

Az anyagvizsgálat szerepe a gyártás- és gyártmányfejlesztésben

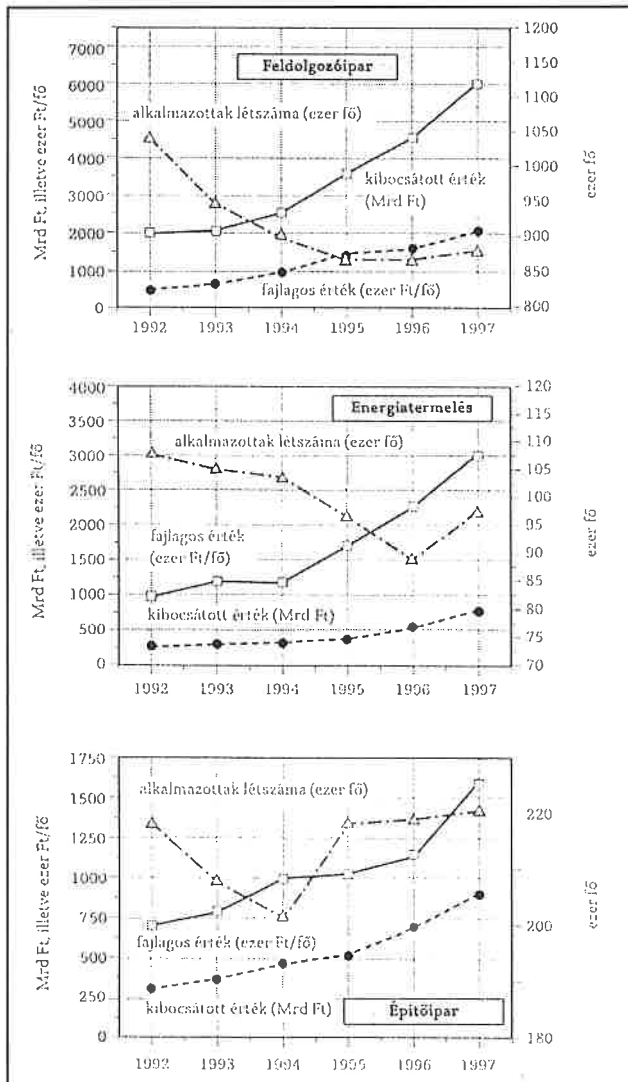
Prohászka János*

Az anyagvizsgálat feladatát és szerepét az határozza meg, hogy milyen célt szolgál. Egy kohászati vállalatnál, pl. az esetek többségében az a feladata, hogy a késztermék jellemző tulajdonságait állapítsa meg. Ez általában az anyag kémiai összetételének és mechanikai tulajdonságainak a mérésére szorítkozik. Az anyagot felhasználó vállalatnál rendszerint ugyanezeket a méréseket végzik el, kiegészítve azokat néhány olyan speciális méréssel, melyek az adott termék előírt tulajdonságai megkövetelnek. A termelést irányítók a megismert eredmények alapján döntenek el, hogy a szóban forgó anyag, milyen termék, (termékek) előállítására alkalmas, és azt milyen technológiai eljárásokkal lehet az előírt alakú, méretű és tulajdonságú terméknek hasznosítani. A technológiai eljárás többféle is lehet, de azt a kiinduló és a késztermék tulajdonságainak az ismeretében, valamint a rendelkezésre álló technológiai műveleteknek a tulajdonságokat megváltoztató hatásait figyelembe véve kell eldönteni, amiben az anyagvizsgálatnak minden említett lépésben meghatározó szerepe van.

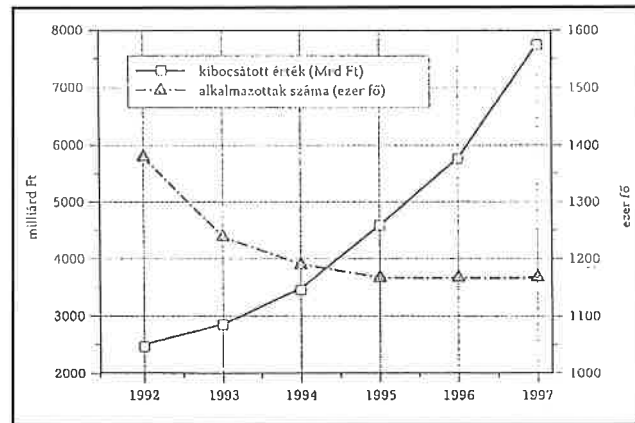
A termelésnek, egy adott időben jól bevált feltételeit, azonban az idő

során rendszeresen változtatni kell, mert a piaci verseny során a termékek jelentős része helyett, a piacokon újabb, az addig beváltnál jobb, vagy olcsóbb, vagy egyszerre jobb és olcsóbb versenytárs jelenik meg. Ez a termékek előállítására és fejlesztésére szakadatlanul, és mindenhol jellemző változás valamennyi termelőnél kikényszeríti mind a termékeknek, mind a gyártásnak a fejlesztését. Az állítás igazolására álljon itt néhány ábra.

