

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2012 年 11 月 15 日 (15.11.2012)



(10) 国际公布号
WO 2012/151790 A1

- (51) 国际专利分类号:
C23C 24/04 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2011/077734
- (22) 国际申请日: 2011 年 7 月 28 日 (28.07.2011)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201110120822.X 2011 年 5 月 11 日 (11.05.2011) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。中国人民解放军空军工程大学 (AIR FORCE ENGINEERING UNIVERSITY OF THE CHINESE PEOPLE'S LIBERATION ARMY) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。
- (72) 发明人: 及
- (75) 发明人/申请人 (仅对美国): 任旭东 (REN, Xudong) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。汪诚 (WANG, Cheng) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。皇甫喆卓 (HUANGFU, Yongzhuo) [CN/CN];

中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。楚维 (CHU, Wei) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。李应红 (LI, Yinghong) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。何卫峰 (HE, Weifeng) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。周鑫 (ZHOU, Xin) [CN/CN]; 中国陕西省西安市长乐东路甲字一号, Shaanxi 710038 (CN)。阮亮 (RUAN, Liang) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。张永康 (ZHANG, Yongkang) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。戴峰泽 (DAI, Fengze) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。张田 (ZHANG, Tian) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 202013 (CN)。

- (74) 代理人: 南京经纬专利商标代理有限公司 (NANJING JINGWEI PATENT & TRADEMARK AGENCY CO.); 中国江苏省南京市鼓楼区中山路 179 号 12 楼 B 座, Jiangsu 210005 (CN)。

- (81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU,

[见续页]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR ACQUIRING NANOSTRUCTURED COATING BY EFFECT OF LASER-INDUCED CONTINUOUS EXPLOSION SHOCK WAVE

(54) 发明名称: 激光诱导连续爆轰冲击波作用获得纳米涂层方法及装置

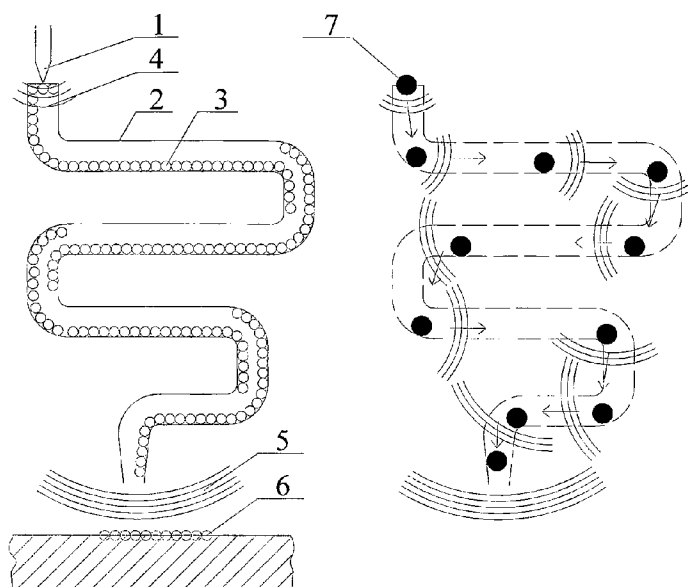


图 1 /Fig.1

(57) Abstract: A method and apparatus for acquiring a nanostructured coating on a metal surface by using an intense shock wave generated by continuous explosion of a laser-induced plasma. The method comprises: irradiating a laser beam on a black paint surface of an upper opening of a high pressure-resistant glass pipe (21) having a black paint strip arranged therein; the black paint absorbing the light energy and producing a plasma; generating an initial plasma explosion shock wave (4); transmitting same in the high pressure-resistant glass pipe; generating a plasma cloud reaching a lower opening of a glass catheter; and a shock wave pressure outputted embedding nanoparticles (22) into a surface of a workpiece (25). The apparatus comprises the high pressure-resistant glass pipe (21) having a zigzagging switchback shape or a spiral, inverted cone shape.

