



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111037101 B

(45) 授权公告日 2021.09.07

(21) 申请号 201911204312.3

(22) 申请日 2019.11.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111037101 A

(43) 申请公布日 2020.04.21

(73) 专利权人 北京卫星制造厂有限公司
地址 100190 北京市海淀区知春路63号

(72) 发明人 赵长喜 张加波 郑立彦 王磊
张开虎 张夏明 张孝辉 高泽

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心
11009

代理人 张晓飞

(51) Int.Cl.

B23P 23/04 (2006.01)

B23K 26/36 (2014.01)

(56) 对比文件

CN 107097072 A, 2017.08.29

CN 108637489 A, 2018.10.12

CN 103878496 A, 2014.06.25

CN 107363552 A, 2017.11.21

CN 103921356 A, 2014.07.16

CN 110064846 A, 2019.07.30

CN 107097072 A, 2017.08.29

JP H0724588 A, 1995.01.27

审查员 禹业晓

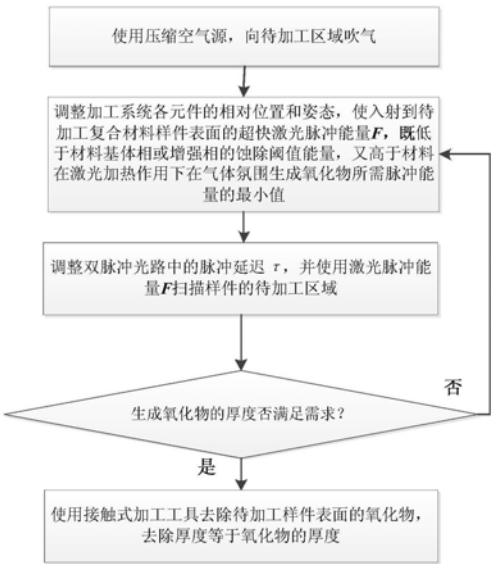
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种复合材料的高效精密加工方法

(57) 摘要

本发明一种复合材料的高效精密加工方法，通过时域整形超快激光精确调控复合材料被加热区域的厚度和被加热的程度，控制材料基体相与增强相在热作用下通过气体辅助发生化学反应而生成易加工的疏松氧化物的厚度，为后续通过切削/磨削加工直接去除疏松氧化层即可实现精密加工创造了条件，大大提升了材料的可加工性。



1. 一种复合材料的高效精密加工方法,涉及的装置包括超快激光源(1)、双脉冲光路(2)、扫描振镜(3)、压缩空气源(4),其特征在于步骤如下:

1) 使用压缩空气源(4)向待加工样件(5)的待加工区域吹气;

2) 调节超快激光源(1)输出的激光脉冲的能量,使得入射到待加工样件(5)表面的激光脉冲能量 F 满足 $F_{th} \leq F < \min(F_a, F_b)$,其中 F_a 为复合材料中基体相材料激光直接蚀除的阈值能量, F_b 为复合材料中增强相材料激光直接蚀除的阈值能量, F_{th} 为复合材料在激光作用下在空气氛围生成氧化物所需脉冲能量的最小值;

3) 调整双脉冲光路(2)中的脉冲延迟 τ ,使用步骤2)中的激光能量 F 扫描待加工样件(5)的待加工区域;计算得到氧化生成的易加工层厚度 d ;若 d 满足后续加工需求,则进入到步骤4);否则,回到步骤2)调整激光脉冲能量 F ,直到材料表层生成的易加工层厚度 d 满足需求;

4) 使用接触式加工方式去除待加工样件表面的氧化物,去除厚度为 d ;

步骤4)中所述的接触式加工方式包括:车削、铣削、磨削、钻削、超声振动车削、超声振动铣削、超声振动磨削、超声振动钻削。

2. 根据权利要求1所述的一种复合材料的高效精密加工方法,其特征在于:所述步骤3)中,计算氧化生成的易加工层厚度 $d(\tau, F)$ 的计算公式如下:

$$d(\tau, F) = -k \times \tau + d_0 \times \ln(F/F_{th})$$

式中 k 、 d_0 是常数, F_{th} 为复合材料在激光加热作用下在气体氛围生成氧化物所需脉冲能量的最小值。

3. 根据权利要求1所述的一种复合材料的高效精密加工方法,其特征在于:所述待加工样件(5)的材料为复合材料,包括陶瓷增强金属基复合材料、金刚石颗粒增强金属基复合材料、纤维增强陶瓷基复合材料、硬质合金材料。

