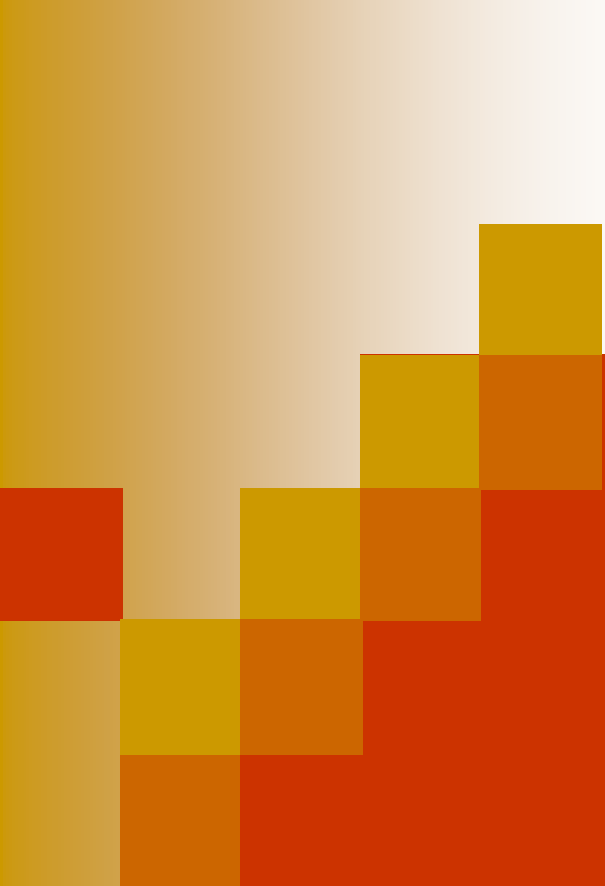




Základy teorie a technologie slévárenství

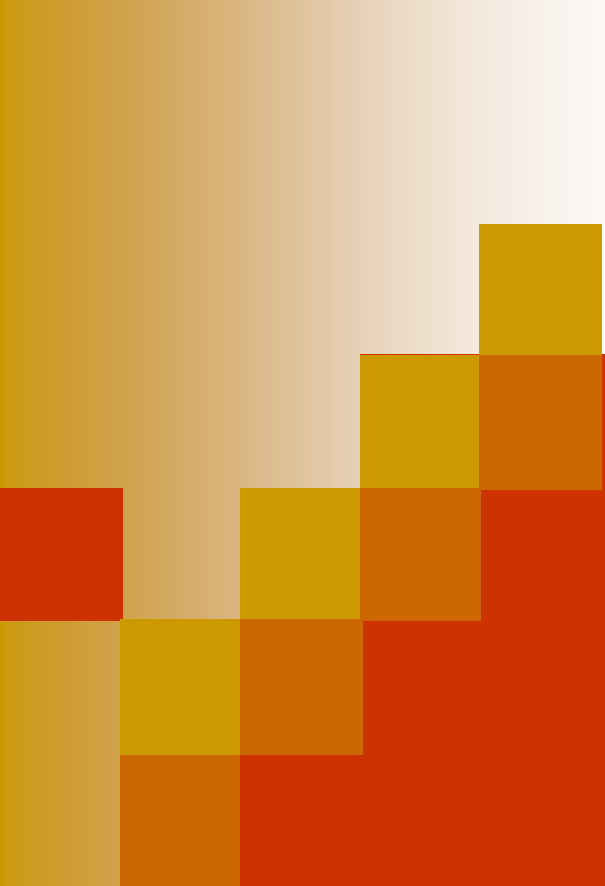
Studijní opora

Doc.ing.Vlasta Bednářová,CSc.

Osnova přednášek

1. Úvod do slévárenství - historická a hospodářská data. Možnosti a hranice výroby odlitků. Průběh výroby odlitku od výkresu po expedici.
2. Rozdělení výrobních způsobů podle druhu formy. Výroba odlitků do jednorázových pískových forem, strojní výroba forem a jader – pěchování, střešení, lisování, impulzní formování, vstřelování
3. Druhy a vlastnosti formovacích směsí, pojivové soustavy I. – IV. generace, příprava a zkoušení formovacích směsí,
4. Ekologie – základní principy regenerace ostrůvků, zkoušení regenerátu
5. Výroba odlitků do kovových forem, gravitační lití, tlakové lití vysokotlaké a nízkotlaké, odstředivé lití.
6. Proudění kovu ve formě – vlastnosti roztavených kovů, zabíhavost kovů a slitin, vlivy působící na zabíhavost. Vtoková soustava odlitku – její význam a druhy vtokové soustavy podle účelu, stručný postup výpočtu vtokové soustavy.

- 
7. Statické a dynamické působení kovu na formu, výpočet metalostatického tlaku a vztlaku. Rozpustnost plynů v kovech. Způsoby odplyňování kovu. Plynový režim slévárenské formy. Odvod plynů a odvzdušnění slévárenské formy. Vznik bublin.
 8. Krystalizace a tuhnutí odlitku. Termodynamické podmínky krystalizace, homogenní a heterogenní nukleace. Primární krystalizace odlitku. Tuhnutí odlitku – stanovení doby a rychlosti tuhnutí, součinitel tepelné akumulace formy.
 9. Objemové změny při tuhnutí odlitku, tepelné uzly a jejich zneškodňování – technologičnost konstrukce odlitku, nálitkování, chlazení.
 10. Základy dimenzování nálitků, modul nálitku, otevřené a uzavřené nálitky, zvyšování účinnosti nálitků.
 11. Lineární smršťování odlitku a jeho důsledky. Vznik napětí v odlitku, exogenní smršťovací pnutí, tepelné a transformační pnutí . Vznik trhlin a prasklin. Vady odlitků a jejich předcházení.
 12. Přehled materiálů na odlitky. Ocelové odlitky – vlastnosti, použití, metalurgie, tavicí agregáty.
 13. Litiny – struktura, vznik grafitu, základní kovová hmota. Rozdělení litin podle tvaru vyloučeného grafitu – litina s lupínkovým grafitem, litina s kuličkovým grafitem. Mechanické vlastnosti litin.
 14. Základní poznatky o metalurgii, technologii, vlastnostech a použití odlitků ze slitin Al, Mg, Zn, Cu, Ti.



Slévárnoství

Historie, současnost

CO TO JE SLÉVÁRENSTVÍ ?

- Slévárenství je průmyslový obor, který nejkratší cestou, to je odléváním, umožňuje přechod od surovin k výrobku
- Odléváním lze zhotovit výrobky takového tvaru, které by nebylo možné vyrobit žádným jiným způsobem.



CO JE TO ODLITEK ?

Odlévání je způsob výroby součásti nebo předmětu, při kterém se roztavený kov nebo jiný roztavený materiál vlije do formy, jejíž dutina má tvar a velikost budoucího výrobku

**Výrobek vzniklý
ztuhnutím
tekutého kovu
ve formě
nazýváme
odlitkem**



Historie slévárenství

- *první nalezené lité předměty pocházejí z období 4500 let před n.l.*
- *Jejich vznik byl podmíněn objevem kovu s poměrně nízkou teplotou tavení – bronzu (cínového a arzénového) a je úzce spjat s dobou bronzovou.*



Příklady prehistorických odlitků



2 500 př.n.l..

*Tanečnice z
Mohenjodaro*



**Hlava
Mezopotámského prince
2500 př.n.l.**

3000 př.n.l.

Bronzová sekýra



The Art Archive/Aleppo Museum Syria/Dagli Orti

Tell Kashkahuk, Syria.

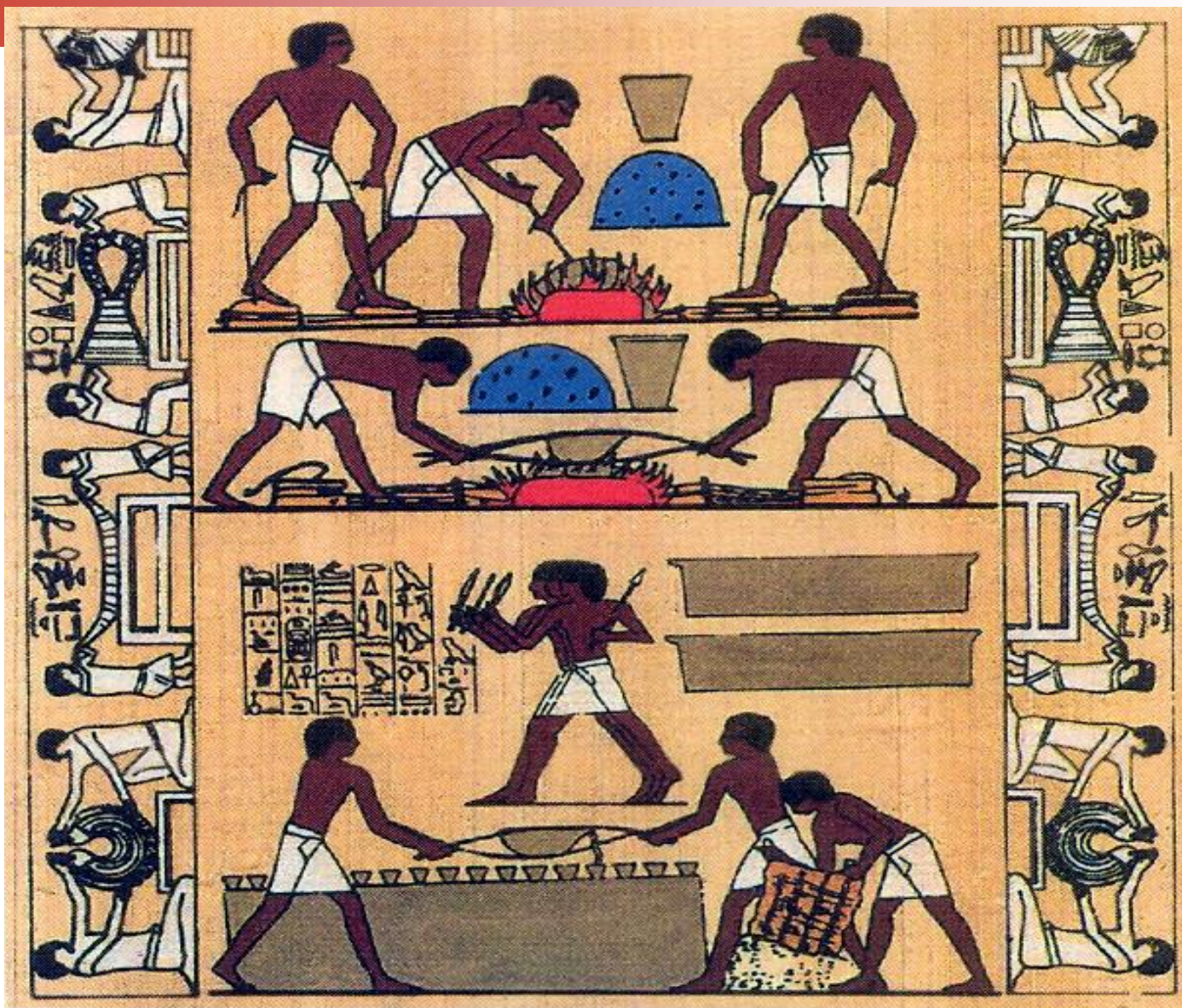


**3 100 – 2 900
př.Kr.**

**Tell Judaidah
Sýrie**

www-news.uchicago.edu/releases/05/050112.oi.shtml.

nejstarší známé bronzové odlitky zpodobňující člověka



**Popis tavení kovu a skládání forem hrobka kněze Rekhmara 1 500 př.Kr.
Théby**

Odlit 1252

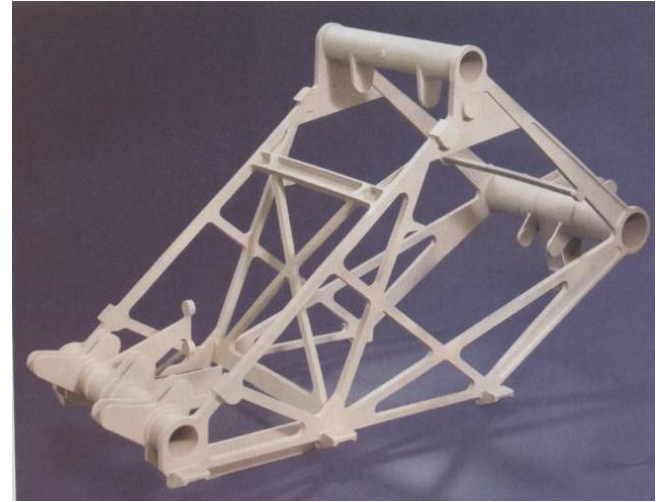
Budha z Kamakura



Výška 15 m váha 250 t (s podstavcem 380t)

VÝHODY ODLITKŮ

- **Přímá cesta od surovin k výrobku .**
- **Možnost zhotovovat díly v široké škále hmotností od několika gramů do desítek tun.**
- **Možnost dosažení značně složitých prostorových tvarů.**
- **Možnost tvarování odlitků podle zatížení nebo potřeby ohraničit prostor.**
- **Možnost dosažení vysoké tuhosti.**



- 
- **Možnost odlévání většiny kovů a slitin.**
 - **Možnost ovládání struktury a vlastností odlitků volbou složení, modifikací a očkováním taveniny, řízeným tuhnutím a tepelným zpracováním.**
 - **Vysoké využití materiálu a vysoká míra recyklovatelnosti.**
 - **Relativně nízká spotřeba energie.**
 - **Možnost dosažení speciálními postupy poměrně vysokých přesností a nízkých drsností.**
 - **Možnost zalévání dílů z jiných kovů**

Porovnání materiálové a energetické náročnosti odlitků s jinými výrobky

Typ výrobků	Využití materiálu %	Spotřeba primární energie v MJ/kg
Odlitky ze slitin železa	90 - 95	18 - 38
Odlitky ze slitin hliníku	90 - 95	105 – 180 ^{*)}
Výlisky z ocelového plechu za studena	70 - 80	25 – 50
Výkovky z oceli	75 - 80	46 - 95
Výlisky z prášků	95	28 – 32
Obrobky z válcovaných polotovarů ^{***)}	40 - 50	66 – 82

^{*)} Příčinou je energetická náročnost hutní výroby hliníku a nízký podíl sekundárního hliníku v běžné vsázce, zatímco při tavení litin tvoří zhruba 80 % vsázky odpad.

^{***)} Odebrání 1 kg třísek při hrubování vyžaduje min. 1,5 MJ/kg, obrábění na NC strojích cca 20 MJ/kg a jemné broušení až 3600 MJ/kg!



Srovnání výroby 1 kg hotových součástí opracovaných z válcované oceli a přesně litých

ENERGETICKÁ BILANCE



Válcovaný materiál

141 MJ/kg

Mechanické opracování

125 MJ/kg



Litý

59,6 MJ/kg

3,2 MJ/kg

HOTOVÁ SOUČÁST

266 MJ/kg

62,8 MJ/kg



NEVÝHODY ODLITKŮ

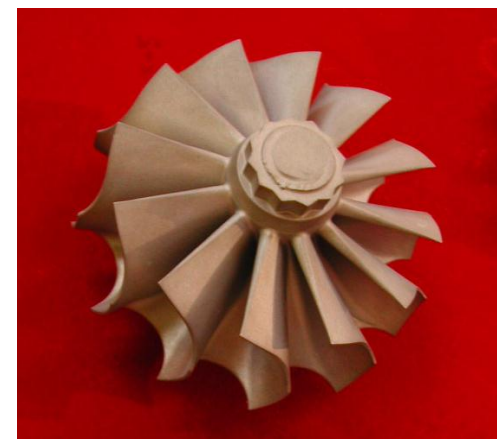
- Velké smršťování některých slitin při tuhnutí vyžaduje používání mohutných nálitků, které snižují využití tekutého kovu a zvyšují pracnost při úpravě odlitků
- Nebezpečí výskytu vnitřních vad (porezity, bublin, staženin...) - lze eliminovat vhodně zvolenou slévárenskou technologií (úpravami konstrukce, která umožní vhodný postup tuhnutí, umístění nálitků, možnost odvodu plynů z formy a jader,)
- Rozdíly v tloušťce stěn odlitku vedou k nerovnoměrnému tuhnutí a chladnutí, které způsobuje rozdíly ve struktuře a vlastnostech jednotlivých částí odlitku, vznik prnutí, deformací, případně až poruch souvislosti. (lze eliminovat vhodně zvolenou slévárenskou technologií)

Poměrné zastoupení polotovarů v konstrukci vybraných strojírenských výrobků /%/

Typ polotovaru	Obráběcí stroje	Parní turbíny	Spalovací motory	Jeřáby	Automobily
Tvářená ocel	19	44	19	79	5
Odlitky z oceli	1,5	16	3,8	13,5	-
Odlitky z litin	73	20	68	4,5	13
Odlitky ze slitin <u>Al</u>			1		5
Výkovky	5	16,5	7	1,8	13
Výlisky z plechu	-	0,2	0,4	0,1	42
Neželezné kovy	0,5	-	0,3	0,1	2
Ostatní materiál	1	3,3	0,5	1	20

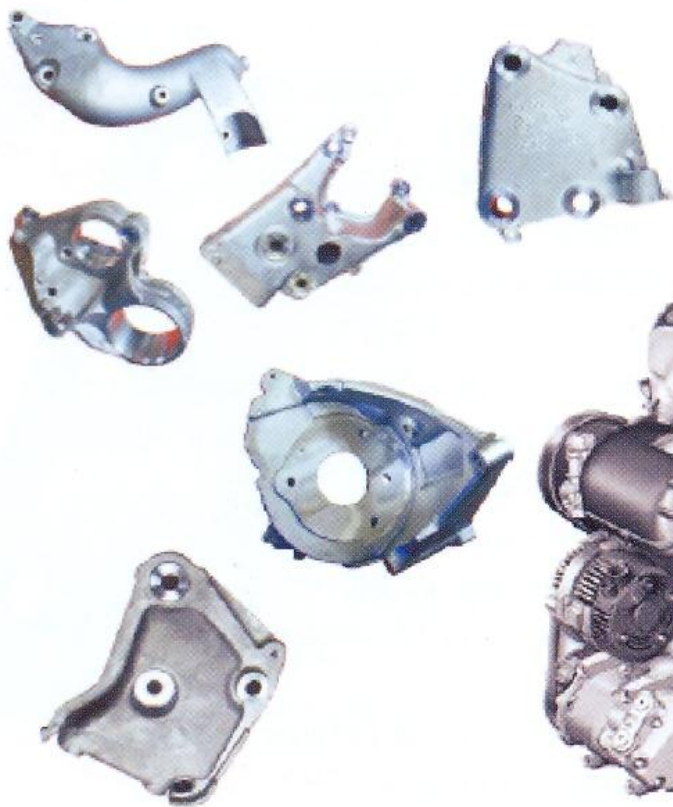
Slévárenský průmysl je stále nepostradatelný pro všechny obory lidské činnosti

Odlitky převládají v konstrukci obráběcích a tvářecích strojů, armatur, čerpadel, spalovacích motorů, kompresorů, v letadlech, lodích, jaderných zařízeních, u výrobků elektrotechnického a optického průmyslu



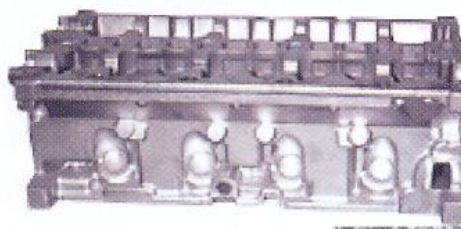
V konstrukci osobního automobilu je použito cca 100 druhů odlitků

Motorové lože



Díly pohonné jednotky

Culasse EW 10D



Culasse DW10 BTED4



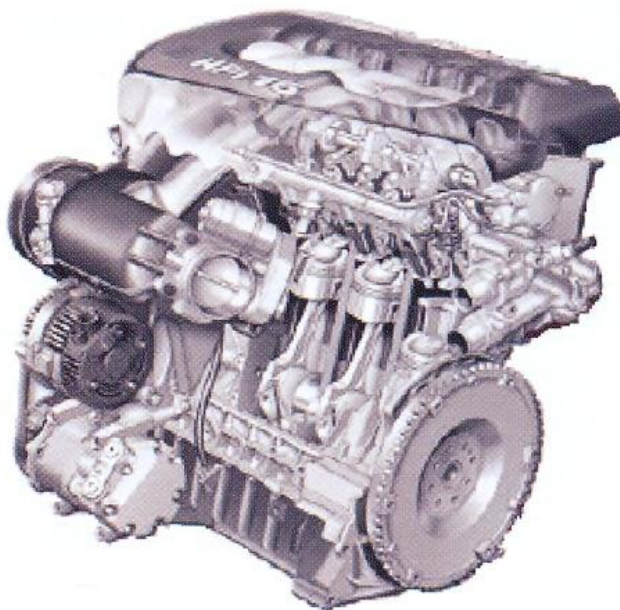
Culasse DV 4 TD

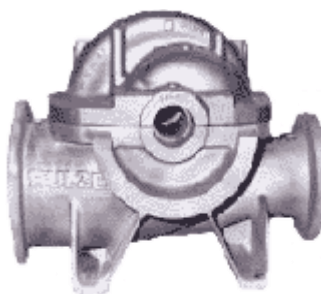


Culasse EW 12 J4/E4



Hlavy válců





Casting of the Year

This year's Casting of the Year reflects the forward thinking of a steel caster to see its challenges as opportunities and become a part of aerospace history in the process.

As the National Aeronautics and Space Administration (NASA) returns its space shuttles to flight this summer, it has been with the help of ME Global Inc. The steel sand casting company in Duluth, Minn., partnered with NASA and the United Space Alliance (USA) to develop new track shoes for the shuttle crawler transporters, which bring space shuttles from the Vehicle Assembly Building to the launch pad.

ME Global (a wholly owned business of Electromet, Santiago, Chile) came onto the space scene in the winter of 2002 when the company learned that the original track shoes on the transporters (dating back to the 1960s) and the inventory of space shoes soon were to be refurbished. The steel caster proposed to NASA that it could cast entirely new sets of shoes at a similar price as refurbishing. But NASA declined because it had prior success with refurbishing

the shoes (adding stock to existing roller paths and pin holes and then remachining them to fit the original design specifications).

However, several months later, NASA and USA took a second look into the idea of newly cast shoes. ME Global was asked to make a presentation in mid-2002 at Kennedy Space Center (KSC), Cape Canaveral, Fla., to show NASA exactly how this would be possible.

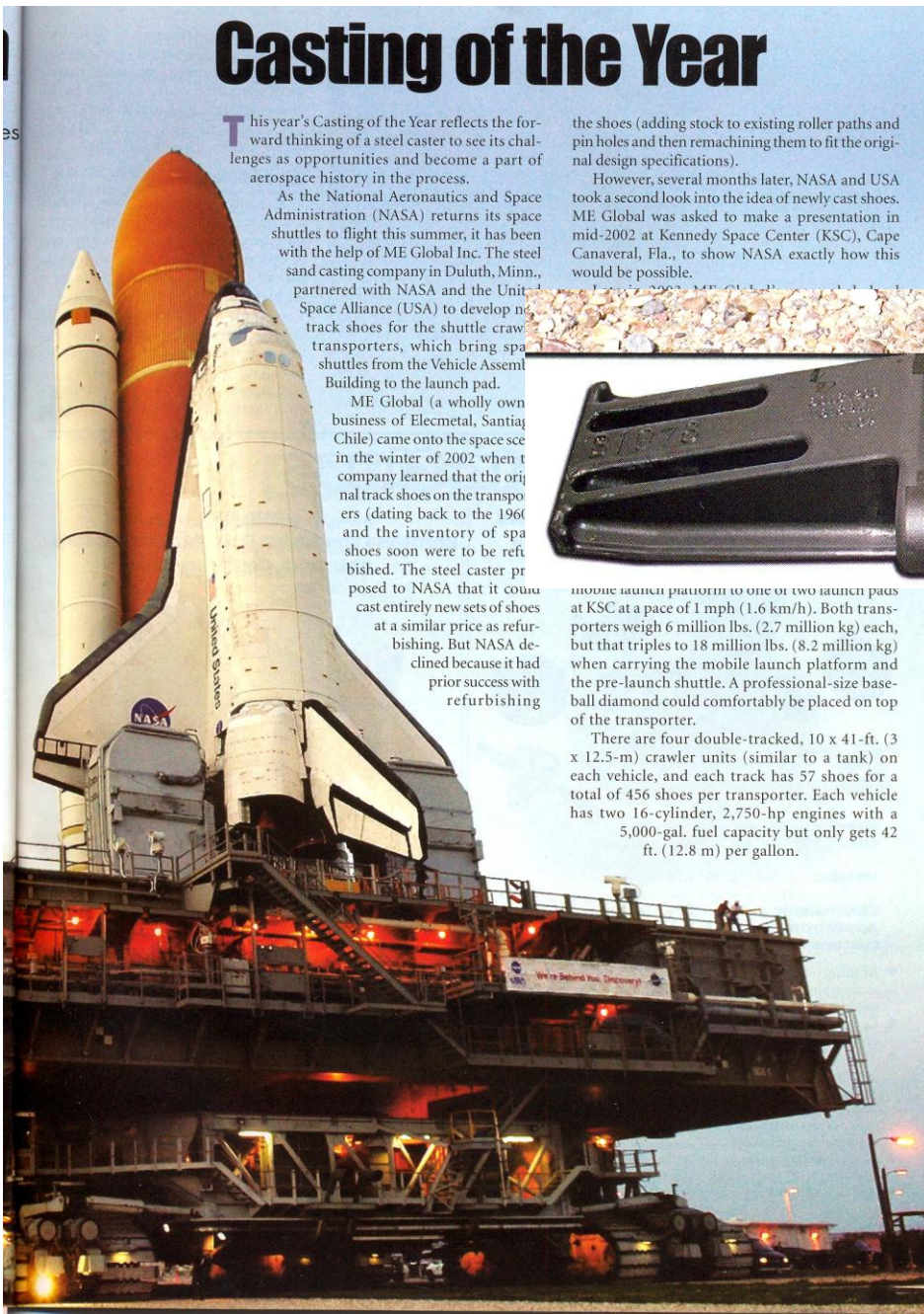


where it rests until its as space this summer.

mobile launch platform to one or two launch pads at KSC at a pace of 1 mph (1.6 km/h). Both transporters weigh 6 million lbs. (2.7 million kg) each, but that triples to 18 million lbs. (8.2 million kg) when carrying the mobile launch platform and the pre-launch shuttle. A professional-size baseball diamond could comfortably be placed on top of the transporter.

There are four double-tracked, 10 x 41-ft. (3 x 12.5-m) crawler units (similar to a tank) on each vehicle, and each track has 57 shoes for a total of 456 shoes per transporter. Each vehicle has two 16-cylinder, 2,750-hp engines with a 5,000-gal. fuel capacity but only gets 42 ft. (12.8 m) per gallon.

998kg 2,29 x 0,54m

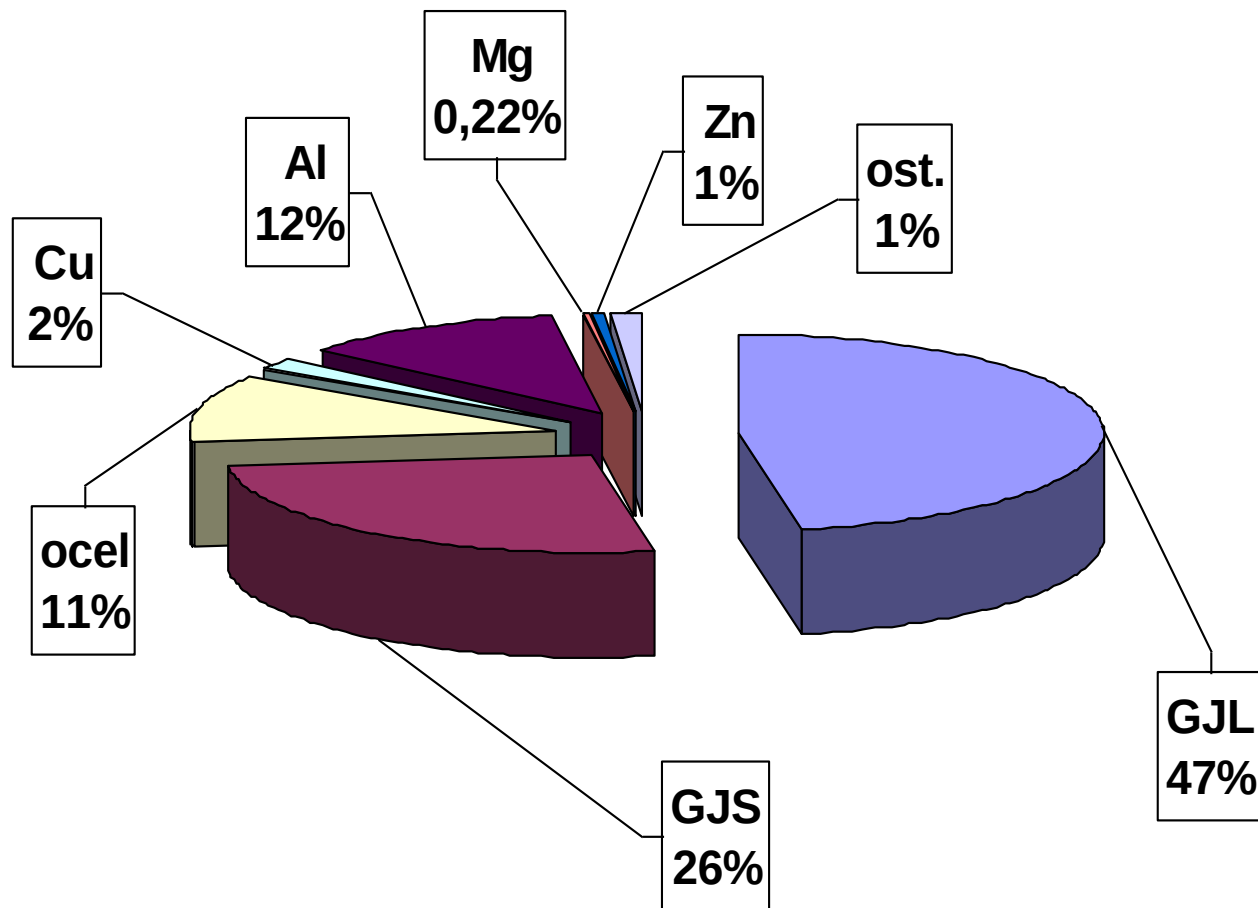


UMĚLECKÉ ODLITKY



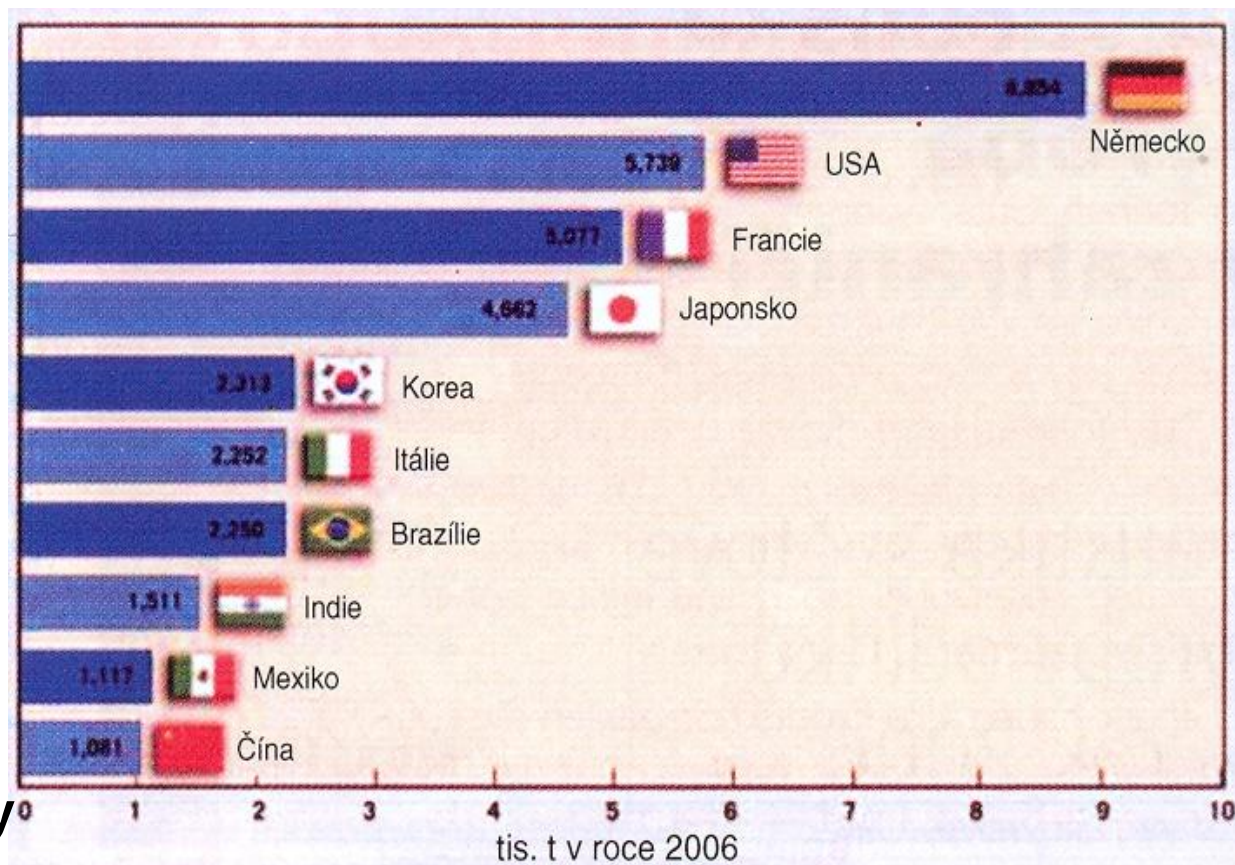
Světová výroba odlitků v r. 2010

91,48 mil. t (80,34 2009)



	země	výroba mil.t
1	China	34.7
2	India	7,4
3	U.S.A	7.39
4	Germany (6)	4,4
5	Japan (4)	4,1
6	Russia (5)	3,87
7	Brazil	2,28
8	Korea	2,07
9	Italy (10)	1,74
10	France (9)	1,67

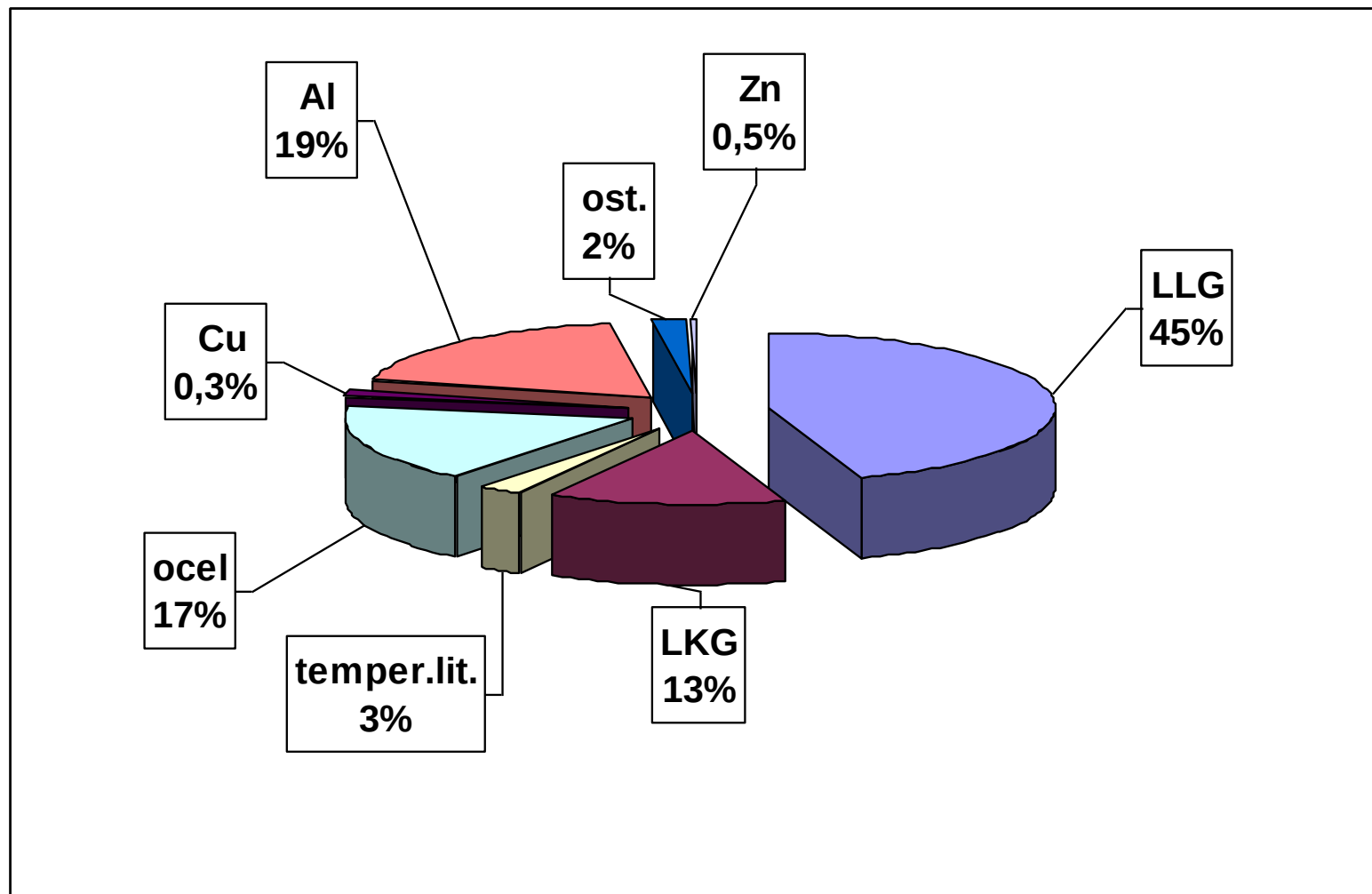
Deset předních světových výrobců odlitků 2010 (v závorce pořadí v r. 2009)