Az 1. ábra mutatja néhány hazai termelési ágazat fejlődési jellegzetességét. Minden iparág hasonló abban, hogy a megtermelt érték az idő függvényében fokozatosan nő, a termelésben résztvevők létszámának csökkenése mellett. A 2. ábra azt szemlélteti, hogy milyen a teljes magyar iparnak a fejlődése az adott időszakokra. Az a néhány év, amire az 1. és 2. ábra áttekintést ad, a hazai termelésnek egy átmeneti szakasza, és fel lehetne vetni, hogy az csak a magyar gazdaságra vonatkozik, és nem általánosan jellemző. A bemutatott jellegzetességek azonban, nem csak a magyar, hanem valamennyi termelő vállalatnak jellemző vonásai. Ennek az általános vonásnak a bemutatására álljon itt két nemzetközi nagyvállalatnak néhány adata, melyek országaiban stabil a társadalmi rend, és ahol az elmúlt időszakban nem volt olyan óriási társadalmi és gazdasági változás, mint hazánkban.

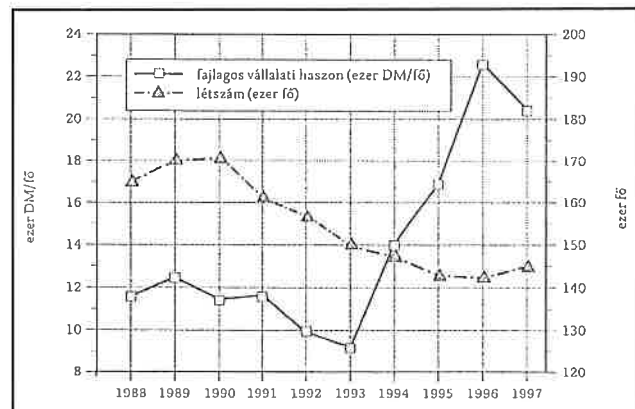


1. ábra. Néhány hazai termelési ág jellemzőinek változása az idő függvényében.



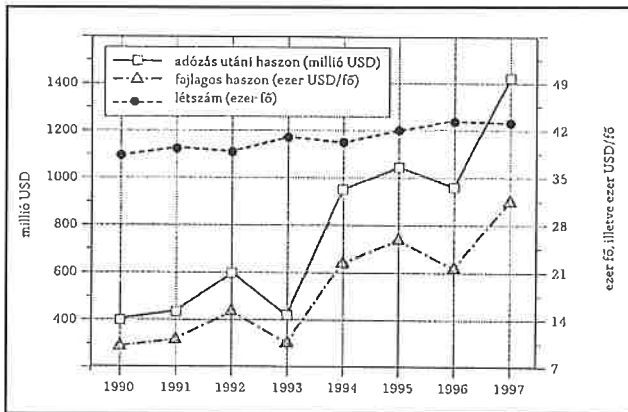
2. ábra. A magyar ipar fejlődésének tendenciája

A 3. ábra a Bayer A.G. pénzügyi adatait, és alkalmazottak számát mutatja be egy adott időtartományra. A 4. ábra pedig a Gillette cég termelésének néhány gazdasági jellemzőit szemlélteti. Az természetes, hogy a jellemzők hasonló változásokat mutatnak az idő függvényében. Azt azonban érdemes kiemelni, hogy pl. a Bayer vállalatnál tíz év alatt, a fajlagos, az egy főre jutó termelési haszon közel a duplájára nőtt, addig



3. ábra. A Bayer A.G. cég termelési adatai

*akadémikus, az MTA rendes tagja



4. ábra. A Gillette cég termelési adatai

az alkalmazotti létszám majdnem egy harmadával csökkent. A hasonló jellemzők a Gillette-nél azt szemléltetik, hogy ott ugyan a létszám nem csökkent, hanem nőtt, mintegy 10–12 %-kal, de ugyanakkor a vállalati haszon megháromszorozódott.

