



Method and Apparatus for Detecting Surface Cracks

Vitalii BABAK¹, Ihor BOHACHEV¹,
Leonid SCHERBAK², Roman HAMOTA²

¹ Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine
Phone: +38 044 4566282, Fax: +38 044 4566091; e-mail: biv_vdoe@ukr.net

² National Aviation University, Kiev, Ukraine, e-mail: h.big@ukr.net

Abstract

The work is devoted to the analysis of the possibility of using low-aperture magnetostrictive transducers as sensors and oscillators in ultrasonic inspection devices for detecting surface cracks. The following advantages can be distinguished; small area of the contact surface, a wide range of operating temperatures; simple manufacturing; the possibility of working with a "dry" acoustic contact. The following problems were posed and investigated: determine the features of the electroacoustic tract; to obtain more complete information about the structure of the acoustic field being formed; formulate requirements for the hardware of ultrasonic inspection systems.

Keywords: ultrasonic testing; Small aperture magnetostrictive transducers; surface cracks; acoustic field.

Метод и аппаратура для обнаружения поверхностных трещин

Виталий БАБАК, Игорь БОГАЧЕВ, Леонид ЩЕРБАК, Роман ГАМОТА

1. Анализ существующих методов и постановка проблемы

Известно, что выбор того или иного метода обнаружения поверхностных трещин зависит от формы объекта контроля, материала, из которого он изготовлен и возможного типа дефекта.

На практике используются следующие методы: магнитный; флуоресцентный; травления детали кислотой; смачивания поверхности детали керосином с последующей меловой обмазкой; гидравлический; пневматический; нагрева детали; проверки электрической прочности детали и ультразвуковой.

Магнитный метод применяется для контроля деталей любой конфигурации и размеров, изготовленных из ферромагнитных сплавов (сталь, чугун). Он отличается достаточно высокой точностью, быстротой выполнения операций, простотой устройства аппаратуры. При намагничивании детали в местах, где имеется дефект, магнитные силовые линии образуют видимую картинку потока рассеивания. На границах дефекта возникают магнитные полюса, и картина магнитного потока изменяется. После кратковременного погружения детали в суспензию из ферромагнитного порошка и масла легко обнаружить места расположения дефекта по осевшим частицам порошка. Дефект в детали можно выявить также при помощи сенсорных катушек и измерительных приборов.

Флуоресцентный метод применяют для контроля деталей из сплавов цветных металлов и инструмента с пластинками из твердого сплава. Используют его и для контроля деталей из черных металлов, но в этом случае он более сложен и требует значительных затрат времени. При контроле очищенную и обезжиренную деталь погружают на 10—15 мин в ванну с флуоресцентной жидкостью. Эта жидкость представляет собой смесь 0,25 л трансформаторного масла, 0,5 л керосина, 0,25 л бензина

и 0,25 г порошка дефектоля. Если флуоресцентную жидкость наносят на поверхность детали кистью, то деталь также выдерживают, прежде чем приступить к следующей операции. Затем струей холодной воды под давлением примерно 0,2 МПа удаляют с поверхности флуоресцентный раствор и просушивают деталь. На контролируемую поверхность наносят мелкий сухой порошок силикагеля (SiO_2), выдерживают деталь на воздухе в течение 5...30 мин и затем удаляют излишки порошка. Облучают проверяемую поверхность детали ртутно-кварцевой лампой через светофильтр. Дефекты обнаруживают по яркому зелено-желтому свечению порошка силикагеля, пропитанного флуоресцентным раствором, который располагается по трещине.

Метод выявления трещин травлением заключается в том, что предварительно очищенную и обезжиренную деталь в течение 3...5 мин протравливают в 10...20%-ном растворе серной кислоты. При помощи лупы 10...20 кратного увеличения или микроскопа обнаруживают трещину по следам коррозии на краях трещины.

Метод выявления трещин при помощи керосина и меловой обмазки включает следующие операции. Очищенную поверхность контролируемой детали слегка смачивают керосином и после 5...10 мин выдержки протирают ветошью. На проверяемую поверхность наносят меловую обмазку (мел, разведенный в воде до кашицеобразного состояния) и сушат. Ударами деревянного молотка по смежным участкам детали выдавливают остатки керосина из трещины и по желтому пятну на меловой обмазке обнаруживают скрытый дефект.

