

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2025.04.12

高性能抽油泵进油阀座密封面激光熔覆工艺及性能研究

冉云飞¹, 黎敏¹, 马文宗¹, 王泽¹, 见飞龙¹, 李洁², 祝思佳², 杨行²

1. 长庆油田分公司机械制造总厂, 陕西 西安 710000

2. 西安智能再制造研究院有限公司, 陕西 西安 710018

摘要: 针对高性能抽油泵进油阀副工作时阀座密封面因阀球撞击和流体冲蚀腐蚀等原因导致的密封失效问题, 提出了一种基于17-4PH不锈钢基体的激光熔覆梯度强化技术。通过设计TF306(Co基)、TF103(Fe基)、TF103+10%WC(陶瓷颗粒增强)三种合金粉末, 制备了梯度复合材料阀座结构。研究发现, TF103熔覆层在硬度、耐腐蚀性、抗冲蚀性和抗冲击性方面均表现出优异的性能, 其硬度最高为585.9 HV_{0.2}, 比原基材6Cr18Mo阀座提高60.9 HV_{0.2}, 冲蚀后质量损失仅0.040 8 g, NSS中性盐雾腐蚀300 h表面无腐蚀产物, 阀副跌落后可以试验压力67.9 kPa下保持5 s。该工艺能够有效提升抽油泵阀座密封面的整体性能, 延长了零件使用寿命, 减少了材料损耗, 具有较高的经济效益和社会价值。

关键词: 激光熔覆; 阀座密封面; 显微组织; 硬度; 耐腐蚀性

中图分类号: TG456.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-2303(2025)04-0090-10

Research on Laser Strengthening Process and Performance of the Sealing Surface of the Inlet Valve Seat for High-Performance Sucker Pumps

RAN Yunfei¹, LI Min¹, MA Wenzong¹, WANG Ze¹, JIAN Feilong¹, LI Jie², ZHU Sijia², YANG Hang²

1. Mechanical Manufacturing General Factory, Changqing Oilfield Company, Xi'an 710000, China

2. Xi'an Intelligent Remanufacturing Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710018, China

Abstract: Based on the sealing failure of the valve seat sealing surface caused by valve ball impact and fluid erosion corrosion during the operation of inlet valve seat of high-performance sucker pump, this paper introduced the laser strengthening technology of the valve seat sealing surface. Three kinds of self-made powder with the brand name of TF306, TF 103, TF 103+10%WC were selected to prepare gradient composite valve seat structure in 17-4PH stainless steel matrix material. By observing the microstructure of the cladding layer, testing the hardness of the cladding layer, Comparing corrosion resistance, erosion resistance, the impact resistance and sealing of the cladding layer, the changes of structure and properties between the three cladding layers and the original matrix were compared and analyzed. The maximum hardness of TF-103 cladding layer is 585.9HV0.2, which is 60.9HV0.2 higher than that of 6Cr18Mo seat, showing excellent wear resistance, and the cladding layer has high erosion resistance and corrosion resistance. It shows that the overall surface performance of TF103 cladding layer prepared by this process is significantly improved without affecting the essence of the substrate, which can effectively extend the service life of the parts, reduce material loss and save production cost, and has high economic benefits and social value.

Keywords: laser cladding; sealing surface of valve seat; microstructure; hardness; corrosion resistance

引用格式: 冉云飞, 黎敏, 马文宗, 等. 高性能抽油泵进油阀座密封面激光熔覆工艺及性能研究[J]. 电焊机, 2025, 55(4): 90-99.

Citation: RAN Yunfei, LI Min, MA Wenzong, et al. Research on Laser Strengthening Process and Performance of the Sealing Surface of the Inlet Valve Seat for High-Performance Sucker Pumps[J]. Electric Welding Machine, 2025, 55(4): 90-99.

收稿日期: 2024-09-11 修回日期: 2024-12-24

作者简介: 冉云飞(1975—), 男, 学士, 机械工程师, 主要从事石油装备现场工程技术服务。E-mail: Ryf_01@petrochina.com.cn。

0 引言

抽油泵是一种石油领域常见的往复泵类型,工作时抽油机经抽油杆带动抽油泵柱塞做上下往复运动,通过进油阀和出油阀实现将原油抽汲到地面,其中进油阀阀副(以下简称阀副)是抽油泵重要部件。由于井底含有大量的水、气、砂、腐蚀性介质等,进油阀阀副长期在阀球撞击和流体冲蚀腐蚀等恶劣工作环境下容易因进油阀座(以下简称阀座)密封面磨损、刺槽、坑点导致密封失效,严重影响其工作性能及服役寿命^[1-2],所以密封面表面质量是决定阀座使用寿命的关键点^[3-5]。目前,虽然采用硬质合金阀副可延长抽油泵使用寿命,但由于使用成本高,严重影响其大规模推广使用。因此,研发低成本、长寿命的阀座密封面表面强化技术,对于保障油田高效开采具有重要意义。

激光熔覆技术是近年高速发展和应用的表面处理技术,以数字化、先进性、智能化和绿色发展相结合的优势,实现部分替代传统铸造工艺^[6]。其原理是以激光高能束流为热源,将熔覆材料制备到基材表面,形成一层冶金结合的防腐、耐磨复合高性能涂层,主要应对金属材料的表面处理、修复及再制造等问题,大大提高了零部件的使用性能和寿命^[7-9]。同时该工艺制备的涂层具有结合强度高、对基材的稀释率低和热影响程度小等优点^[10],可解决恶劣环境下服役零件的冲蚀磨损问题,已广泛应用于煤矿、冶金、石油、电力等行业。

原阀球材料是 9Cr18Mo, 阀座材料是 6Cr18Mo,均为高强高硬不锈钢材质,其含碳量高、可焊性较差,试验过程中可能会产生裂纹,加工应力较大,影响阀副疲劳强度,同时在使用过程中因于材料选用及热处理处理不足,导致材料硬脆,使用时容易出现撞裂和冲蚀等现象,影响使用寿命。17-4 PH 不锈钢具有优异的力学性能、良好的抗腐蚀性性能以及较好的成形性,广泛应用于阀门、轴类等需要具有一定耐蚀要求的高强度部件^[11]。Shiao 等人^[12]发现,长期服役在高温环境下的不锈钢会发生老化、脆化现象。因此,为提高 17-4 PH 不锈钢性能,采用固溶+回火处理以增强 17-4 PH 不锈钢的韧性^[13]。

