



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114959533 A

(43) 申请公布日 2022.08.30

(21) 申请号 202210708787.1

(22) 申请日 2022.06.22

(71) 申请人 沈阳工业大学

地址 110870 辽宁省沈阳市沈阳经济技术
开发区沈辽西路111号

(72) 发明人 刘伟军 于兴福 扈晨阳 苏勇
赵文增 孙玉凤 魏英华 郝天赐
郑冬月 刘贵胜 赵鑫 王全振

(74) 专利代理机构 沈阳亚泰专利商标代理有限
公司 21107

专利代理师 马维骏

(51) Int. Cl.

G22F 3/00 (2006.01)

G22F 1/18 (2006.01)

G22F 1/02 (2006.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法

(57) 摘要

本发明属于激光加工领域,涉及一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法。本发明采用的激光能量参数为3-8J,吸收保护层为黑胶带、黑漆或铝箔。本发明针对在采用脉冲激光能量对钛合金材料表面进行激光冲击强化处理后,使钛合金表面形成了压应力层,提高了疲劳性能。当使用黑胶带做吸收层时可以进行微抛处理以及反复更换胶带,以达到在强化材料力学性能的同时对其表面状态损伤最小化。



1. 一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、对钛合金材料进行双重退火热处理,并对热处理后的材料表面进行光洁处理;

步骤二、激光冲击强化前对材料表面进行清洁处理;

步骤三、在清洁后的光洁表面涂覆吸收层;

步骤四、将涂覆好吸收层材料的试件装夹在机械手上,遥控机械手使试件进入激光器冲击路径初始位置;

步骤五、打开激光器,使激光器光斑定位在冲击路径初始位置;

步骤六、打开水路机器人,调整出水口位置使其喷出的水恰好能够在材料表面形成均匀约束层;

步骤七、进入操控端激光冲击强化程序,确定各部机器人链接通畅,导入仿真路径,进行激光冲击强化;

步骤八:对冲击强化后的试件进行微抛处理。

2. 如权利要求1所述的一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,其特征在于,所述步骤一中对钛合金材料进行双重退火处理为运用真空炉加热到900-980℃,保温1-2h,然后运用氩气使其快速降温到500-600℃,保温2-6h,气冷至室温取出试件。

3. 如权利要求1所述的一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,其特征在于,所述步骤二中激光冲击强化前使用超声波清洗机清洗,再使用无水乙醇溶液进行清洁处理。

4. 如权利要求1所述的一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,其特征在于,所述步骤三中涂覆吸收层时避免表面产生空隙及气泡,吸收层为黑胶带、铝箔或者黑漆中的任意一种或者铝箔和黑漆组合使用,保证其厚度为0.08-0.15mm即可。

5. 如权利要求1所述的一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,其特征在于,所述步骤四中在装夹试件时,冲击区域的中心位置与法兰盘中心位置对齐;遥控机械手到激光冲击路径初始位置时,使试件冲击表面距离光路出口1m距离,以保证光斑大小的准确性。

6. 如权利要求1所述的一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,其特征在于,所述步骤五中分级打开激光器关闸,激光器能量用3-8J,脉宽为15-21ns。

7. 如权利要求1所述的一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,其特征在于,所述步骤六中水路机器人在开始出水前应给予一个高压强使水流运动,随后减小水压,调整出水口与试件表面的距离与角度,使水冲击在试件表面时产生均匀的水膜,调整水膜厚度范围为1-2mm。

8. 如权利要求7所述的一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,其特征在于,由于冲击试件有不同的工作需求,在调整水路机械手时需要进行多个位置的设定。

9. 如权利要求1所述的一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化

方法,其特征在于,所述步骤七中在激光冲击强化光斑中设置搭接率为30%-50%,方斑大小3.5mm-4.5mm。

10.如权利要求1所述的一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,其特征在于,所述步骤八中使用600目-7000目砂纸对冲击后材料表面进行10-20min的精细研磨,从而可以在一定程度上减少压应力层损失的前提下,保证表面的光洁度。

