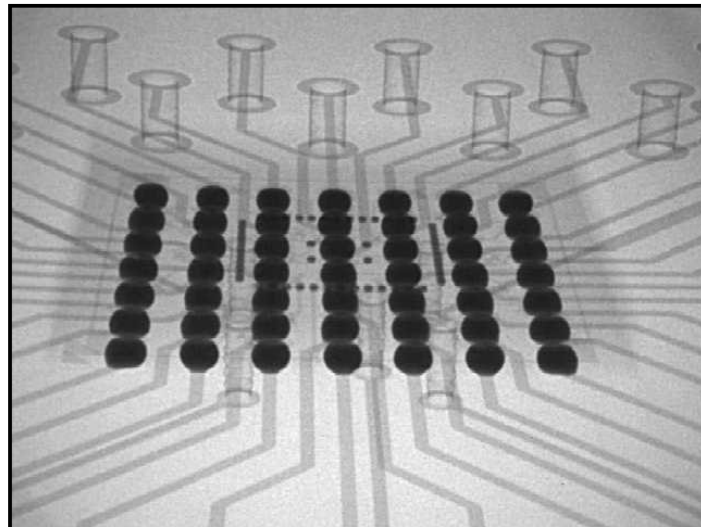


Borbíró András

Elektronikai gyártás során alkalmazott röntgenes ellenőrző berendezések trendjei

Elektronikai gyártás és minőségbiztosítás házi feladat

Konzulens: Kovács Róbert



Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikai Technológia Tanszék

Tartalomjegyzék

Bevezetés	2
1. A röntgenes ellenőrző berendezések helye és szerepe az elektronikai gyártásban.....	3
2. A röntgenes anyagvizsgálat	3
2.1. A röntgensugárzás létrejötte és jellemzői	3
2.2. A röntgenes anyagvizsgálat technológiája.....	4
2.3. A röntgenes anyagvizsgálat legfontosabb jellemzői.....	6
2.4. Példák a röntgenes anyagvizsgálatra	7
3. A vizsgálati eljárások fejlődési irányzatai	8
3.1. Laminográfia és digitális tomoszintézis.....	9
3.2. Számítógépes tomográfia (CT – Computer Tomography)	11
3.3. 2D vagy 3D?	12
3.4. Automatikus és off-line röntgenes ellenőrzés.....	12
3.5. Az elektronikai gyártásban használt ellenőrző rendszerek kommunikációja	13
Összefoglalás	14
Irodalomjegyzék	15
Ábrajegyzék	16

Bevezetés

Az elektronikai gyártásban hatalmas segítségünkre vannak a különféle manuális és automatizált vizsgálati módszerek. Ezek ugyanúgy szolgálhatják a gyártási technológia egyes lépéseinek vizsgálatát, a pontosság ellenőrzését és tökéletesítését, mint a véletlenszerűen előforduló hibás darabok mielőbbi pontos kiszűrését.

A használt vizsgálati módszerek közül általánosan használt az operátor vagy egy AOI (Automatic Optical Inspection) rendszer által végzett optikai ellenőrzés, a beültetett alkatrészek elektromos ellenőrzése és azonosítása (ICT – In-Circuit Test), valamint a készülék funkcionális tesztelése. A többretegű hordozók és a BGA chippek széleskörű elterjedése azonban egyre nélkülözhetetlenebbé teszi a röntgenes ellenőrzést is.

A továbbiakban összefoglalom a röntgenes vizsgálat elméleti hátterét, alapvető jellemzőit és szokott technológiáját, azután sorra veszem azokat a modern eljárásokat és trendeket, melyekkel a hagyományos transzmissziós röntgenes eljárás hátrányai részben kiküszöbölhetőek. Végül összehasonlítom a 2D-s és 3D-s röntgenes technológiákat az áramköri vizsgálatok hatásossága tekintetében, és kitérek az automatikus vizsgáló rendszerek gyártósorba integrálhatóságára is.

1. A röntgenes ellenőrző berendezések helye és szerepe az elektronikai gyártásban

A modern elektromos készülékek gyártása során egyre nagyobb szerep jut a különféle vizsgálati módszereknek és ellenőrzési lehetőségeknek. Minél előbb derül fény egy gyártástechnológiai hibára, egy gyártósori berendezés meghibásodására, az alapanyag nem megfelelő minőségére vagy akár egy véletlen emberi hibára, annál hamarabb közbe lehet lépni, meg lehet keresni és ki lehet javítani a hibát, vagy egyszerűen csak ki lehet dobni a hibás elemet, kivonva a további lépések alól. Manapság ugyanis az olyan kicsi méretek és a minél nagyobb gyártási sebességet biztosító (például sok alkatrész beültetését vagy beforrasztását végző) műveleti lépések a jellemzőek, hogy a hiba javítása általában értelmetlen lenne, vagy nem is volna lehetséges.

A legkézenfekvőbb vizsgálati módszer az optikai ellenőrzés, amit végezhetnek operátorok vagy betanított munkások, de jól automatizálható is, ami kisebb részben az emberi munkaerő ára, nagyobb részben pedig az emberi vizuális ellenőrzés korlátozott sebessége miatt széles körben kihasznált jellemzője. Sok esetben azonban az optikai vizsgálati módszerek nem alkalmazhatóak az alkatrész beültetésének és a forrasztás sikerességének és minőségének ellenőrzésére, például a BGA-k esetében, ahol maga a beültetett chip takarja el a pad-eket és a forraszbumpokat, valamint a forrasztott kötést.

