



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102141682 B

(45) 授权公告日 2013. 08. 28

(21) 申请号 201010103800. 8

(22) 申请日 2010. 01. 29

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路 15 号

(72) 发明人 虞钢 李少霞 郑彩云 何秀丽 宁伟健

(74) 专利代理机构 北京中创阳光知识产权代理有限公司 11003

代理人 尹振启

(51) Int. Cl.

G02B 27/09 (2006. 01)

B23K 26/00 (2006. 01)

G21D 1/09 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101114056 A, 2008. 01. 30,

虞钢 等. 用于激光加工中的矩形孔径 Dammann 光栅光束变换技术. 《中国激光》. 2008, 第 35 卷 (第 11 期),

虞钢 等. 用于激光加工中的矩形孔径

Dammann 光栅光束变换技术. 《中国激光》. 2008, 第 35 卷 (第 11 期),

审查员 范伟

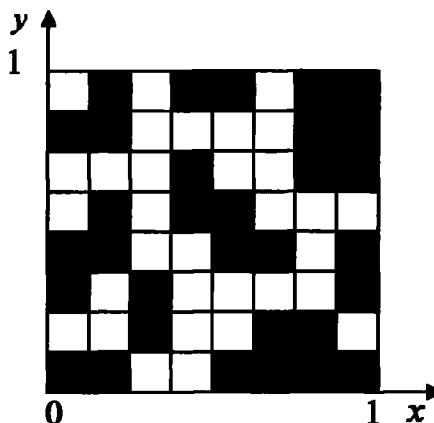
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种激光整形方法及整形后激光硬化处理设备与方法

(57) 摘要

本发明的激光整形方法及整形后激光硬化处理设备与方法, 通过设置特殊形式的光栅对激光进行整形进而通过整形后的激光, 对待处理材料进行硬化处理。经光栅整形后的激光各衍射级之间的强度不同, 用此种光斑进行激光表面硬化, 这种激光表面硬化的优点是提高材料的硬度的同时, 大大改善了材料的硬化层均匀度。



1. 一种激光整形方法,具体步骤为:1) 根据衍射级数和各衍射级之间需要的强度比,入射光为平顶光束则对于给定位相版,其远场衍射场强度分布为:

$$I_{0,0} = I(0,0) = \left(\frac{A}{\lambda f}\right)^2 \left[ \exp(j\phi_2) - \exp(j\phi_1) \right] L + \exp(j\phi_1) \Big]^2$$

$$I_{+m,+n} = I_{-m,-n}$$

$$= \left(\frac{A}{\lambda f}\right)^2 \left[ \exp(j\phi_2) - \exp(j\phi_1) \right]^2 \sin^2\left(\frac{m}{d}\right) \sin^2\left(\frac{n}{d}\right) \left[ \sum_{i=1}^L \exp\left\{ -j2\pi \left[ \frac{m}{d} \left(x_i + \frac{1}{2}\right) + \frac{n}{d} \left(y_i + \frac{1}{2}\right) \right] \right\} \right]^2$$

$$I_{-m,+n} = I_{+m,-n}$$

$$= \left(\frac{A}{\lambda f}\right)^2 \left[ \exp(j\phi_2) - \exp(j\phi_1) \right]^2 \sin^2\left(\frac{m}{d}\right) \sin^2\left(\frac{n}{d}\right) \left[ \sum_{i=1}^L \exp\left\{ -j2\pi \left[ \frac{m}{d} \left(x_i + \frac{1}{2}\right) - \frac{n}{d} \left(y_i + \frac{1}{2}\right) \right] \right\} \right]^2$$

其中  $\lambda$  是激光波长,  $f$  是聚焦透镜焦距,  $m$  和  $n$  为衍射级次;均匀采样编码一个周期的位相分布是由多个网格化的单元组成,白色单元代表位相延迟为  $\phi_1$ ,黑色单元代表位相延迟为  $\phi_2$ ,  $L$  是组成单个周期位相的单元个数,相对于原点的第 1 个单元的坐标是  $(x_1, y_1)$ ;对于二值位相光栅,其评价函数定义为:

$$E^2 = \alpha \left\{ \left[ \beta_1 \left( I_{(0)} - \eta_E \hat{I}_{(0)} \right) \right]^2 + \left[ \beta_2 \left( I_{(1)} - \eta_E \hat{I}_{(1)} \right) \right]^2 + \dots + \left[ \beta_M \left( I_{(M)} - \eta_E \hat{I}_{(M)} \right) \right]^2 \right\} + (1-\alpha)(1-\eta_E)^2$$