**Srovnání
produktivity
práce**

Výroba odlitků v České republice r. 2010

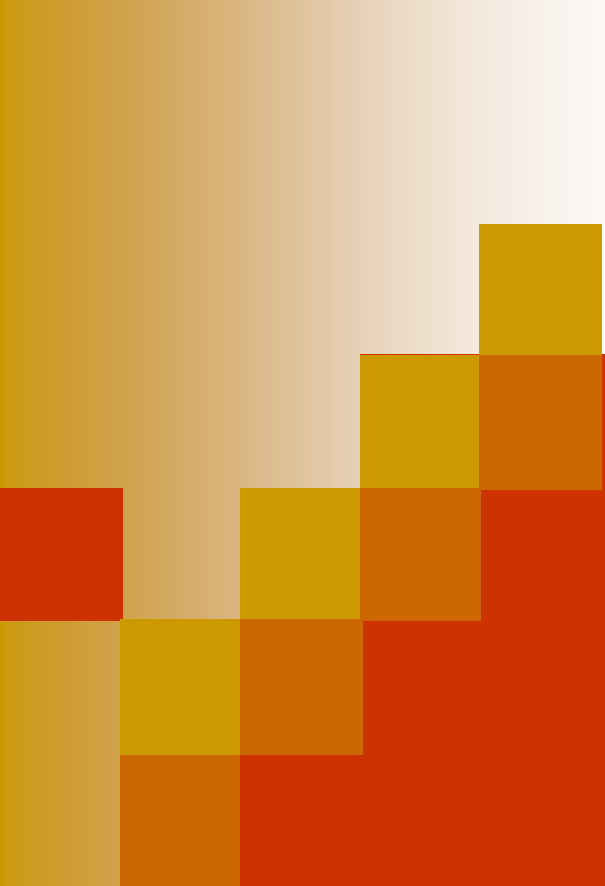
344 397 t





KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jak vzniká odlitek
2. Jaké jsou výhody a nevýhody litých polotovarů
3. Nejčastější využití odlitků (průmyslová odvětví)



Formovací směsi

ostřiva, pojiva,
I.-IV. generace směsí



Výrobu odlitků je možné realizovat celou řadou slévárenských výrobních technologií, které se obvykle rozdělují podle typu používaných forem

Formy trvalé
Formy netrvalé (jednorázové)

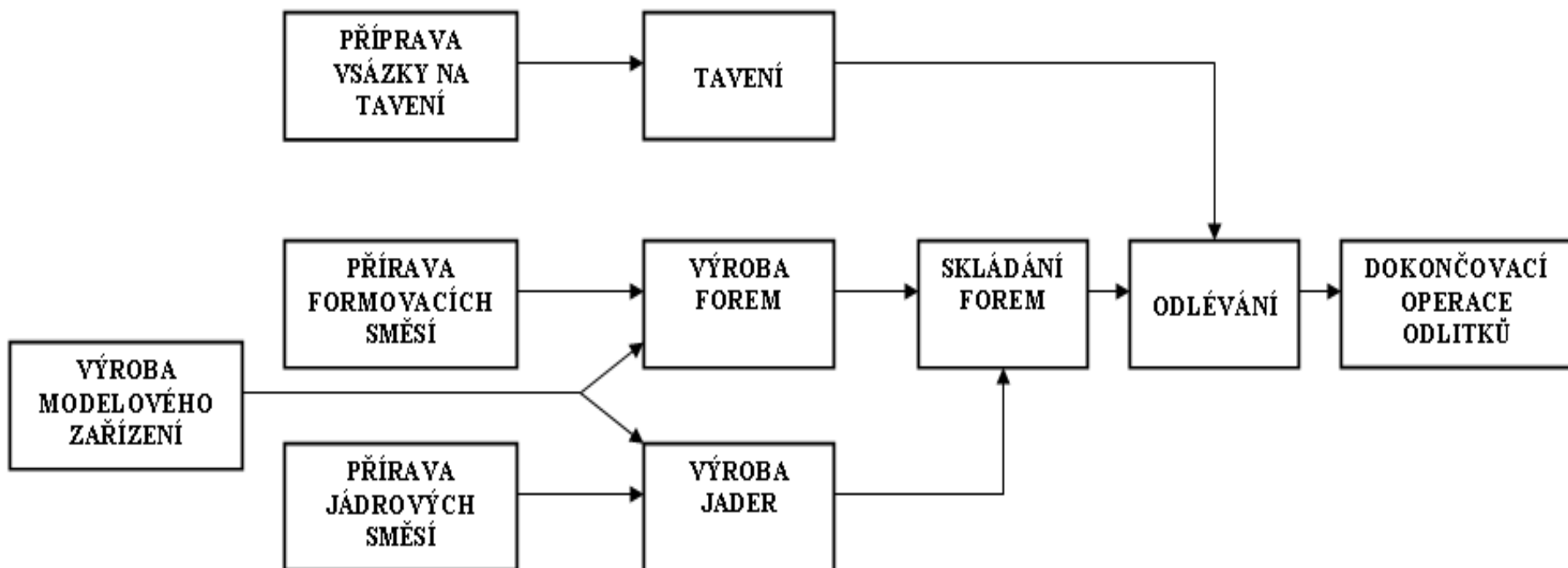
Formy trvalé (kovové)

- do formy je možno odlévat opakovaně (1000-100000x), výroba takovéto formy je velmi nákladná a používá se u velkosériové výroby

Formy netrvalé (jednorázové)

- Formy připravené z formovací směsi slouží pouze k jednomu odlití a po ztuhnutí odlitku se rozruší

SCHEMA TECHNOLOGICKÉHO TOKU VÝROBY VE SLÉVÁRNĚ VYUŽÍVAJÍCÍ JEDNORÁZOVÉ FORMY





Formovací směs obvykle tvoří :

- **ostřivo**
- **pojivo**
- **voda (přísady)**

Syntetická směs
připravená z jednotlivých komponent

Přirozené písky

Dají se používat v přímo v natěženém stavu (po přemíchání a úpravě vlhkosti)

Vzhledem k rostoucím požadavkům na kvalitu odlitku a produktivitu výroby je jejich použití velmi omezené

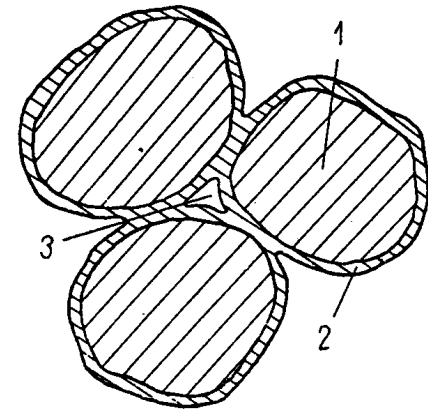
OSTŘIVA

Ostřivo je zrnitý žáruvzdorný materiál s velikostí zrn větších než 0,02 mm.

Tvoří základní kostru formovacího materiálu a představuje až 98% hmotnosti směsi.

Nejdůležitější vlastnosti:

- ❑ Tvar zrn
- ❑ Granulometrie



ovlivňuje

objemovou hmotnost, pórovitost, prodyšnost, propustnost, tepelnou dilataci, tepelnou vodivost, pevnost formovací směsi

Podíly < 0,02mm

Vyplavitelné (jíly, křemenný prach, neplastické částice, živec aj.), množství stanovíme plavící zkouškou

Rychlost sedimentace ve vodě (Stokesův zákon)

$$v = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_2 - \rho_1}{\eta}$$

ρ_2 měrná hmotnost ostrůva
 ρ_1 měrná hmotnost vody

rychlost sedimentace pro $r = 0,02\text{mm}$ 21,6 mm/min

Odsávání suspenze nad ostrůvem v určitých intervalech – oddělení vyplavitelných podílů

Dispergační činidlo brání agregaci jemných částic (NaOH)

**Prané ostrůvo pro syntetické směsi
max.1% vyplavitelných podílů**



Rozdělení ostřiv podle chemické povahy

- ☐ **Kyselá** (křemen)
- ☐ **Zásaditá** (magnezit)
- ☐ **Neutrální** (šamot, olivín, korund)

Podle původu vzniku

- ☐ **Přirozená** (křemenné písky, olivín, zirkon, chromit..)
- ☐ **Umělá** (šamotová drť, chrommagnesit, korund, kovové kuličky...).



Volba ostřiva

- ☐ druh odlévané slitiny (ocel – litina); licí teplota, chemická povaha
- ☐ tvarová složitost a tloušťky stěn odlitku (náchylnost ke vzniku vad odlitků – zapečeniny, zálupy)
- ☐ druh pojivové soustavy (výronky)
- ☐ ekonomická dostupnost a cena směsi i s ohledem na získání max. pevnosti s min. obsahem pojiva.

Křemenný písek

- **Křemen** (oxid křemičitý – SiO_2), je hlavní součástí přirozených písků. Tento materiál je v přírodě nejvíce dostupný a náklady na jeho získávání jsou proti jiným ostrživům nejnižší.
- teplota tavení kolem 1700°C (čistý křemen)
vlivem nečistot (živec, vápenec, oxidy železa) se tavicí teplota značně snižuje.
- měrná hmotnost $2620 - 2660 \text{ kg/m}^3$

Požadavky na křemenné písky

- ☐ Vysoce mineralogicky čisté ($\text{SiO}_2 > 96\%$).
- ☐ Vysoce pravidelné
- ☐ Málo hranaté
- ☐ Co možná min. koncentrace jemných podílů, včetně na síť 0,1 mm.
- ☐ Nemají obsahovat hrubší zrna nad 0,5 – 0,6 mm (neplatí pro masivní odlitky)
- ☐ Povrch zrn vysoce aktivní, čistý bez povlaků a nalepených částic

❑ Písky pro ocel musí obsahovat min. živců (do 1%). Živce mají nízký bod tavení a silně snižují teplotu spékání písků.

Důležitá je disperzita živců. Někdy vyšší koncentrace tolik nevadí, jsou-li jemnozrné..

Živce: plagioklasy $(100-n) \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + n\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ obsahují až 10% Na_2O
ortoklas $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ – obsahuje asi 17% K_2O , 18% Al_2O_3

❑ S ohledem na požadovanou hladkost povrchu odlitků je celosvětovou tendencí pracovat s jemnozrnnými písky

kolem středního zrna $d_{50} = 0,22 \text{ mm}$
(pro masivní odlitky $d_{50} > 0,3 \text{ mm}$).

Rozdělení písků podle geneze

Písky křídového stáří

Česká křídová tabule

Provodín T2S, Střeleč T2S, Střeleč KM, Srní

relativně málo znečištěné jílovými minerály s malým procentem vyplavitelných podílů (pod 0,5%), Jsou mineralogicky i chemicky velmi čisté.

Moravská křídová tabule

Dolní Lhota O-23; Dolní Lhota O-38; Boskovice

Menší mineralogická čistota

Vzhledem k vyšší hranatosti zrn jsou tyto typy písků méně vhodné pro organická pojiva

Váté písky

vyznačují se vysokou kulatostí zrn, která je výsledkem obrušování a eroze při vzdušném a vodním transportu ze značných dálek.

Moravsko slovenské pomezí

Šajdíkovy Humence ŠH (Š22 ŠH, Š27 OTŠH, Š35 ŠH, Š50 ŠH)

Písky jsou vysoce kulaté s min. obsahem vyplavitelných látek, dosti pravidelné (strmá součtová křivka zrnitosti), zrna jsou hladká. Nejpoužívanější písek v ČR (těžený na Slovensku) ve slévárnách šedé litiny (organika i bentonit).

Strážnice, Mostkový Les (Kluk)

Kulatá zrna, ale menší chemická čistota

Odpadní písky po plavení kaolinu

Hlubany, Kaznějov

**Méně kvalitní písky, většinou nevhodné pro organická pojiva,
vysoký obsah vyplavitelných podílů, porézní zrna**

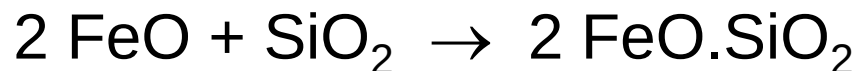
Nevýhody křemenných písků

- ☐ **Zvýšená reaktivnost za vysokých teplot s oxidy železa**
- ☐ **Neplynulá (diskontinuální) tepelná dilatace.**
- ☐ **Cristobalitická expanze**
- ☐ **Nemoci z křemenného prachu**

☐ Zvýšená reaktivnost za vysokých teplot s oxidy železa

Křemen je sloučenina kyselá reaguje s látkami zásaditými za vzniku sloučenin o snížené žárovzdornosti.

Např. reakcí SiO_2 s FeO se tvoří fayalit



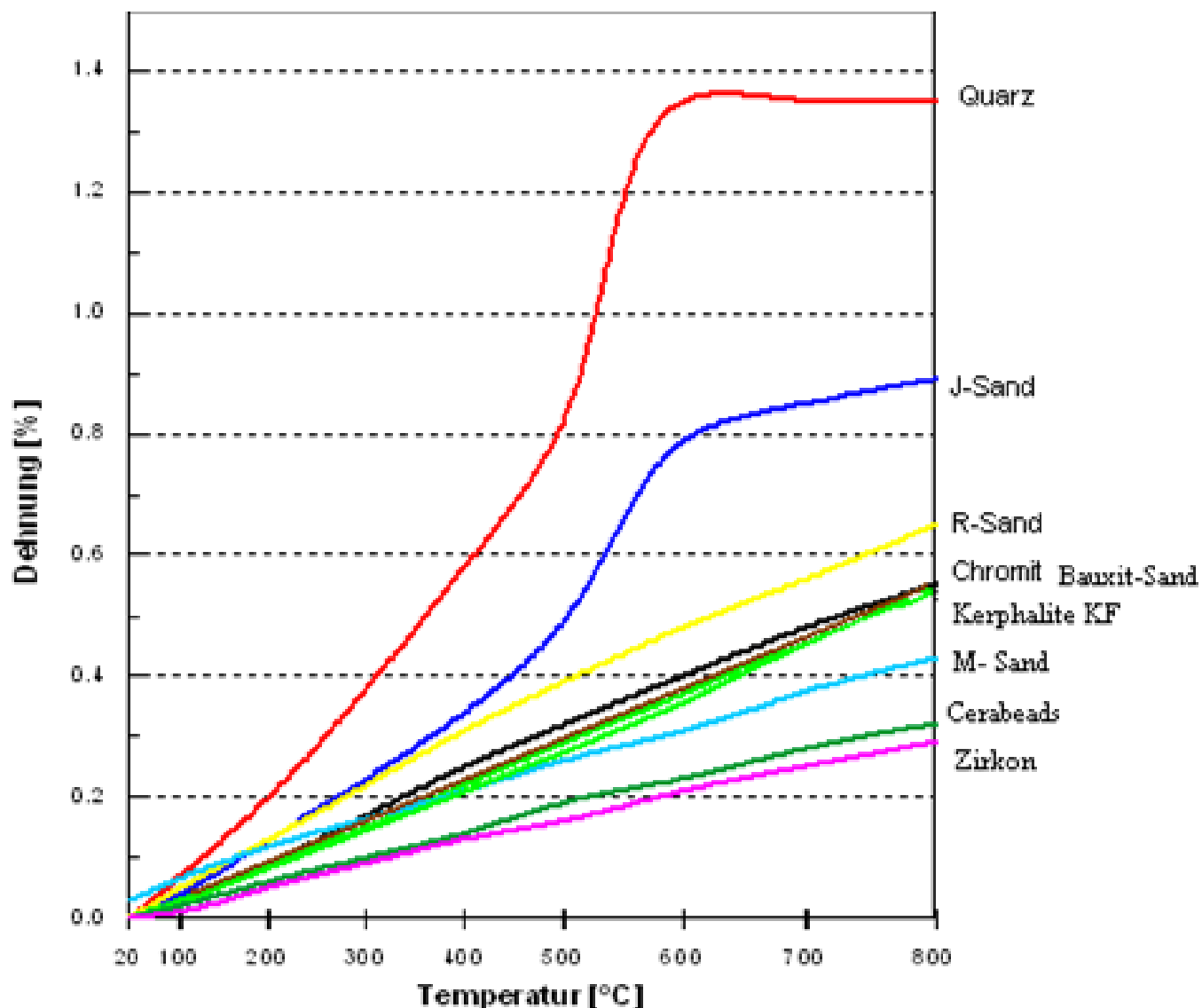
u Mn-ocelí (tvorba ternárního eutektika $\text{FeO} - \text{SiO}_2 - \text{MnO}$)

Snížení teploty tání - vznik zapečenin



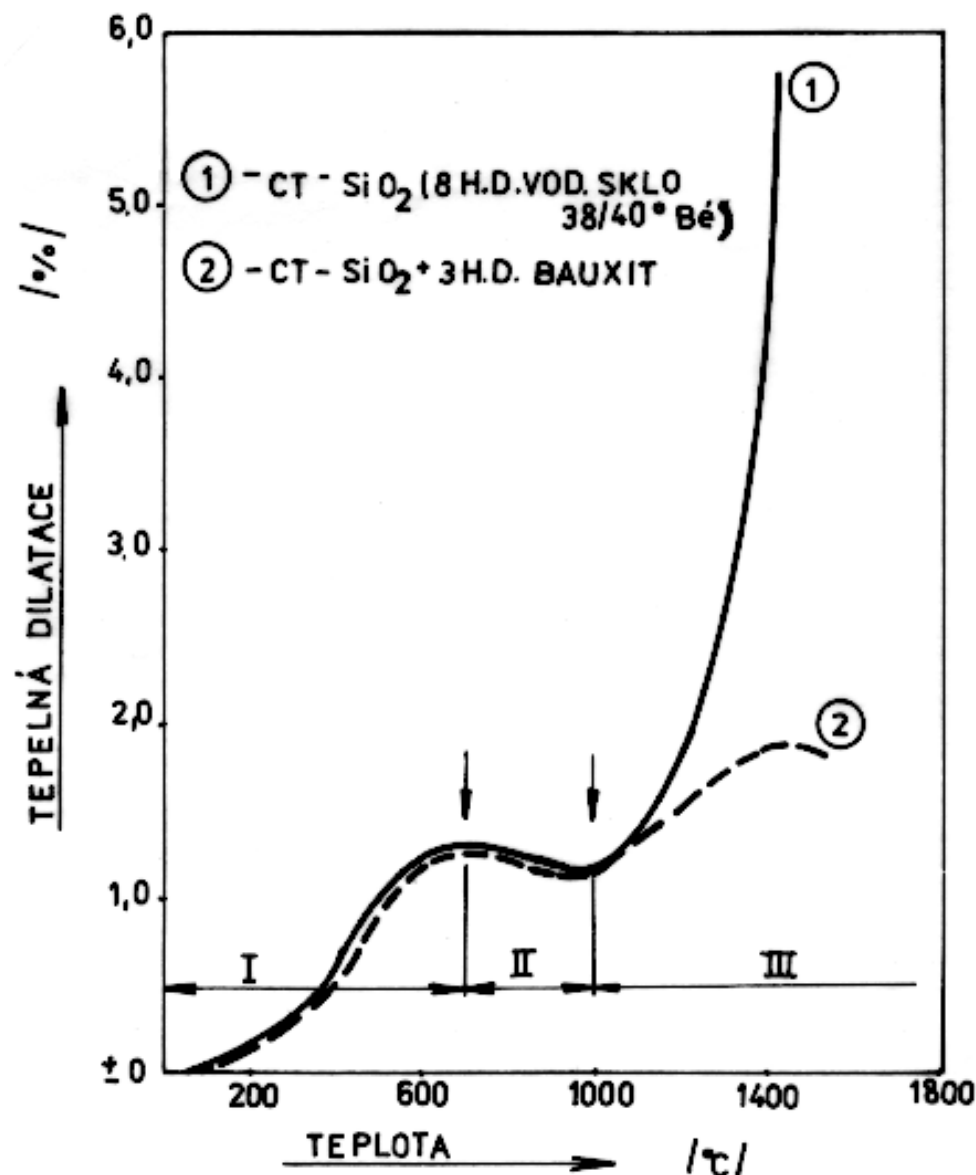
u legovaných ocelí nebo masivních ocelových odlitků používat ostřiva jiné chemické povahy s vyšší žárovzdorností.

□ Neplynulá (diskontinuální) tepelná dilatace.



**Dilatace
vyšší než
u jiných
typů
ostřiv**

Volná tepelná dilatace



Diskontinuální vratná změna dilatace směsi do 700°C je způsobena vratnou změnou modifikace $\beta \leftrightarrow \alpha$ SiO₂ ($\beta \rightarrow \alpha$ SiO₂ 573,3°C; $\alpha \rightarrow \beta$ SiO₂ 573,1 – 573,2°C).

Nad 700°C dochází k mírnému smrštění směsi

Při teplotách nad 900 – 1000°C cristobalitická expanze trvalý expanzní růst směsi, který při 1400°C dosahuje 5% lineární dilatace (cca 15% objemové)

Neplynulý proces dilatace v I. etapě

nárůst napětí ve formě při zabrzdění její volné dilatace. Hodnota napětí závisí na druhu pojivové soustavy směsi (teploty měknutí nebo termodestrukce pojiva), stupni zhuštění formy, obsahu přísad umožňujících relaxaci napětí i tvaru zrn ostřiva. Největší hodnoty napětí naměříme u monofrakčních písků s kulatými zrny.

Důsledky



Vznik vad na povrchu odlitku
Zálupy, výronky



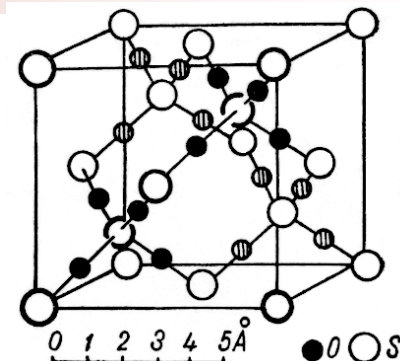
Řešení

výměna křemenného ostřiva za ostřivo s plynulou křivkou s nižší hodnotou tepelné dilatace (napětí), bez modifikačních změn.



Cristobalitická expanze

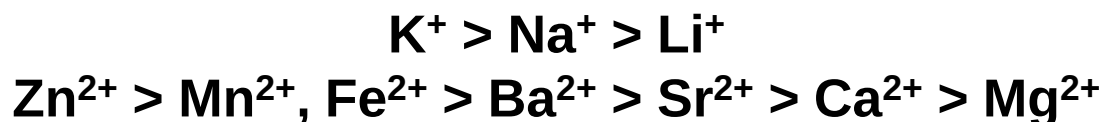
Přeměna α - SiO_2 v α - cristobalit dochází k podstatné změně v krystalové mřížce (hexagonální $\rightarrow$ krychlová)



Struktura α - cristobalitu

Rovnovážná teplota modifikační změny 1050 – 1100°C
růst o 15,7 obj. %.

Cristobalitizace je značně urychlována kationty (mineralizátory) podle následujících řad:



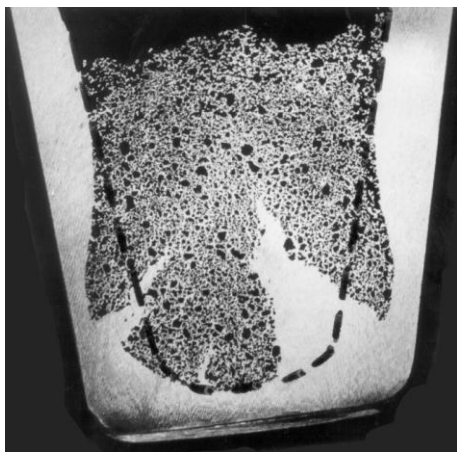
Teplota 900 -1000°C



přeměny křemene brzdí některé oxidy, např. Al_2O_3

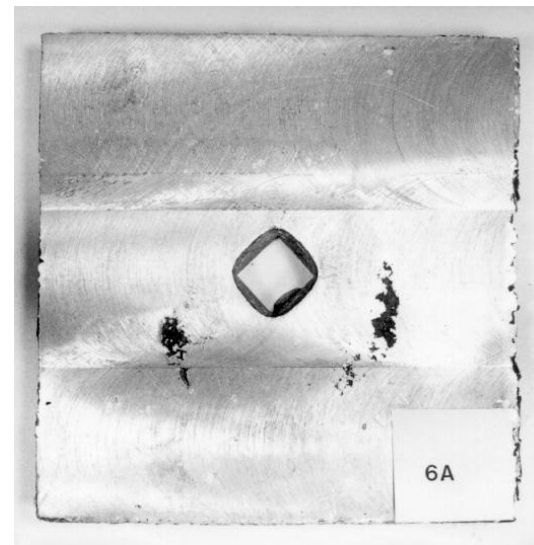
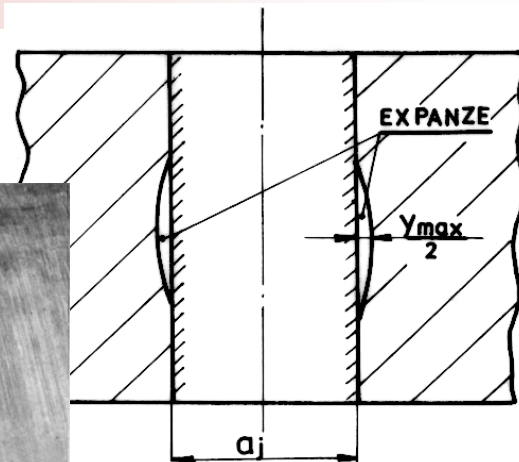
Důsledky

Rozměrová a tvarová
nepřesnost vysoce tepelně
namáhaných jader



Zhoršená rozpadavost a čistitelnost
pravých jader

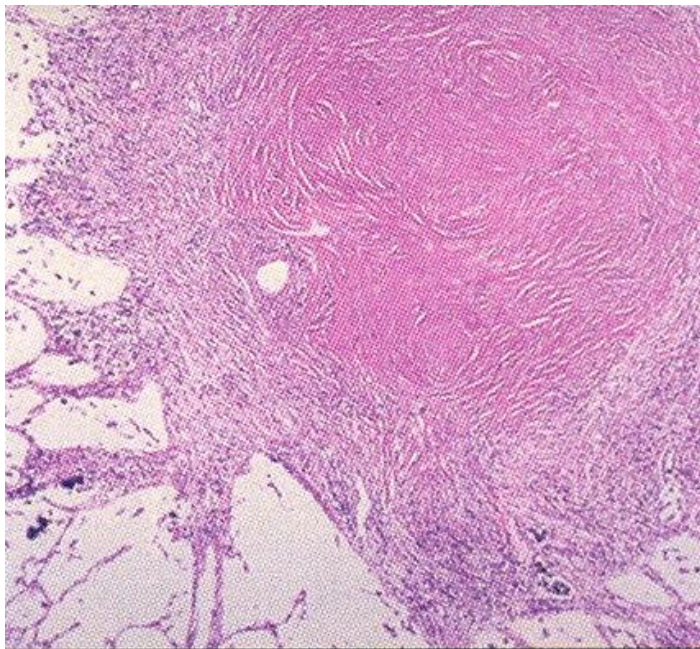
Cristobalit je biologicky aktivní



Nebezpečí onemocnění plic – silikóza, rakovina plic

křemen, cristobalit ,tridymit

prach s převážně ***fibrogenním*** účinkem

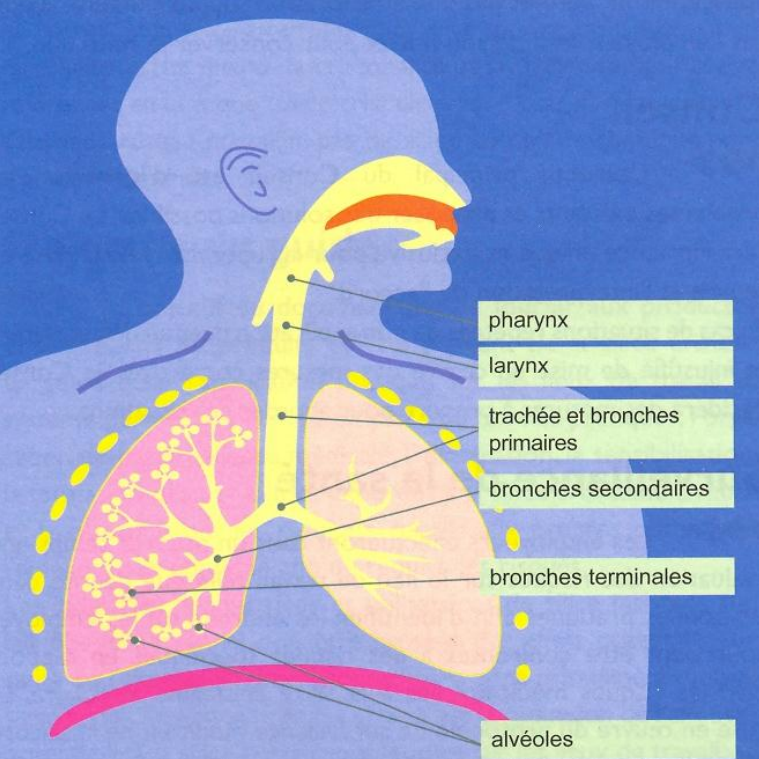


**Vdechování křemenného prachu
způsobuje poškození plicní tkáně**

Průměrná max. koncentrace krystalického SiO₂
v respirabilní frakci při 8 hod. expozici

Křemen	0,1 mg/m³
Cristobalit, tridymit	0,05 mg/m³

Vyhláška č. 432/2003 Sb., kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli



Thorakální frakce - hmotnostní frakce vdechovaných částic pronikajících za hrtan.

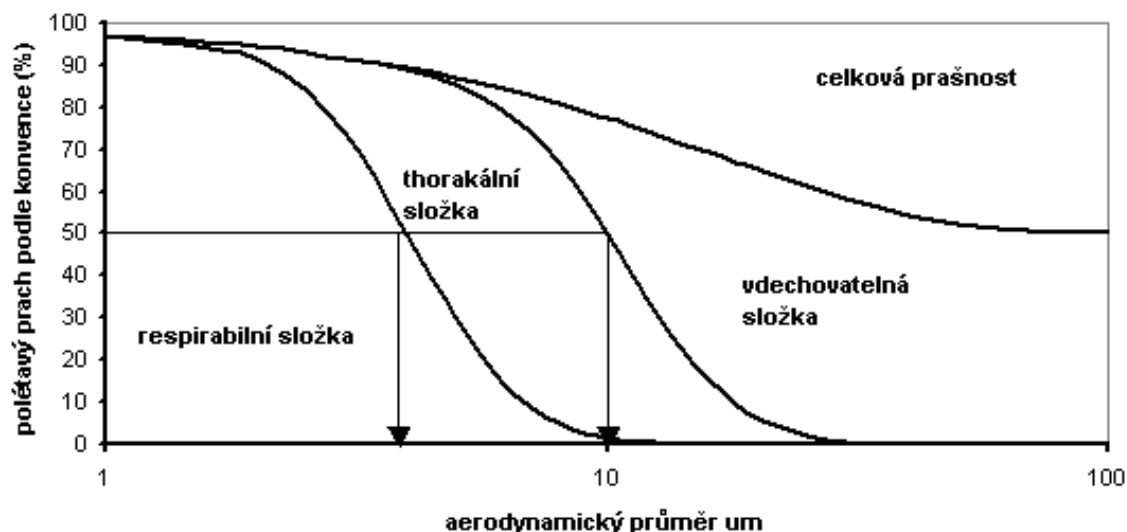
50% polétavého prachu s $D = 10 \mu\text{m}$ je v thorakální frakci

Respirabilní (respirable) frakce - hmotnostní frakce vdechovaných částic, které pronikají do dýchacích cest, kde není řasinkový epitel.

50 % polétavého prachu s $D = 4 \mu\text{m}$ je v respirabilní frakci

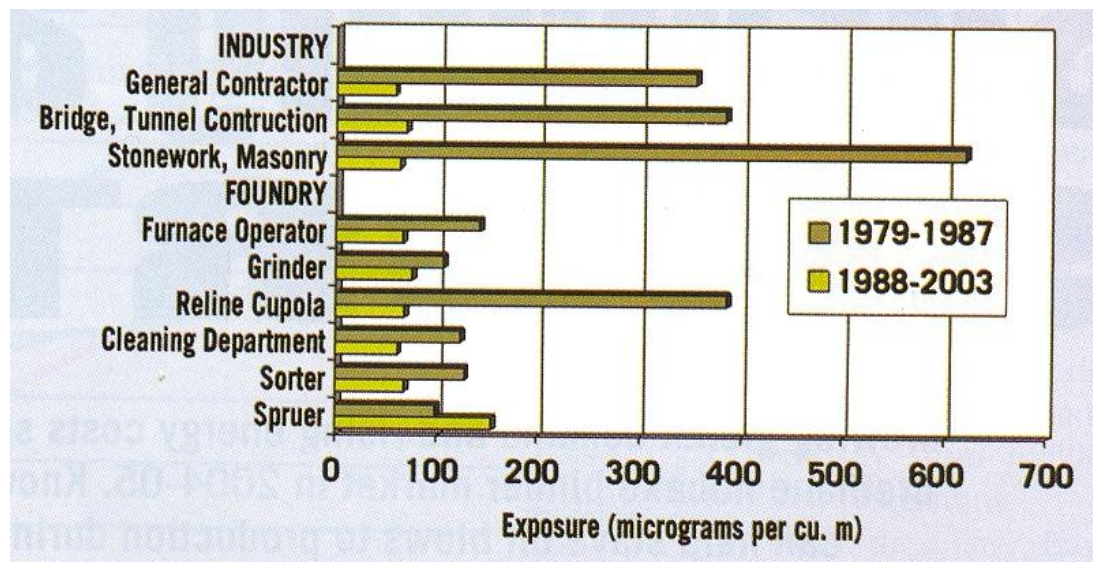
**respirabilní frakce
0,0002 – 0,003mm**

**Kritický interval
0,0005 - 0,005mm**



Smlouva o ochraně zdraví zaměstnanců správnou manipulací a použitím krystalického oxidu křemičitého a výrobků, které ho obsahují Platnost 25.10.2006

Průměrná max. koncentrace krystalického SiO_2 v respirabilní
frakci při 8 hod. expozici



Křemen

0,1 mg/m³

Cristobalit, tridymit

0,05 mg/m³

NEKŘEMENNÁ OSTŘIVA

Olivín

Olivínový písek je materiál sopečného původu s vysokým obsahem Mg.

tuhý roztok dvou hlavních křemičitanů :

forsteritu Mg_2SiO_4 (93%) a fayalitu Fe_2SiO_4 (6%).

Naleziště: Norsko, Rusko

- Je neutrální až slabě zásadité povahy
- teplota tání 1870°C
- Měrná hmotnost $3\,200 - 3\,600\text{kgm}^{-3}$
- nižší tepelná dilatace než křemenné ostřivo, s téměř lineárním průběhem
- Více sekundárních minerálů – plyny a páry uvolněné termickým rozkladem – bublinatost odlitků
- SiO_2 pevně fixován ve struktuře – nehrozí nebezpečí silikózy

Chromit

■ Základní minerál chromit – $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$

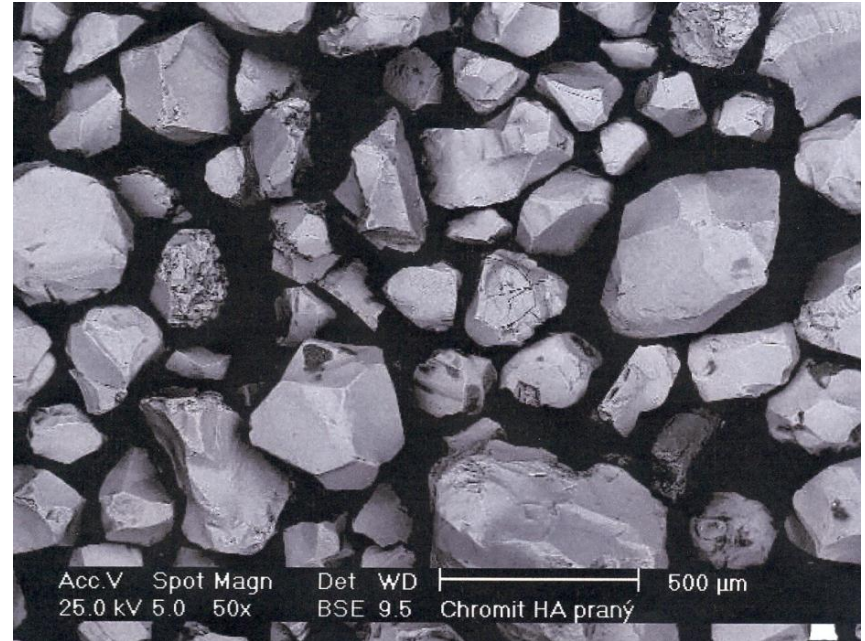
45 - 48% Cr_2O_3

Měrná hmotnost 4 400 - 4 600 kg/m^3

Vysoká žárovzdornost

Vysoká tepelná vodivost

Vysoký ochlazovací účinek



Vysoká odolnost proti zapékání odlitků, vhodný pro výrobu těžkých ocelových odlitků

Tepelná dilatace lineární, nižší než u křemene, vyšší než u olivínu a zirkonu

Kerphalite KF



Přírodní produkt andaluzit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$

Vysoká žáruvzdornost 1 850°C

Měrná hmotnost 3100 kg/m³

**Nízká tepelná dilatace (< 1%)
pH 7**

Mísitelný s křemenným pískem

**Použitelný pro všechny typy pojiv a
odlévaných slitin**



Zirkon

Směs ZrO_2 , SiO_2 a ZrO_2

SiO_2 je pevně vázán nehrozí nebezpečí silikózy

**Měrná hmotnost 4560 do 4720 kg.m^{-3}
v závislosti na kombinaci jednotlivých složek.**

Přednosti:

minimální tepelná dilatace,

vysoká tepelná vodivost

vysoký ochlazovací účinek

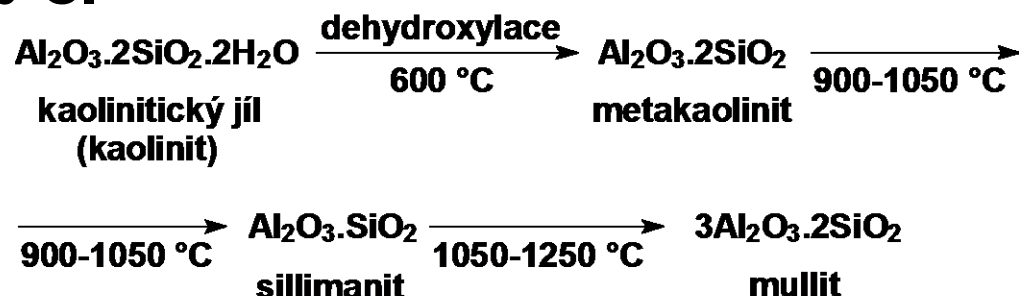
**vysoká chemická netečnost vůči oxidům Fe za vysokých
teplot – odolnost proti zapékání a penetraci**



- **V přírodě se vyskytuje vzácně (Austrálie, Brazílie, Senegal, Cejlon) - použití ve slévárenství velmi nákladné.**
- **Nejčastěji plniva nátěrů a námazků**

Šamotový lupek

vypalování vysoce žárovzdorných břidličnatých jílů (lupků) v rotačních pecích při teplotách nad 1100°C.



aluminosilikát - mulit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ostrohranné umělé ostřivo (mletí a třídění)

plynulá dilatační křivka.

