

Az anyagtudomány és a negyedik ipari forradalom összefüggései

The Relationship between Materials Science and the Fourth Industrial Revolution

Kolozsváry Zoltán

SC Plasmaterm SA; Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Marosvásárhely, Románia, zoltan.kolozsvary@plasmaterm.ro

Abstract

There has been a spectacular and extremely fast development in all areas of materials science. This development is driven by science and technology, yet a time lag may be observed between the progress of technology that drives the fourth industrial revolution, and its acceptance in society. Our task is to learn how a balance may be achieved between rapid technological development and societal acceptance.

Keywords: *materials science, fourth industrial revolution, technology, society, time gap, additive manufacturing, surface treatment, conflict risk materials.*

Összefoglalás

Függetlenül attól, hogy milyen csoportját tekintjük az anyagoknak, a fejlődés rendkívül gyors és látványos. Ennek a fejlődésnek a hajtóereje a tudomány és technológia, de egy időres jött létre a negyedik ipari forradalmat hajtó fejlődés és a társadalmi felzárkózás között. A feladatunk az, hogy megtanuljuk, miként lehet egyensúlyt teremteni a gyors fejlődés és a társadalom rendszere között.

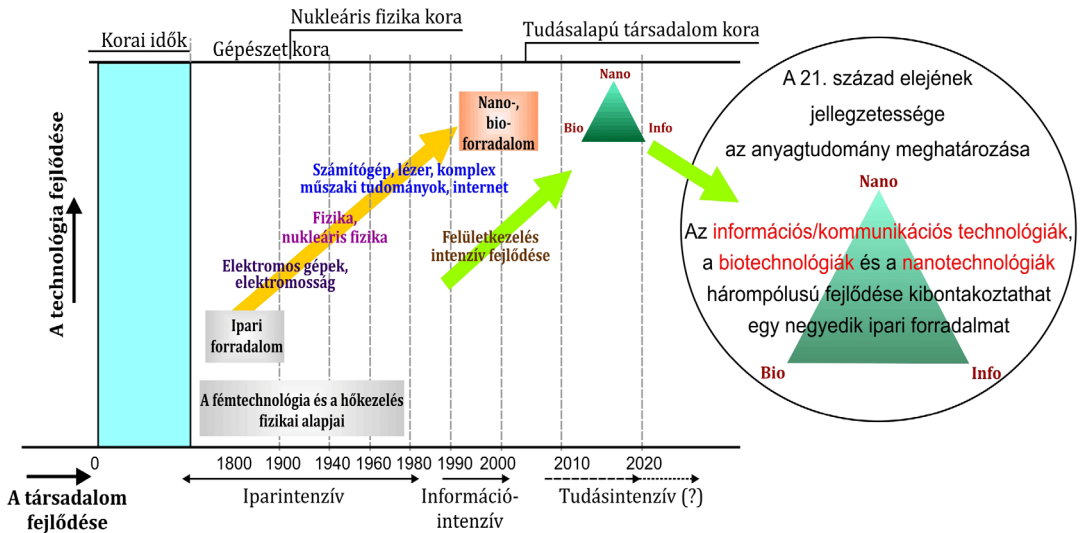
Kulcsszavak: *anyagtudomány, negyedik ipari forradalom, technológia, társadalom, időrés, additív gyártás, felületkezelés, kritikus anyagok.*

1. Bevezetés

Az emberiség történelmében mindig erőteljes kölcsönhatás, de egy sajátos, időbeli fáziseltolódás is mutatkozott a technológia fejlődése és a társadalom között. Az időelcsúszás a kettő között elsősorban a kommunikációtól és annak sebességétől függött. Minél könnyebb és gyorsabb a kommunikáció, annál gyorsabb és nagyobb léptékű a reakció. Egy évszázadokon átnyúló „felhalmozódás” után a 20. század felgyorsította e spirált, és a gyorsulás csak megerősödött a 21. század első évtizedeiben.

A múlt század utolsó két évtizede, valamint a 21. század első évtizedei átformálták a tudomány és technológia értelmezését. Egyértelműen egy időrés jelent meg az ipari változások, valamint a változásoknak a társadalmi értelmezése között.

