

ANYAGVIZSGÁLÓ LABORATÓRIUM FÓKUSZTERÜLETEI A DEBRECENI EGYETEM GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉKÉN

FOCUS AREAS OF THE MATERIALS TESTING LABORATORY AT THE DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING OF THE UD

Dr. Gyöngyösi Szilvia^{}, Dr. Czégéni Csilla Enikő^{**}*

ABSTRACT

In this study, we present the Materials Testing Laboratory of the Department of Mechanical Engineering at the University of Debrecen and the main scope of activities outlining the key points of the examinations.

Previously materials testing play a significant role in the life of the Department, both in education and research. In recent years, Debrecen has become as one of the most dynamically developing industrial centre, resulting in the continuous expansion of major companies. At the same time, industrial requests for material testing have increased significantly towards our Department.

In education, it is important to provide Students with the opportunity to obtain theoretical knowledge and to acquire practical materials testing procedures at a high level. An integral part of this is the presence of modern well-equipped Laboratories, where various testing instruments are available for practical training.

In addition, the presence of industry and education, scientific research activities necessitated the establishment of a Materials Testing Laboratory, which allows these areas to operate independently of each other.

Materials testing itself covers an extremely broad field, therefore we highlight only a few main profiles of the Department of Mechanical Engineering Materials Testing Laboratory through some selected case studies.

1. BEVEZETÉS

Az ipari gyakorlatban alkalmazott anyagok tulajdonságainak ismerete, így az anyagvizsgálati alapok és eljárások, mint tudás megszerzése kiemelkedő fontossággal bír a mérnöki gyakorlatban. Az anyagok ismeretének, vizsgálatának elsajátításához elengedhetetlen a magas szintű elméleti és gyakorlati oktatás. A Debreceni Egyetem Gépészmérnöki Tanszékén a Hallgatók különböző tárgyak keretében ismerkedhetnek meg a fémes – és nemfémes anyagokkal kapcsolatos

anyagismerettel, az anyagok vizsgálatára, feldolgozására, tervezésére vonatkozó módszerekkel. A gépészmérnöki alapképzés lehetőséget biztosít Anyagtechnológia specializáció választására, mely szakirány célzottan erre a területre fókuszál (1. ábra).

Az ipari jelenlét ugrásszerű növekedésével jelentősen megnövekedtek az anyagvizsgálattal kapcsolatos problémák megoldására irányuló megkeresések, az anyagvizsgálattal összefüggő fejlesztések, illetve mérések elvégzésére vonatkozó felkérések.

Az oktatási és ipari oldal mellett számos kutatási tevékenységünk szerves része az anyagvizsgálat.

A Gépészmérnöki Tanszék több, korszerű berendezésekkel felszerelt laboratóriuma biztosítja az oktatási tevékenység, a kutatási feladatok és mérések magasszintű elvégzését (2. ábra).

Az anyagvizsgálat területén ugrásszerűen megnövekedett vizsgálati igény tette szükségessé egy új Anyagvizsgáló Laboratórium kiépítését, mellyel biztosítottuk, hogy az oktatással párhuzamosan futó mérések, kutatások akadálytalanul működjenek. Ugyanakkor a Laboratórium szerves része marad az oktatásnak, hiszen a Hallgatók kutatásba, vizsgálati mérésekbe bekapcsolódva tovább növelik az anyagvizsgálathoz kapcsolódó gyakorlati tudásukat. 2026. január 1-től az oktatást, kutatást és ipart támogató új, kalibrált berendezésekkel és eszközökkel felszerelt laboratóriumban az EN 17025 szabvány ajánlásai alapján működő Minőségirányítási rendszert vezettünk be.

2. ANYAGVIZSGÁLAT SZEREPE A GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉK MŰKÖDÉSÉBEN

2.1. Anyagvizsgálat az oktatásban

Az anyagvizsgálat az esetek nagy részében komplex feladat. Elengedhetetlen hozzá az anyagok, mérési módszerek, eljárások pontos ismerete és az anyagvizsgálathoz tartozó mérőberendezések, eszközök készségszintű használata. Fontos, hogy a Hallgatók - leendő mérnökök - a tanulmányaik során hiánytalanul elsajátítsák az anyagvizsgálati problémák, feladatok

^{*} egyetemi docens, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék

^{**} egyetemi docens, Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék

megoldásához vezető utat. Az oktatás során nagy hangsúlyt kell fektetni arra, hogy megtanulják azt a fajta mérnöki szemléletet - gondolkodásmódot, amely alkalmassá teszi őket az ilyen célú feladatok elvégzésére. Ehhez elengedhetetlen az is, hogy a Hallgatók a tanórák keretében maguk végezzék el a méréseket. Az oktatás mellett biztosítani kell, hogy mind a kutatási tevékenységgel kapcsolatos, mind az ipari problémák megoldására irányuló mérések akadálytalanul működjenek. Ehhez a korábbi mérési kapacitást mind a humán erőforrást, mind a laboratóriumok felszerelését meg kellett növelni, hogy maradéktalanul teljesíteni tudjuk a magas szintű gyakorlati oktatást, illetve a különböző, iparban előforduló problémákhoz, kutatásokhoz kapcsolódó vizsgálatokat is el tudjuk végezni.

Az említett két vonalat (oktatás – ipari mérések) “összekapcsoltuk” és amennyiben a feladat engedi BSc/MSc/PhD Hallgatók bevonásával végezzük el.