- bod tavení 1850° C
- neutrální až slabě kyselé
- měrná hmotnost 3000 kg/m³



velmi drahý a vyplatí se jen pro namáhané formy (těžké ocelové odlitky).



Pojení kaolinitickými jíly, vodním sklem a organickými pojivy (nevýhoda ostrohrannost)

Korund

oxid hlinitý (α - Al_2O_3) – vzniklý přetavbou bauxitu v elektrické peci (elektrokorund).

- vysoce stálý a netečný k oxidům Fe.
- Bod tavení nad 2 000°C,
- Měrná hmotnost 3 300 – 4 000kg/m³
- Vysoká tvrdost (9,0)

velmi drahý - uplatnění v žáruvzdorných nátěrech a v ostřivech skořepinových forem.

Častěji se pak setkáváme s levnějším kalcinovaným Al_2O_3 , který představuje směs α a γ modifikace. Je reaktivnější a při ohřevu vlivem přechodu γ – α smršťuje

Magnezit a chrommagnezit

Drcený vratný bazický žáruvzdorný materiál jako je:

- Magnezit MgO 85%
- Magnezitchrom 60% MgO , do 20% Cr_2O_3
- Chrommagnezit 40% MgO , do 35% Cr_2O_3

Vysoká tepelná vodivost

Vysoký ochlazovací účinek

Nízká lineární roztažnost

Vysoká odolnost proti náhlým změnám teplot



Nelze pojít umělými pryskyřicemi tvrditelnými kyselými katalyzátory – bazicita



Pojené vodním sklem- v 70. letech nejdokonalejší materiál pro těžké ocelové odlitky

Magnolit (dunitové ostřivo)

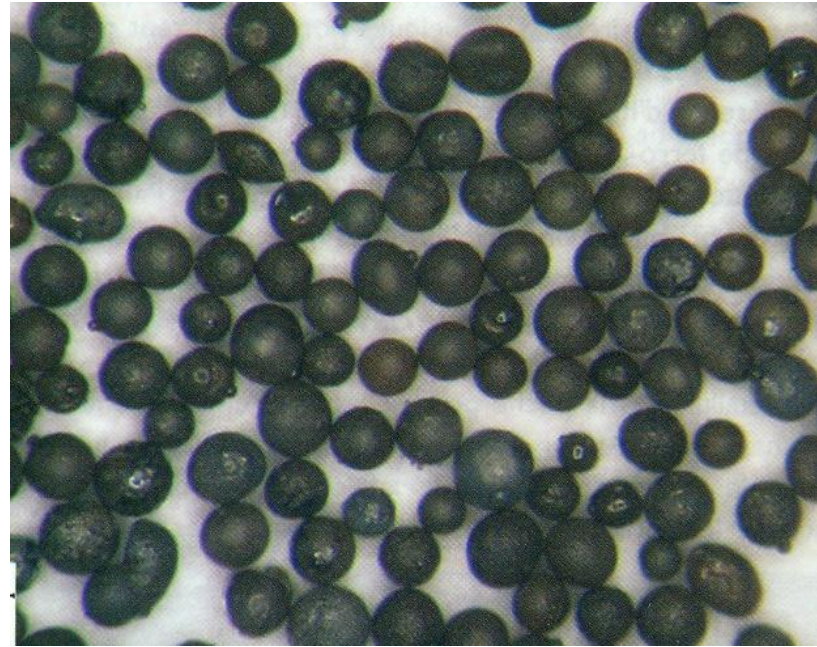
- dunit sintrovaný při teplotách 1500-1600 °C.
- Dunit je mineralogicky podobnou surovinou jako olivín: MgO (50 %) + SiO_2 (40 %) + Fe_2O_3 (9%) + Al_2O_3 (< 0,8 %)+ CaO (< 0,4 %). (liší se obsahem CaO a Fe_2O_3 , které tento minerál neobsahuje a naopak má asi desetinásobek obsahu Al_2O_3).
- Do směsí s magnolitem lze odlévat oceli legované Mn, zásadité legované oceli a jakostní litiny.
- Nízká lineární tepelná dilatace
- Měrná hmotnost 3100kg/m³

MinSand

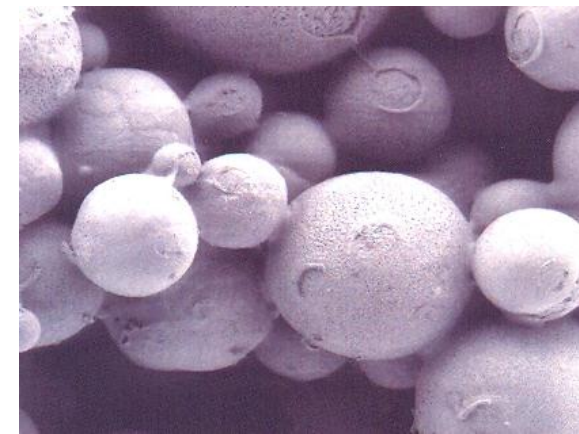
**Umělé ostřivo
na bázi Al_2O_3 (75 – 80%)**

9 – 12% SiO_2 , 4-6% Fe_2O_3

- **Nízká lineární tepelná dilatace**
- **Kulatý tvar zrn – snížení spotřeby pojiva**
- **velmi dobrá vstřelovatelnost**



Masse spécifique	env. 3,3 g/cm ³
Densité en vrac	env. 2,0-2,3
pH	7,5
Forme des particules	sphérique
Dureté Mohs	7
Température de frittage	1 800 °C
Conductivité thermique	0,0196 cal/h.cm-1.°C-1



Cerabeads



Cerabeads

Itochu Ceratech

Synteticky sintrovaný mullit
 $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$



Vysoká žáruvzdornost 1 825°C

Kulatý tvar zrn, snadná vstřelovatelnost

Nízká tepelná dilatace

Použitelný pro všechny typy pojiv

VLASTNOSTI A ZKOUŠENÍ OSTŘIV

- **Obsah vyplavitelných látek = velikost zrna < 0,02 mm. Stanovuje se sedimentačním rozborem.**
- **Granulometrická skladba – střední velikost zrna je statistický průměr velikosti zrn nebo tříd velikosti. Stanovuje se sítovým rozborem ze součtové křivky zrnitosti.**
- **Tvar a povrch zrn.**
- **Žáruvzdornost aj.**

PŘÍSTROJE KE STANOVENÍ GRANULOMETRICKÉ SKLADBY OSTŘIV

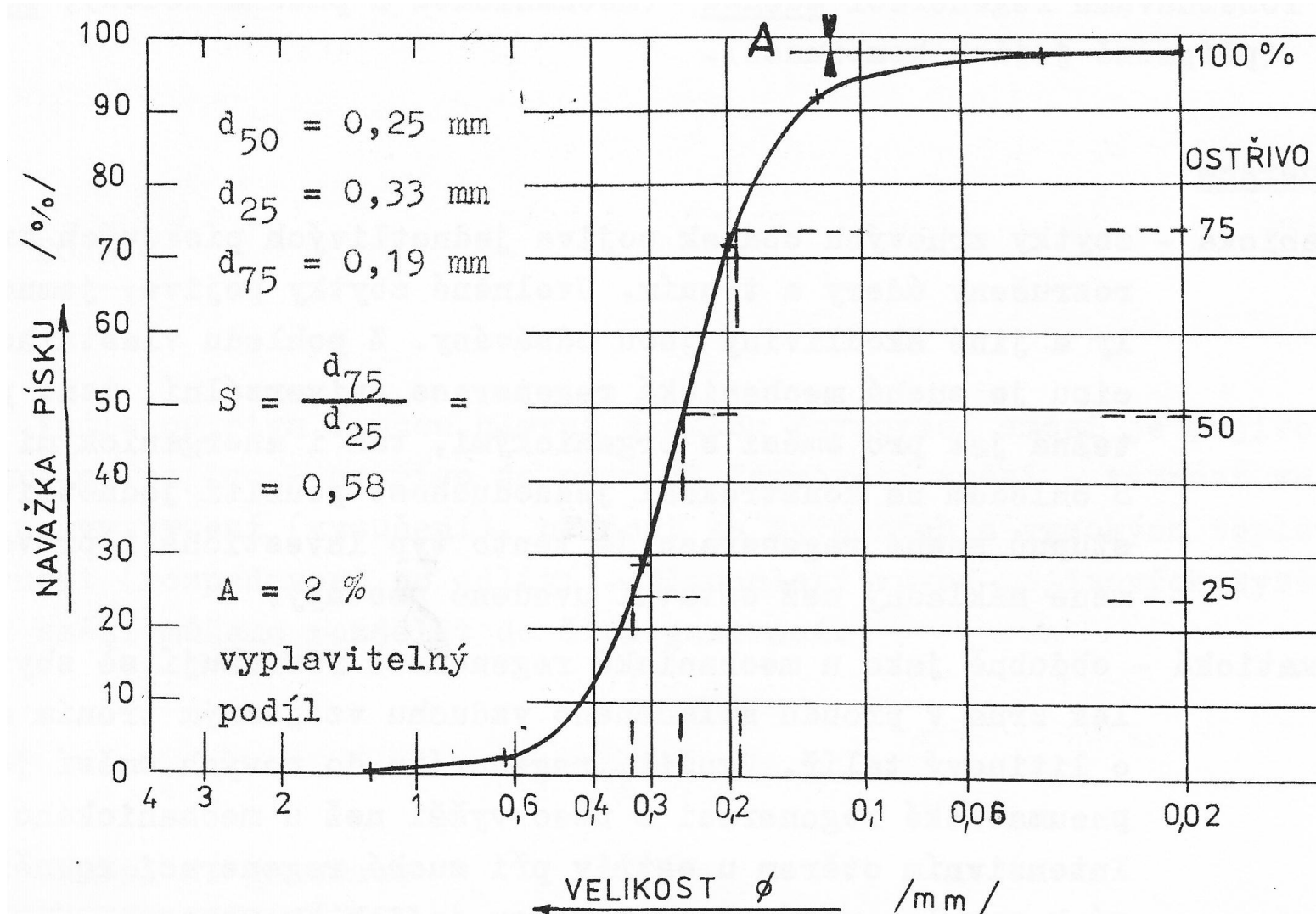
Sada sít pro stanovení
granulometrického složení



Stanovení vyplavitelných podílů



Vyhodnocení síťového rozboru





KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Co je objemově největší složkou formovacích směsí
2. Jaké ostřívo je ve slévárnách nejpoužívanější
3. Jaké jsou výhody a nevýhody křemenných písků
4. Jaké vlastnosti ostřiv jsou kontrolovány
5. Co je to síťový rozbor



DOPORUČENÁ LITERATURA

JELÍNEK, P.: Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí, ostřiva, Ostrava, 2004, 140s.

JELÍNEK, P.: Slévárenství, skripta VŠB, 2007, 256 s.



POJIVOVÉ SYSTÉMY

Pojivo

Látka anorganického nebo organického původu, která v interakci s ostřivem poskytuje formě pevnost a další nezbytné technologické vlastnosti.

Představuje 1-10% hmotnosti formovací směsi (podle druhu pojiva)

V závislosti na typu použitých pojivových soustav se potom formovací směsi dělí do 4 generací



ROZDĚLENÍ FORMOVACÍCH SMĚSÍ

Směsi I. generace (jílová pojiva).- vývojově nejstarší

Směsi II. generace (chemicky tvrzené směsi) – organické a anorganické.

Směsi III. generace – prakticky bezpojivové, využívají fyzikální působení na ostřivo.

Směsi IV. generace-využití biologických procesů.



FORMOVACÍ SMĚSI

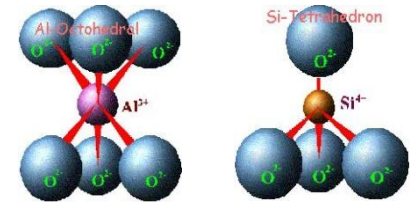
I. GENERACE

- **nejstarší pojivové soustavy využívající jílu – aluminosilikátů v přírodních nebo syntetických směsích.**
- **Formovací směsi s jílovými pojivy, kde pojení je výsledkem interakce voda - jíl (síly kapilárního tlaku a Van der Waalsovy síly (fyzikální adsorpce)**
- **Používají se :**
 - **Kaolinitické jíly,**
 - **illitické jíly a**
 - **montmorillonitické jíly.**

Kaolinitické jíly

- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Spolu se šamotovým lupkem tvoří šamotovou formovací směs určenou pro výrobu forem a jader masivních ocelových odlitků.
- Směs na sušení (vypalování) při 650°C dochází k dehydroxylaci jílu (odstranění chemicky vázané vody)

Používaný obsah vody ve směsi nad 6%





Illitické jíly

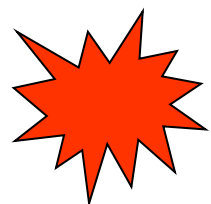
- Illitické jíly jsou hlavním pojivem přirozených formovacích písků (zelené pojivo písku Rájec nebo hnědé pojivo písku Kobylisy).
- Používají se na sušení

V současnosti jsou kaolinitické i illitické jíly používány jen ve velmi omezeném množství , vzhledem k nutnosti sušení nebo vypalování směsi, což zvyšuje náklady a snižuje produktivitu výroby.

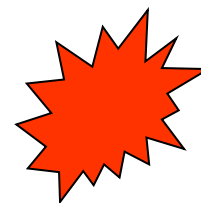
Jíly montmorillonitické

- $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- Jíly montmorillonitické jsou třívrstvé jílové materiály obsažené především v **bentonitech** (75-80% montmorillonitu)

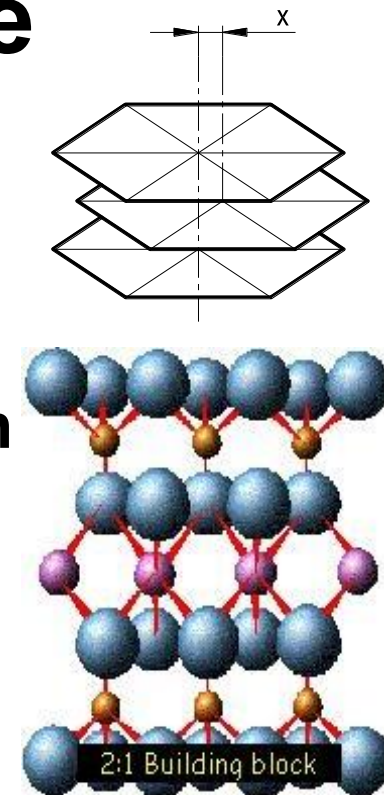
**vysoká pevnost za syrova (vaznost),
příprava směsi s min. obsahem pojiva
(6-8%)**



a min. obsahem vody (pod 5%)



bez nutnosti sušení forem – lití na syrovo



- V Česku se těží dobré slévárenské bentonity v blízkosti Mostu.
- Jejich vlastnosti lze ještě zlepšit přidavkem sody (**natrifikace**). V přírodě existují i přirozené sodné bentonity, které mají vysoce disperzní strukturu, jejímž důsledkem je zvýšení viskozity voda-jíl a podpoření bobtnavosti – zvýšení pevnosti při převlhčení (kondenzační zóna)





Bentonitové formovací směsi pro výrobu odlitků na syrovo

- Jsou nejpoužívanějšími formovacími materiály pro výrobu odlitků ze všech kovů a slitin.
- Po přemíchání, doplnění vlhkosti (a eventuálně dalších složek) je směs možno znovu použít pro formování.
- Bentonitová směs je anorganický systém a odpadní písek bývá klasifikován jako obyčejný odpad.

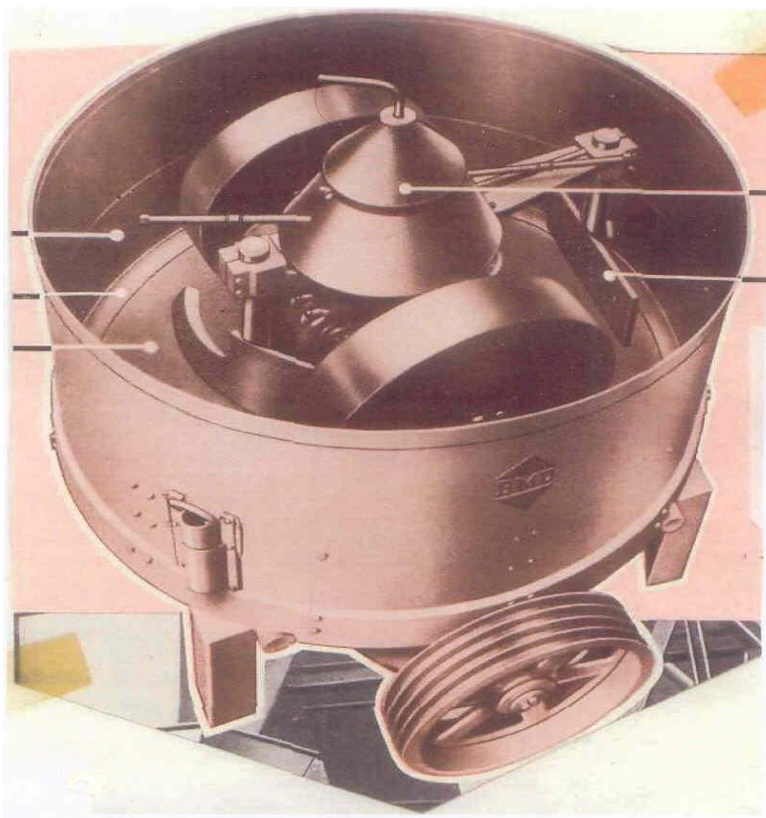


Příprava bentonitových formovacích směsí

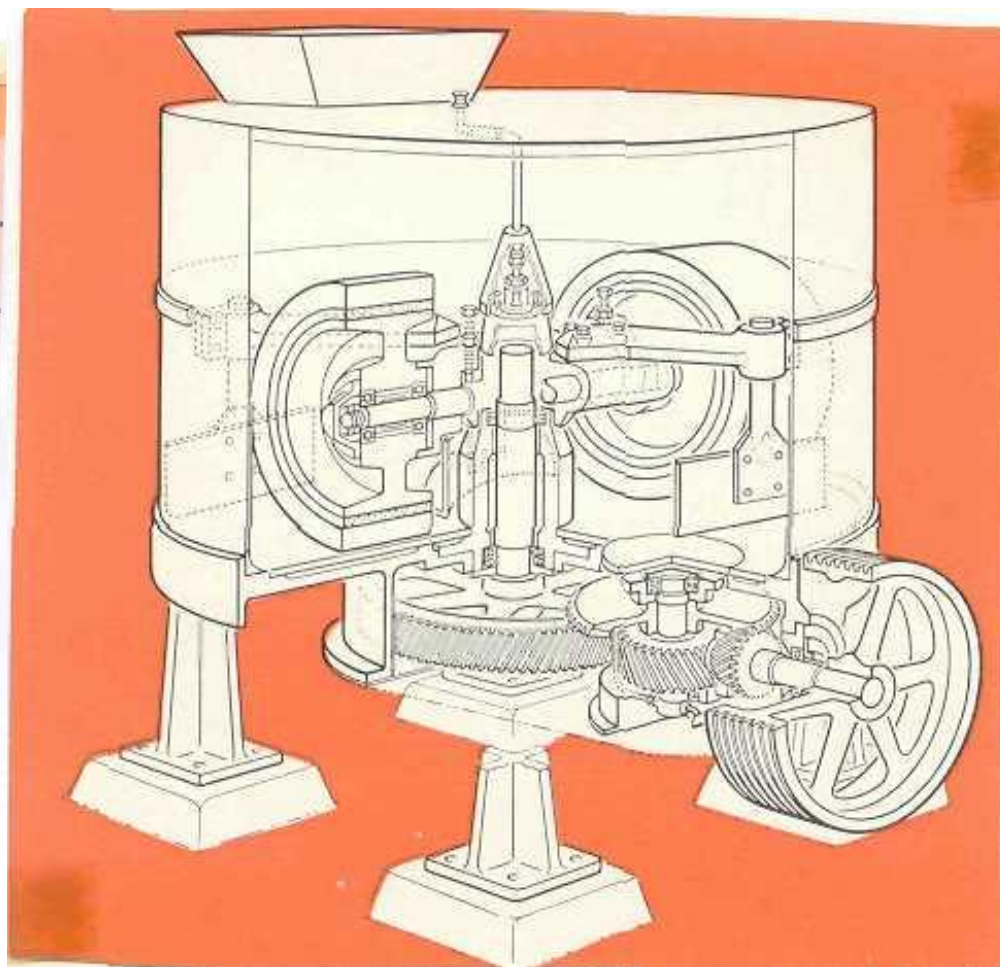
Cílem je :

- Dosáhnout homogenní promísení připravované směsi.
- Zajistit požadované mechanické vlastnosti směsi. Ostřivo musí být v co nejkratším čase dokonale obaleno kompaktním filmem pojiva. Čím viskoznější je pojivo, tím delší je doba mísení.
- Vysoce viskozní jílová těsta vyžadují intenzivní mísení na kolových mísičích, které pracují přerušovaně nebo plynule.

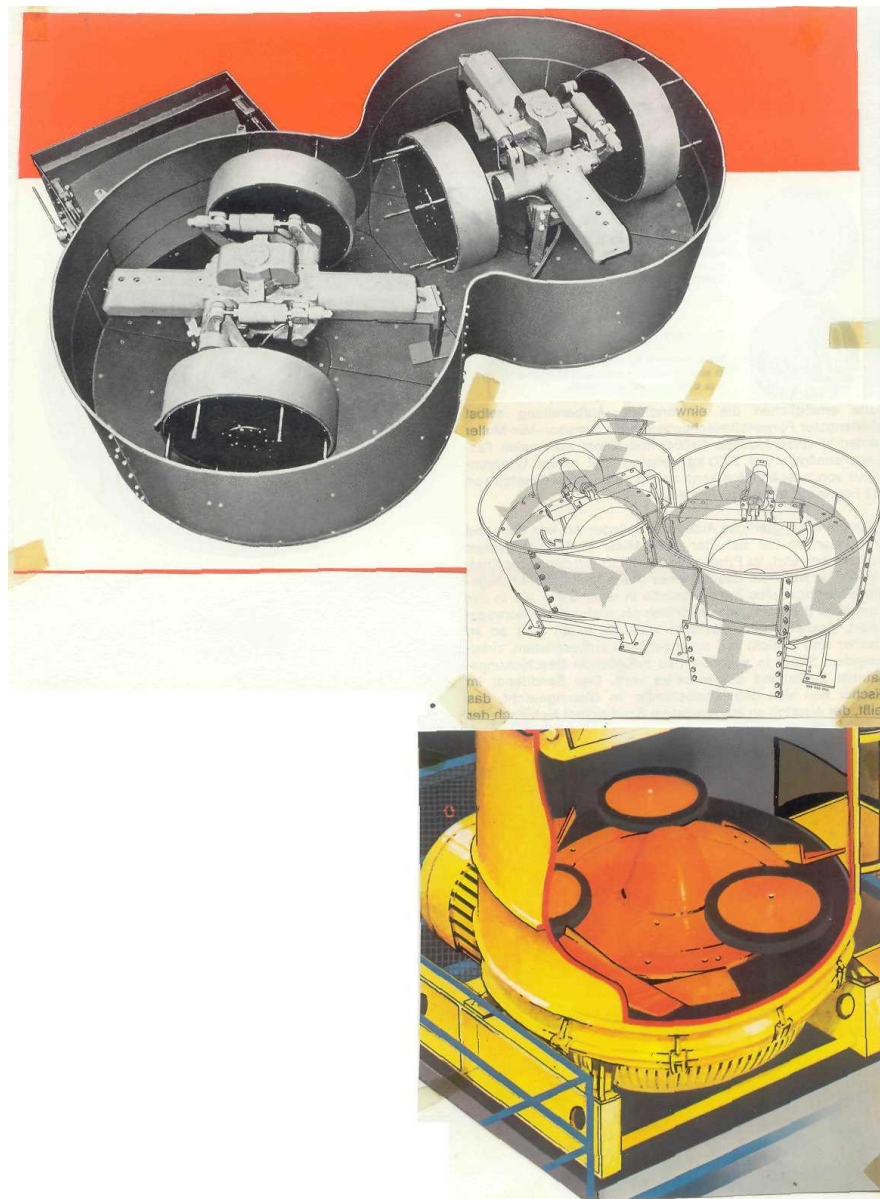
TYPY POUŽÍVANÝCH MÍSIČŮ



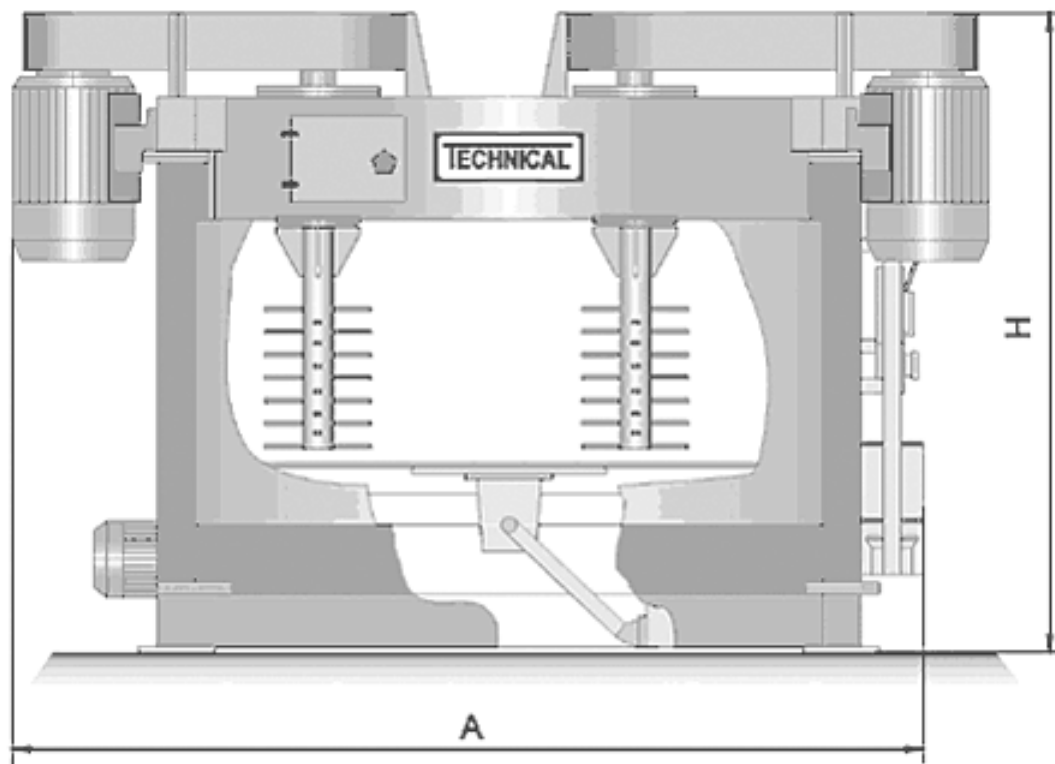
Kolový mísič SIMPSON



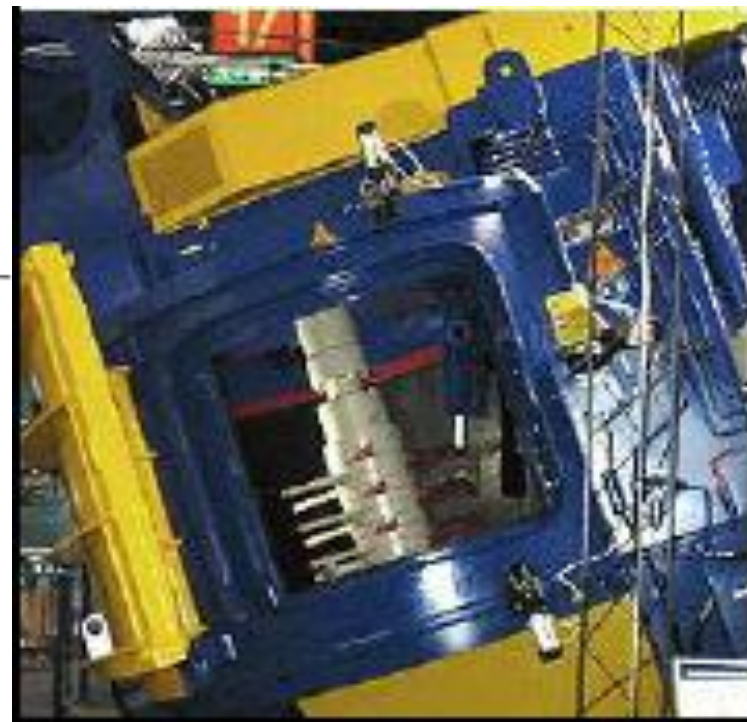
Zdvojený mísič
Multi-Mull
o výkonu 250 t/h
pracuje kontinuálně



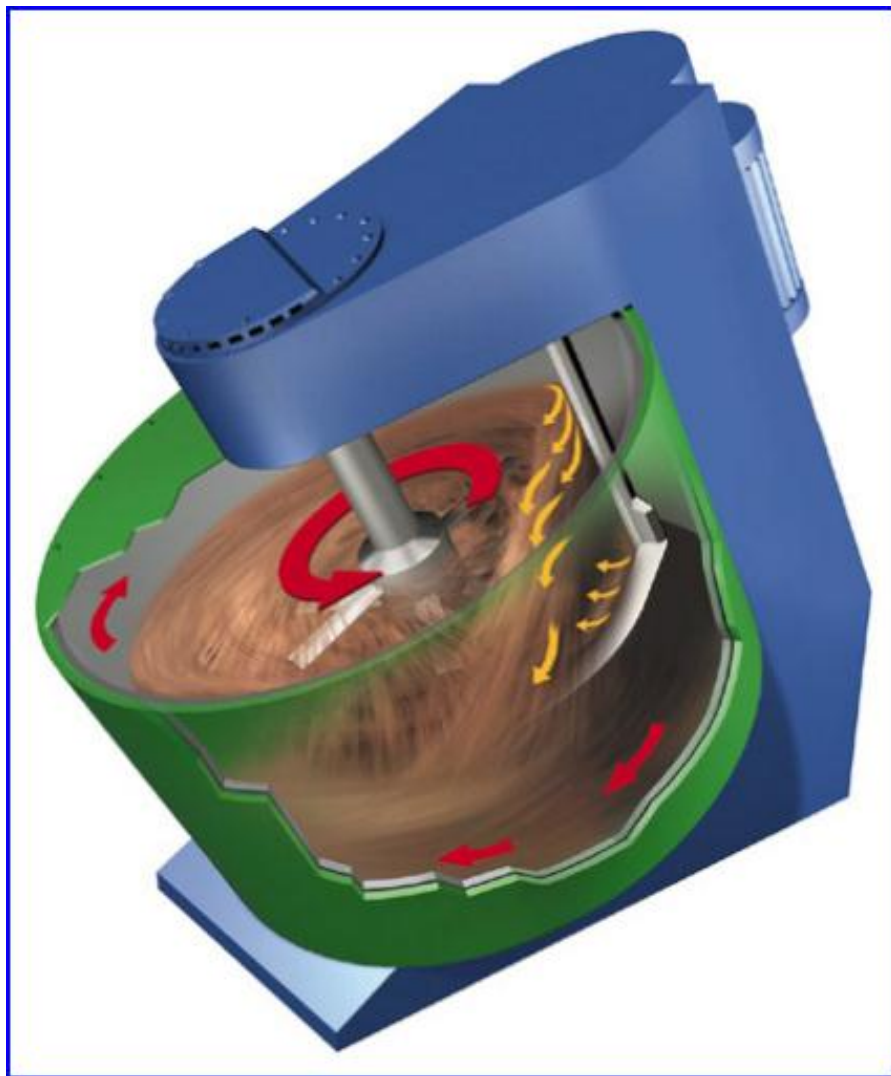
Turbinový mísič



Mieszarka turbinowa
MTI



mísič Eirich



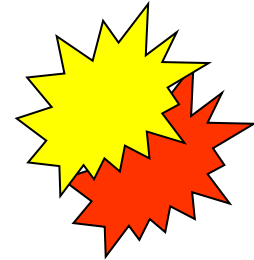
Směs je homogenizována řadou různých elementů, pohybujících se v různých rovinách po odlišných drahách



FORMOVACÍ SMĚSI

II. GENERACE

- Zpevnění forem a jader probíhá **vytvrzováním chemickými reakcemi** pojiva samovolně nebo zásahem zvenčí.
 - Směsi s ovládaným ztužováním
 - Směsi samotvrdnoucí
- zvýšení produktivity práce, snížení hlukové zátěže obsluhy a zlepšení povrchové kvalita odlitků.
- Pojiva anorganická
 organická





❑ anorganická pojiva

Ize dosáhnout vysokých pevností, ale mají zhoršenou rozpadavost směsi po odlití.

❑ organická pojiva

po termodestrukci dochází ke vzniku závadných zplodin a zhoršení pracovního prostředí. Jejich rozpadavost je vynikající.

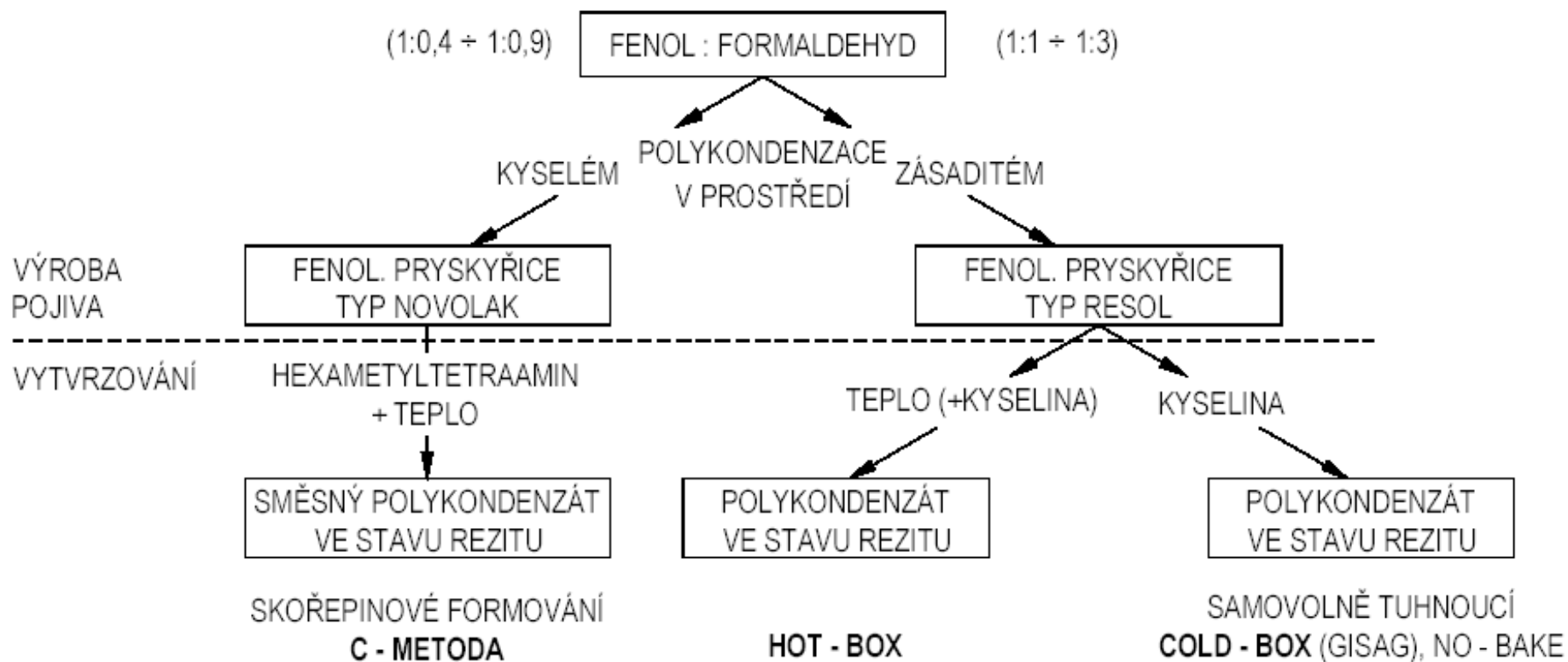
Organická pojiva

- Fenolické pryskyřice.
- Polyuretanové pryskyřice.
- Furanové pryskyřice.
- Alkydové, epoxydové aj. pryskyřice.

