

文章编号: 1001-3806(2003)02-0113-03

18Cr2Ni4W 钢渗碳激光强化复合处理研究

石 岩¹ 张 宏¹ 徐春鹰¹ 王存山²

(¹长春理工大学机械工程系激光加工实验室, 长春, 130022)

(²大连理工大学三束国家重点表面改性实验室, 大连, 116023)

摘要: 利用扫描电镜、透射电镜和图像分析仪, 对 18Cr2Ni4W 钢渗碳激光强化复合处理试样微观组织进行了较细致的研究。结果表明, 18Cr2Ni4W 钢在复合工艺作用下, 随着表面硬化区层深的变化, 其组织结构发生明显变化; 由于钢中存在大量的合金元素, 致使表面硬化层产生大量的残留奥氏体, 降低了表面的硬度; 随着激光扫描速度的增加, 硬化区硬度增大。

关键词: 渗碳; 激光强化; 显微组织; 残留奥氏体; 显微硬度

中图分类号: TG156.99 文献标识码: A

Study on 18Cr2Ni4W steel treated by carburizing and laser transformation hardening

Shi Yan¹, Zhang Hong¹, Xu Chunying¹, Wang Cunshan²

(¹ Laser Processing Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun, 130022)

(² National Laboratory of Materials Modification, Dalian University of Technology, Dalian, 116023)

Abstract: The experiment that 18Cr2Ni4W steels were treated by carburizing and laser transformation hardening was carried out. The microstructure of the treated steel was studied in detail by SEM, TEM and image analyzer. The results show that the microstructure obviously varies with the change of depth in laser hardened zone; the large amount of residual austenite is produced due to existence of alloy elements in the steel during laser transformation hardening, which decrease surface hardness; with the scanning speed going up, the hardness is increased.

Key words: carburizing; laser transformation hardening; microstructure; residual austenite; microhardness

引 言

渗碳淬火是目前机械制造工业中广泛使用的一种提高零件表面硬度的方法, 然而采用这种常规淬火工艺对形状复杂的局部渗碳零件进行强化处理时, 工件变形较大, 以至在后序的磨削加工过程中, 致使整个加工表面硬度分布不均, 降低硬化效果。激光相变硬化是快速表面局部淬火工艺的一种高新技术, 与常规淬火相比, 具有硬化层硬度高、组织细小、缺陷密度高、淬火应力和变形小、可对复杂形状零件实施局部强化处理的特点^[1-4]。渗碳激光复合处理是由渗碳和激光淬火组合的复合加工工艺, 它的基本构思是: 首先采用渗碳化学热处理工艺, 增

加材料表层的碳含量和获得一定碳浓度梯度, 然后, 采用宽带激光淬火工艺对材料表面进行强化处理, 通过适当地调整工艺参数, 使材料表层形成细小的硬化组织和高密度缺陷, 并产生一定的压应力, 以提高材料表面硬度、耐磨性和疲劳强度。这是开发和应用激光表面热处理技术的一个新的尝试。为此, 笔者针对重要的 18Cr2Ni4W 渗碳钢进行了渗碳激光强化复合处理研究, 以探索在该复合工艺下其组织结构和性能变化规律。

1 试验材料及方法

试验材料为 18Cr2Ni4W 钢, 试样尺寸为 40mm × 22mm × 15mm。经 920℃~940℃渗碳淬火后(表面含碳量为 0.8%~0.9%), 在 160℃~180℃进行低温回火处理。将试样分 3 组, 为增加对激光的吸收率, 对试样表面进行了磷化处理。采用 CJ-III 型激光热处理宽带扫描转镜(转镜转速为 2000r/min),

作者简介: 石 岩, 男, 1972 年 2 月出生。讲师, 博士研究生。现从事激光加工技术方面的研究工作。

收稿日期: 2002-05-08; 收到修改稿日期: 2002-07-29

在 CGJ93 型数控 CO₂ 激光加工系统上进行宽带激光淬火。宽带激光淬火时,所用功率皆为 3000W,扫描速度分别为 90mm/min, 110mm/min, 130mm/min, 150mm/min 和 170mm/min, 光斑尺寸为 20mm × 2mm。激光强化后,将 130mm/min 扫描速度下处理的部分试样,直接放至液氮中分别进行 1h 和 6h 冷处理。然后,放到加热炉中加热到 180℃进行 2h 的回火处理,以增加相的衬度(在 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀下,马氏体易于腐蚀而呈黑色,残余奥氏体呈白色)。将不同工艺条件下复合处理试样沿横断面切开,经研磨、抛光和 4% 的硝酸酒精溶液腐蚀后,采用 AMRAY-1000 型扫描电镜进行组织观察。沿平行于激光扫描方向用线切割机逐层切下 0.35mm 薄片,经研磨减薄后,在 MTP-1 型电解仪上制成透镜样品,在日立 H-800 型透射电镜下进行形貌观察和选区电子衍射分析,其操作电压为 200kV,采用 VIDAS 型图像分析仪,分别对经冷处理和未经冷处理试样由表向里逐层测量其微区的残留奥氏体含量。显微硬度测试是在 DIM T-3 型显微硬度计上进行的,载荷 50g,加载时间 15s。沿硬化层横断面由表及里每隔 0.1mm 测试 3 次,取其算术平均值,以研究显微硬度沿硬化层深的分布规律。

