

# 高速钢的红硬性

戚正风<sup>1</sup>,冯屈原<sup>1</sup>,吴立志<sup>2</sup>,谢志彬<sup>2</sup>

(1. 大连铁道学院 材料系,辽宁 大连 116028;2. 河北冶金科技股份有限公司,河北 石家庄 050031)

**摘要:**测定了6种高速钢的红硬性,结果发现高速钢的红硬性主要决定于淬火加热时溶入奥氏体中的碳化物的量,Co只能提高二次硬化效应,但不能提高红硬性。600℃以上,M42的红硬性低于M2Si-4及M2Al。

**关键词:**高速钢;红硬性

**中图分类号:** TG142.45;TG13.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254-6051(2001)12-0008-03

## Red Hardness of High Speed Steel

QI Zheng-feng<sup>1</sup>, FENG Qu-yuan<sup>1</sup>, WU Li-zhi<sup>2</sup>, XIE Zhi-bin<sup>2</sup>

(1. Department of Materials, Dalian Railway Institute, Dalian Liaoning 116028, China;

2. Hebei Metallurgical Science and Technology CO. LTD, Shijiazhuang Hebei 050031, China)

**Abstract:** In this paper, the red hardness of six different high speed steel M42, Co3N, M2Al, M2Si-4, M2 and M2Si-3 have been measured. It was found, that the red hardness of H. S. S. depends mainly on the quantity of the carbide, which is dissolved into austenite in austenization and cobalt can increase secondary hardening effect only, but can not improve the red hardness. The red hardness of M42 is lower than that of M2Si-4 and M2Al, when the temperature is higher than 600℃.

**Key words:** high speed steel; red hardness

### 1 引言

高速钢较低合金工具钢有好得多的红硬性,可将切削速度提高到50m/min以上,故称高速切削钢。为保证高速钢的红硬性,必须加入W、Mo、Cr、V等碳化物形成元素。为进一步提高红硬性,还加入了价格昂贵的Co。世界闻名的M42即Co-Mo高速钢,价格是M2的5倍。尽管M42的 $\sigma_b$ 及 $\sigma_K$ 等性能并不高,但为了追求高硬度与高红硬性,工厂不惜以5倍的高价购买M42制作刀具。但遗憾的是往往结果并不理想,M42不如M2Al的报导时有所闻,在立铣刀的对比试验中M42的切削性能也仅相当于碳含量稍高的通用高速钢W9<sup>[1]</sup>。原因何在,有待弄清。另外,我们新发展的用以取代M42的M2Si-3及取代M2Al的M2Si-4<sup>[2]</sup>在600℃以上的红硬性究竟如何也是大家十分关心的。

提高淬火温度,使更多的碳化物溶入奥氏体中可以提高红硬性,这已是公认的。但随淬火温度提高,奥氏体晶粒将长大、性能将变坏,故提高淬火温度有一限度。为尽可能提高淬火温度,细化碳化物是主要途径,M2Si系列高速钢就是按此指导思想研制的。

为了弄清几种常用高速钢的红硬性,我们查阅了大量资料。但遗憾的是查得的数据十分分散,矛盾百出,无法从中得出明确结论。究其原因,不难理解。因影响红硬性的因素很多,其中包括钢料成分的波动、原始组织的差异、淬火温度的选择、硬度测量的误差等等。因此对同一种钢而言,就可能在一个相当大的范围内波动。而各种钢的红硬性的差异本来就

不大,因此,对两种钢来说,在实际生产中就很难分出高低。

为弄清上述问题,我们取6种常用的高速钢在完全相同的条件下进行了系统试验。

### 2 试验用钢及试验方法

选用了M42、Co3N、M2Al、M2Si-4、M2及M2Si-3 6种常用钢进行对比试验。6种钢均为电渣重熔钢,均为 $\phi 20$ mm圆棒,车加工成( $\phi 17 \sim \phi 20$ ) $\times 8$ mm试样(为防止搞混,除打号外,还用不同外径区别)。在盐浴炉中淬火加热,每种钢取两个淬火温度,加热时间按15s/mm计算。淬火加热时,试样离液面距离保持固定。为防止分级淬火时有碳化物析出,全部采用油淬。在各种钢的常用回火温度下回火。观察淬火组织,测出淬火回火后硬度,最后分组在小箱式炉中加热到600、625及650℃测红硬性。每组3个试样,加热到指定温度后保温2h,快冷至室温,测硬度,每个试样测2~3次取3个试样的平均值。再重新加热到指定温度保温2h后快冷至室温,测总保温时间为4h的硬度,此即通常所说的红硬性。第3次再加热到指定温度,保温4h,快冷至室温,测出总保温8h的硬度,绘出HRC-曲线,计算软化过程激活能Q,最后对全部数据进行综合分析。

