



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112651156 B

(45) 授权公告日 2022.03.04

(21) 申请号 202011518700.1

G06F 30/28 (2020.01)

(22) 申请日 2020.12.21

G06F 119/08 (2020.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 112651156 A

(56) 对比文件

CN 105973563 A, 2016.09.28

CN 105095603 A, 2015.11.25

(43) 申请公布日 2021.04.13

CN 111458366 A, 2020.07.28

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

CN 107368661 A, 2017.11.21

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

黄亿辉. 强激光辐照典型目标多场耦合效应的实验与数值模拟研究.《中国科学院力学研究所机构知识库》.2015,

(72) 发明人 王睿星 宋宏伟 王喆 袁武 黄晨光

审查员 王辛畅

(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 焦海峰

(51) Int. Cl.

G06F 30/23 (2020.01)

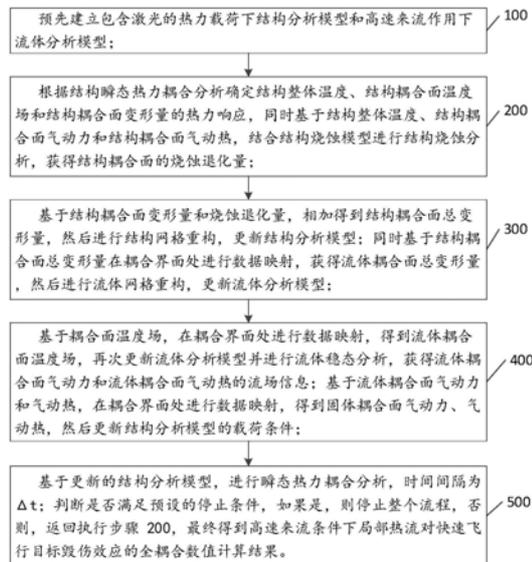
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54) 发明名称

一种高速来流条件下激光毁伤效应的多场耦合分析方法

(57) 摘要

本发明提供一种高速来流条件下激光毁伤效应的多场耦合分析方法,包括如下步骤:预先建立包含激光的热力载荷下结构分析模型和高速来流作用下流体分析模型;根据结构瞬态热力耦合分析确定结构整体温度、结构耦合面温度场和结构耦合面变形量的热力响应,同时基于结构整体温度、结构耦合面气动力和结构耦合面气动热,结合结构烧蚀模型进行结构烧蚀分析,获得结构耦合面的烧蚀退化量;基于结构耦合面变形量和烧蚀退化量,相加得到结构耦合面总变形量,然后进行结构网格重构,更新结构分析模型;同时基于结构耦合面总变形量在耦合界面处进行数据映射,获得流体耦合面总变形量,然后进行流体网格重构,更新流体分析模型;基于耦合面温度场,在耦合界面处进行数据映射,得到流体耦合面温度场,再次更新流体分析模型并进行流体稳态分析,获得流体耦合面气动力和流体耦合面气动热的流场信息;基于流体耦合面气动力和气动热,在耦合界面处进行数据映射,得到固体耦合面气动力、气动热,然后更新结构分析模型的载荷条件;基于更新的结构分析模型进行下一时刻瞬态热力耦合分析;依此循环,最终得到高速来流条件下激光对飞行目标毁伤效应的全耦合数值计算结果。本发明提出考虑局部烧蚀效应的多场耦合数值分析策略,实现高速来流条件下激光对飞行目标毁伤效应的全耦合数值计算。



1. 一种高速来流条件下激光毁伤效应的多场耦合分析方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100,预先建立包含激光的热力载荷下结构分析模型和高速来流作用下流体分析模型,所述热力载荷还包括气动力和气动热,所述激光以空间热流的形式作用在结构的表面;

步骤200,根据结构瞬态热力耦合分析确定结构整体温度、结构耦合面温度场和结构耦合面变形量的热力响应,同时基于结构整体温度、结构耦合面气动力和结构耦合面气动热,结合结构烧蚀模型进行结构烧蚀分析,获得结构耦合面的烧蚀退化量;

所述结构烧蚀模型通过结构耦合面法向线烧蚀速率 $v$ 进行表征,其在分析时间步内积分得到结构耦合面烧蚀退化量,对应的表达式为:

$$v = v_{TC} + v_{TM} \quad (1)$$

其中, $v_{TC}$ 为热化学烧蚀线速率, $v_{TM}$ 为机械剥蚀线速率;

