

40Cr 大面积激光熔覆组织性能研究

李刚, 李成海, 邱星武

辽宁工程技术大学材料科学与工程系, 辽宁阜新 (123000)

E-mail: lichenghai1983@yahoo.com.cn

摘 要: 本文是关于 40Cr 大面积激光熔覆组织和性能的研究。主要是通过改变工艺参数: 激光功率、扫描速度等, 对其组织分析研究, 获得高硬度、高耐蚀、高耐磨的熔覆涂层。用 CO₂ 激光器及 LASERCELL-1005 六轴六联动三维激光加工机床在上熔覆一层 Ni60B 合金粉末。用扫描电镜分析熔覆层微观组织, 通过腐蚀实验、磨损实验和显微硬度的测定, 分析不同工艺参数下熔覆层组织性能, 从而得出熔覆层最佳状态时的工艺参数。

关键词: 激光熔覆; 微观组织; 力学性能; 大面积

1. 引言

激光技术作为高新技术的重要组成部分之一, 是 20 世纪科学技术发展的重要标志和现代信息社会光电子产业的重要支柱, 由于激光的特有属性 (如高亮度、高方向性、高单色性) 使其在各行各业得到广泛应用, 尤其在材料加工领域, 从激光切割、激光焊接和冲孔、毛化轧辊, 到激光热处理、激光合金化、激光熔覆, 都有大量应用。激光熔覆技术是材料表面改性技术的一种重要方法, 它是利用高能量密度的激光束将具有不同成分、性能的合金与基材表面快速熔化, 在基材表面形成与基材具有完全不同成分和性能的合金层的快速凝固过程 [1~2]。随着科学技术的飞速发展, 激光加工技术也日趋成熟, 其中激光熔覆技术的应用也越来越广泛 [3~5], 特别是伴随着激光器、五轴联动数控激光加工机、外光路系统、自动化可调合金粉末输送系统、专用 CAD/CAM 软件和全过程参数检测系统的研制开发, 使激光熔覆技术的发展步入一个新的阶段。本文是关于 40Cr 大面积激光熔覆组织和性能的研究, 实验基体为 40Cr, 通过腐蚀实验、磨损实验和显微硬度的测定, 分析不同工艺参数下熔覆层组织性能, 从而得出熔覆层最佳状态时的工艺参数。

2. 实验材料及过程

2.1 实验材料

本实验采用的基体材料为 40Cr, 40Cr 是一种常用的调质钢, 具有较高的强、韧、塑性配合, 它在机械结构中应用很广泛, 经常用来制造在重载荷和冲击下工作的耐磨件, 如制造重要螺母、螺栓、支重轮轴、导向轮、传动轮、重型汽车曲轴及连杆等。其成分见表 1。

表 1 40Cr 的化学成分(wt%)
Table. 1 The chemical constituents of 40Cr (wt%)

元素	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ni	Cu
含量	0.37~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	0.80~1.10	≤0.030	≤0.030	≤0.25	≤0.030

熔覆材料选用 Ni60B 镍基自熔合金, 其具有抗滑动磨损性好, 耐磨、耐蚀、耐冲击等特性, 常用于拉丝滚筒等机械易损件硬面。其成分如表 2 所示。

表 2 Ni60B 镍基自熔性合金粉末组成(wt%)
Table. 2 The compositions of Ni60B self-fluxing powder (wt%)

元素	Cr	B	Si	C	Fe	Ni
含量	17.0	3.5	4.0	1.0	<12	余量

2.2 实验过程

2.2.1 熔覆试样制备

实验采用快速轴流 CO₂ 激光器及 LASERCELL-1005 六轴六联动三维激光加工机床进行激光熔覆，惰性气体（氩气）保护，工艺参数见表 3。

表 3 激光熔覆工艺参数
Table. 3 The parameter of the laser cladding

试样名称	输出功率/KW	扫描速度 m/min	离焦量 mm
A	3.2	0.7	80
B	3.2	1.0	80
C	3.2	1.2	80
D	3.2	1.5	80
E	3.2	0.5	120
F	3.2	0.5	120

