

喷射成形复合轧辊的显微组织^①

孙德生[†] 徐寒冰^{††} 章靖国[†] 吴建生^{††}

[†] (上海钢铁研究所, 上海 200940)

^{††} (上海交通大学国家教育部高温材料及高温测试开放实验室, 上海 200030)

摘 要 用喷射成形法制造 Cr_{12}MoV 钢- 碳钢复合轧辊, 检验其表面沉积层显微组织, 以研究喷射成形工艺的影响。通过金相、透射电镜、电子探针和 X 射线衍射等方法检查了 Cr_{12}MoV 钢的组织特征。研究表明, 喷射成形 Cr_{12}MoV 钢的显微组织与传统方法加工的不同。喷射成形材料的晶粒为均匀、细小的等轴晶, 平均粒度约为 $18\ \mu\text{m}$, 组织致密, 无宏观偏析。在马氏体基体上, 观察到相当数量的残余奥氏体。钢中碳化物的类型未变, 仍为 Cr_7C_3 碳化物, 但是, 它的形貌、尺寸和分布方式均发生变化, 致使显微组织的均匀程度明显提高。

关键词 喷射成形 复合轧辊 沉积层 显微组织

中图法分类号 TG174.44

近几年来, 国外已开始采用喷射成形技术制造轧辊或复合轧辊, 并将其用于实际生产。用该法制造的轧辊, 其显微组织有明显改善, 克服了传统方法生产中出现的成分严重偏析和碳化物粗大的倾向。当然, 它还有其它许多优点, 因而在国外获得迅速的推广与应用^[1-5]。本文用喷射成形法制造 Cr_{12}MoV 钢- 碳钢复合轧辊, 检验其表面沉积层的显微组织, 以研究喷射成形工艺对材料显微组织的影响。

1 实验方法

复合轧辊由芯棒基体和表面沉积层两部分组成, 芯棒采用普通碳钢, 而沉积层材料采用 Cr_{12}MoV 钢。它的化学成分是(%) : C 1.45~1.70; Si, Mn ≤ 0.40 ; Cr 11.00~12.50; Mo 0.40~0.60; V 0.15~0.30; 余 Fe。

将 Cr_{12}MoV 钢母材在中频感应炉中重熔后, 由坩埚底部直接注入雾化舱进行喷射成形操作。装入料为 5 kg 左右, 钢液过热度约 $120\ ^\circ\text{C}$, 雾化气体为氮气, 雾化压力为 1.8

MPa。芯棒先加热到一定温度, 然后喷射成形制取坯件。采用金相、透射电镜、电子探针和 X 射线衍射等方法检验沉积层的显微组织。为便于比较, 同时列出铸态组织的分析结果。

2 实验结果

2.1 显微组织

图 1 为两种不同状态的显微组织。可见 Cr_{12}MoV 钢的铸态组织由马氏体和共晶碳化物组成^[6, 7]; 共晶碳化物相当粗大, 并且沿晶界分布形成明显网状结构。而喷射成形态组织由均匀细小的等轴晶构成; 碳化物为细小的颗粒状或条状, 沿晶界分布, 但不形成连续网状。