1. ábra DE-MK Gépészmérnöki Tanszékén elérhető képzések

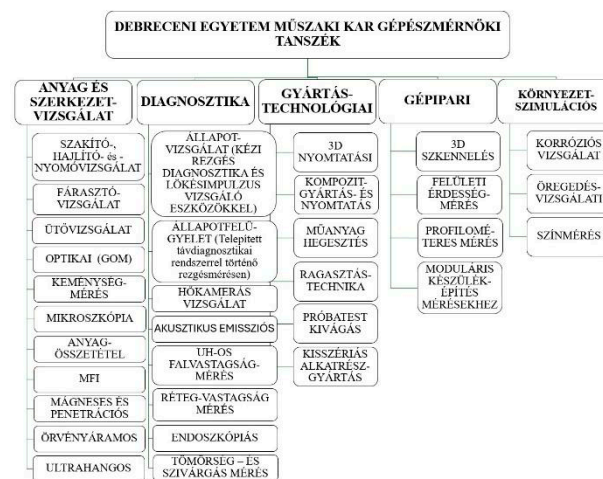
Az anyagvizsgálati ismeretek átadása a Hallgatóinknak kulcsfontosságú. Gépészmérnöki Tanszékén elérhető képzéseinket mutatja az 1. ábra. Évfolyamonként 100 fő körüli létszám, aki a Hallgatók közül közvetlenül találkozik anyagvizsgálati gyakorlati oktatással.

2.2. Anyagvizsgálat az ipari együttműködésekben

A Gépészmérnöki Tanszékén az évek során számos labor kiépítése valósult meg, amelyekbe berendezések, mérőeszközök kerültek telepítésre. Ez a fejlesztés széles skálán lefedi a gépészmérnök Hallgatók képzéséhez szükséges vizsgálatok spektrumát, úgy mint a diagnosztikai vizsgálatokat, gyártástechnológiai – és gépipari vizsgálatokat, anyag- és szerkezetvizsgálatokat és környezetszimulációs vizsgálatokat (2. ábra).

Az elmúlt években Debrecen az ország egyik legdinamikusabban fejlődő ipari központjává vált, ami magával hozta az egyre bővülő nagyvállalati jelenlétet. Ezzel párhuzamosan jelentősen megnövekedtek a Tanszékünk felé érkező ipari anyagvizsgálati felkérések.

Elsősorban az ipari partnerektől érkező vizsgálatok nagy száma járult hozzá ahhoz, hogy kialakítsunk egy kifejezetten anyagvizsgálati célra specializálódott laboratóriumot, ahol a mérések zavartalanul elvégezhetők a tanórák idejében lehetőséget adva arra, hogy kis számban Hallgatóink a laboratóriumba dolgozhassanak akár a tanórák idejében akár adott vizsgálati programokhoz vagy kutatási projektekhez kapcsolódva.



2. ábra DE-MK Gépészmérnöki Tanszékén elérhető szolgáltatások

A Laboratórium kialakítása óta több mint 2000 vizsgálatot hajtott végre a laboratórium csapata több, mint 10 partner megbízásából.

2.3. Anyagvizsgálat a kutatási programokban

A Tanszék működésének szerves részét képezi a tudományos kutatás, mely szintén megköveteli azt, hogy laboratóriumainkat a lehető legkorszerűbb, a komplex anyagvizsgálati feladatok elvégzését is lehetővé tevő eszközökkel, berendezésekkel szereljük fel.

Mindemellett a kutatási programok a laboratóriumban tovább növelik annak lehetőségét, hogy a Hallgatókat a különböző kutatási területekbe bevonva még szélesebb körben bővítsék ismeretüket az anyagvizsgálat terén.

Az anyagtudomány, így az anyagvizsgálat célterületei rendkívül széles skálán mozognak, rendkívül nagy az a terület, amelyet ez a tudományág felölel.

A Gépészmérnöki Tanszék Anyagvizsgáló Laboratóriuma elsősorban fémek anyagok roncsolásos anyagvizsgálatára specializálódott. Vizsgálataink nem csak a jelen kor tárgyaira fókuszálnak. Tudományos tevékenységeink egyike a régészeti korú tárgyak vizsgálata is. A 3. ábra erre mutat példát.

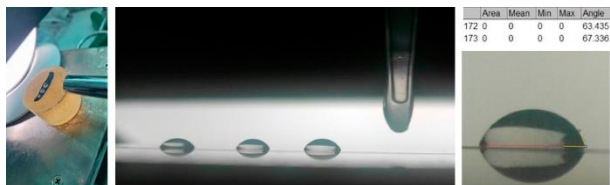
Roncsolásmentes vizsgálat nem csak ipari szerkezeteknél lehet szükség szerű, de adott esetben több száz, esetleg több ezer éves műemlékvédelem alatt álló tárgyak esetében is ez az eljárás, amennyiben a Múzeum nem ad engedélyt a leletek roncsolásos vizsgálatára, mintavételezésére.

Az 3. ábra jobb felső részén látható a tárgy szoknya részének felületéről készült elemtérkép. A tárgy arcáról 3D-s felvételt készítettünk. Ez esetben mintavételezés elvégzésére is sor került az ábrán látható kb. 3 mm nagyságú mintából síkcsiszolatot készítettünk és a hagyományos metallográfiai előkészítést követően 200x nagyításban látható a minta mikroszerkezeti felvétele, amely megmutatja nekünk a tárgy készítésének feltételezett technikáját. Ez a minta is csodálatos példája az anyagvizsgálat nagyszerűségének, a Hallgatóknak kiváló tanulmány arra vonatkozóan, hogy az anyagvizsgálati módszerek és az anyagismeret elsajátításával egy közel 1000 éves tárgy 3 mm-es darabkája, mintája a készítésének egész történetét elmeséli.