Ezt a néhány ábrát annak az igazolására mutattuk be, hogy a termelést szakadatlanul fejleszteni kell azoknak a vállalatoknak, melyek a piacon létezni akarnak. Az ábrákból ugyan a gyártmányfejlesztésre lehet csak következtetni, de tapasztalatból tudjuk, hogy a termékek minőségét is állandón fejlesztik. Utalunk itt arra, hogy a gépkocsigyártásban egy-egy terméktípus alkatrészeinek a pótlására csak néhány évig vállal garanciát a termelő, mert a típusait rendszeresen újabbakkal cseréli ki, a közönség kívánságainak megfelelően módosított jellemzőkkel. Ezekben a minőségjavításokban jelentős szerep jut az anyagvizsgálatra. Hivatkozhatunk itt arra is, amit szinte mindenki rendszeresen észlel, hogy milyen mértékben változnak az elektronikus eszközök (rádió, tv, számítástechnikai egységek stb.) minőségi mutatói, vagy pl. az utakat egyre nagyobb tömegben ellepő közlekedési eszközök.

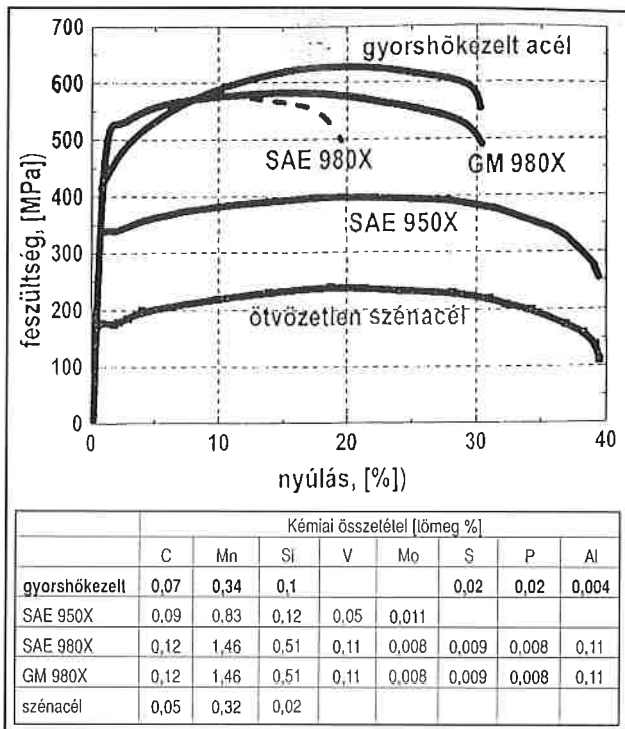
A példák azt mutatják, hogy a termelésben mind a termék, mind a gyártástechnológia folyamatos fejlesztése megy végbe és ez nemcsak elképzelhetetlen az anyagvizsgálat nélkül, hanem azt a termelés fejlesztésével egyre több és fontosabb szerepkörrel látja el.

A késztermékek minőségi jellemzőinek száma azok színétől, alakjától, méretétől, súlyától és számos egyéb, a vásárló ízlésétől is függő tényezők halmaza. Ezeket egy dolgozat kapcsán nehéz összefoglalni. A termék használhatóságának azonban az egyik legfontosabb jellemzője a felhasznált anyag minőségjavítása.

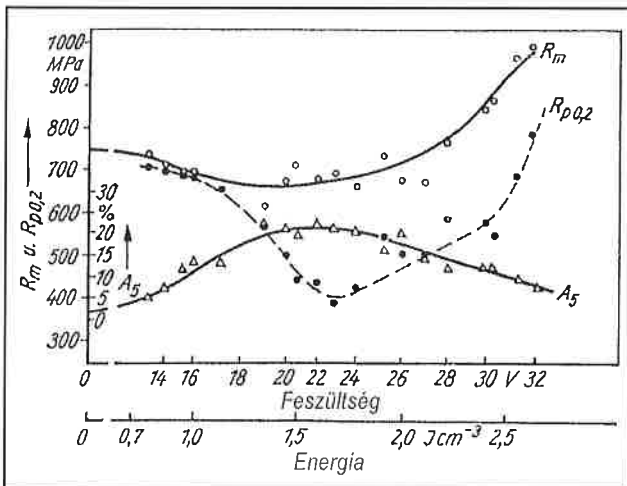
A fémek és ötvözetek javításának egyik legfontosabb tényezője az anyagszerkezeti ismeretanyag növekedése. Ez megmutatkozik abban, hogy egyrészt állandóan új kémiai összetételű és velük fokozatosan javuló anyagok kerülnek előállításra és felhasználásra, másrészt pedig a már gyártott anyagoknak az előállítási technológiájukat változtatva javulnak az anyagok tulajdonságai, aminek fejlesztése és eredményessége nem képzelhető el az állandó anyagvizsgálat nélkül.

