



Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích

# Moderní slévárenské technologie

*Přednášky pro studijní program Strojírenství*

**Doc. Ing. Ladislav SOCHA, Ph.D. a kol.**



# Principy metalurgické zpracování

Přednáška č. 12

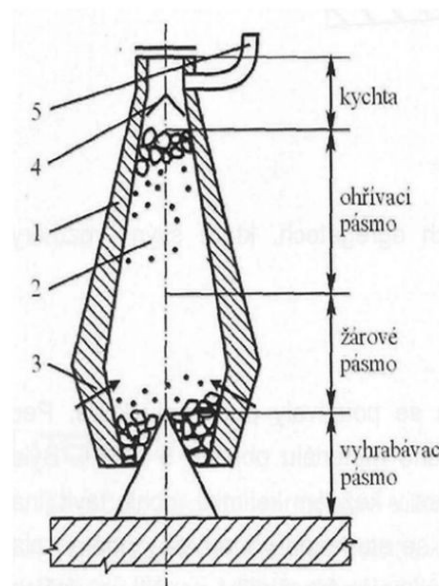
# Tavící pece

- ✓ **Tavící pece:** ohřev kovu na lící (technickou) teplotu, úprava chemického složení, rafinace, odplynění
- ✓ Při přelévání z tavící pece do transportních pánví se často tavenina filtruje keramickými nebo tkanými filtry

- *Kelímkové pece*
- *Komorové pece*
- *Šachtové pece*



Šachtové pece



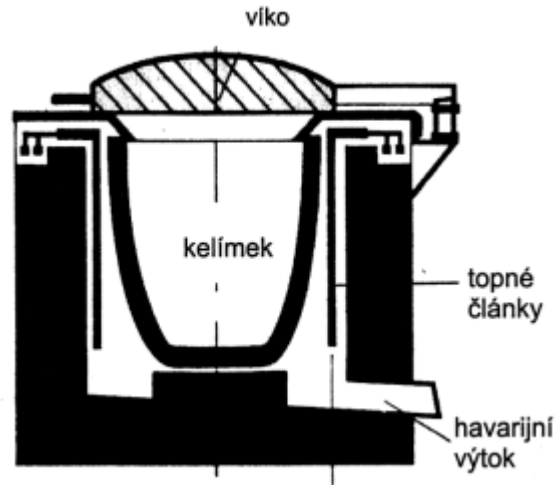
## ŠACHTOVÁ PEC

1. VYZDÍVKA
2. VSÁZKA
3. HOŘÁKY
4. ZVONOVÝ UZÁVĚR
5. ODTAH KYCHTOVÉHO PLYNU

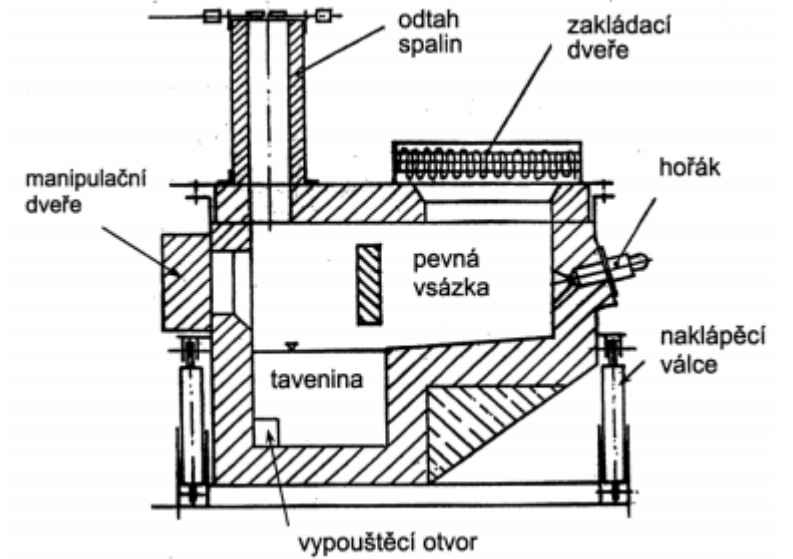
# Tavící pece



*Kelímková pece*



*Komorová pece*

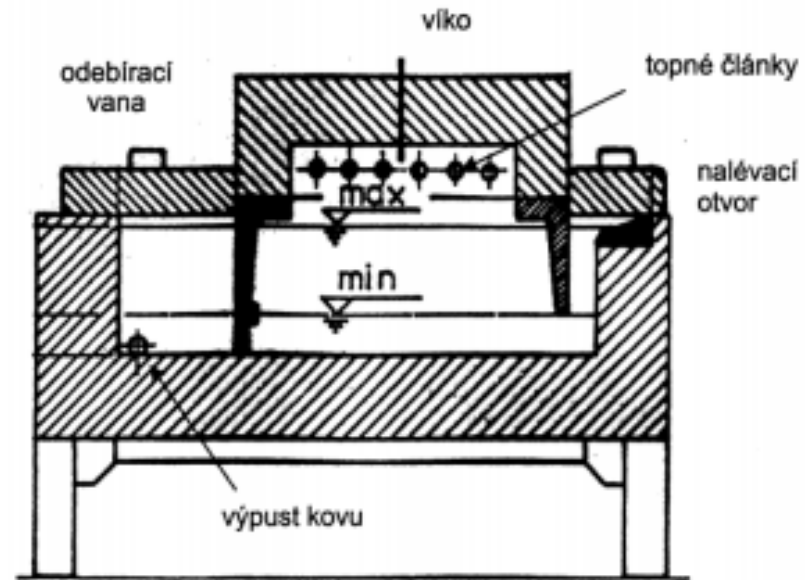




# Udržovací pece

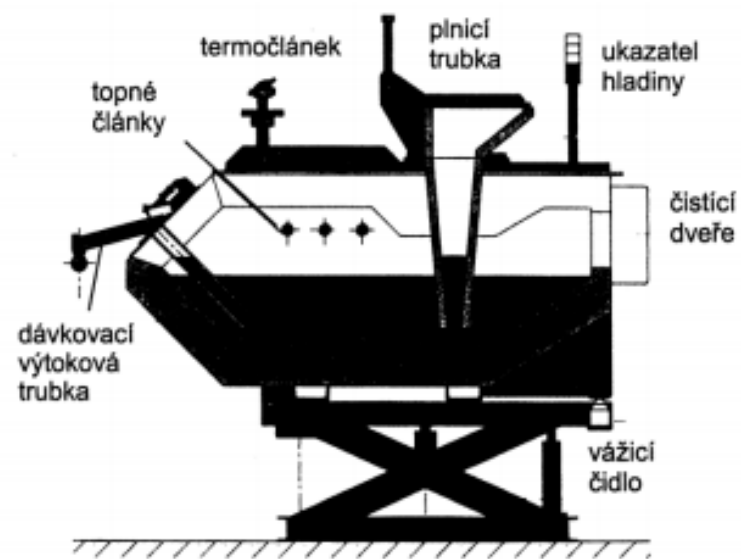
- ✓ **Udržovací pece:** udržování teploty taveniny v blízkosti jednotlivých pracovišť nebo licích agregátů
- ✓ Topný systém umožňuje regulovat teplotu kovu a částečně též tavit pevnou vsázku, přidávanou do roztaveného kovu
- ✓ Obvykle e neprovádí zásadní úprava chemického složení ani větší metalurgické zásahy
- ✓ Taveninu je často možné očkovat nebo modifikovat
  - *Vanové pece*
  - *Dávkovací pece*
  
