

Anyag- és technológiaválasztás

Fémek technológiája

Dr. Orbulov Imre Norbert

orbulov.imre.norbert@gpk.bme.hu

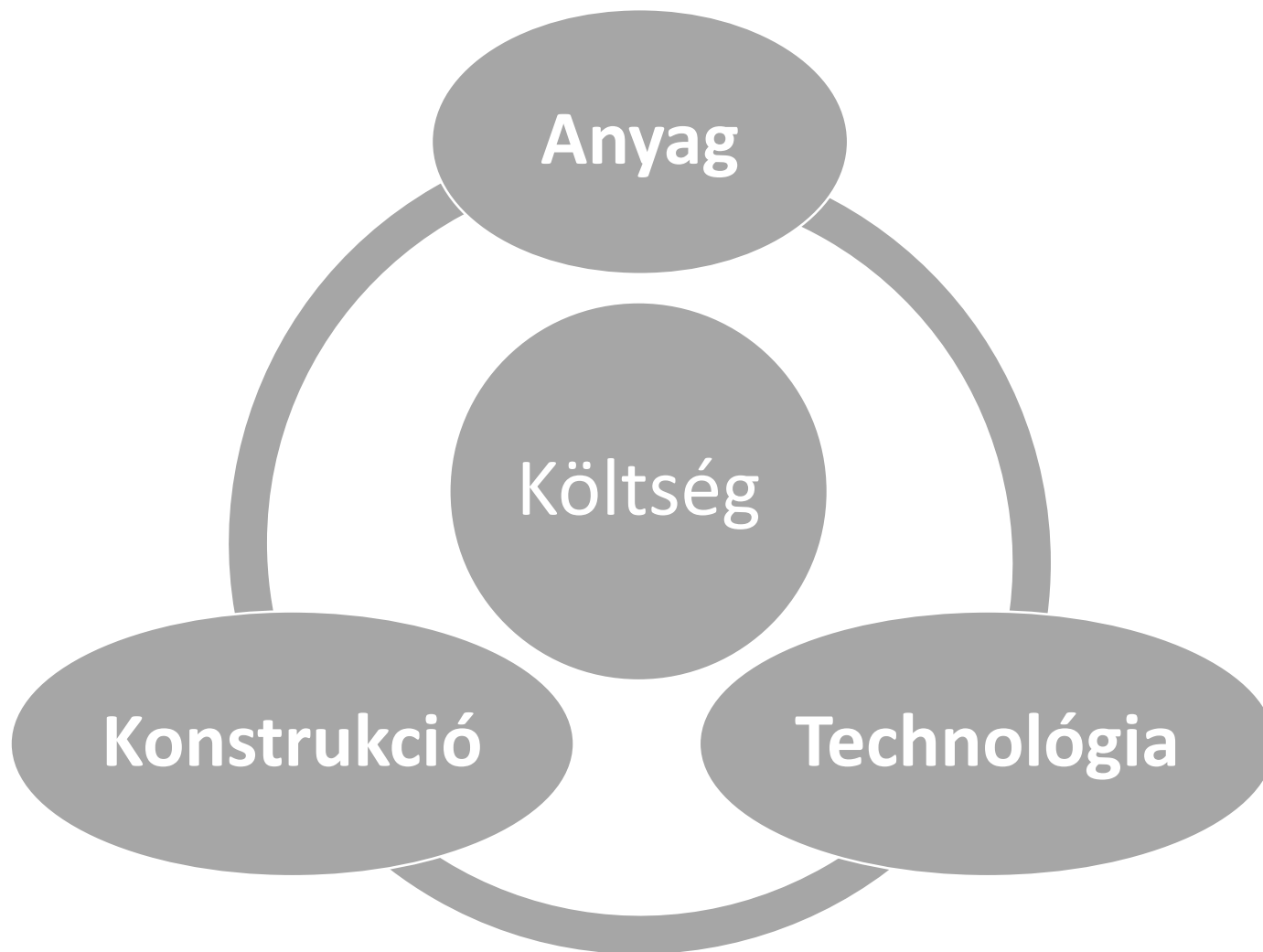
orbulovi@edu.bme.hu

- 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**

- 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

Jellemző	Fém	Kerámia	Polimer
Sűrűség (g/cm ³)	2-16 (átlagosan 8)	2-17 (átlagosan 5)	1-2
Olvadáspont (°C)	alacsonytól magasig Sn 232, W 3400	magas 4000 °C-ig	alacsony
Keménység	közepes	magas	alacsony
Forgácsolhatóság	jó	rossz	jó
Szakítószilárdság (MPa)	2500-ig	400-ig	120-ig
Nyomószilárdság (MPa)	2500-ig	5000-ig	350-ig
Rug. modulus (GPa)	40-400	150-450	0.001-3.5
Kúszási ellenállás	rossz	kiváló	-
Hőtágulás	közepes és nagy	kicsitől közepesig	nagyon nagy
Hővezetés	közepes	közepes, de gyakran gyorsan csökken a hőmérséklettel	nagyon kicsi
Hőlkéssel 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, anyagtól függ	az oxidoké kiváló SiC és Si ₃ N ₄ jó	



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



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



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

- 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

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?

