

工具钢在磷酸盐缓冲液中的电化学性能

张志英^{1,2} 岳姝敏¹ 龚焱龙¹ 杨 潇¹ 陈 涛³ 张覃轶^{1,2}

(1.武汉理工大学材料科学与工程学院;2.阳江合金材料实验室;3.襄阳市立强机械有限公司)

摘 要 通过动电位极化法、电化学阻抗图谱法、光学显微镜、扫描电镜、能谱分析和 X 射线光电子能谱研究了 4V、S35VN、14C28N、BD1N 工具钢在磷酸盐缓冲液(Phosphate Buffer Saline, PBS)中的腐蚀和电化学性能,并与奥氏体不锈钢 304 和 316L 进行对比。动电位极化结果表明,试样在 PBS 溶液中均发生了钝化,显示良好的耐腐蚀性。电化学阻抗图谱结果表明,电极过程由电化学反应步骤控制。4V 钢的自腐蚀电位 E_{corr} 最低,为 $-0.766\text{ V}_{\text{SCE}}$,腐蚀电流密度 J_{corr} 最大,为 $6.61\times 10^{-5}\text{ A}/\text{cm}^2$,容抗弧半径最小,钝化膜电阻和电荷转移电阻之和 R_f+R_{ct} 值最小,为 $1.00\times 10^3\ \Omega\cdot\text{cm}^2$,耐腐蚀性最差。耐腐蚀性为 $4\text{V}<\text{S35VN}<14\text{C28N}<\text{BD1N}<304<316\text{ L}$ 。在 PBS 溶液中,工具钢试样均发生点蚀。4V 钢的 Cr 含量较低,耐蚀性较差。BD1N、14C28N 和 S35VN 的 Cr 含量较高,钝化膜较稳定,耐蚀性良好。奥氏体不锈钢 316L 和 304 的 Cr 和 Ni 含量较高,生成稳定的钝化膜,耐蚀性优良。

关键词 工具钢;磷酸盐缓冲液;电化学性能;腐蚀

中图分类号 TG142.4; TG172.9

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.09.002

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Electrochemical Properties of Tool Steels in Phosphate Buffer Saline Solution

Zhang Zhiying^{1,2}, Yue Shumin¹, Gong Yanlong¹, Yang Xiao¹, Chen Tao³, Zhang Qinyi^{1,2}

(1.School of Materials Science and Engineering, Wuhan University of Technology;

2.Yangjiang Alloy Laboratory; 3.Xiangyang City Liqiang Machinery Co., Ltd.)

Abstract: The corrosion and electrochemical properties of several tool steels, including 4V, S35VN, 14C28N and BD1N, in phosphate buffer saline(PBS) solution were investigated by potentiodynamic polarization tests, electrochemical impedance spectroscopy(EIS), optical microscopy, scanning electron microscopy(SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy(EDS) and X-ray photoelectron spectroscopy(XPS), and compared with austenitic stainless steels 304 and 316L. The potentiodynamic polarization results illustrate that passivation occurs in all specimens, indicating desirable corrosion resistance in PBS solution. EIS results reveal that the electrode process is controlled by electrochemical reaction steps. Spontaneous corrosion potential E_{corr} of 4V steel is the lowest, which is $-0.766\text{ V}_{\text{SCE}}$, while corrosion current density J_{corr} is the highest, which is $6.61\times 10^{-5}\text{ A}/\text{cm}^2$, and capacitance arc as well as the sum value of passivation film resistance R_f and charge transfer resistance R_{ct} are the smallest, where the latter is $1.00\times 10^3\ \Omega\cdot\text{cm}^2$, leading to the worst corrosion resistance. The sequence of corrosion resistance is presented as follows: $4\text{V}<\text{S35VN}<14\text{C28N}<\text{BD1N}<304<316\text{ L}$. Localized corrosion occurs in all the tool steels in PBS solution. Cr content in 4V steel is lower, resulting in the poor corrosion resistance, while that in S35VN, 14C28N and BD1N are high, contributing to the stable passivation films and desirable corrosion resistance. The high Cr and Ni content in 304 and 316L austenitic stainless steels is helpful to the stable passivation films, giving rise to excellent corrosion resistance.

Key Words: Tool Steel, Phosphate Buffer Saline(PBS) Solution, Electrochemical Properties, Corrosion

工具钢的强度高、硬度高、耐磨性好、成本较低,具有一定的韧性和较好的耐腐蚀性,可用于冷作模具、热作模具、量具、刀具、加工工具等,在机械、制造等领域应用广泛^[1-6]。已有研究报道了工具钢在 NaCl 溶液中的

腐蚀和电化学性能^[7-14]。毛宏焕等^[7]研究表明,随着 Si 含量降低和淬火温度提高,30Cr13 马氏体不锈钢在 3.5% 的 NaCl 溶液中的耐腐蚀性提高。刘晓等^[8]研究表明,添加 0.034% 的混合稀土 La 和 Ce 提高了 Cr13 马

收稿日期:2022-11-24

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51502229);武汉理工大学博士科研启动基金资助项目(471-40120189)

第一作者简介:张志英,女,1977 年出生,教授,武汉(430070),E-mail: zhiyingzhang@whut.edu.cn

引用格式:张志英,岳姝敏,龚焱龙,等. 工具钢在磷酸盐缓冲液中的电化学性能[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(9):1 162-1 167.
ZHANG Z Y, YUE S M, GONG Y L, et al. Electrochemical properties of tool steels in phosphate buffer saline solution[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(9):1 162-1 167.

