

# KURZUS: VÁLOGATOTT FEJEZETEK AZ ANYAGTUDOMÁNYBÓL

Szerző: Dr. Zsoldos Ibolya

Lektor: Dr. Réger Mihály

---

## 1. MODUL: Példák különleges fémötvözetekre

### Bevezetés

Az alapozó anyagismereti, anyagtudományi tartalmú tananyagok a nem-vas fémek és ötvözeteik témakörét általában érintőlegesen tárgyalják. Ebben a modulban két kiválasztott különleges ötvözetrendszernek, a titán és a nikkellal ötvözeteinek ismereteiből látunk részleteket.

### 1 modul 1. lecke: Titán és ötvözetei

A lecke célja az, hogy megismerjük a titán és ötvözeteinek a szerkezetét, tulajdonságait, a legjellemzőbb szövetszerkezeteket, a hőkezelési célokat és módokat. A tanulás során megértjük, hogy miért alkalmasak a titán ötvözetei elsősorban a repülőgépipar különleges szerkezeteinél megkövetelt magas szintű műszaki igények megvalósításaihoz.

### Követelmények: Ön akkor sajátította el a tananyagot, ha képes;

- meghatározni jellemzői alapján a titán és ötvözeteinek szerkezetét, felsorolni tulajdonságait,
- megkülönböztetni a kristályszerkezeteket és a különböző ötvözetfázisokat (szövetszerkezeteket)
- meghatározni a hőkezelési célokat és módokat, a megismert fázisátalakulásokat jellemezni,
- példák alapján meghatározni/bemutatni az alapvető ötvözők és ötvözési célok szerepét,
- a hőkezelések különböző eseteinek elkülönítésére, leírására, a célok és eredmények jellemzése jellemzésére/bemutatására.

**Időszükséglet:** előadás időtartama 1,5 óra. Otthoni, egyéni tanulásban kb. +2 óra az elsajátítás ideje.

### Kulcsfogalmak:

- kristályszerkezet
- allotróp fázisátalakulás
- $\alpha$ -stabilizáló ötvözők
- $\beta$ -stabilizáló ötvözők
- $\alpha$ -stabil titán ötvözetek
- $\alpha$ - $\beta$ -stabil titánötvözetek
- hőkezelés

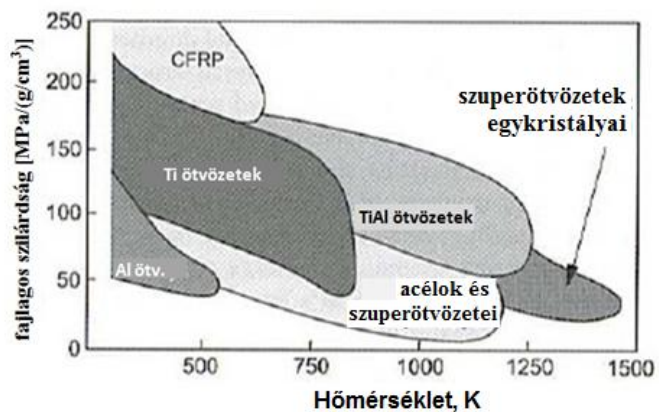
## Tartalom:

### 1.1.1. Szerkezet és tulajdonságok

A titán a nevét a görög mitológiából, a földanya és az égisten erős fiáról, a Titánokról kapta. A földkéregben az alumínium, a vas és a magnézium után a negyedik leggyakrabban előforduló fém. A földkéregben nem tiszta fém formájában, hanem érceiben (ilmenit:  $\text{FeTiO}_3$  és rutil:  $\text{TiO}_2$ ) fordul elő.

A tiszta titánnak a sűrűsége  $4,51\text{g/cm}^3$ , az olvadáspontja  $1667^\circ\text{C}$ .

Olyan alkatrészek számára alkalmas ez a fém, amelyeknek magas hőmérsékleten kell működniük, és elvárt a nagy szilárdság-sűrűség arány. (1. ábra.)



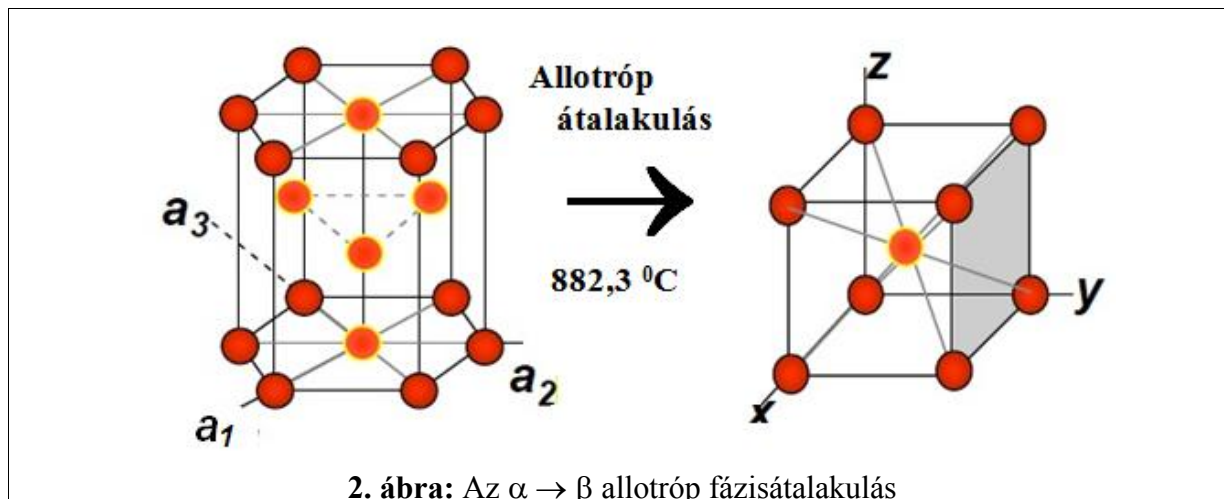
**1.ábra:** Fajlagos szilárdság hőmérsékletfüggése néhány ötvözet esetében

A világ titántermelése meglehetősen kevés, jóval kevesebb, mint egymillió tonna évente, amely az évi 700 millió tonna acéltermeléssel összehasonlítva valóban csekély. A megtermelt mennyiségnek 80%-át a repülőgépipar használja fel. Az autóiparban a kerékfelfüggesztés rugóinak az előállításán kívül nem lehet tömegesen találkozni titánötvözetekkel, mint ahogyan ez a titán tulajdonságai miatt indokolt lenne. Ennek az oka kizárólag a magas ár.