Az anyagszerkezeti vizsgálatok segíthetnek egy alkatrész elhasználódásának, megöregedésének feltérképezésében is, vizsgálható vele például kerámiatestű alkatrész elektromos túlterheltsége vagy diszkrét, tokozott alkatrész belső épsége.

Nagy szerepe van továbbá a röntgenes vizsgálatnak a már beforrasztott és tokozott – az elektromos funkcionális tesztelés során megbukott – alkatrészek meghibásodásának esetében, ahol megállapítható vele a hiba oka, valamint az alkatrész felnyitásának pontos helye, ami biztosítja azt, hogy a hiba vizsgálatának során ne okozunk magunk sérülést vagy roncsolódást a vizsgált területen.

A röntgenes vizsgálatok leggyakoribb alkalmazási területei az optikailag nem vizsgálható forrasztások ellenőrzése, a mikrohuzalos bekötések ellenőrzése, valamint diszkrét alkatrészek belső szerkezete, állapota. [1]

2. A röntgenes anyagvizsgálat

2.1. A röntgensugárzás létrejötte és jellemzői

A röntgenes anyagvizsgálat működési elve a bő egy évszázada felfedezett röntgensugarakra épül (Röntgen 1901-ben Nobel-díjat kapott érte). A röntgensugárzás rövid, 10^{-12} és $2 \cdot 10^{-8}$ m közé eső hullámhosszú elektromágneses sugárzás [2], mely elég jó áthatoló képességgel rendelkezik, de kellően hamar elnyelődik ahhoz, hogy alkalmas legyen anyagvizsgálati eljárásokra. Áthatolóképessége hullámhosszától függ.

Egy anyagba csapódó, lefékeződő elektronok röntgensugárzást keltenek. Megkülönböztetünk folytonos spektrumú fékezési és vonalas spektrumú karakterisztikus sugárzást. Az előbbit a beérkező, lelassuló elektronok keltik (a növekvő sebesség a kisebb hullámhossz felé tolja el a spektrumot), míg az utóbbit a belső pályáról kimozdított elektron helyét elfoglaló másik elektron sugározza ki, amikor energiátöbbletét leadja. Így tehát jellemző a besugárzott anyagra. [2]

A röntgensugárzást a nagyobb rendszámú anyagok jobban elnyelik, a kis rendszámúakon pedig könnyebben keresztülhatol. Természetesen az elnyelt sugárzás mértékét a vizsgált anyag vastagsága és sűrűsége is befolyásolja. Ez az alapja a röntgensugárzáson alapuló vizsgálati módszereknek.

2.2. A röntgenes anyagvizsgálat technológiája

A röntgenes anyagvizsgáló berendezéseknek két fő része van: a sugárzást kibocsátó röntgenső és a vizsgált mintán áthatolt, részben elnyelt sugárzást felfogó és érzékelő detektor.

A röntgensövet feloszthatjuk a sugárzás létrehozásához szükséges négy fő feltétel szerint. Szükség van a következő négy fő szerkezeti elemre:

- kellő tisztaságú vákuumot tartalmazó röntgenső egy elektronforrással

A vákuumra azért van szükség, hogy az elektronok ne ütközzenek a levegőt alkotó molekulákba. Az elektronforrás általában egy izzószálat (izzókatódót) jelent.

- gyorsítófeszültség

A gyorsítófeszültség felgyorsítja az elektronokat, hogy azok rendelkezzenek a céltárgy belső pályán található elektronjainak elmozdításához szükséges mozgási energiával.

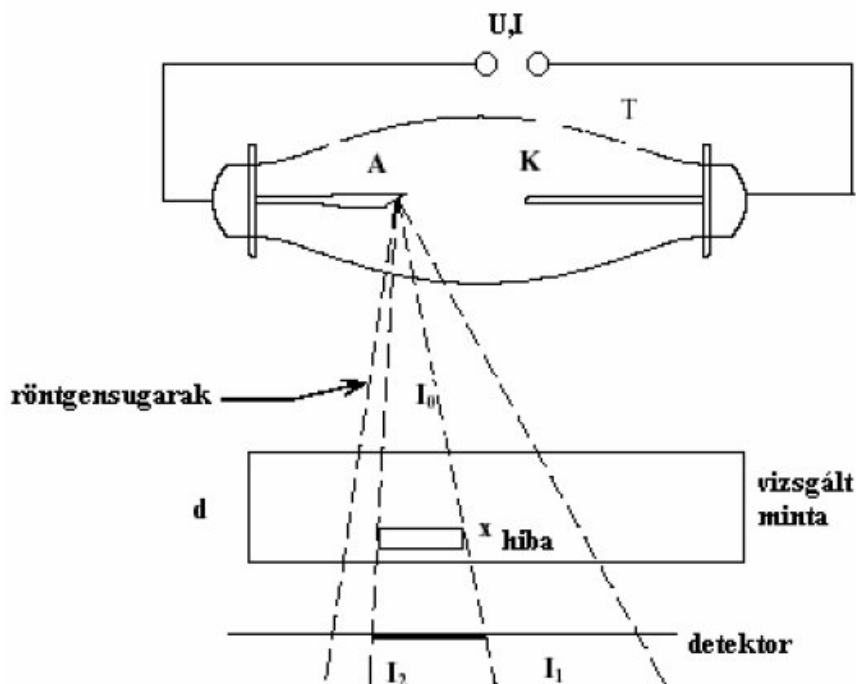
- fókuszáló berendezés

Feladata a gyorsítófeszültség által nagy sebességre hozott elektronok fókuszálása, hogy azok ne a röntgenső falába, hanem a céltárgyba ütközzenek.