其中  $\alpha \in [0,1]$  是权重因子,  $\hat{I}_m$  是  $m$  衍射级的理论强度,  $I_{m,n}$  是点  $(m, n)$  的强度;  $\eta_E$  是衍射效率,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_M$  对应于各衍射级的权重系数,  $I_{(0)}, I_{(1)}, \dots, I_{(M-1)}$  分别对应于衍射级  $0, 1, \dots, M$  的强度,目标强度是具有强度比为  $I_{(0)} : I_{(1)} : I_{(2)} = k_1 : k_2 : k_3$  的三衍射级次的二值位相光栅,权重系数应该为  $\beta_1 : \beta_2 : \beta_3 = \frac{1}{k_1} : \frac{1}{2k_2} : \frac{1}{2k_3}$ ,即对于目标强度比为

$$I_{(0)} : I_{(1)} : I_{(2)} = 1 : 2 : 3 \text{ 则权重系数应该为 } \beta_1 : \beta_2 : \beta_3 = 1 : \frac{1}{4} : \frac{1}{6}$$

通过标量衍射理论计算出二值位相光栅的位相分布;2) 根据二值位相光栅的位相分布制作光栅;3) 激光束照射步骤 2) 中的光栅,即可将激光束光斑整形为各衍射级间强度分布不均匀的光斑;所述激光整形方法中,衍射级的个数为三个,三个衍射级之间强度比为  $I_{(0)} : I_{(1)} : I_{(2)} = 1 : 2 : 3$ ;所述光栅转换得到的光斑为山谷型强度分布点阵光斑。

2. 如权利要求 1 所述的激光整形方法,其特征在于,所述激光束光源为 Nd:YAG 激光器,波长为 1064nm。

3. 如权利要求 1 所述的激光整形方法,其特征在于,步骤 2) 中制作光栅之前,通过优化算法对所述光栅的位相分布进行优化。

4. 如权利要求 1 所述的激光整形方法,其特征在于,步骤 2) 中光栅的制作步骤为:1) 根据光栅的位相分布,利用电子束图形发生器制作掩模板;2) 通过接触式光刻法,将掩模板图案转移到涂有光刻胶的光学玻璃上;3) 利用感应耦合等离子刻蚀技术或者湿法刻蚀技术,将图案刻蚀到光学玻璃上得到光栅。

5. 一种激光硬化处理设备,其特征在于,包括激光器、扩束镜、如权利要求 1-4 任一项激光整形方法中所述的光栅和聚焦透镜,该光栅设置在扩束镜和聚焦透镜之间,激光器照射扩束镜产生平行光束经所述光栅和聚焦透镜在聚焦透镜焦平面上得到各衍射级间强度

比为  $I_{(0)} : I_{(1)} : I_{(2)} = 1 : 2 : 3$  的山谷型强度分布点阵光斑。

6. 一种采用如权利要求 5 所述的激光硬化处理设备进行激光硬化处理的方法, 具体为: 激光硬化处理设备的聚焦透镜的焦平面处设置待处理材料, 通过激光器照射扩束镜产生平行光束经光栅和聚焦透镜, 各衍射级间强度比为  $I_{(0)} : I_{(1)} : I_{(2)} = 1 : 2 : 3$  的山谷型强度分布点阵光斑照射所述待处理材料。

7. 如权利要求 6 所述的激光硬化处理的方法, 其特征在于, 所述待处理材料为金属材料。

8. 如权利要求 7 所述的激光硬化处理的方法, 其特征在于, 所述金属材料为铁、铜或者合金材料。

## 一种激光整形方法及整形后激光硬化处理设备和方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种激光整形方法、激光硬化处理设备和方法。

### 背景技术

[0002] 金属材料的激光表面硬化多由激光束经聚焦形成的高斯圆光斑或者离焦后的光斑直接作用于材料表面,通过数控机床控制工件与激光束的相对运动轨迹及光闸的启闭对材料表面或其要求部位进行表面硬化。近年来,在激光表面硬化过程中为了实现一个均匀的激光作用区,激光束往往被变换为均匀分布的矩形光斑或者线形光斑。要得到均匀分布的矩形光斑或者线形光斑需要利用光栅对激光束整形,通过光栅整形后的激光束不同衍射级的激光强度均相同,在这些硬化工艺中,为了获得一个均匀的激光热作用,将激光束的不均匀分布变换为均匀分布,但是理论和实验研究表明,均匀的激光照射不一定能得到均匀的热作用,更不能得到均匀的激光表面硬化区域的组织结构,由均匀强度分布的光斑作用下产生的硬化层为月牙形分布。

[0003] 解决这一问题的根本方法是根据激光与材料相互作用原理,在每个光斑尺度内控制激光与材料的相互作用区域,对激光束空间强度分布进行优化。进而有效地在每个光斑尺度内控制激光与材料发生相互作用的区域,赋予材料表面特殊的组织结构和性能。本发明提出了一种激光表面硬化方法,这种方法的关键是利用二值位相光栅将激光束整形为具有山谷形非均匀能级强度分布的点阵,然后用变换后的光斑进行激光表面硬化,这种激光表面硬化的优点是提高材料的硬度的同时,大大改善了材料的硬化层均匀度。