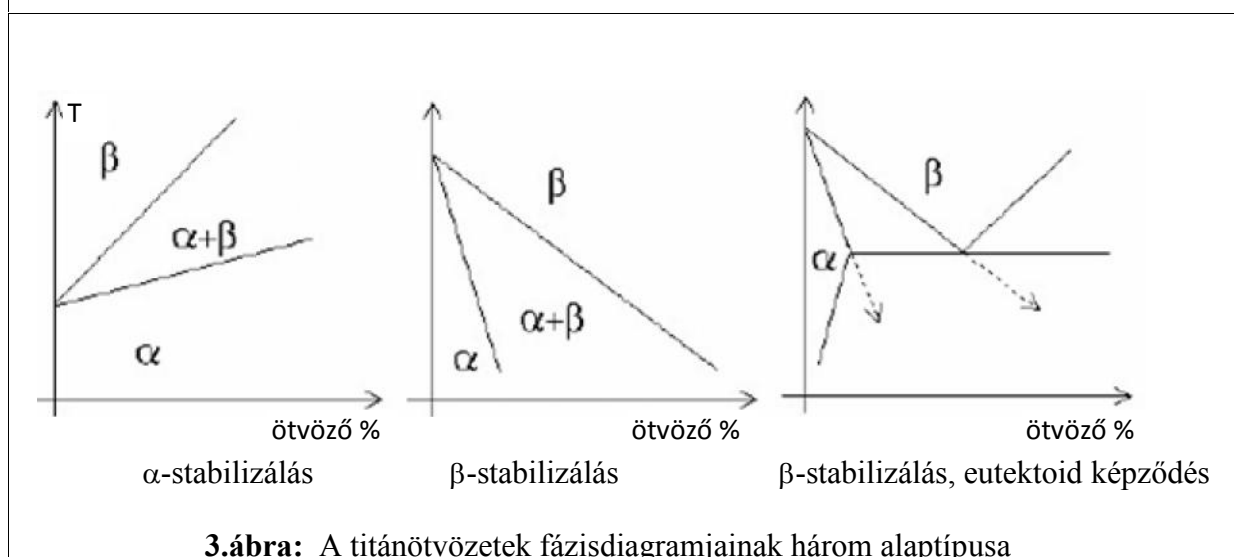
A kiváló korrózióállóság miatt a vegyiparban is gyakran használják. A felületén vékony oxidfilm keletkezik, amely különösen ellenáll a korróziónak és a további oxidációnak. A korrózióállóság tovább javítható 0,15% palládiummal való ötvözéssel.

A vegyipar gyáraiban titán bevonattal ellátott acél tartályokat és csöveket használnak.

A titán szobahőmérsékleten sűrű illeszkedésű hexagonális (close packed hexagonal) kristályszerkezetű, az elemi cella hatszög alapú hasábjában a magasság-alapél aránya 1,587. Kb.  $890^\circ\text{C}$ -on allotróp átalakulás, térközepes köbös kristályszerkezetté való átalakulás megy végbe, és ez a  $\beta$  fázis stabil marad az olvadáspontig,  $1667^\circ\text{C}$ -ig, 2. ábra.



Az ötvözőket a stabilizáló hatásuk szerint szokás csoportosítani. Eszerint pl. az Al, O, N és a Ga  $\alpha$ -stabilizátorok, azaz az  $\alpha$ -fázisra (hexagonális szerkezetű fázisra) van stabilizáló hatásuk. A Mo, V, W és a Ta  $\beta$ -stabilizátorok, azaz a  $\beta$ -fázisra (tétközepes köbös fázisra) van stabilizáló hatásuk. A Cu, Mn, Fe, Ni, Co és a H szintén  $\beta$ -stabilizátorok, de eutektoidot is képeznek a titánnal. Az eutektoid képződés gyakran lassú és nehézkes. A stabilizáló hatás szerint a titán ötvözet egyensúlyi diagramjának három alaptípusa van, 3. ábra.

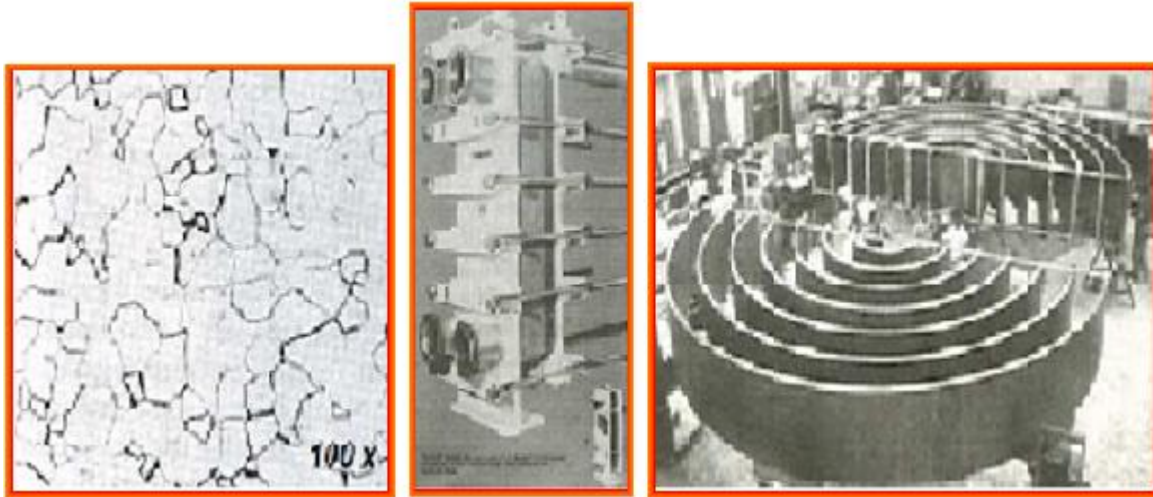


A legerősebb  $\beta$ -stabilizáló ötvöző elemek a molibdén és a vanádium, ezeket általában együttesen használják. A wolframot a nagy sűrűsége miatt ritkán használják ötvözőként. A Cu a titánnal vegyületet képez, és a  $\text{TiCu}_2$  az ötvözetet nemesíthetővé, hőkezeltetővé teszi, ezekből az ötvözetekből lemezanyagok készülnek.

