

## Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A3: Tvorba nových profesně zaměřených studijních programů

NPO\_TUL\_MSMT-16598/2022



### Předmět: Nauka o materiálu Přednáška č. 7: Pokročilá keramika a speciální materiály



doc. Ing. Pavlína Hájková, Ph.D.

# Cíl přednášky

Cílem přednášky je seznámit studenty se specifiky pokročilé keramiky. Studenti se podrobně seznámí s vlastnostmi a specifikami technické a speciální pokročilé keramiky, způsoby jejich výroby a použitím. Budou také předvedeny základní typy oxidové i neoxidové technické keramiky a materiálů na bázi uhlíku. Přednáškou se bude prolínat fiktivní řešení úloh z praxe.

# Technická keramika a její aplikace

1. Úvod
2. Jak je to v praxi?
3. Řešení úkolů
4. Rozdělení keramických materiálů
5. Vlastnosti keramiky
6. Technologie výroby pokročilé keramiky
7. Oxidová keramika
8. Neoxidová keramika
9. Speciální materiály

# 1. Jak je to v praxi?

1. Zadán problém – například: „U závodních aut máme problémy se sníženým účinkem brzd při častém brždění“
2. Úkol – „Vyřešte to, máte na to xxx Kč a xxx času“

Poznámka

**!!Materiál nelze oddělit od technologií ani aplikací!! Díky technologiím ho můžeme vyrobit a díky požadovaným aplikacím ho vyvíjíme a vyrábíme.**

3. Hmm, někdo už to někde vymyslel – snažte se zjistit jak to vymyslel a udělat to lépe a hlavně se nekřížit s patenty
4. Pokud to ještě nikdo nevymyslel, snažit se využít všech znalostí a co nejrychleji řešení vyvinout a zapatentovat, aby nás někdo nepředhonal
5. A nakonec se to musí draze prodat 😊

1. Problém: „U závodních aut máme problémy se sníženým účinkem brzd při častém brždění“

1. Problém: Jaká použít ložiska do In-line bruslí aby to jelo téměř samo

*Praktická ukázka ložisek bruslí – kovové – keramické*

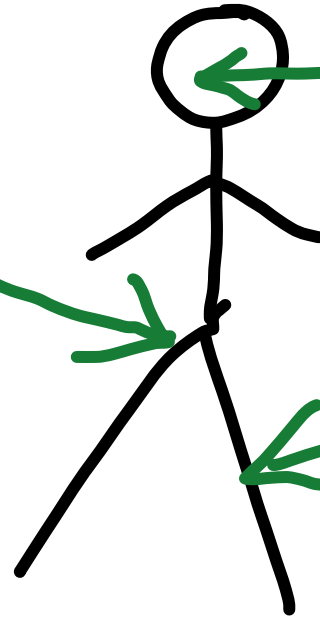
Využití pokročilé keramiky

# Úvod – keramika „ve strojírenství i pro zábavu“

## Piezokeramika - senzory



# Úvod – keramika „v medicíně a chemii“



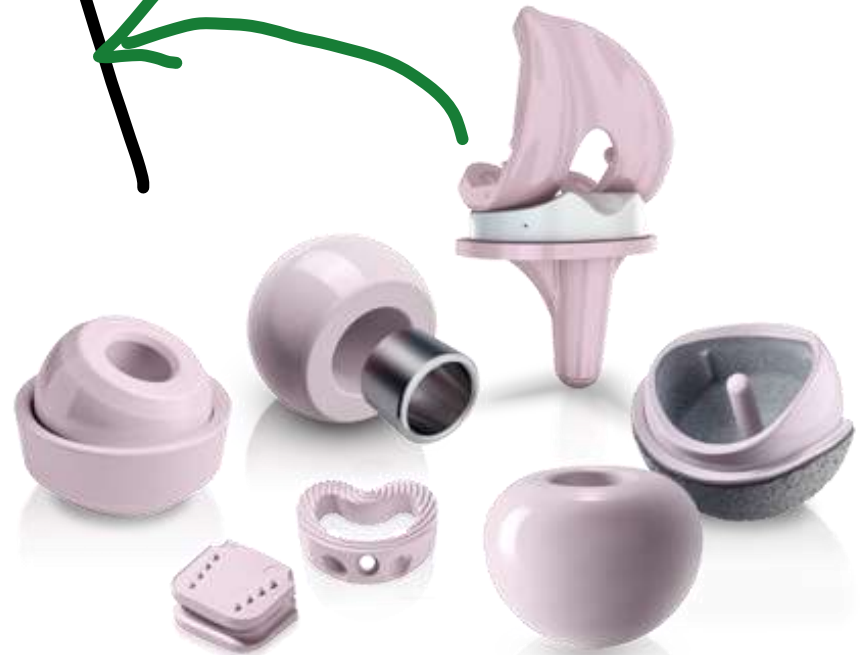
Ropa

Katalyzátory

Plasty

Nafta  
Benzín

Léky



# Keramické materiály

3. Keramika je definována jako **anorganické nekovové nebo uhlíkové těleso uměle vyrobené** (nebo vytvarované pomocí vysokoteplotního procesu). Za keramiku se rovněž považují **kompozity složené zcela nebo z podstatné části z výše definovaných materiálů**.

[PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, c1999. ISBN 80-720-4130-4]

**Definice také zahrnuje i: monokrystaly, sklo, uhlíkové produkty, geopolymery, cementy, beton**

## Typy keramických materiálů:

- Tradiční keramika
- **Pokročilá resp. Technická keramika**
- Skla, Geopolymery a Stavební materiály.



# Křehké materiály – anorganické nekovové materiály

Převážně z anorganických látek a sloučenin

Nemají kovové vazby  
(mají iontové nebo kovalentní)

Tradiční Keramika	Pokročilá keramika (konstrukční)	Skla	Geopolymery	Stavební materiály
✓ Krystalická Struktura (převážně) Porézní (až 10-15%) Z přírodních surovin	Krystalická Struktura (převážně) Nízkoporézní nebo neporézní Ze syntetických surovin	✓ Amorfní Struktura (převážně) Neporézní Z přírodních surovin	Geopolymerní vazby pojivo + plnivo Krystalická Struktura Porézní Z přírodních i syntetických surovin	Chemické vazby pojivo + plnivo Krystalická Struktura Porézní Z přírodních i syntetických surovin

# Křehké materiály – anorganické nekovové materiály

Převážně z anorganických látek a sloučenin

Nemají kovové vazby  
(mají iontové nebo kovalentní)

## Tradiční Keramika

**Oxidická**  
( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

základ jílové  
suroviny

- Porcelán
- Hrnčířská
- Žáruvzdorná
- Obklady
- Sanitární
- Stolní
- Cihly
- Kamenina

## Pokročilá keramika (konstrukční)

**Oxidická**

- Korundová
- Zirkonová

**Neoxidická**

- Karbidy
- Nitridy
- Boridy
- Na bázi C

Řezné nástroje

Biokeramika, Tenké vrstvy,  
DLC, grafen, fuleren..  
Ker. pro elektrotech.

## Skla

**Oxidická**

- Běžná skla
- Technická skla
- Okrasná skla
- Glazura, smalt
- Skleněná vlákna
- Sklokeramika

**Kovová**

- Kovová skla

## Geopolymery

- GP kompozity
- Hutné GP
- Pěněné GP
- „Plastické“ GP
- GP dusané
- GP pro 3D tisk

## Stavební materiály

- Beton
- Malta
- Sádra



# Rozdělení keramiky s polykrystalickou strukturou

## • Tradiční keramika



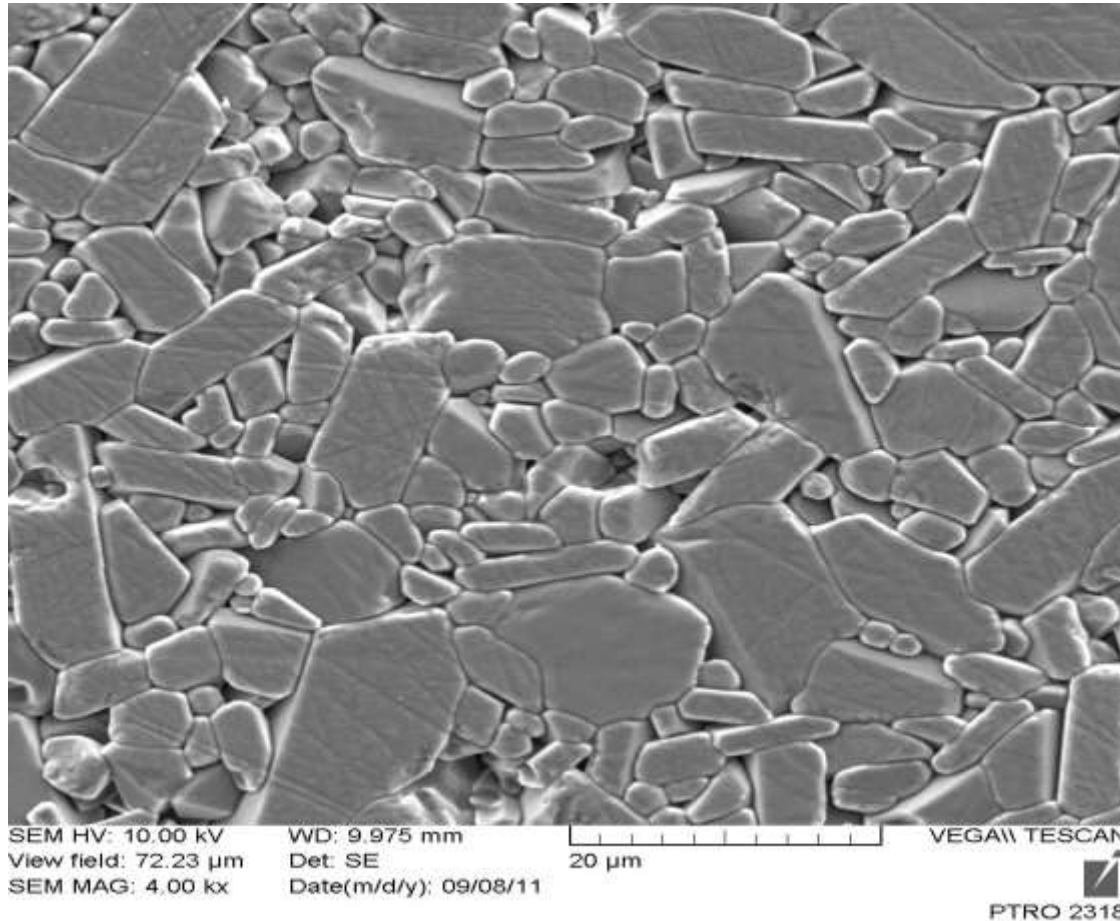
- Přírodní suroviny (jíly) pouze s částečnou úpravou
- **Vyšší porozita**
- Heterogenní struktura (různé krystaly, většinou se skelnou fází a pórovitostí)

## • Pokročilá keramika

1. Technická keramika
2. Biokeramika
3. Keramika pro chemické procesy  
- katalyzátory
4. Keramické kompozity
5. Tenké vrstvy
6. Speciální materiály

