

Számítógépes képelemzés a metallográfiában

Összefoglalás: A számítógépes képfeldolgozás a metallográfiában kulcsfontosságú szerepet játszik a szövetszerkezet objektív és automatizált jellemzésében. A módszerek – mint a szürkeárnyaltos konverzió, szegmentálás, morfológiai műveletek és kvantitatív kiértékelés – lehetővé teszik a szemcseméret, fázisarány és geometriai paraméterek pontos meghatározását. Ezeket az eljárásokat a Dunaújvárosi Egyetemen is alkalmazzuk az anyagtudományi kutatások során, amelyek jelenleg is zajlanak az alumínium újrahasznosíthatósága, a reaktortartályok anyagának öregítése, vagy a fémek sugárkárosodásának vizsgálata kapcsán.

Kulcsszavak: Számítógépes képfeldolgozás, metallográfia, kvantitatív kiértékelés.

Abstract: Computer image processing plays a key role in metallography for the objective and automated characterization of microstructure. Methods such as grayscale conversion, segmentation, morphological operations, and quantitative evaluation enable the accurate determination of grain size, phase fraction, and geometric parameters. These techniques are also applied at the University of Dunaújváros in materials science research, including ongoing studies on aluminum recyclability, the ageing of reactor pressure vessel materials, and the investigation of radiation damage in metals.

Keywords: Computer image processing, metallography, quantitative evaluation.

* Dunaújvárosi Egyetem, Műszaki Intézet

Email: szaboandrea@uniduna.hu

ORCID: 0009-0007-2565-6056

[1] Gonzalez, R.
C.–Woods, R. E.
(2018): *Digital Image
Processing*. New York:
Pearson.

Bevezetés

Az anyagtudományi kutatásokban a mikroszerkezet pontos és objektív jellemzése alapvető fontosságú, hiszen a szemcseméret, fázisarány és geometriai paraméterek jelentős hatással vannak az anyagok mechanikai és technológiai tulajdonságaira. A hagyományos metallográfiai módszerek mellett egyre nagyobb szerepet kapnak a számítógépes képfeldolgozási technikák, amelyek lehetővé teszik az automatizált, reprodukálható és nagy pontosságú kiértékelést. A Dunaújvárosi Egyetemen ezek az eljárások aktívan alkalmazásra kerülnek az anyagtudományi kutatásokban, többek között az alumínium újrahasznosíthatóságának vizsgálata, a reaktortartályok anyagának öregedése és a fémek sugárkárosodásának elemzése során, hozzájárulva a korszerű ipari és energetikai megoldások fejlesztéséhez.

Modern képfeldolgozási módszerek szerepe az anyagtudományban

Az anyagtudományban a szövetszerkezet pontos feltérképezése elengedhetetlen a különböző anyagok tulajdonságainak megértéséhez és fejlesztéséhez. A hagyományos metallográfiai vizsgálatok manuális kiértékelése időigényes és szubjektív lehet, ezért egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az automatizált képfeldolgozási technológiák. Ezek a módszerek nemcsak gyorsabbá teszik az elemzést, hanem biztosítják az eredmények reprodukálhatóságát és objektivitását. A modern képfeldolgozás alapvető lépései közé tartozik a szürkeárnyalatos konverzió, amely egyszerűsíti az adatokat, valamint a szegmentálás, amely lehetővé teszi a szemcsék, fázisok és zárványok elkülönítését. Morfológiai műveletek – például erózió, dilatáció, nyitás és zárás – alkalmazásával javítható a képminőség, csökkenthetők a zajok és kiemelhetők a releváns struktúrák. Ezek az eljárások alapot teremtenek a kvantitatív kiértékeléshez, amely során meghatározhatók a szemcseméret, fázisarány és geometriai paraméterek [1]. A képelemzés különösen fontos szerepet kap az alumínium újrahasznosíthatóságának vizsgálatában, ahol a fázis méret, alak és térfogatarány meghatározása kulcsfontosságú az ötvözetek mechanikai tulajdonságainak optimalizálásához. A reaktortartályok anyagának öregedésével kapcsolatos kutatásokban például a karbidkiválások számának és méretének pontos detektálása segít előre jelezni az anyag élettartamát.

A fémek sugárkárosodásának elemzése során pedig a képelemzés lehetővé teszi a sugárzás okozta hatására megjelenő GP-zónák kvantitatív vizsgálatát, ami alapvető a nukleáris biztonság szempontjából.

[2] Gács Zoltán–Sárközi Gábor–Réti Tamás–Kovács Jenő–Csepeli Zsolt–Mertinger Valéria (2001): *Sztereológia és képelemzés*. Miskolc: WellPress–PHARE.