A 21. század kezdete soha nem látott gyorsaságú változásokkal tört rá az emberiségre. Az adatfeldolgozás és adattárolás lehetőségei igen látványosan megnövekedtek, és ebből adódóan a mindennapi élet szinte minden területén kitolódtak a határok. Ma már közhelynek számít, ha azt mondjuk, hogy a 20. század a fizika százada volt, de tagadhatatlan, hogy ennek hatásait érzékeljük (időnként szenvedjük!) napjainkban. Természetesen itt egy igen bonyolult kérdésről van szó, hiszen a technológia és a társadalom kölcsönhatásai mindig meghatározók voltak az emberiség történelmében, és ez a kölcsönhatás egyre erősebbé vált az adatfeldolgozás és az adattovábbítás gyorsaságának növekedésével; ezt szemlélteti az **1. ábra**.



1. ábra. A technológia és a társadalom kölcsönhatása az emberiség történelmében

Tisztán látható a rész és az egész problematikája, azaz Werner Heisenberg megfogalmazása sohasem volt időszerűbb, mint ma! A tudomány és a technológia példátlan fejlődési üteme egyre mélyebbre hatol és az anyagok belső világába, s annak egyre apróbb részleteit hozza felszínre. Ezek azonban mind csak „részek”, amelyek csak akkor hozhatnak jelentős fejlődést az embernek, a társadalomnak, ha nem feledkezünk meg az „egész”-ről. Ennek az elemző cikknek a célja felvázolni egy rövid, szintetikus összefoglalót az „egész”-ről, mégpedig az anyagtudomány oldaláról közelítve.

2. Az anyagtudomány művelőinek társadalmi felelőssége az anyagok felhasználása terén

Az 1. ábra vázlatosan utal a tudomány és technológia, valamint a társadalom kölcsönhatásaira, kihangsúlyozva azt a háromszöget, amely jelenleg domináns és voltaképpen az anyagtudomány által fémjelzett. Ha a jelenlegi főirányokat próbáljuk meg röviden összefoglalva felvázolni, a vázlat az alábbiakban teljesebbé válik:

- A teljesítménnyel szembeni egyre növekvő elvárások formálódnak a gyártási költségek és az energiaszükséglet párhuzamos csökkentése mellett, nem feledkezve meg a csökkentett környezeti ártalomról.
- A kutatási módszereknek és műszerezettségnek a látványos fejlődése új utakat nyitott ahhoz, hogy megismerjünk, kikísérletezzünk és fejlesz-

szünk új anyagokat, szinte meglepő tulajdonságokkal; csak egyetlen példa: arany-platina ötvözet, soha nem látott kopásállósággal és a gyémántéval vetekedő keménységgel [1].

Új anyagok szinte naponta jelennek meg, de jelentős, meglepő fejlődés tapasztalható a „klasszikus”-nak mondható anyagok terén is.

Szinte minden alkalmazási területen látványosan csökken a fajlagos anyagfogyasztás, viszont a globális anyagszükséglet jelentősen növekszik. Világunk lassanként egyre inkább anyaghiányban szenved. A műszaki anyagok egyre változatosabbak, új, egyre újabb elvárások jelentkeznek az alkalmazott technológia függvényében; jó példája ennek a 3D-s nyomtatás [2]. A kritikus anyagok kérdését megközelítve, elég egy pillantást vetnünk az anyagok Mengyelejev-féle táblázatára, hogy e kérdés fontosságát megértsük.

A globális gazdasági fejlődésnek kritikus területe az energiatermelés és még inkább az energia tárolása. A rendszereknek és mechanizmusoknak a hatékonysága jelentős mértékben függ a felhasznált anyagok tulajdonságaitól. A napelemek, szélérőművek, akárcsak a hidrogénes üzemanyagcellák mindegyike igen szélsőséges elvárásokat támaszt az anyagokkal szemben. Bár úgy tekinthető, hogy a „szokványos” anyagok, amelyeket különleges felületnemesítési eljárásoknak vetnek alá, továbbra is túlsúlyt élveznek, kevésbé konvencionális anyagok, ötvözetek – vagy éppen nemfémek – növelik alkalmazási területüket.

