

A metallográfiai felvételeken lát-szik, hogy erre az acéltípusra és lemezvastagságra a két defókusz érték közül az 3 mm-es adott szebb varratképeket. A többi esetben (a hézagolt és a hézag nélküli mintákon) átolvad az alsó lemez is, mert túl nagy volt a lézersugár teljesítménye, ill. kicsi az előtolás sebessége, a hegesztési sebesség.

A lemezek közti rések általában valamivel kisebbek, mint a hézagoló lemez vastagsága, vagyis 0,1 mm. Ennek számos oka van: az alkalmazott hegesztőkészülék (lemezleszorító készülék) szorítóereje, a leszorító pofák egymástól mért távolsága, a hézagoló lemezek távolsága a varrat-tól stb. A lemezek síkjai közötti távolságnak ilyen mértékű csökkenése, esetleg növekedése azonban nem csökkenti a módszer hatékonyságát, ami az irodalomkutatás alapján is kiderült.

Jól megfigyelhető, hogy a hézag nélküli lemezeknél kifröccsenés, pórusok láthatóak, míg a hézagoló lemezes megoldás esetén tömör a varrat.

### Következtetések

Az ellenállás-ponthegesztés legnagyobb hátránya, hogy rugalmatlan technológia, tehát kevésbé képes elég gyorsan alkalmazkodni az autógyártásra jellemző gyors változásokhoz. Az ellenállás-hegesztés a lézersugárhoz képest lassú technológia, és fajlagosan költségesebb üzemeltetésű is, mivel a munkadarab elektródákkal

2. táblázat. A kísérleti varratok egyes méretei

Defókusz mm	Típus	Varrat-mélység $\mu\text{m}$	Korona-szélesség $\mu\text{m}$
4	vakvarrat	2564	205
4	hézag nélkül	1519	3512
4	hézaggal	1571	690
3	vakvarrat	2669	1380
3	hézag nélkül	1286	903
3	hézaggal	1910	846

történő felhevítése nagy energiabe-fektetést, ráadásul gyakori elektróda-utánmunkálást igényel.

A lézersugaras hegesztés (különösen a távhegesztés esetében) meg-munkálási sebessége nagy, kiválóan automatizálható, jól kombinálható más technológiákkal, nagy gyártási rugal-masság jellemző rá, precíz, többnyire nem igényel utómunkát. A beruházási költség a lézersugaras távhegesztés esetében nagyobb, de a gyártás sok-kal termelékenyebb, gyakran gazda-ságosabb vele, valamint a hegesztési paramétereket pontosabban lehet kézben tartani, így garantált a jó var-ratminőség.

Az acélok a korrózióállóság érde-kében gyakran cinkréteggel vonják be, ez azonban a hegesztés során komoly gondokat okoz.

A hegesztéskor cinkgőz képződik, ami beépülve a varratba, porózussá teszi azt, illetve a nagy cinkgőznyo-más instabillá teszi a fémgőzcsa-tornát, esetenként képes akkora gőz-nyomást létrehozni a varratban, hogy az olvadt fém kifröccsen a plazmacsa-torna környezetéből (bukdácsló var-

rat). Ezek eredményeképp jelentősen csökken a varrat ép kereszt-metszete, a varrat szilárdsága.

Mi úgy oldottuk meg ezt a prob-lémát, hogy hézagoló lemezeket helyeztünk el a hegesztendő leme-zek közé, hogy a cinkgőz el tudjon távozni. Vizsgálataink során, ilyen körülmények között nem tapasztal-tunk se kifröccsenést, se póruso-akat.

A kísérletsorozat eredményei alapján meghatároztuk a varratminőség szempontjából ideális lézertech-nológiai paramétereket, a leggyakrab-ban használt karosszérialemez-anya-gokhoz és lemezvastagságokhoz.