2.2 X 射线衍射分析

X 射线衍射分析表明(见图 2), 喷射成形组织中除了马氏体和碳化物之外, 还存在相当数量的残余奥氏体。其碳化物类型与铸态一样, 也是 Cr_7C_3 碳化物。

2.3 透射电镜分析

图 3~5 为喷射成形组织的 TEM 像。图 3

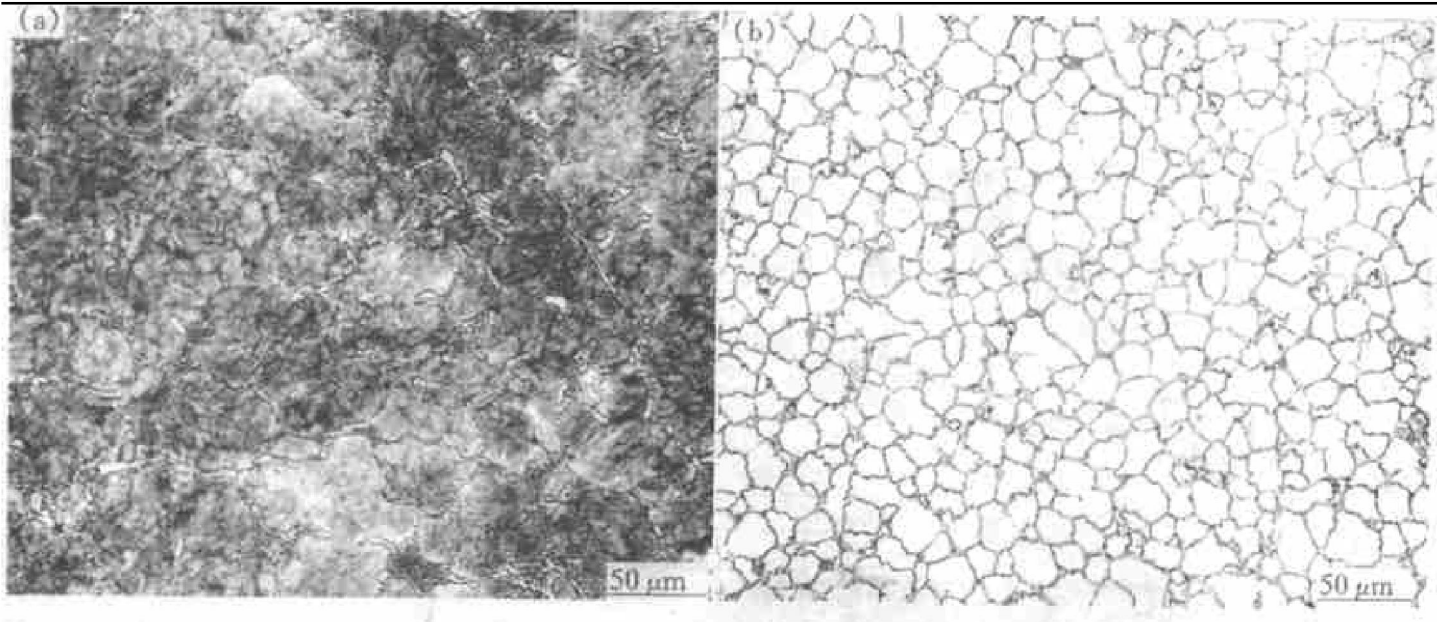


图 1 Cr₁₂MoV 钢的显微组织

Fig. 1 Metallographs of Cr₁₂MoV steel

(a) —As cast; (b) —As spray formed

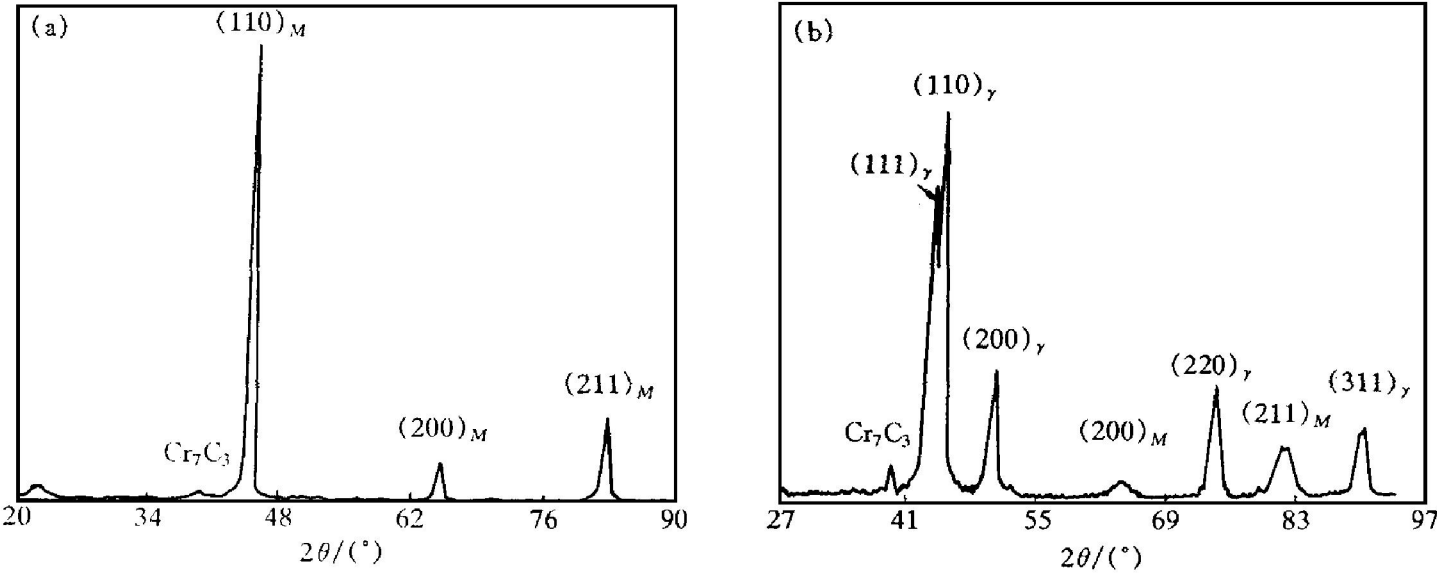


图 2 Cr₁₂MoV 钢的 X 射线衍射谱

Fig. 2 XRD patterns of Cr₁₂MoV steel

(a) —As cast; (b) —As spray formed

为奥氏体和马氏体的形貌及其电子衍射谱，图 4 和图 5 分别为颗粒状和条状 Cr₇C₃ 碳化物 TEM 像。

2.4 Cr 元素面分布图

用电子探针测定了钢中主要合金元素 Cr, Mo, V 的面分布。因为 Mo, V 的分布在喷射成形前后变化不大，图 6 仅列出 Cr 元素的面分布。

3 讨论

Cr₁₂MoV 钢中沉积层的显微组织由等轴晶和细小的碳化物颗粒组成。等轴晶均匀、细小，平均粒度约为 18 μm。喷射成形后，基体中出现较多的残余奥氏体。这与喷射成形过程较高的冷却速率有关，较高的冷却速率抑制了奥

