 使 D<sub>2</sub> 钢锻造性和线切割加工性下降。

为了改变冷作模具钢的这种缺陷, 提高模具的使用寿命, 在剖析 D<sub>2</sub> 钢的基础上, 针对 D<sub>2</sub> 钢的优点及不足之处, 在广泛调查研究的基础上<sup>[3-10]</sup>, 经过调整成分和热处理工艺, 开发了一种新型的冷作模具钢。新型冷作模具钢和 D<sub>2</sub> 钢相比, 具有更高的冲击韧性、硬度、耐磨性和较好的加工性。本文详细研究了回火温度对新型冷作模具钢显微组织和性能的影响, 对我国新型冷作模具钢的生产和应用有一定的指导意义。

## 1 合金设计

以 D<sub>2</sub> 钢和 Cr12MoV 钢为参照钢, 并针对 D<sub>2</sub> 钢的特点进行合金设计。考虑到 D<sub>2</sub> 钢崩裂失效的主要原因是大量粗大且不均匀的莱氏体碳化物所

致, 因此, 以降低钢的耐磨性为基准, 适当降低钢中碳化物的量, 并调整合金元素的含量。同时寻找合适的热处理工艺, 强化钢的基体, 提高基体硬度。上述两方面的构思, 是解决问题的根本。

根据图 1 所示的 Fe-Cr-C 三元相图配制不同成分的合金, 经过优化试验找到一种比 D<sub>2</sub> 钢更优良的新钢种(以下称为实验钢)。实验钢的化学成分(质量分数, %)为: C 1.0, Cr 7.0, W 1.5, Mo 1.2。

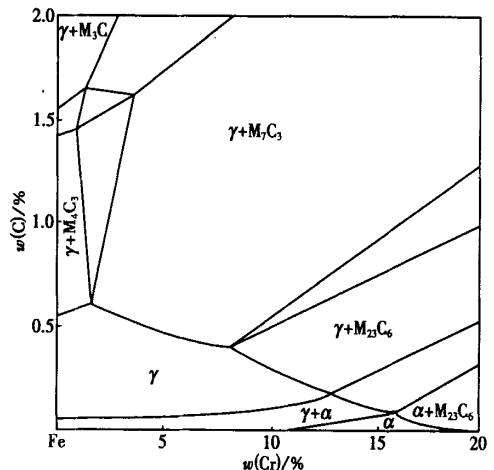


图 1 Fe-Cr-C 三元相图 1 000 ℃ 等温截面  
Fig. 1 Isothermal section of Fe-Cr-C ternary phase diagram at 1 000 ℃

收稿日期: 2003-04-07

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1998061509)。

作者简介: 孙荣耀(1944-), 男, 辽宁沈阳人, 东北大学副教授; 刘春明(1961-), 男, 陕西渭南人, 东北大学教授, 博士生导师。

## 2 实验过程和方法

### 2.1 实验钢的冶炼及锻造

利用容量为 50 kg 的高频电炉冶炼实验钢,同时在相同条件下冶炼对比钢 D<sub>2</sub>。铸锭后,锻成直径为 50 mm 的坯料,锻造预热温度为 700 °C,加热温度为 1060~1130 °C,终锻温度为 900 °C。

### 2.2 实验钢的热处理

#### (1) 球化退火

实验钢的球化退火工艺为: (850 ± 10) °C 加热,保温 2 h 后降至 (750 ± 10) °C,再保温 4 h 后随炉冷至 200 °C 以下。

#### (2) 淬火加热温度

实验钢的淬火工艺为: 850 °C 预热后升至 (1050 ± 5) °C,在此温度下保温后油淬。选择 1050

°C,是由于在晶粒未粗化前提下,尽量溶解碳化物。回火则选择了不同的温度。

### 2.3 显微组织观察和性能测试

采用 Venam et-2 型光学金相显微镜、HR-150A 洛氏硬度计和冲击试验机 294/147J,对实验钢在不同回火温度后的显微组织、硬度和冲击韧性进行了观察和测试。对 D<sub>2</sub> 钢也进行了同样的试验。

## 3 实验结果与分析

### 3.1 实验钢和 D<sub>2</sub> 钢的显微组织

实验钢与 D<sub>2</sub> 钢在不同状态下的显微组织如图 2 所示。由图 2 可明显地看出,不论基体组织还是碳化物组织,实验钢均优于 D<sub>2</sub> 钢,这将保证实验钢的各项性能均高于 D<sub>2</sub> 钢。

