

3 dimenziós ultrahangos képalkotó rendszer kifejlesztése

Pór Gábor, Agócs Mihály, Kocsó Endre, Palotás Béla, Trampus Péter
Dunaújvárosi Főiskola, Dunaújvaros, Hungary
e-mail: porg@mail.duf.hu

KIVONAT

Az általunk kifejlesztett 3D-s képalkotó rendszert kereskedelmi forgalomban kapható ultrahangos szenzorokból és berendezésekből állítottuk össze. A letapogatást ISEL léptető motorok segítségével végezzük. Az ultrahangos mérés felbontása a fókuszált ultrahangos fejnek köszönhetően 1 mm alatt van. Jelenleg a mozgásban a lépésközök 0,1 mm-el történnek, és meg tudjuk különböztetni a 0,1 mm-nél is kisebb felületi bemetszéseket. A 3D-s rendszer legfontosabb része a LabView programban készült 3D-s modell, ami lehetővé teszi a detektált hibák mozgását, forgatását, valamint el tudjuk végezni az anyagban található folytonossági hiányok valódi tomográfiás képének az előállítását is. Összehasonlítva rendszerünket a kereskedelmi forgalomban is kapható hasonló rendszerekkel azt találjuk, hogy meglepően olcsó és megbízható. A rendszert először speciálisan kifejlesztett etalonokon teszteltük, amik furatokat és bemetszéseket tartalmaztak. Az autópárházban használt fröccsöntött elektronikai alkatrészekben lévő hiányok és légbuborékok vizsgálatára is mutatunk alkalmazási példát. Végül egy olyan fejlesztésen dolgozunk, amellyel képesek vagyunk a ponthegesztett kötések varratainak a heglencse tengelyére merőleges irányú szeletelésére vékonyabb, mint 0,1 mm-es rétegben.

Kulcsszavak: akusztikus letapogatás, pásztázó ultrahangos mikroszkóp, merülő fejek alkalmazása, mechatronika, ultrahangos hibakeresés, ponthegesztés kötéseinek vizsgálata

1. Bevezetés

A **pásztázó akusztikus mikroszkóp (PAM)** egy olyan eszköz, amely fókuszált ultrahangot használva megvizsgál egy tárgyat, amelynek részei különböző akusztikai impedanciával rendelkeznek. Az első pásztázó akusztikus mikroszkópot 1974-ben fejlesztette ki Lemons és Quate [1]. A pásztázó akusztikus mikroszkóp egy távadóból származó fókuszált ultrahang nyalábbal működik. Az „adó” üzemmódban kibocsátott, majd visszaverődött hangot ugyanaz az ultrahangos vizsgálófej érzékeli „vevő” üzemmódban. A reflexiókat felhasználva az ultrahangos berendezés megfelelő képeket állít elő. Manapság ennek a technológiának az alkalmazása a biológiában és az orvostudományban sokkal elterjedtebb, mint az iparban, ahol folytonossági hiányok vizsgálatára használják.

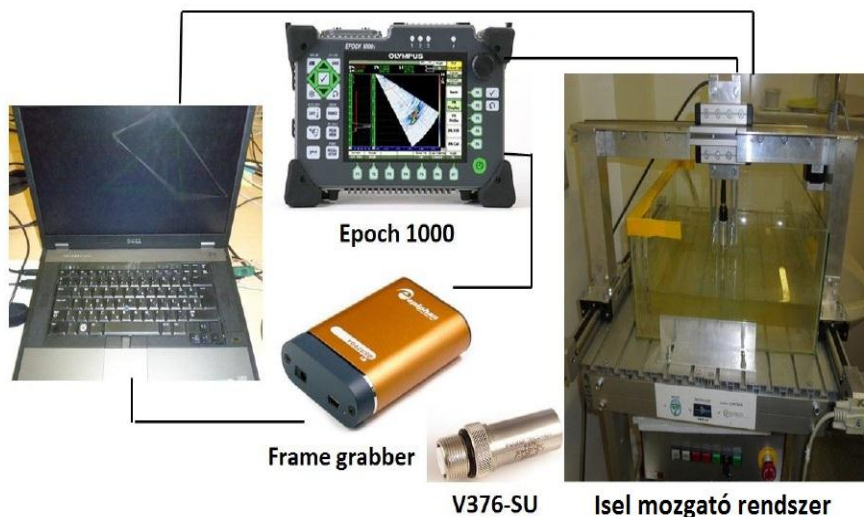
A pásztázás (letapogatás) ipari felhasználása, főleg a bemerülés típusú ultrahangos technikákkal együtt alkalmazva, egyre elterjedtebbé vált az elmúlt évtizedben [2]. Ezt azonban elsősorban viszonylag nagy tárgyaknál alkalmazzák, valamint ezek a rendszerek meglehetősen drágák.