- ✓ Pro **tavící** a **udržovací pece** platí některé obecné zásady, které by mely být zajištěny: *malá oxidace a naplynění kovu, oddělení tekutého kovu od pevné vsázky, zamezení místního přehřívání taveniny*

# Udržovací pece



*Vanová pec*

# Udržovací pece



*Dávkovací pec*

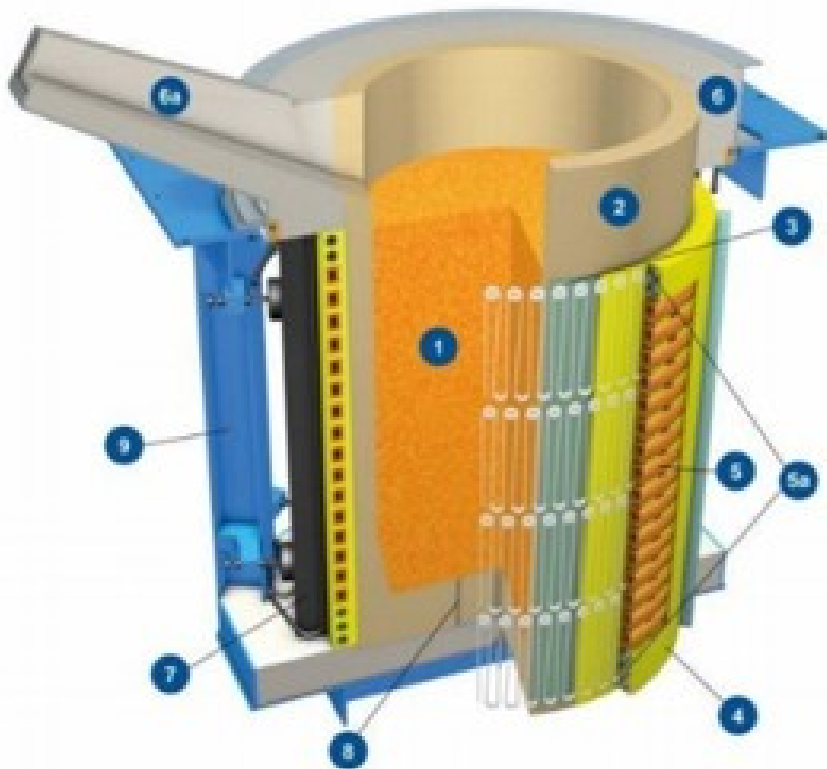


# Kelímkové pece

- ✓ Pro nastavení menšího množství kovu se používají pece s jílo-grafitovými kelímkami nebo kelímkami z SiC
- ✓ Kelímkami se po roztavení kovu z pece vyjmou a slouží pak také jako transportní a licí pánve
- ✓ Velikost kelímků bývá obvykle do asi 100 až 200 kg hliníkové slitiny
- ✓ Výhodou kelímků je velká flexibilita tavicího režimu při změnách druhu slitiny
- ✓ Při správném zacházení je životnost kelímků řádově ve stovkách taveb
- ✓ Vytápění kelímkových pecí je obvykle plynové nebo elektrické odporové
- ✓ Výhodou elektrického ohřevu je, že se kov nedostává do styku se spalinami, z nichž by mohl pohlcovat vlhkost
- ✓ Pro větší tavicí výkony a větší množství kovu se používají sklopné kelímkové pece
- ✓ Kelímkami bývají obvykle vyzděny žáruvzdornou vyzdívkou na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a  $\text{SiO}_2$



# Kelímkové pece



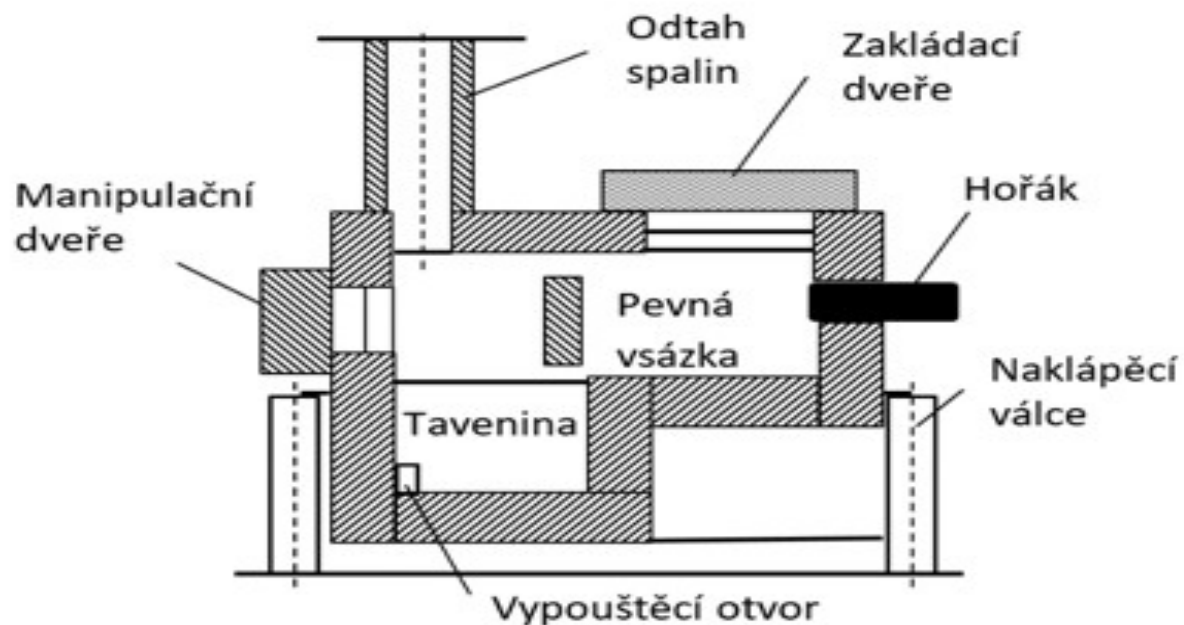
Legenda:

- 1 – lázeň roztaveného kovu
- 2 – žáruvzdorný kelímek
- 3 – tepelná izolační vrstva
- 4 – trvalá vyzdívka s vestavěným kabelem senzoru  
ocp (těžké opláštěné skleněné vlákno)
- 5 – výkonová cívka
- 5 a – chladicí cívka
- 6 – vrch pece
- 6 a – vylévací hubička
- 7 – vahadlo

