



Application of Digital Radiography in the Field of Energy Production and Distribution

Sergey ANGELOV

Bulgarian Society for Non-Destructive Testing, Sofia, Bulgaria
e-mail: ssangelov@gmail.com

Abstract

The paper discusses the application of digital radiography in the field of energy production and distribution. The main types and characteristics of digital radiographic systems, important for their application, are presented. The shown examples of application of digital radiography allow for further development of their use in practice.

Keywords: digital radiography; energy production; energy distribution

Приложение на цифрова и компютърна радиография в енергетиката

Сергей АНГЕЛОВ

Въведение

В съвременния свят на нови технологии не е подминат и радиографичния безразрушителен контрол. В безразрушителния контрол все повече се набляга на цифровизацията. Един от методите, който е много консервативен, е радиографичният контрол. Основните направления на дигиталното развитие на радиографията като метод са компютърната и цифровата радиография. Целта на настоящата работа е представяне на технологиите на цифровата радиография и основните валидирани приложения и изисквания за тях.

Исторически преглед

Първите стъпки към въвеждане на стандарти в дигиталните технологии в Европа бяха стандартите от 2003г. за дигитализация на стандартните радиографски филми:

- БДС EN ISO 14096-1:2020 – Изпитване (контрол) без разрушаване. Квалификация на системи за цифровизация на радиографични филми. Част 1: Определения, количествени измервания на характеристиките за качество на изображението, стандартни сравнителни филми и качествен контрол.
- БДС EN ISO 14096-2:2020 – Изпитване (контрол) без разрушаване. Квалификация на системи за цифровизация на радиографични филми. Част 2: Минимални изисквания.

Новите лазерни скенери позволиха да се сканират с достатъчно висока резолюция радиографските филми.

Въвеждането на DICONDE (Digital Imaging and Communications in NDE) позволи да се извършва съхраняване на изображения в цифров формат. Всички последващи стандарти, използващи цифрово съхраняване на изображения, използват този стандарт за основа на формиране на файловата си система.

Следващата стъпка беше появата на компютърната радиография с тъй наречените фосфорни плаки. Стандартите, описващи тази система, бяха:

- БДС EN 14784-1:2009 – Изпитване (контрол) без разрушаване. Промислена компютърна радиография със запомнящи изображението фотостимулирани пластини. Част 1: Класификация на системите (действащ).
- БДС EN 14784-2:2009 – Изпитване (контрол) без разрушаване. Промислена компютърна радиография със запомнящи изображението фотостимулирани пластини. Част 2: Основни принципи за изпитване на метални материали с рентгенови и гама-лъчения (отменен).

Последно бе създаването на твърдотелни детектори (DDA) за цифрова (директна) радиография, като разновидност бе появата на томографията.

Компютърна радиография

Съгласно БДС EN ISO 17636-2:2013 т. 3.1, Компютърна радиография (CR) е система от плаки, с възможност за фотостимулирана луминесценция пълна система, състояща се от плака, с възможност за фотостимулирана луминесценция и съответното четящо устройство (скенер или четец), които конвертират информацията от плаката в цифров образ.



Фигура 1 Принципна схема на компютърна радиография



Фигура 2



Фигура 3

Компютърната радиография използва гъвкави пластини, наподобяващи стандартните радиографски филми, което определя и приложението ѝ. Пластините са за многократна употреба и само механичното им повреждане може да доведе до изваждането им от употреба.

След експонацията пластината се поставя в сканиращо устройство и информацията от нея се записва в компютър в дигитален формат съобразен с горе посочения стандарт DICONDE.

При неголям брой обекти за контрол компютърната радиография спестява време от премахване на химическата обработка и отсъствие на необходимостта от тъмно помещение за оценяване на резултатите.

При голям брой обекти за контрол, спестеното време не е така чувствително, защото е необходимо след сканиране и нулиране на пластините те да се използват многократно. Налага се наличието на голям брой пластини, които не са никак евтини и трябва да се внимава особено за запазването на повърхността им от механично повреждане.

