



Mesterséges intelligencia

GKLB_INTM002

Minősegbiztosítás a gyártásban speciális gépi látás megoldásokkal

Varga Zoltán

GIRJ80

Tatabánya, 2019/20 2. félév

Tartalomjegyzék

1	A kis szériás és a tömeggyártás	2
2	Non-destruktív ellenőrzési eljárások előnyei.....	3
3	Speciális területek a gépi látás számára	3
3.1	Nyomtatott áramköri lapok (PCB)	3
3.2	Kompozit anyagok	4
3.3	Előre gyártott kábelek	4
3.4	Felületek alakhelyessége	5
3.5	Napelemek.....	5
4	Speciális gépi látás megoldások.....	6
4.1	Röntgenkamerás elemzés	6
4.2	Ultrahangos és hőkamerás vizsgálat	8
4.3	Deflektometriás vizsgálat.....	10
4.4	Infravörös vizsgálat a napelemiparban.....	12
4.4.1	Morfológiai algoritmus és Canny élkeresés.....	12
4.4.2	Szegmentációs alapú meleg képpont keresés	13
4.4.3	Mechanikai hibák detektálása	14
5	Összegzés.....	14
6	Felhasznált irodalom.....	15

1 A kis szériás és a tömeggyártás

A tömegtermelés múltja egészen az 1700-as évekig nyúlik vissza amikor is a céhek után megjelentek a manufaktúrák. Majd azt követően az ipari forradalom és a gyárak létrehozásával minden feltétel adottá vált egyes áruk nagy mennyiségű gyártására. Egyes technológiai megoldások tovább fejlődtek az idők során, miközben újabb és újabb – némelyek mérőföldkőnek is tekinthető - újítások is megjelentek mint például a váltóáram, a számítógépek vagy az internet. Napjaink használati tárgyainak túlnyomó többsége nagy sorozatú gyártással kerül előállításra. Ez igaz az elektronikai cikkekre, az autóinkra, bútorainkra de ezeken túl az élelmiszerekre is.

Azonban máig vannak olyan termékek, amelyeket kis darabszámban gyártanak aminek több oka is lehet. Az egyik leggyakoribb az egyedi vevői igények kiszolgálása vagy a speciális területre szánt eszköz. Ezen esetekben a minőség-ellenőrzés elvégzése többnyire nem sürgető és ha az adott termék tulajdonságai nem igényelnek különleges minőségellenőrzési eljárást akkor általában megoldható emberi érzékszervi ellenőrzéssel vagy egyszerű mérőműszeres mérésekkel. Azonban vannak esetek ahol az adott minőségi jellemző nem vizsgálható könnyen roncsolás nélkül vagy pontosabb mérésre van szükség az egyszerű mérőműszeres vizsgálatnál.

A gyáripárban túlnyomó többségben lévő tömegtermelés során azonban más okokból kifolyólag lehet szükség különböző speciális gépi látás megoldásokra. A kisebb darabszámú termékek esetében fenn álló egyedi termékjellemzők indokolta speciális minőségellenőrzési eljárások mellett a tömegtermelésben, épp a rövid idő alatti inspekció indokolhat nem szokványos megoldásokat. Az ellenőrzés – különösen nagy darabszám esetében – lehet in-line vagy offline ellenőrzés is, attól függően, hogy mennyire kritikus az adott minőségi kritérium. Soron kívüli, mintavételezéses mérések lehetnek hosszabb idejű tesztek is amelyet nem lehet elvégezni minden darabos gyártásközi ellenőrzésként.

Elmondható, hogy mind a kisebb darabszámú, mind pedig a nagyobb volumenű termelés esetében számos előnnyel járhat ha gépi látás eszközökkel oldják meg a vállalatok a minőségbiztosítási feladatokat. Azonban számos esetben lehetnek olyan körülmények – akár termék tulajdonság akár megrendelői igény – ami miatt a hagyományos gépi látás megoldások nem nyújtanak megoldást. Több területen folynak kutatások fejlesztések folyamatosan amely hatására egyre korszerűbb szenzorok jelennek meg a gépi látás területén. Az egyre pontosabb érzékelőknek köszönhetően a mesterséges intelligencia kódok pontosabb számításokat végezhetnek amelyek következtében a gyárak hatékonyabb minőségirányítási rendszerrel bírhatnak.

2 Non-destruktív ellenőrzési eljárások előnyei

A gyártási folyamatok során a termékek minőségi tulajdonságainak egy részét minden darabon míg a többit ún. mintavételezéses eljárások során ellenőrzik. A meghatározott darabszám utáni tesztek során előfordulhatnak olyan mérések, tesztek amelyek végrehajtása után már az adott termék nem piacképes, mivel az adott eljárás roncsolással jár. Az eredményből következtetni lehet az ilyen méréseknek alávetett termékek előtt és után legyártottak minőségi jellemzőire.

A következtetések elkerülésére és az adott darab paramétereinek mérésére alkalmasak a non-destruktív eljárások, amelyek során roncsolásmentesen végezhető a mérés. Így a termék eladható marad és nem csak több darabos gyakorisággal, hanem – terméktől függően – akár minden darabos ellenőrzésként is alkalmazhatóak.

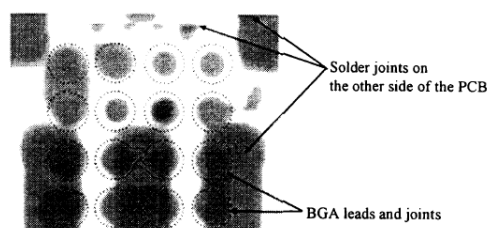
Az egyik ilyen széles körben alkalmazott technika a gépi látás. Akadnak azonban speciális területek, ahol a „hagyományos” gépi látás megoldások nem vezetnek eredményre akár a termék mérendő tulajdonságai, akár a gyártás körülményei miatt. Az ilyen esetek miatt fejlesztettek ki speciális gépi látás eszközöket.[1][3]

3 Speciális területek a gépi látás számára

3.1 Nyomtatott áramköri lapok (PCB)

A modern tudományok közül talán az elektronika és az informatika területe az ahol a legnagyobb mértékű fejlődés tapasztalható. Ez a folyamat mind hardveres mind pedig szoftveres területen tapasztalható. A hardverek területén a legszembetűnőbb és a hétköznapi ember számára is észrevehető változás az eszközök méretének csökkenése, ami számos technológiai fejlesztésnek köszönhető. Az elektronikai és informatikai eszközök méretcsökkenése a használati előnyökön túl a gyártási folyamatokban számos nehézséget generál. Nehézkesebb és költségesebb előállítás, komplikáltabb ellenőrzési eljárások.

