

4Cr5MoV1Si 钢表面激光快速熔凝的研究

尹钟大 李晓东

(哈尔滨工业大学, 150006)

提要: 研究了4Cr5MoV1Si钢表面激光快速熔凝后的显微组织和热疲劳性能。结果指出, 表面激光熔凝组织对热疲劳裂纹的萌生和扩展有明显的抑制作用。

关键词: 4Cr5MoV1Si钢, 激光熔凝, 热疲劳

Study on laser rapid melting-solidifying of 4Cr5MoV1Si steel surface

Yin Zhongda, Li Xiaodong

(Harbin Institute of Technology, Harbin)

Abstract: The microstructure and thermal stress fatigue property of 4Cr5MoV1Si steel subject to laser surface melting-solidifying were studied. The results showed that the laser surface melting-solidifying microstructure can inhibit the initiation and extension of thermal stress fatigue crack.

Key words: 4Cr5MoV1Si steel, laser melting-solidifying, thermal stress fatigue

钢中夹杂物、碳化物的类型、数量、分布状态, 成分的均匀性及热处理后的组织状态对热模具的使用寿命有决定性作用。激光快速熔凝能明显提高合金元素在基材中的固溶度, 得到精细的结晶组织和均匀的合金成分, 使材料获得优异的性能。为此, 我们对热模具钢4Cr5MoV1Si进行了激光快速熔凝处理, 以期改善该钢的表面组织和热疲劳性能。

一、实验方法

试样尺寸为 $30 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$, 化学成分(wt-%)为C 0.35, Si 0.98, Cr 4.95, Mo 1.38, V 1.08, Mn 0.35, S 0.003, P 0.027。激光辐照前经 1020°C 淬火, 580°C 两次回火处理。采用横向流动 CO_2 激光器对试样 $30 \times 10 \text{ mm}$ 的一个表面沿纵向进行单道扫描, 激光输出功率为1800 W, 光斑直径为4 mm, 扫描速度为10 mm/s。在试样一端熔区中部开一缺口, 缺口深度为1.5 mm, 根部曲率半径为0.1 mm。然后沿激光处理面切割成 $30 \times 10 \times 5 \text{ mm}^3$ 的热疲劳试样(如图1)。热疲劳试验采用高频感应加热水中冷却的方法, 用光电温度计测温, 上限温度 650°C , 下限温度 20°C , 每个循环试样加热10 s, 在 20°C 水中停留20 s。

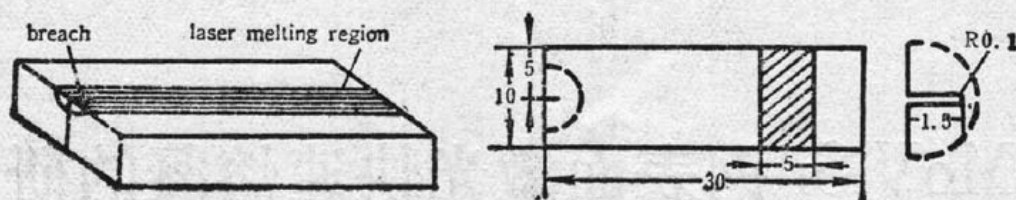


Fig. 1 Specimen of thermal stress fatigue

二、实验结果与分析

激光处理后试样表面粗糙度为 0.04 mm。激光熔区宽 3 mm，深 0.4 mm，无热裂纹产生。图 2 为激光熔区的显微组织。可见，熔区内碳化物全部熔化，组织为精细胞状晶和胞状树枝晶。扫描电镜能谱分析表明，合金元素在熔区内分布均匀，无夹杂物引起的成分突变。透射电镜观察表明激光熔区为马氏体组织，且板条马氏体数量增多。