4. 根据权利要求1所述的一种复合材料的高效精密加工方法,其特征在于:所施加激光脉冲的脉宽 t_p 范围为7fs~10ps。

5. 根据权利要求4所述的一种复合材料的高效精密加工方法,其特征在于:步骤3)所施加的双脉冲延迟 τ 的范围为0~50ps。

一种复合材料的高效精密加工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及航空航天、武器装备领域,对高体积分数金属基复合材料或陶瓷基复合材料进行复合加工,具体涉及一种利用超快激光复合机械加工的高效精密加工方法。

背景技术

[0002] 现代科学技术的迅速发展对材料性能的要求日益提高,除了优异的力学性能外,还希望材料具有某些特殊性能和良好的综合性能。以金属基复合材料、陶瓷基复合材料为代表的复合材料,是目前最先进、最有竞争力的代表性复合材料种类之一,很好地满足了这种需求,在军用和民用领域具有十分广阔的应用前景,已广泛运用于航空、航天、兵器等军事工业和民用交通运输装备中复杂载荷、复杂环境等特殊工况下的关键部件研制,有力保证和提升了装备的关键性能。其典型代表是碳化硅或金刚石颗粒增强金属基复合材料,广泛应用于电子和光学仪器高稳定结构、极高热流密度器件等重要领域。

[0003] 以金属基复合材料为例,由于这些材料的较软的金属集体中弥散着硬度极高的金刚石、碳化硅、氧化铝等增强颗粒或增强晶须,加工难度很大。尤其对于增强颗粒或增强晶须体积分数较高(45%~70%)的高体积分数金属基复合材料,材料宏观表现为硬、脆、耐磨的特性,微观表现为硬度分布不均的特性,使得加工它的刀具、磨具等工具极易磨损、钝化,表面加工质量差,烧伤、崩边、开裂、潜在裂纹时有发生,使该种材料在多个领域的应用受到局限,严重制约了金属基复合材料在航空、航天、国防先进武器等领域的应用,延缓了我国重点发展领域关键技术装备的更新换代和性能提升。

[0004] 现有加工技术的提升手段主要通过改进加工工具的相对硬度、刚度和强度等加以实现,但提升空间有限。以铝基金刚石为例,由于其中的增强相(即金刚石)已经是最硬的刀具和磨粒材料之一,因此提升加工工具硬度的方法受限。因此,为了解决复合材料(尤其是高体积分数金属基复合材料)的高效、精密加工问题,需要创造一种能提升加工工具相对(于被加工复合材料)硬度的加工条件。

发明内容

[0005] 本发明解决的技术问题是:针对目前现有技术中,金属基复合材料因为硬、脆、耐磨的增强颗粒或增强晶须存在,或陶瓷基复合材料硬脆基体的存在,导致刀具磨损严重、加工效率低、加工质量差等突出问题,以及加工工具硬度相对于被加工复合材料的硬度的提升空间有限的制约,提供一种利用时域整形超快激光复合机械加工的加工办法。

[0006] 本发明所采用的技术方案如下:一种复合材料的高效精密加工方法,涉及的装置包括超快激光源、双脉冲光路、扫描振镜、压缩空气源,步骤如下:

[0007] 1) 使用压缩空气源向待加工样件的待加工区域吹气;

[0008] 2) 调节超快激光源输出的激光脉冲的能量,使得入射到待加工样件表面的激光脉冲能量 F 满足 $F_{th} \leq F < \min(F_a, F_b)$,其中 F_a 为复合材料中基体相材料激光直接蚀除的阈值能量, F_b 为复合材料中增强相材料激光直接蚀除的阈值能量, F_{th} 为复合材料在激光加热作用

下在气体氛围生成氧化物所需脉冲能量的最小值；

[0009] 3) 调整双脉冲光路中的脉冲延迟 τ ,使用步骤2)中的激光能量 F 扫描待加工样件的待加工区域;计算得到氧化生成的易加工层厚度 d ;若 d 满足后续加工需求,则进入到步骤4);否则,回到步骤2)调整激光脉冲能量 F ,直到材料表层生成的易加工层厚度 d 满足需求;