2.2.2 性能测试

本次实验主要从显微硬度、耐磨性、耐蚀性等几个方面进行测试。

1) 显微硬度的测试在 DMH—2LS 型努氏显微硬度计上进行，测量载荷为 25g，加载时间为 15s。距熔覆层表面 0.1mm 处沿深度方向进行显微硬度测量，相邻的测试点间距为 0.1mm。比较不同截面显微硬度的变化情况。

2) 在 ML-10 型磨损实验机上进行耐磨性测试，所用砂纸为 180 号水磨砂纸。

3) 利用 FDY/E-03 型盐雾机进行耐蚀性测试。将导线焊接在试样上，用环氧树脂和固化剂混合，然后将试样熔覆层以外的部分密封，防止基体其他部分被腐蚀，影响实验结果。试样放入盐雾机后，用 5%NaCl 腐蚀溶液进行连续喷蚀，每天 8 小时，连续喷蚀三天，再利用失重法测试不同熔覆层的耐蚀性能。

3. 实验结果分析

3.1 激光熔覆涂层的显微组织及成分

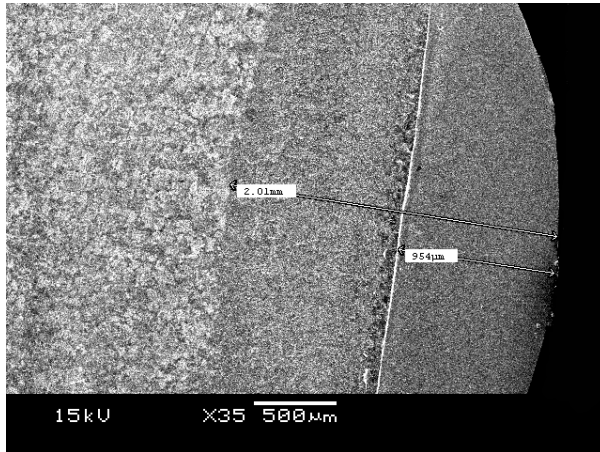


图1 熔覆层宏观形貌 ($P=3.2\text{kW}$, $V=0.7\text{m/min}$)
Fig. 1 The macroscopic appearance of cladding
($P=3.2\text{kW}$, $V=0.7\text{m/min}$)

