



MAKRO- ÉS MIKROSZKÓPOS VIZSGÁLAT A BIZTONSÁG SZEMPONTJÁBÓL KRITIKUS ALKATRÉSZEKEN

A MACRO- AND MICROSCOPIC INSPECTION OF THE SAFETY CRITICAL COMPONENTS

Huszák Csenge,¹ Schramkó Márton,² Kovács Tünde Anna³

¹ Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, huszak.csenge@bgk.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, schramko.marton@bgk.uni-obuda.hu

³ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

In many cases related to critical infrastructures, we find equipment that is extremely important from a safety point of view and key safety-critical components in them. Such parts are turbine blades, engine elements of jet aircraft, as well as high-pressure steam lines of power plants and pressure equipment for liquid gases. In the case of safety critical components, non-destructive and the destructive tests are indispensable. The damage to these components can cause catastrophic failures that need to be avoided. During the inspection of the components, microscopy tests give information about macrostructure and microstructure. Carrying out the tests consists of several steps, during which it is necessary to follow the relevant standards. During the examination of macrostructure, conditions that may lead to premature failure and breakage of the component can be detected. Getting to know the microstructure can provide information about manufacturing, welding, or microstructural defects, which can be a key issue from the point of view of safe operation.

Keywords: *microscope, destructive testing, welding, microstructure.*

Összefoglalás

Számos, a kritikus infrastruktúrához tartozó esetben találunk a biztonság szempontjából kiemelten fontos berendezéseket és ezekben kulcsfontosságú, biztonságkritikus alkatrészeket. Ilyen alkatrészek a turbinalapátok, a sugárhajtású repülőgépek hajtóműelemei, valamint az erőművek nagynyomású gőzvezetékei, folyékony gázok nyomástartó berendezései. A biztonság szempontjából kritikus alkatrészek esetében a roncsolásos és a roncsolásmentes vizsgálatok nélkülözhetetlenek. Ezen alkatrészek károsodása katasztrófát okozhat, amit minden esetben el kell kerülni. A komponensek vizsgálata során a makro- és mikroszkópos vizsgálatok a makroszerkezetről és a mikroszerkezetről adnak információt. A vizsgálatok elvégzése több lépésből áll, amelyek során be kell tartani a vonatkozó szabványokat. A makroszerkezet vizsgálata során már felfedezhetőek olyan hibák, melyek az alkatrész idő előtti meghibásodását, törését okozhatják. A mikroszerkezet megismerése pedig gyártási, hegesztési vagy anyagszerkezeti hibákról adhat olyan információt, mely a biztonságos üzemelés szempontjából kulcskérdés lehet.

Kulcsszavak: *mikroszkóp, roncsolásos vizsgálat, hegesztés, szövetszerkezet.*

1. Bevezetés

Számos biztonságkritikus alkatrész ismert, melyek meghibásodása katasztrófához vezethet.

Jelenleg ezen alkatrészek vizsgálataira nincsenek különleges előírások. Biztonságkritikusnak tekinthetőek a hegesztett kötéseket tartalmazó

alkatrészek, csővezetékek, pl. turbinalapátok. A hegesztett kötések vizsgálatára előírások vannak, ilyenek pl. a makroszerkezet és a mikroszerkezet vizsgálatát célzó vizsgálatok. Ebben a dolgozatban a hegesztett szerkezeteknél is alkalmazott vizsgálat minta-előkészítését kívántuk elemezni, és kiemelni ezt a feladatot elvégző személyzet képzésének fontosságát.

2. Mintakivágás

A mikroszkópi csiszolat készítése során nagyon fontos a minta mérete és alakja. A vizsgálni kívánt darab lehet túl kis méretű ahhoz, hogy csiszolni tudjuk a felületet (pl. egy tű vagy huzal keresztmetszete), vagy túl nagy (pl. hegesztett darab). Ha a vizsgálandó darab kicsi méretű, akkor beágyazással megfelelő méretű darabot tudunk készíteni, melynek a felületét már elő tudjuk készíteni. Ha azonban túl nagy, akkor ki kell munkálni egy, a vizsgálni kívánt anyagra jellemző darabot [1, 2, 3]. A kivágás során figyelni kell arra, hogy a minta anyagszerkezetét a vágással ne változtassuk meg. A vágással tehát nem okozhatjuk a darab felmelegedését vagy képlékeny deformációját, mert mindkét esetben megváltozhat az anyag szerkezete, így hamis vizsgálati eredményt mutathat. Hegesztett kötés vizsgálata során a mintakivétel helyét tekintve a szabvány ajánlását javasolt követni [4, 5]. A kivágás végezhető vízsugaras vágással vagy forgácsolással. A gyakorlatban speciális laboratóriumi mintakivágó berendezéssel is végezhetjük a vágást, a minta kivágása általában gyémántkoronggal, beállítható fordulatszámmal, vízhűtés mellett történik. Vékony lemezek és fóliák esetén ollóval is vághatjuk. A vágott felület mindenképpen elszenved deformációt, azért lehetőség szerint a vágott felületet csiszolással tovább kell munkálni [1, 2, 3].