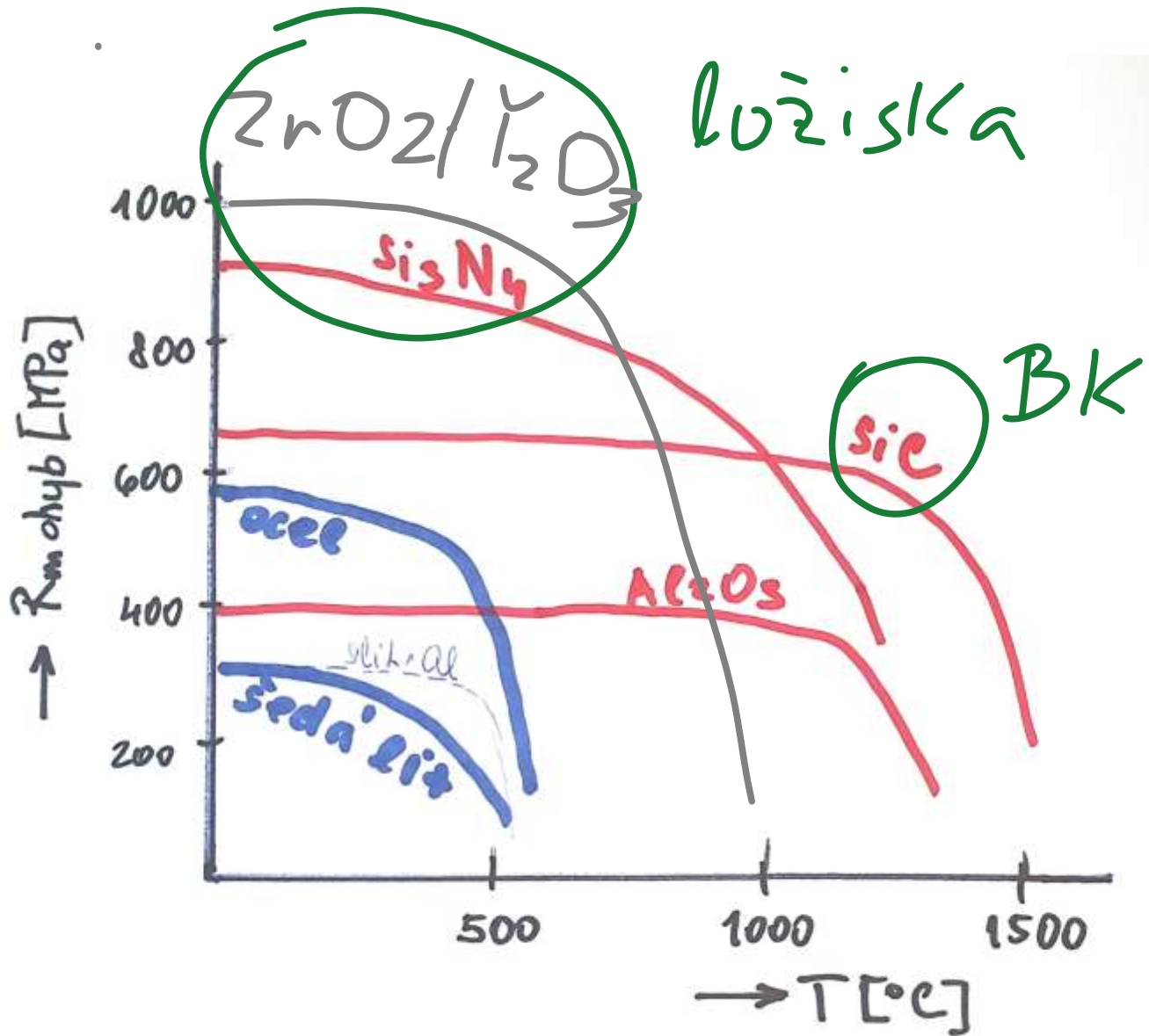
- **Nízká porozita**
- **Řízená mikrostruktura**
- **Řízené vlastnosti**
- **Ze syntetických prášků**
- **(příp. plazmové technologie)**

# SEM Korund 95%



# Závislost pevnosti ohybem na teplotě

- Keramika si udržuje svou pevnost do vyšších teplot než kovy



## - Video

Výroba pokročilé keramiky - Carbosystem

<https://takhtesefid.org/watch?v=730893054871>

Výroba keramických nožů - Kyocera

[https://www.youtube.com/watch?v=qhpi\\_mp\\_BTU](https://www.youtube.com/watch?v=qhpi_mp_BTU)

# Technologie výroby polykrystalické keramiky

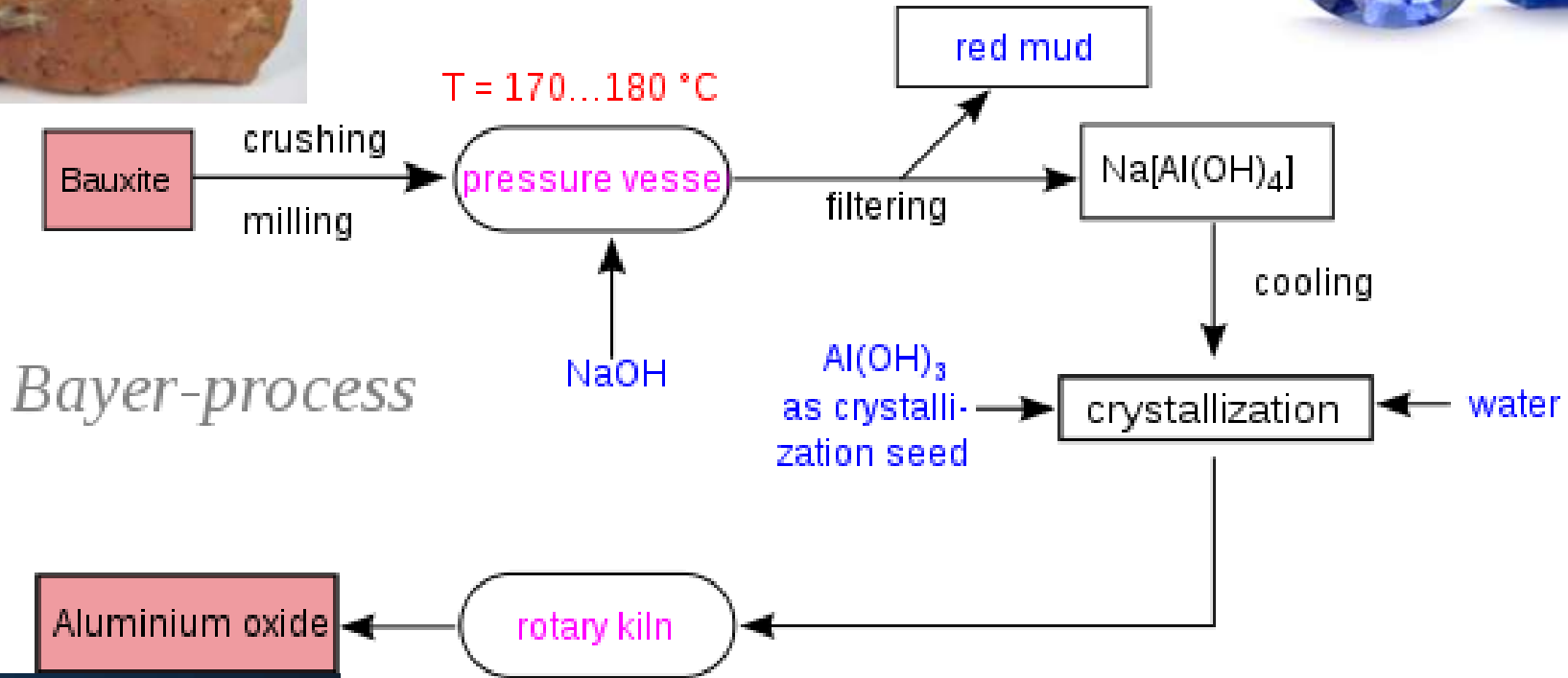
**Příprava prášku,  
mletí, třídění...**

*(Prášek 0,1–10  $\mu\text{m}$ )*



# Příprava prášku pro korundovou (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) keramiku

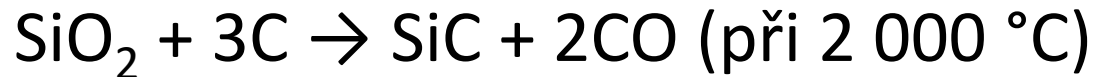
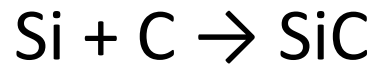
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v přírodě  
monokrystal - SAFÍR





# Příprava prášku pro karborundovou (SiC) keramiku

- Reakce uhlíku s křemíkem nebo oxidem křemičitým (= uhlí + křemičitý písek (SiO<sub>2</sub>))



- Teplota 1 600 – 2 500 °C
- Elektrické pece 9m délka, 3m výška
- Proces – cca 50 hodin



**Prášek 0,1 – 10 μm**

# Technologie výroby polykrystalické keramiky

**Příprava prášku,  
mletí, třídění...**

*(Prášek 0,1–10  $\mu\text{m}$ )*



**Mísení s dalšími  
složkami (pojivo,  
tavidla, voda...)**

# Technologie výroby polykrystalické keramiky

**Příprava prášku,  
mletí, třídění...**  
*(Prášek 0,1–10  $\mu\text{m}$ )*

**Mísení s dalšími  
složkami (pojivo,  
tavidla, voda...)**

**Tvarování  
keramického  
polotovaru**

# Metody tvarování – získání „green body“

**1. Suché lisování** (1-5% pojiva)

- 1 osé

- CIP (Cold isostatic pressure)



Nemusí se sušit

**2. Lití z tekutých suspenzí** (25-40% vody)

**3. Plastické tvarování, extruze, válcování**  
(15-27%)

**4. Vstřikování** (10-25% plastifikátorů)

**5. 3D tisk**



Musí se sušit

# Metody tvarování – získání „green body“

## 1. Suché lisování (1-5% pojiva)

- 1 osé

- CIP (Cold isostatic pressure)

## 2. Lití z tekutých suspenzí (25-40% vody)

## 3. Plastické tvarování, extruze, válcování (15-27%)

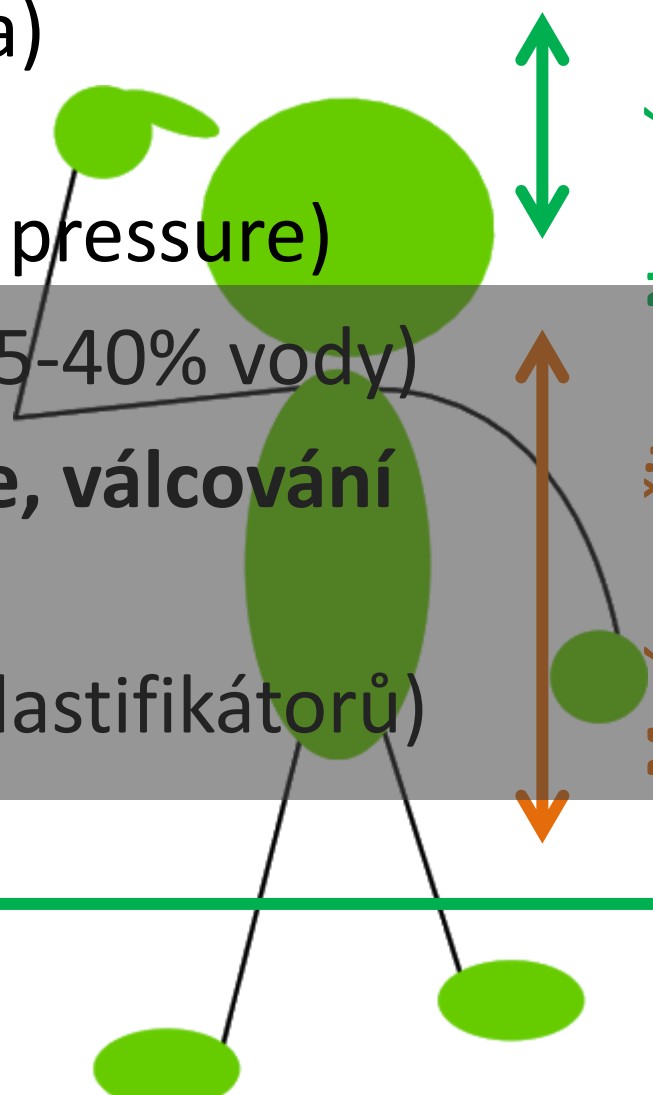
## 4. Vstřikování (10-25% plastifikátorů)