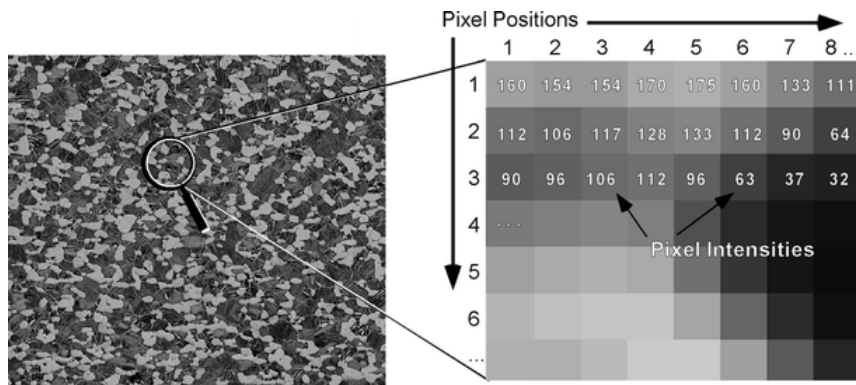
A szürkeárnyalat-értékek szerepe a szövetszerkezet elemzésében

A metallográfiai vizsgálatok során a digitális képek felbontása és a szürkeárnyalat-értékek meghatározó szerepet játszanak a mikroszerkezet pontos elemzésében. A képek általában nagy felbontásúak, 1024×1024 pixel méretűek, ami lehetővé teszi a finom részletek megjelenítését. A szürkeárnyalat skála 0 és 255 közötti értékeket használ, ahol a 0 a fekete, a 255 pedig a fehér színt jelenti. Ezek az intenzitásértékek hordozzák azokat a kontrasztinformációkat, amelyek alapján a különböző fázisok és szemcsék elkülöníthetők. A kontrasztkülönbségek elemzése alapvető a szegmentálási folyamatban, hiszen a mikroszerkezet egyes elemei eltérő fényességi értékekkel rendelkeznek. Az intenzitásértékekből nyert információk képezik a kvantitatív kiértékelés alapját, amely során meghatározható a szemcseméret, a fázisarány és a geometriai jellemzők [2].

A pontos szürkeárnyalat-analízis nélkülözhetetlen a megbízható eredményekhez, mivel a hibás kontrasztértelmezés téves következtetésekhez vezethet az anyag szerkezetéről. A digitális képek és szürkeárnyalat-értékek megfelelő kezelése tehát nem csupán technikai részlet, hanem a metallográfiai képfeldolgozás egyik alapköve. Ez biztosítja, hogy a mikroszerkezet elemzése objektív, reprodukálható és alkalmas legyen az anyagtudományi kutatásokban és ipari alkalmazásokban felmerülő magas szintű követelmények teljesítésére.

[3] Grande, J.C.
(2012): Principles of
Image Analysis. Me-
tallogr. Microstruct.
Anal, 1., pp. 227–243.

1. ábra. Optikai mikroszkópos kép (b), egy részlete nagyítva látható (j). A pixelek sorok és oszlopok szerint helyezkednek el, és mindegyikhez egy szürkességi vagy intenzitásérték tartozik



Forrás: [3]

Képfeldolgozási lépések és algoritmusok áttekintése

A metallográfiai képek számítógépes feldolgozása olyan egymásra épülő műveletekből áll, amelyek célja a mikroszerkezet pontos és objektív jellemzése. A folyamat első lépése a szürkeárnyaltos konverzió, amely a színes képeket egyszerűbb, 0–255 közötti intenzitásértékekkel rendelkező formátumba alakítja. Ez a lépés kiemeli a kontrasztkülönbségeket, és megteremti az alapot a további feldolgozáshoz. Ezt követi az előfeldolgozás, amelynek során különböző szűrési technikákkal – például Gauss- vagy mediánszűrő alkalmazásával – csökkentjük a zajt és javítjuk a kép kontrasztját, hogy a mikroszerkezeti elemek tisztábban elkülöníthetők legyenek. A szegmentálás a következő kulcsfontosságú lépés, amelynek célja a szemcsék, fázisok és zárványok elkülönítése. Ez történhet egyszerű küszöbérték-alapú módszerekkel vagy adaptív algoritmusokkal, amelyek a kép lokális jellemzőihez igazodnak. A szegmentálás eredményeként bináris képek készülnek, amelyek kiemelik a vizsgált struktúrákat, és előkészítik a kvantitatív elemzést. A képminőség további javítására morfológiai műveleteket alkalmazunk, mint az erózió, dilatació, nyitás és zárás.