一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法

技术领域

[0001] 本发明属于激光加工领域,涉及一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法。

背景技术

[0002] 钛合金是具有耐腐蚀,比强度高优点,当下主要应用在制造航空发动机与飞机机体。并且由于航空技术的不断发展,飞机的发动机其性能要求越来越高。但是在实际的工作运用当中外物打伤成为了发动机的一大致命损伤。在飞机工作当中,发动机叶片会被高速气流带来的沙石损伤叶片表面,从而使凹陷及微裂纹产生,这些凹陷及微裂纹会降低叶片的疲劳寿命。运用激光冲击强化技术对材料表面进行冲击强化,能够在材料表面产生残余压应力层,这层压应力层能够有效的抑制裂纹的产生,从而提高材料的疲劳寿命。

[0003] 激光冲击强化技术本质上是一种表面改性技术,能够通过激光能量对材料表面进行冲击,当激光能量束通过水约束层,冲击到吸收层时,高能、高约束的能量会把吸收层瞬间气化,产生大量的高能粒子作用到材料的表面。这些高能粒子对材料表面产生冲击,进而在其表面产生冲击压力波,形成残余压应力,对材料进行表面的改性。

发明内容

[0004] 针对上述问题,本发明的目的是提供一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,提高激光冲击强化后材料表面光洁度、表面压应力层深度、旋转弯曲疲劳极限以及表面的硬度。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明具体提供以下述技术方案。

[0006] 一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,包括以下步骤:

步骤一、对钛合金材料进行双重退火热处理,并对热处理后的材料表面进行光洁处理;

步骤二、激光冲击强化前对材料表面进行清洁处理;

步骤三、在清洁后的光洁表面涂覆吸收层;

步骤四、将涂覆好吸收层材料的试件装夹在机械手上,遥控其机械手使试件进入激光器冲击路径初始位置;

步骤五、打开激光器,使激光器光斑定位在冲击路径初始位置;

步骤六、打开水路机器人,调整出水口位置使其喷出的水恰好能够在材料表面形成均匀约束层;

步骤七、进入操控端激光冲击强化程序,确定各部机器人链接通畅,导入仿真路径,进行激光冲击强化;

步骤八:对冲击强化后的试件进行微抛处理。

[0007] 进一步地,所述步骤一中对钛合金材料进行双重退火处理为运用真空炉加热到900-980℃,保温1-2h,然后运用氩气使其快速降温到500-600℃,保温2-6h,气冷至室温取出试件。

[0008] 进一步地,所述步骤三中涂覆的吸收层可为黑胶带、铝箔或者黑漆中任意一种,其厚度为0.08-0.15mm。涂覆吸收层时应注意表面产生空隙气泡,且铝箔和黑漆可以组合使用,保证其厚度在0.08-0.15mm之间。

[0009] 进一步地,所述步骤四中在装夹试件时,冲击区域的中心位置要与法兰盘中心位置对其;遥控机械手到激光冲击路径初始位置时,要使试件冲击表面距离光路出口1m距离,以保证光斑大小的准确性。

[0010] 进一步地,所述步骤五中应该分级打开激光器关闸,激光器能量可选用3-8J脉宽可为15-21ns。

[0011] 进一步地,所述步骤六中水路机器人在开始出水前应给予一个高压强使水流运动,随后减小水压,调整出水口与试件表面的距离与角度,使水冲击在试件表面时产生均匀的水膜,调整水膜厚度为1-2mm。

[0012] 进一步的,由于冲击试件有不同的工作需求,在调整水路机械手时需要进行多个位置的设定。

[0013] 进一步地,所述步骤七中在仿真路径中可设置搭接率为30%-50%,方斑大小为3.5mm-4.5mm。

[0014] 进一步地,在冲击强化后对材料表面可进行微抛处理,使用600目砂纸对冲击后材料表面进行10-20min的精细研磨,在使用600目砂纸研磨后测量表面研磨量为25-35 μ m,再用1000目-7000目砂纸依次对材料表面进行微抛处理,从而可以在一定程度上减少压应力层损失的前提下,保证表面的光洁度。

[0015] 与现有技术相比,本发明的有益效果为。

[0016] 1、在热处理原材料时使用惰性气体氩气,避免了空气与试件的直接接触,并未产生过厚的氧化物。并且在涂覆吸收层时,减少空气及气泡的产生,能够进一步的减小冲击后的表面粗糙度。当试件冲击面与激光出口距离为1m时,能够充分的在材料表面形成残余压应力层的同时减少多于激光能量对材料表面的损伤。在调节喷水机器人时,设置多个其与试件表面的相对距离位置,在冲击开始时能够满足随时变化的工作状态。