Az eredeti fejlesztési feladatunkat az autópárház kezdeményezte, ahol a tokozott elektronikákat széles körben használják. Ezekben fröccsöntött műgyantába öntött áramkörök vannak. A feladatunk az volt, hogy a gyantában lévő légbuborékokat detektáljuk. Látni fogjuk, hogy ezt el lehet érni egy jobb felbontásra képes nagyfrekvenciás ultrahangos fejjel. A rendszerünk elvét és összetevőit a 2. és 3. fejezetben mutatjuk be. A 4. fejezetben pedig látható, hogy akár jobb, mint 0,1 mm-es felbontást is el tudunk érni.

Amint sikerült elérni a 100 mikronnál is jobb felbontást, akkor a rendszert már nem csak elektronikák átvilágítására használtuk, hanem megkezdtünk ponthegesztések kötését is vizsgálni. Ezek eredményei is a negyedik fejezetben láthatók. Érdekes még figyelmet fordítani a mozgató mechanikára is, mert ez teszi lehetővé az elvártól is jobb felbontást, mivel az ultrahangos képekben jelentős átfedés, redundancia van.

2. A rendszer jellemzői

A rendszer fontos része az üveg medence, ahol a vizsgált mintadarabokat el lehet helyezni a víz alatt (1. ábra). Ez elsősorban a jó csatolás érdekében szükséges. A medence felett egy mozgatható híd helyezkedik el, amin az ultrahangos vizsgálófej van rögzítve. Az ISEL mozgató rendszer akár 10 mikronos pontossággal is képes léptetni a rögzített fejet [3]. Ezt jelenleg egy ISEL PLC alapú elektronika vezérli, de hamarosan át fogjuk alakítani úgy, hogy a vezérlés is LabView-val [4] történjen. Jelenleg egy Olympus [5] által forgalmazott V376-SU típusú bemeztetéses fókuszált ultrahangos fejet használunk, amelyet egy szintén az Olympus által forgalmazott Epoch 1000-i készülékhez csatlakoztatunk, ami hagyományos A-képeket állít elő a fej minden egyes megállásakor (vö. 2. ábrával).



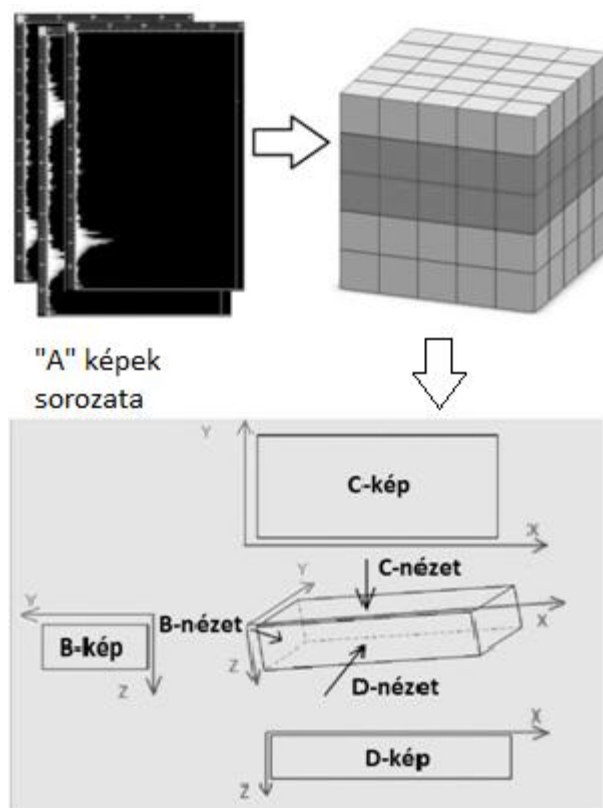
1. ábra. A pásztázó akusztikus mikroszkóp összetevői