[见续页]



CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ,

BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(57) **摘要:**

一种利用激光诱导的等离子体连续爆炸产生强冲击波在金属表面获得纳米涂层的方法与装置。方法包括用激光照射管道内布置有黑漆条带的耐高压玻璃管道(21)上端口的黑漆表面,黑漆吸收激光能量产生等离子体,形成初始等离子体爆轰冲击波(4),在耐高压玻璃管道中传播,形成等离子云到达玻璃导管下端口,输出的冲击波压力将纳米颗粒(22)嵌入工件(25)表面。装置包括呈蛇形折返形式或螺旋倒锥形的耐高压玻璃管道(21)。

说明书

发明名称：激光诱导连续爆轰冲击波作用获得纳米涂层方法及装置

技术领域

- [1] 本发明涉及激光技术和表面强化技术领域，特指一种通过激光诱导的连续爆轰强冲击波的作用实现金属表面纳米化的方法与装置。

背景技术

- [2] 材料的各种破坏往往起于其表面，如腐蚀、磨损、氧化、疲劳破坏等，表层材料的结构、特性对材料的综合性能的影响颇深。在材料的表面制备出一定厚度的纳米结构表层，可以提高材料的整体力学性能和环境服役行为。在金属表面获得纳米结构表层主要由三种途径：表面涂敷或沉积法、表面自身纳米化和混合纳米化方法。
- [3] 对于表面涂敷或沉积法，是将制备出的具有纳米尺度的颗粒固结在材料的表面，在基体材料表面形成一个化学成分相同或不同的纳米结构表层。目前，常见的涂敷和沉积方法有物理气相沉积（PVD）、化学气相沉积（CVD）、溅射、电镀和电解沉积等，这些技术的重点在于实现表层纳米颗粒与基体间的牢固结合。东华大学申请的专利号CN100362128C——大气压平面放电化学气相沉积纳米颗粒膜方法及装置的发明专利，使用大气压平面放电方法在各种材料表面均匀地沉积具有相同成分并且具有一定结晶特征的纳米颗粒膜，但该方法的缺点是基材温度较高，沉积速率较低，基材难以局部沉积，过程中会生成有害气体。吉林大学申请的专利CN101298677——镁合金表面耐磨耐腐蚀纳米复合镀层的制备方法，其将经过化学镀的镁合金试样放进纳米复合镀液中，进行电沉积纳米复合镀，制备镁合金表面纳米复合镀层，但其镀层厚度不够均匀，且工艺过程较复杂，需要配备多种化学溶液，不够清洁。
- [4] 常规激光冲击利用高功率密度、短脉冲强激光冲击金属表面，金属表面涂层吸收激光能量而气化、电离、膨胀爆炸，形成向金属内部传播的等离子体冲击波，但是一般工艺产生的冲击力不足以使纳米颗粒嵌入到金属表层。

对发明的公开

技术问题

- [5] 本发明提出的获得纳米涂层的方法，可以克服上述缺点，简单、快速获得纳米结构涂层且效果好、污染小。本发明利用高功率密度短脉冲强激光诱导的连续爆轰冲击波将纳米粉末颗粒嵌入到金属材料的表层，使其产生致密的纳米保护层，提高材料的抗腐蚀性、耐磨损性、抗氧化性及其疲劳寿命。相对于常规激光冲击强化工艺，本方法中设计的耐高压玻璃管道可使黑漆等离子体连环爆炸，极大程度地提高爆轰波的速度和大小。

技术解决方案

- [6] 本发明的设计了耐高压玻璃管道，以诱导能量吸收物质连环电离爆炸产生爆轰波，并约束爆轰波扩散衰减。耐高压玻璃管道使用K9玻璃制作，形状为蛇形折返式，其折返处为圆直角。上端口内径与脉冲激光光斑相同，因为光斑是可调的，所以耐高压管道设计成一系列规格，下端口内径比上端口内径小3mm，上端密封下端开口，厚度6mm，管道总长400mm，管道太长冲击波衰减大，管道太短连环爆轰冲击波达不到所需值。管道内壁是激光反射镜，用于反射未被能量吸收物质吸收激光，防止能量的损失，每个拐角处的反射镜面反射激光，对连环爆炸过程提供中间能量支持。管道内壁的反射镜上涂一层能量吸收物质（黑漆、铝粉等）带，保证每个折弯处涂有能量吸收物质。玻璃管道封装于矩形玻璃盒内，便于机械手夹持。
- [7] 在高功率密度、短脉冲强激光冲击到耐高压玻璃管道上端口的能量吸收涂层表面时，涂层粒子吸收高能激光的一部分能量，瞬时燃烧气化、击穿、电离，产生等离子体，等离子体受后续激光辐射，迅速积累能量，引发膨胀爆炸，形成初始等离子体爆轰冲击波，在耐高压玻璃导管中传播；产生的等离子体温度、能量都极高，迅速激发诱导临近涂层粒子发生同样的燃烧气化、电离、膨胀爆炸的过程，高能激光未被吸收的部分在耐高压玻璃管道内壁反射，反射到涂层上则气化电离涂层物质，为持续连环爆炸提供能量支持，沿着耐高压玻璃管道内壁上的能量吸收涂层条带一直重复着这样的过程，形成等离子云，爆轰冲击波不断递进重重叠加，且反应时间极短（纳秒级），冲击波衰减较小，到达下端口冲击波压力明显跃升（达到103~105GPa）。耐高压玻璃管道起到了增大冲

