

激光表面强化与材料替代技术

冯荣元

(广州富通光科技有限公司, 广东 广州 510635)

摘要: 试验和实践证明,在激光表面强化的过程中,奥氏体稳定性和淬透性对金属材料性能的影响不是至关重要的;低等级材料通过激光表面强化可以达到高等级材料的相变性能;当激光束能量密度足够高时,可进行材料表面的移动坩埚冶金,实现材料表层重熔、表层增碳、表层合金化和表面熔覆.在大型工件的表层强化、工件的局部强化和表层特殊性能要求等领域,由激光表面强化技术引发的材料替代技术将给业界带来巨大的经济效益.

关键词: 激光强化; 坩埚冶金; 材料替代

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A

激光表面强化技术基于激光束的高能量密度加热和工件快速自冷却两个过程,当激光束能量密度处于低端时,可用于金属材料的表层相变强化;当激光束能量密度处于高端时,工件表面的光斑处相当于一个移动的坩埚,可完成一系列的冶金过程,如表层重熔、表层增碳、表层合金化和表面熔覆.这些功能在实际应用中引发的材料替代技术,将给制造业带来巨大的经济效益.

1 激光相变强化的金属材料学

激光相变强化,就是用激光束扫描工件,使工件表面快速升温到 A_{c3} 临界点以上,在光斑移开时,由于工件基体的热传导作用使表层温度瞬间进入马氏体区或贝氏体区,发生马氏体相变或贝氏体相变,完成相变强化过程.

相变强化工艺具有表面质量好的优点,可根据材质、工件热容量以及激光处理工艺参数的不同,控制工件表面硬度和强化层厚度.根据试验实测,钢的强化层厚度为 0.7~1 mm,铸铁的为 0.35~0.65 mm.

在传统的热处理工艺中影响强化效果的技术因

素,在激光相变强化中所起的作用发生很大变化.

1.1 淬透性

所谓淬透性,是指金属材料在转变成奥氏体之后的冷却过程中,当其处于珠光体转变区域时奥氏体的分解速度.分解速度快,其淬透性差;分解速度慢,其淬透性好.在奥氏体开始分解之前有个孕育时间,材料只要在孕育时间内越过这一温度区间,便可全部获得淬火组织(马氏体或贝氏体).否则,只能得到部分淬火组织或得不到淬火组织.孕育时间最短为零,最长可达 10 min 以上.

对于传统的整体淬火工艺来说,淬透性是个至关重要的技术指标,决定该材料是否能够得到淬火组织,达到强化的目的.而对于激光表面相变强化来说,该指标无关紧要.

以 45 钢和高速工具钢 W18Cr4V 为例,45 钢奥氏体最不稳定的温度是 550℃ 左右,此时孕育时间约 1 s,如在 1 s 之内没能越过 550℃,奥氏体便开始分解并转变为珠光体;W18Cr4V 钢奥氏体最不稳定的温度是 750℃ 左右,此时孕育时间约 480 s,如在 480 s 之内能越过 750℃,奥氏体便可转变为马氏体或贝氏体.在激光淬火中,当用 $D = 5$ mm 的光斑,以 1200 mm/min 速度扫描时,一个固定点的加热时

间是 0.2 s. 据现场测试, 钢质件经 0.2 s 加热可使距表面 0.7~1 mm 处的温度升到 A_{c3} 临界温度以上; 而当工件的热容量足够大时, 被加热工件将以 $10^4 \sim 10^6$ °C/s 的冷却速度从 A_{c3} 临界点温度冷却到马氏体开始转变温度 M_s 以下. 所以不要说 W18Cr4V 的 480 s 左右的孕育时间, 就是 45 钢的 1 s 左右孕育时间, 对于奥氏体越过珠光体转变区域, 完成马氏体相变也绰绰有余. 因此, 淬透性对于激光表面相变强化来说是无关紧要的指标.

1.2 弥散强化和畸变强化

激光相变强化是以高能量密度的激光束照射工件表面, 使需要强化的部位瞬间吸收光能, 温度急剧上升, 形成奥氏体. 此时基体处于冷态, 与加热区之间有极高的温度梯度. 当停止激光照射时, 加热区因急冷而发生淬火, 使金属表面发生马氏体转变. 在此工艺环境下形成的奥氏体, 表面层的奥氏体化时间约 0.2 s, 最里层则是瞬间的. 不管是表层, 还是里层, 奥氏体晶粒都没有孕育长大的机会. 弥散的奥氏体晶粒, 形成弥散的马氏体相, 使马氏体具有晶格强化的同时也具有弥散强化效果; 而且, 在激冷条件下形成的马氏体晶格, 比常规淬火有更高的缺陷密度. 与此同时, 残余奥氏体也获得极高的位错密度, 从而使金属材料具有畸变强化效果, 强度大大提高.

1.3 无氧化脱碳淬火

在传统的热处理中, 工件在加热过程如没有保护措施, 便会氧化、脱碳, 使工件的硬度、耐磨性、使用性能和使用寿命降低. 激光相变强化所使用的激光涂料具有使工件表面免遭氧化的性能.

