



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112981090 B

(45) 授权公告日 2022.04.26

(21) 申请号 202110157363.6

G22F 1/00 (2006.01)

(22) 申请日 2021.02.04

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112981090 A

CN 102513431 A, 2012.06.27

CN 110438425 A, 2019.11.12

CN 101126117 A, 2008.02.20

(43) 申请公布日 2021.06.18

FR 2900852 A1, 2007.11.16

(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

CN 102212818 A, 2011.10.12

JP 2008238260 A, 2008.10.09

JP 2020110825 A, 2020.07.27

CN 103695628 A, 2014.04.02

(72) 发明人 吴先前 董金磊 蒋敏强

审查员 李海丽

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G21D 10/00 (2006.01)

G21D 7/06 (2006.01)

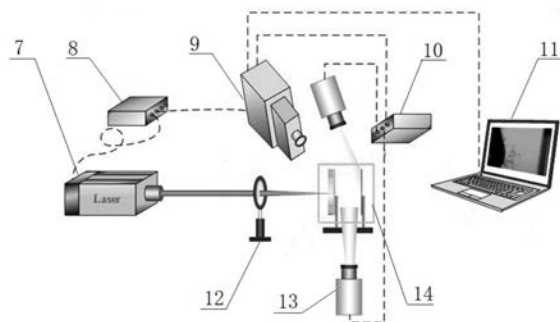
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化装置及方法

(57) 摘要

本发明属于表面机械处理技术领域,针对现有技术中存在的对复杂构件和精密器件处理难度大且容易导致废品的技术问题,本发明的目的在于激光驱动微颗粒冲击强化实验装置以及表面强化方法,利用强激光驱动微颗粒对金属表面进行强化处理。利用同步仪同时触发激光器与高速摄像机,激光器发射出高功率密度、短脉冲的激光束通过聚焦透镜汇聚,激光束穿过发射装置的K9玻璃层烧蚀铝膜层,高能激光致使材料温度升高,原子能量增加并发生电离,最终形成高温、高压的等离子体,等离子体迅速向外膨胀驱动PDMS膜快速鼓包并利用其良好的弹性推动小颗粒高速运动冲击靶体。微颗粒高速冲击下,金属材料表面形成硬化层,有效的改善材料的力学性能和微观组织。



1. 基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化装置,其特征在於,包括依次设置的脉冲激光器、同步仪、超高速摄像机、激光光源、聚焦透镜、发射装置、靶体,所述脉冲激光器与高速摄像机分别和同步仪相连接,通过同步仪同步控制脉冲激光器与高速摄像机触发;脉冲激光器、聚焦透镜和发射装置沿着同轴排布设置,通过脉冲激光器发射激光束,激光束通过聚焦透镜汇聚至发射装置并烧蚀铝膜产生高温、高压的等离子体,发射装置的最外层分布设置微颗粒,等离子体驱动PDMS膜快速鼓包并利用其良好的弹性推动微颗粒高速运动冲击靶体,通过超高速摄像机完整记录微颗粒冲击过程;

所述发射装置自左向右依次设置为K9玻璃层、铝膜层和PDMS膜层;所述发射装置中K9玻璃层的厚度为4 mm;铝膜层的厚度为40 μm ;PDMS膜层的厚度为70 μm 。

2. 基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化方法,采用权利要求1所述基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化装置,其特征在於,具体包括如下步骤:

(1) 同步仪同时触发脉冲激光器与高速摄像机,脉冲激光器发射出激光束,激光束通过聚焦透镜汇聚;

(2) 发射装置的K9玻璃层允许激光束穿过而不吸收激光能量,激光束穿过K9玻璃层与铝膜层相互作用;

(3) 铝膜层温度急剧升高,原子能量增加并发生电离,最终形成高温、高压的等离子体;

(4) 等离子体吸收激光能量迅速向外膨胀,驱动PDMS膜层快速鼓包并利用其弹性推动小颗粒高速运动冲击靶体;

(5) 通过高速摄像机完整记录冲击过程,测量微颗粒冲击速度,得到冲击速度与影响层深度的关系。

3. 根据权利要求2所述基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化方法,其特征在於,根据不同强化需求,调节脉冲激光器的能量、微颗粒尺寸以及靶体到发射装置的距离,得到微颗粒不同的冲击速度。

4. 根据权利要求2所述基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化方法,其特征在於,通过不同微颗粒直径与速度调整,对材料进行不同程度的强化,所述激光驱动直径100 μm 的微颗粒以250 m/s速度冲击块体高熵合金,微颗粒冲击强化后,高熵合金硬度提高50 %。

