

Применение методов ультразвуковой диагностики для различных материалов

Для выявления механических свойств какого-либо вещества или материала механический метод является наиболее простым и естественным. Например, чтобы выявить трещину в оси, можно нагружать эту ось на растяжение или изгиб до тех пор, пока трещина не вызовет разрушения. Однако это будет разрушающим способом испытания. Напротив, звук и ультразвук позволяют применить неразрушающие способы контроля, при которых тоже действуют силы растяжения, сжатия, среза и изгиба, но они настолько малы, что не вызывают повреждения материала. Это и является главным достоинством ультразвуковой диагностики.

В статье описаны основные виды материалов и их характеристики, непосредственно влияющие на качество ультразвукового контроля. Также рассмотрены основные виды дефектов, которые можно найти с помощью ультразвуковой диагностики объекта из того или иного материала.

Кирилл Терехов
Станислав Борисенков

info@est-nano.ru

Ультразвуковой контроль имеет широкую сферу применения в промышленности из-за неразрушающего воздействия на объект и удобства использования. Однако для его применения и получения оптимальных результатов необходимо знать пригодность того или иного материала для этого вида контроля. Перечислим области, где активно используют ультразвуковой контроль: авиационная, электротехническая и химическая промышленность, автомобилестроение, металлургическое производство



Рис. 1. Специализированный микроскоп KSI Auto LED SAM для контроля качества сборки светодиодов

Введение

и машиностроение, металлургическое производство и лабораторные исследования.

В электронной промышленности ультразвуковой контроль находит все большее применение в качестве инструмента контроля качества сборки электронных модулей и компонентов (рис. 1) на различных стадиях производства.

Свойства металлов для ультразвукового контроля

Сталь

В большинстве случаев проблем с ультразвуковым исследованием стальных образцов не возникает. По влиянию легирующих элементов никакой систематики не усматривается, однако состояние обработки (отжиг, закалка, термическое улучшение, холодная деформация) сказывается на скорости звука гораздо сильнее, чем легирующие элементы.

При контроле тонких стальных листов учитывается и текстура прокатки. В кованом и катаном состоянии все виды стали хорошо проводят звук. Однако высоколегированные стали склонны к формированию крупного зерна, вследствие чего в них могут наблюдаться большие различия в скорости звука от одного участка к другому. Некоторые легированные стали имеют обычно низкое затухание, что для целей контроля может оказаться и невыгодным, потому что очень поздние многократные эхо-импульсы приводят к появлению ложных эхо-импульсов. Для подавления этого эффекта необходимо снижать частоту следования эхо-импульсов.

При правильном выборе искателя и большом усилении в стали можно обнаружить мелкие загрязнения — неметаллические включения размером



Рис. 2. Новейший универсальный многоканальный сканирующий акустический микроскоп KSI V8 для контроля качества материалов и электронных модулей

в несколько десятых миллиметра, таким образом можно осуществлять контроль стального образца на объемные включения. Это выгодно отличает данный способ от металлографического контроля, при котором выделения находятся только в области шлифа.

Неудачи при ультразвуковом контроле стали встречаются редко. Обычно в таких случаях речь идет о замкнутых участках ликвации, которые не дают эхо-импульсов и расцениваются как дефекты.

Стальное литье

Затухание в углеродистом и низколегированном фасонном стальном литье очень мало (частота 1–2 МГц), поэтому при контроле изделий толщиной от 1 м и более сложностей, как правило, не возникает. Однако высоколегированное стальное литье из-за крупнозернистости и анизотропии компонентов его структуры плохо поддается ультразвуковому контролю.

Твердые марганцовистые стали (например, Гадфильда) из-за высокой степени затухания звука в них могут быть проконтролированы лишь на грубые дефекты (метод прозвучивания).

Следует помнить, что затухание звука в литых металлах обуславливается наличием мелких раковин и включений, поэтому целесообразность применения ультразвукового контроля будет зависеть от степени загрязненности металла и условий литья.