A nyomtatott áramkörök technológiája is több lépcsőben fejlődött. A THT (Through Hole Technology) nyomtatottáramköri technológia leváltásával az SMT (Surface Mounted Technology) megjelenésével valamint a több rétegű áramköri lapokkal az eszközök mérete nagyságrendekkel csökkenhetett. Saját, elektronikai iparban szerzett tapasztalataim alapján úgy vélem az SMT technológia egyik nagyszerű megoldása, a BGA (Ball Grid Array) alkatrészek használatának elterjedése okozza a legnagyobb fejtörést minőség-ellenőrzés területén. Ugyanis az ilyen technológiával szerelt alkatrészek forrasztása roncsolás nélkül nem látható. Az ilyen alkatrész beültetések ellenőrzésére leggyakrabban röntgen gépeket használnak. A hagyományos röntgenképen azonban nem minden esetben látszanak az ún. nyitott vagy hideg forrasztások valamint több rétegű és két oldalon szerelt áramköri lapok esetében nehezen különböztethető meg az egymással szemben lévő alkatrészek forrasztásai. Ennek kiküszöbölésére használható a Digitális Tomoszintézis (DT) eljárás.



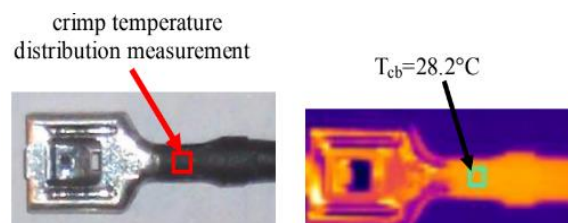
1. Ábra Az áramköri lap két oldalán lévő forrasztások fedik egymást [2]

3.2 Kompozit anyagok

A műanyagok feltalálásával számos terület ugrásszerűen fejlődésnek indult. Napjaink környezetvédelmi kérdéseit figyelmen kívül hagyva a műanyagok használata mellett sok érv szól és az élet egyes részein szinte nélkülözhetlenné vált. A különféle műanyagok más anyagokkal való együttes használatával főleg olyan ipari felhasználási területek profitálnak ahol fontos a nagy teherbírás mellett a kis tömeg. A műgyanta-félék kifejlesztésével megszülettek a kompozit anyagok, melyeket főleg a járműipar használ széles körben, azon belül is a repülőgép ipar. Az üvegszálás mellett egyre elterjedtebb a szénszálás polimerek használata. [4][5] Ezen kompozit anyagok előállítási technológiájából adódóan réteges szerkezetűek. Fontos ezen elemek mélyreható elemzése, mivel nagy terhelésnek is ki lehetnek téve használat során több éven keresztül. A normál fáradási folyamat mellett szilárdsági tulajdonságait nagy mértékben leronthatja az, ha már a gyártás során a rétegek nem megfelelően kapcsolódnak egymáshoz. A rétegek közti kapcsolatot valamint az anyagok homogén jellegét csak roncsolásmentes eljárással lehet mérni a vizsgált elem eredeti tulajdonságainak megtartásával. Ezt biztosan, emberi érzékszervi ellenőrzéssel – az egyértelműen azonosítható, látványos hibáktól eltekintve – sem lehet megállapítani.

3.3 Előre gyártott kábelek

Az elektronikai ipar szerte ágazó területei között található olyanok, amelyek nem a végfelhasználók számára állítanak elő terméket, hanem valamely másik iparág beszállítója. Többek között ilyen az előre elkészített kábelek, kábelkorbácsok készítése amelynek legnagyobb felvevője az autóipar illetve a repülőipar. Mindkét terület komoly biztonságtechnikai követelményrendszert tart fenn, mivel egy kisebb hiba is közvetlen emberéletet veszélyeztethet. Ilyen például, ha egy baleset során egy hibás csatlakozó miatt nem nyílik ki az autó légszákja vagy egy repülőgép valamely irányítást vezérlő rendszerébe kerül egy hibás kábel amely tüzet okoz. A különböző csatlakozók kábelre rögzítéséhez más-más roppantó szerszámot készítenek a gyártók a minél tökéletesebb elektromos csatlakozás létrehozásához. Ez azonban nem mindig jön létre. Ennek ellenőrzése szemrevételezéssel nem tehető meg elegendő precizitással. Egy körülményesebb és a gyors gyártás szempontjából nem optimális megoldás egy teszt áramkörbe kapcsolva a melegedés mérése a csatlakozási ponton. Valamint ez a megoldás pontos visszajelzés adására sem alkalmas. [6]



2. Ábra Előgyártott kábel és hőképe teszt során [6]

3.4 Felületek alakhelyessége

A formatervezőknek és fantáziájuknak nagy szerepük van abban, hogy a vevő az adott terméket válassza. Főleg abban az esetben amikor nem rendelkezik különösebb műszaki ismeretekkel vagy elvárásokkal az adott darab iránt. Bonyolultabb formák esetében az alaki helyesség, vagy egy kisebb hiba észlelése a felületen nem egyszerű. Az autóipar luxusmárkáinak ellenőrei hosszadalmasan ellenőrzik szabad szemmel, meghatározott megvilágítás mellett az elkészült járművel felületét hibát keresve azon. Ez azonban lassú és nem pontos eljárás. Ezen okból kifolyólag egy sík vagy egy összetett forma felületi ellenőrzése hasonló módszerekkel nem kivitelezhető tömeggyártás esetén.

