

文章编号: 1001-3806(2002)05-0327-03

灰铸铁缸套内表面 Nd:YAG 激光 Ni-Ti 合金化研究*

李凤生 钟敏霖 刘文今 宁国庆 陈艳霞

(清华大学机械系激光加工研究中心, 北京, 100084)

摘要: 采用预置涂层法对灰铸铁缸套内表面进行 Nd:YAG 激光 Ni-Ti 合金化研究, 可得到表面平整的激光合金化层。该材质的灰铸铁存在较大的裂纹倾向, 在适当的涂层厚度、工艺参数和预热条件下, 可获得无裂纹合金化区。激光强化层包括合金化区和淬火马氏体区和二者之间很窄的过热区, 其硬度较铸铁基体显著提高; 微观组织以亚共晶介稳组织为主。

关键词: Nd:YAG 激光合金化; Ni-Ti 合金; 灰铸铁缸套

中图分类号: TG156.99; TG665 **文献标识码:** A

Laser surface alloying of cylinder bore gray cast iron with Ni-Ti by Nd:YAG laser

Li Fengsheng, Zhong Minlin, Liu Wenjin, Ning Guoqing, Chen Yanxia

(Center of Laser Process, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract Nd:YAG laser alloying Ni-Ti with pre placed coating on specific cylinder bore gray cast iron was investigated and smooth surface alloyed layers were available. This kind of laser alloying cast iron was quite sensitive to cracking. Crack free alloyed layers were possible with appropriate coating thickness, alloying parameters and preheating. The alloyed layer consists of alloyed zone, remelting zone and quenching zone, whose micro hardness is increased dramatically. The main microstructure of the alloyed layer is the hypoeutectic sub stable structure.

Key words: Nd:YAG laser alloying; Ni-Ti; gray cast iron cylinder liner

引 言

激光合金化能局部改变材料表面的化学成分和显微组织, 提高其耐磨、耐蚀和耐热等性能, 从而使廉价工程材料表面获得良好的综合性能, 是一种经济实用的新型表面强化手段, 尤其适用于汽车发动机关键摩擦副如汽缸筒、缸套、凸轮轴、活塞环、摇臂等钢和铸铁零件的表面强化, 能明显改善摩擦副的摩擦磨损特性, 大大提高使用寿命^[1~6]。

根据某著名汽车公司的技术发展要求, 采用预置 Ni-Ti 合金涂层法, 用 Nd:YAG 激光对灰铸铁缸套内表面进行合金化研究, 以提高该型缸套在特殊腐蚀性润滑油介质下的耐磨、耐腐蚀和抗擦伤性能。

1 实验方法

实验所用缸套材料为特种灰铸铁, 化学成分 (wt%) 为 3.30~3.49C; 1.93~2.35Si; 0.85~1.15Cu; 0.50~0.70Mn; $\leq 0.20\text{Mo}$; $\leq 0.20\text{Cr}$; $\leq 0.20\text{Ni}$; 0.07~0.13Sn; $\leq 0.10\text{P}$; $\leq 0.12\text{S}$; 微观组织含有 90% 珠光体、5% 碳化物和 5% 铁素体, 其基本特征是碳硅含量明显偏高, 合金元素较多。

合金化材料为 75Ni25Ti (wt%), Ni 和 Ti 采用纯金属, 粉末粒度为 300 目。采用有机粘接剂将混合粉末预置于铸铁缸套表面, 涂层厚度为 0.1mm。

实验采用国产 500W 连续 Nd:YAG 激光器, 单道和多道搭接扫描, 工艺参数为: 激光功率 500W; 光斑直径 1.5mm; 扫描速度 1.5mm/s; 搭接率 30%; 熔池保护气体为氩气。

用 OLYMPUS 显微镜、HITACHI S-450 扫描电镜、HX-200 显微硬度计等仪器对激光合金化试样进行组织、成分及硬度分析。

2 实验结果和分析

* 清华大学 985 基金资助项目。

作者简介: 李凤生, 男, 1977 年 11 月出生。硕士研究生。从事激光表面改性的研究工作。

收稿日期: 2001-07-17

2.1 合金化表面的成形质量

用Nd:YAG激光对预置涂层的缸套试样进行单道激光合金化处理,表面光亮平整,无宏观裂纹。若进行多道搭接合金化处理,所获得的合金层表面状态基本相同,但出现少量横向裂纹,有时裂纹可贯穿整个合金化区。实验表面,单纯对这种铸铁进行激光熔凝处理,其裂纹倾向也比一般铸铁大得多。适当控制涂层厚度、优化激光合金化工艺参数以及基体经适当预热或在合金化过程中用保温措施降低冷却速度会明显减少甚至消除裂纹倾向。合金化区的深度随着激光输出功率和扫描速度的变化而变化,一般在0.3mm~0.5mm之间,激光功率越大、扫描速度越慢则合金化层越深,反之越浅。涂层越薄,则合金化层越薄,但表面平整性较好,后续珩磨加工量少;涂层越厚,则合金化层越厚,但往往容易出现凹坑,珩磨加工量反而加大,所剩实际合金化层不见得就厚。因此,根据实际需要优化涂层厚度和合金化层深度是重要的。