### 发明内容

[0004] 针对现有技术存在的问题,本发明的目的之一在于提供一种能够将激光束整形为各衍射级之间为非均匀强度分布的激光整形方法。

[0005] 本发明的另一目的在于提供一种能够将激光束整形为各衍射级之间为非均匀强度分布的设备。

[0006] 本发明的第三目的在于提供一种采用各衍射级为非均匀强度分布的激光束进行金属表面硬化处理的方法。

[0007] 本发明的激光整形方法,具体步骤为:1) 根据衍射级数和各衍射级之间需要的强度比,通过标量衍射理论计算出二值位相光学转换元件的位相分布;2) 根据二值位相光学转换元件的位相分布制作光学转换元件;3) 激光束照射步骤2) 中的光学转换元件,即可将激光束光斑整形为各衍射级间强度分布不均匀的光斑。

[0008] 进一步,所述激光束光源为 Nd:YAG 激光器,波长为 1064nm。

[0009] 进一步,所述激光整形方法中,衍射级的个数为三个,三个衍射级之间的强度比为 1 : 2 : 3。

[0010] 进一步,所述激光束通过所述光学转换元件转换得到的光斑为山谷型强度分布点阵光斑。

[0011] 进一步,步骤 2) 中制作光学转换元件之前,通过优化算法对所述光学转换元件的位相分布进行优化。

[0012] 进一步,步骤 2) 中光学转换元件的制作步骤为:1) 根据光学转换元件的位相分布,利用电子束图形发生器制作掩模板;2) 通过接触式光刻法,将掩模板图案转移到涂有光刻胶的光学玻璃上;3) 利用感应耦合等离子刻蚀技术或者湿法刻蚀技术,将图案刻蚀到光学玻璃上得到光学转换元件。

[0013] 本发明的激光硬化处理设备,包括激光器、扩束镜、光学转换元件和聚焦透镜,光学转换元件设置在扩束镜和聚焦透镜之间,激光器照射扩束镜产生平行光束经所述光学转换元件和聚焦透镜在聚焦透镜焦平面上得到各衍射级间强度分布不均匀的光斑。

[0014] 本发明的激光硬化处理的方法,具体为:在上述激光硬化处理设备的聚焦透镜的焦平面处设置待处理材料,通过激光器照射扩束镜产生平行光束经光学转换元件和聚焦透镜,各衍射级间强度分布不均匀的光斑照射所述待处理材料。

[0015] 进一步,所述待处理材料为金属材料。

[0016] 进一步,所述金属材料为铁、铜或者合金材料。

[0017] 本发明根据激光与材料相互作用原理,在每个光斑尺度内控制激光与材料的相互作用区域,对激光束空间强度分布进行优化。进而有效地在每个光斑尺度内控制激光与材料发生相互作用的区域,赋予材料表面特殊的组织结构和性能。通过特殊的二值位相光学转换元件,得到各衍射级非均匀强度点阵分布的光斑,采用此种光斑对材料表面进行激光硬化,使材料硬度增加的同时,大大提高了硬化层的均匀度。

## 附图说明

[0018] 图 1 为本发明中二值位相光栅的一个周期位相分布示意图;

[0019] 图 2a 为强度比为 1 : 2 : 3 二值位相光栅的单个周期位相分布图;

[0020] 图 2b 为强度比为 1 : 2 : 3 二值位相光栅的强度分布图;

[0021] 图 3 为二值位相光栅的表面轮廓;

[0022] 图 4 为光束变换后光斑强度分布测试实验系统;

[0023] 图 5a 为二值位相光栅对光束变换后的两维强度分布图;

[0024] 图 5b 为二值位相光栅对光束变换后的三维强度分布图;

[0025] 图 6a 为 5x5 等强度分布点阵硬化后的材料表面形貌;

[0026] 图 6b 为 1 : 2 : 3 山谷型强度分布点阵硬化后的材料表面形貌;

[0027] 图 7a 为光斑为 5x5 等强度分布点阵硬化后的材料硬化层层深图;

[0028] 图 7b 为光斑为 1 : 2 : 3 山谷型强度分布点阵硬化后的材料硬化层层深图;

[0029] 图 8 为 5x5 等强度分布点阵光斑硬化后材料沿深度方向硬度分布曲线;

[0030] 图 9 为 1 : 2 : 3 山谷型强度分布点阵光斑硬化后材料沿深度方向硬度分布曲线。

## 具体实施方式

[0031] 本发明的激光整形方法,具体步骤为:1) 根据衍射级数和各衍射级之间需要的强度比,通过标量衍射理论计算出二值位相光学转换元件的位相分布;2) 根据二值位相光学转换元件的位相分布制作光学转换元件;3) 激光束照射步骤 2) 中的光学转换元件,即可将