3.5 Napelemek

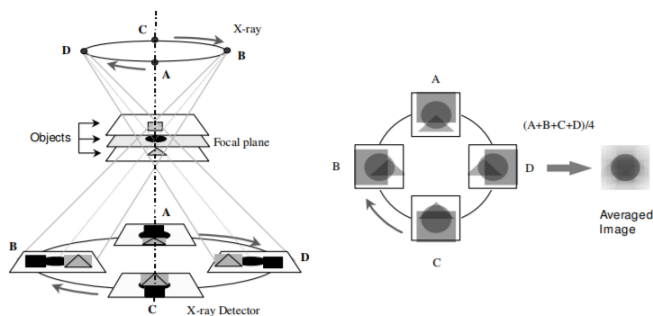
A klímaváltozás okozta nyomás hatására egyre szélesebb körben használnak napelemeket. A napelemes rendszerek már szélesebb körben elérhetők, így a kereslet is magasabb ami azt jelenti, hogy a napelemek is sorozatban gyártott termékek. Mivel egy napelemes rendszer több táblából az pedig több cellából áll fontos, hogy ne tartalmazzon hibás elemeket, mert azok nagy mértékben ronthatják az egész egység hatásfokát. Ennek ellenőrzése nem egyszerű feladat. Ugyanis fény alá helyezve a kész tábla teljesítménye mérhető, azonban az nem derül ki, hogy mely cellák okoznak teljesítmény csökkenést. Amennyiben a hibás cellát tartalmazó táblák kikerülnek a gyárból és beszerelésre kerülnek, később plusz költséget és nehezebb hibakeresést eredményeznek. Ezért fontos minden tábla ellenőrzése.[7]

4 Speciális gépi látás megoldások

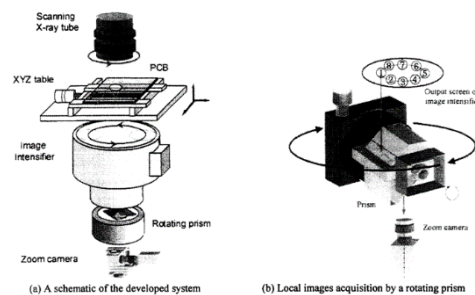
4.1 Röntgenkamerás elemzés

[2]A röntgensugárzás felfedezése óta nem csak az orvostudomány területén, hanem az iparban is lehetőség nyílt egyes anyagok belsejébe „látni” azok megbontása nélkül. Az elektronikai ipar számos területén fontos követelmény az egyre kisebb méret elérése. Ennek eredménye az SMT-n belül a BGA alkatrészek megjelenése ahol azelektromos forrasztási pontok a tokozás alatt helyezkednek el. Általában mikrokontrollerek és memóriák valamint FPGA-k kerülnek ilyen tokozásba. A PoP (Package On Package) technikánál BGA alkatrész kerül beültetésre BGA alkatrészre. Ennél a megoldásnál és az egyszerű BGA beültetésnél is nehézséget okoz az alkatrész alá „tekintés”. Így nehézkes a forrasztás minőségének ellenőrzése akár vizuálisan akár hagyományos röntgen képi eljárással.

Ennek megoldására alkalmazható a röntgenes keresztmetszeti képalkotás amellyel rétegekként képezhető le a forrasztások alakja. Ilyen eljárások például a laminográfia és a digitális tomoszintézis.



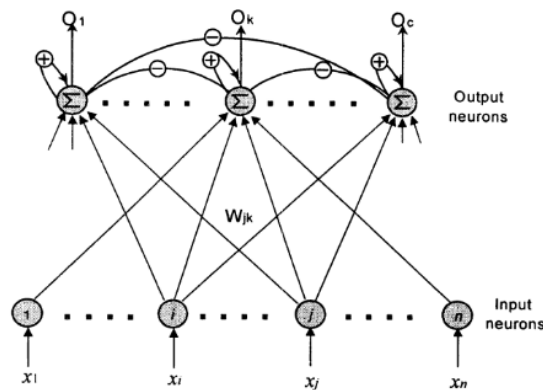
3. Ábra Laminográfia [8]



4. Ábra Digitális Tomoszintézis [2]

Tanuló vektorkvantálós neurális hálózat használatával a profilok több csoportba sorolhatók, és az osztályozási eredményeket felhasználva meghatározhatók a forrasztott kötések megfelelősége. A **laminográfia** lényege, hogy a forgó röntgenforrás és a kép detektáló egység ugyanazon tengelyhez képest egy geometriai fókusz síkot hoz létre. Így a fókuszponton kívüli részek a vetített képen más-más pozícióban fognak megjelenni, amely vetítéseket átlagolva leszűrhetők a síkon kívüli részek. A **digitális tomoszintézis**hez szükséges rendszer 4 elemből áll: egy pásztázó röntgencsőből, egy erősítőből, egy forgó prizmából és egy zoom objektívől. Ezen eljárás során a PCB-n áthaladó és így csillapított röntgensugarakat az erősítő összegyűjti és látható éppé alakítja. A zoom kamera általában nagyjából nyolc képet gyűjt be az erősítőből a forgó prizmán keresztül a PCB vizsgálni kívánt területéről, majd ezekből a különböző szögekből készített képekből torzítás javítás után egy keresztmetszeti kép készül. A nyolc kép szintetizálása nagyjából 400ms-ot vesz igénybe.

Tanuló vektorkvantálósos neurális hálózat egy nem felügyelt mesterséges neurális háló ami az adatok csoportosítására és tömörítésére alkalmas. Hasonló minták csoportosítása, eltérők elkülönítése priorítás nélkül. Egy bemeneti és egy kimeneti rétegből áll ahol minden bemeneti neuron kapcsolatban áll minden kimeneti neuronnal. A súlyvektor, másnéven prototípus vektor a kimeneti neuronok mindegyikével társul. Tanítás során a neuronok közti kapcsolatok súlyát a bemeneti neuronoknak megfelelően állítjuk be. Azt követően az öncsoportosítás folyamán egy versengés jön létre a kimeneti neuronok közt amit az dönt el, hogy mely kimeneti neuron súlyvektora áll közelebb az aktuális bemeneti adatokhoz. Majd csak a nyertes neuron súlyai kerülnek frissítésre. Ezt verseny tanulási szabályként is szokták említeni.