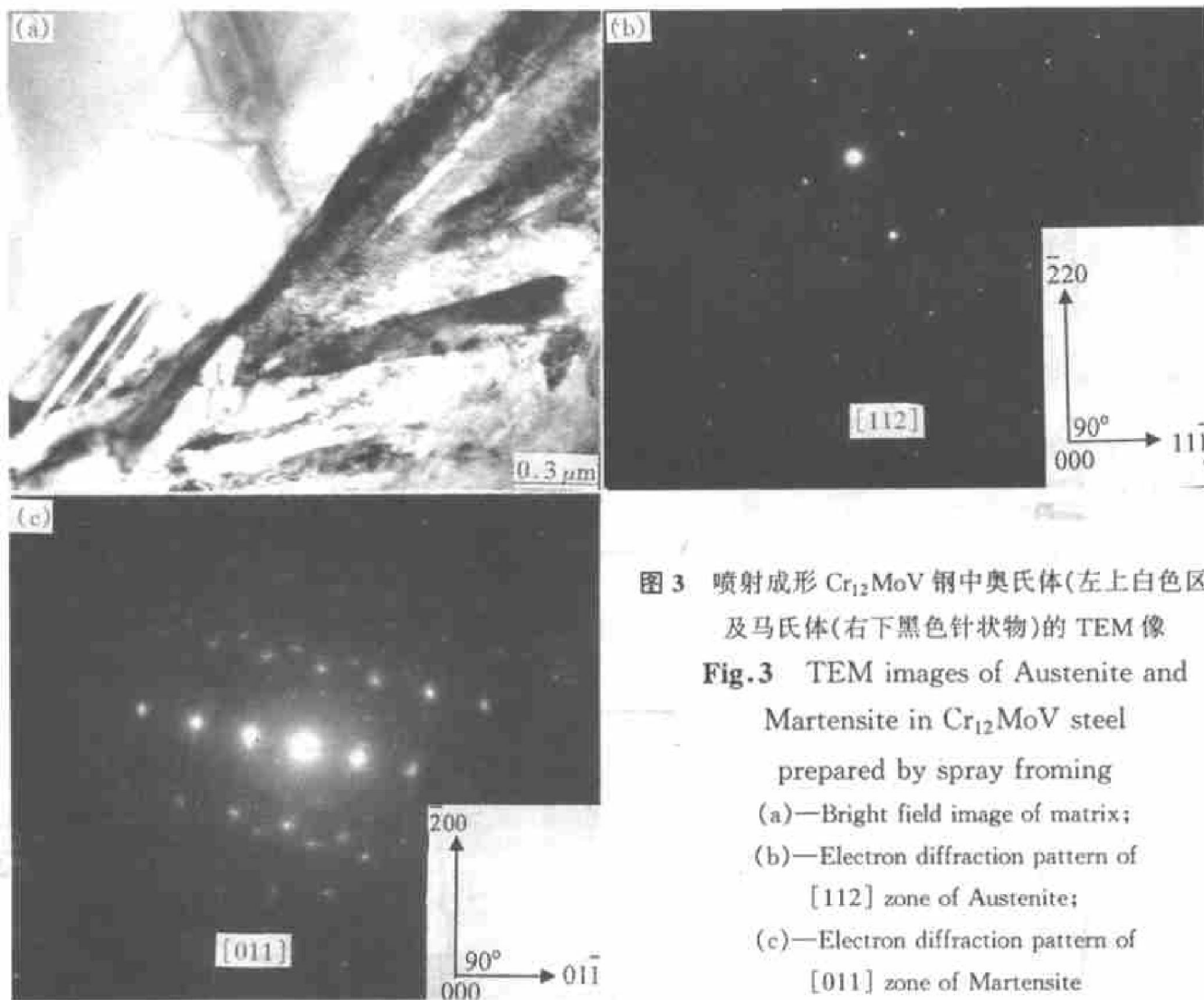


图3 喷射成形 Cr_{12}MoV 钢中奥氏体(左上白色区域)及马氏体(右下黑色针状物)的 TEM 像

Fig.3 TEM images of Austenite and Martensite in Cr_{12}MoV steel prepared by spray forming
 (a)—Bright field image of matrix;
 (b)—Electron diffraction pattern of $[112]$ zone of Austenite;
 (c)—Electron diffraction pattern of $[011]$ zone of Martensite