Az 5. ábra azt szemlélteti néhány közel azonos összetételű, vagy nagyon kis összetételbeli eltérést anyagi szakítódigrammjával, hogy azok tulajdonságai milyen mértékben változtathatók, sokszor egyszerű technológiai művelettel. A „gyorshőkezelt” és a „szénacél” jelű anyagok összetételét az egyszerű analitikai eljárások szerint azonosnak kell tekinteni, és ennek ellenére tulajdonságaik jelentősen eltérnek. A lényeges különbséget az okozza, hogy a gyors hőkezelt acélt, elektromos hevítéssel a rajta átvett árammal 3 s alatt ausztenites szerkezetűvé hevítettük, majd vízben hűtöttük. Ennek az eredménye az, hogy az így kezelt acéloknak a szilárdsági mutatói közel a háromszorosára nőttek, nagyon kismértékű képlékenység-csökkenés mellett. Az SAE 980X és a GM 980 jelű acélok összetétele szintén megegyezik, de a GM 980 jelűt az ún. dual phase szerkezettel állították elő biztosítva azt, hogy a szilárdsági mutatók mellett a GM 980 jelű acél alakíthatósága jelentősen javult. Az SAE 950 kémiai összetételben tér el a többitől és az összetétel változásának a lehetőségét mutatja az anyagi tulajdonságoknak a változtatására.

A 6. ábra olyan mérésorozat eredményét szemlélteti egy eredetileg



5. ábra. Az anyagok fejlődésének bemutatása acélon



6. ábra. A gyors hőkezelt technológia hatása az előzetesen hidegen alakított acélhuzal szilárdságára

hidegen alakított, majd gyors hőkezelt acélon, amit különböző villamos energiával hevítettünk 3 s-ig, majd vízben hűtöttünk. Az ábra jól szemlélteti, hogy még az azonos összetételű és kiindulási szerkezetű anyagoknak a tulajdonságait is milyen széles tartományban lehet változtatni a technológiai paraméterek módosításával. Ezt különösen azokra az anyagokra lehet könnyen és jól hasznosítani, melyekben a hőmérséklet változtatásának a hatására fázisátalakulás megy végbe. Ez a két lehetőség, a kémiai összetétel és a technológia változtatása szintén jelentős szerepet ró az anyagvizsgálatra.

Az anyagvizsgálatnak a szerepét a termék- és gyártásfejlesztésben csak akkor tudjuk mérlegelni, ha szemügyre vesszük a két említett terület, a gyártás- és a gyártmányfejlesztés céljait, mert az anyagvizsgálatnak is ugyanazokat a célokat kell szolgálni, mint a termelésnek. A termék- és gyártmányfejlesztésnek két célja van. Az egyik és – ami gazdasági feltételek között – talán a fontosabb, hogy a termelés gazdaságossága növekedjék, a másik cél pedig az, hogy a termékek egyre jobban szolgálják az életminőség színvonalának az emelését, mert csak ezen keresztül valósulhat meg a termelés növekvő haszna. Itt azért meg kell említeni azt is, hogy vannak a társadalomnak olyan feladatai is (oktatás,

egészségi ellátás, honvédelem stb.), melyeknél a gazdaságossági kérdés háttérbe szorult.

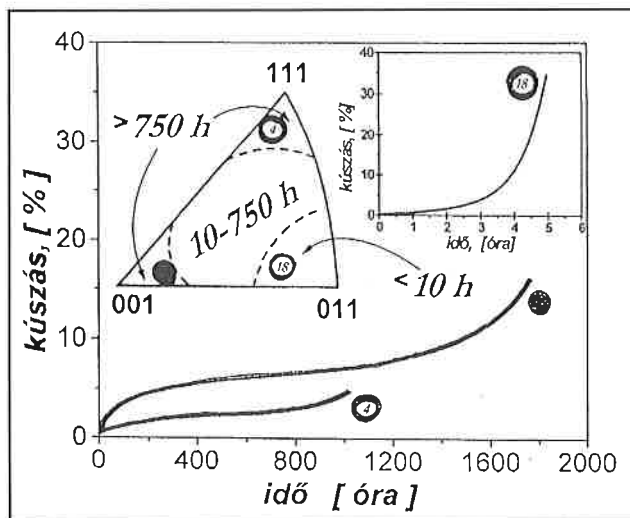
Az anyagvizsgálat akkor tölti be szerepét a termék- és gyártmányfejlesztésben, ha hozzájárul a termelés említett két céljának minél eredményesebb megvalósításához. A fejlesztés azonban egy nagyon összetett, rendkívül bonyolult feladat. Ennek ellenére a mérnöki ismeretanyag mai fejlettségi fokán gyakorlatilag minden társadalmi igény megoldható. Ezt igazolják azok az eredmények többek között, amit a világűr kutatásával kapcsolatban a tudomány és a technológia elért. A technológiához természetesen hozzá kell érteni az anyagvizsgálatot is. Csak a rendelkezésre álló pénzügyi feltételek okoznak gondot és jelentenek akadályt a további műszaki alkotások megvalósításában.

