

工艺参数对 H13 钢激光合金化组织与硬度的影响

郭睿¹ 刘洋^{1,2} 李峰光¹ 戎博川³

(1.湖北汽车工业学院材料科学与工程学院;2.湖北职业技术学院机电工程学院;3.北京市房山区特种设备检测所)

摘要 采用激光合金化技术在 H13 钢表面制备 Co/Mo 合金化涂层。基于质量分数为 50% 的 Co+50% 的 Mo 的激光合金化粉末材料,选择不同的激光功率和扫描速度,依据均匀设计法进行激光合金化,通过金相、扫描电镜和显微硬度仪分别对涂层组织与硬度进行测试表征,并结合能谱分析,探究合金化涂层硬度提升机理。研究表明,合金化涂层主要由马氏体组织和析出物组成,高的比能量能够维持熔池内合金元素的均匀化,有助于形成马氏体组织。激光功率为 600 W,扫描速度为 5 mm/s 时,比能量最大为 69.33 W/(mm²·s),硬度(HV)达 605.3(55.7 HRC)。H13 钢硬度的提升机理为 Mo 与 C 结合形成颗粒状碳化物增强相与激光比能量提高后促进马氏体转变的共同作用。激光合金化能够制备硬质、无缺陷合金化涂层,为制备“软硬”相间的仿生耐磨条纹提供参考。

关键词 激光合金化;H13 钢;显微硬度

中图分类号 TG44;TG115.21 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.09.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Process Parameters on Laser Alloying Microstructure and Hardness of H13 Steel

Guo Rui¹, Liu Yang^{1,2}, Li Fengguang¹, Rong Bochuan³

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

2.School of Mechanical and Electrical Engineering, Hubei Polytechnic Institute;

3.Beijing Fangshan District Special Equipment Testing Institute)

Abstract: Laser alloying technology was utilized to produce Co/Mo alloying layer on H13 steel. Based on the 50% Co + 50% Mo laser alloying powder material, various laser powers and scanning speeds were selected, and laser alloying was conducted according to the uniform design approach. Microstructure and hardness of the coatings were characterized by metallography, scanning electron microscopy and microhardness tester, and hardening mechanism of alloying layer was analyzed combined with spectrum analysis. The results indicate that the alloying layer is mainly composed of martensite structure and precipitates, and high specific energy can sustain alloying element diffusion homogenization in the molten pool, which is conducive to the formation of martensite structure. The maximum specific energy and hardness reach up to 69.33 W/(mm²·s) and 605.3 HV(55.7 HRC), respectively, when laser power is 600 W and scanning speed is 5 mm/s. The hardening mechanism of H13 steel is attributed to the synergy of granular carbide reinforced phase created by combination of Mo and C elements and martensite transition accelerated by increase in laser specific energy. Laser alloying can provide hard and defect-free alloying coatings, which can provide key basis for bionic wear-resistant stripes between hard and soft.

Key Words: Laser Alloying, H13 Steel, Microhardness

H13 钢(4Cr5MoSiV1)常用作热锻模具,在工作过程中由于热锻模表面同时承受着较严苛的机械载荷和循环热载荷,导致热锻模的使用寿命普遍不高^[1-3]。通过在模具表层制备碳化物等耐磨层表面强化技术是延

长模具寿命的重要手段^[4-6],传统的方法有喷涂^[7]、化学热处理^[8]、气相或电火花沉积^[9]等,但存在制造成本高、结合强度不高、耐磨性能提升有限等问题。目前,激光表面强化技术因具有变形小、结合强度高,易实现自动

收稿日期:2022-10-06;修改稿收到日期:2022-12-04
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51604103);湖北省教育厅科研计划资助项目(Q20211804,D20221801);湖北汽车工业学院“增材制造及表面强化”校级创新团队资助项目(B05)
第一作者简介:郭睿,男,1989 年出生,讲师,湖北十堰(442002),E-mail: guor@huat.edu.cn
通信作者:李峰光,男,1987 年出生,教授,湖北十堰(442002),E-mail: lemon2006@126.com
引用格式:郭睿,刘洋,李峰光,等. 工艺参数对 H13 钢激光合金化组织与硬度的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2023, 43(9): 1 217-1 224.
GUO R, LIU Y, LI F G, et al. Effects of process parameters on laser alloying microstructure and hardness of H13 steel[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(9): 1 217-1 224.

化生产和区域表面强化以及耐磨性能提升明显的特点而被广泛应用于汽车、航空航天件的表面强化^[10-11]。

激光表面强化技术以激光熔凝、激光合金化和激光熔覆等^[12]方法为主。对比激光熔凝和激光填丝技术对 H13 钢热疲劳性能的影响^[13],发现激光填丝制备的单元体具有更高的硬度和热疲劳抗性。在 H13 钢表面激光熔覆 Satellite 6 钴基合金,可提高其耐磨损、耐疲劳和耐腐蚀性能^[14],而针对 H13 钢基体上采用激光合金化制备仿生结构进行强化的研究报道较少。本研究利用半导体光纤激光器对调质态 H13 钢进行 Co/Mo 激光合金化涂层制备,依据均匀设计试验方案,探讨激光功率和扫描速度对组织形成的影响,并分析激光合金化对硬度的提升机理,为制备“软硬”相间的仿生耐磨条纹提供参考。

1 试验方法

1.1 试验材料及方案

基板为调质态 H13 钢,经 200~1000 号砂纸打磨去除表层氧化层,采用无水乙醇进行清洗、烘干,保证基材表面无杂质残留。合金化粉末分别采用纯度为 99.9% 的 300 目 Co 粉和 200 目 Mo 粉按质量比 1:1 配制。利用精度为 0.1 mg 的分析天平称取 Co 粉和 Mo 粉各 1 g,利用研钵均匀混合 10 min 后加入粘结剂搅拌成糊状,均匀涂覆在基材表面并进行烘干处理^[15]。涂覆前后对试样进行称重,以保证每次涂覆粉末质量保持在 0.3 g 左右。对涂覆后的试样,采用光斑直径为 2.5 mm 的 Laserline-LDF3000 半导体光纤耦合激光器进行激光合金化处理,预选激光参数范围设置:激光功率为 310~640 W;扫描速度为 3~14 mm/s,采用 U_{12}^* (12^{10}) 均匀设计,试验工艺参数见表 1。