- céltárgy

A céltárggyal kapcsolatos legfontosabb követelmény, hogy magas olvadáspontja és hővezető képessége legyen, tehát könnyen hűthessük. A beléje csapódó elektronok ugyanis sok hőenergiát adnak le.

Az érzékelő detektorok a beérkező röntgensugárzás intenzitása alapján egy kétdimenziós monokróm képet alkotnak meg. Az elektronikai gyártást érintő vizsgálatok során általában digitális képeket használunk, azaz a detektorok által érzékelt sugárzást képpontokba képezzük le. A szoftveres digitális képjavító eljárások alkalmazása elterjedt, szoftveresen végzett technológiai lépés. A detektor lehet direkt és indirekt, előbbi esetben a röntgenfotonok energiáját elektromos töltéssé alakítják, ami a kiolvasó elektronikán felgyűlik, utóbbi esetben előbb látható fénné alakítják, azzal fotoelektronokat keltenek, gyorsítják és fókuszálják őket, majd újra látható fénné alakítják, ami kamerával érzékelhető. [2]



1. ábra: Integrált áramkör transzmissziós röntgenes vizsgálati elve
(Forrás: [2])

A valós idejű röntgenes vizsgálat (RTR – Real Time Radiography), ahol a képpalkotás ideje tizedmásodpercben mérhető, ma már nagyon elterjedt a mikrofókusz röntgenszó technológiának köszönhetően (melynek 10 μm -nél kisebb átmérőjű fókuszpontja van). [1] A hagyományos röntgen technológiánál ez könnyebben és gyorsabban alkalmazható, valamint nem igényel érzékeny film alapanyagot és általában kielégítő minőséget nyújt. Néha azonban szükség lehet hosszú idejű exponálásra, amelyhez röntgenfilmet érdemes használni.

Egy adott röntgenes vizsgáló berendezésnek fontos jellemzői a létrehozható kép érzékenysége (mekkora a legkisebb hiba, amit még megtalál), felbontása (milyen távolságra kell legyen két kicsi hiba, hogy megkülönböztethetők legyenek) és kontrasztja (mekkora és mennyire éles különbségek lehetségesek a képpontok színének intenzitása

között). Természetesen egy adott vizsgálat paramétere is befolyásolja ezeket a jellemzőket, a kontraszt például a röntgenső áramának növelésével javul. A fenti tulajdonságokat úgynevezett képminőség-indikátorokkal (IQI – Image Quality Indicator) mérhetjük.

2.3. A röntgenes anyagvizsgálat legfontosabb jellemzői

A röntgenes anyagvizsgálat legfontosabb jellemzői a következők:

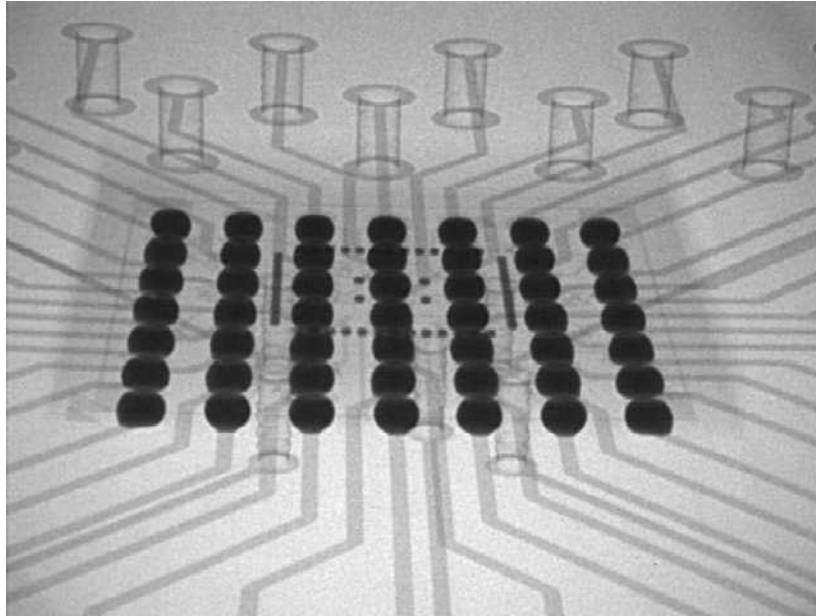
- Roncsolásmentes vizsgálat.

Így tehát alkalmas minden egyes legyártott alkatrész vizsgálatára, valamint a meghibásodott alkatrészek esetén a roncsolásos vizsgálatokat megelőzően a kiinduló helyzet dokumentálására.

- A sugárzás át kell hatoljon a vizsgált áramkörön ahhoz, hogy észlelhessük.

Ennek folyamánya az, hogy a hagyományos, transzmissziós vizsgálat esetén a különféle huzalok és alkatrészek (legfőképp a belső huzalozási rétegek és az SMT alkatrészek a hordozó két oldalán) képe egymásra, kitakarásba kerül, a rétegek pedig nem vagy csak nehezen elkülöníthetők. Ez a tulajdonság nagyban korlátozza a röntgenes vizsgálatok használhatóságát többrétegű nyomtatott huzalozású áramkörök esetében, és az aktuális trendek, technológiai újítások nagy része pontosan eme negatív tulajdonságot próbálják kiküszöbölni.