氏体不锈钢在 3.5% 的 NaCl 溶液中的耐腐蚀性,容抗弧半径增加,锈层更致密,保护性更好。WANG C G 等^[9]研究了添加混合稀土 La 和 Ce 改性前后的 13Cr4Ni 马氏体不锈钢在 0.1 mol/L NaCl 溶液中的腐蚀和电化学性能。结果表明,添加 0.021% 的 La 和 Ce 后夹杂物的数目和面积减小,耐点蚀性提高。王俊峰等^[10]研究表明,添加 1.5% 的 Nb 提高了金属注射成形 420 不锈钢在 3.5% 的 NaCl 溶液中的耐腐蚀性。ANWAR M S 等^[11]研究显示,添加 3% 的 Mo 和 Ni 提高了 13Cr 马氏体不锈钢在 3.5% 的 NaCl 溶液中的耐腐蚀性。MABRURI E 等^[12]研究发现,添加 3% 的 Mo 提高了 410 马氏体不锈钢在 3.5% 的 NaCl 溶液中的耐腐蚀性。NATH S D 等^[13]通过动电位极化法研究了激光粉末熔融(Laser Powder Bed Fusion, LPBF)增材制造技术获得的 420 不锈钢。结果显示,添加 1.2% 的 Nb 和 0.57% 的 Mo 后,不锈钢在 3.5% 的 NaCl 溶液中的耐腐蚀性提高。KOCHTA F 等^[14]报道在 3.5% 的 NaCl 溶液和 0.035% 的 NaCl 溶液中,通过 LPBF 技术获得的 Fe85Cr4Mo8V2C1 工具钢试样比铸态试样具有更好的耐腐蚀性。

关于铁基合金在生物医学环境中的腐蚀和电化学性能的研究有少量报道^[15-21]。BIDHENDI H R A 等^[15]通过循环极化法探讨了 316L 不锈钢在 Hank's 溶液中的腐蚀和电化学性能。HUA N B 等^[16]通过动电位极化法研究了 Fe₄₁Co₇Cr₁₅Mo₁₄C₁₅B₆Y₂非晶合金和 316L 不锈钢在磷酸盐缓冲液(Phosphate Buffered Saline, PBS)中的腐蚀和电化学性能。结果显示,试样均发生钝化,显示良好的耐腐蚀性。PRATAP A 等^[17]采用动电位极化法研究了 Fe₃₂Ni₃₆Cr₁₄P₁₂B₆和 Fe₆₇Co₁₈B₁₄Si₁非晶合金在 PBS 溶液、人工唾液、人工血浆和 Hanks 溶液中的电化学性能,发现 Fe₃₂Ni₃₆Cr₁₄P₁₂B₆的自腐蚀电位 E_{corr} 更高,腐蚀电流密度 J_{corr} 更小,耐腐蚀性更好。YUE X Q 等^[18]研究表明,利用选择性激光熔化(Selective Laser Melting, SLM)工艺制造的 316L 不锈钢在 PBS 溶液中的耐腐蚀性优于锻造 316L 不锈钢, E_{corr} 更高, J_{corr} 更小,钝化区宽度更大,容抗弧半径更大。Al-MAMUN N S 等^[19]也得到了相同结论。MAN C 等^[20]报道了在模拟体液中,SLM 制备的 316L 不锈钢具有比锻造试样更好的耐腐蚀性,点蚀电位更高,容抗弧半径更大,晶界、亚晶界和位错密度更大,钝化膜更厚。GAWAD S A 等^[21]研究了 316L 不锈钢以及表面具有纳米钴-甲壳胺复合涂层的 316L 不锈钢在 Hank's 溶液中的腐蚀和电化学性能。GUDIC S 等^[22]研究了 304L、316L 和 2205 不锈钢在 PBS 溶液中的腐蚀和电化学性能,发现耐腐蚀性 304L<316L<2205 不

锈钢。WANG X Y 等^[23]研究了 316L 不锈钢在 PBS 溶液中的腐蚀和电化学性能。

本研究通过动电位极化法、电化学阻抗谱(EIS)、光学显微镜(OM)、扫描电镜(SEM)、能谱分析(EDS)和 X 射线光电子能谱(XPS)研究了 4V、S35VN、14C28N、BD1N 工具钢在 PBS 溶液中的腐蚀和电化学性能,并与奥氏体不锈钢 304 和 316L 进行对比,旨在促进其在生物医学方面的发展与应用。

1 试验材料与方法

4V、S35VN、14C28N、BD1N 工具钢以及 304 和 316L 奥氏体不锈钢的化学成分见表 1。利用 QG-1 金相试样切割机将钢体切割成 5 mm×5 mm×4 mm 的试样,利用砂纸打磨后,一面焊上铜线,通过环氧树脂和固化剂进行镶嵌,暴露的工作面积约为 25 mm²。采用 600、800、1200、1400 号砂纸依次打磨,利用 2.5 μm、0.5 μm 金刚石抛光膏进行抛光,用酒精清洗并晾干。PBS 溶液的成分为 8.0 g/L 的 NaCl+1.44 g/L 的 Na₂HPO₄+0.24 g/L 的 KH₂PO₄+0.2 g/L 的 KCl。