击波压力的作用，这个连环过程中产生的强大冲击波把纳米颗粒嵌入到合金材料表面，形成纳米颗粒涂层。在获得纳米涂层的同时，到达工件的冲击波的峰值压力高于金属材料的动态屈服极限，表层发生强塑性应变和大密度位错，在其表层产生了大幅残余压应力，有效提高材料的抗疲劳性能。

[8] 本发明的装置包括：大功率激光器，三自由度机械手，红外定位校准器，45°全反镜，聚焦透镜，工件上定位夹紧块，工件，工件夹紧装置控制器，工件侧定位夹紧块，XY轴工件支撑板，工作台，计算机，耐高压玻璃管道。计算机控制激光器、XY轴工件支撑板和三自由度机械手；机械手位于工作台上；耐高压玻璃导管由机械手夹持，玻璃导管上端密封、下端为倒锥形开口；工件夹紧装置控制器控制工件定位夹紧块的移动和施力。

[9] 用砂纸磨除工件表面的氧化层，无水酒精清洗工件表面的油污；工件安装在可沿XY轴移动的工件支撑板上夹紧；使用金属粉末粘结剂把纳米粉末均匀涂敷在工件待加工表面自然风干；用带棉花头的可卷曲橡胶带在耐高压玻璃管道的内壁和上端口的底部刷一条黑漆带，自然风干后，夹持在三自由度机械手上；打开红外定位器，水平移动机械手，使红外光射到耐高压玻璃管道上端口的黑漆上，然后移动XY轴工件支撑板，使耐高压玻璃管道的下端口对准待加工区域，再垂直移动机械手，使耐高压玻璃管道下端口距离加工表面5-15mm，最后固定工件支撑板和锁紧机械手；启动激光器，设置激光的功率密度、光斑直径、能量、脉冲宽度等参数，进行三次冲击；通过移动工件支撑板，进行不同部位的单点冲击和搭接冲击；冲击结束后，取下工件，适当打磨，最后清洗。

[10] 本发明的优点：

[11] 1，本发明使用了螺旋耐高压玻璃管道，由连环爆炸、气化、电离、冲击波传播叠加原理，可获得比一般黑漆涂层更强大的爆轰冲击波。

[12] 2，相比沉积法或电镀固结纳米粒子到基体材料的方法，本发明所使用的方法，工艺过程简单，加工速度快，可迅速把纳米粒子嵌入到基材表面。

[13] 3，本发明除了使用的黑漆没有其他的化学物质，清洁环保，是一个绿色加工方法。

[14] 4，相对其他方法，本发明方法对基体材料来说属于冷加工或近似冷加工，不

会因为高温而影响工件的一些性能。

- [15] 5, 在获得纳米涂层的同时, 冲击波的峰值压力高于金属材料的动态屈服极限, 在高应变率作用下发生强塑性应变和大密度位错, 在其表层产生了大幅残余压应力, 对抗疲劳破坏性能及其有效。