2.4. Példák a röntgenes anyagvizsgálatra



2. ábra: BGA chipről döntött szögben (off-axis) készült kép
(Forrás: <http://www.stlglobal.com>)

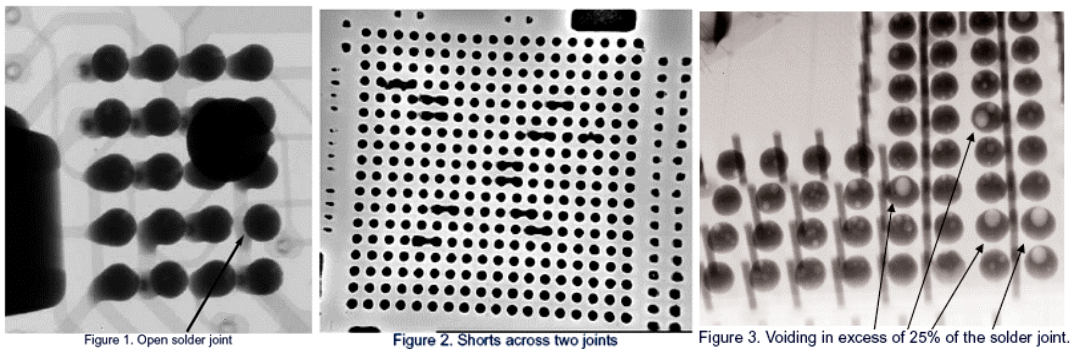


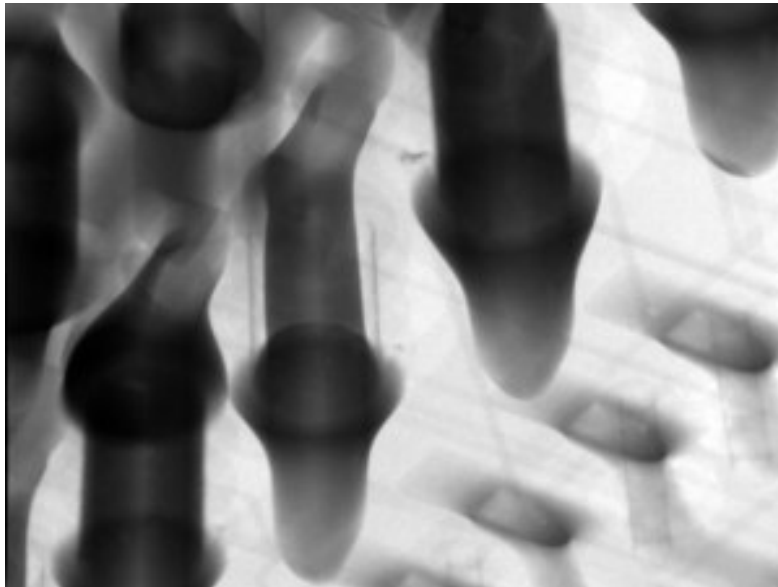
Figure 1. Open solder joint

Figure 2. Shorts across two joints

Figure 3. Voiding in excess of 25% of the solder joint.

3. ábra: Beültetett BGA chipek jellegzetes hibái
(Forrás: <http://www.empf.org>)

1. kép: a forrasz pad-del nem érintkező bump
2. kép: rövidzárlatok a szomszédos forrasz bumpok között
3. kép: zárványok a forraszokban



*4. ábra: Nem nedvesített falú furat (THT forrasztás esetén)
(Forrás: <http://www.phoenix-xray.com>)*

3. A vizsgálati eljárások fejlődési irányzatai

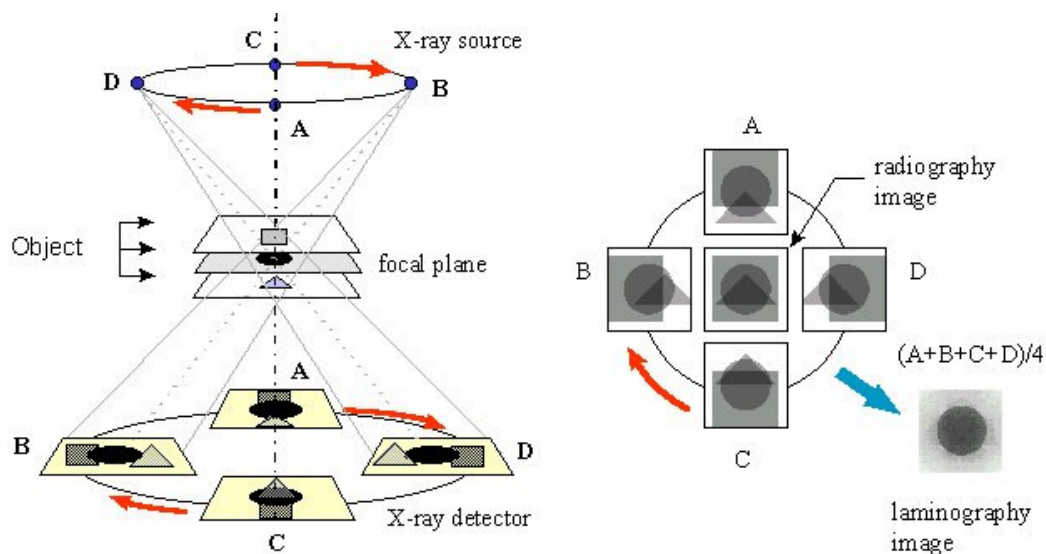
A transzmissziós röntgenes vizsgálati módszert az előzőekben már jellemeztem a legnagyobb hátrányával együtt, most pedig a probléma lehetséges megoldásaiként szolgálható technológiákat fogom megvizsgálni.

