

УДК 53.082.5:535.012

ДЕЙСТВУЮЩИЙ МАКЕТ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ

Смирнов А.Г., Рыжевич А.А., Агашков А.В.

Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

В соответствии с Задаанием 5.4. ОКР "Луч" нами был разработан, собран и протестирован действующий макет устройства для детектирования поверхностных и приповерхностных дефектов малых размеров, позволяющий, позволяющий сканировать круглую пластину диаметром до 200 мм в скоростном режиме и формировать цифровое качественное изображение ее поверхности с разрешением менее 50 мкм.

Функциональная схема модуля приведена на рисунке 1.

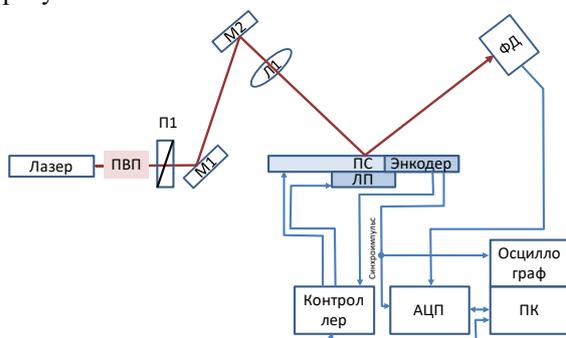


Рисунок 1 – Макет устройства для детектирования дефектов: ПВП – полуволновая пластинка, П1 – линейный поляризатор, М1,2 – зеркала, Л1 – линза, ПС – поворотный стол, ЛТ – линейный транслятор, ПК – персональный компьютер, ФД – фотодиод, АЦП – аналого-цифровой преобразователь

Линейно поляризованное излучение He-Ne лазера при помощи двух зеркал, закрепленных в кинематических держателях, направляется под углом 45 градусов на образец, помещенный на сканирующую платформу. Сканирующая платформа состоит из поворотного стола, RSMR-T-36-115-25-KF-AM (Рухсервомотор), и линейного транслятора, 8T167-100 (Standa). Перемещение сканирующей платформы осуществляется при помощи сервоконтроллера. Для регулировки мощности излучения от лазера с макс. мощностью 5 мВт на выходе лазера помещается полуволновая пластинка и линейный поляризатор. Излучение лазера фокусируется на поверхность образца сферической линзой с фокусным расстоянием 150 мм. Отраженное от поверхности образца лазерное излучение попадает на фотоприемник (PD101, Thorlabs), сигнал с которого оцифровывается аналого-цифровым преобразователем, в качестве которой используется многофункциональная карта NI DAQ6221USB (National Instruments). При попадании фокусного пятна на дефект происходит

изменение мощности рассеянного излучения, благодаря чему может быть зафиксировано наличие этого дефекта.

При сборке макета требовалось уделить внимание точной юстировке. Пятно излучения лазера в размере составляло около 100 мкм. Для достижения требуемого разрешения и исключения искажения изображения обеспечивалось совмещение положения лазерного пятна с центром вращения пластины, установленной линейным транслятором в нулевой точке, с точностью не хуже 50 мкм. Для точного совмещения использовалась цифровая камера с широкоугольным объективом, расположенными на некоторой высоте над сканирующей платформой, и метод, основанный на обработке последовательности снимков поверхности поворотного стола, снятых при положениях в 0, 90 и 270 градусов. После обработки снимков определялся пиксел камеры, соответствующий центру вращения стола. Затем в режиме реального времени по камере производилось совмещение лазерного пятна с центром вращения, который подсвечивался на изображении визиром. Поскольку центр вращения расположен в полости части ротора мотора, для получения изображения пятна лазера на камере мотор посредством линейного транслятора перемещался так, чтобы лазер освещал металлический обод ротора. Для получения четкого изображения также необходимо было точно сфокусировать лазер на поверхность пластины с точностью не хуже 10 мкм. Для этого фокусирующая линза крепилась в держателе с шестью степенями свободы, обеспечиваемыми микрометрическими винтами.

Управление макетом осуществлялось при помощи персонального компьютера (ПК), к которому были подключены два сервоконтроллера сканирующей платформы и карта АЦП NI DAQ6221USB. Подключение поворотного стола производилось по следующей схеме. Питание от двухфазной сети подводилось на контроллер Kollmorgen S300, который осуществлял преобразование тока и питал поворотный двигатель. Дополнительно к контроллеру подавалось питание 24 В для осуществление программного управления. Клеммы блокировки двигателя STO и Enable были закорочены. Контроллер был подключен к персональному компьютеру по интерфейсу RS232. Синхронимпульс нулевой метки энкодера (разъем X5) подавался на осциллограф для контроля и на цифровой вход PF10 карты NI DAQ6221USB. Управление линейным транслятором

осуществлялось через контроллер, подключенный к ПК по интерфейсу USB. Сигнал с фотодиода после усиления (встроенный усилитель фотодиода), подавался на аналоговый вход ад карты NI DAQ6221USB. Карта подключалась к ПК также через интерфейс USB. Для управления макетом системы регистрации было разработано программное обеспечение на C++ для подключения указанных аппаратных средств в среде Matlab. Также был разработан программный скрипт, реализующий логику синхронизации компонент системы. Отметим, что для преобразования формата изображения из полярной системы координат в декартову используется двумерная интерполяция на неоднородной сетке.