表 1 激光合金化工艺参数均匀设计表

Tab.1 Uniform design of laser alloying process parameters		
组号	激光功率 P/W	扫描速度 $v/(mm \cdot s^{-1})$
1	310	7
2	340	12
3	370	4
4	400	9
5	430	14
6	460	6
7	490	11
8	520	3
9	550	8
10	580	13
11	610	5
12	640	10

比能量(E)的计算公式如下:

$$E=\frac{P}{vD}$$

式中, D 为光斑直径,mm。

1.2 组织及硬度表征

用线切割沿试样横截面加工试样,经 400~1500 号砂纸打磨抛光,使用无水乙醇清洗,浸入 HF、HNO₃ 和 H₂O 体积比为 1:3:6 的腐蚀液中腐蚀 10 s,使用 JSM-6510LV 扫描电镜对合金化层显微组织进行观察,并使用 Inca X-Max 能谱仪对合金化层元素成分进行分析。显微硬度测试使用 MH-5 显微硬度仪进行,测量合金化层横截面沿深度方向硬度分布时,沿着合金化层顶部向基体方向,每隔 0.1 mm 取点测试显微硬度,每点测量 3 次,取平均值,载荷为 9.8 N,加载 15 s。合金化条纹截面特征尺寸(熔凝区宽度 w 和高度 h ,熔凝区和热影响区总体宽度 W 和总体深度 H)表征和显微硬度测量见图 1。

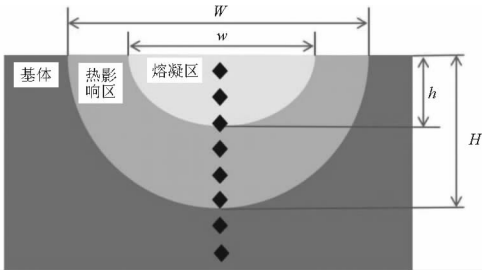


图 1 激光合金化条纹截面特征尺寸及显微硬度测试示意图

Fig.1 Characteristics and dimension of cross section of laser alloying stripe and schematic diagram of microhardness test

2 试验结果与分析

2.1 工艺参数对激光合金化条纹截面形貌的影响

图 2 和图 3 分别为不同工艺试样合金化层顶面和截面形貌。图 3 显示各组试样合金化层的截面形态均为半圆弧形,合金化层没有出现气孔、裂纹等缺陷,形貌良好。11 号试样熔深、熔宽明显要高于其他试样,而 2 号、5 号试样,其熔深、熔宽明显低于其他试样。合金化层熔深、熔宽尺寸对后续激光仿生纹理设计有一定的影响,所以还需要对不同工艺参数对激光合金化层熔深、熔宽的影响进行研究^[16]。

利用 Image J 测量软件测量各工艺参数下激光合金化层的熔深、熔宽,绘制比能量与熔深、熔宽散点图。图 4 为激光合金化条纹熔凝区及熔凝区和热影响区深度、宽度与比能量关系图。可以看出,合金化条纹截面形貌特征尺寸均呈现随着比能量的升高而增加,合金化条纹深度随比能量增加近似呈线性增长趋势,而宽度的增长有减缓的趋势。8 号试样的比能量最高,为 67.33 W/(mm² · s),其对应的形貌特征值均呈现最大数值。这是由于随着比能量增大,热输入能量增大,其

