

doi: 10.3969/j.issn.1007-9289.2010.04.013

## 工艺参数对 Q235 钢辉光等离子渗 Cr 渗层影响的研究\*

卜根涛, 高 原, 王成磊

(桂林电子科技大学 材料科学与工程学院, 广西 桂林 541004)

**摘 要:** 在不同电源、不同气压、不同温度工艺参数下对 Q235 钢表面进行辉光等离子渗 Cr。用金相显微镜及扫描电镜观察渗层组织形貌, 用能谱仪进行渗层 Cr 元素浓度分布测定, 用 X 衍射仪进行物相分析。结果表明: 不同电源渗 Cr 的渗层均出现反应扩散现象, 渗层均为明显的柱状晶组织; 脉冲电源渗 Cr 层厚度最大达到 100  $\mu\text{m}$  以上, 表面 Cr 含量达到 40% ( $w\%$ ) 左右, 渗层距表面 10  $\mu\text{m}$  处 Cr 含量达到 10% 以上, 渗 Cr 层成分分布明显好于直流电源和双辉双电源; 脉冲电源渗 Cr 随气压的升高, 渗层厚度及 Cr 含量先增大后减小, 工艺条件下最佳气压值为 30 Pa; 脉冲电源渗 Cr 随着温度的升高 Cr 渗层厚度增加, 渗层 Cr 浓度分布曲线随温度的升高由表面向内梯度变得平缓且浓度提高。

**关键词:** 脉冲电源; 渗层厚度; 辉光等离子; 渗 Cr

中图分类号: TG156.8

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2010)04-0056-04

### Effects of Process Parameters on Layer of Plasma Chromizing on Q235 Steel

BU Gen-tao, GAO Yuan, WANG Cheng-lei

(School of Material Science and Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004)

**Abstract:** Q235 steel was chromized by using glow plasma surface alloying technique under different powers, gas pressures and temperatures of the process parameters. Use metallographic microscope and scanning electron microscopy to observe morphology of the layer. Use EDS to determinate the concentration of Cr distribution in the layer, and use X diffractometer to get the phase analysis. The results show that all the layers of chromizing appear reaction-diffusion phenomena under different powers, there are clear columnar structure in the layers; the maximum thickness of the layer reached to 100  $\mu\text{m}$  and more than; the surface chromium content is about 40% ( $w\%$ ), 10  $\mu\text{m}$  from the surface layer department chromium content above is 10%. The composite distribution of pulse power supply of the alloying layers was obviously better than DC power supply and double power supply alloying layers. With pressure increasing under pulse power supply, Cr layer thickness and the content first increased and then decreased. The optimum gas pressure parameter is 30 Pa under the process conditions. Under pulse power supply, thickness of Cr layer increases with the working temperature increasing. And from the surface to internal the Cr concentration gradient flattens out and improves with the working temperature increasing.

**Key words:** pulse power supply; layer thickness; glow plasma; chromizing

## 0 引 言

表面渗 Cr 可较好的提高材料表面耐腐蚀性, 所以渗 Cr 工艺一直是重点研究的对象之一。渗金属技术<sup>[1]</sup>仅在材料表面渗 Cr 就可形成表面高 Cr 耐腐蚀层<sup>[2]</sup>, 用较少的合金元素达到整体不锈钢材料的性

能<sup>[3]</sup>, 成为较好的一种表面处理工艺技术。本课题进行直流电源、脉冲电源以及双辉双电源渗 Cr 后的渗层硬度、渗层组织与晶体结构对比, 并对不同气压、温度下脉冲电源渗 Cr 层厚度、合金元素分布的影响进行研究。

## 1 试验过程

试验采用辉光离子渗金属炉, 试验材料选用 Q235 钢, 尺寸为 20 mm  $\times$  70 mm  $\times$  3 mm, 表面经过磨削。源极采用冶金轧制板状 Cr 板, 尺寸为: 60 mm

