

不锈钢表面镍铬激光熔敷层组织 与耐磨性能的研究

吴运新 王昆林 朱允明 朱张校 丁连珍

(清华大学机械工程系, 北京 100084)

提要 研究了不锈钢表面镍铬激光熔敷层的组织与耐磨性能。结果表明,熔敷层组织细小均匀,有硬化相存在,并具有良好的耐磨性能。

关键词 激光熔敷,耐磨性能,微动磨损

在摩擦、振动和冲击等工况条件下工作的不锈钢部件,需要具有良好的耐磨性能,尤其需要具有耐微动磨损的性能。通常采用渗碳、氮化、固体或液体润滑等方法来提高材料表面的耐磨性能^[1,2],但对在恶劣条件下工作的部件,这些方法有时仍难以满足使用要求。

本文采用激光熔敷方法,在不锈钢表面形成镍铬合金涂层,使耐磨性能显著提高。

1 实验方法

实验用基体材料为 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢,试样尺寸为 70 mm×30 mm×4 mm 和 ϕ 7 mm×26 mm 两种。用氧-乙炔火焰喷涂方法在基材表面喷涂美科 16C 或美科 31C 镍铬自熔合金粉末,其厚度为 0.40~0.50 mm。粉末成份见表 1。

Table 1 Chemical compositions of alloy powders

Powder	Chemical composition (wt%)								
	Cr	B	Si	C	Fe	Cu	Mo	WC-Co	Ni
Metco 16C	16	4	4	0.5	2.5	3	3		rest
Metco 31C	11	2.5	2.5	0.5	2.5			35	rest

激光重熔在 HGL-81 型 2 kW 横流 CO₂ 激光加工机上进行。采用的激光工艺参数为:输出功率 1.5 kW,圆形激光束直径 4 mm,扫描速度 360 mm/min,多道扫描的重叠量为 50%,保护气体为氮气。激光重熔后制取金相样品,并进行如下分析:在光学金相显微镜和 CSM950 扫描电子显微镜上进行显微组织观察;用能谱分析(EDAX)和波谱分析(WDAX)进行显微组织化

学成分分析;利用 D/max-RB 型 X 射线衍射仪进行 X 射线衍射物相分析(XRDA);用 HX-200 型显微硬度计测量硬度。

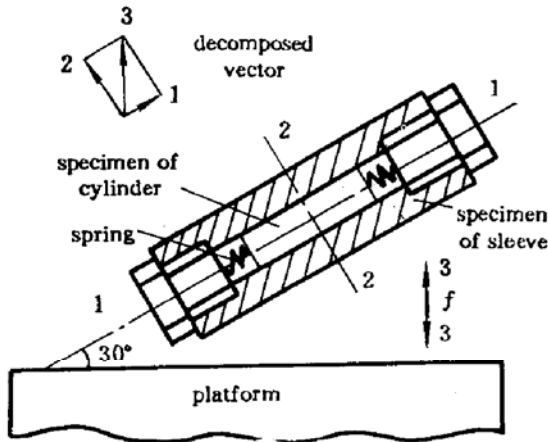


Fig. 1 Schematic illustration of additional apparatus on INSTRON vibrator

滑动磨损实验在 MHK-500 型环块磨损试验机上进行。块状样品从 $70\text{ mm} \times 30\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ 试样上制取。与之对磨的为 GCr15 钢环,经淬火、低温回火处理,硬度 HRC 为 62~66。实验时可自动记录动态摩擦系数。磨损量用 TALYSURF5-120 型表面形貌仪测定磨痕截面积计算得出。两种涂层各有三块样品进行磨损实验。

在 INSTRON1506 型电磁振动台及其附加装置上进行 50 h 强化振动实验,以考察经磨加工的 $\phi 7\text{ mm} \times 26\text{ mm}$ 试样激光熔敷层的耐微动磨损性能。实验附加装置见图 1。外套以 30° 倾角固定在振动平台上。内轴与外套间隙为 $0.25 \sim 0.30\text{ mm}$ 。

振动时轴在套中的运动包括沿轴向的滑动和径向的振动或冲击,以使轴表面承受微动磨损。振动频率为 120 Hz,振幅为 0.5 mm。内轴和外套所用材料及表面处理情况见表 2。其中 D-D' 配对为对比试样。每组配对各有两套样品进行实验。

Table 2 Frictional couples of fretting resistance test

Couple (cylinder-sleeve)	Cylinder (1Cr18Ni9Ti)	Sleeve (1Cr11Ni2W2MoV)
A-A'	Metco 16C coating	Carbonitrided layer
B-B'	Metco 31C coating	Carbonitrided layer
C-C'	Metco 16C coating	Nitrided layer
D-D'	Carbonitrided layer	Nitrided layer