- 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

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

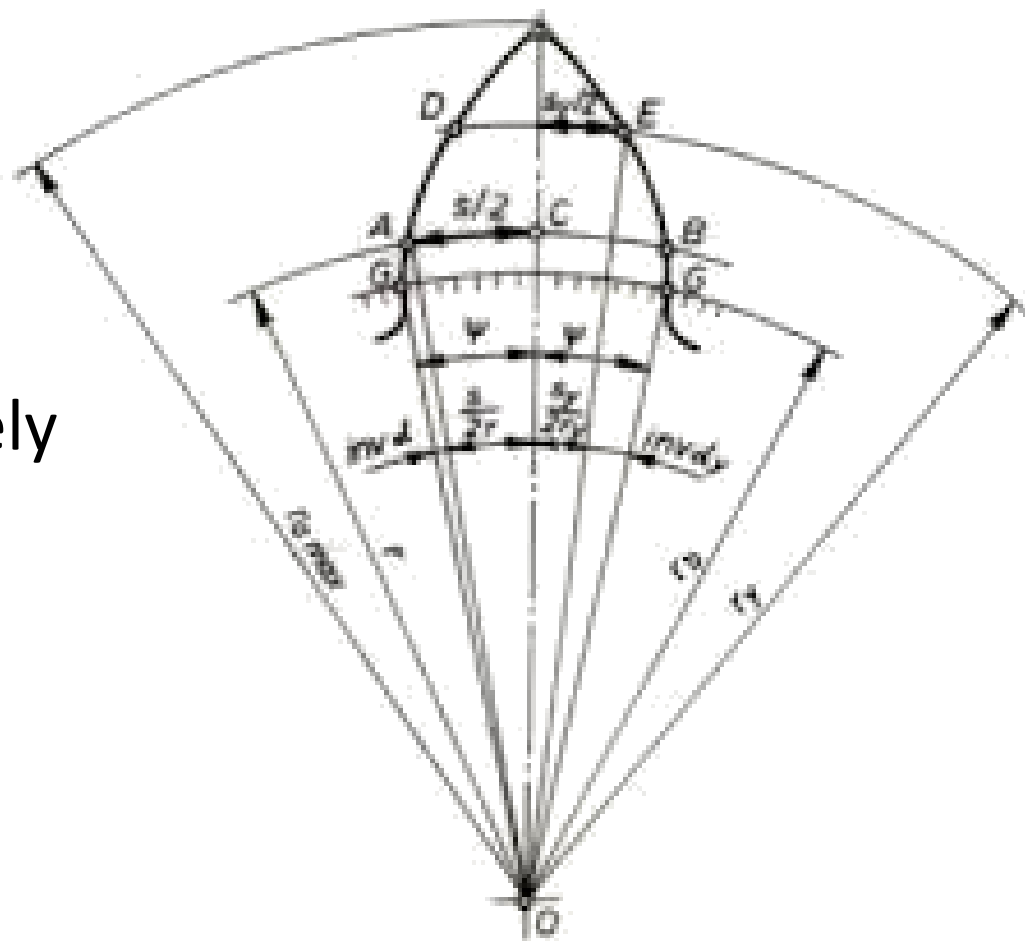


- A fogaskerekek nyomatékátszármasztató gépelemek
- A nyomatékot alakzárással viszik át
- A fogak egymáson legördülnek
 - Ideális esetben...
- A kúpfogaskerekek egymással szöveget bezáró tengelyeket kapcsolnak össze

https://www.youtube.com/watch?v=cp_JiZI01sY

Fogaskerekek – animáció
0:38

- Fogak, fogtövek
 - Foghajlítás
 - Fognyírás
 - Ismétlődés
 - Feszültséggyűjtő hely
 - Kopás
- Kerékttest
 - Csavarás
 - Hajlítás
 - Nyírás



