

СКОРОСТЬ СКАНИРОВАНИЯ ПРИ УЗК ФАЗИРОВАННЫМИ РЕШЕТКАМИ



ПЕПЕЛЯЕВ Андрей Валентинович
ООО «ТЕХКОН», Москва

Скорость сканирования — важный параметр, который определяет как надежность, так и производительность контроля. Ее нужно правильно настроить и постоянно отслеживать, чтобы обеспечить баланс между этими показателями. Кроме того, учет скорости сканирования необходим при планировании работ по контролю: объемов и сроков выполнения, количества и квалификации персонала, комплектации и характеристик оборудования. Показано, от каких факторов зависит скорость сканирования и какими средствами можно обеспечить ее оптимальные значения.

Общие положения

Одна из основных целей, для которых стали применять фазированные решетки сначала в радиолокации, а потом и в ультразвуковом контроле (УЗК), состояла в замене некоторых видов механического сканирования электронным, что позволяло резко повысить общую скорость данного процесса.

В УЗК с преобразователями — фазированными решетками (ПФР) обычно выполняют комбинацию электронного и механического сканирования. Например, ПФР механически перемещается в направлении продольной оси сварного шва, поперечные сечения которого контролируются при этом за счет электронного сканирования. В первую очередь это относится к автоматизированному и механизированному УЗК (АУЗК и МУЗК).

Под скоростью сканирования будем понимать скорость механического перемещения ПФР по заданной координатной оси S при проведении контроля импульсным эхометодом. Другие мето-

ды, которые используют специальные алгоритмы сбора первичных данных и их последующей математической обработки, например метод общей фокусировки TFM, должны быть рассмотрены отдельно.

В большинстве систем АУЗК и МУЗК блок акустических преобразователей непрерывно перемещается по оси механического сканирования S . Скорость такого сканирования ограничена тем, что за время смещения на заданный шаг ΔS должен быть выполнен полный цикл электронного сканирования в контрольном сечении — в заданном объеме объекта контроля (ОК), с автоматической регистрацией и сохранением полученных данных.

Если пренебречь временем, которое занимает электронная обработка сигнала в дефектоскопе, и учесть только факторы акустического тракта, то максимальную скорость механического сканирования ПФР $v_{C\max}$ можно определить по формуле

$$v_{C\max} = (f_{3И}/N_F) \Delta S, \quad (1)$$

где $f_{3И}$ — частота посылок зондирующих импульсов (ЗИ), которая зависит в том числе от диапазона развертки; N_F — общее число законов фокусировки или лучей электронного сканирования, которые реализуются ПФР по данным законам фокусировки в каждом контрольном сечении ОК; ΔS — шаг механического сканирования по заданной координатной оси (разрешение по оси сканирования S).

Выбор N_F и ΔS

N_F определяется диапазоном и шагом электронного сканирования. Эти параметры, а также ΔS должны быть указаны в документации на контроль, поскольку их оптимальные значения не всегда можно быстро и просто обосновать. Например, шаг электронного и механического сканирования должен быть достаточно малым, чтобы обеспечить такое перекрытие соседних диаграмм направленности во всей зоне контроля, при котором достигается надежное выявление дефектов на требуемой чувствительности, а также необходимое фронтальное разрешение. Но начиная с некоторых значений, дальнейшее уменьшение шага сканирования не улучшает параметры контроля и не повышает

информативности полученных результатов. Происходит только излишнее дублирование собранных данных, при этом пропорционально уменьшению шага сканирования падает v_{Cmax} и растет объем файлов данных.

При контроле сварных швов поперечными волнами чаще используют секторное или комбинированное (линейное и секторное) электронное сканирование с диапазоном углов ввода от 35...40 до 70...75° шагом по углу 0,5...1,0°. При контроле основного металла и композитов в режиме линейного сканирования его шаг обычно равен смещению активной группы на один элемент ПФР. Но поскольку этот параметр у большинства ПФР не превышает 1 мм, в некоторых случаях можно увеличить шаг линейного сканирования до двух элементов. Это повысит в 2 раза не только v_{Cmax} , но и площадь зоны контроля, массив А-сканов для которой нужно сохранить в файле заданного размера.