Пневматический метод используют для определения повреждений в автомобильных радиаторах, шинах и топливных баках. Воздух под давлением 0,05—0,1 МПа подают внутрь радиатора, погруженного в ванну с водой. По пузырькам выходящего воздуха обнаруживают дефекты.

Метод нагрева детали используют для обнаружения трещин в тонкостенных герметически закрытых деталях (например, латунных поплавков карбюраторов). При этом деталь помещают в горячую (80-90°C) воду. По выходящим пузырькам нагретого воздуха устанавливают месторасположение трещин.

Ультразвуковой метод контроля, основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться в металле на большие расстояния в виде направленных пучков и отражаться от дефектного участка детали вследствие резкого изменения плотности среды, а следовательно, и акустического сопротивления (произведение плотности материала на скорость распространения продольной ультразвуковой волны в контролируемом образце).

Рассмотрим метод ультразвукового контроля лопаток турбин с использованием пьезоэлектрических преобразователей (рис. 1).

Чтобы произвести контроль лопатки турбины, нужно исследовать каждый участок поверхности пера лопатки (особенно входной и выходной кромки). Для этого на разных участках применяют пьезоэлектрические преобразователи с разной формой контактной поверхности. Для проведения контроля необходимо обязательно использовать контактную жидкость для обеспечения хорошего акустического контакта.

Для возбуждения поверхностной волны в области пера лопатки турбины преобразователи должны иметь различный угол ввода ультразвуковой волны для входной и выходной кромки.

Работа посвящена изучению и применению малоапертурных магнитострикционных преобразователей в качестве сенсоров и излучателей в приборах ультразвукового контроля, для обнаружения поверхностных трещин. Необходимо решить следующие задачи: определить особенности электроакустического тракта; получить более полную информацию о структуре формируемого акустического поля; сформулировать требования для аппаратных средств систем ультразвукового контроля.

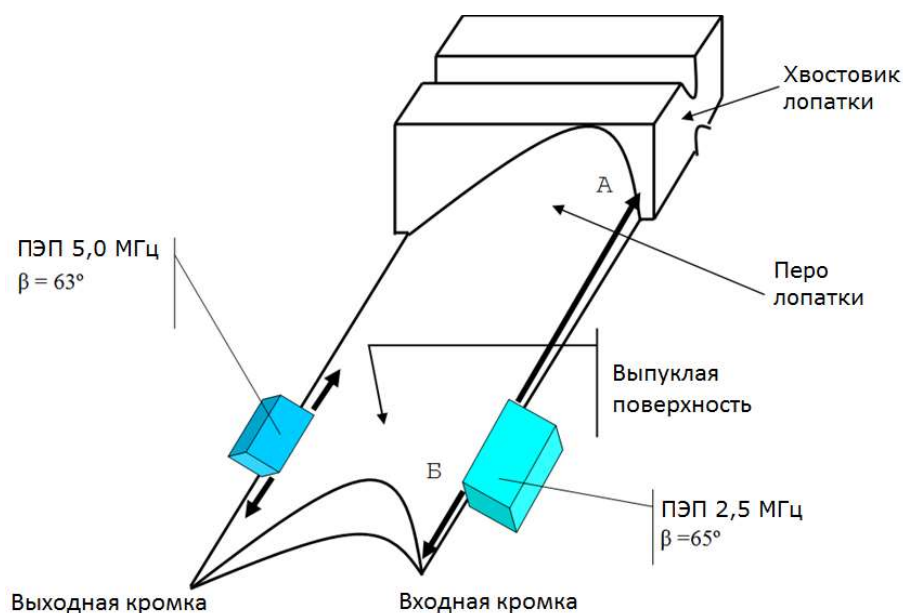


Рисунок 1. Контроль лопатки турбины с помощью пьезоэлектрических преобразователей

