



Anyagtudomány és Technológia Tanszék



# Anyag- és technológiaválasztás

Fémek technológiája  
Dr. Orbulov Imre Norbert  
orbulovimre.norbert@gpk.bme.hu  
orbulovi@edu.bme.hu

1

---

---

---


---

---


---

---

---



Miről lesz ma szó?



- Olyan elvekről és példákról, amelyek rávezetnek az egyes alkalmazások megfelelő anyagminőségének megválasztására
  - A mérnöki gyakorlat legnehezebb feladata
  - Számos szempont
  - Összetett feladat
  - Egyben talán a legszebb feladat
  - KOMPROMISSZUM KÖTÉS

2 / 50

2

---

---

---

---

---

---

---

---



Miért nehéz a feladat?



- Nagy számú rendelkezésre álló anyagminőség
- 40 000 ... 80 000 anyagminőség
  - Fémek
  - Kerámiák
  - Polimerek
  - Egyéb anyagok (fémüveg stb.)
 Kompozitok
- Általában nem csak egy jó megoldás van
- 5%-nál kisebb a rossz anyagválasztás okozta káreset

3 / 50

3

---

---

---

---

---

---

---

---

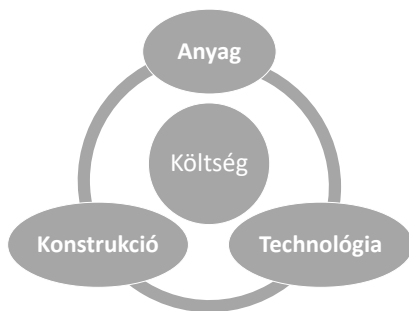
att Anyagcsoportok összehasonlítása

Jellemző	Fém	Kerámia	Polymer
Sűrűség ( $g/cm^3$ )	2-16 (átlagosan 8)	2-17 (átlagosan 5)	1-2
Olvadáspont ( $^{\circ}C$ )	alacsonytól - magasig Sn 232, W 3400	magas 4000 $^{\circ}C$ -ig	alacsony
Keménytség	közepes	magas	alacsony
Forgathatóság	jó	rossz	jó
Szaktűrőerősség (MPa)	2500-ig	400-ig	120-ig
Nyomótűrőerősség (MPa)	2500-ig	5000-ig	350-ig
Rug. modulus (GPa)	40-400	150-450	0.001-3.5
Kiszárlási ellenállás	rossz	kiváló	-
Hőágulási	közepes és nagy	kiszárlási közepesig	nagyon nagy
Hővezetés	közepes	közepes, de gyakran gyorsan csökken a hőmérséklettel	nagyon kicsi
Hőléghel szembeni ellenállás	jó	általában rossz	-
Elektromos ellenállás	vezető	szigetelő (de fél- és szupravezetők is)	szigetelő
Kémiai ellenállás	gyenge-közepes	kiváló	általában jó
Oxidációval szembeni ellenállás magas hőmérsékleten	gyenge, anyagától függ	az oxidoké kiváló SiC és Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> jó	

4 / 50

4

att



5 / 50

5

att A legfontosabb a műszaki megfelelés

- Szilárdság
- Szívósság
- Hőállóság
- Korrozóállóság
- Alakíthatóság
- Feldolgozhatóság
- Újrahasznosíthatóság
- Különleges tulajdonságok



6 / 50

6



## Mechanikai tulajdonságok



- Folyáshatár
  - Határozott
  - Egyezményes
- Szakítószilárdság
- Rugalmassági modulusz
- Kúszási határ
- Kifáradási határ
- Törési szívósság
- Keménység
- Alakváltozó képesség



7 / 50

7

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## További tulajdonságok



- Sűrűség
- Olvadáspont
- Elektromos vezetés
- Mágneses tulajdonság
- Hővezetőképesség
- Hőtágulás
- Hőállóság
- Önthetőség
- Forgácsolhatóság
- Alakíthatóság
- Kérgesíthetőség
  - Felületi edzés
  - Betétedzés
  - Nitridálhatóság

8 / 50

8

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Gazdasági tényezők



- Tiszta anyagköltség
- Nyers alkatrész előállítási költsége
- Környezeti költségek
- Szerszám költségek
- Forgácsoló megmunkálások költsége
- Tulajdonságjavító műveletek költsége
- Esetleges felület-kikészítési műveletek költsége
- Újrahasznosítás vagy megsemmisítés költsége

9 / 50

9

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



## Az anyagválasztás menete



1. Mire való az alkatrész?
2. Mik az igénybevételei az alkatrésznek?
3. Melyik anyagcsoport felel meg leginkább az igénybevételeknek?
4. Melyik anyag lenne legjobb az anyagcsoporton belül?
5. Hogyan gyártják és hőkezelik az alkatrészt?