К шагу механического сканирования ΔS можно применить распространенное в УЗК требование, что данный параметр не должен превышать половину размера пьезоэлемента в направлении сканирования. Но в системах АУЗК и МУЗК для более надежного выявления дефектов и более точного определения их характеристик чаще применяют меньшие значения $\Delta S = 1...2$ мм.

Настройка $f_{3И}$

Параметр $f_{3И}$ является не менее важным, но в документации на контроль он иногда не указывается. В результате его не настраивают, а используют то значение, которое устанавливается в дефектоскопе автоматически. Поэтому рассмотрим настройку $f_{3И}$ подробнее. Сделаем это на примере дефектоскопов модельного ряда OmniScan, включая OmniScan X3.

Одним из удачных решений, реализованных в этих дефектоскопах, является встроенный калькулятор скорости сканирования. После настройки всех необходимых параметров контроля на дисплее в специальном поле отображаются значения v_{Cmax} и $f_{3И}$. Примеры приведены на рис. 1 и 2. Для компактности рисунков поле с указанными параметрами показано в окне секторного S-скана.

Параметр v_{Cmax} зависит от $f_{3И}$ прямо пропорционально (1), поэтому для роста v_{Cmax} нужно увеличивать $f_{3И}$. Максимальное значение $f_{3И}$ является одной из важных характеристик дефектоскопа, которые определяют его быстродействие. Для дефектоскопов OmniScan максимальное значение $f_{3И}$ составляет 20 кГц. В некоторых случаях в дефектоскопе отображается не $f_{3И}$, а параметр «скорость сбора». Он равен отношению $f_{3И}/N_F$, т.е. числу циклов электронного сканирования в секунду.

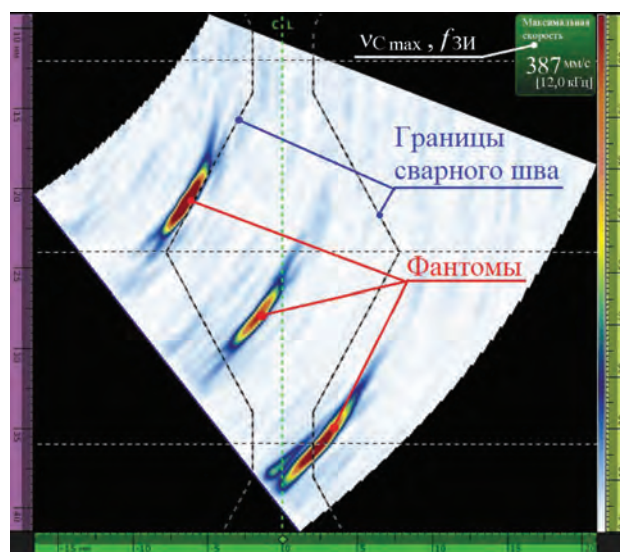


Рис. 1. S-скан с индикациями-фантомами

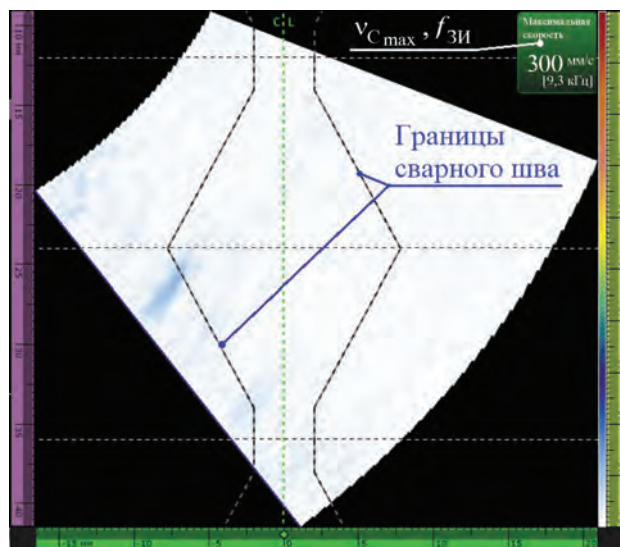


Рис. 2. S-скан без индикаций-фантомов

Смысл настройки $f_{3И}$ для конкретного ОК заключается в следующем. При контроле эхометодом ЗИ должен пройти от излучателя до возможного отражателя на дальней границе развертки и вернуться назад к приемнику до того, как будет излучен следующий ЗИ.

