

图5 干砂-橡胶轮磨损试验后的试样表面

参 考 文 献

- 1 Conducting dry sand-rubber wheel abrasion tests ASTM stand. G65, 1984 (ASTM Philadelphia PA)
- 2 H. S. Avery, An Analysis of the rubber wheel abrasion test, Proc. Int. Conf. on wear of materials 1981, American Society of Mechanical Engineers, New York 1981, 372
- 3 S. Timoshenko, Theory of Elasticity, 3d Ed, 1979, 412

(收稿日期: 1988年1月13日)

激光快速熔凝钢的表面微晶化与疲劳性能

才庆魁 李好平 傅淑云 战效文 王维国

(东北工学院, 沈阳)

秦思展

(北京电光源公司)

Surface microcrystallization and fatigue property of laser-glazed steels

Cai Qingkui, Li Haoping, Fu Shuyun, Zhan Xiaowen, Wang Weiguo

(Northeast University of Technology, Shenyang)

Qin Sizhan

(Beijing Electric Light Source Co., Beijing)

提要: 本文报道激光快速熔凝钢的冷却速度为 $10^4 \sim 10^6$ °C/s, 当激光辐照的工艺参数控制得当时, 可在钢的表面形成极薄的微晶层和相变硬化层, 使疲劳区内移, 在次表层形成疲劳裂纹核心, 因而使疲劳性能显著提高。

关键词: 钢, 表面微晶化, 疲劳

一、引 言

通常情况下, 材料的疲劳断裂始于表面, 材料的表面层状态对疲劳性能有直接影响。因此, 研究材料的表面状态和结构, 进而强化材料表面对疲劳研究工作者是很重要的。

将激光表面加工新技术引入材料研究中, 尤其是引入疲劳研究中, 大大地促进了疲劳研究的进程。

本试验是在已有的工作基础上^[1-4], 考虑到材料的应用前景, 采用了光滑圆棒型疲劳试样, 进一步探讨了用 CO₂ 激光束对材料表面实行连续、搭接式整

体辐照, 使材料表面微晶化, 改善材料的疲劳性能的可行性。试验的结果表明, 在工艺上是可行的, 而且效果显著。

二、试验方法

试验用的 40Cr 钢疲劳试样由圆棒经调质处理后加工成如图 1 所示的形状和尺寸。激光快速熔凝处理采用 JK-13 型横流电激励 CO₂ 激光加工机, 其窗口输出光束直径小于 $\phi 30$ mm, 转换效率为 13.4 ~ 15.0%, 多模连续输出, 额定功率为 2kW。由 GJXK-1 功率反馈自动监控。为了保证材料对激

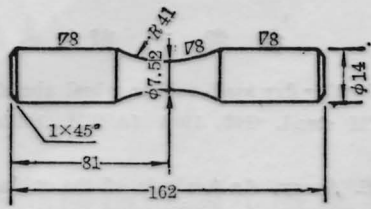


图1 疲劳试样的形状和尺寸

光能量的吸收,激光熔凝处理前进行了黑化处理,以形成均匀致密的增吸层。

疲劳试验是用标准的光滑试样,在旋转弯曲疲劳试验机上进行。为了考查激光快速熔凝微晶化对疲劳性能的影响,选用了激光相变硬化、激光快速熔凝和未经激光处理的三种疲劳试样,进行了成对对比疲劳试验。这三种疲劳试样均在室温下,取相同应力($\sigma=555\text{ mPa}$)进行试验。试验机的频率为5000转/分钟(rpm)。试验中还对熔凝处理的组织进行了观察,对断口进行了分析。

三 试验结果与分析

3.1 成对对比疲劳试验结果

三种疲劳试样,在相同的应力下,进行成对对比疲劳试验,其结果示于表1。从表1的数据来看,三种情况下,疲劳寿命的差异显著。利用数理统计的方法^[6],将激光快速熔凝处理和激光相变硬化处理的疲劳寿命、激光快速熔凝处理与未经激光处理的疲劳寿命分别取对数,可计算出三种不同工艺的疲劳数据的差数平均值和标准差为: $\bar{X}_{a-b}=0.6433$ 、 $S_{a-b}=0.4434$ 、 $\bar{X}_{a-c}=0.9381$ 、 $S_{a-c}=0.3106$ 。然后,求出 t 值分别为: $t=3.24$ 和 $t=6.75$ 。当取显著度 $\alpha=5\%$ 时,并且已知自由度 $\nu=4$,实际计算的 t 值均大于 $t_{\alpha}(=2.776)$ 。所以,激光快速熔凝处理的疲劳寿命与激光相变硬化处理和未经处理的疲劳寿命相比,差异是显著的。计算的结果表明:激光快速熔凝表面微晶化处理试样的疲劳寿命,在置信度

表1 三种试样相同应力下的疲劳寿命

No	激光快速熔凝 处 理 $N_{ci}(\times 10^3)$	激光相变硬化 处 理 $N_{ci}(\times 10^3)$	未经激光 处 理 $N_{ci}(\times 10^3)$
1	800.3	257.3	150.0
2	1219.8	178.3	179.4
3	5180.3	281.2	175.0
4	538.2	461.3	101.6
5	1017.7	282.9	118.2

95%的情况下,是激光相变硬化处理的1.24~15.6倍,是未经激光处理的3.57~21.07倍。其主要原因作者认为是激光快速熔凝实现了钢的表面微晶化。为了比较不同的激光辐照工艺对疲劳性能改善,将激光快速熔凝表面处理与激光相变硬化表面处理加以比照分析是有实际意义的。