本研究针对阀副工作时阀座密封面承受的阀球(见图1)撞击和流体冲蚀腐蚀等问题,结合近年发展起来的激光熔覆以及梯度复合材料技术,选用马氏体不锈钢 17-4PH 作为阀座基底材料,对其进行固溶+回火处理,分别在阀座密封面处激光熔覆多种硬质合金粉末进行工艺测试,分析熔覆层微观组织结构,研究对比各熔覆层硬度值变化,并以冲蚀试验、盐雾腐蚀、气密性、跌落试验对比基材的耐磨、耐腐蚀和耐冲击性能,为研究低成本、高寿命抽油泵进油阀阀副提供试验依据。

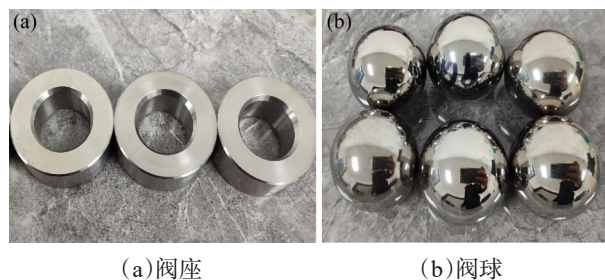


图1 阀副

Fig. 1 Valve assembly

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

选用 17-4PH 马氏体不锈钢作为基体材料,其化学成分如表1所示。熔覆材料一选用自制的气雾化 Co 基合金粉末,牌号为 TF 306,其颗粒直径为 53~150 μm ,具有耐磨损、耐腐蚀以及耐高温氧化的优异性能,常作为堆焊材料用于修复阀门密封面,具有良好的安全性和可靠性^[14];熔覆材料二是粒径为 53~150 μm 的高耐磨 Fe 基合金粉末,牌号为 TF 103,通常用于制备成高强度、高耐磨且不易变形等特殊材料的熔覆层;熔覆材料三是将 10%WC 陶瓷颗粒粉末与 TF 103 合金粉末均匀混合后制备成熔覆层,WC 的密度为 15.6 g/cm^3 ,线膨胀系数 $6.9 \times 10^{-6}/\text{K}$,熔点为 2 867 $^{\circ}\text{C}$,显微硬度达到 2 200 $\text{HV}_{0.05}$,具有高硬度、高耐磨、高耐蚀以及良好的抗氧化性,材料化学成分如表2~表4所示。

试验前,将三种合金粉末放置在 120 $^{\circ}\text{C}$ 真空干燥箱内进行 2 h 烘干处理;用砂纸打磨基体表面,并用酒精清洗表面氧化层及油污,在超声波清洗机中

表1 17-4 PH 不锈钢化学成分(质量分数,%)

Table 1 Chemical composition of 17-4 PH stainless steel (wt. %)							
C	Cr	Ni	Cu	Mn/Si	Ti	Fe	其他
0.03~0.06	15.5~17.5	3.5~6.0	3.0~4.0	≤1.00	≤11.22	Bal	余量

表2 TF 306 Co 基合金粉末化学成分(质量分数,%)

Table 2 Chemical composition of TF 306 Co-based alloy powder (wt. %)					
Co	W	Fe	Cr	Si	其他
≤59.53	6.13	1.50	≤28.29	1.00	余量

表3 TF 103 高耐磨 Fe 基合金粉末化学成分(质量分数,%)

Table 3 Chemical composition of TF 103 high wear-resistant Fe-based alloy powder (wt. %)					
Fe	C	Si	Cr	Ni	其他
Bal	0.09	≤0.95	≤18.78	2.58	余量

表4 WC 合金粉末化学成分(质量分数,%)

Table 4 Chemical composition of WC alloy powder (wt. %)							
W	T.C	F.C	Cr	V	Si	O	Fe
95~96	3.8~4.1	≤0.08	≤0.1	≤0.05	≤0.02	≤0.05	≤0.3

超声清洗 5 min,冷风吹干后进行激光熔覆试验。待修复阀座车削清洗后的样品如图 2 所示,密封面为待熔覆区域。

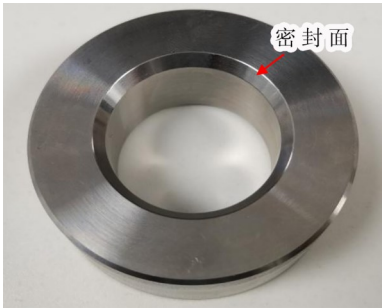


图2 阀座未熔覆形貌
Fig. 2 Appearance of the valve seat before cladding

1.2 试验方法

熔覆试验在型号为 JRB-480F1 的机器人激光熔覆工作站上进行。该设备采用 Laser line 半导体激光器,最大输出功率 4 000 W。采用同轴送粉方式输出粉末,同时数控机床带动阀座旋转,在其密封面上制备激光熔覆层,试验过程如图 3 所示。通过前期在相同材质基板的预实验,探索出熔覆效果稳定可靠的工艺参数,本实验优化后的熔覆工艺参数为:激光功率 2 500 W、扫描速度 30 mm/s、送粉速度 3 r/min、搭接率 50%、熔覆层厚度控制为 2 mm,最终在阀座密封面以单层多道的方式进行实际工件的熔覆操作。

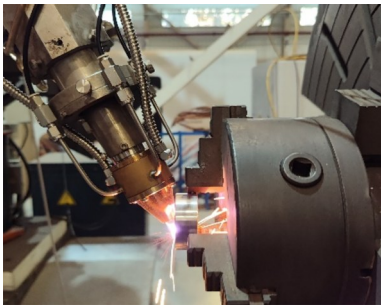


图3 试验过程
Fig. 3 Schematic diagram of the experimental process

1.3 试验测试

试验完成后,选择熔覆层区域进行试样切块,制备金相试样。使用王水对熔覆层进行腐蚀,在扫描电子显微镜下观察熔覆层微观组织及物相分析。中性盐雾试验参照 GB/T 10125—2012《人造气氛腐蚀试验—盐雾试验》标准,对熔覆成形的样件进行 300 h 的 NSS 中性盐雾试验,观察其表面腐蚀形貌;使用维氏硬度计测量熔覆层的显微硬度,载荷为 2.94 N,受压时间为 10 s;采用 TR-471-1000 型号的空气射流冲蚀试验机测试密封面的抗冲蚀性能,试样尺寸为 25 mm×25 mm×5 mm,沿试样中心部位的垂直方向进行冲蚀;采用实验室自制的跌落装置进行阀副抗冲击寿命试验,如图 4 所示,设定跌落 30 次/min;在真空泵试验台上进行阀副的气密性试验,工作电压为 220 V,执行标准依据 2.2.1.GB/T18607—2008《抽油泵及组件规范》,对比阀球跌落前后气密性的差异。