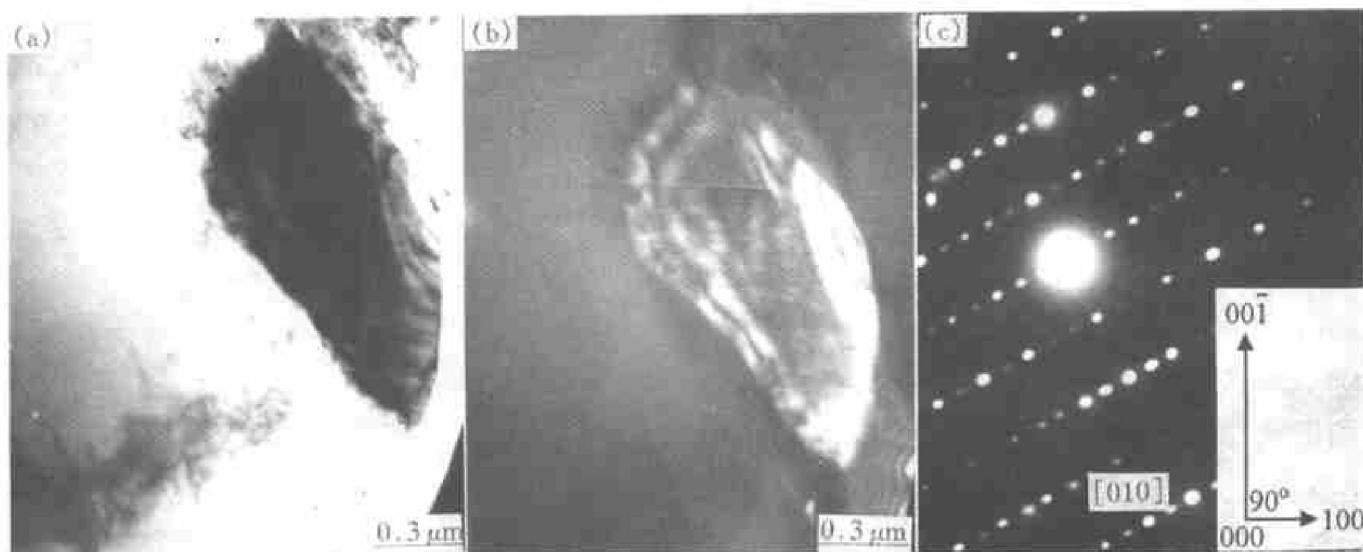


图4 喷射成形 Cr_{12}MoV 钢中颗粒状 Cr_7C_3 碳化物的 TEM 像

Fig.4 TEM images of particle-like Cr_7C_3 in Cr_{12}MoV steel prepared by spray forming
 (a) —Bright field image of Cr_7C_3 ; (b) —Black field image of Cr_7C_3 ;
 (c) —Electron diffraction pattern of $[010]$ zone of Cr_7C_3