附图说明

- [16] 图1激光诱导的冲击波的形成的过程和原理图。
- [17] 图2制备表面纳米涂层的装置图。
- [18] 图3螺旋倒锥形耐高压玻璃管道示意图。
- [19] 图4螺旋倒锥形耐高压玻璃管道俯视示意图。
- [20] 图5块状工件的侧表面玻璃管道示意图。
- [21] 图中: 1 激光束, 2 内表面为激光反射镜面, 3 黑漆条带, 4 起始爆轰冲击波, 5 最终爆轰冲击波, 6 纳米粉末颗粒, 7 黑漆粒子, 8 大功率激光器, 9 三自由度机械手, 10 红外定位校准器, 11 激光束, 12 全反镜, 13 聚焦透镜, 14 工件上定位夹紧块, 15 工件, 16 工件夹紧装置控制器, 17 工件侧定位夹紧块, 18 XY轴工件支撑板, 19 工作台, 20 计算机, 21 耐高压玻璃管道, 22 预涂工件表面的纳米粉末。

本发明的实施方式

- [22] 以下为本发明的具体实施例, 但不用来限制本发明。本发明包括控制系统、导光系统、工作台控制系统和辅助系统。下面结合图详细说明本发明提出的具体装置的细节和工作情况。
- [23] 本发明关于激光连续诱导爆轰冲击波形成的过程及原理如图1所示, 高功率密度、短脉冲强激光1, 照射到耐高压玻璃管道21上端口的黑漆表面, 黑漆粒子7吸收激光能量, 瞬时气化、击穿、电离, 产生等离子体, 等离子受后续激光辐射, 迅速积累能量, 引发膨胀爆炸, 形成初始等离子体爆轰冲击波4, 在耐高压玻璃导管21中传播, 耐高压玻璃导管21为蛇形折返式, 其折返处为圆直角; 高温高能等离子体迅速激发诱导相邻黑漆粒子发生同样的瞬时气化、电离、膨胀的过程, 再次产生冲击波, 沿着黑漆条带一直重复着这样的过程, 形成等离子云, 爆轰冲击波不断递进重重叠加, 到达下端口冲击波压力5明显跃升。本过程

中反应时间极短，冲击波衰减较小，耐高压玻璃管道起到了增大冲击波压力的作用，这个连环过程中产生的强大冲击波5从下端口输出，将纳米颗粒嵌入到合金材料表面，形成纳米颗粒涂层。在获得纳米涂层的同时，到达工件的冲击波的峰值压力高于金属材料的动态屈服极限，表层发生强塑性应变和大密度位错，在其表层产生了大幅残余压应力，有效提高材料的抗疲劳性能。

- [24] 如图2用于本发明的方法获得材料表面纳米涂层的装置及其具体实施方法：使用砂纸对工件16待处理表面进行除锈、打磨抛光，然后使用无水酒精对工件除油、清洗；把工件安装在可沿XY轴移动的工件支撑板18上，夹紧；使用金属粉末粘结剂把纳米粉末22均匀涂敷在工件待加工表面，自然干燥；使用带棉花头的可卷曲橡胶带在耐高压玻璃管道的内壁和上端口的底部刷一条黑漆带，自然风干后，夹持在三自由度机械手9上；打开红外定位器10，水平移动机械手，使红外光射到耐高压玻璃管道上端口的黑漆上，然后移动XY轴工件支撑板，使耐高压玻璃管道21的下端口对准待加工区域，再垂直移动机械手，使耐高压玻璃管道下端口距离加工表面5-15mm，最后固定工件支撑板和锁紧机械手；启动激光器8，设置激光的功率密度、光斑直径、能量、脉冲宽度等参数，激发的激光11经过45°全反镜12和聚焦透镜13射到耐高压玻璃导管上端口的黑漆上，黑漆吸收激光能量在管道内发生连环气化电离，形成等离子云，强大的冲击波把纳米粒子注入到工件表层材料中，形成致密的纳米涂层，提高材料整体的抗腐蚀性、耐磨损性、抗氧化性和提高其疲劳寿命。