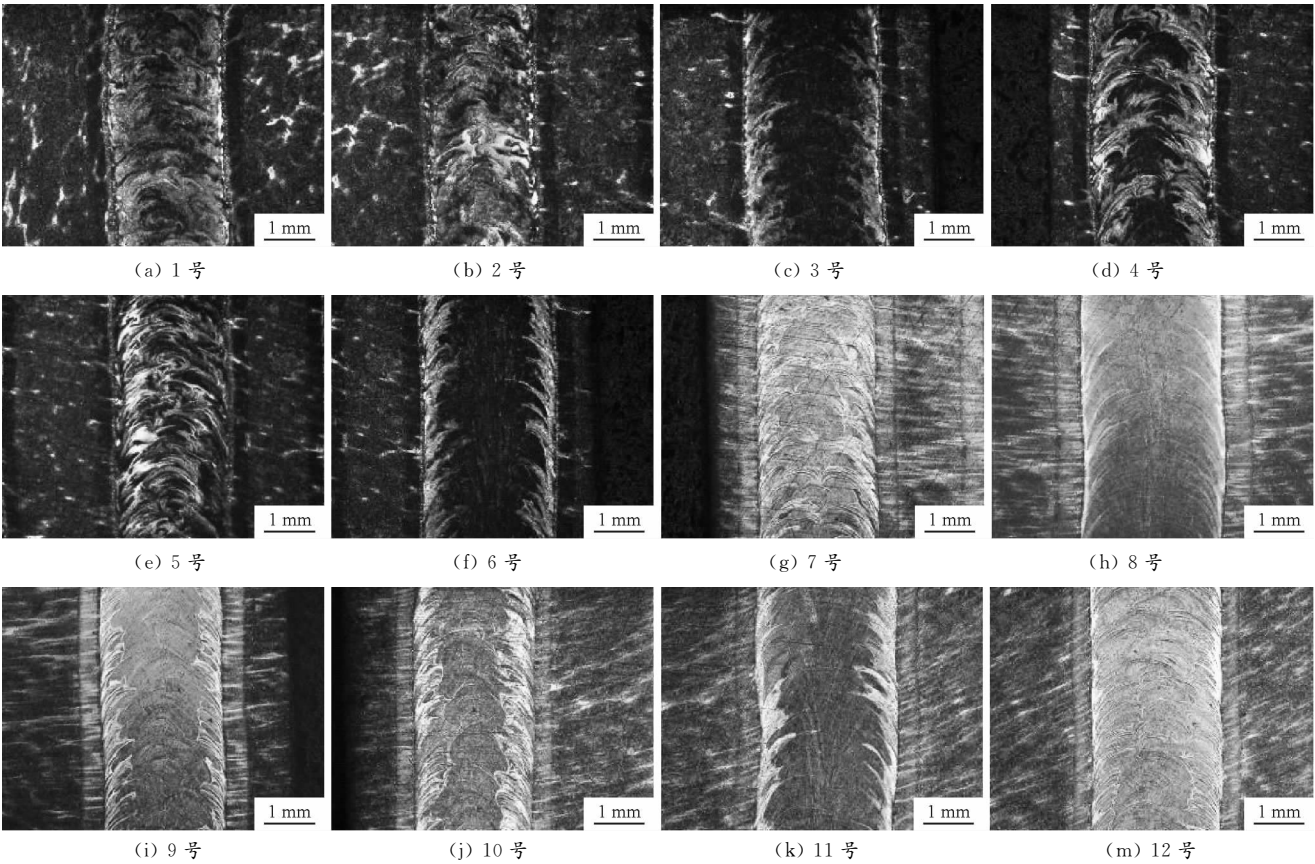


图 2 不同工艺参数下单道激光合金化条纹顶面形貌

Fig.2 Top surface morphologies of single channel laser alloying stripe with different process parameters

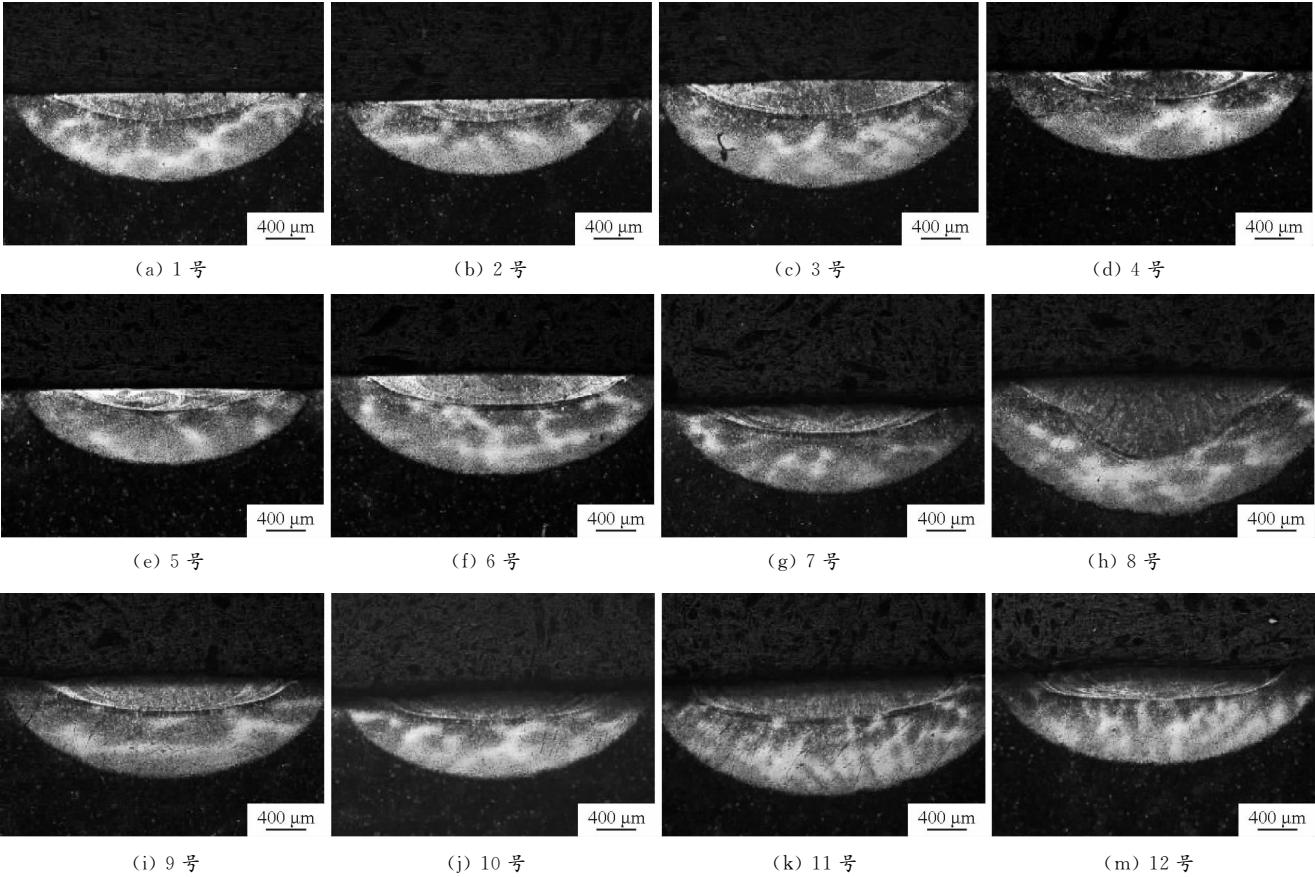


图 3 不同工艺参数下单道激光合金化条纹截面形貌

Fig.3 Cross-section morphologies of single-pass laser alloying stripe with different process parameters

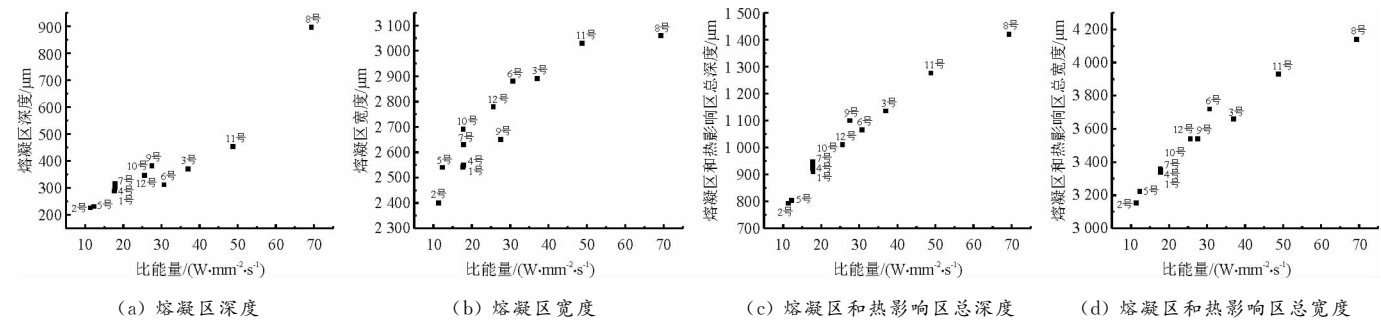


图 4 激光合金化条纹熔凝区及其与热影响区深度、宽度与比能量关系图

Fig.4 Melting zone of laser alloying stripe and relationship with depth, width and specific energy of heat-affected zone