激光束光斑整形为各衍射级间强度分布不均匀的光斑。

[0032] 本发明的激光硬化处理设备,包括激光器、扩束镜、光学转换元件和聚焦透镜,光学转换元件设置在扩束镜和聚焦透镜之间,激光器照射扩束镜产生平行光束经所述光学转换元件和聚焦透镜在聚焦透镜焦平面上得到各衍射级间强度分布不均匀的光斑。

[0033] 本发明的激光硬化处理的方法,具体为:在上述激光硬化处理设备的聚焦透镜的焦平面处设置待处理材料,通过激光器照射扩束镜产生平行光束经光学转换元件和聚焦透镜,各衍射级间强度分布不均匀的光斑照射所述待处理材料。

[0034] 其中,激光器的选择和衍射级数以及衍射级之间的强度比可以根据实际加工的材料种类以及被加工元件的结构来选择。二值位相光学转换元件为二值位相光栅。激光硬化处理设备中聚焦透镜根据应用的需求可以通过调整聚焦透镜的焦距以及二值位相光栅的单个周期位相的大小来改变光束变换后的点阵间距,比如,光波长为  $\lambda = 1.064 \mu\text{m}$ , 元件直径为  $50\text{mm}$ , 单个位相周期为  $d = 250$  微米,透镜焦距为  $f = 150\text{mm}$  的情况下,点阵中微光斑的间距为  $\Delta = \lambda f/d \approx 0.6\text{mm}$ . 因此可以根据不同情况选用焦距不同的透镜,从而得到特定的光斑分布。

[0035] 图 1 是二值位相光栅的一个周期位相分布示意图,图中白色单元代表位相延迟为  $\phi_1$ , 黑色单元代表位相延迟为  $\phi_2$ , 一个周期的位相分布是由多个网格化的单元组成,由图可见,本发明中所使用二值位相光栅是一种在透明介质上形成的具有两维均匀矩形孔径位相分布的位相版,位相为两值。

[0036] 本发明根据激光表面硬化的应用需求,确定了所设计二值位相光栅的强度比为  $I_{(0)} : I_{(1)} : I_{(2)} = 1 : 2 : 3$ , 根据标量衍射理论,如果假设入射光为平顶光束则对于给定位相版,其远场衍射场强度分布为:

$$[0037] \quad I_{0,0} = I(0,0) = \left(\frac{A}{\lambda f}\right)^2 \left[ \exp(j\phi_2) - \exp(j\phi_1) \right] L + \exp(j\phi_1) \Big]^2$$

$$[0038] \quad I_{+m,+n} = I_{-m,-n}$$

$$[0039] \quad = \left(\frac{A}{\lambda f}\right)^2 \left[ \exp(j\phi_2) - \exp(j\phi_1) \right]^2 \sin^2\left(\frac{m}{d}\right) \sin^2\left(\frac{n}{d}\right) \left| \sum_{i=1}^L \exp\left\{ -j2\pi \left[ \frac{m}{d} \left(x_i + \frac{1}{2}\right) + \frac{n}{d} \left(y_i + \frac{1}{2}\right) \right] \right\} \right|^2$$

$$[0040] \quad I_{-m,+n} = I_{+m,-n}$$

$$[0041] \quad = \left(\frac{A}{\lambda f}\right)^2 \left[ \exp(j\phi_2) - \exp(j\phi_1) \right]^2 \sin^2\left(\frac{m}{d}\right) \sin^2\left(\frac{n}{d}\right) \left| \sum_{i=1}^L \exp\left\{ -j2\pi \left[ \frac{m}{d} \left(x_i + \frac{1}{2}\right) - \frac{n}{d} \left(y_i + \frac{1}{2}\right) \right] \right\} \right|^2$$

[0042] 其中  $\lambda$  是激光波长,  $f$  是透镜焦距,  $m$  和  $n$  为衍射级次。均匀采样编码一个周期的位相分布是由多个网格化的单元组成,白色单元代表位相延迟为  $\phi_1$ , 黑色单元代表位相延迟为  $\phi_2$  (图 1),  $L$  是组成单个周期位相的单元个数,相对于原点的第 1 个单元的坐标是  $(x_1, y_1)$ . 对于该二值位相光栅,其评价函数定义为:

$$[0043] \quad E^2 = \alpha \left\{ \left[ \beta_1 \left( I_{(0)} - \eta_E \hat{I}_{(0)} \right) \right]^2 + \left[ \beta_2 \left( I_{(1)} - \eta_E \hat{I}_{(1)} \right) \right]^2 + \dots + \left[ \beta_M \left( I_{(M)} - \eta_E \hat{I}_{(M)} \right) \right]^2 \right\} + (1-\alpha)(1-\eta_E)^2 \quad (3)$$

[0044] 其中  $\alpha \in [0,1]$  是权重因子,  $\hat{I}_m$  是  $m$  衍射级的理论强度,  $I_{m,n}$  是点  $(m, n)$  的强度。  $\eta_E$  是衍射效率,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_M$  对应于各衍射级的权重系数,  $I_{(0)}, I_{(1)}, \dots, I_{(M-1)}$  分别对应于衍射级  $0, 1, \dots, M$  的强度,如果目标强度是具有强度比为  $I_{(0)} : I_{(1)} : I_{(2)} = k_1 : k_2 : k_3$