Visszatérve az elemzés tárgyát képező területeinkre, vegyünk sorra néhány, a tudományos kutatás, fejlesztés és innováció művelői számára fontos rendezőelvet az anyagok gazdaságos felhasználását tekintve:

- Az anyagok gazdaságos felhasználása már a tervezésnél kell hogy kezdődjön.
- Növelni kell az anyagok teljes életciklusát, azaz lehetőség szerint az újrafelhasználást.
- Olyan technológiákat kell fejlesztenünk, amelyeknél a veszteség minimális.
- A hasznos élettartam növelésére fejlesztenünk kell megfelelő hőkezelési és felületkezelési technológiákat.
- A tervezésből vagy technológiából adódó fölösleges anyagvesztés csökkentésére alkalmazni kell a számítógépes modellezést és szimulációt.
- Fontos szem előtt tartanunk a kritikus anyagok kérdését is, amelyekre érvényes az angol „conflict mineral risk” minősítés. Csak néhányat említve: kobalt, titán, arany, platina, tantal, volfrám, vanádium, neodímium, lítium, ritkaföldfémek stb. [3]. A veszélyeztetett vagy kritikus anyagok esetében alternatív anyagokat kell alkalmaznunk, megfelelő kutatások és fejlesztések igénybevételével.

3. Az anyagok optimális felhasználásának szempontjai

A társadalom működésében az anyagok felhasználásának a jövőre is tekintettel lévő szempontjai ugyan egyre inkább megjelennek, de az igazán felelős, hosszú távra való gondolkodásnak egyre sürgetőbb jelei mutatkoznak. Éppen ezért fontosnak tartok kiemelni néhány fő szempontot az anyagok optimális felhasználásához:

- Rövid távon az új anyagok fejlesztésére irányuló kényszer nem fogja alapvetően módosítani a széles körben felhasznált anyagok iránti érdeklődést.
- A vasötvözetek továbbra is a legfontosabb műszaki anyagoknak tekinthetők, de jellemzőik igen nagy mértékben módosulnak.
- Az alumínium- és titánötvözetek egyre inkább a figyelem középpontjába kerülnek, különösen a járműipar esetében.
- A kompozitok iránti érdeklődés egyre növekszik, és tulajdonságaikban látványos változások várhatók.
- Igen érdekes a grafit különböző változatainak egyre növekvő alkalmazása, olyan változatokkal, mint a grafén, az aerografit stb. Magától

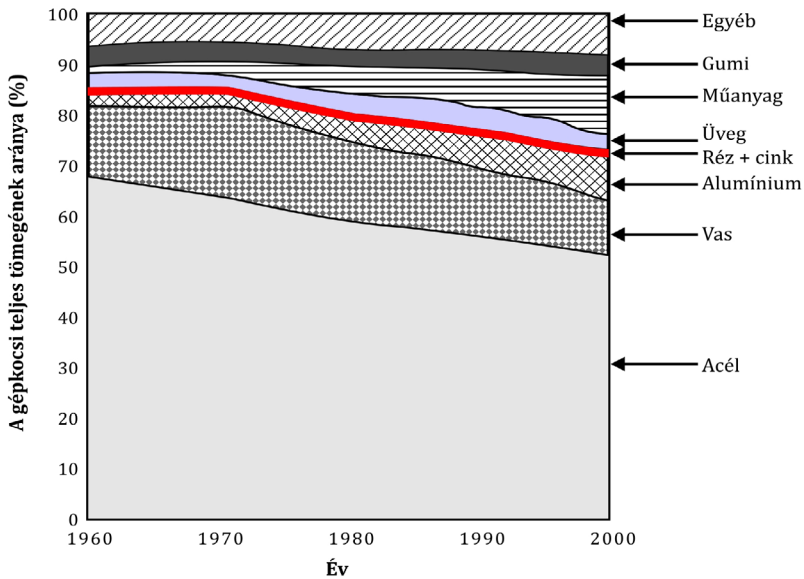
adódik a kérdés: a vaskorszak után következik a „szénkorszak”?

