

文章编号:1007-6492(2001)04-0025-03

# 复合轧辊用高速钢的研究进展

关绍康,于新泉,王利国

(郑州大学材料工程学院 河南 郑州 450002)

**摘要:**论述了复合轧辊用高速钢材料的研究现状及存在的主要问题,重点介绍了离心铸造工艺、高碳高钒类型的成分设计及材料组织(包括碳化物和基体类型)的分析与控制的研究进展。目前国内外主要集中于复合轧辊用高速钢材料的成分和制备工艺方面的应用研究,而复合轧辊用高速钢材料的成分-工艺-组织-性能的内在变化规律还有待深入研究,以便于稳定化的工业生产,并开发出适合我国自身特点的新一代复合轧辊用高速钢材料。

**关键词:**复合轧辊;高速钢;组织;研究进展

中图分类号:TG 142.45 文献标识码:A

复合轧辊用高速钢材料具有硬度高、耐磨性好、红硬性高等优点,近年来,在将高速钢用于制造新一代轧辊方面取得了突破性进展<sup>[1~4]</sup>。该种轧辊用于热轧机成品机架上,其综合使用寿命可比原来传统用材料提高十倍以上<sup>[5]</sup>,国外有专家预言,目前被广泛采用的高铬铸铁复合轧辊,有可能在10年之内被高速钢复合轧辊取代<sup>[6,7]</sup>。当前正处于轧辊用高速钢材料的研制、开发和生产应用的热点阶段。本文论述了复合轧辊用高速钢材料的研究现状及存在的主要问题,认为今后的研究重点应放在建立成分-工艺-组织-性能的内在关系上,致力于解决国内工业生产中遇到的问题,早日开发出适合我国自身特点的新一代复合轧辊用高速钢材料。

## 1 复合轧辊用高速钢的生产制备特点

复合轧辊用高速钢材料的生产制备方法主要有以下几种:离心铸造法(CF)、连续浇注复合铸造法(CPC)、喷射沉积法(OSPREY)、热等静压法(HIP)、电渣重熔法(ESR)。

其中,采用离心铸造法<sup>[5]</sup>具有设备简单、成本低等优点,最适合应用于大批量工业生产。但由于高速钢材料中含有较多的钨、铬、钼、钒等合金元素,这些合金元素及其碳化物密度相差很大,采用离心铸造法时,容易产生偏析而严重影响高速钢

材料的质量,因此,离心铸造法对工艺参数的要求较高。改善偏析的主要方法有:采用合适的化学成分设计、控制工艺参数;采用变质处理及凝固过程中采用电磁搅拌等。90年代初,日本川崎制铁公司<sup>[6]</sup>及文献<sup>[8,9]</sup>采用加入铌的合金系而使得形成(V,Nb)C型复合碳化物改善了偏析。不过,由于离心铸造法具有的突出优点,通过合理地设计合金成分和工艺参数,生产出的高速钢材料可以满足大多数轧机的需要,因而在相当长的一段时间内仍将处于主导地位。

## 2 复合轧辊用高速钢的化学成分设计

### 2.1 高速钢合金元素的确定

高速钢材料中含有碳、钨、铬、钼、钒等多种合金元素。目前,国外主要采用高碳高钒(钒)类型的成分设计方案。但我国钨资源十分丰富,铬、钼、钒则相对短缺,有人建议国内采用“高钨低铬、钼、钒”的成分设计方法;另一方面,如果高速钢材料中不添加钨,会在后续的热处理过程中加剧氧化,造成脱碳。然而,当采用离心铸造法向合金液中添加钨以后,会产生偏析。高速钢中常见元素和碳化物的密度如表1所示。当前,关键是确定离心铸造法中合适的钨含量,并采用合适的工艺措施以消除偏析。另外,变质处理有益于改善碳化物的分布<sup>[10]</sup>。

收稿日期:2001-06-15;修订日期:2001-08-28

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(994040900)

作者简介:关绍康(1962-),男,河南省开封市人,郑州大学教授,博士,主要从事新型金属材料及工艺方面的研究。  
万方数据

表1 高速钢中常见碳化物和元素的密度<sup>[6]</sup>

Table 1 Densities of carbides and elements of high speed steel

碳化物及元素	密度/ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )	碳化物及元素	密度/ ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ )
W <sub>2</sub>	17200	W	19300
WC	15800	Mo	10200
Mo <sub>2</sub> C	9100	Nb	8600
NbC	7900	Fe	7900
VC	5900	Cr	7200
Fe <sub>3</sub> C	7200	V	6100