2. Ход исследования

Возбуждение и приём ультразвуковых волн можно производить с помощью магнитострикционных преобразователей [1,2]

Можно выделить следующие преимущества малоапертурных магнитострикционных преобразователей [3,4]. Магнитострикционные сенсоры имеют площадь излучающей поверхности (0,07...0,8 мм²), что в десятки раз меньше, чем пьезоэлектрические, это позволяет увеличить разрешение сенсоров и систем УЗ контроля в целом. Акустический контакт магнитострикционных преобразователей с объектом контроля может обеспечиваться без применения контактных жидкостей (так называемой «сухой» контакт). Лучшие параметры и характеристики магнитострикционных преобразователей достигаются при использовании однослойных катушек возбуждения с малым количеством витков. Для повышения эффективности сенсоров целесообразно использовать многосекционные катушки возбуждения. Точка Кюри для большинства магнитострикционных материалов находится в пределах 600...1200 °С, что значительно превышает температуру Кюри для пьезоэлектрических преобразователей. Эта особенность позволяет использовать малоапертурные магнитострикционные преобразователи для контроля теплоэнергетического оборудования, работающего при повышенных температурах.

Основываясь на преимуществах магнитострикционных преобразователей можно выделить важные объекты, для контроля которых можно использовать малоапертурные сенсоры: рабочие лопатки газотурбинных двигателей; лонжероны лопастей летательных аппаратов; тонкостенные элементы несущих конструкций; ультразвуковые преобразователи диагностических систем, в том числе фазированные антенные решетки; нагретые объекты сложной формы; клепаные соединения несущих конструкций летательных аппаратов и другие.

Задачей исследования работы является изучение использования метода и аппаратуры для исследования поверхностных трещин.

Магнестрикционные малоапертурные сенсоры возбуждают поверхностные волны (волны Релея) в контролируемом образце в отличие от пьезопреобразователей, которым для этого необходимы специальные призмы для ввода ультразвукового колебания под определённым углом. С увеличением глубины проникновения, интенсивность волны Релея резко уменьшается [5]. Это обстоятельство позволяет использовать волны Релея для поиска поверхностных дефектов. Затухание волны Релея вдоль свободной поверхности определяется затуханием объёмных волн, поэтому волны Релея могут распространяться на большие расстояния, в частности, и вдоль кривых поверхностей, если радиус кривизны значительно превышает длину волны, иначе происходит её отражение. По времени прохождения поверхностной волной расстояния между излучающим и принимающим преобразователями можно определить значение скорости распространения поверхностной волны в контролируемом образце.

Если при контроле используется одиночный малоапертурный сенсор, возможно определить лишь факт наличия или отсутствия дефекта, но нельзя определить его положение в пространстве. Если использовать n сенсоров одновременно, можно вычислить местонахождение дефекта и его размеры [6].

При анализе и расчете акустического тракта в данной работе определены требования к аппаратной части прибора для генерации радиоимпульсного сигнала возбуждения и приёма сигнала с использованием малоапертурного магнестрикционного сенсора.

Так, частота заполнения радиоимпульса $0,1 \dots 10$ МГц, длительность импульса $1 \dots 8$ периодов заполняющего колебания, амплитудное значение напряжения на излучателе должно быть больше 5 В, при нагрузке меньше 1 Ом, входное сопротивление приёмного усилителя должно быть больше 2 кОм, коэффициент усиления больше 2500 раз.

На основании требований были разработаны схемы и изготовлен электронный блок. Внешний вид электронного блока приведен на рис. 2.