的三衍射级次的二值位相光栅,则权重系数应该为 $\beta_1:\beta_2:\beta_3 = \frac{1}{k_1}:\frac{1}{2k_2}:\frac{1}{2k_3}$ 。即对于目标强度比为 $I_{(0)} : I_{(1)} : I_{(2)} = 1 : 2 : 3$ 则权重系数应该为 $\beta_1:\beta_2:\beta_3 = 1:\frac{1}{4}:\frac{1}{6}$ 。根据以上理论采用模拟退火法进行元件的优化设计。图 4 是该二值位相光栅的设计结果,元件的每个周期的采样点数为 $16 \times 16$ (图 2a,图 2b)为所设计元件的强度输出,定义其均匀度为衍射级内均匀度和衍射级间均匀度,衍射内均匀度为 $U_{o,M} = \sum(I_{mn} - \bar{I})/I_s$ 用以衡量单个衍射级内的均匀度,其中 $I_{mn}$ 是第 M 衍射级各点的强度, $\bar{I}$ 是这些点的平均强度, $I_s$ 是这些点的总强度,则第一衍射级和第二衍射级的衍射级内均匀度分别为 $U_{o,1} = 1.4\%$ 和 $U_{o,2} = 3.25\%$ ,由于零级只有一个点,其级内均匀度没有意义。衍射级间均匀度定义为 $U_p = \frac{\bar{I}_0}{I_0}:\frac{\bar{I}_1}{I_1}:\dots:\frac{\bar{I}_M}{I_M}$ 来衡量各衍射级的强度的设计值和目标值的偏差,这里 $\bar{I}_0, \bar{I}_1, \dots, \bar{I}_M$ 和 $I_0, I_1, \dots, I_M$ 分别表示 $0, 1, \dots, M$ 各衍射级的设计和目标值的平均强度,则 $U_p = 1.2 : 1.1 : 1.0$ 。衍射效率定义为 $\eta_E = \sum_{m=0}^M I_{mn} / I_{total} = 70.9\%$ 其中 $I_{mn}$ 是指衍射光斑中各点的强度, $I_{total}$ 入射光的强度,所以上式为各衍射级内点阵光能与入射光能的比值。

[0045] 实验中采用超大规模集成电路的方法(VLSI)进行元件的制作,第一步根据设计所得位相分布(图 2a),用电子束直写的办法制作掩模板,为了使元件在激光加工系统中使用,这里制作的掩模板尺寸为边长为 50mm 的正方形掩模板,单个位相周期为 250 微米。第二步通过接触式光刻法,把掩模板图案转移到涂有光刻胶的光学玻璃上,接触式曝光的复制误差小于 0.5 微米。第三步用湿法刻蚀的方法在实验室得到所需元件。玻璃基底为 K9 玻璃,对于 1064nm 的激光的折射率为 1.507,对应位相延迟  $\pi$  的刻蚀深度为 1046nm,刻蚀中使用腐蚀溶液为溶液体积配比浓度为 HF : H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O = 1 : 10 : 40 进行刻蚀,将腐蚀时间控制在 4 分钟以内。第四步用轮廓仪 Dektak 8 测试了表面轮廓,如图 3 所示刻蚀深度平均为 1033.9nm,与目标值 1046nm 的偏差小于 2%,在误差范围允许内。

[0046] 本发明所用到的实验系统如图 4 所示,该实验系统中,焦平面位置可以放置光束分析仪作为测试光斑强度分布的测试系统,当焦平面位置的光束分析仪替换为待加工的金属样品表面,并去掉衰减器时,既可以作为激光表面硬化实验系统。系统中光源为 Nd:YAG 激光器,波长为 1064nm,透镜的焦距为 150mm,在焦平面上可以得到具有强度比从零级到第二衍射级为 1 : 2 : 3 的三衍射级点阵光斑,通过光束分析仪可以得到二维和三维的强度分布,如图 5 所示,实验结果和设计结果基本吻合。

[0047] 选择 Q235 钢为实验材料样本,成分为 0.14-0.22C,0.3-0.65Mn,0.30Si,0.050S,0.045P, Bal Fe。样品的尺寸 100x50x20,激光器为 HLD2006D Nd:YAG 连续激光器,所用激光束空间强度变换元件为衍射级间比自零级到二级衍射强度比为 1 : 2 : 3 的二值位相光栅。为了和等强度点阵输出的达曼光栅进行对比,还引入了 5x5 等强度达曼光栅。通过强度比为 1 : 2 : 3 的山谷型二值位相光栅和等强度达曼光栅变换后的光束对材料硬化后的材料表面形貌如图 6 所示。其中,光束变换元件为强度比为 1 : 2 : 3 的二值位相光栅的情况下,激光束参数为:功率 1000W,脉宽 170ms,光斑直径为 3mm,硬化后材料表面形貌如图

