

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



## [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02149191.7

[51] Int. Cl.

C21D 1/09 (2006.01)

C23C 2/02 (2006.01)

C23C 14/02 (2006.01)

C23C 16/02 (2006.01)

C25D 5/34 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008 年 5 月 28 日

[11] 授权公告号 CN 100390304C

[22] 申请日 2002.11.28 [21] 申请号 02149191.7

[73] 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100080 北京市海淀区中关村路 15  
号

[72] 发明人 陈光南 罗耕星 张 坤 武晓雷  
肖京华

### [56] 参考文献

CN1097816A 1995.1.25

JP62-116784A 1987.5.28

RU2058400C1 1996.4.20

CN86104349A 1988.2.3

JP59-179776A 1984.10.12

JP57-181326A 1982.11.8

US5496422A 1996.3.5

US5196272A 1993.3.23

审查员 陈红霞

[74] 专利代理机构 北京律诚同业知识产权代理有限公司

代理人 王凤华

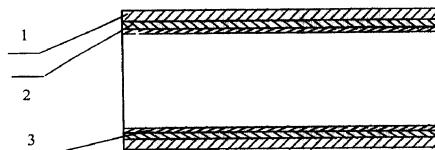
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 1 页

### [54] 发明名称

金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法

### [57] 摘要

本发明涉及一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，所述的涂镀层为金属或陶瓷涂层；该方法是利用激光对金属基体与涂镀层之间的界面进行微熔离散强化加工，可在界面形成离散强化层，从而使界面具有刚柔相济的强化层，提高了材料表层组织在室温和高温环境下的硬度、摩擦磨损性能、烧蚀性能、疲劳性能以及耐腐蚀性能，并通过愈合和钝化工件表面的裂纹、调整表面残余应力状态和提高表面的疲劳强度来延长金属基体的使用寿命；另通过细化基体组织的结构，而使基体与后续的金属涂镀层结合更为紧密。



1. 一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，所述的涂镀层为金属或陶瓷涂层；包括下述步骤：

(1) 对金属基体表面进行预处理，其中包括下述步骤：a、用无水乙醇或丙酮清除基体表面上的油污；b、在除油的基体表面上涂覆吸光涂层，以增强该表面对激光的吸收效率，涂层厚度为  $10 \mu\text{m}$ - $100 \mu\text{m}$ ；所述的吸光涂层：对于 YAG 激光，吸光涂层由粒度为 500-2000 目的石墨、鞣酸以及粘结剂按 (2-8) : (25-35) : (1-3) 的重量比混合配制而成；

(2) 用  $10^3$  - $10^7 \text{ W/cm}^2$  的高功率密度激光对已作预处理的基体金属表面进行微熔、离散和激冷加工，从而在基体表面形成呈离散分布的强韧化层；

(3) 对上述 (2) 步的强韧化层表面进行净化处理；

(4) 然后再在强韧化层表面进行金属或陶瓷涂镀加工。

2. 如权利要求 1 所述的一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，其特征在于所述的步骤 (2) 中的激光束功率密度为  $10^4$ - $10^7 \text{ W/cm}^2$ ，扫描速度为  $0.1$ - $100 \text{ mm/s}$ 。

3. 如权利要求 1 所述的一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，其特征在于所述的步骤 (2) 中的离散加工是通过脉冲激光或连续激光以  $0.1d \leq S \leq 3d$  离散度扫描基体金属，式中  $d$  为激光光斑的直径， $0.1\text{mm} \leq d \leq 10\text{mm}$ ， $S$  为离散度，即激光强化区最小间距。

4. 如权利要求 1 所述的一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，其特征在于所述的步骤 (2) 中所述的激冷加工包括下述步骤：a、利用基体金属自身高导热率进行冷却；同时，b、还包括向基体上的激光加工区域输入 1-5 标准大气压和流量为 1-20  $1/\text{min}$  的惰性气体进行对基体进行冷却，和用温度为 10-25  $^\circ\text{C}$ 、压力为 0.1-0.5MPa、流量为 20-80  $1/\text{min}$  的水对基体的其他表面进行冷却。

5. 如权利要求 1 所述的一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，其特征在于所述的步骤 (2) 中，在基体表面形成的强韧化层的厚度为 0.1-1.0mm。

6. 如权利要求 1 所述的一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，其特征在于所述的步骤(3)中的对激光加工后形成的强韧化层表面进行净化处理，采用珩磨、擦铅、电解抛光或者它们的组合工艺。