3. ábra Hódmezővásárhelyi Múzeumtól vizsgálatra kapott Árpád-kori lelet. SEM-EDS felvétel (Budai István)
Mikroszerkezeti kép Nagyítás: 200x SmartZoom digitális mikroszkóp. Fent 3D felvétel az arcról

Régészeti korú vizsgált tárgyaink is fémes anyagok. Laboratóriumunk kialakítása, illetve kutatócsoportunk vizsgálatai széles körben igyekeznek a tudományos tevékenységeinket bővíteni. Vizsgálataink többek között különböző anyagok nedvesíthetőségének vizsgálatára is kiterjednek, mint például az alumínium vezetékek nedvesíthetősége, melynek a koronakisülés szempontjából van jelentősége, de kutatásaink különböző implantátumok humán biológiai folyadékok (pl. ízületi folyadék) nedvesíthetőségének vizsgálatára is kiterjednek. Magát a mérési rendszert és metodikát a Tanszéken fejlesztettük az általunk vizsgált anyagokhoz igazítva.



4. ábra Nedvesíthetőség vizsgálata kontaktszög méréssel

A példák is jól mutatják, hogy valóban széles körben végzi el Laboratóriumunk a különböző anyagvizsgálatokat. Nehéz becslést adni az érintett kutatási programok számáról és a részvétel mértékéről, mert szinte minden kutatási program igényli az anyagvizsgálati szolgáltatást.

3. ANYAGVIZSGÁLÓ LABORATÓRIUM FÓKUSZPONTJAI, ESETTANULMÁNYOK

Fémes anyagok roncsolásos anyagvizsgálatának szerves része a metallográfiai vizsgálat, mellyel pontos képet kapunk a vizsgált minta mikroszerkezetéről, szövetszerkezetéről. Tekintve a vizsgálandó anyagok és a vizsgálati célok sokféleségét ez sok esetben nem egyszerű feladat.

A metallográfiai vizsgálatok egy nagyon sarkalatos pontja a megfelelő mintavételezés, a minta levágása a vizsgálat tárgyáról. A nem megfelelő helyről vett minta, a szükségtelen mechanikai és hőhatás a szemcsék deformációjához, vagy fázisátalakulási folyamat megindulásához vezethet. Ezek együttesen pedig hibás következtetést, kiértékelést vonhatnak maguk után. Ezért a kérdés, hogy adott vizsgálati tárgyból honnan és hogyan veszünk mintát, az lényeges kérdés. Az oktatás során a Hallgatók megtanulják ezt a folyamatot is. Az Anyagvizsgáló Laboratóriumunkban e célra kézi – és gépi (precíziós) vágóeszközök állnak rendelkezésre.

A metallográfiai előkészítés folyamatának következő lépése a minta befogása. A minta rögzítésének is több módja ismert. A Tanszéken rendelkezésre álló melegbeágyazó berendezés, mellyel bakelitbe nyomás alatt, magas hőmérsékleten történik a minta beágyazása. Sok esetben azonban ez a megoldás nem használható, mert a magas hőmérséklet módosíthatja a vizsgált tárgyat. Erre jó példa a bemutatott régészeti vizsgálat mintája, ahol előre nem ismert a fémes minta állapota. Ilyenkor preferáljuk a két komponensű, hidegen kötő műgyantákat, amelyekkel biztonságosan és gyorsan elvégezhető a vizsgált minta befogása.

A mintákat mikroszkópos vizsgálatra kell előkészíteni, ezért síkcsiszolatot kell készíteni. Megfelelő mértékű (anyagtól függő) csiszolással és polírozással kémiai maratásra előkészítjük a mintát, majd a vizsgálatról függően az adott marószerezrel – mondhatjuk - előhívjuk a vizsgálni kívánt mikroszerkezetet.

A metallográfiai előkészítéshez elszívó telepítésével, illetve új csiszoló- és polírozógép beszerzésével szereltük fel az Anyagvizsgáló Laboratóriumot, ami jelentősen növelte a Laboratórium vizsgáló kapacitását és a vizsgálati lehetőségeket.

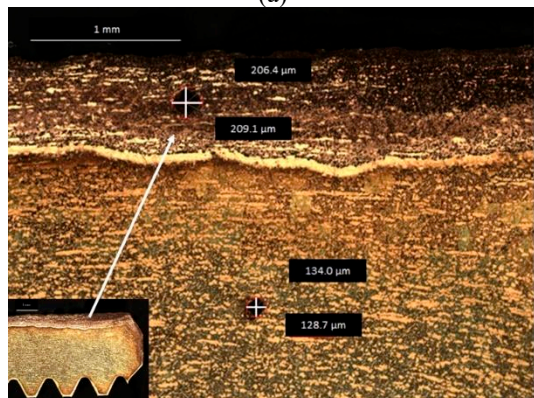
Fénymikroszkópos vizsgálatokhoz legyen az mikroszerkezeti vizsgálat, hegesztett kötések minősítése vagy rétegvastagság vizsgálata elengedhetetlen a megfelelő minőségű metallográfiai mintaelőkészítés. Hallgatóink ezzel is megismerkednek a gyakorlati oktatásban.