Чугун

Ввиду большого разнообразия видов литейного чугуна по способу литья, химическому составу и структуре неудивительно, что скорость звука и затухание колеблются в широких пределах.

Например, серый чугун как материал мало пригоден для ультразвукового контроля. Характеристики чугуна с добавками графита (пластинчатый литейный чугун и чугун с шаровидным графитом) будут зависеть от размера графитовых включений: чем тоньше графит, тем выше скорость звука.

Таким образом, ультразвуковой контроль чугуна в зависимости от его вида дает разные результаты и не всегда целесообразен.

Легкие сплавы

Анизотропия у сплавов алюминия и магния с содержанием тяжелых металлов меньше 1% довольно мала, поэтому размер зерна не оказывает существенного влияния на качество ультразвукового контроля.

В отличие от стали контроль слитков из легких сплавов начинается сразу, как только они достаточно охладятся. При этом в процессе продольного и поперечного контроля обнаруживают крупные дефекты типа продольных трещин в сердцевине («паук»). В местах распила можно обнаружить также небольшие дефекты, например шлаковые включения (дроссы).

Невыявляемость дефектов при контроле в случае деформирования легких сплавов наблюдается чаще, чем при контроле других металлов. Некоторые дефекты, несмотря на благоприятную ориентацию перпендикулярно к звуковому лучу, оказываются гораздо более крупными, чем это можно было бы ожидать при сопоставлении высот эхо-импульса от дефекта и от плоскодонного отверстия, что можно объяснить некоторой прозрачностью тонких шлаковых включений для ультразвука. Предположительно, по той же

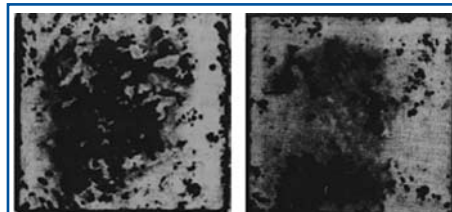


Рис. 3. Акустическое изображение кристалла на эвтектике Au-Si; темные области означают хорошую притирку

причине раскатанные раковины в фасонных профилях можно обнаружить ультразвуком лишь до определенного места, хотя дефект распространяется и дальше, и легко выявляются при разрушении.

Следовательно, для обнаружения трудноулавливаемых дефектов в легких сплавах необходимо существенно увеличивать частоту ультразвука. Однако в ряде случаев дает эффект и дополнительная предшествующая термическая обработка.

Цветные металлы

Из-за высокой анизотропии меди и ее сплавов с цинком медь, латунь и бронза в литом состоянии плохо контролируются с помощью ультразвука.

Монокристаллы и материалы с особо крупным зерном лучше поддаются контролю.

Проблемами контроля центробежного литья цветных металлов являются обнаружение гнезд пор (от обработанной поверхности по исчезновению эхо-импульса), а также выявление крупных пор и раковин (при условии, что они не совпадают с порами).

В прессованном медном материале на пустотелых профилях легко обнаружить продольные трещины и разнотолщинность стенки. В тянутом (калиброванном) круглом материале можно определить поперечные трещины в форме ласточкина хвоста (как следствие закаток). При ленточном прессовании может наблюдаться дефект типа «пустотелый ход» — формирование трубы из-за дефектов в сердцевине литой чушки.

Лучшие возможности контроля обеспечиваются после первичной деформации чушки, однако на практике это не всегда возможно.

Благородные металлы в деформированном состоянии легко проверить при частоте ультразвука до 5 МГц на дефекты типа расслоений и неметаллических включений.

Цинк и его сплавы довольно плохо поддаются ультразвуковому контролю из-за грубой литой структуры.

Никель и его жаропрочные сплавы (с хромом, алюминием и титаном) хорошо контролировать, когда они находятся в деформированном мелкокристаллическом состоянии, однако в литом состоянии они практически не поддаются контролю.

