

G112合金激光熔覆层与A₃钢 基材间结合强度的研究

刘要武 卜宪章 路长琴

摘要: 用大功率激光器在A₃钢表面涂敷一层具有优异性能的G112合金层。其结合强度是评价熔覆层质量的关键指标。本文主要试验研究了激光熔覆层与基材间的结合强度。结果表明, G112合金激光熔覆层与A₃钢基材间冶金结合强度高于熔覆层的抗拉强度, 其抗拉强度大于90MN/m²。

一、前 言

激光熔覆是近几年来国内外都在关注的比较活跃的研究领域。迄今为止, 大多数的研究将注意力集中在激光熔覆工艺、激光熔覆层的组织与性能、激光熔覆对基体的影响等方面。但有关其结合力的大小, 由于试验测定比较困难, 目前还没有这方面的研究成果。

本文应用机械性能的测试, 光学金相, 扫描电镜、能谱、波谱等手段, 试验分析了激光熔覆层与基体之间的结合强度。它是评价熔覆质量的关键指标之一, 因此, 也是激光熔覆工艺能否在生产实际中应用的重要依据。

二、试验方法

1. 试验材料及处理工艺

基材为1~3mm厚的A₃钢板, 熔覆层材料为G112自熔合金粉末。其成分及性能如表1所示。

表 1. G112合金粉末的成分及特点

| 成 分 Wt% | | | | | | 粒 度 | 熔 点 | 硬 度 H Rc |
|---------|-------|---------|---------|---------|-------|-----------|-------|-------------|
| Ni | Cr | B | Si | C | Fe | | | |
| 余 量 | 15~18 | 3.5~4.5 | 3.0~4.0 | 0.5~1.0 | 14~17 | -150~+320 | 1050℃ | 50~60 |

激光熔覆处理在直管式CO₂激光器上进行, 功率为1000~1400W, 扫描速度为315mm/min, 聚焦光斑直径2mm。

2. 测试方法

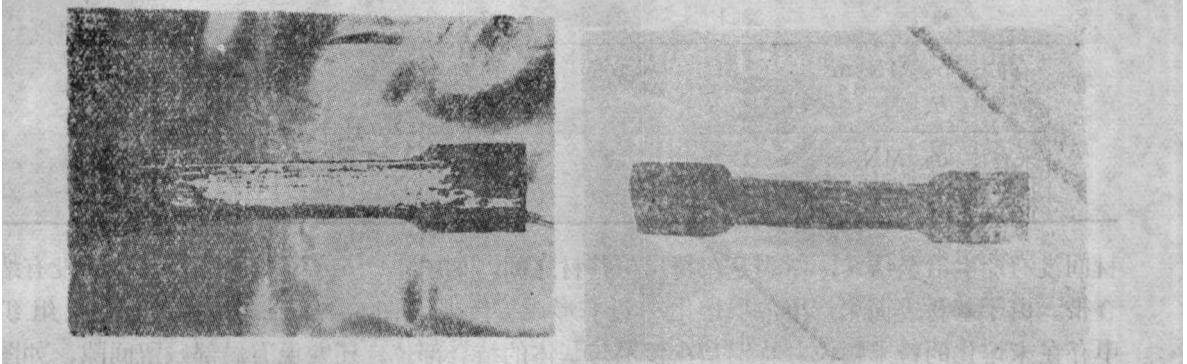
激光熔覆做表面改性技术的应用, 其覆层的厚度根据使用要求, 通常仅仅为几十μm到

注: 参加此项工作的还有宋志义, 玄学生。

1 mm左右。而结合带的宽度一般控制在 $10\mu\text{m}$ 以内，直接测定其结合力是很困难的。采用材料的机械性能测试方法，试验分析激光熔覆层与基材间的结合强度。为此设计了两种方案。