A legtöbb rendelkezésre álló ultrahangos mérőrendszer nem rendelkezik digitális kimenetekkel, amin keresztül az A-kép elérhető lenne, ezért kellett használnunk frame grabber-t, ami az Epoch VGA kimenetén lévő analóg jeleket digitalizálja a számítógép számára, amelyben a tömeges A-képeket már fel tudjuk dolgozni.

3. Az ultrahangos A-képek feldolgozása

Köztudott, hogy az A-kép (2. ábra) információt tartalmaz a visszaverődött hang visszaérkezési idejéről. Minden egyes csúcs az A-képen a vízszintes skálán jelenik meg a hang érkezési ideje szerint, valamint a függőleges skálán a jel intenzitásának nagysága látható, amely elsősorban a reflektor méretétől és elhelyezkedésétől függ. Mi nem szűrjük ki még a kis csúcsokat sem, mint ahogy azt sok szabványban javasolják, mivel a mintákat raszteresen vesszük, ahol a raszter méretét 10 mikron és 1 mm közötti lehet változtatni. Az adatokból a számítógép egy 3D-s tömböt készít (lásd 2. ábra).

A letapogatás befejeztével egy 3D-s tömb áll rendelkezésünkre, amit a képfeldolgozó szoftverek fel tudnak dolgozni különböző képeket előállítva (vö. 2. ábra). A tömb minden egyes eleme információkat tartalmaz 3D-ban lévő elhelyezkedéséről valamint a reflexió intenzitásáról az adott helyen. Szűrést, átlagolást és sok más „trükköt” felhasználva javítható a láthatóság. Előállítunk B-képet, C-képet és D-képet egy felhasználóbarát kezelőfelületen keresztül, de a leghatékonyabb segítség a felhasználónak a 3D-s modell, amit manuálisan lehet forgatni, így lehetőség van megtalálni a tárgy belsejében lévő folytonossági hiányokat.