5. Ábra Tanuló vektorkvantálósos neurális hálózat [2]

Hasznos eszköz, azonban nehéz meghatározni a kimeneti neuronok optimális számát. Az osztályozási teljesítmény két kritérium alapján értékelhető: az első a prototípus és a minták közti hasonlóság. Ennek mérésére szolgál az (1)[2] számítással.

$$\delta_i = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \|\mathbf{P}^i - \mathbf{X}_k^i\| \quad (1)$$

A (1) egyenletben n értéke az i osztályba besorolt bemeneti kedvezmények száma, \mathbf{P}^i az i osztály prototípus vektora és \mathbf{X}_k^i k ih bemeneti minták pedig az osztály részei. A második a prototípusok közti különbség, ez lehet mérve még egy átlagos D távolsága a prototípusnak a többitől (2)[2].

$$D_i = \frac{1}{N_c} \sum_{j=1, j \neq i}^{N_c} \|\mathbf{P}^i - \mathbf{P}^j\| \quad (2)$$

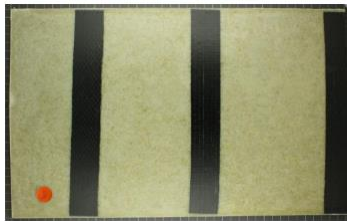
A neurális háló kiegészítéseként még alkalmazandó egy **kikeresési táblázat** a pontosabb elemzés miatt. A neurális hálónak több profilból készült bemenetet kell adnia a neurális hálónak. Azokat kiértékelve valamely osztályba sorolja az eredményt. Az eredmény lehet kevés forrasztóon, kevés de már megfelelő, megfelelő, kicsit sok de még megfelelő, túl sok forrasztanyag.

Én saját magam használtam korábban forrasztás elemzésre szolgáló röntgen gépeket, amelyek nem használtak MI megoldásokat. Esetenként nagy segítségemre szolgált volna amikor nem tudtam eldönteni, hogy az adott forrasztás megfelelő-e vagy sem.

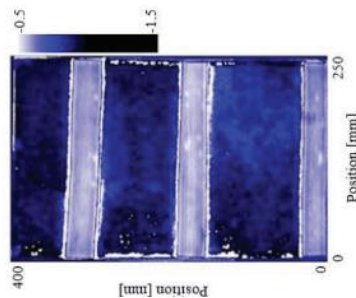
4.2 Ultrahangos és hőkamerás vizsgálat

A modern kompozit anyagok fő előnye az olcsó előállítás és a kis tömeg mellett is nagy szilárdság. Az ilyen anyagokat felhasználó iparágak rendszerint a járműipar, azon belül is főként a repülőgép ipar. De megtalálhatóak nagy számban ilyen technológiás elemek motorsport és vízisport valamint téli sport eszközökben is. Ezen területekben közös, hogy olyan eszközöket gyártanak amelyek egy szerkezeti meghibásodás esetén emberéletet veszélyeztethetnek. Ezért kiemelten fontos hogy a gyártás során ne kerüljön kereskedelmi forgalomba nem megfelelő szilárdságú eszköz. Ehhez komoly minőségirányítási rendszer kell nagy pontosságú ellenőrző rendszerekkel.

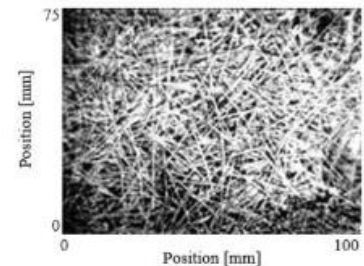
[5]Ezen területen a gépi látás két speciális mérési eljárását alkalmazzák külön és együtt is. Az egyik ilyen eljárás az infravörös **hőkamerás vizsgálat**. A kompozit anyajok használata során előfordul, hogy a megfelelő mechanikai szilárdság elérése érdekében vegyesen használnak üvegszálalás anyagot kevlar vagy szénszálalás megerősítéssel. Mivel a különböző anyagok optikai abszorpciója és hővezető képessége eltér egymástól, a hőkamerás felvételeken jól kivehető az üvegszálalás és szénszálalás eloszlás. Az infravörös tartományban készült képek előállítása Fourier-transzformáció segítségével történik (7. ábra).



6. Ábra A mért kompozit elem, a további képek alapja [5]

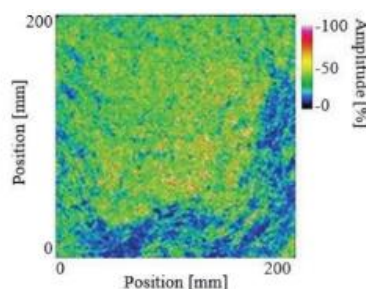


6. Ábra Infravörös kép [5]



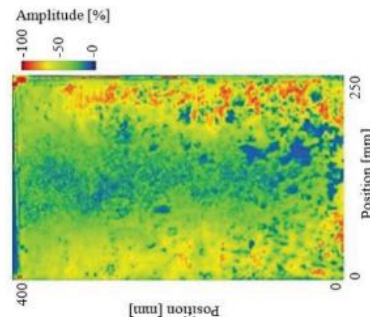
7. Ábra A szálak meghatározhatóak [5]

Az **ultrahangos mérésnek** két féle eljárása létezik attól függően, hogy mi a közvetítő közeg. Az egyik az ún. merítéses ultrahangos vizsgálat amely során a mérendő tárgyat egy közvetítő folyadékba merítik, ami az esetek túlnyomó többségében desztillált víz. Ebben az esetben az ultrahang forrás és a detektor a vizsgálandó anyag két ellentétes oldalán helyezkedik el egymással szemben. Gyakori ipari módszer az impulzus visszhang ami zárványok és levegőbuborékok detektálására alkalmas. Egy magasabb középfrekvenciás (~15MHz) elemzés során, kisebb (~0,5mm) transzduktort használva a szálak is láthatóvá válnak, a mintaképen a kevesebb szálal tartalmazó rész kék árnyalatú.



