

激光冲击处理对3种新材料力学性能的影响

陈东风, 李长生

(江苏大学材料科学与工程学院, 江苏 镇江 212013)

[摘要] 研究的镍、铬基软磁合金是应用在航天领域的继电器上的材料。以前研究其性能时只是注重磁性能, 未研究力学性能。但在应用过程中, 由于开关的开合, 材料需承受循环应力的作用, 所以其疲劳性能就比较重要。通过研究发现, 这3种材料的力学性能较差。对材料进行激光冲击处理后发现, 材料表面产生了较大的残余压应力, GYT130和GYT170分别提高了280%和170%, 而1J36没有明显的提高。1J36、GYT130和GYT170材料的硬度分别提高了40%、25%、24%, 耐磨性分别提高了67%、78%、76%。可以看出, 激光处理使材料性能有较大的提高。

[关键词] 激光冲击; 残余应力; 磨损; 镍基软磁合金

[中图分类号] TG156.99

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2007)06-0007-02

The Effect of Laser-shock Processing on Mechanical Properties of Three New Materials

CHEN Dong-feng, LI Chang-sheng

(School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

[Abstract] Ni-base and Cr-base magnetically soft alloy which is used on relay was researched. The former research just pay attention to its magnetism ability and does't study its mechanical property. But in its application process, fatigue properties is very important because the derail bears cycle stress. The mechanical property was bad through research. The surfaces of the materials were processed by LSP(laser shock processing). The result shows that the surface has big residual stress, the residual stress of GYT130 and GYT170 are increased by LSP 280%, 170%, but 1J36 hasn't been sharp increased. The hardness of 1J36, GYT130 and GYT170 are increased by LSP 40%, 25%, 24%. The resistance to wear of 1J36, GYT130 and GYT170 is increased by LSP 67%, 78%, 76%. So we can see that LSP can improve material's properties.

[Key words] Laser shock processing; Residual stress; Wear; Cr-base magnetically soft alloy

0 引言

文中研究的3种镍、铬软磁合金用于航天飞机继电器, 根据目前的使用情况, GYT130合金的磁性能、抗蚀性能(与推进剂的相容性)和机械性能基本满足用户的使用要求。但在加工和制造的过程中发现, 由于GYT130磁性材料含Cr量仅为13%, 在零件加工和存储的过程中, 经常发现表面出现锈斑, 这对卫星推进系统的控制十分不利。因此, 目前迫切需要研制一种抗大气环境腐蚀能力明显优于GYT130合金的新型抗蚀软磁合金, 在磁性能较GYT130合金不出现大幅降低的前提下, 综合性能较GYT130合金上一个台阶, 保证材料的耐蚀性、抗泄漏性、可焊性及机械性能全面满足卫星的需求。

激光表面强化(LSP)是一种新型的表面强化技术。它是利用脉冲激光作用于材料表面, 使金属材料表面产生强烈的塑性

变形, 在激光冲击区位错产生缠结网络, 其结构类似于经爆炸冲击的材料亚结构。这种结构明显改变了材料的表面硬度、屈服强度和疲劳寿命^[1]。而对镍基合金, 一些学者也研究了激光处理对其力学及显微组织的影响^[2-3]。

本文研究的镍基软磁合金在设计的时候主要考虑了它的磁学性能, 对其力学性能的研究较少, 而在实际的应用中发现, 其力学性能并不能满足使用要求。而通过激光强化技术强化表面后, 能提高材料的力学性能。

1 试验方法

1.1 材料的制备

材料来源于北京钢铁研究总院, 其中1J36在高纯H₂气体保护气氛炉中退火, GYT130和GYT170在真空炉中退火。

1.2 试验设备

本试验采用江苏大学提供的TJ-HL-T2000型2kW横流CO₂激光器, 所输出的光斑为圆形光斑, 发射角度<1.5mrad。它是目前国际上工业激光加工较为普遍的一种激光器, 可广泛应用于金属材料的表面激光切割、焊接和热处理。

