



# Orvostechnikai ötvözetek

## Implantátumok, törésrögzítők ... fémes anyagai

Dr. Mészáros István Attila  
meszaros.istvan.attila@gpk.bme.hu

1

1

Sebészeti, fogorvosi alkalmazások

- **Fémek, ötvözetek**
- Kerámiák
- Polimerek
- Kompozitok

Fémek ötvözetek **hátrányai**: korrózió, kopás  $\Leftrightarrow$  törmelék képződés, kontakt pot. – elektrolízis } **metallózis**, lokális és távoli biológiai reakciók  
érzékenyek az elektrokémiai korrózióra  
nagy rugalmassági modulus

**előnyei**: nagy szilárdság  
nagy szívósság  
jó alakíthatóság

$\Rightarrow$  Alkalmazhatók: saválló acélok, kobalt alapú ötv., titán alapú ötvözetek

Passzív oxid réteg a felületen

- fő komponensek } a szerkezet kis koncentrációban elviselni képes
- mikroötvözők }

2

Table 13.1 Composition of orthopaedic implant alloys (wt%); from Bonfield, 1997

Element	Cobalt-base alloys			Stainless steel		Titanium alloys	
	ASTM F75 cast	ASTM F90 wrought	ASTM F563 isostatically pressed	ASTM F138/A	ASTM F138/9B	Commercial purity titanium	Ti-6Al-4V
Co	Balance	Balance	Balance	—	—	—	—
Cr	27–30	19–12	18–22	17–20	17–20	—	—
Fe	0.75 max	3.0 max	4–6	Balance	Balance	0.3–0.5	0.25 max
Mo	5–7	—	3–4	2–4	2–4	—	—
Ni	2.5 max	9–11	15–25	10–14	10–14	—	—
Ti	—	—	0.5–3.5	—	—	Balance	Balance
Al	—	—	—	—	—	—	5.5–6.5
V	—	—	—	—	—	—	3.5–4.5
C	0.35 max	0.05–0.15	0.05 max	0.03 max	0.08 max	0.01 max	0.08 max
Mn	1.0 max	2.0 max	1.0 max	2.0 max	2.0 max	—	—
P	—	—	—	0.03 max	0.025 max	—	—
S	—	—	0.01 max	0.03 max	0.03 max	—	—
Si	1.0 max	1.0 max	0.5 max	0.75 max	0.75 max	—	—
O	—	—	—	—	—	0.18–0.40	0.13 max
H	—	—	—	—	—	0.01–0.015	0.012 max
N	—	—	—	—	—	0.03–0.05	0.05 max

3

**316L nem stabilizált, ausztenites acél :**

ISO 5832-1 (316LVM) ideiglenes beültetésre szánt traumatológiai csavarok

TAMMAN (18Cr – 8Ni,  $\alpha$ ,  $\gamma$  stab.)

Biolan Ni 12-14 %, Cr 17-20%, C &lt; 0,03% , Mo 2-4% (nem stabilizált Ti, Nb)

**Ni** stabilizálja az ausztenites szerkezetet (delta-ferrit nincs!)**C** < 0,03% klorid ionokat tartalmazó oldatban jó korrózióállóság  
(kevés szemcsehatár menti karbid kiválás)

↓

a szemcsehatár menti korrózió elhanyagolható

**Mo** javítja a túlyuk korróziós tulajdonságot "pitting"  $\text{MoO}_4^{2-}$  ionok abszorpciója a felületen  $\Rightarrow$  passziválás**Cr** passzív Cr-oxid réteg a felületen (vastagsága 20-50 nm) $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiCr}_2\text{O}_4$  spinell  $\Rightarrow$  szigetelő, lassú benne a diffúzió, kb. 5 nagyságrenddel lassabb, mint a FeO-ban

4

**Szövetszerkezet:**

- ha túl magas a Mo tartalom  $\sigma$ -fázis kialakulása, rideg intermetallikus fémvegyület  $\Rightarrow$  az ötvözet rideggé válhat
- túl magas Cr tartalom  $>28\%$  szemcsehatáron króm-carbid precipitáció a környezetben elszegényedik Cr ban ( $Cr_{23}C_6$ ) "kiürített zóna" – helyi anódként működik szemcsehatármenti korróziót okoz.
- "Sensitization" :  $Cr_{23}C_6$  kialakulása  $450-900^{\circ}C$  hőmérsékleten történik  $\Rightarrow$   $950^{\circ}C$  feletti hőkezelés, a karbidok kialakulásának megelőzésére, majd gyors hűtés

5

**Mechanikai és korróziós tulajdonságok:**

- Lágyított állapotában a szilárdsága alacsony.
- Hidegalakítás után a szilárdsága, keménysége, modulusa nő, alakíthatósága csökken.
- A durva szemcseszerkezet csökkenti a fáradással szembeni ellenállóképességet (Hall-Petch), (sok csipőprotézis fáradásos törése 1978.)
- Cr-oxid réteg kritikus elektrokémiai potenciálja közel azonos az in-vivo környezetben kialakuló potenciálkülönbséggel  $\Rightarrow$  Cr-oxid részlegesen megbomlik  $\Rightarrow$  korrózió  $\Rightarrow$  korróziós termékek  $Ni^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  fémionok kerülnek a környező szövetbe (metallózis) és a távolabbi testrészekbe (fémionok felhalmozódása a májban)  $\Rightarrow$  **implantátum-csont kötés meglazulása**  $\Rightarrow$  Korlátozott használati idő 6-12hó (WHO).
- Rudak, lemezek, csavarok, szögek, törésrögzítés.