Для выполнения данного условия $f_{3И}$ в дефектоскопе задается автоматически. Это значение будет верным после корректной настройки скорости звука в материале ОК, акустической задержки и диапазона развертки. При этом по умолчанию в настройках генератора дефектоскопа устанавливается некоторое оптимальное значение $f_{3И}$ Default, которое ниже максимального. Для получения максимальных значений $f_{3И}$ и, соответственно, v_{Cmax} необходимо выбрать в настройках значение $f_{3И}$ «Авто max».

Но в некоторых случаях требуется дальнейшая корректировка $f_{3И}$. Это связано с возможным появлением такого вида помех, как сигналы-фантомы. Фантомы — это сигналы от предыдущих ЗИ, которые распространяются в ОК дальше, чем один цикл излучения-приема, не успевают при этом затухнуть и потому регистрируются в следующих циклах. Причины появления фантомов — различные переотражения сигналов в ОК или приход эхосигналов от отражателей, которые находятся за границами развертки.

Фантомы могут проявляться в виде роста уровня шумов или как нехарактерные для данного ОК цепочки индикаций, которые имеют вид явных артефактов. Но могут наблюдаться и индикации, схожие с дефектами по своей форме и расположению на развертке. Фантомы перемещаются по развертке при изменении $f_{3И}$ — именно так их можно идентифицировать. При снижении $f_{3И}$ до некоторого значения, которое зависит от конкретных параметров контроля, фантомы исчезают: это один из способов борьбы с помехами данного вида.

Другой способ борьбы с фантомами — включить в настройках дефектоскопа режим «Чередование». Данный режим меняет последовательность генерации лучей в процессе электронного сканирования и тем самым снижает вероятность появления фантомов. Опыт применения показал, что в некоторых случаях режим «Чередование» действительно устраняет фантомы без снижения $f_{3И}$, но в других случаях его использование может не дать нужного эффекта.

Таким образом, для настройки максимальных значений $f_{3И}$ без сигналов-помех рекомендуется следующее.

1. Настроить скорость звука в материале ОК, параметры электронного сканирования, диапазон развертки, акустическую задержку и чувствительность контроля.
2. Включить значение $f_{3И}$ «Авто max».
3. Установить ПФР на ОК или настроечный образец (НО); поскольку ситуация с фантомами для ОК и НО может различаться, окончательную настройку $f_{3И}$ нужно выполнить на ОК.
4. При наличии сигналов-фантомов включить режим генератора «Чередование».

5. Если сигналы-фантомы останутся, не выключая режим «Чередование», снизить $f_{3И}$ до исчезновения указанных помех.

Пример — контроль сварного шва толщиной 12 мм поперечными волнами в режиме секторного сканирования $40...70^\circ$. Начальное значение $f_{3И} = 12$ кГц («Авто max»), что при ΔS , равном 1 мм, соответствует v_{Cmax} 387 мм/с. Поскольку в конкретном случае на небольшом расстоянии за ПФР (т.е. не в зоне контроля) находился конструктивный отражатель, при указанных значениях возникли сигналы-фантомы. К таковым относятся все индикации на S-скане, показанные на рис. 1, в том числе расположенные в зоне сварного шва. После включения режима «Чередование» и снижения $f_{3И}$ до значения 9,3 кГц, что соответствует v_{Cmax} 300 мм/с, все индикации-фантомы на S-скане исчезли (см. рис. 2).

Применение сканеров

Параметр v_{Cmax} является расчетным, поэтому для практического применения можно ввести дополнительный термин «рабочая скорость (СР) сканирования v_{Cp} ». Это действительное значение скорости, с которой выполняют механическое сканирование конкретного ОК. Значения v_{Cp} не должны превышать v_{Cmax} , иначе будут происходить пропуски данных по целым контрольным сечениям (рис. 3).