2 试验结果与分析

2.1 18Cr2Ni4W 钢复合处理硬化区微观结构

18Cr2Ni4W 钢经渗碳处理,在 130mm/min 扫描速度下激光淬火后,表面硬化区的显微组织如图 1 所示。可见,由于受硬化区内温度和成分变化的



Fig. 1 Microstructure of carburizing and laser hardened zone of 18Cr2Ni4W (SEM)

影响,微观结构随硬化区层深发生了明显变化。依其组织特征,可将硬化区大致分为 3 层:第 1 层为表面完全淬硬层,其主要是由针状马氏体、渗碳体和残余奥氏体组成(见图 1a);图 2 为透射电镜下观察到的针状马氏体形貌,可见,在马氏体晶内存在着许多平行排列的细孪晶组织,对孪晶区进行选区电子衍射分析表明,这种孪晶的孪晶面为 {112},它是由相变时晶体发生不均匀切变造成的,属相变孪晶。而在针状马

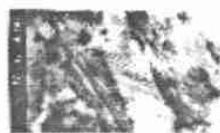


Fig. 2 Needle like martensite (TEM)

氏体边缘则分布着一些深色奥氏体组织。在透射电镜作进一步观察还可发现有一些颗粒状渗碳体存在,图 3 出了这种组织的典型形貌。



Fig. 3 Carbide

第 2 层为过渡层,其组织是由马氏体和(基体上分布着回火析出的碳化物所组成(见图 1b)。在 TEM 下作进一步观察发现,因碳含量随距表面距离的增加而逐渐减少,使这一层区的马氏体呈现出典型的板条状形貌特征(见图 4)。第 3 层为高温回火区,原始组织发生了高温回火转变,生成了回火索氏体组织(见图 1c)。



Fig. 4 Plate like martensite (TEM)

与均质材料不同,渗碳材料碳浓度由表及里呈梯度分布,碳元素这一分布特征及激光作用区内温度梯度的存在决定了其具有上述组织特征。在激光快速加热过程中,由于材料表面直接受激光束作用,大量碳化物的溶解,使所形成的奥氏体具有很高的含碳量,在随后的快速冷却过程中将导致针状马氏体、碳化物及残余奥氏体组织的形成;在过渡层区,因加热温度位于 $A_{c1} \sim A_{c3}$ 相变温度之间,过热度低,温度梯度小,作用时间短,铁素体向奥氏体转变和渗碳体的溶解均不充分,结果冷却后形成了板条马氏体和 α 基体上分布着回火析出的碳化物混合组织;在高温回火区,由于加热温度已降至 A_{c1} 线以下,原始组织将发生高温回火转变形成回火索氏体组织。

2.2 18Cr2Ni4W 钢复合处理硬化区残余奥氏体分布特征

图 5 为采用 VIDAS 型图像分析仪测定的激光强化试样冷处理前后不同微区残留奥氏体含量。由图 5 可知,在渗碳激光强化复合处理条件下,硬化区表层形成了大量的奥氏体组织,且其含量随距表面距离的增加而逐渐减少。在激光快速加热过程中,材料表面直接与激光束相互作用,因而表面温度最高,作用时间最长,致使渗碳表层中碳化物溶解的较为充分,所形成的奥氏体具有很高的碳含量。此外,由于 18Cr2Ni4W 钢是一种合金元素含量比较高的渗碳钢,大量镍和铬元素的

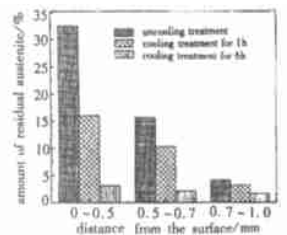


Fig. 5 Residual austenite distribution curve along depth of hardened zone

存在, 导致材料马氏体相变的降低。受这些综合因素的影响, 促使试样表层形成了大量的奥氏体组织。随着距表层距离的增加, 由于加热温度的降低、作用时间的缩短, 以及碳含量的降低, 致使在高温下所形成的碳浓度的降低, 从而减少了残余奥氏体的含量。对渗碳激光强化复合处理后的试样直接进行冷处理, 大量的残余奥氏体将转变成马氏体, 残余奥氏体含量将明显降低。值得注意的是, 在复合处理区内含有少量的残余奥氏体, 将有助于提高材料的韧性与塑性。同时, 在经过塑性变形时, 残余奥氏体可以转变成马氏体, 有利于被处理材料耐磨性的提高^[5]。