6

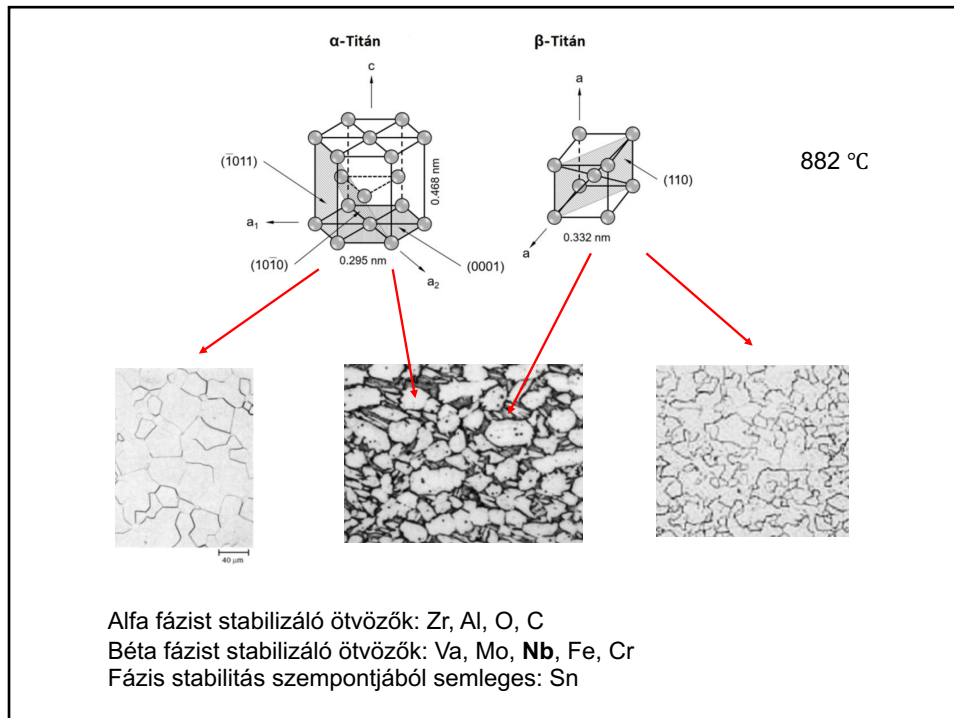
Auszténites műszereknél az 1.4571 (316Ti, azaz X6CrNiMoTi17-12-2) a legáltalánosabb, martenzitesek műszerek közül pedig a 1.4034 (420C, azaz X46Cr13).

7

#### Ti – alapú ötvözetek

- tökéletesen szövetbarát (inaktív), felületén Ti-oxid (1-4 nm)
- Hex( $\alpha$ )-TKK( $\beta$ ) 882 °C -on allotróp átalakulás
- nagy szilárdság                    }
- jó korrózióállóság                } jó terhelés eloszlás, ortopédiai alk
- alacsony rug.modulus            }
  
- tiszta Ti csak a fogászatban alkalmazzák (esetleg bevonattal)  
     ISO 5834-2 (ötvözetlen Ti) cement nélküli protéziseknél  
     szokásos 300 mikronos f. érdességű PPS bevonatok, ill.  
     fogászati implantátumok
  
- Ti-6Al-4V (ASTM F 136)
- Ti-5Al-2,5Fe
- Ti-6Al-7Nb

8



9

Materials	Young's modulus (GPa)	Ultimate tensile strength (MPa)
CoCrMo alloys	240	900–1540
316L stainless steel	200	540–1000
Ti alloys	105–125	900
Mg alloys	40–45	100–250
NiTi alloy	30–50	1355
Cortical bone	10–30	130–150

Rugalmassági modulus értékek

Alfa-Ti                      102-105 GPa

Alfa-beta Ti              105-110 GPa, Ti-6Al-4V

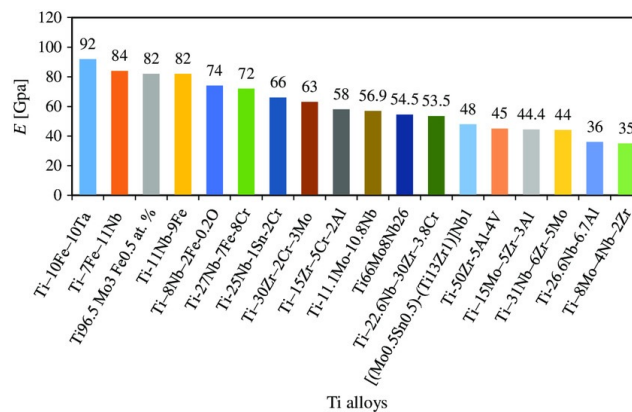
Beta-Ti                    74-85 GPa, Ti-12Mo-6Zr-2Fe  
 80 GPa, Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr  
 36 GPa, metastabilis Ti-33Nb-4Sn