Ezek a műveletek segítenek eltávolítani a kisebb zajokat, kitölteni a hézagokat, és kiemelni a releváns mikroszerkezeti elemeket. A feldolgozás végső szakaszában a képekből nyert információkat kvantitatív módon értékeljük. Meghatározható a szemcseméret, a fázisarány, a körszerűség és a nyújtottság, amelyek alapvető paraméterek az anyag tulajdonságainak megértéséhez és összehasonlításához. Az automatizált képfeldolgozás így pontosabbá teszi a metallográfiai vizsgálatokat, illetve lehetővé teszi az objektív és reprodukálható eredmények elérését.

[4] Vander Voort, G. F. (1984): *Metallography: Principles and Practice*. ASM International, 9. New York: McGraw-Hill.

Fókuszsík-integrálás a metallográfiai képalkotásban

A metallográfiai vizsgálatok során gyakran előfordul, hogy a mikroszkópos képek mélységelessége korlátozott, így egyetlen fókuszsíkban nem jeleníthető meg minden részlet élesen. Ez különösen problémás lehet összetett mikroszerkezetek esetén, ahol a szemcsék, zárványok és fázishatárok különböző térbeli síkokban helyezkednek el. A fókuszsík-integrálás módszere erre kínál megoldást: több képet készítünk különböző fókuszpozíciókban a Z-tengely mentén, majd algoritmusok segítségével az éles képrészleteket egyesítjük egyetlen nagy mélységelességű képbe. Az eljárás lényege, hogy minden fókuszsíkból kiválasztjuk azokat a pixeleket, amelyek a legnagyobb élességet mutatják, és ezeket kombináljuk egy összetett képben [4]. Az így létrehozott kép nemcsak vizuálisan informatívabb, hanem pontosabb alapot biztosít a további képfeldolgozási lépésekhez, például a szegmentáláshoz és a kvantitatív kiértékeléshez. A fókuszsík-integrálás különösen hasznos durva felületű minták, vastag metszetek vagy nagy mélységű struktúrák vizsgálatakor, ahol a hagyományos egyfókuszos képalkotás nem ad elegendő információt. Ezzel az eljárással jelentősen növelhető a metallográfiai elemzések pontossága és megbízhatósága, mivel kiküszöböli a homályos részletekből adódó hibákat, és lehetővé teszi a teljes szövetszerkezet egyidejű vizsgálatát.

Morfológiai műveletek a képminőség javításában

A metallográfiai képek feldolgozása során gyakran előfordul, hogy a nyers képek tartalmazzak zajt, apró hibákat vagy hézagokat, amelyek megnehezítik a mikroszerkezeti elemek pontos elkülönítését.

[5] Carl Zeiss Vision GmbH (2003): *Axio-Vision User's Guide, Release, 4., (1.)*.

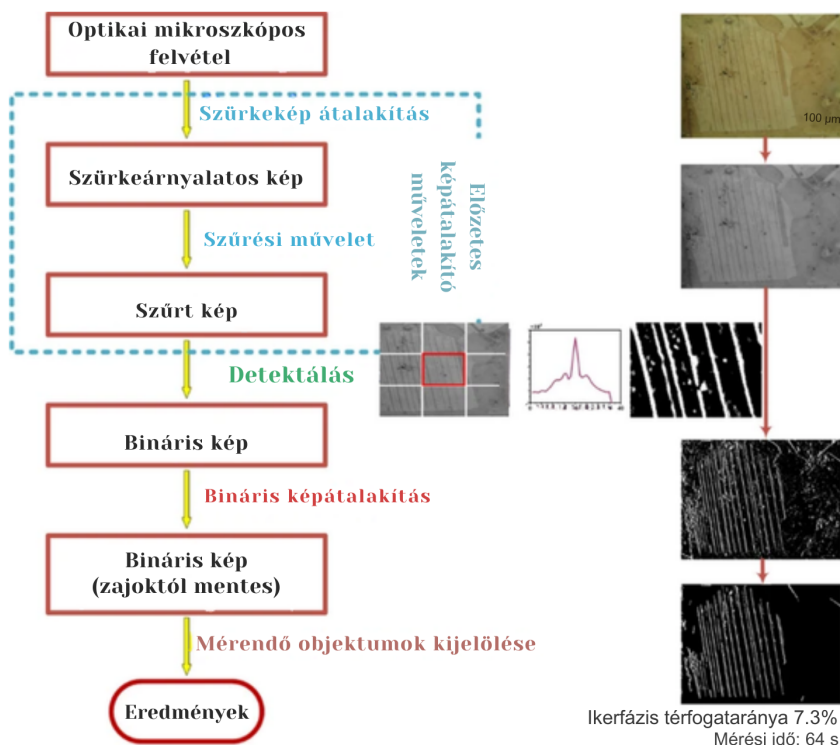
A morfológiai műveletek célja ezeknek a problémáknak a korrigálása, valamint a vizsgált struktúrák kiemelése. Az erózió és a dilatáció a két alapvető művelet: az erózió a világos területek zsugorításával eltávolítja a kisebb zajokat, míg a dilatáció a világos területek növelésével kitölti a hézagokat. Ezek kombinációjából származik a nyitás és a zárás, amelyek finomhangolt megoldást kínálnak a képminőség javítására. A nyitás elsősorban a kis zajok eltávolítására alkalmas, míg a zárás a kisebb lyukak kitöltését segíti elő. Ezek a műveletek a kép minőségének javulást eredményeznek, emellett alapvetőek a kvantitatív kiértékelés pontossága szempontjából. A tisztább, zajmentes képek lehetővé teszik a szemcseméret, fázisarány és geometriai paraméterek megbízható meghatározását, így tudunk támaszkodni a kapott eredményekre az anyagtudományi kutatásokban. A morfológiai algoritmusok alkalmazása a modern képfeldolgozás egyik kulcslépése, amivel biztosítani tudjuk a reprodukálható és objektív eredményeket.