Но v_{Cp} может быть значительно ниже v_{Cmax} , поскольку при сканировании требуется выполнить ряд задач:

- поддерживать высокую скорость перемещения ПФР во всех зонах ОК, в том числе на участках с затрудненным доступом, например в районе нижней образующей трубопровода;
- обеспечить в течение всего процесса сканирования надежный акустический контакт между ПФР и ОК;
- реализовать нужную траекторию перемещения блоков ПФР по поверхности ОК, например соблюдать заданное расстояние между продольной осью сварного шва и передней гранью призм ПФР.

Легче всего решить данные задачи позволяют системы АУЗК, в которых автоматизированы как

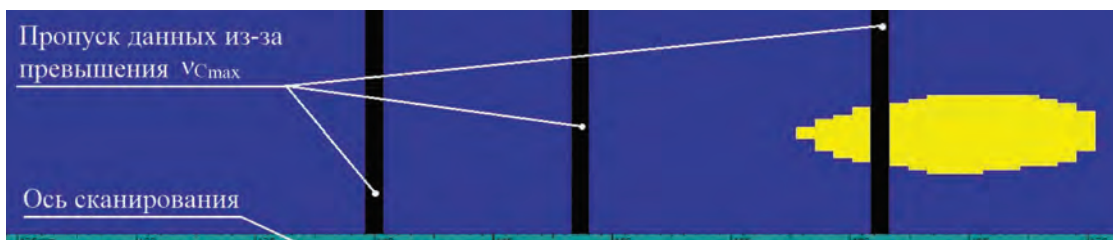


Рис. 3. С-скан с пропусками данных

перемещение блоков ПФР, так и подача контактной жидкости. Такие средства позволяют достичь максимальной скорости сканирования. Единственное, по сути, условие – система АУЗК должна быть разработана или адаптирована для применения на конкретных ОК. Чаще всего системы АУЗК применяют для контроля кольцевых сварных швов трубопроводов.

Но системы АУЗК бывает сложно или вообще невозможно перенастраивать на ОК разного типа. Кроме того, они имеют высокую стоимость. Поэтому в качестве более универсального варианта можно рассмотреть системы МУЗК. Особенность данного термина в том, что при МУЗК выполняется автоматический сбор данных (как при АУЗК), но ручное перемещение ПФР. Для этого в простейшем случае на ПФР с призмой нужно установить датчик пути (энкодер). Но очевидно, что такой комплект не обеспечит высокую v_{CP} .

Чтобы приблизить v_{CP} к v_{Cmax} , нужно применять сканеры с плавающей пружинной подвеской ПФР, системой подачи контактной жидкости и другими устройствами, которые позволяют решать задачи сканирования. Сканеры бывают двух основных типов по способу их крепления на ОК – бандажные (цепные) и на магнитных колесах (магнитные).

Пример универсального сканера на магнитных колесах – модель AxSEAM (рис. 4) [2]. Данный сканер позволяет контролировать кольцевые сварные швы наружным диаметром от 114 мм и выше, а также продольные сварные швы наружным диаметром от 152 мм и выше. Одновременно может проводиться двухсторонний контроль эхометодом и методом TOFD, что уже сокращает время контроля примерно в 3 раза. Если применяются призмы ПФР соответствующих моделей (подробнее о призмах см. работу [1]), то к сканеру можно подключить систему подачи контактной жидкости с ручным или электрической помпой.

Особенность данного сканера – встроенный модуль ScanDeck, который содержит кнопки управления процессом сканирования, а также индикаторы скорости сканирования и акустического контакта. Наличие данных индикаторов позволяет оператору, который перемещает сканер по ОК, оперативно устранять возникающие проблемы. Это не только повышает v_{CP} , но и резко сокращает время повторного сканирования, которое обязательно нужно проводить в случаях превышения v_{Cmax} или пропадания акустического контакта.

Опыт применения показал, что с помощью сканеров МУЗК при определенных условиях можно достичь весьма высоких значений v_{CP} , например 200...300 мм/с, или 12...18 м/мин. Эти показатели относятся к УЗК с ПФР как сварных швов, так и



Рис. 4. Сканер AxSEAM для МУЗК

основного металла и композитов. И они значительно, иногда в десятки раз превышают скорость сканирования аналогичных ОК при ручном УЗК (РУЗК) обычными преобразователями.