- 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

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

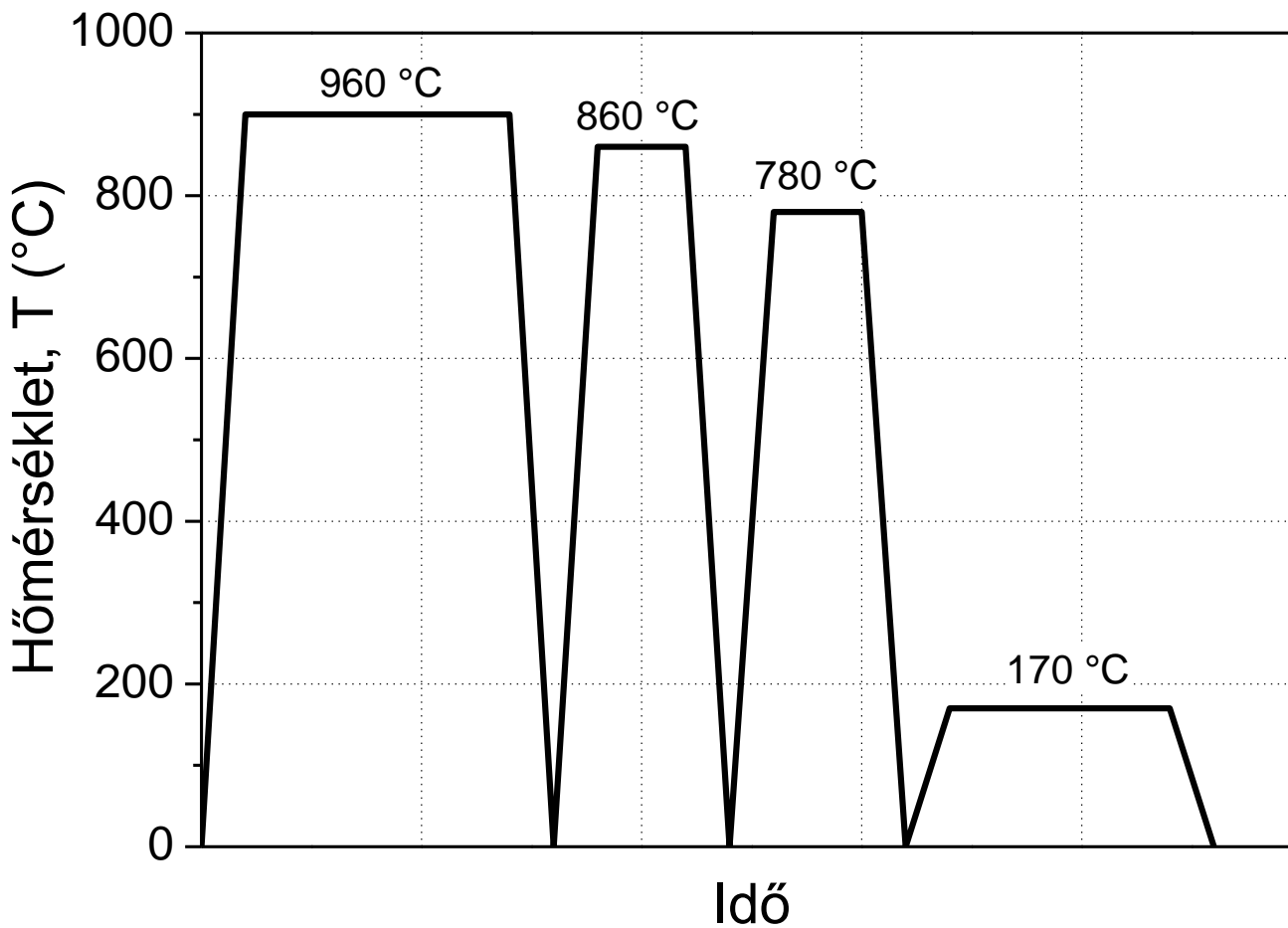
16MnCr5

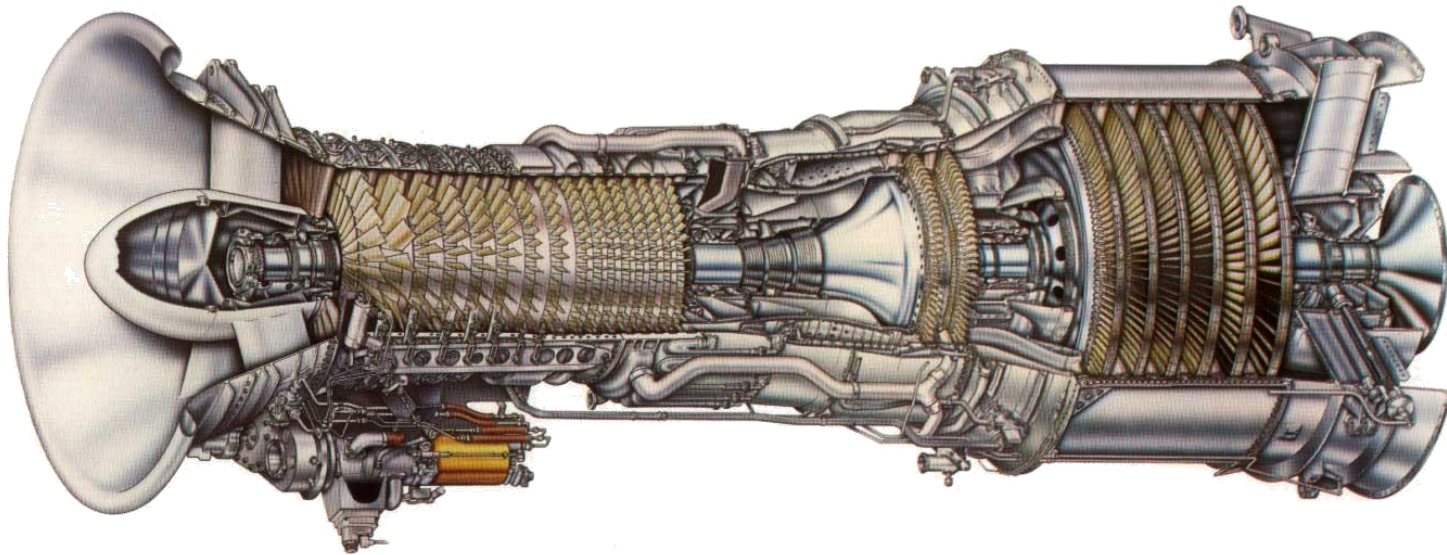
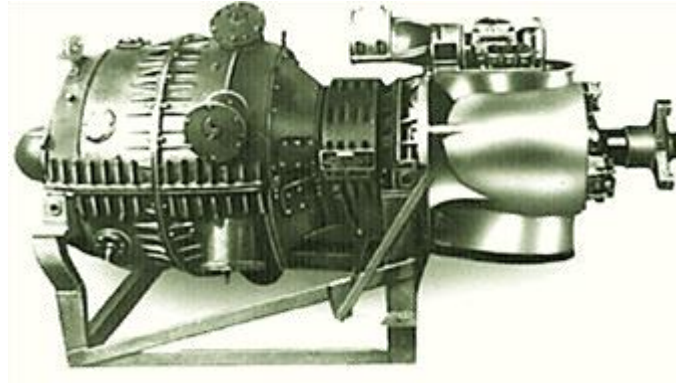
- Az ötvözés megfelel a szilárdsági követelményeknek ($R_{eH} \sim 600$ MPa)
- Mn és Cr biztosítja a szükséges átedzhető szelvényátmérőt
- Könnyen beszerezhető
- Nem túlságosan drága

