

等离子堆焊 Stellite6 合金高温耐磨性能研究

关 锰¹ 雍兴平¹ 田 云¹ 邹有序¹ 林雪健² 黄宏军²

(1.沈阳鼓风机集团核电泵业有限公司;2.沈阳工业大学材料科学与工程学院)

摘 要 为了提高轴承用 304H 不锈钢耐磨性,采用等离子堆焊在不锈钢表面制备 Stellite6 合金堆焊层,研究了堆焊层微观组织及高温耐磨性能,分析了不同温度对耐磨性能的影响。结果表明,堆焊层与基体结合良好,Stellite6 合金堆焊层以柱状晶为主,熔合区为平面晶区。堆焊层主要由 γ -Co 固溶体和 Cr、Ni、W 及 C 元素形成的 M_7C_3 型复合碳化物以及 WC 组成。从基体到堆焊层硬度值不断增加,距熔合线 0.2 mm 后堆焊层硬度进入稳定区,硬度值(HV)高于 460。在 250、350、450 和 500 ℃与 Stellite21 堆焊层对磨时,Stellite6 堆焊层摩擦因数与磨损质量损失随着磨损温度的增加而增加,摩擦面粗糙度在 3.9~8.6 μm 之内。堆焊层高温磨损机制为磨粒磨损、粘着磨损以及氧化磨损,且随温度升高,磨损程度加剧,但磨损机制没有明显改变。

关键词 等离子堆焊;Stellite6 合金;微观组织;高温耐磨性能

中图分类号 TG146.16;TG135.6

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.06.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



High Temperature Wear Resistance of Plasma Surfacing Stellite6 Alloy

Guan Meng¹, Yong Xingping¹, Tian Yun¹, Zou Youxu¹, Lin Xuejian², Huang Hongjun²

(1.Shenyang Blower Group Nuclear Power Pump Co., Ltd.;

2.School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology)

Abstract: Stellite6 alloy surfacing layers were prepared on the surface of 304H stainless steel for hydrostatic guide bearing of nuclear power by plasma surfacing technology. Microstructure and wear resistance of the cobalt-based surfacing layers were investigated. The effects of different friction temperatures and time on the wear properties of plasma surfacing Stellite6 alloy were analyzed. The results show that surfacing layer presents good metallurgical bonding with the base metal. The microstructure of the surfacing layer of Stellite6 is mainly composed of columnar crystal, and the fusion zone is a planar crystal zone. The surfacing layer is mainly composed of M_7C_3 composite carbides with Cr, Ni, W and C elements, WC and γ -Co solid solution. From the substrate to the surfacing layer, the hardness is increased. After 0.2 mm from the fusion line, the hardness of the surfacing layer enters the stable zone, which is higher than 460 HV. When Stellite6 overlay was worn at 250, 350, 450 and 500 ℃ with Stellite21 overlay, the wear rate and surface roughness are increased with the increase of temperature. The surface roughness of the friction surface is 3.9~8.6 μm . The main wear mechanism is characterized by abrasive wear, accompanied with adhesive wear and oxidation wear. With the increase of temperature, the wear degree is increased, however the wear mechanism keeps stable.

Key Words: Plasma Surfacing, Stellite6 Alloy, Microstructure, High Temperature Wear Resistance

轴承、轴套作为关键零部件,通常在高温与腐蚀介质等条件下服役,部件表面易产生破损,为提高材料表面性能,通常采用堆焊技术进行表面强化^[1-2]。当前常用的堆焊技术包括气体保护电弧堆焊、激光堆焊、手工电弧堆焊和等离子弧堆焊等^[3-5]。其中,等离子弧堆焊具有熔覆效率高、稀释率低、操作简单和易于实现自动化等特点^[6-9]。同时常用的堆焊材料为兼具耐磨损、耐

高温、耐腐蚀等特点的司太立(Stellite)系列钴基合金^[10-13]。目前有关 Stellite 合金的研究主要集中在利用 Stellite 合金进行表面改性及金属间化合物对 Stellite 合金性能的影响。揭晓华等^[14]、HU Y 等^[15]通过等离子堆焊技术制备了 Stellite 合金层,发现堆焊层组织中生成了较稳定的固溶体和弥散分布的共晶碳化物,且具有较好的热稳定性能。LU P 等^[16]制备了包含 B_4C 的

收稿日期:2022-06-19;修改稿收到日期:2022-09-28

第一作者简介:关锰,男,1975 年出生,工程师,沈阳(110869),E-mail:83376784@qq.com

通信作者:黄宏军,男,1977 年出生,教授,沈阳(110870),E-mail:huanghong1977@163.com

引用格式:关锰,雍兴平,田云,等. 等离子堆焊 Stellite6 合金高温耐磨性能研究[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(6):815-820.