熔深、熔宽增大,但熔宽还受到光斑直径的限制,所以熔宽的增大在后期有减缓趋势。结果表明,可通过控制比能量来得到熔宽、熔深达到要求的激光合金化条纹。

2.2 工艺参数对激光合金化条纹硬度的影响

图 5 为各组激光合金化试样截面沿深度方向硬度分布规律图。可以看出,不同工艺参数下试样沿熔凝区到热影响区再到基体上的硬度分布均呈现先升后降的“凸”字形趋势,热影响区的硬度最高。同时,比能量值

较小的 1、2、5、10 号试样熔凝区硬度要低于基体硬度;而比能量值较大的 3、4、8 号试样熔凝区硬度相较于基体硬度则有一定的提升,其中比能量最大的 8 号试样,熔凝区硬度(HV)相较于基体提升最为明显,其最大值达到了 605.3;其他试样熔凝区硬度和基体硬度相差不大。可见,比能量大,其能量输入较大,合金化效果明显,硬度提升较大;反之,则合金化效果不明显,硬度提升较小或者完全没有提升效果。

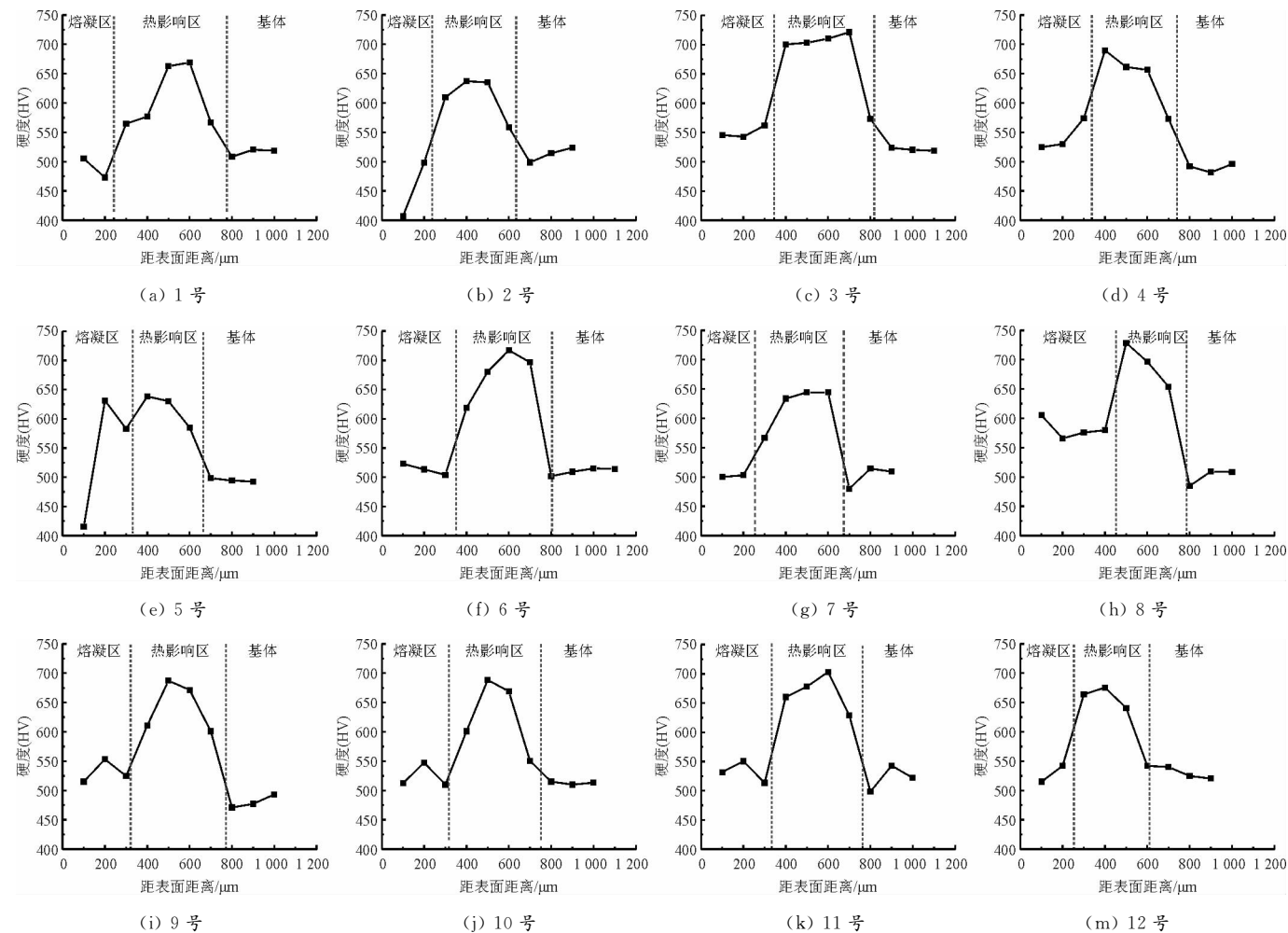


图 5 激光合金化条纹截面硬度测量结果

Fig.5 Hardness results of cross section of laser alloying stripe

2.3 工艺参数对条纹微观组织的影响及硬度提升机理

图 6 为 2、6 和 8 号试样激光合金化条纹横截面熔凝区的金相组织。可以看出,2 号试样熔凝区顶部由晶粒较粗大的奥氏体组成,部分沿晶界处有化合物析出且分布不均;熔凝区中部和底部奥氏体晶粒开始细化,且晶内有板条状马氏体生成;6 号试样熔凝区顶部由细化的奥氏体组成,沿晶界处有少量化合物析出,但熔凝区中部和底部主要由马氏体组成。8 号试样熔凝区顶部、中部和底部的组织均为马氏体组织,同时沿晶界处有大量化合物析出。分析认为,2 号试样的比能量小,小的

