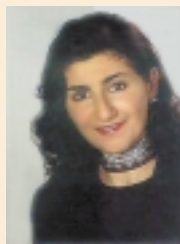


ЦИФРОВЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ КОНТРОЛЕ ИЗДЕЛИЙ

This contribution deals with digital x-ray detectors used for automatic defect recognition in casting parts.

The automatic defect recognition software locates defects as volume defects. The software recognises densitometrical contrast defects as grey value differences and the geometrical extent of the defect as a surface area. With a conventional image intensifier densitometrical contrast defects can be ascertained up to 6 %, with a digital image detector up to 3 % of the material thickness to be x-rayed. The higher capacity of the digital image detector is a result of the superior physical principle: digital detectors are based on amorphous silicon technology and provide directly digital images. In this manner, signal depths of 14 bit resolution per pixel instead of the usual 8 bit with conventional image intensifiers with a CCD camera can be attained and made use of for detection. That is why the digital image detector facilitates the registration and analysis of areas whose thickness strongly varies with one test position only.

Об авторе



**Неджила
ПАСПОУ**
(*Nejlila Parspour*)

Доктор-инженер, в 1991 г. окончила Берлинский Технический университет; в 1995 г. защитила докторскую диссертацию в Институте электрических машин при Берлинском Техническом университете, с 1996 г. – руководитель проекта Philips Industrial X-Ray GmbH/YXLON International X-Ray GmbH (Гамбург) в области цифровой обработки изображений в системах рентгенокопии и компьютерной томографии.

В статье описаны цифровые рентгеновские детекторы, применяемые для автоматического выявления дефектов в отливках.

Программа автоматического распознавания дефектов, рассматривая их как объемные, разделяет дефекты плотностного контраста как разницу значений уровня серого и геометрическую величину дефекта как площадь поверхности. С обычными усилителями изображения (УИ) могут обнаруживаться дефекты плотностного контраста до 6 %, с цифровыми детекторами (ЦД) изображения – до 3 % толщины просвечиваемого материала. Такие возможности ЦД – следствие применения технологии аморфного кремния, которая обеспечивает прямое цифровое изображение. Таким образом может быть получен и использован сигнал с разрешением по величине 14 бит на точку вместо 8 бит для обычного УИ с CCD-камерой. Поэтому ЦД изображения позволяет регистрировать и анализировать участки с сильно меняющейся толщиной всего при одной позиции контроля.

Устройство автоматической системы контроля

На рис. 1 приведен внешний вид автоматической рентгеновской системы.

Подлежащие контролю детали поступают по транспортеру в кабину с радиационной защитой, где находится манипулятор с четырьмя степенями свободы, на котором закреплены рентгеновский излучатель и ЦД.

Манипулятор устанавливается в позицию контроля, после чего на детектор в течение так называемого времени ввода картинки проецируется теневое рентгеновское изображение. Это время зависит от требуемого отношения

сигнал/шум и составляет для современных детекторов от 150 до 600 мсек. Для сравнения это время для традиционных УИ составляет 300 – 900 мсек.

После ввода картинки манипулятор перемещается в следующую позицию. Введенное изображение обрабатывается компьютером (Pentium III/500 МГц) по алгоритму автоматической обработки изображения.

Требования к системам автоматического контроля

Современная промышленность ищет компромисс между постоянно ужесточающимися требованиями стандартов безопасности и требованиями заказчиков к снижению материальных и временных затрат. Применение ЦД предоставляет реальный шанс удовлетворить эти противоречивые требования.

Время контроля системы определяется главным образом временем, необходимым для перемещения отливки внутри кабины от одной позиции контроля к другой и временем ее просвечивания.

Упрощенно время контроля можно представить следующей формулой:

$t_R = n_{\text{поз}} (t_{\text{пер}} + t_{\text{дан}} + t_{\text{ввод}})$, где $n_{\text{поз}}$ – число позиций контроля для детали; $t_{\text{пер}}$ – время механического перемещения между отдельными позициями контроля; $t_{\text{дан}}$ – вре-



Рис. 1

И ИХ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОМ В ЛИТЕЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

мя передачи данных; $t_{\text{ввод}}$ – время ввода картинка.

Видно, что общее время контроля определяется главным образом числом необходимых позиций контроля, которое в свою очередь зависит от трех факторов: геометрической сложности отливки, выбора приемника и заданных заказчиком требований контроля. Чем сложнее деталь и жестче требования контроля, тем больше число необходимых позиций контроля.