2.2 Ni-Ti激光合金化层的显微组织

图1为该灰铸铁缸套本体的显微组织,主要为珠光体基体和片状石墨。图2为合金化区的扫描电镜照片,微观组织以亚共晶介稳组织(先共晶奥氏体枝晶分布在细小的共晶莱氏体上)为主,并且具有明显的逆热

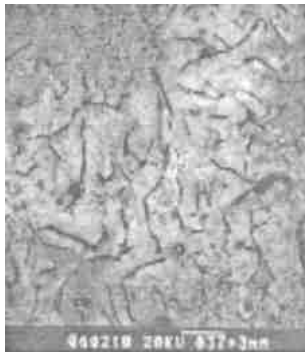


Fig. 1 Micrograph of cylinder liner body

流传递方向生长的特征。合金化区表层(见图2上部)具有较强的耐腐蚀性,用4%硝酸酒精很难显示其组织。用王水(V(HCl):V(HNO₃)=4:1)腐蚀



Fig. 2 Micrograph of alloying zone

后得到该区组织(见图3),可以看出其先共晶奥氏体相对比例远高于合金化区中下部,说明表层C元素有较大烧损。图4为合金化区与热影响区交界面的



Fig. 3 Micrograph of alloying zone's surface



Fig. 4 Micrograph of interface of alloying zone and heating affect zone

图6为多道搭接合金化区中部的电镜照片,包含先共晶奥氏体和按不同位向生长的共晶莱氏体。Ni-Ti激光合金化区的显微组织与通常激光熔凝或合金化的铸铁表层还有一个显著区别是,在快速冷却条件下,奥氏体(包括先共晶奥氏体和共晶奥氏体)只有很少部分发生马氏体相变,合金化区表层这一特征最明显(见图3)。

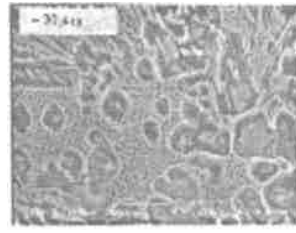


Fig. 6 Micrograph of overlap zone

电镜照片,界面处无微观裂纹,合金化区一侧为亚共晶介稳组织(见图5),基体一侧为片状石墨和淬火马氏体。因此,激光合金化获得的强化区应包括合金化区和基体淬火区。



Fig. 5 Micrograph of side of the interface pool

有一个显著区别是,在快速冷却条件下,奥氏体(包括先共晶奥氏体和共晶奥氏体)只有很少部分发生马氏体相变,合金化区表层这一特征最明显(见图3)。

2.3 合金化区成分分析

用电子探针(能谱)对合金化区进行元素线扫描分析的结果(见图7,图8)表明,合金化涂层中70%的Ni集中分布在合金化区表层0.085mm的深度范围内,在0.085mm~0.25mm深度范围内则含量较低且随深度递减。而涂层中25%的Ti则主要集中在合金化区表层0.06mm范围内。

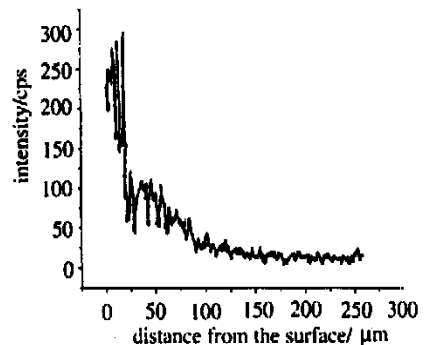


Fig. 7 Composition distribution of Ni in 75Ni25Ti layer

2.4 合金化层的硬度分析

合金化层及热影响区显微硬度的检测结果见图9,其中每一点的数据是同一深度3~4个测量数据

的平均值。合金化区的硬度分布呈现由低到高再降低的规律。合金化区最深为 0.3mm 左右,从表面到 0.1mm 处,硬度从 $HV_{0.2}320$ 升高到 $HV_{0.2}500$,在距表面 0.2mm 处硬度达到最大值 $HV_{0.2}800$ 左右,