[0010] 4) 使用接触式加工方式去除待加工样件表面的氧化物,去除厚度为 d 。

[0011] 所述步骤3)中,计算氧化生成的易加工层厚度 $d(\tau, F)$ 的计算公式如下:

[0012] $d(\tau, F) = -k \times \tau + d_0 \times \ln(F/F_{th})$

[0013] 式中 k 、 d_0 是常数, F_{th} 为复合材料在激光加热作用下在气体氛围生成氧化物所需脉冲能量的最小值。

[0014] 所述待加工样件的材料为复合材料,包括陶瓷增强金属基复合材料、金刚石颗粒增强金属基复合材料、纤维增强陶瓷基复合材料、硬质合金材料。

[0015] 所施加激光脉冲的脉宽 t_p 范围为7fs~10ps。

[0016] 步骤3)所施加的双脉冲延迟 τ 的范围为0~50ps。

[0017] 步骤4)中所述的接触式加工方式包括:车削、铣削、磨削、钻削、超声振动车削、超声振动铣削、超声振动磨削、超声振动钻削。

[0018] 和现有技术相比,本发明的优点在于:

[0019] (1) 本发明提供的一种金属基复合材料的高效精密加工方法,是一种利用超快激光氧化辅助切削/磨削的高效精密加工方法,相比直接切削或磨削,它可以有效的减小刀具磨损,提高刀具持续加工能力;相比直接使用超快激光加工金属基或陶瓷基复合材料,它可以避免加工表面粗糙、加工断面形位精度低、加工效率低等不足。

[0020] (2) 本发明提供的一种复合材料的高效精密加工方法,是一种利用超快激光氧化辅助切削/磨削的高效精密加工方法,与利用传统激光(连续激光,以及毫秒、微秒、纳秒等长脉冲激光)作为诱导材料发生氧化的热源相比,充分利用了超快激光对材料的改性阈值精确(从而改性区域尺度精确)、几乎无热重铸层的特点,因此材料改性后可提供精确的氧化层厚度,使得介于易加工层与材料本征基体之间的热影响区层尺度可以忽略不计,为通过切削或磨削方式直接精准去除疏松氧化层(而不必考虑其后再去除热影响区层)创造了条件。

[0021] (3) 本发明提供的一种复合材料的高效精密加工方法,是一种利用超快激光氧化辅助切削/磨削的高效精密加工方法。由于超快激光能非线性电离空气中的氧气和氮气而生成氧化性更强的活性粒子,从而加速化学链锁反应、导致活性粒子与复合材料基体相反应生成氮化物与氧化物,因此,与传统激光(连续激光,以及毫秒、微秒、纳秒等长脉冲激光)相比,超快激光不仅扮演诱导基体相与特定增强材料发生化学反应、生成疏松氧化物的物理热源的角色(即物理途径),而且扮演生成基体相化学氧化剂的角色(即化学途径),因此,即使针对的复合材料的基体相无法在热源作用下与增强材料发生氧化反应而生成疏松层(即物理途径无法生效),也可以通过化学途径实现易加工的疏松氧化层。因此,超快激光氧化辅助切削/磨削加工,比普通激光氧化辅助切削/磨削加工具有更广的材料适用性,且加工过程中不必通氧气而是压缩空气即可,该方法能够适应多种复合材料,对加工环境要求低,易于实现,且更绿色经济。

[0022] (4) 本发明提供的一种复合材料的高效精密加工方法,是一种利用超快激光氧化

辅助切削/磨削的高效精密加工方法,充分利用了时域整形超快激光独有优势,即时间尺度可与材料的物理相变、化学反应时间相匹配的特性,通过其精确调控复合材料的被加热区域的尺度和被加热的程度,控制复合材料基体相与增强相之间生成脆性氧化物的数量和成分;通过其精确调控辅助空气中被电离氧气和氮气的电离成分和电离程度,从而调控这些作为氧化剂的电离气体与材料基体相的化学反应产物的成分和数量。综合利用以上可调、可控的物理和化学过程,实现时域整形超快激光诱导氧化生成的改性产物(疏松氧化物层)的物理和化学性质,实现易加工层理化性能和几何尺寸的可调、可控。因此该方法更灵活且更易实现精确调控。