收稿日期: 2010-03-31; 修回日期: 2010-07-12

基金项目: \*国家自然科学基金(50764002); 信息材料广西重点实验室主任研究课题桂科能 (0710908-06-Z); 广西区自然科学基金重点项目 (2010GXNSFD013008)

作者简介: 卜根涛(1982—), 男(汉), 河南漯河人, 硕士。

×50 mm×5 mm; 直流电源参数: 所用电压-900 V, 功率10 kW; 脉冲电源参数: 频率为1000 HZ, 功率50 kW; 所用电压-1000 V; 工作气压为17 Pa、30 Pa、40 Pa; 温度900 °C、950 °C、1000 °C。

将辉光渗金属设备抽至极限真空度2~3 Pa, 通入氩气起辉, 清理试样和源极表面20 min左右使其活化。然后调整各工艺参数至选定值, 实施工艺过程。工艺完成抽至极限真空度后随炉冷至200 °C以下出炉。

用CMM-30型金相显微镜及JEOL/JSM-5610LV型扫描电镜观察渗层组织形貌, 用能谱仪进行渗层Cr元素浓度分布测定, 用Bruker-axs-D8型X射线衍射仪进行物相分析, 用HV-1000型显微硬度计检测渗层硬度, 并对不同工艺参数下的渗层分析结果进行讨论。

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 渗 Cr 层的组织形貌、成分、相结构及硬度

辉光等离子渗Cr后, 其渗Cr层组织形貌如图1、图2所示, 脉冲电源、直流电源、双辉双电源渗Cr后渗层与基体之间均出现一条明显的反应扩散线。渗层呈现明显柱状晶的组织形态, 有明显的晶粒取向。由图3所示, 以上3种电源渗层中Cr的含量均从表面到内呈梯度分布, 由表面向内Cr的含量逐渐变低, 在反应扩散线处, Cr含量逐步降到很低乃至基体含量。由图4中X衍射渗Cr后渗层物相分析可以看出: 形成Fe-Cr固溶体峰。

表1为3种不同电源渗Cr后试样, 表面平均显微硬度由表1看出, 3种工艺表面硬度的提高不足基体一倍。说明单纯渗Cr形成的固溶体 (Fe-Cr), Cr的固溶强化效果不明显。