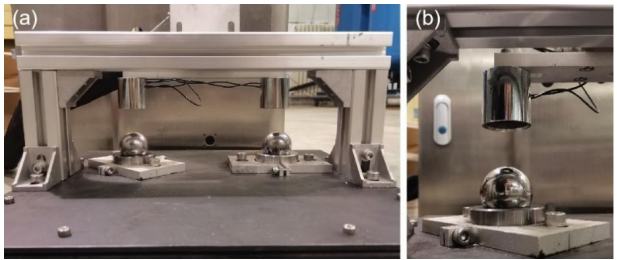


图4 专用阀副跌落装置
Fig. 4 Special valve assembly drop test device

2 试验结果分析

2.1 显微组织

图 5 为 TF 306 熔覆层(图 5a~5c)、TF 103 熔覆层(图 5d~5f)、TF 103+10%WC 熔覆层(图 5g~5i)结

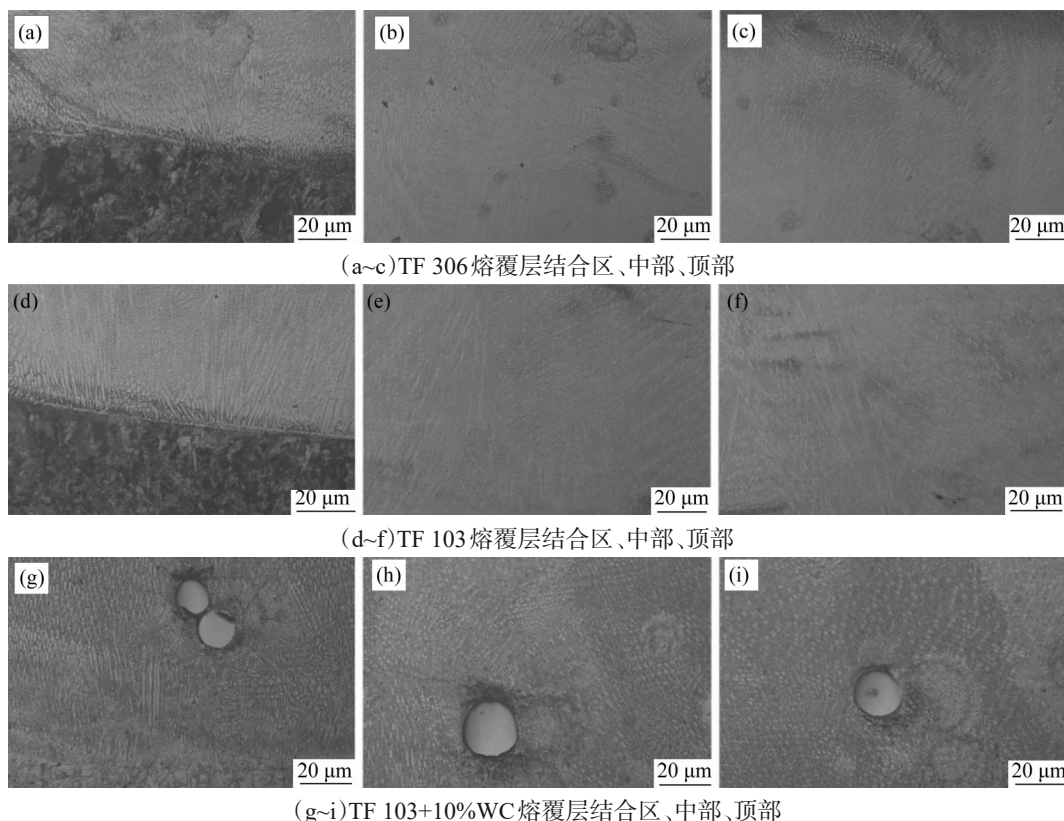


图5 三种熔覆层OM图

Fig. 5 Optical micrographs of three cladding layers

合区、中部、顶部的微观形貌,宏观显示三种材料的熔覆层均匀、连续、光滑、无裂纹、无气孔、组织较基体细小紧密,且显微组织形貌接近。熔覆层与基体的结合区域均存在一条白亮带,表明该区域发生了元素扩散,形成了良好的冶金结合。根据凝固理论,熔覆层的凝固过程与 G/R (温度梯度/凝固速度)有关。在熔覆初期,熔池中的熔融金属与基体界面接触产生快速热传导,此时散热仅通过基体表面单向进行且为定向凝固,温度梯度大但凝固速度极慢,组织以平面晶形式生长。随着凝固方向从熔池向上推移,基体与熔覆层的温度梯度逐渐减小,热扩散速度相对加快,即 G/R 减小,这使得平面晶生长不稳定,部分区域产生凸起生长,进而熔覆层形成与结合区平行连接的胞状晶和外延生长的柱状晶组织。当固液界面持续向上推进,熔覆层内部逐渐凝固,产生范围较大的成分过冷区,在熔覆层中部沿着凝固方向晶粒生长形成树枝晶组织。在熔覆层的顶部,由于熔覆表层接触空气,温度梯度迅速下降,形成快速凝固的特性。这种情况下,形核质点增多,晶体

生长速度较快,因此晶粒尺寸逐渐细小,凝固组织以无方向性的等轴晶和细小的树枝晶为主。

TF 103+10%WC粉末(图5d~5f)制备的熔覆层相比于TF 103的涂层(图5g~5i),其组织更加细小致密,表明WC颗粒有细化晶粒的作用,部分WC颗粒在熔池中融化并向熔池内部扩散,与Fe、Cr等元素形成硬度较高的碳化物,产生固溶强化的作用。碳化物的存在阻碍了垂直于基体生长的柱状晶和枝晶,在WC颗粒周围形成较多细小的晶粒。同时,WC颗粒占据晶界,降低了晶界能,使系统的自由度不能支撑晶粒生长,对其产生“钉扎”作用,晶粒长大受阻^[15]。