### 1.1.2. $\alpha$ - stabil titán ötvözetek és hőkezelésük

A közös jellemzőjük, hogy hegeszthetők, a szilárdságuk közepesen magas, jó a szívósságuk és magas hőmérsékleten is jó a kúszásállóságuk. Az  $\alpha$ -stabil titán ötvözeteknek három csoportját különböztetjük meg, ezek: az ún. tiszta titánötvözetek, az  $\alpha$ -titán ötvözetek és a közelítően  $\alpha$ -titán ötvözetek.

A kereskedelmi forgalomban kapható ún. **tiszta titánötvözetek** összes ötvöző tartalma 0,1-1% alatt van. Csak  $\alpha$ -stabilizáló ötvözőket tartalmaznak. Ezek közül az oxigéntartalom növeli az ötvözet szilárdságát, a többi elem azonban nem kívánatos szennyező. Korrózióállóságuk a salétromsavval és a klórral szemben erős. 0,2% palládium hozzáadása tovább javítja a korrózióállóságot nemcsak a salétromsavval és a klórral, hanem a sósavval, kénsavval és a foszforsavval szemben is. Közepesen nagy a szilárdságuk, ezzel együtt olcsónak számítanak a titánötvözetek között. Jellemző az alkalmazásuk a repülőgépiparban, hőcserélőkben, vegyiparban, hajózásban és a gyógyászatban különböző implantátumok anyagaként, 4. ábra.



4. ábra

**Bal oldal:**

$\alpha$ -fázis polikristályos szemcseszerkezete tiszta titánötvözetnél.

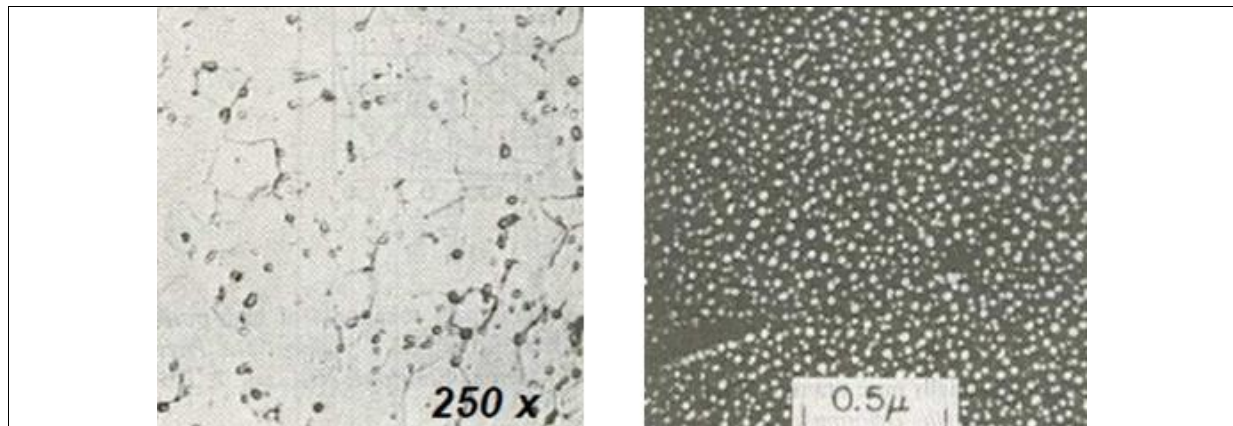
**Középen:**

hőcserélők titánötvözetből készült váza és lemezei.

**Jobb oldal:**

Vegyipari alkalmazás, papírgyártás fehérítő berendezéseinek nagyméretű szerkezete.

Az ún.  **$\alpha$ -titán ötvözetek** szintén kizárólag  $\alpha$ -stabilizáló ötvözőket tartalmaznak. Összes ötvöző tartalmuk nem haladja meg a 9%-ot, ahhoz, hogy a szívósság még megfelelő szinten maradjon. A legfontosabb  $\alpha$ -stabilizáló ötvöző az alumínium és az oxigén, amelyek javítják az ötvözet szilárdságát. 5-6% alumínium nagyon finom eloszlása a titán alapmátrixában egy új, rendezett fázist hoz létre, ezt  $\alpha_2$ -fázisnak nevezték el. Az  $\alpha_2$ -fázisnak jellemző tulajdonsága a jó alakíthatóság. Az ón és a cirkónium kis mennyiségben adhatók a titánhoz.  $\alpha$ -stabilizáló hatásukkal együtt ezek is szilárdságnövelő ötvözők.



**5. ábra**

Az 5. ábra bal oldalán egy 5%Al és 2,5% Sn tartalmú titánötvözet mikroszerkezete látható. A gömbszerű  $\beta$ -fázisú szemcsék megjelenése a 0,3% Fe szennyeződésnek köszönhető

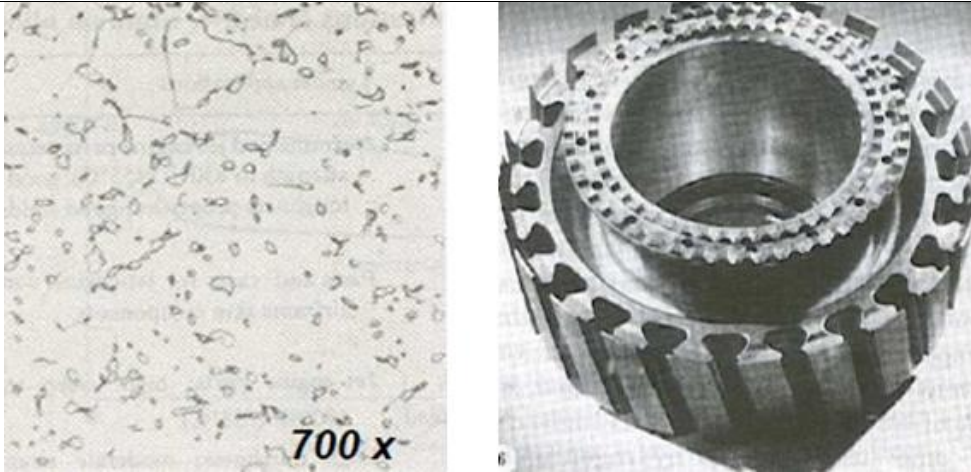
Az 5. ábra jobb oldalán 8% Al tartalmú titánötvözet mikroszerkezete látható. A rendezett mintázatot mutató  $\alpha_2$ -fázis szerkezetét finom eloszlású  $Ti_3Al$  vegyület kiválások sokasága jellemzi.