Směsi s ovládaným ztužováním
Směsi samotvrdnoucí

Fenolické pryskyřice (fenol –formaldehydové)

Fenol (C_6H_5OH hydroxybenzen) snadno polykondenzuje s formaldehydem CH_2O)



Skořepinové formování

*Johannes Carl Adolph Croning
(1887-1957)
patent 1943*

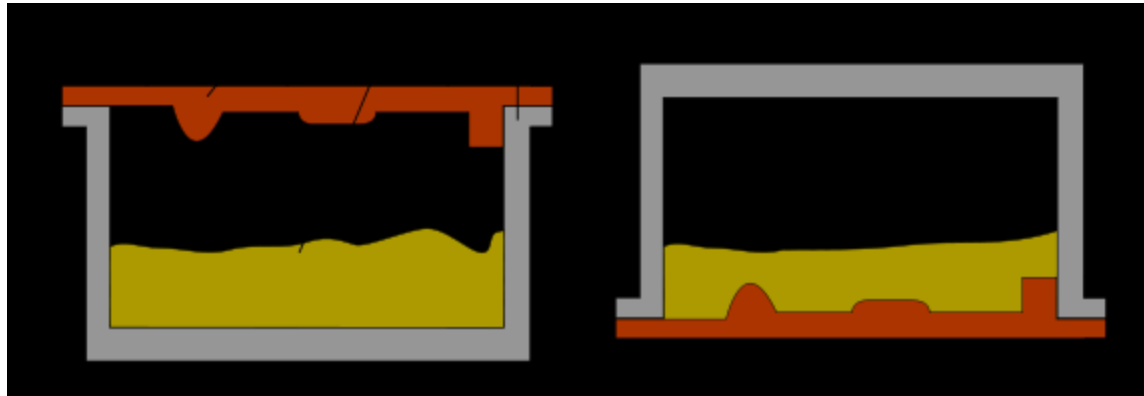


OBALENÁ SMĚS

- **Suchá sypká směs křemenných zrn obalených tenkým filmem pojiva (fenolformaldehydová pryskyřice typu novolak + katalyzátor hexametyltetraamin)**
- **Sypká obalená směs je dobře foukatelná i do tvarově složitého jaderníku**
- **vytvrzuje se teplem kovového jaderníku (240 - 280 °C)**

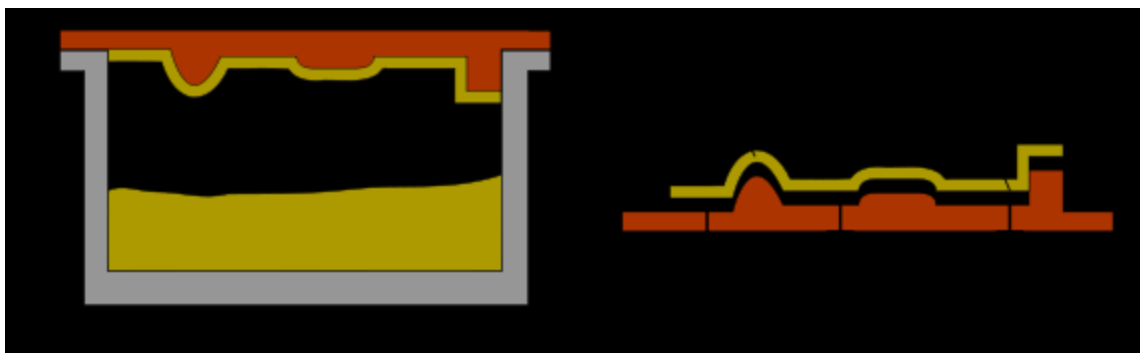
Schéma výroby skořepinové formy

Suchá sypká směs křemenných zrn obalených tenkým filmem pojiva (fenolformaldehydová pryskyřice typu novolak + katalyzátor hexametyltetraamin) je vysypána nebo vstřelena na kovový model (nebo do kovového jaderníku). Model (jaderník) je ohřátý na teplotu 240 až 280 °C a během několika minut dojde k vytvrzení směsi

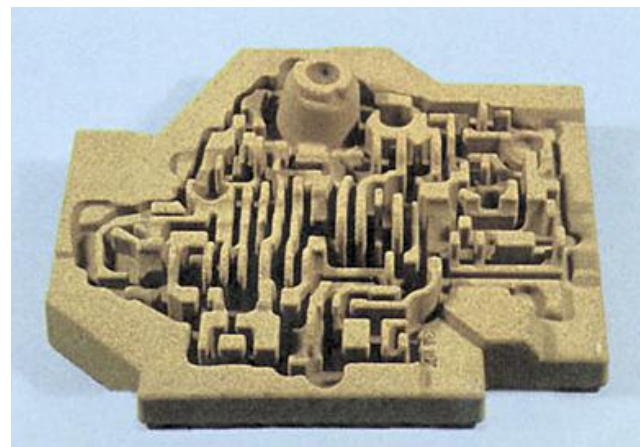


Tloušťka skořepiny se řídí dobou setrvání směsi s horkým modelem (jaderníkem)

V závislosti na teplotě a době setrvání je tloušťka skořepiny obvykle 10 až 20 mm.



nevytvrzená směs se odsype zpět do zásobníku k opětovnému použití (jádra jsou pak dutá).





Směs pro horké jaderníky

HOT BOX

- **fenolformaldehydová pryskyřice typu resol, po rozmíchání ve směsi s křemenným pískem a malým množstvím kyseliny tvoří vaznou směs.**
- **vstřeluje se do horkého kovového jaderníku (240 až 270°C, vytvrzování celého objemu jádra (formy) teplem**
- **jádra i formy jsou samonosné, ale podstatně vyšší spotřeba směsi na rozdíl od skořepin.**



Směs pro studené jaderníky

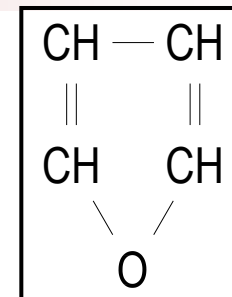
COLD BOX

- **fenolformaldehydová pryskyřice typu resol - vytvrzení za studena - katalyzátor silná kyselina**
- **metoda studeného jaderníku (COLD -BOX - Gisag).**
- **katalyzátor je dávkován do směsi ostřiva a pryskyřice, rychlé rozmíchání směsi a vstřelení do jaderníku, rychlá exotermická vytvrzovací reakce a jádro během několika minut získává manipulační pevnost.**
- **Metoda CB umožňuje vyrábět i málosériová jádra do běžných jaderníků.**
- **Použití pro výrobu forem NO BAKE (samotvrdnoucí směs)**

Polyuretany

- Dvousložkové pojivo- fenolická pryskyřice + tvrdidlo polyizokyanát se postupně promísí s ostřivem a směs je vstřelena do jaderníku a vytvrzena katalyzátorem terciárním aminem (např. TEA - trietylamin)
- Výsledkem je polyuretanová pryskyřice, dávající jádrům vysokou pevnost a dlouhou skladovatelnost.
- technologie PUR COLD-BOX,
- Na základě polyuretanových pryskyřic lze připravit i samotvrdnoucí směsi typu PEP-SET aj.

Furanová pojiva



- **základem pro přípravu furanových pojiv je furfurylalkohol získávaný hydrogenací furfuralu (furan-2-aldehyd) vyrobeného hydrolýzou pentozanů (obsažených v dřevinách, v kukuřičných palicích)**
- **Pojiva**
 - furanaminoaldehydová,
 - furanketonaldehydová,
 - furalová.

Vytvrzování furanových pojiv probíhá :

- za studena, v přítomnosti silných kyselin (trihydrogenfosforečné, paratoluensulfonové), technologie samotvrdnoucích směsí (NO BAKE)
- za horka, metodou HOT-BOX
- SO₂-proces. směs vytvrzovaná zvenčí. Jde o zdokonalení studeného procesu.

SHRNUTÍ PŘEDNOSTÍ A NEDOSTATKŮ ORGANICKÝCH POJIV

- vysoká pevnost jader,
- možnost výroby tvarově složitých jader,
- vysoká produktivita práce při využití automatizace výroby,
- dlouhá skladovatelnost,
- snadná regenerovatelnost ostřiva,
- vysoká rozpadavost po odlití.



Vznik škodlivých zplodin při přípravě směsí a odlévání (v důsledku termodestrukce) - polycyklické aromatické uhlovodíky, BTEX
Negativní důsledky na hygienu práce, pracovní a životní prostředí

Anorganická pojiva

Vodní sklo

- koloidní roztok křemičitanu sodného
 $(\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O})$
- Použití vodního skla jako pojiva formovacích směsí
- Čs. Patent z 12.12.1947 dr. Lev Petržela

vytvrzení vodního skla plyným oxidem
uhličitým
 CO_2 proces CT směs



Princip vytvrzování vodního skla plynným CO₂

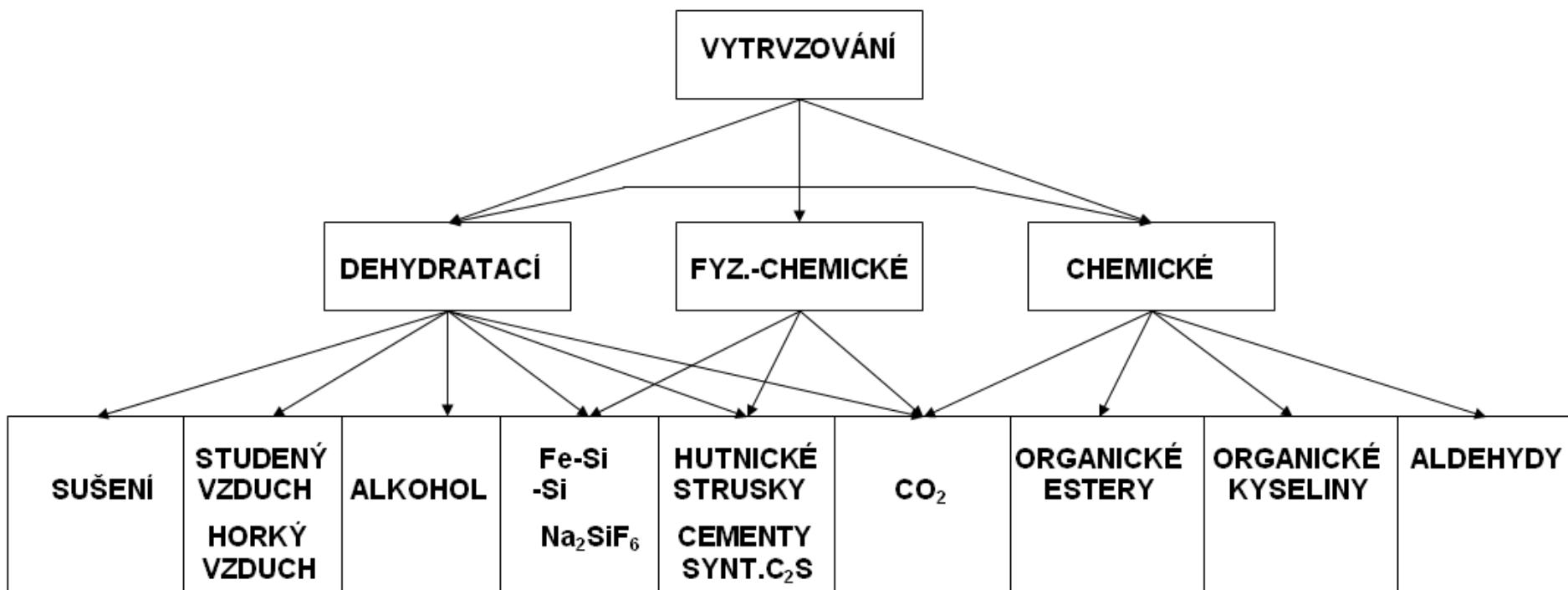


Vzniká gel kyseliny křemičité a vedlejší produkt uhličitan dvojsodný.

- **Směsi s ovládaným ztužováním**
 - CO₂ proces, dehydratační procesy
- **směsi samotvrdnoucí**(se samovolným ztužováním)

vytvrzovací reakce probíhá mezi vodním sklem a tvrdidlem (kapalným nebo práškovým). Kapalná tvrdidla jsou esterového typu, při jejichž použití lze podstatně snížit obsah vodního skla ve směsi (na 2 až 3 %).

Možnosti vytvrzování směsí s vodním sklem



Vlastnosti směsí s vodním sklem

- Dají se použít všechny druhy ostřiv a na ostřiva nejsou kladeny mimořádné nároky jako u organických pojiv.
- Zlepšení produktivity práce, pracnosti ve slévárně, dobrá hygiena práce .
- Hlavní nevýhoda
 - špatná rozpadavost směsi po odlití a zhoršená regenerovatelnost





S ohledem na oprávněně stále se zpřísňující hygienické požadavky jsme v současné době (po velkém boomu organických pojiv v uplynulých letech) svědky určité „renesance“ vodního skla jako pojiva

- vývoj nových modifikovaných vodních skel se zlepšenými vlastnostmi,**
- nových způsobů vytvrzování alkalických silikátů dehydratačním procesem (mikrovlnné vytvrzování) – tento proces je reverzibilní.**



AWB proces – Alternative Warm Box Process

- **modifikované vodní sklo, nižší viskozita, dobrá vstřelovatelnost.**
- **Vytvrzování dehydratací**
- **Jádra se vyrábí na standardní vstřelovačce s elektricky ohřívanými jaderníky (140-200°C). Během výroby se vytvrdí v jaderníku pevná skořepina(10-60s). Konečné vytvrzení se uskuteční v mikrovlné sušárně (1,5kW, 1-3 min).**
- **Jádra mají dobrou pevnost, prodyšnost a lépe se vytloukají. Předností je nízká ekologická zátěž při výrobě jader i odlévání.**
- www.minelco.com

INOTEC

modifikované vodní sklo

1,8-2,5% pojiva

+

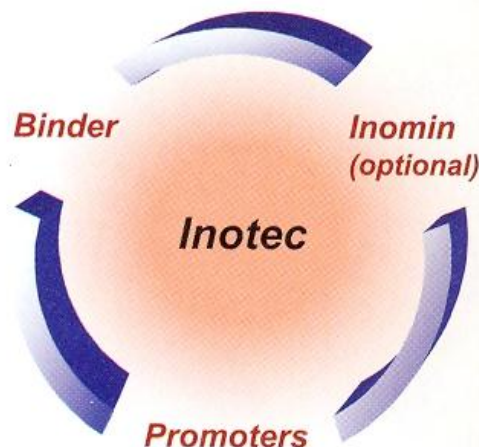
tekuté minerální aktivátory (0,1-1,2%)
promotory

+

INOMIN-anorganická látka (1-30% na křemenný písek)

Vytvrzování probíhá za tepla

*Silicate Mixture
including additives*



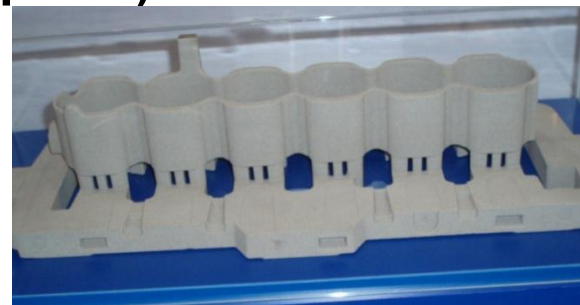
Mineral moulding materials:

- Increase in strength
- Improvement of shake-out
- Improvement of casting surface

Liquid and mineral promoters:

- Improvement in flowability
- Increase in strength
- Improvement in core stability against high relative humidity
- Improvement of casting surface

ASK CHEMICALS
ASHLAND SÜDCHEMIE

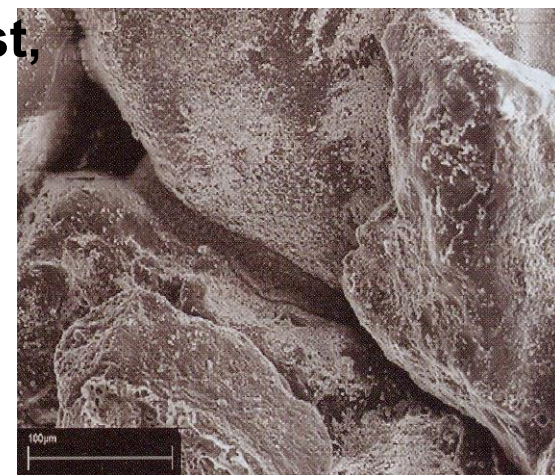
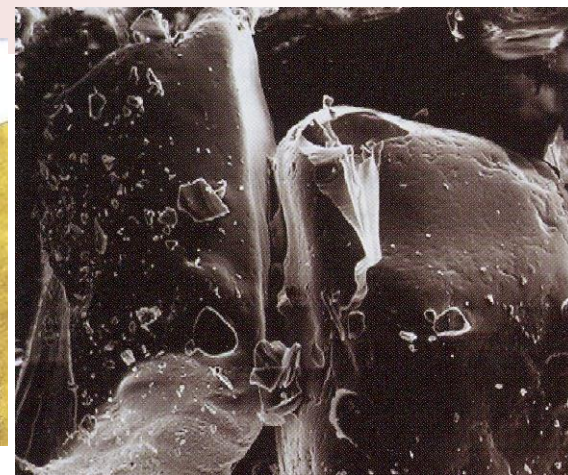
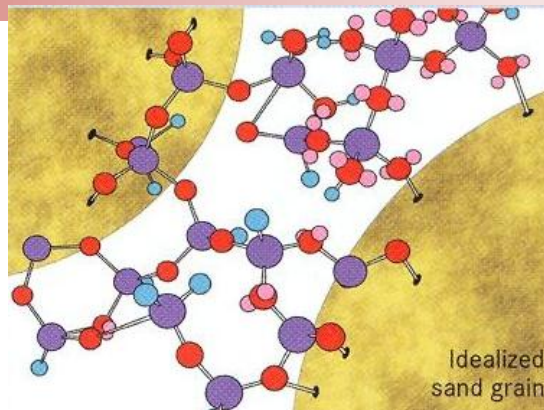


CORDIS

Pojivo na bázi alkalických silikátů (+silikáty fosfáty, boráty)

Zlepšená skladovatelnost, pevnost, vstřelovatelnost, rozpadavost

Směs je vstřelována do zahřátého jaderníku (Warm Box 120-160°C), vytvrzování dehydratací, možnost urychlení profukováním horkým vzduchem, mikrovlnným ohřevem nebo chemicky



Automobilní odlitky, složitá tenkostěnná jádra

HÜTTENES-ALBERTUS

K čištění lze využít rehydratační pochody



Pojiva na bázi alkalických silikátů

Vodní sklo Brno,a.s.

- **Dilab** – zvýšená primární pevnost, výborná rozpadavost, při snížené adhezi pojiva k zrnům, umožňuje dokonalou regenerovatelnost ostříva. Vhodné pro CO₂ proces a ST-ester
- **Desil® J** – pojivo zvyšuje primární pevnost (po vytvrzení), stabilitu při skladování forem a jader, výrazně zlepšuje rozpadavost směsi a regenerovatelnost ostříva. Vhodná náhrada pro technologii CO₂ - resol.
- **Desil® JH** – je vhodné jako náhrada nejčastěji používaných fenolických pryskyřic v technologii horkých jaderníků s dobrou skladovatelností jader ve zhoršených klimatických podmínkách

Anorganické soli

- **HYDROBOND** – Formovací směs tvoří křemenný písek s 1,5 % polyfosfátu sodného. Výroba se provádí na běžné vstřelovačce do tepelně stabilního jaderníku. Stlačený vzduch je ohříván na 130 °C. Jádru se po odlití snadno odstraní ve vodní lázni s teplým nebo studeným odlitkem a písek se dá recyklovat.
- **BeachBox Process** -
Pojivem je koncentrovaný roztok MgSO_4
Vytvrzování jader se provádí od nahřátého jaderníku při teplotách 130 až 140 °C. Vytvrzování probíhá v desítkách vteřin (cca 20 s) a odstranění jádra po odlití se dosáhne velmi lehce při styku odlitku s vodou.

Příprava formovacích směsí s chemickými pojivy

Cílem je :

- **Dosáhnout homogenní promísení připravované směsi.**
- **Zajistit požadované mechanické vlastnosti směsi. Ostřívo musí být v co nejkratším čase dokonale obaleno kompaktním filmem pojiva.**
- **Ve srovnání s vysoce viskozními jílovými těsty je obalení zrn ostřiva málo viskozním kapalným pojivem energeticky i časově méně náročnou operací a realizuje se především v lopatkových mísičích**
- **U samotvrdnoucích směsí je potřeba, aby operace mísení, kde se k ostřívu přidává postupně pojivo a tvrdidlo, proběhla rychle, vzhledem k počínající chemické reakci vytvrzování**

Průběžné lopatkové mísiče

(jedno- nebo dvoužlabové)

- Používáme je pro přípravu směsí s kapalnými málo viskozními pojivy (vodní sklo, umělé pryskyřice, oleje).
- V jednom žlabu je připravována směs ostřiva s pojivem, v druhém žlabu směs ostřiva s tvrdidlem (katalyzátorem). Mísič je pak zakončen buď dalším smíchávacím žlabem nebo směšovací hlavou.





Mísič T36/60-10/S

S dvojitým mísícím žlabem

1 žlab pro 2 typy písku
2 žlab pro chromit



chemicky pojené formovací směsi

☐ Mechanizace a automatizace výroby

☐ růst produktivity práce

☐ zlepšení kvality odlitků



formovací směs je nepoužitelná pro další oběh



- ☐ zbytky pojiva a produktů vytvrzování brání nové chemické reakci
- ☐ vysoká koncentrace pojiva způsobuje nežádoucí nárůst vývinu plynů (plynové vady odlitků)
- ☐ Produkty transformace a degradace pojiv jsou mnohdy toxičtější než původní pojivo



chemicky pojené formovací směsi není možno vrátit do oběhu v celém objemu

Před jejich dalším použitím je nejprve třeba odstranit ze zrn písku zbytky pojiva a produktů vytvrzování,

- které brání chemické reakci při použití nového pojiva,**
 - vysoká koncentrace pojiva navíc způsobuje nežádoucí nárůst vývinu plynů (plynové vady odlitků).**
- Recykluje (regeneruje) se pouze ostřívo a zbytky pojiva jsou odstraňovány**

Regenerace ostřiv

- **zpětné získání podstatné části ostřiva z použité formovací směsi pro přípravu nových modelových a jádrových směsí.**
- **Důvody pro regeneraci jsou:**
- Ekonomické (dovoz surovin, náklady na deponie).
- Technické - regenerát v některých směrech předčí kvalitou nové ostřivo (platí hlavně o křemenném).
- Ekologické - těžbou nových písků dochází k devastaci krajiny. Vývoz použitých směsí je omezován a přísně střežen. Směsi obsahují řadu rozpustných sloučenin (amonné soli, fenoly, sodu a další chemikálie), které se splavují a znečišťují spodní vody, toky řek ap.



FORMOVACÍ SMĚSI

III.GENERACE

formovací směsi bez pojiv, které ke zpevnění formy využívají fyzikální principy

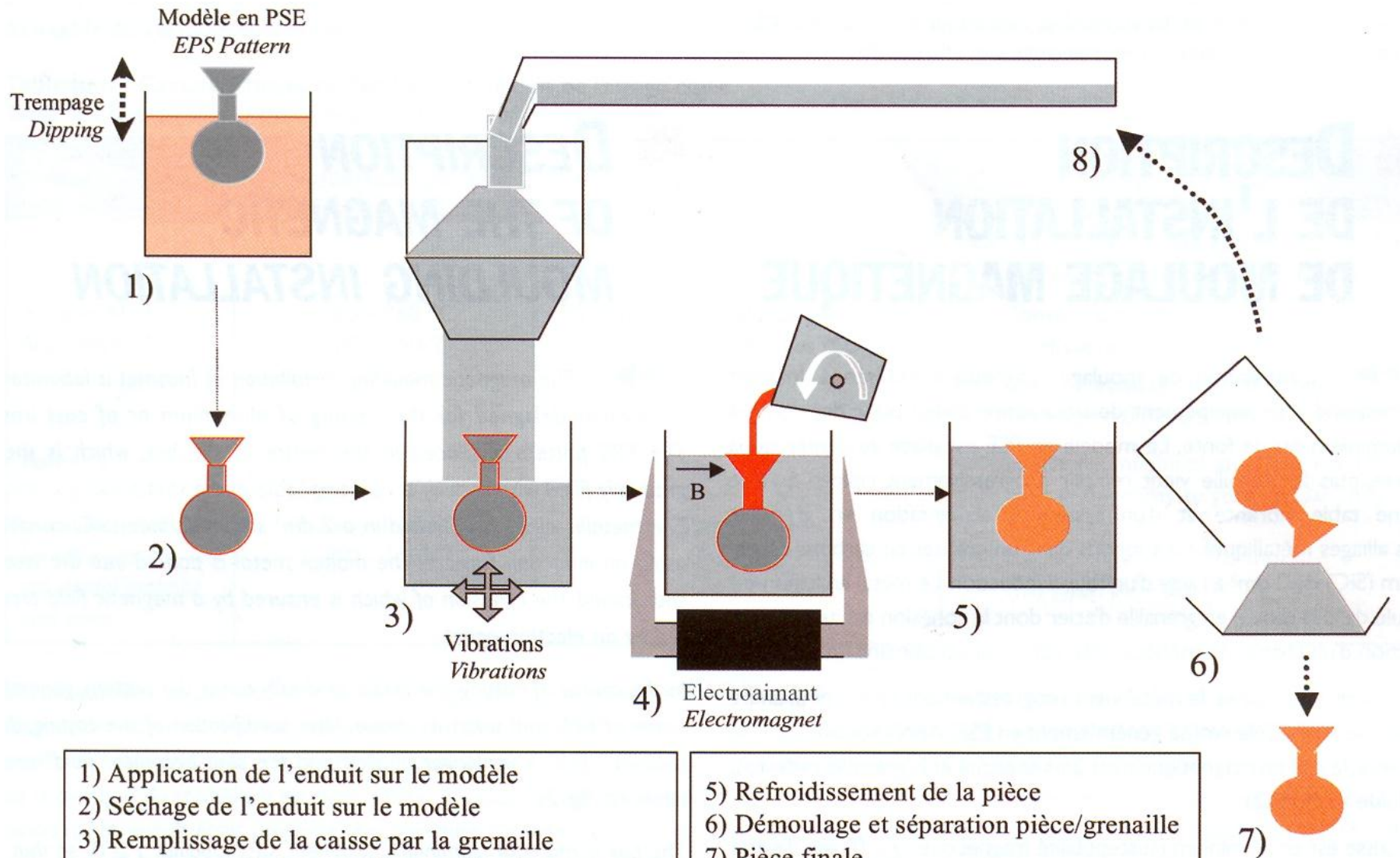
- **Magnetické formování.**
- **Odlévání na odpařitelný model.**
- **Vakuová výroba forem.**
- **Výroba forem zmrazováním.**

Magnetické formování

- Ostřivo tvoří kovové kuličky o rozměrech 0,1 až 0,5 mm. K jejich vázání se používá elektromagnetické pole.
- Model z pěnového polystyrenu opatřený nátěrem je zasypán kovovým ostřivem a z formy se nevyjímá (odlévání do plné formy).
- Kov odléváme do formy přímo na model, který se odpařuje.
- Je třeba dávat pozor na teplotu ztráty feromagnetických vlastností ostřiva (tzv. Curieho bod).



V PRAXI METODA DOSUD NENAŠLA ROZŠÍŘENÉ UPLATNĚNÍ



- 1) Application de l'enduit sur le modèle
- 2) Séchage de l'enduit sur le modèle
- 3) Remplissage de la caisse par la grenaille et compactage de la grenaille par vibrations
- 4) Coulée du métal sous champ magnétique

- 5) Refroidissement de la pièce
- 6) Démoulage et séparation pièce/grenaille
- 7) Pièce finale
- 8) Recyclage de la grenaille

Výhody a nevýhody

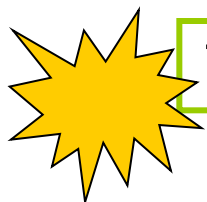
- Formovací směs je jednosložková.
- Možnost 100 % ní recyklace ostřiva.
- Výroba i vytloukání formy bez mechanických sil.
- Odstranění hluku při výrobě formy a uvolňování odlitku z formy.
- Vysoký ochlazovací účinek formy



- Využití pouze pro hromadnou výrobu odlitků.
- Nutnost připravit pro každou formu model.
- Nutnost používání nákladných nátěrů na jednorázový model.

Formování na spalitelný (odpařitelný) model

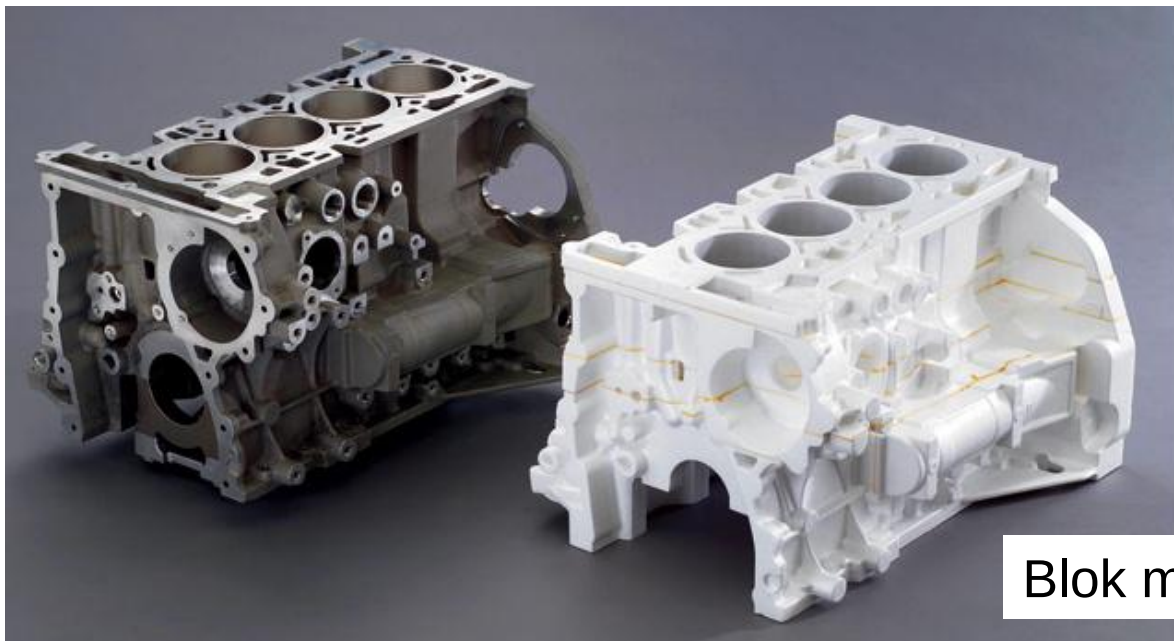
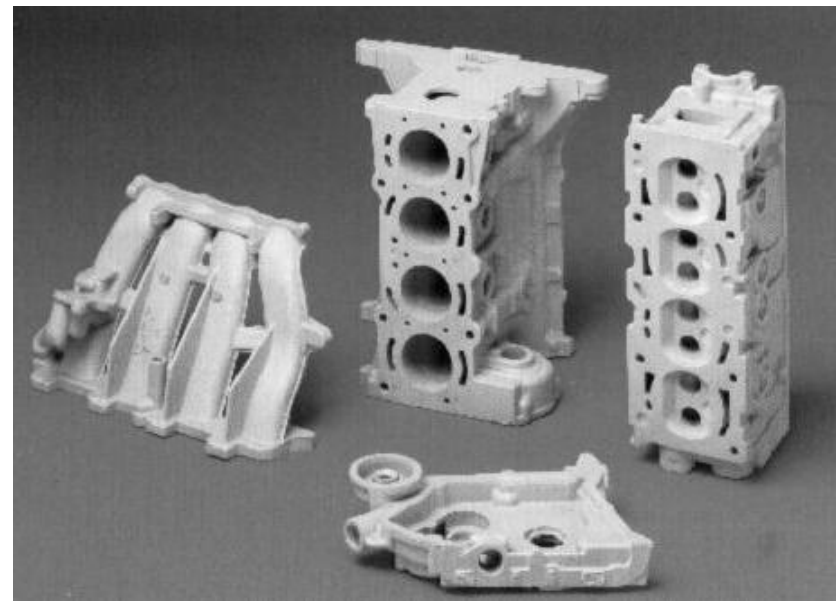
- využití zkušeností z magnetického formování pro pískové formy.
- Odlévání na odpařitelný model je využíváno v moderní velkosériové výrobě a je známo pod anglickým názvem LOST FOAM
- Model z pěnového polystyrénu (včetně vtokové soustavy ze stejného materiálu) je opatřen žáruvzdorným nátěrem a po jeho vysušení zasypán v kovovém kesonu suchým křemenným pískem, který se zhustí vibrací
- stejně jako u magnetického formování, zůstává model z pěnového polystyrénu ve formě až do odlévání.



Technologie je využívána slévárenskou praxí



<http://www.canadiandriver.com/2001/03/06/auto-tech-lost-foam-casting.htm>



Příklady tvarově
složitých odlitků litých
technologií LOST FOAM

Blok motoru

Výhody a nevýhody

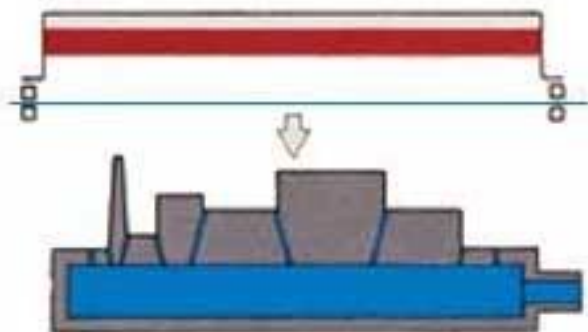
- Umožnění velkosériové výroby.
- Dosažení vysoké rozměrové přesnosti.
- Odlitky lze vyrábět bez pomoci jader.
- Možnost výroby tvarově komplexních odlitků.
- Výroba součástí mnohdy nevyžaduje třískové obrábění.
- Čistění odlitků vyžaduje jen minimální omílání a tryskání.
- Veškerý písek je recyklovatelný.
- Nezhoršuje se životní prostředí.



- Potřeba investic pro speciální zařízení
- Zavedení metody vyžaduje drahé nářadí pro velkosériovou výrobu modelů.
- Dlouhá doba vývoje nových odlitků.
- V případě lepení částí modelu vznikají problémy s plynatostí lepidla.

Vakuové formování

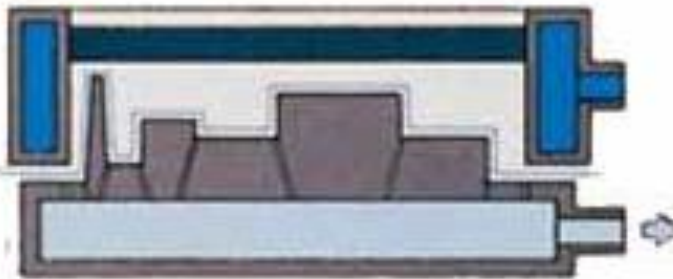
- Ke zhutnění směsi (písek bez pojiva) se používá podtlak – vakuum.
- Model je prodyšný a umisťuje se na podložku.
- Na model se vkládá termoplastická fólie (etylvinylacetát-EVA) , která se sálavým teplem nahřívá, pod modelem se vytvoří vakuum, fólie se přisaje



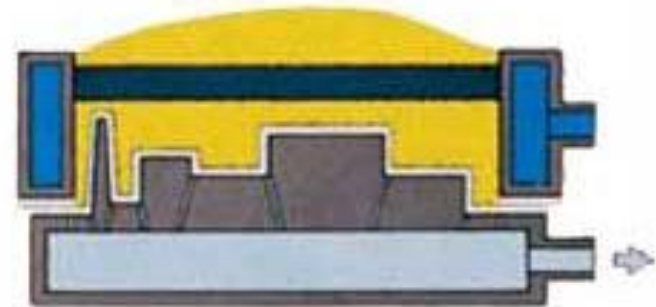
2

Modell mit Folie
pattern with plastic film
modèle avec le film

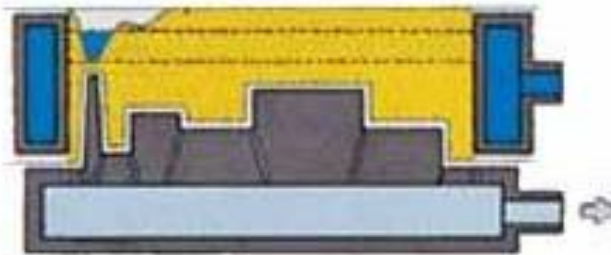
Ustaví se těsný formovací rám, zasype pískem, zhustí vibrací a překryje se fólií.