2.2 熔覆层元素分布分析

图6为TF 306熔覆层中部EDS面扫图谱,显示熔覆层内部元素分布均匀。基体的主要元素为Co,以及一定含量的Fe、Cr、C元素。熔覆层主要由枝晶间和连续网状的枝晶组成,属于典型的共晶组织。对该区域进行点扫分析,元素成分如表5所示,枝晶组织以Co的固溶体为主,枝晶间为富Cr的碳化物,碳

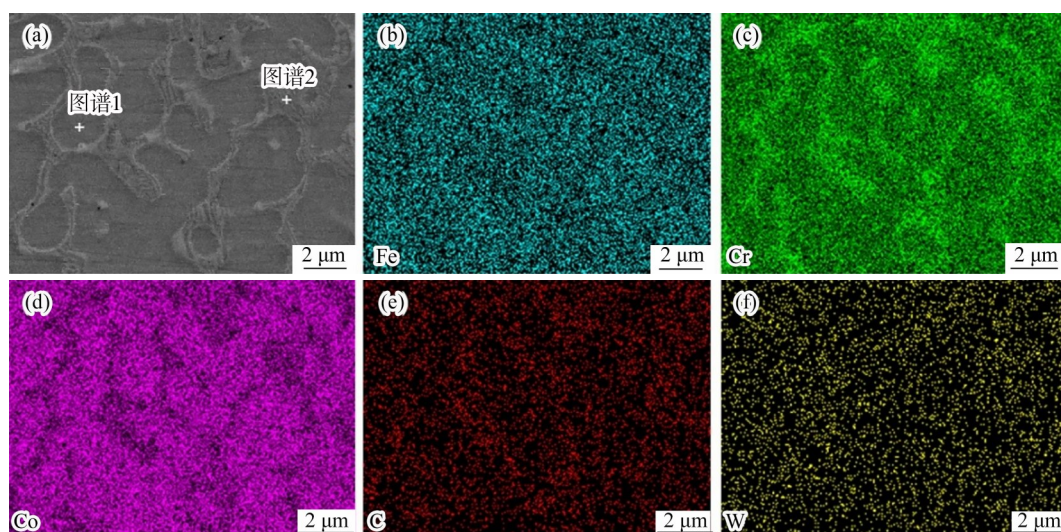


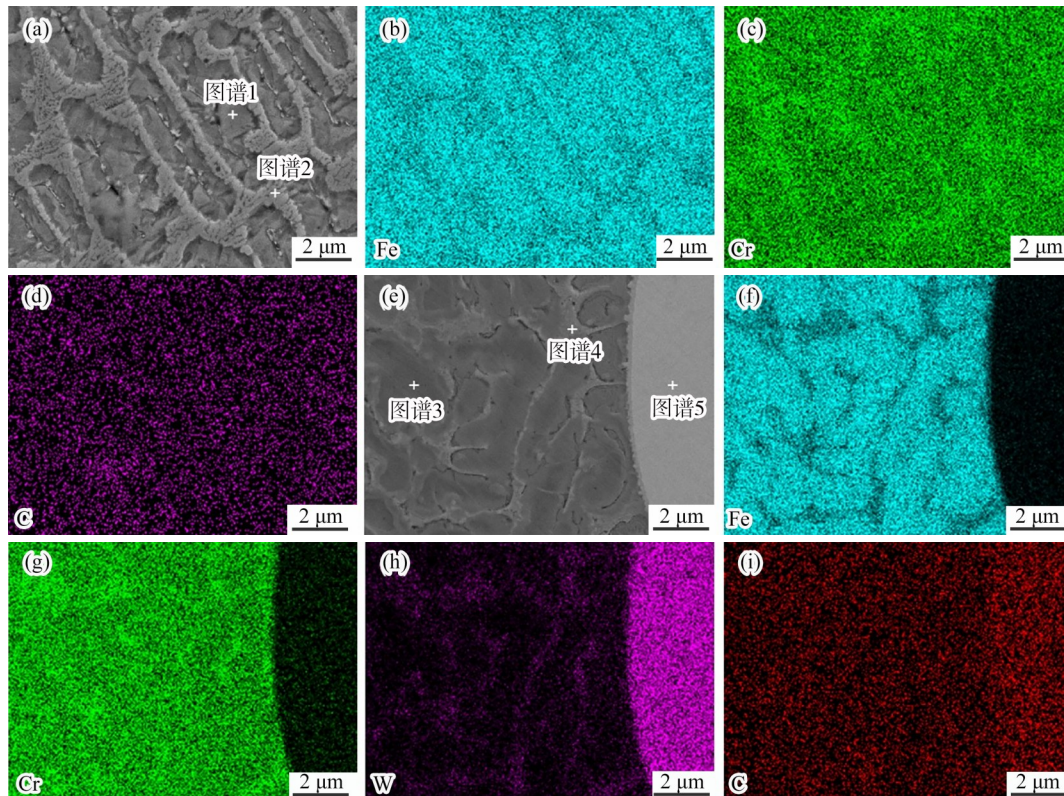
图6 激光熔覆 TF 306 熔覆层截面 SEM-面扫结果

Fig. 6 SEM surface scan image of the cross-section of the TF 306 cladding layer prepared by laser cladding

化物的存在可以提高熔覆层的硬度和耐磨性^[16]。在熔覆初期,液相中Cr、W、C元素发生富集,形成富Co相,经过共晶反应后形成Co相和碳化物的共晶组织。

图7为TF 103以及TF 103+10%WC两种熔覆

层的面扫分析,二者均呈现树枝晶形貌类型,且熔覆层内部元素分布均匀。点扫分析结果如表6、表7所示,两种熔覆层的枝晶间均出现Cr元素的富集现象。在含10%WC的Fe基熔覆层中,明显可观察到



(a~d)TF 103 熔覆层;(e~i)TF 103+10%WC 熔覆层

图7 熔覆层截面 SEM-面扫结果

Fig. 7 SEM surface scan images of the cross-section of the cladding layers

表5 TF 306熔覆层EDS点扫元素成分(质量分数,%)

Table 5 EDS point scan elemental composition of TF 306 cladding layer(wt. %)

元素	Co	Cr	Fe	C	W	其他
谱图1	55.20	24.31	9.93	6.52	3.22	余量
谱图2	39.11	37.65	7.13	10.11	4.46	余量