第一种方案

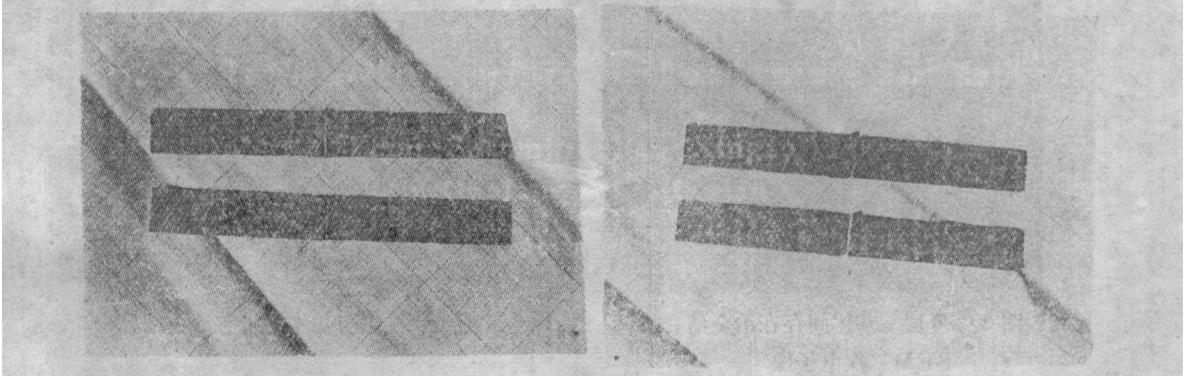
在拉伸试样的表面用激光熔覆一层G112合金，层厚约为0.4mm，如图1所示。



(a) (b)
图1 A₃钢拉伸试样，表面经激光熔覆一层G112合金
(a)拉伸试验前 (b)拉伸试验后

第二方案

在两片1mm厚的A₃钢板中间，用激光熔合一条宽约0.6-1mm的G112合金带，如图2所示。



(a) (b)
图2
(a)试验前的样品 (b)试验后的样品

在材料试验机上进行了机械性能测试，利用光学显微镜、扫描电镜、波谱、能谱进行了组织结构、断口的观察与分析。

三、试验结果与分析

拉伸测试结果如表2所示。从中可以看出，对于第二方案，选择两种条件。一种是A₃钢板与G112激光熔覆带的结合部位形成扩散带，即冶金结合，如图3所示，其拉伸断裂部位都在G112合金的熔覆带中。其结合强度大于激光熔覆层的抗拉强度。另一种情况，覆层与基

表2. 拉伸测试结果

| 试样号 | | 1 | 2 | 3 | 平均 | 断裂部位 |
|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|---------|
| 机械性能 | | | | | | |
| 第一方案 | σ_b , MN/m ² | 314 | 332 | 326 | 324 | 试样中间 |
| | δ % | 8.0 | — | 8.0 | 8.0 | |
| | ψ % | 28.1 | 24.8 | 33.1 | 28.7 | |
| 第二方案 | 有扩散带 | | | | | 熔合带中间 |
| | σ_b , MN/m ² | 94 | 105 | 102 | 100 | |
| | δ 、 ψ % | — | — | — | — | |
| | 未有扩散带 | | | | | 覆层与基材之间 |
| σ_b , MN/m ² | 72 | 72 | 72 | 72 | | |
| δ 、 ψ % | — | — | — | — | | |

材间没有产生冶金结合，断裂是在覆层与基材之间。如图4、5所示，覆层与基体间没有结合带。由于基材表面未产生薄层熔化，没有形成扩散带如图6，而且其覆层的显微组织中存在未熔化的粉末颗粒。特别是在覆层与基体的结合部位，还发现有局部残留间隙，如图7、8所示。拉伸过程中，在此处引起应力集中，导致断裂，其结合强度明显低于冶金结合的。

