

# 高韧性高耐磨性冷作模具钢的开发与研究

王 延 风

**摘要:** 本文将平衡碳理论加以推广,并根据此理论在  $Cr_{12}MoV$  钢的基础上,调整合金元素含量,加入适量稀土,设计出11种不同成分比的合金钢,通过冶炼、热处理、性能实验等的综合研究,找出了最佳合金元素含量。

实验结果表明:符合“平衡碳”理论的新型合金钢,其共晶碳化物细小,与  $Cr_{12}MoV$  比较,硬度变化不大,但韧性和耐磨性显著增高。

## 一、引 言

对于一些冷作模具钢,如高速剪刀用钢,要求条件十分苛刻,国内的剪刀钢、 $Cr_{12}MoV$  钢,失效形式主要是崩刃、疲劳磨损。所以,迫切要求开发,同时满足高耐磨性、高韧性、高可靠性的工具钢。本课题组对  $Cr_{12}MoV$  钢,调整合金元素含量,并加入适量稀土等,研制出了新的用于高速剪刀的冷作模具钢。最终装机考核表明,技术指标得到显著提高。作者利用推广了的“平衡碳”方法,对新材料成分比加以调整,进一步研究了合金元素及稀土对钢的强韧性和耐磨性的综合影响。找出碳及合金元素的最佳含量,使强韧性和耐磨性达到最佳匹配。

## 二、高韧性和高耐磨性钢的设计

为了在成分和性能间寻求定量关系,科学地设计了成分比,在冶炼和热处理时精确地控制基体成分及第二相成分。作者根据在高碳高铬系列(包括新材料)钢的碳化物主要是  $M_7C_3$  (M主要为Cr,还有Fe、V等),可能还有少量  $M_4C_3$  (M主要是V还有Cr等),  $M_{23}C_6$  (M主要是Cr还有Fe、V、Mo等),  $Mo_2C$  等。将G. Stern提出的配碳关系式<sup>[1]</sup>修正为:

$$C_p = 0.063Mo + 0.09Cr + 0.2V$$

上式中各系数等于碳和该元素形成的碳化物的重量比。

钢中碳化物形成元素增多,  $C_p$  增大。碳过饱和度  $A = C_s / C_p$  ( $C_s$  为钢中的实际含碳量) 表示钢中碳与合金元素形成碳化物时所需的碳的比例。 $A$  值适当,可提高钢的室温硬度及耐磨性, $A$  值过高韧性下降, $A$  值过低则硬度不足。适当增加  $C_p$ , 降低  $A$  值,可提高钢的韧性和耐磨性。

根据“平衡碳”理论,对  $\text{Cr}_{12}\text{MoV}$  钢,适当减少Cr含量,并适当增加碳化物形成元素钒可使C<sub>s</sub>稍有提高。确定适当的含碳量使A值下降不多,使马氏体基体中碳的含量减少,减少量由合金元素补充,以获得亚结构为位错的板条马氏体<sup>[2]</sup>,同时减少了粗大共晶碳化物  $\text{M}_7\text{C}_3$  的数量,提高了钢的强韧性。又由于形成了一些硬度高的  $\text{V}_4\text{C}_3$ ,故耐磨性仍保持较高水平。

此外,加入稀土提高了冶金质量<sup>[3]</sup>,进行适当的热处理以获得良好的组织结构,也是提高钢的韧性和耐磨性的途径。

### 三、实验工作与实验结果分析

本实验对11种具有不同成分的钢进行冶炼、金属型铸造、锻造、热处理等,制作出无缺口冲击样 ( $10 \times 10 \times 55\text{mm}$ ) 磨损样 ( $10 \times 10 \times 20\text{mm}$ ) 及金相样。无缺口冲击实验与磨损实验结果如表1:

表1 机械性能测试结果

炉号	回火硬度	冲击韧性	耐磨性	说明
	( $\text{H}_{\text{RC}}$ )	$\alpha_{\text{K}}$ ( $\text{kgm}/\text{cm}^2$ )	$10/\text{ow}$ ( $\text{mg}^{-1}$ )	
1*	58	2.8	2.8	1*和2*, 3*和4*, 5*和6*, 7*和8*每成分基本相同,只是2*,4*,6*,8*未加稀土。10*为纯 $\text{Cr}_{12}\text{MoV}$ ,9*,11*含Mo量有所增加,从1*到10*含V量是依次降低的。热处理采用 $1000^\circ\text{C} \times 10$ 分淬火, $260^\circ\text{C} \times 2\text{h}$ 回火。
2*	58	2.14	2.3	
3*	57	2.54	3.0	
4*	59	1.35	2.4	
5*	59	3.35	3.8	
6*	58.5	1.60	2.3	
7*	58.5	2.0	2.2	
8*	58.5	1.66	1.9	
9*	59.5	2.9	2.0	
10*	60	1.36	2.0	
11*	60	1.63	2.3	

