

激光熔覆层微剪切性能的研究*

宋武林 周 刚 曾大文 谢长生

(华中理工大学国家模具技术重点实验室, 武汉, 430074)

摘要: 利用微剪切试验原理对 Fe-Cr-Ni 合金和 Fe-Cr-Ni+N 包 MoS₂ 激光熔覆层、熔覆层与基材交界处以及热影响区进行了微剪切试验。结果表明: 熔覆层的剪切强度大小依熔覆合金成分而定; 熔覆层与基材交界处的剪切强度比热影响区高, 并比某些合金的熔覆层高。这说明, 激光熔覆工艺中的熔覆层与基材交界处不是传统观念上的薄弱环节。

关键词: 微剪切 剪切强度 激光熔覆

Study of micro-shear properties of laser-clad coatings

Song Wulin, Zhou Gang, Zeng Dawen, Xie Changsheng

(State Key Laboratory of Plastic Forming Simulation and Mould Technology, HUST, Wuhan, 430074)

Abstract: For a surface coating technology, the binding strength is an important parameter to indicate the ability of the technology. This paper reported the results of micro-shearing experiments to Fe-Cr-Ni alloy, Fe-Cr-Ni(MoS₂) alloy coatings. The results show that the shearing strength of the interface between clad layer and substrate is higher than of substrate and clad layer of some alloys. In this experiment, the CW CO₂ laser was used, and its output power was 2kW, beam spot was 5mm, cladding speed was 4mm/s.

Key words: micro shear shear strength laser cladding

引 言

作为一种表面涂层技术, 涂层与基材间的结合强度是衡量涂层质量的重要参数, 且倍受人们关注。激光熔覆工艺也不例外, 特别是激光熔覆时, 基材表面要出现微熔, 因此, 其热影响区的性能也至关重要。尽管激光熔覆层与基材间是冶金结合, 但传统的观念认为, 熔覆层与基材的结合面和热影响区仍是薄弱处。然而, 由于熔覆层较薄, 研究熔覆层与基材间的结合强度较为困难, 故有关文献报道较少。我们试图借鉴微观剪切试验机的原理^[1], 来开展这方面的工作, 为有效评价激光熔覆层的质量提供理论依据。

1 试验材料及方法

试验选用较常用的 WF311 铁基自熔合金为基本熔覆材料, 其成分为 Fe66Cr20Ni10B2Si2, 在此基础上添加不同的 Cr 含量以及 Ni 包 MoS₂, 以研究不同成分或类型合金, 如: 合金粉末或合金加第二颗粒相熔覆层的微观剪切性能。为了保证熔覆层基本组织相同, 各熔覆合金中的 Cr_{req}/Ni_{req} 相等, 且都为 1.76, 并用球磨的方法进行机械混匀。根据如下公式计算 Cr_{req}/Ni_{req}^[1]

* 华中理工大学激光技术国家重点实验室资助。

$$Cr_{eq} = \%Ni + 0.5\%Mn + 30X\%(C + N) \tag{1}$$

$$Ni_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1.5X\%Si + 0.5X\%Nb \tag{2}$$

基材为调质后的 45# 钢。具体成分见表 1。

Table 1

sample No.	F ₁	F ₂	F ₃
composition	WF311+ 7% Cr	WF311+ 10% Ni(MoS ₂) + 27.6% Cr	WF311+ 30% Ni(MoS ₂) + 44.3% Cr

试验方法：
将配制好的各种

合金粉预置在基材表面，厚度为 1.2mm，然后在连续 2kWCO₂ 激光器上进行单道激光熔覆，工艺参数为：激光功率 2kW，光斑直径 5.0mm，扫描速度 4mm/s。在熔覆试样上按图 1 截取微观剪切试样。将截取的试样进行打磨砂光，并用腐蚀剂对其轻微腐蚀，以确定熔覆层与基材的交界面。然后，在自制的微型剪切试验机上进行剪切实验，测试原理如图 2 所示。剪切间距为 0.4mm。