### Köszönetnyilvánítás

Szeretnénk köszönetet mondani az Edutus Főiskolának és dolgozóinak, akik telephelyükön lehetővé tették a kísérleteink elvégzését, valamint a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Köz-hasznú Nonprofit Kft. azon munkatár-sainak, akik tanácsaikkal és segítség-ükkel támogatták a munkánkat.

### Irodalom

- [1] Buza Gábor: Lézersugaras tech-nológiák I. Edutus Főiskola, Budapest, 2012, 10.
- [2] Kyung-Min Hong, Yung C. Shin: Prospects of laser welding techno-logy in the automotive industry: A review, Journal of Materials Pro-cessing Technology, Volume 245, West Lafayette, IN, USA, July 2017, 52–54.

BUBONYI TAMÁS – BARKÓCZY PÉTER

## Kristálytani változások szimulációja egydimen-ziós sejtautomata segítségével

*A sejtautomata módszer egy komplex modellezési módszer a különböző anyagtudományi folyamatok szimu-lációjához, akár tömbi anyag modellezéséről, akár szemcsehatármozgások nyomon követéséről van szó. Egy jelentős terület ezen belül a kristálytani orientációk változásának modellezése. Ebben a tanulmányban egy egydimenziós sejtautomata kerül bemutatásra, amely segítségével egyszerűen nyomon lehet követni a neve-zetes kristálytani orientációk változását újrakristályosodás során.*

## 1. Bevezetés

A sejtautomata széles körben alkalmazott matematikai [1] módszer az újrakristályosodás számítógépi szimulációjában, az egyszerű felépítése és a komplex viselkedése miatt [2]. A módszer a híres matematikustól, *Neumann Jánostól* eredeztethető [3]. Az első fémtani modellezés *Hesselbarth* és *Göbel* nevéhez fűződik [4]. A kutatásuk célja volt, hogy egy olyan automatát hozzanak létre, amelynek a segítségével az újrakristályosodás folyamata szimulálható. Ehhez egy kétdimenziós determinisztikus automatát használtak. Később *Davies* a determinisztikus szabályrendszer helyett bevezette a sztochasztikus szabályrendszert, ami azt jelentette, hogy valószínűségi függvények segítségével figyelembe tudta venni a szimulációban a hőmérsékletet, és az alakítás mértékének hatását a szemcsehatármozgás számításában [5, 6].

Ezen a kutatási területen két fő irány a meghatározó. Az első a csíráképződés, valamint a csíranövekedés lokális változásaival foglalkozik, míg a másik a teljes szemcse szerkezet változására koncentrál, és arra, hogy ez a változás milyen viszonyban van a technológiai paraméterekkel [7]. Ez a két kutatási irány a szimulációkhoz használt automatákat is két csoportra bontja. Az első esetben a lokális változások megértéséhez csak néhány szemcséből épül fel a szimulált tér (univerzum), és igyekeznek minél több lokális hatást figyelembe venni. A másik esetben a makroszkópikus vizsgálatoknál a lokális változásokat igyekeznek egyszerűsíteni, hogy minél kevesebb legyen a szimuláció számítási igényessége, és mikroszkópi képhez hasonló szövetképeket állítanak elő a szimuláció segítségével. Mindkét módszernél azonban közös a cél: a kristálytani változások mélyebb megismerése, és megértése.

A sejtautomata módszer egy diszkrét (nem differenciálható egyenletekből építkező) matematikai módszer. A vizsgált univerzumot egyforma elemi