2.3 18Cr2Ni4W 钢复合处理硬化区显微硬度分布特征

图 6 为不同激光扫描速度下, 18Cr2Ni4W 钢显微硬度沿硬化区层深的分布曲线。可见, 在不同扫描速度下, 距表面 0.1mm~0.5mm 的范围内显微硬度均发生了不同程度的降低, 出现软化现象。材料的性能是由其成分、组织结构所决定的, 在渗碳激光强化复合处理条件下, 虽然表面层具有很高的碳浓度, 但由于该区域内大量残余奥氏体的存在, 制约了表面层硬度的提高。此外, 晶粒大小也是影响材料硬度的一个重要因素。通过对复合处理后材料晶粒度的测量发现, 晶粒由表及里逐渐变细, 造成这种现象的原因归因于激光加热时所产生的温度场分布。因此, 靠近表面层区晶粒粗大, 也导致了硬度降低; 在亚表层, 由于具有相对较高的碳浓度和较少的残余奥氏体, 加之该区域具有较大的过热度, 冷却速度快, 组织细小, 因此具有很高的显微硬度值; 在过渡层和高温回火区, 由于其组织分别是由马氏体和 α 基体上分布着回火析出的碳化物, 以及回火索氏体组成, 因而, 显微硬度开始降低, 至高温回火区降到最低值。此外, 随着扫描速度的提高, 由于高温下所形成的奥氏体碳含量的降低, 促使残余奥氏体含量的减少, 以及组织的细化和缺陷密度的提高, 从而导致硬化区硬度升高。

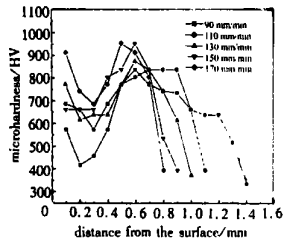


Fig. 6 Microhardness distribution curves along depth of hardened zone at different scanning speed

图 7 为 130mm/min 激光扫描速度下, 冷处理前

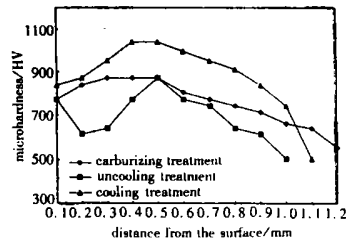


Fig. 7 Microhardness distribution curves along depth of hardened zone at different treatment

后硬化区显微硬度沿层深的分布曲线。作为比较, 未激光强化处理的渗碳试样显微硬度分布曲线也列入图中。可见, 激光强化试样因硬化区大量残余奥氏体的存在,

其显微硬度较未激光强化试样显微硬度有所降低, 特别是在表面区显微硬度降低的幅度较大。当冷处理后, 由于大量残余奥氏体转变为马氏体, 其显微硬度得到明显提高。

3 结论

(1) 18Cr2Ni4W 合金渗碳钢经渗碳激光复合强化硬化区大致可分为 3 层: 第 1 层为表面完全淬硬层, 其主要是由针状马氏体、渗碳体和残余奥氏体所组成; 第 2 层为过渡层, 其组织是由马氏体和 α 基体上分布着回火析出的碳化物所组成; 第 3 层为高温回火区, 其是由回火索氏体组织所构成; (2) 由于激光快的加热和冷却速度, 以及内部组成中合金元素的存在, 使 18Cr2Ni4W 钢复合强化硬化区内形成了大量的残余奥氏体组织, 且其含量随距表面距离的增加而减少, 通过进一步冷处理, 硬化区内残余奥氏体含量明显降低; (3) 随着激光扫描速度的增加, 由于晶粒细化和微观缺陷密度增加, 18Cr2Ni4W 钢硬化区显微硬度增大。由于受残余奥氏体分布特征和晶粒尺寸等因素的影响, 使硬化区表面显微硬度随扫描速度发生了不同程度的软化现象。冷处理有利于增加硬化区显微硬度。

参考文献

- [1] 闫毓禾, 钟敏霖. 高功率激光及其应用. 天津: 天津科技出版社, 1994: 90~111.
- [2] Howes M A. Surface Engineering, 1987(7): 91~104.
- [3] 李俊昌. 激光热处理优化控制研究. 北京: 冶金工业出版社, 1995: 1~2.
- [4] 关振中. 激光加工工艺手册. 北京: 中国计量出版社, 1998: 133~134.
- [5] Hu J D, Li Zh, Wang Y F et al. Mater Sci Technol, 1992(8): 796.