A termelés növekedésével és a termékekkel szemben támasztott egyre szigorodó minőségi követelményével az anyagvizsgálat bevonult a termelő üzemekbe és a felhasználói területekre. A technológia tulajdonságot változtató hatása miatt, bizonyos termékek anyagi tulajdonságait, már a megmunkáló gépek mellett vizsgálni kell. Ilyenek többek között az atomerőmű alkatrészek, az erőművek néhány berendezése, a gázturbinák kvázi egykristályból készített lapátjai stb.

Ismeretes, pl., hogy korábban a Ni alapú szuperötvözetek, melyeket nagy hőmérsékletű felhasználásra fejlesztettek ki, az utóbbi időben jelentős fejlesztésen mentek át. Ennek eredményeként olyan gázturbinában hasznosítják a belőlük készült lapátokat, melyek üzemi hőmérséklete ma már meghaladja a 1200 Celsius-fokot. A fejlesztés fő anyagszerkezeti eredménye az volt, hogy a korábban szilárd oldatú szerkezetű szuperötvözeteket ötvözéssel kiválósosan keményíthetővé változtatták. Ma ezek a szuperötvözetek Ni_3Al összetételű és a szilárd oldattal azonos, felületen középpontos köbös szerkezetű kiválásokat tartalmaznak.

Látszólag ellentmond a kiválásokat tartalmazó ötvözet nagy hőmérsékletű felhasználása annak a sokszor bizonyított tapasztalatnak, hogy a kiválás nagy hőmérsékleten eldurvulnak, aminek következtében az ötvözet szilárdsága csökken. Ennek elhárítására a kiválások növekedését okozó többlet szabadentalpia értéket, amit a szilárd oldat és a kiválás közötti fázishatárok okoznak, a minimálisra csökkentették azzal, hogy a Ni_3Al kiválásoknak a rácsparaméterét ötvözéssel olyan méretűre változtatták, mint amilyen a szilárd oldaté. Ezzel csökkent az ΔG , a fázishatárok által okozott szabadentalpia többlet, ami a fázisok eldurvulásának hajtóereje. A két fázis azonos kristályszerkezete és rácsparamétere miatt a kiválások eldurvulásának a sebessége nagyon lecsökkent, mert ilyen feltételek mellett koherens határ választja el a két fázist egymástól.

További szilárdságnövekedést okozott az, hogy olyan dermedési technológiát dolgoztak ki, ami a lapátok szilárd oldatú fázisát egykristályokként állítja elő. Így olyan orientációjú lapátokat gyártanak, melyek a legjobban megfelelnek a turbinalapátok terhelésével szembeni ellenállásnak. A 7. ábra azonos kémiai összetételű, de eltérő orientációjú, Ni alapú szuperötvözet kúszási görbéit mutatja. A diagrammokról egy-



7. ábra. A Ni alapú ötvözetek egykristályainak kúszásgörbéi a különböző irányú alakváltozások függvényében

értelműen kiderül, hogy jelentős eltérések adódnak az eltérő orientációjú próbatestek alakváltozására. A 18 jelű próbatest már 2-3 óra után, a kúszás harmadik, gyorsuló szakaszába lép, míg a 4 orientációjú próbatest 800, a 16 orientációjú pedig csak 1200 óra után kezd gyorsulva nyúlni.

Az eddigiekből az derül ki, hogy pl. a turbinalapátoknál a kémiai összetétel mellett ellenőrizni kell a szilárd oldat orientációját és a kiválások méretét is. Ez az anyagvizsgálatnak további, olyan feladatának a kibővítését jelenti, amit korábban csak a kutatásnál vettek figyelembe. Azonban ehhez hasonló kibővített feladatot jelent az atomerőművekben a nagyenergiájú részecskék (neutronok, elektronok, protonok stb.) besugárzása által okozott anyagszerkezeti károsodás ellenőrzése anyagvizsgálattal. Meg lehet említeni a hőerőművekben is a csövezetek szerkezetváltozása által okozott elhasználódást. Az ilyen és ehhez hasonló feladatok az anyagvizsgálat egyre több és nagyobb szakismeretet igénylő, a termelésben igénybevett szerepének a kiterjedésével kell számolni.

