



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109682882 A

(43)申请公布日 2019.04.26

(21)申请号 201910082966.7

(22)申请日 2019.01.24

(71)申请人 电子科技大学

地址 611731 四川省成都市高新区(西区)
西源大道2006号

(72)发明人 彭斌 赵桐 张万里 张文旭

(74)专利代理机构 成都点睛专利代理事务所
(普通合伙) 51232

代理人 葛启函

(51) Int. Cl.

G01N 27/90(2006.01)

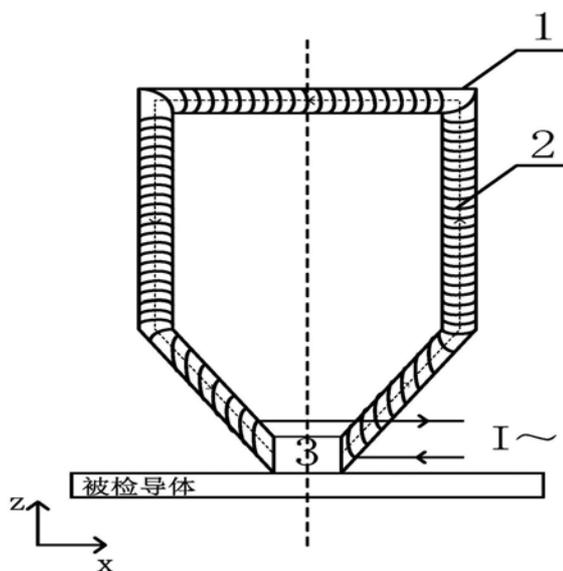
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种高空间分辨率的涡流检测传感器

(57)摘要

一种涡流检测传感器,属于无损检测技术领域。涡流检测传感器包括磁芯、绕制在磁芯本体上的激励线圈和磁场传感器,所述磁芯面向被检导体表面所在端形成尖锐凸起并在凸起端开口形成缝隙,磁场传感器设置在所述缝隙与被检导体面平行的平面内。磁场传感器将缝隙处聚集的磁场与被检导体作用形成的磁信号转换为电信号输出。本发明显著减小了磁场作用范围,进而提高了空间分辨率。运用本发明传感器检测缺陷能够清晰反映被检缺陷的轮廓和大小以及精确位置,有利于进一步辨识缺陷,进而评估导体缺陷所带来的影响。并且通过设计不同的磁芯结构来大幅度增加激励线圈的匝数以适当减小激励信号的电流,避免了因激励线圈发热严重而造成的测量误差。



1. 一种涡流检测传感器,包括:起到聚磁作用的磁芯、绕制在磁芯本体上的激励线圈以及用于将磁信号转变为电信号的磁场传感器,其特征在于,所述磁芯为面向被检导体表面所在端形成尖锐凸起并在凸起端开口形成缝隙的分段弯折结构,激励线圈沿磁芯本体自窄缝一端同相绕制至窄缝另一端,磁场传感器设置在所述缝隙与被检导体面平行的平面内。磁场传感器将缝隙处聚集的磁场与被检导体作用形成的磁信号转换为电信号输出。