[0017] 2、本发明专利主要针对激光冲击强化后材料表面状态的处理,以及激光冲击强化时对材料表面的防护,进而提高激光冲击强化后表面的压应力层深度,使材料的抗疲劳能力得到加强;并且材料的表面硬度强化效果明显提高。在冲击强化完成后微抛加工既能保证材料表面的光洁度,也能保证压应力层深度影响较小。

附图说明

[0018] 图1 为旋转弯曲试件尺寸示意图。

[0019] 图2 为对比例1的4J激光能量冲击后表面状态100 \times (吸收层:黑胶带)。

[0020] 图3为实施例1-2的4J激光能量冲击后表面状态100 \times (吸收层:黑胶带)。

[0021] 图4为对比例2的8J激光能量冲击后表面状态100 \times (吸收层:黑胶带)。

[0022] 图5为对比例1-2的硬度及疲劳极限的变化。

[0023] 图6为实施例1-2的硬度及疲劳极限的变化。

具体实施方式

[0024] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0025] 一种提升钛合金表面压应力层深度和疲劳性能的激光冲击强化方法,包括以下步骤:

步骤一、对钛合金材料进行双重退火热处理,即运用真空炉将试件加热900-980℃,保温1-2h,然后运用氩气使其快速降温到500-600℃,保温2-6h,气冷至室温取出试件。试件取出后表面会生成一层氧化膜,需要用240目的砂纸进行粗磨后,再分别用600目、1000目以及2000目的砂纸进行细磨,最后使用5W的氧化铝溶液以及2.5w的金刚石研磨膏对试件表面进行抛光处理。

[0026] 步骤二、激光冲击强化前应将抛光处理后的试件放入超声波清洗机中对其进行5min的清洗,随后取出,在涂覆吸收层前使用无水乙醇溶液对试件冲击表面进行清洁处理。

[0027] 步骤三、在清洁后的光洁表面涂覆吸收层,吸收层材料可选用黑胶带、铝箔或者黑漆,厚度可选用0.1mm。涂覆吸收层时应避免产生空隙及气泡,且铝箔和黑漆可以组合使用,保证其厚度在0.08-0.15mm之间。

[0028] 步骤四、将涂覆好吸收层材料的试件装夹在机械手上,在装夹试件时,冲击区域的中心位置要与法兰盘中心位置对齐。遥控其机械手使试件进入激光器冲击路径初始位置,要注意试件冲击表面距离光路出口1m距离,以保证光斑大小的准确性。

[0029] 步骤五、打开激光器,完成激光器的初始化运动,可设定激光工艺参数,3-8J的脉冲激光能量对试件表面进行冲击,脉宽可调为15-21ns。

[0030] 步骤六、打开水路机器人,在开始出水前应给予一个高压强使水流运动,随后减小水压,调整出水口与试件表面的距离与角度,使水冲击在试件表面时产生均匀的水膜,调整水膜厚度为1-2mm。由于冲击试件时有不同的工作需求,在调整水路机械手时需要进行多个位置的设定。

[0031] 步骤七、进入操控端激光冲击强化程序,确定各部机器人链接通畅,在激光冲击强化光斑中,可设置搭接率为30%-50%,方斑大小为3.5mm-4.5mm,进行激光冲击强化。

[0032] 步骤八、在冲击强化后对材料表面可进行微抛处理,使用600目砂纸对冲击后材料表面进行10-20min的精细研磨,在使用600目砂纸研磨后测量表面研磨量为25μm后,再用2000目、5000目、7000目进行砂纸依次对材料表面进行微抛处理,从而可以在一定程度上减少压应力层损失的前提下,保证表面的光洁度。

[0033] 冲击试样为20×20×5mm的矩形试样,用于观察表面的光洁度以及测量残余压应力层深度、表面硬度和如附图1所示的旋转弯曲疲劳试件。

[0034] 实施例1。

[0035] 步骤一、对TC11钛合金材料进行双重退火热处理,即运用真空炉将试件加热到950℃,保温1h,然后运用氩气使其快速降温到530℃,保温6h,气冷至室温取出试件。试件取出后表面会生成一层氧化膜,需要用240目的砂纸进行粗磨后,再分别用600目、1000目以及