10 / 50

10



## Néhány „ökölszabály”



- Szerkezetet mindig szerkezeti anyagból készítünk
  - Szilárdság
  - Szívósság
- Szerszámot mindig szerszám anyagból készítünk
  - Kemény
  - Kopásálló
- Technológiai jelzővel választott anyagot a jelzőjének megfelelően használunk
  - Betétben edzhető – betétedzés
  - Nemesíthető – nemesítés
  - Nitridálható – nitridálás
  - Automata acél – forgácsolás
  - Melegalakító szerszámacél – kovácsolás, melegalakítás
- A hőkezeléssel beállított tulajdonságokat nagyobb hőmérsékletű kezelésekkel nem szabad elrontani

11 / 50

11



## Példa – Kúpfogaskerék



- Válasszunk anyagot egy közepes méretű (50 mm befoglaló méretű) kúpfogaskerékhez
- A fogaskerék egy ipari hajtóműben üzemel
- Közepes terhelésnek kitett alkatrész
- Nagy darabszámban készül



12 / 50

12



## 1. Mire való?



- A fogaskerekek nyomatékszármasztató gépelemek
- A nyomatékot alakzárással viszik át
- A fogak egymáson legördülnek
  - Ideális esetben...
- A kúpfogaskerekek egymással szöget bezáró tengelyeket kapcsolnak össze

13 / 50

13



[https://www.youtube.com/watch?v=cp\\_JiZl01sY](https://www.youtube.com/watch?v=cp_JiZl01sY)

Fogaskerekek – animáció  
0:38

14 / 50

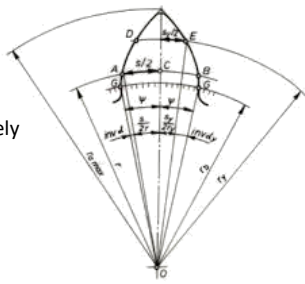
14



## 2. Igénybevételek?



- Fogak, fogtövek
  - Foghajlítás
  - Fognyírás
  - Ismétlődés
  - Feszültségűjtő hely
  - Kopás
- Keréktest
  - Csavarás
  - Hajlítás
  - Nyírás



15 / 50

15



## 3. Anyagcsoport?



- Dinamikus, ismétlődő igénybevétel miatt
  - Nemesíthető acélok
  - Betétben edzhető acélok
- A koptató igénybevétel miatt
  - Kérgesítés szükséges
- Van-e korlát?
  - Kis C tartalom miatt a betétben edzhető acélok max. 80 mm-ig edződnek át, nem gond
  - Nemesíthető acéllal elérhető keménység max. 55 HRC, ez gond lehet

16 / 50

16



## 4. Konkrét anyag?



- Az anyagcsoporton belül számos anyag megfelel, fő szempontok:
  - Szilárdság
  - Átedzhető átmérő
  - Ötvöztartalom – ár
  - Megmunkálhatóság
  - Elérhetőség

16MnCr5

17 / 50

17



## 4. 16MnCr5



- Az ötvözés megfelel a szilárdsági követelményeknek ( $R_{eH} \sim 600$  MPa)
- Mn és Cr biztosítja a szükséges átedzhető szelvényátmérőt
- Könnyen beszerezhető
- Nem túlságosan drága

18 / 50

18



## 5. Gyártás?



- Beszerzés rúdacél formájában
- Darabolás
- Süllyesztékes kovácsolás kúp alakra – 1100°C
- Melegsorjázás, hűtés levegőn – normalizálás
- Nagyoló forgácsolás, fogazás
- Hőkezelés – kettős edzés
- Méretpontos megmunkálás – köszörülés

19 / 50

19



<https://www.youtube.com/watch?v=82wRau6iWtY>

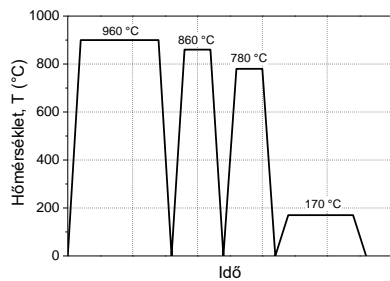
Fogazás - fogvésés  
0:30

20 / 50

20



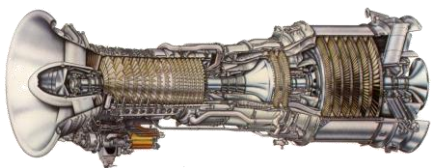
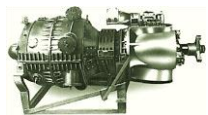
## 5. Hőkezelés?