3. Mintabeágyazás

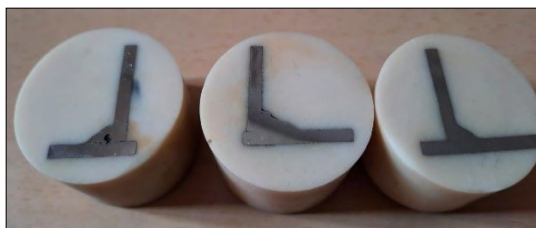
A beágyazás azt jelenti, hogy a kimunkált mintát vagy a kis méretű mintát polimer beágyazóanyagba foglaljuk. Az alkalmazott gyantától, valamint a minta anyagától függően alkalmazhatunk hideg vagy meleg beágyazást. Itt is elsődleges cél, hogy sem szerkezete, sem a kémiai összetétele nem változhat meg a beágyazás során [1, 2, 3]. A hideg beágyazás során általában kétkomponensű gyantát használunk. A gyanta kikeményedése során minimális reakcióhő keletkezik, de ez nem okoz a fémek esetében szerkezetváltozást. Minden esetben az ágyazóanyag gyártója által adott ajánlás szerinti arányokat és keverési sorrendet kell

alkalmazni az esetleges balesetek megelőzése érdekében. Az 1. ábrán hidegbeágyazással készített minták láthatóak.

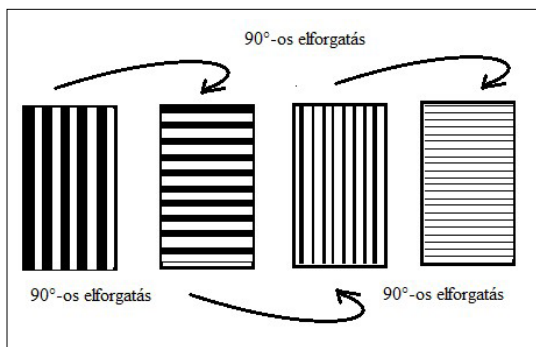
A melegbeágyazást a porágyazóanyag (bakelit, epoxi, akril stb.) felhevítésével és polimerizálásával végezzük. A melegbeágyazás hőmérséklete akár 200 °C is lehet az ágyazóanyagtól függően. Mindenképpen figyelembe kell venni, hogy egyes, kis olvadási hőmérsékletű fémek esetében ez a hőmérséklet már okozhatja a szövetszerkezet megváltozását (pl. újrakristályosodás).

4. Csiszolás

A minta felületét egyre finomabb szemcséjű csiszolószerszámmal csiszoljuk. Az alkalmazott csiszolóanyag lehet szilícium-karbid szemcséket tartalmazó vagy gyémánt csiszolókorong. A csiszolóanyagok P60-tól P4000 finomságig érhetők el a kereskedelmi forgalomban. A P2000–P4000 finomságú csiszolóanyagok már tekinthetők polírozóanyagoknak is. Akár kézi, akár automatizált csiszolást alkalmazunk, az egyes csiszolási lépések során a minta 90°-os elfordításával végezzük. Ezért a csiszolás mindig merőleges, egyre finomabb karcokkal tünteti el az előző csiszolási karcokat (2. ábra). A csiszolás folyamatos vízzadolással történik; a víz eltávolítja a levált szemcséket, forgácsot és a súrlódásból keletkező hőt.