步骤300,基于结构耦合面变形量和烧蚀退化量,相加得到结构耦合面总变形量,然后进行结构网格重构,更新结构分析模型;同时基于结构耦合面总变形量在耦合界面处进行数据映射,获得流体耦合面总变形量,然后进行流体网格重构,更新流体分析模型;

所述网格重构通过插值方法实现,将结构耦合面总变形量作为待插值量,运用插值函数对结构耦合面网格节点的总变形量进行拟合,然后利用构造出来的插值函数将结构耦合面变形效应光滑地分散到整个结构网格区域的节点上,从而得到结构所有节点的总变形量;

结合结构节点坐标和节点变形量,可得到结构节点的变形后坐标,从而实现结构网格重构;

基于结构耦合面总变形的数据映射是通过插值方法将总变形量从结构耦合面传递到流体耦合面;

步骤400,基于耦合面温度场,在耦合界面处进行数据映射,得到流体耦合面温度场,再次更新流体分析模型并进行流体稳态分析,获得流体耦合面气动力和流体耦合面气动热的流场信息;基于流体耦合面气动力和气动热,在耦合界面处进行数据映射,得到固体耦合面气动力、气动热,然后更新结构分析模型的载荷条件;基于流体耦合面气动力和气动热的数据映射是通过插值方法将气动力和气动热从流体耦合面传递到结构耦合面;

步骤500,基于更新的结构分析模型,进行瞬态热力耦合分析,时间间隔为 $\Delta t$ ;判断是否满足预设的停止条件,如果是,则停止整个流程,否则,返回执行步骤 200,最终得到高速来流条件下局部热流对快速飞行目标毁伤效应的流动-传热-结构-烧蚀全耦合数值计算结果。

2. 根据权利要求1所述的多场耦合分析方法,其特征在于,

所述步骤300中,网格重构是在保证外形的情况下,网格节点数目不变,位置重新分布。

3. 根据权利要求1所述的多场耦合分析方法,其特征在于,

所述步骤500中,时间间隔 $\Delta t$ 根据实际需求预先设置。

4. 根据权利要求1所述的多场耦合分析方法,其特征在于,

所述步骤500中,停止条件是以当前时间时刻为最后的计算时刻。

## 一种高速来流条件下激光毁伤效应的多场耦合分析方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及热力学结构领域,特别是涉及一种对高速来流条件下激光毁伤效应的多场耦合分析方法。

### 背景技术

[0002] 高速飞行导弹具有飞行速度快、毁伤威力大、突防能力强等战略优势,现有动能拦截导弹防御系统难以百分之百奏效。高能激光武器具有即瞄即打、持续打击、转移迅速等特点,在反制高速飞行靶目标方面具有独特的优势。

[0003] 激光对高速靶目标的拦截本质上是高速来流条件下的激光热力毁伤问题。然而,目前对该问题的研究还停留在原理性和概念性阶段,主要的原因在于缺乏定量化的分析与预报能力,导致对其中的热力破坏机理认知不明。

[0004] 高速来流条件下的激光热力毁伤效应数值分析涉及到传热、高速流动、结构响应、热力烧蚀等多种效应之间的相互作用,是一类含有移动边界的复杂流-热-固多物理场耦合问题,相关的研究目前还很少见。现有技术中,气流的影响往往以等效、固定的常数描述,没有考虑激光诱导的烧蚀行为所带来的移动边界、壁面高温等效应对高速流动的反作用。这种情况下,无法对激光热力烧蚀行为给出准确的描述,更不论对其中的热力破坏机理进行全面深入的理解。

[0005] 因此,必须发展适合于高速来流条件下激光毁伤效应的多场耦合分析方法,量化地给出目标特性、打击距离、激光参数、毁伤模式、毁伤时间等众多因素之间的关系,从而明确激光对高速靶目标的毁伤机理,实现高效激光打击策略的制定。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种精确且全面对高速来流条件下激光毁伤效应的多场耦合分析方法

[0007] 具体地,本发明提供一种高速来流条件下激光毁伤效应的多场耦合分析方法,包括如下步骤:

[0008] 步骤100,预先建立包含激光的热力载荷下结构分析模型和高速来流作用下流体分析模型;

[0009] 步骤200,根据结构瞬态热力耦合分析确定结构整体温度、结构耦合面温度场和结构耦合面变形量的热力响应,同时基于结构整体温度、结构耦合面气动力和结构耦合面气动热,结合结构烧蚀模型进行结构烧蚀分析,获得结构耦合面的烧蚀退化量;

[0010] 步骤300,基于结构耦合面变形量和烧蚀退化量,相加得到结构耦合面总变形量,然后进行结构网格重构,更新结构分析模型;同时基于结构耦合面总变形量在耦合界面处进行数据映射,获得流体耦合面总变形量,然后进行流体网格重构,更新流体分析模型;

[0011] 步骤400,基于耦合面温度场,在耦合界面处进行数据映射,得到流体耦合面温度场,再次更新流体分析模型并进行流体稳态分析,获得流体耦合面气动力和流体耦合面气

动热的流场信息;基于流体耦合面气动力和气动热,在耦合界面处进行数据映射,得到固体耦合面气动力、气动热,然后更新结构分析模型的载荷条件;

[0012] 步骤500,基于更新的结构分析模型,进行瞬态热力耦合分析,时间间隔为 $\Delta t$ ;判断是否满足预设的停止条件,如果是,则停止整个流程,否则,返回执行步骤200,最终得到高速来流条件下局部热流对快速飞行目标毁伤效应的全耦合数值计算结果。

[0013] 本发明克服现有技术中对流-热-固多场耦合效应估计不足的问题,提出的多场耦合分析方法,通过构建局部烧蚀效应的多场耦合数值分析策略,从而实现高速来流条件下激光对快速飞行目标毁伤效应的全耦合数值计算,为明确高速来流条件下激光热力毁伤机理提供有效的技术支撑。

[0014] 本发明能够量化地给出目标特性、打击距离、激光参数、毁伤模式、毁伤时间等众多因素之间的关系,从而明确激光对高速靶目标的毁伤机理,实现高效激光打击策略的制定,为未来高技术战争提供基础性和技术性支撑。

### 附图说明

[0015] 图1是本发明一个实施方式的方法流程图;

[0016] 图2是本发明一个实施方式中预先建立的结构分析模型和流场分析模型;

[0017] 图3是本发明实施例中不同时刻流体网格与固体网格示意图;

[0018] 图4是本发明实施例中不同时刻结构对称面烧蚀形貌;

[0019] 图5是本发明实施例中不同激光辐照时刻光斑中心烧蚀速率与流场参数对应关系;

[0020] 图6是本发明实施例中激光辐照4s时结构对称面烧蚀坑型线试验与仿真结果对比。

### 具体实施方式

[0021] 以下通过具体实施例和附图对本方案的具体结构和实施过程进行详细说明。

[0022] 如图1所示,在本发明的一个实施方式中,公开一种高速来流条件下激光毁伤效应的多场耦合分析方法,包括如下步骤:

[0023] 步骤100,预先建立包含激光的热力载荷下结构分析模型和高速来流作用下流体分析模型;

[0024] 这里的热力载荷还包括气动力和气动热。其中激光以空间热流的形式作用在结构的表面。结构分析模型通过有限元分析方法可得到结构热力响应,流体分析模型通过有限体积方法可得到流场特性。

[0025] 步骤200,根据结构瞬态热力耦合分析确定结构整体温度、结构耦合面温度场和结构耦合面变形量的热力响应,同时基于结构整体温度、结构耦合面气动力和结构耦合面气动热,结合结构烧蚀模型进行结构烧蚀分析,获得结构耦合面的烧蚀退化量;

[0026] 在本步骤中,结构烧蚀模型可通过结构耦合面法向线烧蚀速率 $v$ 进行表征。以下述的C/SiC复合材料薄板的烧蚀模型为例,其对应的表达式为:

$$[0027] \quad v = v_{TC} + v_{TM}$$

[0028] 其中, $v_{TC}$ 为热化学烧蚀线速率, $v_{TM}$ 为机械剥蚀线速率。基于结构耦合面法向线烧

蚀速率 $v$ ,对其在分析时间步内积分得到结构耦合面烧蚀退化量。

[0029] 步骤300,基于结构耦合面变形量和烧蚀退化量,相加得到结构耦合面总变形量,然后进行结构网格重构,更新结构分析模型;同时基于结构耦合面总变形量在耦合界面处进行数据映射,获得流体耦合面总变形量,然后进行流体网格重构,更新流体分析模型;

