

DOBRÁNSZKY JÁNOS

Titán: a fém, amelyet a repülés tett naggyá

A cikkben a szerző bemutatja a titánötvözetek legfontosabb tulajdonságait, ismerteti a fémtitán gyártására W. Kroll által kidolgozott módszert, és szemléletes illusztrációkon keresztül betekintést nyújt a titánötvözetek alkalmazásába. Számos adatsor ismertetésével tekinti át a titán vilá piacának forgalmi adatait, valamint a közelmúlt hazai titánimportjának szerkezetét.

A titán tulajdonságai

A 22-es rendszámú titán a színesfémek egyik jól ismert fajtája. 1790-ben (vagy 1791-ben) fedezte fel William Gregor angol szerzetes Cornwall-i vasércben, és tőle teljesen függetlenül – mégpedig Magyarországon! – Martin Heinrich Klaproth német vegyész, aki a „keresztapja” is volt az új elemnek, amikor szeparálta az általa „magyar vörös turmalin” néven említett titán-dioxidot, azaz a rutilt. A fémtitánt – amelyet eleinte menachin néven is emlegettek az egyik érce, a menachanit (ma már inkább ilmenit) után – elsőként J. J. Berzelius izolálta 1825-ben, de előállítani csak 1910-ben sikerült az Új-Zélandi születésű amerikai Matthew A. Hunternek a Rensselaer Polytechnic Institute-ban. Alkalmazási területei miatt bátran a legfontosabb színesfémek szűk elitjébe sorolhatjuk, az alumínium, a réz, a nikkel és a horgany társaságában. Nagy hőmérsékleteken erős affinitást mutat az oxigén, a nitrogén, a hidrogén és a karbon iránt, emiatt számos nehézség adódik a gyártásánál és az alkalmazásainál.

Az ötvözetlen titánnak szilárd fázisban két allotrop módosulata ismert. A

Dobránszky János 1986-ban szerzett gépészmérnöki, 1989-ben hegesztő szakmérnöki oklevelet a BME-n. Az MTA–BME Fémtechnológiai Kutatócsoportjában dolgozik 1987 óta. Lapunk Fémkohászat rovatának szerkesztője.

882°C-ig, az ún. T_{β} hőmérsékletig stabil alfa-titán legsűrűbb hexagonális kristályszerkezetű, 25 °C-on a rácsparamétere: $a = 285$ pm és $c = 468$ pm. A csak 882 °C-tól az olvadáspontig (1668 °C) stabil béta-titán térközepes köbös rács szerkezetű ($a = 332$ pm), és fajtérfogata nagyobb, mint az alfa-titáné. Az ötvözés

hatására szobahőmérsékleten is stabil alfa+béta kétfázisú tartomány jelenhet meg az egyensúlyi diagramokon. Nagy nyomáson további allotrop módosulatok is létrejönnek: ω Ti, γ Ti [22].

Más fémekkel összehasonlítva, meglehetősen jelentős különbségek mutatkoznak a fizikai tulajdonságokban. Az 1. táblázat tartalmazza a titán a vas és az alumínium néhány jellemző fizikai tulajdonságát. Szilárdságának növelésére elsősorban az Al-t és a V-t alkalmazzák.

Miként az alumínium vagy a króm, a titán is passzívulódik, vagyis a fémes felületen egy jól tapadó, összefüggő

1. TÁBLÁZAT. A titán, a vas és az alumínium néhány fizikai tulajdonsága

	Titán	Vas	Alumínium
Sűrűség [g/cm ³]	4,51	7,8	2,7
Olvadáspont [°C]	1668 ± 10 °C	1536 °C	660 °C
Young-modulus	110 000 MPa	204 000 MPa	71 000 MPa
Hővezetési tényező	21,6 W/mK	71 W/mK	242 W/mK
Hőtágulási együttható 0–100 °C-on	8,64 · 10 ⁻⁶ K ⁻¹	12,3 · 10 ⁻⁶	23,7 · 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Fajhő	0,518 J/(kg · K)		900 J/(kg · K)
Fajlagos ellenállás	47,8 mW · cm		2,6548 mW · cm
Mágneses szuszceptibilitás	1,25 · 10 ⁻⁶		0,3 · 10 ⁻³

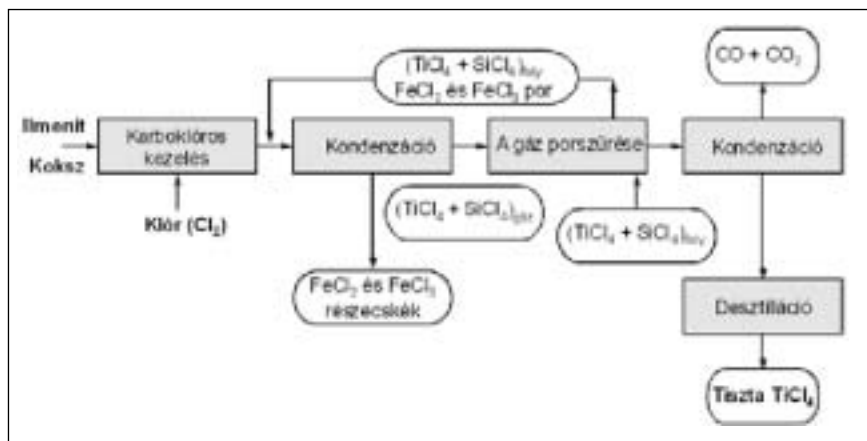
2. TÁBLÁZAT. A titán, a Monel és az alumínium korróziós viselkedése tengervízben