*Kelímková indukční pec*

# Komorové pece

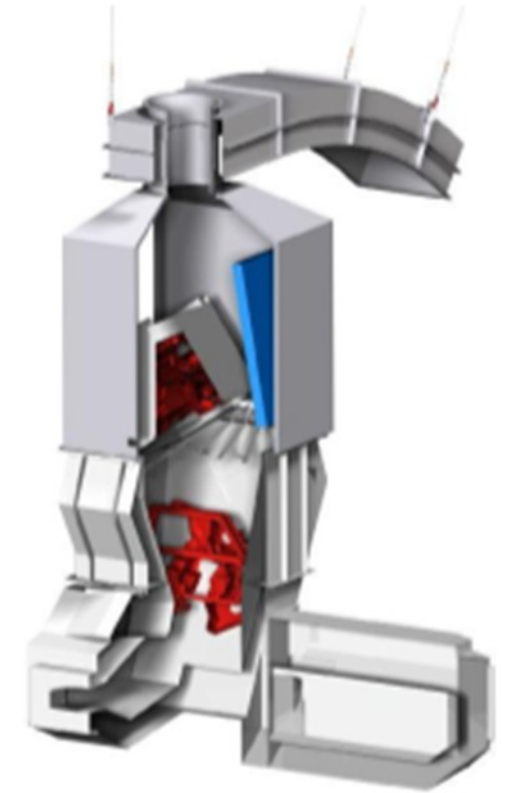
- ✓ Jde o osvědčený a v našich slévárnách rozšířený typ pecí
- ✓ Vsázka je vsázena do tavicí části a nepřichází do přímého styku s taveninou
- ✓ Na podobném principu fungují i dvoukomorové vanové pece s vertikálním uspořádáním, u nichž se vsázka zaváží do horní tavicí komory a tekutý kov odtéká do spodní komory, která představuje zásobník kovu



*Schéma komorové tavicí pece*

# Šachtové pece

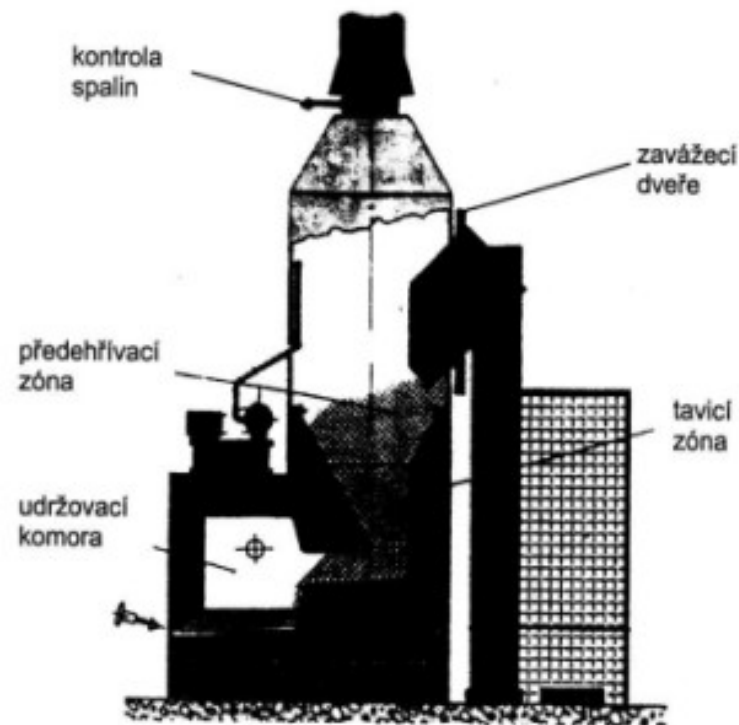
- ✓ Založeny na principu protiproudého výměníku tepla
- ✓ Automatické dávkování tekutého kovu, nejčastěji při odlévání pod tlakem
- ✓ U tohoto typu pecí se vsázka dopravuje zavážecím zařízením do šachtice pece, zde se odpařuje vlhkost a případné organické nečistoty vyhoří
- ✓ Ve spodní části šachtice je tavicí zóna, zde se vsázka natavuje a roztavený kov odtéká do udržovací komory, odtud se odebírá buď po jednotlivých licích dávkách z boční vany, spojené s udržovací komorou sifonem, nebo se vylévá po větších dávkách do transportní pánve
- ✓ Vyhřívání pece se provádí plynovými nebo olejovými hořáky
- ✓ Pec je vyzděna žáruvzdornými materiály a vnější izolační vrstvou, která zajišťuje minimální tepelné ztráty, životnost vyzdívký je několik let



*Schéma šachtové pece*

# Šachtové pece

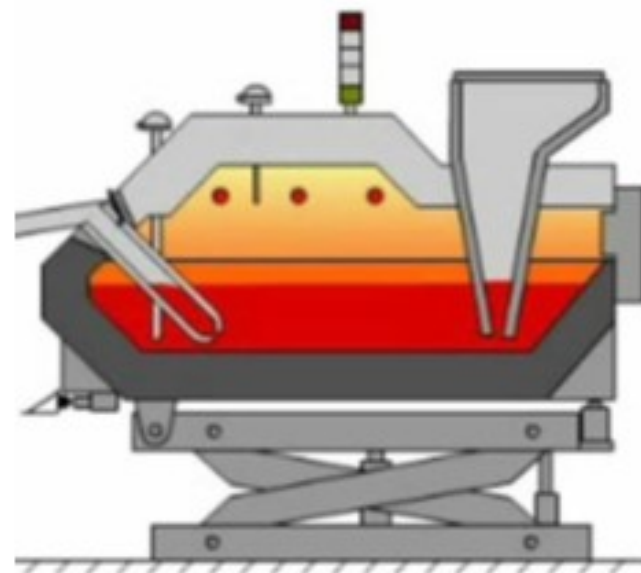
- ✓ Velkou předností toho typu pecí je, že vsázka se postupně přehřívá a v žádném případě se vlhké nebo znečištěné vsázkové suroviny nemohou dostat přímo do roztaveného kovu
- ✓ To vede k získání kovu s vysokou čistotou a s nízkým stupněm naplynění
- ✓ Ztráty kovu propalem jsou u těchto pecí velmi nízké, řádově kolem 1-2 %