Az  $\alpha$ -titán ötvözetek szilárdsága még mindig nem túl nagy. Az alumínium növeli a szilárdságot, emellett csökken az ötvözet sűrűsége is. Jól hegeszthető anyagok, jól ellenállnak az oxidációnak, szilárdságukat magas hőmérsékleten is megtartják. Jellemző a repülőgépipari alkalmazás, a jellemzően lemezből készült munkadarabok előállítására, továbbá hűtőedényeket ( $-250^{\circ}C$ -ig) is gyakran készítenek  $\alpha$ -titán ötvözetből.

Az ún. **közelítően  $\alpha$ -titán ötvözetek** az  $\alpha$ -stabilizáló ötvözők mellett már kis mennyiségű  $\beta$ -stabilizáló ötvözőket is tartalmaznak. Az  $\alpha$ -fázisban nagyon finom eloszlású  $\beta$ -fázis kedvező hatással van a mechanikai tulajdonságokra.  $\beta$ -stabilizáló ötvözőként a molibdént és a vanádiumot használják. Az alumínium mellett a szintén  $\alpha$ -stabilizáló ón és cirkónium hozzáadásával javítják a szilárdságot. A közelítően  $\alpha$ -titán ötvözeteknek jobb a kúszási szilárdságuk, mint a tiszta titánötvözeteknek, ezt a tulajdonságot  $400^{\circ}C$  hőmérsékletig megtartják.

A közelítően  $\alpha$ -titán ötvözetek szilárdsága viszonylag nagy, szobahőmérsékleten viszonylag jól alakíthatóak. Szívós anyagok, jó kúszási szilárdságukat magas hőmérsékleten is megtartják. Jól hegeszthetőek. Sós vizes környezetben is alkalmazhatóak.

A Ti-8Al-1Mo-1V és a Ti-6Al-2Sn-4Zr-Mo titánötvözeteket a leggyakrabban a repülőgépiparban használják, pl. repülőgép vázszerkezetekben és motoralkatrészekben.

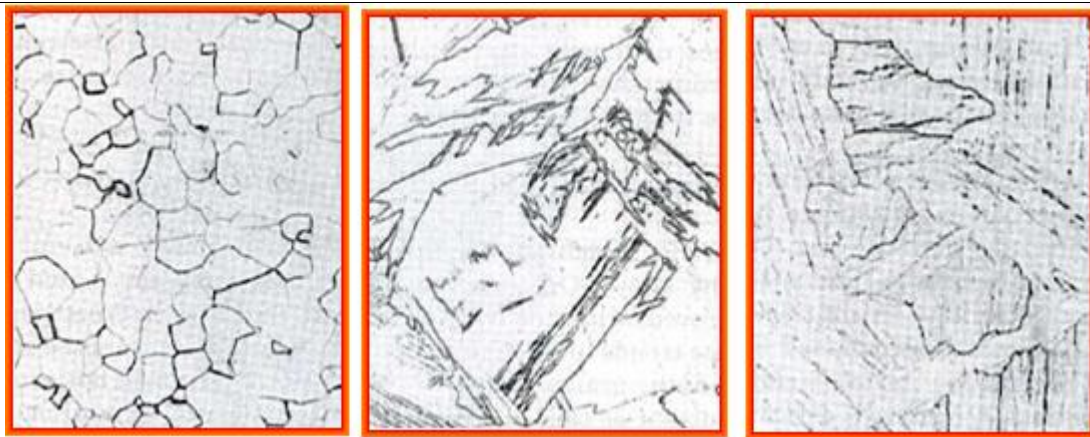


**6. ábra:** Közelítően  $\alpha$ -titanium ötvözet mikroszerkezete, egy alkalmazás: kompresszortárcsa.

### Hőkezelés tiszta titánötvözetekben és $\alpha$ -titanium ötvözetekben

A magas hőmérsékletéről,  $\beta$ -fázisú állapotból való közel egyensúlyi körülmények között történő (lassú) hűtés során hexagonális kristályszerkezetű  $\alpha$ -fázis keletkezik, 7.ábra, bal oldal. A  $\beta$ -fázisból való gyors hűtés során martenzites  $\alpha'$ -fázis keletkezik, amely tartalmaz visszamaradó  $\beta$ -fázisú szemcséket is, (7.ábra, középső rész). A keletkezett martenzites fázis nem túlságosan kemény. A visszamaradó  $\beta$ -fázis aránya növekszik az ötvözők arányának növelésével és az  $M_s$  hőmérséklet (martenzit keletkezés) csökkenésével, 8. ábra.

A  $\beta$ -fázisból közepes sebességgel való hűtés során Widmansätten-struktúrát mutató  $\alpha$ -fázis keletkezik.



**7.ábra**

**Bal oldal:**

700<sup>o</sup>C/óra hűlési sebességgel hűtött tiszta titánötvözet.

**Középen:**

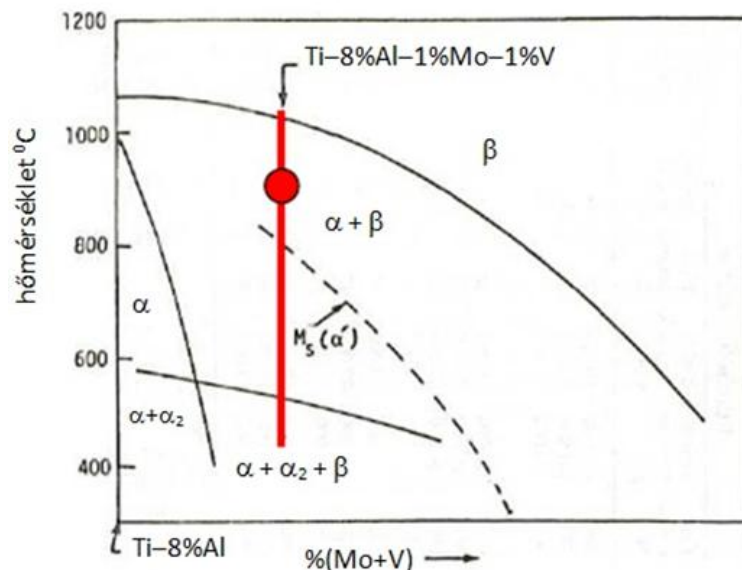
gyors hűtés során kialakult martenzites tiszta titánötvözet szerkezet.