2 实验结果与讨论

2.1 熔敷层的显微组织与物相

美科 16C 熔敷层具有细小均匀、无气孔和裂纹的显微组织,其组织组成物包括白色的树枝晶、黑色的共晶和片状或星形析出物。图 2 为该涂层的 SEM 照片。

利用能谱和波谱分析对这三种组成物的化学成分进行分析的结果见表 3 和表 4。图 3 为 X 射线衍射分析的结果。图中横坐标为衍射角 2θ ,纵坐标为衍射强度,PS 意为脉冲数/秒。由表 3、表 4 和图 3 可对涂层中的三个组成物作如下分析:白色树枝晶和黑色共晶作为基体组织,主要成分为 Ni 基,物相为 $\gamma(\text{Ni,Fe})$,并固溶有少量 Cr, Si。共晶组成除 $\gamma(\text{Ni,Fe})$ 外,还有硅化物。因共晶中 Si 含量较多,硅的存在方式是部分固溶于 $\gamma(\text{Ni,Fe})$ 中,大部分形成硅化物,以共晶形式存在^[3~5]。片状或星形析出物的成分为 Cr 基,还有 Ni, Fe, Mo, B 等,波谱线扫描还表明析出物含 C 量大大高于基体^[5],由此可知,析出物为 CrB, Cr₂₃C₆ 等化合物。

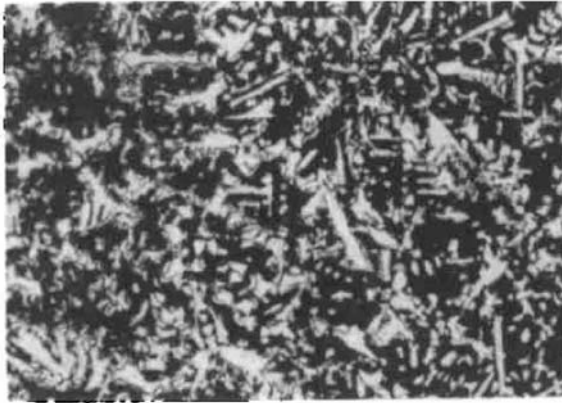


Fig. 2 Microstructure of metco 16C coating

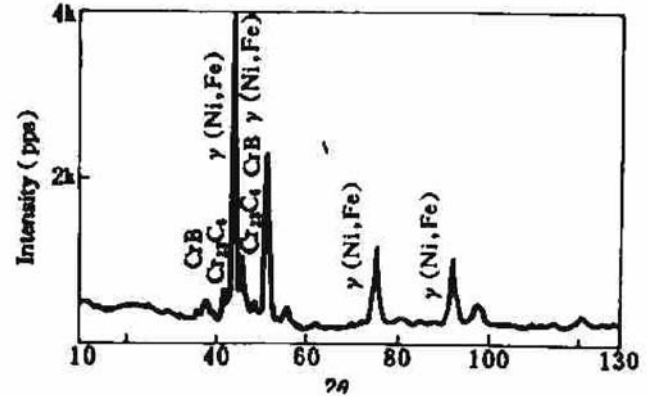


Fig. 3 X-ray diffraction spectrum of Metco 16C coating

Table 3 Composite analysis of Metco 16C coating by EDAX

Microstructure	Composition (wt%)					
	Ni	Cr	Fe	Mo	Si	Cu
Dendrite	70.75	7.38	11.03		7.68	3.16
Eutectic	70.38	4.33	4.18	1.00	18.44	1.67
Flake precipitate	8.41	71.88	8.85	10.86		
Star-like precipitate	9.97	70.81	8.36	10.86		

Table 4 Pulse number of microstructures by WDAX

Microstructure	Pulse number by WDAX			
	Ni	Cr	Fe	B
Matrix	3000	1400	1150	3
Flake precipitate	1000	3600	260	23
Star-like precipitate	1000	2500	660	12

图 4 为美科 31C 熔敷层的显微组织。对熔敷层进行的能谱、波谱分析和 X 射线衍射分析的结果表明：显微组织中的黑色共晶由 γ (Ni, Fe) 和 Ni_3B 组成，白色片状为溶解了少量其他元素的析出物 WC 相，还有块状的未熔 Co 包 WC。

图 5 为美科 16C 和 31C 熔敷层与基体结合区情况。结合区白亮带宽 $4\sim 5\ \mu\text{m}$ ，成份为 Ni, Fe 等，是熔敷层和基体材料间元素相互扩散而形成的，使熔敷层与基体形成良好的冶金结合。