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

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

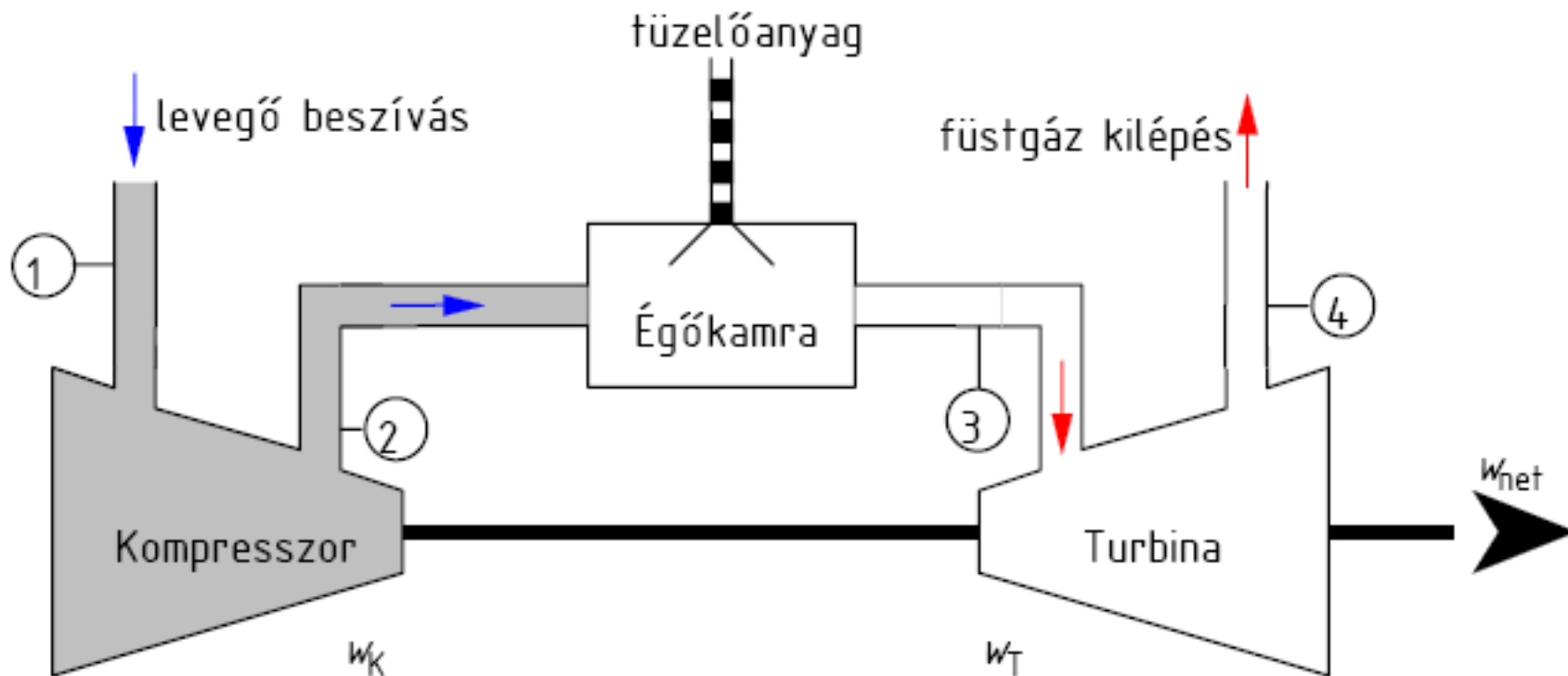
Fogazás - fogvésés
0:30



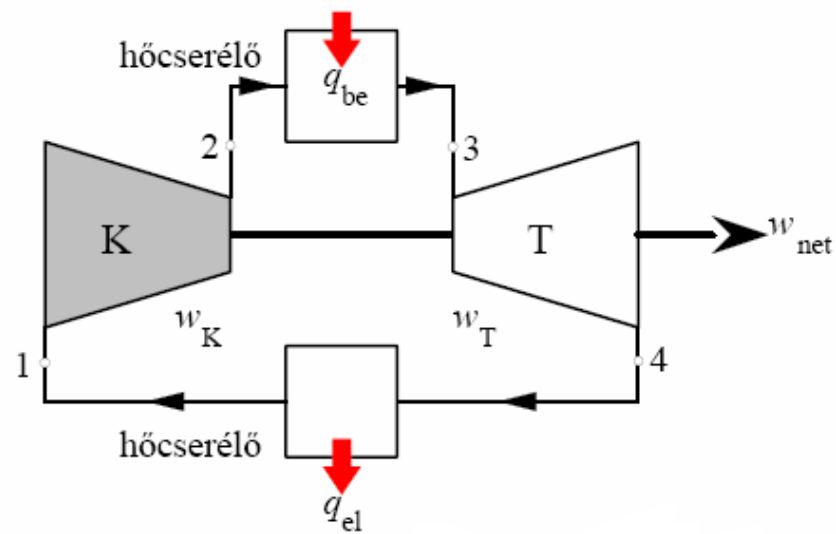
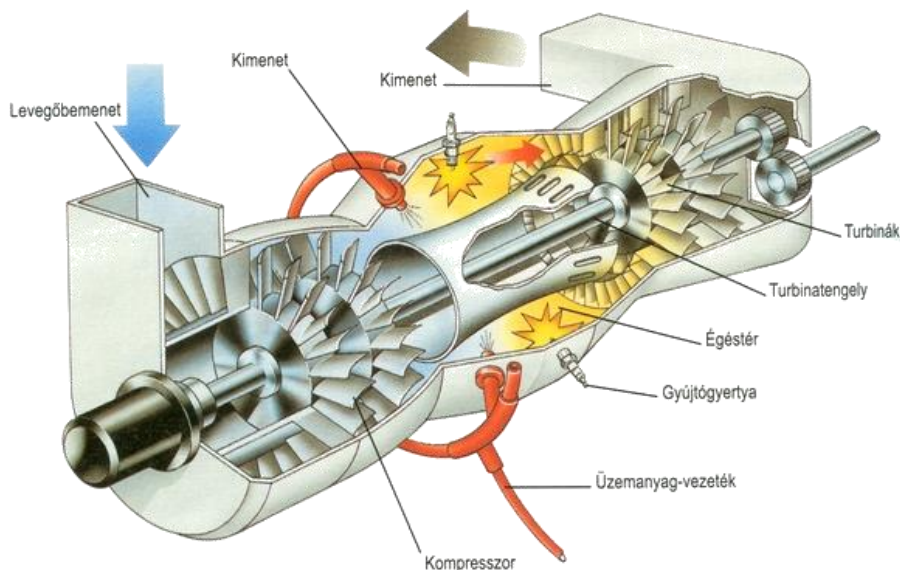