能量输入和快的扫描速度(12 m/s)导致形成的熔池较小,快速冷却速度条件下,冷却凝固过程中没有足够的时间生成马氏体,且在冷却速度最快的顶部区域,保留了原奥氏体组织。此外,由于激光能量输入较低,冷却速度较快,合金元素无法在熔凝区形成良好的扩散效果,堆积在顶部,从而形成较大块状的化合物。6 号试样的比能量相对 2 号试样较大,但其熔凝区的冷却速度仍较快,导致其组织转变上仍没有足够的时间完全转变为马氏体。8 号试样的比能量最大,扫描速度慢,能量输入高,故熔凝区部分较大且由于冷却速度较慢,有充

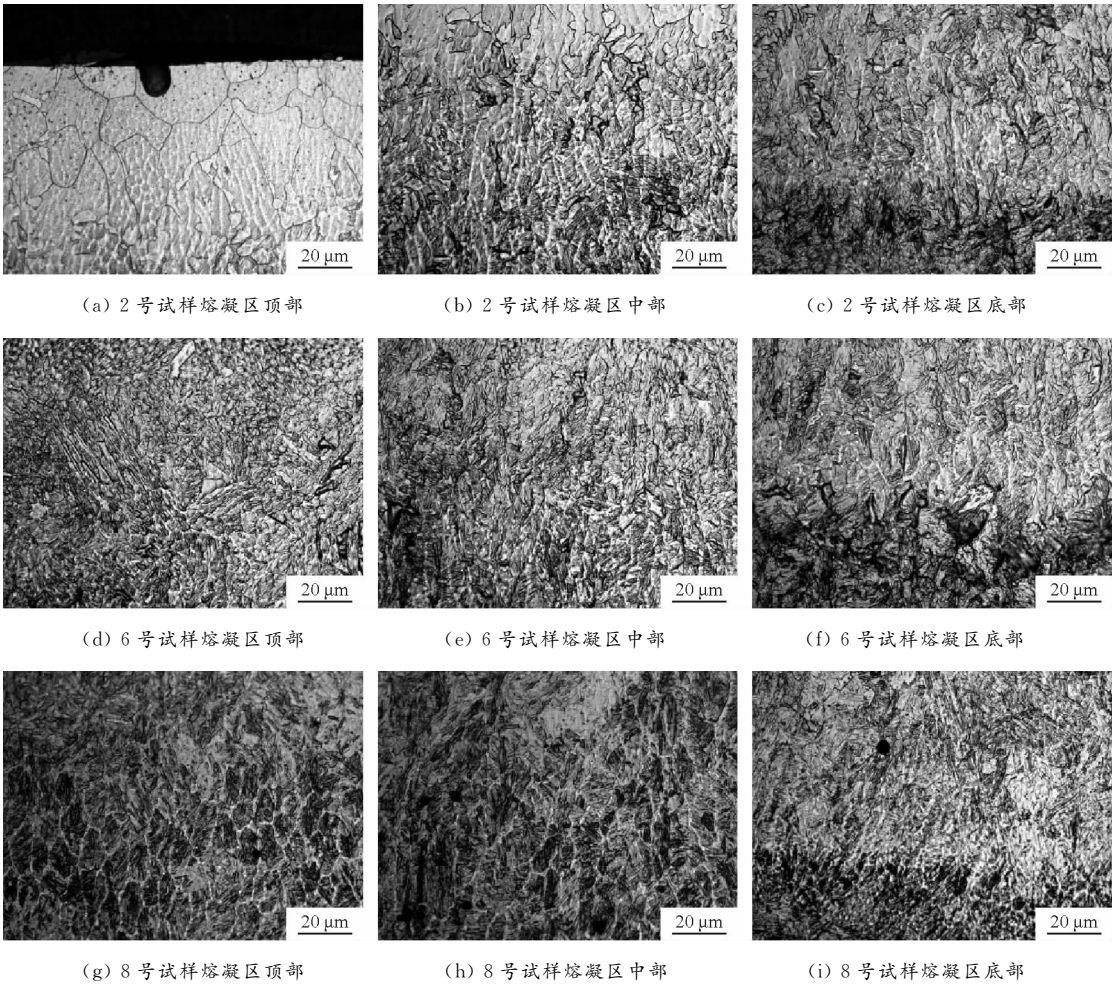


图 6 2 号、6 号、8 号试样激光合金化条纹熔凝区金相组织

Fig.6 Metallographic structure of laser alloying stripe of specimen 2, 6 and 8 in melting zone

足的时间进行马氏体转变,并在晶界处析出化合物。

图 7 为 2、6 和 8 号试样激光合金化条纹横截面热影响区的金相组织。可以看出,3 个试样热影响区部分均由马氏体组成。这是由于激光能量传递到热影响区部分,使其发生淬火效应的结果。

对比图 6 和图 7 可知,激光合金化工艺参数对试样熔凝区部分组织转变影响很大;对于热影响区,硬度提升源于高能量输入,试样由于淬火效应生成细小针状的马氏体组织。因此,后续主要分析熔凝区部分成分,探

究激光工艺参数对合金化效果的影响。

图 8 为 3 组试样熔凝区的扫描电镜形貌。可以看出,熔凝区部分的扫描电镜形貌与图 6 中金相组织相对应。其中,2 号试样熔凝区中部和底部区域内有少量马氏体生成,而熔凝区顶部未见马氏体生成。6 号试样熔凝区顶部相较于中部和底部,马氏体生成量相对较少,但顶部的枝晶间存在大量的颗粒组织,底部和中部存在少量颗粒。8 号试样熔凝区顶部、中部和底部区域均存在大量马氏体组织且分布较均匀,其顶部、中部和底部