sejtekre osztjuk fel úgy, hogy ezek a sejtek hézagmentesen, és teljesen kitöltsek a teret. A sejteknek véges számú állapota van, és ezek az állapotok legtöbbször valamilyen anyagparaméternek felelnek meg, mint például a diszlokációsűrűség (tárolt energia). Ez a paraméter lehetővé teszi a szimuláció számára, hogy különbséget tudjon tenni az alakított, és az újrakristályosodott sejtek között. A sejtek állapotának megváltozását diszkrét függvények segítségével lehet leírni. A függvények bemenő paramétere a vizsgált sejtek és a körülöttük található szomszédok állapota – a vizsgálat pillanatában. A függvény kimenő paramétere lesz a vizsgált sejt új állapota. Az automata minden egyes, az univerzumban található sejt állapotát megpróbálja ennek a függvénynek a segítségével megváltoztatni, ezáltal egy új univerzumot épít fel. Ha az automata megvizsgálta az univerzumban található összes sejtet, akkor egy szimulációs lépés eltelt. Az idő múlását a fejlődő univerzum szemlélteti. Ezzel össze is lehet foglalni az automata egyik legnagyobb problémáját, miszerint az idő múlását csak diszkrét időpillanatok sorozatával lehet nyomon követni az automata működése során. Mind a tér, mind az idő felbontása diszkrét, és alapegysége absztrakt mérték. Ezeket az automata felhasználásakor át kell váltanunk a szokásos mértékekre. Ezt a folyamatot skálázásnak nevezzük.

Minél komplexebb egy automata, annál nehezebb skálázni. A gyakorlatban bevált módszer, hogy valamilyen globális optimalizációs módszerrel végezzük el a skálázást a számított és a mért mikroszerkezeti paraméterek eltérésének minimalizálásával [8]. Jelentősen befolyásolja az automata komplexitását az, hogy hány dimenziót ölel fel az automata, és akár az egy- és kétdimenziós automaták között is jelentős különbségeket kapunk [9].

Az egydimenziós sejtautomatákat *Stephen Wolfram* tanulmányozta, majd kategorizálta őket [10]. Kutatásaiban bemutatta, hogy még a legki-

sebb egydimenziós automatában is felismerhető a komplexitás. Ezt a gondolatot felhasználva el lehet jutni már az anyagtudományi vonatkozásig, ugyanis az egydimenziós automata remekül használható újrakristályosodás kinetikai vizsgálatára, allotróp fázisátalakulás és szemcsedurválás modellezésére [11].

Azonban az egydimenziós automatáknak is vannak hátrányaik. Az egyik legjelentősebb a képi megjelenítés hiánya, ugyanis egydimenziós automatánál nem tudjuk szemléletesen ábrázolni az univerzumot. Viszont a számolás sebessége sokkal gyorsabb, az eredmények megbízhatók, és ugyanakkora számításmennyiség mellett sokkal robusztosabb univerzumokat képes kezelni az egydimenziós automata, mint a két- vagy többdimenziós. Ebből adódóan a kristálytani orientáció változásának szimulálására ideális az egydimenziós sejtautomata, ahogy azt ez a tanulmány is mutatja.