未熔的WC颗粒(图7h右侧),且W元素向熔覆层内部发生扩散,C元素增多,这是由于部分WC颗粒在部分融化后向熔覆层内部扩散,与Fe、Cr等元素形成硬度较高的碳化物,从而产生固溶强化作用。

表6 TF 103熔覆层EDS点扫元素成分(质量分数,%)

Table 6 EDS point scan elemental composition of TF 103 cladding layer(wt. %)

元素	Fe	Cr	C	Ni	Si	其他
谱图1	73.03	17.58	5.79	2.66	0.94	余量
谱图2	62.06	24.32	6.96	2.20	0.59	余量

表7 TF 103+10%WC熔覆层EDS点扫元素成分(质量分数,%)

Table 7 EDS point scan elemental composition of TF 103+10%WC cladding layer(wt. %)

元素	Fe	Cr	C	W	Ni	其他
谱图3	64.93	13.03	6.38	13.34	2.32	余量
谱图4	42.15	19.24	7.45	29.50	1.64	余量
谱图5	0.55	—	10.52	88.36	—	Sb 0.58

对三种熔覆层顶端至基体进行线扫分析,结果如图8所示。TF 306熔覆层中Fe和熔覆粉末中的主要元素Co明显发生扩散现象,在结合区存在明显的成分过渡,这得益于激光能量的精确控制,使得过渡区域较短。TF 103熔覆层至不锈钢基体的线扫图中显示各元素起伏差异较小,不存在明显的成分过渡区,表明各元素分布均匀且粉末与基材形成良好的冶金结合,熔覆层稀释率较小。在含有10%WC的TF 103熔覆层线扫图中,约0.7 mm处WC含量直线升高,其他主要元素发生骤降现象,这是由于内部含有部分未溶解的WC颗粒,但其他区域元素变化与TF 103熔覆层相似,均产生极小的波动,表明该工艺制备的熔覆性能良好。

2.3 硬度测试

图9为基材与熔覆层的硬度值统计情况,原基体6Cr18Mo显微硬度为525 HV_{0.2},17-4PH不锈钢阀座表面硬度为402.1 HV_{0.2}。在阀座密封面进行不同粉末的激光熔覆处理后,硬度发生了显著变化:熔

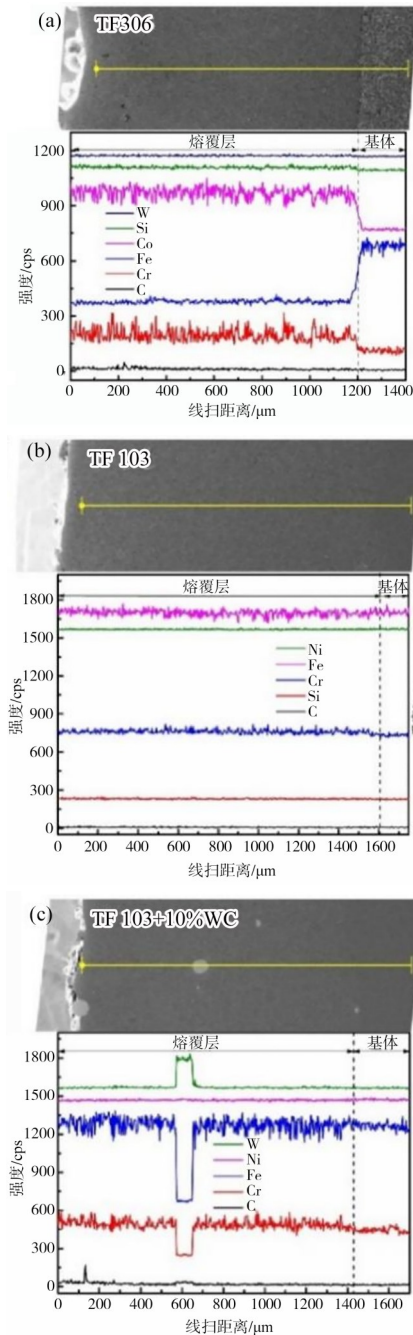


图8 三种熔覆层线扫图

Fig. 8 Line scan images of three cladding layers

覆TF306粉末后,熔覆层硬度达到412.3 HV_{0.2};TF 103熔覆层硬度为585.9HV_{0.2};TF 103+10%WC陶瓷颗粒粉末的熔覆层硬度达到573.6 HV_{0.2}。由此可见,熔覆Fe基粉末后硬度有了明显提升,其中TF 103熔覆层的硬度最大,相比原6Cr18Mo阀座硬度提高60.9 HV_{0.2}。添加WC后硬度略低于TF 103熔覆层,推测是由于WC添加量较少,导致晶粒细化程度低,

因而对其硬度影响相对较小。通常情况下,材料的硬度是衡量其耐磨性能的重要参考指标之一,建立两者之间的联系,即高硬度的涂层可以有效提高材料表面的耐磨损性能。

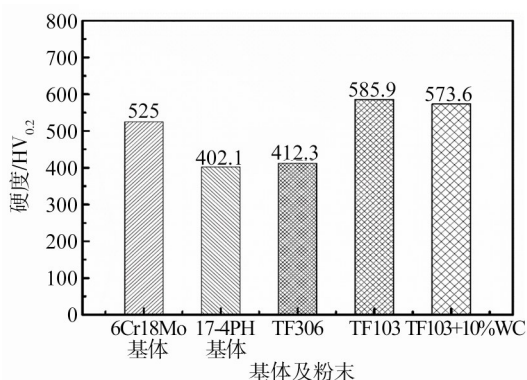


图9 基材与三种熔覆层硬度值统计

Fig. 9 Statistical chart of hardness values of the substrate and three cladding layers

结合显微组织分析可知,激光熔覆后硬度增大原因主要在于熔覆层不同部位的微观结构特点以及多种强化机制的共同作用。在熔覆层顶部,由于温度梯度较小,冷却速度较快,多形成细小的等轴晶组织;而熔覆层中部和底部的晶粒相较于基体更为细小。在凝固过程中,熔覆层组织同时受到细晶强化、