为保证测量硬度的准确,每次测量时均用标准块对硬度计进行校对,以确保测量值的波动范围 $< \pm 0.2$ HRC。

表1是6种设计用钢的平衡碳量及碳饱和度A。

表2是6种试验用钢的平衡碳量及碳饱和度A。

### 3 试验结果

试验所得硬度数据及奥氏体晶粒度等见表3。

根据表3数据绘出HRC-曲线,可以认为600~650℃之间的软化过程是扩散过程,诸如回火析出相与基体的共格破坏,碳化物的转变以及碳化物聚集长大等都是扩散过程。假定在此温度范围内软化机制没有发生根本性改变,只是由于温度升高,扩散系数增加而使软化速度加快,据此软化到相

作者简介:戚正风(1930.7-),男,浙江余姚人,教授,研究方向为工模具钢的热处理、钢的强韧化和复合强韧化、表面工程、钢的加热转变,曾获第一届全国科技大会奖,国家发明4等奖,铁道部、辽宁省和大连市优秀教师称号等多项奖励。联系电话:0411-4608521  
收稿日期:2001-04-21

表 1 几种钢的平衡碳量与碳饱和度(质量分数, %)

Tab. 1 Equilibrium carbon content and carbon saturability of six kinds of H. S. S.

钢号	C (%)	平衡碳量 (%)	碳饱和度 A
M42	1.05 ~ 1.15	0.95 ~ 21.155	0.91 ~ 1.21
Co3N	1.00 ~ 1.10	0.96 ~ 1.17	0.85 ~ 1.146
M2Al	1.05 ~ 1.20	1.008 ~ 1.23	0.85 ~ 1.19
M2Si-4	1.00 ~ 1.10	1.008 ~ 1.23	0.81 ~ 1.09
M2	0.80 ~ 0.90	1.008 ~ 1.23	0.65 ~ 0.89
M2Si-3	0.90 ~ 1.00	1.008 ~ 1.23	0.73 ~ 0.99

1. 平衡碳量按下式计算,  $C = 0.055Cr + 0.033W + 0.059Mo + 0.2V$

2. 碳饱和度  $A = \frac{\text{实际碳量}}{\text{平衡碳量}}$

同硬度所需的时间 与温度  $T$  之间的关系为

$$\ln \tau = K_{\text{exp}} \left( - \frac{Q}{RT} \right)$$

表 2 试验用钢平衡碳量与碳饱和度(质量分数, %)

Tab. 2 Equilibrium carbon content and carbon saturability of six kinds of experimental H. S. S.

钢号	C (%)	平衡碳量 (%)	碳饱和度 A
M42	1.11	1.022	1.086
Co3N	1.05	1.012	1.038
M2Al	1.12	1.117	1.003
M2Si-4	1.05	1.067	0.984
M2	0.88	1.094	0.804
M2Si-3	0.95	1.152	0.825

表 3 6 种钢淬火回火工艺及各种状态下的硬度值(HRC)

Tab. 3 Heat treatment processes and hardness in different state of six kinds of experimental H. S. S.

钢号	淬火(油) 回火工艺	淬火硬度	淬火回火硬度	600			625			650			奥氏体晶粒度	最大碳化物尺寸/ $\mu\text{m}$	碳化物溶解情况
				2h	4h	8h	2h	4h	8h	2h	4h	8h			
M42	1170 + 540 x1h x3 次	66.2	69.3	66.3	65.4	64.0	64.3	61.1	57.8	58.4	55.6	52.1	11	14	不充分
	1190 + 540 x1h x3 次	64.5	69.6	66.8	65.9	64.8	64.9	62.1	59.1	58.7	56.4	53.0	10	14	正常
	1210 + 540 x1h x4 次	63.0	68.3	66.5	66.2	65.3	65.8	64.1	61.2	58.8	58.5	55.2	11	14	不充分
Co3N	1230 + 540 x1h x4 次	60.7	68.5	66.6	66.3	65.8	65.9	64.6	61.7	61.9	60.1	56.6	10	14	正常
	1220 + 550 x1h x4 次	63.8	67.4	65.5	64.5	64.2	64.6	63.2	61.4	60.9	59.3	56.0	10.5	12	正常
M2Al	1240 + 550 x1h x4 次	62.3	68.1	65.9	65.7	65.6	65.3	64.4	63.0	62.3	61.7	59.1	8~9.5	12	过多
	1220 + 550 x1h x4 次	64.4	67.0	65.0	64.8	64.1	63.9	62.9	59.7	60.3	57.2	53.0	11	6	不充分
M2Si-4	1240 + 550 x1h x4 次	61.8	67.8	65.5	65.2	64.5	64.6	63.2	61.8	61.5	59.2	56.5	10	6	不充分
	1220 + 550 x1h x3 次	试样淬火时,不慎掉入浴槽为避免淬火条件影响,故未补													
M42	1240 + 550 x1h x3 次	65.1	65.4	63.2	62.8	61.9	61.8	60.4	58.4	58.4	57.0	52.5	9	10	过多
	1220 + 550 x1h x3 次	65.3	65.4	62.7	62.0	61.1	61.5	60.0	57.2	56.7	53.9	51.6	11.5	6	不充分
M2Si-3	1240 + 550 x1h x3 次	62.8	66.5	64.5	63.8	63.0	62.6	61.2	58.7	59.5	57.4	54.0	10.5	6	不充分