Mikroszerkezeti paraméterek mérése

A Dunaújvárosi Egyetemen rendelkezésre álló AxioVision szoftver a mikroszerkezeti paraméterek meghatározását teljesen automatizált folyamatként végzi. A mérés alapja a szűrkeségiszint-küszöbérték alapján létrehozott bináris kép. Ezen, a vizsgálat célja szempontjából irreleváns és zavaró részeket morfológiai műveletekkel kizártunk a mérésből a valóságot leginkább tükröző képpontok megtartásával. A szoftver minden objektumhoz hozzárendeli a geometriai jellemzőket, és a kalibrált pixelméret alapján valós fizikai méreteket számít. A szemcseméret meghatározása az objektum területéből számított ekvivalens átmérő segítségével történik. A körszerűséget a program a terület és kerület arányából számítja ki, ami megmutatja, mennyire közelít az alak a tökéletes körhöz. A nyújtottságot a legnagyobb és legkisebb tengely hosszának aránya alapján határozza meg, ami a szemcsék alakjának és orientációjának jellemzésére szolgál. A fázis- és térfogatarányokat a szoftver a különböző szegmentált régiók pixelterületének összehasonlításával számítja ki, így pontos százalékos értéket ad az anyag összetételére vonatkozóan. Az AxioVision a mért adatokat táblázatos formában rögzíti, és lehetőséget biztosít tömeges feldolgozásra, akár több száz objektum automatikus kiértékelésére [5].

Az eredmények exportálhatók és statisztikai elemzésre alkalmasak, így a szoftver nemcsak a mikroszerkezet részletes leírását biztosítja, hanem megbízható alapot nyújt az anyag viselkedésének előrejelzéséhez különböző ipari és kutatási alkalmazásokban.

2. ábra. Optikai mikroszkópos kép (b), egy részlete nagyítva látható (j). A pixelek sorok és oszlopok szerint helyezkednek el, és mindegyikhez egy szürkeségi vagy intenzitásérték tartozik.



Forrás: Yi Liu., et.al. (2021)

[6] Liu, Y.-Yu, Y.-Zhang, T. et al. (2021): Quantification of Mechanical Twins in Metallographic Images of Twinning-Induced Plasticity Steels Using a New Image Processing Method. *Met. Mater. Int.*, 27., pp. 618–628.

Összefoglalás

A számítógépes képfeldolgozás célja a kvantitatív jellemzés, amely alapvető szerepet játszik az anyagtudományi kutatásokban. A feldolgozott képekből nyert adatok (szemcseméret, térfogatarány, geometriai jellemzők: körszerűség és a nyújtottság) meghatározzák az anyag mechanikai és technológiai tulajdonságait. Az automatizált algoritmusok alkalmazása biztosítja az objektivitást és a reprodukálhatóságot, így nagyszámú adat gyors statisztikai kiértékelése válik lehetővé. Az így nyert információk nemcsak a mikroszerkezet pontos leírását adják, hanem alapot szolgáltatnak az anyag viselkedésének előrejelzéséhez különböző terhelési és környezeti feltételek mellett. Ez különösen fontos olyan területeken, mint az alumínium újrahasznosíthatósága, ahol a szemcseméret és a fázisok területarányának vizsgálata segít meghatározni az újraolvasztott ötvözetek homogenitását és mechanikai teljesítményét.

Hasonlóképpen, a reaktorcélok öregítésének vizsgálata során a mikroszerkezeti változások, karbidkiválások, szemcsenövekedés kvantitatív elemzése elengedhetetlen a hosszú távú üzemi biztonság értékeléséhez. A fémek sugárzaskárosodásának kutatásában pedig a képfeldolgozás lehetővé teszi a sugárzás hatására kialakuló fázisátalakulások kimutatását, ami kulcsfontosságú az anyagok élettartamának és szerkezeti integritásának előrejelzésében.