- Az energiaigény csökkentésére – mindenképp előtt a járműveknél – egyre növekvő érdeklődés mutatkozik csökkentett súlyú szerkezetek fejlesztésére, anélkül, hogy a teljesítmény csökkenne. Ez egyrészt a szerkezetek célirányos fejlesztéséből adódik, de a könnyű anyagok alkalmazása egyre inkább a figyelem középpontjába kerül. Az alumínium ilyen szempontból központi helyet foglal el, annak ellenére, hogy a gyártásához szükséges energia számottevő, valamint nehézségek adódnak az újrahasonosításnál is, azaz a teljes életciklus behatároltabb, mint az acél esetében [4].
- A könnyűfémek alkalmazása iránt növekvő érdeklődés a járműiparban a figyelmet egyre inkább az új alakítási és hőkezelési technológiákra irányítja. Ez természetesen a titánötvözetekre is vonatkozik.

Igen érdekes egy pillantást vetni a 2. ábrára, amely megmutatja, hogy milyen mértékű változásokat tapasztalhatunk a gépjármű-karosszériák anyagfelhasználását illetően. Egyértelmű a kompozitok és könnyűfémek térnyerése az acél ellenében. Egyre látványosabb a 3D-s nyomtatás – tágabb értelemben az additív gyártás – előretérése a legkülönbözőbb alkalmazási területeken, az orvostechnikától a repülőgépekig. Az additív gyártásnál előre megtervezett topológiai szerkezet alakul ki, amely sajátos tulajdonságok hordozója [5, 6].

4. Az ipar kulcsfontosságú területei

Az előző fejezetben elmondottak talán önmagukban is igen nagy fontossággal bírnak, minde mellett az iparnak két területére kell különösen figyelni: a járműiparra, valamint az energia-termelési és -tárolási iparra. Igen látványos az előretérés, egyre bővülő felhasználási körrel, különös figyelemmel a fémek anyagok additív gyártásának fejlesztésére. Ezen a téren, egyelőre, a fémek szerkezettel kapcsolatos kérdések, valamint a szerkezet módosítására szánt felületkezelések igen kevésbé ismertek. Jelentős eltérések tapasztalhatók az anyag metallurgiáját illetően az alkalmazott eljárás függvényében. A gyors megvalósulás, az irányított lehűlés, a szerkezeti változások, melyek az ismétlődő hevítéssel járnak, mind igen jelentős mértékben befolyásolják az anyag mikroszerkezetét. Ezek a folyamatok egyelőre igen kevésbé ismertek, mert nem azonosak a szokásos eljárásoknál megismertekkel [7].



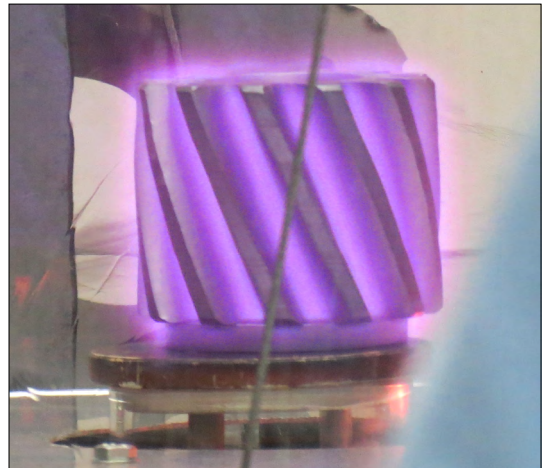
2. ábra. Az anyagfelhasználás változása az autóiiparban

Az anyag tömegének és felületének módosítását célzó eljárások (azaz felületkezelések, pl. a 3. ábra) egy alapvetően új területet képeznek, amely mindeddig kevésbé ismert és tanulmányozott [8].