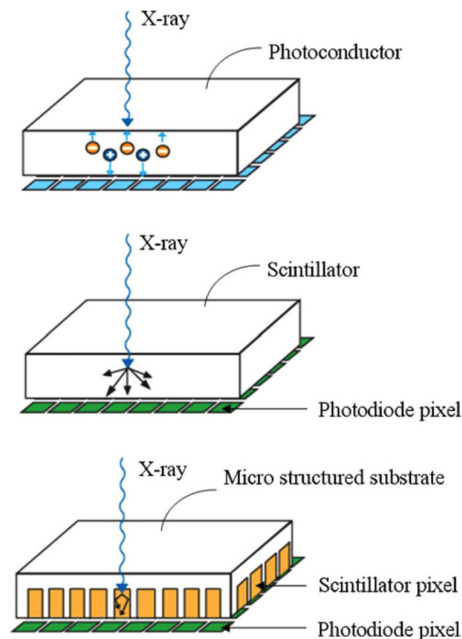
Друга особеност на компютърната радиография е особената чувствителност на пластините към гама лъчението. Не всички пластини могат да работят с гама източник.

Цифрова радиография

Съгласно БДС EN ISO 17636-2:2013 т. 3.3 – Електронно устройство, преобразуващо йонизиращата или проникващата радиация в дискретен масив от аналогови сигнали, които последователно се цифровизират и предават към компютър за визуализиране на цифрово изображение, отговарящо на рентгенограмата, предадена на входа в устройството.

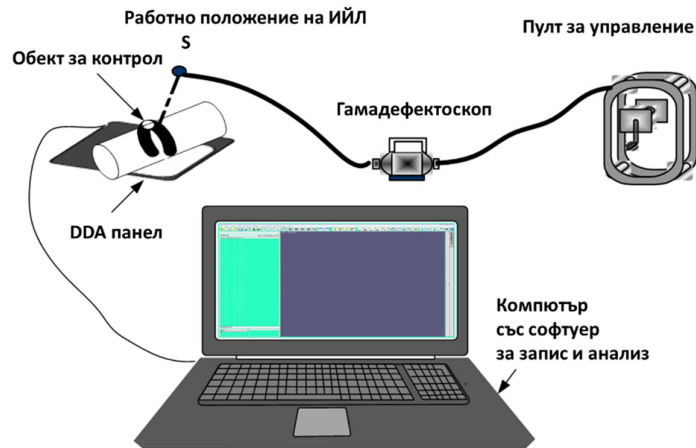
При цифровата радиография основа е приемащото устройство (DDA – матричен цифров детектор).

Принципно устройство на DDA панел



Фигура 4

Принципна схема на работа на система за цифрова радиография:



Фигура 5

Облъчената DDA плоча предава сигнала на компютър, който го визуализира. Директното предаване на информацията от панела към компютъра спестява време. Времето за получаване на първото изображение е от порядъка на няколко микросекунди, това позволява да се изпълнят коригиращи действия при несъответствие на разположението на елементите на системата спрямо обекта за контрол с цел получаване на максимална по обем и качество информация.

Особености на приложението на цифровата радиография.

Разделителна способност

Разделителната способност на DDA панелите зависи от няколко фактора:

- Принципната схема на получаване на цифровия сигнал;
- Големината на панела;
- Максималната енергия, с която може да работи панела.

Най-голямо разпространение към момента намират панелите с разделителна способност до $50\mu\text{m}$ с приложение в медицината. Колкото по-малка е работната енергия на лъчението, толкова по-голяма е разделителната способност. За момента DDA панели с възможност за работа с енергии от порядъка до 5MeV са с разделителна способност максимум до $100\mu\text{m}$.

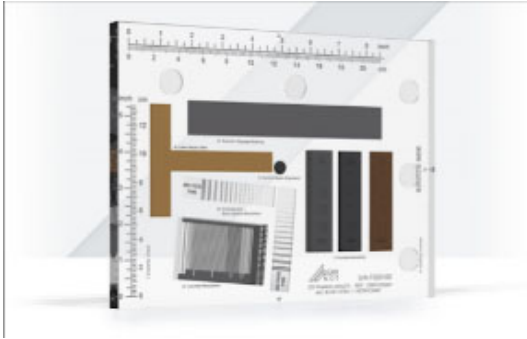
Калибрация на системата и настройка на параметрите, съгласно изискванията на БДС EN ISO 17636-2:2013.

