

激光辐照 40#Cr 钢的腐蚀电化学特性与 腐蚀疲劳性能的研究

才庆魁 刘常昇 傅淑云

(东北工学院, 110006)

提要: 用对比的方法研究了不同激光辐照工艺对 40#Cr 钢耐蚀性和腐蚀疲劳性能的影响。结果表明, 激光相变硬化处理的耐蚀性优于激光表面重熔处理的试样的耐蚀性。经激光表面辐照处理后, 其腐蚀疲劳寿命也显著提高。结合光镜和 SEM 分析了材料的耐蚀机理和腐蚀疲劳断裂的特征与机制。

关键词: 激光辐照, 耐蚀性, 腐蚀疲劳

A study of corrosion electro-chemical and corrosion fatigue properties of 40# Cr steel irradiated by a laser beam

Cai Qingkui, Liu Changsheng, Fu Shuyun

(Department of Materials Science and Engineering, Northeast University of Technology, Shenyang)

Abstract: The microstructure, corrosion and corrosion fatigue properties of 40# Cr steel irradiated with a 2kW CO₂ laser beam have been studied using optical and scanning electronic microscopy. Experimental results show that the increase of corrosion resistance of materials depends on the laser irradiation parameters. The corrosion resistance of specimens treated with laser transformation hardening is better than that of the specimen treated with laser melting-resolidification, and the corrosion fatigue life time of the specimens irradiated with laser is 2.58 ~ 6.94 times that that of the unirradiated ones, and the corrosion resistance mechanism, the characteristics and mechanism of the corrosion fatigue of the materials are analysed.

Key words: laser irradiation, corrosion, corrosion fatigue

近几年来, 国内外学者利用千瓦级连续 CO₂ 激光器进行材料表面改性研究, 做了大量的工作, 证明了激光处理是一种行之有效的材料表面改性方法。它可以提高材料的表面硬度、强度、耐磨性^[1~3]等等。有关提高材料耐蚀性^[4]的报道亦有所见, 但对耐蚀机理探讨不多。另外, 腐蚀疲劳断裂是一种与力学、环境和材料三方面密切相关的复杂现象。尽管许多学者致力于研究腐蚀疲劳过程, 但目前仍有许多问题诸如腐蚀疲劳机理和提高腐蚀疲劳寿命的方法没有得到很好的解决。本文试图从激光辐照对材料的腐蚀电化学特性的影响入手, 结合微观上的显微变化分析其耐蚀机理, 并且研究大功率 CO₂ 激光辐照对材料腐蚀疲劳性能的影响, 探索提高腐蚀疲劳性能的途径。

一、实验方法

1.1 腐蚀实验 采用横流电激励大功率连续 CO₂ 激光器, 选用材料为轴、杆类机械构件常用的 40#Cr 钢, 其化学成分为: 0.41C; 0.275Si; 0.95Cr; 0.65Mn。激光处理前进行调质预处理, 而后加工成 40×40×10 mm³ 的板状试样。试样分成三组, 一组未经激光处理; 另二组经激光处理, 在板试样表面进行连续搭接式扫描, 工艺分别为激光相变硬化和激光表面重熔, 具体工艺参数详见表 1。处理后将三组试样切割成 10×10×5 mm³ 的小块各二块, 并制成单电极。用恒电位法测定经激光处理和未经激光处理试样在 1N H₂SO₄ 介质中的阳极极化曲线, 测试过程中, 为消除悬挂试样方式的影响, 将每组中两块试样先后按其扫描道相互垂直的方式放置。同时, 用金相显微镜分析了激光处理后的表层组织。

表 1 激光辐照工艺参数

工 艺	参 数			
	功 率 (W)	光斑直径 (mm)	扫描速度 (mm/s)	搭 接 比 (%)
激光相变硬化	450	2.0	28	30
激光表面重熔	600	2.0	45	30

1.2 腐蚀疲劳试验 选择与作腐蚀实验相同的材料, 经调质预处理后加工成喇叭型圆光滑试样, 试样形状和尺寸如图 1 所示。试样分成两组, 每组 8 根, 其中一组未经激光处理; 另一组用 2kW 连续 CO₂ 激光器对试样的试验部位进行连续搭接式扫描处理, 工艺制度为激光表面相变硬化, 具体参数与腐蚀试验中的参数相同。并且把两组试样配成对。而后在室温、相同应力下, 把激光辐照后的试样与未处理试样在国产 PQ1-6 型疲劳试验机上进行成对对比旋转弯曲腐蚀疲劳试验, 腐蚀介质为淡水, 腐蚀方式为滴水。利用扫描电镜分析了断口形貌。