Nem hagyható figyelmen kívül az a törekvés sem, amely a természet által létrehozott anyagok tanulmányozását hozza előtérbe, azaz tanulunk kell az anyatermészetől. T. S. Sudarshant idézve a természet „futurisztikus anyagok tárháza, ahol a lehetetlen lehetővé válik” [9]. A természet kézenfekvő módszereket alkalmaz, könnyen hozzáférhető forrásokból (víz, levegő, ércek, organikus proteinek, napfény) tökéletes újrahasznosítással és gyakran öngyógyítással. A természet csak a szükséges energiát használja fel, voltaképpen modellje a fenntartható fejlődésnek. Nincs környezetszennyezés!

Megjegyzendő a növekvő érdeklődés a bioinspirált, valamint a nanotechnológiára alapozott felületmódosítás irányában is [10]. Egyre újabb felületkezelési technológiák (4. ábra) látnak napvilágot, amelyekre további két példát említek:

- A súrlódás csökkentése a határfelületek szerkezetének változtatásával, pl. a cápbőr struktúráját utánozva.
- A nanoszerkezeteknek a folyadékokkal szembeni viselkedésre, azaz a nedvesíthetőségre, a folyadéktaszítás stb., utánozva a lótuszlevél felületi szerkezetét.



3. ábra. Nagy kopásállóságú bevonattal ellátott, alumíniumtötvözet fogaskerék versenykerékpárra (fent) és acél fogaskerék plazmanitridálás közben



4. ábra. Anodizálással színezett titán implantátumanyag lézergravírozással színezett titánlemezen

Nem szabad azonban megfeledkeznünk a „kolaterális ártalom” veszélyéről, amely voltaképpen minden fejlesztést kísérhet. Az anyagtudomány esetében kevés figyelmet szenteltünk – vagy éppen teljesen figyelmen kívül hagytuk – az anyagok teljes élettartamának, beleértve az újrafelhasználást és megsemmisülést. A 20. században a műanyagok egyre szélesebb körű alkalmazást nyertek, és ez az irány még hangsúlyozottabb a jelen század elején. Az egyre növekvő alkalmazási terület mellett igen kis figyelmet szenteltek az anyagok utóélete kérdéseinek.

5. A jelenkori ipari fejlődés és az anyagtudomány társadalmi kihívásai

Ismert, hogy a szintetikus anyagok bomlási folyamata természetes körülmények között évszázadokra tehető, de sajnos csak a legutóbbi időben vált tudatossá az a hatalmas veszély, amely a természetes környezet lerombolásával jár, valamint a veszélyes hatás az élelemlánc esetében.

A Föld egyre növekvő lakossága – amelyet táplálni kell –, az ivóvíz egyre nehezebb hozzáférhetősége jelzi, hogy kevés idő maradt arra, hogy folytassuk az anyag- és energiapocsékolást! Egyre nyilvánvalóbb, hogy az emberi társadalom egy olyan kritikus ponthoz érkezett, amikor a fenntartható fejlődésről nem elég csak politikai szövegek szintjén beszélni, hanem valóban tenni kell valamit. Értelemszerűen feltevődik a kérdés: mi is a valós hajtóereje az ipari és társadalmi fejlődésnek?

Mondhatnánk, hogy a fejlődés motorja az energiaforrások és a környezet iránti gondoskodás, de valójában igen keveset tettünk a környezet rombolása és a – minden irányba történő – pocsékolás megfékezésére. Ebből értelemszerűen adódik a másik kérdés: mi is a valós hajtóereje az ipari és gazdasági fejlődésnek? A válasz egészen nyilvánvaló: a gyors és korlátlan profitszerzés!

Az anyagtudomány az egyik alapvető tényező a negyedik ipari forradalom kiváltásában. Sokrétű, igen erős hatása van a társadalomra és annak jövőbeni fejlődésére, de a fejlődés és a környezet nem elválasztható kihívások. A fejlődésnél nem szabad elfelejteni a rendkívül bonyolult kölcsönhatások rendszerét, átfogva gazdasági, ökológiai, technológiai és társadalmi összefüggéseket. Az anyagtudománynak meg kell találnia azokat a tudományos, műszaki megoldásokat, amelyek segítségével megvédhető környezetünk és helyreállítható annak egészséges élete [11]. Többé nem mondhatjuk azt, hogy „ez nem az anyagtudomány feladata”, tehát hogy mi fog történni az anyagok „utóéletével”, az nem a mi gondunk!