GUAN M, YONG X P, TIAN Y, et al. High temperature wear resistance of plasma surfacing stellite6 alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(6):815-820.

钴基合金堆焊层,显著提高了钴基合金堆焊层的硬度,且有效抑制了涂层裂纹的产生。但目前关于高温条件下 Stellite 合金堆焊层摩擦磨损性能的研究报道很少。因此,本研究针对轴承用 304H 不锈钢,采用等离子堆焊技术在不锈钢表面制备 Stellite6 合金堆焊层,研究堆焊层微观组织、相组成、硬度及其在 250、350、450 和 500 ℃条件下的耐磨性能,旨在为其应用提供参考。

1 试验材料与方法

在 304H 不锈钢表面采用等离子堆焊 Stellite6 合金制备出尺寸为 200 mm×100 mm×4 mm 的堆焊件。堆焊过程中,电流保持在 95~100 A,工作电压为 30 V,行走速度为 75 mm/min,每道之间搭接宽度为 3.5 mm,搭接率约为 30%,稀释率控制在 10% 以内。Stellite6 合金采用粉体进行堆焊,等离子气、送粉气体及保护气体均采用体积分数为 99.99% 的氩气,离子气流量为 0.2~0.4 L/min,送粉气流量为 0.8 L/min,保护气流量为 2~6 L/min。利用线切割在堆焊件上切取 10 mm×10 mm×10 mm 的试样进行研磨、抛光处理,并采用王水(HNO₃·3HCl)腐蚀剂进行腐蚀,观察其显微组织。采用带能谱仪的 S-3400N 扫描电镜进行形貌观察和化学元素分布分析;采用岛津 7000 型 X 射线衍射仪对 304H 不锈钢基体和 Stellite6 堆焊层的物相组成进行测试;采用 Olympus4100 激光共聚焦显微镜对磨损表面粗糙度进行分析;采用 HV-1000 维氏硬度计进行硬度测试;采用 MMU-5G 摩擦磨损试验机进行耐磨性能测试,摩擦副采用销盘式,对磨材料为 Stellite12 合金,304H 基体和 Stellite6 堆焊层做成对磨盘,

尺寸为 $\phi 43\text{ mm}\times 4\text{ mm}$,对磨压缩速率为 0.1 mm/min,摩擦磨损试验温度设定为 250、350、450 和 500 ℃。Stellite 合金具有优良的耐磨性能,采用高温、大加载力和长时间磨损测试的方法对耐磨性能进行测试,磨损试验参数见表 1。

表 1 耐磨性能试验参数

Tab.1 Experimental parameters of wear resistance			
试验力/N	摩擦力矩/(N·m)	转速/(r·min ⁻¹)	试验时间/h
200	10	100	5

2 试验结果与分析

2.1 Stellite6 堆焊层微观组织及其相组成分析

Stellite6 合金的堆焊层微观组织见图 1。图 1a 为 304H 不锈钢基体,以块状奥氏体晶粒为主;图 1b 为熔合区微观组织,其中左侧为 304H 不锈钢基体,右侧为堆焊层,基体和堆焊层之间的熔合线清晰可见,且熔合线较窄,熔合区无裂纹、气孔等缺陷,表明熔合效果良好,熔合区为规则的平面晶,这是由于固液界面处温度梯度较大,结晶速度较小,液相中没有成分过冷区,故结晶时以平面晶的形式推进。堆焊层中部组织以具有一定方向性的柱状晶为主,根据晶体生长理论,面心立方结构的晶体会沿着[001]方向择优生长,在熔池底部主要靠基体散热,散热方向与[001]方向平行,故在凝固过程中形成与界面呈近 90°的柱状晶^[6]。图 1c 为堆焊层金相照片,可见堆焊层中钴基柱状晶沿着堆焊反向生长。在堆焊层顶部组织为细小的等轴晶,由于在堆焊层近表面区域散热方式多、冷却速度快、过冷度增大,故形成细小的等轴晶组织,同时在接近堆焊层顶部的区域,