1.4 激光强化的抗疲劳机理

影响金属材料抗疲劳性能的原因之一是疲劳裂纹的萌生时间. 磨损和疲劳在材料损伤过程中相互促进, 使磨损沟痕成为疲劳裂纹的萌生点, 加速疲劳裂纹的萌生, 材料表面出现疲劳裂纹后, 表面光洁度严重恶化, 磨损也将加剧.

用经激光处理和未经激光处理的 Cr12MoV 试样做磨损对比试验, 发现经激光处理的试样表面比较光滑、犁沟较浅、粘着现象较轻; 而未经激光处理的试样表面损伤严重, 有明显的犁沟和表面粘着斑痕. 因此, 激光强化层具有较强的抗塑性变形和抗粘着磨损能力.

弥散强化、畸变强化和激光强化抗疲劳, 弥补了高合金材料中强化相的耐磨作用.

1.5 等强工作层

经常规热处理后的工件, 其强化层的硬度由表万方数据

及里有一个明显的下降梯度, 而经激光强化的工件, 其整个强化层的硬度几乎一样.

常规热处理的冷却方向是由表及里, 表面的冷却速度最快, 由表及里冷却速度逐渐降低, 所以得到了由表及里硬度下降的梯度分布.

激光相变强化的加热方向是由表及里, 不仅表面温度较高, 而且加热时间较长, 可达 0.2~0.25 s. 而里层奥氏体化则是瞬间完成, 使表层奥氏体中的 C 浓度更高, 有更强的固溶强化效果. 激光淬火冷却方向却与常规热处理相反, 是由里及表, 里层温度虽低, 但冷却速度最快; 外层温度虽高, 有固溶强化优势, 但冷却速度最慢. 虽然里层 C 浓度稍低, 但畸变强化和弥散强化更强烈. 这样在硬化层内就形成了几乎不变的硬度分布.

表 1 是广州柴油机厂材质为 QT600-3 的柴油机活塞环槽按该厂 ISO9000 质量管理要求所做的认证检测结果. 按该厂的技术要求, 环槽槽壁硬度 $HRC \geq 52$ 、深度 ≥ 0.3 mm. 表 1 中距表面 0.1~0.4 mm 的数据是柴油机厂的检测数据, 0.5 mm 处的数据是作者补充的检测数据. 该批试样的马氏体硬化层厚度为 0.55~0.65 mm, 马氏体硬化层与基体珠光体层的边界呈不规则波浪形. 激光强化件的等强工作层避免了常规热处理件一旦表面出现磨损, 其磨损速度便加速的现象.

表 1 广柴活塞试件硬度的检测结果

Table 1 Result for detection of hardness of piston test piece from Guangzhou Diesel Factory

试样号	HV(实测值)/HRC(换算值)				
	0.1 ¹⁾	0.2	0.3	0.4	0.5
1	926/67	882/66	888/66	867/65.5	866/65.5
2	882/66	824/64	824/64	797/63	801/63
3	882/66	913/66.5	797/63	811/63.5	809/63.5
4	946/67.5	882/66	882/66	811/63.5	812/63.5

注: 1) 离表面距离, 单位 mm.

2 材料表面的熔塌冶金

当激光束能量密度处于高端时, 工件表面光斑处相当于一个移动的熔塌, 可用于材料表面的熔凝强化、增碳和合金化.

2.1 熔凝强化

所谓熔凝强化, 是以比相变强化更高的能量密

度的激光束扫描工件,使受热层的表层熔化,受热层的次表层被加热到 A_{c3} 以上.当光斑移开时,工件基体的热传导作用使熔化层凝固,次表层发生相变,完成熔凝强化过程.

2.2 表面增碳

用激光对 Q235 试样进行表面增碳试验时,采用含有活性元素的吸光涂料和高能量密度激光束使试样表层熔化,然后把试样磨平,减厚 0.3 mm,用直读光谱仪测得增碳前后表面碳含量 $w(C)$ 分别为 0.18% 和 1.03%. 本技术用于 D650 mm 堆焊辊取得了满意的效果.

3 激光表面熔覆与材料表面改性

在基材表面指定部位铺一层合金,用高能量密度的激光束使合金熔化并保证基材表面有微熔层,在随后的快速凝固过程中,在工件表面形成一层与基体材料化学成分不同的新的合金层,使价廉的材料表面获得耐腐蚀、耐高温、抗氧化性能.此技术也可用于对重要设备零部件磨损后的修复.

4 材料替代

激光表面强化技术可用于金属材料的表面强化,解决整体强化和其它表面强化手段难以克服的问题;激光表面强化技术也可用于金属材料的表面改性,使低等级材料获得高性能的表层,提高工件的耐磨性和耐腐蚀性.

4.1 大型件的材料替代

提高大型件材质的淬透性,是满足大型件强度要求的传统做法.某水压机制造厂的水压机活塞,直径为 650~950 mm,此前采用 40Cr 和 45 钢等材料经调质处理后镀硬铬,表层强度达不到设计要求.采

用高合金钢虽然可提高淬透性,确保调质强度,但这样将大幅度提高成本,且大型件淬火工艺复杂.采用激光表面强化技术后,不仅省去了镀铬工序,而且达到了表层耐磨、强度高的设计要求.