2. 根据权利要求1所述的一种涡流检测传感器,其特征在于,所述磁场传感器为霍尔传感器。

3. 根据权利要求1所述的一种涡流检测传感器,其特征在于,所述磁场传感器的检测方向与被测导体面平行。

4. 根据权利要求1所述的一种涡流检测传感器,其特征在于,所述磁芯的材料采用高导磁铁磁材料。

5. 根据权利要求1所述的一种涡流检测传感器,其特征在于,所述磁芯的缝隙宽度与磁场传感器的宽度相当。

一种高空间分辨率的涡流检测传感器

技术领域

[0001] 本发明属于无损检测技术领域,具体涉及一种高空间分辨率的涡流检测传感器。

背景技术

[0002] 涡流检测(Eddy Current Testing,ET)技术作为一种重要的无损检测方法,其主要利用了电磁场相关理论作为支撑。涡流检测的物理基础是电磁感应,当线圈通电流时会产生磁场,若通以交变电流,线圈中则会产生交变磁场。当把通有交变电流的线圈接近导体表面时,交变磁场的磁力线进入导体,磁力线周围感应形成闭合电流,呈涡旋状流动,称之为涡流。涡流又相当于通电线圈,会产生交变磁场,其磁力线的方向与感生涡流的磁力线方向相反,即涡流具有去磁化效应;同时又因线圈中的磁场,这就是线圈与涡流的耦合。耦合的程度决定着涡流对线圈电参数影响作用的强弱,通常涡流大小强弱的变化,耦合关系的变化均会影响线圈电参数的变化。导体材料的电阻率和导磁率的变化将影响涡流的电流强度;导体缺陷破坏了金属的连续性,这不仅影响涡流的大小与强弱,还影响耦合关系,这些都会引起线圈电参数的变化。利用检测线圈电参数的变化来获取导体材料中某些性能的变化和缺陷存在的信息,这就是涡流检测的基本原理。涡流检测传感器就是在涡流效应的基础上建立起来的一种将被测量信号转换成电信号的传感器。

[0003] 涡流检测传感器,它是利用磁场传感器来测量被检导体磁场变化的传感器。传统涡流检测传感器结构包括起到聚磁作用的磁芯、绕制在磁芯本体上的激励线圈和检测线圈。当交变电信号加载到激励线圈时,激励线圈产生激励磁场使得被测导体内感生出涡流,感生涡流又会产生与激励磁场方向相反的感应磁场,通过采集检测线圈两端的感应电压来表达缺陷的信息。通过测量并对比电压信号的变化就可无损地评定导电材料的性能或进行无损探伤,即检测出被测导体的特性和状态。

[0004] 涡流检测传感器随检测对象及要求的不同,在结构、形态和大小也不相同。但作为一种传感元件,为使其更好的发挥作用,不仅仅要求其能够响应微弱的磁场变化,往往还要求传感元件要有足够的空间分辨率来实现更好地检测。实际在对导体进行涡流无损检测时,磁场传感器测得的检测信号很微弱,一般在mV甚至 μ V量级,这个微小的信号不适合数据采集的输入范围,并且采样信号的信噪比较低;另一方面,传感器对导体内部的腐蚀、裂纹等缺陷探测时,对于探头与被测导体面平行的平面内(即XOY平面)的空间分辨率要求高。满足不同应用领域的工作要求。为了能够响应和分辨微弱的信号,当前通常采用提高激励线圈电流的手段,但是激励线圈的温度将随着激励源频率的提高而增加,因此在实际使用时希望采用尽可能低的电流。并且,该手段提升幅度有限,当电流提高到一定值时,会造成激励线圈发热严重无法进一步增大激励磁场,此时再提高激励线圈电流对于灵敏度的提高已无意义。所以只依靠增加电流来提高灵敏度的做法是不切合实际的,现有关于涡流检测的报道中主要着手于传感器基础灵敏度的提高,比如中国专利《磁约束脉冲涡流检测方法》(公开号为CN103712637A)以及《一种基于带铁芯线圈探头的脉冲涡流电磁无损检测方法》(公开号为CN104155361A)中公开了一种分别在激励线圈外部、内部添加磁芯,以增加

了被检导体法线方向上的磁场,从而约束了被测导体中感应磁场的向外扩散,有效的提高检测灵敏度。另外,中国专利《一种磁聚集脉冲涡流线圈检测传感器》(公开号为CN107064291A)中采用在激励线圈和检测线圈之间和激励线圈外部添加铁磁性材料分别作为隔离和屏蔽罩,达到提高检测能力和检测信号信噪比的目的,但是,上述手段都只提高了检测的灵敏度,磁场作用的面积太大,不利于对小区域实现精确测量,无法提高空间分辨率。而涡流检测传感器空间分辨率的提高,有利于辨识缺陷在检测探头检测区域中的位置,进而评估缺陷所带来的影响。因此,设计一种具有高空间分辨率的涡流检测传感器对涡流无损检测具有重要的意义,