21 / 50

21

**att** Összetett példa – gázturbina lapát 



General Electric LM2500 Gas Turbine

22 / 50

22

---

---

---


---

---

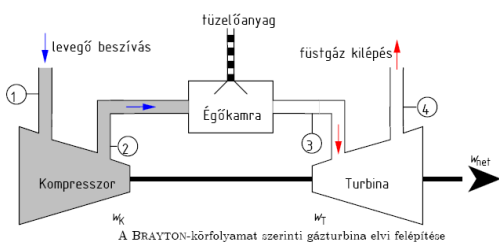
---

---

---

**att** Működési elv 

• Brayton-féle körfolyamat alapján



23 / 50

23

---

---

---


---

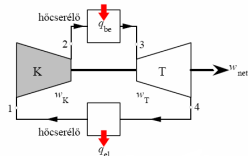
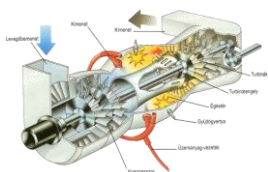
---

---

---

---

**att** Brayton körfolyamat hatásfoka 



Helyettesítés zárt körfolyamattal

$$\eta_{th} = \frac{q_{be} - q_{el}}{q_{be}} = 1 - \frac{1}{r_p^{(\kappa-1)/\kappa}}$$

- $\eta(T), T_3 \uparrow \rightarrow \eta \uparrow$
- Hőállóság + nagy terhelés
- Anyag ???

$$r_p = \frac{p_2}{p_1} \quad r_{p,opt} = \left( \frac{T_3}{T_1} \right)^{\frac{\kappa}{2(\kappa-1)}}$$

24 / 50

24

---

---

---

---

---

---

---

---



- Az eredmények alapján, tehát a gázturbináknak annál magasabb a hatásfoka, minél nagyobb a munkaközeg legkisebb és legnagyobb hőmérséklete közötti különbség
- Ez azt jelenti, hogy a hatásfok növeléséhez az égéstérből kilépő gázkeverék hőmérsékletét a lehető legnagyobbra kell emelni
- Ezt a nagy hőmérsékletet (1500-1650°C) kell elviselniük a turbinalapátoknak, amik ráadásul még percenként akár 10000-et meghaladó fordulatszámon forognak is

25 / 50

25

---

---

---

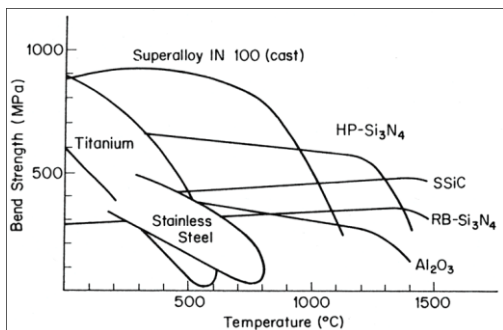
---

---

---

---

---



26 / 50

26

---

---

---

---

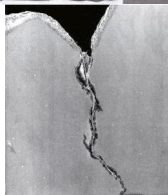
---

---

---

---

- Kúszás (tartós folyás)
  - Olvadásponttal összevethető hőmérséklet
  - Állandó mechanikai terhelés
- Fárasztás
  - Időben változó, periodikus igénybevétel
- Korrozó
  - Nagy hőmérsékletű füstgáz meglehetősen korrozív



27 / 50

27

---

---

---

---

---

---

---

---

**att** Kombinált megoldás szükséges 

- Technológiai + anyagszerkezeti megoldás
- Manapság Ni alapú szuperötvözetek
  - ~10% Ti és Al + Cr, Mo, Ta, W, Re
  - 1200 és 1350°C között még ezek az ötvözetek is kilágyulnak
- Hűtés, hogy a hőmérséklet  $0,8 \dots 0,9 T_{olv}$  között alatt maradjon
- Ezért bonyolult, öntött darabok, furatokkal

28 / 50

28

---

---

---

---

---


---

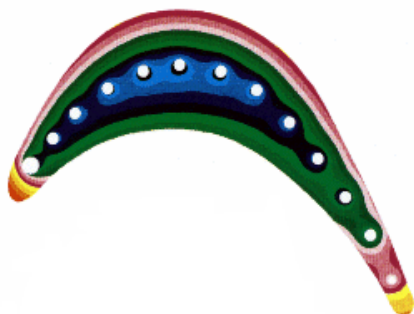
---

---

---

---

**att** Hűtőfuratos turbinalapát keresztmetszetének hőmérséklet eloszlása 



29 / 50

29

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**att** Hőszigetelő kerámia bevonatok 