Az egymást elfedő rétegek vizsgálatára többféle, lényegét tekintve hasonló eljárás létezik. A számítógépes tomográfia és a digitális laminográfia is alkalmas a vizsgált áramkörrel 3D-s modell felépítésére. A laminográfia során a z tengely mentén vett, különböző magasságú szeleteket vesz az objektumból a röntgenforrás vagy a vizsgált tárgy mozgatásával és fókuszáló algoritmusok segítségével. A tomográfia esetén döntött szögben készített transzmissziós röntgenfelvételek alapján építi fel egy számítógép a vizsgált áramkör háromdimenziós modelljét.

A háromféle vizsgálati típust szokás 2D-s (transzmissziós), 2.5D-s (laminográfia) és 3D-s (tomográfia) röntgenes vizsgálatnak is nevezni. [4]

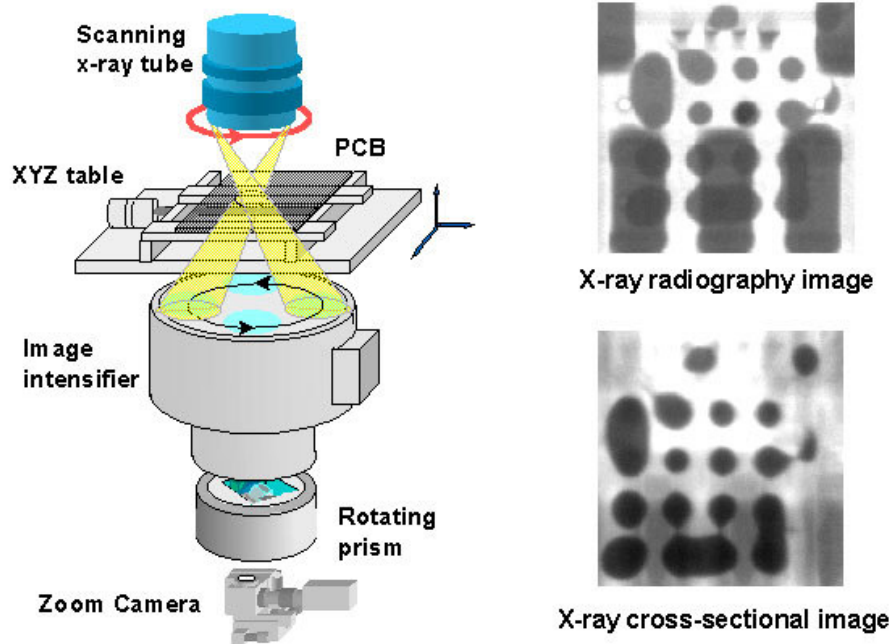
3.1. Laminográfia és digitális tomoszintézis

Az eljárás arra épül, hogy miközben transzmissziós elven röntgenes képet készítünk az áramkőről, a röntgenforrást és a detektort összehangoltan mozgatjuk, és egyenletes időközönként készítünk és digitálisan eltárolunk egy képet. Ilyen módon a vizsgálni kívánt terület (z tengelyre merőleges terület) mindig ugyanoda esik a képen, míg a számunkra érdektelen, ill. zavaró rétegek mindig máshova. Amikor a képeket digitálisan átlagoljuk, a vizsgált terület élesnek látszik, az egymásra helyezett, nem fókuszban levő síkok viszont zajként összegződnek, azaz elmosódnak a képen, és nem fedik el a vizsgált területet. Ez utóbbi eljárást hívjuk tomoszintézisnek. [5]



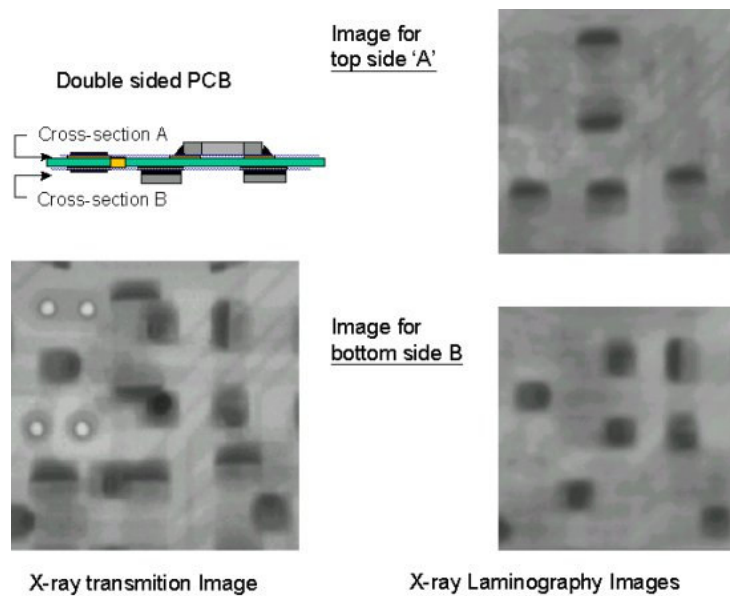
5. ábra: A laminográfia és a digitális tomoszintézis működési elve
(Forrás: <http://vismi.kaist.ac.kr>)

A következő ábrán láthatjuk mindezt egy konkrét technológiai megvalósítás során, illetve megfigyelhetjük az eljárás hatásosságát egy hagyományos transzmissziós 2D-s kép és egy laminográfiával készült képet, ami gyakorlatilag egy roncsolásmentes keresztmetszeti felvételnek felel meg.