表 1 6 种钢材的化学成分

试样	Tab.1 Chemical composition of six kinds of steels %									
	w_B									
	Cr	Ni	V	Mo	C	Nb	Si	Mn	N	Fe
4V	5.40	-	4.28	2.91	1.35	-	0.80	0.40	-	余量
S35VN	14.0	-	3.00	2.00	1.40	0.5	-	-	-	余量
14C28N	14.0	-	-	-	0.62	-	0.20	0.60	0.11	余量
BD1N	15.0	-	-	1.00	0.85	-	1.00	1.00	0.10	余量
304	17.5	8.0	-	-	0.07	-	0.75	2.00	-	余量
316L	16.0	11.0	-	1.80	0.03	-	1.00	2.00	0.10	余量

通过 CHI660E 电化学工作站进行电化学性能测试,采用 3 电极体系,饱和甘汞电极(Saturated Calomel Electrode, SCE)为参比电极,石墨为对电极,试样为工作电极,测试溶液为 PBS 溶液。在开路电位(Open Circuit Potential, OCP)稳定 60 min,然后进行动电位极化测试,扫描电位范围为-1.5~1.5 V_{SCE},扫描速率为 0.33 mV/s,设置自动灵敏度。在 OCP 进行 EIS 测试,激励信号选择振幅为 5 mV 的正弦波,频率为 10⁻²~10⁵ Hz,利用 Zsimpwin 软件并采用合适的等电路对阻抗图谱进行拟合。通过 Olympus-BHM 363U 型光学显微镜观察动电位极化测试后的试样形貌,利用 Zeiss Ultra Plus 场发射扫描电镜、X-Max 50 型 X 射线能谱仪和 ES-CALAB250Xi 型 X 射线光电子能谱仪进行 SEM、EDS 和 XPS 分析。

2 试验结果与分析

2.1 动电位极化测试结果

6 种钢材在 PBS 溶液中的动电位极化曲线见图 1,

分析结果见表 2。可以看出,试样在 PBS 溶液中均发生了钝化,显示良好的耐蚀性。4V 的自腐蚀电位 E_{corr} 最低,为 $-0.766\text{ V}_{\text{SCE}}$,腐蚀电流密度 J_{corr} 最大,为 $6.61\times 10^{-5}\text{ A/cm}^2$,点蚀电位 E_{pit} 较低,为 $-0.431\text{ V}_{\text{SCE}}$,耐蚀性最差。BD1N 的 J_{corr} 较小,为 $1.51\times 10^{-6}\text{ A/cm}^2$, E_{pit} 较高,为 $0.011\text{ V}_{\text{SCE}}$,钝化区宽度最大,为 0.715 V ,耐蚀性较好。316L 的 E_{corr} 最高,为 $0.067\text{ V}_{\text{SCE}}$, J_{corr} 最小,为 $8.32\times 10^{-7}\text{ A/cm}^2$, E_{pit} 最高,为 $0.400\text{ V}_{\text{SCE}}$,耐蚀性最好。在 PBS 溶液中耐腐蚀性大小依次为 $4\text{V}<\text{S35VN}<14\text{C28N}<\text{BD1N}<304<316\text{L}$ 。

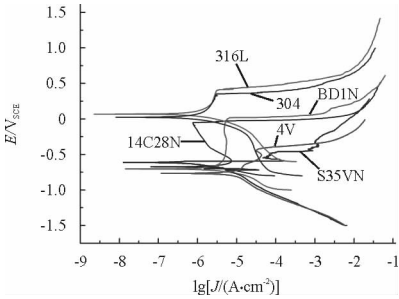
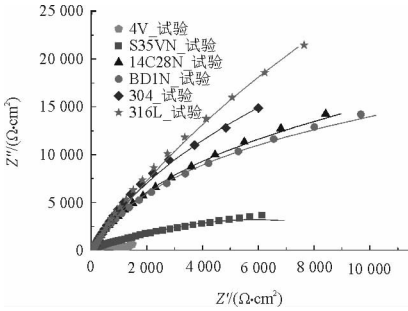
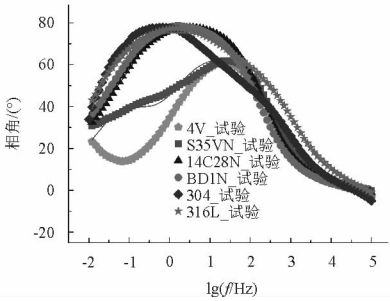


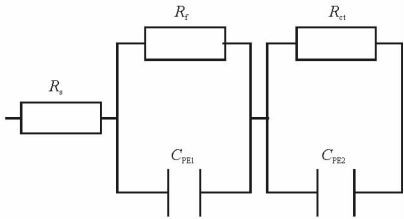
图 1 6 种钢材在 PBS 溶液中的动电位极化曲线
Fig.1 Potentiodynamic polarization curves of six kinds of steels in PBS solution