7. 如权利要求 1 所述的一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，

---

其特征在于所述的步骤（4）中的对激光加工后的基体表面进行涂镀处理，这里所谓涂镀处理选自电镀、化学镀、离子镀、离子注入、电子束物理气相沉积的物理或化学涂镀。

8. 如权利要求1所述的一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，其特征在于还包括一检测步骤，该检测步骤包括下述步骤：

测定激光强化带或强化区的宽度或直径；即利用激光强化金属与未加工金属反光特性之间存在的明显差异，区分并测量激光强化带的表面宽度或强化区的表面直径及其离散度；

确定最大激光强化深度；即利用激光强化带或强化区宽度或直径与激光强化带或强化区最大强化深度之间的关系确定。

## 金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法

### 技术领域

本发明涉及一种界面处理技术，尤其是一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法。

### 背景技术

在金属工件表面涂镀金属或陶瓷防护层，是提高工件在强载如高温、高压、强烧蚀、强磨损等工况条件下使用寿命的有效措施。由于涂镀层材料与金属基体材料在物理性能方面往往存在明显差异，其界面结合强度往往成为涂镀层材料能否有效发挥作用的关键所在。常规的工件涂镀前界面处理措施有喷丸、砂轮打磨、酸洗、真空处理、电解抛光等方法。酸洗、真空处理、电解抛光等方法的主要作用是清洁表面，既不能改变所处理表层材料的组织结构也不能提高其力学性能。喷丸处理可以在清洁表面的同时提高其粗糙程度并使其得到变形强化，但不能改变材料的组织结构。砂轮打磨也不能改变所处理表面的组织结构，该方法虽能清洁表面，但因容易在清洁表面的同时给表面带来伤害，影响其使用性能，往往应用在要求比较低的情况。总之，上述方法除了清洁界面、改善涂镀层与基体间的结合强度外，难以在基体和涂镀层的强韧化方面发挥有效作用。

常规激光表面热处理技术主要包括：激光淬火、激光熔凝加工、激光合金化和激光熔覆。到目前为止，激光淬火已在工程中得到广泛应用，比如汽车发动机缸体、缸套内表面的硬化处理；轧辊激光毛化技术（激光熔凝加工方法的一种）也在深冲用冷轧薄钢板/钢带的工业生产中得到规模应用；最近，凸轮桃尖激光熔覆技术在工业应用上也取得了进展；但是，由于激光加工的局部特性，大面积的激光熔凝加工包括激光合金化和激光熔覆的工业应用尚在探索之中。此外，上述激光热处理方法的特点都是将激光处理后的硬化层作为工作面直接使用，都是直接利用其硬化性能。

### 发明内容

本发明的目的是为了提供一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，该方法是利用激光对金属基体与涂镀层之间的界面进行微熔离散强化加工，可在界面形成离散强化层，从而使界面具有刚柔相济的强化层，提高了材料表层组织在室温和高温环境下的硬度、摩擦磨损性能、烧蚀性能、疲劳性能以及耐腐蚀性能，并通过愈合和钝化工件表面的裂纹、调整表面残余应力状态和提高表面的疲劳强度来延长金属基体的使用寿命；另通过细化基体组织的结构，而使基体与后续的金属涂

镀层结合更为紧密。

本发明的目的可通过如下措施来实现：

一种金属基体与涂镀层之间的界面激光强韧化方法，所述的涂镀层为金属或陶瓷涂层；包括下述步骤：

(1)对金属基体表面进行预处理，其中包括下述步骤：a、用无水乙醇或丙酮祛除基体表面上的油污；b、在除油的基体表面上涂覆吸光涂层，以增强该表面对激光的吸收效率，涂层厚度为 $10\text{ }\mu\text{m}$ - $100\text{ }\mu\text{m}$ ；所述的吸光涂层：对于YAG激光，吸光涂层由粒度为500-2000目的石墨、鞣酸以及粘结剂按(2-8):(25-35):(1-3)的重量比混合配制而成；

(2)用 $10^3$ - $10^7\text{W/cm}^2$ 高功率密度激光对已作预处理的基体金属表面进行微熔、离散和激冷加工，从而在基体表面形成呈离散分布的强韧化层；