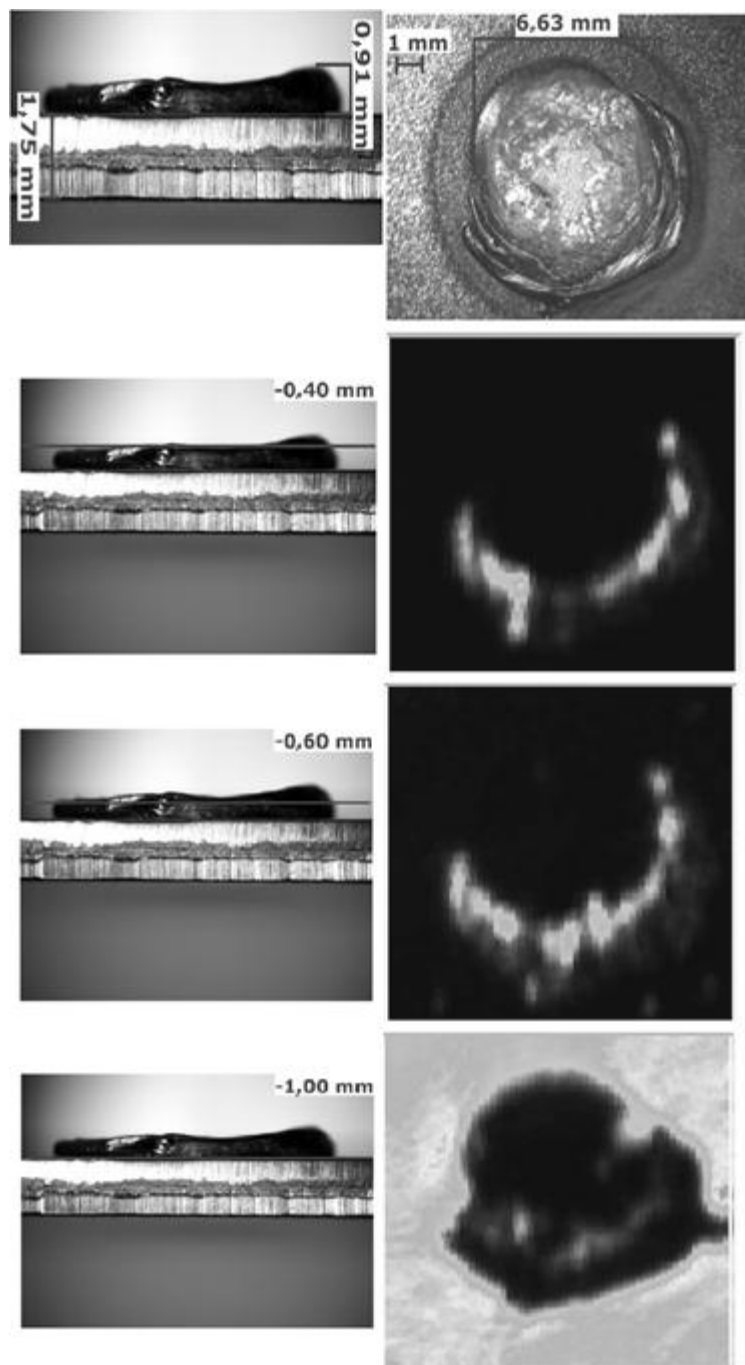
2. ábra. Hagyományos A-képek átalakítása egy tömbön keresztül B-képpé, C-képpé és D-képpé

4. Alkalmazási példák

4.1 Ponthegeesztett kötés vizsgálata

A ponthegeesztés egy széles körben használt eljárás az autóiparban. A közelmúltban új acélok (TRIP, TWIP stb.) is megjelentek a gyártósorokon. Meglehetősen fontos megvizsgálni a ponthegeesztett kötések minőségét, amelyek a hegesztési paraméterektől függenek, különös tekintettel az említett új acélok hegeszthetőségi tulajdonságaira. A gyors ellenőrzéshez helyszíni ellenőrző rendszereket alkalmaznak [6], amelyek csak egy felületes kötésvizsgálatra alkalmasak, részletek megjelenítése nélkül. Egy ponthegeesztés kötését megvizsgálva (3. ábra) jól érzékelhető rendszerünk felbontása is. Az ábrán néhány 0,2 mm-es felbontással szeletelt ultrahangos visszaverődési képet mutatunk be.