Šachtová pec

# Dávkovací pece

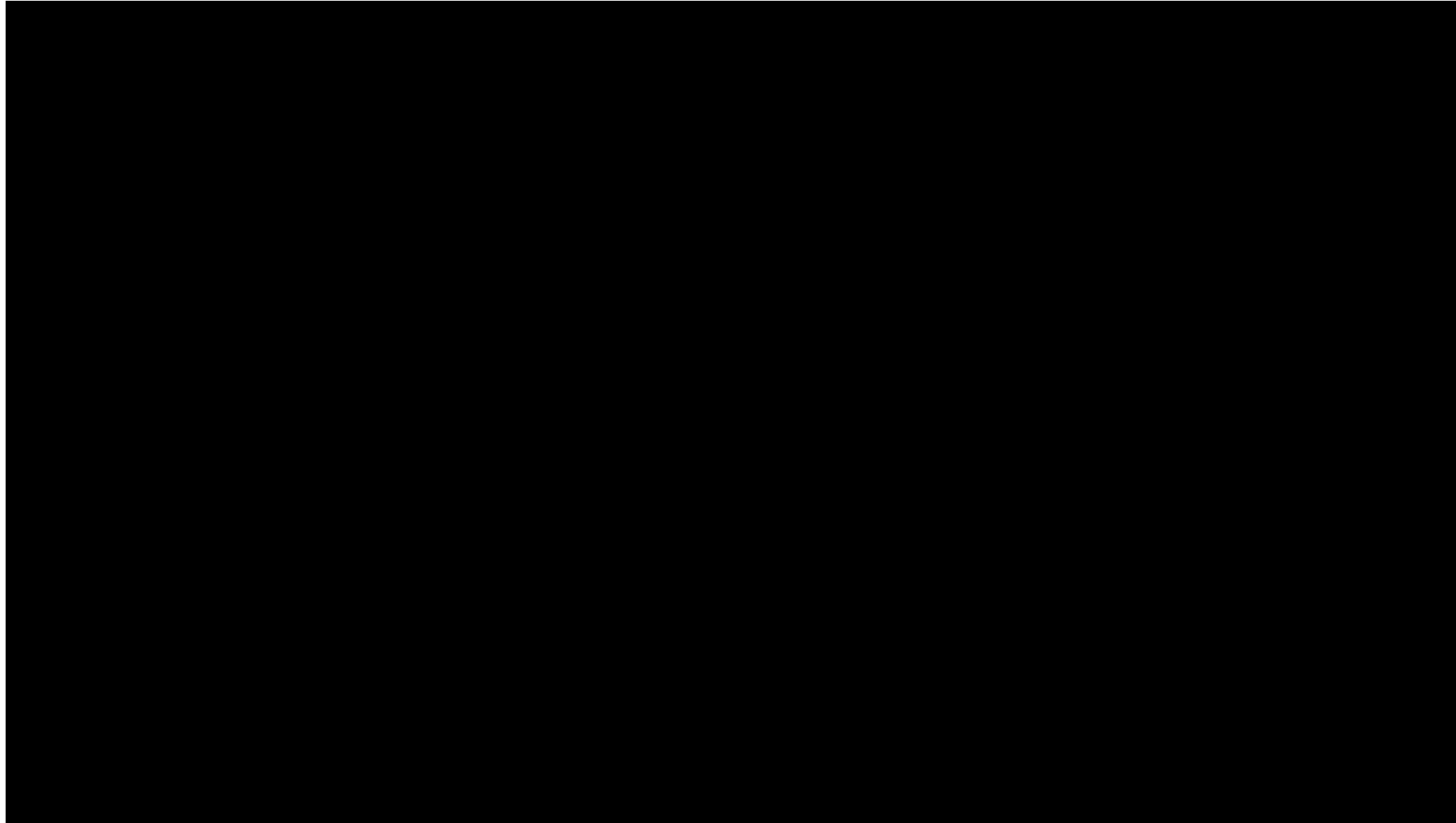
- ✓ Jsou určeny k automatickému dávkování tekutého kovu, nejčastěji při odlévání do kovových forem pod tlakem
- ✓ Kov, natavený v tavicí peci, se plnicím trychtýřem nalije do vany dávkovací pece, která je hermeticky uzavřena
- ✓ Teplota je obvykle udržována pomocí odporových topných článků SiC nad hladinou kovu
- ✓ Teplota se měří pomocí termočlánku
- ✓ V peci se stále udržuje mírný přetlak tlakového vzduchu nebo ochranného plynu
- ✓ Dávkování kovu se provádí zvýšením tlaku plynu v komoře pece, který vytlačí kov do dávkovací trubice
- ✓ Po snížení přetlaku na původní hodnotu se vyléváním kovu ukončí
- ✓ Množství nedávkovaného kovu se řídí automaticky podle nastaveného údaje velikosti přetlaku a času



*Schéma elektrické dávkovací pece*



# Motor Jikov Slévárna a.s.





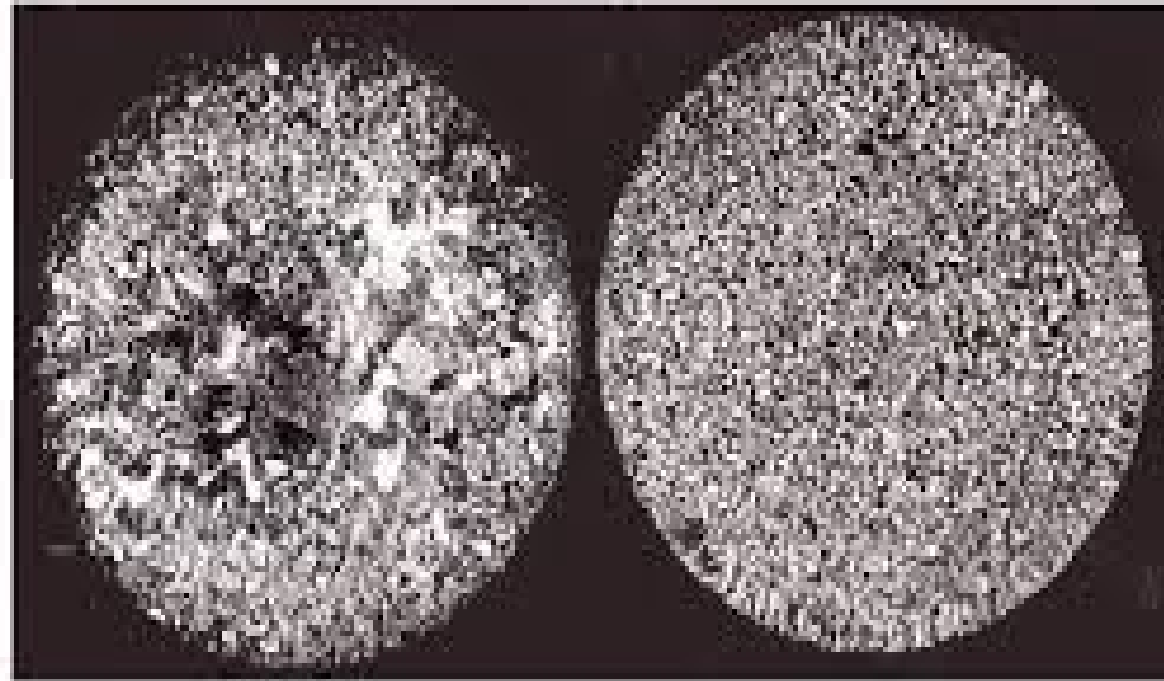
# Úprava chemického složení taveniny

- ✓ Při tavení hliníkových slitin se obvykle vychází ze vsázkových surovin, které svým chemickým složením odpovídají odpovídající tavené značce
- ✓ Úpravy chemického složení taveniny proto obvykle mají za cíl pouze drobné korekce obsahu jednotlivých prvků, eventuálně kompenzaci propalu
- ✓ Úprava chemického složení se provádí po roztavení vsázky a po chemické analýze
- ✓ Prvkem, u něhož je nutné doplňovat ztráty propalem, je zejména hořčík – přibližně se jedná o ztrátu asi 0,05 % Mg za tavbu
- ✓ U jiných prvků se obvykle s propalem nepočítá
- ✓ Příkladové prvky a stejně tak i prvky, používané pro očkování a modifikaci, se dodávají jako předslitiny s hliníkem
- ✓ Úprava chemického složení se obvykle týká prvků Si, Cu, Mg, Fe, Mn a Ti