Зависимость числа позиций контроля от выбора детектора определяется двумя параметрами: размером детектора и способом преобразования плотности потока прошедшего через деталь рентгеновского излучения в изображение. Уже несколько лет кроме существующих УИ используются так называемые ASD-детекторы, которые непосредственно формируют цифровое изображение и поэтому известны как ЦД. Эти детекторы обладают расширенным динамическим диапазоном уровня серого и поэтому позволяют контролировать детали с очень большой разницей толщины стенок, в то время как с обычным УИ необходима одна или более дополнительных позиций контроля для того, чтобы участки с разной толщиной стенки просветить с разных направлений.

Цифровые детекторы

Устройство и принцип действия ЦД показаны на рис. 2.

Рентгеновское излучение попадает сначала на слой сцинтиллятора (например, CsI), в котором оно преобразуется в световые фотоны. За слоем CsI расположена фотодиодная матрица, по своей спектральной чувствительности соответствующая сцинтиллятору. Фотодиоды состоят из аморфного кремния, который дал имя ASD (Amorphus Silicon Detector = детектор из аморфного кремния). Фотоны наводят в элементах матрицы электрический заряд. Считывание заряда производится бипараллельным управлением всех ключевых элементов внутри каждой ячейки.

Рис. 2 Специальная малощумящая микросхема преобразует заряд в электрический сигнал, который после усиления поступает на внутренний аналого-цифровой преобразователь и оцифровывается. Прямое преобразование рентгеновского изображения в цифровую картинку (минуя трубку ускорителя и камеру, как в обычном УИ) определяет высокие характеристики цифровых детекторов.

Тогда как визуальное разреше-

ние обычных УИ в настоящее время больше, чем у имеющихся на рынке цифровых детекторов, последние имеют значительно лучшее плотностное разрешение.

При применении цифровых детекторов достигается диапазон сигнала 16 бит на точку теоретически и 14 бит практически. То есть в одной позиции может различаться 2^{14} значений серого. Обычные УИ с CCD-камерой различают 2^8 значений серого. Для сравнения можно упомянуть, что глаз человека может различить 2^6 значений серого.

У обычных УИ имеется, однако, возможность повышения числа различаемых значений серого до 14 бит при применении цифровой камеры, однако, необходимо принимать во внимание некоторые отрицательные последствия, такие как худшее отношение сигнал/шум, большую подверженность засветке и меньшую компактность.

В табл. 1 приводится сравнение плоских цифровых детекторов и обычных УИ.

Таблица 1

Характеристики	Плоский цифровой детектор	Обычный усилитель изображения
Поглощение рентгеновского излучения	очень хорошее	хорошее
Компактность	высокая	низкая
Засветка	очень малая	большая
Искажение картинки	нет	искажения в краевых областях
Коэффициент преобразования	очень хороший	хороший
Динамический диапазон серого	широки (возможна оценка различных толщин стенки на одном изображении)	средни
Отношение сигнал / шум	от хорошего до очень хорошего	среднее
Контраст	высоки	низки

Для решения задач современного литейного производства, требующих в основном быстрого массового контроля отливок и выявления дефектов в миллиметровом диапазоне, отлично подходят имеющиеся на рынке цифровые детекторы средней стоимости.

В табл. 2 представлены параметры детекторов фирм Varian и Perkin-Elmer (ранее Heimann) – лидеров рынка в области цифровых детекторов.

Величина, приведенная в таблице как плотностное разрешение, характеризует разрешение детектора по толщине материала. Эта величина в конечном итоге определяется для данного детектора динамическим диапазоном серого цвета (числом значений серого).

Визуальное разрешение определялось экспериментально.

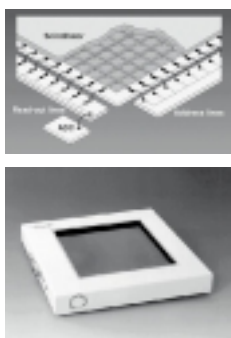


Таблица 2

Тип	Фирма	Формат	Визуальное разрешение, мм	Плотное разрешение, % толщины *	Усл. цена	Применял YXLON
УИ 9"	Thomson** + CCD-камера 758 строк	9"	0,32	6	1	X
		5"	0,17			
УИ 13"	Siemens + CCD-камера 758 строк	13"	0,45	6	1,55	
ЦД	Heimann (Perkin Elmer)	512 x 512 точек	0,44	3	1,60	X
ЦД	Heimann (Perkin Elmer)	1024 x 1024 точек	0,44	3	3,20	X
ЦД	Heimann (Perkin Elmer)	2000 x 2000 точек	0,22	3		
ЦД	Varian	1408 x 1888 точек 0,127 x 0,4 мм	0,14	3	ок. 6	

* Относится к автоматическому распознаванию дефектов.