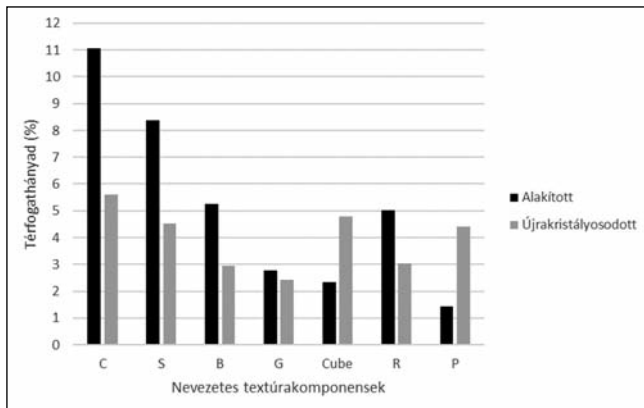
## 2. Felhasznált mérési eredmények

A fémek textúrájának jellemzésére sokféle módszer létezik, mint például a pólusábrák, ODF (orientációs sűrűségfüggvény), vagy a nevezetes textúrákomponensek térfogathányadának vizsgálata [12]. A modell kidolgozása során fontosnak tartottuk, hogy akár szokásos ipari körülmények között, egyszerű kereskedelmi számítógépeken is belátható időn belül végbe menjen a szimuláció. Minden esetben véges méretű univerzummal dolgozunk, azonban az előbbi követelmény további korlátot jelent, ez azzal jár, hogy az univerzumot véges számú szemcse építi fel. Mivel viszonylag kevés szemcséből épül fel a vizsgálandó univerzum, így nem áll rendelkezésre elegendő adat, hogy a szokásos pólusábrát, vagy ODF-t tudjunk illeszteni a szimulált textúrákomponensekre. Azonban a nevezetes textúrákomponensek térfogathányadának változása összehasonlítható marad a mért eredményekkel. Az 1. ábra mutatja a nevezetes textúrákomponensek térfogathányadának változását EN-AW-3003-as alumíniumtözetben, 86%-os hidegalakítás, majd lágyító hőkezelés (280 °C, 5 óra) után.

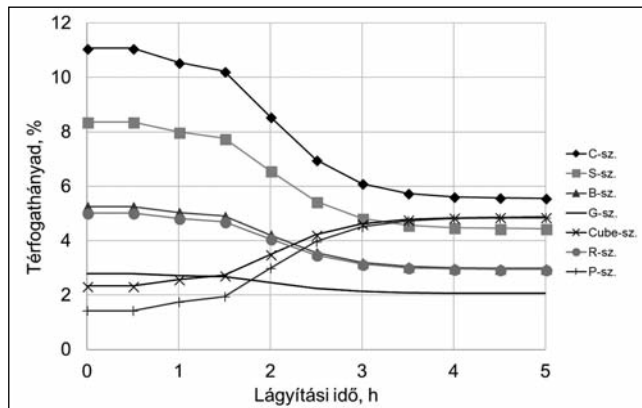
Először egy olyan alakított szemcse szerkezetet kell létrehozunk az

**Bubonyi Tamás** BSc-végzettségű anyagmérnök, jelenleg tanszéki mérnök a Miskolci Egyetem, Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetében. Kutatási területe: fázisátalakulási folyamatok szimulációja, számítógépes képelemzés.

**Barkóczy Péter** szakmai életrajzát a BKL Kohászat 2013/1. számában közzétük.



1. ábra. Nevezetes textúrákomponensek térfogathányada EN-AW-3003 alumíniumötvözetben, 86%-os alakítás majd újrakristályosodás után



2. ábra. Számított textúrákomponens-változás az EN-AW-3003-as alumíniumlemez esetében, sejtautomata módszer segítségével

automatában, amely már tartalmazza a valós textúrákomponens-térfogathányadokat. Ezt úgy tudjuk létrehozni, hogy készítünk az alakításkor létrejött textúrákomponensekből egy valószínűség-függvényt, majd ezt kiegészítjük a random orientációval 100%-ra. Amikor az automata képezi az alakított szemcséket, akkor ebből a valószínűségi függvényből rendeljük hozzá a textúrákomponenst egy egyszerű Monte-Carlo-algoritmus segítségével [13]. Ezzel az alakított szerkezet, amelyik valós kristálytani orientáció adatokat tartalmaz, el is készült.

Egydimenziós automatánál lehetetlen minden csíráképződési szabályt figyelembe venni [14], így hasonlóan az alakított szerkezethez, itt is egy valószínűségi függvényt kell készíteni, de most az újrakristályosodott textúrákomponenseket kell figyelembe venni. Ezek után ugyanúgy kiegészítjük a random orientációval 100%-ra, majd az újrakristályosodás során képződő csíra kristálytani orientációját a valószínűségi függvényből a Monte-Carlo-algoritmus segítségével határozzuk meg.