3 Formkasten aufsetzen
setting up the flask
déposer le châssis



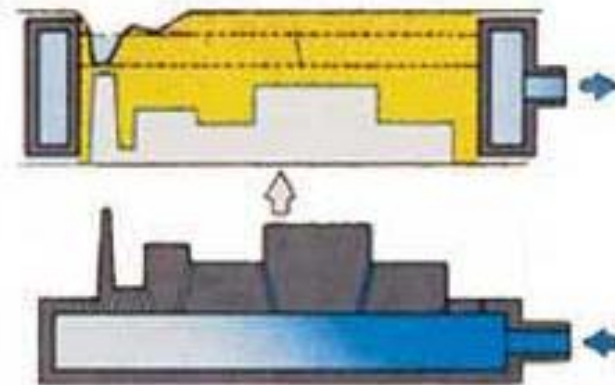
4 Sand einfüllen und vibrieren
sand filling and vibration
remplir et vibrer le sable



5 Deckfolie auflegen
placing of covering film
placer le film de couverture

Pak se odsává vzduch z formovacího rámu a vakuum pod modelem se změní na přetlak vzduchu.

Tak se oddělí model od formy



6 Abheben
mould stripping
démoulage



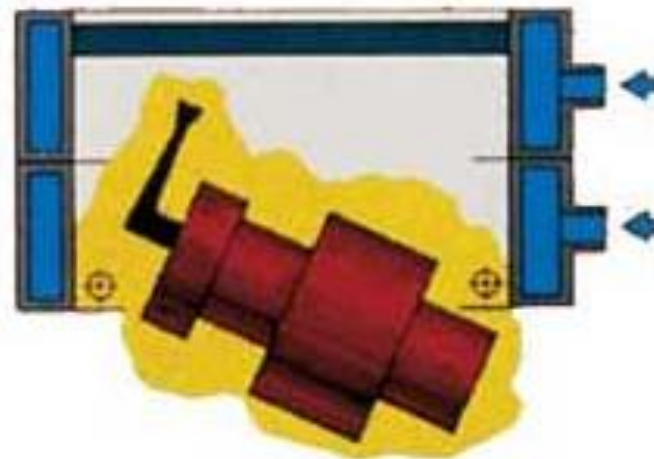
7 Gießfertige Form
castable mould
moule coulable

Složí se obě poloviny formy, stále se drží pod vakuem

Po odlití a vyhoření folie se forma rozpadne

The NASA crawler transporter tread belt shoe was made of modified 4320 steel using the V-process. Each shoe weighs 2,200 lbs. (998 kg) and measures 7.5 x 1.5 ft. (2.29 x 0.47 m).

Odlitek roku 2005
Váha 1t
Odlitý V-metodou



Technologie je využívána slévárenskou praxí



Výhody a nevýhody V-procesu



- Výroba odlitků bez úkosů, s minimálními přídávky a bez otřepů.
- Stálá povrchová jakost s vysokou rozměrovou přesností.
- Minimální opotřebení modelů.
- Téměř 100 %ní recyklace písku.
- Technologie příznivá pro životní prostředí.



- Nízký ochlazovací účinek formy.
- Výroba tvarově nepříliš náročných odlitků.

LED JAKO POJIVO FORMOVACÍ SMĚSI – „EFFSET“ PROCES

- Směs obsahuje ostřivo a vodu. Zhotovená forma se zmrazuje kapalným dusíkem nebo CO_2 a to buď s modelem nebo po vytažení modelu. Při druhém způsobu musíme pracovat s minimální vaznou směsí.

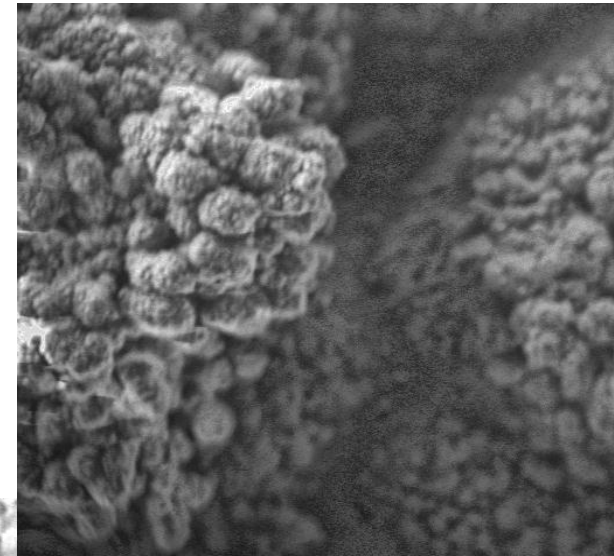
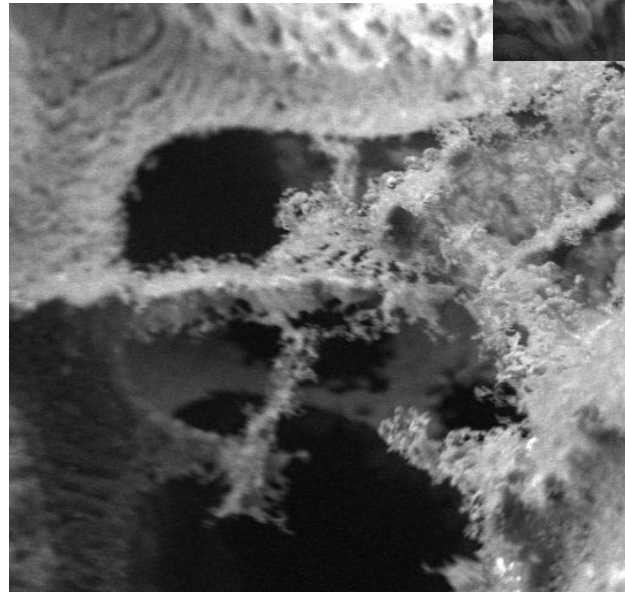
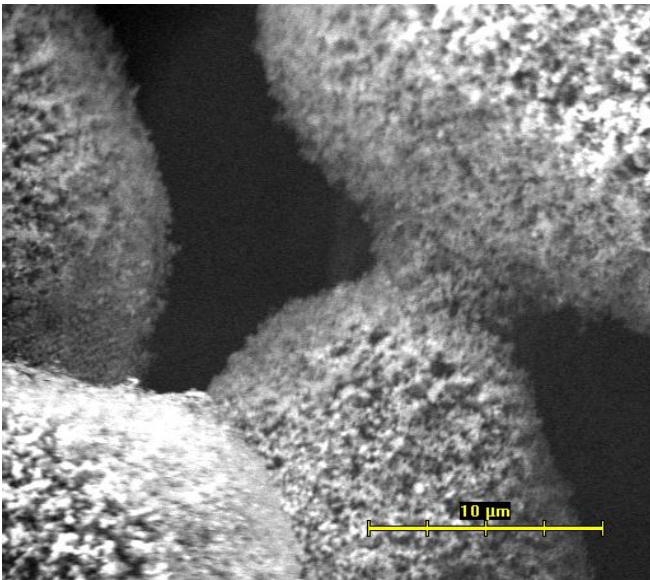
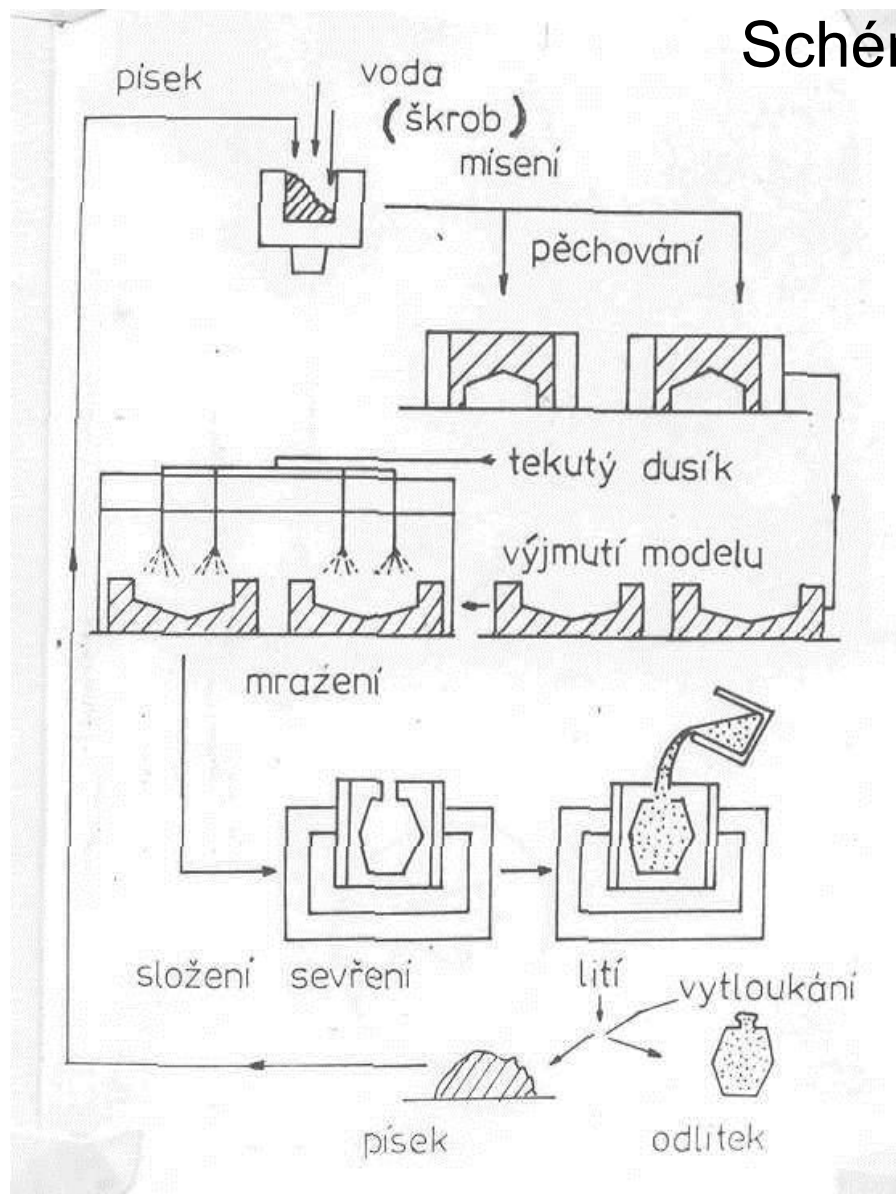
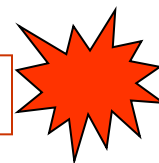


Schéma výrobního postupu



➤ Vysoký ochlazovací účinek formy přináší změny ve struktuře odlitků, jejich důsledkem je podstatné zvýšení mechanických vlastností odlitků (pevnost, tvrdost), zlepšení povrchové jakosti (hladkosti) a pevnosti odlitků. Jako min. nutnou teplotu líce formy před litím s ohledem na erozivní účinek kovu považujeme - 10 °C. Tím je limitována i doba odstání formy do lití.

V PRAXI METODA DOSUD NENAŠLA ROZŠÍŘENÉ UPLATNĚNÍ



Poloprovozní mrazící jednotka



Příklady odlitků vyrobených do zmrazených forem



FORMOVACÍ SMĚSI

IV. GENERACE

- **Nejmladší typ pojivových systémů**
- **Vývoj hygienicky a ekologicky nezávadných pojivových soustav na bázi biopolymerů**
- **Příkladem je firma Hormel Foods Corp. , která s vývojovým týmem GM Powertrain, vyvinula biopolymer GMBond, pojivo ze zvířecích proteinů.**



GMBOND® Sand Binder

www.gmbond.com

Výhody :

- **Možnost vyrábět složité odlitky.**
- **Snížené emise.**
- **Čistější slévárna.**
- **Zvýšená produktivita práce.**
- **Jednodušší vytloukání odlitků.**
- **Úspěšný ekologický test.**

Použití :

Výroba 6V řadového bloku motoru (Al) v GM.

- **Testován v TEKSID na Al dutých závěsech kol pro FIAT Punto a na jádrech pro 6V hlavu válce.**



KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jaké je nejpoužívanější pojivo I.generace pro výrobu forem
2. Uved'te příklad používaných anorganických pojiv
3. Jaké jsou výhody a nevýhody chemických pojiv
4. Srovnejte směsi I. a II. generace z pohledu recyklovatelnosti
5. Čím jsou charakterizovány směsi III. generace



DOPORUČENÁ LITERATURA

JELÍNEK, P.: Pojivové soustavy slévárenských formovacích (chemie slévárenských pojiv), Ostrava, 2004, 241s.

JELÍNEK, P.: Slévárenství, skripta VŠB, 2007, 256 s.



Regenerace ostřiv



STRUKTURA SLÉVÁRENSKÝCH ODPADŮ

POUŽITÝ FORMOVACÍ MATERIÁL	65 – 90 %
VYZDÍVKA Z PECÍ	2 – 10 %
STRUSKA Z TAVENÍ	1 – 7 %
PRACH A KALY	2 – 6 %
OSTATNÍ ODPADY	1 – 5 %

chemicky pojené formovací směsi

zbytky pojiva a produktů
vytvrzování brání nové
chemické reakci



Bentonitová směs

směs oběhová

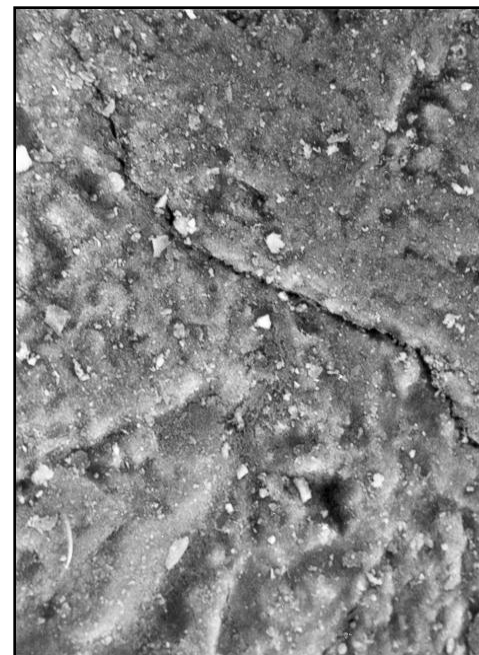
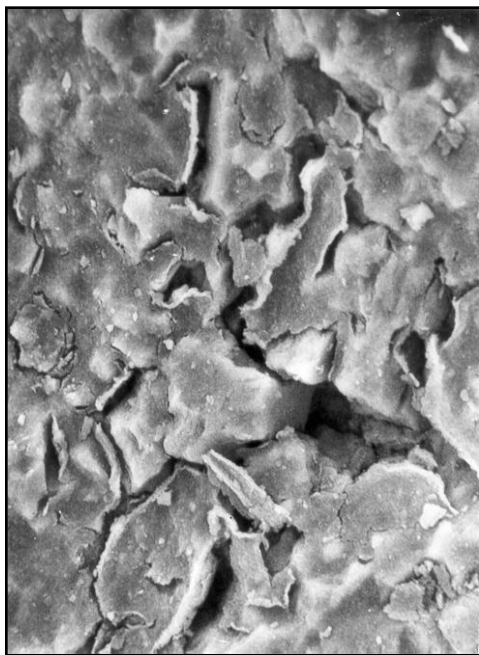
„obohacení“ směsi při vybíjení o
jádrovou směs

vznik nadbytečné směsi

Recyklace

Regenerace

Odstranění zbytků pojiva a jiných nečistot tak, aby mohlo být ostřívo opětovně použito ve výrobním procesu





REGENERACE OSTŘIV

**TECHNOLOGICKÝ PROCES ZPĚTNÉHO
ZÍSKÁNÍ PODSTATNÉ ČÁSTI OSTŘIVA
Z POUŽITÉ SMĚSI PRO PŘÍPRAVU NOVÝCH
FORMOVACÍCH A JÁDROVÝCH SMĚSÍ
ODSTRANĚNÍM ZBYTKŮ POJIVA A JINÝCH
NEČISTOT**



Důvody pro regeneraci

Ekonomické

dovoz surovin, náklady na deponie

Technické

regenerát v některých směrech předčí kvalitou nové ostřivo (platí hlavně o křemenném)

Ekologické

devastace krajiny v důsledku těžby, problémy s deponováním. Směsi obsahují řadu rozpustných sloučenin (amonné soli, fenoly, sodu aj.), které se splavují a znečišťují spodní vody, toky řek ap.



Použitý slévárenský písek (ostřivo) nelze nikdy regenerovat na naprosto stejný fyzikální nebo chemický stav odpovídající původnímu ostřivu.

Ostřivo po interakci s pojivem a po tepelné expozici nemůže mít kvalitu nového ostřiva.

Výsledným produktem regenerace *není ostřivo původní kvality, ale regenerát – ostřivo kvalitativně pozměněných vlastností*, které lze použít při další výrobě forem a jader jako plnohodnotnou náhradu za nový písek.

Zlepšení vlastností regenerátu



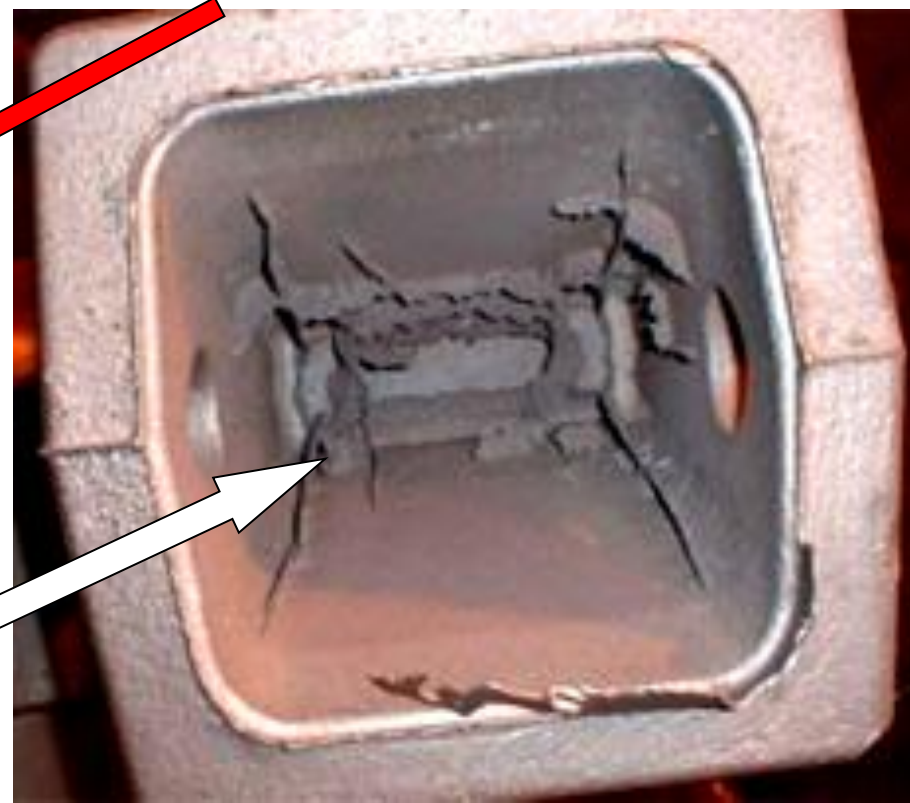
zakulacení zrn → zmenšení povrchu

nižší spotřeba pojiva (tvrdidla)

vnitřní povrch zrn blokován **zbytky pojiva**

vyšší stupeň volnosti
při tepelné dilataci zrn

klesá
výskyt vad z napětí
(zálupy, výronky)





Mění se granulometrie ostřiva

**ubývá jemných podílů
regenerát hrubne**

**roste strmost integrální křivky zrnitosti - stupeň
stejnorodosti ostřiva).**

Tato skutečnost může být chápána i jako negativní vlastnost

penetrace, pevnost směsi



Zhoršení vlastností regenerátu

Roste obsah uvolňovaných plynů při termodestrukci ze **zbytků tvrdidla a pojiva**



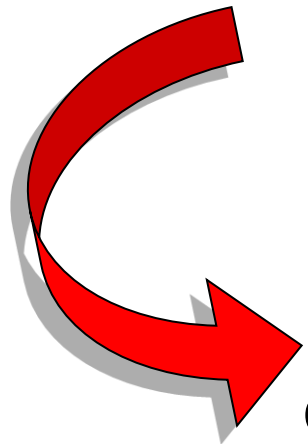
Nebezpečí
vzniku
exogenních
bublin

ovlivnění pH regenerátu

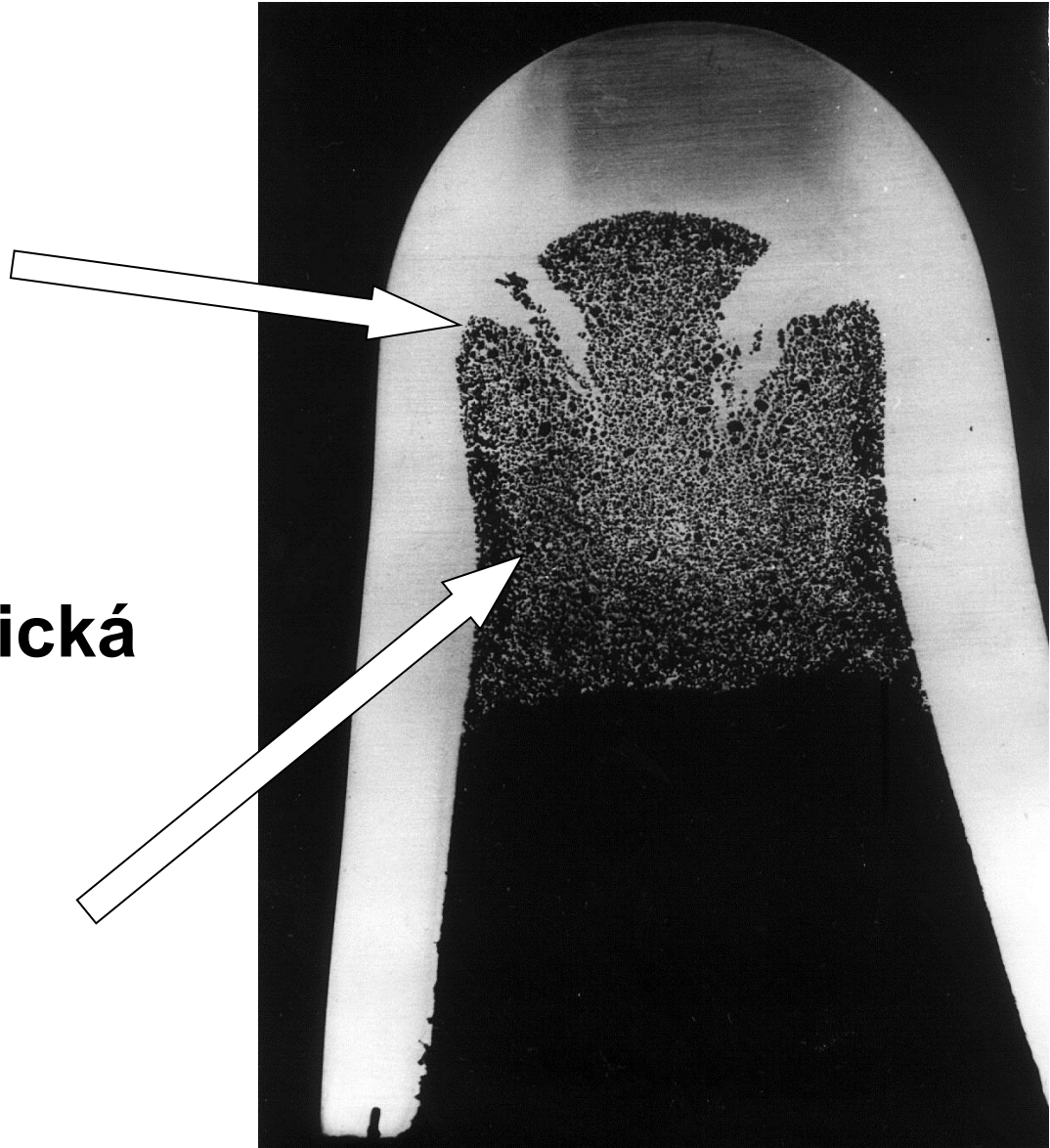
reaktivnost pojivové soustavy (změna životnosti směsi, pevnosti forem a jader).

Zvyšuje se obsah příměsí, snižujících žárovzdornost směsi

(např. Na_2O , K_2O)



**cristobalitická
expanze,
penetrace**





Intenzita s níž se musí provádět regenerace, aby se odstranily zbytky pojiva na zrnech a odstranily složky škodlivé při opětovném použití, **závisí na typu použitého pojiva a jeho adhezi (přilnavosti) k povrchu ostřiva.**

Použitý slévárenský písek (ostřivo) nelze nikdy regenerovat na naprosto stejný fyzikální nebo chemický stav odpovídající původnímu ostřivu.

Pro získání co nejčistšího povrchu zrn musíme volit různé účinná zařízení a postupy.



Volba regeneračního postupu

Použitý pojivový systém (regenerovatelnost, citlivost na nečistoty v regenerátu, jednosložkový nebo směsný vrat)

- Náklady na regeneraci**
- Ekologie (množství vznikajících odpadů z regenerace, jejich zpracování, čištění odpadních vod)**



▪ REGENERACE MECHANICKÁ

- Jednoduchá (otěr s nižší spotřebou energie)
- Otěr s vyšší spotřebou energie
 - PNEUMATICKÝ otěr
 - otěr obrušováním
 - odstředivý otěr

▪ REGENERACE TEPELNÁ

▪ REGENERACE MOKRÁ



neexistuje žádné univerzální regenerační zařízení

V praxi se často setkáváme s kombinací základních postupů.

Použití regenerace písku vyžaduje stavbu komplexního systému pro **drcení směsi, odstranění kovových částic, chlazení, sušení, třídění, odsávání jemných podílů** a další speciální úpravy podle konkrétního postupu a zařízení.



1. Stupeň regenerace – předúprava vratné směsi

Drcení vratu, odloučení kovových částic, odprášení, chlazení, třídění

Bentonitová směs

**Organická pojiva s velmi nízkou adhezní pevností
Slévárny litiny, oceli, kde dochází k odstranění velké části
pojiva teplem roztaveného kovu**

2. Stupeň regenerace odstranění zbytkového pojiva

Regenerace jednoduchá

Mechanická

Tepelná

Mokrá

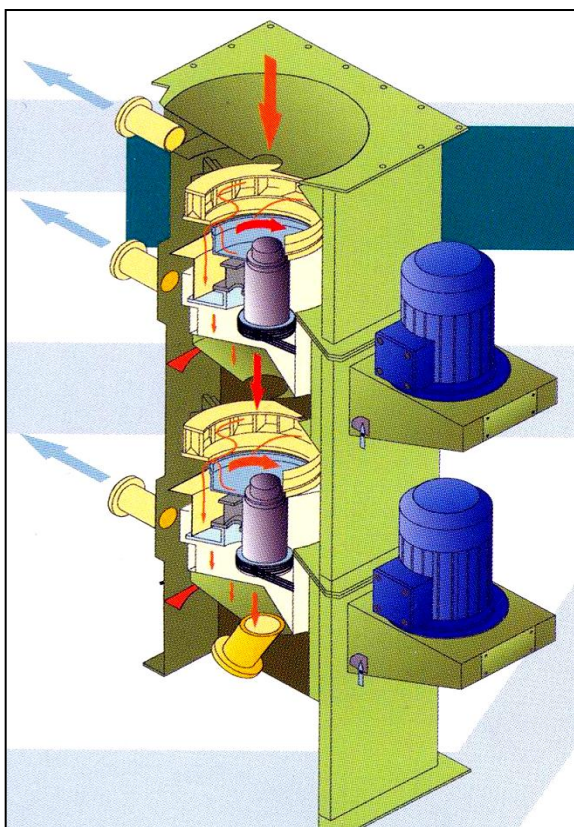


Regenerace kombinovaná

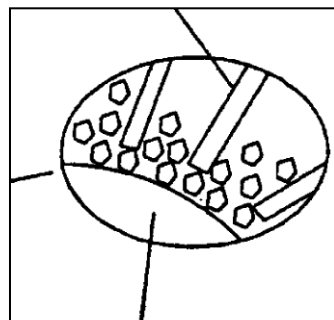


MECHANICKÁ REGENERACE

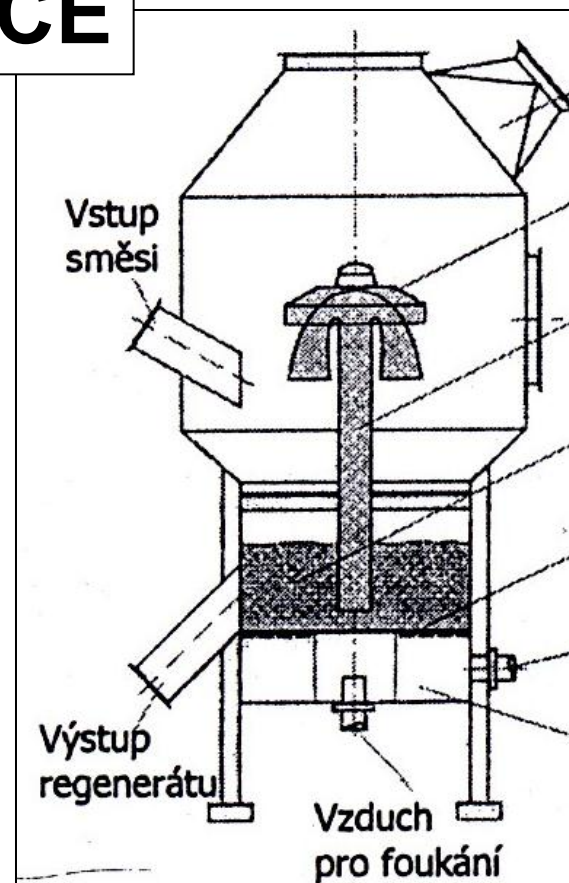
**Jednoduchá otírka
ST směsi furanové a fenolické**



**Odstředivý otěr
Cold Box, Hot Box**



**obrušování
bentonitová směs**



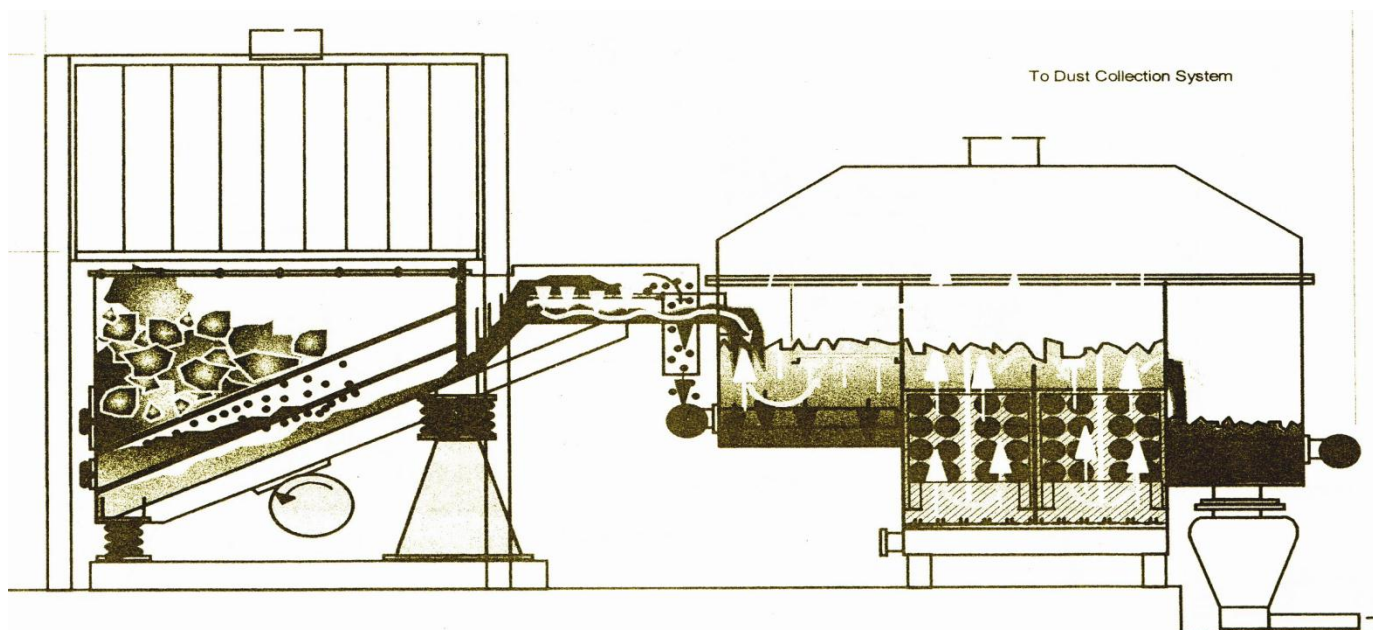
**Pneumatická regenerace
směsi s vodním sklem**

REGENERACE MECHANICKÁ

Jednoduchá mechanická regenerace

rozdrcení hrud formovací směsi až na jednotlivá zrna a částečný otěr pojivových obálek.

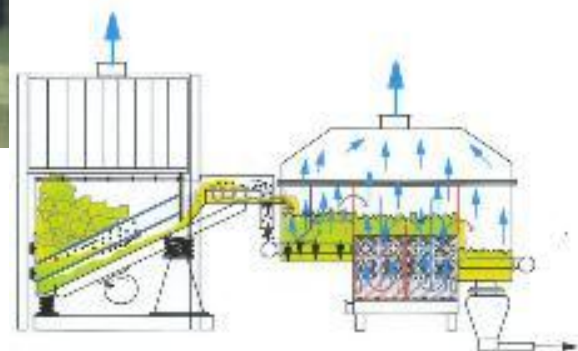
v současné době nepoužívanější vibrační drtiče. Použití vibračních jednotek nejméně poškozuje zrna písku v důsledku drcení a zajišťuje dostatečný otěr.



Při drcení musí samotná zrna zůstat neporušená, rozrušit by se měly pouze pojivové mosty.

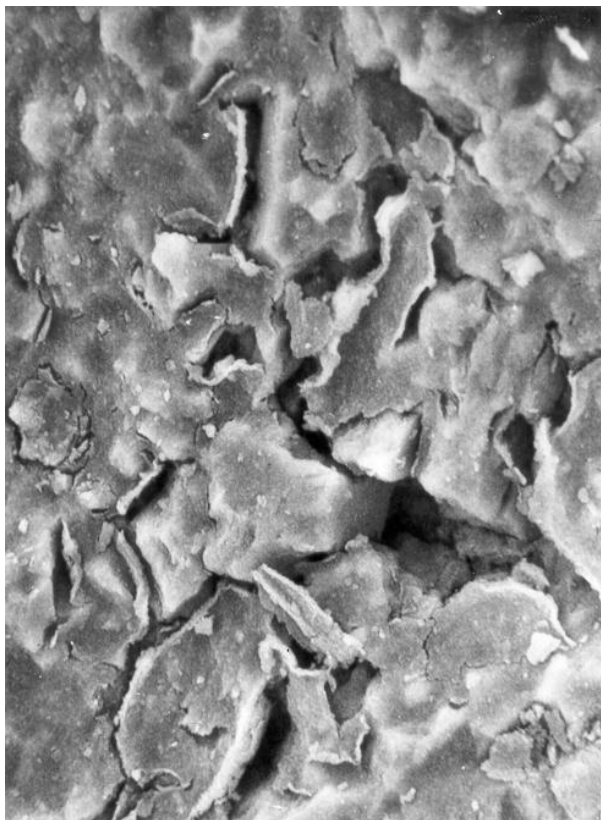
Uvolněné zbytky pojiva, jemné podíly a jiné škodliviny jsou odsávány.

Následuje třídění a chlazení písku.

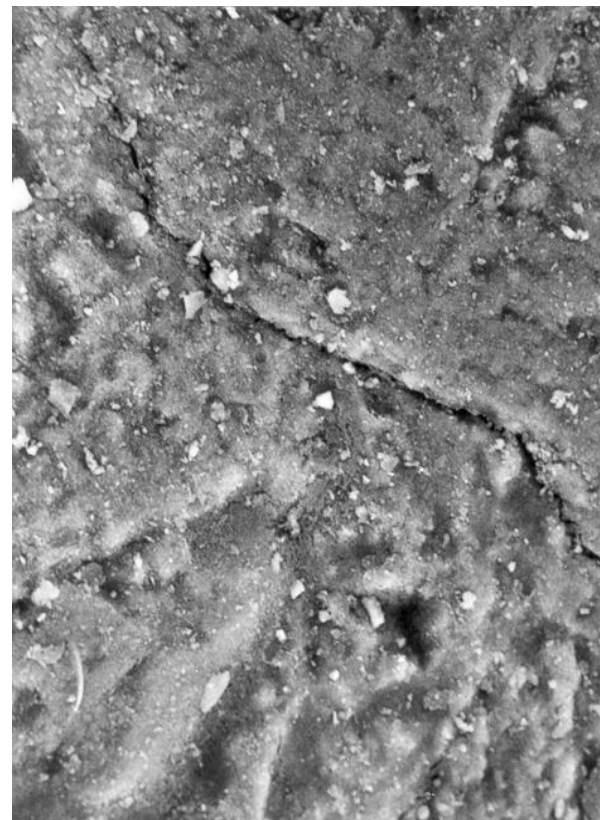


<http://www.richards-engineering.co.uk/>

Organická pojiva s velmi nízkou adhezní pevností (malou přilnavostí) se snadno odstraňují z povrchu křemenného zrna proto je tento způsob regenerace pro furanové a fenolové směsi i ekonomicky nejvhodnější.