6b 所示;光束变换元件为等强度达曼光栅时,激光参数为:功率 1000W,脉宽 100ms,光斑直径为 3mm,硬化后材料表面形貌如图 6a 所示。从图 6a 中可以看出经均匀强度分布点阵作用后的材料表面边缘区域硬化不足,而经具有特定强度比的点阵光斑硬化后材料表面硬化比较均匀。

[0048] 为了更好地描述材料的硬化效果,定义硬化层几何形貌均匀度为  $R = \frac{S_i}{S}$ ,  $S_i$  为硬化层区域的面积,  $S$  为硬化层所占矩形的总面积,图 7 给出了激光表面硬化后的硬化层形貌分布,由 5x5 等强度点阵硬化后的材料表面硬化层几何形貌(如图 7a)均匀度明显低于光斑强度比为 1 : 2 : 3 点阵光斑硬化后的材料表面硬化层几何形貌(如图 7b)均匀度。

[0049] 利用 HXD 半自动显微硬度仪测试了硬化后的材料沿层深方向的硬度,加载为 50GF,分别在作用光斑区域的中心和离中心 1/3 光斑直径的位置测试了沿层深方向的硬度值,如图 8 和图 9 分别为 5x5 均匀点阵光斑和 1 : 2 : 3 非均匀光斑作用后的材料硬度曲线,图中曲线 1 为硬化层中心处沿层深的硬度曲线,曲线 2 为离中心 1/3 光斑直径处沿层深的硬度曲线。图 8 和图 9 对比可以看出,在光斑作用区域的中心(曲线 1)两种激光束空间强度分布下材料的硬度随深度均呈波动变化,在深度为 50  $\mu\text{m}$  到 550  $\mu\text{m}$  区域内,硬度值从 430HV 波动下降到 180HV;在离光斑作用区域中心 1/3 光斑直径位置所测结果(曲线 2)显示,强度比为 1 : 2 : 3 点阵光斑硬化后材料沿深度方向硬度分布曲线在深度 300  $\mu\text{m}$  到 500  $\mu\text{m}$  区域硬度变化很小,图 8 则显示,5x5 等强度点阵光斑硬化后材料沿深度 300  $\mu\text{m}$  到 500  $\mu\text{m}$  区间硬度迅速从 300HV 下降到 160HV. 这个结果与前面分析的材料硬化层几何形貌均匀度的结果是相符的,也就是激光光斑强度的山谷型分布引起了材料硬化层几何均匀度的增加,从而使材料的硬度性能得到提高。

[0050] 基于激光表面硬化对激光束空间强度分布的特定需求,提出了一种激光表面硬化方法,该方法的关键是提出了一种衍射级间强度比为 1 : 2 : 3 的二值位相光栅,利用变换后的光斑对金属材料进行激光表面硬化实验,在提高材料的硬度的同时,大大提高了材料的硬化层几何形貌均匀度。