- [25] 实例一：把预处理好的7050铝合金工件固定夹紧在工件支撑板18上；然后使用金属粉末粘结剂把SiC纳米粉末22均匀涂敷在7050铝合金预加工表面15；在耐高压玻璃管道21的内壁和上端口的底部刷一条黑漆带，自然风干，再把耐高压玻璃管道夹持在机械手9上；打开红外定位器10，水平移动机械手，使红外光射到耐高压玻璃管道上端口的黑漆上，关闭红外定位器，然后移动XY轴工件支撑板，使耐高压玻璃管道的下端口对准待加工区域，再垂直方向移动机械手，使耐高压玻璃管道下端口距离加工表面10mm，最后固定工件支撑板和锁紧机械手；启动钕玻璃调Q激光器8，设置基本参数为：激光脉冲宽度10ns，波长是1.054 μm ，脉冲能量是45J，光斑直径是12mm。高能短脉冲激光冲击到耐高压玻璃管道上

端口的黑漆7，黑漆气化电离产生高温高能等离子体，黑漆等离子体在耐高压玻璃管道内发生连环爆炸，在下端口产生强大的爆轰波5（达到103~105GPa），将SiC纳米粒子注入7050铝合金表层。通过移动工件支撑板，多次搭接冲击来完成整个加工区域的纳米强化。

[26] 实例二：一种用于诱导连环爆炸的耐高压玻璃管道可以为如图3、4所示的螺旋倒锥形，其螺距为20mm，螺旋管内径根据激光光斑有一系列直径（6mm，8mm，10mm等），上端封口下端开口，内壁是激光反射镜，内壁上涂有黑漆能量吸收物质，激光冲击到上端口的黑漆，气化电离，管道内发生连环爆轰，形成的巨大爆轰波在下端口输出，作用到工件的加工表面。

[27] 实例三：一种用于诱导连环爆轰冲击波的耐高压玻璃导管可以为如图5的形状，能够把垂直激光束诱导的冲击波水平输出，用来加工块状工件的侧表面。管道内径跟据激光光斑直径有不同值，弯管处直径为15mm，内壁是激光反射镜面，其上涂有能量吸收材料，一端开口一端封口，内侧涂能量吸收物质的封口端接收激光照射产生等离子体，弯管处的能量吸收材料可吸收剩余激光气化电离，产生等离子体，为连环爆轰提供中间能量支持和冲击波支持。

权利要求书

[权利要求 1]

一种激光诱导连续爆轰冲击波作用获得纳米涂层方法，其特征在于，高功率密度、短脉冲强激光（1），照射到耐高压玻璃管道（21）上端口的黑漆表面，黑漆粒子（7）吸收激光能量，瞬时气化、击穿、电离，产生等离子体，等离子受后续激光辐射，迅速积累能量，引发膨胀爆炸，形成初始等离子体爆轰冲击波（4），在耐高压玻璃导管中传播；高温高能等离子体迅速激发诱导相邻黑漆粒子（7）发生同样的瞬时气化、电离、膨胀的过程，再次产生冲击波，沿着黑漆条带一直重复着这样的过程，形成等离子云，爆轰冲击波不断递进重重叠加，到达下端口冲击波压力（5）明显跃升；输出的巨大冲击波压力将预涂工件表面的纳米颗粒（22）嵌入工件（25）表面，形成纳米涂层。

[权利要求 2]

根据权利要求1所述的一种激光诱导连续爆轰冲击波作用获得纳米涂层方法，其特征在于，具体步骤为：

（A）用砂纸对工件（25）待处理表面进行除锈、打磨抛光，然后使用无水酒精对工件（25）除油、清洗；

（B）工件安装在可沿XY轴移动的工件支撑板上（18），夹紧；使用金属粉末粘结剂把纳米粉末均匀涂敷在工件（25）待加工表面，自然干燥；

（C）用带棉花头的可卷曲橡胶带在耐高压玻璃管道（21）的内壁和上端口的底部刷一条黑漆粒子带，自然风干后，夹持在三自由度机械手（9）上；

（D）打开红外定位器（10），水平移动机械手，使红外光射到耐高压玻璃管道（21）上端口的黑漆上，然后移动XY轴工件支撑板（18），使耐高压玻璃管道（21）的下端口对准待加工区域，再垂直移动机械手，使耐高压玻璃管道（21）下端口距离加工表面3-5mm，固定工件支撑板并锁紧机械手；