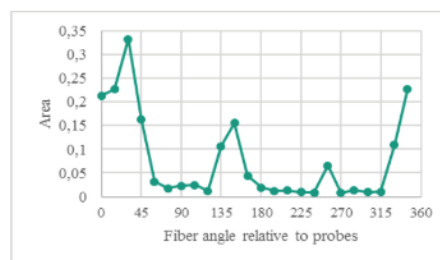
8. Ábra Merítéses ultrahangos vizsgálati kép [5]

A másik eljárás során nem használnak semmilyen közvetítő anyagot. Ez nem azt jelenti, hogy vákumban történik a mérés, hanem a levegőt használják fel mint továbbító közeget. A mérendő anyag és a levegő közti nagy terjedési ellenállás különbség miatt speciális technológiát igényel, mivel nagy a minta felületéről történő visszaverődés. A méréses vizsgálatához képest a mérési eredményül kapott kép pont az ellenkezője, mivel a levegőhöz képest nagy porozitású minta szinte átlátszatlan az UH számára. A mérés eredményül kapott képen a pórusok egybefolynak folytonos résekké.



9. Ábra Általános ultrahangos mérés levegős közegben [5]

Egy harmadik eljárás az ultrahangos spektroszkópia. Az irányított Lamb-féle hullámok terjedésén alapszik amivel a szénszálak iránya azonos meghatározható, anizotróp tulajdonságúak. Az eltérő szálirányú kompozitoknál a reflexiót, az energiát és a sebességet szálorientációhoz igazítják a mérés során. A szálirány meghatározható a rezonanciával a 50-250kHz-es tartományban. A laminálási hibák és a szálirány változás amplitudo változást okoz. Az UH spektroszkópiának köszönhetően meghatározható az anyagok rezonancia frekvenciája, a gyakoribb üvegszálak kompozitoknak nagyjából 300kHz, míg a merevebb szénszálak anyagoknak 600kHz körül mozog. A rezonancia frekvenciához illesztett terület eloszlás és a szénszálak orientációja egyértelmű összefüggést mutat. A mérés során a legnagyobb terület akkor érték akkor jelenik meg, ha a szálak a szondához igazodnak. Ebből következik, hogy ezzel a módszerrel megállapítható a szálak iránya. A mintaképen – ami uh spektroszkópiás eljárással készült - ez egyértelműen látszik a 0-90° közötti átmeneten, míg a 165-240°-os tájolásnál megjelenő területnövekedést a levegő zárványok okozzák.

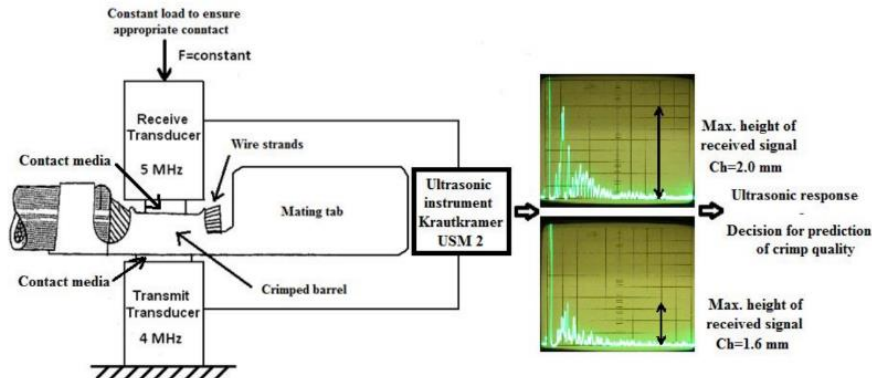


10. Ábra Terület - szálirány összefüggés [5]

[6]Egy másik merőben eltérő terület ahol mindkét mérési módszert alkalmazzák, az elektronikai ipar kábelgyártási szegmense. A leggyakoribb minőségi problémát generáló folyamata a különböző csatlakozók kábellel való összekötése. Amennyiben az összeköttetés nem megfelelő elektromos vagy mechanikai hibát okozhat. Nagy sorozatú gyártás esetén a csatlakozók a kábelvégekre automata roppantó berendezéssel kerülnek rögzítésre, ami hosszú távon egy jó gépbeállítás mellett részben biztosíthatja a megfelelő minőségi elvárásokat. Hibás illesztés esetén a csatlakozás melegedhet. Fémek esetén az infravörös fény kibocsátás a hőmérséklet növekedésével ugyancsak növekszik. [9] Ezt kihasználva végezhetünk minőségi tesztet a csatlakozáson oly módon, hogy a kábelen elektromos áramot vezetve infravörös tartományban érzékelő kamerával figyelhetjük menyire melegszik fel az

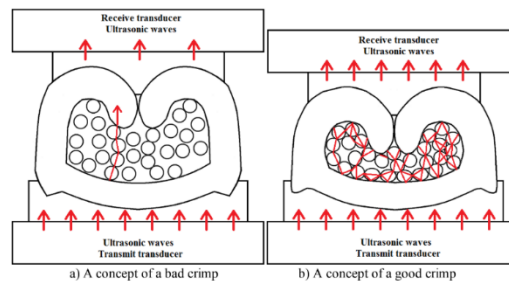
érintkezési ponton. Amennyiben a csatlakozás nem eléggé szoros a melegedés és ezzel az infravörös fény kibocsátás is megnövekszik. Ez az eljárás azonban nem végezhető el rövid idő alatt, mivel az elektromos energia hőenergiává alakulása nem azonnal megy végbe.

Egy gyorsabb ellenőrzési megoldást nyújthat ezen a területen is az ultrahangos mérés.