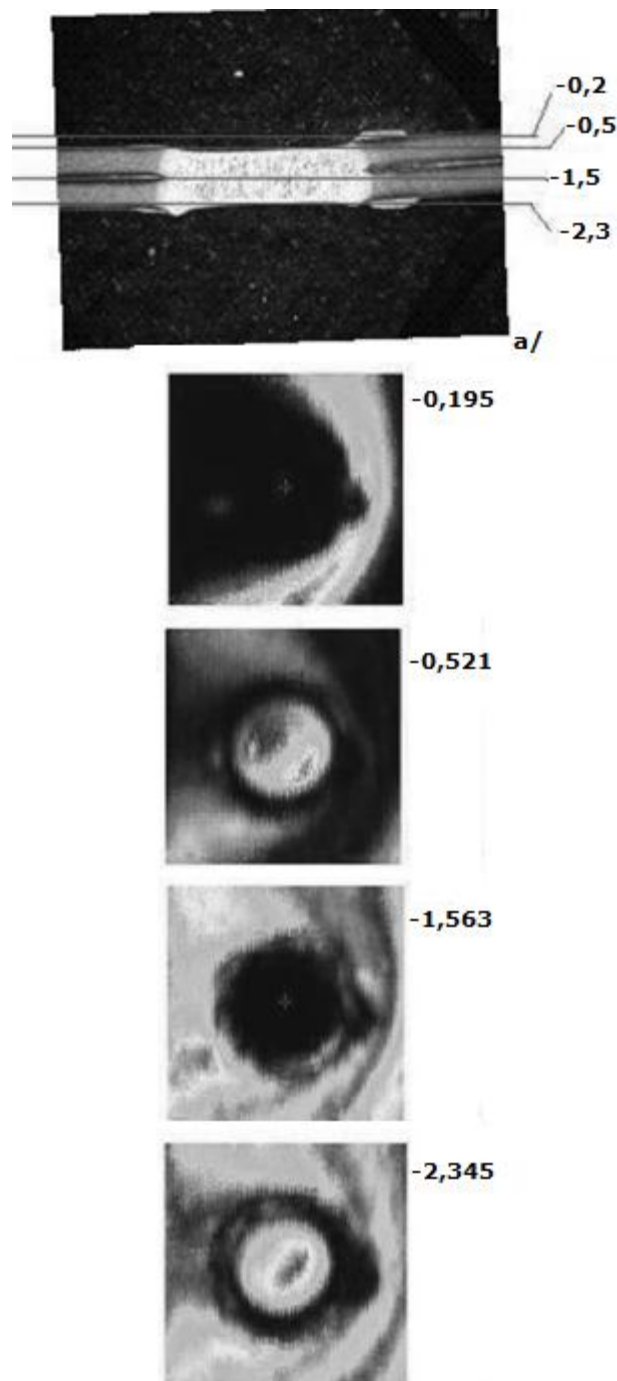
Noha a hegesztéshez értők jól láthatják, hogy a bemutatott ponthegeesztés nem jó minőségű, de éppen a kitüremkedő korona teszi lehetővé, hogy bizonyítani tudjuk, mennyire hatékony a módszerünk az általunk definiált rétegek leképezésére. Látható, hogy képesek vagyunk a hegesztett kötés különböző rétegeit előállítani. Az ábrán bemutatjuk a (0,4-0,6-1,0 mm) szintekhez tartozó visszaverődések képeket. Az első két szinten a korona, míg az utolsón már a felső lemez felső szintjének reflexiója látható. Jól látható, hogy a felső szinten a heglencse mélyebben van, mint a külső fémlemez szintje (1,0 mm). Ugyanakkor a kinyomódásban és körülötte nincsenek reflexiók (amit a képen egyenletes sötét – lényegében fekete gradáció mutat).