General Electric LM2500 Gas Turbine

- Brayton-féle körfolyamat alapján



A BRAYTON-körfolyamat szerinti gázturbina elvi felépítése



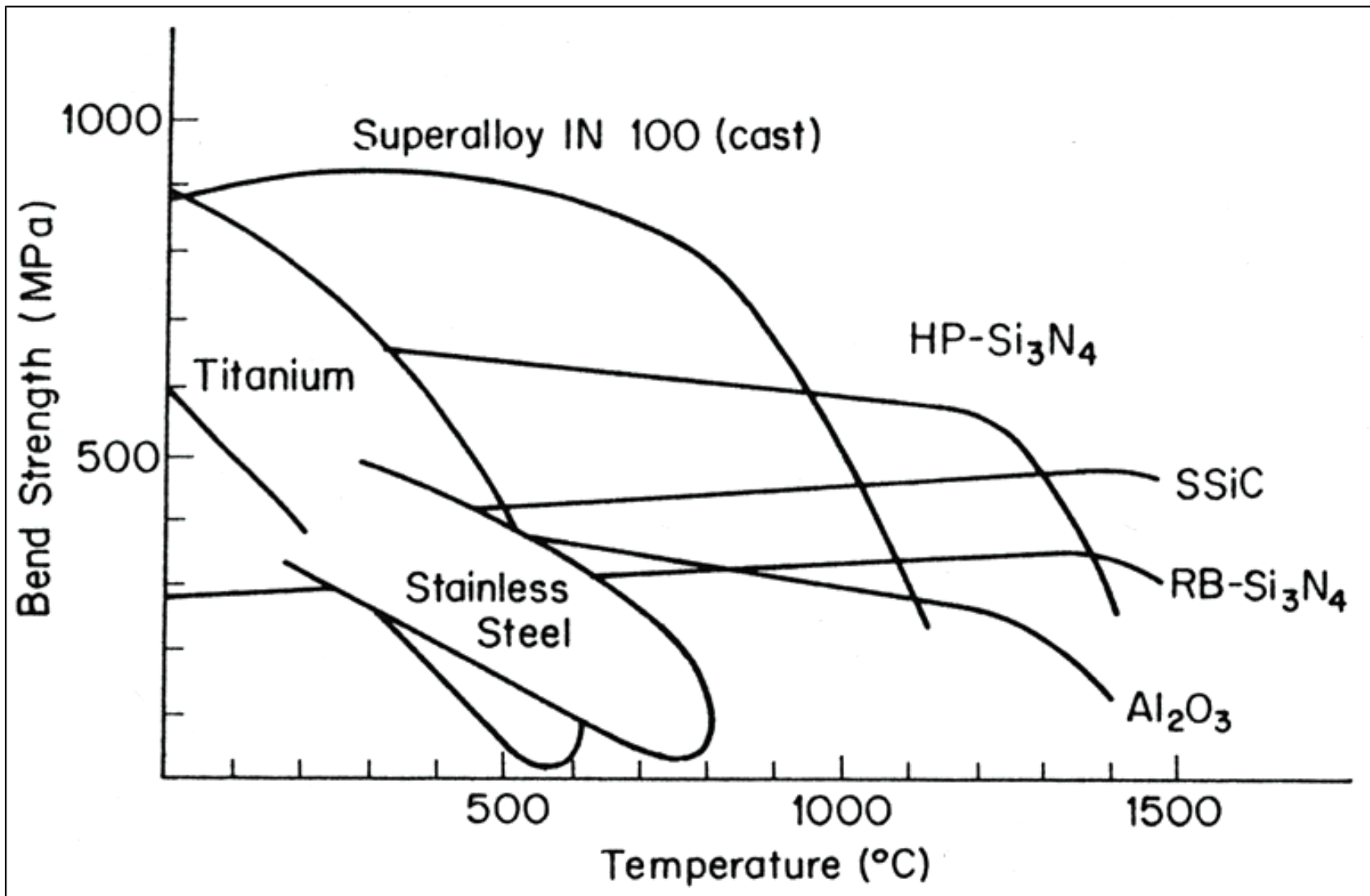
Helyettesítés zárt körfolyamattal

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

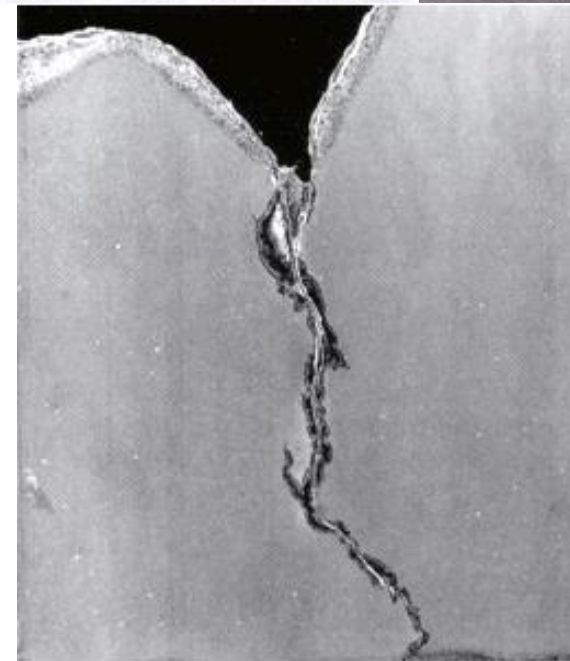
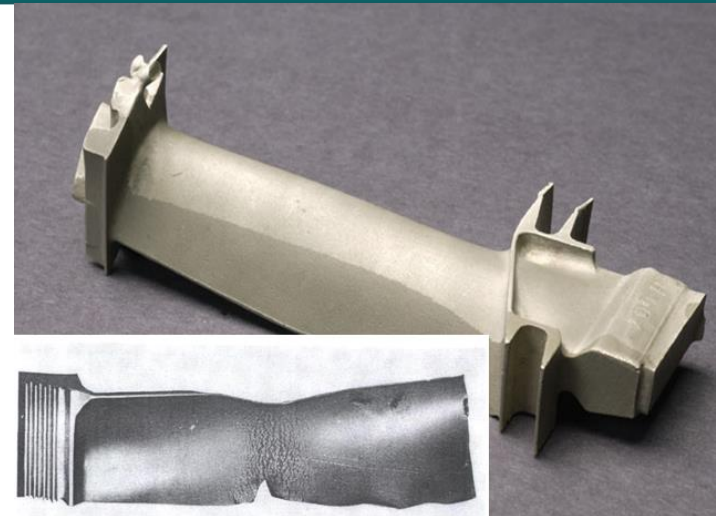
$$r_p = \frac{p_2}{p_1} \quad r_{p,opt} = \left(\frac{T_3}{T_1} \right)^{\frac{\kappa}{2(\kappa-1)}}$$

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

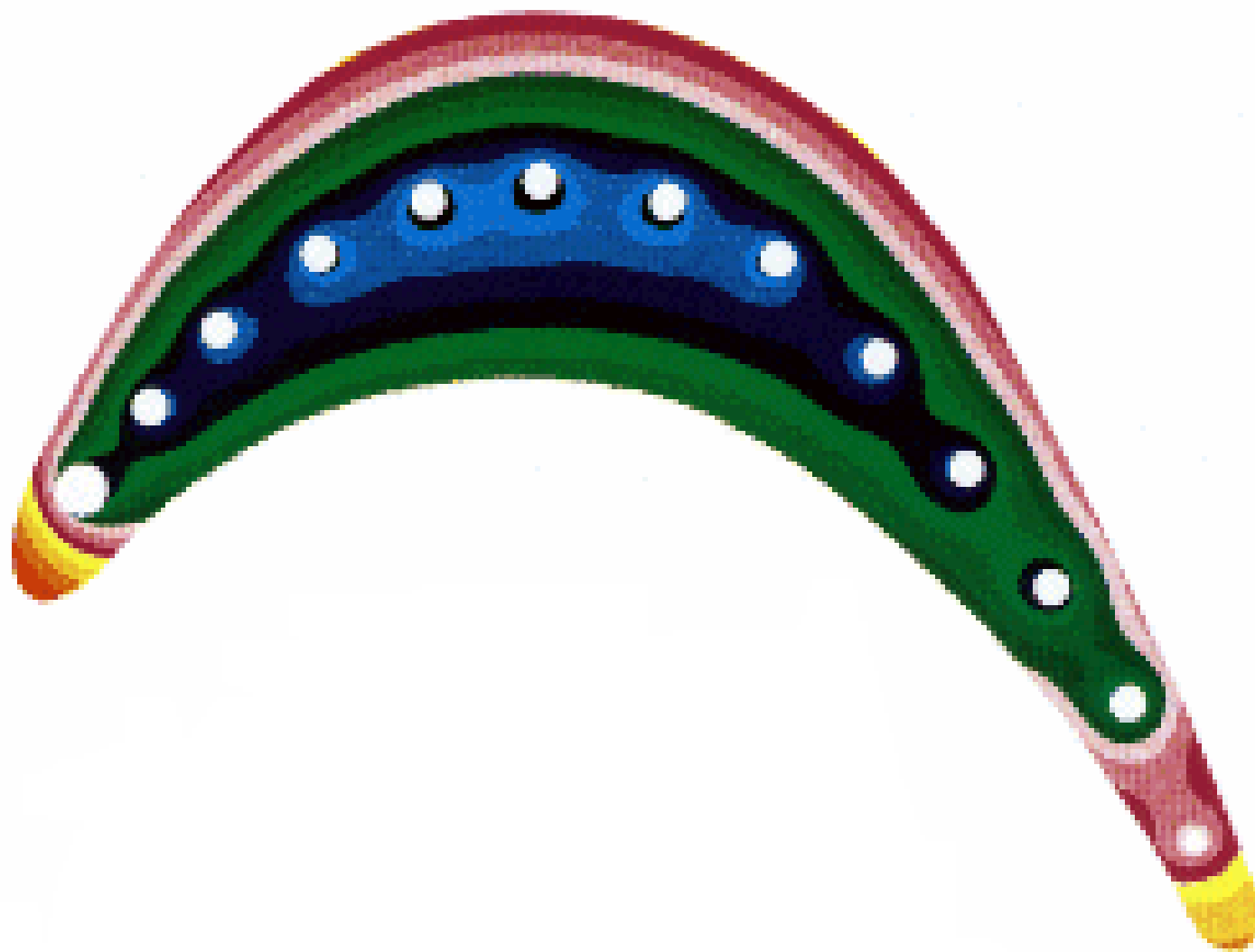
- Az eredmények alapján, tehát a gázturbináknak annál magasabb a hatásfoka, minél nagyobb a munkaközeg legkisebb és legnagyobb hőmérséklete közötti különbség
- Ez azt jelenti, hogy a hatásfok növeléséhez az égéstérből kilépő gázkeverék hőmérsékletét a lehető legnagyobbra kell emelni
- Ezt a nagy hőmérsékletet(1500-1650°C)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