11. Ábra Kábel csatlakozás ultrahangos mérése [6]

A mérés azon az elven alapszik, hogy a vezeték elemi szálakból áll, amiknek az egymáshoz viszonyított elrendezése a csatlakozó rároppantásának mértékétől változik. Attól függően, hogy a szálak hogyan helyezkednek el az ultrahang hullám más úton halad át rajtuk ami módosítja a hanghullám amplitúdóját. Minél jobb a csatlakozó illesztése, annál kisebb lesz az amplitúdó, mivel nagyobb utat kell megtennie a hanghullámnak és az így nagyobb mértékben csillapítva érkezik a vevő fejbe.



12. Ábra Ultrahang útja a szeszerelt kábel csatlakozóján

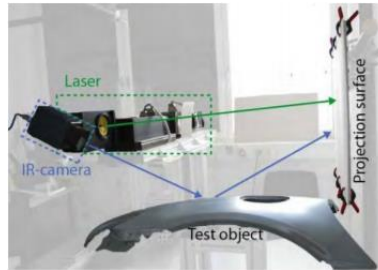
4.3 Deflektometriás vizsgálat

[10]A deflektometriás vizsgálatot a hagyományos gépi látás technológiák területén, a látható fényspektrumban már megbízhatóan működik. A módszer kiterjeszthető infravörös tartományra, sima felületű anyagbók készült tárgyak felületi mérésére. A deflektometria abban különbözik más gépi látás módszertől – mint például a sztereo látás vagy a struktúrált megvilágítás -, hogy a 3 dimenziós pont helyzet helyett a Lambert-féle koszinusz törvényen alapszik(3)[11].

$$E(x, y) = \frac{E_0}{\pi} \rho(x, y) \cos(\theta_i) \quad (3)$$

Ennek megfelelően a visszavert fény szöge a megfigyelési tengely és a sík normálisa közötti szög koszinuszával arányos. Ez teszi az eljárást különösen érzékeny a felületen lévő legkisebb deviáció detektálására. A látható spektrumban végzett deflektometriás vizsgálatnál szembeni nagy előnye az infravörös tartományban való mérésnek, hogy áttetsző felületeknél

is alkalmazható vagy akár polírozatlan fém tárgyakon is mint például autó karosszéria elemeken. A defketrometriai vizsgálat három fő egységből áll: egy kamerából, egy megjelenítóből és egy vetítő felületből.



13. Ábra A rendszer három fő eleme és működési elve [10]

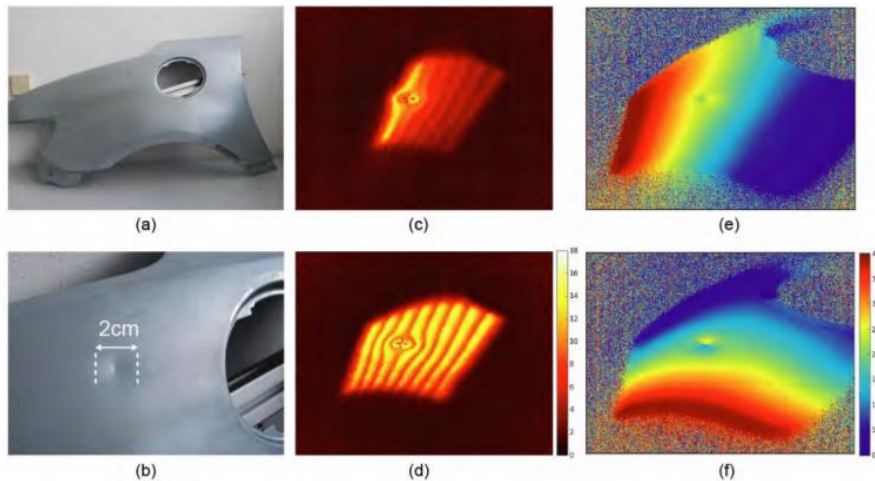
Bár az infravörös érzékelő kamerák könnyen elérhetőek, megfelelő megjelenítőhöz már nehezebb hozzájutni. Inkább csak katonai felhasználásban találkozhatunk megfelelő eszközökkel. Ezen eszköz hiányában használható az a módszer amely erős lézersugár (~10μm, 80W) segítségével, melegítéssel minták hozhatók létre a mérendő felületen. Ennek egy hátránya a folyamat tehetetlensége, mivel a melegítés időbe telik. Ezt kiküszöbölhető, ha a folyamatot közelítjük egy félig végtelen szilárd anyag besugárzási modelljével melegítésnél(4)[10]:

$$T(t) = 2 \cdot \frac{\alpha I \sqrt{\kappa}}{\lambda_{th} \sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{t}, \quad (4)$$

hűtésnél pedig (5)[10]:

$$T(t) = 2 \cdot \frac{\alpha I \sqrt{\kappa}}{\lambda_{th} \sqrt{\pi}} \cdot (\sqrt{t} - \sqrt{t - t_L}), \quad (5)$$

A számításból látszik, hogy a két folyamatot ugyanazon tényezők befolyásolják, így csak a fűtési és hűtési idő azonos befolyásolása mellett optimalizálható. Zavaró tényező lehet még a máshonnan származó hő, ami befolyásolhatja a mérést. Ez gyártás során csak egy jól elszeparálható helyen oldható meg, ahol nem befolyásol a napsütés, a folyamatot irányító személy testhője és más fényforrások.



14. Ábra a)festetlen fém felület b)közeleli kép a hibáról c)szürkeárnyaltos kódú kép d)hőmérsékletemelkedéssel mért kép (°K) e)függőleges vízszintes irányú helyzet mm-ben [10]

4.4 Infravörös vizsgálat a napelemiparban

A folyamatosan terjedő megújuló energiaforrások közül talán a napelemek a legszélesebb körben elérhető megoldások közé tartoznak mind ipari mind lakossági körben. Mindkét területen használnak polikristályos és monokristályos változatot is, valamint a modernebb vékonyréteg napelemeket, azonban a napelem táblák gyártási eljárásában szignifikáns eltérés nincs a két változat között.