Ennek a módszernek egy nagy hátránya, hogy érzékeny a szemcsék számára. Minél kevesebb szemcsét tartalmaz az univerzum, a szimulált eredmény annál pontatlanabb lesz. Így emiatt az univerzum méretét kell addig növelni, hogy még éppen elegendő szemcsét tartalmazzon a szimulációhoz, igaz, ezzel egy kicsit nőni fog a számítási idő. Azonban az így bemutatott módszer még mindig gyorsabb, mint bármely kétdimenziós automata.

### 3. Eredmények

Az 1. ábrán látható alakított, illetve újrakristályosodott textúrákomponensek segítségével az újrakristályosodás során végbemenő textúrákomponensek térfogathányadának változása szimulálható. A nevezetes textúrákomponenseket ki kell egészíteni a random textúrákomponensekkel.

A szimuláció paraméterei a következők:

- Csíráképződés aktiválási energiája: 71 kJ/mol
- Csíranövekedés aktivációs energiája: 49 kJ/mol
- Szimulált sejtek száma: 10 000 db
- Hőmérséklet: 553 K

A 2. ábrán nyomon követhető a textúrákomponensek változása az újrakristályosodás során. Ez az eredmény már jó közelítéssel használható a mérnöki gyakorlatban, ugyanis ismerve a technológiai paramétereket, tervezhetővé válik a textúra megváltozása a hőkezelés során, így nem szükséges a nagyszámú és költséges labormérések elvégzése.

### 4. Összefoglalás

Az újrakristályosodást szimuláló sejt-automatánál az egyik legnagyobb feladat figyelembe venni a nevezetes textúrákomponensek változását. Ehhez egy lehetséges módszer a már említett egydimenziós sejtautomata. Ennek, bár gyors számítást tesz lehetővé, sajnos van néhány hátránya.

A nevezetes textúrákomponensek röntgendiffrakciós mérés segítségével könnyedén megállapíthatók, és ha tudjuk a térfogathányadukat, akkor az

adatokat be is tudjuk illeszteni a sejt-automatába. Az egyes textúrákomponensek képződési valószínűsége arányos lesz a valószínűségi függvénynel.

Az orientáció változásának szimulálásához több szemcsére, tehát nagyobb univerzumra van szükség, mint a kinetikai vizsgálatokhoz használt automatánál, azonban a számítás még így is sokkal gyorsabb, mint egy jól kidolgozott kétdimenziós automata esetén. Így, ha egy technológiai paraméter hatását kell tanulmányozni, és megengedett egy kicsit egyszerűsített közelítés, akkor ez a megoldás megfelelő lehet a hatásvizsgálat elvégzésére.

### 5. Köszönetnyilvánítás

Jelen kutatómunka az NKFI 119566K projekt keretében valósult meg.

A cikkben ismertetett kutatómunka a GINOP-2.3.2-15-2016-00027 jelű „Kristályos és amorf nanoszerkezetű anyagok kutatásával és fejlesztésével foglalkozó kiválósági műhely fenntartható működtetése” című projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával valósul meg.

### Irodalom

- [1] Bandini, S., Chopard, B., Tomasini, M. (2002). Cellular automata, 5<sup>th</sup> International Conference on cellular automata for research and industry. Geneva, Switzerland.
- [2] Espericueta, R.: (1997). Cellular Automata Dynamics. Bakersfield College.