基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于表面机械处理技术领域,具体涉及基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化装置及方法。

背景技术

[0002] 表面强化方式是用机械、物理和化学等方法来改善材料的微观组织结构或应力状态的工艺方法,可有效地改善机械零件和构件的表面性能。承受载荷的零件表面常处于最大应力状态,并在不同的介质环境中工作。因此,零件的失效和破坏也大多发生在表面或从表层开始。如果在零件表层引入一定的残余压应力,增加表面硬度,改善表层组织结构等,能显著地提高零件的疲劳强度和耐磨性能。

[0003] 传统的表面机械处理方式主要有喷丸、滚压和激光冲击三种方法。喷丸是利用大量高速运动的珠丸打击零件表面,使表面产生大量的硬化层和残余压应力。滚压是利用淬火的钢辊子在零件表面滚轧的强化方法,能显著降低表面粗糙度。激光冲击通过激光与物质相互作用产生冲击波,在材料内部传播而达到强化材料的目的。

[0004] 传统表面机械处理方法,如喷丸、滚压、激光冲击强化,工艺参数较难掌握,处理不当,容易造成废品,并且难以对复杂构件和精密器件进行处理。对薄壁零件进行处理时,容易使得零件产生变形,无法满足细长杆、薄壁管件等刚性差的零件的表面处理。

发明内容

[0005] 针对现有技术中存在的对复杂构件和精密器件处理难度大且容易导致废品的技术问题,本发明的目的在于提供基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化装置及方法,利用强激光驱动微颗粒对金属表面进行强化处理。

[0006] 本发明采取的技术方案为:

[0007] 基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化装置,包括依次设置的脉冲激光器、同步仪、超高速摄像机、激光光源、微距镜头、聚焦透镜、发射装置、靶体,所述脉冲激光器与高速摄像机分别和同步仪相连接,通过同步仪同步控制脉冲激光器与高速摄像机触发;脉冲激光器、聚焦透镜和发射装置沿着同轴排布设置,通过脉冲激光器发射激光束,激光束通过聚焦透镜汇聚烧蚀铝膜形成高温、高压的等离子体,发射装置的最外层分布设置有微颗粒,等离子体驱动PDMS膜快速鼓包并利用其良好的弹性推动微颗粒高速运动冲击靶体,通过超高速摄像机完整记录冲击过程。

[0008] 进一步的,所述发射装置自左向右依次设置为K9玻璃层、铝膜层和PDMS膜层。

[0009] 更进一步的,所述发射装置中K9玻璃层的厚度为4mm;铝膜层的厚度为40 μm ,PDMS膜层的厚度为70 μm 。

[0010] 基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化方法,采用所述激光驱动微颗粒冲击强化实验装置,具体包括如下步骤:

[0011] (1) 同步仪同时触发脉冲激光器与高速摄像机,脉冲激光器发射出激光束,激光束

通过聚焦透镜汇聚；

[0012] (2) 发射装置的K9玻璃层允许激光束穿过而不吸收激光能量,激光束穿过K9玻璃层与铝膜层相互作用；

[0013] (3) 铝膜层温度急剧升高,原子能量增加并发生电离,最终形成高温、高压的等离子体；

[0014] (4) 等离子体吸收激光能量向外膨胀,驱动PDMS膜快速鼓包并利用其良好的弹性推动小颗粒高速运动冲击靶体；

[0015] (5) 通过超高速摄像机完整记录冲击过程,测量微颗粒冲击速度,得到冲击速度与影响层深度的关系。

[0016] 进一步的,根据不同强化需求,调节脉冲激光器的能量、微颗粒尺寸以及靶体到发射装置的距离,得到微颗粒不同的冲击速度。

[0017] 进一步的,通过不同微颗粒直径与速度调整,对材料进行不同程度的强化,具有非常好的灵活性与可控性。所述激光驱动直径100 μm 的微颗粒以250m/s速度冲击块体高熵合金,微颗粒冲击强化后,高熵合金硬度提高50%。

[0018] 本发明的有益效果为：

[0019] 相比于传统的强化方式,强激光驱动微颗粒冲击强化展现出独特的技术特点：

[0020] (1) 影响层深:激光驱动微颗粒冲击速度可达50-600m/s,高的冲击速度可在样品表面形成较深的影响层,表层晶粒发生细化,可显著提高材料疲劳强度和耐磨性。