（E）启动激光器（8），设置激光的功率密度、光斑直径、能量

、脉冲宽度参数，进行三次冲击；通过移动工件支撑板，可进行不同部位的单点冲击和搭接冲击；冲击结束后，取下工件（15），适当打磨，最后清洗。

[权利要求 3] 实施权利要求1所述的一种激光诱导连续爆轰冲击波作用获得纳米涂层方法的装置，其特征在于：包括大功率激光器（8），三自由度机械手（9），红外定位校准器（10），45°全反镜（12），聚焦透镜（13），工件上定位夹紧块（14），工件（15），工件夹紧装置控制器（16），工件侧定位夹紧块（17），XY轴工件支撑板（18），工作台（19），计算机（20），耐高压玻璃管道（21）；计算机（20）实时控制激光器、XY轴工件支撑板（18）和三自由度机械手（9）；机械手位于工作台（19）上；耐高压玻璃导管由机械手夹持，玻璃导管上端密封下端为倒锥形开口；工件夹紧装置控制器（16）控制工件定位夹紧块（14）的移动和施力。

[权利要求 4] 根据权利要求3所述的一种激光诱导连续爆轰冲击波作用获得纳米涂层装置，其特征在于：所述耐高压玻璃导管上端密封下端为倒锥形开口，下端口内径比上端口内径小3mm，厚度6mm，管道总长400mm，内壁为激光反射镜面，在其内壁上刷一层能量吸收物质，诱导的等离子体在导管内部发生连环爆炸。