Áramlási sebesség [m/s]	Kitéti idő [nap]	Korróziósebesség [mm/év]		
		Titán (T40)	Cu-Ni 70/30 („Monel”)	Al
9,8	365	< 0,0025	0,3	1,0
8,5	60	1,2 × 10 ⁻⁴	0,05	—
7,2	30	5,10 × 10 ⁻⁴	0,12	—

3. TÁBLÁZAT. A titán és a 18/10-es ausztenites acél korróziós viselkedése forrásban lévő, 90%-os salétromsavoldatban

A fémfelület hőmérséklete	Titán (T40) [mm/év]	18/10 acél [mm/év]
116 °C	0,03–0,17	3,8–13,2

védőoxidréteg alakul ki, amely kivételesen jó korrózióval szembeni ellenállást biztosít a titánnak és a titánötvözeteknek, beleértve az eróziós korrózióval, valamint a halogénidekkel szembeni ellenállást is. Ez a kiváló passzivitás az alapja a biokompatibilis anyagként való felhasználásnak is. Ugyanakkor meglehetősen gyengén áll ellen a forró, tömény savaknak (sósav, kénsav, szerves savak). A 2. és a 3. táblázat adataiból összehasonlítható a titán és más ötvözetek korróziósebessége tengervízben, ill. forró salétromsavoldatban [8].



■ 1. ÁBRA. A titán-tetraklorid előállításának fő szakaszai

A titán előállítása

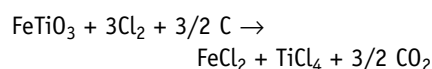
1990-ben a világ titántermelése kb. 100 ezer tonna volt, mára ez az érték mintegy a felére zsugorodott. A két legfontosabb titántartalmú érc a rutil, amely a természetes TiO_2 , valamint a vastartalmú ilmenit ($FeTiO_3$). A szokásos ércelőkészítési technológiákkal 90–99% titánoxid-tartalmú rutilt és 40–60%-os ilmenitet lehet kapni. 2000-es adatok szerint a titánércnek legnagyobb termelői sorrendben a következő országok: Ausztrália (1433 kt), Dél-Afrika (1057 kt), Kanada (760 kt), Ukrajna (331 kt), Norvégia (309 kt) és az USA (300 kt). Rajtuk kívül India, Kína, Malaysia és Brazília tartozik az első tízbe.

A világ titánigényét messzemenően a titán-dioxid határozza meg, hiszen a fémkereslet mindössze 6%-át teszi ki a teljes szükségletnek. A festékipar részesedése 59% (festékek, tintafestékek is), a műanyag- és gumiiparé 21%, a papír- iparé pedig 13%. A közönséges műanyagok rutiltartalma 3–25% között mozog: padlók, tetőfedési anyagok, de leginkább nájlonzacsok és vinilből készült ablakkeretek gyártásánál alkalmazzák, ugyanis növeli az átlátszatlanságot és védi a polimert az UV-sugárzás káros hatásaitól. A papírgyártásban a rutilpigmentet az átlátszóság csökkentésére és a fényesség növelésére használják: a jellemző mennyiség kisebb, mint 5%. A nem titán-oxidos papírokhoz jóval több töltőanyag szükséges. A rutil viszont erősen koptatja a gyártóhengereket, ezért kifejlesztették a csak mérsékelten koptató szemcsézetű pigmenteket. Az USA-ban több, mint 1 millió tonna a rutilpigment-felhasználás [9].

A fémek nagy többségéhez hasonlóan a fémtitán előállításának is két fő szakasza van: első lépésként a titánszivacs előállítása, majd a szekunder metallurgia, vagyis a raffinálás, a vákuumos ötvözés és a kohászati alakítási technológiák (kovácsolás, hengerlés). Amint az Ellingham-diagramról ismert, a titán oxigénhez való affinitása igen nagy, emiatt a titán-oxid direkt redukciója gyakorlatilag nem lehetséges. Lévéen a titán erős karbidképző, az egészen specifikus titán- és cirkonmetallurgia egy intermedier terméket használ fel: a fém kloridját. A titán-tetraklorid lehetővé teszi az érc további komponenseitől való elválasztást, majd oxigénmentes közegben történik meg a kloridok metallotermikus redukciója. A metallurgiai folyamat fő szakaszai a következők [10]:

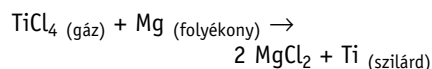
a) Az érc (ilmenit) kis forrpontú, gáz fázisú kloriddá alakítása karbokloros kezeléssel (a reakció erősen exoterm). Az 1. ábrán vázolt folyamat mintegy 800 °C-on, vákuumban vagy védőgáz-

ban a következő egyenlet szerint megy végbe:



b) A titán-tetraklorid gáz (forrpontja 136°C) szeparálása, tisztítása, desztillálása.

c) A titán-tetraklorid redukciója magnéziummal a Kroll-eljárás keretében (metallotermikus kezelés) a következő reakció szerint:

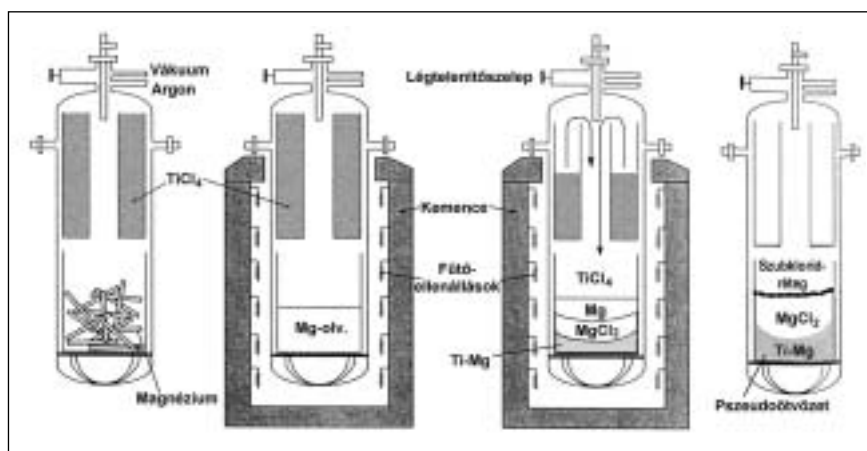


d) Vákuumos lepárlás a titánnak a magnéziumtól való elválasztására: e folyamat végterméke a titánszivacs.

e) A magnézium-klorid elektrolízise a fém visszanyerése érdekében,

f) A titánszivacs vákuumos olvasztása, tisztítása, képlékenyalakítása.

A 650°C-on olvadó magnézium helyett esetenként nátriumot is alkalmaznak: ez a Hunter-eljárás lényegi eltérése a Kroll-



■ 2. ÁBRA. A titán-tetraklorid redukciója a Kroll-féle módszerrel

eljárástól. A Kroll-féle redukciós módszer 4 lépést illusztrálja a 2. ábra. A reaktor hőálló acélból készült zárható tartályának aljára szilárd magnézium kerül, a titán-tetraklorid pedig gyűrű alakú kosarakba. A tartály leszívása után felfűtik a kemencét, amelyben megolvad a magnézium, és a középső zónában intenzíven szublimálni kezd a titán-tetraklorid, amelynek gőze nehezebb az argonnál, ezért leszáll a magnéziumolvadék felületére, és reakcióba lép vele. E reakció mechanizmusa nem ismert, de végeredményben kis, mintegy 10 mikrométeres titánrészecskék képződnek. A titánrészecskék elkeverednek, de nem oldódnak, de ülepednek a magnéziumban – ezért nevezik ezt a végül kb. 30% Mg-tartalmú elegyet pszeudoötvözetnek. A reakciótermékek felső rétegében a magnézium-klorid helyezkedik el, amelynek a tetején néhány szubklorid alkot egy vékony réteget. Ezeket a frakciókat a reaktortartály kinyitása után mechanikai módszerekkel választják el.

A titán (ill. a cirkon) elválasztása a magnéziumtól a pszeudoötvözet desztillálásával történik, amelyet vákuumos hangkémencében végeznek kb. 1000 °C-on. A magnézium elpárolog, és kondenzáció után visszanyerhető. A Mg kipárolgása a pszeudoötvözetből erősen póruossá teszi a titánt, amely termék innen kapta a titánszivacs elnevezést.

A titánszivacsgyártás energiafogyasztása kb. 45 ezer kWh/t (a cirkoné 57 ezer), amelyből 12 ezer kWh/t esik a magnéziumnak a kloridjából való visszanyeréshez szükséges elektrolízisre.

A szekunder metallurgia keretében a titánszivacsot átolvasztják, majd a végtermékek megfelelő bugákat öntenek, s ezeket hengerlik, ill. kovácsolják. Az átolvasztási technológiák közül leginkább a vákuumos ívkemencés átolvasztás, az elektronsugaras átolvasztás (Electron Beam Cold Hearth Melting) és a plazmaíves átolvasztás terjedt el.

Az elektroszalagos átolvasztás nem nyert teret, pedig számos olyan fejlesztési lépésen ment keresztül, amelyek gazdaságosságban is és minőségben is a többi módszer elé helyeznék [11]. Ehhez azonban jelentős beruházások kellenének, amelynek nem kedvez a stagnáló, sőt szűkülő piac. Valószínűleg ugyanezen okból maradt mindeddig csak álom a folyamatos öntés is. Ennek ellenére fo-



■ 3. ÁBRA. Helikopter-hajtóművek alkatrészei

lyamatosan születnek az új kutatási eredmények és az új metallurgiai módszerek, pl. az ultratisztaságú titán előállítására a CMSF-eljárás (Clean Metal Spray Forming) [12].

A legfontosabb titánötvözetek

A titánötvözetekre a nagy felhasználók a saját szabványos jelöléseiket alkalmazzák, az USA-ban 7 különféle szabványt használnak, ezért ennek áttekintése igen körülményes lenne. A titán ötvözőelemei két csoportra oszthatók. Az alfa-képzők: Al, O, C és N. A béta-képzők között 3 csoport képezhető. Az izomorf bétatitán képzők korlátlanul oldódnak a titánban: Mo, V, Nb. Az eutektoidos bétatitán képzők kiválásokat képeznek: Mn, Fe, Cr, Si, Ni, Cu. A semleges bétaképzőknek csekély hatásuk van a Tb hőmérsékletre, ezek a Zr és az Sn [13].