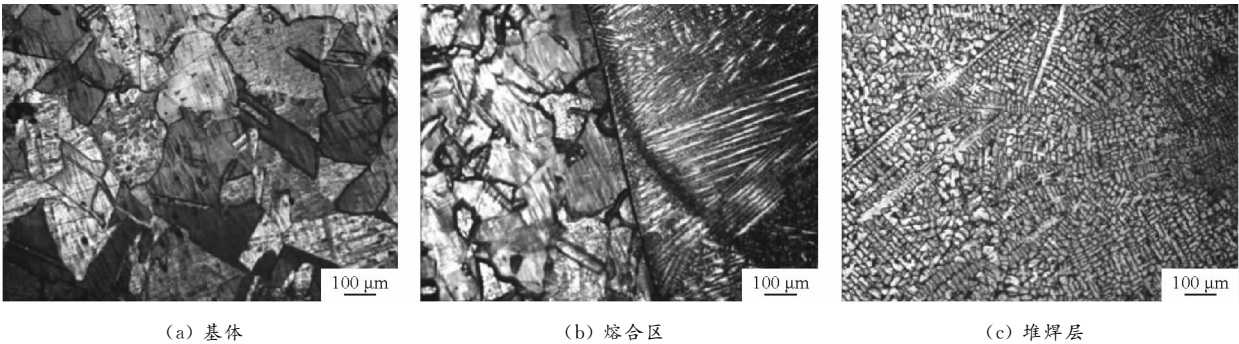


图 1 Stellite6 钴基合金堆焊层微观组织

Fig.1 Microstructure of surfacing layer on the Stellite6 Co-based alloy

晶粒变得细小,堆焊层组织则由柱状晶转变为等轴晶。
图 2 为 Stellite6 堆焊层的 XRD 结果。可以看出,Stellite6 堆焊层中主要是由 γ -Co 固溶体和 Cr、Fe、W 和 C 元素形成的 M₇C₃ 型复合碳化物以及 WC 组成。
对堆焊后熔合线附近区域元素进行线扫描分析,见图 3,其中线扫描方向为从基体至堆焊层,由于钴基合

金中 Co 与 Cr 含量较高,且 Fe 含量与基体不同,故主要检测元素为 Co、Cr、Fe 3 种元素。沿堆焊方向 Co、Cr 含量逐渐增大至稳定,Fe 含量逐渐降低,且基体内部与堆焊层中的合金元素含量变化比较稳定。对于图 3 中方框中的枝晶元素进行 EDS 点分析,见表 2。A 点为枝晶间处,主要为 Cr 元素与 Co 元素形成的共晶组织,

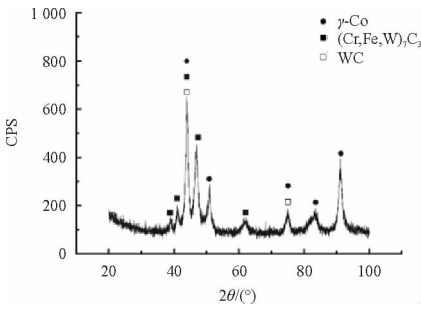


图 2 Stellite6 堆焊层 XRD

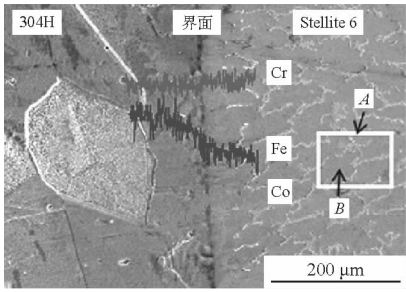


图 3 Stellite6 堆焊层元素分布

Fig.2 XRD patterns of the Stellite 6 surfacing layer

Fig.3 Element distribution of Stellite6 surfacing layer

同时含有 Ni、Cr、W 等元素，B 点为枝晶处，主要为 Co 基固溶体。为进一步分析合金元素在熔合区扩散分布情况，采用电子探针针对熔合区进行面扫描分析，见图 4。由图 4 可知，在堆焊过程中，Stellite6 合金与基体结合时导致 Co、Fe、Cr 元素在熔合区扩散，但扩散程度较低，Cr 元素在枝晶间富集，Co 元素在枝晶内富集，与表 2 微区元素分布规律相符。

表 2 Stellite6 堆焊层微区成分

Tab.2 Composition of Stellite6 alloy surfacing

layer in microzone						%
区域	w_B					
	C	Co	Fe	Cr	W	Ni
A	2.64	18.51	11.30	57.05	5.48	5.02
B	1.10	50.40	18.20	24.90	1.20	4.20