[权利要求 5] 根据权利要求3所述的一种激光诱导连续爆轰冲击波作用获得纳米涂层装置，其特征在于：所述耐高压玻璃导管为蛇形折返式，其折返处为圆直角。

[权利要求 6] 根据权利要求3所述的一种激光诱导连续爆轰冲击波作用获得纳米涂层装置，其特征在于：所述耐高压玻璃导管为螺旋倒锥形，其螺距为20mm。

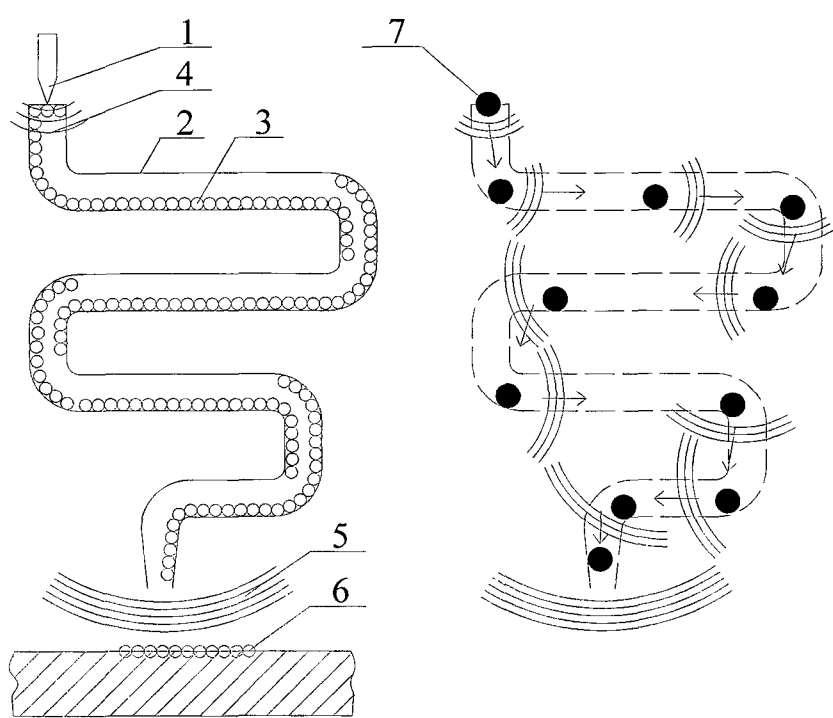


图 1

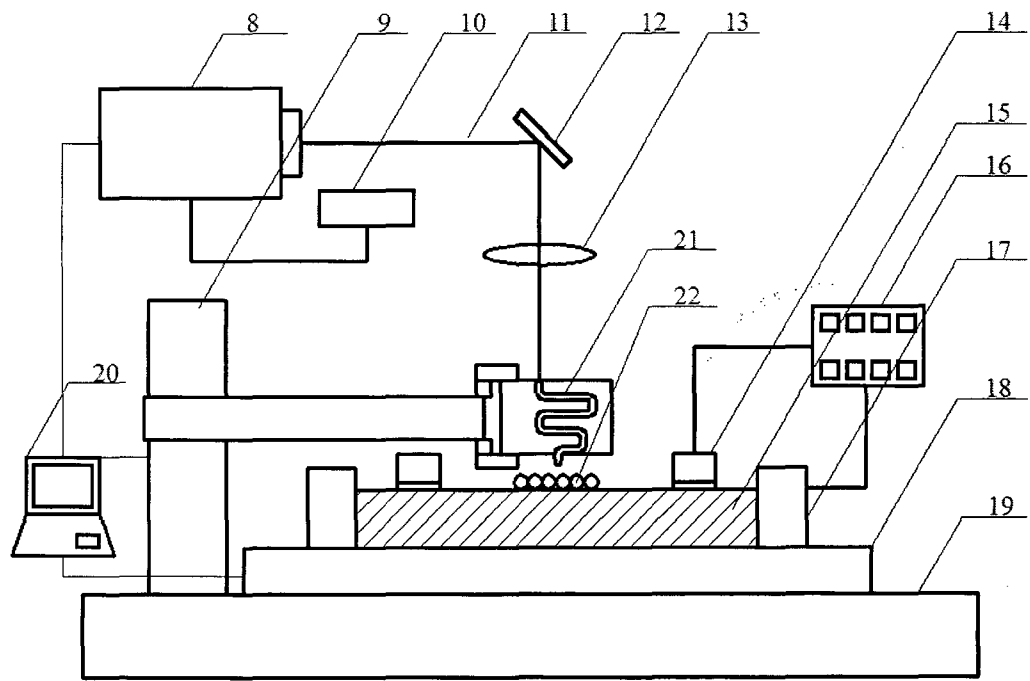


图 2

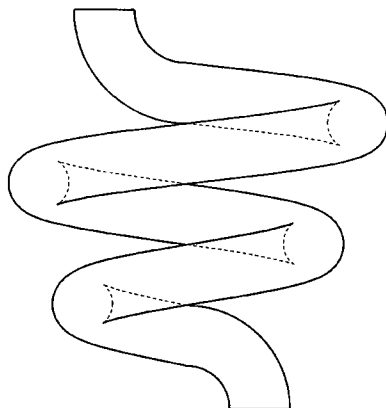


图 3

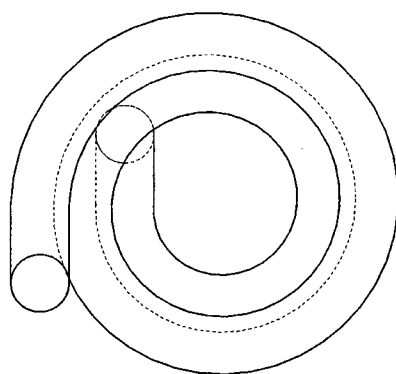


图 4

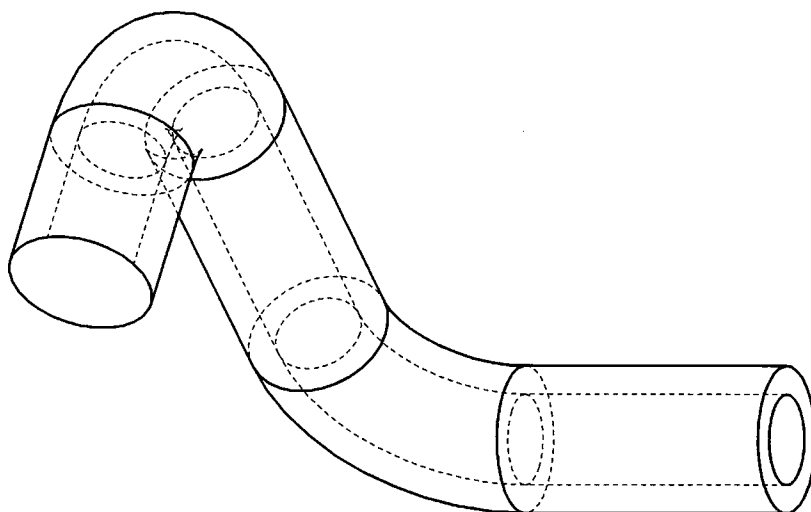


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2011/077734

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23C 24/04 (2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: C23C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: surface, nanocrystalliz+, laser, shock, peening, particle, nano+, paint, lacquer, deliver, feed, supply, tube, pipe, conduit