4.2 改善工艺性能的材料替代

某钢铁厂的直径 650 mm 初轧堆焊辊,原采用合金钢焊条埋弧焊,由于焊接性能差,孔型加工困难,后改用中碳碳素钢焊条,虽然改善了焊接、加工等工艺性能,但降低了使用性能.采用激光表面强化后,不仅满足了工艺性能的要求,而且还大幅度提高了使用性能.

4.3 局部强化的材料替代

某家电厂冲压家电外壳的模具只要求凸块边缘耐磨,为了保证冲压质量和提高模具使用寿命,采用 Cr12MoV 高档模具钢,虽然满足了使用要求,但 Cr12MoV 处理工艺复杂,且成本也高.改用普通碳素钢 50 钢,并只对凸块边缘进行激光强化,满足了使用要求,降低了成本.

4.4 满足表层特殊性能要求的材料替代

在工件损坏或缺陷部位采用激光熔覆工艺熔覆特定的合金材料,使其与基体金属材料形成良好的冶金结合,这种修复处理不仅对工件形貌进行了修补,而且提高了修复部位的性能,是一种增强型修复;在低等级材料工件的工作部位,熔覆一层厚度可控、具有特殊性能的合金,使工件具有合金的性能.

5 结 语

用低等级材料代替高等级材料的替代技术是激光表面强化技术的应用开发产物.随着对激光表面强化技术的深入研究,材料替代应用领域不断扩大,由激光表面强化技术引发的材料替代技术将给业界带来巨大的经济效益.

Technology of laser surface strengthening and alternative material

FENG Rong-yuan

(Guangzhou Photone Laser Technology Co., Ltd., Guangzhou 510635, China)

Abstract: It is proved by the experiment and practice that the stability and hardenability of the austenite have slight effect on the properties of the metallic material during the process of the laser surface strengthening. By means of laser surface strengthening, a low grade material can get the phase change of a high grade material. When a energy density of a laser beam is high enough, a removable crucible metallurgy on the material surface can be carried out, and the target of remelting, carburization, alloying and fusing of the material surface layer

can be achieved. In the fields of surface layer strengthening of a large workpiece, local strengthening of a workpiece and special processing of workpiece surface layer, the technology of alternative material brought by the laser surface strengthening will bring huge profit to the industry.

Key words: laser strengthening; crucible metallurgy; alternative material

钎焊材料

广州有色金属研究院粉体焊接材料研究开发中心专门从事粉状、膏状焊接材料的研究开发与生产。该中心以其自主开发的先进技术生产出了质量稳定、性能优良的铝基、铜基、镍基、银基等钎剂、钎料系列产品,并以良好的技术服务赢得了用户的信赖,所生产的产品已广泛应用于不锈钢制品、电热电器、汽车空调等行业,在国内市场的占有率首屈一指。主要产品如下:

铝基、铜基系列钎料钎剂产品

名称	型号	外观	规格	熔点(程)/℃	特点
铝钎料	AS-1	银灰色粉末	-40+200目	575±5	炉中焊、高频焊,可焊铝管-铝板-不锈钢
	AS-2	银灰色粉末	-40+200目	585±5	同上,焊接强度优于AS-1
	AS-3	银灰色粉末	-40+200目	540±5	炉中焊、高频焊,特别适合焊铝管-铝板
铝焊丝	AS-1	银色金属丝	D1~1.5mm	575±5	火焰焊、炉中焊,焊接质量好
	AS-3	银色金属丝	D1.5~2mm	540±5	火焰焊、炉中焊,熔点较低
铜钎料	Cu-1	灰色粉末	-50目	590~660	高频焊,可焊铜-铜、不锈钢、不锈钢
	Cu-1-1	灰色粉末	-50目	630~700	铜-铜,流动性优于Cu-1
镍钎料	Ni-1	灰色粉末	-100目	870~900	还原气氛炉中钎焊不锈钢工件
铝钎剂	FA-1	白色粉末	-100目	550±5	配合AS系列铝钎料使用,流动性好
	FA-3	白色粉末	-100目	555±5	配合同种铝钎料,焊接接合力优于FA-1
铜钎剂	FB-1	白色膏体	-100目目	500~750	配合Cu-1,Cu-1-1铜钎料使用,焊接接合力较高

焊膏产品

产品名称	型号	外观	钎焊温度/℃	特点
共晶铝焊膏	LHG-1	银灰色膏体	600~620	保护气氛炉中焊,可焊铝管-铝板-不锈钢
非共晶铝焊膏	LHG-2	银灰色膏体	600~630	保护气氛炉中焊,可焊铝管-铝板-不锈钢
中温铝焊膏	LHG-3	银灰色膏体	500~520	保护气氛炉中焊,可焊铝合金管-铝合金板
铜焊膏	THG-1-1	灰褐色膏体	720~750	火焰焊、炉中焊,可焊铜管-铜合金板
镍焊膏	NHG-1	灰褐色膏体	930~950	还原气氛炉中焊,可焊不锈钢管-不锈钢板

联系人:蔡小姐 13609003166;蔡先生 13609032900