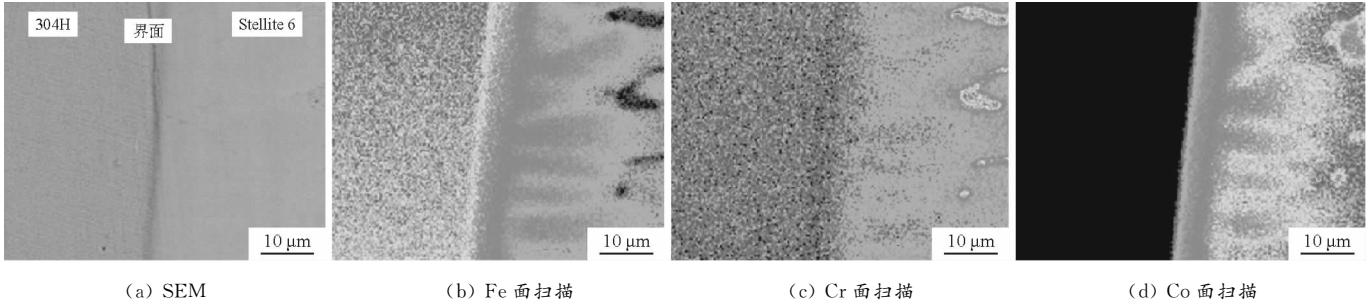


图 4 Stellite6 堆焊层 SEM 形貌及元素面扫描

Fig.4 Element surface scanning of Stellite6 surfacing layer

2.2 Stellite6 堆焊层及基体硬度

对堆焊层横截面进行硬度测试，结果见图 5。可以看出，从 304H 不锈钢基体到堆焊层方向的硬度 (HV) 不断增加，从基体的 190.1 增加到堆焊层最高的 468，在距离熔合线 0.2 mm 的堆焊层达到稳定区，为 456；在熔合区，硬度 (HV) 为 336.5，硬度明显高于基体，这是由于在堆焊过程中，合金中的 Cr 元素与 Co 形成固溶体和高硬度的碳化物，W 元素的存在又起到了固溶强化作用，且在堆焊层顶部，枝晶细小，组织变形的位错阻力

增大，故具有较高的硬度值。在熔合区与基体一侧 0.1 mm 到堆焊层侧 0.1 mm，硬度增加呈线性趋势，合金元素对硬度提升贡献明显。

进一步分析温度对堆焊层硬度的影响，对 250、350、450 和 500 °C 下保温 5 h 后的堆焊层硬度进行测试，结果见图 6。堆焊层的初始硬度 (HV) 为 463.3，随着温度增加到 500 °C，堆焊层的硬度略有下降，经 500 °C×5 h 热处理后的硬度 (HV) 为 460.2，保持了堆焊层的表面高硬度。

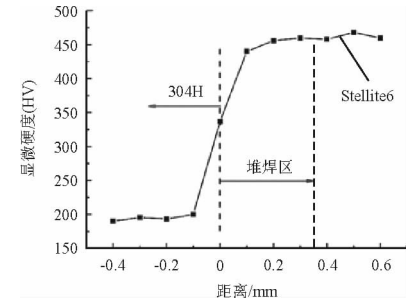


图 5 基体到 Stellite6 堆焊层硬度变化情况

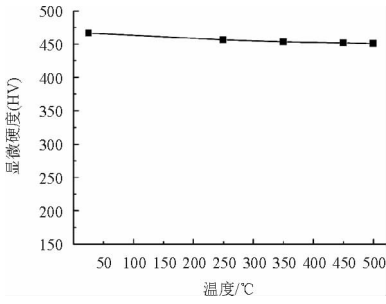


图 6 不同温度保温 5 h 堆焊层硬度变化

Fig.5 The hardness change from 304H stainless steel to Stellite6 surfacing layer

Fig.6 The hardness change of Stellite6 surfacing layer holding at different temperatures

2.3 温度对 Stellite6 堆焊层耐磨性能的影响

2.3.1 温度对堆焊层摩擦系数和质量损失影响

对 Stellite6 合金堆焊层进行耐磨试验,得到不同条件下的摩擦因数曲线,见图 7。可以看出,不同温度下的磨损均存在着预磨期,此阶段摩擦因数随时间快速波动,同时产生大量磨屑以及较大的磨痕深度,并导致摩擦因数迅速上升,在高应力研磨下发生碎化、团聚和板

结,从而形成了致密的氧化物层。4 个不同温度下摩擦因数变化规律基本一致,均在磨损 1 800 s 左右时进入稳态阶段直至磨损结束。

表 3 为不同温度下 5 h 磨损对应的平均摩擦因数。可见随着磨损温度升高,平均摩擦因数从 250 ℃ 的 0.185 增加到 450 ℃ 的 0.280,当温度从 450 ℃ 提高到 500 ℃ 时,平均摩擦因数变化很小。由于摩擦因数越大,材料的磨损率越大,故在 450 ℃ 以下时,合金的耐磨