Отметим еще одно важное преимущество АУЗК и МУЗК по сравнению с РУЗК. Надежность контроля зависит в том числе от строгого соблюдения параметров сканирования. Для РУЗК сварных швов это, как правило, скорость и предел поперечного перемещения, а также шаг продольного сканирования. Но при РУЗК объективные средства контроля данных параметров отсутствуют. Поэтому встречаются случаи, когда РУЗК выполняют с достаточно высокой скоростью, но достигается она с грубым несоблюдением параметров сканирования. А это, в свою очередь, приводит к пропуску дефектов, включая недопустимые. В отличие от РУЗК, при АУЗК и МУЗК документируются не только результаты контроля и наличие акустического контакта, но и превышение v_{Cmax} (контроль целостности данных), а заданный шаг электронного и механического сканирования поддерживается автоматически.

При превышении v_{Cmax} на С-скане возникают характерные индикации в виде сплошных полос черного цвета, которые указывают на пропуск данных в соответствующих зонах контроля (см. рис. 3). Поскольку С-скан при сканировании отображается в реальном времени, то есть возможность сразу переместить сканер назад на необходимое расстояние и провести повторное сканирование проблемного участка, но уже с допустимой скоростью и без потери данных.

Организация работ по контролю

В заключение отметим важные мероприятия, которые могут не только повысить v_{CP} , но и улучшить другие показатели контроля.

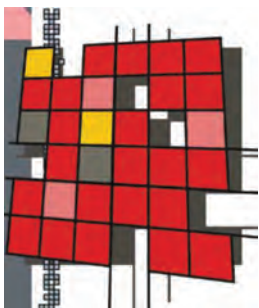
1. Поверхность ОК, по которой проводится сканирование, должна соответствовать установленным требованиям по шероховатости, волнистости, отсутствию различных загрязнений и ширине зоны зачистки, причем ширину зоны зачистки нужно определять с учетом размеров применяемого сканера.
2. На ОК должно быть обеспечено удобное и безопасное размещение персонала и средств контроля.
3. На ОК необходимо нанести разметку, по которой будет быстрее и удобнее выполнить сканирова-

ние. Разметка обеспечивает также более точную координатную привязку полученных результатов и отсутствие непроконтролированных участков.

4. Персонал должен быть аттестован и иметь достаточный опыт работы не только по УЗК и УЗК с ПФР, но и конкретно по применяемым установкам АУЗК и МУЗК.

Библиографический список

1. Пепеляев А.В. Проблемы износа ультразвуковых преобразователей и способы их решения для фазированных решеток // Территория NDT. 2023. № 3. С. 34–38.
2. Промышленные сканеры // Evident-Olympus: сайт, 2023.



9-я Международная научно-техническая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ»

Республика Беларусь, г. Могилев • 26–27 сентября 2024

Организаторы

- Научный совет Международной ассоциации академий наук по неразрушающему контролю и технической диагностике
- Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике
- Институт прикладной физики НАН Беларуси
- Белорусско-Российский университет

Основная тематика

1. Дефектоскопия материалов и промышленных изделий.
2. Контроль структуры и физико-механических характеристик материалов и изделий.
3. Контроль геометрических параметров объектов.
4. Мониторинг, диагностика и прогнозирование остаточного ресурса технических объектов.
5. Компьютерные технологии в неразрушающем контроле.

Круглые столы

- Передовые технологии неразрушающего контроля и диагностики: нормативная база, приборное обеспечение, проблемы и перспективы.
- Подготовка кадров и сертификация персонала в области НК и ТД.

**Вся информация о конференции будет размещена
в разделе «Наука» на сайте: www.bru.by**

Адрес оргкомитета, контактные телефоны, электронная почта

- Белорусско-Российский университет
212000, Республика Беларусь, г. Могилев, пр-т Мира, д. 43, оргкомитет конференции
- СЕРГЕЕВ Сергей Сергеевич
(+375) 297 433868 • sss.bru@tut.by
- БРИСКИНА Ирина Владимировна
(+375) 222 713347 • onti336-341@yandex.ru • Факс: (+375) 222 713591

РЕКЛАМА