通过拉伸试样断口的SEM观察分析。表明，熔覆带的断口表面平齐，有的呈现出裂纹急速扩展形成的山脊状花样，如图9~11所示，为脆性断口。A₃钢的断口为典型的韧性断

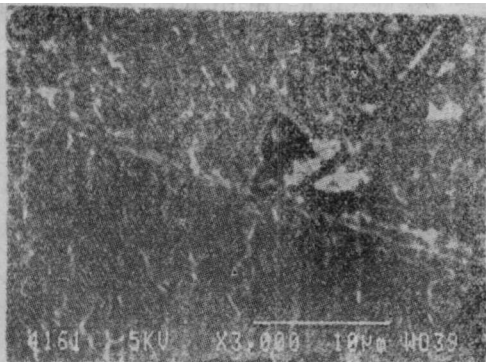


图3 覆层与基体间存在冶金结合 SEM二次电子像

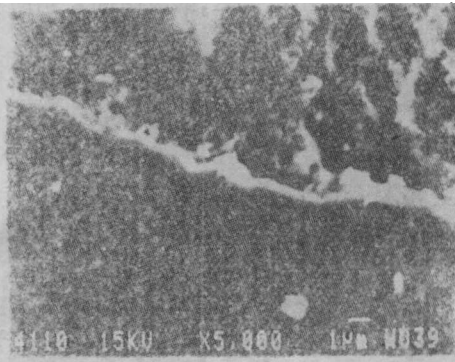


图4 覆层与基体间未有冶金结合带



图5 覆层与基体间未有扩散带样品的拉伸断口形貌

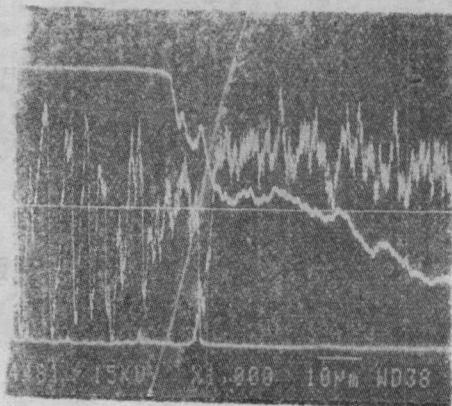


图6 Fe, Ni, Cr, Si元素分布曲线



图7 覆层中有未熔化的颗粒



图8 覆层与基材间局部有间隙

口，低倍下可看到许多纤维小峰，边缘有剪切唇，高倍下呈韧窝状，如图12、13所示。韧窝的不均匀性是与其组织形态及成分有关。图14、15为第一方案中拉伸试样的断口形貌。从图



图9 第二方案中的覆层断口10×



图10 第二方案中的覆层断口10×

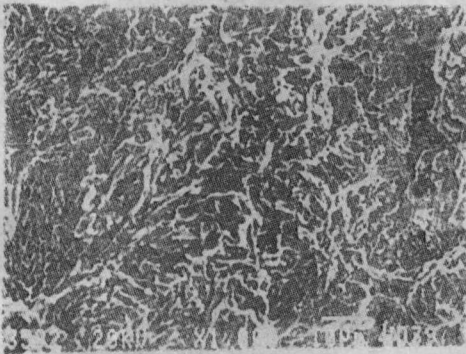


图11 覆层断口形貌 SEM二次电子像

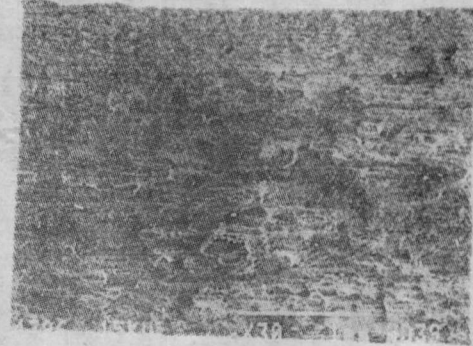


图12 A₃钢断口形貌

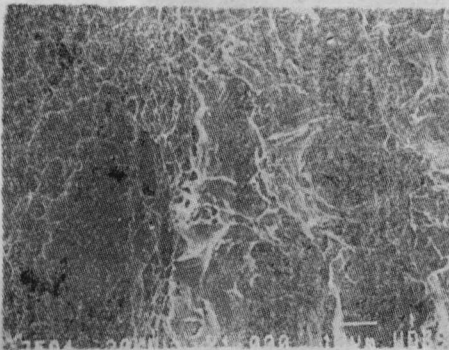


图13 图12的局部放大

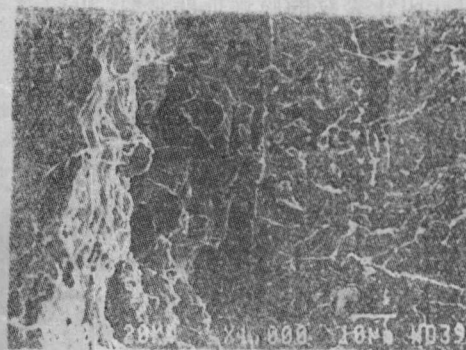


图14 结合区断口形貌

中可看到结合区为一条即不同于覆层，也不同于基材的断裂带。在高倍下可观察到断裂带中存在类似于韧性断裂的小峰，说明其韧性优于覆层。它的内在因素就是由于成分稀释的作用。因为，决定材料强韧性的因素主要是其成分和显微组织结构。G112合金激光熔覆层为铸态组织，属于脆性材料。其显微组织为均匀的枝晶结构，如图16所示。此种材料具有强的抗塑性变形能力，但其应变值相当低。在断裂前没有可以察觉到的宏观塑性变形，即 δ 、 ψ 值几乎近似于零。说明其抗裂纹扩展能力很低。A₃钢通常均为热轧状态，其组织主要为铁素体加少量的珠光体，如图17所示。塑性好，具有较强的抗裂纹扩展能力。特别是经激光熔覆后的A₃钢受到热影响，其组织发生变化。形成沿晶界分布的先共析铁素体，晶内针状铁素体的混合组织，如图18所示。其强韧性好于原热轧状组织的。部分区域铁素体晶粒细化，增加晶