附图说明

[0023] 图1为本发明的一种复合材料的高效精密加工方法流程图。

[0024] 图2为本发明的一种复合材料的高效精密加工方法装置图。

具体实施方式

[0025] 利用如图2所示的加工装置,具体包括:超快激光源1、双脉冲光路2,扫描振镜3,压缩空气源4,待加工样件5,铣刀6,承载与运动系统7。超快激光源1发出的单脉冲序列通过双脉冲光路2后,被时域整形成双脉冲序列(双脉冲中两子脉冲延迟为 τ),双脉冲序列通过扫描振镜3和承载与运动系统7,实现激光脉冲与待加工样件5的相对运动。在压缩空气源4辅助下,待加工样件5吸收双脉冲激光能量后会被加热,从而诱导复合材料被加热区域发生氧化反应而生成易加工的疏松氧化物,这为通过接触式加工实现易加工层的精准去除创造条件。

[0026] 一种复合材料的高效精密加工方法,具体步骤如图1所示,

[0027] 步骤1:使用压缩空气源向待超快激光改性的区域吹气。

[0028] 步骤2:打开加工系统的超快激光,调整加工系统各元件的相对位置和姿态,根据欲使用的激光改性参数(激光波长、脉宽、激光脉冲重复频率、激光扫描速度)调节激光脉冲的能量,使得入射到待加工样件表面的激光能量通量 F 既低于复合材料基体相和增强相二者任何一个的激光直接蚀除阈值能量,又高于复合材料在激光加热作用下在气体氛围生成氧化物所需脉冲能量的最小值。

[0029] 步骤3:调整双脉冲光路中的脉冲延迟 τ ,使用步骤(2)中的激光改性参数(激光波长、脉宽、激光脉冲重复频率、激光扫描速度)和激光能量通量 F ,扫描样件的待加工区域,采用 $d(\tau, F) = -k\tau + d_0 \times d - kF/F_{th}$ 计算氧化生成的易加工层厚度 $d(\tau, F)$,其中 k 、 d_0 是常数(依赖于材料种类)。若生成的氧化物的厚度 d 满足后续加工需求,则进展到下一步骤(4);否则,回到步骤(2)调整激光脉冲能量 F ,直到材料表层生成的易加工层厚度 d 满足需求。

[0030] 步骤4:使用接触式加工工具去除待加工样件表面的氧化物,去除厚度约等于氧化物的厚度 d 。

[0031] 下面结合具体实施例进行进一步说明:

[0032] 根据上述复合材料的超快激光-接触式加工复合加工系统,选取高体积分数铝基碳化硅(60%SiC_p/Al)进行加工试验。

[0033] 考虑波长为800nm超快激光。在此波长下,当采用脉宽 $t_p=700\text{fs}$ 、光斑直径 $D=35\mu$

m、重复频率 $f=1\text{MHz}$ 、切扫描振镜扫描速度 $v=7\text{m/s}$ 、扫描能量 $F=0.20\text{J/cm}^2$ ，可使得被加工材料发生改性(生成疏松氧化物)而不直接被激光蚀除。调整双脉冲的脉冲延迟 $\tau=200\text{fs}$ ，可获得厚度 $d=6.5$ 度 f 的疏松氧化层。疏松氧化层与材料基体之间几乎没有热影响区。对于经改性生成的疏松氧化层，使用普通的钥匙划刻即肉眼可见明显划痕，说明材料硬度已经很低。对于使用 $\tau=200\text{fs}$ 诱导的材料表面疏松氧化层，使用大进给的宽幅面的普通铣刀(无需金刚石刀具)、控制切深在 $6.5\mu\text{m}$ ，可实现材料的高效精密去除。相比较传统的接触式加工直接铣削材料，受限于材料的硬度，一般需要使用金刚石刀具切削，且切削进给速度很低。但经超快激光精确改性后，由于材料硬度明显大幅降低，因此采用高速工具钢材质或硬质合金材质的铣刀即可满足需求。作为一种共性方法，该发明可用于超快激光与其他接触式加工的复合，例如超快激光诱导辅助氧化磨削方法。