(a) Nyquist 图



(b) Bode 图



(c) 等效电路图

图 2 6 种钢材在 PBS 溶液中的 EIS 结果

Fig.2 EIS results of six kinds of steels in PBS solution

表 3 6 种钢材在 PBS 溶液中的 EIS 分析结果

Tab.3 EIS analysis results of steels in PBS solution

材料	$R_s/$ ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	$Y_{01}/$ ($\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^n$)	n_1	$R_f/$ ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	$Y_{02}/$ ($\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^n$)	n_2	$R_{ct}/$ ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	$R_{ct}+R_f/$ ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)
4V	12.5	2.01×10^{-4}	0.807	6.62×10^2	7.31×10^{-3}	0.915	3.39×10^2	1.00×10^3
S35VN	15.0	5.16×10^{-4}	0.732	9.68×10^3	1.89×10^{-4}	0.811	1.07×10^3	1.08×10^4
14C28N	19.0	1.27×10^{-4}	0.831	6.52×10^4	1.82×10^{-4}	0.991	8.64×10^3	7.40×10^4
BD1N	15.9	2.05×10^{-4}	0.816	6.03×10^4	2.54×10^{-4}	0.947	9.28×10^3	7.00×10^4
304	19.5	2.45×10^{-4}	0.704	81	8.89×10^{-5}	0.886	1.11×10^5	1.11×10^5
316L	20.2	2.53×10^{-4}	0.677	43	3.87×10^{-5}	0.857	2.41×10^5	2.41×10^5

弧半径最小,钝化膜电阻和电荷转移电阻之和 R_f+R_{ct} 值最小,为 $1.00\times 10^3\text{ }\Omega \cdot \text{cm}^2$,表明耐腐蚀性最差。S35VN 次之,然后是 14C28N 和 BD1N,二者接近,BD1N 的较大。容抗弧半径以及 $R_{ct}+R_f$ 的值, $4\text{V}<\text{S35VN},14\text{C28N}<\text{BD1N}<304<316\text{L}$,表明耐腐蚀性表现依次为 $4\text{V}<\text{S35VN},14\text{C28N}<\text{BD1N}<304<316$

表 2 6 种钢材在 PBS 溶液中的动电位极化分析结果

Tab.2 Potentiodynamic polarization results of steels

in PBS solution				
试样	$E_{\text{corr}}/$ V_{SCE}	$J_{\text{corr}}/$ ($\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$)	$E_{\text{pit}}/$ V_{SCE}	钝化区 宽度/V
4V	-0.766	6.61×10^{-5}	-0.431	0.335
S35VN	-0.613	8.32×10^{-7}	-0.463	0.150
14C28N	-0.675	2.89×10^{-6}	-0.053	0.622
BD1N	-0.704	1.51×10^{-6}	0.011	0.715
304	0.022	9.12×10^{-7}	0.350	0.328
316L	0.067	8.32×10^{-7}	0.400	0.333

2.2 电化学阻抗图谱测试结果

6 种钢材在 PBS 溶液中的电化学阻抗图谱见图 2,分析结果见表 3。图 2a 中,Nyquist 图显示半圆形,具有明显的容抗弧特征,表明电极过程由电化学反应步骤控制。图 2b 中,Bode 图显示一个时间常数。图 2c 中 R_s 为溶液电阻, R_f 为钝化膜电阻, R_{ct} 为电荷转移电阻。 C_{PE1} 为钝化膜电容, C_{PE2} 为双电层电容。GAWAD S A 等^[21]和 GUDIC S 等^[22]的研究均采用了该等效电路图。阻抗 $Z_{\text{CPE}} = Y_0^{-1}\omega^{-n} \left[\cos\left(\frac{n\pi}{2}\right) - j \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \right]$,其中, Y_0 为常数, ω 为角频率, n 为偏差参数。4V 的容抗

L,这与动电位极化测试结果一致。

2.3 腐蚀形貌和成分分析

图 3 和图 4 分别为 6 种钢材在 PBS 溶液中进行动电位极化测试后的 OM 图和 SEM 图及其能谱分析。可以看出,试样表面发生局部腐蚀。腐蚀程度 $4\text{V}>\text{S35VN}>14\text{C28N}>\text{BD1N}>304>316\text{L}$ 。在未发生明