A termékek fejlesztésével bővült azoknak a berendezéseknek a használata, melyek meghibásodása emberi életek elvesztésével és nagy károkkal jár. Csak utalunk a Csernobili-katasztrófára és arra, hogy ma, a nagy, több mint 300 utast szállító repülőgépek leszállás nélkül jutnak el Londonból Tokióba. Ezeknek a berendezéseknek az alkatrészeit a legszigorúbb anyagvizsgálatnak vetik alá, hogy a balesetek elkerüljék.

Felvetődik a kérdés, hogy mi az oka annak, hogy pontosan betartott, minden technológiai lépésen nagy gonddal készített és ellenőrzött alkatrészek tulajdonságai szórnak? Így pl. az azonos technológiával készített egykristály próbatestek között előfordul, hogy van olyan, mely két, vagy több kristallitból áll. Ezeket természetesen a további gyártásból ki kell emelni. A jónak, a kitűnőnek minősített alkatrészek tulajdonságai is szórnak. A szórás bizonyos mértékig csökkenthető, de teljesen nem szüntethető meg. Ugyanez vonatkozik a számunkra sokkal fontosabb, az ember mindennapi életéhez szükséges és javuló termékek fejlesztett termelése során felvetődő feladatok megoldásánál is. Van azonban egy jelenlegi ismereteinkkel áthidalhatatlan nehézség, ami az anyagok tulajdonságainak a szórásából adódik. Ennek az oka az, hogy mai ismereteink szerint nem tudunk azonos termodinamikai állapotú anyagokat előállítani. Az azonos termodinamikai állapotú anyagoknak ugyanis nem lenne szórása. A termodinamika szerint, az azonos termodinamikai állapotú anyagok azonos tulajdonságúak. Nézzük meg röviden ezt a problémát két próbatesten, mint termodinamikai rendszereken szabadentalpiájuk állapotfüggvényének mérlegelésével. Tegyük fel, hogy a két próbatest termodinamikai állapota egyenlő. Ennek a két próbatestnek a G szabadentalpia függvényére azt írhatjuk, hogy:

$$G_1 = U_1 - TS_1 + P_1V_1 = U_2 - TS_2 + P_2V_2 = G_2$$

Itt U a belső energiát, S az entrópiát P a nyomást (feszültséget) V a fajtérfogatot jelenti, az indexbe írt számok az 1 ill. 2 jelű próbatestre utalnak. A felírt egyenlőség teljesülését és két próbatest egyenlő szabadentalpiáját elérni – legalábbis elvben – nem nehéz megvalósítani, amint azt a következő gondolat kísérlettel megpróbáljuk igazolni. Gondolatban vegyünk két azonos összetételű próbatestet. Az egyiket, az 1 jelűt, melegítsük az olvadáspontja közelébe T hőmérsékletre, majd gyorsan hűtsük vissza szobahőmérsékletre. Az így kezelt próbatestben közel azonos lesz a ponthibák koncentrációja, mint ami az egyensúlyi mennyiségűnek megfelel T hőmérsékleten, amit az alábbi egyenlet ad meg:

$$n = Ne^{-\frac{Q}{kT}}$$

ahol n a T hőmérsékleten az egyensúlyi üres rácshelyek száma, N a próbatest valamennyi rácspontjainak száma, Q egy üres rácshely keletkezési energiája és k a Boltzmann-állandó. Ezeknek a többlet üres helyeknek a hatására a próbatest szabadentalpiája megnőtt ΔG értékkel.

A másik a 2 jelű próbatest szabadentalpiáját növeljük meg ugyanazzal a ΔG szabadentalpia értékkel, de képlékeny alakítással. A képlékeny alakítás által okozott többlet diszlokációk hatására nő meg a szabadentalpia. A két művelet után a két próbatest szabadentalpiája ismét egyenlő lesz, de senki sem gondolja azt, hogy tulajdonságaik azonosak lesznek. Az azonos tulajdonságot a szabadentalpiának az azonosága és nem az egyenlősége biztosítja. Ez pedig azt jelenti, hogy mindkét darabban mindenféle kristályhiba-koncentrációnak azonosnak kell lenni. Ezen kívül, mindegyik hibának ugyanolyan kölcsönhatásúnak kell lenni a többiekkel. A darabok mérete pontosan meg kell, hogy egyezzen, de

ez sem elég, mert pl. a felületet képező kristallitok felületi energiája is anizotróp tulajdonság, orientációfüggő, az pedig nyilván elképzelhetetlen, hogy minden kristallitfelület, ami a próbatest felületét képezi azonos nagyságú és orientációjú. A sort még oldalakon keresztül lehetne folytatni, hogy milyen sok mikroszerkezeti feltételnek kellene teljesülnie, hogy a munkadarabok tulajdonságai és velük termodinamikai állapotuk szórásmentes legyen.