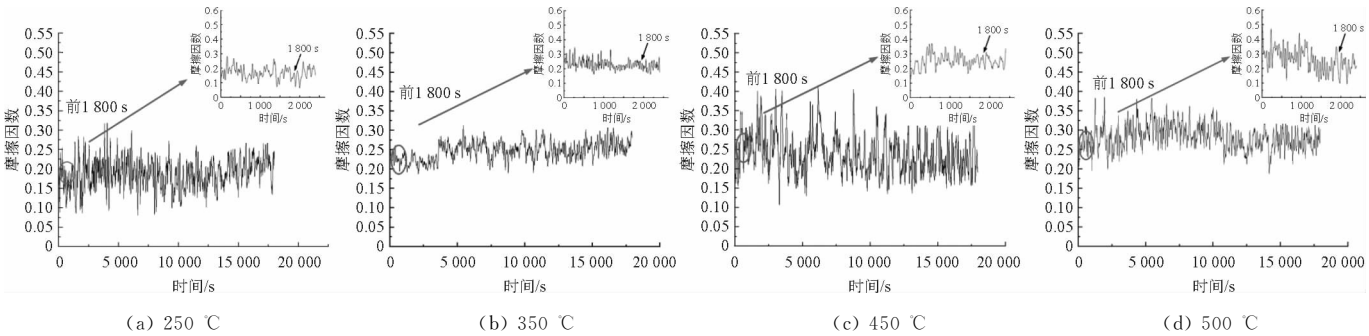


图 7 不同温度对堆焊层摩擦因数的影响

Fig.7 Effects of different temperatures on frictional coefficient of Stellite6 surfacing layer

表 3 不同温度条件下堆焊层平均摩擦因数

Tab.3 The average friction coefficient of Stellite6 surfacing layer with different temperatures

温度/℃	平均摩擦因数
250	0.185
350	0.248
450	0.280
500	0.281

性随温度的增加而明显下降。

为了测定堆焊层在不同温度下的磨损质量损失,对磨损后的盘进行称重,计算出质量损失率。不同温度下 5 h 堆焊层的磨损质量损失率见图 8。可以看出,经 5 h 磨损后,温度越高,质量损失率越大,温度从 250 ℃ 升高到 500 ℃,质量损失率呈现近线性增加的趋势,从 250 ℃ 的 0.39% 增加到 500 ℃ 的 1.17%。

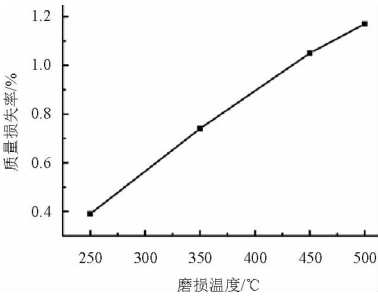


图 8 不同温度条件下堆焊层的质量损失率

Fig.8 The weight loss rate of Stellite6 overlay at different temperatures

2.3.2 温度对磨损形貌的影响

图 9 为不同温度下磨损 5 h 后堆焊层的形貌。从图 9a 可观察到 250 ℃ 下摩擦后留下环形犁沟痕迹,大

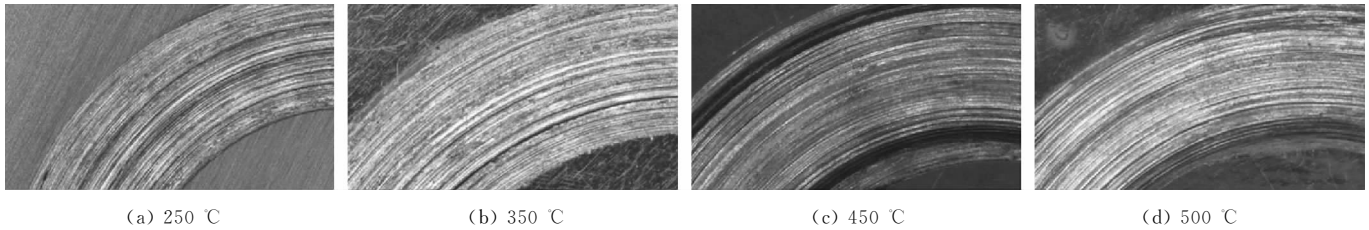


图 9 不同温度下堆焊层磨损面形貌

Fig.9 The wear morphologies of Stellite6 surfacing layer at different temperatures

部分为白亮色磨痕,磨损区域中部出现黑色较深的磨损痕迹,具有典型的磨粒磨损特征;350 ℃ 下摩擦后,磨损形貌与 250 ℃ 相比磨损更严重,磨损面出现灰白色的环形犁沟,在靠近磨损区域内侧出现了黑色的较深犁沟;450 ℃ 下,磨损面呈现以白色、灰色为主的环形磨痕,灰色犁沟增多与摩擦磨损测试温度高带来的材料氧化现