## 5. 3D tisk

**Green body**

Nemusí se sušit

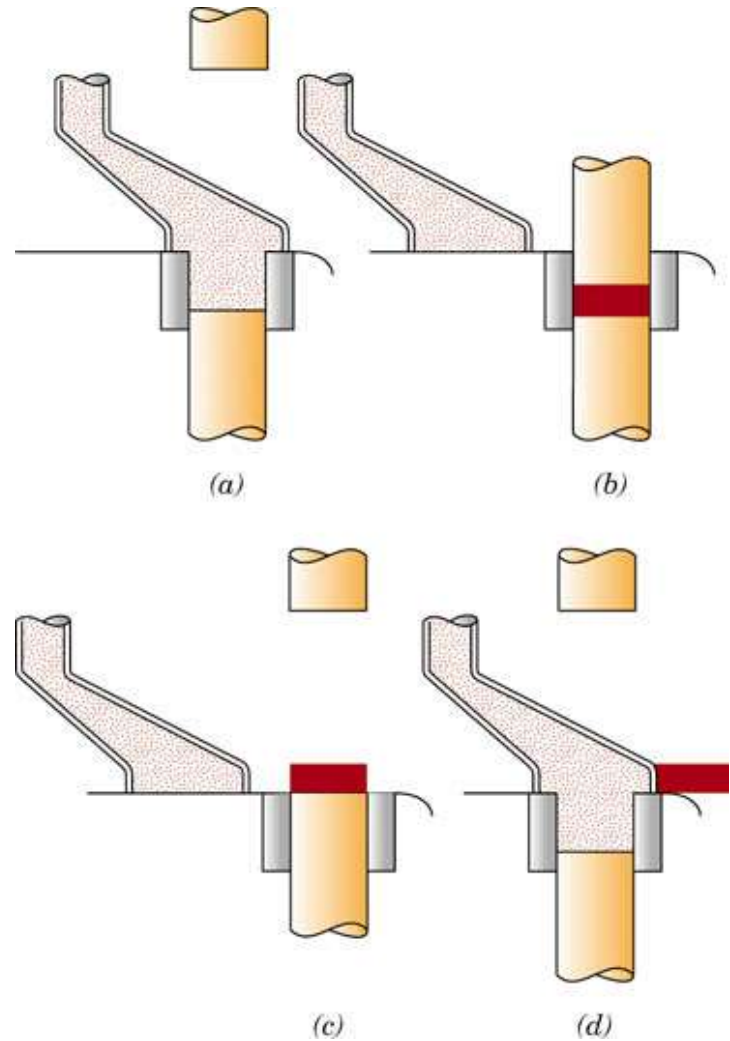
Musí se sušit



# Metody tvarování – Suché lisování

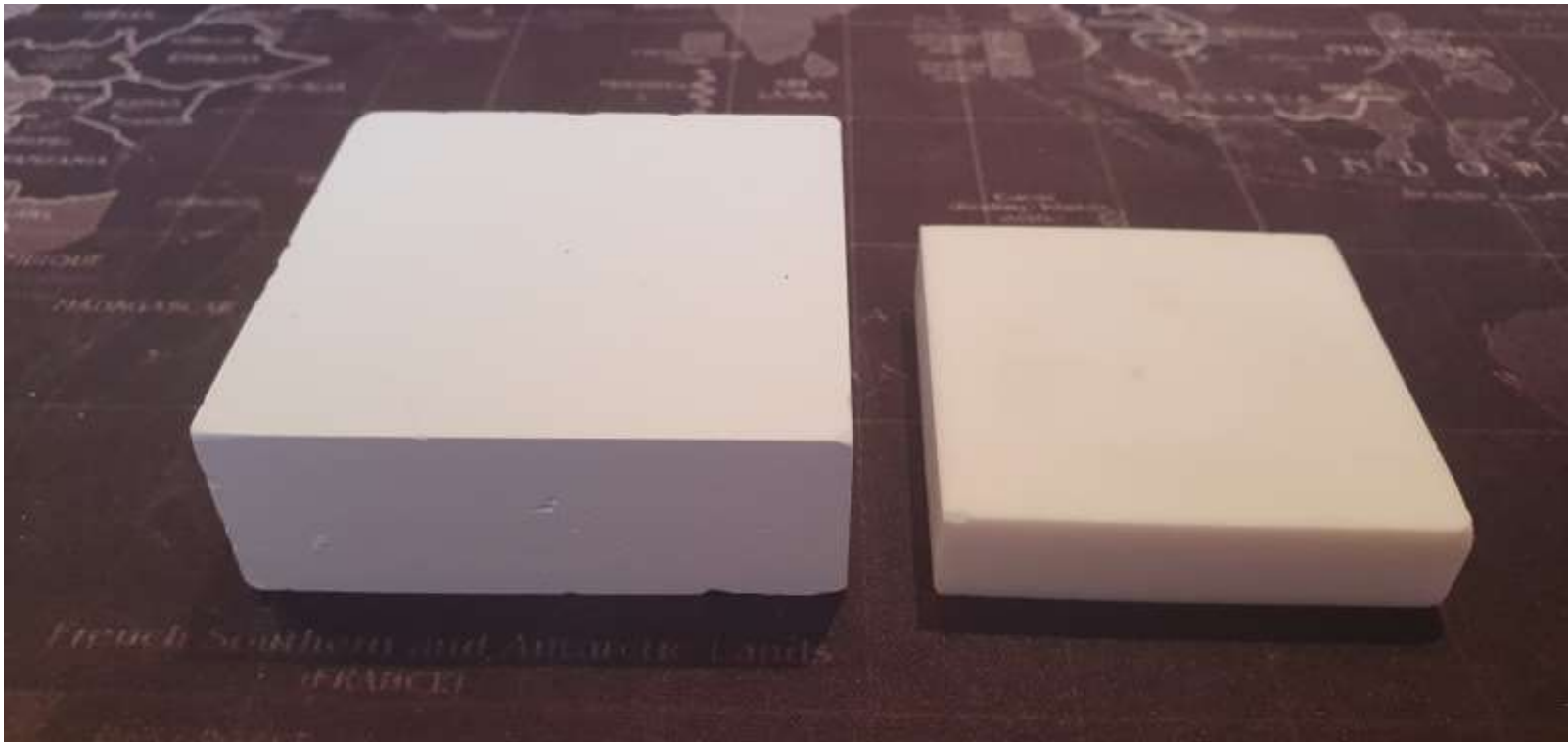
- jednoosé lisování

Př: keramické vložky – baterie,  
pancíř



# Metody tvarování – Suché lisování

- Ukázka pancíř – „green body“ a po výpalu



„Green body“ (60 x 60x 20) mm

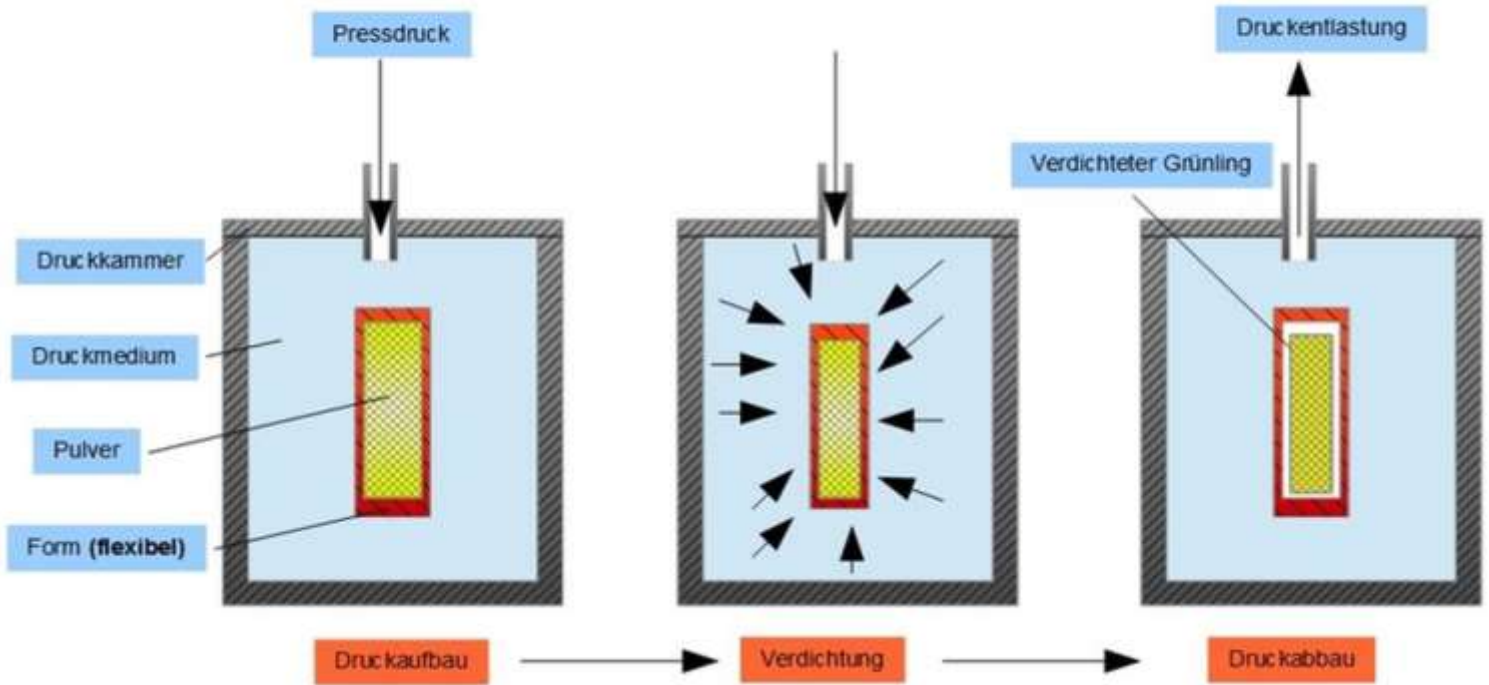
po výpalu (50 x 50 x 10) mm

# Metody tvarování – Suché lisování

## CIP Cold Isostatic Pressure

tlak cca 200 MPa

Isostatisches Pressen



➡ Pak „doopracování“ do požadovaného tvaru



# SUŠENÍ, OPRACOVÁNÍ „GREEN BODY“

Opracování obráběním



# Metody tvarování - 3D tisk

= tvarování bez forem

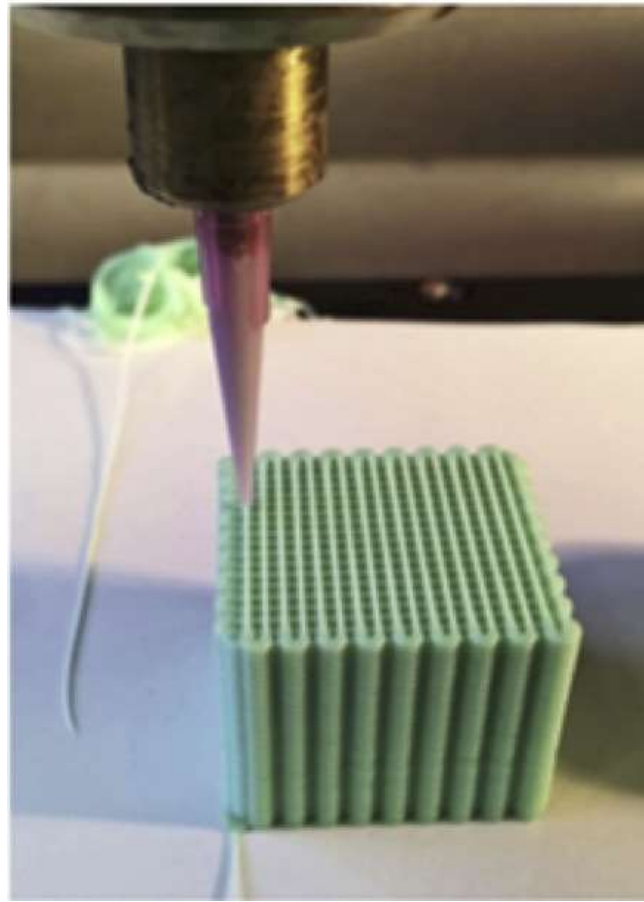
Direct Ink Writing

Binder Jetting

Slév. formy – písek s furanovou pryskyřicí + tisk tvrdidlo (Liaz)



D printed oral dosage form



# Technologie výroby polykrystalické keramiky

Příprava prášku,  
mletí, třídění...  
(Prášek  $0,1-10\ \mu\text{m}$ )