** УИ Thomson 9" позволяет считывать информацию с входного окна размером 5" и 7"

Первыми ЦД, использованными YXLON для автоматического контроля отливок, были детекторы 512 x 512 точек фирмы Heimann (с начала 2000 г. Perkin Elmer). Они были применены в кабине для фирмы AMCAST весной 1998 г.

Пример из практики

В феврале 1998 г. мы получили от фирмы Daimler-Chrysler заказ на автоматическую систему контроля двух цельнолитых деталей подвески типов W203 и R230.



Рис. 3. Отливка R230.
Габаритные размеры
900 x 400 x 20 мм

По ТЗ требовалось распознавать дефекты размером 1,0 мм в критических и 2,0 мм в некритических областях. Для уверенности, что время контроля будет выдержано при соблюдении заданных требований, фирмой YXLON International X-Ray GmbH летом 1998 г.

было проведено соответствующее исследование, результаты которого приведены в табл. 3.

Таблица 3

Число позиций контроля	9" УИ	13" УИ	ЦД 512 x 512	ЦД 1024 x 1024
$n_{\text{поз}}$, критическое	34	34	26	17
$n_{\text{поз}}$, некритическое	66	46	44	29
$n_{\text{поз}}$, суммарное	98	80	70	46
Время контроля, сек.	196	160	140	92
Отливок за 24 ч	440	540	617	939

Другие статьи на тему цифровой радиографии можно посмотреть в разделе [Статьи](#).

Выяснилось, что число необходимых позиций при применении ЦД может быть значительно снижено. На стадии запроса Daimler-Chrysler по данному проекту фирмой-конкурентом было предложено применение 13" УИ. Определенное при этом число позиций контроля для R230 было примерно 57. Это число в наших исследованиях при соблюдении требований контроля Daimler-Chrysler не могло быть подтверждено. Необходимо отметить, что мы проводили свои исследования с УИ, имеющим CCD-камеру, использующую 8 бит. Указанное фирмой-конкурентом число позиций контроля было получено предположительно при применении УИ с цифровой камерой. Учитывая уже описанные отрицательные стороны применения УИ с цифровой камерой, YXLON предложил решение с ЦД.

Фирма Daimler-Chrysler весной 1999 г. выбрала разработку фирмы YXLON и двойную рентгеновскую систему с двумя цифровыми детекторами форматом 512 x 512 точек. YXLON International реализовала автоматическую систему с 70 позициями контроля для R230. Системой ежедневно проверяется 1234 отливки.

Выводы

ЦД обладают рядом достоинств: широким динамическим диапазоном в области серого; очень низким эффектом засвечивания; неискаженной картинкой; компактной конструкцией; высоким коэффициентом преобразования; очень высоким отношением сигнал/шум.

К недостаткам ЦД относится в первую очередь относительно высокая покупная цена. Как следующий недостаток можно назвать отклонения качества внутри одного класса детекторов, примером которых могут служить более или менее часто встречающиеся точечные дефекты.

Обобщенно можно утверждать, что при применении ЦД в автоматических системах контроля два требования со стороны литейной промышленности могут быть выполнены. Это – высокая чувствительность при распознавании дефектов и сокращенное время контроля.

Эти утверждения – результат практического применения цифровых детекторов в более чем 20 рентгеновских системах фирмы YXLON International за последние три года.

Литература

1. Kosanetzky J. *Optimierung des Produktionsprozesses in der Gießerei-Industrie durch vollautomatische Röntgenprüfung*, DGZfP Berichtsband 59, 1997.
2. EG&G Heimann: *Radiation Image Detectors – RID 512-400, (Vers. 1.0, 07/97) information*, 1997.
3. Varian Associates: *Sensor Panel Imaging – A technical brief; VIP 1001, 04/98, 1998.*
4. *Applikationsberichte Nr. 11/98/2362 und Nr. 08/98/2326, YXLON International GmbH, Hamburg, 1998.*
5. Parspour N. *Kurzbericht zur Anzahl der Prüfpositionen bei der ADR-Prüfung von Aluminium Gussteilen, YXLON International Bericht, 1998.*
6. Bavendiek K., Heike U., Jaeger T. *Experiences with an amorphous silicon array detector in ADR application, DGZfP-Tagung, 1999.*