发明内容

[0005] 鉴于上文所述,本发明针对现目前涡流检测传感器的磁场强度小、分布不集中和磁场作用面积大从而导致检测信号微弱和空间分辨率低的问题,提出了一种高空间分辨率的涡流检测传感器,可以对被检导体小区域面积进行检测,显著提高涡流检测传感器的空间分辨率。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明采用如下技术方案:

[0007] 一种涡流检测传感器,包括:起到聚磁作用的磁芯、绕制在磁芯本体上的激励线圈以及用于将磁信号转变为电信号的磁场传感器,其特征在于,所述磁芯为面向被检导体表面所在端形成尖锐凸起并在凸起端开口形成缝隙的分段弯折结构,激励线圈沿磁芯本体自窄缝一端同相绕制至窄缝另一端,磁场传感器设置在所述缝隙与被检导体面平行的平面内。将缝隙处聚集的磁场与被检导体作用形成的磁信号转换为电信号输出。

[0008] 进一步地,所述磁场传感器为霍尔传感器。

[0009] 进一步地,所述磁场传感器的检测方向与被测导体面(即XOY平面)平行

[0010] 作为优选方式,所述磁芯的材料采用高导磁铁磁材料。

[0011] 作为优选方式,所述磁芯的缝隙宽度与磁场传感器的宽度相当。

[0012] 本发明的设计原理如下:

[0013] 空间分辨率是利用二维图像表征被检导体的缺陷细节的指标。表征缺陷细节的图像实际上是由一些离散的基本单元所组成的。基本单元的尺寸大小反映了图像的空间详细程度。涡流检测传感器的磁场作用面积相当于基本单元的尺寸大小。磁场作用面积越小,基本单元的尺寸越小,故而越能详细地表征缺陷细节,因此磁场作用范围越小,空间分辨率越高。传统的涡流检测传感器通常是采用圆柱形的铁芯并在铁芯外围绕制激励线圈。当交变的电信号通入激励线圈时,激励线圈产生磁场。由于铁芯的阻抗远小于空气,因此大多数磁场集中在铁芯中,而且,传统涡流检测传感器检测时是将被检导体放置在传感器下方,传感器的磁场所作用面积是柱状铁芯的整个底面。故而形成的是大范围磁场作用。而又因为铁芯的磁通量与铁芯底面面积正相关,缩小铁芯底面的面积意味着磁通量也会减小,即传感器磁场强度减小。磁场强度的减小会影响采集到的检测信号随之减小,这样会降低检测的灵敏度。而本发明所设计的磁芯在面向被检导体表面开有缝隙,由于磁场在尖锐凸起端聚集,并且被测导体贴近缝隙进行探测时,大部分磁感应线流经缝隙所对应被检导体区域,对被测导体该区域产生强的磁作用。而如果没有这条缝隙,则传感器激励线圈产生的磁感应线只能在闭合磁路中流过,对被检导体没有作用。

[0014] 相比现有技术,本发明的有益效果是:

[0015] 1、本发明设计的涡流检测传感器将大部分磁感应线聚集到与之相贴近的被检导体局部区域,由于缝隙设计的很窄,因而显著减小了磁场作用范围,进而提高了空间分辨率。运用本发明传感器检测缺陷能够清晰反映被检缺陷的轮廓和大小以及精确位置,有利于进一步辨识缺陷,进而评估导体缺陷所带来的影响。

[0016] 2、本发明设计的涡流检测传感器通过设计不同的磁芯结构,实现大幅度增加激励线圈的匝数,由此增大激励磁场,进而适当减小激励信号的电流,避免了因激励线圈发热严重而造成的测量误差。