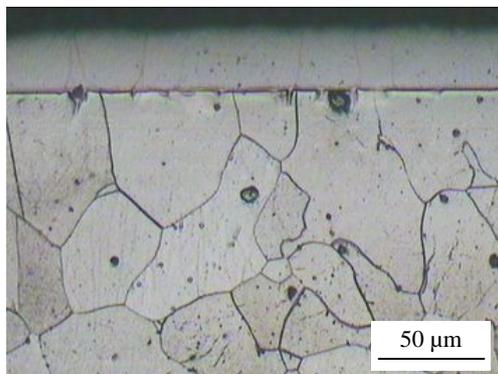


图1 渗 Cr 层金相照片  
Fig.1 Metallograph of Cr layer



图2 渗 Cr 层 SEM 照片  
Fig.2 SEM photograph of Cr layer

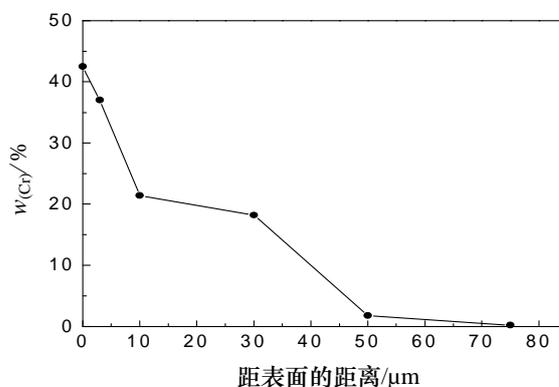


图3 渗 Cr 层成分分布  
Fig.3 Composite distribution curve of Cr layer

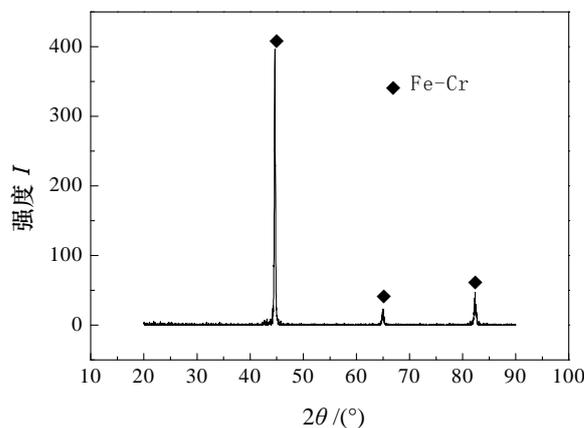


图4 渗 Cr 层 XRD 分析结果  
Fig.4 XRD pattern of Cr layer

表1 不同工艺方案渗 Cr 后的硬度/HV<sub>0.05</sub>

Table 1 Microhardness of sample after different chromizing treatments

基 体	脉冲渗 Cr	直流渗 Cr	双辉渗 Cr
120	180	176	200

## 2.2 加热电源对渗层的影响

试验采用脉冲电源、直流电源及双辉双电源渗Cr三种电源类型,在气压、温度和保温时间相同条件下,三种电源类型所获得渗层表面Cr原子浓度及渗层厚度如图5所示,可以看出在相同工艺参数下,脉冲电源得到的渗层厚度最厚为100  $\mu\text{m}$ ,直流电源次之为80  $\mu\text{m}$ ,双辉双电源渗Cr层厚度近50  $\mu\text{m}$ 。脉冲电源与直流电源渗Cr层分布曲线相比,脉冲电源获得了更厚的渗层及更高的合金元素分布;而双辉双电源渗Cr后的渗层Cr浓度分布是先有少量沉积层而后Cr分布存在较大的浓度陡降区,且Cr的分布均低于以上两种电源渗Cr效果。综合以上结果:脉冲电源渗Cr比直流电源及双辉双电源能获得更好的渗层。

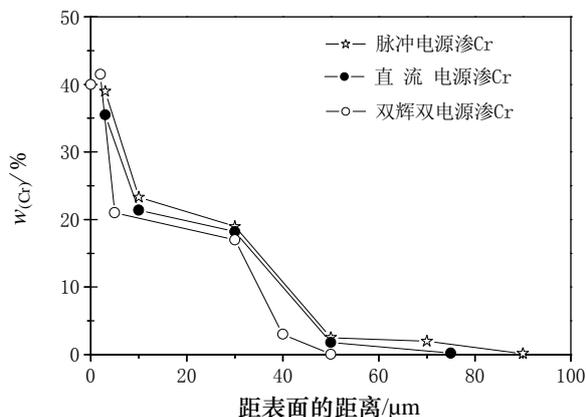


图5 加热电源对渗层的影响

Fig.5 The effect of heating power on the layer

这种现象的原因是脉冲电源与直流电源渗Cr相比,脉冲电源能通过占空比来调节溅射电压,使溅射电压始终维持在较高数值,直流电源则随着保温时间的延长,溅射电压逐渐降低。因电压是影响Cr源极溅射的最主要因素<sup>[4]</sup>,所以脉冲电源与直流电源相比脉冲电源能获得更厚的渗层及更高的Cr元素浓度。双辉双电源渗Cr形成沉积层的原因:首先是因Cr源极的供给量 > 阴极溅射量 + 基体扩散量。较低的阴极电压使阴极溅射量减少,且Cr在 $\alpha\text{-Fe}$ 中的扩散系数 > Cr在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的扩散系数,在形成反应扩散层后,反应扩散层前沿的Cr在 $\gamma\text{-Fe}$ 中的扩散速度小,整体渗层扩散速度减缓。当表面Cr浓度一定时,在表面逐渐形成剩余的Cr原子沉积,因而在试样表面形成沉积层。脉冲电源与直流电源渗层厚度均高于双辉双电源渗Cr,是由于双辉双电