Титан очень хорошо поддается прозвучиванию как в слитках, так и в кованом состоянии. Поэтому выявление дефектов в сердцевине прутьев или контроль сварных швов проблемы не представляют.

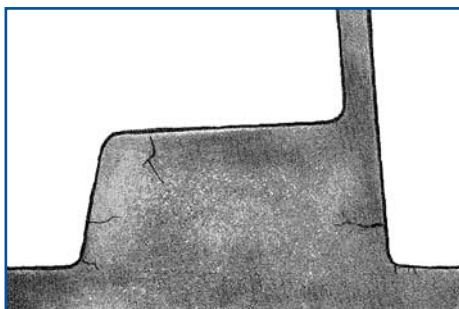


Рис. 4. Трещины, возникшие на поверхности профиля из алюминиевого сплава вследствие пережога при термообработке

Спеченные материалы и твердые сплавы

Спеченные материалы, как правило, всегда имеют остаточную пористость, которая получается либо намеренно (как желательная структура в спеченном железе), либо из-за неизбежного несовершенства технологического процесса (вольфрам и твердые сплавы) или неправильного режима изготовления (фарфор). Такая структура в целом отрицательно влияет на возможность применения ультразвукового контроля. Однако по величине скорости звука и уровню затухания можно судить о пористости, а вместе с ней и об уровне спекания материала. Этот метод активно используется при производстве фарфора.

Спеченные алюминий, железо и латунь достаточно прозрачны для ультразвукового контроля. Карбонильный никель, изготавливаемый специально с большой пористостью и используемый в качестве материала для электродов, подвергается ультразвуковому контролю лишь при низких частотах.

Все твердые сплавы, состоящие из карбида вольфрама и кобальта, а также содержащие добавки других карбидов (например, титан или тантал), очень хорошо подвергаются контролю. Основной тип дефектов в таких материалах — внутренняя трещиноватость. Однако, ввиду структуры таких материалов, применение ультразвукового контроля весьма ограничено.

Свойства неметаллов для ультразвукового контроля

Керамика и стекло

Практически все виды керамики хорошо проводят звук и имеют малое затухание, следовательно, пригодны для ультразвукового контроля. Например, хорошо обожженный фарфор можно прозвучивать на длину более 1 м продольными волнами на частоте 5 МГц.

Стекло также характеризуется очень малым затуханием звука. Однако на практике ультразвуковому контролю подвергаются только изделия из фарфора и стеатита.

Дефектами в этих материалах могут быть, например, раковины, трещины включения, а также гидрофильность (способность к всасыванию влаги) и трещины под колпачком в колпачковых изоляторах, так называемые дисковые трещины, возникающие вследствие разрушения материала при проведении испытаний на растяжение. В составных изделиях

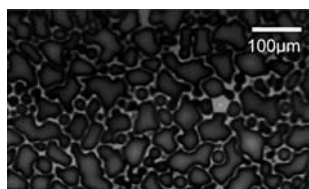


Рис. 5. Акустическое изображение стекла с наклеенной полистироловой пленкой (толщина пленки — 1,41 мкм) на частоте 450 МГц

наблюдаются также дефекты соединения в местах контакта сопрягаемых элементов.

Пластмассы

У пластмасс затухание ультразвука, от которого зависит возможность контроля, колеблется от умеренных значений для твердых материалов и материалов без наполнителя (типа акриловой смолы (плексигласа), полистирола, полиамида и т. д.) до очень высоких у мягких

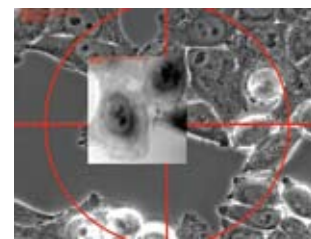


Рис. 6. Акустическое изображение HeLa клеток

разновидностей — полиэтилена, поливинилхлорида и полиизобутилена. Последние являются хорошими поглотителями звука даже при использовании самых низких частот для сканирования. Таким образом, твердость пластмассы может являться критерием ее пригодности для ультразвукового контроля.