[0034] 本发明说明书中未作详细描述的内容属本领域技术人员的公知技术。

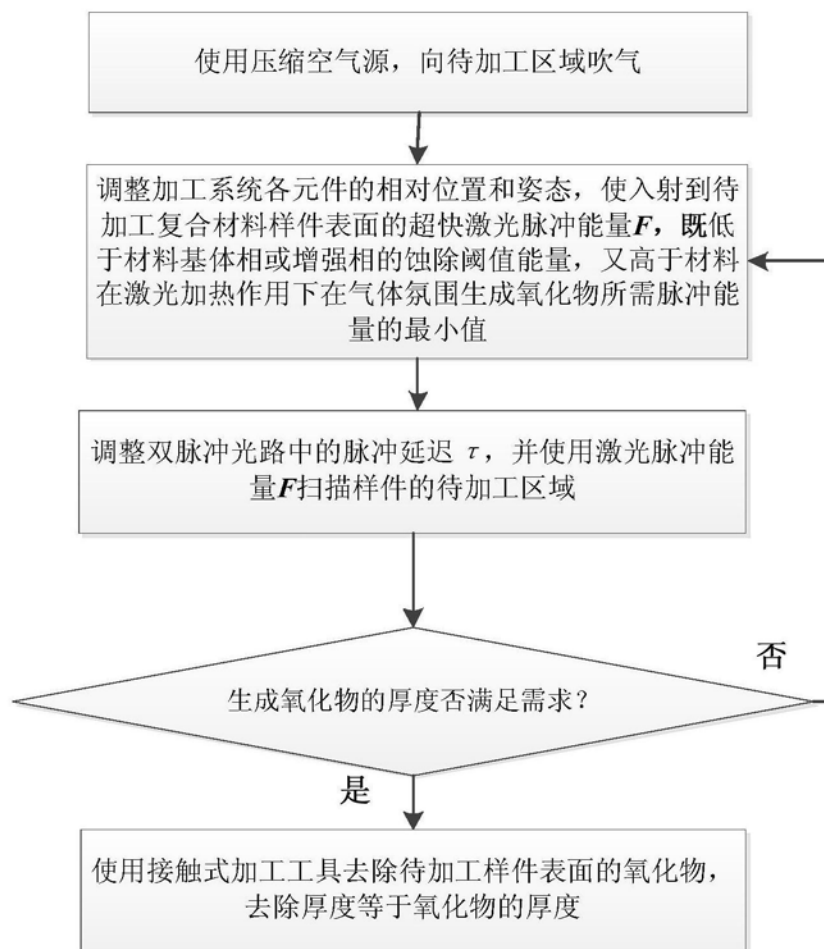


图1

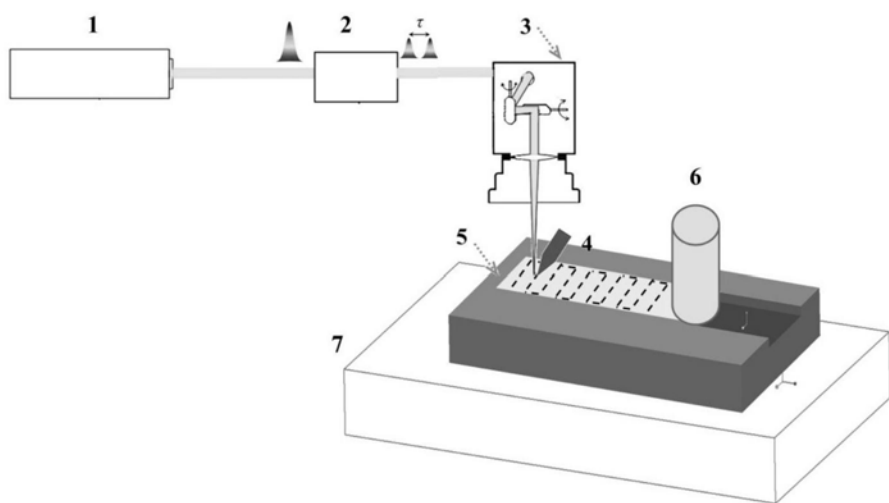


图2