[0051] 需要指出的是根据本发明的具体实施方式所做出的任何变形,均不脱离本发明的精神以及权利要求记载的范围。



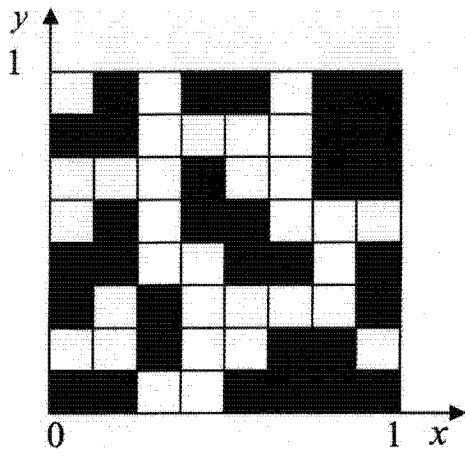


图 1

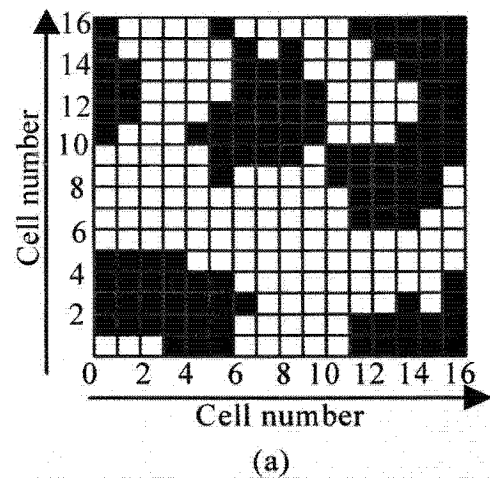


图 2a

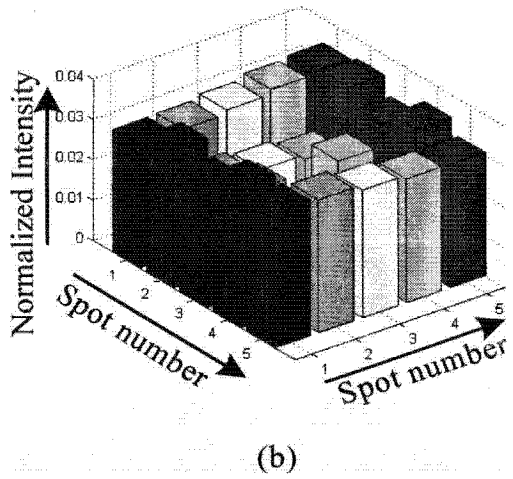


图 2b

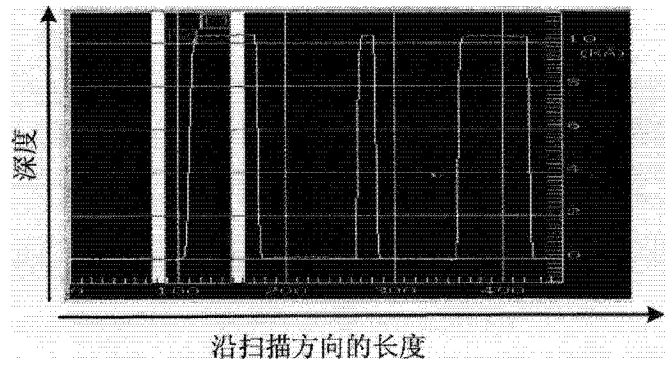


图 3

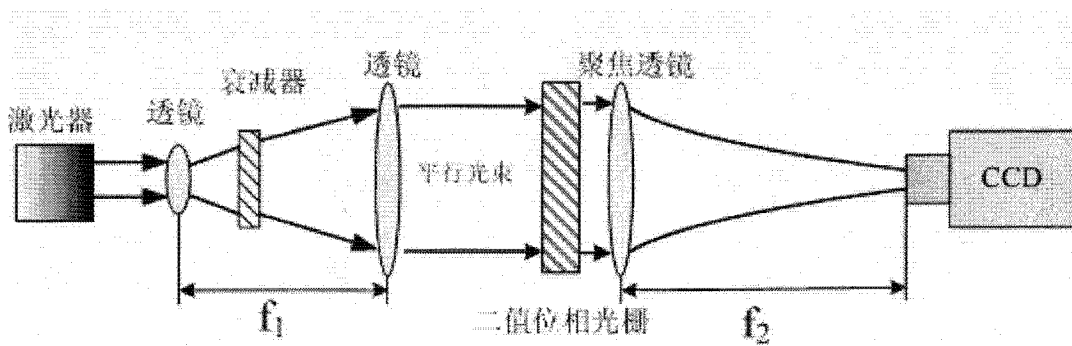


图 4

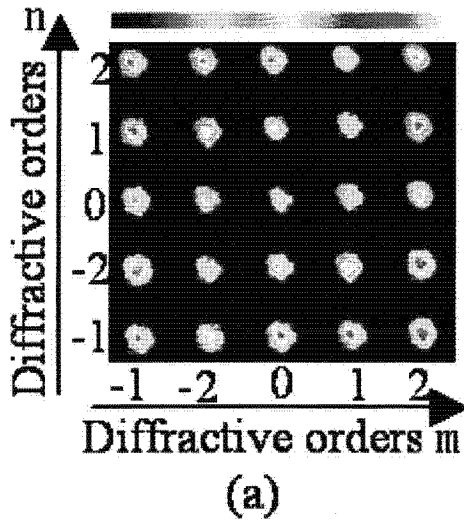