# Vliv očkování na vlastnosti slitin

- ✓ Zjemnění zrna se projeví zlepšením mechanických i mnoha technologických vlastností: *zvýšením pevnosti a tažnosti, snížením sklonu slitiny ke vzniku trhlin, menší pórovitostí odlitků, zvýšením těsnosti odlitků, lepší obrobiteľností, zlepšením kvality povrchu po anodické oxidaci zvýšením vlastností po tepelném zpracování*

*Základní  
neočkovaná  
slitina*

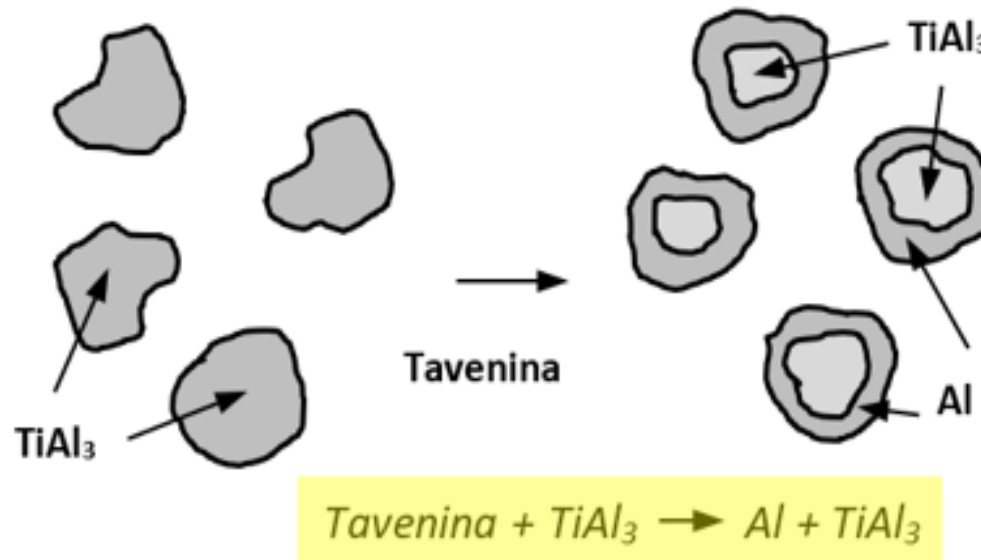


*Po očkování  
Al-Ti*



# Očkování podeutektických slitin hliníku

- ✓ Se provádí titanem nebo kombinací titanu a bóru
- ✓ Tyto prvky se do taveniny vnášejí pomocí očkovacích solí, očkovacích tablet nebo v podobě předslitin Al-Ti nebo Al-Ti-B
- ✓ Při očkování přípravky s titanem reaguje s hliníkem za vzniku intermetalické fáze  $TiAl_3$
- ✓ Tato fáze má, stejně jako hliník, kubickou plošně centrovanou mřížku s parametrem blízkých mřížce hliníku a je proto téměř ideální krystalizačním zárodkem
- ✓ Kolem částice  $TiAl_3$  se tvoří obálka tuhého roztoku  $\alpha$  (Al) a na ní pokračuje další růst dendritů hliníků



*Nukleace zárodků  $TiAl_3$  při peritektické reakci v systému Al-Ti*

# Očkování podeutektických slitin hliníku

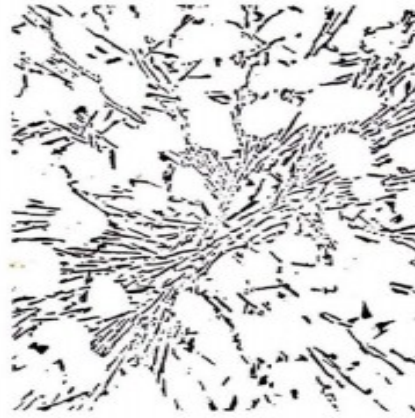
- ✓ Zárodky  $\text{TiAl}_3$  se v naočkované tavenině postupně rozpouští a očkovací účinek s časem odeznívá
- ✓ Efektivní očkovací účinek předslitin Al-Ti obvykle trvá kolem 30-45 minut
- ✓ Dalším zlepšení očkovacího účinku se dosahuje s obsahem Ti a B
- ✓ Předslitiny s Ti a b obvykle obsahují do 5 % Ti a do 1 % B v různých poměrech
- ✓ Bór sám nepůsobí jako očkovadlo, vždy pouze v kombinaci s titanem
- ✓ S hliníkem a titanem tvoří bór intermetalické fáze  $\text{AlB}_2$ ,  $\text{TiB}_2$  nebo  $(\text{Al}, \text{Ti})\text{B}_2$  s velikostí 0,5-2  $\mu\text{m}$ , tedy mnohem menší, než samotný  $\text{TiAl}_3$ . Tyto částice pak slouží jako krystalizační zárodky.

# Modifikace

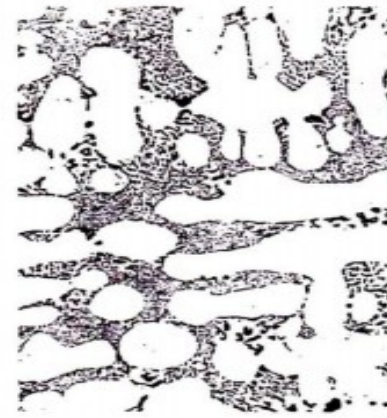
- ✓ Křemík se v eutektiku vylučuje ve třech různých morfologických podobách. Podle tvaru eutektického křemíku se též nazývá i příslušné eutektikum:
  - Zrnité (*Si tvoří polyedrická zrna, na metalografickém výbrusu se jeví jako jehlice*)
  - Lamelami (*Si tvoří hrubé lamely, na metalografickém výbrusu se jeví jako jemnější jehlice*)
  - Modifikované (*Si tvoří jemná vlákna, na metalografickém výbrusu se jeví jako tečky či tyčinky*)