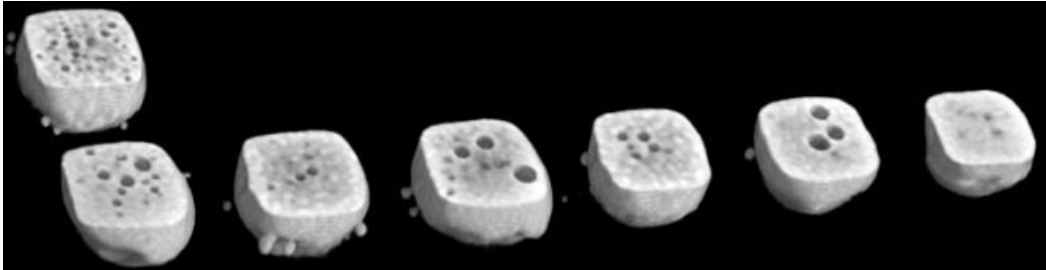
6. ábra: A laminográfiát végző berendezés felépítése és a módszer hatása
 (Forrás: <http://vismi.kaist.ac.kr>)

A következő illusztráció még egy példát mutat egy integrált áramkör két oldalán felületszerelt alkatrészek forrasztásainak röntgenes ellenőrzésére.



7. ábra: A transzmissziós és a laminográfiás eljárás közti különbségek
 (Forrás: <http://vismi.kaist.ac.kr>)

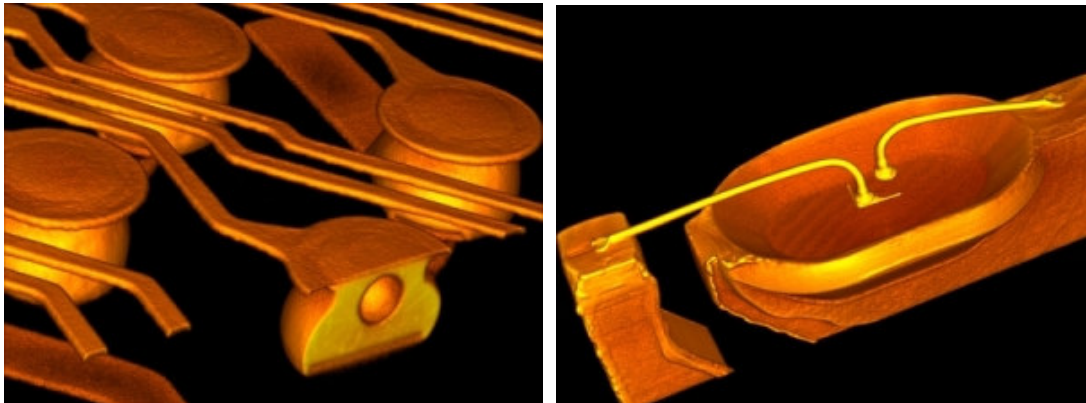
Az elkészült felvételekből összeállíthatóak valóban 3D-s modellek, ám ezek vertikálisan torzok lesznek, a gömbök például kép tompa kúpnak fognak látszani.



8. ábra: Egy flip chip forraszkötései digitális laminográfiával készült felvételen.
Jól megfigyelhetők a zárványok.
(Forrás: www.esrf.eu)

3.2. Számítógépes tomográfia (CT – Computer Tomography)

A tomográfia abban különbözik az előbb ismertetett laminográfiától, hogy a röntgenső és a detektor végig helyben van, míg a vizsgált integrált áramkör 360°-os fordulatot tesz. Eközben nagyszámú (200 és 2000 közt) felvételt készítünk a forgási tengely irányából függőlegesen. A 3D-s struktúrát bonyolult számítási algoritmusok segítségével építjük fel. A matematikai számításokon alapuló modell és a mozdulatlan röntgenső és detektor miatt ez a technológia pontosabb képet ad eredményül, mint a laminográfiás eljárás.



9. ábra: Számítógépes tomográfival készült felvételek
1. kép: nanoCT kép egy CSP forraszkötéseiről és egy zárványról
2. kép: egy nagyteljesítményű LEDről készült 3D-s nanoCT felvétel
(Forrás: www.phoenix-xray.com)

3.3. 2D vagy 3D?

Habár elsőre úgy tűnhet, a 3D-s eljárások több információt nyújtanak, így hatásosabbak, mint a transzmissziós röntgenes vizsgálatok, fontos figyelembe vennünk az utóbbiak hatalmas előnyeit, úgymint: sebesség és nagy felbontás. Különösen a sebesség fontos szempont, hiszen minden gyártónál, minden gyártósoron kritikus kérdés a napi legyártható termékmennyiség. A végső megoldást tehát a többféle eljárás helyes arányokban való ötvözése jelentheti – már amennyiben az áramkör bonyolultsága egyáltalán miatt szükség van bármiféle 3D-s rendszerre.