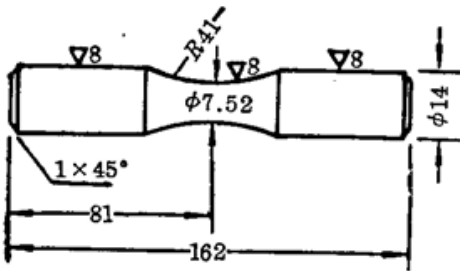


图 1 疲劳试样的形状和尺寸

二、实验结果与讨论

2.1 激光处理后的表层显微组织

经激光辐照处理后, 材料表层组织发生了巨大的变化。由于腐蚀和腐蚀疲劳现象的发生均始于表面, 故在此特别强调指出表层显微组织特征和不同工艺参数带来的显微差别。在光镜下, 经激光相变硬化处理的表层组织为均匀、细小的马氏体组织(见图 2(a)), 而激光表面重熔后的表层组织为铸态的枝晶组织(见图 2(b)), 其中的白亮带为重熔的组织。关于马氏体的精细形态特征和枝晶内部的详细细节另文撰述。

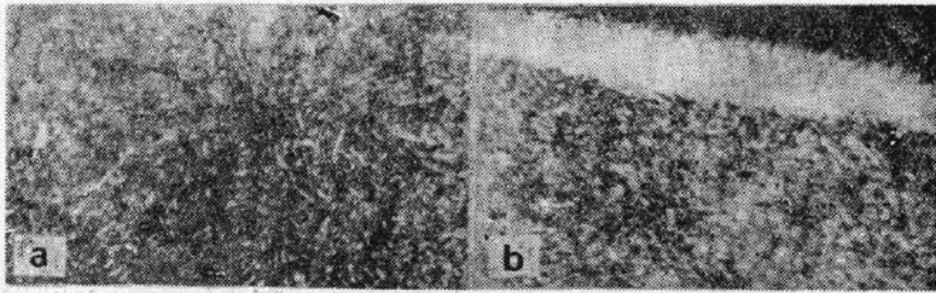


图2 表层显微组织形貌。(a)激光相变硬化；(b)激光表面重熔

2.2 腐蚀实验结果

为说明不同激光辐照工艺对材料的腐蚀性的影响和定量了解激光处理对材料耐蚀性能提高的幅度, 选用两种工艺处理后的试样与未处理试样三者进行对比, 分别测定它们在 IN H_2SO_4 介质中的阳极极化曲线。它们的极化曲线特征值与表面处理工艺之间的关系列于表 2。由表 2 可见, 未经激光处理试样、激光表面重熔试样和激光相变硬化试样依次有如下变化: (1) 稳态电位正移; (2) 临界钝态电流密度降低; (3) 稳定钝化区电位范围增加。说明经激光辐照后试样表层组织比未处理试样的表层组织稳定性增强, 钝化的倾向性增强, 耐蚀性得到提高。同时可以看到, 激光相变硬化处理试样的耐蚀性又优于激光表面重熔处理试样的耐蚀性。另外, 三者的钝态电流密度数值比较接近, 说明激光处理对稳定钝化时腐蚀速度影响不大。在实验中, 我们还观察到, 未处理试样表面反应剧烈, 腐蚀产物迅速脱落, 表面变成黑色; 而激光处理后试样的表面反应缓慢, 实验后仍呈光亮状态。说明激光处理可使腐蚀速度降低, 材料的耐蚀性得到提高。

表 2 40*Cr 钢阳极极化曲线特征值与表面处理工艺的关系

工 艺	特 征 值				
	稳态电位 E_R (mV)	临界钝态电流密度 i_b (mA/mm ²)	钝化电位 E_b (mV)	钝态电流密度 i_p (mA/mm ²)	稳定钝化区电位范围 $E_{op}-E_p$ (mV)
调质处理	-180	3.00	100	0.5×10^{-2}	200
激光表面重熔	-140	2.70	150	2.5×10^{-2}	250
激光相变硬化	-100	1.70	200	1.5×10^{-2}	300