(3)对上述(2)步的强韧化层表面进行净化处理；

(4)然后再在强韧化层表面进行金属或陶瓷涂镀加工。

所述的步骤(2)中的激光束功率密度为 $10^4$ - $10^7\text{ W/cm}^2$ ，扫描速度为0.1-100mm/s。

所述的步骤(2)中的离散加工是通过脉冲激光或连续激光以 $0.1d \leq S \leq 3d$ 离散度扫描基体金属，式中d为激光光斑的直径， $0.1\text{mm} \leq d \leq 10\text{mm}$ ，S为离散度，即激光强化区最小间距。

所述的步骤(2)中所述的激冷加工包括下述步骤：a、利用基体金属自身高导热率进行冷却；同时，b、还包括向基体上的激光加工区域输入1-5标准大气压和流量为1-20l/min的惰性气体进行对基体进行冷却，和用温度为10-25℃、压力为0.1-0.5MPa、流量为20-80l/min水对基体的其他表面进行冷却。

所述的步骤(2)中，在基体表面形成的强韧化层的厚度为0.1-1.0mm。

所述的步骤(3)中的对激光加工后形成的强韧化层表面进行净化处理，采用珩磨、擦铅或电解抛光或者它们的组合工艺。

所述的步骤(4)中的对激光加工后的基体表面进行涂镀处理，这里所谓涂镀处理包括各种电镀、化学镀、离子镀、离子注入、电子束物理气相沉积等物理或化学涂镀工艺。

上述方法还包括一检测步骤，该检测步骤包括下述步骤：

测定激光强化带或强化区的宽度或直径；即利用激光强化金属与未加工金属反光特性之间存在的明显差异，区分并测量激光强化带的表面宽度或强化区的表面直径及其离散度；

确定最大激光强化深度；即利用激光强化带或强化区宽度或直径与激光强化带

或强化区最大强化深度之间的经验值确定。该经验值可以通过预先的实验工作得到，即通过试验对给定金属进行规定条件的微熔激光加工，然后测量其强化带横截面或强化区最大直径处横截面上的最大强化深度；该截面上激光强化区与非强化区之间的界线清晰，用低倍带标尺的工具显微镜可以方便地分辨和测量出最大激光强化深度。

确定激光强化区硬度范围；对于给定金属，激光强化工艺与强化区硬度范围存在对应关系。该对应关系可以通过预先的实验室工作得到，即在实验室对给定金属进行规定条件的微熔激光加工然后测量其强化带横截面或强化区最大直径处横截面中部表面至强化区与非强化区界线之间的显微硬度值。

本发明相比现有技术具有如下优点：

本发明是将激光热处理技术应用于界面或涂镀前基体表面的预处理。其主要作用是：使基体表层得到强韧化，并令其影响涂镀过程、优化涂镀层的强韧性，使涂镀层得到更强的支撑，使涂镀层与基体之间的结合强度尤其是动态结合强度得到改善，提高其抵抗冲击压力和剪切应力的能力。与公知的常规激光热处理技术相比，本发明所用激光技术的特点是：采用了微熔、激冷和离散加工的工艺技术路线；应用该技术我们可以在获得由厚度为微米量级的熔凝组织构成的光洁表面，同时获得在表面光洁条件下最大的激光硬化深度，而组织高度细化的激光硬化层将会对涂镀过程和涂镀层组织及其性能发挥积极影响。

#### 附图说明

图1是本发明的方法加工的管状工件表面的结构示意图

1-管状工件基体      2-界面      3-金属镀层

#### 具体的实施方式

本发明还将对实施例作进一步详述：

参照图1，为一种利用本发明的方法加工的管状工件的结构示意图；该管状工件可为高射机枪的枪管，包括枪管基体1，在枪管基体1与金属镀层之间界面2为激光离散强化层，激光离散强化层包括熔凝层、相变硬化层、热影响层；所述的熔凝层、相变硬化层、热影响层在界面中呈连续或不连续分布；在界面2上还设有镀铬层3。

上述枪管的激光强化工艺包括下述步骤：

- 1、对高射机枪的枪管进行常规的除油及清洗；
- 2、枪管表面涂吸光涂层，其中吸光涂层由粒度为1000目的石墨、鞣酸以及粘结剂按7:28:1的重量比混合配制而成；从而在枪管内表面进行涂膜形成30~50 $\mu$ m的吸光涂层；