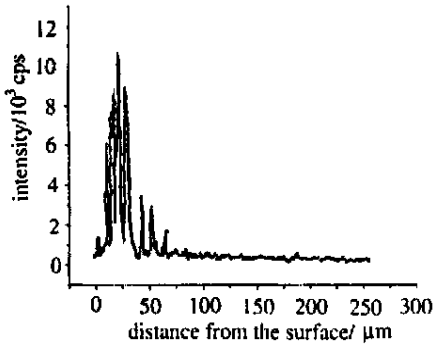


Fig. 8 Composition distribution of Ti in 75Ni25Ti layer

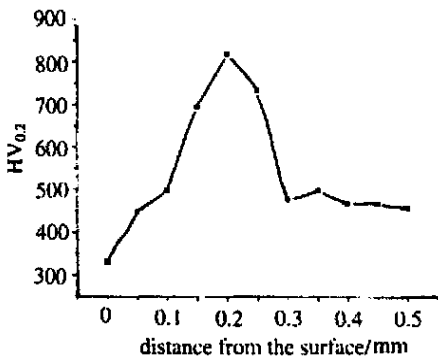


Fig. 9 Distribution of microhardness in alloying zone

在 0.3mm~0.5mm 范围内硬度回落到 $HV_{0.2}450$ 。铸铁基体的平均显微硬度为 $HV_{0.2}200$ 左右。结合微观组织和成分分析,将 YAG 激光合金化区细分为 3 个区:从表层到 0.1mm 范围为富含 Ni, Ti 的合金化区,该区 C, Si 烧损较大,共晶度低;Ni 含量较高,一方面固溶 in 奥氏体中,具有较强的固溶强化作用,又由于 Ni 是扩大 γ 区的典型元素,在冷却过程中奥氏体基本上不发生马氏体相变;Ti 主要强化了渗碳体。因此,该区域显微硬度比铸铁基体平均显微硬度高许多,且具有良好的耐腐蚀性。在 0.1mm~0.3mm 范围为实际上的重熔区,基本不含所添加的 Ni, Ti 成分,组织特征以接近共晶的亚共晶介稳态为主,由于基体本身含有接近共晶成分的碳当量,而该区元素的烧损又少,因此硬度大幅度提高,可显著提高其持久的耐磨性能。从 0.3mm~0.5mm 范围为典型的马氏体淬火区,硬度达到 $HV_{0.2}450$ 左右,也比缸套铸态组织硬度提高了 1 倍左右。如果这种灰铸铁缸套内表面激光合金化后的珩磨加工余量控制在 0.05mm 左右,则预计激光合金化区应具备优良的耐磨、耐润滑介质腐蚀以及抗擦伤能力,能

满足该型发动机的性能要求。

3 分析与讨论

铸铁(特别是灰铸铁)基材的多道搭接大面积激光合金化裂纹问题是影响合金化工艺在大批量生产中推广的一个主要障碍,裂纹倾向与铸铁的成分、合金化涂料成分以及合金化工艺有关。作者所用特种缸套灰铸铁的碳、硅含量明显偏高,碳当量接近共晶点,其所含合金元素也较普通灰铸铁多,在激光重熔和合金化处理时,极易产生裂纹。采用 Nd:YAG 激光的主要目的也是为了减少合金化时的热输入以减少裂纹倾向。实验表明, Nd:YAG 激光合金化裂纹形成的主要影响因素包括涂层成分、涂层厚度和工艺参数。在涂层含有较多韧性相形成因素、涂层厚度不太大(0.1mm~0.3mm)、优化工艺参数以及适当的预热温度下,能显著抑制和消除裂纹。

由于要控制热输入, YAG 激光合金化 NiTi 涂层时 NiTi 的实际合金化作用局限在表层,成分和显微组织形成宏观不均匀性,主要由涂层厚度和激光工艺参数影响。一般地,由于激光形成的熔池内的强烈对流搅拌作用,所添加的合金因素能较均匀地分布于合金化区中。合金化成分和微观组织的控制应根据零件的具体应用需要来确定。

4 结论

(1) 在某特种灰铸铁缸套基材上进行 Nd:YAG 激光合金化 NiTi 研究,可得到表面平整的合金化层。激光合金化该种质材的灰铸铁存在较大的裂纹倾向,在适当的涂层厚度、工艺参数和预热条件下,可获得无裂纹合金化区。(2) 激光合金化区包括富 NiTi 表层、高碳当量介稳合金化层和淬火马氏体层,其硬度分别为 $HV_{0.2}500$ 、 $HV_{0.2}800$ 和 $HV_{0.2}450$ 。合金化区的微观组织以亚共晶介稳组织为主。

参 考 文 献

- [1] 闫毓禾, 钟敏霖. 高功率激光加工及其应用. 天津: 天津科学技术出版社, 1994.
- [2] 刘文今, 赵海云, 钟敏霖 *et al.* 车用发动机, 1996(5): 51~54.
- [3] 刘文今, 赵海云, 钟敏霖 *et al.* 高耐磨激光陶瓷合金化活塞环. 高性能陶瓷论文集, 北京: 人民交通出版社, 1998: 268~272.
- [4] 刘要武, 李雨田, 谢冀汀 *et al.* 光学精密工程, 1999, 7(3): 43~46.
- [5] 陈传忠, 孔翠荣, 朱瑞富 *et al.* 新技术新工艺, 1996(2): 22~23.
- [6] 李捷辉, 袁银南. 江苏理工大学学报, 1997(7): 35~39.