**Jobb oldal:**

Widmansätten-struktúrát mutató tiszta titánötvözet szerkezet.

### A közelítően $\alpha$ -titán ötvözetek hőkezelése

A közelítően  $\alpha$ -titán ötvözet hűlési folyamatát a 8. ábrán követhetjük végig. Először az  $\alpha + \beta$  mezőből történő hűtés folyamatát vizsgáljuk.



**8. ábra:** 8% Al tartalmú Ti ötvözetnek a fázisdiagramja Mo+V ötvözéstől függően.

A közelítően  $\alpha$ -titán ötvözeteknek nagy mennyiségű  $\alpha$ -stabilizátort kell tartalmazniuk ahhoz, hogy az alakíthatóság ne romoljon számottevően. Erre a célra alkalmas az alumínium. Kis mennyiségű  $\beta$ -stabilizátorra van szükség (molibdén és vanádium) azért, hogy a hőkezelés véghezvihető legyen.

Az ötvözetet először olyan hőmérsékletre hevítik, ahol az  $\alpha$ - és  $\beta$ -fázisok körülbelül azonos arányban vannak jelen.

Közepes sebességű hűtés eredményeként elsődleges  $\alpha$ -fázis és Widmansätten-struktúrájú  $\alpha$ -fázis szemcsék keverednek a szerkezetben, 9. ábra.

Gyors hűtés eredményeként elsődleges  $\alpha$ -fázis és a nagyobb szilárdságú martenzites  $\alpha'$ -fázis keveréke keletkezik

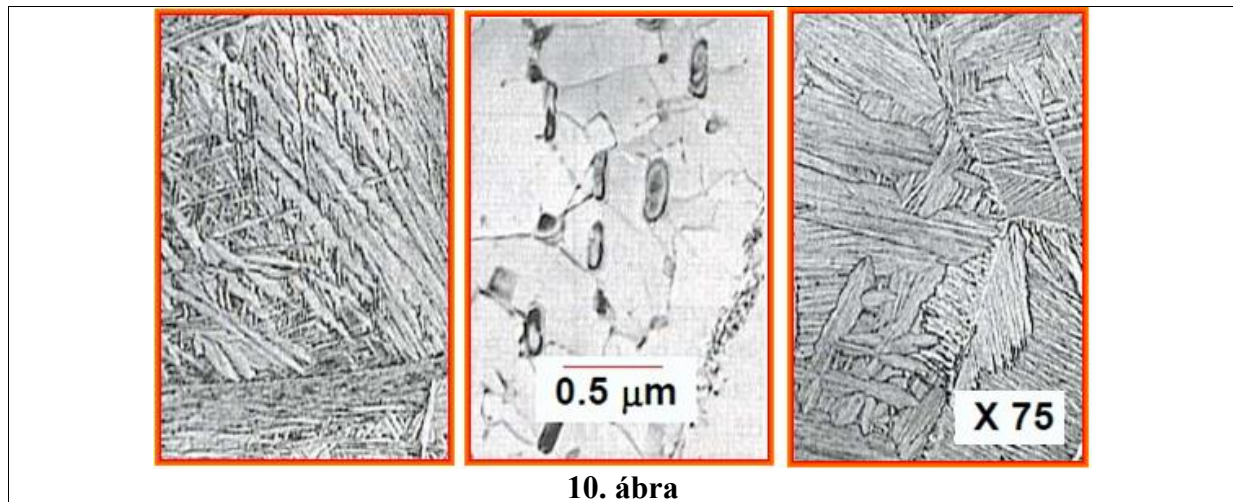


**9. ábra:**  $\alpha$ -fázis és Widmansätten-struktúrájú  $\alpha$ -fázis szemcsék keveredése

Másképpen zajlik a folyamat, ha az ötvözetet a  $\beta$  mező hőmérsékletére hevítik. A  $\beta$  mezőből való gyors hűtés eredményeként a  $\beta$ -fázis vékony rétegeiből léces martenzit fázis keletkezik, 10. ábra, bal oldal.

A gyors hűtést követő öregítő hőkezelés során finom eloszlású  $\alpha$ -fázis kiválások keletkeznek, 10. ábra, középső rész.

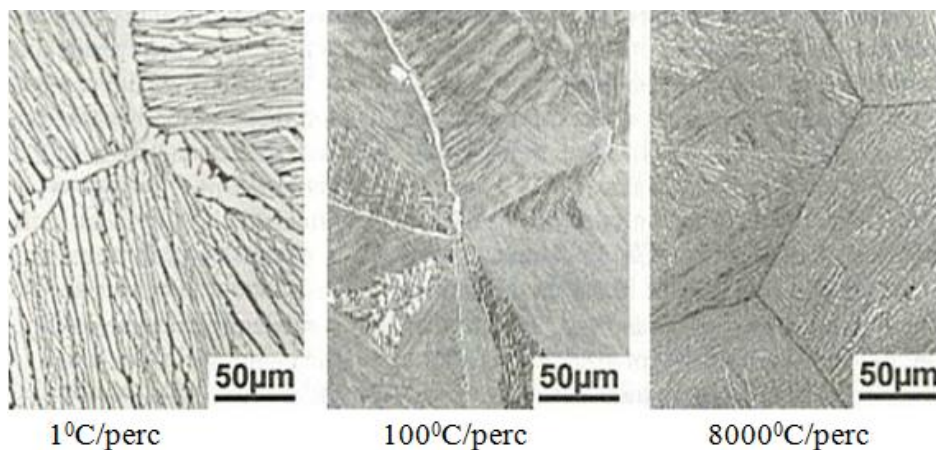
A  $\beta$  mezőből való közepes sebességű hűtés eredményeként a kosárfonás mintázatára emlékeztető Widmansätten-struktúrájú  $\alpha$ -fázis keletkezik, 10. ábra, jobb oldal.



10. ábra

Bal oldal: közelítően $\alpha$ -titán ötvözet szövetszerkezete $\beta$ mezőből való gyorsítás után.	Középső: gyorsítás után $850^{\circ}\text{C}$ -on öregített közelítően $\alpha$ -titán ötvözet szövetszerkezete.	Jobb oldal: közelítően $\alpha$ -titán ötvözet szövetszerkezete $\beta$ mezőből való közepes sebességű után.
---	--	--

A hűlési sebesség növelésével a lemezes szerkezet egyre finomabb lesz, 11. ábra.



11. ábra: A lemezes szerkezet változása a hűlési sebesség növelésével.