附图说明

[0017] 图1为本发明传感器的整体结构示意图;其中,1为磁芯,2为激励线圈,3为磁场传感器。

[0018] 图2为本发明传感器的俯视图;其中,1为磁芯,2为激励线圈,3为磁场传感器。

[0019] 图3为发明传感器仿真得到的磁感线分布图。

[0020] 图4为本发明传感器对被检导体检测仿真所得表征缺陷图像,其中缺陷的参数为直径为6mm,深度为1mm。

[0021] 图5为传统传感器对被检导体检测仿真所得表征缺陷图像,其中缺陷的参数为直径为6mm,深度为2mm。

[0022] 图6为本发明传感器有无缺陷时的检测仿真信号图。

具体实施方式

[0023] 为了使得所属领域技术人员能够更加清楚本发明方案及原理,下面结合附图和具体实施例进行详细描述。本发明的内容不局限于任何具体实施例,也不代表是最佳实施例,本领域技术人员所熟知的一般替代也涵盖在本发明的保护范围内。

[0024] 实施例:

[0025] 本实施例提供涡流检测传感器,如图1所示,包括:起到聚磁作用的磁芯1、绕制在磁芯本体上的激励线圈2以及用于将磁信号转变为电信号的磁场传感器3,所述磁芯1为分段弯折结构,其中在磁芯1面向被检导体表面所在端形成尖锐凸起并在凸起端开口形成缝隙,这条缝隙是为了产生与被检导体XOY平面平行的激励磁场,作为优选方式,铁芯1选择高导磁铁磁材料制成,这样能增大激励线圈2产生的激励磁场,提高检测的灵敏度;激励线圈2沿着整个铁芯1外部同相绕制,激励线圈2的厚度是均匀变化的,通过提高激励线圈1的充满率或者设计不同磁芯的结构来增加了激励线圈匝数,能够增大激励磁场的强度,进而可适当减小激励信号的电流,避免造成激励线圈发热严重,保证了检测结果的准确性;磁场传感器3设置在所述缝隙与被检导体面平行的平面内(即XOY平面内)。通过缝隙处磁场与被检导体作用,磁场传感器基于霍尔效应将磁信号转换为电信号并通过相关硬件电路对信号进行采集和处理,最终输出被检导体的缺陷信息。

[0026] 从图3所示的磁感应线分布情况可看出,涡流检测传感器对被检导体的磁场作用主要集中于磁芯开设的缝隙处,磁场的小范围作用,使得磁场辐射有效集中到探测区域,并且由图可确定缝隙处的磁感线沿XOY平面分布,这样在检测时,由于被检导体缺陷的影响会

造成被检导体XOY平面的涡流变化强度远远大于Z方向的变化。而本发明涡流检测传感器缝隙处的磁感线主要分布于XOY平面并沿平行X轴方向分布,磁场传感器3的检测方向也是X轴,并且磁场传感器3的大小与铁芯底部间隙宽度相当,使激励磁场大多数磁感线集中于很小的间隙处,减少了漏磁,同时也减小磁场的作用面积;因此大大地提高了空间分辨率。

[0027] 基于本发明提出的传感器模型,本实施例采用COMSOL电磁仿真软件,以有限元为基础,通过求解偏微分方程或偏微分方程组来实现真实物理现象的仿真。仿真的电磁场需满足麦克斯韦方程,仿真实验的具体步骤如下:

[0028] (1) 选择“3D”模型,接着选择AC/DC模块的Magnetic Fields (mf) 以及Study里的Empty Study;

[0029] (2) 创建几何模型,其中包括涡流检测传感器、被检导体以及空气盒子形状和尺寸的仿真所用到具体参数如下表1所示;

[0030] 表1

	名称	长(mm)	宽(mm)	高(mm)
[0031]	涡流检测传感器	24	3	18
	被检导体	200	200	10
	空气盒子	500	500	150

[0032] (3) 给涡流检测传感器的激励线圈添加多匝线圈的物理场,设置激励线圈匝数为4000,电流大小为0.2A/m²,并给线圈的横截面积施加了输入;