Peter Edelstein, a Teradyne-nál dolgozó, röntgenes vizsgálatokkal foglalkozó termékmenedzser szerint a legtöbb integrált áramkörtön csak néhány olyan terület van, ami nem vizsgálható transzmissziós röntgenes módszerrel (például ahol a hordozó túlfoldalán is be van ültetve egy alkatrész, vagy ahol a felületen egy hűtést elősegítő hőelnyelő réteg található), sőt egy általuk végzett tanulmány szerint a közepes bonyolultságú integrált áramkörök túlnyomó többségénél csak az alkatrészek 10%-ánál volt szükség 3D-s vizsgálatra. Edelstein tehát a z tengely felől és a döntött szögben készített transzmissziós vizsgálatok mellett érvel minden esetben, amikor ezek is elegendőek lehetnek, hogy az észlelt hibák maximalizálása és a megkívánt termelés közti egyensúly ideális legyen. [3]

3.4. Automatikus és off-line röntgenes ellenőrzés

A különféle gyártási folyamatokat ellenőrző eljárások esetén fontos kérdés az integrálhatóság, azaz a gyártósorba illeszthetőség. Az automatikus röntgenes ellenőrzés (AXI – Automated X-Ray Inspection) esetén többféle feltételnek kell teljesülnie, hogy a berendezés a gyártósorba illeszthető legyen: [6]

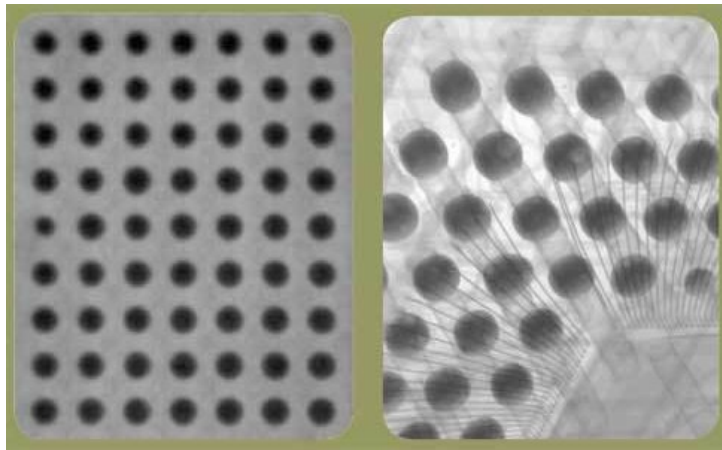
- Az ellenőrizni kívánt alkatrész vagy forrasztás jól látható kell legyen a röntgenes képen. Az automatikus képfelismerő és –vizsgáló eljárások ugyanis korlátozott rugalmasságúak.
- Az elvégzendő vizsgálatoknak elég rövidnek kell lenniük ahhoz, hogy a gyártósor termelési sebességét ne lassítsák le.
- A vizsgáló rendszer alkalmas a gyártósorba való mechanikai és elektromos beillesztésre.

Természetesen van lehetőség arra is, hogy a röntgenes vizsgáló berendezést ne a gyártósor részeként valósítsuk meg. Ez a választás ideális lehet a szűrőpróba-szerű vizsgálati módszer esetén, vagy kis példányszámú, változatos felépítésű sorozatok ellenőrzésére. A vizsgált példányok automatikus betárazása és ellenőrzése ettől még ugyanúgy programozható.

3.5. Az elektronikai gyártásban használt ellenőrző rendszerek kommunikációja

Az elektronikai gyártásban sokféle automatikus ellenőrző rendszer típust használhatunk, többek között automatizált optikai vizsgálatokat (AOI – Automatic Optical Inspection), elektromos funkcionális tesztelést (ICT – In-Circuit Test) és automatikus röntgenes ellenőrzést (AXI – Automatic X-Ray Inspection). Többféle hibatípus is van, amit a fenti rendszerek közül több is azonosítani képes, de a hibás termék rizikója együttes alkalmazásukkal minimalizálható a legjobban. [7]

Az integrált, ún. in-line 3D-s AXI rendszerek az áramkörök automatikus, gyors és teljes (100%-os) vizsgálatára képesek, a manuális vagy off-line rendszerek ezzel szemben lassabb, de részletesebb, specifikusabb analízisre adnak lehetőséget, a nagyobb felbontás és nagyítás, valamint a döntött látószögű vizsgálat lehetőségével.



10. ábra: AXI 3D és döntött szögű 2D röntgen felvétel egy BGA-ról
(Forrás: <http://images.pennnet.com>)

A vizsgáló eljárások gyorsításában és hatékonyabbá válásában nagy szerepe lehet a rendszerek közti kommunikációnak. A modern gyártósorokon a röntgenes rendszereknek legtöbbször BGA-k optikailag nem látható forraszeit, kivezető láb nélküli QFN-eket (Quad Flat Pack No Lead) és furatszerelt alkatrészek beforrasztásait kell felismerniük. A 3D-s AXI vizsgálat alkalmasabb a gyanús, feltehetően hibás esetek gyors és megbízható megtalálására, míg a döntött szögű 2D-s vizsgálatok beazonosítják és megerősítik a hibát (például a roncsolásos vizsgálat előtt).

A két rendszer közti direkt kommunikáció és adatcsere nagyban megkönnyíti ezeket a vizsgálati lépéseket. Az AXI rendszer ellátja az off-line röntgenes vizsgáló berendezést a szükséges CAD fájlokkal, azonosítási pontokkal és elnevezési konvenciókkal. Az off-line rendszer operátora így kényelmes point-and-click jellegű hozzáféréssel bír a rendszer kritikus pontjaihoz. A manuális ellenőrzés így gyorsabbá és pontosabbá válik, ráadásul a munkát a gyártósori személyzet végezheti el ahelyett, hogy a folyamatszabályozástól vonjunk el humán erőforrást.

Összefoglalás

Az integrált áramkörök és a rajtuk beforrasztott alkatrészek méretének állandó csökkenése, a BGA és más, az optikai vizsgálatok számára rejtett forrasztásokkal rendelkező chippek elterjedése, valamint az egyre több rétegű hordozók használata miatt a röntgenes vizsgálatok nélkülözhetetlenné váltak az elektronikai gyártás iparában.