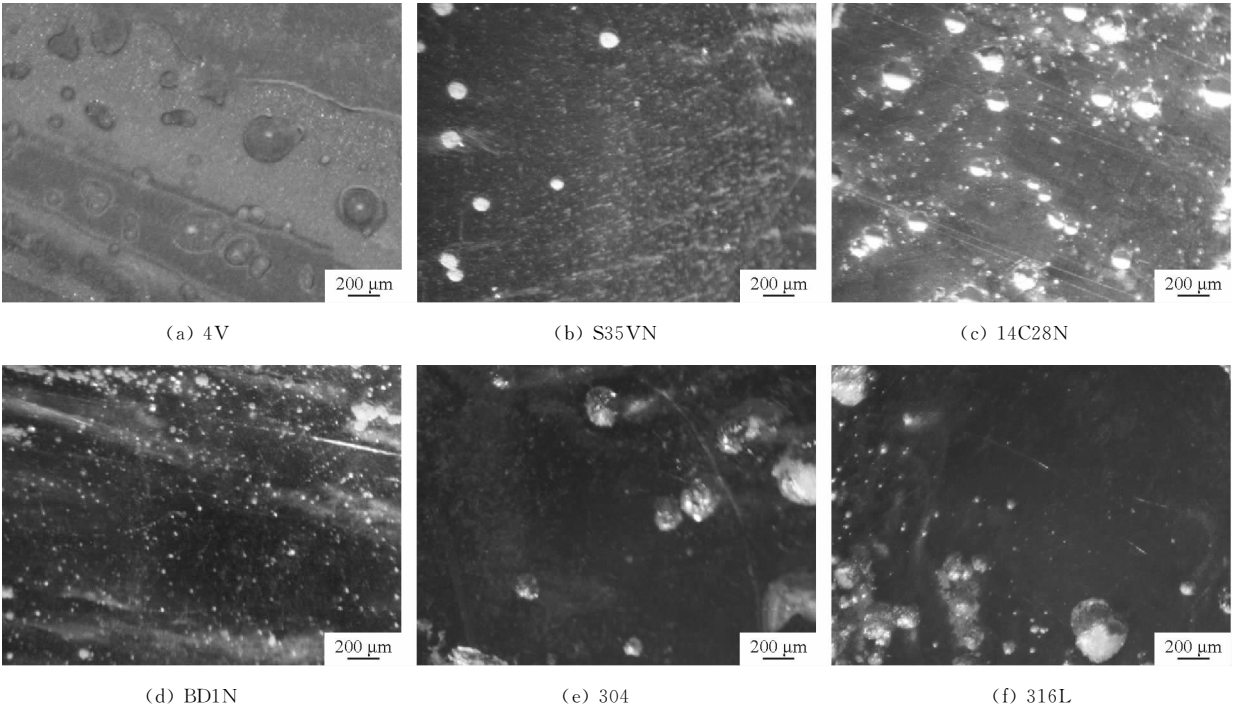


图 3 6 种钢材在 PBS 溶液中进行动电位极化测试后的 OM 照片

Fig.3 OM images of six kinds of steels after potentiodynamic polarization tests in PBS solution