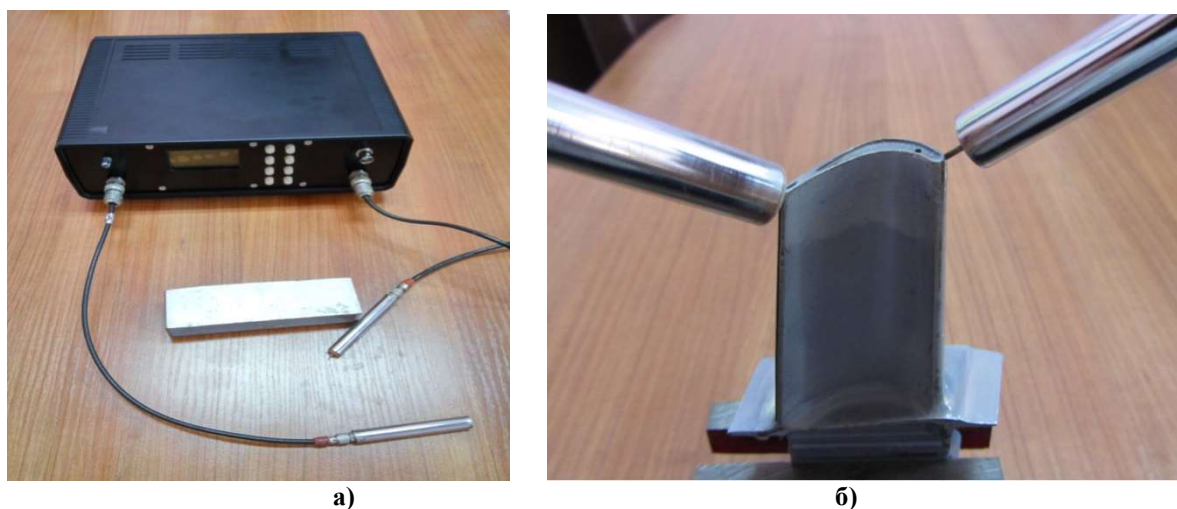


Рисунок 2. а) электронный блок с подключенными малоапертурными магнестрикционными сенсорами; б) контроль лопатки турбины

Указанные технические характеристики электронного блока приведены в таблице 1.

Таблица 1

Частота заполнения радиоимпульса, МГц	менше 0,1 ... 10,0
Длительность импульса	1 ... 8 периодов заполняющего колебания
Амплитудное значение напряжения на излучателе, В	0 ... 10 при нагрузке 0,5 Ом
Входное сопротивление усилителя, кОм	больше 3,0
Максимальное выходное напряжение, В	10
Коэффициент усиления	5000

На рисунке 3 приведено фото образца заклёпочного соединения деталей с поверхностной трещиной.



Рисунок 3. Фото части образца соединения деталей при помощи заклёпок с видимой трещиной

Трещина была выращена искусственно путем многократных переменных изгибных нагрузок деталей. Трещина возникает в районе заклёпок, так как здесь механическое напряжение в 3-4 раза превышает напряжение на других участках образца.

С помощью описанного выше оборудования был произведен ультразвуковой контроль этой детали на различных участках в районе заклёпок. Расположение преобразователей на образце и осциллограммы принятых сигналов изображены на рис. 4.