- A legnagyobb hőmérsékleten üzemelő lapátok kerámia bevonatot kapnak
- ~150°C-os hőmérsékletemelést tesz lehetővé
- Thermal Barrier Coating, 4 réteg
  - Hordozó: a szuperötvözet külső felülete
  - Kötőanyagot tartalmazó réteg
  - Oxid réteg ( $Al_2O_3$ )
  - Keramikus fedőréteg ( $ZrO_2$ )
- Kémiai és mechanikai stabilitás is javul

30 / 50

30

---

---

---

---

---

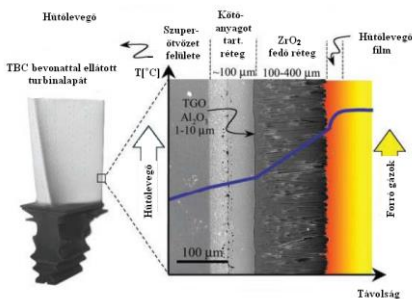
---

---

---

---

---



31 / 50

31

<https://www.youtube.com/watch?v=Pp9Yax8UNoM>

Hőszigetelés a'la Nasa  
1:30


32 / 50

32

- Vákuumkamrás „szokványos” öntés
  - Oxidáció és nem kívánt szennyezők csökkentése okán
- 1-100 μm-es egyenlőtengelyű szemcsék
- Minden szemcse orientációja más
  - Szemcsehatár választja el őket
- Nagy hőmérsékleten
  - Szemcsehatár menti elmozdulások
  - Repedésképződés
  - Kémiai aktivitás
  - Csökken a fázastással, kúszással szembeni ellenállás
  - Nő a korrózióveszély

33 / 50

33

**att** Gyártás – oszlopos szemcse (1966) 

- A lapát hossz tengelyével párhuzamos szemcse a cél
  - Mert a hossz tengely irányában hat a terhelés és az arra merőleges szemcsehatárok a veszélyesek
- Függőleges,  $T_{olv}$ -ra hevített kerámia forma, melynek alja vízzel hűtött rézlappal zár
- Precízen szabályozott kemence, hogy a látens hő a rézlap felé távozhasson
- A formát lassan süllyeszti ki a kemencéből szilárdulás közben

34 / 50

34

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**att** Gyártás – egykristály (1970) 

- Az a legjobb szemcsehatár, amelyik nincs is...
- A hűtött rézlapon oszlopos kristályok kezdenek nőni
- Spirál alakú („malacfarok”) öntőcsatorna, amely a több növekvő szemcséből kiválaszt egyetlen egyet
- A szemcse a malacfarokból kijutva belenő a lapát tövébe
- Vezérelt süllyesztés
- Az egész bonyolult turbinalapát egyetlen kristályból épül fel



35 / 50

35

---

---

---

---

---

---

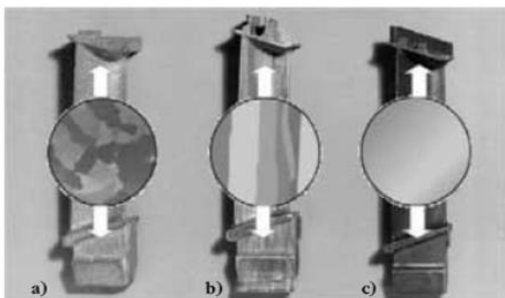
---

---

---

---

**att** Összehasonlítás 



36 / 50

36

---

---

---

---

---

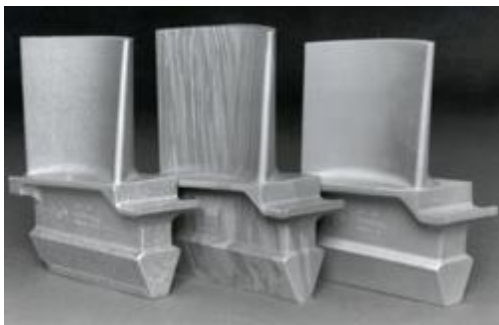
---

---

---

---

---



37 / 50

37

---

---

---

---

---

---

---

---

- Sugárhajtóművekben

- Kilencszeres élettartam kúszással szemben
- Kilencszeres élettartam fáradással szemben
- 3-szoros korróziós élettartam
- 1982 óta repülnek
- Pl.: Boeing 767 és Airbus 310