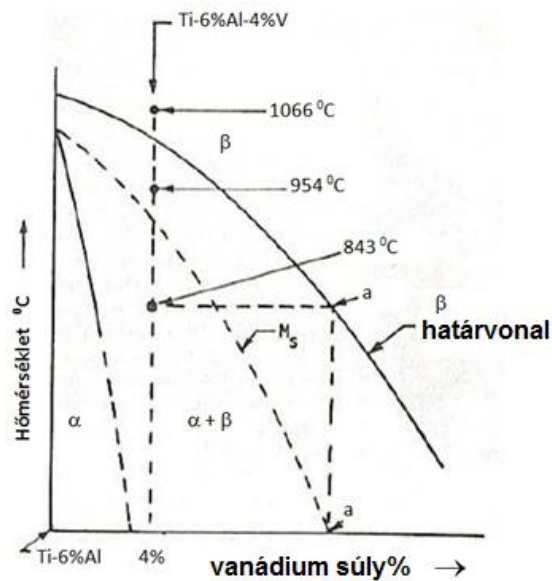
### 1.1.3. $\alpha$ - $\beta$ - stabil titánötvözetek és hőkezelésük

Az  $\alpha$ - $\beta$ - stabil titánötvözetek szerkezetében az  $\alpha$ - és a  $\beta$ -fázis is jelen van. Az  $\alpha$ -stabilizáló ötvözőket a szilárdság növelésére használják. A  $\beta$ - stabilizáló ötvözőkre azért van szükség, hogy a  $\beta$ -fázis szobahőmérsékleten is megmaradjon a szerkezetben, a  $\beta$  mezőből és az  $\alpha + \beta$  mezőből való hűtés után is. Ezen ötvözetekre nagy szilárdság és az alakíthatóság jellemző. A szövetszerkezet függ a kémiai összetételtől, megelőző kezelésektől és megmunkálástól, valamint a hőkezeléstől. A hőkezelés termomechanikai folyamatokkal együtt valósítható meg, ezzel a kívánt szövetszerkezetek jól tervezhetők.

A kereskedelmi forgalomban a Ti – 6Al – 4V (6% alumíniumot és 4% vanádiumot tartalmazó) a leggyakrabban használt titánötvözet, amelyet pl. repülőgép turbinalapátok anyagaként használnak.



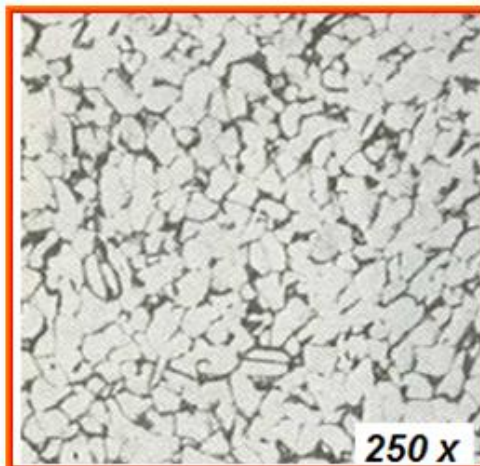
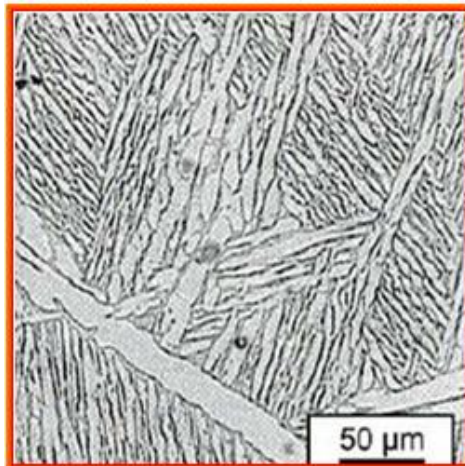
A hűlési folyamatot a 12. ábrán követhetjük végig.



12. ábra Ti – 6Al – 4V  $\alpha$ - $\beta$ -stabil titánötvözet hűlési folyamata az állapotábrán

$\beta$ -mezőből való lassú hűtés eredményeként a  $\beta$ -fázisból lemezes szerkezetű, jellemző kristályorientációjú  $\alpha$ -fázis alakul ki, 13. ábra, bal oldal.

$\alpha$ + $\beta$ -mezőből való lassú hűtés eredményeként az elsődleges  $\alpha$ -fázis szemcsék között a visszamaradt  $\beta$ -fázis apróbb szemcséi találhatóak meg, 13. ábra, jobb oldal.



13 ábra:  $\alpha$ - $\beta$ -stabil titánötvözetek szövetszerkezetei.

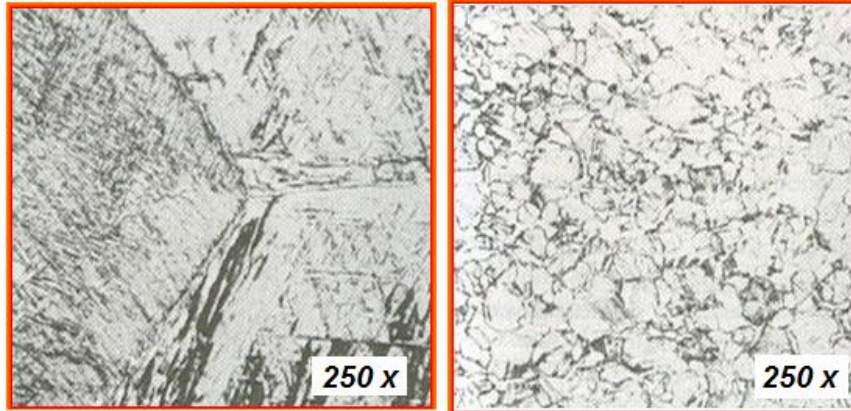
**Bal oldal:**

$\beta$ -mezőből való lágyító hőkezelés eredményeként kialakult szerkezet.

**Jobb oldal:**

$\alpha$  +  $\beta$ -mezőből való lágyító hőkezelés eredményeként kialakult szerkezet.

A  $\beta$ -mezőből közepes hűlési sebességgel való hűtés során finom, tűs  $\alpha$ -fázisú szemcsék keletkeznek, 14. ábra, bal oldal.  $\alpha + \beta$ -mezőből közepes hűlési sebességgel való hűtés eredményeként anizotróp elsődleges  $\alpha$ -fázisú szemcsék mintázata található a tűszerűen formálódott  $\beta$ -fázissal elkeveredve, 14. ábra, jobb oldal.