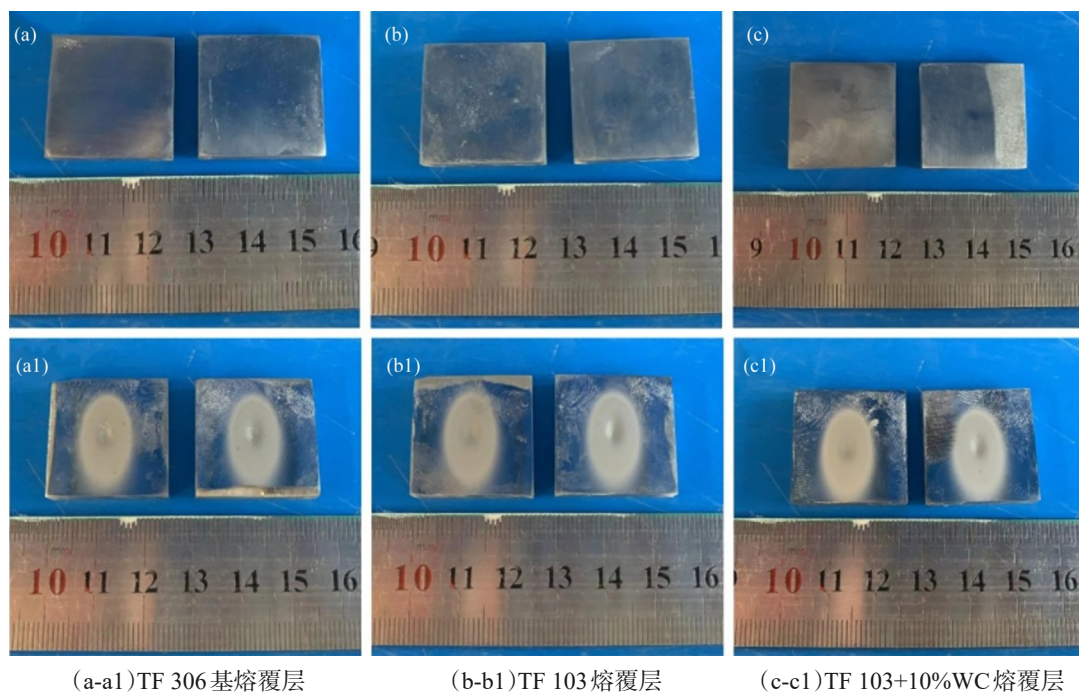
固溶强化以及部分碳化物硬质相的弥散强化作用,这些强化机制相互协同,显著提高了涂层的硬度。

综上,采用激光熔覆的修复方式有效改善了阀座的性能,相同工况下工件实际使用寿命会得到延长。

2.4 冲蚀性能

三种熔覆层冲蚀后的表面宏观形貌如图10所示。同一熔覆层分别制备两组平行试样(1号样和2号样),所有熔覆层表面较为完整,沿着冲蚀垂直方向,表面出现了较浅的冲蚀坑,表明三种熔覆层均具备优异的抗冲蚀性能。在冲蚀过程中,材料内部的塑性变形会在碳化物的边界逐渐积累,进而产生较大的应力集中,这种应力集中超过材料的承载能力时会导致碳化物剥落,表面出现冲蚀坑。对比三种熔覆层的显微组织,它们均呈现出无缺陷且析出相致密均匀的定向凝固枝晶特征,这种微观结构有效减少了冲蚀过程中的应力集中,同时涂层有较高的硬度,在冲击能量下不易剥落,有助于提高冲蚀性。

图11为三种熔覆层的冲击试样质量变化曲线和冲蚀前后的失重统计图。图中每种熔覆层1号样和2号样的曲线十分接近,表明该冲击试验具有很好的稳定性以及熔覆层内部元素分布均匀。TF 306熔覆层的冲蚀损失量为0.042 6 g和0.042 4 g,TF 103



(a-a1) TF 306 基熔覆层

(b-b1) TF 103 熔覆层

(c-c1) TF 103+10%WC 熔覆层

图10 三种熔覆层冲蚀后宏观形貌

Fig. 10 Macroscopic morphology of three cladding layers after erosion

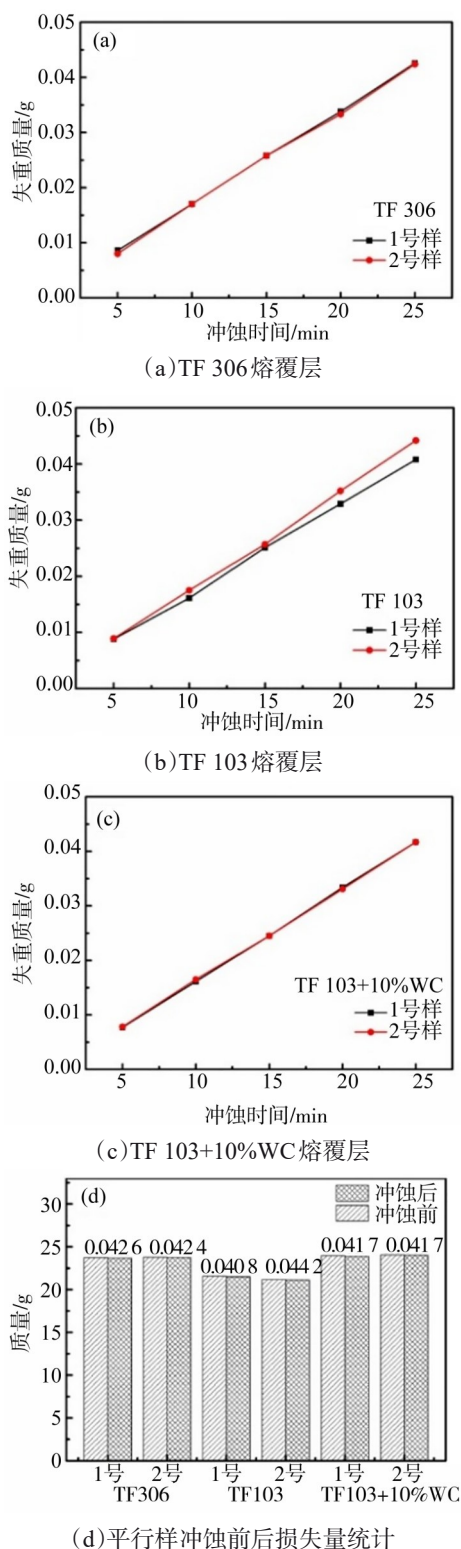


图11 冲蚀试样质量变化曲线

Fig. 11 Erosion sample mass change curve

熔覆层的冲蚀损失量均为0.040 8 g和0.044 2 g, TF 103+10%WC熔覆层的冲蚀损失量均为0.041 7 g,

Fe基熔覆层有相对较好的抗冲蚀性能。冲蚀后的表面形貌相似,均呈现出明显的犁沟切削特征且与冲蚀介质的流动性一致。对于金属材料,在小角度冲蚀的情况下,其主要的冲蚀机制为微切削,材料硬度和抗冲蚀性能呈现正相关联系^[17-18]。三种熔覆层表面均匀致密且无缺陷,析出相和高硬碳化物的强化作用有效缓解了冲击颗粒对涂层的撞击和挤压,减少材料的磨损和剥落,均有助于提升涂层的抗冲蚀性能。