38 / 50

38

---

---

---

---

---

---

---

---

- Áramtermelő gázturbinákban

- A 200-400 MW villamos teljesítményt előállító berendezések lapátjai tízszer nagyobbak a sugárhajtóművekben működőkénei
- Ilyen méretű lapátok egyirányú kristályosítással történő előállítására még a közelmúltban is csak nagy selejthányaddal volt megvalósítható
- A kritikus egyirányú hővezetés biztonságának javításával érték el jelentős javulást az egykristály-gyártásban
- A világ egyik legnagyobb, közel 60%-os termikus hatásfok mellett 530 MW villamos teljesítményt adó gázturbinája Walesben működik
- A legmagasabb hőmérsékleten működő egykristály-turbinalapátok körülbelül 45 cm hosszúak, egy lapát tömege körülbelül 15 kg.

39 / 50

39

---

---

---

---

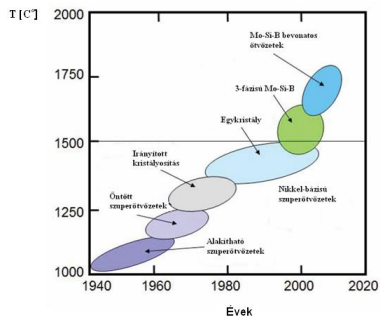
---

---

---

---

 Hová tartunk? 



40 / 50

40

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

 Példa - Kovácsülleszték 

- Válasszuk anyagot egy nagyméretű (200×200×500 mm befoglaló méretű) kovácsüllesztékhez
- A szóban forgó sülleszték egy tehergépjármű motor hajtókarjának készüreg előtti lépése
- Nagy dinamikus és ismétlődő mechanikai és hőterhelésnek kitett alkatrész
- Kis darabszámban készül

41 / 50

41

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

 1. Mire való? 

- A süllesztékes kovácsolás tipikus melegalakító technológia
  - Acéloknál ~1100°C
- Nagy sorozatok gyártásához
- Nagy darabszám esetén alkalmazzák



42 / 50

42

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



[https://www.youtube.com/watch?v=U1k2A3\\_MQMM](https://www.youtube.com/watch?v=U1k2A3_MQMM)

Kovácsolás

0:41

43 / 50

43



2. Igénybevétel?



- Nagy dinamikus és ismétlődő mechanikai igénybevétel
  - A darabot „beleütik” a formába – nagy felületi nyomás, húzó-, hajlítói igénybevétel
- Nagy és ismétlődő hőterhelés
  - Acél kovácsolásának hőmérséklete  $\sim 1100^{\circ}\text{C}$ , a fekecs szobahőmérsékletű
- Az alakváltozó anyag a szerszámon elmozdul, súrlódik, koptat
- Melegszilárdság, hőszokkállóság
- Kopásállóság

44 / 50

44



3. Anyagcsoport?



- Választás technológiai jellemző alapján
- Melegalakító szerszámacél
  - Kisebb karbon tartalom jellemzi
  - Ez nagyobb szilárdságot biztosít
  - Az üzemi hőmérséklet nem haladhatja meg a megeresztési hőmérsékletet
  - Nagyobb ötvöző tartalomnál többszöri  $500-550^{\circ}\text{C}$ -os megeresztés
  - Karbidok, kiválások képzése

45 / 50

45



## 4. Konkrét anyag?



- Az anyagcsoporton belül több is megfelel, fő szempontok

- Szilárdság
- Melegszilárdság
- Hősokkállóság
- Kis hőtágulás
- Kopásállóság

55NiMoCrV7

46 / 50

46

---

---

---

---

---

---

---

---



## 5. Gyártás



- Beszerzés tömbacél formában
- Darabolás
- Nagyoló forgácsolás
  - CNC maró
- Hőkezelés
- Méretpontosító forgácsolás
  - Simítás

47 / 50

47

---

---

---

---

---

---

---

---



<https://www.youtube.com/watch?v=RnlvhlKT7SY>

5 tengelyes marás  
2:31

48 / 50

48

---

---

---

---

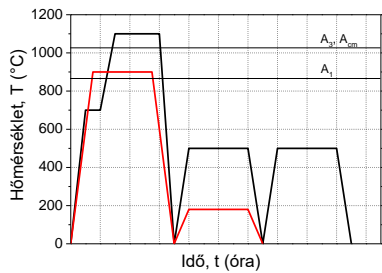
---

---

---

---






---

---

---

---

---

---

---

---

49

Dr. Orbulov Imre Norbert – orbulov.imre.norbert@gpk.bme.hu

**Köszönöm a figyelmet!**

50

---

---

---

---

---

---

---

---