3、对经涂膜处理内表面的枪管进行激光微熔急冷强化处理；即采用 YAG 激光器，其激光输出功率为  $310W \pm 4\%$ ，激光焦斑直径约  $0.5mm$ ，激光扫描速度为  $3-5\text{rpm}$ ，激光螺旋进给速度为  $0.6\text{mm/r}-1.0\text{mm/r}$ ；对枪管内表面进行热处理至枪管表面达微熔状态；同时在枪管内通入  $N_2$  或  $Ar$  保护气进行冷却，并在枪管外采用水冷，使枪管快速冷却。

经过激光强化处理后的枪管内表面垂直于枪管轴线方向出现细密的小螺旋线即是激光强化的痕迹；通过对枪管的进一步采用金相显微镜观察其剖面，则可以很清晰地分辨出激光作用区，激光强化为点加工，因而出现月牙形激光强化区，其周期性间距约为  $0.8mm$ ，激光强化区最大深度约为  $0.2mm$ ，其平均显微硬度均超过  $500Hv_{0.2}$ 。

#### 4、对枪管内表面进行检测，该检测步骤包括下述步骤：

测定激光强化带或强化区的宽度或直径；即利用激光强化金属与未加工金属反光特性之间存在的明显差异，区分并测量激光强化带的表面宽度或强化区的表面直径及其离散度；

确定最大激光强化深度；即利用激光强化带或强化区宽度或直径与激光强化带或强化区最大强化深度之间的经验值确定。该经验值可以通过预先的实验工作得到，即通过试验对给定金属进行规定条件的微熔激光加工，然后测量其强化带横截面或强化区最大直径处横截面上的最大强化深度；该截面上激光强化区与非强化区之间的界线清晰，用低倍带标尺的工具显微镜可以方便地分辨和测量出最大激光强化深度。

确定激光强化区硬度范围；对于给定金属，激光强化工艺与强化区硬度范围存在对应关系。该对应关系可以通过预先的实验室工作得到，即在实验室对给定金属进行规定条件的微熔激光加工然后测量其强化带横截面或强化区最大直径处横截面中部表面至强化区与非强化区界线之间的显微硬度值。

#### 5、再对检测合格的枪管内表面进行镀铬处理。

经过本工艺对枪管进行处理后，对枪管寿终进行检测结果如下：

选用同批加工的两支  $14.5mm$  枪管进行实弹考核，其中一支经枪管激光强化处理作为实验枪，另一支为未进行激光处理作为对照枪，在发弹 3000 发时，实验枪和对照枪的初速降分别为小于 10% 和大于 30%，横弹率分别为 0 和 100%。

枪管寿终后进行解剖分析发现：在同距枪口  $80mm$  处，实验枪的枪管阳线上残留铬层均匀完整，厚约  $0.16mm$ ，基材表面无裂纹，而对照枪的枪管阳线上无残余铬层；在枪膛部位，对照枪的枪管严重烧蚀区域比实验枪管几乎大一倍，而且烧蚀深度大。在同距枪尾  $330mm$  处，实验枪管阴线部位仍可发现残余铬的存在，而对照枪的枪管无残余铬的存在，并且基体裂纹严重。

通过上述检测可知，激光强化增加了铬层与基体的结合力，使枪管口部的硬铬

层在寿命实验期内的抗磨损能力得以始终发挥，避免了横弹的出现。

在激光强化枪管枪尾部位，铬层与基体结合力的增加，延迟了铬层剥落时间，使铬层的抗烧蚀作用得以延长；另外，虽然基体的激光强化效果在枪管高温使用条件下将会弱化，但该过程是一个渐变过程，在铬层剥落后，该基体仍将延缓其烧蚀程度。上述两方面的原因，对降低初速降作出了贡献。

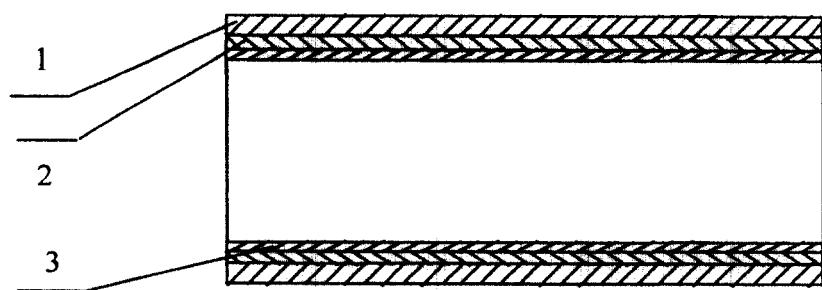


图 1