zrnité



lamelární

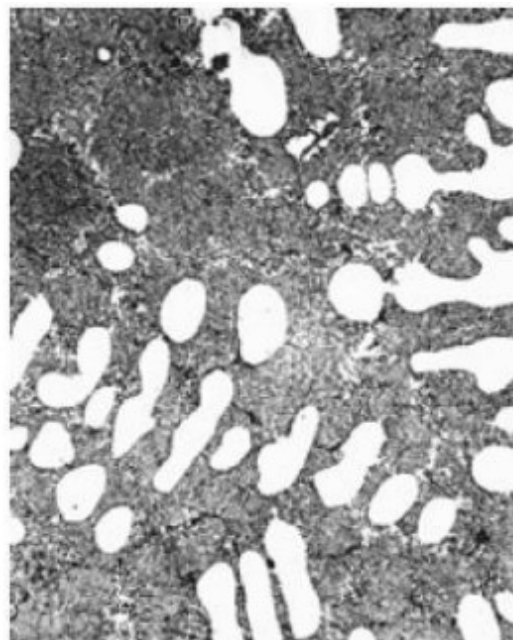


modifikované

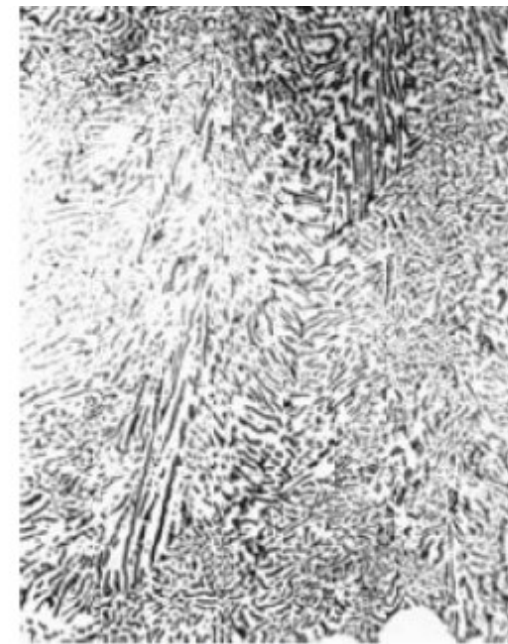
*Struktura různých typů eutektika v siluminech (bílé Al, černé Si)*

# Modifikace

- ✓ Nejsilnější modifikační účinek má sodík, což je dáno jeho vzdáleností rovin dvojčatění a tím zaručí vysokou hustotu dvojčat v částicích křemíku
- ✓ Částice křemíku v modifikovaném eutektiku mají hrubý povrch a jsou krystalicky nedokonalé, což je potenciálním místem pro další větvení
- ✓ Sodík se do taveniny přidává ve formě exotermických tablet, jako kovový sodík či modifikační soli
- ✓ Dalším prvkem, který má dobrou modifikační schopnost, je stroncium
- ✓ Je mnohem méně reaktivní než sodík a dává vysoké a stabilní využití (až 90 %)
- ✓ Používá se jako předslitina s hliníkem (případně s hliníkem a křemíkem), kde tvoří intermetalickou fázi Al-Sr a ze které se do taveniny dostává rozpouštěním
- ✓ Čím je vyšší teplota taveniny, tím rychleji se předslitina rozpouští a tím rychleji nabíhá modifikační účinek



Zvětšení: 200x



Zvětšení: 800x

*Modifikované eutektikum  
podetektického siluminu*

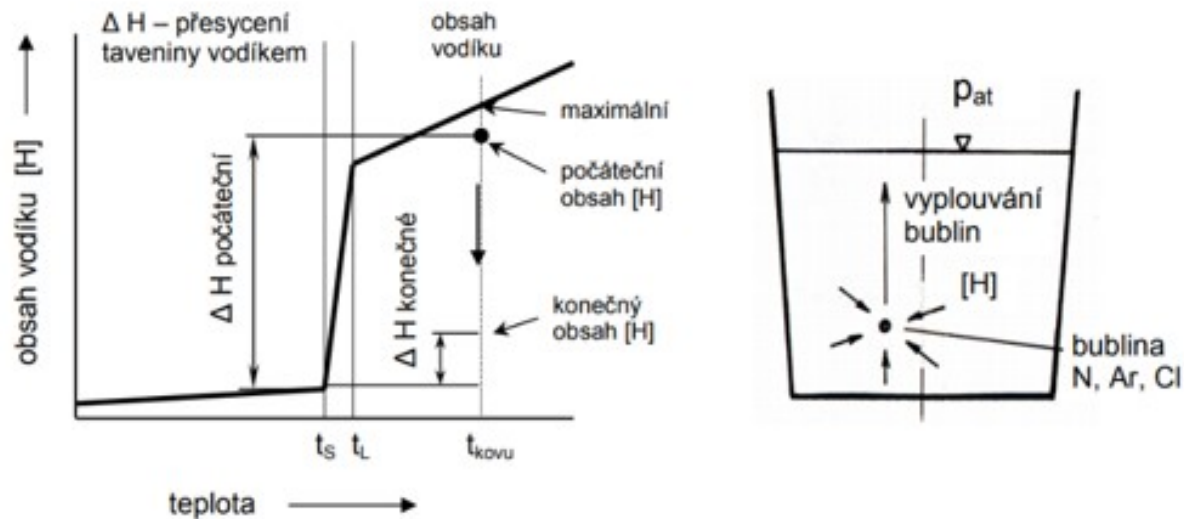


# Rafinace taveniny

- ✓ Proces, při kterém se v tavenině snižuje množství vměsků
- ✓ Při rafinaci se využívají zejména následující postupy: *odstátí taveniny, vynášení vměstků plynových bublinami, chemická vazba vměsků pomocí krycích a rafinačních solí, mechanické zachycování vměstků při filtraci taveniny*
- ✓ **Odstátí** je separace vměstků na principu jejich vyplouvání. Vzhledem k téměř stejným hustotám kovu a většiny vměstků je však tento způsob časově náročný a málo efektivní
- ✓ Doba odstátí se musí pohybovat v řadu několika desítek minut až hodiny, účinnost je však stejně nízká
- ✓ Odstátí může být použito také jako „předstupeň“ další rafinace

# Rafinace taveniny

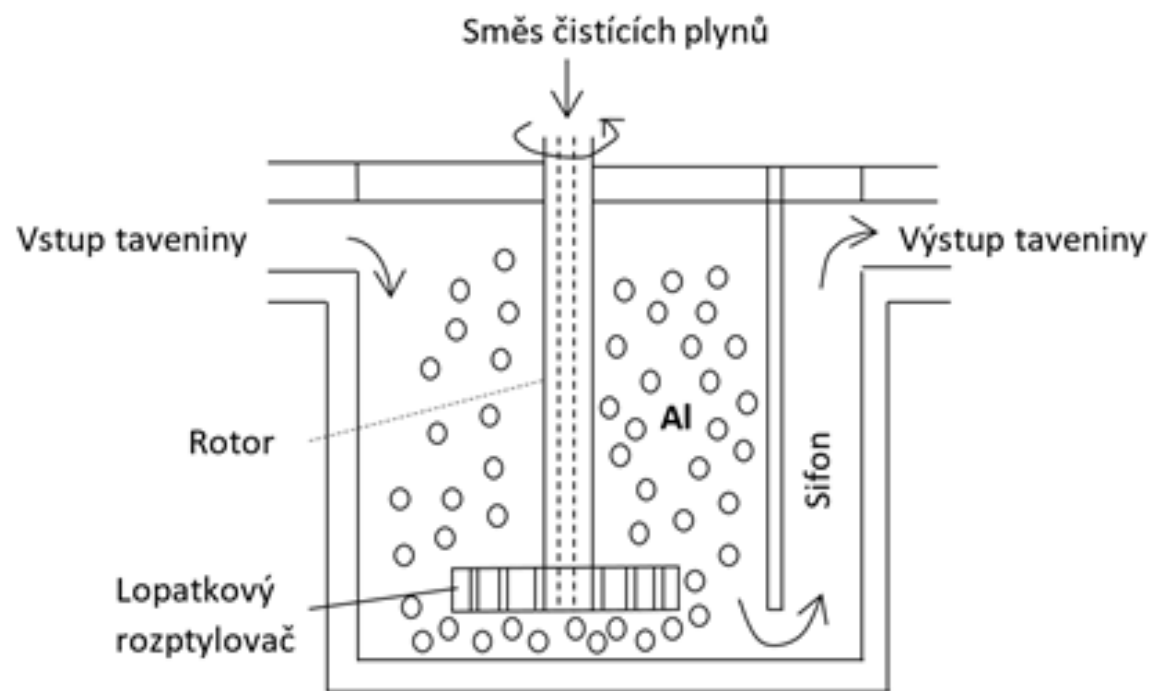
- ✓ Princip odplyňování **proubláváním plynu** je založeno na difuzi vodíku do bublin s nulovým parciálním tlakem vodíku, s nimiž je vynášen na hladinu, nebo s nimi chemicky reaguje
- ✓ Podle vzájemné reaktivity vodíku a vhněného plynu hovoříme o odplyňování interními plyny nebo aktivními plyny
- ✓ Interními plyny, používanými pro odplyňování slitin hliníku, jsou dusík nebo argon
- ✓ Tyto plyny se vhnájí do taveniny (nebo uvolňují z odplyňovacích solí) v blízkosti dna pánve tak, aby tvořily co nejmenší bubliny