3. ábra A ponthelesztés kötésének felszeletelt rétegei

4.2. Egy jó ponthelesztett kötés felszeletelése

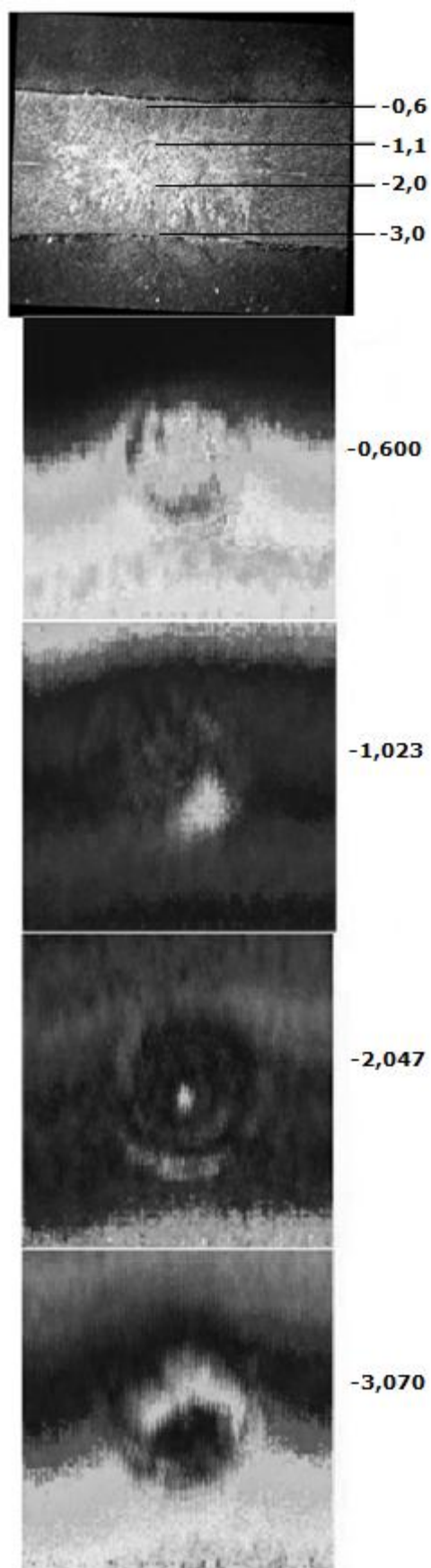
A 4. ábrán láthatók egy jó ponthelesztett kötés rendszerünkkel készített rétegei. Technikai okok miatt nem volt lehetséges, hogy a varrat teljesen vízszintesen legyen a vizsgálat során. A 4/b ábra megint a ponthelesztés karimáját mutatja. A 4/c ábra a heglencse felületének visszaverése. Nagyon fontos a 4/d ábra, ahol a sötét folt azt mutatja, hogy nincs semmi visszaverődés arról a szintről, ahol a két lemez elválasztó síkja van, tehát jó az összeolvadás! Végül a 4/e alsó ábrán a hátfal visszhangját láthatjuk.



4. ábra: A ponthegeesztett kötésének keresztmetszete (a), és a különböző mélységekből származó szeletelt ultrahangos visszaverődések (b-e) / számok mm-ben értendők /

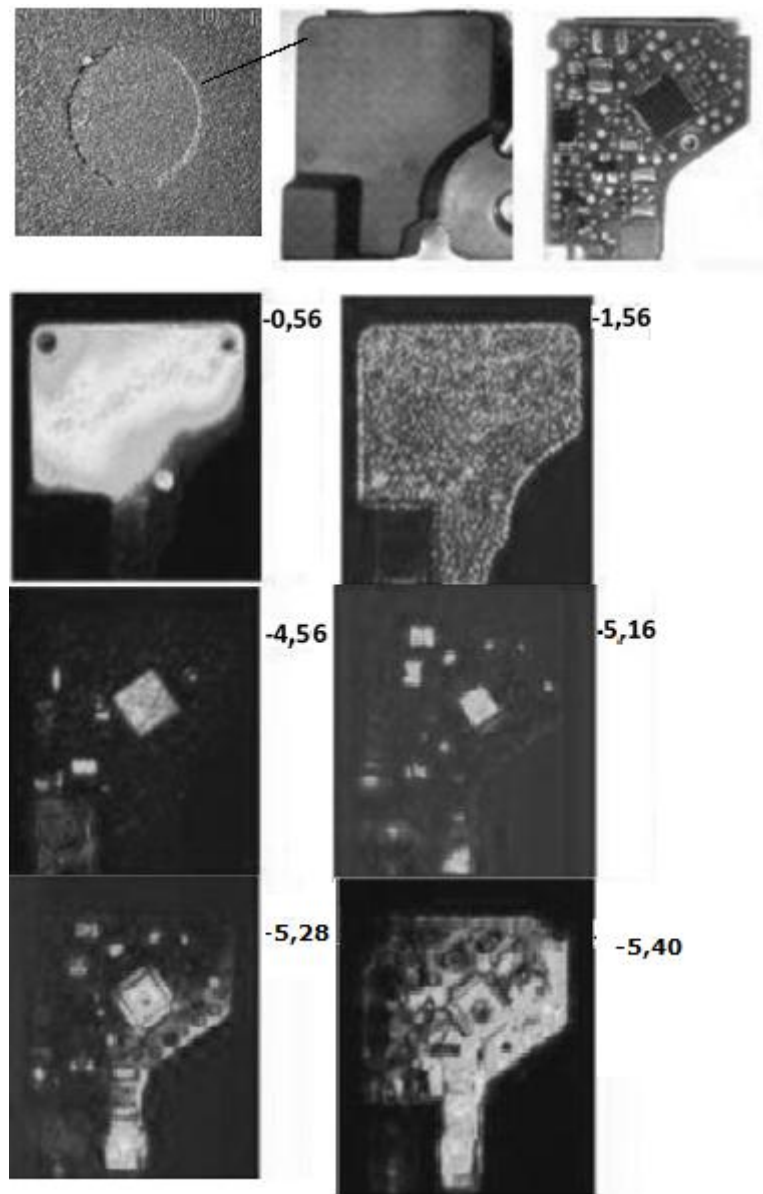
4.3 Egy rossz ponthegeesztett kötés felszeletelése