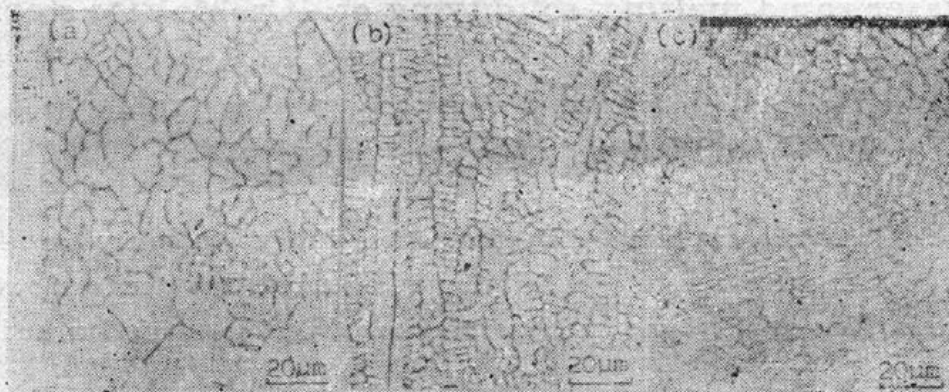


Fig. 2 Microstructures of laser melting region

(a) lower; (b) middle; (c) upper

图 3 为激光熔凝处理试样和熔凝处理后经 650°C、2 h 回火试样的硬度变化曲线。从图 3 曲线 (1) 可以看出，激光熔区硬度明显高于基体，这与结晶后形成的马氏体中碳和合金元素含

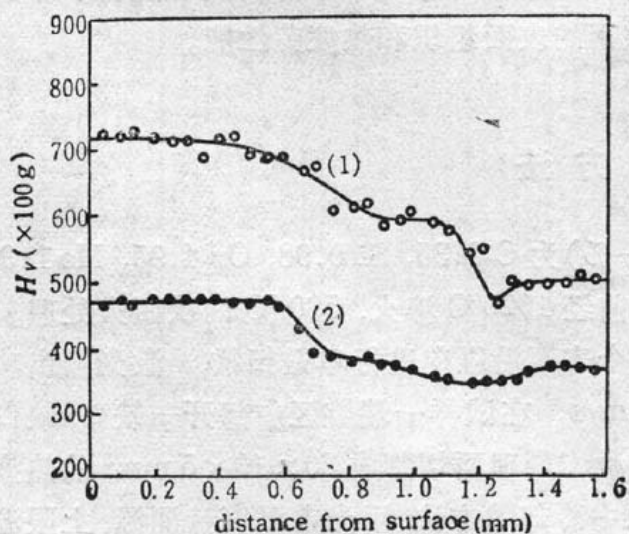


Fig. 3 Distribution of hardness
(1) laser treated; (2) laser treated
and tempered at 650°C for 2 h

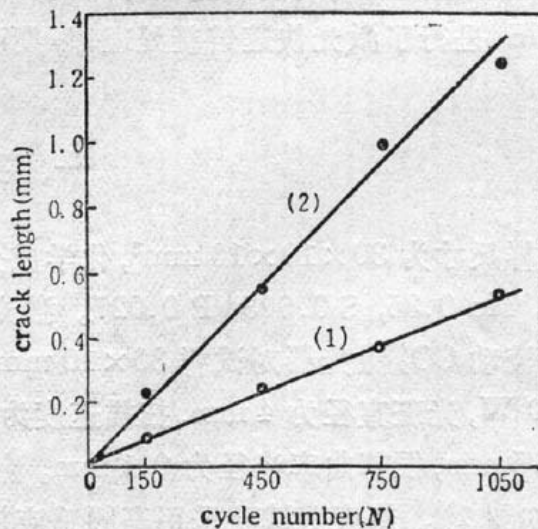


Fig. 4 Relationship between crack length
and cycle number
(1) laser treated; (2) untreated

量增加, 结晶组织细小有关。热影响区的硬度变化平缓, 在热影响区和基体交界处存在由于进一步回火引起的硬度低谷。从图 3 曲线(2)可以看出, 激光熔凝处理后经 650°C 、2 h 回火, 熔区硬度仍比基体高, 这是由于熔区马氏体中固溶了大量的碳和合金元素, 减缓了马氏体在回火过程中的分解速度, 提高了熔区的热稳定性。

图 4 为热疲劳循环次数和裂纹长度关系曲线。可见, 激光处理试样的裂纹扩展速率 da/dN 明显降低。图 5 为激光熔区和基体硬度随热疲劳循环次数增加而变化的曲线。可见, 在热疲劳循环过程中, 激光熔区的硬度始终高于基体。