[12]Mivel a kereskedelmi forgalomba kerülő táblák esetében is a leggyakoribb hibák gyártáshoz köthetők, mint például laminálási hibák, összekötő vezeték érintkezési hibák, fontos azok minél hatékonyabb detektálása. Ezen hibák kategóriákba sorolhatók:

- forró pontok a panelen ami terhelésként működik, melyeket például egy hibás bypass dióda vagy sönt ellenállás is okozhat.
- visszaverődést gátló bevonat hibája amely következtében a cellákra jutó fény kevesebb lehet
- buborékok a rétegek között ami túlmelegedést és élettartam csökkenést eredményezhet.
- mechanikai hibák (repedések, törések)

Az említett hibák detektálására a speciális gépi látás kamera, az infravörös tartományban érzékelő *hőkamera* és a *Canny éldetektálási eljárás* valamint a *szegmentációs technika* kombinációja nyújthat megoldást.

[7]Mivel a napelemtáblák védő üveglapja általában 3-4mm vastagságú, csak a 3-5 μm hullámhosszú érzékelők számára átlátszó. Ha nem ilyen hullámhossz tartományban működő kamerát használnak, akkor csak a cellák előtti üveglap hőmérséklete mérhető.

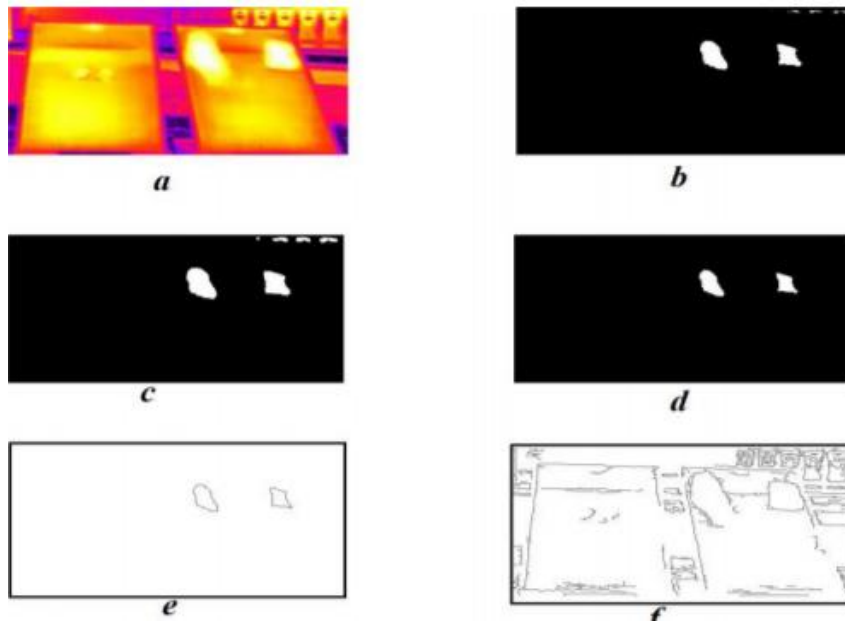
[13]A Canny éldetektálás egy nagyon elterjedt, több lépéses (Gauss simítás, differencia számítás, nem-maximum vágás, hiszterézis küszöbölés) eljárás.

[7]A napelemtáblák gépi látással való minőségellenőrzését lehetővé tevő jelenség az elektrolimineszcencia, ami során az adott tárgyon átfolyó elektromos áram hatására az fényt bocsájt ki. Ilyen eszközök a napelem cellák is, amelyek a rájuk kapcsolt feszültség hatására infravörös tartományban sugároznak. A hibás és hibamentes cellák a rájuk kapcsolt feszültség és átfolyó áram hatására más intenzitású infravörös fénnel világítanak.

4.4.1 Morfológiai algoritmus és Canny élkeresés

A melegedő pontok keresésére kiválóan alkalmazható.

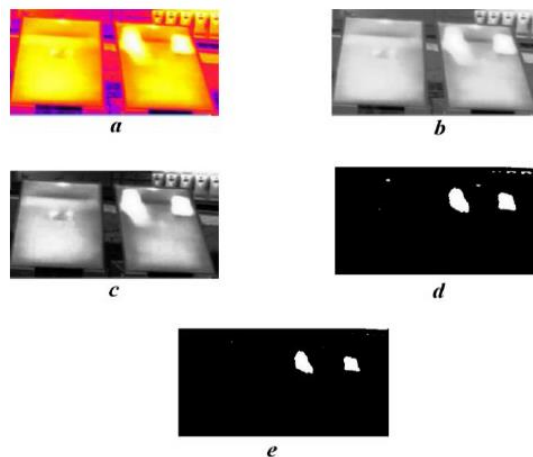
Első körben a hőkamera készít egy képet a napelem panelről amelyen a melegedő részek jóval világosabb színűek. Majd egy adott küszöbértéket megadva a kép binárisá konvertálódik. Ezt követően egy kernel (módosító keret) [13] segítségével egy morfológiai eljárás (dilatació majd erózió) hajtódik végre amivel kis mértékben változik a hiba mérete. A kapott képből Canny éldetektálási algoritmussal körülhatárolható a hiba pontos helye.



15. Ábra a)Hőkamerás kép a panelről b)konvertált kép c)Dilatáció d)Eróziós eljárás után e)Canny éldetektálással a hiba körülhatárolva f)morflógiai transzformáció nélkül [12]

4.4.2 Szegmentációs alapú meleg képpont keresés

Ez az eljárás a „meleg” képpontok meghatározásán és az átlag és a szórási értékek meghatározásán alapul. Ebben az esetben is a kiindulási alap egy hőkamera kép a napelem tábláról. A pixelek közti nagyobb kontraszt eléréséhez az infrakép feldolgozásra kerül egy Gauss-szűrővel, valamint a hisztogramja is simításra kerül. Azt követően az algoritmus meghatározza azokat a pixeleket melyek kapcsolódnak a meleg pixelek halmazához. Ekkor a hibás részt meghatározó pixelek közt lehetnek olyan pixelek amelyek nem kapcsolódnak. Annak érdekében, hogy a napelem tábla hibás területe egyértelműen körbe határolható és azonosítható legyen, a rések kitöltésére dilatációs transzformációt kell alkalmazni. Végül az eróziós transzformációs eljárást alkalmazva a kisebb, nem hibás panel területet mutató pixelek eltüntethetők, így már csak a valóban „meleg” napelem részt kijelölő foltok maradnak láthatóak.