Az ötvözők szövetszerkezetre gyakorolt hatása alapján 3 nagy családba sorolhatók az egyes ötvözet típusok, nevezetesen a kvázi- α , az $\alpha+\beta$ és a kvázi- β csoportba. Miként a rozsdamentes acéloknl a Schäffler-diagramon, a titánötvözeteknél is alkalmazzák a szövetszerkezet szerinti ábrázolást. A vízszintes tengelyre a Mo-egyenérték, a függőlegesre pedig az Al-egyenérték kerül:

$$Al_{eq} = Al + \frac{Sn}{3} + \frac{Zr}{6} + 10(O + C + 2N)$$

$$Mo_{eq} = Al + \frac{V}{1,5} + \frac{Cr}{0,6} + \frac{Fe}{0,35} + \frac{Cu}{1,3} + \frac{Nb}{3,6}$$

Korrózióálló titántípusok

Erre a célra az ötvözetlen (T35...T60) és a gyengén ötvözött (Ti-0,2Pd; Ti-08Ni-0,3Mo) típusokat használják amelyek közepes szilárdságúak. A szilárdságnövekedést a növekvő oxigéntartalom biztosítja. Felhasználásukban meghatározó jelentőségű az ár. Az ötvözött típusok közül a Ta3V, β C (3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo) és a β 21S (15Mo-3Nb-3Al-0,2Si) típusok tartoznak e csoportba.

Az orvostechnikai alkalmazásokban az ötvözetlen titán mellett a következő ötvözetek terjedtek el: Ti-6Al-4V ELI, Ti-6Al-4V, Ti-6Al-7Nb (IMI367), Ti-5Al-2,5Fe, Ti-6Al-4V (TA6V), Ti-13Nb-13Zr, Ti-12Mo-6Zr-2Fe.

Nagy szilárdságú titántípusok

Legalább másfél tucatnyi típust lehet ebbe a kategóriába sorolni. Ötvözőtartalmuk 25%-ig terjed, folyáshatáruk meghaladja a 800 MPa-t. A legelterjedtebb típus immár 40 éve a 6% Al-t és 4% V-t tartalmazó TA6V (ASTM Grade 5), amely a titánötvözetek piacának több, mint a felét fedi le. Szövetszerkezetére nézve alfa+béta ötvözet.

A repülőgépek hajtóműveinek és szerkezeti elemeinek, további a kriogéntechnikai berendezéseknek a fontos alapanyaga. Szuperképlekenyen is jól alakítható, ezzel a technológiával préselik egyetlen darabból egyes harc repülőgépek haslemezeit. Az űrtechnikai eszközök alapanyagául szolgáló Ti-10V-2Fe-3Al ötvözet folyáshatára meghaladja az 1200 MPa-t.

Kúszásálló és hőálló ötvözetek

A nikkelötvözeteknél jóval nagyobb szilárdságuk és kisebb tömegük miatt játszanak fontos szerepet, de rendkívül drágák. A 700 °C-ig alkalmazható, 24% Al és 11% Nb-tartalmú „alpha two” ötvözet ára 4-5-szöröse a „kommersz” típusokénak.

A titán és ötvözeiteinek alkalmazása

A titán alkalmazási területe – köszönhetően a különleges fizikai, mechanikai, és korróziós tulajdonságainak – igen kiter-



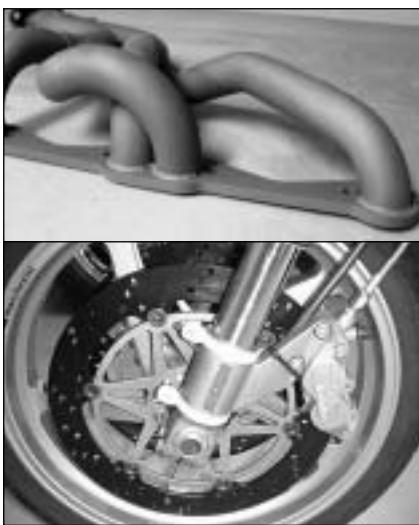
■ 4. ÁBRA. Az Airbus 380

jedt, amint azt az alábbi példák is ilusztrálják:

- Turbóreaktorok, gázturbinák: a sűrűsége vetített fajlagos szilárdság kiemelkedően jó értéke mellett a 600 °C feletti hő- és korrózióállóság a magyarázata a Ti-ötvözetek ilyen irányú felhasználásokban játszott meghatározó szerepének. A helikopter-hajtóművek alkatrészein túl (3. ábra) fontos szerepet kaptak a titánötvözetek az Airbus 380 szuperutasszállító (4. ábra) valamint az F/A-22 vadászbombázó hajtóműveinél is. Ez utóbbi repülőgép (5. ábra) szerkezeti anyagainak 39%-a ti-



■ 6. ÁBRA. Vegyipari osztófej



■ 7. ÁBRA. Versenyautók és -motorok alkatrészei

tánötvözet [14] (mellette 24% kompozit, 16% alumíniumötvözet és 1% műanyag, s csak a maradék acél).

Az 1962-ben kezdődött Concorde-programban kifejlesztett gépek 185 tonnás saját tömegének 2%-a volt titánötvözet, az új Airbus-oknál ez az érték 6% (15 tonna titán, továbbá 140 tonna Al-ötvözet és 35 tonna műanyag).