Макет тестировался в режиме скоростного сканирования. В качестве исследуемого объекта использовалась внутренняя часть ротора поворотного стола, представляющего собой металлический диск диаметром 100 мм с 8 отверстиями диаметром 5 мм, расположенных по окружности диска. Для обеспечения точной синхронизации системы регистрации с вращением стола предварительно были произведены замеры реальной скорости вращения поворотного стола и тактовой частоты карты NI DAQ6221USB. Для этого на осциллографе Tetronix измерялся период опорного сигнала с энкодера и сравнивался с номинальным. Для поворотного стола абсолютная погрешность воспроизведения номинальной и реальной скорости вращения составила $5 \cdot 10^{-4} \text{ сек}^{-1}$. Это достаточно значимая величина, поскольку с учетом того, что время пролета луча над одной точкой составляет около 50 мкс, за время сканирования запаздывание составит полный оборот. Для компенсации запаздывания была введена коррекция скорости вращения посредством интерполяции, что улучшило точность воспроизведения частоты в 102 раза. Для достижения оптимального режима сканирования скорость вращения стола и частота оцифровки АЦП согласовывались между собой, исходя из максимально достижимой скорости перемещения линейного транслятора. Оптимальная скорость вращения составила 200 об/мин, частота выборки – 10 кВыб/сек.

В процессе тестов сканировалась внутренняя часть обода ротора поворотного стола. На рисунке 2 приведен типичный оцифрованный сигнал с фотодиода. Максимальная амплитуда усиленного сигнала составила около 4 В. В сигнале присутствуют провалы, который соответствуют прохождению лазерного луча по отверстиям в диске. Относительный уровень шума сигнала составил около 1 %. Изрезанный профиль сигнала обусловлен сильной шероховатостью поверхности

диска, которая приводит к рассеиванию лазерного луча. При неподвижном линейном трансляторе сигнал стабилен, что демонстрирует точную синхронизацию.

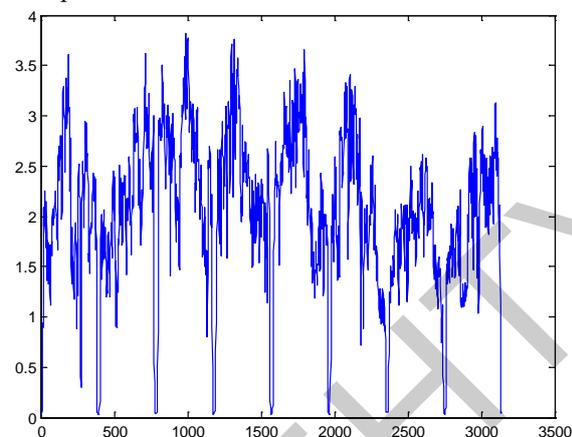


Рисунок 2 – Оцифрованный сигнал с фотодиода; ось x – номер выборки, ось y – амплитуда, провалы соответствуют отверстиям на диске

Для оценки достижимого пространственного разрешения на ротор была закреплена паттерн – стеклянная пластинка с нанесенной решеткой периодом в 1 мм с линиями толщиной 12 мкм. На рисунке 3 приведено полученное изображение решетки. Частота дискретизации была выбрана исходя из разрешения в 50 мкм, при этом размер пятна лазера составлял около 100 мкм. Как видно, линии достаточно легко разрешаются, а это означает, что достигнуто разрешение не менее 12 мкм.

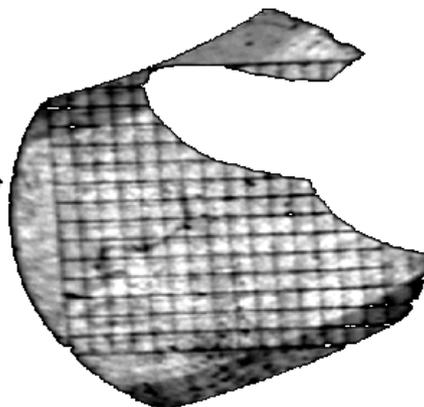


Рисунок 3 – Изображение паттерна

При достижимой скорости вращения 500 об/мин полное время сканирования пластины диаметром 100 мм с разрешением 50 мкм составляет 4 минуты. При этом частота циклов съема/обработки данных равна 120 кВыборк/мин.