Rendkívül fontos az a látásmód, ahogy az energia és környezet kérdését látjuk, és döntő jelentőségű lenne az a felismerés, hogy minden éremnek két oldala van. Az energia kérdését a figyelem középpontjába egyfelől a globális gazdaság, a kutatás-fejlesztés és az ipar állítja, az érem másik oldalát pedig – jó esetben – azok látják vagy/és mutatják meg, akik a környezet kérdéseire figyelnek:

a tömegek, a felelős politikusok és a tömegmédiá [12]. Ám végső soron az érem ugyanaz!

A cikkben ismertetni kívántam azokat a legfontosabb felismeréseket, amelyeket az ipar és a társadalom párhuzamos fejlődését tekintve az anyagtudomány és a technológia területén dolgozva érkelek. Véggöveztetésként, teljesen egyetértve azzal, idézem Jianguo Liu, a Michigan State University professzora gondolatait: „Itt az ideje, hogy alapvető felfedezésekhez integráljunk minden tudományágat és minden lehetséges megoldást, mert csak így tudunk megfelelni az egyre bonyolultabb és átszövődő kihívásoknak. Az egyedi megközelítése az olyan krízishelyzeteknek, mint a légszennyezés, a biodiverzitás elvesztése, a klímaváltozás, az élelem, a víz és az energia csökkenő tartalékai, nem csak hatástalan, de igen gyakran ártalmas, mivel még rosszabbá teszi ezeket a kríziseket az ellentmondásos egymáshatások és az előre nem látott következmények miatt.” [13]

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Curry J. F., Babuska T. F., Furnish T. A., Ping Lu, Adams D. P., Kustas A. B., Nation B. L., Dugger M. T., Chandross M., Clark B. G., Boyce B. L., Schuh C. A., Argibay N.: *Achieving ultralow wear with stable nanocrystalline metals*. *Advanced Materials*, 30/32. (2018) 1802026, 1–7.
<https://doi.org/10.1002/adma.201802026>
- [2] Mike Ashby, University of Cambridge and Granta Design, Cambridge, 2014.
- [3] *Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act*. Public Law 111-203, July 21, 2010, 1375–2223.
<https://www.congress.gov/111/plaws/publ203/PLAW-111publ203.pdf>
- [4] Tisza M., Czinege I.: *Comparative study of the application of steels and aluminium in lightweight production of automotive parts*. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacturing*, 1/4. (2018) 229–238.
<https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2018.09.001>
- [5] Frazier W. E.: *Metal additive manufacturing: A review*. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23/6. (2014) 1917–1928.
<https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z>
- [6] *Sandvik invests in metal powder plant*. *Heat processing*, 2. (2018) 14.
- [7] Kolozsvary Z.: *Surface engineering: its limits for engineering applications*. IFHTSE 19th International Congress, Glasgow, 2011.
- [8] Kolozsvary Z.: *Surface engineering: a bridge between 'avant-garde' and conventional materials and technologies*. 20. Congress of IFHTSE, Beijing, 2012.
- [9] Sudarshan T. S.: *Emulate to innovate*. SMT 31 – The 31st Edition of the International Conference on Surface Modification Technologies, July 5–7, 2017, Mons, Belgium.
- [10] Fan Xia, Lei Jiang: *Bio-inspired, smart, multiscale interfacial materials*. *Advanced Materials*, 20/15. (2008) 2842–2858.
<https://doi.org/10.1002/adma.200800836>
- [11] ScienceDaily: *Techniques could create better material, design in high consequence uses*. September 24, 2015.
www.sciencedaily.com/releases/2015/09/150924084023.htm
- [12] Cantonwine P. E.: *Educating materials engineers*. *Advanced Materials and Processes*, March 2006, 51–53.
- [13] Michigan State University, ScienceDaily: *World's challenges demand science changes*. 26 February 2015.