Furanová směs – povrch křemenného zrna před mechanickou regenerací (SEM, zvětšení 1000)



Dokonale očištěný povrch zrna od furanového pojiva suchou mechanickou regenerací (SEM, zvětšení 1000)

Množství pryskyřice vyhořelé během odlévání v závislosti na poměru písek : kov (Galante)

Poměr písku a kovu	% pryskyřice vyhořelé během odlévání
0,5-0,6 : 1	100%
1 : 1	60%
2 : 1	45%
3 : 1	22%
4 : 1	15%
5 : 1	12%
6 : 1	10%

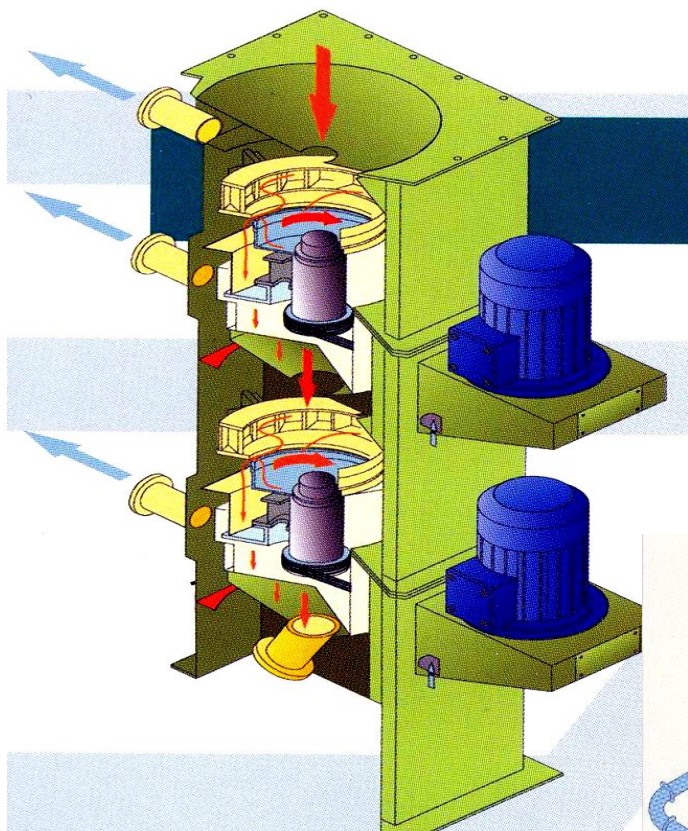
Odstředivé otěrové regenerační jednotky

zvýšení intenzity tření nárazem a otíráním zrn o sebe
(pojivové systémy s malým využitím kovu ve formě - furanové, fenolické, polyuretanové pryskyřičné směsi)

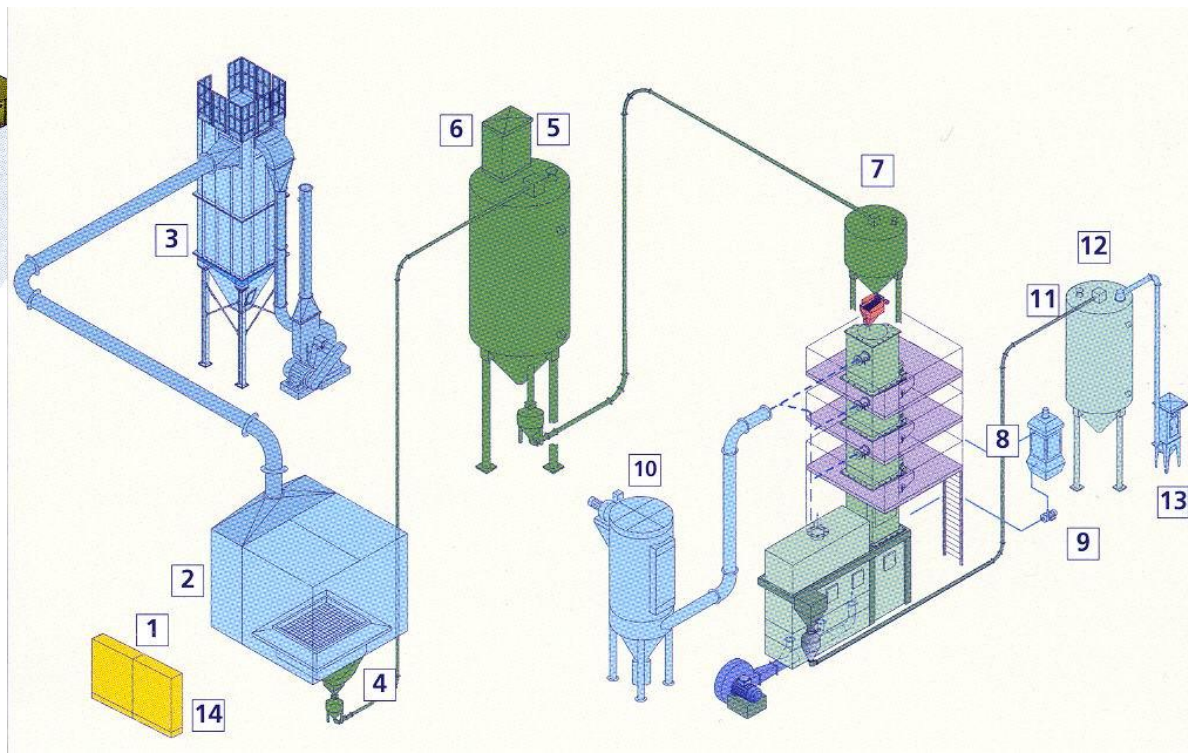
- **rozbíjení hrud a předběžná regenerace**
- **Odstranění obálek pojiva otěrem zrn písku navzájem v rotačním pohybu.**
- **Třídění a odprášení.**
- **Chlazení písku.**

Dvoukomorová odstředivá regenerační jednotka

Dynamická regenerace italské fy
IMF (Impianti Macchine Fonderia).



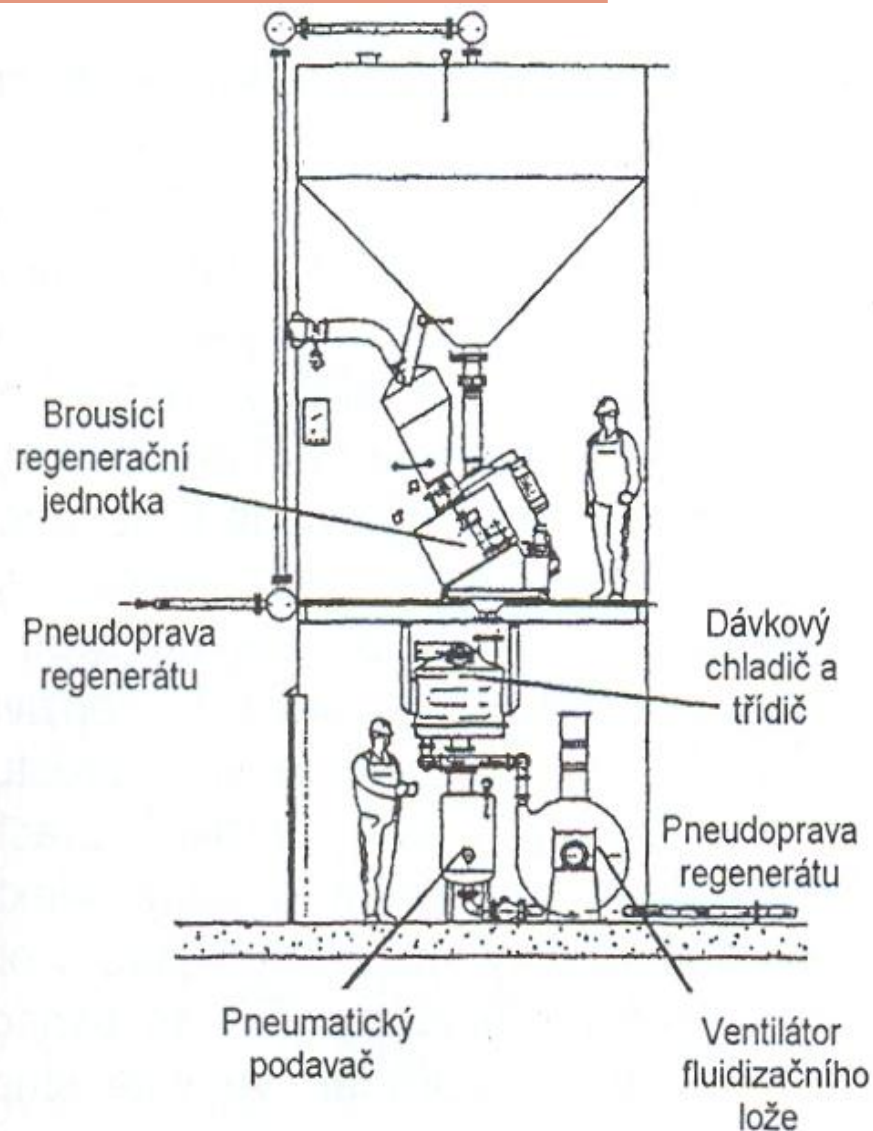
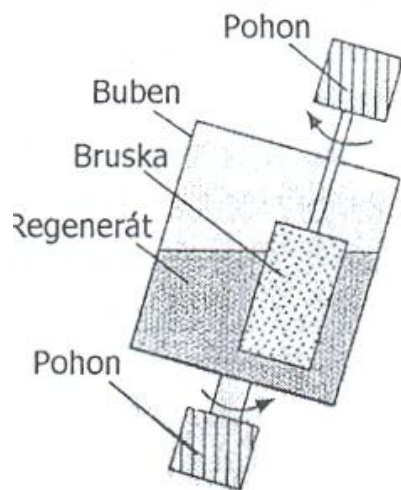
Uspořádání regenerace



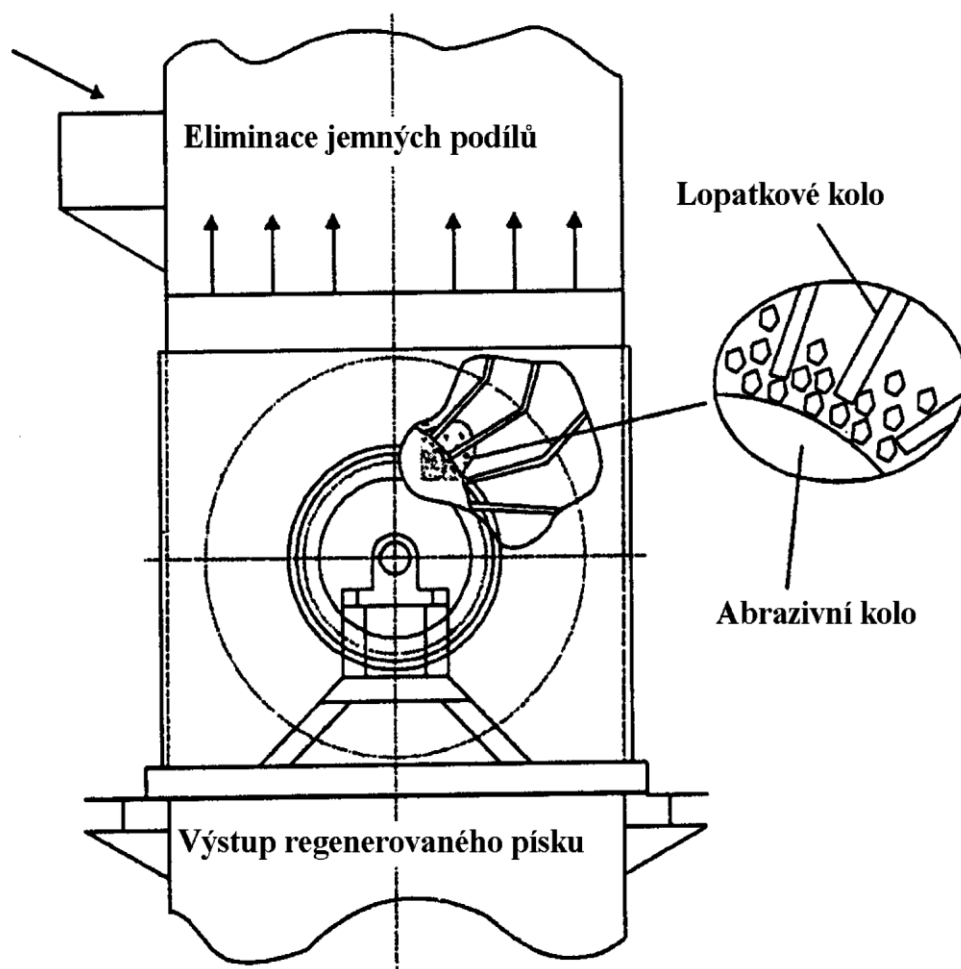
Brousící regenerační jednotky

**Intenzivní otěr bez nárazů,
kvalitnější regenerát, rychlejší
opotřebování zrn**

**Regenerace bentonitových směsí
nebo obtížně regenerovatelných
směsných vratů**



Uspořádání dávkově pracující regenerace s brusnou jednotkou GUT



**horizontálně rotující
brusný otírací válec,**

**kolem kterého se pomalu
otáčí lopátkové kolo**

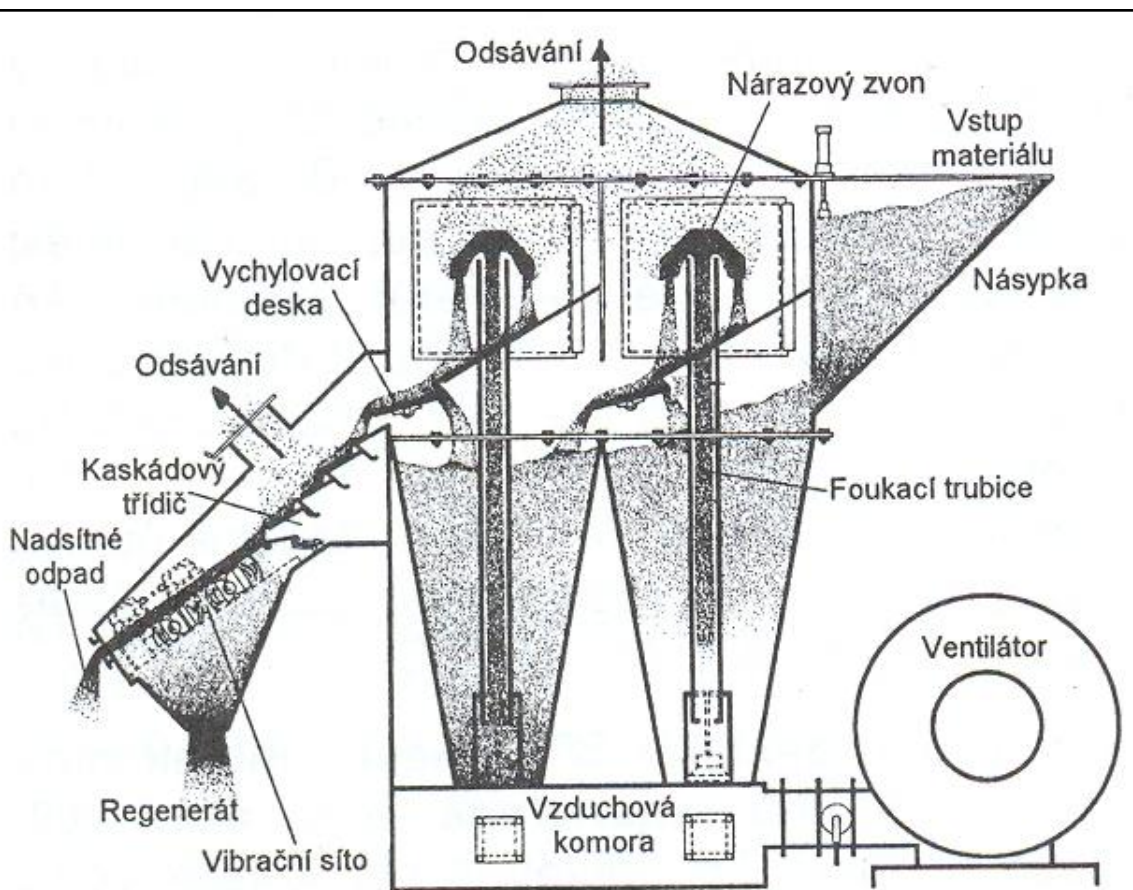
**a na brusný kotouč
plynule přivádí písek**

Regenerace Sand Cleaner firmy Gemco Engineers

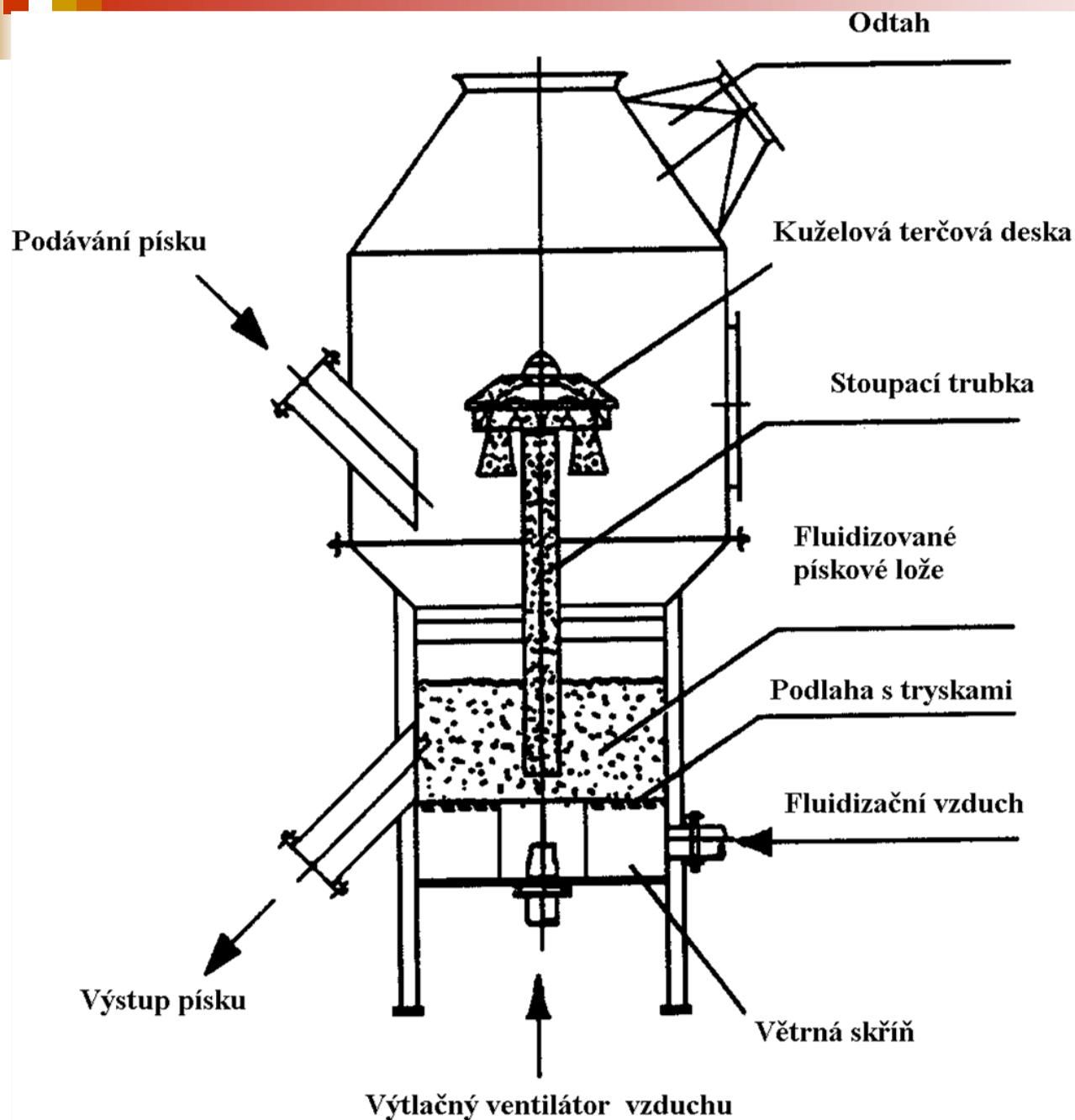
Regenerace pneumatická

K rozrušení zbytků zrnových obálek dochází v proudu stlačeného vzduchu třením a nárazem, velmi intenzivní otěr systémy se špatnou regenerovatelností

Rychlost i směr vrhaného písku mohou být řízeny



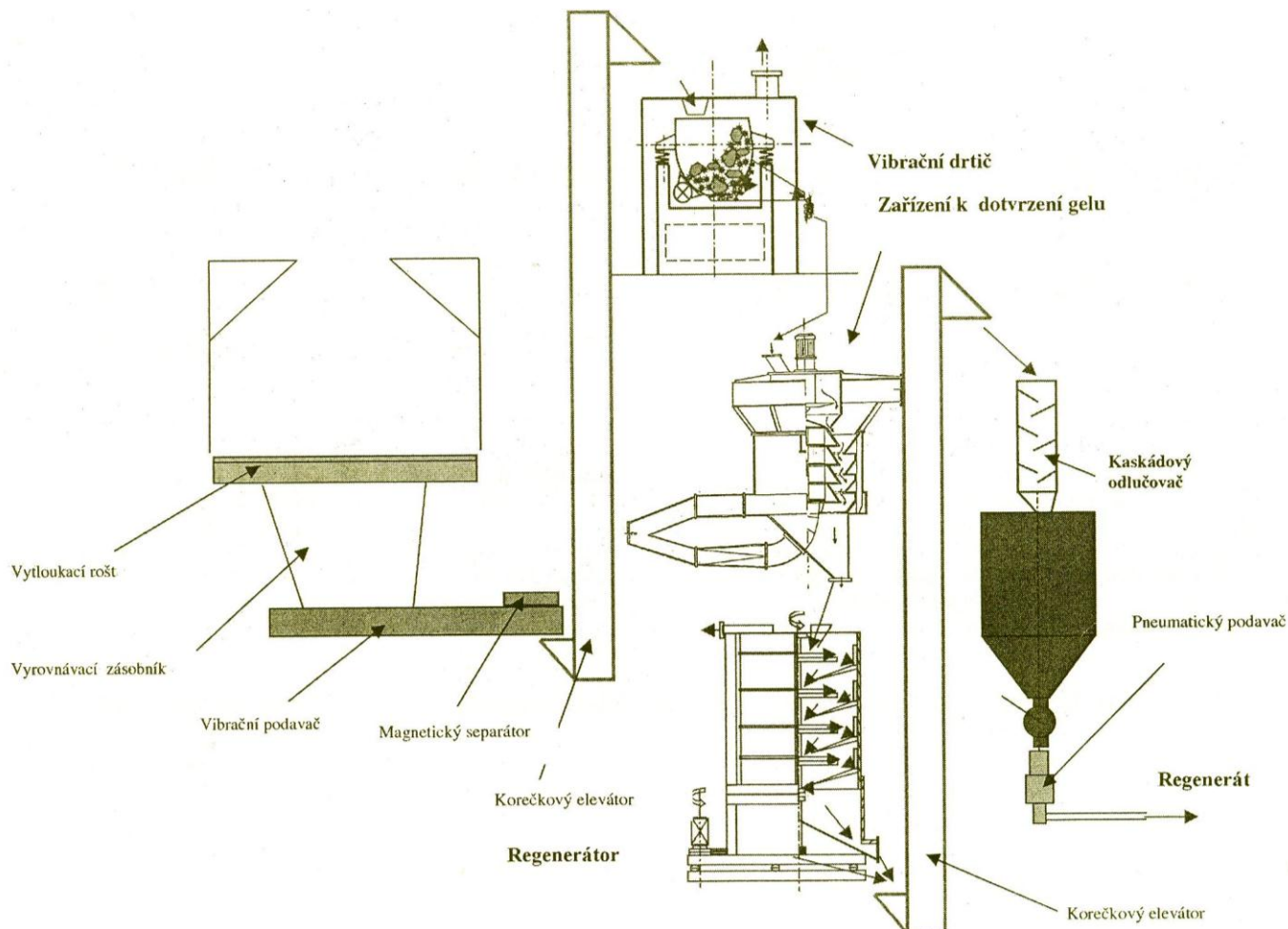
Pneumatická regenerační jednotka
Simpson Pro Claim



Pneumatická
regenerační jednotka
KTG Jet Reclaimer

Pneumatická regenerace je často využívána pro regeneraci směsí s vodním sklem

Před mechanickým nebo pneumatickým otěrem zařazován ohřev (~ 100°C až 250°C) pro zkřehnutí gelu a snazší odstranění z povrchu zrn





REGENERACE TEPELNÁ

proces, při kterém jsou zbytky pojiva odstraňovány ohřevem na teploty 450 – 800 °C.

**Nejúčinnější postup pro regeneraci vratných směsí s organickými pojivy
(organická pojiva jsou spalitelná)**

velká energetická náročnost – jedná se o nejnákladnější postup jednoduché regenerace

- Zařízení vytápěná plynem s přímo vytápěným fluidním ložem (700-800 °C)
- Zařízení pracující na principu infračerveného záření
- Kyslíkové zařízení



regeneraci předchází úprava vratu – rozbití hrud, nadrcení, magnetická separace.

Součástí regeneračních zařízení je intenzivní odsávání, chlazení písku a neutralizace plyných zplodin - z regenerační jednotky neunikají žádné exhaláty.



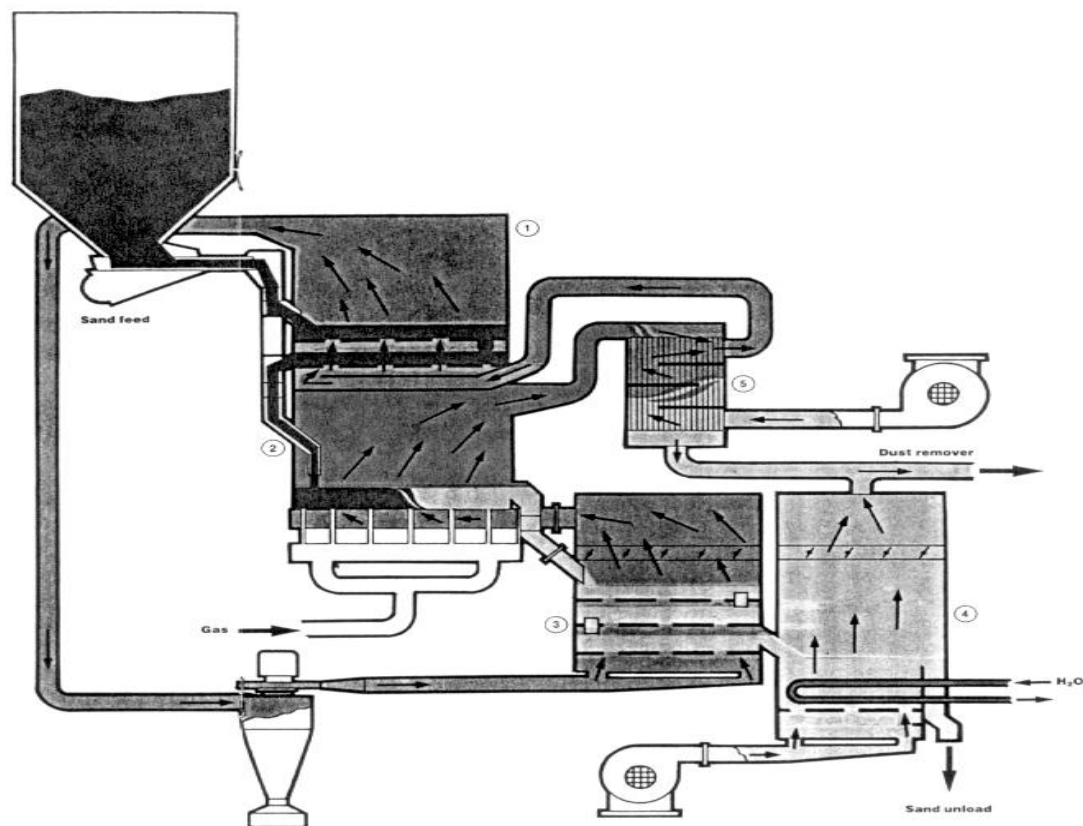
Zařízení vytápěná plynem

se dodávají o kapacitě 500÷5000 kg/h a vesměs všechna jsou s přímo vytápěným fluidním ložem.

Průběh regenerace

Kalcinace písku v přítomnosti kyslíku při teplotě asi 700-800 °C. Pryskyřice vyhoří, přičemž se dosahuje ztráty žíháním nižší než 0,1 %.

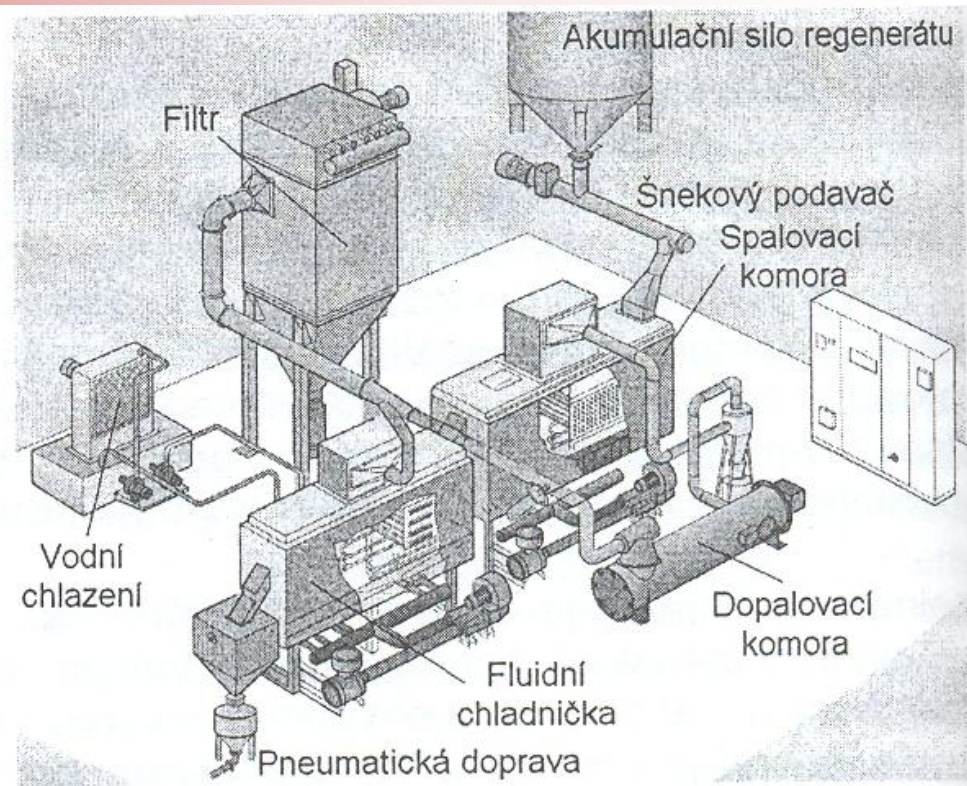
Spalování pojiva je exotermickou reakcí, což přispívá k tepelné bilanci regenerace. Spalovací vzduch může být předehříván teplem odcházejících spalin nebo teplem regenerátu (rekuperátor).



Tepelná regenerační jednotka fy FATA (Hot-Rec/2-5)

spalování ve fluidním loži, předehřev vratného písku ,
předehřev spalovacího vzduchu v chladiči regenerovaného
písku

Zařízení pracující na principu krátkovlnného infračerveného záření.



Jde o mimořádně účinný postup.

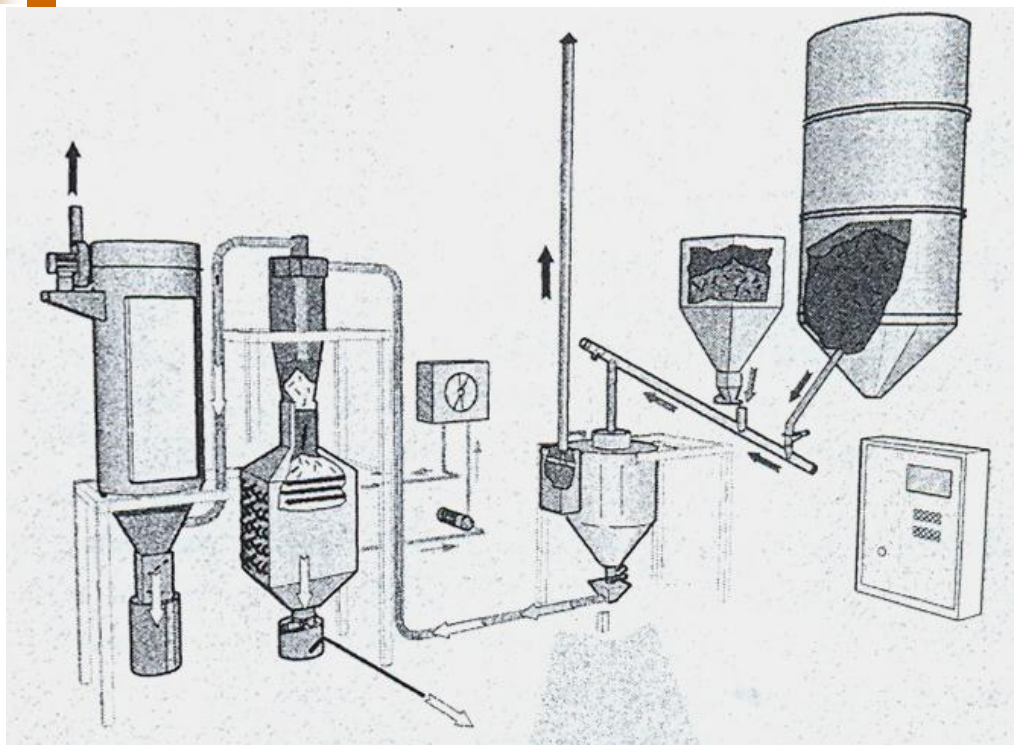
Písek se fluidizuje kolem infračervených emitorů a přenos energie má účinnost vyšší než 85 % (v porovnání s plynem 26-28%). Zařízení pracuje s teplotou 450-500°C (v závislosti na druhu pryskyřice), nepotřebuje žádný spalovací vzduch, takže objem kouřových plynů, které je potřeba zpracovat, je mnohem menší.

Kyslíkové zařízení (patent fy IMF).

Zásobník z nerezavějící oceli, nahoře otevřený, kde přichází vratná směs v okamžiku, kdy se ze spodní části vypustí regenerát, který se dále dopravuje ke chlazení.

V peci probíhá spalování pryskyřice, ulpělé na povrchu zrn, pouze kyslíkem, písek uvnitř pece se nefluidizuje.

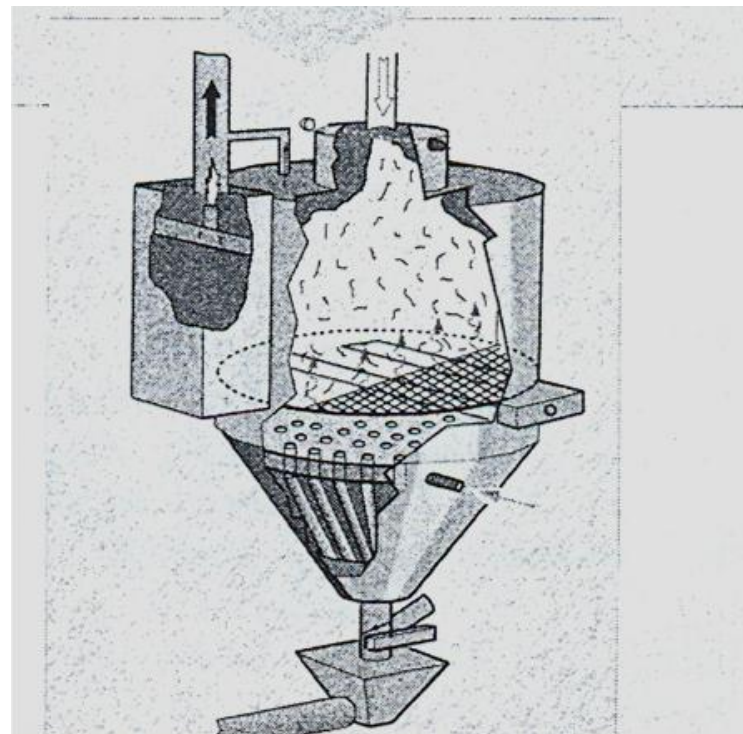
Pokud je spálení pryskyřice nedokonalé, přidává se tryskou malé množství jemných podílů z mechanické regenerace (mají vyšší obsah spalitelných látek) na podporu exotermické reakce spalování. Před dopravou regenerátu do chladicího zařízení jsou pak jemné podíly z regenerátu odsávány do cyklonu.