[0033] (4) 对几何模型设置材料属性,分别给空气盒子、被检导体设置成材料库中自带的Air、Aluminum,自行设置铁芯材料属性,材料参数如下表2所示:

[0034] 表2

	属性	值	单位
[0035]	相对磁导率	2000	-
	电导率	9.93e6	S/m
	相对介电常数	1	-

[0036] (5) 进行网格划分;

[0037] (6) 对线圈进行几何分析后,设置求解频率为100Hz,选择频域求解模式进行运算;

[0038] (7) 运算结果处理,采用“3D Plot Group”的“Arrow Volume”模式,对该涡流检测传感器的磁感线进行了绘制,如图3所示;采用“2D Plot Group”的“Surface”模式,对被测导体表面的缺陷细节进行表征,结果如图4所示。通过图4和图5的对比可看出,本发明涡流检测传感器相比传统涡流检测传感器能够清晰反映被检缺陷的轮廓和形状。

[0039] 图6为本发明传感器有无缺陷时的检测仿真信号对比图。其中缺陷是直径为2mm,深度为2mm的圆柱体。从图中可看出:检测仿真信号的磁场集中于一个很小的X轴范围内,并且有无缺陷检测信号的磁场变化主要集中在这个区域内,由此看出该传感器确实能实现磁

场的聚集,并且通过对聚集处的有无缺陷检测信号的比较可以表征缺陷的轮廓和形状。

[0040] 以上结合附图对本发明的实施例进行了详细阐述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述具体实施方式仅仅是示意性的,而不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,不脱离本发明宗旨和权利要求所保护范围的情况下还可以做出很多变形,这些均属于本发明的保护。