- [3] *Israel, G., Gasca, A. M.:* (2009). The world as a mathematical game. John von Neumann and Twentieth century science. Science Networks. Historical Studies. Vol. 38.
- [4] *Hesselbarth, H. W., & Göbel, I. R.:* (1991). In Acta Metallurgica et Materialia Vol. 39 No. 9 pp. 2135–2143.
- [5] *Davies, C.:* (1997). SRIPTA Mater. Vol. 36. 35–40.
- [6] *Davies, C.:* (1999). SRIPTA Mater. Vol. 40. 1145–1150.
- [7] *Rolett, A. D.:* (1997). Progress in Material Science, Vol. 42, p. 79–99.
- [8] *Gyöngyösi Sz., Barkóczy, P.:* Scaling cellular automaton simulations of short-range diffusion processes Materials Science Forum 729: pp. 150–155.(2013)
- [9] *Gyöngyösi Sz., Barkóczy P.:* Cellular Automata Simulation of the Allotropic Transformation of Uranium Materials Science and Engineering: A Publication of the University of Miskolc 41 pp. 39–50. (2016)
- [10] *Wolfram, S.:* (2002). A new kind of science.
- [11] *Szilvia Gyöngyösi, Péter Barkóczy:* Simulation of grain coarsening using one-dimensional cellular automaton Materials Science Forum 752: pp. 217–222.(2013)
- [12] *Kocks, U. F., Tomé, C. N., & Weng, H. R.:* (1998). Texture and anisotropy. UK: Cambridge University Press.
- [13] *Eckhardt, R.:* (1987). Stan Ulam, John von Neumann and the Monte Carlo Method. Los Alamos Science Special Issue.
- [14] *Humphreys, F. J.:* (2004). Nucleation in Recrystallization. Materials Science Forum Vols. 467–470, 107–116.



**25 éves**

## **a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.**

Pungor Ernő alapítónkat vitathatatlanul a magyar műszaki fejlesztés vezéregyéniségeként tartják számon mind a mai napig. Neve összeforrt a fejlett technológiák és eljárások kutatásával, széles körű alkalmazásával, valamint minden ezen értékek előállításához nélkülözhetetlen állami, társadalmi és gazdasági erőforrások megteremtésével. A hazai K+F intézményrendszer átalakításában elismerten legfontosabb kezdeményezése volt a életre hívása.

*„Az alkotásokhoz nem elsősorban pénz kell, hanem agy. – mondta Pungor Ernő 1993-ban – Maga a kutatógarnitúra elsősorban olyan vállalkozó szellemű fiatal emberekből állna, akik össze tudják kapcsolni a kutatást és az ipari alkalmazást. Ehhez a munkához nem lehetett volna jobb példaképet kiválasztani, mint Bay Zoltánt, aki élete végéig az alapkutatástól a megvalósulásig tudott maradandót alkotni a magyarságnak”*  
(Forrás: Fáradhatatlanul – Pungor Ernő élete és munkássága)

Az alapítás évétől kezdve a Bay Zoltán Intézet vezetői és munkatársai elkötelezettek az oktatás és kutatás szoros együttműködésének megteremtése és fejlesztése mellett, amely szükséges és elengedhetetlen feltétele a kiemelkedő eredmények elérésének.

Kutatóközpontunk az elmúlt 25 év során sokféle szervezeti formában szerteágazó szakmai tevékenységet végzett, és magyarországi, sőt nemzetközi összehasonlításban is jelentős kutatási tapasztalatra tett szert.

A jubileumi évfordulót, azaz a 25. évfordulónkat Alapítónk szellemiségéhez méltón kívánjuk megünnepelni, amely a visszaemlékezésen túl, teret enged számunkra az általa tett jelentős, örökérvényű mondanivalók, üzenetek és kutatási eredmények felelevenítésére is.

Természetesen az ünnepben és a közös megemlékezésben osztozni kívánunk munkatársainkkal, teljes kutatói közösségünkkel, szakmai és üzleti partnereinkkel, hiszen jelen sikereink és jövőbeni terveink is csak általuk válhatnak valóra.

Bízom benne, hogy az idei év nem csupán jubileumi, hanem emlékeztető is marad mindannyiunk számára.

**Dr. Grasselli Norbert**  
üzgyvezető igazgató

**A Bay Zoltán Kutatóközpont fennállásának 25. évfordulója alkalmából rendezvénysorozatot indított, amely eseményeken sok szeretettel látjuk Önt is és amelyről további részleteket a [www.bayzoltan.hu](http://www.bayzoltan.hu) oldalon találhat.**