A fenti termodinamikai érvelés fontossága igazolja azt a tényt, hogy ma az atomerőművekben, a repülőgépekben, a gázturbinákban és számos helyen, főleg ahol emberéletek, vagy nagy értékek kerülhetnek veszélybe, az alkatrészeket meghatározott üzemidő után gondos anyagvizsgálatnak kell alávetni, és az elhasználdott darabokat ki kell cserélni. Mindennek az oka az, hogy az alkatrész használatbavételének $t = 0$ időpontjában a mért tulajdonságok a G_0 termodinamikai állapotnak felelnek meg. A beépített darabok bizonyos szóráson belül ugyan megfelelnek a nagyon szigorú előírásoknak, azonban a használat során a termodinamika által meghatározott szerkezet- és tulajdonság-változások mennek végbe. Ezek a szerkezetváltozások mind olyanok, hogy az al-

katrész szabadentalpiáját csökkentik, mert minden testben – adott termodinamikai feltételek mellett – csak olyan változások mehetnek végbe, melyek a rendszer stabilitását növelik, vagyis a szabadentalpiát csökkentik, és ez természetesen a tulajdonságok változását okozza.

Ebből következik az a követelmény, hogy az alkatrészeket meghatározott használati idő után ellenőrizni kell. Ez főleg a nagyenergiájú részecskével besugárzott anyagokra és az olyan alkatrészekre vonatkoznak, melyeket nagyobb hőmérsékleteken működtetnek és/vagy időben változó terhelésnek tesznek ki.

Az alkatrészek szerkezetében végbemenő változásokra áttekintő képet ad az adott anyagra vonatkozó *alakváltozási mechanizmusok térképe* (deformation-mechanism map). A 8. ábra mutatja az alumínium, az ólom és a volfrám alakváltozási mechanizmusainak térképeit. A térképeknek a vízszintes alsó tengelyein a T/T_{op} homológ hőmérséklet, a tényleges és az olvadáspont kelvinben kifejezett hőmérsékleteinek a hányadosa, a felső vízszintes tengelyeken pedig az adott hőmérsékletek °C-ban kifejezett értékei olvashatók le. A baloldali függőleges tengelyen a normalizált csúszatófeszültség, a terhelő csúszatófeszültségnek és a csúszató rugalmassági modulusnak a hányadosa, a jobboldali függőleges tengelyen pedig a tényleges csúszatófeszültség van skálázva MN/m^2 egységekben.

A három anyag térképe ugyanazokat a jellegzetességeket mutatja és nagyon hasonlók, ami többek között azt jelenti, hogy az alumínium és a volfrám, pl. 0,7 homológ hőmérsékleten 10^4 normalizált csúszatófeszültségű terhelés mellett hasonlóan viselkednek. Bennük ugyanaz az alakváltoztató mechanizmus, a diszlokációs kúszás megy végbe. Azt azonban meg kell jegyezni, hogy míg az alumínium tényleges hőmérséklete 400 °C, addig a volfrámé 2600 °C a 0,7 homológ hőmérsékleten.

Az alakváltozási térképek mutatják, hogy az alkatrészek terhelése során milyen mechanizmusok működnek, és azok szerkezetváltozásokat okoznak, amik tulajdonság-változásokra vezetnek. Ezeknek a változásoknak az oka az, hogy az alkatrészeket bizonyos terhelési idő után az eredetüktől eltérő tulajdonságúak és ezért újra nagyon gondos ellenőrzésnek kell azokat kiténni, és az elhasználdottakat ki kell cserélni. Az ilyen ellenőrzések miatt az anyagvizsgálat feladata is megnőtt, és sok esetben, pl. a repülőgépeknél a méréseket a repülőtereken végzik el.

A fentiekben néhány problémát vettem fel az anyagvizsgálat egyre szélesedő területen végzendő feladatairól, szerepeiről. Természetesen egy ilyen áttekintés mindig tartalmazhat kihagyásokat, elhanyagolásokat. Mindenesetre azt kell tudomásul vennünk, hogy a termelés fejlődése szakadatlanul folyik, és az utóbbi évek eredményeiből és törekvéseiből arra következtethetünk nagy bizonyossággal, hogy az anyagvizsgálat feladatai és szerepei a fejlesztésben az általános fejlődésnél gyorsabban nőnek, mint a termelésé. Erre utal az, hogy a termelésnek elsősorban a nagyobb feladatai azok, melyek foglalkoztatják a társadalmat és azon keresztül a kutatókat, az anyagvizsgálókat és a termelőket.