3.1. Korrózió hatásának, korróziós tönkremenetelek vizsgálata

Korróziós tönkremenetel vizsgálatokra többféle módszer áll rendelkezésre, többek között gravimetriai, örvényáramos/mágneses vizsgálatok. Metallográfiai vizsgálattal (lokális összetétel vizsgálattal kiegészítve, mellyel detektálható az anyag pontos kémiai összetétele) képet kaphatunk a korrózió anyagban végbemenő terjedéséről. Ezek a módszerek jól alkalmazhatók valós tönkremeneteli minták vizsgálatára, de jól kiegészíti a korróziós és környezeti hatások vizsgálatát, ahol a vizsgálati minták a szabványos értékelésen túl még ilyen módszerekkel is vizsgálhatók igény szerint.



(a)



(b)

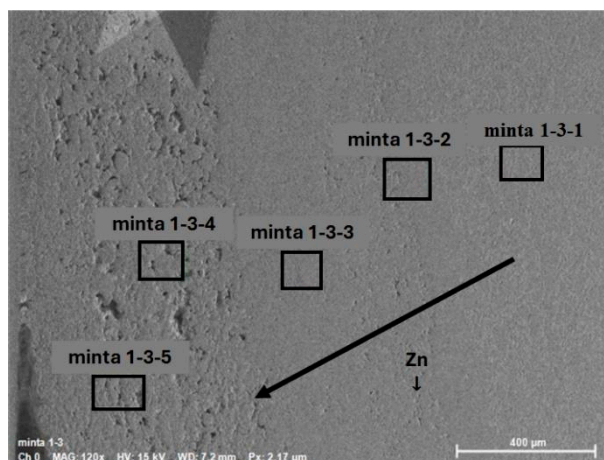
5. ábra Zeiss SmartZoom5: Maratott felület. Nagyítás: 100x

Egy jó példa a korrózió hatásainak vizsgálatára egyik esettanulmányunk, ahol sárgaréz gömbcsap tönkremenetelének okát felderítő vizsgálati folyamatot mutatunk be. Az 5. ábra a gömbcsapból vizsgálatra kivágott mintából metallográfiai mérésre előkészített csiszolat mikroszerkezetét mutatja.

A vizsgálat tárgya egy 2024-ben korszerűsített vízhálózatnál beépített gömbcsapok tönkremeneteli gyökérokának feltárása volt. A beépített sárgaréz gömbcsapok több beépítési helyen, az összeszerelt test mentes részénél eltörték. A csapok meghibásodása elárasztásokat vízkárokat okozott a munkaterület közelében található ingatlanokban, ezért kulcsfontosságú volt, hogy feltárjuk a hiba lehetséges oká(i)t. A gömbcsap kritikus részénél több helyről történt mintavételezés, hogy a csap minél több pontján annak lehetőleg teljes keresztmetszetében elvégezzük a vizsgálatot. Az 5. ábrán vas-kloridos maratást követően 100x nagyításban látható a gömbcsap szövetszerkezete, melyen látható, hogy az alapszövetet a sárgarézre jellemző α – és β fázisok alkotják. A mikroszkópi ábrán

az is megfigyelhető, hogy a felülethez közel, az alapszövetből eltérő réteg alakult ki. A mikroszerkezeti vizsgálat már rámutat arra, hogy a tönkremenetelnek feltételezhetően része volt az észlelt réteg. Annak meghatározására, hogy mi ez a réteg pontosan további vizsgálatokra van szükség. Elvégeztük a minták kémiai összetételének meghatározását. A vizsgálat elsősorban arra irányult, hogy van-e valami különbség az anyag és a detektált réteg között. Sárgaréz alapanyagról van szó melynek névleges Zn tartama 40%.

A 6. ábrán látható 5 mérési pontban vizsgáltuk a kémiai összetételt, amely mutatja, hogy már a felülethez közel (kb. 800 μm távolságba a felülettől) is eltér a cinktartalom, de a minta szélén már egészen alacsony 1% körüli (minta 1-3-5 mérési pont) Zn tartalmat detektáltunk (1. táblázat).



6. ábra Kémiai összetétel meghatározás az alapanyagban és a felülethez közel (rétegben)

1. táblázat Kémiai összetétel

Kémiai összetétel [atom%]						
Spektrum	C	O	Cu	Zn	Pb	maradék
minta 1-3-1	9,37	1,42	52,92	36,31	-	-
minta 1-3-2	8,31	1,14	58,36	32,18	-	-
minta 1-3-3	5,99	2,62	66,56	23,97	0,44	0,42
minta 1-3-4	7,21	2,88	87,44	1,32	0,42	2,47
minta 1-3-5	7,47	3,62	86,38	1,42	0,19	2,53

Megmértük Vickers skála szerinti 1 kg terhelőerővel a keménységet mind az alapanyagban, mind a rétegben (2.táblázat). Az egyértelműen látszik, hogy a keménység értéke a rétegben mérve jelentősen lecsökkent az alapszövetéhez képest (5. ábra: keménységnyom átlói μm egységekben).

A vizsgálatot több tárgyon, több helyről vett mintán végeztük el. Az eredmények hasonlóak a felülethez közel, a rétegben nagy mértékben lecsökken a Zn tartalom.