К задачам контроля дефектов в пластмассовых заготовках относится обнаружение раковин в материале, получаемом на ленточных

Таблица. Некоторые виды дефектов металлов и сплавов

Область	Вид дефекта	Описание	Изображение
Дефекты плавки и литья	Неметаллические включения (шлаковые и флюсовые)	Возникают из-за нарушения технологии плавки	
	Неслитины	Частичная кристаллизация сплава из-за пониженной скорости и температуры литья	
	Усадочные раковины	Недостаточное питание слитка или отливка металлом в процессе кристаллизации	
	Ликвация	Неоднородность отдельных участков по химическому составу, структуре и неметаллическим включениям	
	Горячие и холодные трещины	Возникают в процессе затвердевания сложных сплавов и после окончания затвердевания соответственно	
Дефекты обработки давлением	Флокены	Появляются из-за повышенного содержания в стали водорода	
Дефекты термической и электрохимической обработки	Перегрев или пережог	Возникновение разнородности, что способствует разрушению металла	
Дефекты соединения металлов	Внутренние дефекты сварного шва	Поры и раковины, шлаковые включения, трещины, непровары, кристаллизация в области шва	

прессах, например в полиамиде или тефлоне. Для получения акустического контакта используют масло или воду. Однако даже при скользящем контакте износ получается минимальным.

Изоляционные прессованные слоистые материалы и трубы из бумаги, проклеенной смолой, могут быть проконтролированы высокодемпфированными искателями на частоте 1 или 2 МГц.

Резина

Вулканизированный природный каучук при толщине до нескольких сантиметров можно проконтролировать на частоте до 2 МГц. Но, как правило, применяют материалы, обогащенные наполнителем, например сажей. Из-за этого затухание сильно увеличивается. Поэтому для контроля пригодна частота ниже 1 МГц. Если к тому же в материале имеются вложенные слои ткани, как в автопокрышках, то контроль ведут на частоте около 100 кГц.

Каменные породы, уголь и графит

Из природных каменных пород однородными и приблизительно одинаковыми во всех местах можно считать только плавленые камни вулканического происхождения. Все

остальные породы резко отличаются по затуханию и уровню звука. Затухание обычно бывает настолько высоким, что используется частота ниже 500 кГц. А при контроле слоев песка, суглинка и угля приходится опускаться уже в область слышимых частот, чтобы достичь глубины проникновения до 1 м.

Ввиду плохой фокусировки луча при низких частотах в случае эхо-импульсного способа приходится отказаться от локализации дефектов. Вместо этого в блоках с параллельными поверхностями могут быть выявлены грубые трещины и включения отдельными искателями при импульсном прозвучивании.

На практике контроль природных каменных пород нашел применение в очень ограниченном объеме.

Для графитовых блоков и стержней выявление дефектов с помощью ультразвукового контроля возможно не всегда.

Дерево и кожа

Использование ультразвука для контроля качества дерева в общем случае наталкивается на трудности из-за сильной анизотропии (направление волокон). При проверке качества изготовления фанеры легко обнаруживаются непрочности и пустоты. Поскольку масло-

и водосодержащие средства акустического контакта и иммерсионный вариант обычно нежелательны, приходится использовать медленно испаряющиеся жидкости.

Ультразвуковому контролю подвергают также кожу, однако это не нашло широкого применения. Измеряемой величиной является скорость звука, которая зависит от химической и физической структуры и от ориентации волокон.

Заключение

В таблице дано краткое описание некоторых видов дефектов.

Литература

1. Выборнов Б. И. Ультразвуковая дефектоскопия. 2-е изд. М.: Металлургия, 1985.
2. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. М.: Металлургия, 1991.
3. Briggs A., Kolosov O. Acoustic Microscopy. US.: Oxford University Press, 2010.
4. www.ksi-germany.de/acousticmicroscopy-en/home-acoustic-microscopy.php
5. <http://www.sciencedirect.com/science/article>