[0021] (2) 可控性强:可驱动5-500 μm 的微颗粒进行冲击强化,微颗粒的尺寸、速度、激光光斑、能量都能实现精准调控,灵活性极高,因此对于一些结构件复杂部位的处理,如倒角、沟槽和精密器件等表现出显而易见的优势,是一些传统工艺所不能实现的。

[0022] (3) 适用性强:强激光驱动微颗粒不会对样品表面产生显著破坏,其冲击后所遗留的塑性变形坑深度仅为数微米,对零件表面粗糙度的影响及其微小,且没有热影响的作用。图3为100 μm 小球冲击强化高熵合金表面瞬态过程图,视场大小:2.67mm \times 2mm,小球冲击速度为205~280m/s,激光能量为0.8J,靶体到发射装置距离为2 μm ,时间间隔为200ns。

附图说明

[0023] 图1为本发明中发射装置示意图；

[0024] 图2为本发明中微颗粒冲击强化装置平台示意图；

[0025] 图3为本发明中微颗粒冲击强化瞬态过程图；

[0026] 图4为本发明中维氏硬度值随样品深度变化结果图；

[0027] 其中,1、K9玻璃层;2、铝膜层;3、PDMS膜层;4、微颗粒;5、等离子体;6、靶体;7、脉冲激光器;8、同步仪;9、高速摄像机;10、光源控制器;11、电脑;12、聚焦透镜;13、激光光源;14、发射装置。

具体实施方式

[0028] 下面结合附图进一步说明本发明。

[0029] 实施例1

[0030] 如图1和图2所示,基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化装置,包括依次设置的脉

冲激光器7、同步仪8、高速摄像机9、聚焦透镜12、激光光源13、靶体6、发射装置14。

[0031] 脉冲激光器7为美国光谱物理公司(Spectra-physics)的调Q型Nd:YAG激光器,可选用1064nm和532nm两种波长。单束激光最大能量为2.5J,半峰宽为10ns。

[0032] 同步仪8(BNC,USA)具有四个独立通道,可同时触发四台设备。

[0033] 超高速摄像机9(SIMD 16,UK)最高帧率可达5000000fps,激光光源13(Specialised imaging,UK)具有方向性强,光亮度高的特点。微距镜头(NAVITAR,USA)具有12倍的放大倍数,微米级颗粒清晰可见。

[0034] 所述脉冲激光器7与高速摄像机9分别和同步仪8相连接,通过同步仪8同步控制脉冲激光器7与高速摄像机9触发;脉冲激光器7、聚焦透镜12和发射装置14沿着同轴排布设置,通过脉冲激光器7发射高能激光束,激光束通过聚焦透镜12汇聚至发射装置14并与铝膜相互作用,形成高温、高压的等离子体5;发射装置14和发射控制器10电连接,通过发射控制器10触发发射装置14,发射装置14的最外层分布设置有微颗粒4,等离子体5迅速向外膨胀,驱动PDMS膜快速鼓包并利用其良好的弹性推动微颗粒4高速运动冲击靶体6(如图3所示),通过超高速摄像机9完整记录冲击过程,传输至电脑11,通过电脑11内的处理系统进行测量微颗粒冲击速度,计算得到冲击速度与影响层深度的关系。

[0035] 发射装置14自左向右依次设置为K9玻璃层1、铝膜层2和PDMS膜层3。PDMS膜也被用于限制绝热产物以及隔离温度。

[0036] 发射装置14中K9玻璃层1的厚度为4mm;铝膜层2的厚度为40 μ m,40 μ m厚度的选择为保证激光烧蚀产生剧烈等离子体时的最佳尺度;;PDMS膜层3的厚度为70 μ m,70 μ m厚度的选择为限制绝热产物和隔离温度的同时并保持其高弹性能。K9玻璃层良好的透光率使得激光能量损失极小,允许激光束穿过而不会明显的吸收激光能量。铝薄膜作为烧蚀层,高能激光使得铝膜温度急剧升高,原子能量大幅增加从而摆脱键的束缚,并且发生电离,形成高温、高压的等离子体。PDMS薄膜作为高弹层,利用PDMS薄膜高弹性推动微颗粒高速冲击靶体。另外,PDMS薄膜可用于限制绝热产物和隔离温度。

[0037] 实施例2

[0038] 如图1和图2所示,基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化方法,采用所述基于激光驱动微颗粒冲击的表面强化装置,具体包括如下步骤:

[0039] (1) 同步仪8同时触发脉冲激光器7与高速摄像机9,脉冲激光器7发射出激光束,激光束通过聚焦透镜12汇聚;

[0040] (2) 发射装置14的K9玻璃层1允许激光束穿过而不吸收激光能量,激光束穿过K9玻璃层1与铝膜层2相互作用;