图 5a

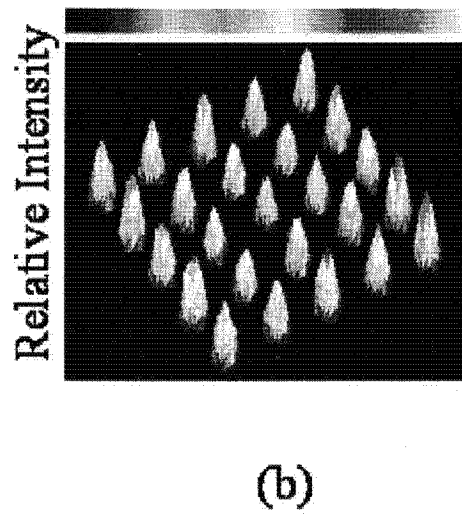


图 5b

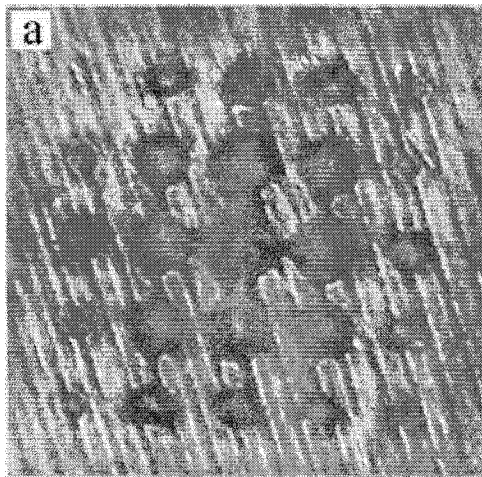


图 6a

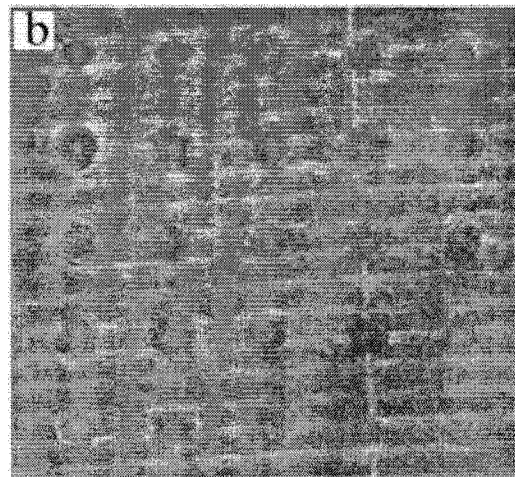


图 6b

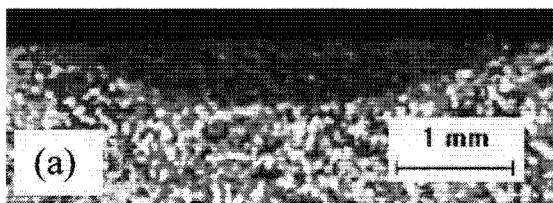


图 7a

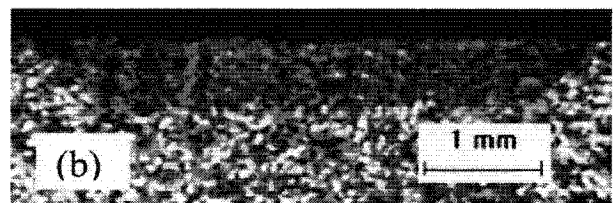


图 7b

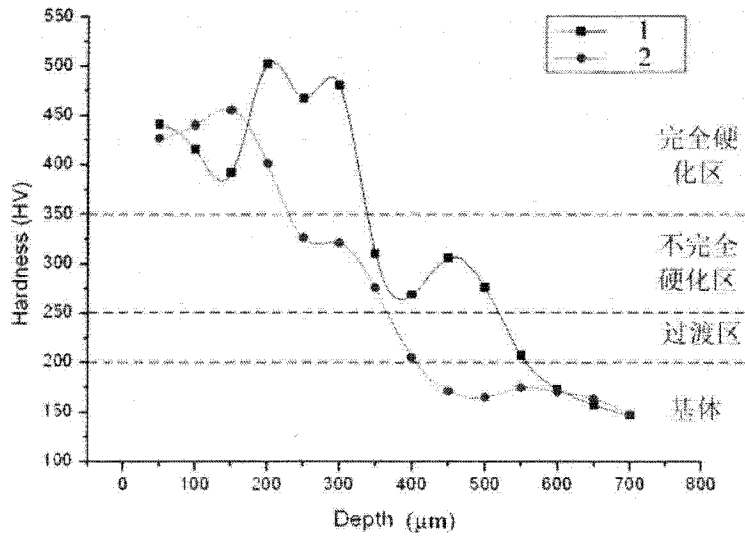


图 8

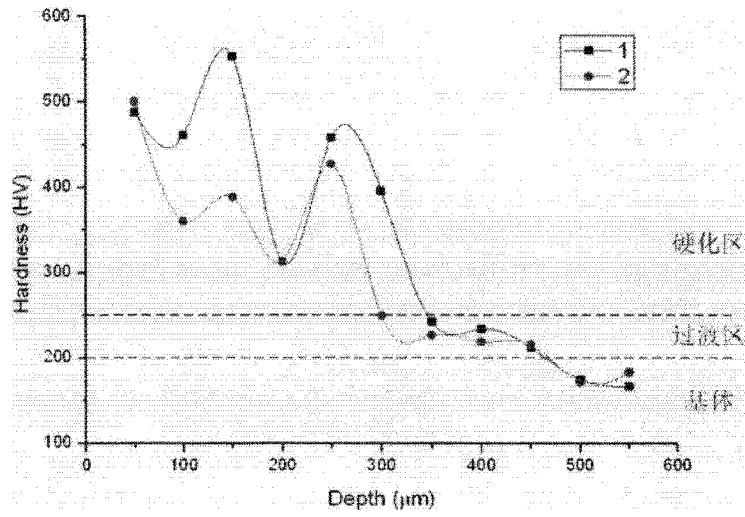


图 9