2.3 腐蚀疲劳试验结果和断口分析

为了定量地了解激光辐照对材料腐蚀疲劳性能的影响, 采用成对对比实验, 结果列于表 3。用数理统计方法^[5]对实验数据进行处理, 可见激光辐照对材料腐蚀疲劳性能的影响是显著的。当取显著度 $\alpha=5\%$ 时, 激光辐照的试样的中值腐蚀疲劳寿命是未处理试样的中值疲劳寿命的 2.58~6.94 倍。

在用扫描电镜所作的断口分析中, 我们发现, 裂纹源区与扩展区所占断口的比例非常小, 而瞬断区所占断口比例非常大, 疲劳裂纹萌生后便迅速扩展到断裂, 断口表面平齐。而且, 所有的断口疲劳源均为表面源(见图 3), 反映了介质的腐蚀作用对疲劳性能的显著影响。

表 3 相同应力下的腐蚀疲劳寿命

试样对号	寿 命 (N_f)	
	未经激光处理试样寿命 N_{a1}	经激光处理试样寿命 N_{b1}
1	8400	22300
2	10900	43600
3	11200	89600
4	12800	51200
5	25900	103600

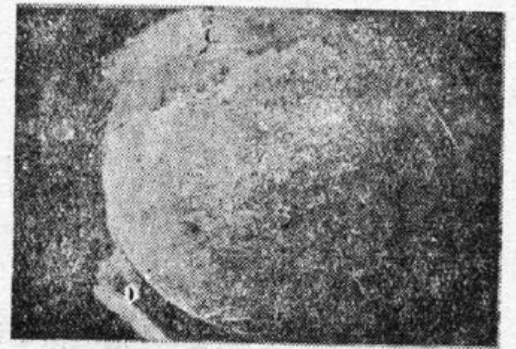


图 3 腐蚀疲劳表面的多源断口形貌

三、讨 论

材料经激光表面处理后,不但表层的显微组织发生了巨大的变化,改善了材料的表面状态,而且使表层组织的电化学特性发生了深刻变化。特别是临界钝化电流密度降低,使之易于在表面形成钝化膜,阻滞了在表面产生微观腐蚀电池的倾向,使耐蚀性得到提高。激光表面重熔处理的临界钝态电流密度 i_b 比原始态稍有降低,而激光相变硬化处理的 i_b 几乎降至原始态的一半,可见耐蚀性的提高是显著的。对比不同的激光处理工艺,综合考虑所有电化学特征值的差异可见,相变硬化处理的耐蚀性要比重熔处理的效果好,这是由于相变硬化得到的马氏体比重熔处理得到的枝晶组织耐蚀得多的缘故。

材料经激光辐照后,其腐蚀疲劳性能也得到了显著提高。其原因在于:一方面,激光辐照使材料表层组织细化,不但提高了材料的表面屈服强度,大大提高裂纹的形核寿命,而且使每个晶粒中位错运动的平均距离减小,位错塞积引起的应力集中程度减小,裂纹形核机会减少。另一方面,激光辐照可以深刻改变材料的表面状态,改善表层组织的电化学特性,使之易于钝化,在腐蚀介质中形成微观腐蚀电池的倾向受到阻滞,由蚀坑而引发疲劳裂纹的机会减少,从而提高腐蚀疲劳寿命。从断口分析知,裂纹萌生的位置由激光表面强化引起的疲劳源内移^[1,2],再次转移到表面,而且是多个疲劳源,说明介质对表面的强烈影响。裂纹萌生后便迅速扩展并断裂,这个现象有力地支持了腐蚀疲劳中的过程竞争机制。

总之,激光处理可以大大改善材料的表面耐蚀性质,大大提高材料的腐蚀疲劳寿命,远远超过其他表面强化工艺所引起的提高。激光表面处理为提高材料和构件的腐蚀疲劳性能开辟了新的途径。

参 考 文 献

- 1 才庆魁,傅淑云,全国第四届疲劳会议论文集,1989,北戴河,158
- 2 安碧丽 *et al.*, 全国第四届疲劳会议论文集,1989,北戴河,85
- 3 J. Singh, J. Mazumder, *Met. Trans.*, **18A**, 313(1987)
- 4 Wang Maocai *et al.*, *Mat. Sci. Eng.*, **92**, 145(1987)
- 5 高镇同编著,疲劳应用统计学,国防工业出版社,1986,296