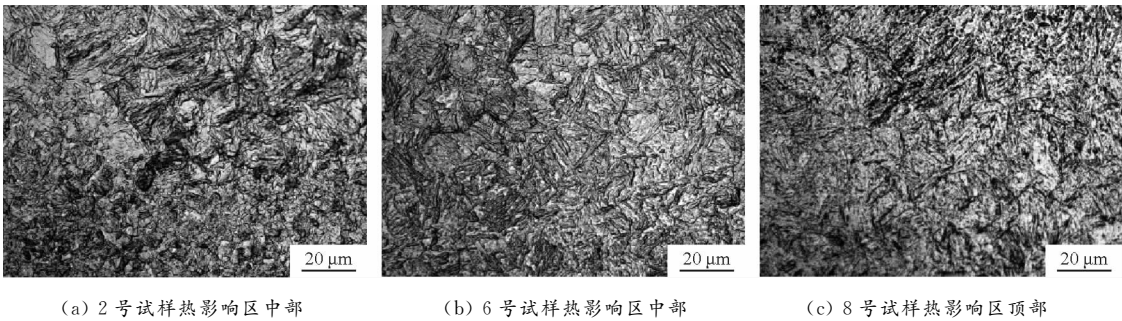


图 7 2 号、6 号和 8 号试样激光合金化条纹热影响区金相组织
Fig.7 Metallographic structure of laser alloying stripe of specimen 2, 6 and 8 in heat affected zone

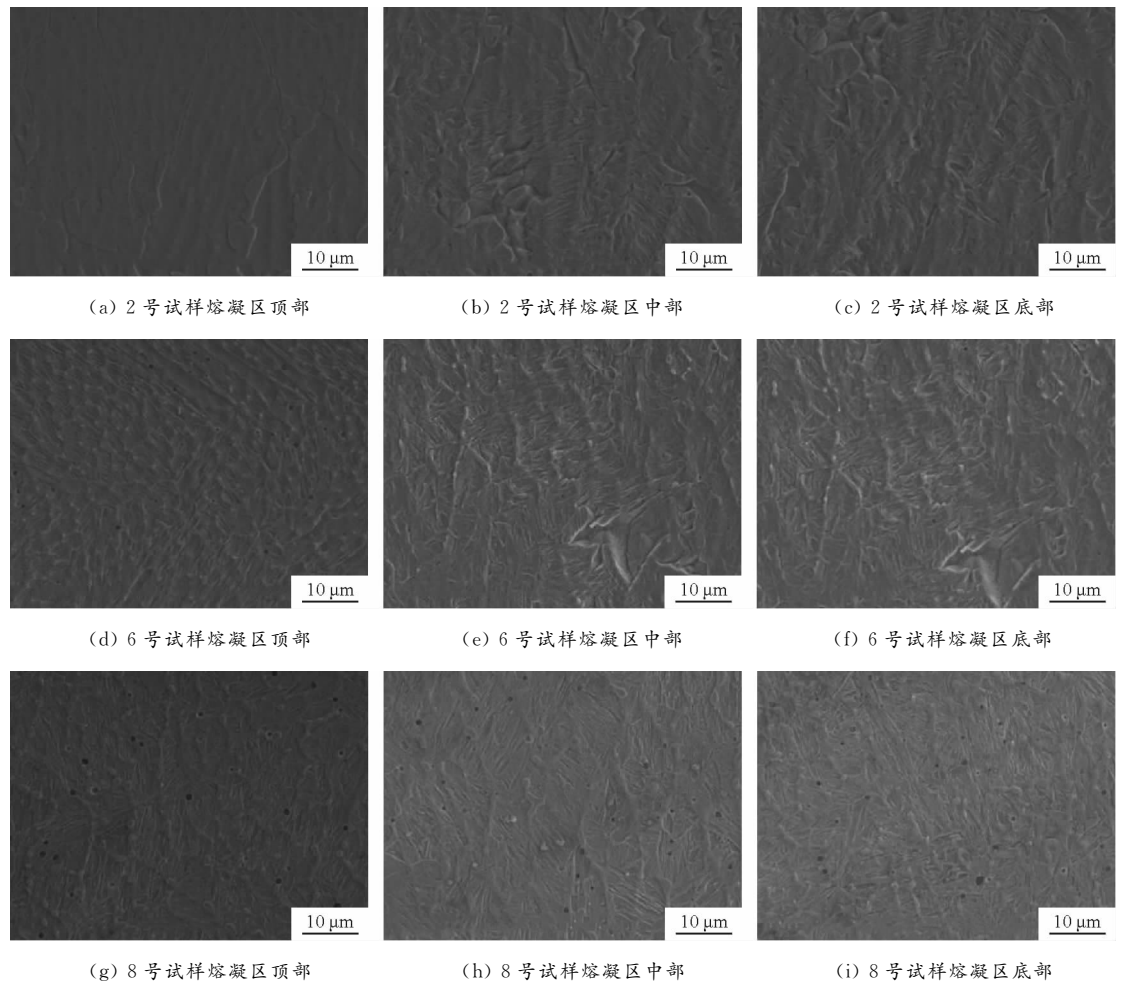


图 8 2 号、6 号和 8 号试样激光合金化条纹熔凝区 SEM 组织

Fig.8 SEM microstructure of laser alloying stripe of specimen 2, 6, 8 in melting zone

均匀分布有大量的圆形小颗粒。

对 3 种试样的合金化层熔凝区和热影响区部分进行整体 EDS 面扫描成分测量,见表 2。可以看出,热影响区除 Co 元素外,其他合金元素与 H13 钢基材成分差别较小,结合文献[17],认为这是由于 Co 的熔点和 Fe 非常相近,且 Co 元素与 Fe 元素为无限互溶,在激光合金化过程中,少量的 Co 元素扩散进入热影响区与 Fe 元素形成固溶体,使得整个合金化层得到良好的强化效果而造成的。同时,Co 的加入使得合金层具有较好的