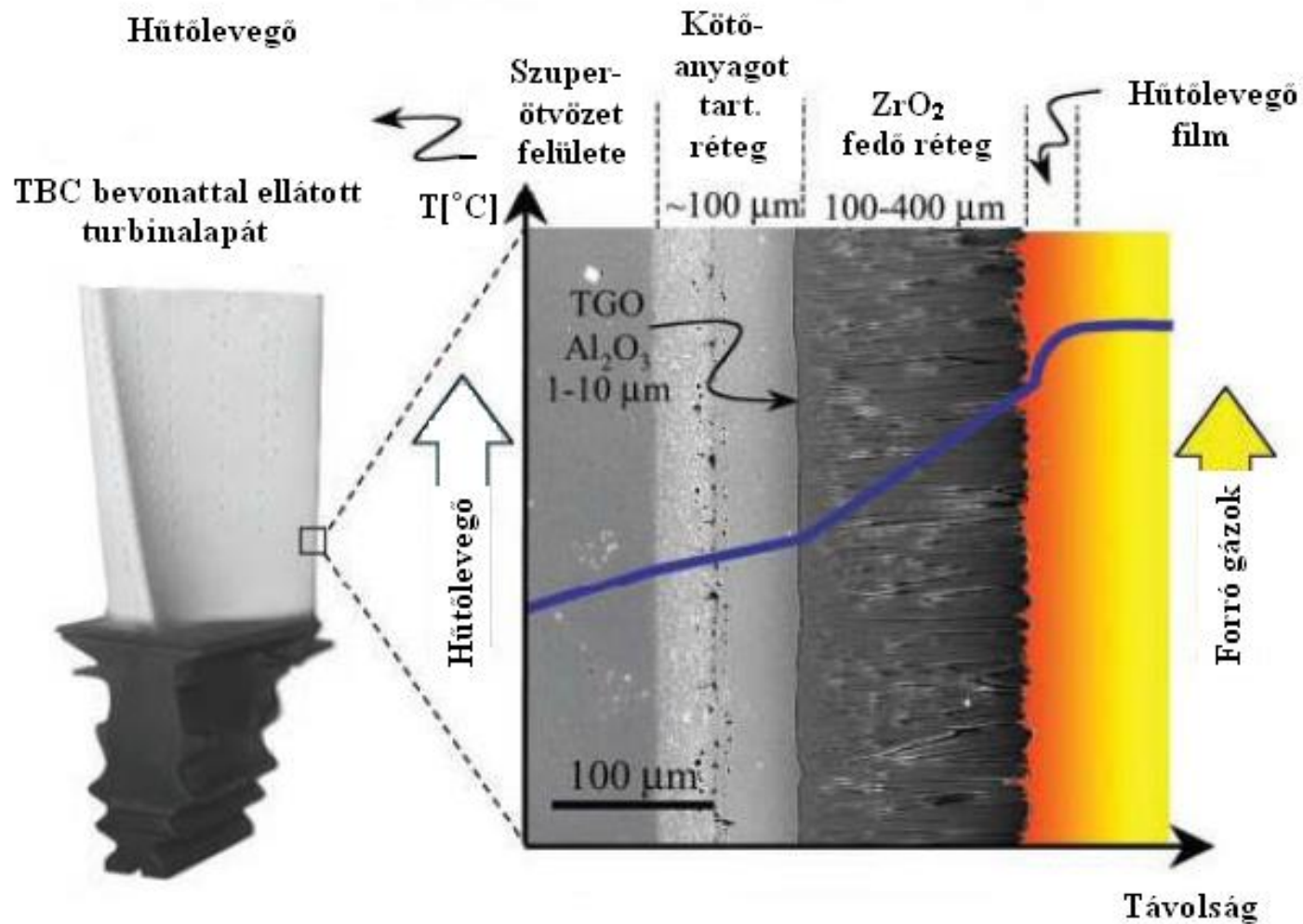
- Kúszás (tartós folyás)
 - Olvadásponttal összevethető hőmérséklet
 - Állandó mechanikai terhelés
- Fárasztás
 - Időben változó, periodikus igénybevétel
- Korrózió
 - Nagy hőmérsékletű füstgáz meglehetősen korrozív



- 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 $0,8...0,9 T_{olv}$ között alatt maradjon
- Ezért bonyolult, öntött darabok, furatokkal