[收稿日期] 2007-07-06

[基金项目] 国防科工委民用配套项目子课题(MKPT-05-111)

[作者简介] 陈东风(1980-), 男, 江苏镇江人, 在读硕士, 研究方向: 金属的疲劳及表面的强化。

用HVS-1000数显硬度计测量激光冲击硬化后的表面硬度值。用金相显微镜观察材料在激光处理前后的变化。用M-2000型多功能摩擦磨损实验机和电子天平对材料在激光处理前后的摩擦性能进行研究。用X-350A型X射线应力分析仪对材料进行了残余应力的测定。

1.3 激光冲击试验

选用的3种材料为薄板,其尺寸为50mm×10mm×4mm,试验前用砂纸打磨到粗糙度为0.8μm,其力学性能见表1,其中 S_s 为材料的屈服强度, S_b 为材料的抗拉强度, δ 为材料的延伸率。主要化学成分见表2。激光冲击的示意图见图1。

表1 合金的常规力学性能

Table 1 Mechanical properties of alloy

材料	S_s /MPa	S_b /MPa	δ /%
GYT130	283	456	45
GYT170	318	484	35
1J36	227	417	47

表2 合金的化学成分

Table 2 Composition of the steels

材料	元素的质量分数/%						
	Ni	Mn	Si	C	S	Cr	Al
1J36	36.31	0.11	0.10	0.003	0.003		
GYT130		0.19	1.48	0.003	0.004	13.14	0.41
GYT170		0.16	1.43	0.003	0.004	16.82	0.37

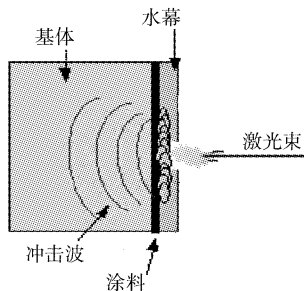


图1 激光冲击表面原理图

Figure 1 Schematic of LSP processing

2 试验结果及讨论

2.1 激光处理对金属显微组织的影响

图2、图3为3种材料激光处理前后的金相照片(放大100倍)。对比图2、图3可以清楚地看到,经过激光处理后的晶粒明显地细化。这是因为激光处理使粗大的晶粒被碎化,同时由于表面温度瞬时升高,然后再急速地冷却,所以得到较细的晶粒。对含Cr的两种材料(GYT130、GYT170),激光冲击后的效果比较明显。

2.2 激光处理对显微硬度的影响

从图4可以看出,3种材料在经过激光处理后,硬化层的深度大约为0.2mm。激光处理前,1J36、GYT130和GYT170三种材料的显微硬度分别为154.5、193、187,经过激光处理后3种材料的显微硬度分别为216、240、230,分别提高了40%、25%、

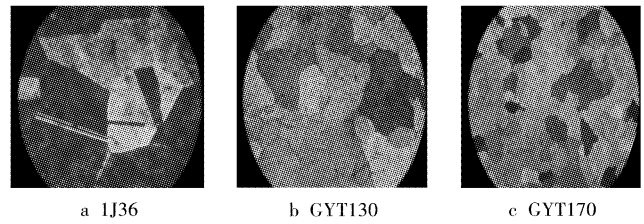


图2 未处理的3种材料的金相照片

Figure 2 Three materials' metallograph before LSP

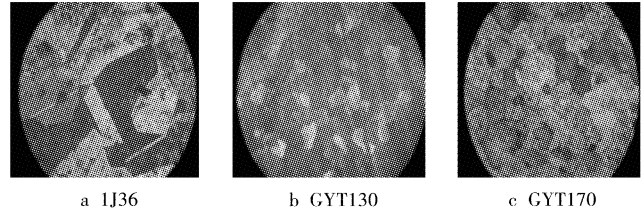


图3 处理过的3种材料的金相照片

Figure 3 Three materials' metallograph after LSP

24%。激光处理后材料的硬度增加是因为激光束能量高而集中,作用时间短,冲击区瞬间有较大的过热,使晶粒细化,产生了密度较大的位错及位错墙^[4]。材料经过激光处理后,由于位错或位错墙的存在,形成了亚晶界,从而使得变形过程中的位错移动的阻力增加,表现为显微硬度的提高。