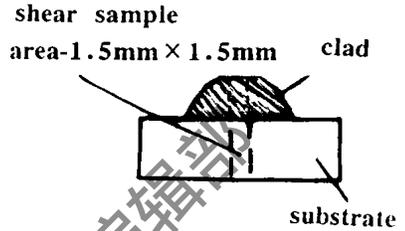


Fig. 1 Schematic diagram of intercepting sample

2 试验结果及分析

2.1 微剪切曲线特征

图 3 为理想的剪切曲线^[2]，它反映了整个剪切过程。该过程可简单分

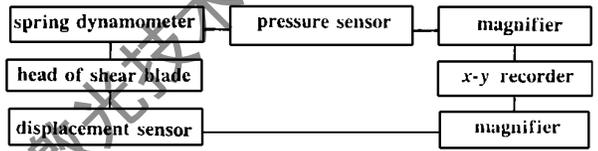


Fig. 2 Schematic diagram of measuring principle of microshear tester

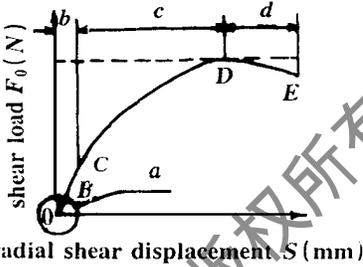


Fig. 3 Ideal shear curve

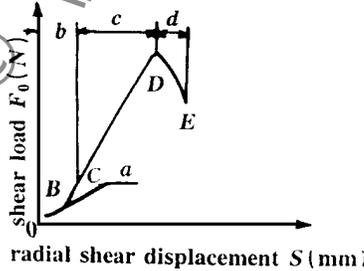


Fig. 4 Shear curve of laser clad

为四个阶段：a. 弹性变形阶段；b. 塑性变形阶段；c. 裂纹形成及扩展阶段；d. 材料完全断裂阶段。图 4 为本试验中激光熔覆层微剪切特征曲线，

可见这四个阶段都较短，表明本试验激光熔覆弹性、塑性都较差。紧挨刀刃的试件材料很容易丧失塑性变形能力而产生裂纹，同时，熔覆层韧性也较差，产生的裂纹扩展很快，容易导致熔覆层的完全断裂。图 5 为熔覆层与基材交界处微剪切特征曲线，从图可知这四个阶段都较熔覆层中的长，特别是 d 段表现更为明显，这表明交界处材料的弹、塑性较熔覆层的好，裂纹的产生特别是扩展较困难，试样完全断裂必须经过较长时间。基材处的微剪切曲线特征与交界处相似，只是各阶段更长一些。

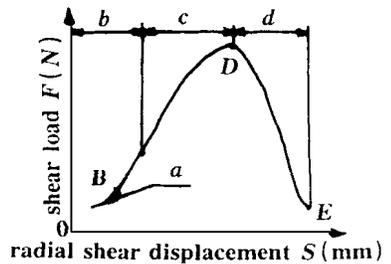


Fig. 5 Micro shear curve at interface between clad layer and substrate

2.2 微剪切强度

图6是本试验中三组试样的剪切强度曲线。从图可看出,在原始铁基合金(WF311)成分基础上加10%的镍包 MoS_2 ,其熔覆层的剪切强度最高,交界处次之,基材则较小;而不加镍包 MoS_2 和加30% MoS_2 时,熔覆层的剪切强度明显下降,并且都低于交界处和基材的剪切强度,此时,交界处的反而最高。从以上的试验结果可看出,不同的熔覆层体系,其熔覆层与基材的交界处的剪切强度都不是最低的,这不但反应出激光熔覆时熔覆层与基材结合良好,同时也说明激光熔覆时熔覆层与基材的交界处不是传统观念上的薄弱环节。

2.3 结果分析

激光熔覆层与基材间是冶金结合已是不争的事实。而这种冶金结合又不同于堆焊、热喷焊等工艺,因为,激光熔覆工艺本身的特点是熔覆层快速凝固、冷却,特别是熔覆层与基材的交界处的凝固、冷却速度就更快,使得该处的组织极为细小,甚至可以得到纳米晶组织,有很好的强韧性。因而,激光熔覆层与基材的交界处不仅不会出现界面薄弱问题,相反,有可能会出区域强化效应。

上述 F_1, F_2, F_3 三组试样微剪切强度的差异主要是由于熔覆合金中元素加入S, Cr的结果。尽管三种熔覆合金中的 C_{req}/Ni_{eq} 相等,各自熔覆层中的基本组织相同。但据X射线衍射分析得知,在熔覆层中的 MoS_2 已不复存在,其中的S大量以 Cr_xS_y ($x/y = 2/3 \sim 1$)类型夹杂形式存在,少量固溶在基体组织中。而为保证恒定的 C_{req}/Ni_{eq} 加入较大的C则主要以 $\text{Cr}_7\text{C}_3, \text{Cr}_{23}\text{C}_6$ 和固溶形式存在。可见,S和Cr这两种元素对熔覆层剪切强度的作用相反。当熔覆合金中加入10%的镍包 MoS_2 时,由于带入熔覆层中的S含量相对较少(理论计算约为0.8%),而其中Cr含量较高,达40%左右。此时,Cr的强化作用占主要地位,表现出熔覆层中的微剪切强度高于未加 MoS_2 的情况。当熔覆合金中加入30%的镍包 MoS_2 时,由于带入熔覆层中的S含量相对较高(理论计算约为2.4%),熔覆层中将会出现较多 Cr_xS_y ($x/y = 2/3 \sim 1$)类型夹杂物,其弱化作用将较明显地抵消带来的强化效果,表现出熔覆层中的微剪切强度介入未加 MoS_2 和加10% MoS_2 的熔覆层之间。

3 结 论

熔覆合金成分决定熔覆层剪切强度。熔覆层与基材交界处的剪切强度比热影响区高,并比某些合金的熔覆层高。熔覆层与基材交界处不是传统观念上的薄弱环节。

参 考 文 献

- 1 崔 昆 主编. 钢铁材料及有色金属材料. 北京: 机械工业出版社, 1981: 223
- 2 张赤心. 金属机械性能的微型试验法. 武汉: 华中工学院出版社, 1984

*

*

*

作者简介: 宋武林, 男, 1963年9月出生。副教授。从事激光材料加工方面的研究工作。

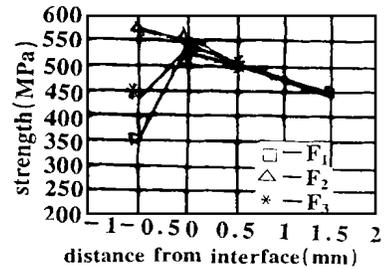


Fig. 6 Shear strength curve