图15 图14的局部放大

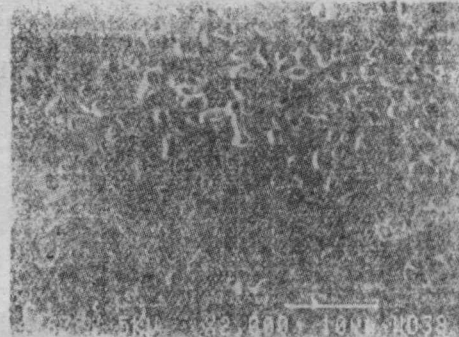


图16 G112合金激光熔覆层为均匀细小的枝晶组织

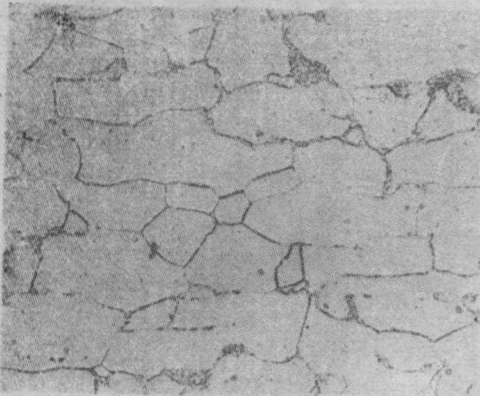


图17 A₃钢热轧状态组织为铁素体加少量珠光体



图18 A₃钢基材热影响区组织，主要为先共析铁素体，针状铁素体，少量索氏体400×

界数量对于阻止裂纹的脆性扩展是有利的。而且硬度与裂纹扩展速率也有着直接的联系，一般硬度越高，裂纹扩展速率越快。G112覆层的硬度为HV_{0.1} 542~649，是A₃钢(HV_{0.1} 139~154)的4倍左右。

对于G112覆层与基材的结合区，由于在激光熔覆过程中，铁由基体向覆层中扩散。同时，覆层中的镍、铬、硼、硅向基体内扩散。在覆层与基体之间形成了一个互熔区，如图19所示。使结合区的韧性有所改善，提

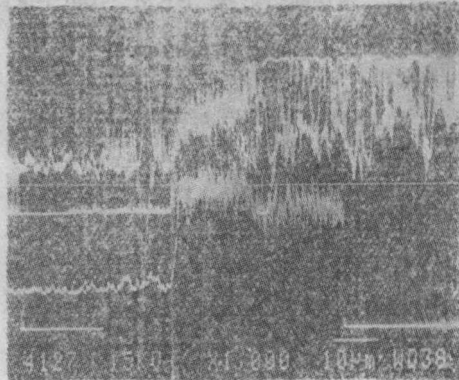


图19 结合的成分WD分析

高了抗裂纹扩展能力。

此项研究结果可以定性的认为,在廉价的 A_3 钢板表面用激光熔覆上一层具有优异的抗磨损能力的G112合金,只要覆层与基材间产生冶金结合,其结合强度完全可以达到高于熔覆层的抗拉强度。它的意义就在于,当材料表面受到应力作用时,不会在结合处首先形成裂纹源而造成覆层的整块剥落。

四、结 论

1. 在现有的试验条件下,G112合金激光熔覆层的抗拉强度大于 90MN/m^2
2. 激光熔覆层与 A_3 钢基材冶金结合的结合强度大于激光熔覆层的抗拉强度。

参 考 文 献

- [1] S. 铁摩辛柯、J. 盖尔,《材料力学》,科学出版社,1978
- [2] 金属机械性能编写组,《金属机械性能》,机械工业出版社,1983.9
- [3] 胡世炎,《破断故障及金相分析》,国防工业出版社 1979.2
- [4] 材料耐磨抗蚀及其表面技术丛书编委会,《材料的粘着磨损与疲劳磨损》,机械工业出版社 1984.11

The Investigation of Binding Strength Between Laser Cladding G112 Alloy and Substrate of Steel A_3

Liu Yaowu Bu Xianzhang Lu Changqin

Abstract

A G112 alloy layer with excellent performance is clad on the surface of steel A_3 by using high-power laser. Their binding strength is most important standard for evaluating quality of cladding layer. In this paper, the binding strength between the clad layer and substrate steel A_3 is mainly researched by a measuring method. The results showed that the metallurgical binding strength between them is larger than G112 alloy strength for extension and over 90MN/m^2 .