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US6713716 B1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 30 Mar. 2004 (30.03.2004) claims 1-3 and 7, column 3, line 48 to column 4, line 23, fig. 1	1-6
A	US3756344 A (CORNELL AERONAUTICAL LABORATORY) 04 Sep. 1973(04.09.1973) the whole document	1-6
A	CN101787528 A (JIANGSU UNIVERSITY) 28 Jul. 2010 (28.07.2010) claims 1-10, fig. 1	1-6
A	CN101736214 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 16 Jun. 2010 (16.06.2010) claim 1, fig. 1	1-6
A	JP2006320907 A (KUTSUNA MUNEHARU et al.), 30 Nov. 2006 (30.11.2006), the whole document	1-6
A	US2006006158 A1(GENERAL ELECTRIC CO et al), 12 Jan. 2006(12.01.2006) the whole document	1-6

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&"document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 10 Feb. 2012 (10.02.2012)	Date of mailing of the international search report 08 Mar. 2012 (08.03.2012)
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10)62019451	Authorized officer LI, Jiagang Telephone No. (86-10) 62084094

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2011/077734

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US6713716 B1	2004-03-30	EP1481753 A1	2004-12-01
		EP1481753 B1	2011-08-03
		JP2004360072 A	2004-12-24
		JP4656861 B2	2011-03-23
		CN1572891 A	2005-02-02
		CN100406586 C	2008-07-30
US3756344 A	1973-09-04	NONE	
CN101787528 A	2010-07-28	NONE	
CN101736214 A	2010-06-16	NONE	
JP2006320907 A	2006-11-30	NONE	
US2006006158 A1	2006-01-12	CN1727501 A	2006-02-01
		CN1727501 B	2010-06-23
		JP2006075902 A	2006-03-23

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2011/077734

A. 主题的分类

C23C 24/04 (2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: C23C

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNKI, CNPAT, WPI, EPODOC: 表面, 表皮, 纳米化, 激光, 冲击, 管, surface, nanocrystalliz+, laser, shock, peening, particle, nano+, paint, lacquer, deliver, feed, supply, tube, pipe, conduit

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	US6713716 B1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 30.3 月 2004 (30.03.2004) 权利要求 1-3 和 7, 第 3 栏 48 行至第 4 栏 23 行, 图 1	1-6
A	US3756344 A (CORNELL AERONAUTICAL LABORATORY) 04.9 月 1973(04.09.1973) 全文	1-6
A	CN101787528 A (江苏大学) 28.7 月 2010 (28.07.2010) 权利要求 1-10, 图 1	1-6
A	CN101736214 A (清华大学) 16.6 月 2010 (16.06.2010) 权利要求 1, 图 1	1-6
A	JP2006320907 A (KUTSUNA MUNEHARU 等), 30.11 月 2006 (30.11.2006), 全文	1-6
A	US2006006158 A1(GENERAL ELECTRIC CO 等), 12.1 月 2006(12.01.2006), 全文	1-6

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

10.2 月 2012 (10.02.2012)

国际检索报告邮寄日期

08.3 月 2012 (08.03.2012)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:

中华人民共和国国家知识产权局

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088

传真号: (86-10)62019451

授权官员

李家刚

电话号码: (86-10) **62084094**

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2011/077734

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
US6713716 B1	2004-03-30	EP1481753 A1	2004-12-01
		EP1481753 B1	2011-08-03
		JP2004360072 A	2004-12-24
		JP4656861 B2	2011-03-23
		CN1572891 A	2005-02-02
		CN100406586 C	2008-07-30
US3756344 A	1973-09-04	无	
CN101787528 A	2010-07-28	无	
CN101736214 A	2010-06-16	无	
JP2006320907 A	2006-11-30	无	
US2006006158 A1	2006-01-12	CN1727501 A	2006-02-01
		CN1727501 B	2010-06-23
		JP2006075902 A	2006-03-23