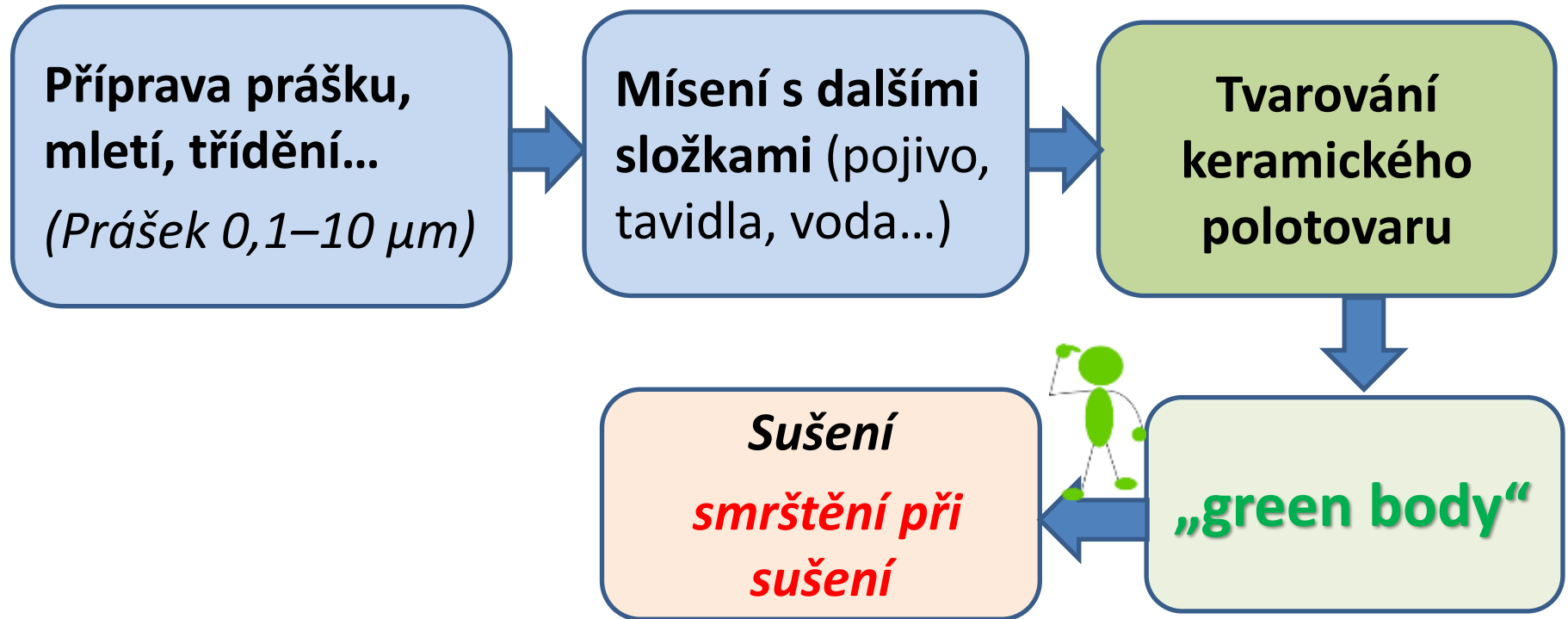
Mísení s dalšími  
složkami (pojivo,  
tavidla, voda...)

Tvarování  
keramického  
polotovaru

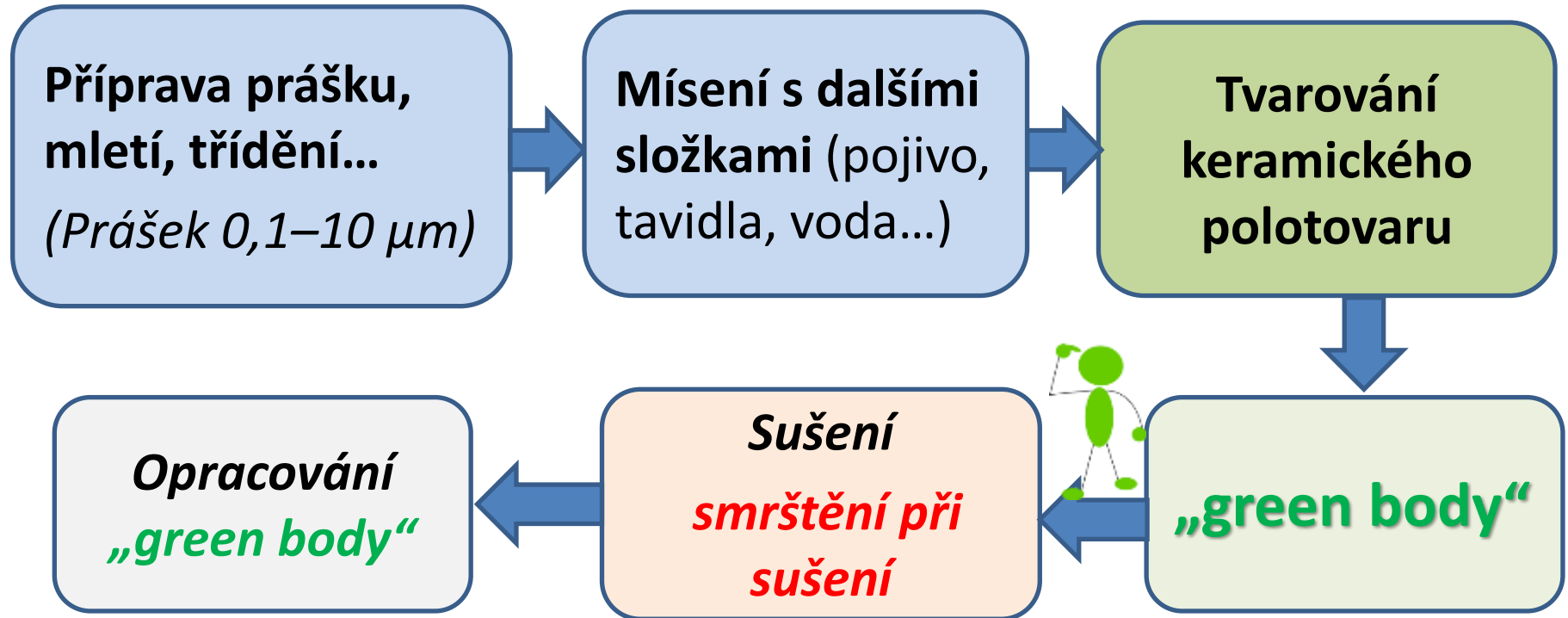
„green body“



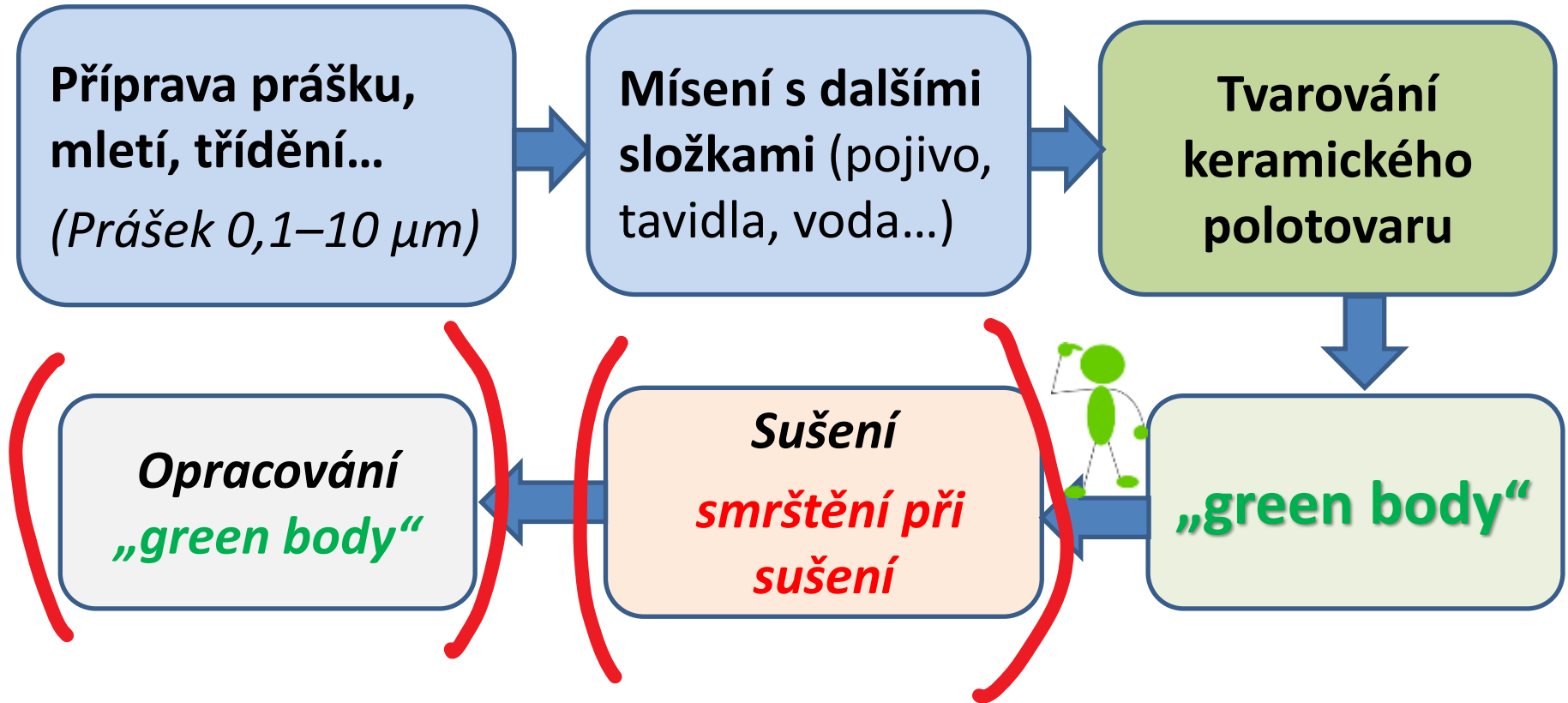
# Technologie výroby polykrystalické keramiky



# Technologie výroby polykrystalické keramiky



# Technologie výroby polykrystalické keramiky



# Technologie výroby polykrystalické keramiky

Příprava prášku,  
mletí, třídění...  
(Prášek 0,1–10  $\mu\text{m}$ )

Mísení s dalšími  
složkami (pojivo,  
tavidla, voda...)

Tvarování  
keramického  
polotovaru

„green body“

Sušení  
*smrštění při  
sušení*

Opracování  
*„green body“*

Vysokoteplotní zpracování  
– slinování (0,6 – 0,9 Tt)