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



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

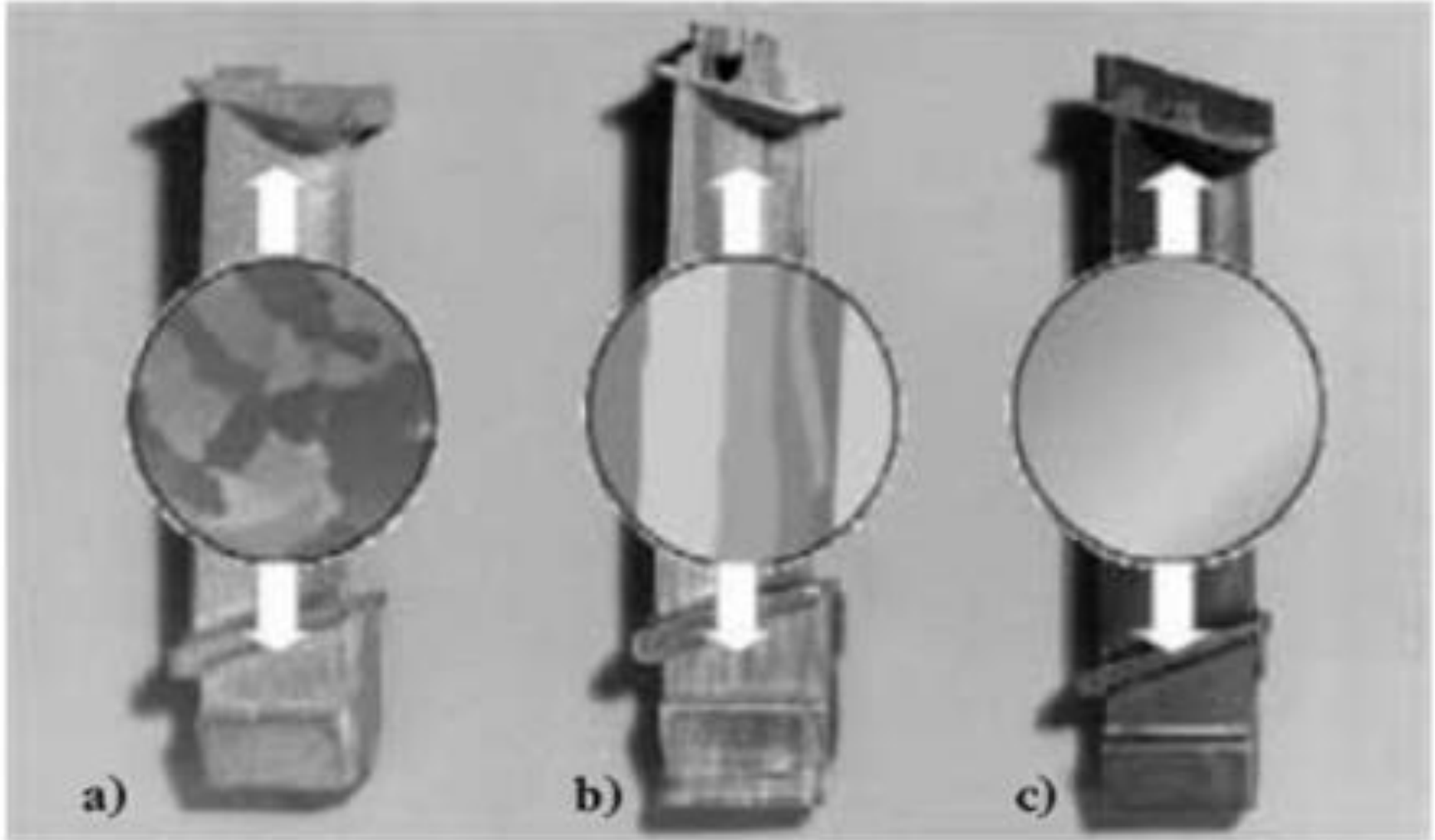
Hőszigetelés a'la Nasa
1:30

- 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 fárasztással, kúszással szembeni ellenállás
 - Nő a korrózióveszély