[0041] (3) 铝膜层2温度急剧升高,原子能量增加并发生电离,最终形成高温、高压的等离子体5;

[0042] (4) 等离子体5吸收激光能量迅速向外膨胀,并推动发射装置14最外层的微颗粒4高速运动冲击靶体6;

[0043] (5) 根据不同强化需求,调节脉冲激光器的激光能量、微颗粒尺寸以及靶体到发射装置14的距离,得到微颗粒不同的冲击速度;

[0044] (6) 通过超高速摄像机9完整记录冲击过程,测量微颗粒冲击速度,得到冲击速度与影响层深度的关系。

[0045] 更为具体的是,所述步骤(4)中等离子体5驱动PDMS膜层3快速鼓包并利用其良好的弹性推动微颗粒4高速运动冲击靶体6。

[0046] 本发明对微颗粒4冲击强化后的样品进行硬度测试,如图4所示为冲击强化后样品横截面的硬度随着深度变化结果图。相比于未处理的样品,冲击强化后的样品硬度在表层显著提高,在距离表层400 μm 左右时硬度减小到稳定值。通过截面硬度分析表明,微颗粒4冲击强化后,样品近表面存在显著的加工硬化,并且呈梯度减小。样品表面晶粒尺寸减小并且随着深度的增加,梯度结构出现。因此,激光驱动微颗粒冲击可作为理想的材料表面处理方法,可有效的改善材料的力学性能和微观组织。

[0047] 以上所述并非是对本发明的限制,应当指出:对于本技术领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明实质范围的前提下,还可以做出若干变化、改型、添加或替换,这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