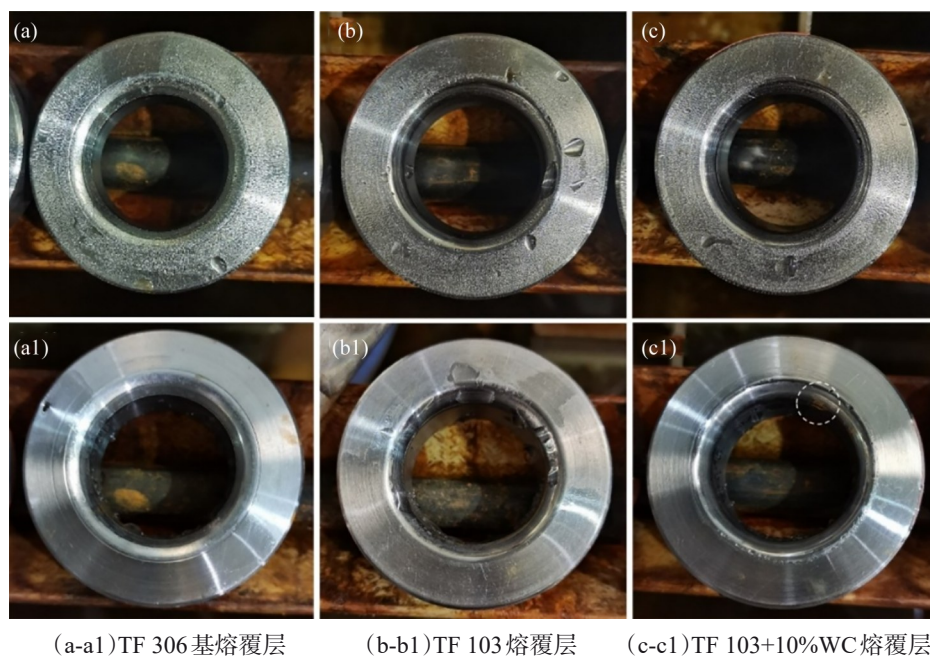
2.5 腐蚀性能

为验证激光熔覆后涂层的耐腐蚀性能,对基材与熔覆后的试样进行300 h的NSS中性盐雾试验。试验后的宏观形貌对比如图12所示。TF 306和TF 103熔覆层试样表面无任何锈点,评级9级,表明熔覆层耐盐雾腐蚀性能优异。这是因为Co元素和Cr元素是熔覆层耐腐蚀的关键,可提升熔覆层整体电位电极,其中Co元素和Cr元素容易钝化形成致密氧化膜,防止熔覆层表面腐蚀行为。

TF 103+10%WC熔覆层在300 h后出现一处腐蚀点(见图12c1)。分析其腐蚀原因:WC颗粒中的C含量高,可加快腐蚀速度,同时WC激光熔覆时熔化生成细小的碳化物,导致熔覆层表面形成腐蚀碳化物。

2.6 气密性试验

依据自制阀副跌落试验台,对原阀副9Cr18Mo阀球及6Cr18Mo阀座及新制的复合梯度阀座分别进行30万次跌落试验,通过真空度试验测试其跌落前后的气密性,检验阀座密封面的抗冲击和密封性能。跌落试验后,三种阀座密封面宏观均无磨损和裂纹等缺陷,表明三种粉末制备的熔覆层均具有良好的抗冲击性能,有延长阀副使用寿命的效果。图13为阀副跌落前后的气密性检测对比情况。试验要求在64.32 kPa真空度环境下,阀副需在5 s内保持真空度不下降。原始阀副经过30万次跌落试验后,气密性检验时真空度降至32 kPa,表明阀副密封性严重降低,为不合格试样。而TF 306、TF 103、TF 103+10%WC三种阀座在阀球跌落前后均能在64.32 kPa的压力下保持5 s,且跌落后承受压力值还略有升高,三种阀副密封性均符合国标相关要求,表明激光强化后阀座均有良好的防泄漏作用。



(a-a1)TF 306 基熔覆层 (b-b1)TF 103 熔覆层 (c-c1)TF 103+10%WC 熔覆层

图 12 三种熔覆层盐雾腐蚀前后宏观形貌

Fig. 12 Macroscopic morphology of three cladding layers before and after salt spray corrosion

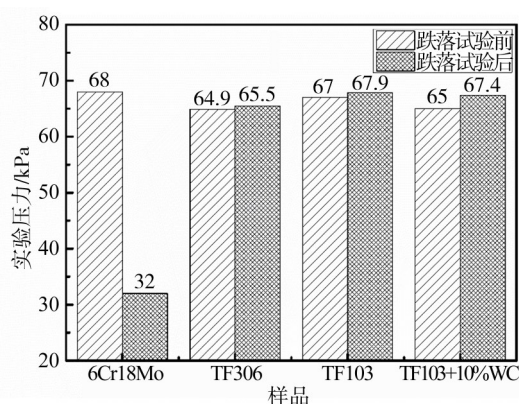


图 13 三种阀座熔覆层阀球跌落前后气密性变化

Fig. 13 Change of airtightness of three valve seat cladding layers before and after valve ball drop test

3 结论

(1)采用激光熔覆技术在抽油泵阀座密封面上熔覆三种不同合金粉末,其熔覆层与基体均保持良好的冶金结合,内部显微组织均匀致密,无裂纹、气孔等缺陷存在。从结合区至熔覆层顶部,组织由平面晶、胞状晶逐渐转变为柱状晶和树枝晶,熔覆层顶部具有快速凝固特性,形成大量生长方向不同的等轴晶。枝晶间出现了Cr元素富集现象,所有熔覆层内部晶粒均比基体晶粒细小,添加WC有阻碍晶