**! Velké SMRŠTĚNÍ při  
slinování - až 30% !!**



# VÝPAL - SLINOVÁNÍ

Tunelové pece – obvykle na 0,7 Tt





# VÝPAL - Slinování + DOTVAROVÁNÍ

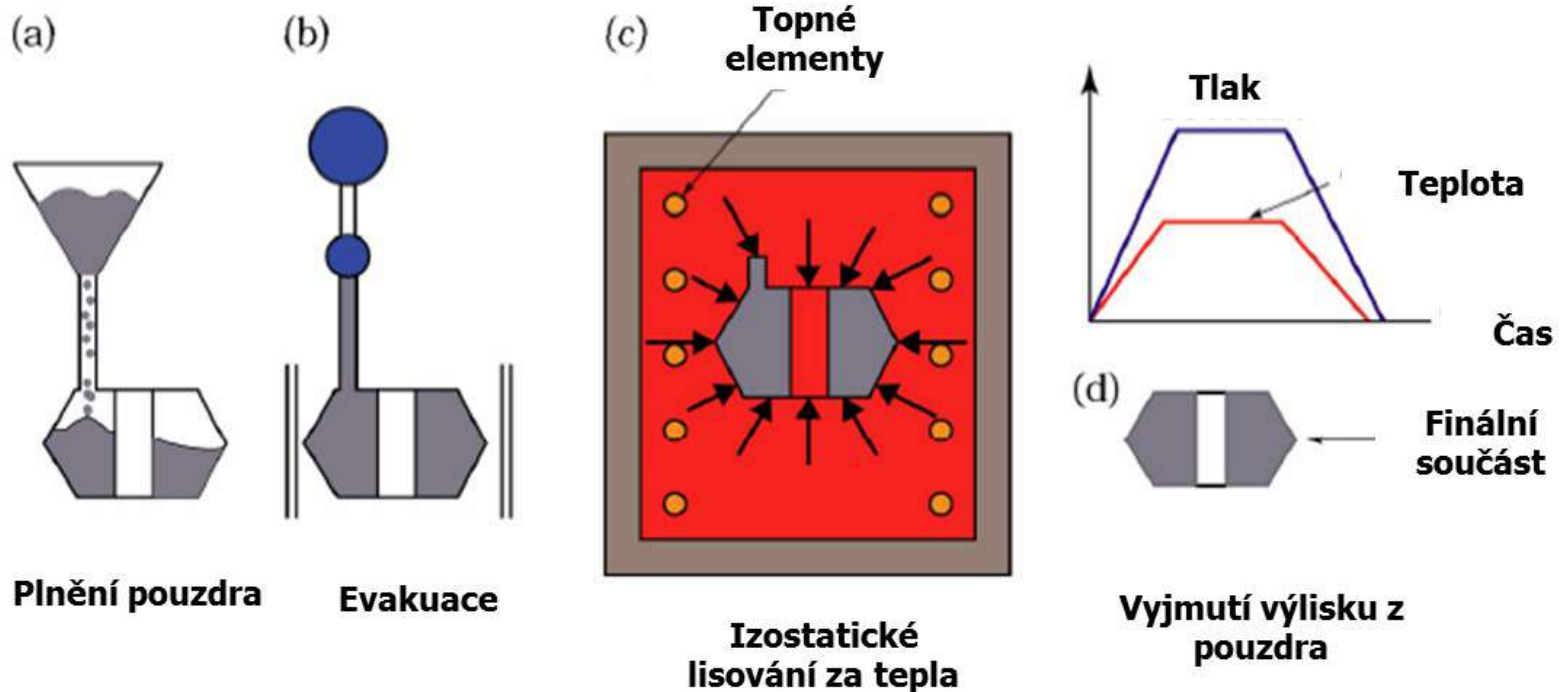
- Žárové lisování

- **HIP Hot Isostatic Pressure**

Teplota až 2 000 °C

Tlak až 200 MPa

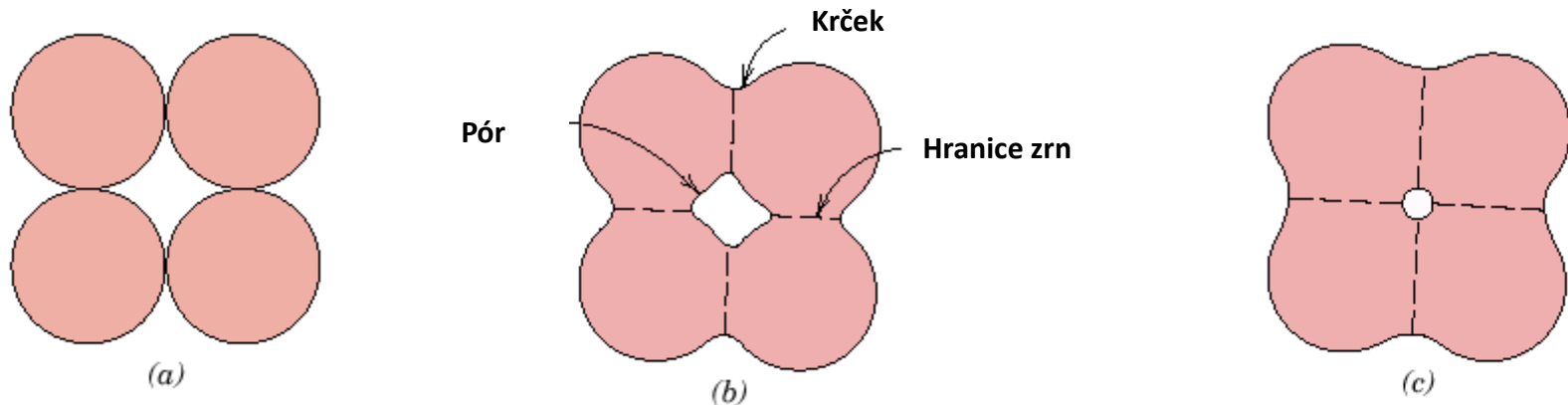
Ochranná atmosféra Ar



# Keramické materiály - Slinování

Slinování (sintrování) = zhutňování částicového tělesa při vysokých teplotách ( $0,6-0,9T_t$ )

Difuze – vliv smáčení – povrchová energie



**Hnací silou** slinování je snižování celkové mezifázové energie soustavy nahrazením mezifázového rozhraní keramika/atmosféra s vyšší energií rozhraním keramika/keramika (hranice zrn) s nižší energií

Slinování probíhá mechanismem **vakanční difúze**

- Struktura je po vypálení složena z krystalků, mezi nimiž jsou difuzní můstky a póry
- Při vyšší teplotě vypalování může vznikat skelná fáze – často i bez pórů, průsvitná

# Technologie výroby polykrystalické keramiky

Příprava prášku,  
mletí, třídění...  
(Prášek  $0,1-10 \mu m$ )

Mísení s dalšími  
složkami (pojivo,  
tavidla, voda...)

Tvarování  
keramického  
polotovaru

„green body“

Sušení  
*smrštění při  
sušení*

Opracování  
*„green body“*

Vysokoteplotní zpracování  
– slinování (0,6 – 0,9 Tt)  
**! Velké SMRŠTĚNÍ při  
slinování - až 30% !!**

Finální  
opracování  
(broušení,  
leštění)



# Finální úprava

## Broušení leštění, lapování, kontrola



# Technologie výroby polykrystalické keramiky



1. Problém: „U závodních aut máme problémy se sníženým účinkem brzd při častém brždění“ (U závodních aut se dosahuje teploty až 800 °C , u běžných při táhlém kopci až 600 °C)

Úkol: Vymyslet brzdové kotouče, které vydrží vysokou teplotu s malou teplotní roztažností a budou lehčí než běžné litinové

Co znát: co je technická keramika a její vlastnosti, jak ji vyrobit, co je kompozit

# Výroba keramických kotoučů

## Video

**Výroba keramických kotoučů Brembo:**

[Carbon-ceramic discs | Brembo - Official Website](https://www.brembo.com/en/car/original-equipment/products/carbon-ceramic-discs)

<https://www.brembo.com/en/car/original-equipment/products/carbon-ceramic-discs>

	C/SiC for carbon-ceramic brake disc	Gray cast iron (GG-20)
Density ( $\text{g cm}^{-3}$ )	2,45	7,25
Tensile strength (MPa)	20 - 40	200 - 250
Modulus of elasticity (GPa)	30	90 - 110
Flexural strength (MPa)	50 - 80	150 - 250
Elongation at break (%)	0.3	0.3 - 0.8
Thermal shock resistance (second thermal coefficient $K'$ ) ( $\text{W m}^{-1}$ )	> 27.000	< 5.400
Thermal stability ( $^{\circ}\text{C}$ )	1350	approx. 700
Maximum operating temperature (brake disc) ( $^{\circ}\text{C}$ )	900	700
Linear coefficient of thermal expansion ( $\text{K}^{-1}$ )	2.6 - 3.0	9 - 12
Thermal conductivity ( $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	40	54
Specific heat capacity ( $c_p$ ) ( $\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )	0.8	0.5



## 1. KERAMICKÉ KOTOUČE

### Výroba keramických kotoučů

- Vysoká teplotní odolnost přes 800°C
  - Malá teplotní roztažnost
  - Vhodná tepelná vodivost a kapacita
  - Nízká objemová hmotnost
  - Slušné mechanické a třecí vlastnosti
- ✓ KOMPOZIT

**Video**



✓ Úkol 1 vyřešen

**Výroba keramických kotoučů Brembo:**

<https://www.brembo.com/en/car/original-equipment/products/carbon-ceramic-discs>

# Pokročilá keramika



## Oxidová

1. Korundová - Oxid Hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ALUMINA
2. Zirkoniová - Oxid Zirkoničitý  $\text{ZrO}_2$  ZIRCONIA
3. Rutilová –  $\text{TiO}_2$
4. Oxidy železa - ferity

## Neoxidová

1. Karbid křemíku  $\text{SiC}$  Silicone Carbide
2. Nitrid křemíku  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Silicone Nitride

# Oxidová keramika – $\text{Al}_2\text{O}_3$ - korundová

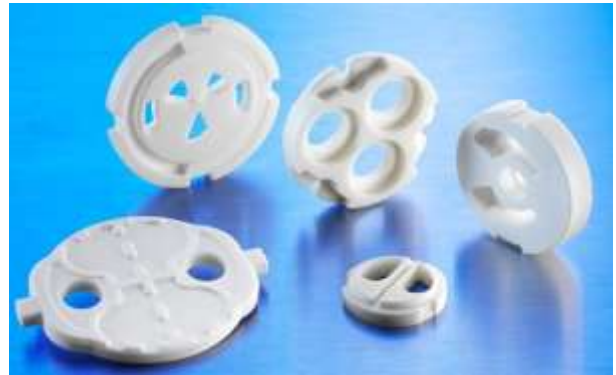
$\text{Al}_2\text{O}_3$

- Youngův modul 360 GPa – velký, 1,7 násobek oceli
- **Pevnost 3000 MPa tlak**, 400 MPa ohyb, 150 MPa v tahu
- **Tvrdość nad 2000 HV**, vysoká otěruvzdornost
- Žáruvzdorná **do 2000 °C**
- Elektrický izolátor
- Vysoká tepelná vodivost 1720 W/mK = odolnost tepelným šokům ( hliník má 240 W/mK)
- Vysoká **chemická odolnost**
- Malá lomová houževnatost - křehký

# Oxidová keramika - korundová keramika



biokeramika



armatury



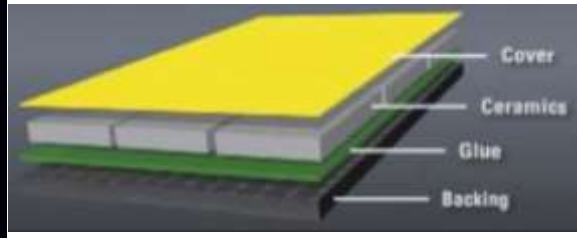
řezná keramika



izolátory



Pancíř (např. CeramTec, s.r.o.)



# Oxidová keramika - $ZrO_2$ - Zirkoniová

- **Teplota tání 2680 °C**
- **Pevnost v ohybu až 500 MPa**
- Tvrdost 1300 HV
- Elektricky vodivá nad 1000 °C
- Nízká tepelná vodivost - neodolává tepelným šokům
- Střední lomová houževnatost, dá se zvýšit částečnou stabilizací – PSZ. **Houževnatá keramika**
- **Základní typ konstrukční keramiky**

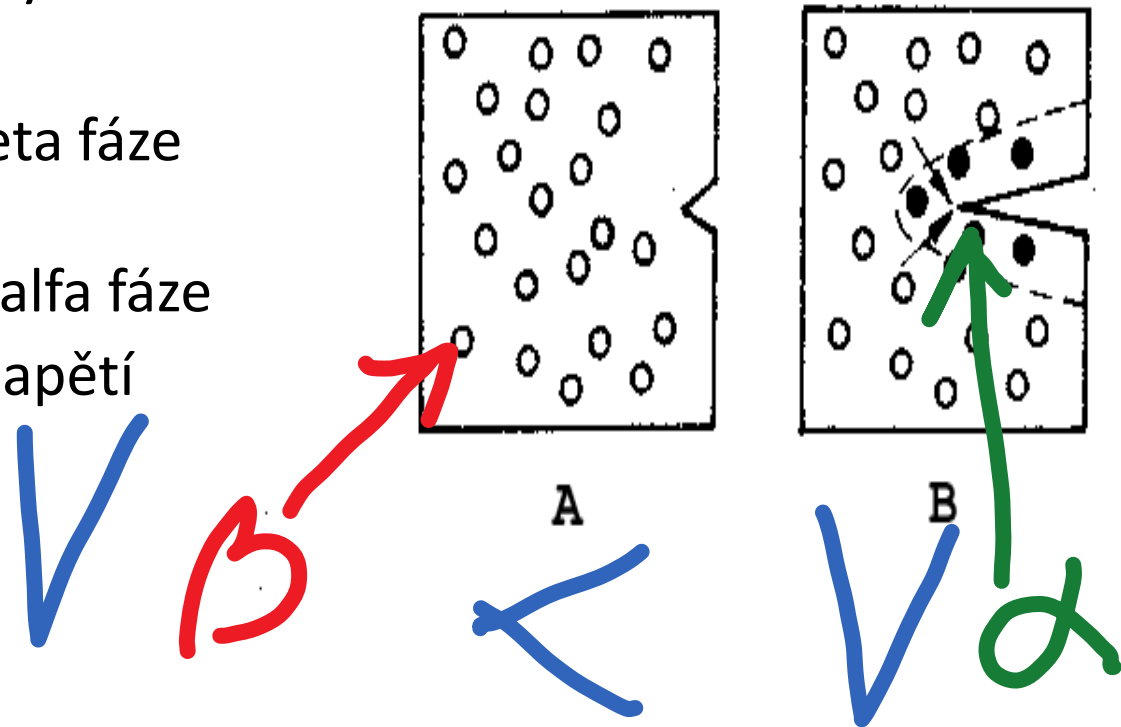
$ZrO_2$



# Oxidová keramika – PSZ keramika

Partially Stabilized Zirconia – 3 – 5 % MgO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
bez napětí je beta fáze – má menší objem  
Pod vlivem elastické energie dojde  
k překrytalizaci na alfa fázi – větší objem