Egy rossz ponthegeesztés esetében onnan kaptunk belső visszaverődéseket, ahol a nem tökéletes összeolvadás miatt az ultrahang reflektorok találhatóak. A 5. ábra tetején a hegesztett kötés mikroszkópi metszetét látjuk. A vizsgálat során a lemezek 2 fokkal meg voltak döntve, a fénykép is ezt demonstrálja. Figyeljük meg, hogy noha a két lemez összeolvad, de a heglencse belsejében jól láthatók egy felső és egy alsó réteg kontúrjai. Az alatt lévő ultrahang képen, a felső lemez homlokfal reflexiója látható (0,6mm), majd az 1,02 mm-es képen a felső hibahely, míg 2,0-mm-nél az alsó hibahely okoz visszaverődést, végül legalul a hátfal visszaverődést látjuk.



5. ábra. A varrat mikroszkópi metszete és a kötés különböző mélységekből származó, „felszeletelt” ultrahangos visszaverődései

4.4 Tokozott elektronikák ultrahanggal történő felszeletelése



6. ábra. A műgyanta tokozott elektronika valós képei (első sor) és ultrahanggal letapogatott belső rétegei. Jól látszanak a 0,1mm mély benyomódás a felületen, a műgyantában lévő buborékok valamint a fő chip felszeletelt képei

A pásztázó akusztikus mikroszkóp egyik felhasználási területe lehet a műgyantába öntött elektronikák ellenőrzése. Műgyantába öntött elektronikákat széles körben használnak az autóiparban, mivel a nedves környezet nincs rájuk hatással. Azonban fontos, hogy a műgyanta monolit legyen. Gyártáskor egy tipikus hiba lehet az, hogy buborék marad a műgyantában. Ez akkor a legveszélyesebb, ha a buborék közel van a felülethez vagy a nyomtatott áramköri laphoz, de természetesen az elektronika belsejében sem fordulhatnak elő hibák a lapon.

A 6. ábrán jól látható sajátos szeletelési technológiánk eredményessége. Az ábra első sora segítség az alatta következő hat ultrahangos visszhangkép megértéséhez. Középen a műgyanta tok felső felülete látható, amelynek sarkaiban lévő 0,1 mm benyomódásból balról kinagyítottunk egyet. Jól látható az első ultrahangos képen, milyen egyértelműen megmutatható ez a 0,1 mm-es benyomódás. A második ultrahang

kép (második sor jobbra) mutatja a műgyanta tokban lévő buborékok és más csomók visszhangjait. Ez volt az eredeti cél. De ma már mi ennél többet tudunk. A felső sor jobbszélén a tokozás előtti elektronika kép látható. Figyeljük meg rajta a fő chip fekete négyzetét. Ez látható a harmadik és negyedik sorban lévő visszhang képeken felszeletelve. A harmadik sorban balról a felső felület, jobbról a chip belsejében lévő fémlemezke, az utolsó sorban balról jól láthatók a chip beforrasztott lábai, míg jobbról már az elektronika nyáklemezén lévő egyéb alkatrészek tűnnek fel. Felbontásunk jobb, mint 0,1 mm a mélységben, de keresztirányban is.