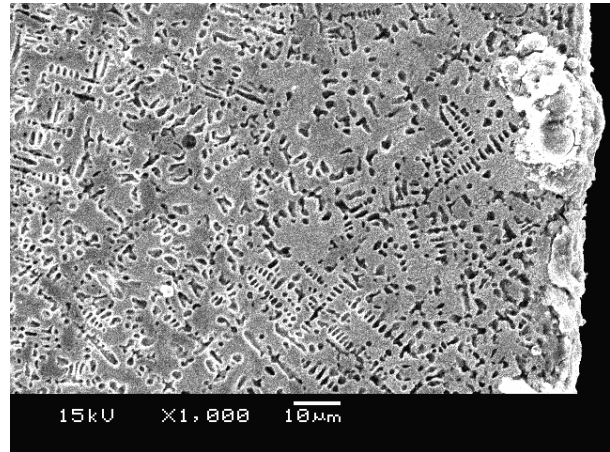


图2 试样表面
Fig. 2 The surface of the sample

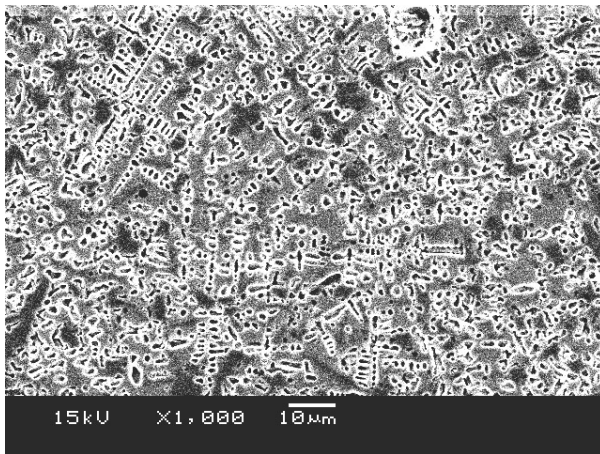


图3 熔覆层中部
Fig. 3 The central regions of the cladding

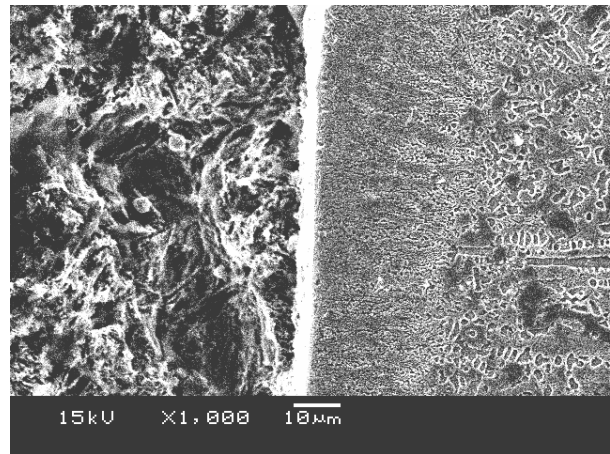


图4 熔覆层与基体结合区
Fig. 4 The union area of the cladding and substrate

图1为40Cr激光熔覆的熔覆层显微组织结构,从图中可以看出试样C的熔覆层厚度为 $954\mu\text{m}$,图2、3、4依次为熔覆层表面、中部和底部。

图2是熔覆层表层显微组织,主要为树枝状晶组织,由于靠近表层存在传热作用,具有很大的温度梯度,且枝晶生长速度较快,因而形成了树枝状晶。

图3为熔覆层中部显微组织,显微组织成胞状,这主要是由于熔覆层中部相比熔覆层其他区域的冷却速度要慢得多,所以组织以胞状形式凝固。

图4中可以看到在合金涂层与基体之间,有一条很明显的分界线,这条分界线就是镍基合金与基体的熔合带,它是由激光熔覆时基体表层微熔区和熔覆材料混合并以热影响区非均匀形核位置相对热流方向凝固形成的。在分界线的两侧,晶体组织有着显著的差异,熔覆层处的晶体组织比基体的晶体组织细小很多。

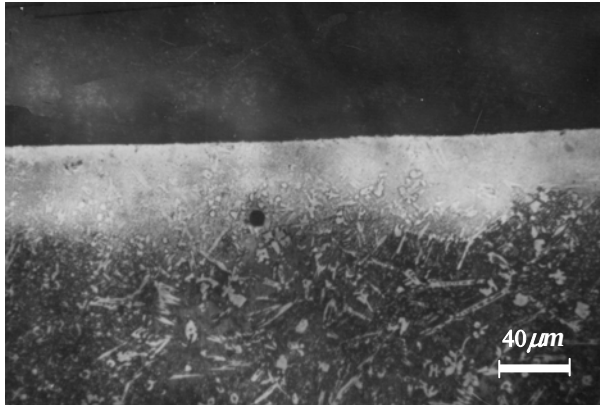


图 5 熔覆试样 F 熔合区×250

Fig. 5 The fusion area of the cladding sample F×250

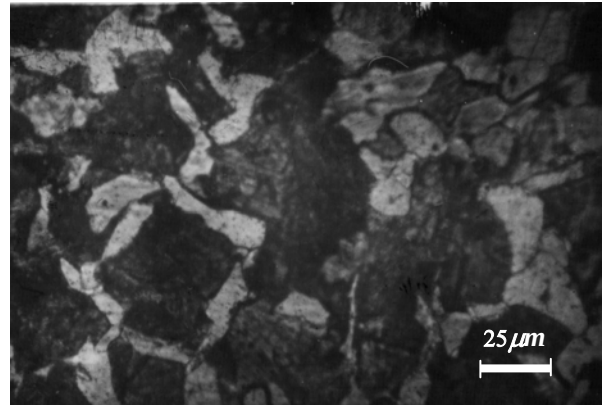


图 6 40Cr 基体组织×400

Fig. 6 The matrix microstructure of 40Cr×400

图 5 热影响区的显微组织,从图中可以看出热影响区的显微组织主要是细小的针状马氏体。这主要是由于表面层所获得的热量通过工件自身的热传导迅速散发,使表面很快冷却,冷却速度可达到 $10^4 \sim 10^6$ °C/S, 由于冷却速度快,当奥氏体的冷却速度大于上临界冷却速度时,便过冷到马氏体点 M_s 以下,发生马氏体转变,形成马氏体,这样就使材料的强度、硬度、耐磨性大大提高。