2000目的砂纸进行细磨,最后使用5W的氧化铝溶液以及2.5w的金刚石研磨膏对试件表面进行抛光处理。

[0036] 步骤二、激光冲击强化前应将抛光处理后的试件放入超声波清洗机中对其进行5min的清洗,随后取出,在涂覆吸收层前使用无水乙醇溶液对试件冲击表面进行清洁处理。

[0037] 步骤三、选用黑胶带为吸收层,厚度0.1mm。

[0038] 步骤四、将涂覆好吸收层材料的试件装夹在机械手上,在装夹试件时,冲击区域的中心位置要与法兰盘中心位置对齐。遥控其机械手使试件进入激光器冲击路径初始位置,要注意试件冲击表面距离光路出口1m距离,以保证光斑大小的准确性。

[0039] 步骤五、打开激光器,完成激光器的初始化运动,选用4J的脉冲激光能量对试件表面进行冲击,脉宽为19ns。

[0040] 步骤六、打开水路机器人,在开始出水前应给予一个高压强使水流运动,随后调整水压至20Pa,如果冲击试件为旋弯试件狭小曲面可将水压调制18Pa,调整出水口与试件表面的距离与角度,使水冲击在试件表面时产生均匀的水膜,调整水膜厚度为1mm。由于冲击试件时有不同的工作需求,在调整水路机械手时需要进行多个位置的设定。

[0041] 步骤七、进入操控端激光冲击强化程序,确定各部机器人链接通畅,导入仿真路径,设置搭接率为50%,方斑大小为4mm,进行激光冲击强化。

[0042] 步骤八、在冲击强化后对材料表面可进行微抛处理,使用600目砂纸对冲击后材料表面进行10-20min的精细研磨,待表面研磨量在25 μ m时,再用2000目、5000目、7000目进行砂纸依次对材料表面进行微抛处理,从而可以在一定程度上减少压应力层损失的前提下,保证表面的光洁度。

[0043] 采用显微硬度计测得激光冲击强化后TC11钛合金的维氏硬度提高了46HV。其表面残余压应力深度为1.2mm。采用旋转弯曲疲劳试验机测得激光冲击强化后TC11钛合金的旋转弯曲疲劳极限由原来的490MPa提升为640MPa,如附图6所示,此时材料表面的光洁度较高,如附图3所示,与未微抛前相比提升明显。

[0044] 实施例2。

[0045] 步骤一、对TC11钛合金材料进行双重退火热处理,即运用真空炉将试件加热到950 $^{\circ}$ C,保温1h,然后运用氩气使其快速降温到530 $^{\circ}$ C,保温6h,气冷至室温取出试件。试件取出后表面会生成一层氧化膜,需要用240目的砂纸进行粗磨后,再分别用600目、1000目以及2000目的砂纸进行细磨,最后使用5W的氧化铝溶液以及2.5w的金刚石研磨膏对试件表面进行抛光处理。

[0046] 步骤二、激光冲击强化前应将抛光处理后的试件放入超声波清洗机中对其进行5min的清洗,随后取出,在涂覆吸收层前使用无水乙醇溶液对试件冲击表面进行清洁处理。

[0047] 步骤三、选用黑胶带为吸收层,厚度0.1mm。

[0048] 步骤四、将涂覆好吸收层材料的试件装夹在机械手上,在装夹试件时,冲击区域的中心位置要与法兰盘中心位置对齐。遥控其机械手使试件进入激光器冲击路径初始位置,要注意试件冲击表面距离光路出口1m距离,以保证光斑大小的准确性。

[0049] 步骤五、打开激光器,完成激光器的初始化运动,选用8J的脉冲激光能量对试件表面进行冲击,脉宽为19ns。

[0050] 步骤六、打开水路机器人,在开始出水前应给予一个高压强使水流运动,随后调整

水压至20Pa,如果冲击试件为旋弯试件狭小曲面可将水压调制18Pa,调整出水口与试件表面的距离与角度,使水冲击在试件表面时产生均匀的水膜,调整水膜厚度为1mm。由于冲击试件时有不同的工作需求,在调整水路机械手时需要进行多个位置的设定。

[0051] 步骤七、进入操控端激光冲击强化程序,确定各部机器人链接通畅,导入仿真路径,设置搭接率为50%,方斑大小为4mm,进行激光冲击强化。

[0052] 步骤八、在冲击强化后对材料表面可进行微抛处理,使用600目砂纸对冲击后材料表面进行10-20min的精细研磨,待表面研磨量在25 μ m左右时,再用2000目、5000目、7000目进行砂纸依次对材料表面进行微抛处理,从而可以在一定程度上减少压应力层损失的前提下,保证表面的光洁度。