源渗Cr的沉积层阻碍了Cr向渗层的扩散。

## 2.3 气压对脉冲电源渗Cr的影响

气压在脉冲电源渗Cr中对渗层厚度及其表面合金浓度有较大的影响。由图6看出,30Pa对应的渗层Cr浓度分布较40 Pa、17 Pa更为平缓,而40 Pa、17 Pa对应Cr浓度分布较为陡降,且渗层厚度明显变薄。由以上现象得出的结论是:在一定范围内,随气压的升高,厚度及渗层Cr含量增加,而后随气压的继续升高,厚度及渗层Cr含量又呈减小的趋势。其最佳渗Cr气压为30 Pa左右。

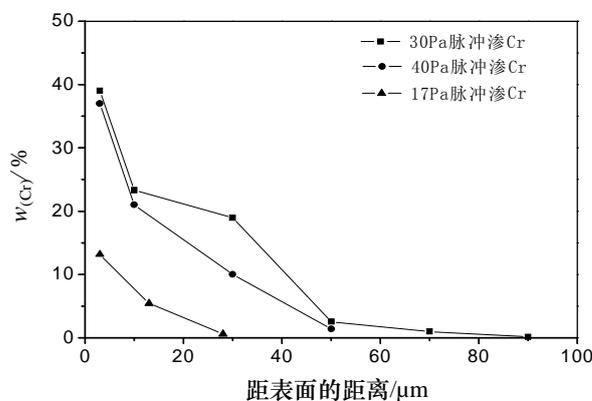


图6 脉冲电源气压对渗层的影响

Fig.6 The effect of gas pressure on the layer with pulse power supply

这是因为气压的升高会导致放电电流会有一定的增加<sup>[5]</sup>,因而会使金属扩散迁移到试样表面的活性Cr原子增加。随着炉内气压的变大,虽然单个Ar离子轰击能量有所降低,但Ar的总量在增加,使得试样表面缺陷增加,促使金属粒子的扩散渗入能力加强,从而渗层增厚。在这一过程中,渗层Cr含量也在缓慢增加。但当气压高到一定程度时,放电空间内粒子的平均自由程变得很小,单个Ar离子能量大量下降,虽然Ar离子的数量变大,但轰击的总能量有下降的趋势,气体分子或原子发生碰撞而损失大量能量,从而不能对试样表面造成有力的轰击,而且最终到达工件表面的金属Cr也大大减少,使得Cr渗层厚度和表面Cr含量都下降。

## 2.4 温度对脉冲电源渗Cr的影响

在脉冲电源渗Cr过程时,保证渗Cr电压及真空炉内气压不变,并由热电偶控温,将试样分别对不同的渗Cr温度,进而分析温度对脉冲电源渗Cr的影响,由图7看出在脉冲电源渗Cr后,900  $^{\circ}\text{C} \times 6 \text{ h}$

对应渗层厚度为55 μm, 950 °C × 6 h对应渗层厚度为65 μm, 1000 °C × 6 h对应渗层厚度为72 μm。其中900 °C对应Cr浓度分布曲线较为陡降, 而950 °C、1000 °C对应Cr浓度分布曲线较为平直, 且温度越高, 对应的Cr合金元素浓度越大。进而得出结论: 随着温度的增加渗层厚度增加, 渗层Cr浓度分布随温度的升高而增加。