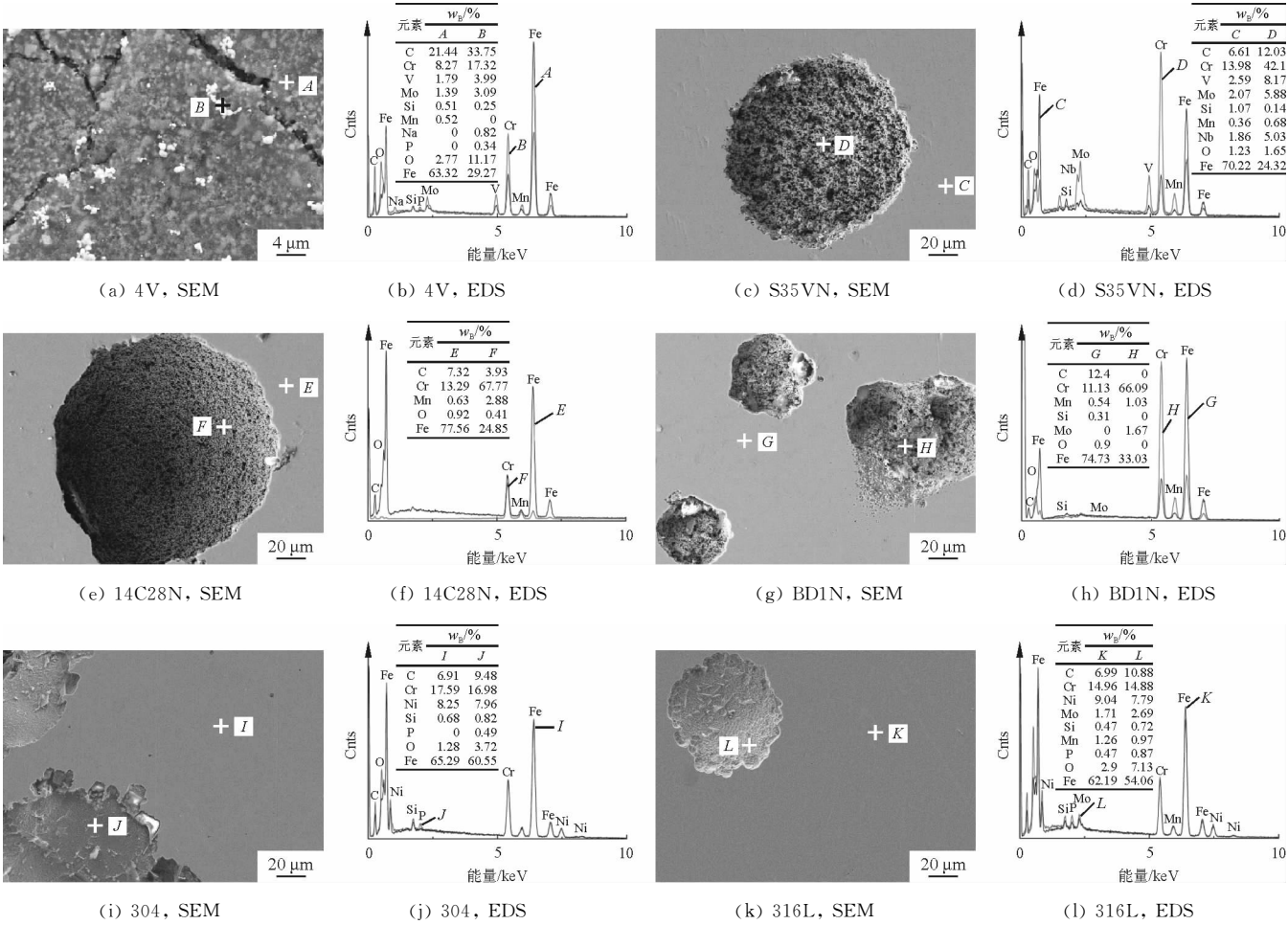


图 4 6 种钢材在 PBS 溶液中进行动电位极化测试后的 SEM 图及其 EDS 分析结果

Fig.4 SEM images and EDS results of six kinds of steels after potentiodynamic polarization tests in PBS solution

显腐蚀的区域,Fe 的含量较高,与原始成分中 Fe 的含量接近;在发生明显腐蚀的区域,Fe 的含量较低。对于 4V、S35VN、14C28N、BD1N 工具钢,未发生明显腐蚀的区域,Cr 含量较低,与原始成分中的 Cr 含量接近;在发生明显腐蚀的区域,Cr 的含量较高。对于 304、316L 奥氏体不锈钢,Cr 和 Ni 的含量均与原始成分中 Cr 和 Ni 的含量接近。

图 5 为 4V、S35VN、14C28N、BD1N 试样在 PBS 溶液中进行动电位极化测试后的 XPS 分析结果。可以看出,4V 钢中 Fe 以 Fe^{3+} 和单质 Fe 形式存在,Cr 以 Cr^{3+} 和单质 Cr 形式存在,Mo 以单质 Mo 形式存在,V 以 V^{3+} 形式存在,O 以 O^{2-} 或 OH^- 形式存在,腐蚀产物主要包括 Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 、 V_2O_5 等。S35VN 中 Fe 以 Fe^{3+} 和单质 Fe 形式存在,Cr 以 Cr^{3+} 和单质 Cr 形式存在,V 以 V^{3+} 形式存在,O 以 O^{2-} 或 OH^- 形式存在,腐蚀产物主要包括 Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 、 V_2O_5 等。14C28N 和 BD1N 中 Fe 以 Fe^{3+} 和单质 Fe 形式存在,Cr 以 Cr^{3+} 形式存在,O

以 O^{2-} 或 OH^- 形式存在,腐蚀产物主要包括 Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 等。

PBS 溶液中含有活性阴离子 Cl^- ,基于成相膜理论, Cl^- 半径较小,容易穿过钝化膜中的小孔或缺陷,与金属氧化物或氢氧化物形成可溶性的氯盐,造成钝化膜的局部溶解。基于吸附理论, Cl^- 具有较强的吸附能力,将金属表面的氧排挤掉,导致钝化膜的局部破坏。相对于标准氢电极 (Standard Hydrogen Electrode, SHE), V/V^{3+} 、 Cr/Cr^{3+} 、 Fe/Fe^{3+} 的标准电极电位分别为 -0.876 、 -0.744 、 $-0.037 \text{ V}_{\text{SHE}}$ 。电极电位越低,越易发生腐蚀。C 促进腐蚀微电池的产生,降低耐腐蚀性。Cr、Ni、V、Mo、N 促进钝化膜的稳定性,提高耐腐蚀性。4V 钢中的 Cr 含量较低,碳含量较高,耐蚀性较差。S35VN 的 Cr 含量较高,C 含量较高,耐蚀性次之。14C28N 和 BD1N 的 Cr 含量较高,C 含量较低,钝化膜比较稳定,耐蚀性良好。奥氏体不锈钢 316L 和 304 中 Cr 和 Ni 含量较高,生成稳定的钝化膜,耐蚀性优良。