Основните характеристики за настройка за правилно използване на системата за цифрова радиография са дадени в БДС EN ISO 17636-2:2013. За съжаление, работейки само по този стандарт, няма да можете да настроите панела въобще. За целта е необходимо използването на американските стандарти ASTM, в които подробно и ясно са описани необходимите действия за калибрация на системата за цифрова радиография. Необходимите документи са следните:

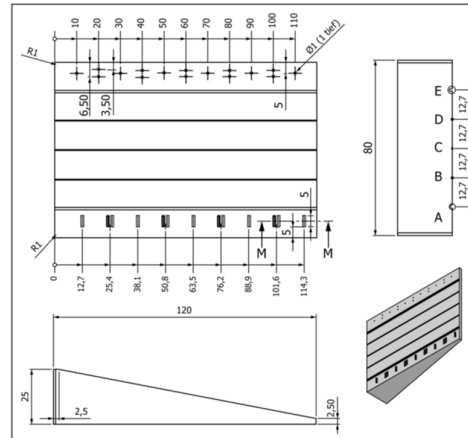
- E2736 – Standard Guide for Digital Detector Array Radiology.
- E2597 – Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays.
- E2660 – Digital Reference Images for Investment Steel Castings for Aerospace Applications.

- E2669 – Digital Reference Images for Titanium Castings.
- E2698 – Practice for Radiological Examination Using Digital Detector Arrays.
- E2737 – Practice for Digital Detector Array Performance Evaluation and Long-Term Stability.

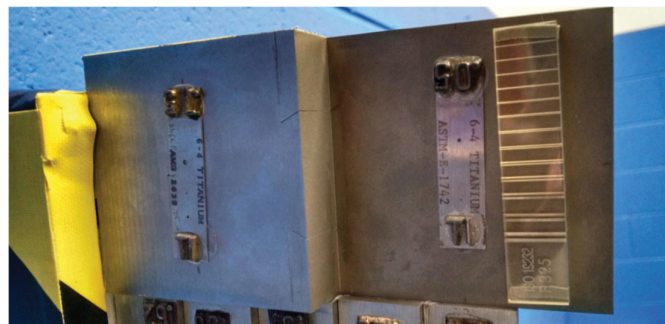
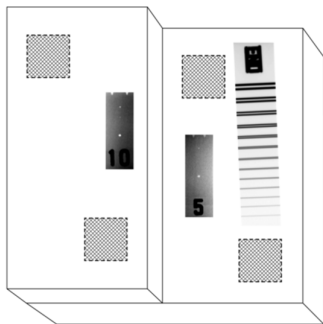
Не трябва да се бъркат настройките приспособления за компютърна и цифрова радиография. Тъй нареченият „Фантом“ за компютърна радиография не е приложим в цифровата радиография.



Фигура 6. Фантом



Фигура 7. Клин с канали за DDA



Фигура 8. Дуплекс фантомна плоча (DPP) за DDA

Всяко функциониране на DDA системата трябва да се следи за нестабилност и влошаване.

Повечето потребители прилагат дуплекс фантомна плоча (DPP) и специализиран софтуер, за да осигурят последователност в измерванията, необходими за стабилност и производителност.

DPP (Фигура 8) трябва да бъде от същата група материали като заявените за проверка, с тънък и дебел участък, който точно съответства на най-тънките и дебели части на изпитваното изделие.

При правилна настройка на системата се появяват допълнителни възможности за приложение на цифровата радиография:

- Оценка на оптичната плътност на полученото изображение;
- Измерване на пролъчената дебелина на контролираното изделие на база разликата в оптичната плътност.

Време

Както бе споменато по-горе времето за получаване на изображение от контролираното изделие се намалява, но с някои особености.