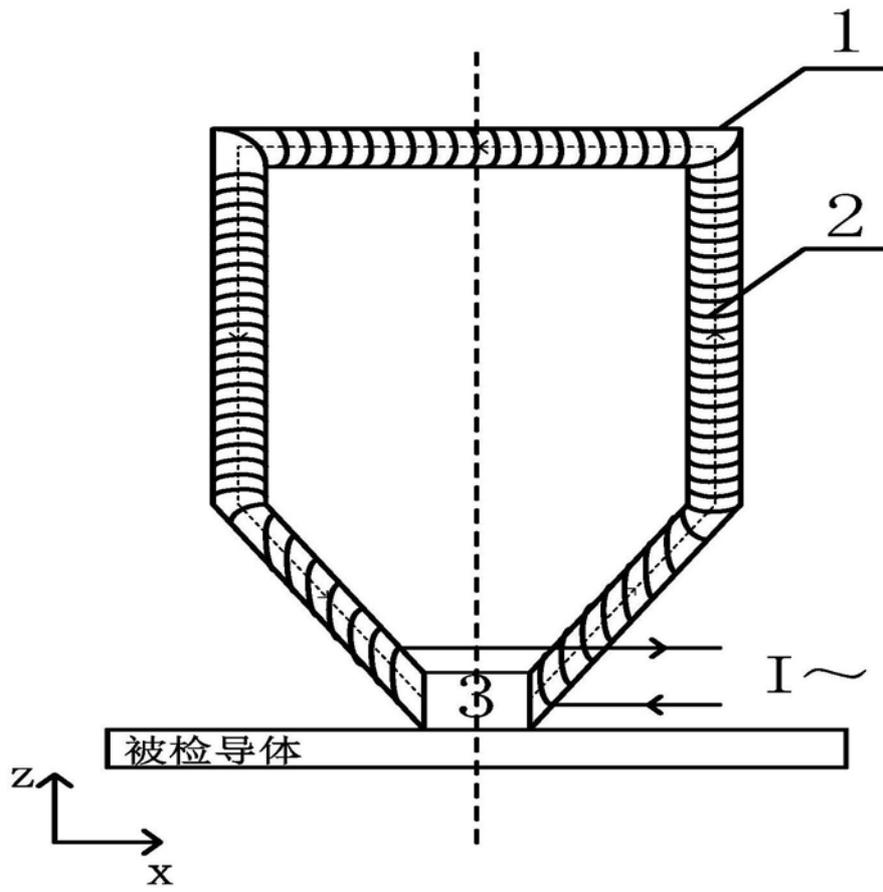


图1

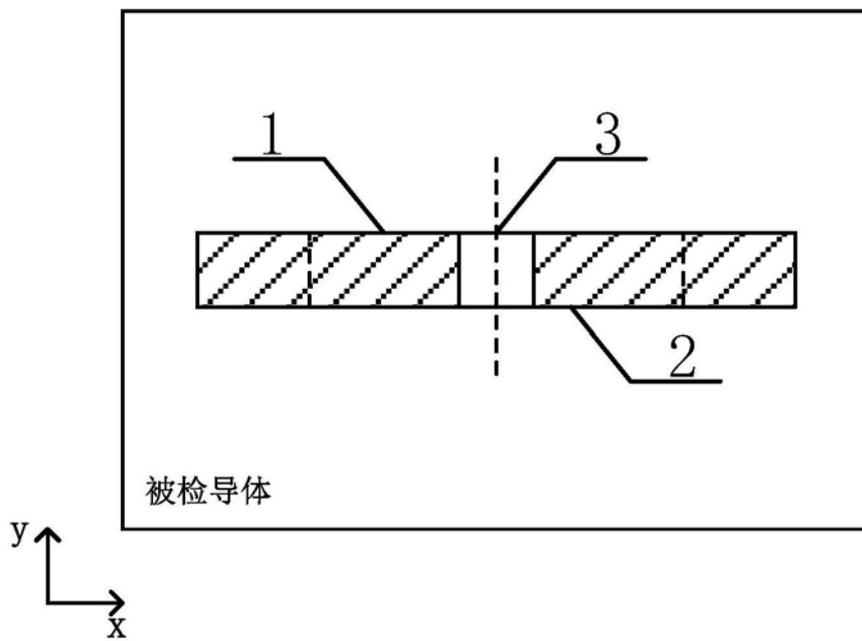


图2