2. táblázat Keménységmérés eredményei

HV1	Mérési pontok					Átlag
	1.	2.	3.	4.	5.	
Minta-vétel1	96,4	102,3	102,4	105,4	89,9	101,2
Minta-vétel2	99,5	105,3	106,1	108,9	105,3	105,9
	Rétegbe mért keménység				54,4	48,3
Minta-vétel3	100,9	97,7	103,2	107,7	103,1	102,4
	Rétegbe mért keménység				48,5	25,1
Minta-vétel4	103,7	111	105,6	107,2	105,3	106,1
	Rétegbe mért keménység				49,3	
Minta-vétel5	101,8	116,9	115,6	105,6	107,2	109,5
Minta-vétel6	104,5	100,7	102,7	108,9	106,8	104,7

Sárgaréz korrozója vizes közegben lehet elcinktelenedés, lyukkorrózió, galván és feszültségkorrozíós folyamat [1]. Az eredményekből látható, hogy esetünkben a sárgaréz elcinktelenedése okozta a problémát. Az elcinktelenedés eredményeként megmaradt vörösréz gyengébb szivacsos struktúra formájában marad vissza. Jellemzően ebben az esetben a korrozio mélységben terjed, ami a tönkremenetelhez vezet. A tönkrement minta mellett vizsgáltunk referencia mintát is (5.(a) ábra), melyen nem találtunk ilyen tönkremenetelre utaló nyomokat. A minta szerkezete és szilárdsági tulajdonságai is megfeleltek az előírtaknak. A törést szenvedett minta agresszív korrozios közegnek volt kitéve, amely ezt a gyors tönkremenetelt eredményezte. A program további része arra fókuszált, hogy vizsgáljunk a tönkrement mintával azonos helyről, illetve eltérő helyről leszerelt gömbcsapokat és információt kapjunk arról, hogy ez az agresszív közeg csak a tönkrement alkatrész környezetében volt jelen vagy más területen is. A vizsgálatok rámutattak arra, hogy korrozio nyomai csak a szóban forgó tönkrement alkatrészszel megegyező helyről kiserelt gömbcsapoknál volt detektálható. További, a korrozios közegre irányuló vizsgálatok kimutatták a talajszennyezés jelenlétét.

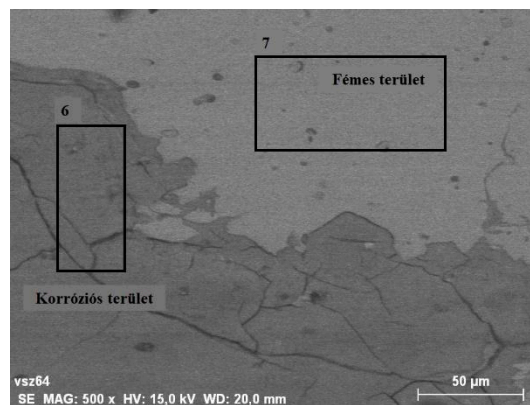
A keménységmérés eredményei arra is rámutattak, hogy egy gömbcsapból vett 6 mintából 3 mintavételezési helynél detektáltuk a korrodált réteg és abban az elcinktelenedés okozta keménység csökkenést (2.táblázat: mintavétel 2-3-4).

Az alábbi vizsgálati program is rámutat arra, hogy maga az anyagvizsgálat adott esetben milyen komplex. Több vizsgálati módszer elvégzésével kerülhetünk a probléma megoldásához. Ezért az egyik fő cél átadni a Hallgatóknak ezt a fajta gondolkodásmódot, amely elengedhetetlen a mérnöki gyakorlatban. Ehhez pedig elengedhetetlen a szükséges anyagismereti tudás átadása, illetve említett vizsgálati módszerek készség szintű elsajátítása a Hallgatók számára.

Összetételvizsgálatnál kardinális kérdés az is, hogy milyen módját választjuk az összetétel mérésének. Roncsolásmentesen felülethez közel, vagy a minta roncsolásos vizsgálatával mellyel nem csak az anyag átlagösszetételét vizsgálhatjuk, de akár az anyagban

fáziselemzés is végezhető, ami még teljesebb képet ad az anyag állapotáról.

A Gépészmérnöki Tanszéken többféle összetétel vizsgálatára (2. ábra) van lehetőség. Optikai Emissziós Spektrométeres mérés acél és alumínium ötvözetekre kalibrált, és csak roncsolásos vizsgálattal végezhető a mérés. Leginkább ipari együttműködés során elvégzett mérésekre alkalmas a berendezésünk. Hitachi gyártmányú elektronmikroszkóppal már lehetőség van különböző anyagok kémiai összetételének lokális meghatározására is EDS szondával. Kutatócsoportként együttműködve a HUN-REN Felületfizikai kutatócsoportjával, mind a kutatás, mind a mérések területén lehetőség van további spektroszkópos mérésekre (SIMS/SNMS), amely további információval akár az elemek kémiai kötésének meghatározásával egészíti ki a méréseket. Anyagtechnológia specializációra szakosodott Hallgatók Szerkezetvizsgálat c. tárgy keretében meg is ismerkednek az említett berendezések elméleti alapjaival, adott esetben gyakorlati működésével.



7. ábra Kémiai összetétel meghatározás fémes és korrozios területen (rétegben). Minta Vértesszőlősi bronzkori lelet: fecskefarok alakú csüngő

3. táblázat Kémiai összetétel

Elemek	Korróziós terület	Fémes terület
C	12,12	5,4
O	26,30	0,28
Cu	18,13	82,28
Sn	33,23	6,08
Sb	3,45	0,72
maradék	6,77	5,24

A 7. ábrán egy bronzkori tárgyból vett minta keresztmetszeti csiszolatán végeztük a mérést fémes, illetve felülethez közel a korrozios rétegben. A 3. táblázat mutatja, hogy egy kb. 50 µm távolságban lévő területekről milyen eltérő eredmény detektálható. Ebben az esetben, ha egy felületi mérést választunk, a kapott eredmény nem helytálló, vagy téves megállapításhoz vezethet [2].