- A – iniciace trhliny
- B – šíření trhliny
- Kroužky bílé – beta fáze
- Kroužky černé – alfa fáze
- Šipky – tlaková napětí  
zavírající trhlínu



## Vlastnosti PSZ keramiky

- Zvýšení ohybové pevnosti z 500 na 1000 MPa.
- Použití do 2300 °C.
- Na keramiku vysoká lomová houževnatost
- Tvrdost 1700 HV
- Základní typ konstrukční keramiky

# Oxidová keramika - PSZ keramika

## Příklady použití



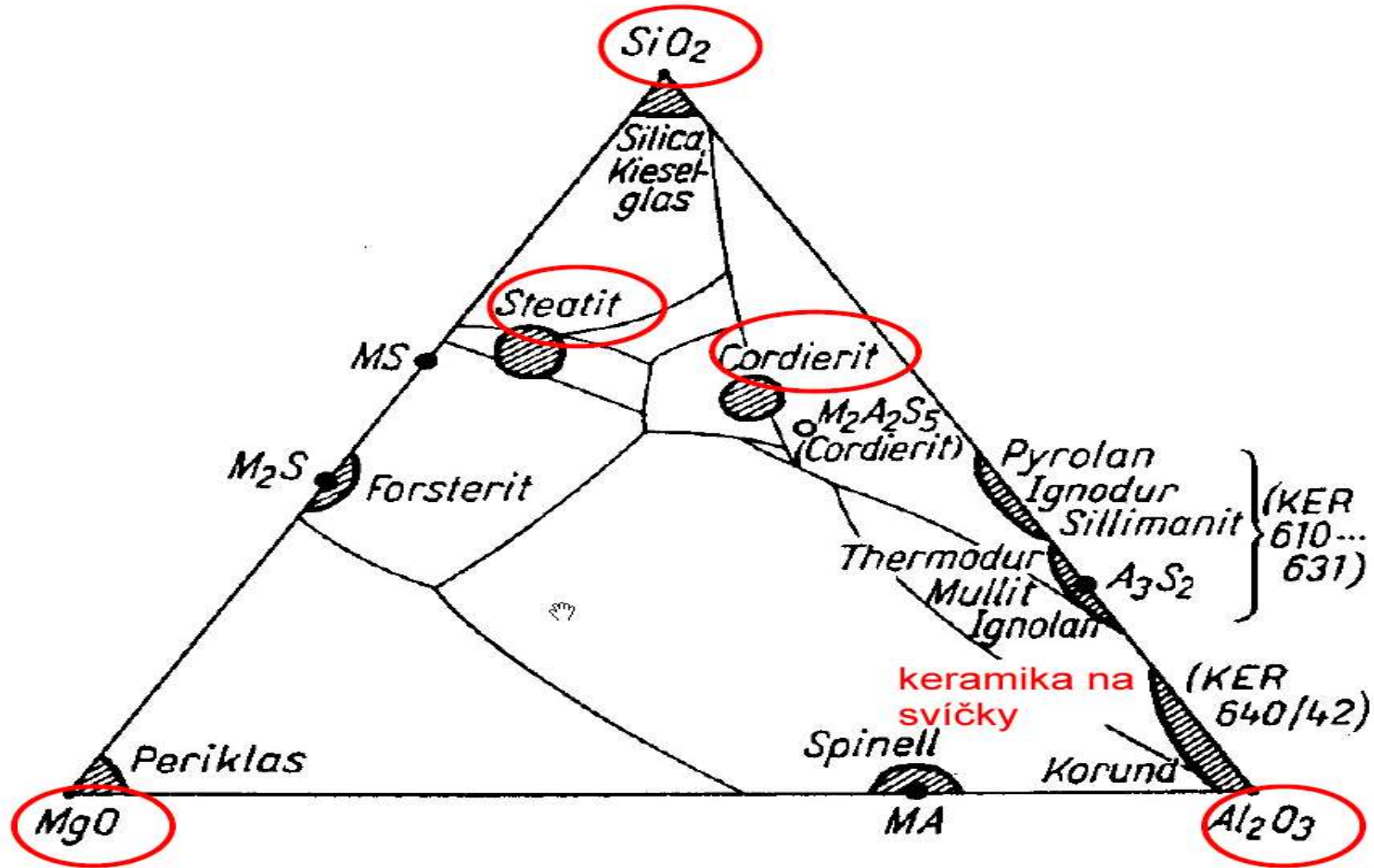


# Oxidová keramika - Feritová keramika

- Je to elektrický izolátor – nemá kovovou vazbu
- Magneticky měkké ferity – na anteny a transformátory –  $\text{MgO-MnO-Fe}_2\text{O}_3$
- Magneticky tvrdé ferity – na trvalé magnety –  $\text{BaO-Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CoO-Fe}_2\text{O}_3$



# Oxidová keramika - vysokoteplotní keramika



# Oxidová keramika - Žáruvzdorná keramika

## Kordierit

- Hlinitokřemičitan hořčíku a železa
- $2 \text{MgO} - 2 \text{Al}_2\text{O}_3 - 5 \text{SiO}_2$
- Malá teplotní roztažnost
- Extremně dobrá odolnost teplotním šokům (500 °C)
- Použití do 1370 °C, základ krbové techniky



# Oxidová keramika - Žárovzdorná keramika

## Kordierit



# Oxidová keramika - Žárovzdorná keramika

## Kordierit



## Forsterit

- křemičitan hořčíku
- $2 \text{MgO} - \text{SiO}_2$
- Použití ve vakuu – vakuotěsnost
- Jde vakuově těsně pájet s FeNi
- Použití do  $1650 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_t=1890^\circ\text{C}$ )



Olivín (geologie.vsb.cz)

# Neoxidová keramika

- **Ve většině případů jde o karbidy (C) nebo nitridy (N) kovů, dále boridy a silicidy**
- Má nižší chemickou odolnost, především proti oxidaci
- Spékání při její výrobě musí většinou probíhat v atmosféře bez kyslíku
- Zpravidla není elektrický izolátor, buď má polovodivé chování, nebo je vodivá jako kovy
- **Vysoká tvrdost, otěruvzdornost**
- Vazba kovalentní až kovová

# Neoxidová keramika – SiC- Karborundová

- **Karbid křemíku SiC**
- **Použitelnost 1600 °C**
- **Hustota 3,1 g/cm<sup>3</sup>**
- **Pevnost v ohybu 550 MPa**
- **Tvrdość 2400 HV – více než korund**
- **Elektricky vodivý**
- **Velká odolnost teplotním šokům**
- **Lomová houževnatost - nízká**
- **Užití : brusný materiál, topné elementy**



*„Karborundum brousek,  
za korunu kousek”*



# Neoxidová keramika - Nitrid křemíku Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

- Použití do 1200 °C
- Pro lepší odolnost kyslíku přídavek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SIALON
- Hustota 3,2 g/cm<sup>3</sup>
- **Pevnost v ohybu až 1000 MPa**
- **Tvrдость 1500 HV**
- **Vysoká lomová houževnatost**
- **Vysoká otěruvzdornost**
- **Houževnatá keramika**
- **Základní typ konstrukční keramiky** - ložiska



# Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Reakční Slinování

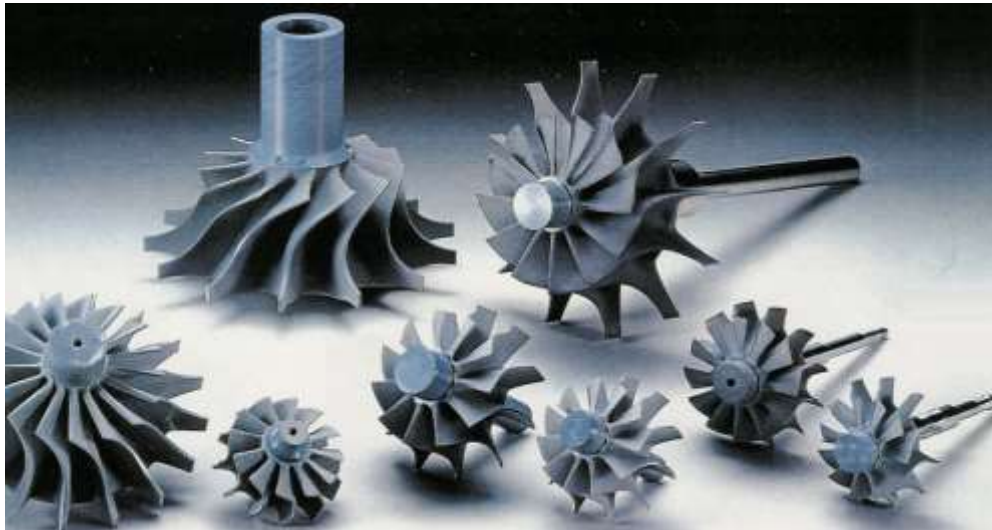
1. vytvarován kompak z prášku Si (např. lisováním, litím, vstřikováním)
2. reakce s dusíkem (několik dní při 1250–1450 °C). Reakce  $3 \text{ Si} + 2 \text{ N}_2 \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$  je exotermní, musí být pečlivě řízena (při vysoké rychlosti může docházet k tavení Si)  $\rightarrow$  téměř čistý Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, ale není docílena kompletní přeměna Si na Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>  $\rightarrow$  mikrostruktura obsahuje izolované částice Si v matici protáhlých jehličkovitých  $\beta$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> a izometričtějších  $\alpha$ -Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> a zbytkovou pórovitost.
3. Reakce Si na Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> je doprovázena zvětšením objemu o 22 %, původní póry v práškovém kompaktu jsou částečně zaplněny fází nitridu  $\rightarrow$  smrštění v průběhu nitridace je velmi malé („net-shape process“  $\rightarrow$  výrobky s rozměry odpovídajícími požadovaným tolerancím).
4. Pro dosažení vyšších hustot může být použito dodatečné slinování při teplotě 1600-1800 °C (s MgO nebo Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ale aditiva zhoršují vysokoteplotní vlastnosti. Alternativně může být použito žárové izostatické lisování.

# Neoxidová keramika - Nitrid křemíku $\text{Si}_3\text{N}_4$

Ložiska  $\text{Si}_3\text{N}_4$   
nízký koeficient tření i otěr



Turbinová kola z  
keramiky  $\text{Si}_3\text{N}_4$



Písty  
z keramiky  $\text{Si}_3\text{N}_4$



# Porovnání vlastností

	Tep.tání	Hustota	Max. Tepl. použití	Tvrdost HV1	R <sub>mo</sub> 3B	E
	°C	g/cm <sup>3</sup>	°C		MPa	GPa
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2054	3,9	1950	2000	400	400
PSZ-ZrO <sub>2</sub>	2710	5,6	2300	1700	Až 1100	380
SiC	2700	3,1	1600	2400	600	410
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	1900	3,2	1200	1500	1000	410

# Úkoly A - řešení

## ✓ 2. Jaká zvolit ložiska?

Výběr materiálu ložisek –  $\text{Si}_3\text{N}_4$  raději než  $\text{ZrO}_2$   
hlavně pro jejich vysokou samomaznost -  
snazší údržba, nízký koeficient tření i otěr

✓ Úkol 2 vyřešen



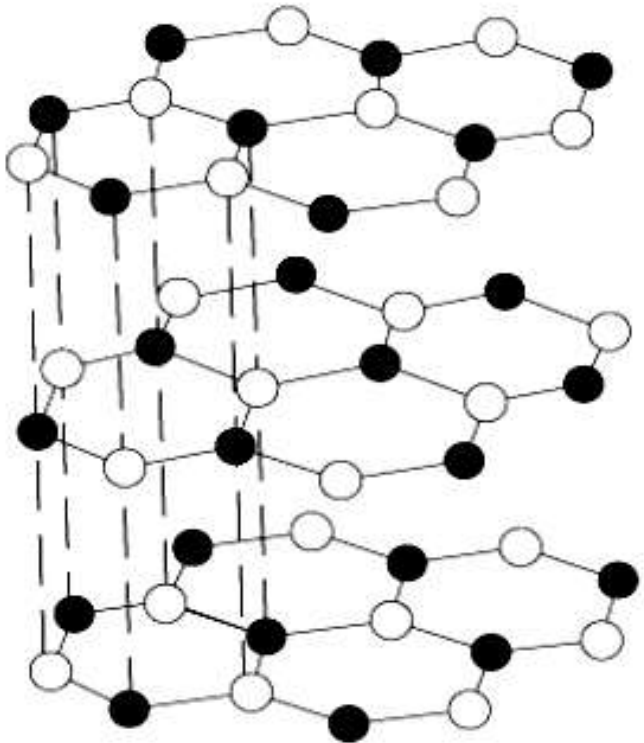
# Neoxidová keramika – BN - Boronitridová

- Nitrid boru BN odolává oxidaci do 1000 °C, rozkládá se při 3000 °C.