图 6 为 40Cr 基体的显微组织,从图 5 中我们可以清楚的看到靠近基体方向,马氏体组织比热影响区的马氏体组织变得粗大,证明基体几乎不受到热影响。

3.2 大面积激光熔覆涂层缺陷分析

激光熔覆中最棘手的问题是熔覆层的开裂,尤其是在大面积激光熔覆涂层中,这样的问题更为严重,这也是激光熔覆技术向工业实用化推进的一大障碍,影响裂纹行为的因素较复杂,既与激光处理工艺和参数的选择有关,也与涂层材料和基材有关,其中,涂层材料对裂纹行为的影响最明显,也较易控制,下面主要对裂纹的形成机理进行如下分析:

激光熔覆是一个复杂的物理、化学和冶金过程。由于激光熔覆时快速加热和冷却以及凝固过程中不可能有足够的液体金属补充,即使随后的固态冷却收缩过程受到周围较冷的基体束缚而产生拉应力,应力的大小与基体材料硬度有关。另外,固态金属在冷却过程中还会由于相变而引起组织应力。这些应力一旦释放,就会在薄弱环节开裂,因此常规的镍基、钴基自熔覆层极易出现裂纹^[6]。熔覆层厚度、预热温度和搭接宽度等参数也会对熔覆层的裂纹敏感性产生影响。此外,激光熔覆层的残余应力状态受熔覆层材料及基材影响,也受激光熔覆工艺参数影响。一般认为,激光熔覆层裂纹主要是凝固裂纹,其形成机理是由于熔覆层凝固时,初生的发达枝晶会相互连接成网,造成枝晶间的液体封闭,残存的液体不易流动从而造成枝晶间液态金属凝固收缩时没有足够的液体补充,加上枝晶间组织结晶温度低,低熔点的杂质多集中在此处,从而导致枝晶间开裂敏感性大,在应力作用下产生裂纹^[7]。

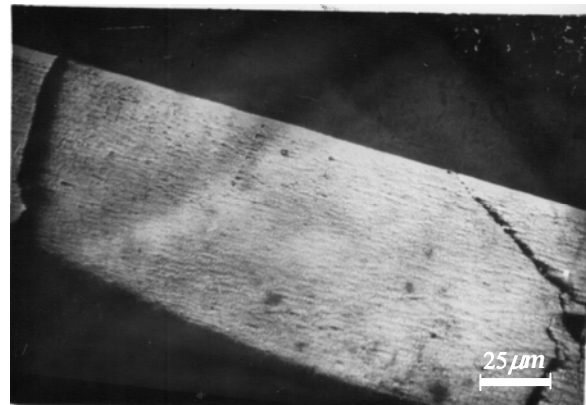
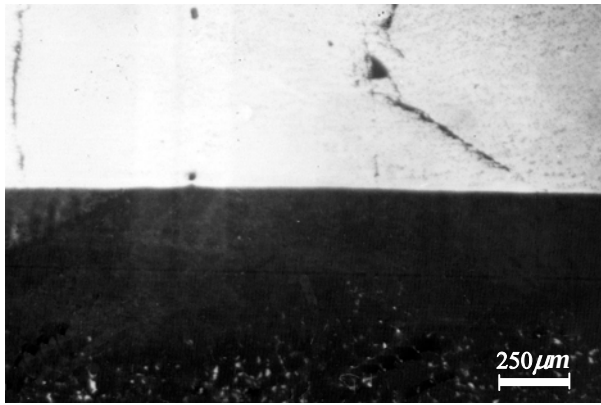


图 8 熔覆试样 E 熔合区附近裂纹×400
Fig.8 The crack near the fusion area of the cladding sample E×400