3.2 Metallográfiai vizsgálatok

Ahogy az előző pontban is olvasható volt, a korróziós tönkremenetel vizsgálatában is és a régészeti korú fém tárgyak vizsgálatában is a metallográfiai vizsgálat kulcs szerephez jut. Metallográfiai vizsgálattal elsősorban az anyagok mikroszerkezetéről kapunk információt, ami alapján azok állapotáról kapunk részletes képet. Ebben az esettanulmányban összekapcsolódik a korróziós hatás és a régészeti minta vizsgálatának kérdése. A bronzkori tárgyak jelentős mértékű általános korróziós hatásnak voltak kitéve deponálásuk után feltárásukig, majd esetleges restaurálásukig. Azaz a fém darab egy része eltűnt a hosszú idő alatt. A metallográfiai vizsgálattal ennek ellenére a lokális sajátosságokból részletes képet adhatunk a tárgy életciklusának egyéb szakaszairól, ami a régészeti kutatás számára fontos eredmény.



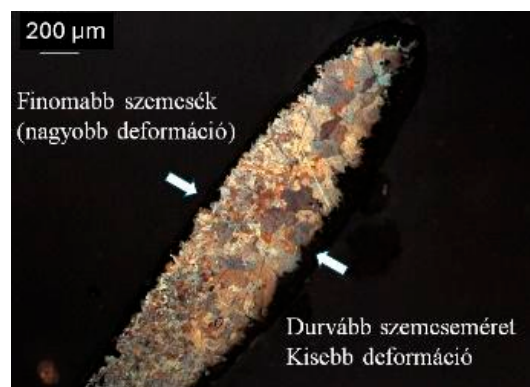
8. ábra Vértesszőlősen feltárt bronzkori ékszerlelet

A 9. ábrán két bronzkori ékszerből vett minta szövete képe látható. A metallográfiai előkészítés során a bronz minta maratását kálium-kromáttal végeztük. Polarizált megvilágításban az eltérő orientációjú szemcsék más-más színben látszanak.

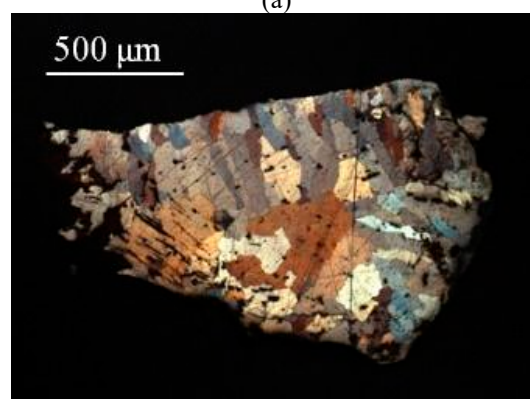
A 9.(a) ábrán egy újrakristályosodott szemcseszerkezet látható, ami azt jelenti, hogy az említett tárgyat (8. ábra: VSZ64) a készítése során alakították, a szemcsék deformációt szenvedtek és egy „hőkezelő” folyamaton is keresztülment. A mintát teljes keresztmetszetében újrakristályosodott szemcsék töltik ki [3]. Megfigyelhető továbbá, hogy a minta egyik oldalát finomabb, míg a másik oldalon durvább szemcsék töltik ki a szerkezetet. Ez arra utal, hogy egyik oldalról nagyobb deformációt kapott a minta, a nagyobb alakítási mérték hatására, több a csíráképző helyek száma így alakult ki ezen a részen egy finomabb szemcsékből álló szerkezet. A 6.(b) ábrán öntött szerkezet látható polarizált megvilágításban, tehát

a tárgyat (8. ábra: VSZ29) a bronzkorban formába öntötték [4].

Az alábbi példán keresztül látható, hogy egy mikroszerkezeti vizsgálatból egy bronzkori lelet készítése technikájáról is információt kaphatunk.



(a)



(b)

9. ábra Tatabányai Múzeumtól vizsgálatra kapott Vértesszőlősi bronz leletegyüttes mikroszerkezeti felvételei Polarizált megvilágítás. (a) Fecskefarok alakú csüngő. Újrakristályosodott szerkezet. Nagyítás: 50x (b) Szív alakú csüngő. Öntött szerkezet. Nagyítás: 100x

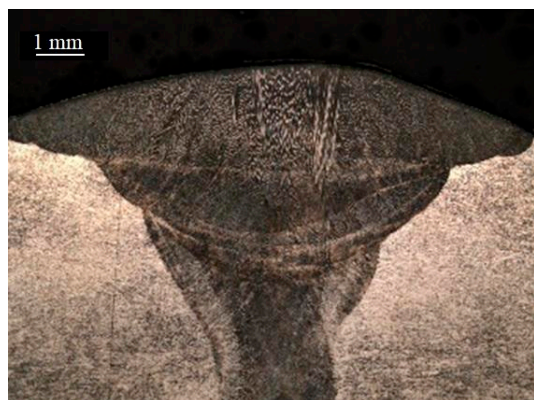
3.3 Hegesztett kötések vizsgálata

Hegesztett kötések minőségének ellenőrzése történhet roncsolásos vagy roncsolásmentes vizsgálattal. Az eljárásvizsgálatok által előírt valamennyi roncsolásos vizsgálat (szakító - és hajlítóvizsgálat, ütővizsgálat, keménységmérés és metallográfiai vizsgálat) elvégezhető a Gépészmérnöki Tanszéken (2. ábra).