Принципът за извършване на контрол е следният:

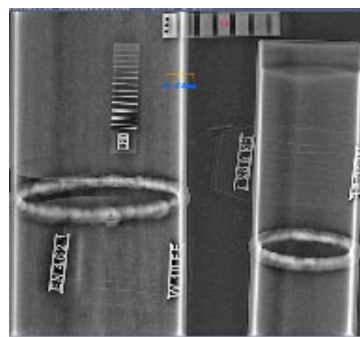
- След монтаж на системата с обекта за контрол се извършва контролна експонация и на екрана на компютъра се визуализира пролъченият обект. На основание на изискванията на БДС EN ISO 17636-2:2013 се проверяват получените характеристики на изображението. При необходимост се извършват корекции и се повтаря контролната експонация до постигане на приемливи характеристики.

- Задава се в софтуера броя на записи на изображението (фреймове) и се изпълнява основната експонация. Софтуерът, на база няколкото изображения, извършва изчистване на шумове и артефакти в крайното изображение. Обикновено в крайното изображение контролираните характеристики са с по-добри показатели от контролното изображение.

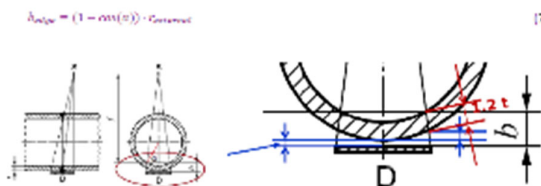
- След допълнително използване на филтри за изчистване се извършва оценяване на резултатите.



Фигура 9. Изображение без филтри



Фигура 10. Изображение с филтри



Фигура 11.

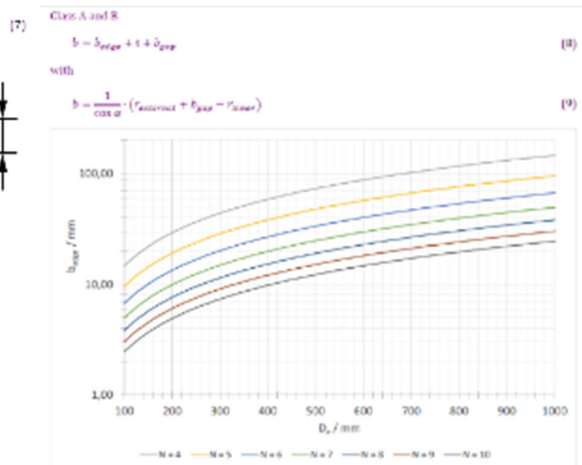


Figure 23 – Graph for determination of $b_{0,dep}$ depending on the required number of exposures (N) and the external diameter (D_e) of the pipe to inspect with the DWSI technique

Фигура 12.

Особеността на цифровата радиография е в това, че панелът е плосък и твърд, за разлика от филмите от класическата радиография. Това налага ограничения при използването му при контрол на заварени съединения с диаметри от 100mm до 500mm.

При контрол на тръби с диаметър над 100mm се налага извършването на голям брой експонации, което увеличава сумарно времето за изпитване.

Приложение на цифровата радиография

Цифровата радиография, след извършване на коректно калибриране и настройка съгласно БДС EN ISO 17636-2:2013, може да се използва за изпитване, както и класическата филмова радиография. Към момента има действащи стандарти за използване на цифровата радиография:

– БДС EN ISO 17636-2:2013 – Изпитване без разрушаване на заварени съединения.

Радиографично изпитване. Част 2: Технологии за изпитване посредством рентгеново и гама лъчение с използване на цифрови индикатори;