**14 ábra:**  $\alpha$ - $\beta$ -stabil titánötvözetek szövetszerkezetei.

**Bal oldal:**

$\beta$ -mezőből való léghűtés eredményeként kialakult szerkezet.

**Jobb oldal:**

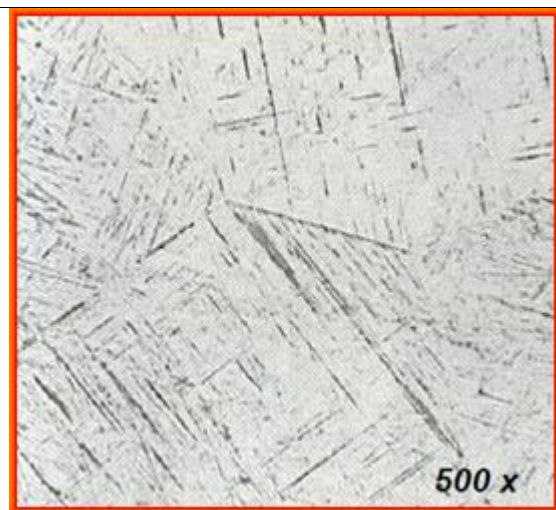
$\alpha + \beta$ -mezőből való lágyító hőkezelés eredményeként kialakult szerkezet.

A  $\beta$ -mezőből való gyors hűtés során martenzites  $\alpha'$ -fázis keletkezik, 15. ábra.

A martenzites  $\alpha'$ -fázis lemezes szerkezetű, sűrű illeszkedésű hexagonális kristályszerkezetű fázis.

A gyors hűtés következménye a titánötvözetek esetében is nagyobb keménységű és szilárdságú martenzites fázis, azonban nem olyan erőteljes ezen mechanikai tulajdonságok megnövekedése, mint az acélok esetében.

Megjegyzendő, hogy a gyors hűtést követő normalizáló hőkezelés a martenzites fázis bomlásához is vezethet.



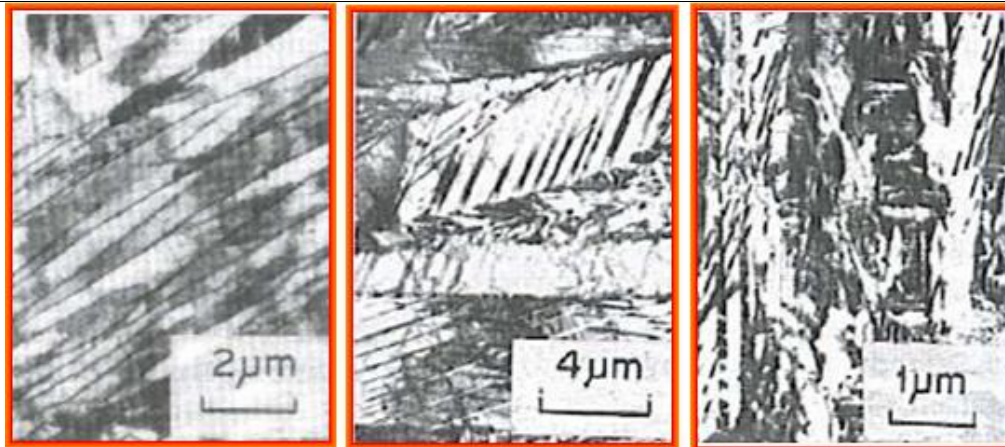
**15. ábra**

Ti-6-4 ötvözet szövetszerkezete hőkezelés: 30 perces  $1066^{\circ}\text{C}$ -on való hőntartás, majd vízben hűtés (gyors hűtés) után

A titán ötvözetek esetében a martenzites fázisnak több formája is ismeretes. A fentiekben  $\alpha'$ -fázisként említett martenzites fázis sűrű térkitöltésű hexagonális kristályszerkezetű. Létezik még léces (16. ábra, bal oldal), valamint ún. lencsés martenzit, (16. ábra, középső kép).

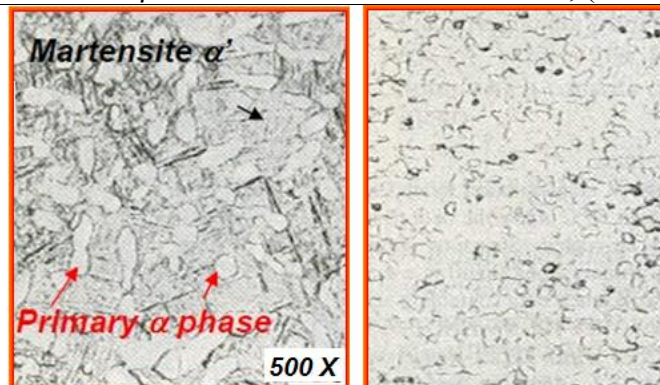
Ezen kívül létezik még ortorombos kristályszerkezetű martenzites fázis is, amelyet  $\alpha''$ -fázisként szokás jelölni, (16. ábra, jobb oldal).

Gyors hűtés esetén a kialakuló szövetszerkezet a  $\beta$ -stabilizáló ötvözők arányától függ. A  $\beta$ -stabilizáló tartalom növelésével léces  $\alpha'$ -fázis, lencsés  $\alpha'$ -fázis, majd  $\alpha''$ -fázis, végül elegendően sok  $\beta$ -stabilizáló ötvözése esetén a térközepes köbös kristályszerkezetű metastabil  $\beta$ -fázis keletkezik.



**16. ábra:** Martenzites fázis különböző szövetszerkezetekben:

léces $\alpha'$ -fázis	lencsés $\alpha'$ -fázis	$\alpha''$ -fázis
Az $\alpha$ - $\beta$ -stabil titánötvözetek hőkezelésekor az $\alpha + \beta$ -mezőből való gyors hűtésnél két eset különíthető el. Ha a 12. ábra szerint a kiindulási hőmérséklet a $\beta$ -határvonal alatt, de az $M_S$ vonal felett van, akkor $\alpha'$ -fázisba ágyazott elsődleges $\alpha$ -fázis szemcsék láthatók a mikroszerkezetben, (17. ábra, bal oldal). Ha a 12. ábra szerint a kiindulási hőmérséklet az $M_S$ vonal alatt van, akkor az elsődleges $\alpha$ -fázisú szemcsék visszamaradó $\beta$ -fázisú szemcsékkel keverednek, (17. ábra, jobb oldal).		