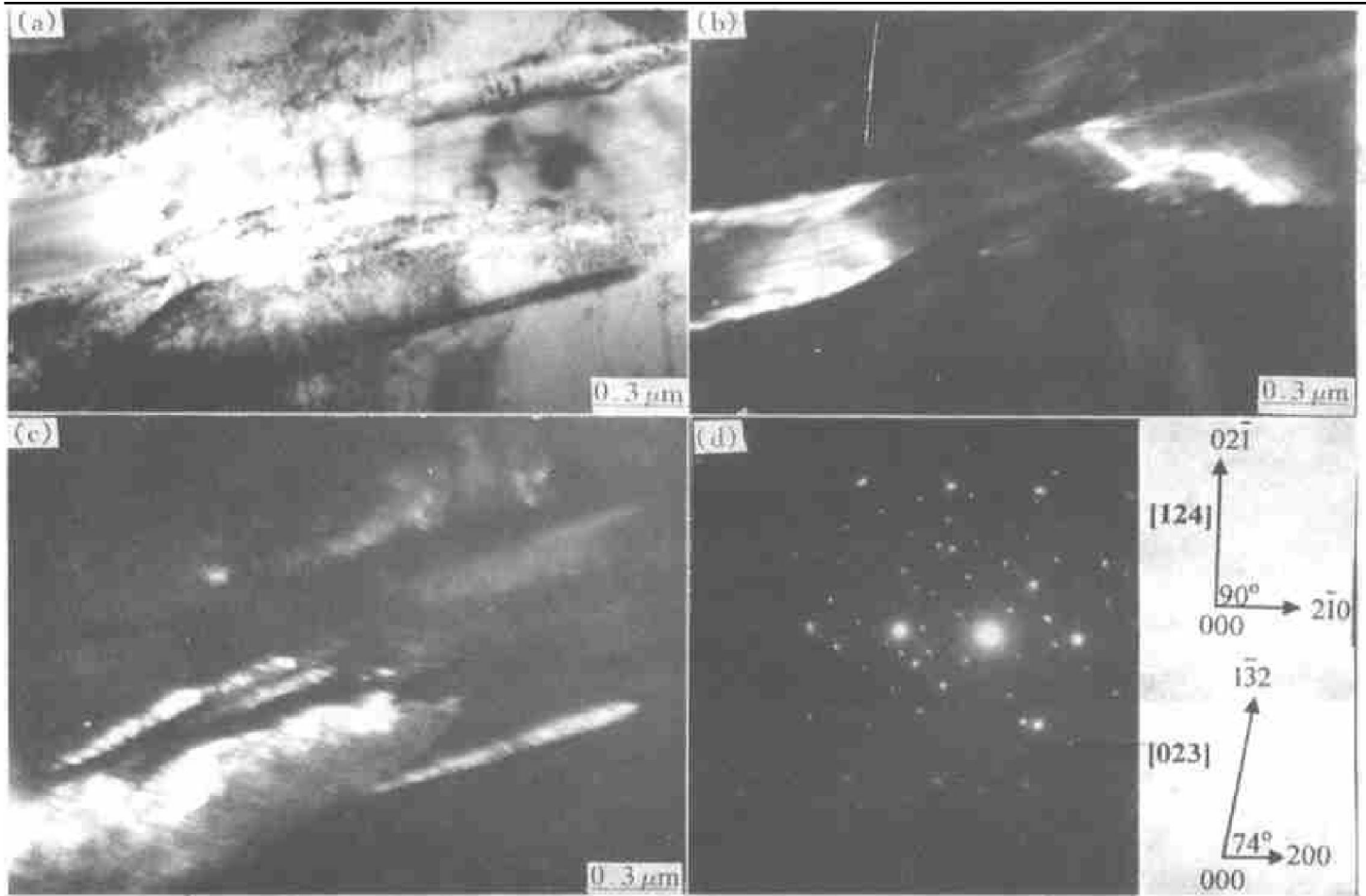


图5 喷射成形 Cr_{12}MoV 钢中条状 Cr_7C_3 碳化物(两侧黑色组织为马氏体)的TEM像

Fig. 5 TEM images of rod-like Cr_7C_3 in Cr_{12}MoV steel prepared by spray forming

(a) —Bright field image of Cr_7C_3 ; (b), (c) —Black field images of Cr_7C_3 and Martensite, respectively;

(d) —Electron diffraction pattern of [124] zone in Cr_7C_3 and [023] zone in martensite

氏体向马氏体的转变。图2显示二种状态下马氏体的衍射角稍有差异,喷射成形态马氏体的衍射角有向低角度移动的倾向,意味着该马氏体内溶有较多的合金元素。碳化物的类型没有改变,仍然是 Cr_7C_3 型,但是碳化物颗粒的变化相当明显,它不再是铸态下那种粗大的共晶碳化物,而是以颗粒状或条状式样出现,尺寸变得很小。碳化物颗粒还是以晶界分布为主,不过没有形成连续的网络状。 Cr_{12}MoV 钢含有较高的Cr量,它部分溶于基体,其余则与碳结合形成 Cr_7C_3 碳化物,故Cr在碳化物中的浓度远远超过在基体中的。因而,面分布图上Cr元素的集聚反映了 Cr_7C_3 碳化物的分布规律,喷射成形组织中碳化物的细小、均匀分散和非连续分布的特征在图6上清楚可见。碳化物及

其分布的变化显然与喷射成形的快速凝固过程有关。由于 Cr_7C_3 碳化物是 Cr_{12}MoV 钢的强化相,其分布方式的变化不仅使显微组织的均匀程度提高,而且对力学性能的改善有着直接的效果。复合轧辊显微组织的有关研究仍在继续深入,但是,喷射成形工艺会给 Cr_{12}MoV 钢沉积层的显微组织带来有益的影响这一事实却是毫无疑问的。

4 结论

用喷射成形技术成功地制取了 Cr_{12}MoV 钢-碳钢复合轧辊。表面沉积层的组织均匀、致密,没有可见的宏观缺陷;喷射成形 Cr_{12}MoV 钢的显微组织由均匀、细小的等轴晶和碳化物颗粒组成。基体中出现较多的残余奥氏体,钢