3.2 激光快速熔凝表面处理材料组织特征

激光相变硬化表面处理的工艺参数是功率密度为 $9 \times 10^3 \text{ W/cm}^2$,作用时间为0.08s。表面处理后的显微组织如图2(a)所示。其表面层组织为隐晶马氏体和残余奥氏体。激光快速熔凝表面处理的工艺参数是功率密度为 $2.5 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$,作用时间为0.006s。由于采用了高功率密度快扫描,使40Cr钢表面组织明显地不同于相变硬化。试样的表面经激光辐照作用分为快速熔凝区的白亮层和热影响区的相变硬化层,如图2(b)所示。由于激光辐照熔区的显微组织受温度梯度、凝固速度等多种因素影响,加之,冷却速度高达 $10^4 \sim 10^6 \text{ }^\circ\text{C/s}$,使试样表面形成的白亮层的组织明显细化。试验测得^[4]此白亮层是晶粒尺寸小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的微晶。它除了强度高、韧性好之外,其耐蚀性也很突出。通常的腐蚀剂对白亮层都不起任何作用,只在“王水”中经加热煮后才显示出板条状马氏体和残余奥氏体。试样表面的微晶层,由于晶粒大大细化,因而使疲劳裂纹萌生所需要的循环次数增加,既提高了裂纹形成的阻力^[3],同时又减少了裂纹萌生扩展通道,获得了弯曲晶界,降低了裂纹扩展速率。

3.3 激光快速熔凝表面处理材料的表面硬化特征

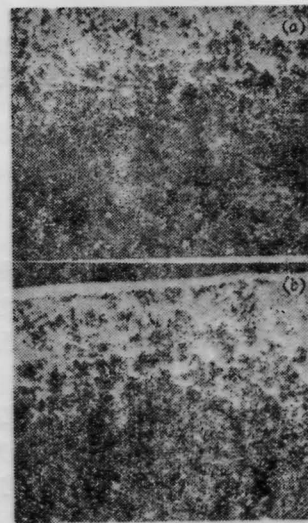


图2 激光相变硬化处理试样表层显微组织($\times 100$)

激光快速熔凝表面处理不仅使试样表面组织细化,而且表面层的硬度明显升高。试验测得熔凝区的硬度比相变硬化区高1.65倍,比未经激光处理的硬度高出近3倍。试样表面两层(指微晶层和相变硬化层)叠加硬化,使材料表面发生塑性变形更加困难。疲劳过程是由循环塑性变形控制的,没有塑性变形的重复作用,就不可能有疲劳。所以,激光快速熔凝表面处理材料的表面硬化特征对疲劳性能的改善是有利的。

由于激光辐照作用时,材料单位体积获得的能量和作用时间的合理配合,使连续、搭接式的整体表面处理不仅硬度高,而且表面硬化层均匀,如图3(a)所示。它既延缓了疲劳裂纹的萌生,又使疲劳源内移,如图3(b)所示。

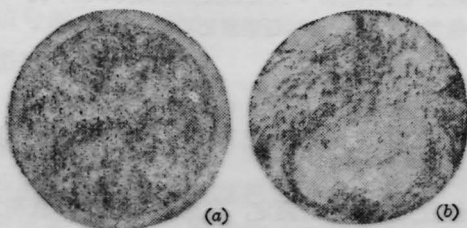


图3 熔凝区和相变硬化区叠加的硬化带

3.4 激光快速熔凝表面处理材料的疲劳断裂特征

如前所述,连续、搭接式的激光快速熔凝表面处理一方面使试样表面组织细化,形成表面微晶,另一方面又获得了熔凝的微晶层和相变硬化层均匀叠加的硬化带。这样使其断裂与通常的疲劳断裂不同。通常情况下,材料的疲劳裂纹开始于表面,由于应变集中,产生表面疲劳裂纹核心,裂纹扩展,直至最终断裂。图4给出了激光快速熔凝表面处理的疲劳断口宏观照片。由图中可以看出疲劳源在次表层产生,呈放射鱼眼状。试验测得疲劳源位于相变硬化层与基体交界处。图中的黑点(中心处)即为疲劳源。统计发现,激光快速熔凝表面处理的疲劳断口绝大

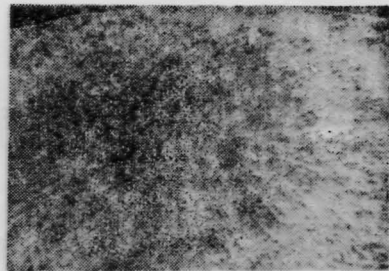


图4 鱼眼状疲劳源($\times 50$)



图5 激光快速熔凝处理的疲劳断口的实物像

多数都是单个的鱼眼状疲劳源,而且都在次表层产生。极少数的疲劳断口出现双鱼眼状疲劳源,也是在次表层产生。反应在低倍宏观疲劳断口面上的疲劳区内移,如图5所示。图中断口面上的右内侧浅白半圆弧带即为疲劳区。而激光相变硬化表面处理的疲劳源时而内移,时而在表层产生。没发现出现典型的鱼眼状疲劳源。

参 考 文 献

- 1 才庆魁,东北工学院学报, (4), 59 (1985)
- 2 才庆魁 *et al.*, 东北工学院学报, (3), 331 (1987)
- 3 Cai Qinkui *et al.*, Proc. Int. Conf. on Fatigue Prevention and Design, Amsterdam, 335 (1986)
- 4 Cai Qinkui *et al.*, ICTD 88, 51 (1988)
- 5 高镇同编著,疲劳应用统计学(国防工业出版社,1986)

(收稿日期: 1988年10月3日)