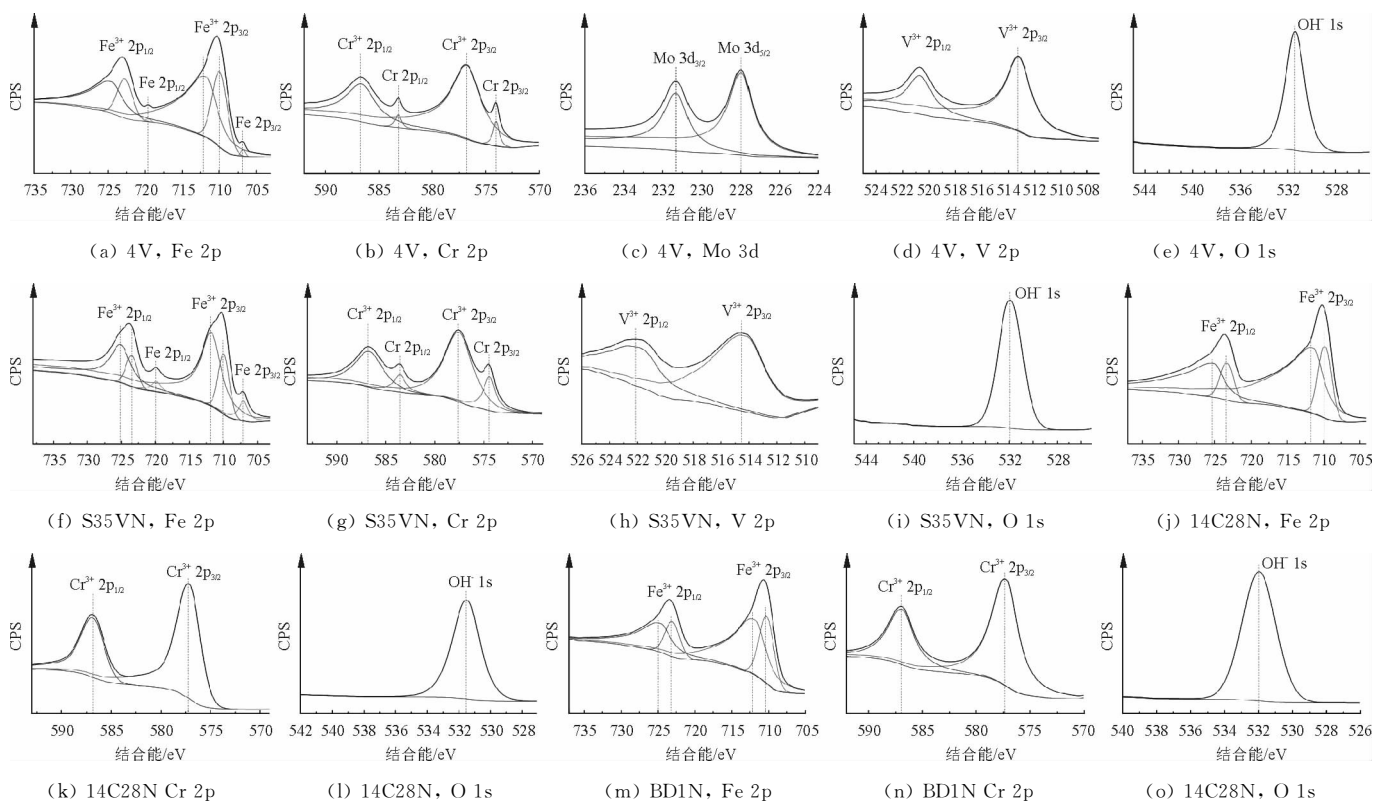


图 5 4V、S35VN、14C28N、BD1N 工具钢在 PBS 溶液中进行动电位极化测试后的 XPS 分析结果

Fig.5 XPS analysis results of 4V, S35VN, 14C28N, BD1N tool steels after potentiodynamic polarization tests in PBS solution

3 结 论

(1) 4V、S35VN、14C28N、BD1N 工具钢和 304、316L 奥氏体不锈钢在 PBS 溶液中均发生了钝化,显示良好的耐腐蚀性。电极过程由电化学反应步骤控制。

(2) 4V 钢的自腐蚀电位 E_{corr} 最低,为

$-0.766 \text{ V}_{\text{SCE}}$,腐蚀电流密度 J_{corr} 最大,为 $6.61 \times 10^{-5} \text{ A}/\text{cm}^2$,容抗弧半径最小,钝化膜电阻和电荷转移电阻之和 $R_f + R_{\text{ct}}$ 值最小,为 $1.00 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}^2$,耐腐蚀性最差。耐腐蚀性 $4\text{V} < \text{S35VN} < 14\text{C28N} < \text{BD1N} < 304 < 316 \text{ L}$ 。在 PBS 溶液中,工具钢试样均发生点蚀,腐蚀产物主要为 Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 等。

(3)4V 钢的 Cr 含量较低,C 含量较高,耐蚀性较差。S35VN 的 Cr 含量较高,C 含量较高,耐蚀性次之。14C28N 和 BD1N 中的 Cr 含量较高,C 含量较低,钝化膜较稳定,耐蚀性良好。奥氏体不锈钢 316L 和 304 中 Cr 和 Ni 含量较高,生成稳定的钝化膜,耐蚀性优良。