中碳化物的类型未变, 但 Cr_7C_3 的形貌、尺寸和分布均发生了有益的变化。因此, 喷射成形能够改善 Cr_{12}MoV 钢的显微组织。

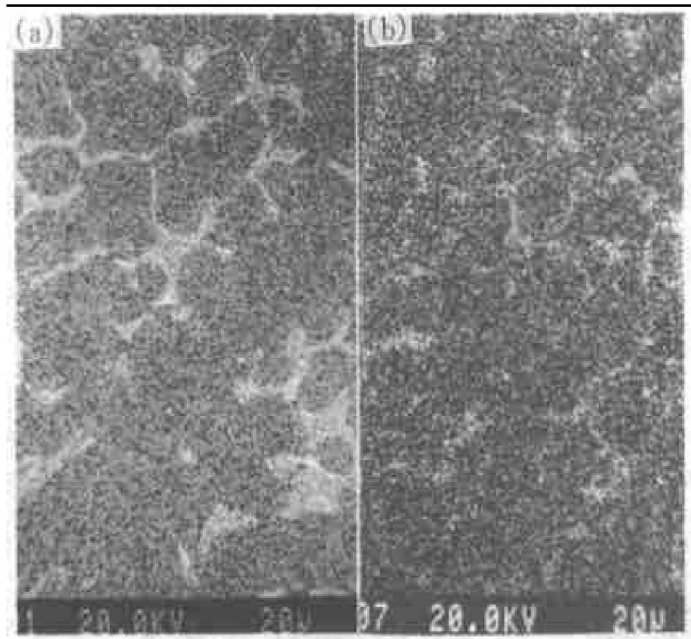


图6 Cr_{12}MoV 钢中 Cr 元素面分布

Fig. 6 Face scanning distributions of element Cr in Cr_{12}MoV steel

(a) —As cast; (b) —As spray formed

REFERENCES

- 1 Leatham A G. In: Wood J V ed. Proc ICSF-2 (2th International Conference on Spray Forming). Abington Cambridge: Woodhead Publishing, 1993: 129–139.
- 2 Itami Tetz. Iron & Steel, (in Japanese), 1991, 12: 2084–2091.
- 3 Kumgai K, Itami T and Kawashime Y. In: Wood J V ed. Proc ICSF-2. Abington Cambridge: Woodhead Publishing, 1993: 207–219.
- 4 Forrest J, Price R and Hanlon D. In: Keysoe B ed. Proc ICSF-3. Cardiff, UK: Paul Ellerington Printers, 1996: 131–145.
- 5 Price R *et al.* Rolls 2000. Birmingham, UK, 1996: 250–261.
- 6 Wahlroos J M and Liimatainen T P. In: Wood J V ed. Proc ICSF-2. Abington Cambridge: Woodhead Publishing, 1993: 225–234.
- 7 Shanghai Materials Institute and Shanghai Tools Factory. A Metallographic Atlas for Tool Steels. Beijing: Mechanical Industry Press, 1979: 82–85.

MICROSTRUCTURE OF A CLAD ROLL PREPARED BY SPRAY FORMING

Sun Desheng[†], Xu Hanbing^{††}, Zhang Jingguo[†] and Wu Jiansheng^{††}

[†] Shanghai Iron and Steel Research Institute, Shanghai 200940, P. R. China

^{††} Open Laboratory of State Education Ministry for

High Temperature Materials and Testing,

Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, P. R. China

ABSTRACT A Cr_{12}MoV steel-carbon steel clad roll was prepared by spray forming. The microstructure of its surface layer was examined to investigate the effect of spray forming process. The structural characteristic of Cr_{12}MoV steel surface layer was studied by OM, TEM, Electron probe and X-ray diffractometer. The results showed that spray formed steel was found different from that prepared by conventional methods, i. e., it is of homogeneous, fine equiaxial crystal with average grain size of $18\mu\text{m}$, and it is very concentrated and no macro-segregation; an equal sum of Austenite is remained on Martensite matrix; the carbide in steel was still Cr_7C_3 , but its appearance, size and distribution are all changed, leading to the great improvement of microstructural homogeneity.

Key words spray forming clad roll microstructure

(编辑 袁赛前)