## 2.2 复合轧辊用高速钢化学成分

当前,复合轧辊用高速钢材料所采用的大致成分如表2所示。

## 3 复合轧辊用高速钢组织分析方法

复合轧辊用高速钢材料的组织比较复杂,对其显微组织分析一般有以下几种方法:①利用透射电镜作相结构分析;②利用扫描电镜作形貌特征和微区成分分析;③从钢中分离出碳化物,然后

作X射线衍射分析;④光学金相分析;⑤显微硬度分析。前三种方法复杂,而金相法是最简单、直观的方法。

金相法包括黑白金相法和彩色金相法。与黑白金相法相比,彩色金相法不仅可以透过大小、形状来区分组织,更重要的是可使不同的相组织呈现不同的颜色,从而大大提高相组织的鉴别能力,常被用来分析组织较为复杂的显微结构<sup>[14]</sup>。采用化学蚀刻法作彩色金相,不需要特殊的设备,操作简单,关键是试剂选择得当,注意观察试剂表面颜色变化。复合轧辊用高速钢材料组织的彩色金相的典型试剂有:①硫代硫酸钠 24 g,氯化镉 2~5 g,柠檬酸 3 g,水 10 ml;②盐酸(35%) 5~10 ml,酒精(95%) 100 ml,硒酸 1~3 ml;③氰化钾 3 g,氢氧化钠 10 g,水 100 ml。文献<sup>[14]</sup>采用了第③种试剂对用离心铸造法制备的复合轧辊用高速钢材料的组织作了分析,发现除MC型碳化物和基体未被显示外,M<sub>2</sub>C型碳化物呈黑色,M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>型碳化物和M<sub>6</sub>C型碳化物分别呈浅品红色和品红色。

表2 复合轧辊用高速钢材料成分的质量分数<sup>[2,11]</sup>

Table 2 Compositions of high speed steel of composite roll

$m(\text{C})$	$m(\text{Si})$	$m(\text{Cr})$	$m(\text{Mo})$	$m(\text{W})$	$m(\text{V})$	$m(\text{Co})$	$m(\text{Nb})$
2.0~4.0	-	5.0~20.0	2.0~15.0	-	4.0~6.0	-	1.0~2.0
1.5~2.5	-	2.0~10.0	2.0~10.0	-	2.0~10.0	-	-
1.10	<0.4	3.8	4.5	5.3	3.0	-	-
1.25	<0.4	4.5	5.5	6.5	4.5	-	-
1.7~2.0	0.7~1.0	3~15	2~6	2~8	-	0~5	-
2.0	-	4.0(6.0)	2.5	-	6	-	0(1.0)
1.9~2.0	-	5~7	3~4	3~4	5~6	-	-
1.6~2.0	0.3~1.0	4~8	4~6	1.5~2.5	3~5	-	0.5~1.5

## 4 复合轧辊用高速钢材料的组织特征

复合轧辊用高速钢材料的性能取决于其微观结构特征:①碳化物的种类、形状、体积分数及分布;②马氏体基体的性能特点;③晶粒尺寸大小。

复合轧辊用高速钢材料的微观结构与合金的设计、工艺条件有关。各种研究结果因成分和工艺条件相差较大,结论也往往不同。宫本善和的研究结果表明,凝固组织中除含MC型碳化物外,其它类型的碳化物主要是M<sub>2</sub>C、M<sub>6</sub>C和M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>型。文献<sup>[11]</sup>的研究表明,不同类型碳化物的形成取决于强碳化物形成元素。当含铬量较高时,组织中主要形成位于晶粒内部的MC型碳化物和沿晶界分布的M<sub>7</sub>C<sub>3</sub>型碳化物;而当钨和钼含量较高时,组织中主要形成位于晶粒内部的MC型碳化物和沿晶界分布的M<sub>2</sub>C型碳化物,对轧辊的整体硬度影响

最为关键的微观结构因素是位于晶界分布碳化物的种类及其分布。Joon Wood Park等人<sup>[12]</sup>认为,当材料中钒含量增加时,MC型碳化物增加,并且颗粒变得更加细小且弥散分布在晶粒内部;基体组织为混合着的片状马氏体和板条状马氏体。文献<sup>[13]</sup>认为,高碳高钒类型高速钢中,MC型碳化物的形态可以分为三类:一是在亚共晶中自奥氏体中析出的分散块状、条状及共晶析出的骨架状MC型碳化物;二是加钼后,自液态直接析出的孤立的大块状MC型碳化物;三是过共晶中析出的细小、弥散分布的MC型碳化物。另外,高速钢中还出现M<sub>2</sub>C/MC、MC/M<sub>6</sub>C型等复杂类型碳化物。