象有关,在磨损区域的外侧和内侧出现深且宽黑色犁沟;500 ℃ 下磨损面存在以白色和灰色为主的环形磨痕,外侧灰白色犁沟有断续情况,中间出现了较深的黑色犁沟,磨损区域内侧出现了较宽且深的黑色犁沟,并且出现了较为明显的氧化现象。

为了分析温度对磨损形貌的影响规律,采用三维激

光共聚焦显微镜观察不同温度下磨损面形貌,同时测量出磨损面粗糙度。经不同温度处理 5 h 磨损后堆焊层形貌见图 10。图 10 中无划痕区域是摩擦盘加工平面的水平基面,在摩擦副对磨区域有环形灰色和深色的磨痕,表明该位置在磨损时留下与基面存在犁沟,不同温度的磨痕深度不同,图中的标尺也不同,磨痕最深的磨

损温度为 350 ℃,见图 10b,从摩擦副接触内侧到外侧均留下较深的摩擦痕迹。在 450 ℃磨损时(见图 10c),整个对磨区域留下的磨痕最轻,温度进一步增加到 500 ℃时,磨痕的深度又有明显增加。在 450 ℃出现的磨痕减轻与对应温度磨损产生的氧化物的数量有关。随着温度升高,磨损中氧化产物增加,对摩擦副相互作

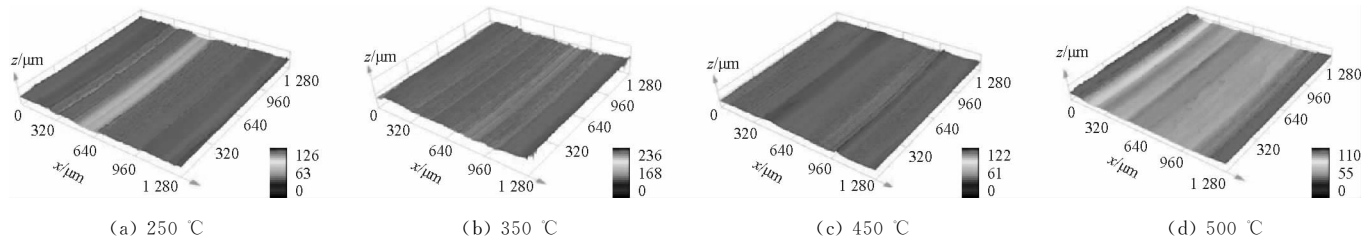


图 10 不同温度堆焊层磨损面形貌

Fig.10 The wear morphologies of Stellite6 surfacing layer with different temperatures

用提供了润滑,从而减轻了磨痕的深度。

表 4 为不同温度下经 5 h 磨损后对应的磨损面粗糙度值。可以看出,磨面粗糙度整体范围在 3.9 ~ 8.6 μm,因为磨损过程形成了连续致密的摩擦层,具有较高含量的摩擦氧化物,使表面粗糙度值整体处于较低的状态。从 250 ℃到 350 ℃磨损时,堆焊层的磨损面粗糙度明显增加,磨损程度增加;而在 450 ℃出现磨损面粗糙度明显降低,这与磨损时氧化物产生数量增加有直接的关系;当磨损温度升高到 500 ℃时,表面粗糙度明显增加。

表 4 不同磨损条件下磨损面粗糙度

Tab.4 The surface roughness with different wear conditions	
温度/℃	粗糙度/μm
250	5.513
350	8.534
450	3.937
500	4.997