2.2 熔敷层的显微硬度

熔敷层显微硬度沿深度方向的变化见图 6。熔敷层硬度比较均匀，在与基体交界处硬度逐渐降低并达到基体硬度。美科 31C 熔敷层因有 WC 存在，其硬度高于美科 16C 熔敷层。熔敷层的硬度分布也反映了熔敷层化学成分和组织的均匀性，以及熔敷层与基体间良好的冶金结合。



Fig. 4 Microhardness of metco 31C coating

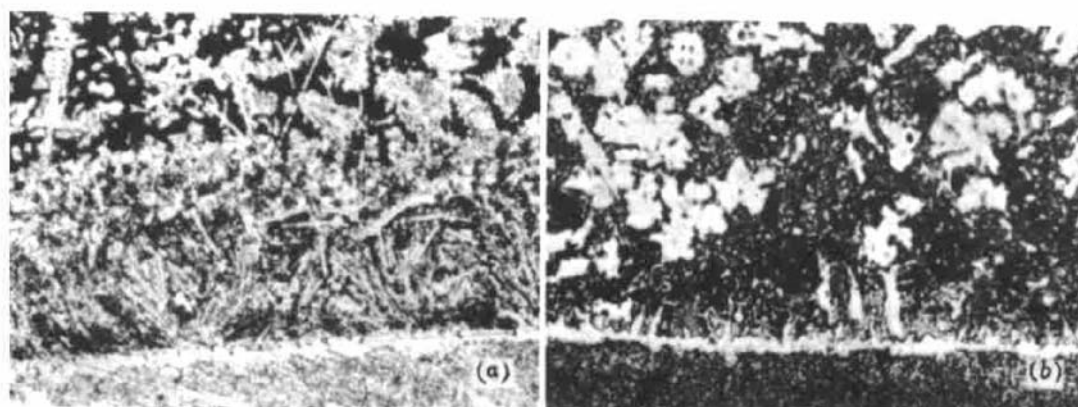


Fig. 5 Bonding area of coating with substrate

(a) Metco 16C; (b) Metco 31C

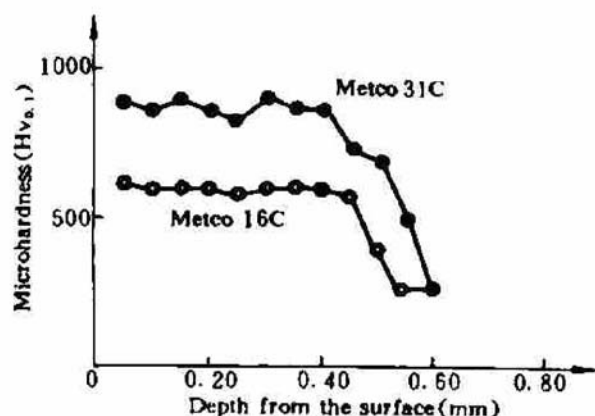


Fig. 6 Microhardness distributions of coating

2.3 熔敷层的耐磨性能

2.3.1 滑动磨损实验

磨损实验的工艺参数为: 载荷 4.0 kg, 转速 300 r/min, 对磨时间 6 min, 30 号机油润滑。两种涂层各三块样品实验结果相近, 取其平均值, 结果见表 5。可以看出, 熔敷层磨损量较小, 其摩擦系数也大大小于不锈钢基体的摩擦系数(约为 0.50)。由于美科 31C 涂层含有一定数量的硬质 WC 相, 其耐磨性能显著高于美科 16C 涂层。涂层中的化合物有助于提高其耐磨性能。

Table 5 Results of wear test

Coating	Friction coefficient μ	Wearing capacity (mm ³)
Metco 16C	0.1523	0.02125
Metco 31C	0.1109	0.005625

2.3.2 微动磨损实验

在实验的前 15 h, 内轴磨损面积逐渐增加, 并有黑色和红褐色 Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 磨屑脱落。在 35 h 后磨损面积无显著增加。表明经一定时间磨合后, 接触面的微动磨损进入稳定阶段, 磨损率保持在较低的水平^[4]。

对磨损面进行的扫描电镜分析表明, 熔敷层有不同程度的片状剥落和微犁削。片状剥落由微动磨损的疲劳效应引起, 造成涂层的损伤。同时, 剥落的片状粒子又引起磨粒磨损。但激光熔敷层的损伤比经渗碳处理的 *D* 轴的损伤要轻得多。这是由于激光涂层含有大量的韧性 γ (Ni, Fe), 能有效地阻止或减轻裂纹的萌生及扩展, 因而不易产生片状剥落, 而 *D* 轴则出现了较严重的片状剥落和犁削。如图 7 所示。