高温抗氧化性能。但是,熔凝区 Co 与 Mo 元素与基体成分差异较大。

图 9 为各试样熔凝区 Co、Mo 元素分布规律。可以看出,沿着熔凝区顶部向底部方向,2 号试样中 Co 元素和 Mo 元素均呈下降趋势,且熔凝区顶部的 Co、Mo 元素含量远高于中部和底部。6 号试样和 8 号试样熔凝区顶部、中部和底部 Co、Mo 元素含量差别较小。结果表明,在激光合金化过程当中,2 号试样中 Co 和 Mo 元素并没有良好的扩散,而是堆积在合金化层表层,而这

两种元素在 6 号和 8 号试样则分布均匀。

表 2 2 号、6 号和 8 号试样激光合金化条纹熔凝区和热影响区能谱分析结果

Tab.2 Energy spectrum analysis results of laser alloying stripe of specimen 2, 6 and 8 in melting zone and heat-affected zone %

编号	区域	位置	w _B						
			C	Si	V	Cr	Fe	Co	Mo
2	熔凝区	顶部	0.39	0.65	0.72	5.25	83.06	2.97	6.95
		中部	0.40	0.94	0.80	5.24	87.23	2.06	3.33
		底部	0.37	1.08	0.84	5.49	87.65	1.65	2.90
	热影响区	顶部	0.43	1.13	0.80	5.36	90.82	0.31	1.16
		中部	0.45	1.23	0.80	5.26	90.61	0.38	1.28
		底部	0.64	1.07	1.08	6.18	89.21	0.54	1.28
6	熔凝区	顶部	0.38	1.00	1.16	5.67	87.06	1.25	3.37
		中部	0.46	1.02	0.77	5.75	86.91	1.76	3.33
		底部	0.37	0.87	0.62	5.45	88.02	1.66	3.01
	热影响区	顶部	0.55	1.17	0.77	5.89	89.49	0.88	1.25
		中部	0.62	1.12	0.67	5.06	90.69	0.69	1.14
		底部	0.86	1.27	0.90	6.01	89.81	0.60	1.08
8	熔凝区	顶部	0.76	0.96	1.04	5.64	88.24	0.88	2.47
		中部	0.71	1.07	0.84	5.48	87.98	1.39	2.53
		底部	0.62	1.02	0.87	5.26	88.56	1.15	2.52
	热影响区	顶部	0.60	1.17	0.76	5.49	90.28	0.58	1.12
		中部	0.59	1.15	0.70	5.43	89.90	0.62	1.62
		底部	0.82	1.13	0.80	5.78	89.53	0.60	1.33

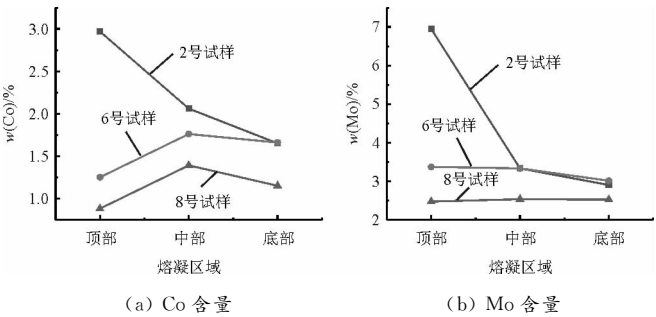


图 9 2 号、6 号和 8 号试样熔凝区 Co、Mo 含量分布
Fig.9 Distribution of Co and Mo content of specimen 2, 6 and 8 in the melting zone

结合 2 号、6 号和 8 号试样在扫描电镜下的微观组织分析可知,2 号在激光合金化过程中,由于能量输入较低,冷却速度较快,导致合金化元素扩散效果差,组织转变不充分,未能形成良好的激光合金化效果。随着比能量增加,6 号试样的合金化元素扩散均匀,组织发生相变,有一定的激光合金化效果。而 8 号试样由于比能量最大,能量输入最高,合金化元素能够均匀扩散,组织相变转变较完全,其激光合金化效果良好。8 号试样熔凝区中 Co 和 Mo 含量相对 2 号试样和 6 号试样较低,这是由于 8 号试样其熔深、熔宽在 3 个试样中最大,即其熔池尺寸最大,而每个试样总体熔入的 Co 和 Mo 含量基本相同,Co 和 Mo 相较于其他试样扩散也相对均匀,因此单位体积上的 Co 和 Mo 含量相对要低。

图 10 为 8 号试样中熔凝区粒状析出物与无粒状析

出物位置的 EDS 成分分析。表 3 为对应位置下 EDS 成分测量结果。由图 10 可以看出,存在粒状析出物的 A 和 B 区域,C 和 Mo 含量均明显较高;无粒状析出物的区域 C 处,C 和 Mo 含量均相对较低;A、B 区域两种元素的含量明显高于整个熔凝区的平均水平(C 含量为 0.7% 左右,Mo 含量为 2.5% 左右),而 C 区域两种元素的含量则与平均水平相差不大。

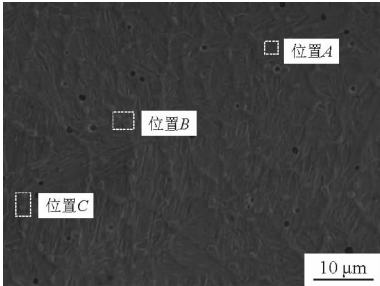


图 10 激光合金化条纹熔凝区不同位置下能谱分析示意图
Fig.10 Energy spectrum analysis of laser alloying stripe at different positions of melting zone

表 3 激光合金化条纹熔凝区不同位置能谱分析结果

Tab.3 Energy spectrum analysis results of laser alloying stripe at different positions of melting zone %

位置	w _B						
	C	Si	V	Cr	Fe	Co	Mo
A	1.79	0.96	1.33	6.04	83.93	1.37	4.59
B	1.48	0.88	1.02	6.65	85.27	1.42	3.27
C	0.79	0.94	0.93	5.54	87.28	1.78	2.74

对比可见,位置 A 和位置 B 的 C 和 Mo 含量有较为明显的升高。位置 C 整体的元素含量相较于整个面上的元素分布没有较大的变化。由于 Mo 元素极易与 C 元素形成碳化物,使得合金层具有很高的硬度。结合顾传祥等^[17]的研究结果,这些分布在枝晶间的圆形状小颗粒,疑似硬质强化相的组织是在激光合金化过程中,由高能激光束作为诱导,在较高的能量输入下,加入的合金化元素中的 Mo 与 H13 钢中 C 元素结合形成的碳化物硬质强化相,从而导致了合金化层熔凝区硬度有相应的提升。