- Vegyipari szivattyúk, csővezetékek, hőcserélők: ezekben az alkalmazásokban a kiváló korrózióállóság a meghatározó (6. ábra).
- Versenyautók, versenymotorok nagy terhelésnek kitett alkatrészei: a kedvező sűrűség révén csökkenthető az alkatrészek tehetetlenségi nyomatéka, ill. a motor és a járművek tömege. A rugóként való alkalmazásokban az acélénak csak a felét kitevő rugalmassági modulus előnyeit aknázzák ki, emellett szelepek, hajtókarok, dugattyúk, kipufogórendszerek, féktárcsák alapanyaga lehet a titán (7. ábra).
- Páncélatok, fegyverek: az olcsónak



■ 9. ÁBRA. Kézfegyverek



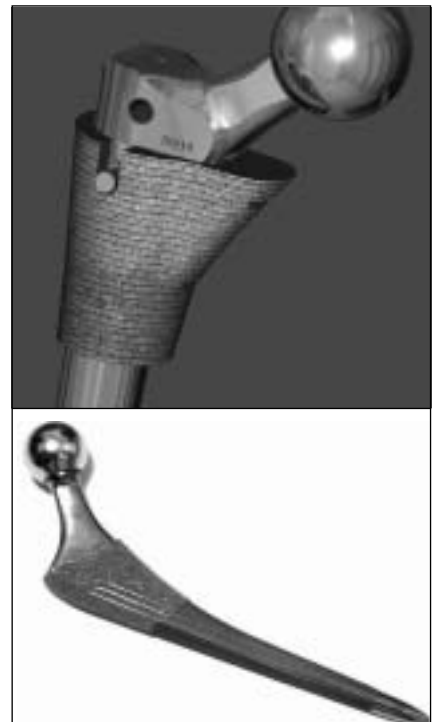
■ 5. ÁBRA. Az F/A-22 fő szerkezeti anyaga titánötvözet



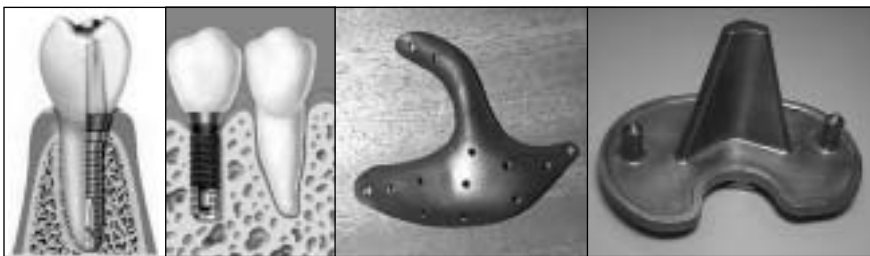
■ 8. ÁBRA. Védőeszközök

számító titántípusok alkalmazásával számos esetben helyettesíthető az acél mind a katonai, mind pedig a polgári eszközök lövedékek elleni páncéltáinál. A legkorszerűbb amerikai harcirepülőgépek haspáncéljától a golyóálló sisakon (8. ábra), ill. a bűvár-mellényeken át a kézfegyverekig igen széles az alkalmazás (9. ábra).

- Protézisek, orvosi eszközök: számos orvostechnikai alkalmazásban – sebészeti, fogászati, kardiológiai protézisek, rögzítők, orvosi műszerek, kere-



■ 10. ÁBRA. Csípőprotézisek



■ 11. ÁBRA. Fogászati és koponyacsont- és térdízület-ptotézisek

keskocsik, hordágyak stb. – használják ki a titán szilárdságát, mágnesességét, kis tömegét és főleg a biokompatibilitását (10–12. ábra).

- Sportszerek: a titán az egyik slágeranyag a sportszerek gyártásában, lényegében „nemes” anyagnak tekintik a fogyasztók. Ezt a megítélés a kétségtelenül nem csekély ár mellett a kiváló funkcionális jellemzők miatt is megérdemelt. Golfütők, teniszütők, tollaslabdaütők, kerékpárok, horgászorsók stb. készülnek titánötvözetekből (13. ábra).
- Órágyártás, optikai eszközök: a már



■ 12. ÁBRA. Gyógyászati eszközök

jól ismert kiváló tulajdonságok tették a titánötvözeteket a gyakran ékszer funkciót betöltő „felső kategóriás” órák, gyűrűk (a legolcsóbbak már 100 USD alatti áron elérhetőek), szemüvegek, fotócsikkok, távcsövek és egyéb díszítők alapanyagává (14. ábra).

- Építőipar: a nagy szilárdság és a kor-



■ 14. ÁBRA. Divatcikk



■ 13. ÁBRA. Sporteszközök

rózióállóság mellett különösen kedvez a titán „presztízsépületek” burkolatainak anyagként való alkalmazására az a körülmény, hogy anódos eloxálással szinte tetszés szerint színezhető a védőoxidréteg. Titánborítású ultramodern épületnek álmodta meg Paul Arnaux 1999-es díjnyertes pályázatában a pekingi nagyszínház épületét, és pl. titánlemezekkel borították a rekonstrukció során Chamonix-ban a XVI. századi templom tornyát is (15. ábra) [15]. Titánlemezek borítják a bilbaoi Guggenheim Múzeumot (16. ábra), az amsterdami Van Gogh Múzeumot, a glasgow-i National Scottish Science Centert, a singapore-i City Harvest Church-öt.