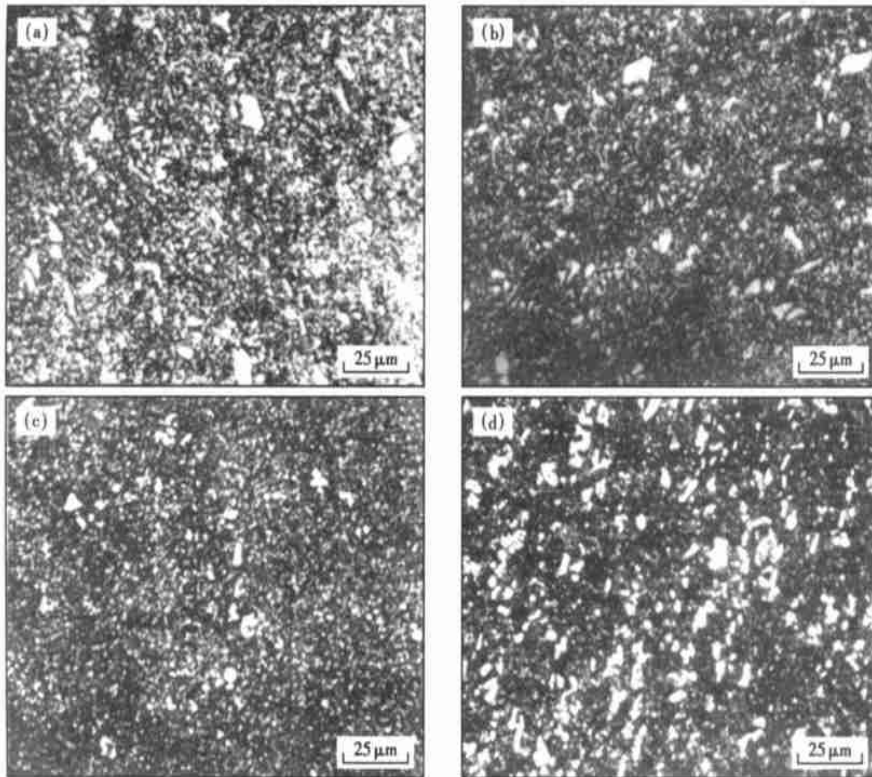


图 2 实验钢与 D<sub>2</sub> 钢的显微组织

Fig. 2 Microstructure of test steel and D<sub>2</sub> steel

(a) —实验钢退火; (b) —D<sub>2</sub> 钢退火; (c) —实验钢 500 °C 回火; (d) —D<sub>2</sub> 钢 500 °C 回火。

碳化物组织是十分重要的。为此对碳化物的质量分数和尺寸进行了测定,结果如表 1 所示。由表 1 可知实验钢的碳化物含量和尺寸均小于 D<sub>2</sub> 钢。

表 1 实验钢与 D<sub>2</sub> 钢碳化物质量分数和尺寸的比较

Table 1 Carbide content and particle size of test steel in comparison with D<sub>2</sub> steel

钢的种类	质量分数/%	平均尺寸/μm	最大尺寸/μm
实验钢	5.18	1.5	5.36
D <sub>2</sub> 钢	15.6	2.4	10.0

### 3.2 回火温度对硬度的影响

实验钢与 D<sub>2</sub> 钢的回火硬度分布如图 3 所示。从图可以看出,实验钢在各回火温度下的硬度均高于 D<sub>2</sub> 钢,特别是 500 °C 回火时其硬度高达 HRC64,且在此温度下可消除残留奥氏体,对提高模具的使用寿命十分有利。这也是确定 500 °C 回火为最佳热处理工艺的根据。

### 3.3 回火温度对冲击韧性的影响

实验钢与 D<sub>2</sub> 钢的冲击韧性如图 4 所示。实验

钢的冲击韧性明显高于 D<sub>2</sub> 钢, 500 °C 回火后的冲击韧性值达到 45 J/cm<sup>2</sup>。实验钢的优良韧性是其较低的碳化物含量和碳化物尺寸显著细化的必然结果。

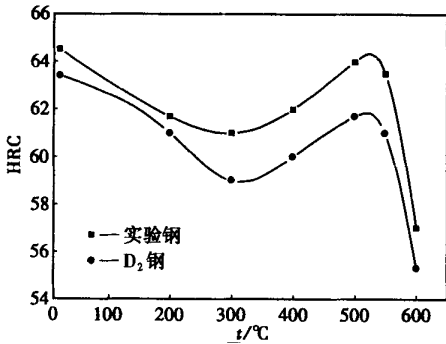


图 3 实验钢与 D<sub>2</sub> 钢淬火后不同温度回火后的硬度

Fig. 3 Hardness of test steel and D<sub>2</sub> steel after quenched and tempered at various temperatures

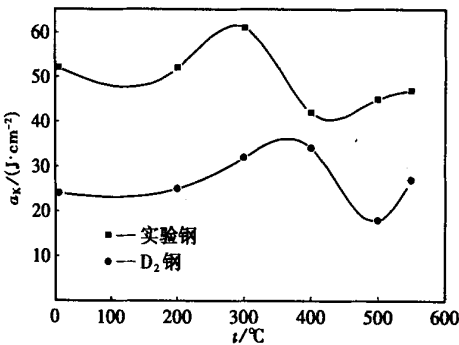


图 4 实验钢与 D<sub>2</sub> 钢淬火后不同温度回火后的冲击韧性值

Fig. 4 Impact toughness  $\alpha_K$  of test steel and D<sub>2</sub> steel after quenched and tempered at various temperatures