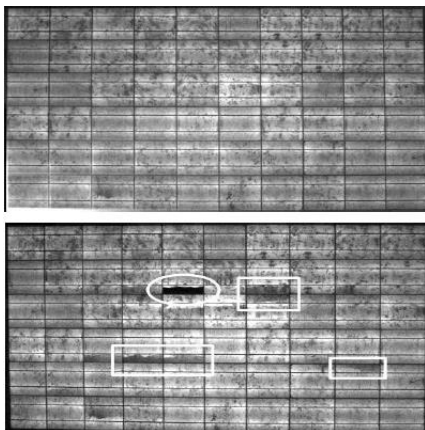


16. Ábra a)Hőkamerás kép a panelről b)Gauss-szűrés utáni állapot c)Hisztogram kiegyenlítés után d) Az algoritmus lefutása után e)Az eróziós transzformáció eredménye [12]

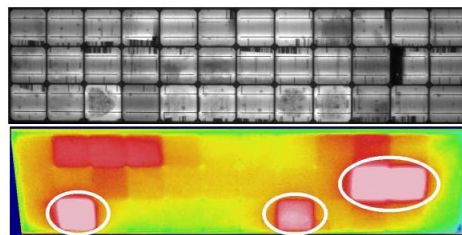
4.4.3 Mechanikai hibák detektálása

[7] Mechanikai hibák esetében a korábbiakban bemutatotthoz képest más a keresendő hiba képe, ugyanis itt a táblára kapcsolt elektromos áram útja fizikailag korlátozott a sérülést szenvedett területen, amely ott nulla vagy közel nulla, míg más területeken emiatt megnő az áramerősség.

Az elektrolumineszcens mérés nem speciális, hanem hagyományos (CCD lapkás) gépi látás kamerával végezhető (300-1000nm). Ebben az esetben ahol mechanikai sérülés következtében nem folyik vagy csak csekély áram folyik, a félvezető nem bocsájt ki fényt ami a kamera képen fekete vagy sötét színű. A tábla megvilágított állapotban készített infravörös képein ezek a területek éppen ellenkezőleg, nagyon világosnak mutatkoznak.



17. Ábra Ép és mechanikusan sérült napelemtábla elektrolumineszcens képe



18. Ábra Sérült tábla elektrolumineszcens és infravörös képe

5 Összegzés

A fenti példákból látható, hogy az iparban, azon belül is a gyártás szegmensben akadnak olyan területek, ahol a hagyományos gépi látás megoldások nem vagy csak részben nyújtanak megoldást. Saját tapasztalat és olvasott irodalmak alapján a felsorolt speciális gépilátás eljárások sora nem teljes. Az ipar területén széles körűen használnak még például Time of Flight kamerákat pozíció, alak vagy méretmeghatározásra minőségbiztosítás kereteken belül vagy Lidar szenzorokat veszélyes géptér ellenőrzésre.

Véleményem szerint, a speciális gépi látás megoldások a jövőben olyan területeken is megjelenhetnek ahol jelenleg nem vagy csak hagyományos gépi látás eszközökkel történik a gyártásközi és végső minőség-ellenőrzés. Úgy gondolom, a mesterséges intelligencia algoritmusok - és azzal párhuzamosan a robotika - fejlődésével a humán erőforrások egyre jobban kiszorulnak a gyárakból, ami olyan gyártó környezeteket hozhat létre ahol szükség lehet az ismertetett technológiák minőségbiztosítási felhasználására olyan iparágakban is ahol ma még nincsenek jelen.

6 Felhasznált irodalom

- [1] The Review of New NDT Methods of Metal Material Fatigue Monitoring - Jingwei Dong, Qijian Wu, Wenwen Jiang and Qi Xu
- [2] Inspection of ball grid array (BGA) solder joints using X-Ray Cross-sectional images - Y.J. Roh, K.W. Ko, H.S. Cho, H.C Kim, H.N. Joo, S.K. Kim
- [3] New concepts for quality assurance of lightweight material - Marielouise Zaißa, Jonas Demmerlea, Joshua-Niclas Oergelea, Gisela Lanzaa
- [4] In-line Quality Assurance for the Manufacturing of Carbon Fiber Reinforced Aircraft Structures - Thomas ULLMANN, Thomas SCHMIDT, Severin HOFMANN, Raouf JEMMALI
- [5] Use of thermography and ultrasound for the quality control of SMC lightweight material reinforced by carbon fiber tapes - Marielouise Zaißa, Merle-Hendrikje Janka, Udo Netzelmannb, Thomas Waschkiesb, Ute Rabeb, Hans-Georg Herrmannb, Michael Thompson
- [6] Use of Thermography and Ultrasonic Inspection for Evaluation of Crimped Wire Connection Quality - Matej FINC 1, Tomaz KEK 2, Janez GRUM
- [7] Defect analysis in different photovoltaic modules using electroluminescence (EL) and infrared (IR)-thermography - Rita Ebner, Shokufeh Zamini, Gusztáv Újvári, AIT Austrian Institute of Technology, Energy Department
- [8] Image Distortion Compensation by Using a Polynomial Model in an X-ray Digital Tomosynthesis System - J.Y. Kim, J.S. Yoon
- [9] Non destructive evaluation of materials by infrared thermography - Maldague, P. V. Xavier
- [10] Thermal pattern generation for infrared deflectometry – Sebastian Höfer, Stefan Werling, Jürgen Beyerer
- [11] Photometric Stereo: Lambertian Reflectance and Light Sources with Unknown Direction and Strength - R.J. Woodham, Y Iwahori and R.A. Barman
- [12] Unsupervised Fault Detection and Analysis for Large Photovoltaic Systems Using Drones and Machine Vision - Moath Alsafasfeh, Ikhlas Abdel-Qader, Bradley Bazuin, Qais Alsafasfeh, Wencong Su
- [13] Gépi látás – GKLB_INTM038 - Széchenyi István Egyetem – Hollósi János