[0053] 采用显微硬度计测得激光冲击强化后TC11钛合金的维氏硬度提高了74HV。其表面残余压应力深度为1.6mm。采用旋转弯曲疲劳试验机测得激光冲击强化后TC11钛合金的旋转弯曲疲劳极限由原来的490MPa提升为600MPa,如附图6所示,此时材料表面的光洁度较高,如附图3所示,与未微抛前相比提升明显。

[0054] 对比例1。

[0055] 步骤一、对TC11钛合金材料进行双重退火热处理,即运用真空炉将试件加热到950 $^{\circ}$ C,保温1h,然后运用氩气使其快速降温到530 $^{\circ}$ C,保温6h,气冷至室温取出试件。试件取出后表面会生成一层氧化膜,需要用240目的砂纸进行粗磨后,再分别用600目、1000目以及2000目的砂纸进行细磨,最后使用2.5w的金刚石研磨膏对试件表面进行抛光处理。

[0056] 步骤二、激光冲击强化前在涂覆吸收层时使用无水乙醇溶液对试件冲击表面进行清洁处理。

[0057] 步骤三、选用黑胶带为吸收层,厚度0.1mm。

[0058] 步骤四、将涂覆好吸收层材料的试件装夹在机械手上,然后遥控其机械手使试件进入激光器冲击路径初始位置,要注意试件冲击表面距离光路出口1m距离,以保证光斑大小的准确性。

[0059] 步骤五、打开激光器,完成激光器的初始化运动,选用4J的脉冲激光能量对试件表面进行冲击,脉宽为19ns。

[0060] 步骤六、打开水路机器人,调整出水口与试件表面的距离与角度,使水冲击在试件表面时产生均匀的水膜,调整水膜厚度为1mm。

[0061] 步骤七、进入操控端激光冲击强化程序,确定各部机器人链接通畅,导入仿真路径,设置搭接率为30%,方斑大小为4mm的方斑,进行激光冲击强化。

[0062] 采用显微硬度计测得激光冲击强化后TC11钛合金的维氏硬度分别提高了35HV。其表面残余压应力深度为1.2mm。采用旋转弯曲疲劳试验机测得激光冲击强化后TC11钛合金的旋转弯曲疲劳极限由原来的490MPa分别提升为600MPa,如附图5所示。但此时材料表面的光洁度较差,如附图2所示。

[0063] 对比例2。

[0064] 步骤一、对TC11钛合金材料进行双重退火热处理,即运用真空炉将试件加热到950 $^{\circ}$ C,保温1h,然后运用氩气使其快速降温到530 $^{\circ}$ C,保温6h,气冷至室温取出试件。试件取出后表面会生成一层氧化膜,需要用240目的砂纸进行粗磨后,再分别用600目、1000目以及2000目的砂纸进行细磨,最后使用2.5w的金刚石研磨膏对试件表面进行抛光处理。

[0065] 步骤二、激光冲击强化前在涂覆吸收层时使用无水乙醇溶液对试件冲击表面进行清洁处理。

[0066] 步骤三、选用黑胶带为吸收层,厚度0.1mm。

[0067] 步骤四、将涂覆好吸收层材料的试件装夹在机械手上,然后遥控其机械手使试件进入激光器冲击路径初始位置,要注意试件冲击表面距离光路出口1m距离,以保证光斑大小的准确性。

[0068] 步骤五、打开激光器,完成激光器的初始化运动,选用8J的脉冲激光能量对试件表面进行冲击,脉宽为19ns。

[0069] 步骤六、打开水路机器人,调整出水口与试件表面的距离与角度,使水冲击在试件表面时产生均匀的水膜,调整水膜厚度为1mm。

[0070] 步骤七、进入操控端激光冲击强化程序,确定各部机器人链接通畅,导入仿真路径,设置搭接率为30%,方斑大小为4mm的方斑,进行激光冲击强化。

[0071] 采用显微硬度计测得激光冲击强化后TC11钛合金的维氏硬度提高了64HV。其表面残余压应力深度为1.6mm。采用旋转弯曲疲劳试验机测得激光冲击强化后TC11钛合金的旋转弯曲疲劳极限由原来的490MPa分别提升为560MPa,如附图5所示。但此时材料表面的光洁度较差,如附图4所示。