式中  $Q$  为该扩散过程的激活能。

取自然对数可得:

$$\ln \tau = \ln K - \frac{Q}{RT}$$

按此式即可从 3 根不同温度的 HRC- 曲线计算出激活能  $Q$ 。

因由 HRC- 曲线量出的 值的微小误差即可对计算所得的  $Q$  值产生明显的影响,因此计算所得  $Q$  值精度不高。6 种钢两个不同淬火温度的  $Q$  值均在  $314 \times 10^3\text{J/mol}$  左右,无法据此判断马氏体成分对  $Q$  值的影响。但从文献[3]可知,碳在  $\gamma\text{-Fe}$  中的扩散激活能为  $84 \times 10^3\text{J/mol}$ ,  $\alpha\text{-Fe}$  中 Fe 的自扩散激活能为  $250 \times 10^3\text{J/mol}$ 。故可以认为软化过程既不受碳扩散所控制,也不受 Fe 自扩散所控制,而主要是受 W、Mo

等原子在  $\gamma\text{-Fe}$  相中的扩散所控制。但从表 3 数据可以看出成分对软化速度的影响。

## 4 讨论

### 4.1 Co 的作用

出乎意料,600 以上,Co 不仅不能提高红硬性,反使 M42 的硬度迅速下降,使 625 及 650 红硬性反而低于 M2Al 及 M2Si-4。与文献中数据相比,表 3 中 M42 的数据还略高于文献[4]中的数据,这表明本试验结果无误。看来 Co 的作用主要是提高二次硬化效应,对红硬性的影响可能不如碳。试验用 M42 的平衡碳量并不高,碳饱和度略高于 M2Al 及 M2Si-4(表 2)。经 1170 及 1190 淬火后硬度也不高,但经 540 回火后硬度均高于 69HRC,高出 M2Al 及 M2Si-4 约

2HRC,经 600 °C×4h 回火 M42 还能勉强保持这一优势。在某些情况下 M42 的切削性能优于 M2 及 M2Al,靠的就是 600 °C 以下较高的硬高。如成分偏下限,切削温度较高,价格昂贵的 M42 的切削性能很可能只有 W9 的水平。

因 Co3N 仅含 3 %Co,故二次硬化效果不如 M42,但 Co3N 含有 N,N 对红硬性的贡献可能与 C 同,故 Co3N 的红硬性优于 M42。但在 650 °C,仍低于较高温度淬火的 M2Al。

目前,钢厂为降低成本,有走下限的倾向,后果是降低了钢的平衡碳量,这就有可能降低硬度及红硬性。某厂在采用 Co3N 时曾因此一次损失 50 万元。

据此,一方面我们应破除对 Co 高速钢的迷信,另一方面也要求钢厂保证 Co 高速钢的质量。

#### 4.2 碳的作用

根据已有的资料及我们所得结果,高速钢的红硬性主要决定于淬火加热时溶入奥氏体的合金碳化物量。这既决定于钢的化学成分,也决定于淬火加热温度及保温时间。钢的平衡碳量及碳饱和度愈高,淬火加热温度愈高,保温时间愈长,溶入奥氏体的碳化物愈多,则淬火回火后的硬度及红硬性也愈高。由表 3 数据可见,试验用 M2Al 的平衡碳量最高,碳饱和度  $A > 1$ ,经较高温度淬火后具有最高的红硬性(表 3)。但随淬火温度提高,奥氏体晶粒将长大,性能将变坏。由表 2 可见,M2Al 经 1240 °C 淬火后,奥氏体晶粒度为 8~9.5 级,出现混晶,淬火温度已偏高。由此可见,为提高红硬性,必须同时提高平衡碳量及碳饱和度,但这将加重碳化物偏析及出现粗大碳化物使  $\sigma_{bb}$ 、 $\sigma_K$  等下降。故最好的解决办法仍是采用粉末高速钢及少无莱氏体高速钢。