参 考 文 献

- [1] 刘中梅,严彪.工具钢的生产工艺及应用[J].金属功能材料, 2012, 19(5): 33-35.
- [2] 曹理强,贺莹莹,麻哈.合金工具钢 SAE6150 冷却转变组织研究[J].热加工工艺, 2016, 45(18): 191-194.
- [3] 吴茜,刘斌.模具材料研究与应用现状及发展趋势[J].模具工业, 2017, 43(3): 1-7.
- [4] 吴红庆,吴晓春.国内外高速钢的研究现状和进展[J].模具制造, 2017, 17(12): 93-100.
- [5] 张明铭,陈乐平,陆磊,等.脉冲气体爆炸-等离子体技术对工具钢表面改性的研究现状[J].热加工工艺, 2022, 18(51): 1-5.
- [6] CHEN J Y, WANG S D, XUE L J. Dry sliding wear of laser-clad high-vanadium crucible powder metallurgy (CPM) 3V, 9V, and 15V tool steel coatings[J]. Metallography, Microstructure, and Analysis, 2019, 8(5): 693-704.
- [7] 毛宏焕,齐兴,金扬帆,等.不同含硅量 30Cr13 系列不锈钢的腐蚀行为[J].腐蚀与防护, 2017, 38(11): 862-866.
- [8] 刘晓,马利飞,李运刚.钨和钼对 Cr13 型不锈钢耐腐蚀性能的影响[J].热加工工艺, 2016, 45(6): 119-121.
- [9] WANG C G, MA R Y, ZHOU Y T, et al. Effects of rare earth modifying inclusions on the pitting corrosion of 13Cr4Ni martensitic stainless steel [J]. Journal of Materials Science & Technology, 2021, 93: 232-243.
- [10] 王俊峰,何浩,李益民,等.Nb 添加对金属注射成形 420 不锈钢耐腐蚀性能的影响[J].广东化工, 2019, 46(3): 3-7.
- [11] ANWAR M S, ROMIJARSO T B, MABRURI E. Pitting resistance of the modified 13Cr martensitic stainless steel in chloride solution[J]. International Journal of Electrochemical Science, 2018, 13: 1 515-1 526.
- [12] MABRURI E, SUJANTO, ANWARM S, et al. Comparison of strength, microstructure and corrosion resistance of stainless steels type 410 and type 410-3Mo in tempered condition[J]. Materials Today: Proceedings, 2019, 13: 121-126.
- [13] NATH S D, CLINNING E, GUPTA G, et al. Effects of Nb and Mo on the microstructure and properties of 420 stainless steel processed by laser-powder bed fusion[J]. Additive Manufacturing, 2019, 28: 682-691.
- [14] KOCHTA F, GEBERT A, KÜHN U, et al. Improved corrosion behavior of a novel Fe85Cr4Mo8V2C1 tool steel processed by laser powder bed fusion[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2021, 867: 158 887.
- [15] BIDHENDI H R A, POURANVARIM. Corrosion study of metallic biomaterials in simulated body fluid[J]. Metallurgical and Materials Engineering, 2011, 17(1): 13-22.
- [16] HUA N B, HONG X S, LIAO Z L, et al. Corrosive wear behaviors and mechanisms of a biocompatible Fe-based bulk metallic glass[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2020, 542: 120 088.
- [17] PRATAP A, KASYAP S, PRAJAPATIS, et al. Bio-corrosion studies of Fe-based metallic glasses[J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 42(4): 1 669-1 672.
- [18] YUE X Q, ZHANG L, HUA Y, et al. Revealing the superior corrosion protection of the passive film on selective laser melted 316L SS in a phosphate-buffered saline solution[J]. Applied Surface Science, 2020, 529: 147 170.
- [19] AL-MAMUN N S, DEEN K M, HAIDER W, et al. Corrosion behavior and biocompatibility of additively manufactured 316L stainless steel in a physiological environment: the effect of citrate ions [J]. Additive Manufacturing, 2020, 34: 101 237.
- [20] MAN C, DONG C, LIUT, et al. The enhancement of microstructure on the passive and pitting behaviors of selective laser melting 316L SS in simulated body fluid[J]. Applied Surface Science, 2019, 467:193-205.
- [21] GAWAD S A, NASR A, FEKRY A M, et al. Electrochemical and hydrogen evolution behaviour of a novel nano-cobalt/nano-chitosan composite coating on a surgical 316L stainless steel alloy as an implant[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2021, 46: 18 233-18 241.
- [22] GUDIC S, NOGADE A, SIMIC K, et al. Corrosion behavior of different types of stainless steel in PBS solution[J]. Sustainability, 2022, 14: 8 935.
- [23] WANG X Y, HEDBERG J, NIE H Y, et al. Location of cobalt impurities in the surface oxide of stainless steel 316L and metal release in synthetic biological fluids[J]. Materials & Design, 2022, 215: 110 524.

(编辑:彭瑾)

重庆博奥 3 项座椅骨架产品发明专利获授权

近日,重庆博奥镁铝金属制造有限公司(以下简称重庆博奥)申请的发明专利“一种客车座椅骨架”(专利号:ZL 201810129148.3)、“一种客车座椅靠背骨架头部集成结构”(专利号:ZL 201810129164.2)和“一种客车座椅靠背骨架”(专利号:ZL 201810129928.8)获得国家知识产权局授权。

此次获得授权的发明专利围绕镁合金在商用大客车等大型座椅骨架的应用场景,以轻量化为目标,提出了一种集成化、一体化的镁合金大巴车座椅骨架、座椅头部集成结构、镁合金座椅靠背结构。大客车座椅骨架应用镁合金材料,每组座椅可实现减重约 7.5 kg,减重比约 43%;如果单车按 37 座计算,每台车可实现减重约 138 kg,应用镁合金汽车座椅骨架可有效提高车辆续航能力和节能减排。

镁合金汽车座椅骨架的优势不仅是轻量化,压铸镁合金结构设计灵活,可将原本由多个冲压件焊接而成的座框、靠背分别一体压铸为一个件,节省了模具和焊接工装数量,大大简化了制造流程。同时,得益于镁合金良好的减震性,座椅的模式将有所提升,大大提高了乘员的舒适性。

(摘自中国有色网)