[0072] 通过对以上实施例可以发现,本发明对材料表面的强度、压应力深度以及旋转弯曲疲劳性能均有明显提高。

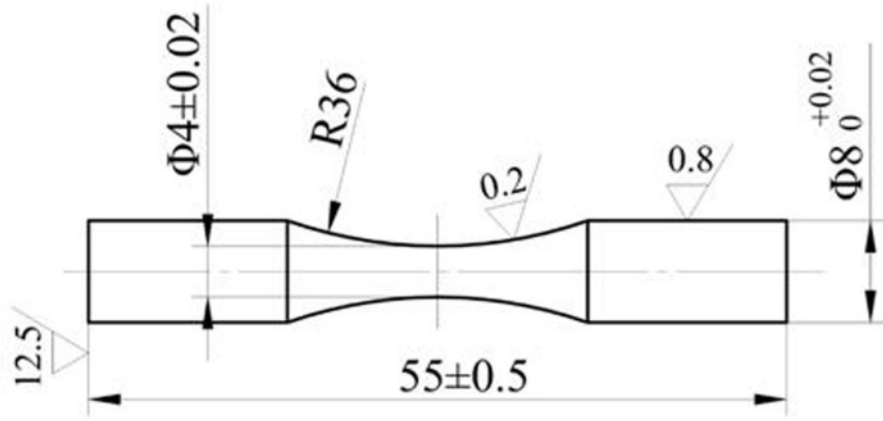