A titán felhasználásának szektorális megoszlását mutatja a 4. táblázat [16]. Más adatok szerint a felhasználás több mint 60%-a az aeronautikai iparra koncentrálódik [15]. A legnagyobb felhasználó az USA (10 ezer tonna) és Japán (4 et), rajtuk kívül Németország, Kína, Franciaország és Nagy-Britannia fogyasztása haladja meg az 1000 tonnát. A legfőbb mérföldkövek – amelyek a titánkeresletre és természetesen az árak válto-



■ 16. ÁBRA. Titánlemezrel bukott torony Chamini-x-ban

zására (17. ábra) is jelentős hatást gyakoroltak – a következők [9]:

- 1971. A Concorde-program vége
- 1975–76. Az F-14 és az F-15 repülőgépek gyártása
- 1977–81. Intenzív keresletnövekedés a polgári repülőgyártásból
- 1982–84. A polgári repülőgépek piacának összeomlása
- 1984–86. A B1-B bombázó gyártása
- 1985–89. A kereskedelmi repülőgépek piacának újraélnkülése
- 1988–89. Az USA titánszivacs-gyártókapacitásának bővülése
- 1990–94. Visszaesés a katonai és a polgári repülőgépiparban
- 1992. Az ashtabula-i (Ohio, USA) nátriumredukciós üzem bezárása
- 1993. Henderson-ban (NV, USA) beindul a magnéziumredukciós üzem
- 1994–97. Fellendülés a fogyasztói területen és a polgári repülőiparban
- 1997–98. Rendelés-visszmondások a polgári repülőiparban



■ 17. ÁBRA. A Guggenheim Múzeum Bilbaóban

A titán világszíci

A titán ipari méretű felhasználásáról az 1950-es évek elejétől lehet beszélni. 1940. előtt a fémtitán előállítását gazdaságosan lehetetlen volt. Ebben az évben dolgozta ki W. Kroll professzor az ilmenit karboklóros redukciós módszerét, amelynek végterméke a „titánszivacs”. A Kroll-eljárás nagyipari technológiaként 1947-ben debütált. Az 1990-es évek végének adatai alapján az 5. táblázat mutatja a titán fő világszíci mutatószámait, lehetővé téve az összehasonlítást a legfontosabb fém szerkezeti anyagokkal.

A titán hazai piaca

Magyarországon titángyártásról nem beszélhetünk, noha az 1950-es években voltak erre irányuló próbálkozások. A fémtitán feldolgozása évtizedek óta folyik olyan vállalatoknál, amelyek a gázturbinákat gyártó nagy európai cégek beszállítói, továbbá a vegyipari és gyógyszeripari berendezéseket gyártásában. A 18. ábra és a 6. táblázat arról tanúskodik, hogy a 2001-es visszaeséstől eltérően a hazai felhasználás folyamatosan bővül. Az 1998. évi egymillió dolláros (amellyel az export is összemérhető volt, és azt a felhasználás-

ból le kell vonni!) értékről 5 év alatt megnyolcszorosozódott. Szemben a világtrendekkel, ahol a repülőgépgyártás a fő felvevő piac, Magyarországon a vegyipar felhasználási dominanciája miatt a cső termékek szinte egyeduralkodónak számítanak az importon belül. 2003-ban, pl. a cső termékek tették ki az importmennyiség 78,3 és az importérték 85,9%-át.

A 19. ábra alapján – amely a logaritmusos lépték miatt kissé megtévesztő lehet – megállapítható, hogy hat év importadatainak összesítése alapján a szállító országok közül 17-nek a részesedése az 1%-ot sem éri el. A legnagyobb titán-szállító Japán, amely egymaga 55%-kal részesedik, továbbá Franciaország (20%) és Németország (13%). Annak az esetenként észlelhető vélekedésnek, hogy Olaszország nagy „titánforrás” lenne, nemigen van alapja, részesedése ugyanis a 3%-ot sem éri el.

4. TÁBLÁZAT. A titán fő felhasználási területeinek éves részesedése az ezredfordulón

Felhasználási terület	Mennyiség
Polgári repülés és űrhajózás	14000–19000 t
Katonai repülés és űrhajózás	3000–4000 t
Energetika és vegyipar	20000–25000 t
Sport és szabadidő	3000 t
Építőipar	500 t
Egészségügy	800 t
Egyéb (benne: óra és szemüveg)	1000 t
Összesen	42300–53300 t

5. TÁBLÁZAT. A titán és néhány más ötvözet világszíci mutatói az ezredfordulón

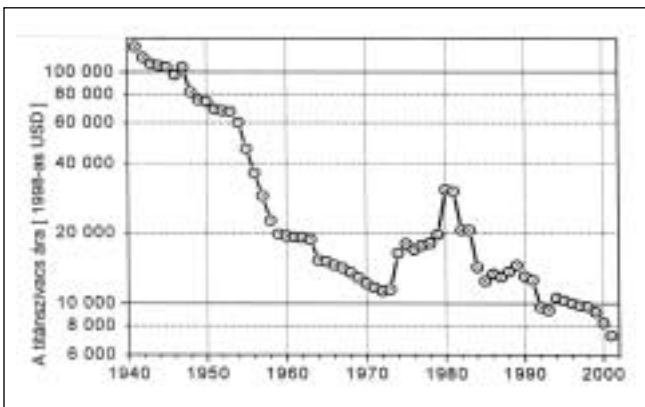
Fém	Világkereslet [ezer tonna]	Ár [USD/tonna]	Forgalom [Mrd USD]
Acél	750 000	400	300
Alumínium	20 000	1 500	30
Rozsdamentes acél	14 000	2 000	28
Titán	50	8 000–10 000	0,45