## 4 结 论

(1) 实验钢消除了 D<sub>2</sub> 钢中的粗大碳化物, 比 D<sub>2</sub> 钢的组织更为优良, 将保证模具在使用中消除崩裂失效现象, 为提高使用寿命提供了保证。

(2) 实验钢最佳热处理工艺为 1 050 °C 淬火, 500 °C 回火。

(3) 实验钢经最佳热处理后, 硬度为 HRC64, 比 D<sub>2</sub> 钢有较大提高, 这将使其耐磨性有较大提高。

(4) 实验钢经最佳热处理后, 其冲击韧性比 D<sub>2</sub> 钢有明显提高, 这将保证模具使用寿命的提高。

## 参考文献:

- [1] 孙荣耀. D<sub>2</sub> 冷作模具的真空处理[J]. 东北工学院学报, 1991, 2(4): 361- 365.  
(Sun R Y. Effective vacuum heat-treatment for die steel D<sub>2</sub> [J]. *Journal of Northeast University of Technology*, 1991, 2(4): 361- 365.)
- [2] Kheirandish S H, Kharrazi Y H K, Mirdamadi S H. Mechanical properties of M<sub>7</sub> high speed cast steel modified with niobium [J]. *ISIJ International*, 1997, 37(7): 721- 725.
- [3] Frost T H, Majewski T, Krauss G. Impact fracture behavior of high chromium molybdenum white cast irons [J]. *AFS Transactions*, 1986, 94(1): 297- 322.
- [4] 孙培祯. 新型高强韧低合金冷模具钢 6CrNiMnSiMoV 的研制及应用[J]. 钢铁, 1990, 25(11): 47- 51.  
(Sun P Z. Development and application of a new low alloy cold die steel 6CrNiMnSiMoV [J]. *Iron and Steel*, 1990, 25(11): 47- 51.)
- [5] 姜祖贻. 模具钢[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988. 53- 77.  
(Jiang Z G. *Die steel* [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1988. 53- 77.)
- [6] 北京电机工程学会. 工模具材料应用手册[M]. 北京: 轻工业出版社, 1985. 324- 333.  
(Beijing Electric Engine Engineering Institution. *Tool and die application manual* [M]. Beijing: Light Industry Press, 1985. 324- 333.)
- [7] 伊藤一夫. 高 G 高 Cr 系冷间工具钢の 入特性に及ぼす G-Cr の影响[J]. 电 制钢, 1982, 53(4): 256- 264.  
(Itoh K. The effect of C and Cr on the quench behavior of high G-high Cr cold work die steels [J]. *Electric Furnace Steel*, 1982, 53(4): 256- 264.)
- [8] 松田幸纪, 须藤兴一, 常陆美朝. 1G-1Si-8Cr-2Mo 系冷间工具钢的高温 戻し硬さに及ぼす C および Cr 量的影响[J]. 电 制钢, 1989, 60(4): 311- 323.  
(Yukinori M, Koh-ichi S, Yoshitomo H. The tempered hardness at higher temperature and secondary hardening behavior in 1G-1Si-8Cr-2Mo cold work die steel [J]. *Electric Furnace Steel*, 1989, 60(4): 311- 323.)
- [9] 伊藤一夫. 高 G 高 Cr 系冷间工具钢的高温 戻し硬さに及ぼす C および Cr 量的影响[J]. 电 制钢, 1984, 55(4): 248- 256.  
(Itoh K. The effect of C and Cr on the hardness of high G-high Cr cold work die steel tempered at higher temperature [J]. *Electric Furnace Steel*, 1984, 55(4): 248- 256.)
- [10] Shelton P W, Wronski A S. Cracking in M<sub>2</sub> high speed steel [J]. *Metal Science*, 1983, 17(11): 533- 539.

# Effects of Tempering Temperature on Microstructure and Properties of a Newly Developed Cold-working Die Steel

SUN Rong-yao, RU Hong-qiang, ZHAO Yuan, LIU Chun-ming

(School of Materials & Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: SUN Rong-yao, associate professor, E-mail: ruhq@163.net)

**Abstract:** A new cold-working die steel was developed through adjusting alloying components and heat-treatment process to improve the conventional steel AISI D<sub>2</sub> of which a lot of carbides in ledeburite offer very high wearability in combination with low impact toughness which is easy to lead D<sub>2</sub> to break up in use and hard of forging and linear cutting. The effects of tempering temperature on the microstructure, hardness and impact toughness of the new steel (test steel) were investigated by means of metallographical microscope, hardnessmeter and impact tester. The results show that it has advantages of less carbides and smaller particle size if quenched at 1 050 °C and tempered at 500 °C and its impact toughness and hardness are both higher than D<sub>2</sub> at various tempering temperatures, e. g. HRC60 and 4.5 × 10<sup>5</sup> J/m<sup>2</sup> at 500 °C respectively. With coarse, big and uneven carbides removed, its structure is improved greatly, thus eliminating the break-up inactivation and prolonging the service life.

**Key words:** cold-working die steel; impact toughness; hardness; microstructure; temper temperature; ledeburite

(Received April 7, 2003)