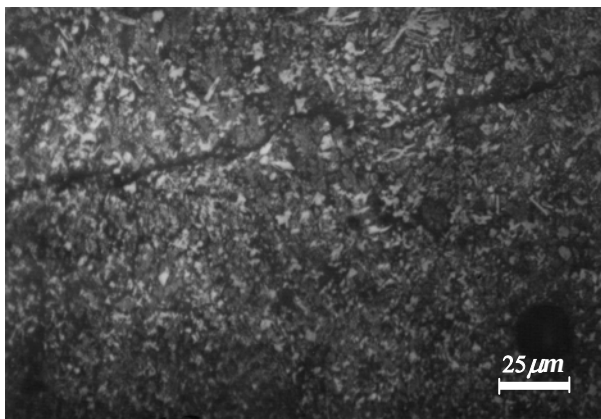


图 9 熔覆试样 F 熔合区处裂纹×400
Fig. 9The fusion areas crack of the cladding sample F×400

图 8 多道搭接熔覆处理试样 E，图中有两条裂纹，由于在多道搭接过程中的残余应力的相互叠加，致使熔覆层开裂，呈主裂纹带有少量分枝状，且几乎穿透整个熔覆层。

图 9 为采用多层熔覆处理的试样 F 靠近熔合线处的组织，图中有一条很明显的裂纹，其产生原因与试样 E 相似。熔覆层的裂纹大致可归纳为三种：熔覆层与基材的微孔洞以及由其引发的裂纹；熔覆层组织中共晶面间的裂纹；熔覆层中夹杂物与基材边界处的微裂纹。

3.3 40Cr 大面积激光熔覆涂层的显微硬度

实验检测了在不同工艺参数（输出功率、扫描速度）下，距熔覆层表面 S 处的显微硬度值。通过各组数据对比得出以下结论：

相同功率条件下，随着扫描速度的增加，熔覆层的平均显微硬度有增加的趋势，熔覆层的平均显微硬度在 800HK 附近逐渐增加，这是因为激光扫描速度越快，激光束停留在材料上的时间越短，材料吸收的激光束能量就越少，奥氏体晶粒不易长大，在冷却的过程中，得到的马氏体组织也较细小和均匀，所以显微硬度也越高。由于单道熔覆残留的热量使搭接处显微硬度降低，导致其显微硬度不够稳定。多层叠加试样其熔覆层厚度较其他试样要高出很多，但是其平均显微硬度并不高，这主要是由于激光扫描速度较慢，奥氏体晶粒长大导致硬度降低^[8]。

3.4 40Cr 大面积激光熔覆涂层的耐磨性

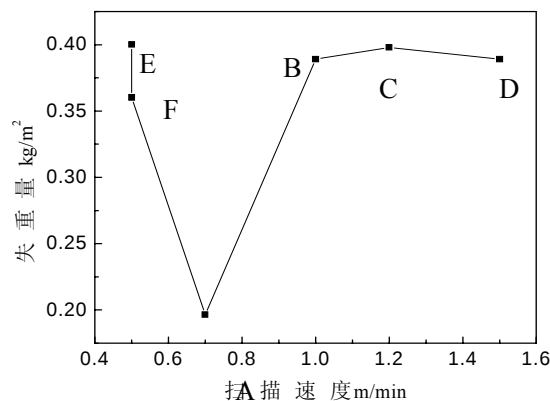


图 10 磨损失重比较

Fig. 10 The comparison of attrition leading to lose weight

图 10 为熔覆层的相对耐磨性，从左至右依次为试样 E、F、A、B、C、D 的失重量，从图中可以看出，在功率和离焦量相同的情况下，随着扫描速度的增加，磨损量逐渐增加。这是由于在功率和离焦量相同的情况下，激光熔化区的宽度和深度随着扫描速度的增加而降低（试样 A、B、C、D 熔覆层厚度均小于 1.5mm），马氏体的相对变化很小，导致熔覆层的相对耐磨性降低，而采用多道搭接和多层叠加（熔覆层厚度大于 2.5mm）工艺的试样由于其熔覆层中存在裂纹，致使耐磨性不够理想。实验结果表明试样 A 的耐磨性优异。