**17. ábra:** Bal oldal: Gyors hűtés a  $\beta$ -határvonal és az  $M_S$  vonal közötti tartományból indulva. Jobb oldal: Gyors hűtés az  $M_S$  vonal alatti tartományból indulva

### **$\beta$ - $\omega$ fázisátalakulás:**

Az  $\omega$ -fázis metastabil fázis, amely szintén a  $\beta$ -fázisból való hűtés során keletkezik a titánnak cirkóniummal és hafniummal való ötvözeteiben. Azért fontos, mert ennek a fázisnak a keletkezése általában a mechanikai tulajdonságok romlását idézi elő. A Ti-Nb ötvözetekben ennek a fázisnak a keletkezése befolyásolja a szupravezető tulajdonságot. Tehát ez az átalakulás a technológia során kerülendő.

A  $\beta$ -  $\omega$  fázisátalakulás diffúzió nélküli fázisátalakulás. Egy jellemző hőmérsékleten megy végbe, és gyakran nem kerülhető el még  $1100^{\circ}\text{C/s}$  hűlési sebesség esetén sem. Az  $\omega$ -fázis jelenléte a  $\beta$ -fázisban az elektrondiffrakciós képeken jellegzetes sávokkal, vagy a megnövekedett elektromos ellenállással mutatható ki.

A  $\beta$ -  $\omega$  fázisátalakulás reverzibilis, diffúzió nélküli átalakulás, de nem hasonlít a klasszikus, ugyancsak diffúzió nélküli martenzites átalakuláshoz, és nem kíséri a martenzites átalakulásra jellemző alakváltozás sem.

### **Irodalom:**

H.Bhadeshia: Metallurgy of Titanium and its Alloys, MSc egyetemi jegyzet, Cambridge University, 2003,

<http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/titanium.movies/titanium.html>

Tapany Udomphol: Titanium and its alloys, MSc egyetemi jegyzet, Suranaree University of Technology Thailand, 2007,

[http://www.sut.ac.th/engineering/metal/pdf/Nonferrous/05\\_Titanium%20and%20titanium%20alloys.pdf](http://www.sut.ac.th/engineering/metal/pdf/Nonferrous/05_Titanium%20and%20titanium%20alloys.pdf)

### **Kérdések:**

1. Jelölje meg a következő válaszok közül, milyen tulajdonságok miatt szokás alkalmazni általában a titánötvözeteket!
  - a) nagy szívósság,
  - b) nagy szilárdság/sűrűség arány (x),
  - c) különleges hővezető képesség
  - d) magas hőmérsékleten is nagy keménység
  - e) magas hőmérsékleten is jó kúszásállóság (x)
  - f) sósavval szemben való kémiai ellenállás
2. Milyen allotróp fázisátalakulást tapasztalunk a hűtés során?
  - a) hexagonálisból térközepes köbös szerkezetté való átalakulás
  - b) sűrű illeszkedésű hexagonálisból térközepes köbös szerkezetté való átalakulás
  - c) térközepes köbösből sűrű illeszkedésű hexagonális szerkezetté való átalakulás (x)
  - d) térközepes köbösből hexagonális szerkezetté való átalakulás
3. Az alábbiak közül mely elemek  $\alpha$ - illetve  $\beta$ -stabilizáló ötvözői a titánnak?
  - a)  $\alpha$ : Al, O,  $\beta$ : Mo, V (x)
  - b)  $\alpha$ : Zr, Hf,  $\beta$ : Mo, W
  - c)  $\alpha$ : Co, Ni,  $\beta$ : Mn, V
  - d)  $\alpha$ : Fe, Al,  $\beta$ : Mn, W

4. Melyik fajta ötvözet tartalmazhat szobahőmérsékleten is  $\beta$ -fázist?
  - a) tiszta titán ötvözetek
  - b)  $\alpha$ - titán ötvözetek
  - c) közelítően  $\alpha$ -titán ötvözetek (x)
  - d)  $\alpha$ - $\beta$ -stabil titánötvözetek (x)
  
5. Mely ötvözet gyors hűtésekor keletkezik martenzites fázis?
  - a) tiszta titán ötvözetek (x)
  - b)  $\alpha$ - titán ötvözetek (x)
  - c) közelítően  $\alpha$ -titán ötvözetek (x)
  - d)  $\alpha$ - $\beta$ -stabil titánötvözetek (x)
  
6. Mitől függ az, hogy milyen fajta martenzites fázis (léces, lencsés vagy  $\alpha''$ -fázis) keletkezik?
  - a) Al ötvöző arányától
  - b) Mo és/vagy V ötvöző arányától (x)
  - c) hűlési sebességtől
  - d) hevítés hőmérsékletétől
  
7. Milyen formában van jelen az Al az  $\alpha$ -titán ötvözetek szövetszerkezetében?
  - a) szubsztitúciós szilárd oldat
  - b) eutektoidot képez a titánnal
  - c) lemezes szerkezetet képez a titánnal
  - d)  $Ti_3Al$  szemcsék formájában
  
8. Milyen alkalmazásoknál találkozunk titánötvözetekkel
  - a) gépjármű motorok
  - b) gépjármű kerékfelfüggesztés rugói (x)
  - c) hajók vázszerkezetei
  - d) vegyiparban tartályok bevonatai (x)
  - e) precíziós öntés szerszámai
  - f) gyógyászati berendezések
  - g) implantátumok (x)
  - h) repülőgépek szerkezeti elemei (x)
  
9. Milyen titánötvözeteket alkalmaznak, amikor a legerősebb szilárdsági és korróziós előírásoknak megfelelő szerkezetekhez választanak anyagot?
  - a) 6% alumíniumot és 4% vanádiumot tartalmazó titánötvözeteket (x)
  - b) maximum 1% ötvöző tartalmú titánötvözeteket
  - c) 5%-nál több V+Mn tartalmú titánötvözeteket
  - d)  $\alpha$ - titán ötvözeteket
  
10. Mivel érhető el, hogy adott titánötvözet még  $1000^{\circ}C$  közelében is nagy szilárdsággal rendelkezzen?
  - a) Speciális hőkezeléssel
  - b) Kis mennyiségű palládium hozzáadásával és hőkezeléssel
  - c) Kis mennyiségű ittrium hozzáadásával és hőkezeléssel
  - d) Nagyobb mennyiségű alumínium hozzáadásával és hőkezeléssel (x)