粒竖直生长的作用,Fe基粉末的熔覆层与基体间几乎不存在成分过渡区,结合性能优异且稀释率较小。

(2)TF 103 和 TF 103+10%WC 熔覆层组织在细晶强化、固溶强化以及部分碳化物硬质相的弥散强化的共同作用下,硬度均较 17-4PH 马氏体不锈钢硬度值有明显提升;冲蚀试样显示三种材料的熔覆层表面均出现较浅的冲蚀坑,冲蚀损失量均小于 0.045 g,具有优异的抗冲蚀性能;阀副跌落前后三种材料的密封性均能符合国标相关要求,表明该工艺和材料可制备组织和性能优异的阀座密封面熔覆层,有助于提高抽油泵耐磨性和延长使用寿命。

(3)综合对比三种熔覆层,其中 TF 103 材料的阀座熔覆层组织均匀致密,内部元素分布均匀,其硬度最高达到 585.9 HV_{0.2},比原 6Cr18Mo 阀座硬度提高 60.9 HV_{0.2},冲蚀后质量损失仅 0.040 8 g,NSS 中性盐雾腐蚀 300 h 表面无腐蚀产物,阀副跌落后可在试验压力 67.9 kPa 下保持 5 s。相比其他两种熔覆层,Fe 基粉末 TF 103 熔覆层表现出优异的耐磨性、耐腐蚀性、耐冲击性和较好的密封性能,可为高性能抽油泵阀座密封面强化工艺提供参考。

参考文献:

- [1] 冯嘉宁. 304 不锈钢表面激光熔覆镍基合金涂层的熔

- 敷工艺及改性研究[D]. 甘肃:兰州理工大学,2019.
- FENG J N. Study on the Cladding Process and Modification of Nickel-based Alloy Coating on the Surface of 304 Stainless Steel by Laser Cladding [D]. Lanzhou University of Technology, 2019.
- [2] 李凯,雷波. 乳化液泵吸液阀座失效分析与修复工艺[J]. 陕西煤炭,2017,36(04):90-93.
- LI K, LEI B. Failure Analysis and Repair Process of Leibo Emulsion Pump Suction Valve Seat [J]. Shaanxi Coal, 2017, 36(04): 90-93.
- [3] 吴国龙,任方成,姚建华,等. 半导体激光熔覆新型Co基合金耐擦伤性机制[J]. 中国激光,2017,44(06):125-132.
- WU G L, REN F C, YAO J H, et al. Wear Resistance Mechanism of New Co-based Alloy Coating Prepared by Semiconductor Laser Cladding [J]. Chinese Journal of Lasers, 2017, 44(06): 125-132.
- [4] 梁汉生,蒋定功,张朝文,等. 阀门组件老化敏感点预警值的确定及老化缓解对策[J]. 核动力工程,2005(S1):97-102.
- LIANG H S, JIANG D G, ZHANG C W, et al. Determination of Early Warning Values for Aging Sensitive Points of Valve Components and Aging Mitigation Countermeasures [J]. Nuclear Power Engineering, 2005 (S1): 97-102.
- [5] 肖红军,彭云,马成勇,等. 激光表面改性[J]. 表面技术,2005(05):10-12.
- XIAO H J, PENG Y, MA C Y, et al. Laser Surface Modification [J]. Surface Technology, 2005(05): 10-12.
- [6] 吕新峰,宋辉,胡娟,等. 金属增材制造检测技术的应用研究及展望[J]. 电焊机,2023,53(10):1-9.
- LV X F, SONG H, HU J, et al. Research and Prospect of Metal Additive Manufacturing Inspection Technology [J]. Electric Welding Machine, 2023, 53(10): 1-9.
- [7] 张津超,石世宏,龚燕琪,等. 激光熔覆技术研究进展[J]. 表面技术,2020,49(10):1-11.
- ZHANG J C, SHI S H, GONG Y Q, et al. Research Progress of Laser Cladding Technology [J]. Surface Technology, 2020, 49(10): 1-11.
- [8] Zhu L D, Xue P X, Lan Q, et al. Recent research and development status of laser cladding: A review [J]. Optics & Laser Technology, 2021, 106915.
- [9] More S R, Bhatt D V, Menghani J V. Recent Research Status on Laser Cladding as Erosion Resistance Technique —An Overview [J]. Materials today: proceedings, 2017, 4(09): 9902-9908.
- [10] 孟氢钡,覃恩伟,黄弋力,等. 轴类部件表面镍基合金激光熔覆修复层力学性能研究[J]. 电焊机,2019,49(11):17-19+25.
- MENG Q B, TAN E W, HUANG Y L, et al. Study on the Mechanical Properties of the Nickel-based Alloy Laser Cladding Repair Layer on the Surface of Shafts [J]. Electric Welding Machine, 2019, 49 (11): 17-19+25.
- [11] 田苗. 强流脉冲电子束作用下17-4PH不锈钢表面激光熔覆NiCoCrAlY涂层组织与性能研究[D]. 安徽:中北大学,2023.
- TIAN M. Study on the Microstructure and Properties of NiCoCrAlY Coating on the Surface of 17-4PH Stainless Steel by High Current Pulse Electron Beam [D]. Anhui: North University of China, 2023.
- [12] Joseph M J, Jabbar M A. Effect of aging process on the microstructure, corrosion resistance and mechanical properties of stainless steel AISI 204 [J]. Case Studies in Construction Materials, 2019, 11: e00253.
- [13] 李荣之,曹征宽,朱斌,等. 航天用17-4PH不锈钢锻件热处理工艺与组织性能研究[C]//第十三届中国钢铁年会论文集:先进钢铁材料及其应用,2022:234-242.
- [14] 刘福广,李勇,杨二娟,等. 超(超)临界火电机组阀门用耐热钢激光熔覆钴基合金修复研究[J]. 激光与光电子学进展,2021,58(5):212-220.
- LIU F G, LI Y, YANG E J, Research on Laser Cladding of Cobalt-based Alloy for Heat-resistant Steel Valves in Ultra (Ultra) Critical Thermal Power Units [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021, 58 (5): 212-220.
- [15] 刘颖波. 45钢表面激光熔覆Stellite 6/WC梯度复合涂层工艺、组织与性能研究[D]. 甘肃:兰州理工大学,2023.
- LIU Y B. Study on the Process, Microstructure and Properties of Stellite 6/WC Gradient Composite Coating on the Surface of 45 Steel by Laser Cladding [D]. Lanzhou University of Technology, 2023.