3.5 40Cr 大面积激光熔覆涂层的耐蚀性

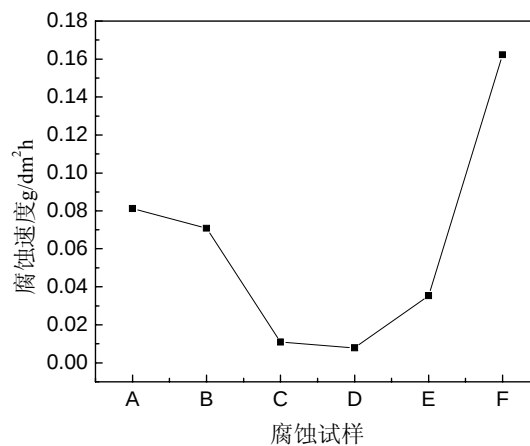


图 11 盐雾腐蚀速率

Fig. 11 The corrosion rate of Salt mist

对于金属腐蚀，人们最关心的就是腐蚀速度，本试验采用失重法测量腐蚀速度。所谓失重法是用试样在腐蚀前后单位面积、单位时间内的失重表示腐蚀速度的方法。

从图 11 中可以看出，试样 A、B、C、D 的腐蚀速度逐渐降低，（试样 A 的腐蚀速度大约是试样 D 的 10 倍）说明熔覆层的耐蚀性逐渐增强，而多道搭接试样 E 和多层叠加试样 F 的腐蚀速率却显著增加，试样 E 腐蚀速度增加主要是由于多道搭接时在熔合区产生的裂纹使熔覆的质量下降，使其耐蚀性降低。而试样 F 的腐蚀速度很快，主要是由于层与层叠加时

熔合不够充分。

4. 结论

- 1) 与普通单道激光熔覆涂层相比,40Cr 大面积激光熔覆涂层的试样 E 显微硬度不稳定,多层叠加试样的平均显微硬度远低于普通单道激光熔覆试样的平均显微硬度)且多道搭接和多层叠加试样的耐磨性和耐腐蚀性均较差。
- 2) 当输出功率和离焦量一定时,随着扫描速度的增加,试样的耐磨性降低。当输出功率为 3.2kW,离焦量为 80mm 时,随着扫描速度的增加,试样的耐蚀性增强。
- 3) 多道搭接和多层叠加可以获得厚度、面积可调的熔覆涂层,但由于残余应力的相互叠加以及热量的累积导致大面积涂层极易产生裂纹。

参考文献

- [1] 徐滨士,刘世参.表面工程技术[M].第1版.北京:国防工业出版社,2002.75~98.
- [2] 姚宁鹏,侯立群,陆伟,(等).大面积激光熔覆的工艺研究[J].中国表面工程,2002,2(55):1~3.
- [3] 居毅,郭邵义,李宗全.金属表面激光合金化及熔覆处理的研究[J].材料科学与工程,2002,20(1):143~145.
- [4] 周笑薇,王小珍.激光熔覆技术在工业中的应用[J].中州大学学报,2005,22(4):110~111.
- [5] 王迎春,李飞群,李延民,(等).激光熔覆原位合成制备生物陶瓷涂层[J].激光技术,2004,28(6):573~574.
- [6] Dekumbis R. Controlling residual stressing laser cladding layer[C]. LIM6, Birmingham U.K. May, 1989.
- [7] 冯志刚,韩志范,邹至荣.球墨铸铁激光涂层裂纹的研究[J].金属热处理学报,1995,16(1):31-34.
- [8] 李艳芳,卫英慧,胡兰青,(等).铸铁表面激光熔覆镍基合金涂层的耐磨性研究[J].材料科学与工艺,2003,11(3):304~307.

Study on Structure and Properties of 40Cr by Large Area Laser Cladding

Li Gang, Li Chenghai, Qiu Xingwu

Department of materials science and engineering, Liaoning technical university, Fuxin,
Liaoning(123000)

Abstract

It's about the study on structure and properties of 40Cr by large area laser cladding 40Cr in this paper. Microstructure is analyzed mainly by changing the parameter, the laser power, the scanning velocity and so on, high hardness, high resists corrosion, high wear-resisting coating is obtained. The CO₂ laser and the LASERCELL-1005 six axes sixlinkages three dimensional laser processing machine tools were used for laser cladding process on 40Cr with Ni60B alloy powder. The microscopic organization of cladding coating is analysed by JSM-5600LV scanning electron microscope. Then though the corrosion experiment and the attrition experiment and the microhardness determination, the organization performance of cladding coating is analysed under the different craft parameter, and acquired the craft parameter of the cladding coating in optimum condition.

Keywords: laser cladding; microstructure; mechanical property; large area