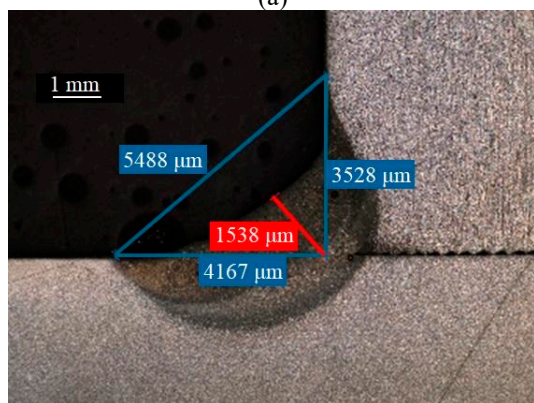
Hegesztett kötések hőhatásövezetének, valamint beolvadási mélységének vizsgálata metallográfiai vizsgálattal történik. A vizsgálat nagy jelentőségű annak megállapítására, hogy a hegesztett varrat megfelel-e az előírásoknak. A HAZ mérése információval szolgál a hegesztett kötés teherbírásáról és élettartamáról.

A hegesztési varratok előkészítése a szokásos metallográfiai eljárással történik. Vizsgáljuk saválló acélok hegesztett kötéseit, ebben az esetben a mikroszerkezet vizsgálata nem egyszerű. Speciális

marószerekkel tudjuk előkészíteni a vizsgált mintát. Az Anyagvizsgáló Laboratórium kialakításánál arra is tekintettel voltunk, hogy képesek legyünk a vizsgált anyagminőségeket bővíteni, ami mind az előkészítési folyamatot, mint a kémiai maratást érintik. Törekvésünk, hogy folyamatosan újabb és újabb anyagok, anyagkombinációk vizsgálatára készüljünk fel.



(a)



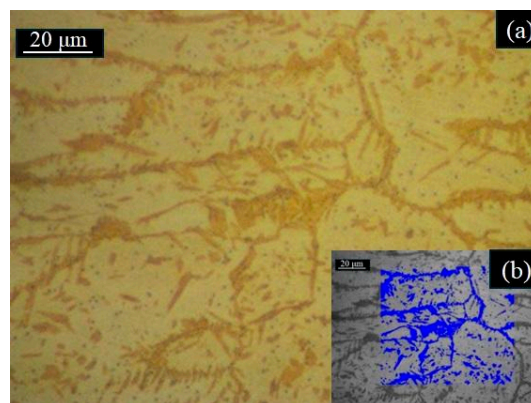
(b)

10. ábra (a) Saválló acél és (b) Szénacél hegesztett kötéseinek vizsgálata. Nagyítás: 34x

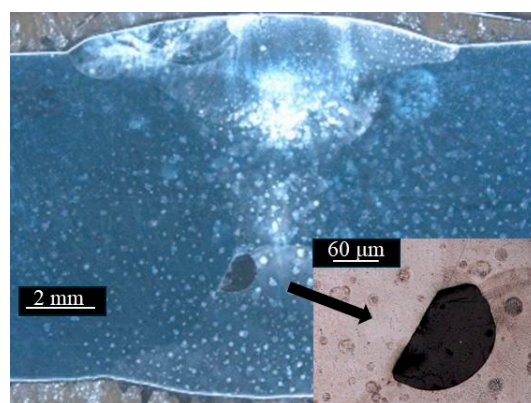
A 10.(a) ábra saválló acél hegesztett kötését mutatja 34x nagyításban. A mintát királyvízzel maratottuk. Kis nagyításban is jól látható a varrat szerkezete és a körülötte kialakult hőhatás övezet. A 10.(b) ábrán szénacél hegesztett kötésének beolvadási mélységét vizsgáltuk.

A metallográfiai mérés pontos képet ad a varrat mechanikai tulajdonságairól, annak szövetszerkezetének vizsgálatával és mérésével. A 11.(a) ábrán saválló (duplex) acél hőhatás övezetének mikroszerkezeti ábrája látható 500x-os nagyításban. A saválló acél szövetét ferrit és ausztenit alkotja, ahol a ferrit a ridegebb az ausztenit a lágyabb szövetelem. Ezek aránya információt ad a hegesztett kötés mechanikai tulajdonságáról. A 11.(b) ábrán a ferrit mennyiségének meghatározását végeztük el számítógépi képelemzéssel [5]. Ebben az esetben is a pontos méréshez nagyon fontos a megfelelően előkészített metallográfiai minta. A mérés során az eredeti mikroszerkezeti képből szürkeképet készítettünk és a mérés során a két szövetelemet

szürkeségi szintjük szerint választjuk el. A nem megfelelő előkészítés pontatlan mérést eredményez. A 12. ábra a varratban lévő zárvány jelenlétét mutatja.



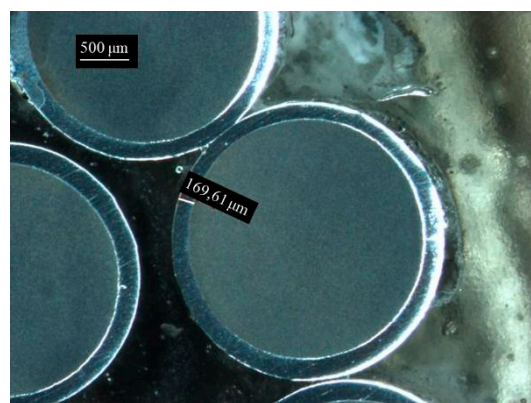
11. ábra Ferrit mennyiségének vizsgálata



12. ábra Zárvány a hegesztett kötésben

3.3 Rétegvastagság vizsgálat

A különböző rétegek vastagságát különböző módszerekkel lehet vizsgálni, de a metszetben végzett optikai vizsgálat a legtöbb vizsgálati eljárásban szerepel.