[0030] 在本步骤中,网格重构是通过插值方法实现。将结构耦合面总变形量作为待插值量,运用插值函数对结构耦合面网格节点的总变形量进行拟合,然后利用构造出来的插值函数将结构耦合面变形效应光滑地分散到整个结构网格区域的节点上,从而得到结构所有节点的总变形量。结合结构节点坐标和节点变形量,可得到结构节点的变形后坐标,从而实现结构网格重构。该网格重构方法能够保证耦合界面的高精度捕捉与重构。

[0031] 本步骤中的所有网格重构方式相同。

[0032] 步骤400,基于耦合面温度场,在耦合界面处进行数据映射,得到流体耦合面温度场,再次更新流体分析模型并进行流体稳态分析,获得流体耦合面气动力和流体耦合面气动热的流场信息;基于流体耦合面气动力和气动热,在耦合界面处进行数据映射,得到固体耦合面气动力、气动热,然后更新结构分析模型的载荷条件。该步骤实现了流体和结构在耦合界面的信息传递。

[0033] 基于结构耦合面总变形的数据映射是通过插值方法将总变形量从结构耦合面传递到流体耦合面。

[0034] 基于流体耦合面气动力和气动热的数据映射是通过插值方法将气动力和气动热从流体耦合面传递到结构耦合面。

[0035] 步骤500,基于更新的结构分析模型,进行瞬态热力耦合分析,时间间隔为 $\Delta t$ ;判断是否满足预设的停止条件,如果是,则停止整个流程,否则,返回执行步骤200,最终得到高速来流条件下局部热流对快速飞行目标毁伤效应的全耦合数值计算结果。

[0036] 时间间隔 $\Delta t$ 根据实际需求预先设置;停止条件是以当前时间时刻为最后的计算时刻。

[0037] 本实施方式克服现有技术中对流-热-固多场耦合效应估计不足的问题,提出的多场耦合分析方法,通过构建局部烧蚀效应的多场耦合数值分析策略,从而实现高速来流条件下激光对快速飞行目标毁伤效应的全耦合数值计算,为明确高速来流条件下激光热力毁伤机理提供有效的技术支撑。

[0038] 本实施方式能够量化地给出目标特性、打击距离、激光参数、毁伤模式、毁伤时间等众多因素之间的关系,从而明确激光对高速靶目标的毁伤机理,实现高效激光打击策略的制定,为未来高技术战争提供基础性和技术性支撑。

[0039] 以下以具体实施例对本方法的工作过程作详细说明。

[0040] 如图2所示,在 $Ma=1.8$ , $h=25\text{km}$ 的超声速气流条件下,对C/SiC复合材料薄板的激光毁伤效应进行数值仿真分析;来流条件中马赫为1.8,攻角 $0^\circ$ ,高度25km;结构条件为,材料种类为C/SiC复合材料,薄板长、宽、高分别为50mm,50mm,3mm;激光载荷为,功率2kW,高斯分布,作用于薄板中心,半径为5mm,辐照时间为4s,时间间隔 $\Delta t$ 取为0.1s。

[0041] 在前述基础上利用本方法,对高速气流条件下C/SiC复合材料薄板的激光毁伤效应进行分析,得到了相应的毁伤结果,其中图3为不同时刻流体网格固体网格示意图,体现了本实施例中的高精度网格重构过程;图4为不同时刻结构对称面烧蚀形貌;图5为不同时刻