*Princip odplyňování neutrálními a aktivními plyny*

# Rafinace taveniny

- ✓ Malá velikost bublin, dostatečně dlouhá dráha (tzn. jejich tvoření u dna dostatečně vysoké pánve) a dobré promíchávání (homogenizace) taveniny, jsou klíčovou podmínkou účinného odplynění
- ✓ Je nutné, aby neutrální plyn neobsahoval vlhkost
- ✓ Z tohoto důvodu je nutno používat vysoce čisté rafinační plyny, v případě dusíku čistoty 99,99 %
- ✓ Dusík běžné technické čistoty naprosto nevyhovuje, neboť obsahuje značné množství vlhkosti
- ✓ Účinek odplynění dusíkem a argonem je srovnatelný



*Schéma zařízení pro rafinaci hliníku*

# Rafinace taveniny

- ✓ Jako **aktivní plyny** se označují takové plyny, u nichž dochází ke vzniku chemické sloučeniny s vodíkem
- ✓ Jako aktivní plyny se používají chlor nebo fluor (dříve i freon)
- ✓ Stupeň odplynění aktivními plyny bývá obvykle vyšší, než odplynění neutrálními plyny
- ✓ Použití chloru a přípravků, které chlor uvolňují, však v současné době naráží na striktní ekologické předpisy
  
- ✓ **Krycí přípravky:**
  - *Krycí soli jsou směsí především chloridů a fluoridů alkalických kovů*
  - *Jejich účelem je bránit přímému kontaktu taveniny s atmosférickým kyslíkem a s vlhkostí*
  - *Složení přípravků se volí tak, aby jejich teplota tavení byla nižší, než je tavicí teplota slitiny, tj na tavenině tvoří tekutou ochrannou vrstvu strusky*
  - *Přidávají se již do pevné vsázky nebo po natavení na hladinu kovu*