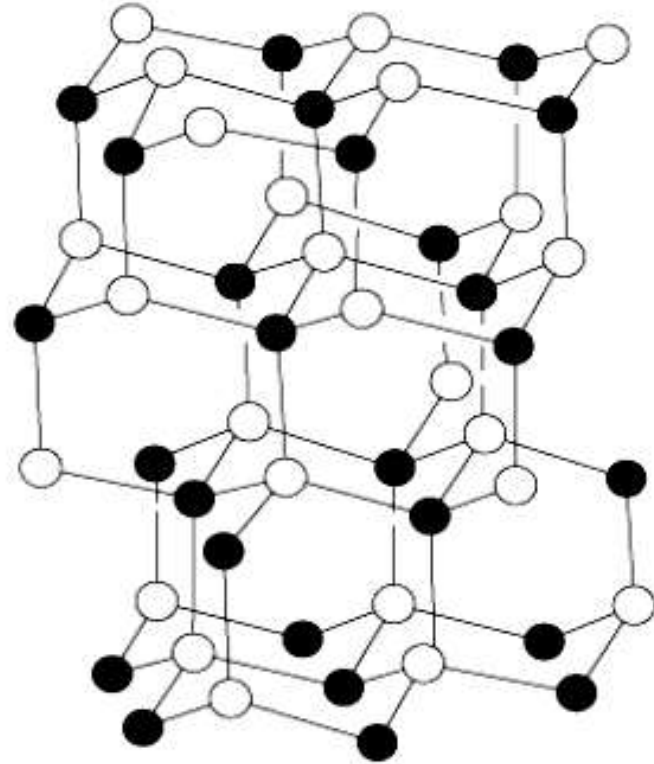
## Dvě krystalické modifikace:

- **Hexagonální forma** – je částečně tvárná, dobře odolává teplotním šokům, slouží na vysokoteplotní součástky – kelímky
- **Kubická forma** – extrémně tvrdá a křehká, odolná otěru, jediný materiál, který se **svou tvrdostí vyrovná diamantu**.

# Neoxidová keramika - Nitrid boru BN



**(a) Hexagonal Boron Nitride**  
*Layers where nitrogen and boron atoms combined in a hexagonal network are superimposed and have a structure similar to graphite.*



**(b) Cubic Boron Nitride**  
*Boron and nitrogen atoms combine three-dimensionally replacing carbon atoms in diamond.*

# Směsné keramiky

TiCN, SiAlON, kombinace keramik  $ZrO_2 - Si_3N_4$  atd.,  
kombinace keramika – kov – CERMET (karbonitridy titanu  
Ti (C, N) + částice sekundárních tvrdých fází (Ti, Nb, W) a  
pojivem bohatým na kobalt.



# Keramické nosiče katalyzátorů

- na základě  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – Aluminy, Aluminosilikátů - Zeolitů, mezoporézní silika  $\text{SiO}_2$  – SBA 15,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$  atd.

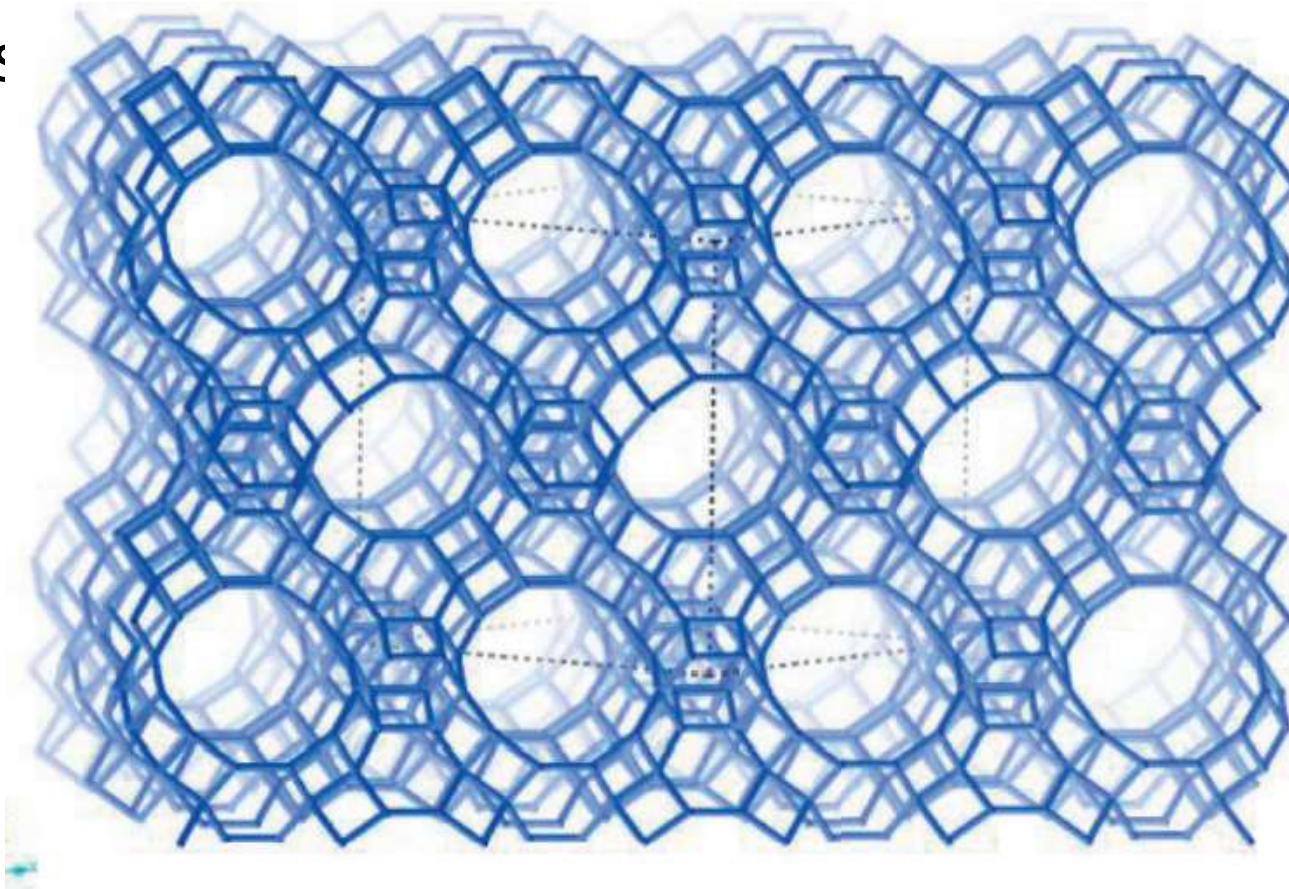
vysoký měrný povrch až  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  – na ně se pak nanese kov Pd, Pt, Ni, V, Mo....



# Keramické nosiče katalyzátorů

- na základě  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – Aluminy, Aluminosilikátů - Zeolitů, mezoporézní silika  $\text{SiO}_2$  – SBA 15,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$  atd.

vys  
na



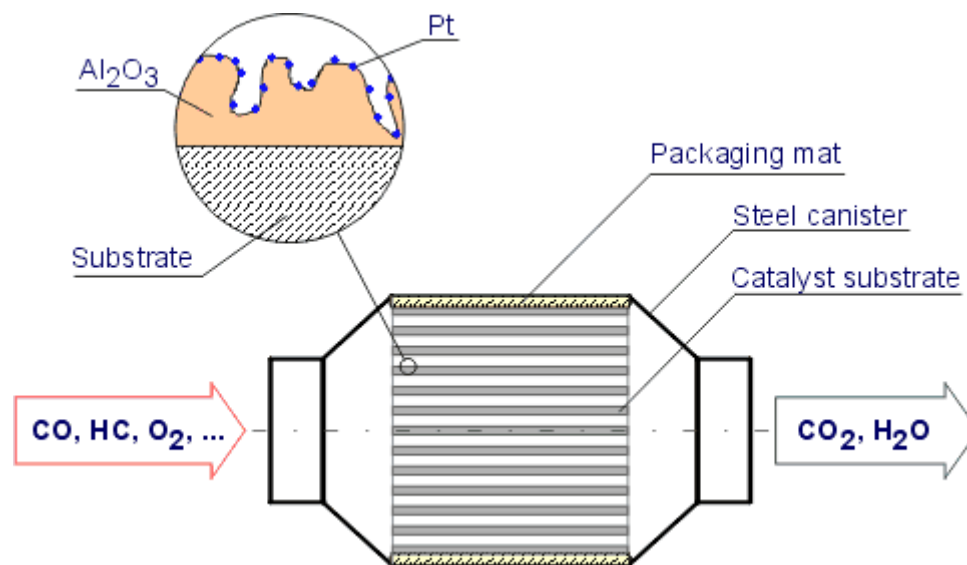
pak

# Keramické nosiče katalyzátorů

- na základě  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – Aluminy, Aluminosilikátů - Zeolitů, mezoporézní silika  $\text{SiO}_2$  – SBA 15,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CeO}_2$  atd.

vysoký měrný povrch až  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  – na ně se pak nanese kov Pd, Pt Ni, V, Mo....

Díky katalyzátorům –  
výroba ropných produktů  
(benzín, nafta..),  
petrochemie – plasty  
léky,  
Rozklad NO, čištění plynů...

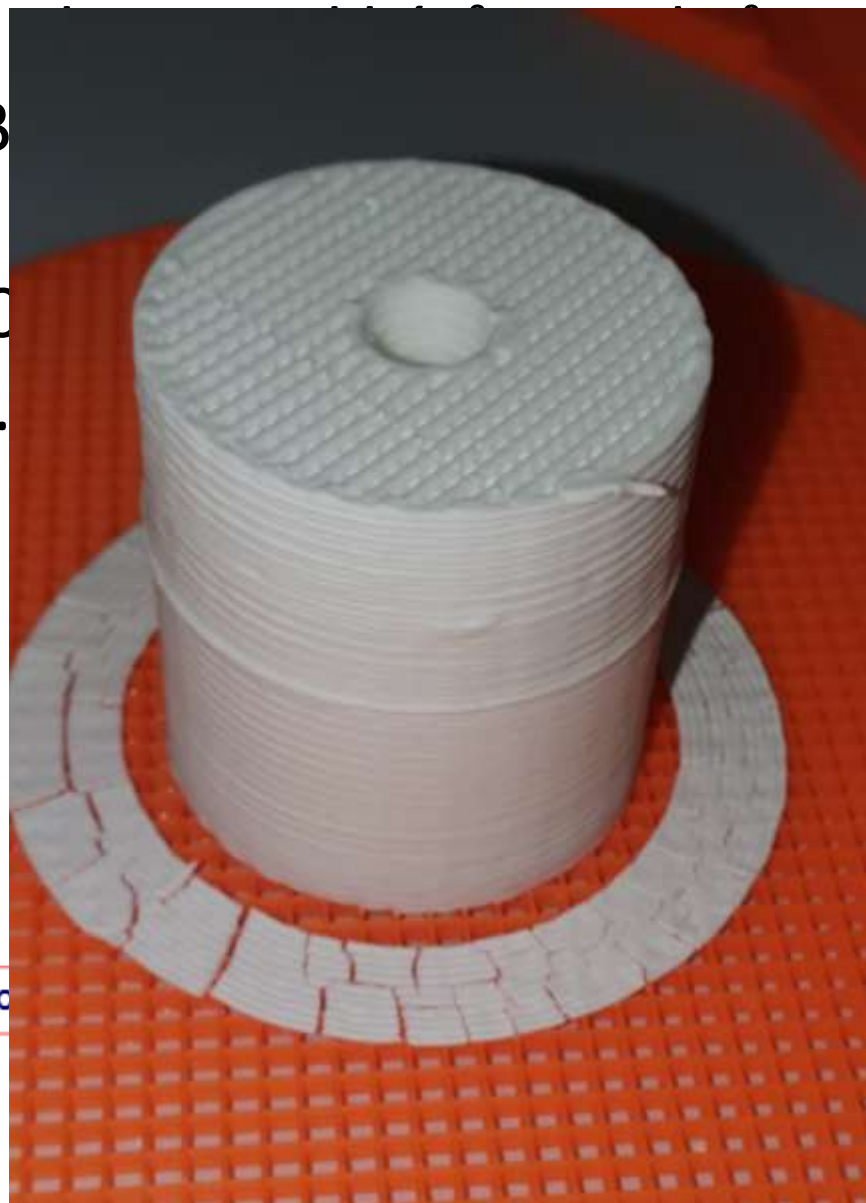


# Keramické nosiče katalyzátorů

- na základě  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – Aluminy,  
mezoporézní silika  $\text{SiO}_2$  – SB