A laminográfia és a számítógépes tomográfia egyaránt alkalmas lehet a transzmissziós röntgenes eljárás számára nem vagy nem megbízhatóan vizsgálható területek ellenőrzésére. Fontos ugyanakkor megjegyeznünk, hogy egyelőre a csak ezen eljárásokkal vizsgálható területek aránylag kevés hányadát teszik ki egy átlagos integrált áramkörnek, így a hagyományos vizsgálati módszerek továbbra is szükségesek maradtak.

Az idő függvényében vett termelés (throughput) növelése érdekében az automatikus röntgenes vizsgáló (AXI) rendszerek gyártósori integrálhatósága fontos kérdés. Kisebb, egyszerűbb vagy gyakrabban változó, speciális megrendelésekre gyártás esetében azonban az off-line, több gyártósort kiszolgáló rendszer használata célravezetőbb lehet.

Az integrált áramkörök szakadatlan csökkenése nagy kihívásokat állít a mérnökök elé, mert a méretekhez a mechanikai és optikai rendszereknek is idomulniuk kell (utóbbiakra esetén például a nanofókusz technológia kifejlesztésével reagált a piac). A röntgenes vizsgálati rendszerekben és eljárásokban is sok fejlesztés és optimalizálható technológiai lépés található.

Irodalomjegyzék

- [1] Perry L. Martin: Electronic Failure Analysis Handbook

McGraw-Hill Handbooks, 1999.
Chapter 5.: X-Ray / Radiographic Component Inspection

- [2] Kovács Róbert: Röntgenes mikroszkópos vizsgálatok

Internetes jegyzet a „Technológiai folyamatok és minőségellenőrzésiük laboratórium” nevű tárgyhoz (tárgykód: BMEVIETA333)
Letöltés időpontja: 2008. 02. 24.

- [3] Steve Scheiber: Combining 2-D and 3-D x-ray solutions

Test & Measurement World, 9/25/2007
<http://www.tmworld.com/article/CA6482553.html?q=x%2Dray+combining+2%2DD>
Letöltés időpontja: 2008. 04. 20.

- [4] Steve Scheiber: Agilent's x-ray systems take a new direction (Part 1 & 2)

Test & Measurement World, 2/22/2008, 3/19/2008
<http://www.tmworld.com/article/CA6534637.html>, [/CA6543472.html](http://www.tmworld.com/article/CA6543472.html)
Letöltés időpontja: 2008. 04. 15.

- [5] A PCB Solder Joint Inspection using Digital Tomosynthesis

*[http://vismi.kaist.ac.kr/2004/research/
/APCBSolderJointInspectionusingDigitalTomosynthesis.htm](http://vismi.kaist.ac.kr/2004/research/APCBSolderJointInspectionusingDigitalTomosynthesis.htm)*

- [6] Phoenix X-ray – FAQs

<http://www.phoenix-xray.com/en/faq/index.html>
Letöltés időpontja: 2008. 04. 12.

- [7] Tami Pippert, David Bernard: X-Ray Choice For SMT Manufacturing

SMT.pennnet.com, November 2007
*[http://smt.pennnet.com/display_article/310588/35/ARTCL/none/none/1/X-ray-
Choice-for-SMT-Manufacturing:/](http://smt.pennnet.com/display_article/310588/35/ARTCL/none/none/1/X-ray-Choice-for-SMT-Manufacturing:/)*
Letöltés időpontja: 2008. 03. 25.

Ábrajegyzék

1. ábra: Integrált áramkör transzmissziós röntgenes vizsgálati elve 5 ([2] dokumentumból)	5
2. ábra: BGA chipről döntött szögben (off-axis) készült kép 7 (http://www.empf.org/empfasis/oct03/603bgaxray.htm)	7
3. ábra: Beültetett BGA chipek jellegzetes hibái 7 (http://www.phoenix-xray.com/images/applications/tht-nicht_benetzt_4.jpg)	7
4. ábra: Nem nedvesített falú furat (THT forrasztás esetén) 8 (http://www.phoenixray.com/__we_thumbs_/4125_33_tht-nicht_benetzt_4.jpg)	8
5. ábra: A laminográfia és a digitális tomoszintézis működési elve 9 (http://vismi.kaist.ac.kr/2004/research/Project_subimages/pcbtomo2.jpg) (http://vismi.kaist.ac.kr/2004/research/Project_subimages/pcbtomo3.jpg)	9
6. ábra: A laminográfiát végző berendezés felépítése és a módszer hatása 10 (http://vismi.kaist.ac.kr/2004/research/Project_subimages/pcbtomo.jpg)	10
7. ábra: A transzmissziós és a laminográfiás eljárás közti különbségek 10 (http://vismi.kaist.ac.kr/2004/research/Project_subimages/pcbtomo4.jpg)	10
8. ábra: Egy flip chip forraszkötései digitális laminográfiával készült felvételen 11 (http://www.esrf.eu/news/spotlight/spotlight37laminography/spotlight37_fig2_lg.jpg)	11
9. ábra: Számítógépes tomográfiával készült felvételek 11 (http://www.phoenix-xray.com/images/applications/csp_device.jpg) (http://www.phoenix-xray.com/images/applications/led_2_wires.jpg)	11
10. ábra: AXI 3D és döntött szögű 2D röntgen felvétel egy BGA-ról 13 (http://images.pennnet.com/articles/smt/cap/cap_0711smtxray01.jpg)	13