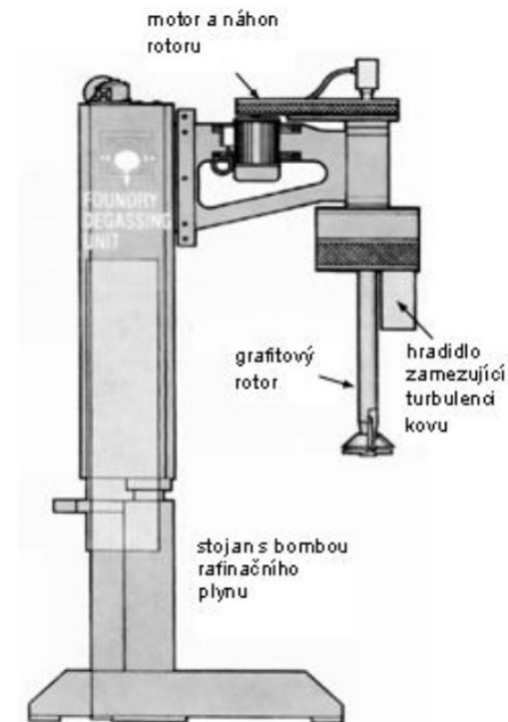


Schéma zařízení pro rafinaci hliníku



Krycí soli

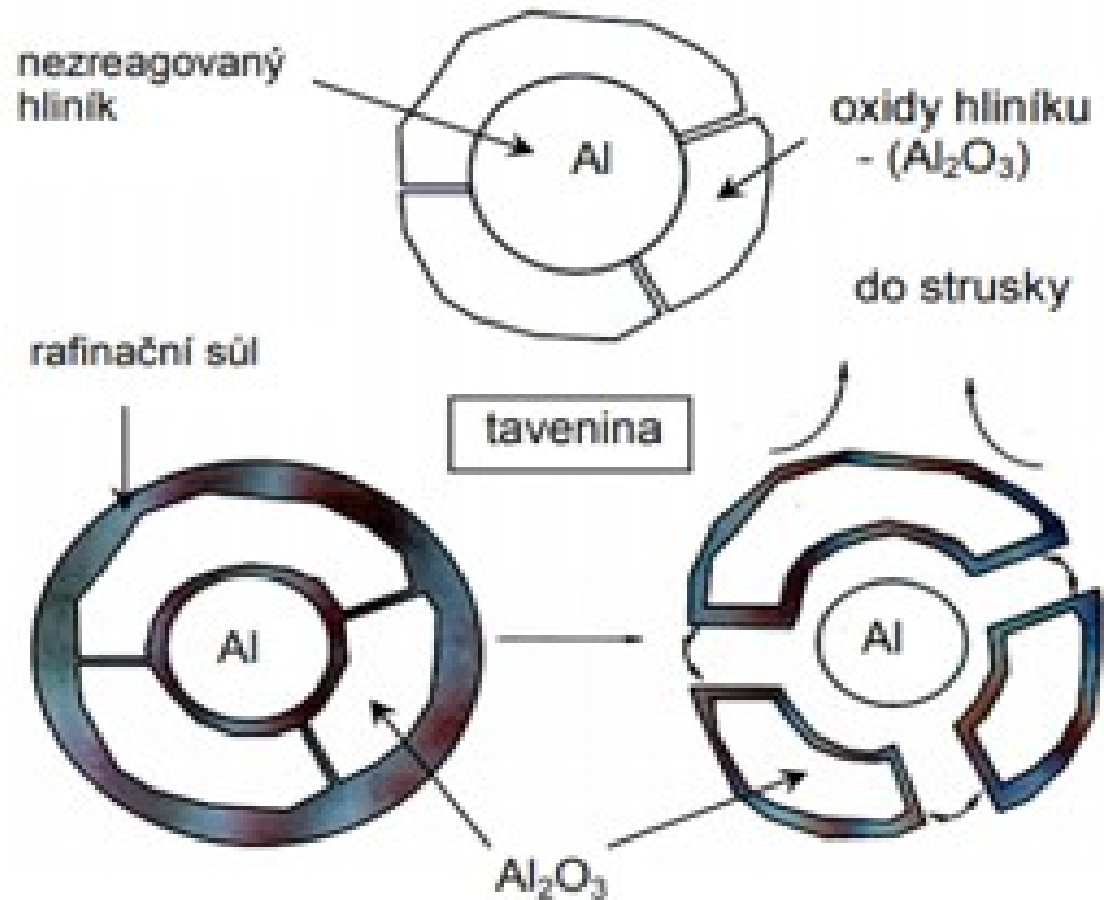


# Rafinace taveniny

## ✓ Rafinační přípravky:

- *Účelem rafinačních solí je odstranit z taveniny oxidické vměstky, snížit ztráty kovového hliníku, případně snížit obsah některých nežádoucích prvků chemickou reakcí*
- *Chemicky se opět jedná o směs chloridových a fluoridových solí s přísadou dalších aktivních komponent, které s nimi reagují a ovlivňují povrchové napětí mezi kovem a oxidy*
- *Některé složky rafinačních solí umožňují selektivní odstranění nežádoucích prvků*
- *Cílem rafinace je pomocí rafinačních přípravků rozrušit oxidickou obálku a tak uvolnit nezreagovaný kov zpět do lázně*
- *Aktivní sloučeninou v rafinačních přípravcích je např. fluorosilikát sodný, ten proniká podél hranice mezi oxidickou obálkou a kovem, obaluje oxidické částice tvoří s nimi „suchou strusku“ s malým obsahem kovového hliníku*
- *Rafinační přípravky se používají obvykle až v závěru tavby*

# Rafinace taveniny

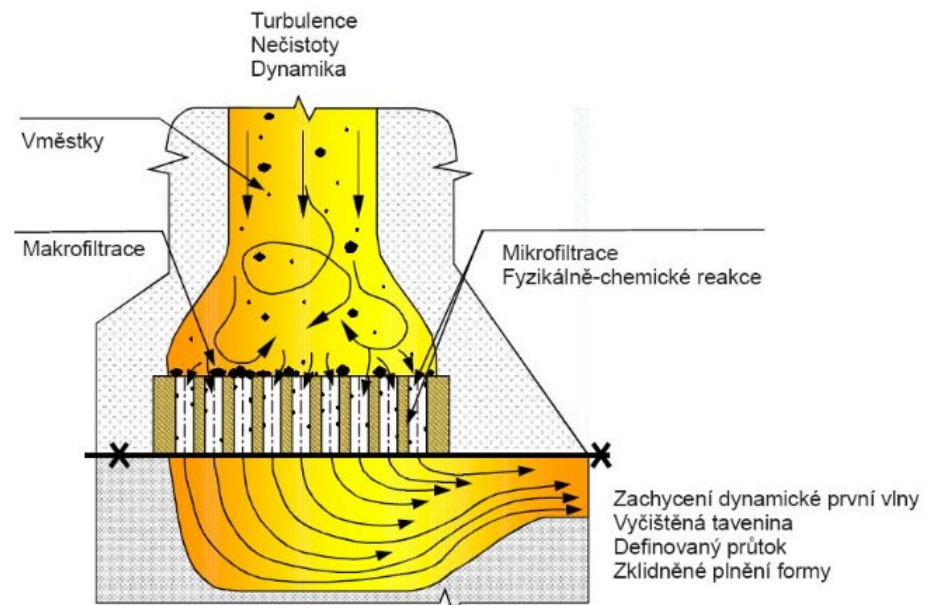


*Rozrušení oxidických obálek při rafinačním působení  $\text{Na}_2\text{SiFe}_6$*

# Rafinace taveniny

## ✓ Filtrace:

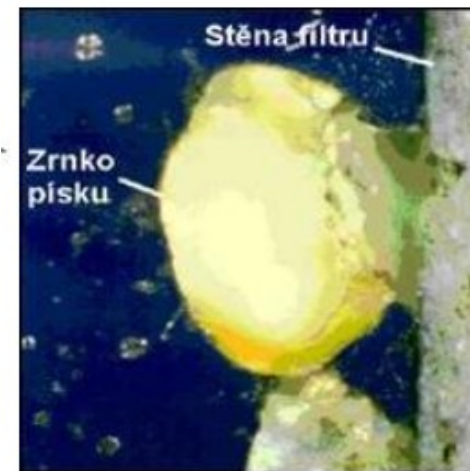
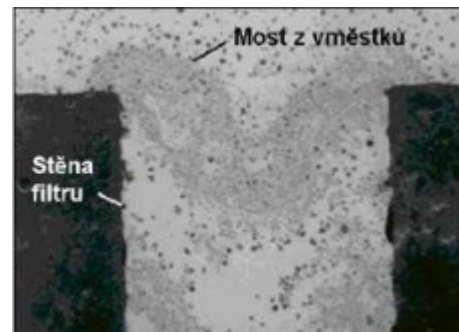
- Je účinný způsob zachycování vměstků
- Odlévání kovu přes kovové filtry, sítky nebo keramické filtry v různých fázích zpracování tekutého kovu, za účelem odstranění nekovových vměstků
- Filtrace se provádí při přelévání taveniny z tavicích pecí do transportních pánví, v udržovacích pecích nebo přímo ve formách
- Filtrací plochými filtry se výborně odstraní především vměstky typu oxidických blan
- Pomocí keramických filtrů se účinně zachycují i velmi drobné nekovové vměstky



Zachycený shluk zrn formovací směsi



Můstek z vměstků přes otvor ve filtru



Zrnko písku zachycené na filtru



# Použité zdroje

- ✓ [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://www.clasic.cz/index.php/cz/pece/kelimkove>
- ✓ [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <https://www.lac.cz/cs/pece-a-susarny/prumyslove-pece-a-susarny/slevarny-nezelezných-kovu>
- ✓ [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <http://www.tiessepraha.cz/krown-sachtove-tavici-pece/>
- ✓ [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <http://uvp.cz/plynove-vanove-udrzovaci-pece-s-topnym-systemem/>
- ✓ [online]. [cit. 2021-01-19]. Dostupné z: <http://www.sebestasro.cz/cz/dodavatele/strikowestofen>
- ✓ [online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=193081](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=193081)
- ✓ [online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=86092](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=86092)
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-16]. Dostupné z: <https://www.realistic.cz/pece-pro-strojirensky-prumysl>
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-27]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12619353-Technologie-i-slevani-a-svarovani.html>
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-27]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18315334-Vliv-filtru-na-plneni-formy-pri-odlevani-slitin-hliniku.html>
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-27]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/33909/final-thesis.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- ✓ [online]. [cit. 2021-9-1]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2904837/>