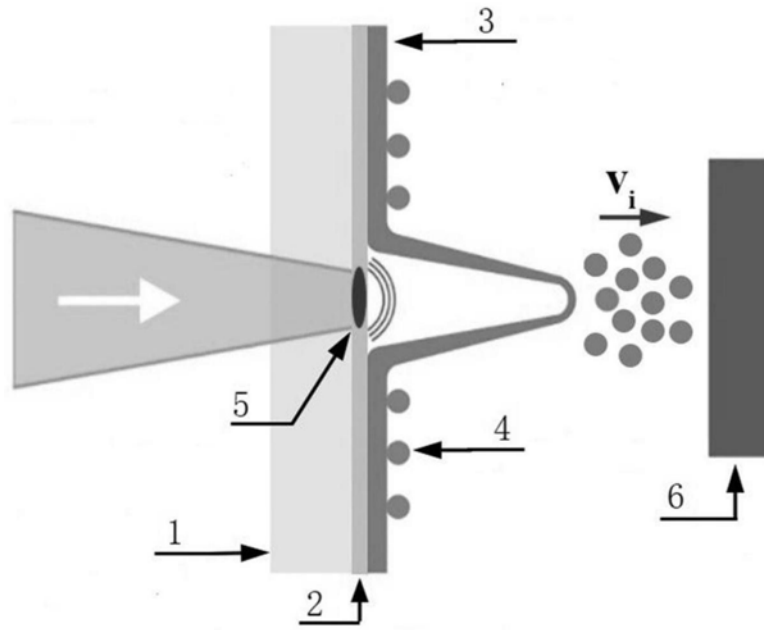


图1

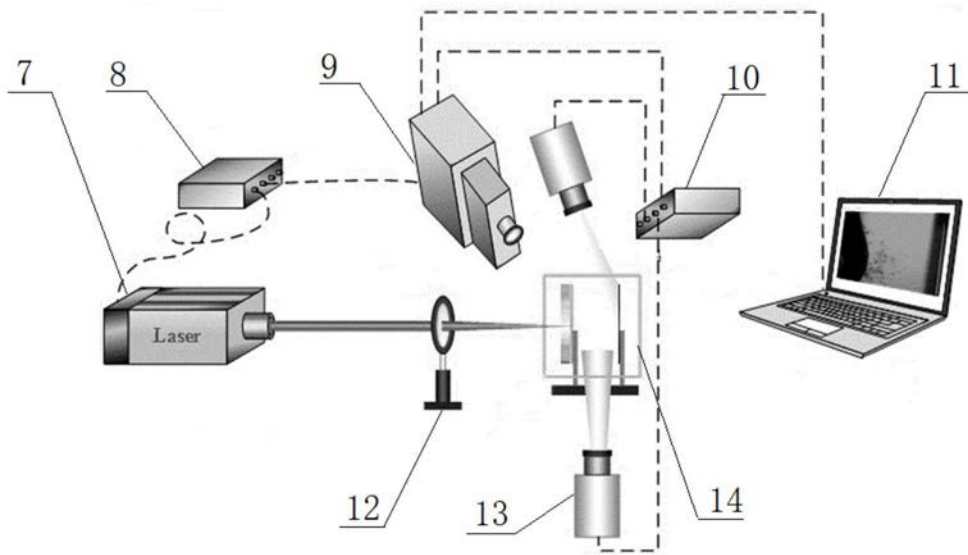


图2

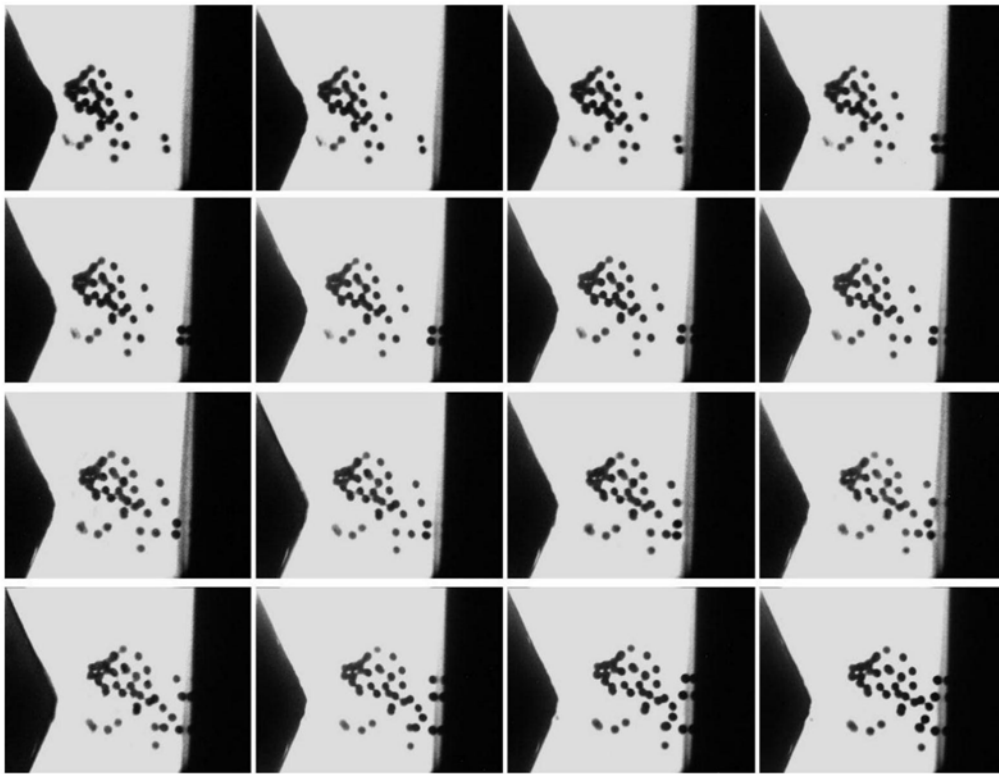


图3

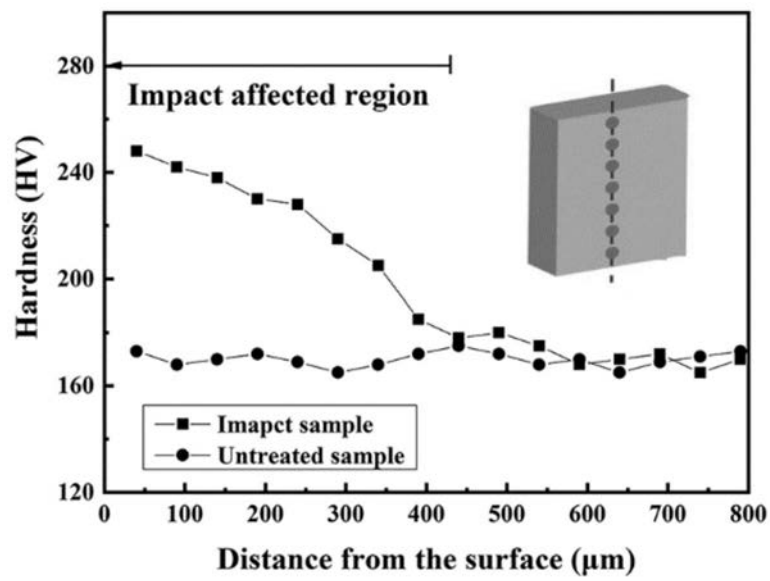


图4