2.3.3 温度对磨损产物的影响

对不同温度下 5 h 磨损后对应的磨损表面进行形貌观察和能谱分析,磨损面形貌和 EDS 结果见图 11。由图11a可知,在磨损温度为250 ℃时,在磨损面上有

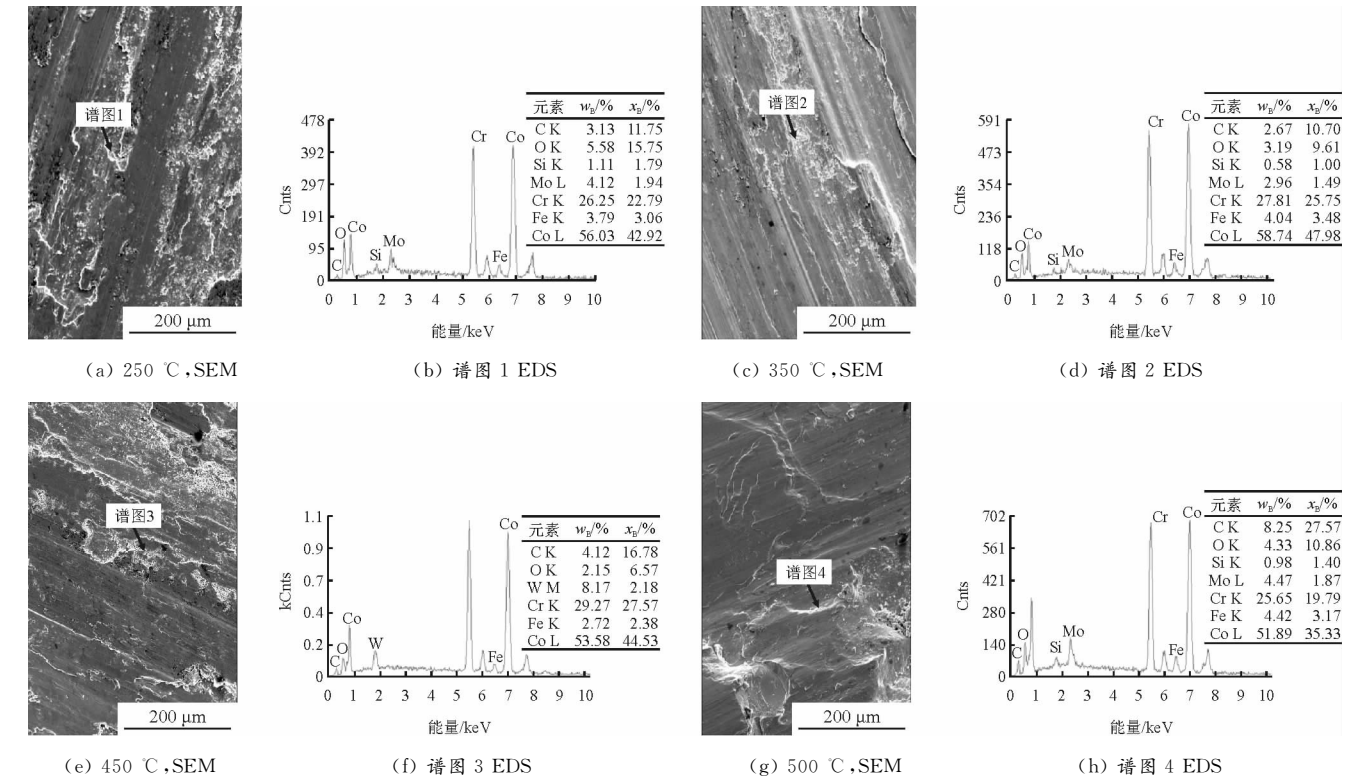


图 11 不同温度条件下堆焊层磨损形貌及能谱分析

Fig.11 The wear morphologies and EDS results of Stellite6 surfacing layer at different temperatures

黑色犁沟磨痕和白色亮点,黑色犁沟沿着摩擦副滑动方向存在,属于典型的磨粒磨损特征,对白亮色位置(谱图 1)进行能谱分析,选取位置见箭头所示,该区域磨损表面含有较多的 O 元素,能谱分析结果表明其为 Co、Cr、C 等元素的氧化物。氧化物的存在能够润滑磨损表面,对磨损有一定的缓解作用,但氧化物的强度比较低,在磨损过程中易剥落,氧化磨损并不是主要磨损机制。在磨损过程中,大量的未压实摩擦层在摩擦过程中剥落,形成粘着磨损。250 ℃ 下磨损机制以磨粒磨损为主,并伴有一定的粘着磨损与氧化磨损。当磨损温度为 350 ℃ 时,磨损面形貌及能谱分析见图 11c 和图 11d,沿着摩擦方向的磨损犁沟加重,白亮区域(谱图 2)的能谱分析结果中元素组成和 250 ℃ 磨损产物白亮区域一致,该区域为金属氧化物,堆焊层对应的磨损机制以磨粒磨损为主,且存在粘着磨损与氧化磨损,与 250 ℃ 相比磨损程度加剧。当温度升高至 450 ℃,见图 11e 和图 11f,磨损表面与 350 ℃ 相比较,磨损表面更加平整,仍由沿着摩擦副滑动的犁沟和白亮色氧化物组成,整体磨损程度有所增加。与 450 ℃ 相比较,500 ℃ 磨损表面高低起伏增加,白亮色氧化物区域更加集中,整体磨损程度有一定增加。450 ℃ 和 500 ℃ 的磨损机制以磨粒磨损为主,且存在粘着磨损与氧化磨损。Stellite6 合金堆焊层,随着温度升高,磨损程度加剧,但磨损机制没有明显改变,高温下堆焊层能保持稳定的磨损状态,即具有良好的高温耐磨损性能。