6. TÁBLÁZAT. A hazai titánimport fő mutatószámai, 1998–2003. (forrás: KOPINT-DATORG)

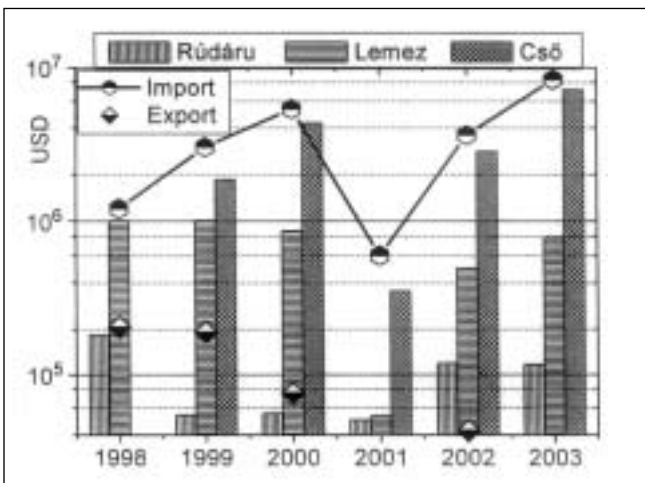
Év	Mennyiség [kg]	Mennyiség [kg]	Érték [forint]	Érték [USD]
1998	101 155	101 155	256 082 426	1 208 052
1999	181 205	181 205	727 374 646	3 008 440
2000	344 243	344 243	1 510 948 914	5 342 128
2001	48 636	48 636	170 893 932	600 392
2002	212 939	212 939	936 442 726	3 604 586
2003	368 162	368 162	1 886 812 416	8 360 254

A titán a tudomány fókuszában

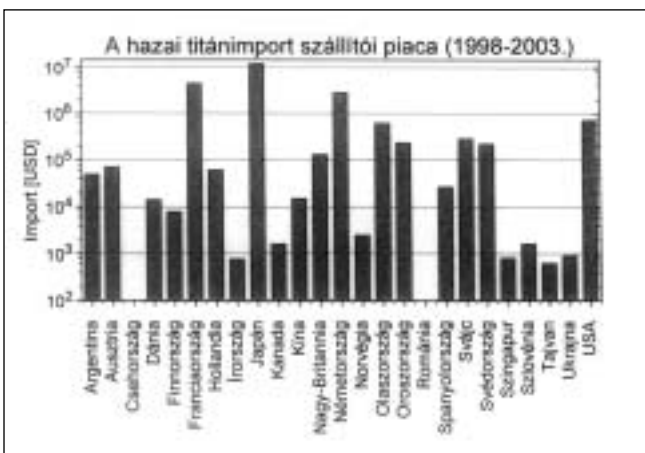
A titánpiac stagnálása vagy szűkülése ellenére a tudományos érdeklődés rendületlenül növekedik a titán iránt. Jól szemlélteti ezt a 20. ábra a tudományos publikációk számának alaku-



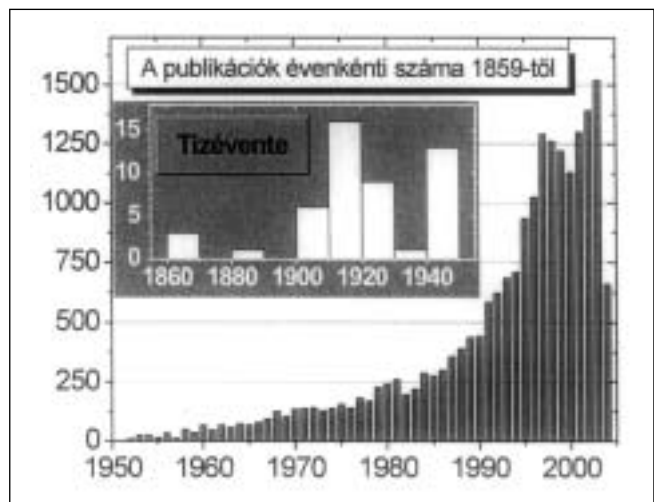
■ 17. ÁBRA.



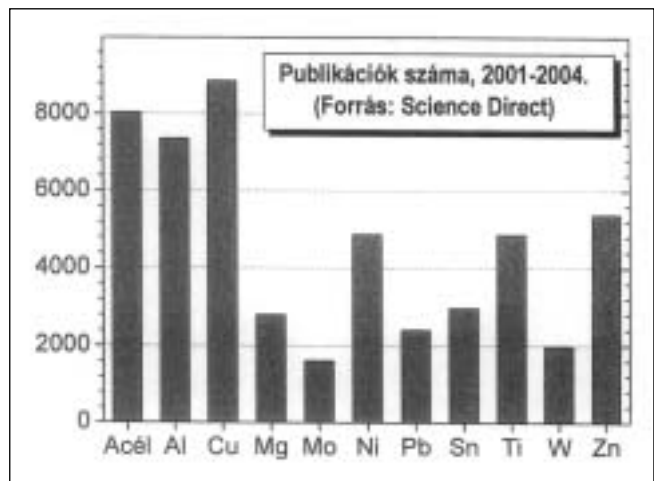
■ 18. ÁBRA. A hazai titánimport megoszlása terméktípusok szerint, 1998–2003. (forrás: KOPINT-DATORG)



■ 19. ÁBRA. A hazai titánimport megoszlása a szállító országok szerint, 1998–2003. (forrás: KOPINT-DATORG)



■ 20. ÁBRA. A titánról szóló tudományos közlemények számának változása, 1859–2004 között a Science Direct adatbázis alapján