由于轧辊生产成本高,不太适合反复进行工业试验,因此,应加强对复合轧辊用高速钢材料的组织转变规律的研究,用现代信息手段建立相关模型,以便于稳定化的工业生产,并开发出适合我

国地域特点的新一代复合轧辊用高速钢材料。

## 5 复合轧辊用高速钢材料的热处理工艺

复合轧辊用高速钢材料的组织与性能与其热处理工艺有很大的关系。由于其与传统的高速工具钢在成分、工艺条件等方面存在着较大的差别,所以,复合轧辊用高速钢材料的热处理工艺也不能照搬传统高速工具钢的工艺。文献[15]认为,高碳高钒类高速钢淬火温度较传统工具高速钢的要低,为950℃~1100℃。目前,这方面的报道很少,需结合具体的成分设计和工艺条件,加强这方面的系统研究。

## 6 结束语

综上所述,为使我国高速钢复合轧辊及其所用材料早日赶上国际先进水平,应用于工业化生产,今后应将研究重点放在以下几方面:①成分设计的研究,重点研究钨对高速钢组织及性能的影响;②碳化物的形成及控制,重点研究变质处理的影响;③热处理工艺的研究;④组织转变机理及用现代信息技术建立相关模型的研究,以节约成本,缩短研究周期。

## 参考文献:

- [1] 邵素云,王刚,宋威.谈高速钢轧辊[J].轧钢,1996(2):37.
- [2] 刘海峰,刘耀辉.高速钢复合轧辊的研究现状及进展[J].钢铁研究学报,1999,11(5):67.
- [3] SANO Y, HATTORI T, HAGA M. Characteristics of high carbon high speed steel rolls for hot strip mill[J]. ISIJ, 1992 33(11):1194.

- [4] HASHIMOTO M, OTOMO S, YOSHIDA K, et al. Development of high - performance roll by continuous pouring process for cladding[J]. ISIJ, 1992 33(11):1202.
- [5] 宫开令,董雅军,高春利.高速钢复合轧辊的研制及生产[J].钢铁,1998,33(3):67.
- [6] 符寒光,刘金海,殷作虎.国外高速钢复合轧辊的研究进展[J].铸造,1999(2):44-47.
- [7] GRAHAM H, JOHN M. Roll 2000[J]. Ironmaking and Steelmaking, 1999, 26(3):151.
- [8] TOMOYA K. Recent activities in research of casting[J]. Kawasaki Steel Giho, 1999 31(1):68-70.
- [9] KENJI I, YOSHIHIRO K, TOMAYA K. Development of centrifugal cast roll with high wear resistance for finishing stands of hot strip mill[J]. Kawasaki Steel Giho, 1996, 28(2):89-94.
- [10] 郭国超.镶铸比对高碳高合金钢和45#钢结合界面的影响[D].长春:吉林工业大学材料科学与工程学院,1998.
- [11] HWANG Keun Chul, LEE Sunghak, LEE Hui Choon. Effects of alloying elements on microstructure and fracture properties of cast high speed steel rolls[J]. Materials Science and Engineering A, 1998, 254:282-295.
- [12] JOON Wook Park, LEE Hui Choon, LEE Sunghak. Composition, microstructure, hardness and wear properties of high speed steel rolls[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 1999, 30:399.
- [13] 葛辽海,刘海峰,刘耀辉,等.高碳高钒系高速钢耐磨性研究[J].电子显微学报,2000,19(4):549-551.
- [14] 刘瑞琪.彩色金相图谱[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1996.
- [15] 王金国,周宏,苏源德.轧辊用高碳高钒高速钢系合金的热处理[J].金属热处理,2000(3):22-24.

## Progress of Research on High Speed Steel of Compound Roll

GUAN Shao - kang, YU Xin - quan, WANG Li - guo

(College of Materials Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In this paper, the present status and main problems of high speed steel of compound roll are reviewed. The advance of research of centrifugal method, composition design of the high speed steel containing high carbon and high vanadium, and microstructure including carbides and the matrix analysis and control are chiefly recommended. The study of high speed steel of compound roll is now mostly focused on composition and manufacturing of techniques at home and abroad. However, in order to produce steadily in industry and exploit the new high speed steel of compound roll suited for the characteristic of our own country, the inherent transformation rules among composition, techniques, structure and performance should be lucubrate.

**Key words:** compound roll; high speed steel; structure; research development