3 结 论

(1)堆焊 Stellite6 合金,堆焊层与基体 304H 不锈钢结合良好。堆焊层主要由 γ -Co 固溶体、 M_7C_3 型复合碳化物及 WC 组成。

(2)从基体到 Stellite6 堆焊层硬度显著增加,在熔合线两侧各 0.1 mm 区域,硬度值呈近线性增加,堆焊层硬度(HV)在 460 以上。经 250 ℃ 到 500 ℃ 保温 5 h,堆焊层的硬度略有下降。

(3)在 250 ℃ 到 500 ℃,Stellite6 堆焊层经 5 h 磨损后,平均摩擦因数与磨损质量损失随着磨损温度的增加而增加,磨面粗糙度在 $3.9\sim 8.6\ \mu\text{m}$ 之内。高温磨损机制以磨粒磨损为主,伴有粘着磨损与氧化磨损共同作用。随着温度升高,磨损程度加剧,但在磨面形成具有保护作用的氧化层,因此堆焊层表现良好的高温耐磨性能。

参 考 文 献

[1] PAOLO S, GIOVANNI B, MAGDALENA L G. Properties of HVOF-sprayed Stellite-6 coatings[J]. Surface and Coatings Tech-

nology, 2018, 338: 45-62.

- [2] AHMED R, DE VILLIERS, LOVELOCK H L, et al. Influence of Re-HIPing on the structure-property relationships of cobalt-based alloys[J]. Tribology International, 2013, 57: 8-21.
- [3] 杨绍斌,董伟,徐晓辰,等. Fe-Cr-C 系堆焊耐磨材料的研究现状与展望[J]. 材料导报, 2012, 26(3): 96-100.
- [4] 王晓军,杨洁. 30CrMo 合金表面堆焊 Inconel625 镍基合金的耐腐蚀性能[J]. 腐蚀与防护, 2011(8): 655-657.
- [5] ZHANG S, WANG S, WU C L, et al. Cavitation erosion and erosion-corrosion resistance of austenitic stainless steel by plasma transferred arc welding[J]. Engineering Failure Analysis, 2017, 76: 115-124.
- [6] 魏仕勇,彭文屹,陈斌,等. 等离子弧粉末堆焊熔覆材料的研究现状与进展[J]. 材料导报, 2020, 34(9): 9 143-9 151.
- [7] 张濛月,包晔峰,蒋永锋,等. 轧辊堆焊的现状和发展趋势[J]. 电焊机, 2010(10): 17-20.
- [8] 张忠文,李新梅,邹勇,等. 时效处理 Super304H 不锈钢的晶间腐蚀敏感性[J]. 腐蚀与防护, 2011, 32(11): 5-10.
- [9] 单际国,董祖珏,徐滨士. 我国堆焊技术的发展及其在基础工业中的应用现状[J]. 中国表面工程, 2002(4): 19-22.
- [10] 李友谊,罗扬,洪杰,等. 司太立钴基合金 GTAW 堆焊工艺探研[J]. 焊接, 2013(4): 62-65.
- [11] 任艳艳,张国赏,魏世忠,等. 我国堆焊技术的发展及展望[J]. 焊接技术, 2012, 41(6): 1-4.
- [12] 苗文卷. 钴基高温合金的疲劳及断裂行为研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2020.
- [13] 刘玉珍,桂业伟. 司太立合金的性能及应用[J]. 机械工程材料, 1992(5): 1-6.
- [14] 揭晓华,罗天友,宁志坚,等. 薄基体气门锥面等离子喷焊 Stellite 合金强化层的研究[J]. 金属热处理, 2008, 10(1): 50-53.
- [15] HU Y Z, YIN Z M, TENG H. Plasma cladding of Stellite6 powder on Ni76Cr19AlTi exhausting valve[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17(1): 35-40.
- [16] LU P P, WU M P, LIU X. Synergistic enhancement of Re/B₄C on cobalt-based composite coatings: Evolution of microstructure, microhardness and tribological properties[J]. Surface and Coatings Technology, 2021, 424: 127 663.

(编辑:张正贺)

1-4 月中国出口镁产品 13.27 万 t

据中国海关统计数据,4 月中国金属镁产品出口量为 2.93 万 t,环比下降 31.4%,同比下降 30.9%。其中,镁锭出口量 13 104 t,镁合金出口量 9 463 t,镁制品出口量 331 t。

1-4 月,中国累计出口各类镁产品 13.27 万 t,同比下降 22.6%。其中,出口镁锭 6.68 万 t,同比下降 28.2%;出口镁合金 3.87 万 t,同比下降 21.8%;出口镁制品 2 950 t,同比下降 50.3%。

(摘自压铸周刊)