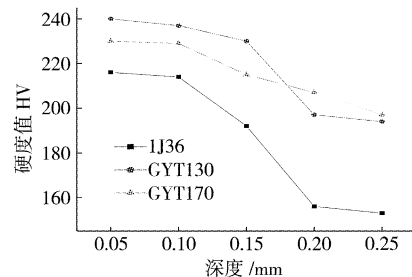


图4 激光处理后材料深度方向的硬度分布

Figure 4 Hardness profile of three steels after laser shock processing

2.3 激光处理对残余压应力的影响

激光处理会使表面产生残余压应力。这是因为在激光冲击的作用下,材料局部加热,然后在空气中迅速冷却,加热和冷却的时间比较短,且在加热时,激光作用下的微小区域发生强烈的体积膨胀,使金属材料局部区域体积增加,而体积的增加受到了加热区周围低温区的强烈制约,于是加热区就产生了压应力。加热的温度越高,压应力就越大。

由于疲劳裂纹经常发生在表面,所以残余压应力对金属的疲劳强度有提高的作用。图5为材料经过激光处理前后的残余压应力的对比图,每种材料测试的时候取了5个数据点,最后取其平均值。经过激光处理后,GYT130和GYT170两种材料的残余压应力有比较明显的增加,分别提高了280%和170%,而1J36的残余压应力增加较小。说明激光处理工艺对GYT130和GYT170两种材料的疲劳性能可能比较有益^[5-6]。

2.4 激光处理对摩擦磨损性能的影响

摩擦试验在M-2000型摩擦磨损实验机上进行,对磨副相同。在试验前,材料表面经过机加工,表面粗糙度小于0.8μm,

(下转第41页)

由图5示出的Ti(O,N)涂层硬度和弹性模量随氧分压的变化曲线可见,随氧含量的增加,涂层的硬度逐渐升高,在氧含量为8.0%时达最大值26.2GPa,明显高于TiN涂层(20.9GPa)。氧含量进一步增加,涂层的硬度基本保持不变。而涂层的弹性模量则在氧含量为5.0%时,达到最大值411GPa,然后随着氧含量的进一步增加略有降低,氧含量达到17.9%时,涂层的弹性模量为371GPa,与TiN的弹性模量(365GPa)相当。

综合以上试验结果,在反应气体中加入少量氧气可以方便地制备Ti(O,N)涂层,并可通过控制氧分压获得不同氧含量的Ti(O,N)涂层,由此方法获得的Ti(O,N)涂层具有与TiN相同的NaCl结构并仍以柱状晶形式生长。低的氧含量有利于涂层的晶体生长,而氧含量增加到约11.5%后,涂层结晶质量逐步降低但仍未产生新的物相。Ti(O,N)涂层的硬度明显高于纯TiN涂层,其最高硬度为26.2GPa。这一结果为采用氧作为添加元素改善氮化物涂层的性能提供了一种思路。

3 结论

采用Ar、N₂、O₂混合气体的反应磁控溅射法可以制备Ti(O,N)

涂层,并方便地控制其氧含量,所得到的Ti(O,N)涂层具有与TiN相同的NaCl结构,并形成(111)择优取向的柱状晶,涂层的硬度较TiN涂层有明显提高,最高硬度为26GPa。

[参考文献]