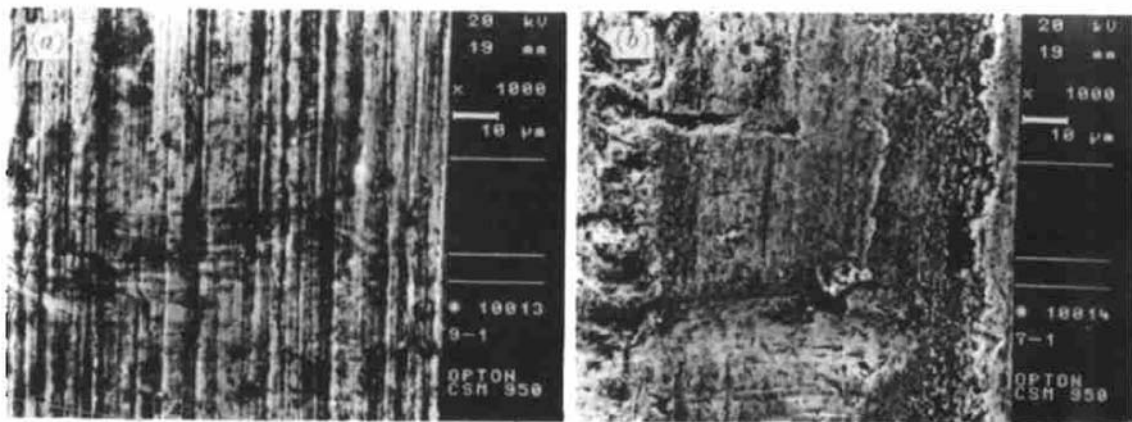


Fig. 7 Morphology of wear track

(a) cylinder c, (b) cylinder d

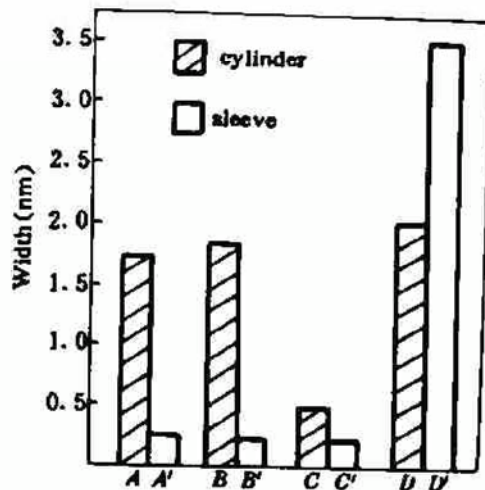


Fig. 8 Width of worn surface

用形貌仪测量了各组配对的内轴和外套的磨痕宽度。每组配对的两套样品实验结果相近。见图 8。很明显, 激光熔敷的内轴 *A*, *B* 和 *C* 比渗碳的 *D* 磨痕宽度要小, 其中 *C* 磨痕宽度最小, 耐微动磨损性能最好, 约为 *D* 轴的四倍。另外, 与激光熔敷层相匹配的外套的磨痕宽度也大大减小, 这可能是由于相匹配的表面具有更好的相互适应性, 其中 *C-C'* 为最适宜的匹配形式。总之, 激光熔敷层具有比渗碳层更高的耐微动磨损性能。

参 考 文 献

- 1 李诗卓,董祥林. 材料的冲蚀磨损和微动磨损. 北京: 机械工业出版社, 1987, 458~493
- 2 S. Frank Murray. Wear resistance coatings and surface treatments, CRC handbook of lubrication, Boca Raton, Florida: CRC press, 1984, 2: 623~644
- 3 王健安. 金属学与热处理(下册). 北京: 机械工业出版社, 1980, 110~113
- 4 崔忠圻. 金属学与热处理. 北京: 机械工业出版社, 1989, 322~324
- 5 Wu Yunxin *et al.*. *Proc. of ICLOE' 92*, Beijing, 1992. 557~563
- 6 刘家浚. 材料的耐磨抗蚀及表面技术概论. 北京: 机械工业出版社, 1988, 1~65

Study on the Microstructure and Wear Resistance of Laser Cladding Layer of Ni and Cr on the Surface of Stainless Steel

Wu Yunxin Wang Kunlin Zhu Runming Zhu Zhangxiao Ding Lianzhen
(*Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084*)

Abstract The microstructure and wear resistance of laser cladding layers of Ni and Cr on the surface of stainless steel were studied. It is shown that the microstructure of laser cladding layers is fine and homogenous. There are hardening phases. The wear resistance of the cladding layer is improved markedly.

Key words laser cladding layer, wear resistance, fretting resistance

更正:

本刊 1994 年第五期第 393 页第 3 节应为“我们的进展”