Този документ определя основни техники на цифровата рентгенография с цел да се осигурят икономически задоволителни и повторяеми резултати. Техниките се основават на общопризнатата практика и фундаменталната теория на субекта. ISO 17636-2: 2013 се прилага за цифровото рентгенографско изпитване на заварени съединения в метални материали. Прилага се за фугите на плочи и тръби. Освен традиционното си значение, „тръба“, както се използва в този международен стандарт, обхваща и други цилиндрични тела като тръби, резервоари, барабани на бойлери и съдове под налягане. ISO 17636-2:2013 определя изискванията за цифрово рентгенографско рентгеново и гама-лъчево изпитване чрез компютърна рентгенография (CR) или рентгенография с цифрови детекторни решетки (DDA) на заварените съединения на метални плочи и тръби за откриване на несъвършенства. Цифровите детектори осигуряват цифрово изображение на сивата стойност (GV), което може да се преглежда и оценява с помощта на компютър. ISO 17636-2: 2013 определя препоръчаната процедура за избор на детектор и рентгенографска практика. Изборът на компютър, софтуер, монитор, принтер и условията за гледане са важни, но не са основният фокус на ISO 17636-2:2013. Процедурата, определена в ISO 17636-2:2013, осигурява минималните изисквания за рентгенографска практика, които позволяват експозиция и придобиване на цифрови рентгенографии с еквивалентна чувствителност за откриване на несъвършенства като филмова рентгенография, както е посочено в ISO 17636-1. ISO 17636-2:2013 не определя нива на приемане за нито едно от показанията, открити на цифровите рентгенографии. Ако договарящите страни прилагат по-ниски критерии за изпитване, възможно е постигнатото качество да бъде значително по-ниско, отколкото когато се прилага стриктно ISO 17636-2:2013.

– БДС EN ISO 20769-1:2019 – Изпитване (контрол) без разрушаване.

Радиографичен контрол за корозия и наслоявания в тръби чрез рентгеново и гама-лъчение. Част 1: Тангенциална радиографична технология;

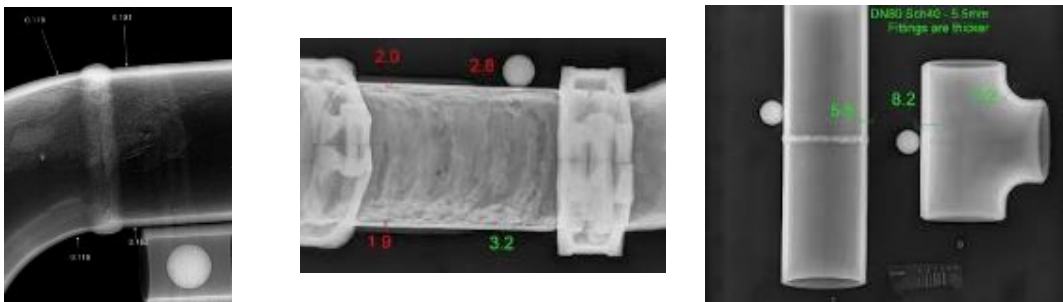
Този документ установява основните технологии за филмова и цифрова радиография, с цел да се даде възможност за получаване на икономически задоволителни и възпроизводими резултати. Технологиите се основават на общопризнатата практика. Този европейски стандарт се прилага за радиографично изследване на стоманени тръби за предизвикани от работа дефекти, като питингова корозия, обща корозия и ерозия. Освен в нейния традиционен смисъл, думата „тръба“, както се използва в този документ, трябва да се разбира и за покриване на други цилиндрични тела, като тръби, напорни тръбопроводи, котелни барабани и съдове под налягане. Не е обхванато изпитването на заваръчни шевове за обичайните дефекти, предизвикани от процеси на заваряване, но е включено изпитване на заваръчните шевове за корозионни/ерозионни видове дефекти.

Тръбите могат да бъдат или да не бъдат изолирани и могат да се оценяват, когато има съмнения за загубата на материал, както по вътрешната, така и от външната страна, например от корозия или ерозия. Този документ обхваща технологията на тангенциално пролъчване за откриване и оразмеряване през стена на намаляването на стената, включително: а) с източника в центъра на тръбата; и б) с източника, изместен от центъра на тръбата на разстояние радиусът на тръбата. ISO 20769-2 обхваща радиография през две стени, като се има предвид, че технологията през две стени с двойно изображение често се комбинира с тангенциална радиография с източник в центъра на тръбата. Този документ се прилага за тангенциално радиографично пролъчване с използване на технология с индустриален рентгенов филм, компютърна цифрова радиография (CR) и цифрови детекторни пластини (DDA).