■ 21. ÁBRA. A fontosabb ipari fémekről szóló tudományos közlemények számának változása, 2004–2004 között a Science Direct adatbázis alapján

lásán keresztül, az Interneten hozzáférhető Science Direct adatbázis adatai szerint (meg kell jegyezni, hogy ez az adatbázis csak a nemzetközileg referált folyóiratok adatait összegzi). A fémtitánról szóló első publikációk [1-4] megjelenése után évtizedekig csak elvétve jelentek meg közlemények, azok is kivétel nélkül a Journal of the Franklin Institute-ban. A titánnak mint az acél ötvözőjének szerepéről szól a publikációk zöme ez után is [6], de a fémtitán ipari anyagként való előállítása már a XX. század kezdete óta foglalkoztatja a fémkohászokat [5, 7]. Mintegy 50 éve radikálisan megváltozott a helyzet, s hogy miért, azt a cikk előző fejezetei után nem szükséges indokolni. A titán iránti tudományos érdeklődés a 20. ábra alapján erősen növekszik, de hogy ezzel hol helyezkedik el a fémek „ranglistáján”, azt a 21. ábra szemlélteti.

Magyarországon az 1950-es években, az alumíniumipar fel-futásával párhuzamosan fordult intenzív figyelem a titán felé. A mérnökgenerációk kinevelésével és tudományos iskolateremtő szerepével mindmáig a szakmája doyenjének tekintett Gillemot professzor és Verő professzor – akinek centenáriuma ez év elején volt – nemzetközileg is elismert érdemeket szereztek a

titánnal kapcsolatos tudományos kutatásban. A fémtitán előállításáért (1957) Gillemot Lászlót Kossuth-díjjal tüntették ki). A titánnal ötvözött nagy szilárdságú, MTA50 jelű, Mn-Ti-Al ötvözesű acélt a Verő József vezette Vasipari Kutatóintézet fejlesztette ki, és az új Erzsébet híd építéséhez már alkalmazták.

Köszönetnyilvánítás

A cikk megírásához nyújtott segítségéért és kedves biztatásáért a szerző köszönetét fejezi ki *Németh Ilonának* (KOPINT-DATORG).

Hivatkozások

- [1] Large specimens of titanium, J. Franklin Inst, 68 (1859:3), 212.
- [2] Action of mordants in dyeing, and the presence of titanium in good iron, J. Franklin Inst, 74 (1862:6), 400.
- [3] On the part that titanium plays in pig iron and in steel, J. Franklin Inst, 77, (1864:4), 258-261.
- [4] *T. M. Drown, P. W. Shimer*: The determination of silicon and titanium in pig iron and steel, J. Franklin Inst, 111 (1881:1), 18-24.
- [5] *A. J. Rossi*: The metallurgy of titanium, J. Franklin Inst, 154 (1902:4), 241-261.
- [6] Titanium in making steel rails, J. Franklin Inst, 170 (1910:3), 233.
- [7] *R. J. Anderson*: The metallurgy of titanium, J. Franklin Inst, 184 (1917:4), 469-508.
- [8] *R. M. Burston et al.*: Titanium Metal and Its Future, Cambridge, MA, 1952.
- [9] *J. Gambogi*: Titanium, U.S. Geological Survey Minerals Yearbook – 2002.
- [10] *J. Philibert, A. Vignes, Y. Bréchet, P. Combrade*: Métallurgie du minerais au matériaux, Masson, Paris, 1998.
- [11] *B. E. Paton, B. I. Medovar, M. G. Benz et al.*: ESR for Titanium: yesterday, today, tomorrow, 9th World Conf. on Titanium, St. Petersburg, June 7-11, 1999.
- [12] *M. G. Benz, W. T. Carter, Jr.*: Ultra-Clean Nickel-Base and Titanium-Base Alloys Using Innovative Extensions of ESR Technology, 4th ALD Vacuum Technologies Symp. on Advanced Technologies and Processes for Metals and Alloys, June 16-17, 1999, Frankfurt
- [13] *M. Colombié*: Matériaux industriels, Dunod, Paris, 2000.
- [14] <http://www.airforce-technology.com/projects/f22/>
- [15] *S. S. Marya, F. Le Maitre*: Recent Developments & Applications of Titanium in France, Ti-2003 10th World Conference on Titanium, July 13-18, 2003, Hamburg
- [16] <http://www.titane.asso.fr/newsite/cdprop.htm>
- [17] *D. A. Buckingham, J. Gambogi*: Titanium Sponge Statistics (December 16, 2003), www.usgs.gov/titaniummetal.pdf
- [18] Titanium and Titanium Dioxide, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2004, www.usgs.gov/timcs04.pdf
- [19] *Qi Yunlian, Deng Ju, Hong Quan, Zeng Liying*: Electron beam welding, laser beam welding and gas tungsten arc welding of titanium sheet, Mater. Sci. Eng. A280 (2000) 177–181
- [20] *E. Schubert, M. Klassen, I. Zerner, et al.*: Light-weight structures produced by laser beam joining for future applications in automobile and aerospace industry, J. Mater. Proc. Technol. 115 (2001) 2-8.
- [21] *U. Kamachi Mudali, B.M. Ananda Rao, K. Shanmugam, R. Natarajan, Baldev Raj*: Corrosion and microstructural aspects of dissimilar joints of titanium and type 304L stainless steel, Journal of Nuclear Materials 321 (2003) 40–48
- [22] *M. J. Mehl, D. A. Papaconstantopoulos*: Tight-binding study of high-pressure phase transitions in titanium: Alpha to omega and beyond, Europhys. Lett., 60 (2), pp. 248–254 (2002)