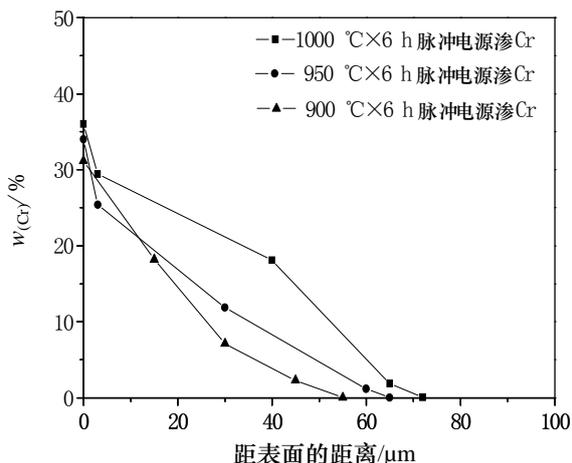


图7 温度对渗层厚度及 Cr 浓度的影响

Fig.7 The effect of temperature on layer thickness and Cr content

造成渗层这种变化的原因可以解释为: 由扩散系数阿累尼乌斯方程, 温度是影响扩散过程的重要因素之一<sup>[6]</sup>。一方面温度的升高使得Cr源极的温度也在升高, 进而轰击阴极的正离子动量越大, Cr源极溅射变强, 为基体表面提供的预渗Cr原子数量也越多; 另一方面随着工件温度的升高, 基体表面处于活化状态, 基体的反溅射变强使一部分Fe原子离开表面, 使得基体表面缺陷增加, 因而温度的升高使得扩散激活能下降, 进而使得渗层厚度增加; 最后基体温度的升高, 加快了Cr向基体的扩散, 使得渗层Cr的含量呈现升高的趋势。

### 3 结 论

(1) 采用辉光等离子渗金属方法在Q235钢表面渗Cr, 可以对Q235钢表面进行改性, 使其表面合金元素含量达到或超过合金工具钢乃至达到高合金工具钢的水平。

(2) Q235钢在3种电源辉光等离子渗Cr中脉冲电源渗Cr后渗层厚度及成分分布好于直流电源和双辉双电源渗Cr层。

(3) Q235钢脉冲电源渗Cr表面Cr渗层的厚度及渗层表面Cr含量随工艺参数的改变而变化: 随气压的升高, 渗层厚度及Cr含量先变大后减小, 本工艺条件下最佳渗Cr气压为30 Pa; 随着温度的增加Cr渗层厚度变大, 渗层Cr浓度分布随温度的升高而增加。

### 参考文献

[1] 高原, 徐晋勇, 高清, 等. 双层辉光离子渗金属技术特点 [J]. 中国工程科学, 2008, 10(2): 26-30.  
 [2] Shuichi(日本). 耐腐蚀硬质合金的腐蚀特性 [J]. 国外难熔金属与硬质材料, 2000, 16(2): 25-29.  
 [3] 罗迪, 李忠之, 刘惠文, 等. 近年高速工具钢的发展概况 [J]. 特殊钢, 1996, 17(2): 8-12.  
 [4] 边洁, 范本惠, 潘俊德, 等. 工艺参数对加弧辉光离子 Ni-Cr 共渗层的影响 [J]. 热加工工艺, 2002, (6): 45-47.  
 [5] 邹彬, 韩敬, 丁可, 等. 空心阴极放电的粒子模拟研究 [J]. 江西科学, 2008, 26(2): 208-211.  
 [6] 崔忠圻. 金属学与热处理 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 231-232.

作者地址: 广西桂林电子科技大学 541004  
 材料科学与工程学院  
 Tel: 134 5765 9702  
 E-mail: gaoyuan@126.com

\*\*\*\*\*

(上接第 55 页)

[6] Baldwin M J, Baldwin M J, Fewell M P, et al. Rf-plasma nitriding of stainless steel [J]. Surface and Coatings Technology, 1998, 98: 1187-1191.  
 [7] Lei M K, Zhu X M. Plasma-based low-energy ion implantation of austenitic stainless steel for improvement in wear and corrosion resistance [J]. Surface and Coatings Technology, 2005, 193: 22-28.  
 [8] Wang Liang, Li Yang, Wu Xue-min. Plasma nitriding of low alloy steels at floating and cathodic potentials [J]. Applied Surface Science. 2008, 254: 6595-6600.

作者地址: 大连市大连海事大学 116026  
 交通工程与物流学院 材料系  
 Tel: (0411) 8472 9610  
 E-mail: wlimt@yahoo.com