由表可知,V含量过高或过低,冲击韧性 $\alpha_{\text{K}}$ 均有所下降,只有在中间范围即:  $V = 1.5\% \sim 1.8\%$  时  $\alpha_{\text{K}}$  较高。如5\*钢,  $V = 1.67\%$ ,冲击韧性和耐磨性都最高,可作为最佳成分。这一规律可用平衡碳理论加以解释。

从表中还可以看出,加入适量稀土的钢比不加稀土的钢冲击韧性显著提高。

冲击断口扫描电镜观察结果表明,在未加入稀土的钢中发现存在着大量的粗大夹杂物,如4\*钢,见照片1。在裂纹源处存在着较大的带锐角的长条形夹杂物。经能谱、波谱成分分析,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  及铝硅酸盐等的复合夹杂物,可能是造成4\*钢冲击韧性下降的原因之一。如果加入适量稀土的钢,如 $\alpha_{\text{K}}$ 值较高的5\*钢,夹杂物数量减少,并几乎都呈球形。经能谱、波谱成分分析及夹杂物金相鉴定,这些球形夹杂物往往是由铬铁矿、 $\text{ReAlO}_3$ ,硅酸盐及少量的稀土硫化物复合而成。可见,钢中加入适量稀土可对夹杂物的数量、形状及类型加以控制,提高钢的性能。

组织检测结果表明:新材料的共晶碳化物细小,组织与 $\text{Cr}_{12}\text{MoV}$ 相类似,照片2为5\*钢

1000℃×10分钟的淬火组织。

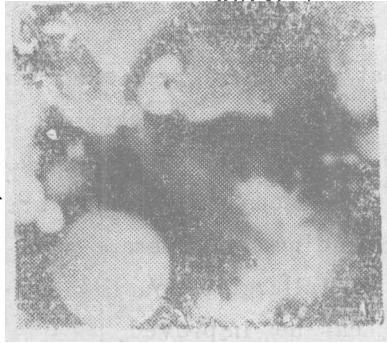


图1 C为长条形夹杂物

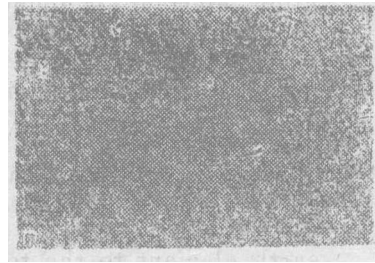


图2 500×4%硝酸酒精溶液侵蚀

#### 四、结 论

(1) 根据“平衡碳”理论设计的新材料，C<sub>0</sub>及A值适中，经适当热处理后，组织结构良好，共晶碳化物细小，与Cr<sub>12</sub>MoV钢相比，硬度略有降低，但韧性和耐磨性得到显著提高。

(2) 适当的加入稀土可对钢的夹杂物和形状加以控制，使钢净化，提高冶金质量，从而提高钢的性能。

(3) 推广的“平衡碳”理论，研究高韧性、高耐磨性工具钢的成分配比有一定参考价值，但理论还不完善，有待于深入研究。

#### 参 考 文 献

- [1] G. Steven, Trans. Quart. ASM, 57(1964), 925.
- [2] S. K. Pas, Met. Trans., 1(1970), P325.
- [3] 余宗森, 稀土在钢铁中的应用, 冶金工业出版社, 1987.
- [4] 左腾忠雄等, 《模具材料及其热处理》, 机械工业出版社, 1982.
- [5] 玄学奎, 硕士学位论文. 1988.

### The Development of High Toughness and High Wear Resistant Tool Steels

Wang Yanfeng

#### Abstract

In this paper, the author extends the theory of equilibrium carbon. According to this theory, eleven kinds of new alloy steels are designed for improving Cr<sub>12</sub>MoV steel by adjusting carbon and alloy element content in Cr<sub>12</sub>MoV steel and adding approp-

eriate rare-earth element. By the synthetic study of smelting, heat treatment and mechanical inspection, the optimum content of alloy element is found out.

The experimental results show that, the new tool steels in acord with equilibrium carbon theory have fine eutectic carbides. Compared with Cr<sub>12</sub>MoV steel, the new tool steels have no obvious variation of the hardness, but the toughness and ware resistant are improved remarkably. By adding appropriate rare-earth element to the tool steels, good metallurgical quality can be obtained and mechanical property can be improved.