刻光斑中心烧蚀速率与流场参数的关系;图6为激光辐照4s时,结构对称面烧蚀坑型线试验与仿真结果对比,从而验证了本方法的有效性。

[0042] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

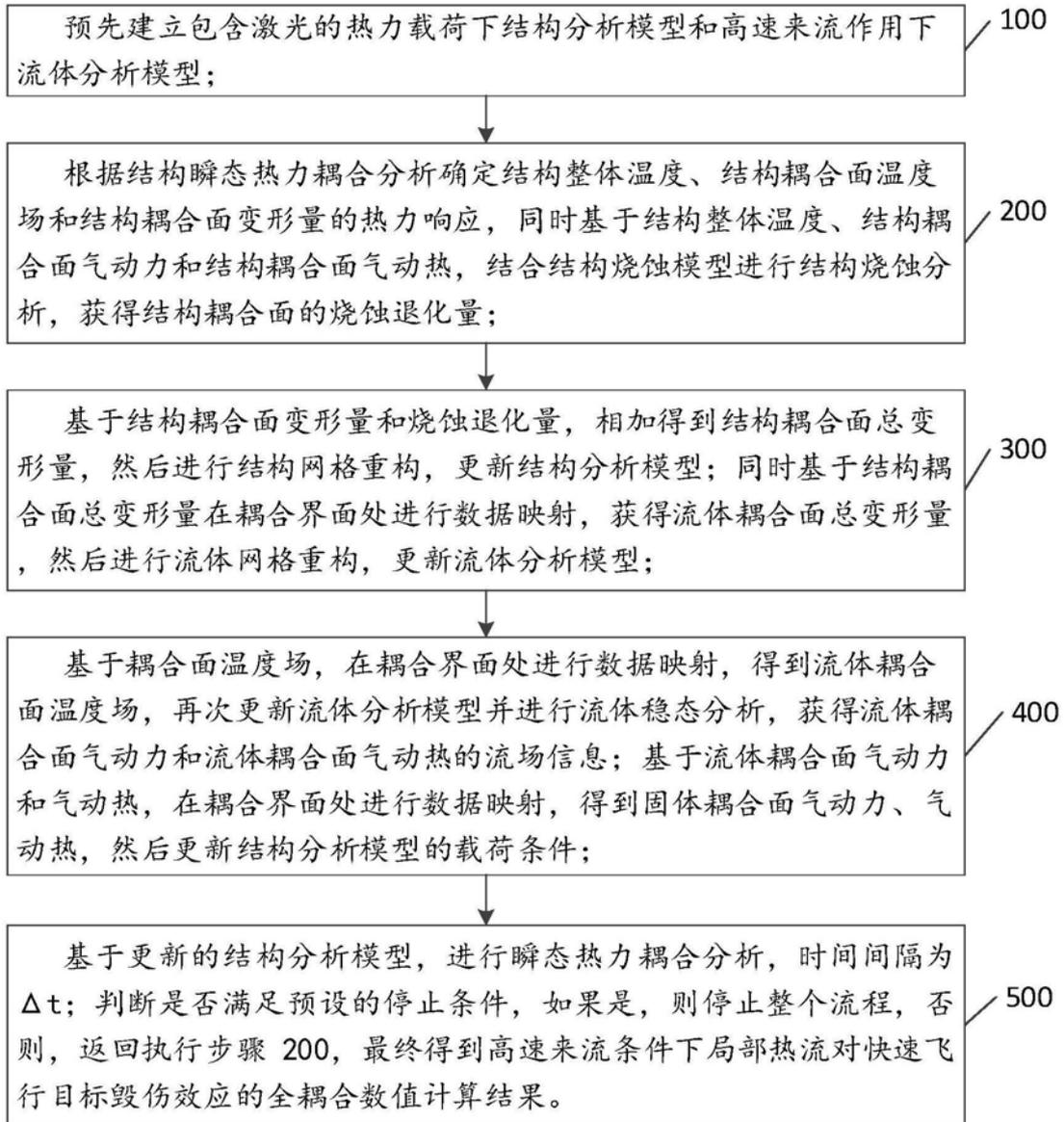


图1

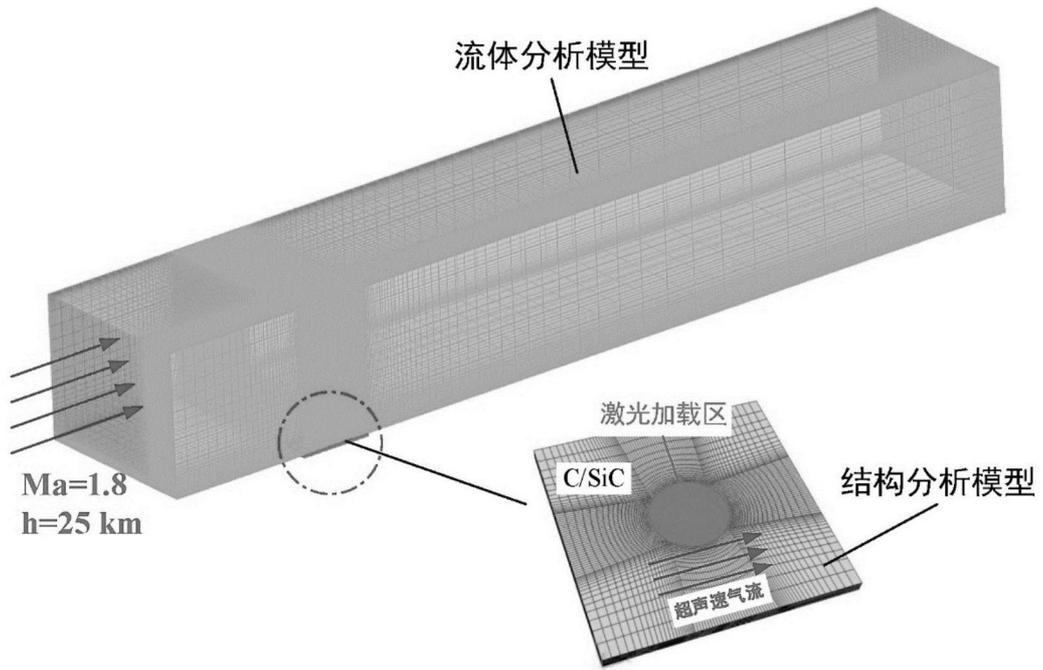


图2

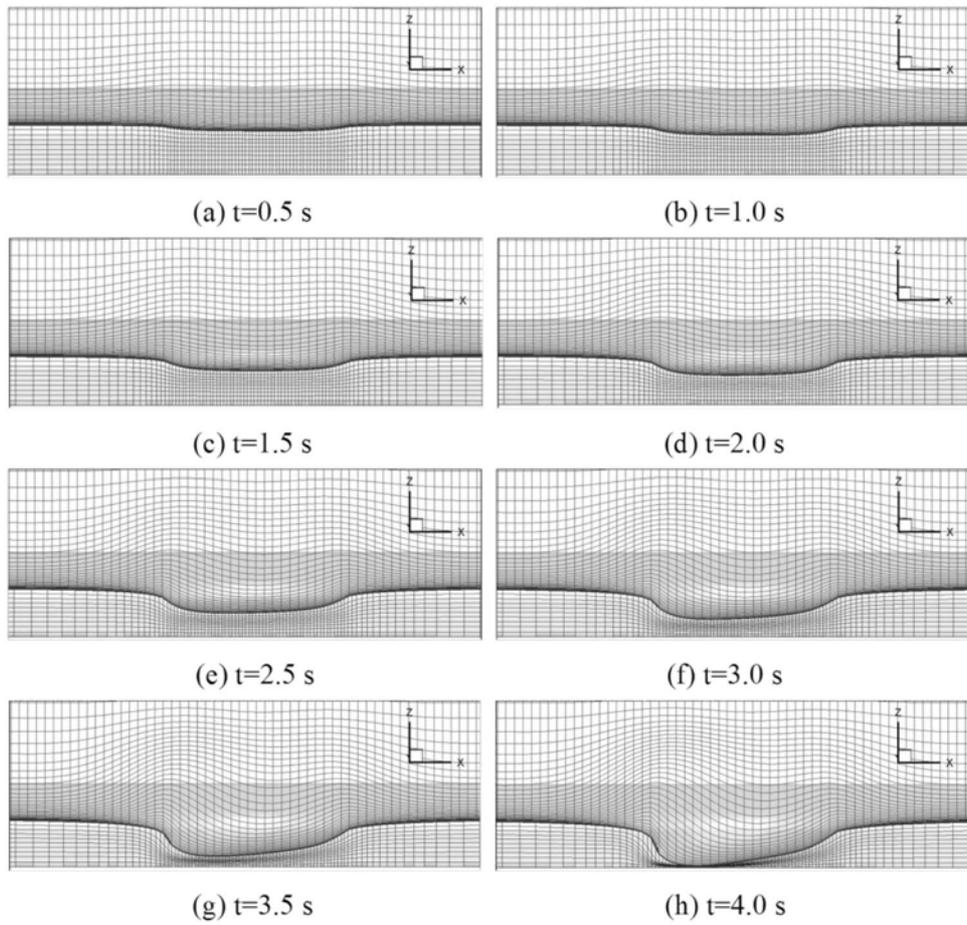


图3