1. ábra. Hidegbeágyazással készített minták



2. ábra. A csiszolás lépéseinek vázlata

5. Felület polírozása

A csiszolással kellő finomságúra előkészített felület polírozása a következő lépés. A polírozást végezhetjük mechanikus, kémiai vagy elektrolitikus úton. A mechanikai polírozást polírozókorongon, polírozókendő alkalmazásával végezzük. A polírozókendő anyaga lehet természetes (selyem, pamut, vászon stb.) vagy szintetikus. A polírozásnál a polírozókendő anyagához, keménységéhez és szövéséhez megfelelő 0,05–15 μm nagyságú alumínium-oxidot, magnézium-oxidot vagy gyémántszemcséket tartalmazó polírozópasztát vagy desztillált vizes szuszpenziót alkalmazunk. Kézi polírozás során a mintát a forgásírányal ellentétesen körkörösén mozgatni kell a polírozókorongon. Polírozást követően a felületet desztillált vízzel, majd alkohollal mossuk. (Amennyiben nem fém vizsgálati mintáról van szó, az alkohol alkalmazhatóságát ellenőrizni kell!) A felületet tisztítást követően fűvott meleg levegővel szárítjuk. A polírozott vizsgálati mintán már végezhetünk makroszkópos vizsgálatokat, mivel az 50-szeres nagyításban már bizonyos repedések, hegesztések esetén porozítás, nem megfelelő beolvadás is láthatóvá válik. A **3. ábrán** egy hegesztett kötésből kimunkált csiszolt és polírozott minta látható. Öntöttvasak esetében pedig a grafit vagy egyes nemfémes zárványok is felismerhetőek, valamint ezek alakja, mérete és eloszlása is vizsgálható.

6. Felület maratása

A részletesebb vizsgálatokat a felület maratásával végezzük az ISO 16060 [6] ajánlását figyelembe véve. A leggyakrabban alkalmazott maratószerket az **1. táblázat** foglalja össze.

A maratószer a vizsgálandó anyag minősége szerint kell választani. A maratószer a minta felületét eltérő mértékben marja meg a szemcsehatáron és a szemcsék felületén, emiatt válik láthatóvá a mikroszkópon. A hőkezelés hatására módosult szövetszerkezet is jól vizsgálható pl. szerszámacé-

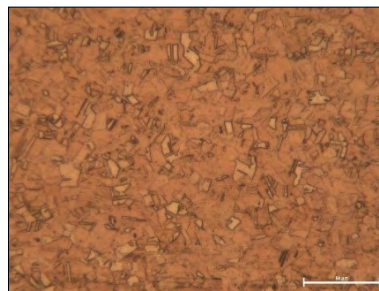
1. táblázat. Maratószeres [1, 2, 3, 6]

Név	Maratószer	Felhasználási terület
Nital	97 ml etil-alkohol 3 ml 69%-os salétromsav	Ötvöztelen és gyengén ötvözött acél
Pikral	100 ml etil-alkohol, 4 g pikrinsav	Ötvöztelen és gyengén ötvözött acél
Sósavas vas-klorid	960 ml etil-alkohol 20 ml 35%-os sósav 50 g vas(III)-klorid	Réz és ötvözetek
Keller	950 ml desztillált víz 25 ml 69%-os salétromsav 15 ml 35%-os sósav 10 ml 40%-os hidrogén-fluorid sav	Titán és ötvözetek, alumínium és ötvözetek
Kroll	10 ml 40%-os hidrogén-fluorid sav 30 ml 69%-os salétromsav 960 ml desztillált víz	Alumínium és ötvözetek

lok esetén [7]. Több információt kaphatunk, illetve könnyebb felismerhetőséget eredményeznek a színes maratási technikával. A maratószer a minta felületén stabil színes filmet képez, ami lehet pl. oxid, szulfid, kromát vagy valamilyen komplex vegyület. A maratószer elkészítése során szigorúan be kell tartani a keverési sorrendet és keverési arányokat. A kémiai ellenálló anyagok maratásához elektrolitikus maratást lehet használni. A normál maratást úgy végezzük, hogy a minta felületét a maratószerbe mártjuk, és finoman mozgatjuk. A maratási idő a mikroszkóp felbontásától is függ, kis felbontású mikroszkóp esetén hosszabb, míg nagy felbontású mikroszkóp esetén rövidebb ideig kell maratni a mintát. Maratást követően bő vízzel mossuk, majd alkohollal öblítjük, és fűvott meleg levegővel szárítjuk a mintát. Vörösréz minta maratott felületének mikroszkópos képe látható a **4. ábrán**.



3. ábra. Hegesztett varrat polírozva és maratva



4. ábra. Maratott vörösréz minta (maratva: sósavas vas-kloriddal)

Hegesztés során az ausztenites szövetszerkezetű rozsdamentes acéloknál (pl. X5CrNi18-10, 1.4301) a hőhatásövezetben kiválások jöhetnek létre, ami rontja a korrózióval szembeni ellenállást [8, 9]. A szemcsehatáron létrejött kiválások metallográfiai vizsgálattal azonosíthatók (5. ábra) [10].