- БДС EN ISO 20769-2:2019 – Изпитване (контрол) без разрушаване. Радиографичен контрол за корозия и наслоявания в тръби чрез рентгеново и гама-лъчение. Част 2: Радиографичен контрол през две стени;

Този документ обхваща технологията за радиографичен контрол през две стени за откриване на намаляването на стената, включително през две стени с единично изображение (DWSI) и през две стени с двойно изображение (DWDI). Да се има предвид, че технологията DWDI, описана в този документ често се комбинира с тангенциалната технология обхваната от ISO 20769-1. Този документ се прилага за тангенциално радиографично пролъчване по време на експлоатация, с използване на технология с индустриален рентгенов филм, компютърна цифрова радиография (CR) и цифрови детекторни пластини (DDA).



- БДС EN ISO 10893-7:2019 – Изпитване без разрушаване на стоманени тръби. Част 7: Цифрово радиографично изпитване на надлъжно заварени шевове на заварени стоманени тръби за откриване на несъвършенства;

Този документ определя изискванията за цифрово рентгеново изследване чрез компютърна рентгенография (CR) или рентгенография с цифрови детекторни решетки (DDA) на надлъжните или спирално-заварени шевове на стоманени тръби, заварени с автоматично електродъгово заваряване, за откриване на несъвършенства. Този документ определя нивата на приемане и процедурите за калибриране. Той може да бъде приложим и за изпитване на кръгли кухи профили.



- ASTM E2597 – Standard Practice for Manufacturing Characterization of Digital Detector Arrays;

Тази практика описва оценката на цифрови детекторни решетки (DDA) и гарантира, че съществува един общ стандарт за количествено сравнение на DDA, така че да бъде избран подходящ DDA, който да отговаря на изискванията на NDT.

- ASTM E2698 – Standard Practice for Radiological Examination Using Digital Detector Arrays;

Тази практика установява минималните изисквания за радиологично изследване на метални и неметални материали с помощта на система с цифров детектор (DDA).

- ASTM E2736 – Standard Guide for Digital Detector Array Radiology;

Този стандарт е ръководство за потребителя, което е предназначено да служи като ръководство за избор и използване на различни системи с цифрови детекторни решетки, номинално съставени от детекторната решетка и система за изображения за извършване на цифрова рентгенография. Това ръководство служи и като подробна справка за следните стандарти: E2597, E2698 и E2737.

- ASTM E2737 – Standard Practice for Digital Detector Array Performance Evaluation and Long-Term Stability;

Тази практика описва оценката на DDA системите за индустриална радиология. Целта е да се гарантира, че оценката на качеството на изображението, доколкото това е повлияно от системата DDA, отговаря на нуждите на потребителите и техните клиенти и позволява контрол на процесите и дългосрочна стабилност на системата DDA.

- ASTM E2669 – Standard Digital Reference Images for Titanium Castings;

Цифровите референтни изображения, предоставени в допълнението към този стандарт, илюстрират различни видове и степени на нецялостности, възникващи в титановите отливки. Използването на този стандарт за спецификация или степенуване на отливки изисква закупуване на допълнителните цифрови референтни изображения, които илюстрират типовете на нецялостности и нива на строгост (тежест). Те са предназначени да осигурят следното:

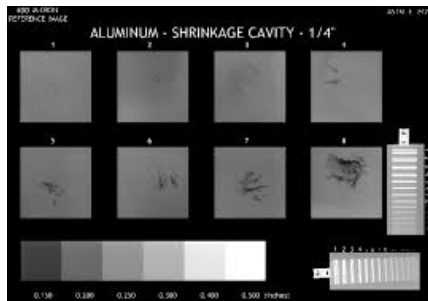
- Ръководство, позволяващо разпознаване на титановите отливки и тяхното разграничаване както по вид, така и по степен чрез дигитално рентгенографско изследване;

- Примерни цифрови рентгенографски илюстрации на нецялостности и номенклатура за справка в стандарти за приемане, спецификации и чертежи.
- ASTM E2660 – Standard Digital Reference Images for Investment Steel Castings for Aerospace Applications;