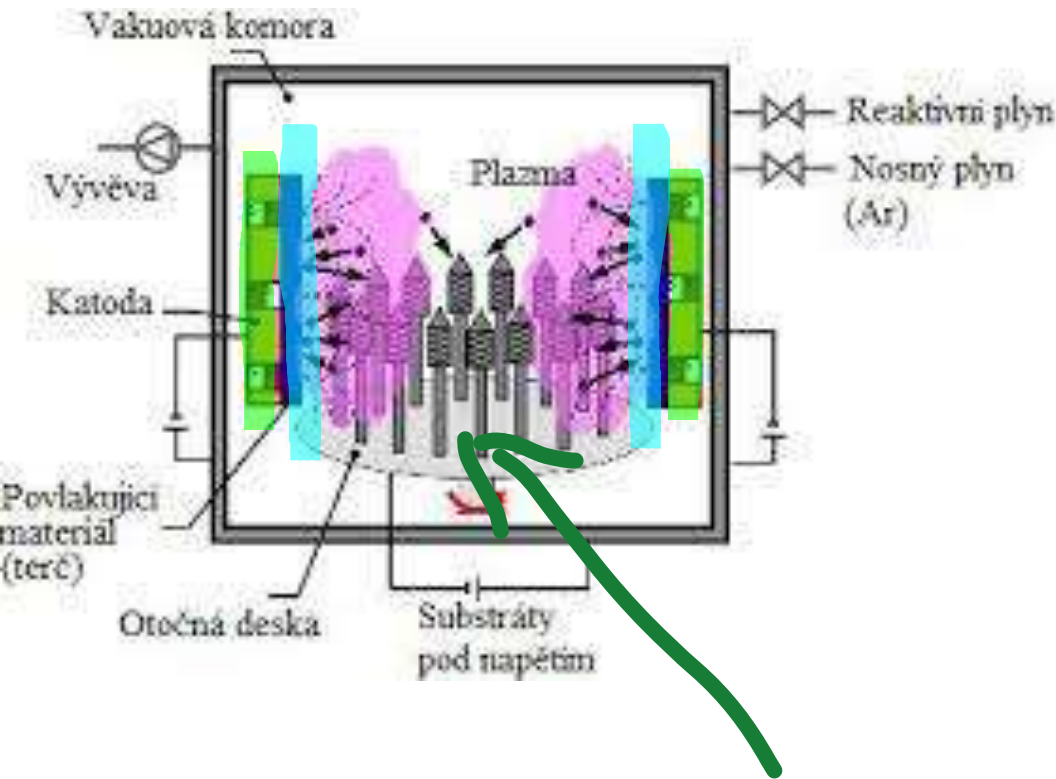
vysoký měrný povrch až 100  
nanese kov Pd, Pt Ni, V, Mo.

Díky katalyzátorům –  
výroba ropných produktů  
(benzín, nafta..),  
petrochemie – plasty  
léky,  
Rozklad NO, čištění plynů...



# Tenké vrstvy – tvrdé, otěruvzdorné

## Plazmatická metoda - PVD



Layers TiN +  
AlTiN + TiSiN



SHM Šumperk, s.r.o.

TiN, DLC



Nejznámější konstrukční  
keramika – tepelný štít  
raketoplánu (kompozit C-C,  
křemenná slinutá vata,  
 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , SiC)



USA - Raketoplán Columbia (1979 - 2003), Endeavour (1992 – 2011)...



Spodní strana  
– nepoškozený štít



Vrchní strana  
- poškozený štít

# Raketoplán Buran SSSR

– 1988

Bezpilotní let

!tepelná ochrana **38 tis.**

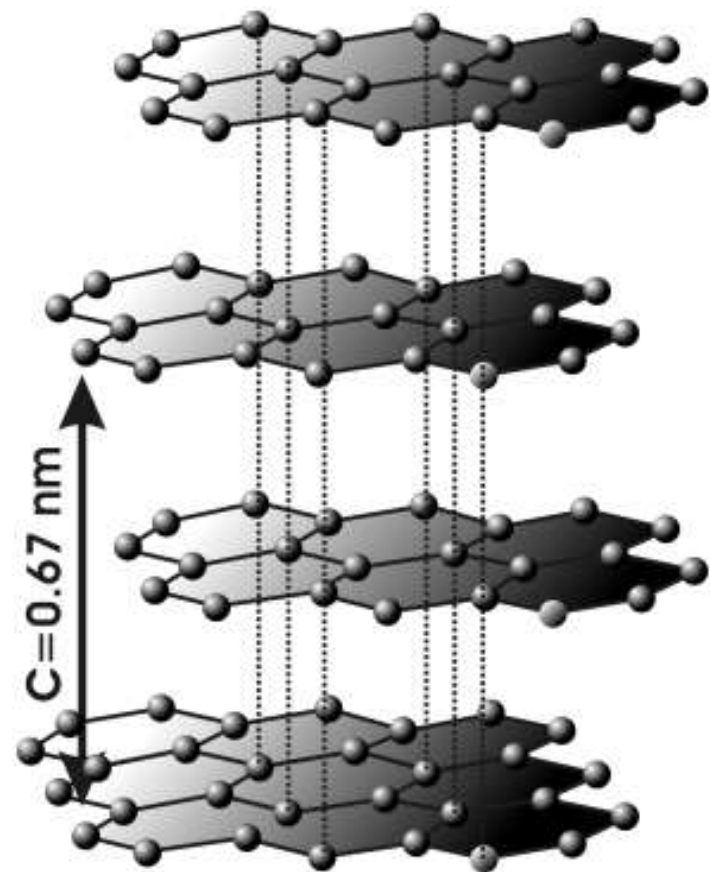
**keramických destiček**

Tech.muzeum Speyer



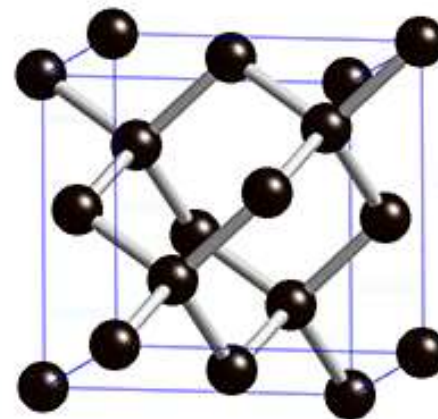
# Materiály na bázi C

**Grafit** Hexagonální str.



Tuha, pomůcky ve sklářství a metalurgii, tavící kelímky, elektrody

**Diamant** Diamantová str.



**DLC vrstvy**

Diamant. strukt.

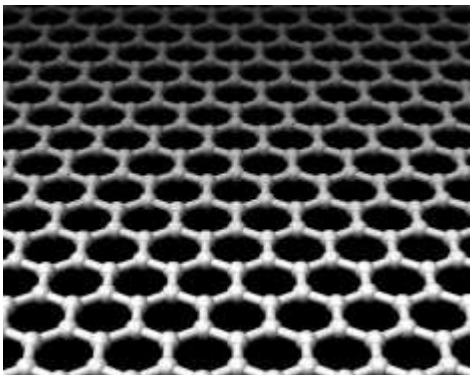
Plazmatická metoda

PVD, PECVD

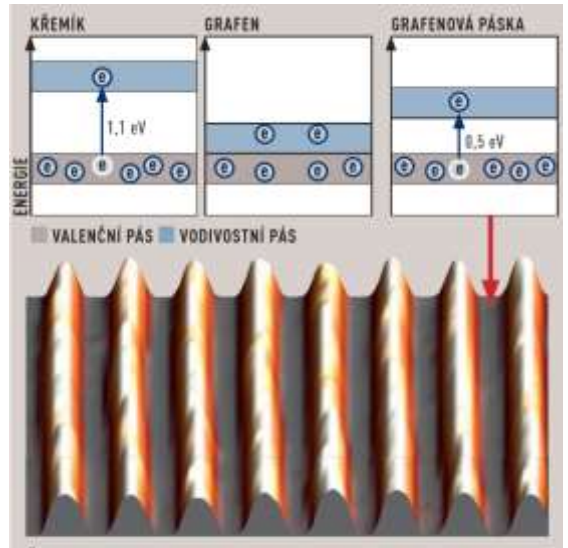


# Materiály na bázi C

## Grafen

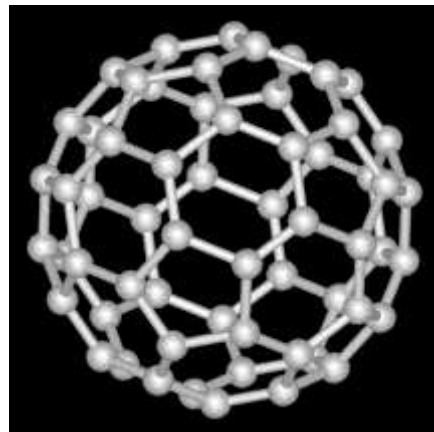


Objeven 2004, Nob.cena Geim, Novoselov

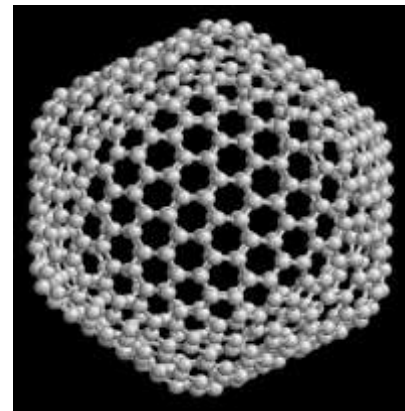


Tranzistory s  $f=100\text{MHz}-1\text{THz}$

## Fuleren

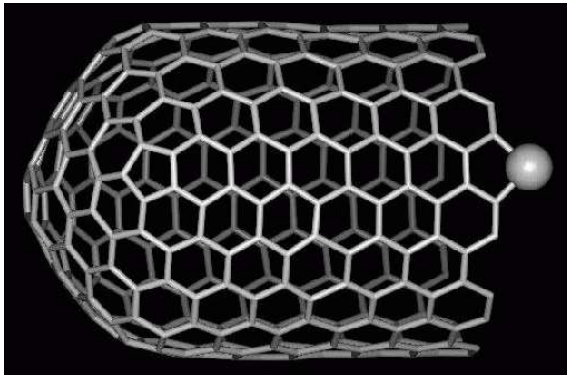


Fuleren C60  
Průměr 0,71nm

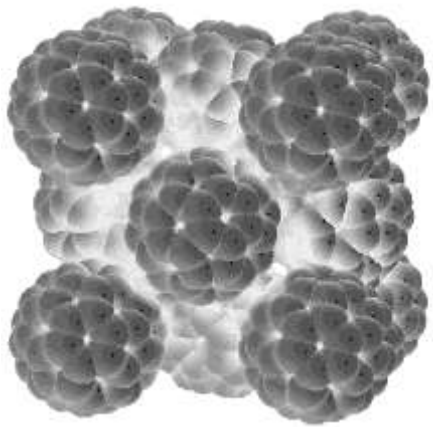


Fuleren C54  
(Nejmenší C20)

## C nanotubes



## Fulerit (vesmír)





Děkuji vám za pozornost 😊