7. Következtetések

A bemutatott makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatokat széles körben alkalmazzák anyagvizsgálatok során. Az 6. ábra a makro- és mikroszkopos vizsgálati lépéseit foglalja össze.

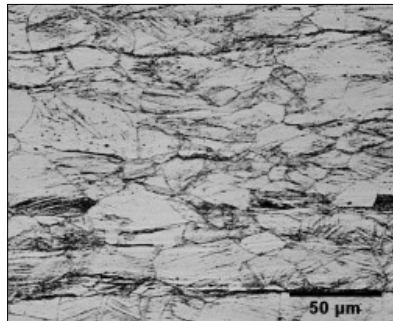
Mindenképpen fontos, hogy ezeket a vizsgálatokat megfelelően felkészült anyagvizsgáló személyzet végezze, akik mind a minta-előkészítésben, mind a vizsgálatok kiértékelésében magas fokú ismeretekkel rendelkeznek. Természetesen a minták elkészítése labortechnikai szintű feladat, míg a makroszkópos vizsgálatok elvégzéséhez már több ismeretre és gyakorlatra van szükség. A szövetszerkezet meghatározása pedig már magas szintű anyagtudományi ismereteket és vizsgálati gyakorlatot feltételez. Természetesen a hagyományos vizsgálati technikákat kiegészíthetik a modern berendezések nyújtotta módszerekkel, mint a pásztázó elektronmikroszkóp vagy a fázisok meghatározását lehetővé tevő röntgendiffrakciós módszerek. Hegesztett szerkezetek vizsgálataihoz az Európai Hegesztési Szövetség (EWF) speciális képzési rendszert épített fel a hegesztéssel és rokon eljárásokkal gyártott szerkezeti anyagok és kötések metallográfiai vizsgálatáért felelős személyzet képzésére, három különböző ismeret-szinten (EWF-627-07) [11].

Köszönetnyilvánítás

Az alábbi munka az Erasmus+ 2021-1-RO01-KA220-VET-000025835 számon nyilvántartott projekt keretében valósult meg, a támogatásért a szerzők köszönetet mondanak.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bramfitt B. L., Benschoter A. O.: *Metallographer's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels*. 1. kiadás. ASM International, Materials Park, 2002. 169–244.
- [2] McCall J. L., Mueller W. M.: *Metallographic Specimen Preparation, Optical and Electron Microscopy*. 1. kiadás. Plenum Press, New York, 1973. 1–348.
- [3] Vander Voort G. F.: *Metallography Principles and Practice*. 4. kiadás. ASM International, Materials Park, 2007. 1–258.



5. ábra. Ausztenites rozsdamentes acél szemcsehatár-kiválások [10]



6. ábra. Makro- és mikroszkópi vizsgálat lépései

- [4] MSZ EN ISO 17639:2022 Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálatai. Varratok makroszkópos és mikroszkópos vizsgálata 2022.
- [5] ISO 15614-1:2017 Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata.
- [6] ISO/TR 16060:2003 Fémek anyagok hegesztéseinek roncsolásos vizsgálata. Marószerek a makro- és a mikroszkópos vizsgálatokhoz.
- [7] Tóth, L., Fábrián, R.: *The Effects of Quenching and Tempering Treatment on the Hardness and Microstructures of a Cold Work Steel*. International Journal of Engineering and Management Sciences, 4/1. (2019) 286–294.
<https://doi.org/10.21791/IJEMS.2019.1.36>.
- [8] Dománková, M., Bártová, K., Slatkovsky, I., Pinke, P.: *High Nitrogen Austenitic Stainless Steel Precipitation during Isothermal Annealing*. Materials Engineering - Materiálové inžinierstvo 23 (2016), 84–89.
- [9] Dománková, M., Kocsisová, E., Pinke, P., Slatkovsky I.: *Effect of Deformation on Sensitisation Process in Austenitic Stainless Steel AISI 316*. Materials Science and Technology, 13 (2013) 1–10.
- [10] Dománková, M., Adamech, M., Petzová, J., Bártová, K., Pinke, P.: *Microstructure Characteristics of Borated Austenitic Stainless Steel Welds*. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Slovak University of Technology in Bratislava, 26/43. (2018) 45–52.
<https://doi.org/10.2478/rput-2018-0029>.
- [11] EWF-627-07 Guideline (2007)