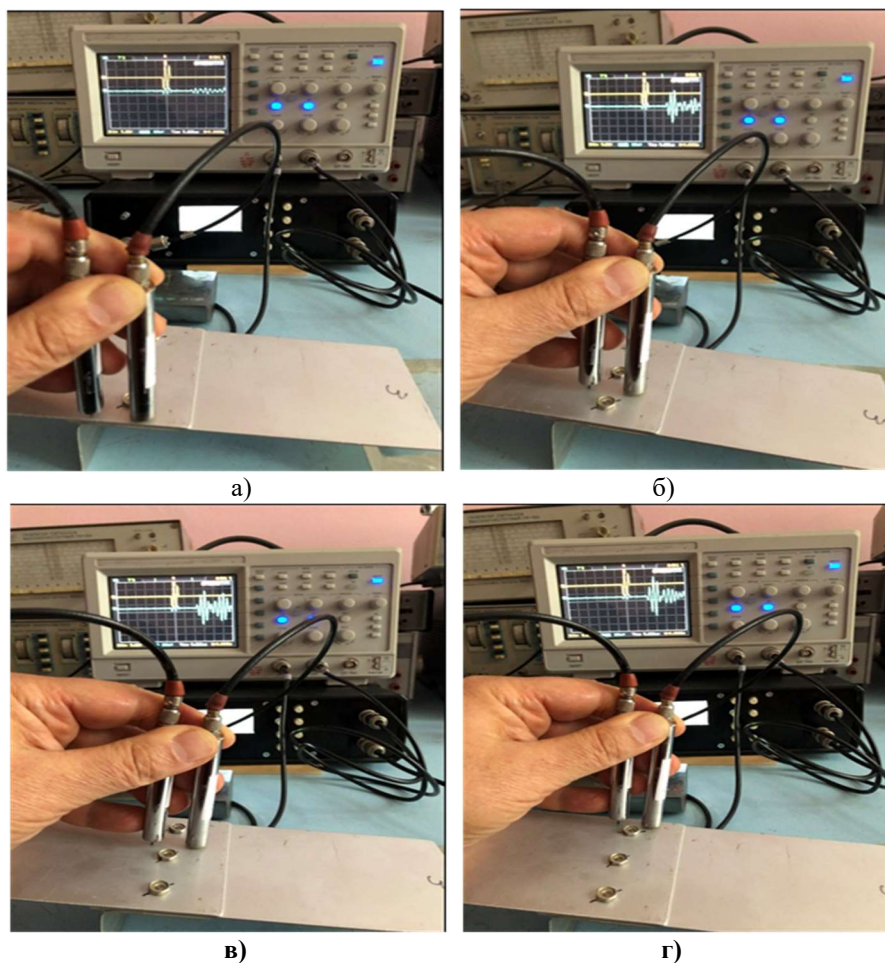


Рисунок 4. Фото расположения преобразователей на контролируемом образце и принятых сигналов сенсоров: а) с трещиной, б-г) без трещины

Как видно из осциллограмм принятых сигналов сенсоров при прохождении ультразвуковой волны через трещину сигнал уменьшается более чем в 10 раз (рис. 4.а). Следовательно, большая часть энергии волны отражается от трещины.

3. Выводы

Таким образом, малоапертурные магнитострикционные преобразователи имеют малую площадь излучающей поверхности, что позволяет получить диаграмму направленности практически круговой формы для поверхностных волн. Поверхностные волны имеют малую глубину проникновения, что удобно для обнаружения поверхностных трещин.

Акустический контакт магнитострикционных преобразователей с объектом контроля может обеспечиваться без применения специальных контактных жидкостей. При использовании контактной жидкости амплитуда принятого сигнала увеличивается в 2...3 раза, что полезно при контроле больших деталей.

При известном расстоянии между излучателем и приемником ультразвуковых колебаний (при расположении двух преобразователей в одном корпусе) можно определить скорость распространения ультразвуковой волны в контролируемом образце, что в дальнейшем можно использовать для вычисления размеров трещины и ее местоположения.

Дальнейшие исследования представляется целесообразным направить на углубленное исследование трансформации и интерференции различных типов волн в ультразвуковых трактах и разработке методик контроля различных объектов.

Литература

1. Seung H.M., Y.Y. Kim. Generation of omni-directional shear-horizontal waves in a ferromagnetic plate by a magnetostrictive patch transducer. *NDT and E International*, Vol. 80, 2016, pp.6-14.
2. Kwun H., C.M. Teller. Magnetostrictive generation and detection of longitudinal, torsional and flexural waves in a steel rod. *Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 96, 1994, pp.1202-1204.
3. Патент України № 104567. Ультразвуковий малоапертурний магнітострикційний перетворювач. В. П. Бабак, І. В. Богачев; заявник і власник патенту ІТТФ НАН України. – №а201306020; заявл. 15.05.2013; опубл. 10.02.2014. – Бюл. №3.
4. Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики: Монографія / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Березун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака. К., 2015. 512 с.
5. Цапенко В.К., Ю.В. Куц. Основи ультразвукового неруйнівного контролю: Підручник. К.: НТУУ КПІ, 2010, 448 с.
6. Патент України № 107629. Матриця малоапертурних магнітострикційних перетворювачів / В.П. Бабак, І.В. Богачев; заявник і власник патенту ІТТФ НАН України. – №а201312825; заявл. 04.11.2013; опубл. 26.01.2015. – Бюл. №2.