5. Következtetések

Sikerült kifejlesztenünk egy új, viszonylag olcsó és célirányos pásztázó akusztikus mikroszkópot, ami egy bemeztetés típusú fókuszáló ultrahangos vizsgálófejjel működik. Az ultrahangos A-képeket sorozatban kis lépésekkel végrehajtott letapogatás során gyűjtjük össze (minimális lépésköz akár 50 mikron), egy adattömböt állítva elő a visszavert intenzitás mértékeiről a tér megfelelő pozícióiban. Ebből a tömbből számítógépes képfeldolgozó technikákkal A-, B-, C- és D-képet és forgatható 3D-s modellt állítunk elő, vagy vízszintesen szeletelve az objektumokat akár 100 mikronnál is jobb pontosságot tudunk elérni. A 0,1 mm-es felbontásnak köszönhetően megtalálhatjuk az adott mélységből visszaverődő felületeket, amit megfelelően lehet értelmezni.

A ponthegeesztett kötésen észre lehet venni a belső, nem elégséges összeolvadásból származó visszaverődéseket. Az is látható, hogy milyen sokat számít a ponthegeesztés varratfelületének minősége, hogy meghatározhassuk a két lemez közötti hegeztetés minőségét.

A műgyantába öntött elektronikák esetében ki tudtuk mutatni akár a gyantában lévő buborékokat, akár a hibásan nyomtatott áramkört elemeket, ha azok nagyobbak 0,1 mm-nél.

Nagyon ígéretes, hogy a 3D-s tömb 10 mikronos felbontással merőleges irányban sok redundanciát tartalmaz, ami lehetőséget teremt a további adatfeldolgozás tökéletesítésére. Ez megnyitotta az utat a szeletelhetőség felé. Úgy gondoljuk, hogy az ultrahangos mikroszkóp a gyakorlati életben egy nagyon hasznos eszköz lehet. Az A-, B-, C- és D-képeket nem mindig könnyű megérteni, de a szeletelt képeket könnyebb átlátni. Ez alkalmazható lehet például a ponthegeesztéseknél, ahol kimutatható az a szint, ahol az összeolvadásnak meg kell történnie. Ma még csak 0,06 mm a szeletelési pontosságunk, de további javulásokat várunk egy 50 MHz frekvenciájú ultrahangos vizsgálófejtől, a kialakítás alatt lévő jobb mozgató mechanikától és a fejlesztés alatt lévő új szűrési módszerektől. Nagy előnye a mérőrendszerünknek, hogy könnyen illeszthető az adott vizsgálati célokhoz. Itt csak a ponthegeesztések és az elektronikák eredményének egy részét mutattuk be, de további feladatok állnak előttünk.

Hivatkozások

1. Lemons R. A., Quate C. F. (1974). "Acoustic microscope—scanning version". Appl. Phys. Lett. 24: 163–165
2. F. Severin et al: Industrial applications of Scanning Acoustic Microscopy, ME Technical Paper Materials Evaluation, July, 2013
3. <http://www.isel.hu/index.php/klub-7/piac/1882/mechanika/golyosorsos-linearis-egyseg/les-4-golyosorsos-linearis-egyseg.html>
4. LABVIEW: <http://www.ni.com/labview/>
5. <http://www.produkte24.com/cy/olympus-ndt-1219/ultraschallkoepfe-3312/v376-su.html>
6. <http://www.ge-mcs.com/en/ultrasound/portable-flaw-detectors/spotchecker.html>