10

**Table 13.2 The mechanical properties of some natural and biomaterials**

Material	Elastic modulus (GN m <sup>-2</sup> )	Tensile strength (MN m <sup>-2</sup> )	Elongation (%)	Fracture toughness (MN m <sup>-3/2</sup> )	Fatigue strength (MN m <sup>-2</sup> )
Austenitic stainless steel	200	200–1100	40	100	200–250
Cobalt–Chromium	230	450–1000	10–30	100	600
Ti–6Al–4V	105–110	750–1050	12	80	350–650
Alumina	365	—	< 1	—	400
Hydroxyapatite	85	40–100	—	—	—
Glass fibre	70	2000	2	1–4	—
PMMA	2.8	55	8	—	20–30
Bone cement	3–2.3	1.5	1–2	400	—
Polyethylene	1	20–30	—	1–4	16
Nylon 66	4.4	700	25	—	—
Silicone rubber	6 × 10 <sup>-3</sup>	1.4	—	—	—
Polycarbonate	2	60	—	—	—
Bone (cortical)	7–25	50–150	—	2–12	—
Bone (cancellous)	0.1–1.0	50–150	—	2–12	—
Tooth enamel	13	240	—	—	—
Tooth dentine	—	135	—	—	—
Collagen, tendon, wet	2	100	10	—	—

11



<https://doi.org/10.1002/adem.20200555>

First published: 09 July 2020

12

- **Ti-6Al-4V ( ASTM F 136 )** kétfázisú:  $\alpha+\gamma$

ISO 5832-3 (TiAl6V4) könnyű, "rugalmas", jó biokompatibilitású press-fit vágák, csípőprotézis száruk, végleges beültetésre szánt, esetleg anodizálással színezett csavarok, intrameduláris rögzítők, könnyen forgácsolható, rosszul polírozható, kevésbé kopásálló (sztemeket kovácsolják)

„V and Al ions released from Ti-6Al-4V have been held responsible for long-term health problems including Alzheimer disease, neuropathy and osteomalacia.”

www.nature.com/scientificreports  
Scientific **Repor**ts | 5:14688 | DOI: 10.1038/srep14688  
Published: 05 October 2015

13

**Kobalt alapú ötvözetek** : ortopédiai alkalmazások (Vitallium, Virilium...)

**Öntött Co-Cr-Mo ( ASTM F 75 ).**

ISO 5832-4 (öntött CoCrMo) bonyolult térdprotézisek, esetleg öntött csípő sztemek, jól polírozható, kopásálló anyag.

- Az öntvény megszilárdulása során 1350-1450°C nagyszemcséjű, inhomogén (cored szerkezet)
  - Fázisai: - Co-ban gazdag  $\gamma$  - fázis (dendrites)
    - Cr-ban gazdag  $M_{23}C_6$  fázis (Co-Cr-Mo keverék)
    - Cr+Mo -ban gazdag  $\sigma$  - fázis
- fajtérfogat változás dermedés során  $\Rightarrow$  porozitás $\Rightarrow$ lunkerek $\Rightarrow$ törés
- 890 °C lassú allotróp átalakulás szoros hexagonális szerkezetből  $\Rightarrow$  FKK. Hűtés során FKK fázis visszamaradhat (metastabil fázis).
- 1235 °C eutektikum  $\Rightarrow$  ha  $T > 1235$  °C helyileg megolvad s a megszilárdulás során  $\sigma, \gamma, M_{23}C_6$  fázisok válnak ki a szemcsehatáron $\Rightarrow$  csökkenti a korrózióállóságot, szívósságot  $\Rightarrow$  tipikus homogenizálási hőmérséklet 1225 °C (24-48h)

14

**Co-Cr-W-Ni (ASTM F90)**

ISO 5832-5 (kovácsolt CoCrNiW) a legkopásállóbb fém alapanyag, polírozott moduláris fejek stb., bár biokompatibilitása rosszabb a CoCrMo-nál

- Kristályszerkezete FKK, ausztenites
- Alakítási módjai: - meleg kovácsolás >650 °C
  - Hidegalakítás (kovácsolás, hengerlés)  $\epsilon$ -fázis (hex)
  - melegkovácsolásnál finom szövetszerkezetet és homogén karbid eloszlást kapunk

**Co-Ni-Cr-Mo ( ASTM F 562, MP35N ).**

- Finomszemcsés ausztenites és hexagonális szerkezet
- 650 °C allotróp átalakulás hex  $\Rightarrow$  FKK ,kétfázisú rendszer
- hűtés során maradék ausztenit alakul ki (alacsony energiájú metastabil állapot)
- hőkezelés 425 - max.650°C tartományban  $\Rightarrow$  Co<sub>3</sub>Mo precipitáció alakul ki a hexagonális fázison belül (kiválásos keményítés)