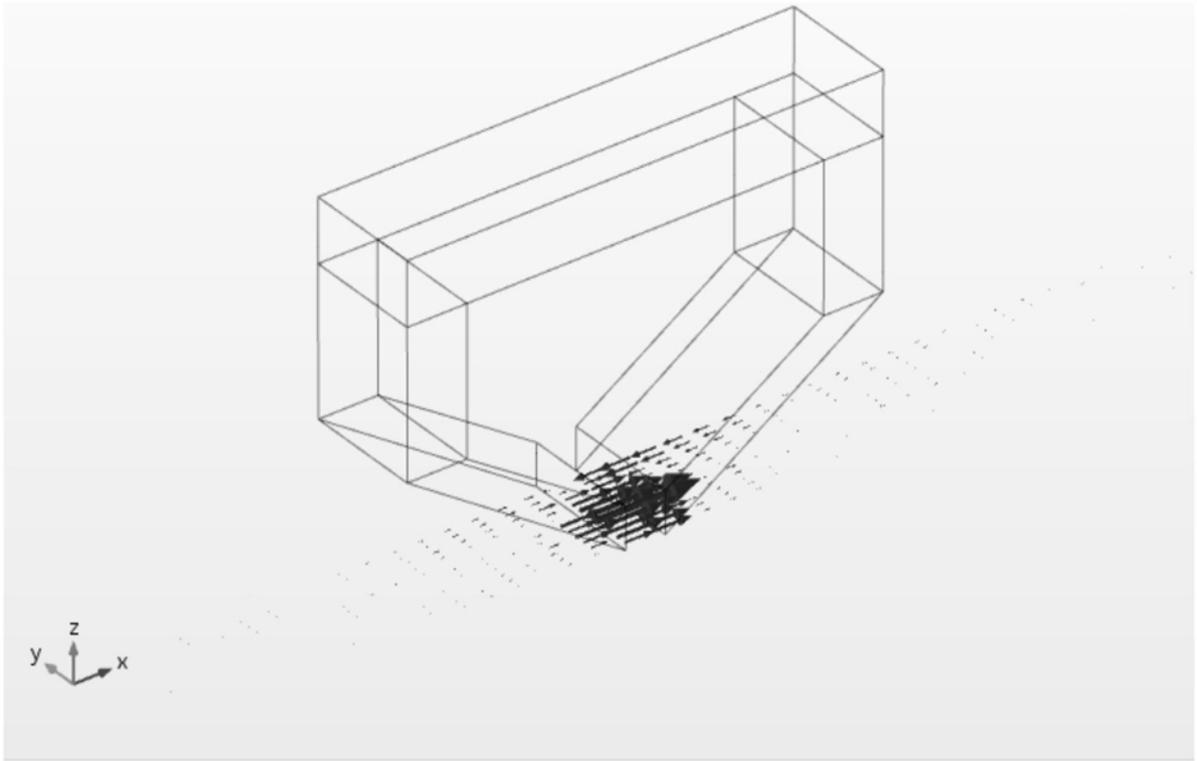


图3

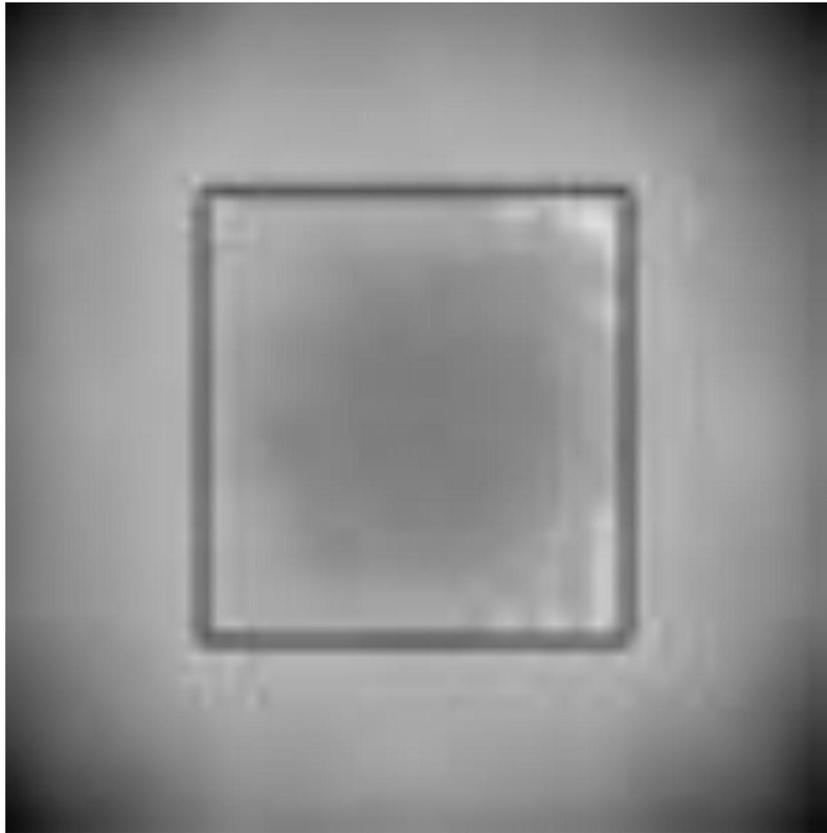


图4