Цифровите референтни изображения, предоставени в допълнението към този стандарт, илюстрират различни видове и степени на нецялостности, възникващи в отливки от стомана от тънки стени. Използването на този стандарт за спецификация или степенуване на отливки изисква набавяне на допълнителни цифрови референтни изображения, които илюстрират типовете на нецялостности и нивата на строгост (тежест). Те са предназначени да осигурят следното:

- Ръководство, позволяващо разпознаване на нецялостности в отливки от стоманена отливка и тяхната диференциация както по вид, така и по степен чрез цифрово рентгенографско изследване.
- Примерни цифрови рентгенографски илюстрации на нецялостности и номенклатура за справка в стандарти за приемане, спецификации и чертежи (фиг. 13).
- ASTM E2422 – Standard Digital Reference Images for Inspection of Aluminum Castings;

Тези цифрови референтни изображения илюстрират видовете и степента на нецялостности, които могат да бъдат намерени в отливките от алуминиеви сплави. Илюстрираните отливки са с дебелина от 1/4 инча (6,35 mm) и 3/4 инча (19,1 mm) (фиг.14).

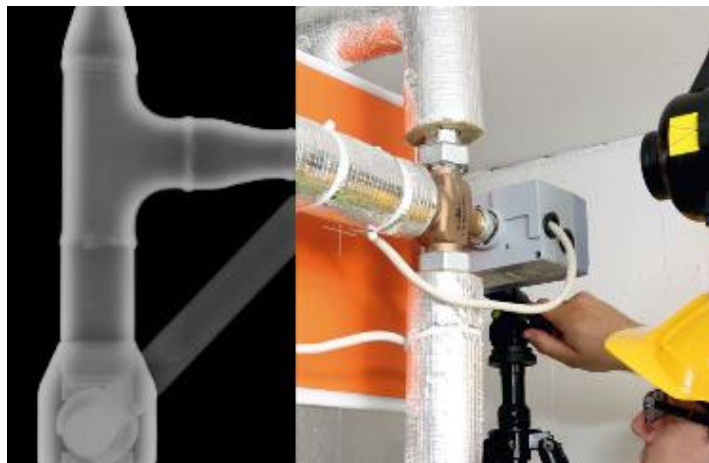


Фигура 13

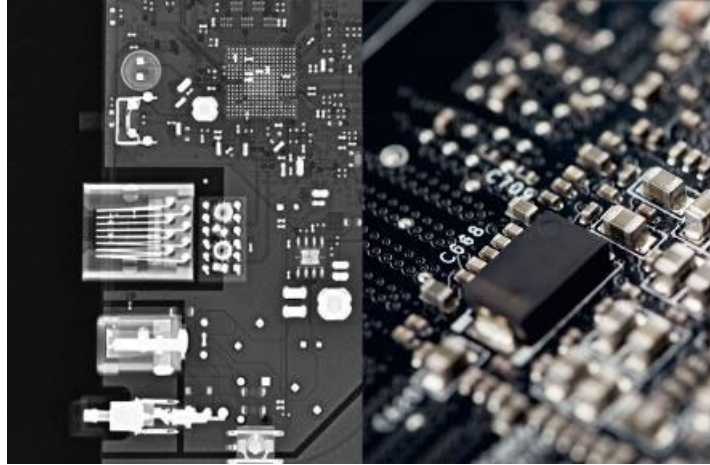


Фигура 14

Примери







Заклучение

Тези нови технологии, практиката на използване и изискванията за тях са валидирани с европейски стандарти и стандарти на САЩ и са създадени условия за широкото им приложение в практиката.

Използвана литература

1. Троицкий В. А., Развитие радиационного контроля сварных соединений – ТРОИЦКИЙ Владимир Александрович Д-р техн. наук, профессор, президент УО НКТД, академик Международной академии по НК, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев
2. Троицкий В.А., Флэш-радиография, Территория NDT, 2013, No 4, С. 44 – 49
3. IAEA Training Material on Radiation Protection in Digital Radiology
4. Скордев Ал., Флеш радиография с твърдотелни пластини на заварени съединения (БДС EN ISO 17636-2)