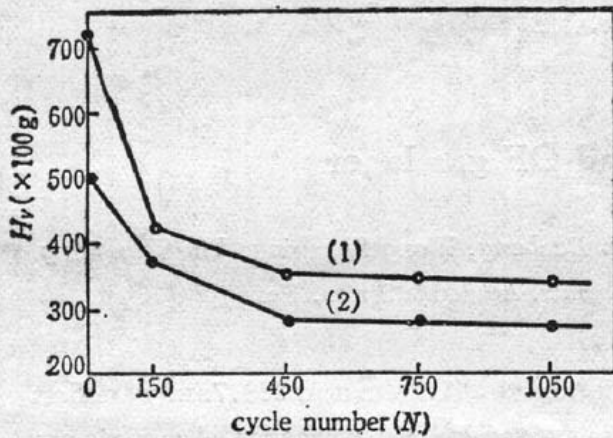


Fig. 5 Relationship between hardness and cycle number

(1) laser melting region; (2) matrix

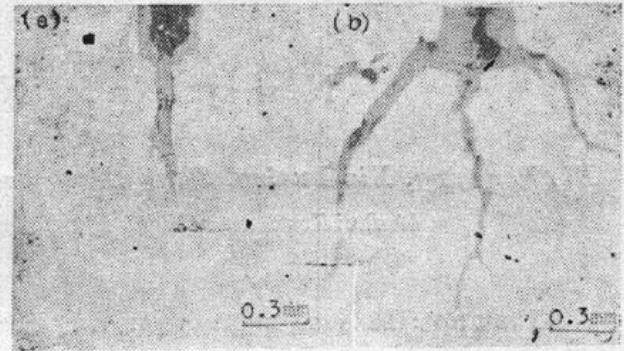


Fig. 6 Thermal stress fatigue cracks

(a) laser treated; (b) untreated

图 6 为热疲劳裂纹形态。可见, 裂纹首先从缺口尖端应变最集中的部位形成, 在相同的循环次数(1050 次)下, 激光处理试样只有一条主裂纹, 主裂纹前沿及两侧没有次生小裂纹, 图 6 (a)。而未激光处理试样, 却存在几条主裂纹, 在扩展过程中不断与其前沿形成的小裂纹连接, 图 6 (b)。从热疲劳裂纹萌生和扩展的角度看, 由于激光熔区具有较高的硬度和良好的热稳定性, 其抗塑变能力提高。因此明显地减小了每次循环的塑性应变幅, 减轻了塑性流变造成的结构损伤, 裂纹萌生困难, 扩展速度降低, 同时也减少了裂纹扩展过程中与前沿裂纹连接的机会。从图 6 的试样缺口处可以看出, 激光处理试样缺口内表面的氧化皮比未激光处理试样的

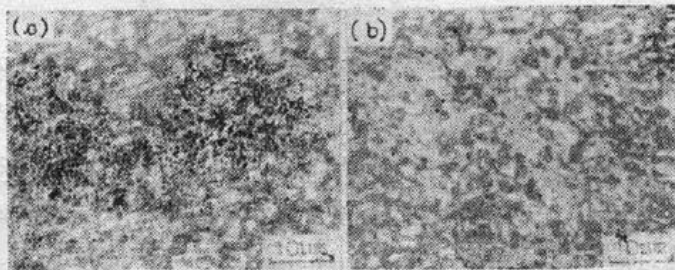


Fig. 7 Microstructure after thermal stress fatigue with cycle number 1050

(a) laser melting region; (b) matrix

薄。在热疲劳过程中, 氧化物在应力作用下起楔子作用, 促进裂纹的萌生和扩展。因此, 可以认为激光处理试样具有良好的抗氧化性是延缓裂纹萌生和扩展的原因之一。

图 7 表示循环 1050 次后激光熔区和未激光处理区的金相组织。可见, 激光熔区中的碳化物细小且弥散分布, 而未激光处理区的碳化物较粗大, 这说明激光熔区的碳化物在

热疲劳过程中, 由于反复受高温回火, 从板条马氏体中重新弥散析出的, 而激光未处理区的碳化物为原始组织中已存在的基础上进一步聚集长大的结果。可见, 在相同循环次数下, 激光熔区的组织稳定, 碳化物聚集长大滞后是改善热疲劳性能有利因素。