Tepelná regenerace kyslíkové zařízení IMF

písek uvnitř pece se nefluidizuje

Spalování zbytků pryskyřice probíhá
pouze kyslíkem





Regenerace mechanicko-tepelně-mechanická

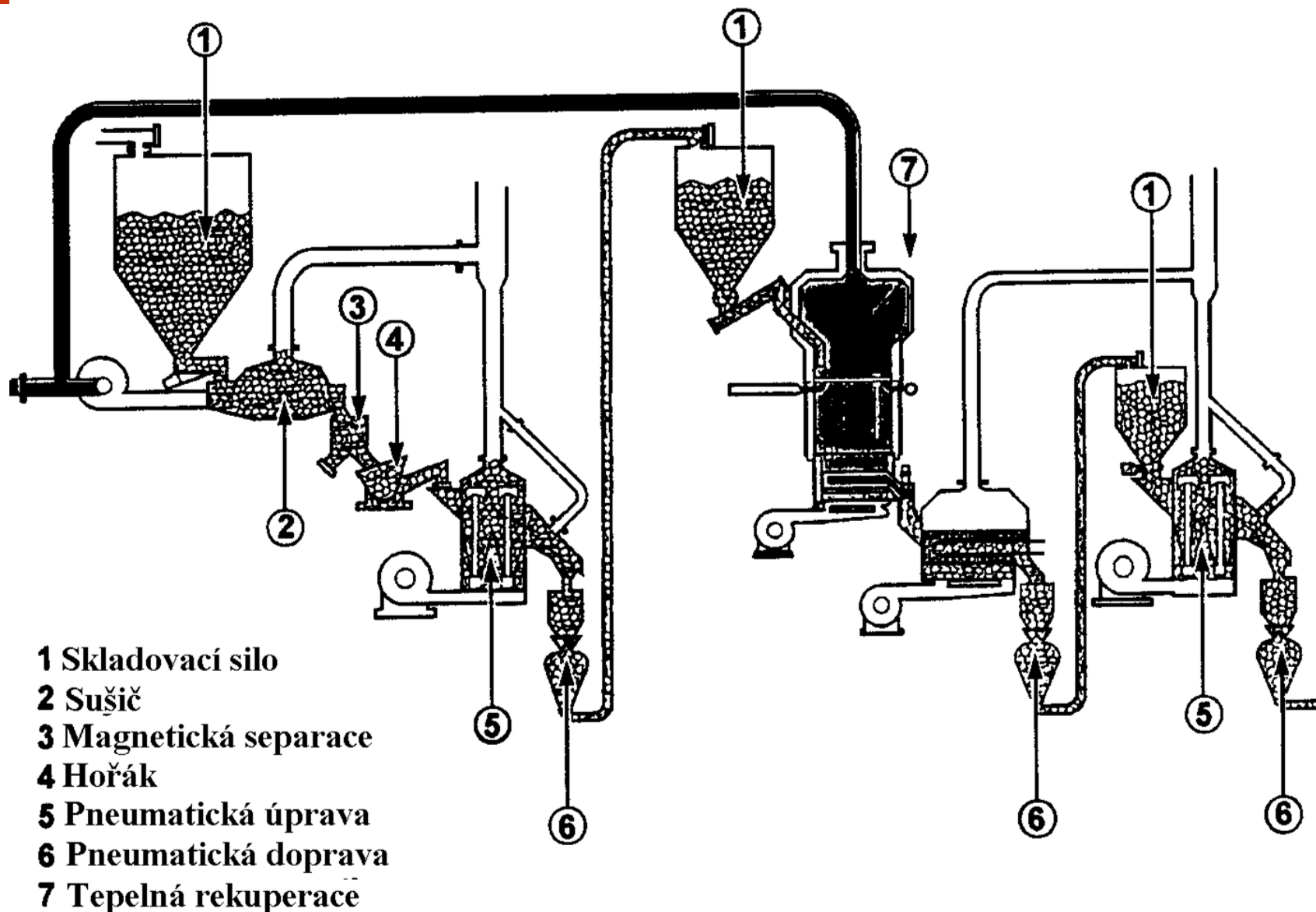
Směs je nejprve upravena (rozbití hrud, prosévání, magnetická separace, sušení pro snížení obsahu vlhkosti do 1 %)

a poté vstupuje do vlastní regenerační jednotky.

Část pojiva se nejprve odstraní mechanickou nebo pneumatickou otírkou,

zbytky organických složek jsou spáleny v tepelné jednotce, anorganické pojivo přechází do prachu nebo je spáleno na zrnech.

V posledním kroku mechanické nebo pneumatické otírky jsou odstraněny tyto anorganické vrstvy na zrnech.



Kombinovaná mechanicko-tepelně –mechanická regenerace (BAT)



MOKRÁ REGENERACE

**převedení zbytků pojiv do roztoku a jejich odstranění
praním**

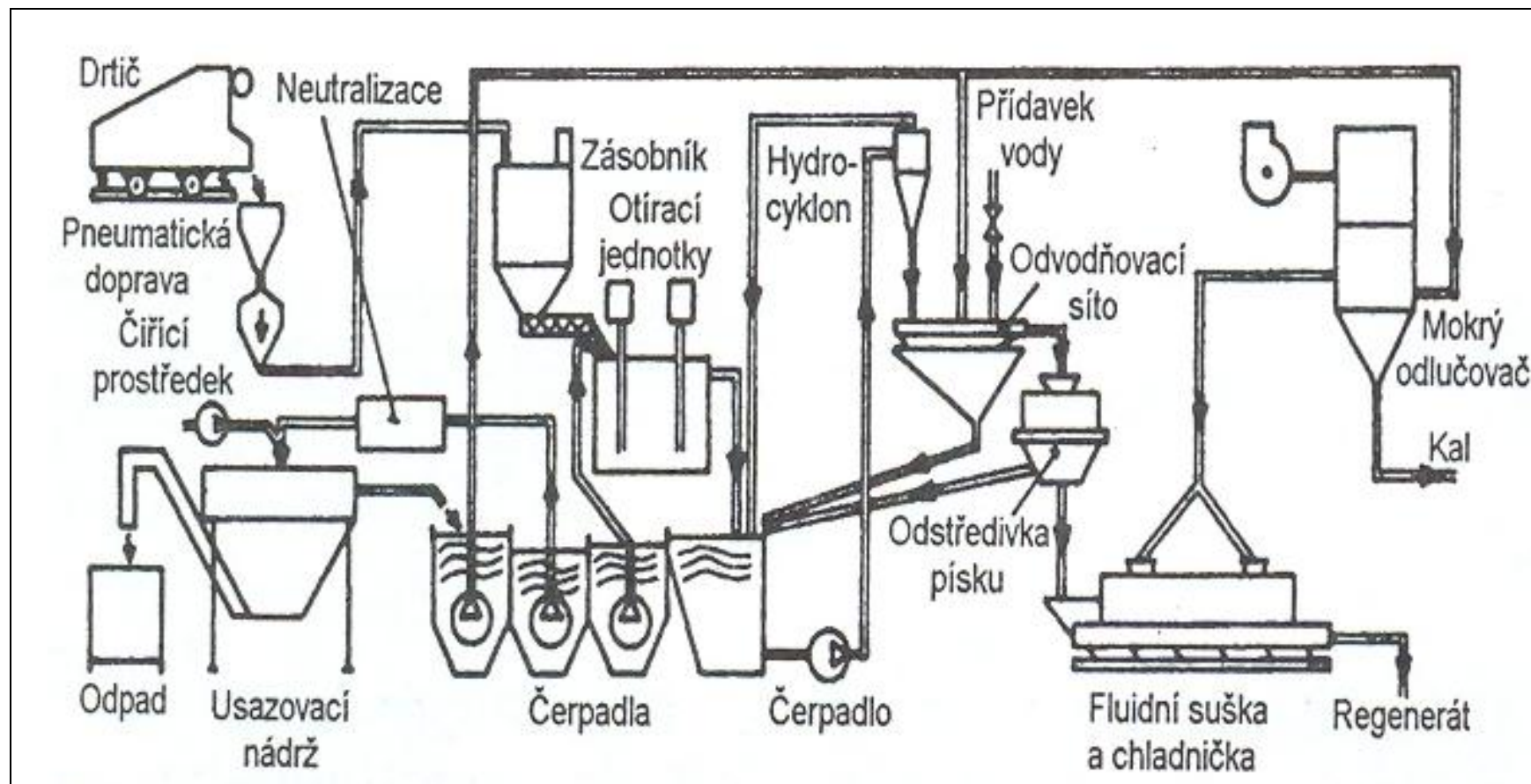
Velmi vhodné pro anorganická pojiva, zvláště směsi s vodním sklem

Průběh regenerace

Po odloučení kovových částic se vratná směs smísí s vodou, vytvoří břečku pro snadnější separování pojiva a pro následné mokré třídění na sítě.

Zbytky hrudek se odstraňují intenzivním vzájemným otěrem zrn. Pojivo se uvolní do prací vody, regenerát se suší a vychladí.

Zbytky pojiva se separují ze suspenze



Příklad mokré regenerační jednotky



Šetrný otěr bez opotřebení zrn, vysoký stupeň regenerace, snížení koncentrace Na iontů v regenerátu



Vysoké pořizovací a provozní náklady regeneračního zařízení (včetně tepelné izolace celého vodního hospodářství proti zamrzání).

Velmi vysoká spotřeba vody (více než 5 m³ na 1 t regenerátu).

Problematické a nákladné čištění a úprava velkého objemu použité vody (odstranění rozpustných látek, především Na iontů, odsolování vody, úprava kalů).

Regenerát je nutno sušit.

Speciální postupy regenerace

separace různých použitých ostřiv

kombinace chromitového a křemenného ostřiva

chromit se pro svoji vyšší žárovzdornost a ochlazovací účinek (odolnost proti penetraci kovu) používá pro formy a jádra masivních odlitků.

Vzhledem k vysoké ceně se často používá jen na tepelně exponovaná místa forem a výrobu jader, zbytek formy je tvořen křemenným pískem.

Použití různých způsobů regenerace pro jednosložkové vraty (BAT)

Typ směsi	Způsob regenerace	Zařízení	Použití regenerátu
Organický systém			
Za studena vytvrzované furanové a fenolové směsi	mechanická nebo tepelná	<u>Mechanická</u> –otěr, nárazy, pneumatický oděr <u>Tepelná.</u>	- pro výrobu forem ve stejném systému - 20-25 % náhrada nového písku pro výrobu jader ve stejném systému
Cold-Box, SO ₂ , Hot-Box, Croning	mechanická nebo tepelná	<u>Mechanická.</u> – pneumatický otěr, odstředivé tření, otěr ve fluidním loži <u>Tepelná.</u>	při výrobě jader jako náhrada nového písku
Resol- ester, Metylformiát	mechanická	<u>Mechanická.</u> – tření, náraz, pneumatický otěr	s omezením pro výrobu forem s metylformiátem
Anorganický systém			
Bentonitová směs	mechanická	pneumatický otěr, obrušování	obnova písku pro oběhovou bentonitovou směs
Vodní sklo (alkalický silikát)	mechanická	pneumatický otěr, obrušování (vyžaduje zkřehnutí pojiva při 200 °C)	pouze pro výrobu forem a jader stejné technologie

Použití různých způsobů regenerace pro vícesložkový vrat (BAT)

Typ směsí	Způsob regenerace	Zařízení	Použití regenerátu
Smíšený organický systém	mechanická nebo tepelná	<u>Mechanická</u> – pneumatický otěr, odstředivá otírka, oděr ve fluidním loži <u>Tepelná</u>	náhrada nového písku při výrobě jader
Smíšený vrat s bentonitem	mechanická nebo mechanicko-tepelně mechanická	<u>Mechanická</u> - obrušování, pneumatický oděr ve fluidním loži <u>Tepelná</u>	- náhrada nového písku při výrobě jader - obnova písku pro oběhovou bentonitovou směs

Použitelnost jednotlivých způsobů regenerace pro různé směsi

	Mechanická regenerace				Mokr á regenerace	Tepeln á regenerace	Mechani cko- tepeln ě - mechani ck é
	Jednoduch á	Otírka broušení m	Omílac í buben	Pneum atický otěr			
Jednosložkový systém							
Za studena vytvrzované furanové a fenolové směsi	x	x	x	x	x	x	O
Cold-Box, SO ₂ , Hot- Box, Croning	O	x	x	x	O	x	O
Vodní sklo (CO ₂ , ester)	O	O	O	x	x	O	O
Bentonitová směs	O	x	O	x	x	O	x
Vícesložkový systém							
Organické systémy	O	x	x	x	O	x	O
Bentonit + organika	O	x	O	x	x	O	x
x použitelný O nepoužitelný							

Kompatibilita regenerátu z různých zdrojů s jednotlivými pojivovými systémy (BAT)

Cílový systém / zdroj		Bentonit	Vodní sklo	Vytvrzová ní za studena	Hot box	Croning	Cold box		
							Metyl formiát	Amin	SO2
Bentonit		+	0	0	-	0	0	0	0
Vodní sklo		0	+	-	-	-	-	-	-
Za studena vytvrzované pryskyřice		+	-	+	-	0	-	0	+
Hot box		0	-	+	+	+	-	0	+
Croning		+	+	+	+	+	+	+	+
Cold box	Metyl formiát	0	+	-	-	-	0	-	-
	Amin	+	+	+	+	+	0	+	+
	SO ₂	+	-	+	-	0	0	+	+

+ kompatibilní

0 omezená kompatibilita

- nekompatibilní



KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Co je účelem regenerace ostřiv
2. Co je to regenerát
3. Pojiva které generace si vynutila vývoj regeneračních postupů)
4. Jaký je nejintenzivnější postup mechanické regenerace
5. Která pojiva lze odstranit tepelnou regenerací
6. Je mokrá regenerace vhodná pro organická pojiva?

Doporučená literatura

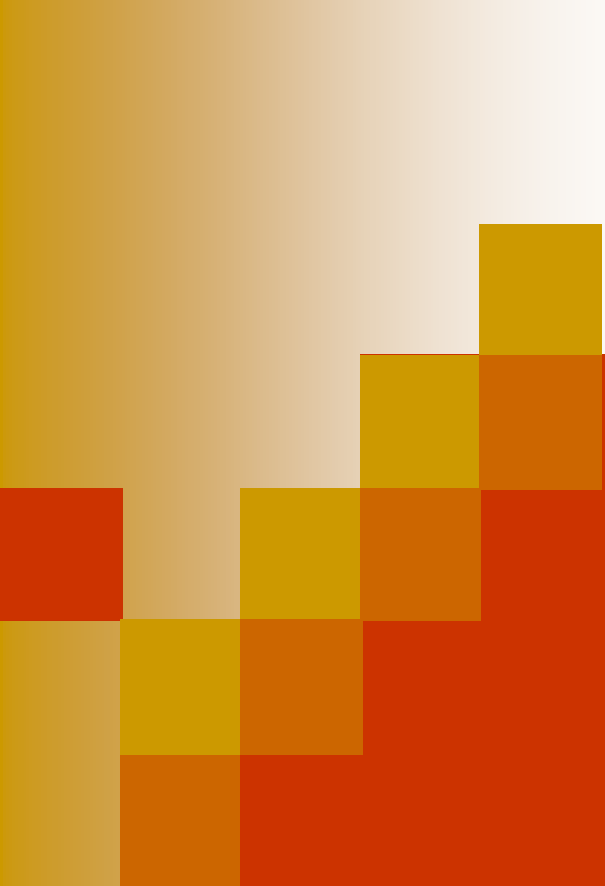
BEDNÁŘOVÁ, V.: Recyklace slévárenských odpadů - regenerace formovacích směsí, skriptum VŠB-TU Ostrava, 2004

JELÍNEK, P.: Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí, ostřiva, Ostrava, 2004, 140s.

<http://eippcb.jrc.es> INTEGRATED POLLUTION PREVENTION AND CONTROL, REFERENCE DOCUMENT ON BEST AVAILABLE TECHNIQUES IN THE SMELTING AND FOUNDRIES INDUSTRY

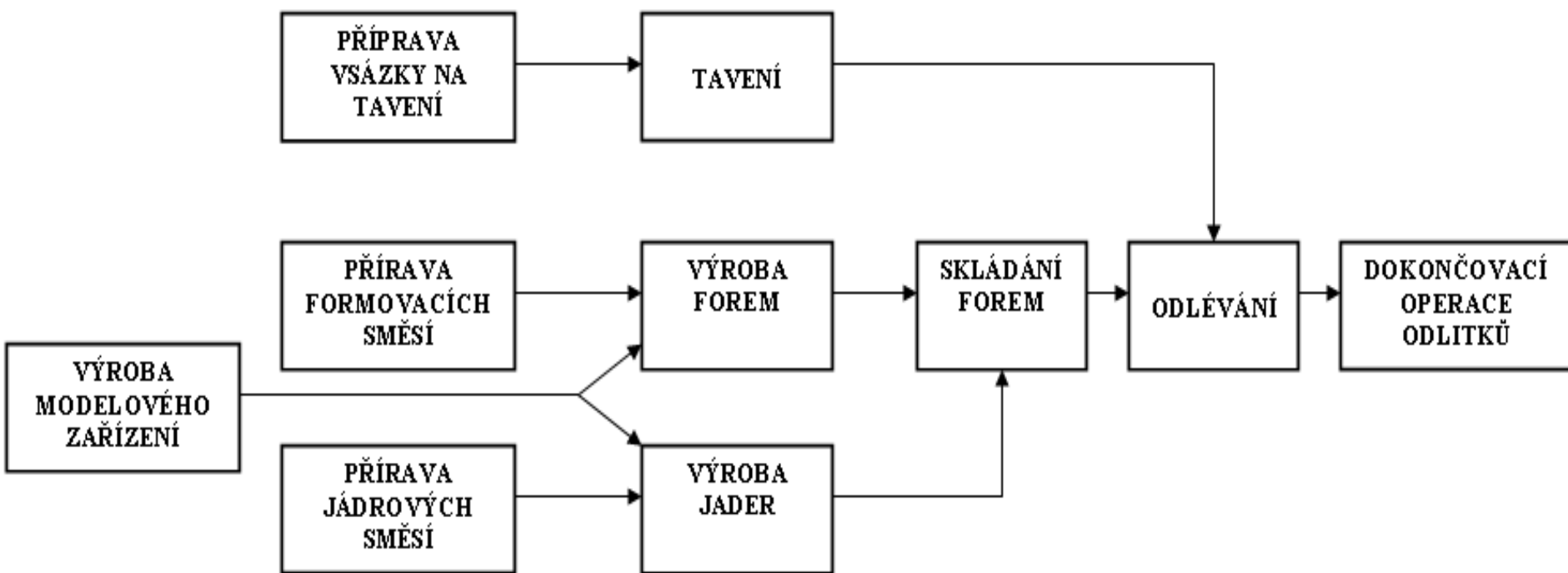
<http://www.ippc.cz/dokumenty/DC0102> INTEGROVANÁ PREVENCE A KONTROLA ZNEČISTĚNÍ, REFERENČNÍ MATERIÁL NEJLEPŠÍCH DOSTUPNÝCH TECHNIK PRO KOVÁRNY A SLÉVÁRNY, květen 2005

CHRÁST, J.: Slévárenská zařízení, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2006



Výroba forem a jader

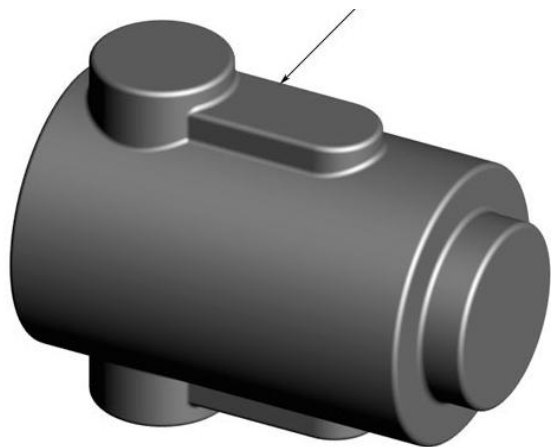
SCHEMA TECHNOLOGICKÉHO TOKU VÝROBY VE SLÉVÁRNĚ



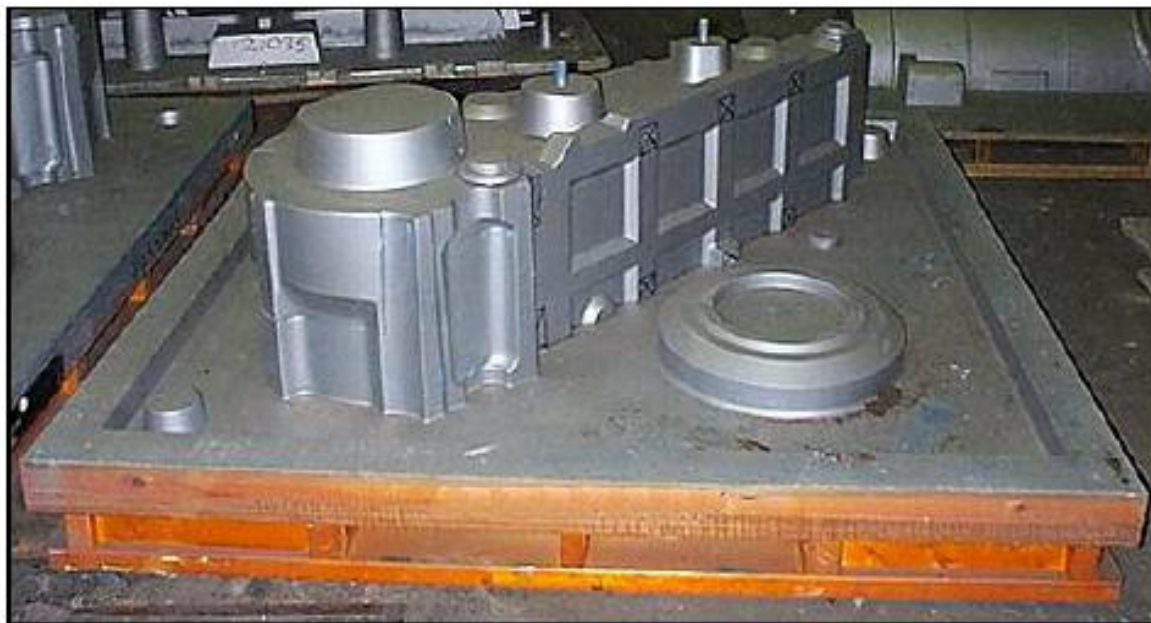
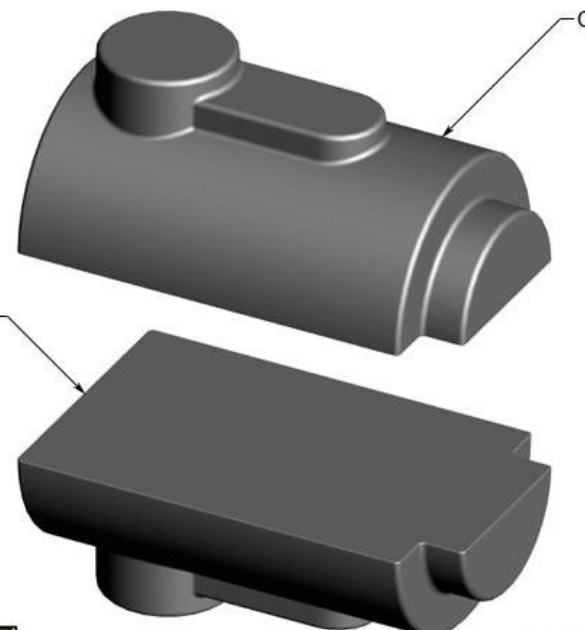
Modelové zařízení

- model odpovídá svým tvarem vnějšímu povrchu odlitku (otiskuje se do formovací směsi - model je pozitiv, forma negativ a odlitek opět pozitiv zmenšený o smrštění).
- Vnitřní dutiny odlitku se vytvoří jádry (vyrábí se ve zvláštních jadernících).
- Základní podklady pro výrobu modelového zařízení
 - postupový výkres
 - objednávka.

Jednoduchý model



Dělený model





Materiál modelového zařízení

- **Volí se podle:**

- ☐ **použité technologie,**
- ☐ **objednaného množství odlitků**
- ☐ **předepsaných požadavků (přesnost, hladkost)**

- **Používá se :**

- ☐ **dřevo,**
- ☐ **kov,**
- ☐ **sádra, vosk, hlína..**
- ☐ **umělé pryskyřice,**
- ☐ **virtuální model**

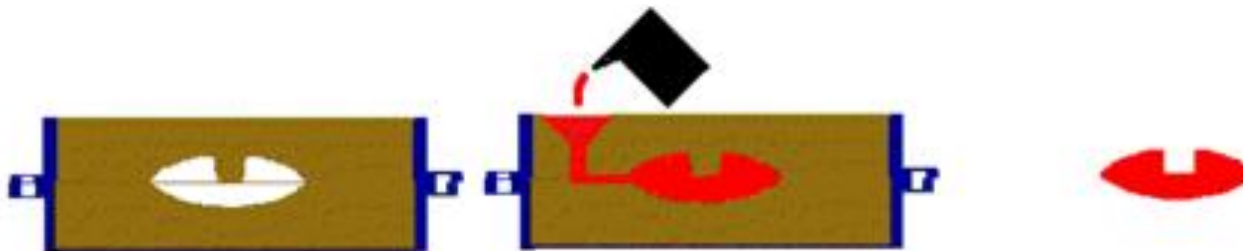
Schéma formování s modelem



Výroba spodní poloviny formy

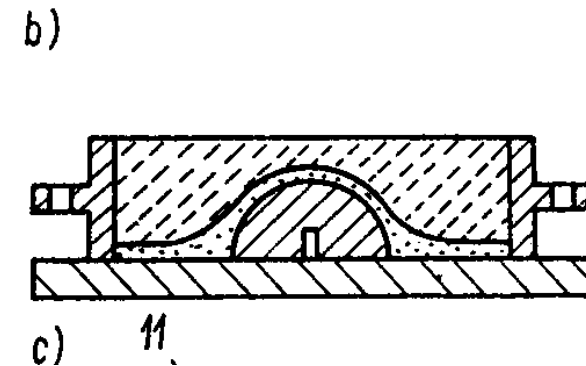
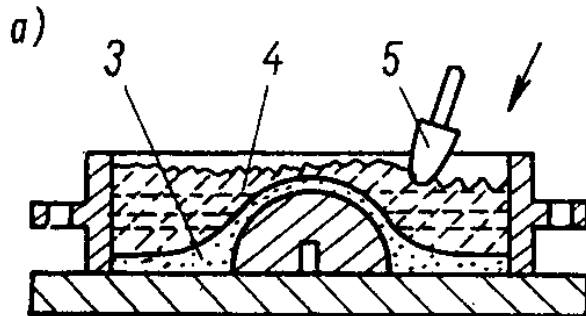
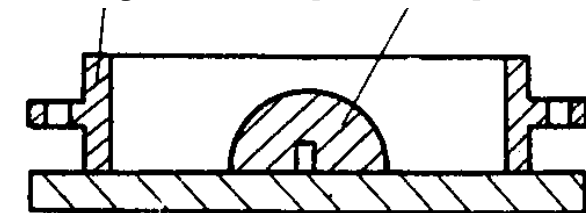


Výroba horní poloviny formy

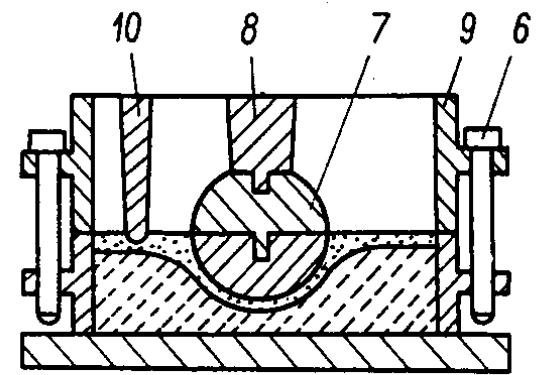


PODROBNÝ POSTUP VÝROBY SLÉVÁRENSKÉ FORMY

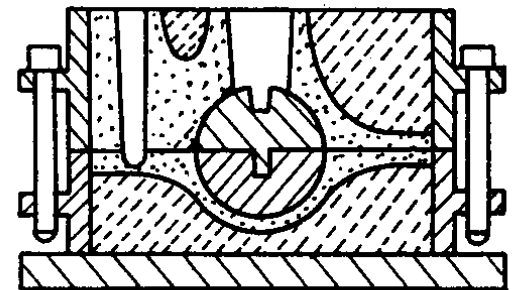
Výroba spodní poloviny formy



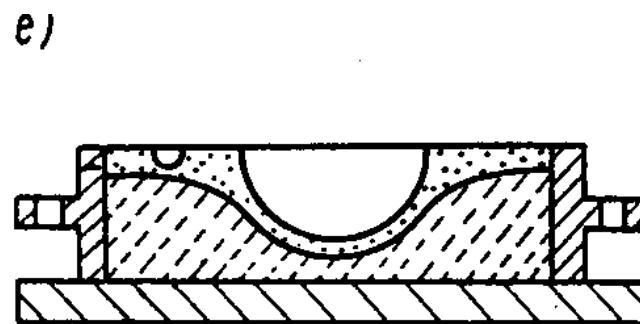
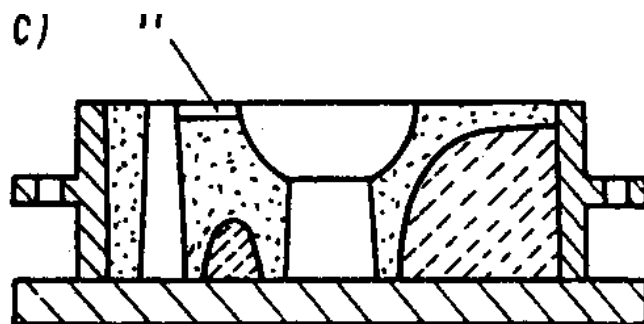
Výroba horní poloviny formy



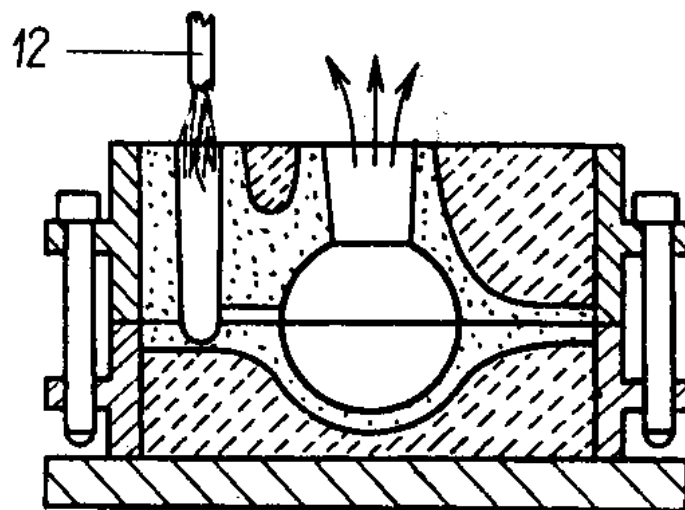
d)



e)



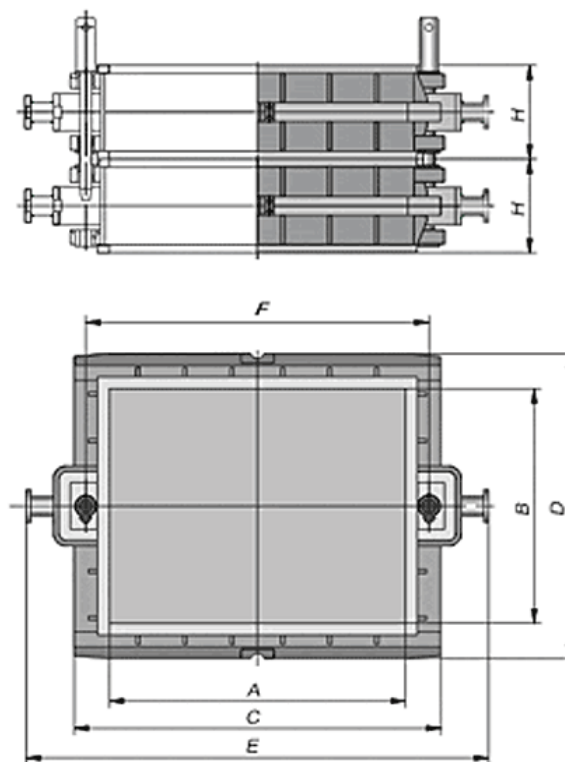
Rozložení formy a vyjmutí modelu



odlévání

FORMOVACÍ RÁMY

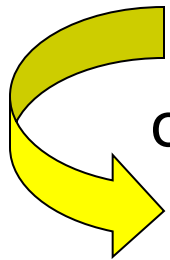
Formovací rám tvoří pevný plášť, ve kterém se formovací směs pýchováním zpevňuje a zhutňuje



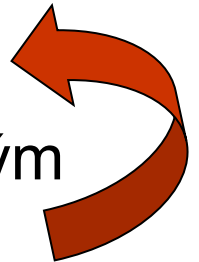
Zestaw Skrzyń Formierskich
Z S F

Způsoby zhušťování formovací směsi

Připravená formovací směs se při výrobě forem/jader zhušťuje pro dosažení požadované pevnosti



odolnost proti metalostatickým a metalodynamickým účinkům tekutého kovu.



Zároveň musí umožňovat dobrou propustnost formy pro plyny a páry





Způsoby zhušťování formovací směsi

ruční přechování,
střásání,
lisování,
metání,
foukání nebo vstřelování,
Impulzivní formování

výroba bezrámových forem metodou DISMATIC

Ruční pěchování



Pneumatická pěchovačka

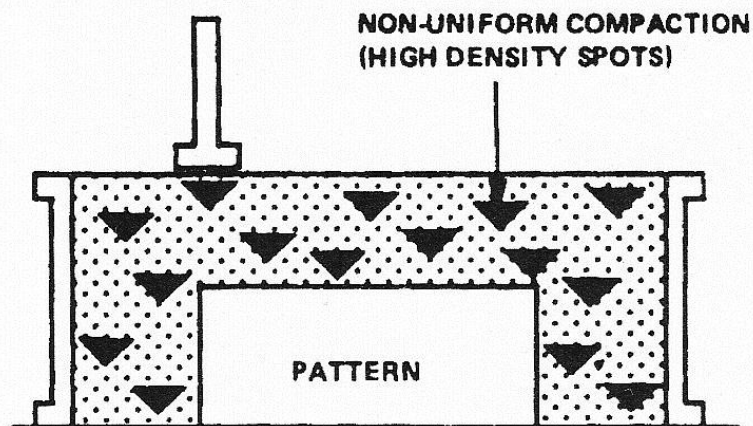


Ruční pěchovačka



Nerovnoměrný stupeň upěchování

(a) HAND RAMMED



STROJNÍ FORMOVÁNÍ

Strojní formování je velmi rozšířené při sériové výrobě odlitků. Převážná část namáhavé práce je vykonávána strojem, takže je možné dosáhnout většího výkonu při menší kvalifikaci obsluhujících. Formy jsou pevnější, přesnější a stejnoměrněji upěchované.

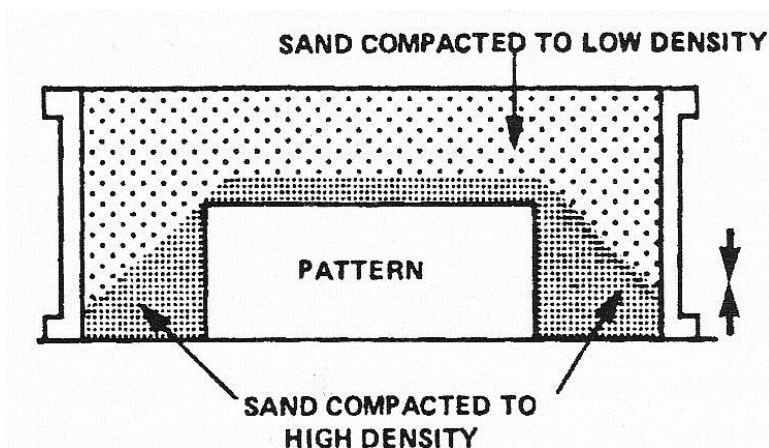
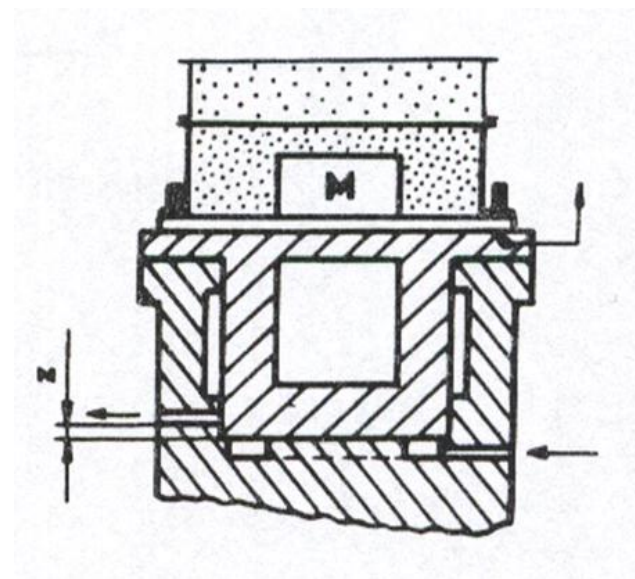
- **Střásací stroje.**
- **Lisovací stroje (s rovnou lisovací deskou nebo dělenou lisovací hlavou).**
- **Stroje se střásáním a dolisováním.**
- **Stroje pro impulsní formování (formování výbuchem plynu nebo impulsem vzduchu). V současnosti nejčastěji používaný způsob zhušťování forem na automatizovaných linkách)**
- **Foukací a vstřelovací stroje.**

Výroba forem střásáním

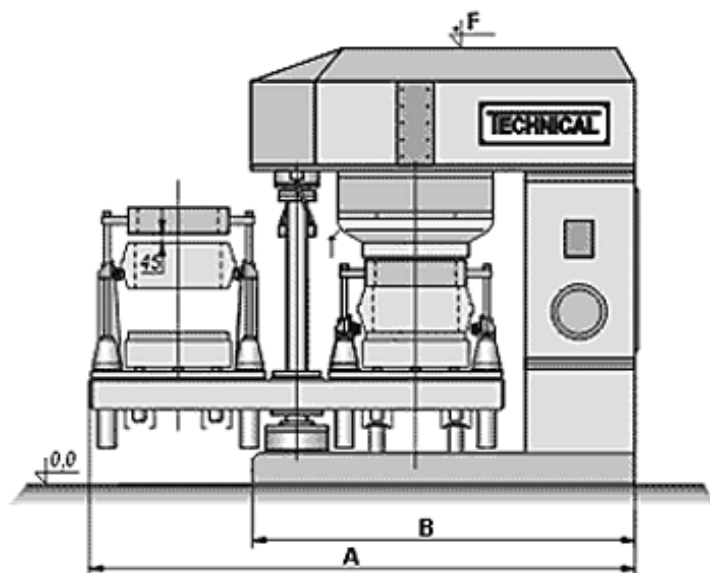
Po naplnění rámu formovací směsí je uveden stroj do chodu. Stůl je pneumaticky zdvihán) a po dekompresi pracovního válce znovu padá do spodní polohy. Tento cyklus se periodicky opakuje. Ke zhuštění je využíváno kinetické energie padající formovací směsi. Operace střásání je doprovázena velkou hlučností.