图1

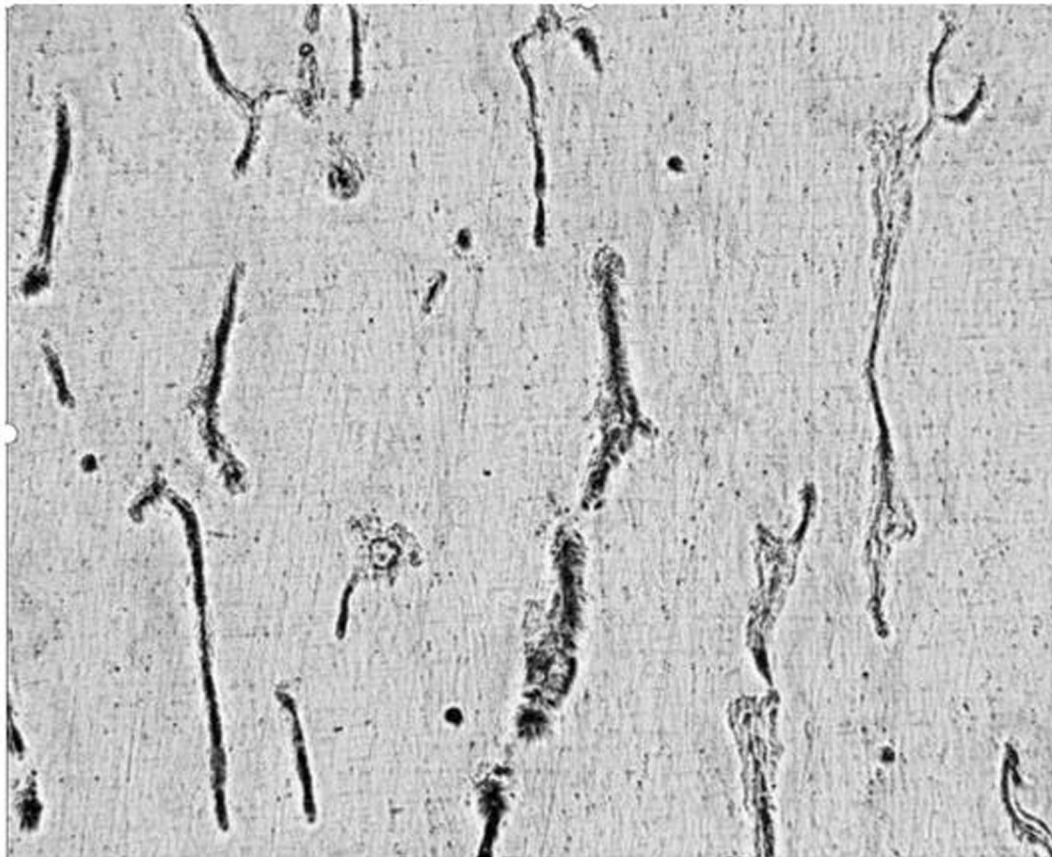


图2



图3

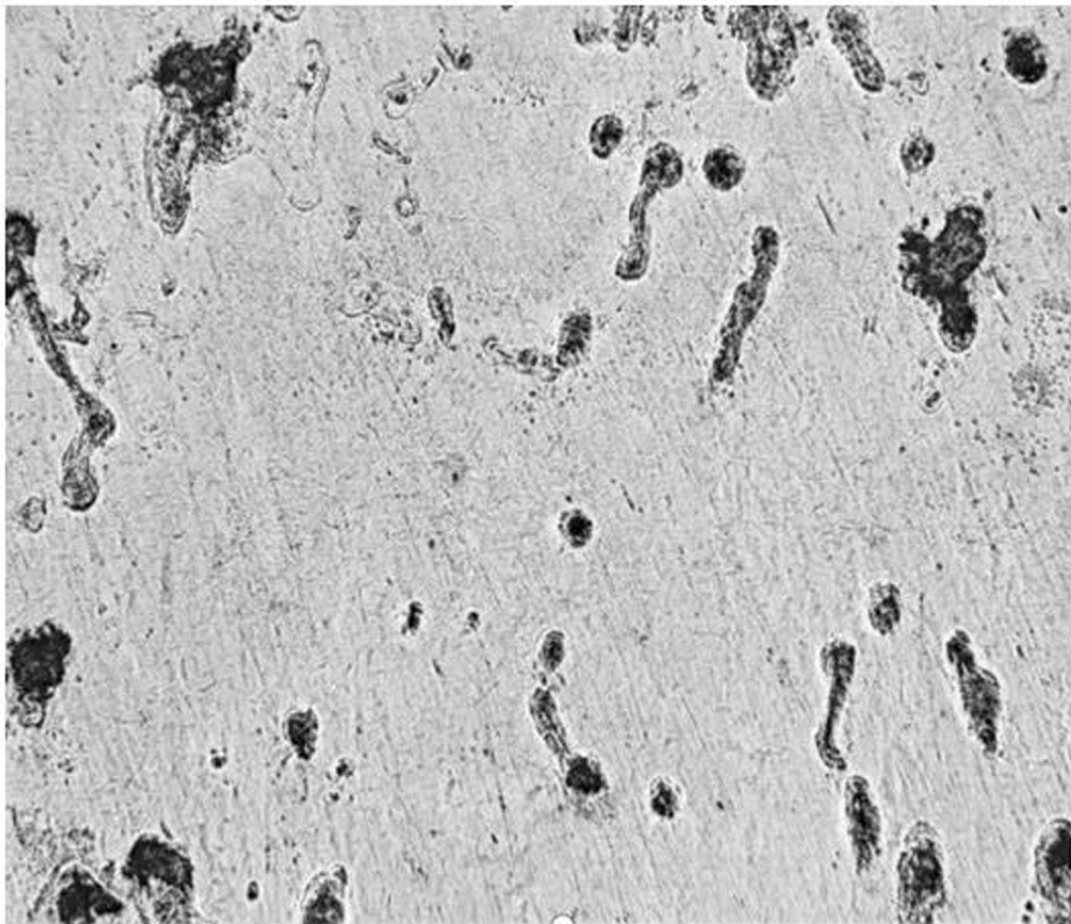