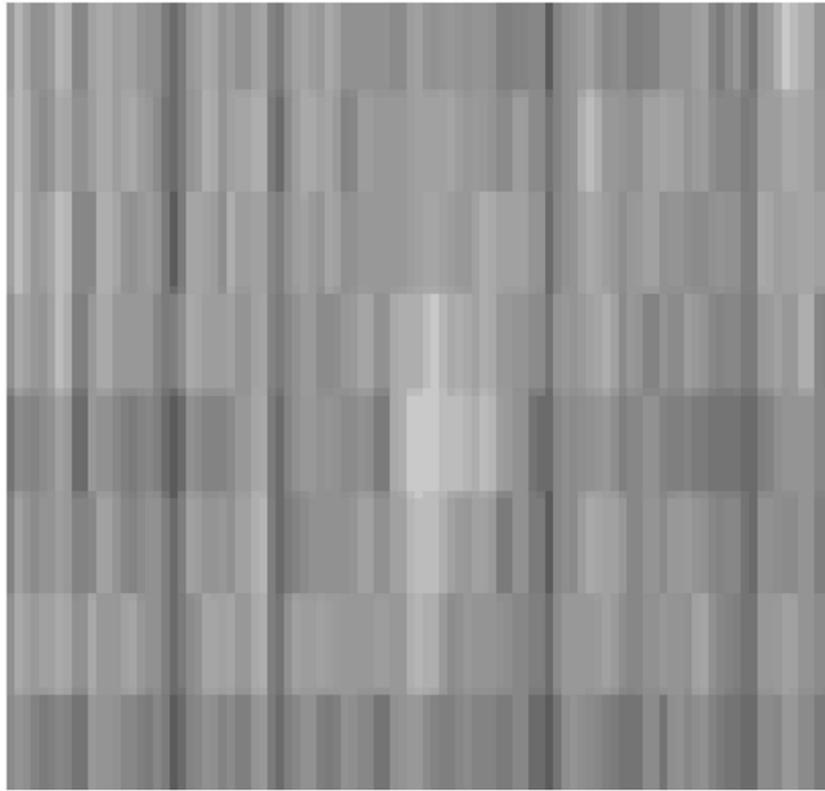


图5

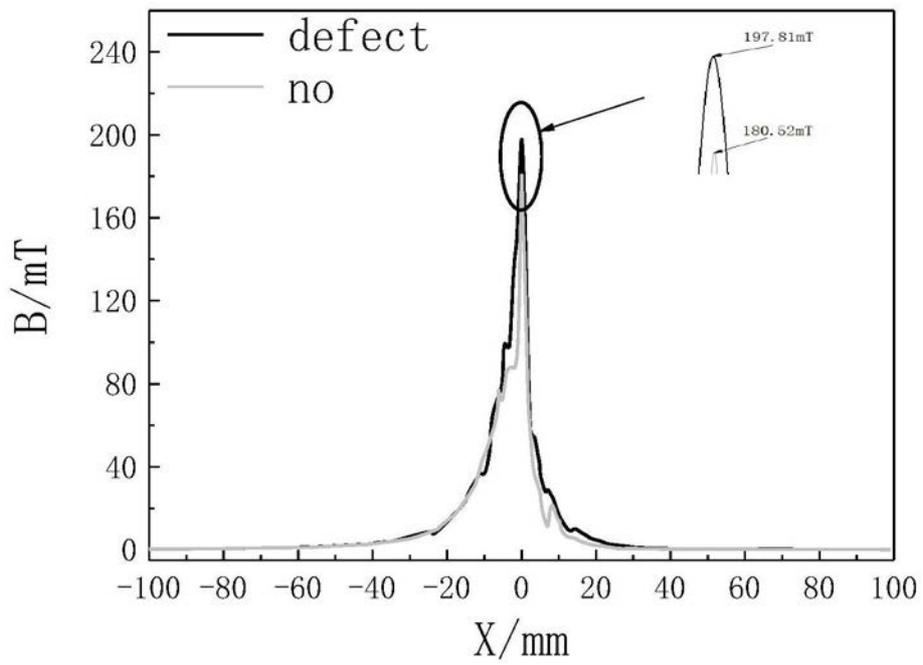


图6