综合对激光合金化条纹硬度和微观组织分析可以得出,在激光比能量高时,Mo 和 Co 元素在熔凝区能进行良好的扩散,且 Mo 与基体中的 C 结合生成碳化物,形成颗粒状增强相,同时激光比能量提高后促进了马氏体的生成,二者共同作用使得熔凝区硬度得到较大程度的提升。

3 结 论

(1)采用 50% 的 Co+50% 的 Mo 配比的合金化粉末,在 H13 钢上激光合金化能够获得无气孔、裂纹等缺陷的形貌良好的 Co/Mo 条纹。

(2)试样合金化层的熔深、熔宽受到激光工艺参数的影响,均随着激光比能量的增大而增大,其中熔深呈现线性增长的趋势,而熔宽增幅随着比能量的增大而逐渐减小。

(3)激光比能量越高,合金元素在熔凝区中扩散效果越好,合金化效果越明显。熔凝区硬度提升是组织中马氏体的生成和合金化元素扩散进入后形成颗粒状硬质强化相共同作用的结果。

参 考 文 献

- [1] 包卫平. 热锻模的典型失效形式及其原因分析[J]. 锻造与冲压, 2020, 28(5): 30-32.
- [2] 王汉,李亨,徐凡凡,等. H13 热作模具钢失效分析及工艺改进[J]. 模具工业, 2021, 47(6): 59-62.
- [3] ALI A E, SUN Y U, CAO C P, et al. Current failure mechanisms and treatment methods of hot forging tools (dies) - A review[J]. Engineering Failure Analysis, 2021, 129: 105 678.
- [4] 秦真波,吴忠,胡文彬. 表面工程技术的应用及其研究现状[J]. 中国有色金属学报, 2019, 29(9): 2 192-2 216.
- [5] CHEN C R, WANG Y, OU H G, et al. A review on remanufacture of dies and moulds[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 64: 13-23.
- [6] LESZEK A D, ANNA D D. Applications of laser processing of materials in surface engineering in the industry 4.0 stage of the industrial revolution[J]. Materials Performance and Characterization, 2019, 8(6): 1 091-1 129.
- [7] DING H N, CHENG X N, LIU T, et al. Microstructure and high-temperature tensile behavior of spray-formed modified 2 000 MPa H13 hot work die steel with 0.5% carbon[J]. Materials Science and Engineering, 2022, A842: 143 102.
- [8] 田泽明. 渗氮工艺对 H13 热作模具钢性能的影响分析[J]. 粉末冶金工业, 2020, 30(4): 67-70.
- [9] 王文权,杜明,张新戈,等. H13 钢表面电火花沉积 WC-Ni 基金属陶瓷涂层微观组织及摩擦磨损性能[J]. 金属学报, 2021, 57(8): 1 048-1 056.
- [10] 杨化雨,马云飞,张嘉城,等. 模具激光表面处理的研究现状及发展趋势[J]. 金属加工(热加工), 2022(8): 1-8.
- [11] WANG M E, WU Y, WEI Q S, et al. Thermal fatigue properties of H13 hot-work tool steels processed by selective laser melting[J]. Metals, 2020, 10(1): 116-120.
- [12] 夏巨谥,胡洪斌,赵海涛,等. 热锻模 3D 打印制造与再制造技术及其装备的研发和应用[J]. 锻压技术, 2020, 45(8): 1-5.
- [13] 于义涛. H13 钢激光仿形强化热疲劳及磨损性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2016.
- [14] 戚克强. 热作模表面激光熔覆司太立合金粉的工艺研究[J]. 热加工工艺, 2013, 42(16): 146-148.
- [15] 李海涛,樊帅奇,张蕾涛,等. 45 钢激光氮合金化涂层的组织性能及工艺优化[J]. 金属热处理, 2021, 46(8): 209-214.
- [16] 于义涛. H13 钢激光仿形强化热疲劳及磨损性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2016.
- [17] 顾传祥. 铸铁轧辊表面激光合金化工艺研究[D]. 江苏苏州: 苏州大学, 2014.

(编辑:彭瑾)

《特种铸造及有色合金》征订启事

《特种铸造及有色合金》杂志是中国科学技术协会主管、中国机械工程学会铸造分会和武汉机械工艺研究所共同主办的全国性科技期刊,是对国内外公开发行的中文核心期刊,中国科技论文统计与分析用刊,SA、CA、MA、AJ、Scopus 等国内外权威数据库及检索系统收录期刊,并获得全国优秀科技期刊一等奖、国家期刊奖、新中国 60 年有影响力的期刊、湖北省十大有影响力的自然学术期刊等。

本刊主要报道各种(黑色和有色合金)特种铸造方法、各种有色合金及复合材料成形的理论、工艺、设备、材料、测试与控制、计算机应用等方面的科技成果、生产技术和现场经验,并报道各相关学科和交叉学科,如挤压铸造(液态模锻)、半固态加工、电子封装、高熵合金、非晶合金(金属玻璃)、焊接、粉末冶金、合金化、热处理、表面处理等方面的学术研究和最新技术信息以及上述内容的国内外发展动向、行业活动、学术会议、消息动态等。

本刊诚征国内外广告,业务范围:铸造及有色合金材料、辅助材料、铸造及相关设备、铸造生产线、测控与控制设备、仪器仪表、计算机应用软件、铸造展会等。

本刊为月刊,标准(大)16 开,邮发代号 38-109。邮发订价每期 20 元,全年 240 元,如须快递,费用另计。全国各地邮局均可订阅,也可直接向本刊编辑部邮购,本刊还提供过刊、压铸宝典和年会专刊邮购服务。

特种铸造及有色合金杂志社(武汉)有限公司



地址:武汉市江岸区九万方路 26 号

邮编:430019

电话:027-85358206,85486024

传真:027-85358127

投稿网址:www.special-cast.com

邮箱:tzzz@special-cast.com