13. ábra Acélhuzalon lévő alumínium rétegvastagságának mérése

Rétegvizsgálat során legyen az valamilyen felületkezelte réteg vagy bevonat vizsgálata nagyon fontos a megfelelő metallográfiai mintaelőkészítés úgy, hogy az adott réteg

- mivel az a metszet felületén van - ne sérüljön az előkészítés során. Ne mérjünk kisebb vagy nagyobb rétegvastagságot az előkészítés miatt. Ezen felül természetesen a megfelelő nagyítástartományú mikroszkóp is elengedhetetlen a pontos méréshez. A Laboratóriumunk több mikroszkóppal is fel van szerelve, hogy a megfelelő vizsgálati eljárásoknak megfelelő felvételek készüljenek el.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A Gépészmérnöki Tanszék Anyagvizsgáló Laboratóriumának létrehozásával az anyagvizsgálat lehetőségeit bővítettük ki szem előtt tartva az ipari partnereinknél felmerülő problémák igényeit, az oktatás magas szintű gyakorlat orientáltságát és a felmerülő kutatási területekhez tartozó minél több mérési rendszer kialakítását. A Laboratóriumban teljes egészében elvégezhető az anyagvizsgálat és kapcsolódó folyamatok pl. a mintavételezés/előkészítéstől, a minta mikroszkópos vizsgálatáig. A bemutatott esettanulmányok példák csupán arra, hogy milyen távoli területeken felmerülő problémákat képes kezelni, megoldani a Laboratórium csapata. Igyekeztünk bemutatni azt is, hogy nem csak magunk, hanem szükség esetén a Debreceni Egyetem egyéb mérési/vizsgálati lehetőségeivel is ki tudjuk egészíteni a szükséges vizsgálati spektrumot. Szoros szakmai együttműködésben kínálunk nem csak komplex, hanem speciális vizsgálati lehetőségeket.

A Laboratórium bővítésével és az említett munkamódszerrel a gépészmérnök Hallgatók is elsajátítják a vizsgálati folyamat összes fázisát és azt a komplex gondolkodásmódot, ami képessé teszi őket arra, hogy leendő munkahelyükön anyagvizsgálati kérdéseket is meg tudjanak oldani. A Laboratóriumaink legfőbb küldetése ez, hogy korszerű ismeretekkel lássa el a terület iránt érdeklődő hallgatóinkat.

Ahogy az esettanulmányokban is sugalljuk a Laboratórium fejlesztése, fejlődése itt nem áll meg. További ipari, kutatási együttműködésekben új problémák megoldásán keresztül fejlesztjük mind a laboratórium infrastruktúráját, mind tudásbázisát. Azonban a fenti bekezdés alapján ez az infrastruktúra és tudásbázis azt a célt szolgálja, hogy az anyagvizsgálat oktatása is folyamatosan fejlődjön a Gépészmérnöki Tanszéken. Várjuk az Ön problémáját is.

5. SUMMARY

With the establishment of the Materials Testing Laboratory at the Department of Mechanical Engineering, we have expanded the materials testing capabilities, taking into account the materials testing problems of our industrial partners, the need for a highly practice-oriented educational, and the development of a wide range of measurement systems to support our research areas.

The Laboratory is capable of carrying out the complete material testing process, from sampling and

sample preparation to microscopic analysis. The case studies presented here only illustrate the wide range of problems the Laboratory team is capable of solving. We also aim to demonstrate that we can complement the desired testing spectrum, not only on our own but when necessary by taking advantage of the opportunity of other measurement and testing capabilities available at the University of Debrecen. Through close professional collaboration we offer not only versatile but also specialized testing options.

Through the development of the Laboratory and with the applied working methods, mechanical engineering students learn every phase of the testing process and obtain the comprehensive perspective needed to solve materials testing challenges in their future workplaces. The primary mission of our Laboratory is to support up-to-date knowledge to students interested in this field.

As suggested by our case studies, the development and evolution of the Laboratory do not stop here. Through further industrial and research collaborations focused on solving new problems, we are continuously developing both the laboratory's infrastructure and its knowledge base. However, based on the paragraph above, the aim of this infrastructure and knowledge base is to ensure the continuous development of materials testing education of the Department of Mechanical Engineering. We look forward to addressing your specific challenges as well.

6. IRODALOM

- [1] A. O. OLOFINJANA, R. HAQUE: *Analysis of failure in a nickel coated brass dolphin striker component, Engineering Failure Analysis, Vol 77, pp.48-57, 2017*
- [2] HORVÁTH T., CSEH J., BARKÓCZY P., JUHÁSZ L., GULYÁS S., BERNERT Zs., BUZÁR Á.: *A double burial of the Baden culture from Tatabánya–Delphi (northern Transdanubia, Hungary): A case study of the Dentalium beads of the Baden culture and their interpretation, QUATERNARY INTERNATIONAL 539 pp. 78-91., 14 p., 2020*
- [3] BARKÓCZY P., ROÓSZ A., GEIGER J.: *Simulation of Recrystallization by Cellular Automaton Method, MATERIALS SCIENCE FORUM 414-415 pp. 359-363. , 5 p., 2003*
- [4] PÓLISKA Cs., GÁCSI Z., BARKÓCZY P.: *The Effect of Melt Flow on the Dendrite Morphology, MATERIALS SCIENCE FORUM 508-509 pp. 169-174. , 6 p., 2006*
- [5] BUBONYI T., BARKÓCZY P., KEMÉNY A., Gácsi Z.: *Microstructural characterization of bimodal composite metal foams under compression with machine learning, COMPOSITES PART A-APPLIED SCIENCE AND MANUFACTURING 185 Paper: 108292 , 7 p., 2024*