Összefoglalva az anyagvizsgálat szerepeit az alábbiak a legjellemzőbbek:

Az anyagvizsgálat eredményeire a termelés fokozottan és egyre fokozottabban támaszkodik.

Az anyagvizsgálat ma már mindenhol szerephez jut, ahol anyagot és termékeket használnak, megmunkálnak, vesznek és eladnak.

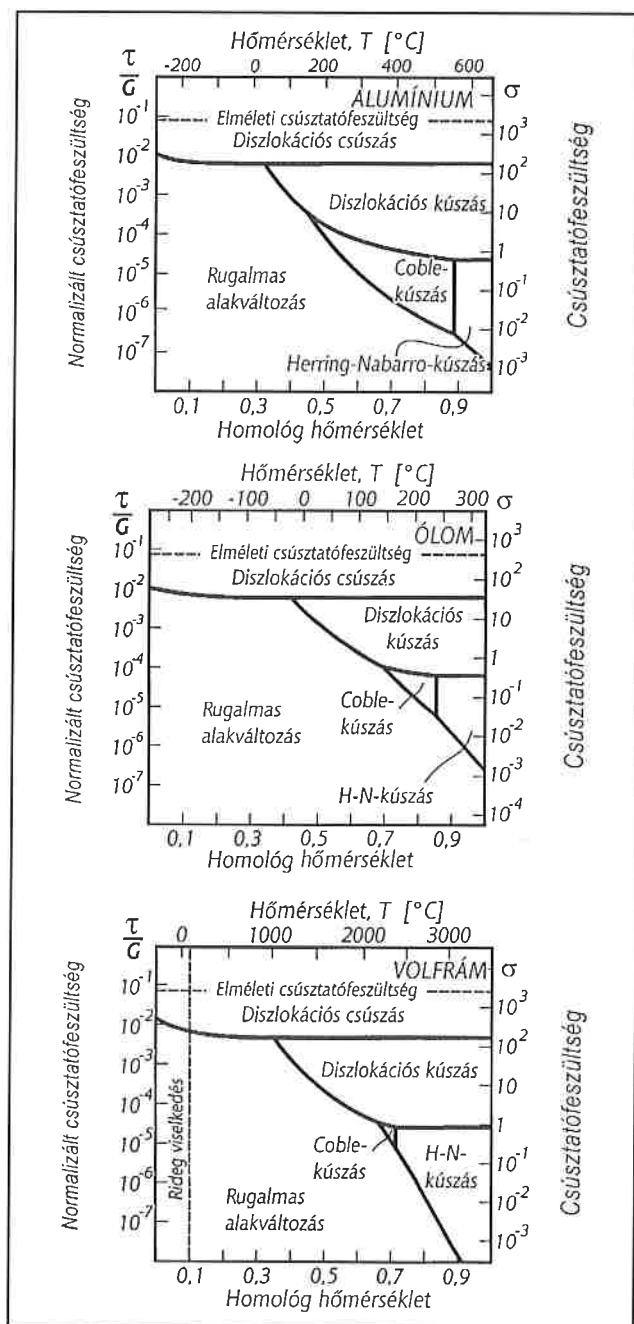
Az anyagvizsgálat szerepe egyre szélesebb területeken válik meghatározóvá, mert a tömeggyártással nem lehet – vagy nagyon költséges – mindenhol, minden darabot ellenőrizni. Szerepét kap a statisztikus ellenőrzés.

Az anyagvizsgálat kivételes szerepet kap azokon a helyeken, ahol a használat közbeni terhelés az alkatrészek tulajdonságait oly mértékben változtathatja meg, ami a további felhasználást veszélyessé teszi.

Az anyagvizsgálat egyre szigorúbb és lehetőleg mindenre kiterjedő ellenőrző és fejlesztést segítő tevékenységgé válik.

Az anyagvizsgálat eszközrendszerének növekvő igénye, nagy változásokat hozott a használandó berendezésekben és további fejlesztésre készíti az anyagvizsgáló berendezéseket tervező és gyártó vállalatokat.

Az anyagvizsgálat szoros kapcsolatban az anyagtudománnyal, az általános és egyre bővülő mérnöki ismeretanyagnak szerves része.



8. ábra. Három fém alakváltozási mechanizmusának a térképe.