#### 4.3 M2Si-4 钢与 M2Al 钢的对比

M2Si-4 钢与 M2Al 钢具有相同的平衡碳量,但 M2Si-4 钢的碳饱和度低于 M2Al 钢的(见表 1),故 M2Si-4 钢淬火回火后的硬度低于 M2Al 钢。但 Si 使碳化物变细,在碳化物总量相同的情况下可以增加碳化物颗粒数,因而可以更加有效地

阻止淬火加热时奥氏体晶粒的长大。故可在较高温度下加热使碳化物更充分溶入奥氏体中。由表 3 数据可见,M2Al 钢适宜的加热温度为 1220 °C,1240 °C 加热虽可获得更高的红硬性,但奥氏体晶粒已太大,而 M2Si-4 钢经 1240 °C 加热奥氏体晶粒度仍为 10 级,碳化物溶解尚不充分,淬回火后的硬度与红硬性已与 1220 °C 淬火的 M2Al 钢相同,其它性能则优于 M2Al<sup>[2]</sup>钢。由此可见,M2Si-4 钢完全可以取代 M2Al 钢,甚至 M42 钢。

#### 4.4 通用高速钢的红硬性

通用高速钢 M2 的平衡碳量虽与 M2Si-4 钢及 M2Al 钢相同,但因碳饱和度低,故红硬性也低,如用含碳较高的 M2Si-3 钢取代,由于碳饱和度提高,不仅可以提高淬火回火后硬度,还可提高红硬性(见表 3)。

### 5 结论

(1) 高速钢的红硬性主要取决于淬火加热时溶入奥氏体中的碳化物的量,合金元素对红硬性的影响还有待进一步研究。

(2) Co 能显著提高二次硬化效应,也有可能提高高温硬度,但不能提高红硬性,M42 钢在 600 °C 以上的红硬性低于 M2Al 钢及 M2Si-4 钢。

(3) M2Si-4 钢的碳含量虽低于 M2Al 钢,但在最佳温度下淬火,其红硬性与 M2Al 钢相同,而其它性能均优于 M2Al 钢,故可用 M2Si-4 钢取代 M2Al 钢。

(4) 用碳饱和度较高的 M2Si-3 钢取代 M2 钢,可以在不降低其它性能的前提下提高淬火回火后的硬度与红硬性。

#### 参考文献:

- [1] 哈尔滨第二工具厂. 立铣刀用材的选择试验总结[J]. 大连特殊钢,1986,(1):56.
- [2] 戚正风. M2Si 系列高速钢[J]. 工具技术,2001,(5):22-24.
- [3] . 金属学物理基础[M]. 北京:科学出版社,1958:279.
- [4] 大连钢厂. M42 高速钢冶金质量与性能研究[C]. 七五攻关项目专题报告鉴定材料,1990:1-3.

## 激光熔覆钴基合金的凝固组织特征及性能研究

陈浩<sup>1</sup>,刘传云<sup>1</sup>,潘春旭<sup>1</sup>,潘邻<sup>2</sup>,陶锡麒<sup>2</sup>,夏春怀<sup>2</sup>

(1. 武汉理工大学材料科学与工程学院材料加工工程系,武汉 430063;2. 武汉材料保护研究所,武汉 430033)

**摘要:**利用电子显微技术和力学性能测试,研究了 Q235 低碳钢基体上激光熔覆 Co 基合金的凝固组织及其形成过程,讨论了熔覆层合金成分和显微硬度变化规律。结果表明,基体和熔覆层之间形成了良好的冶金结合;熔覆区的组织不均匀,随着距界面距离的增加,由胞状晶和逆热流方向向外延生长的粗大树枝晶变为较细小的树枝晶,最终过渡到表层的细小树枝晶和等轴晶,熔覆层断口以沿晶断裂为主,激光熔覆对合金成分的稀释作用小。

**关键词:**激光熔覆;钴基合金;凝固组织

中图分类号: TG156.99, TG146.1<sup>+</sup>6 文献标识码: A 文章编号: 0254-6051(2001)12-0010-04

### Study on Solidification Microstructure and Properties of Cobalt-based Alloy Laser Cladding Layer

CHEN Hao<sup>1</sup>, LIU Chuan-yun<sup>1</sup>, PAN Chun-xu<sup>1</sup>, PAN Lin<sup>2</sup>, TAO Xi-qi<sup>2</sup>, XIA Chun-huai<sup>2</sup>

**作者简介:**陈浩(1973.12-),男,河北平顶山人,博士生,讲师,研究方向为纳米材料研究、表面改性,已发表论文 6 篇。联系电话:027-86540090(O)

**基金项目:**交通部“跨世纪学术带头人”人才基金资助

**收稿日期:**2001-04-18