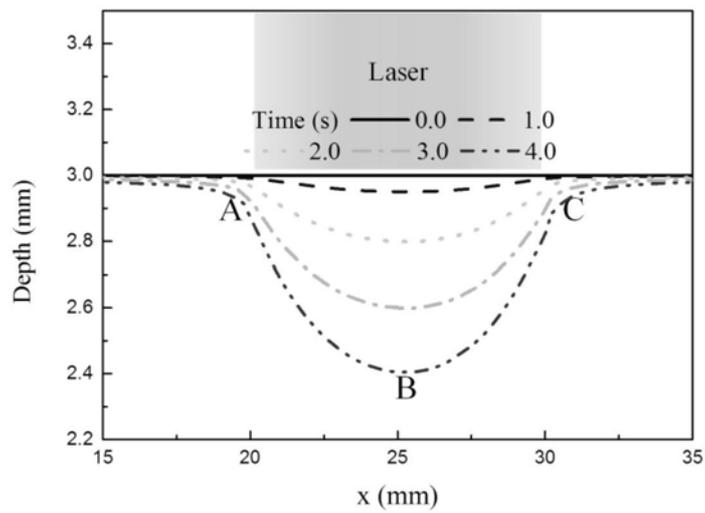


图4

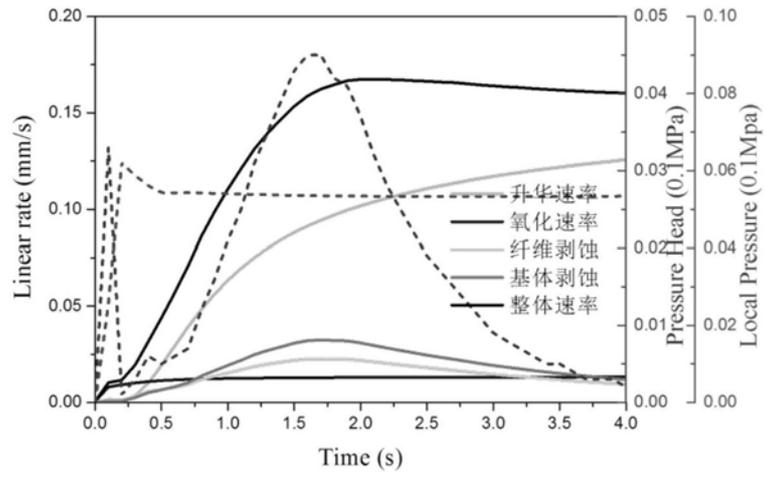


图5

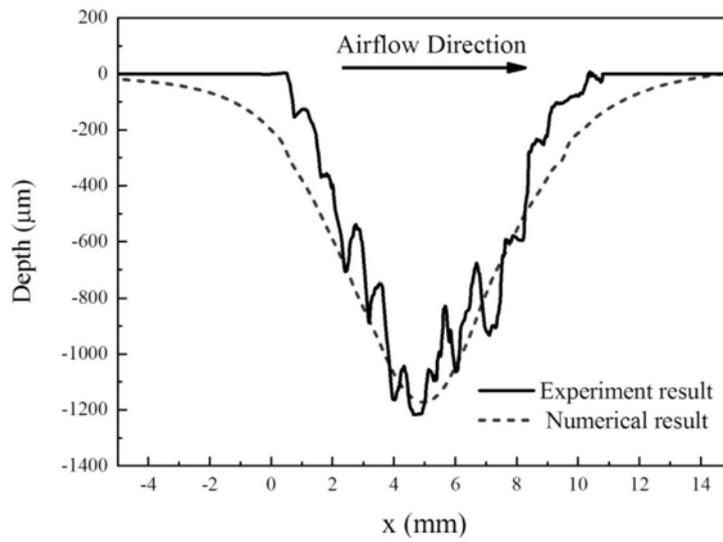


图6