图4

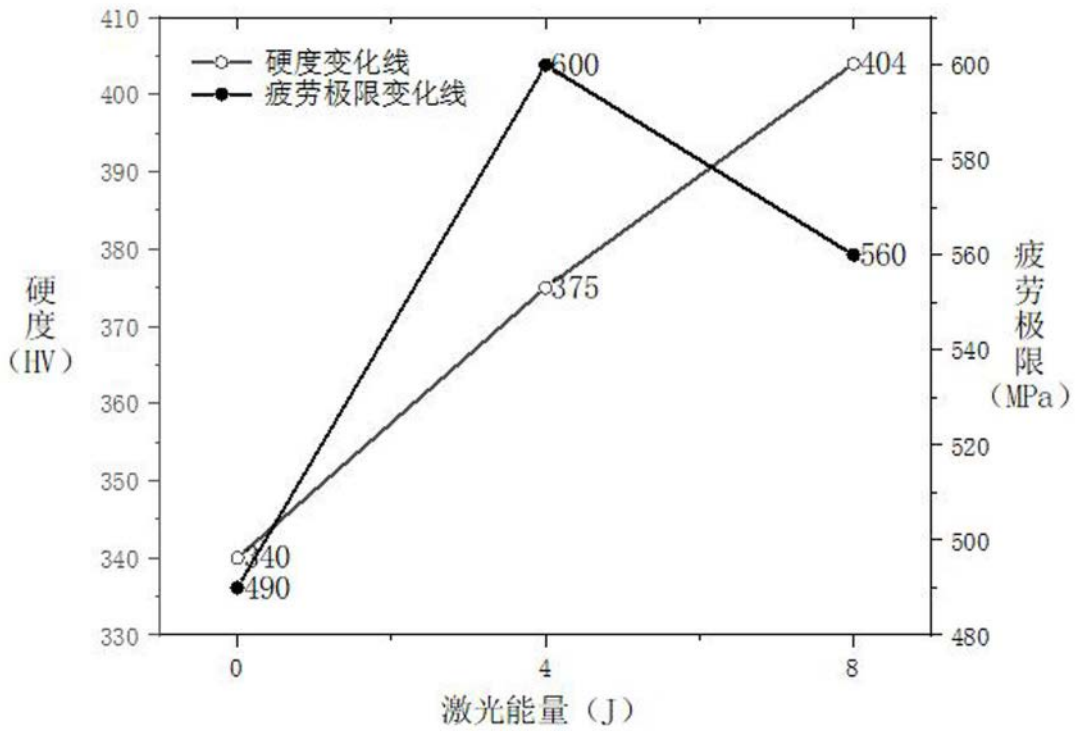


图5

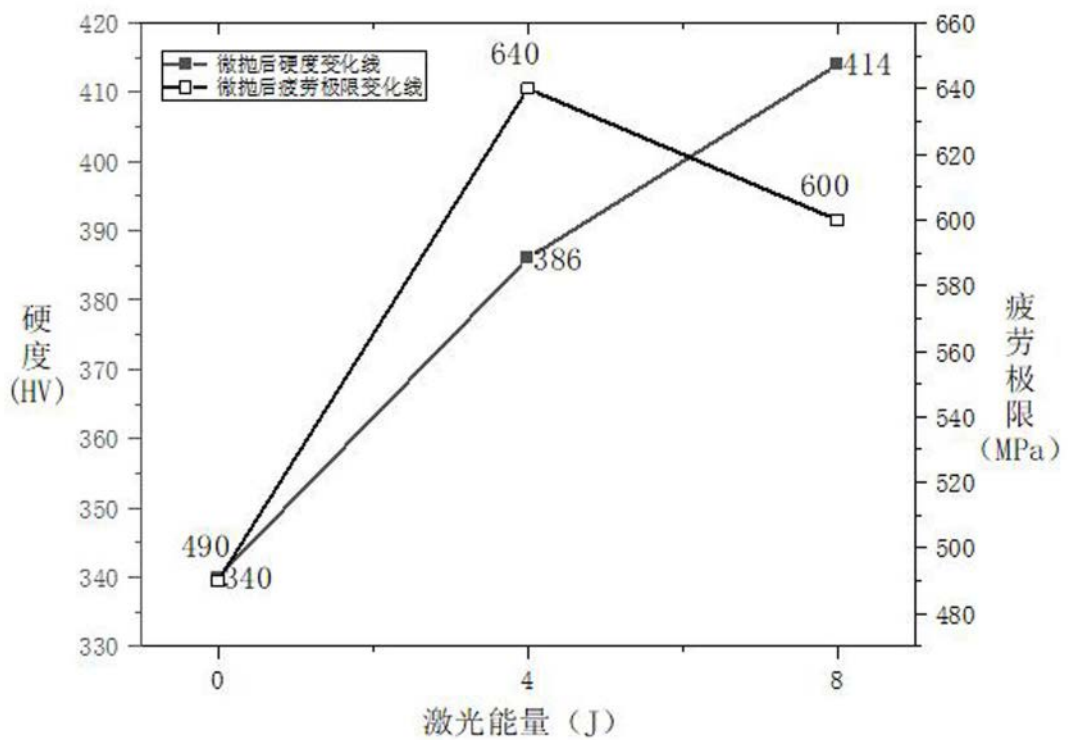


图6