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

- 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

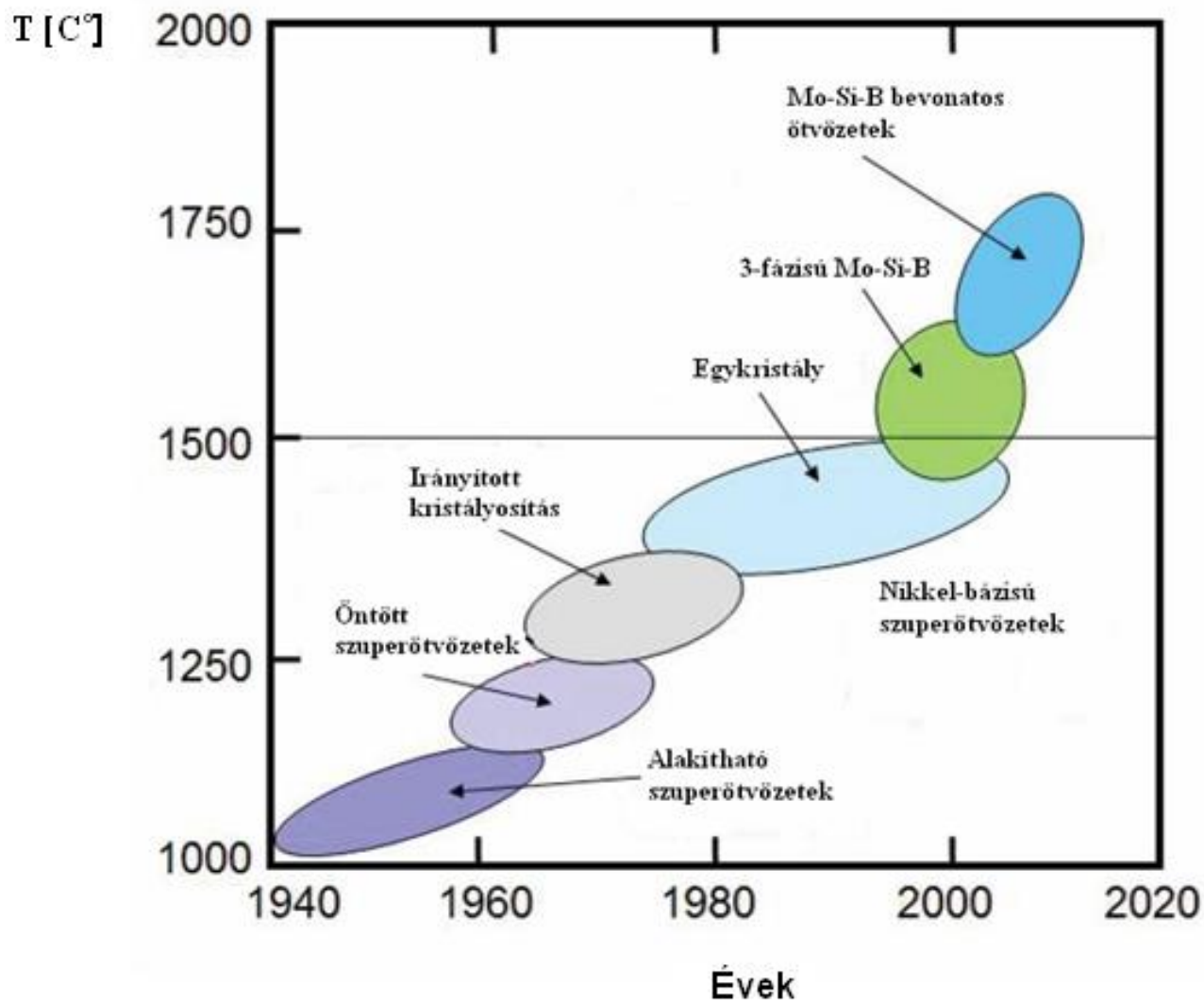






- Sugárhajtóművekben
 - Kilencszeres élettartam kúszással szemben
 - Kilencszeres élettartam fáradással szemben
 - 3-szoros korróziós élettartam
 - 1982 óta repülnek
 - Pl.: Boeing 767 és Airbus 310

- Áramtermelő gázturbinákban
 - A 200-400 MW villamos teljesítményt előállító berendezések lapátjai tízszer nagyobbak a sugárhajtóművekben működőkénel
 - Ilyen méretű lapátok egyirányú kristályosítással történő előállítása még a közelmúltban is csak nagy selejthányaddal volt megvalósítható
 - A kritikus egyirányú hőelvezetés 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.



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

- A süllyesztékes kovácsolás tipikus melegalakító technológia
 - Acéloknál $\sim 1100^{\circ}\text{C}$
- Nagy sorozatok gyártásához
- Nagy darabszám esetén alkalmazzák



https://www.youtube.com/watch?v=U1k2A3_MQMM

Kovácsolás
0:41

- 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, hősokkállóság
- Kopásállóság

- 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°C-os megeresztés
 - Karbidok, kiválások képzése

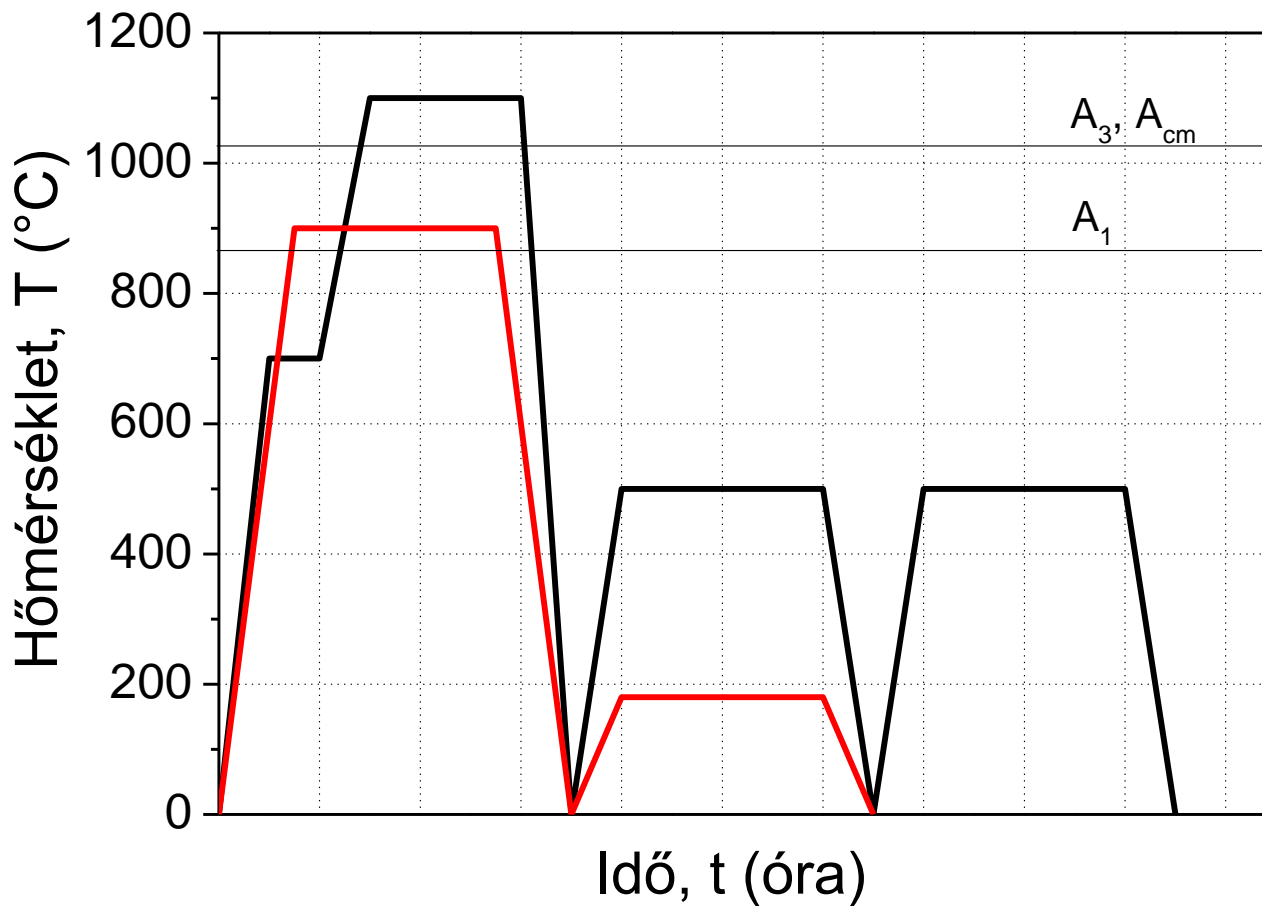
- Az anyagcsoporton belül több is megfelel, fő szempontok
 - Szilárdság
 - Melegszilárdság
 - Hőszokkállóság
 - Kis hőtágulás
 - Kopásállóság

55NiMoCrV7

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

<https://www.youtube.com/watch?v=RnIvhlKT7SY>

5 tengelyes marás
2:31



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

Köszönöm a figyelmet!