- [1] Sproul W D. New routes in the preparation of mechanically hard films [J]. Science, 1996, 273(5277): 889-892
- [2] Hitachi Metals Ltd. Hitachi Tool KK [P]. Japan: JP11077407-A, 1999-03-23.
- [3] Tonshoff K, Karpuschewski B, Mohlfeld A, et al. Performance of oxygen-rich TiAlON coatings in dry cutting applications [J]. Surf Coat Technol., 1998, 108/109: 535-542
- [4] 田家万, 韩增虎, 赖倩茜, 等. 两步压入法——薄膜力学性能的可靠测量方法[J]. 机械工程学报, 2003, 39(6): 71-74
- [5] DIN 50359-1, Testing of metallic materials ——Universal hardness test-Part 1: Test method [S].
- [6] Oliver W C, Pharr G M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiment [J]. J Mater Res, 1992, 7(6): 1564-1583

(上接第8页)

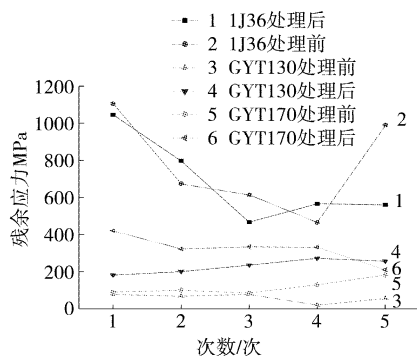


图5 激光处理前后材料的残余压应力

Figure 5 Residual stress of materials before and after laser shock processing 试验载荷为500N,试验时间为1h。在电子天平上测量失重,试验数据见表3。

表3 材料的磨损量
Table 3 The wearing capacity of materials

材料	未处理的磨损量/g	处理过的磨损量/g	减少量/%
1J36	0.0555	0.018	67
GYT130	0.0345	0.0074	78
GYT170	0.0375	0.0091	76

未经过激光处理的材料在摩擦的初始阶段,由于表面的不平,会有一些微突体,在法向力的作用下这些微突体将会发生变形,在力的作用下,软金属表面的微突体将会被剪断,形成磨屑^[7]。而磨屑不能及时排除,在摩擦表面形成了三体磨损,造成了所谓的“犁沟”,而经过激光处理的材料表面由于表面硬度的提高,不容易形成“犁沟”,所以其磨损量也比较小。从表3

可以看出,3种材料的磨损量分别降低了67%、78%和76%。

3 结论

- 1) 激光处理能细化这3种材料基体的晶粒。对含Cr的材料细化效果要比含Ni材料明显。
- 2) 激光处理能比较显著地提高材料的硬度,1J36、GYT130和GYT170三种材料分别提高了40%、25%和24%。
- 3) 激光处理使GYT130和GYT170两种材料的残余压应力有比较明显的增加,分别增加了280%和170%,而1J36的残余压应力的增加较小。
- 4) 激光处理能改善材料的耐磨性能。

[参考文献]

- [1] 王华明, 李晓轩, 孙锡军, 等. 激光处理不锈钢及镍基合金后表面力学性能研究[J]. 中国激光, 2000, 27(8): 756-759
- [2] 吴国清, 黄正, 林建国, 等. γ -TiAl基合金快速熔凝组织转变的规律[J]. 材料研究学报, 2002, 16(4): 385-388
- [3] 曾大文, 夏辉, 谢长生, 等. Ni合金激光熔覆层组织特征及凝固过程的研究[J]. 稀有金属材料与工程, 2000, 29(2): 109-113
- [4] 任旭东, 张永康, 周中建, 等. 激光冲击处理对Ti6Al4V力学性能的影响[J]. 功能材料, 2006, 11(37): 1781-1783
- [5] 尹晨. QT600球墨铸铁激光淬火相变层机械性能的研究[J]. 激光杂志, 2003, 27(4): 74-75
- [6] 肖红军, 彭云, 马成勇, 等. 激光表面改性[J]. 表面技术, 2005, 34(5): 10-12
- [7] 陈卓君, 张祖立. 激光处理冷轧Q235/40Cr干摩擦试验研究[J]. 润滑与密封, 2007, 32(2): 105-107