Největší zhuštění formovací směsí při střásání je u modelové desky, nejmenší na povrchu formy

Schéma střešacího stroje



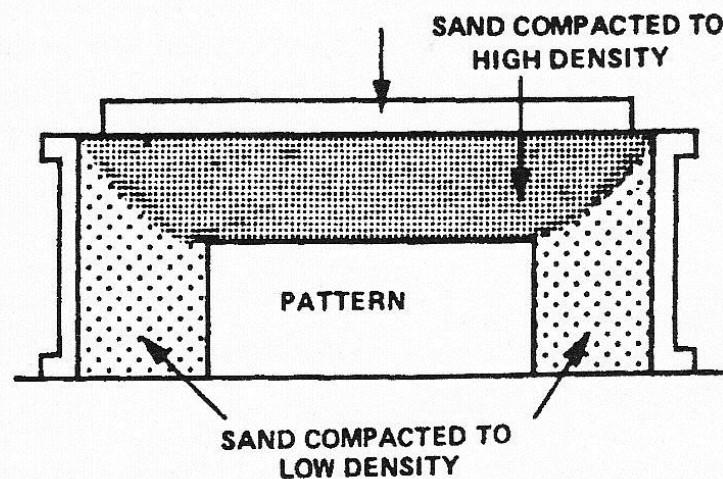
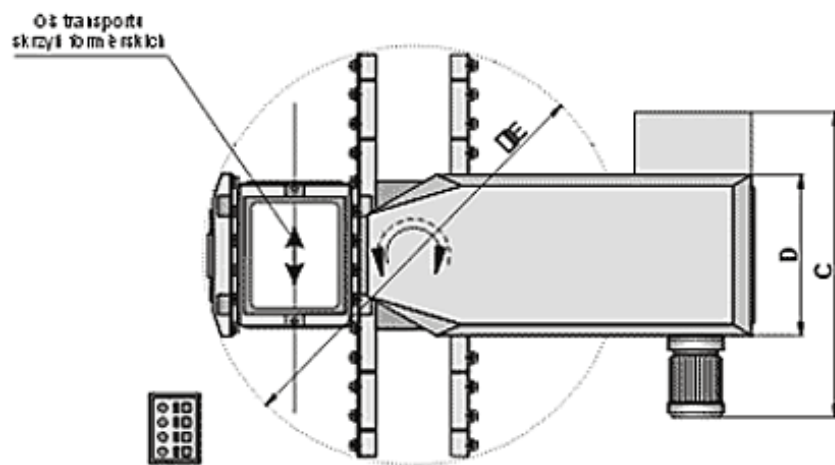
Lisovací formovací stroj



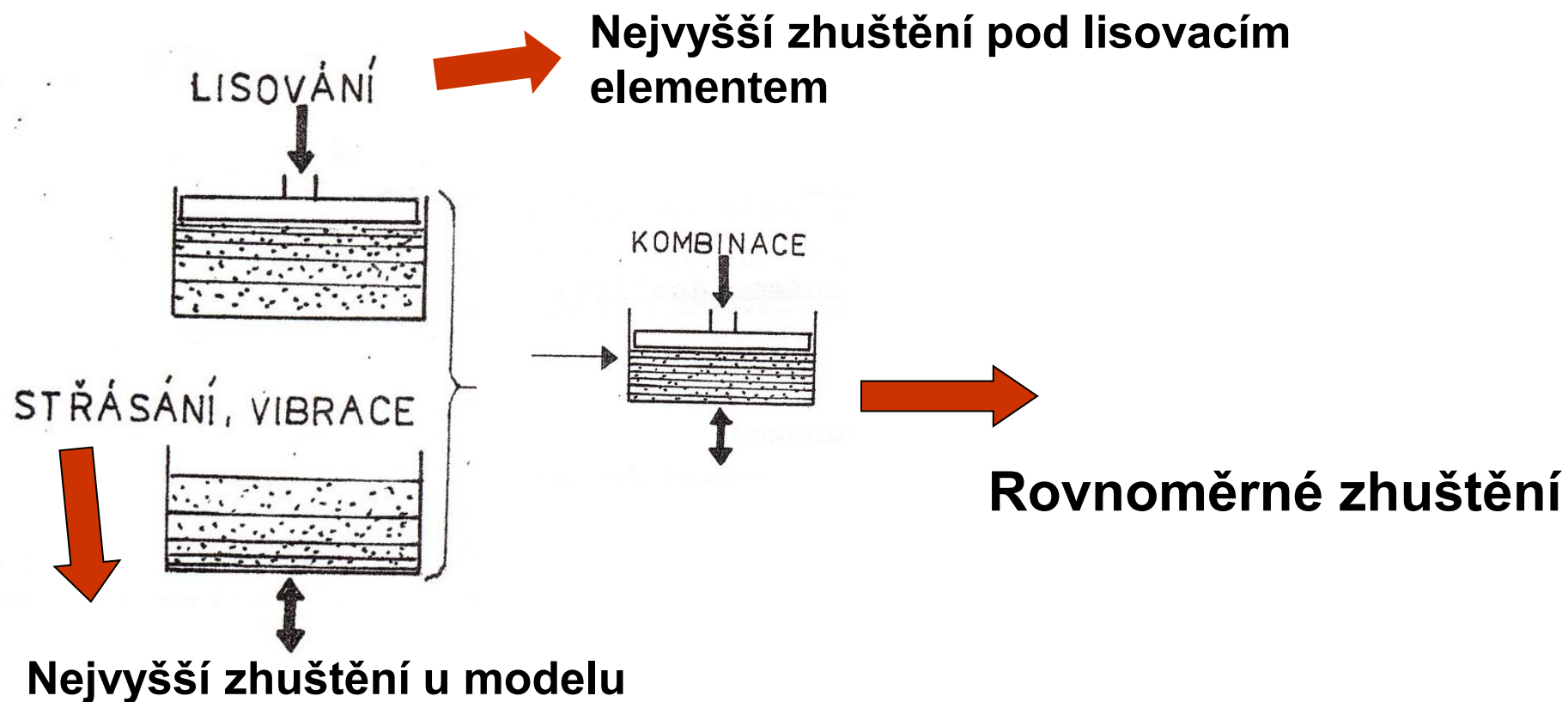
Tlak až 2,0MPa
nehlučný chod

Stupeň zhuštění nerovnoměrný

Nejvyšší pod lisovacím
elementem
a nejvyšších místech modelu

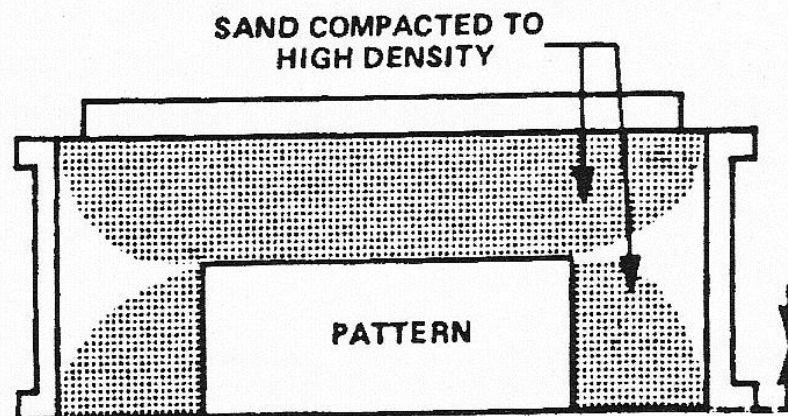


Kombinace střešání a lisování





Střásací stroj s dolisováním



Rovnoměrné zhuštění

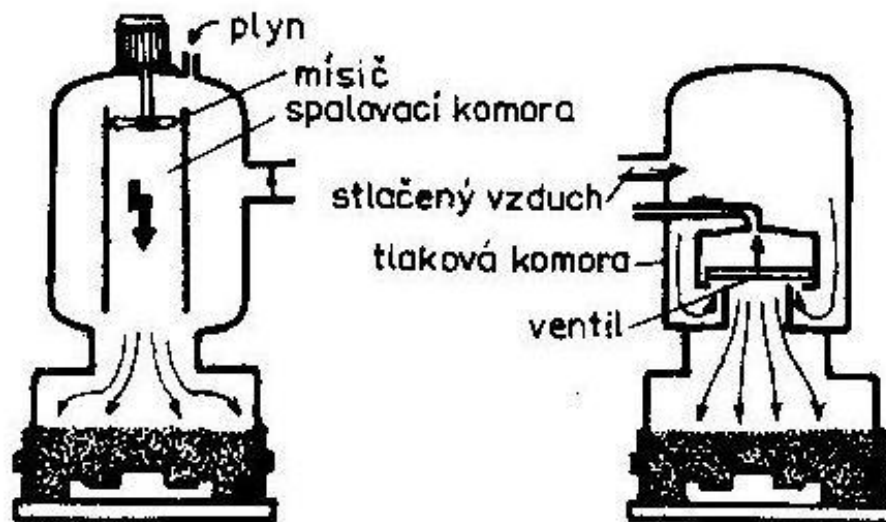
Impulzní formování

Ke zhuštění směsi je využívána expanze plynů, tlaková vlna se vytvoří:

- Zážehem směsi hořlavého plynu se vzduchem v komoře nad formovacím rámem
- Expanzí stlačeného vzduchu v komoře nad formovacím rámem, kam je přiveden velmi rychlým otevřením ventilu

Nejvyšší zhuštění u modelu

Kombinace s dolisováním





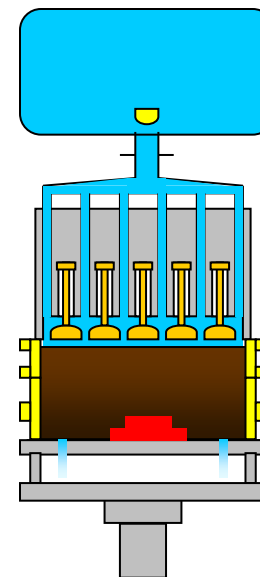
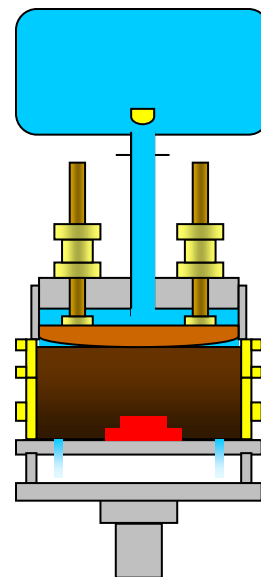
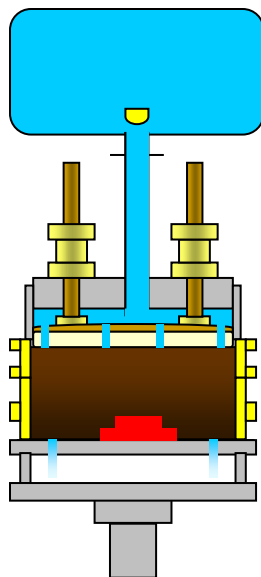
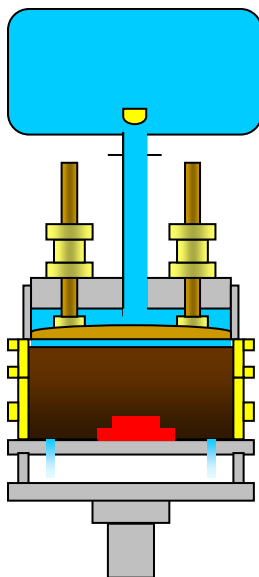
Rovná dřevěná deska

Elast. lisovací deska

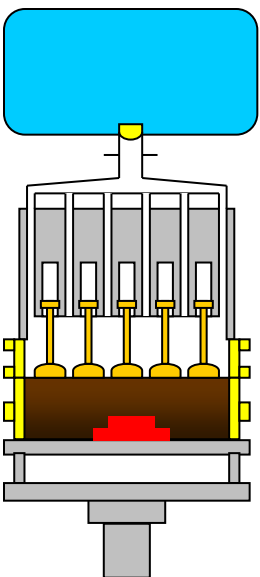
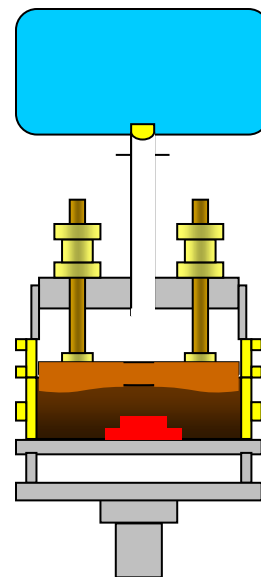
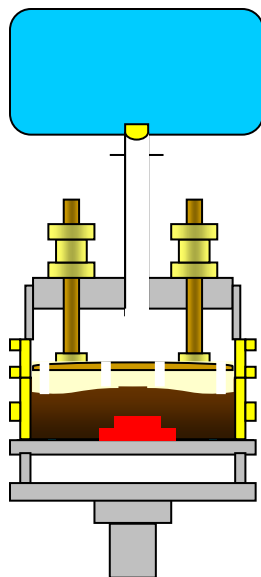
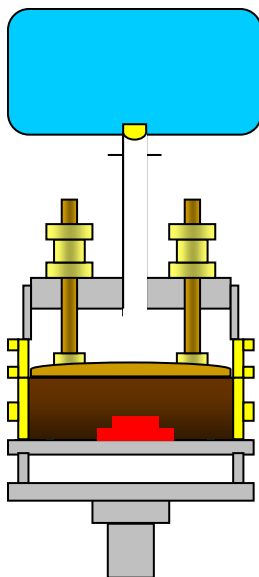
Vodní polštář

Dělená lisovací hlava

Proud
vzduchu

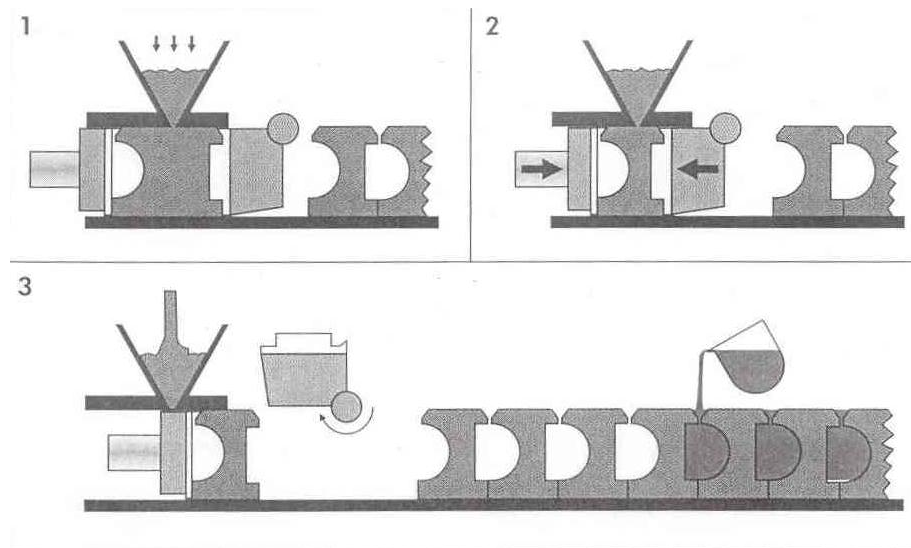


Dolisování



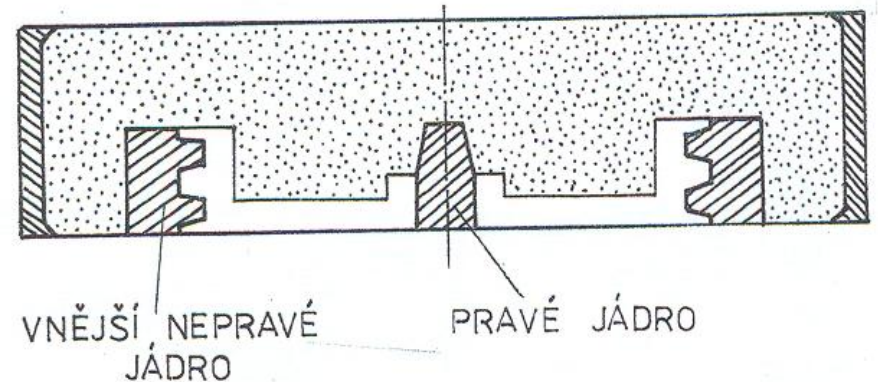
Výroba odlitků do bezrámových forem (metoda Disamatic)

Patent firma DISA)



Bentonitová směs se vstřeluje do kovového jaderníku s vertikálním dělením, jehož jednu stěnu tvoří líc formy předcházejícího odlitku a druhá stěna je součástí pístu, který provede dolisování poloviny bezrámové formy („buchty) a její vysunutí z lisovací hlavy a zatlačení k dalším poloformám,

Způsoby výroby jader



Jádro tvoří vnitřní dutinu odlitku

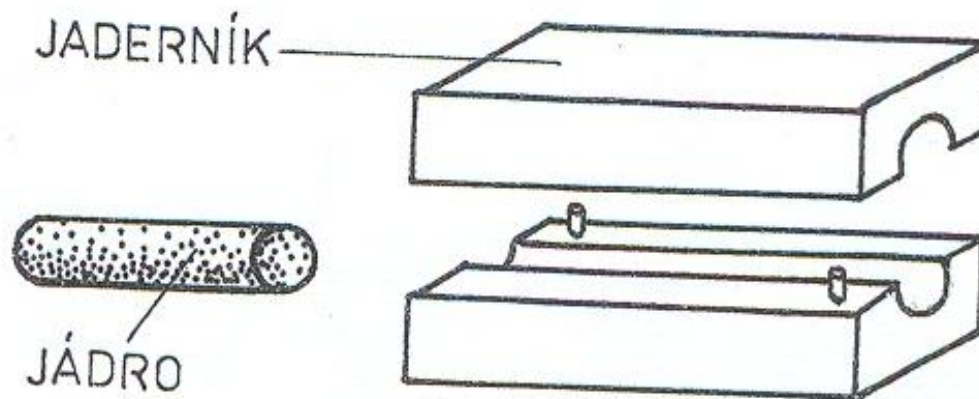
– **pravé jádro**

Nebo vnější tvar odlitku – **nepravé jádro**

Jádro je nejvíce namáhanou součástí formy, proto jsou na

Jádra se vyrábí podobně jako formy strojově, u kusové a malosériové výroby ručně.

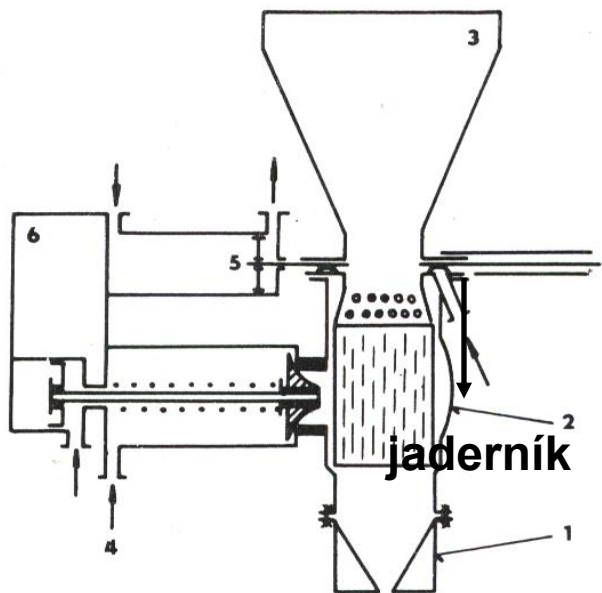
Výroba jader se provádí většinou do jaderníků. Jaderníky jsou obvykle ze stejného materiálu jako model formy, protože se předpokládá stejné opotřebení.



Pro výrobu jednoduchých jader jsou jaderníky obvykle dvoudílné, zajištěné kolíčky proti posunutí a sevřené svorkou. Složený jaderník se postaví na desku a shora vyplní jádrovou směsí.

Strojní výroba jader využívá lisování, vibrace, střásání, foukání, vstřelování, nebo kombinaci těchto způsobů.

Výroba jader vstřelováním



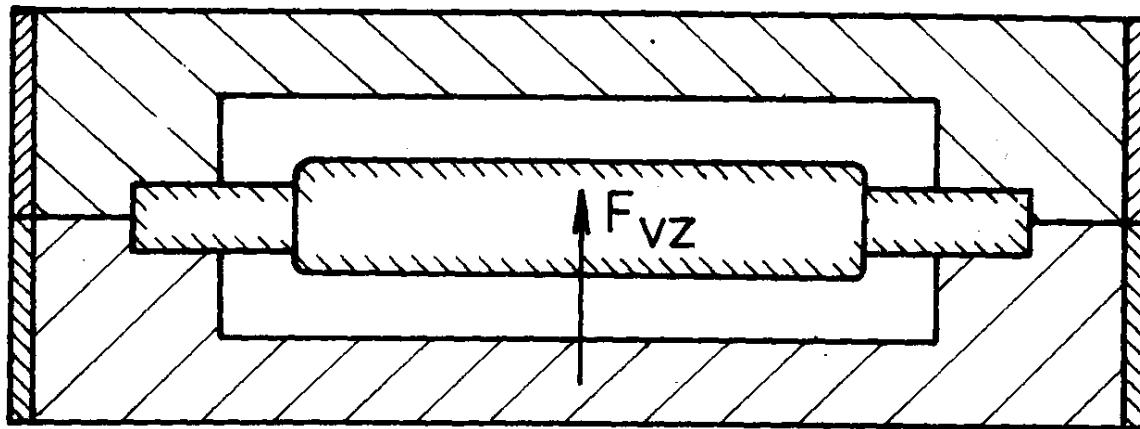
Pro vstřelování je charakteristické prudké plnění jaderníku formovací směsí.

Potřebné zrychlení se směsi udělí ve vstřelovací komoře expanzí tlakového vzduchu.

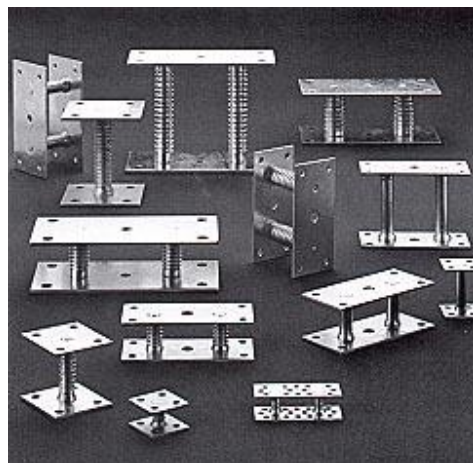
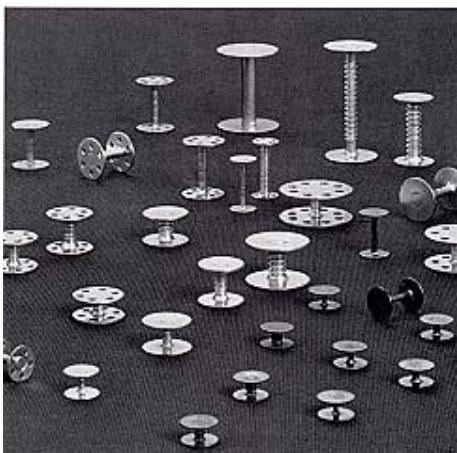
Směs je pak do jaderníku dopravena vstřelovacími otvory.

Použití jader a jejich úprava

- K upevnění jádra ve formě slouží známky. Jádra se ukládají do známkových loží formy.
- Některé dutiny neumožňují zajistit dostatečný počet známek a tak se jádra fixují pomocí kovových podpěrek a vymezovacích elementů.
- U velkých a těžkých jader se do nich při jejich výrobě vkládají kovové výztuhy.



- Rozkladem pojiv a vypařováním vlhkosti vznikají při lití v jádře plyny a páry, které se soustřeďují ve středu jádra a musí být vyvedeny ven mimo formu. K tomu slouží průduchy a odvětrávací kanálky.
- V některých případech se jádra skládají z částí lepením.
- Konečnou operací výroby jader bývá jejich nátěr.

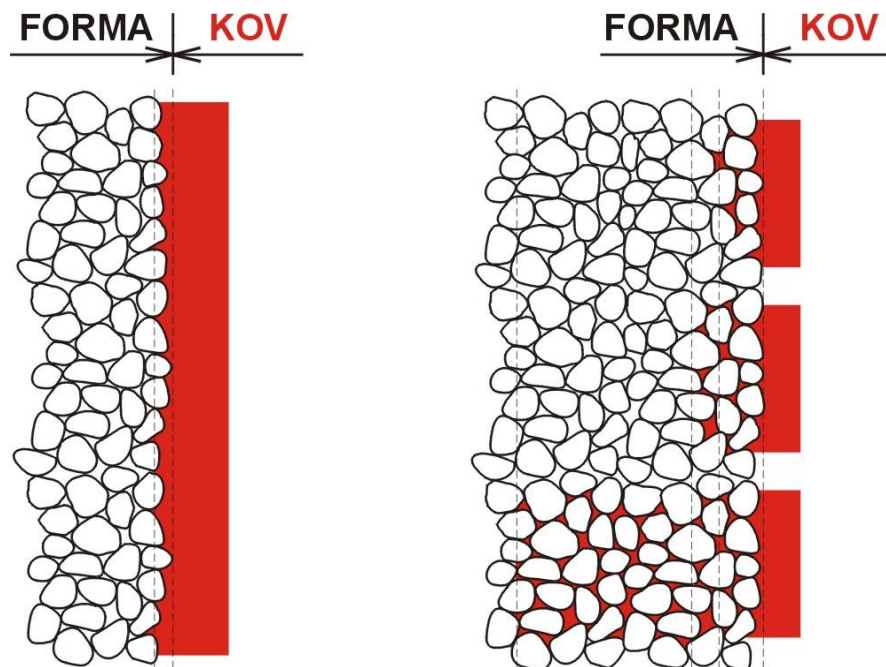


Příklady jádrových podpěrek

<http://www.ks-schmitt.de>

Nátěry forem a jader

- **Nátěry** jsou vodné nebo organické suspenze z vysoce žárovzdorných materiálů a dalších přísad, nanášejí se na povrch formy nebo jádra: poléváním, máčením, nástřikem nebo natíráním štětcem.
- Účelem je chránit formu před mechanickými a tepelnými účinky roztaveného kovu

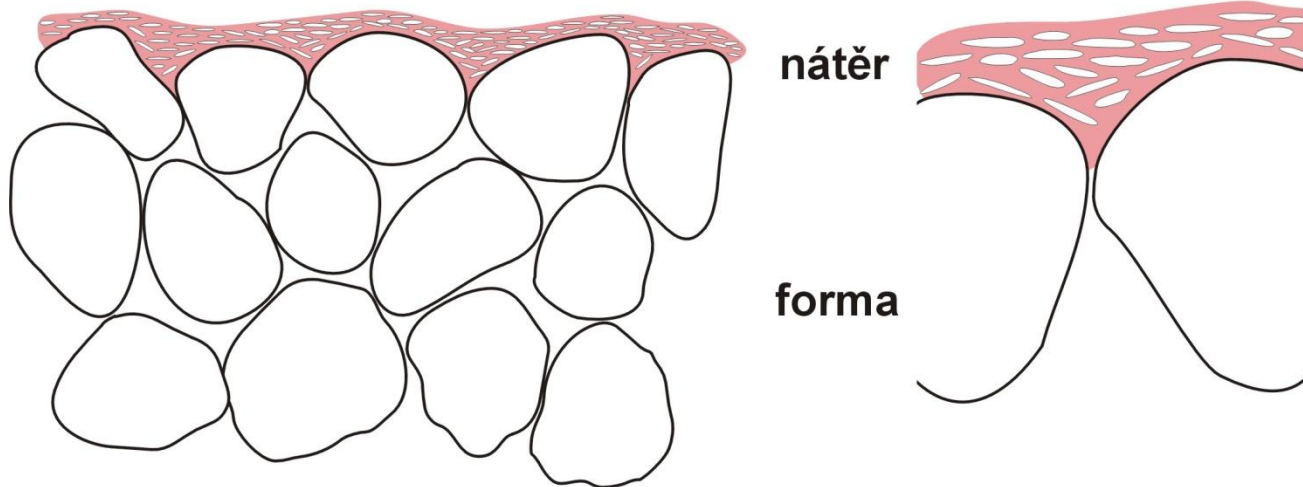


Složení nátěrů

■ Plnivo

Nejčastěji používaná plniva k přípravě nátěrů pro ocelové odlitky bývají korund, křemen, zirkon, magnezit, chrommagnezit, kalcinovaný oxid hlinitý, mullit, chromit a další.

Pro litinu a neželezné kovy se jako plnivo používá grafit, C – látky, mastek, křída a jiné.





Pojivo

- látky, které po vysušení nebo vypálení tmelí plnivo.
- Pojivo má zabránit otěru a zadrobení při dopravě a skládání forem a zároveň má i během lití bránit erozi formy a jádra proudem kovu.
- K nejvíce používaným patří pojiva organického původu jako např. dextrin, sulfitový výluh, melasa, OB-tmel, umělé pryskyřice a další. Dále jsou často používány jíly, vodní sklo, cementy, strusky a jiné.
- nátěr má obsahovat minimální obsah pojiva s maximálním pojivým účinkem ve značném intervalu teplot (100 až 650 °C).



■ **Nosná kapalina**

nátěry **vodné** a **bezvodé**

K nejpoužívanějším patří **vodné nátěry** - jednoduchost, lepší hygienické podmínky, bezpečnost a nenáročnost při přípravě, ale musí se sušit.

bezvodé nátěry výhodné u syrových forem a jader (nesmí zvyšovat vlhkost líce). Používají se samovysychavá organická ředidla (alkoholy, aceton, benzín) nebo zápalné (cyklohexan, metanol).

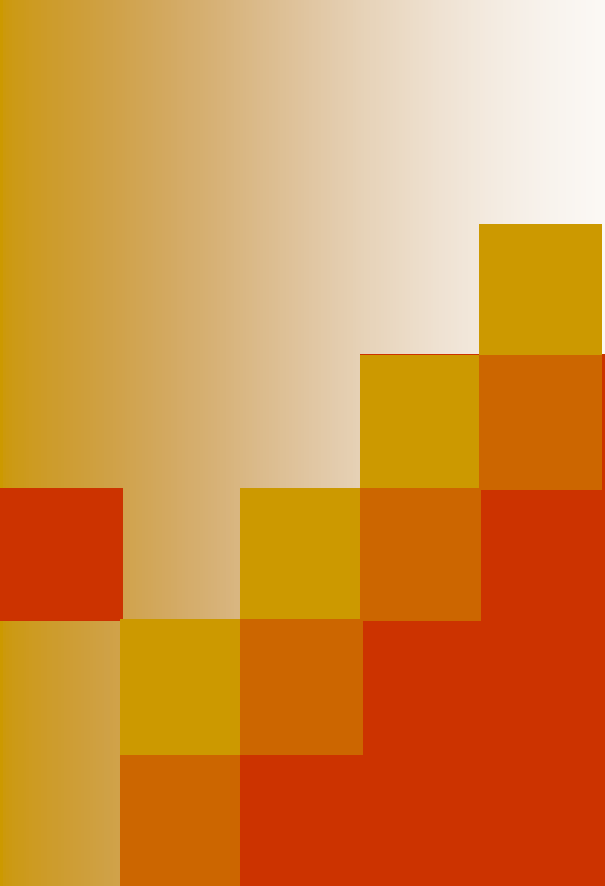
- **Přísady** - k zahuštění nátěru na konzistenci k natírání se přidává natrifikovaný bentonit , nebo organické rosolující látky. Pro lepší přilnavost na povrchu jádra se přidávají detergenty.





KONTROLNÍ OTÁZKY

1. K čemu slouží model?
2. Jaké jsou v současnosti nejpoužívanější technologie pro strojní výrobu jednorázových forem?
3. Co je to jádro?
4. Jaký účel má nepravé jádro
5. Jaká je funkce žáruvzdorného nátěru a jakému typu vad odlitku má zabránit?
6. Jaké jsou výhody a nevýhody vodných a lihových nátěrů?



SPECIÁLNÍ TECHNOLOGIE

PŘESNÉ LITÍ S VYTAVITELNÝM MODELEM



2 500 př.n.l.
Dancing girl of
Mohenjodaro
Metoda
ztraceného vosku

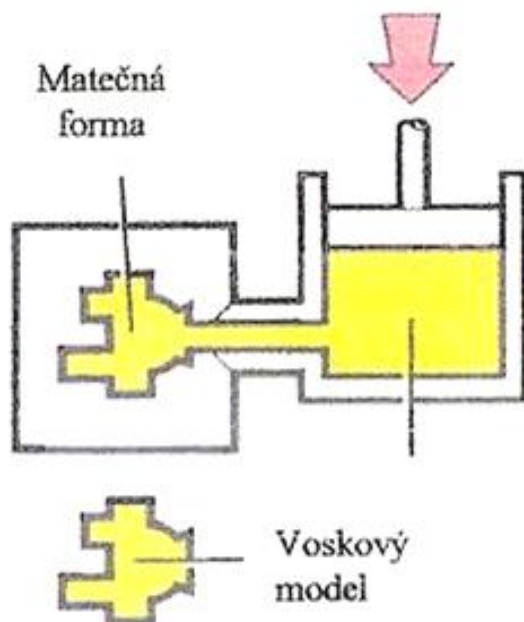
- Základem technologie je historicky stará metoda ztraceného vosku.
- s použitím nových materiálů získala metoda ve dvacátém století dnešní podobu tzv. přesného lití, která umožňuje odlévat i složité díly bez obrábění na čistý tvar.

Přesnost vyrobených odlitků je $\pm 0.015\text{mm}$



- Ze snadno tavitelného materiálu (vosk) se do kovové formy vstříkne nebo odlije přesný tvar odlitku s přídavkem na smrštění .

A) Výroba modelu



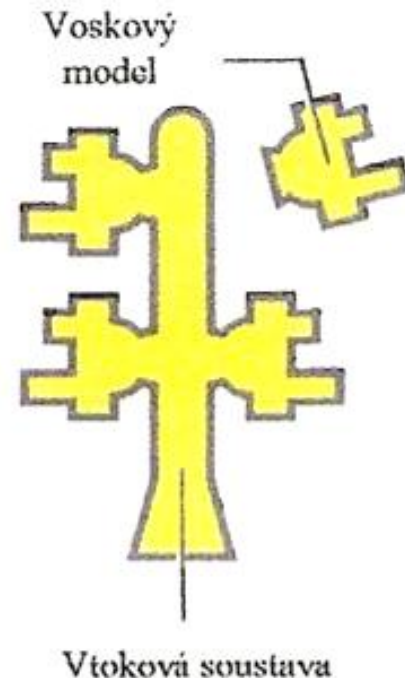
<http://www.agro-turany.cz/index.php>



■ K takto vzniklému modelu se připojí vtoková soustava a nálitky. Obvykle se používá společný licí kůl a společný nálitek, čímž vznikne „licí stromeček“.

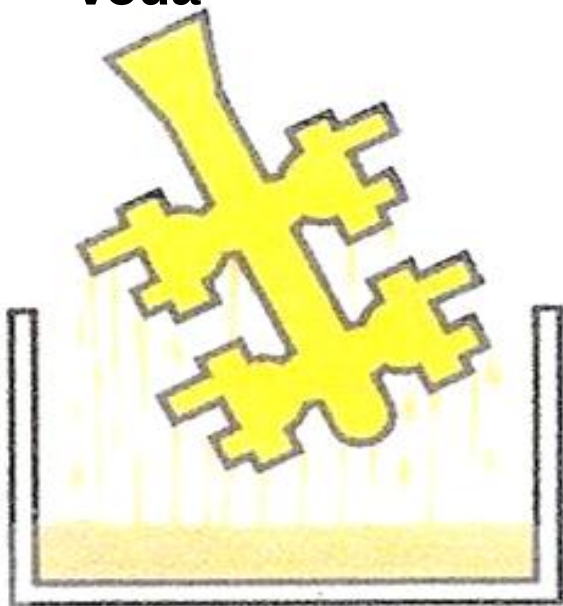


B) Sestavování stromečků



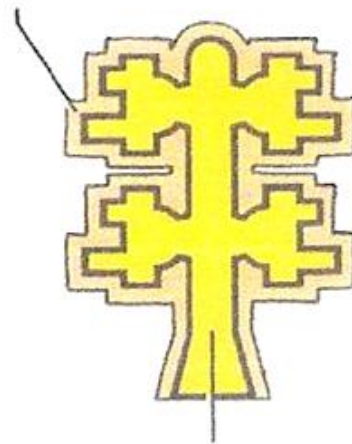
Skořepina je vyráběna namáčením „stroměčku“ do keramické břečky. Stroměček namočený do keramické břečky se po odkapání posype ostřivem vhodné zrnitosti. Proces se opakuje cca 5 x.

Složení: křemenná moučka/sillimanit/zirkon, etylsilikát, ethanol, voda



E) Dokončená skořepina

Keramická skořepina



- **Vytavování vosku ze skořepiny probíhá v autoklávu, kde se tlakem přehřáté páry odstraní vosková hmota ze skořepin.**

F) Vytavení vosku



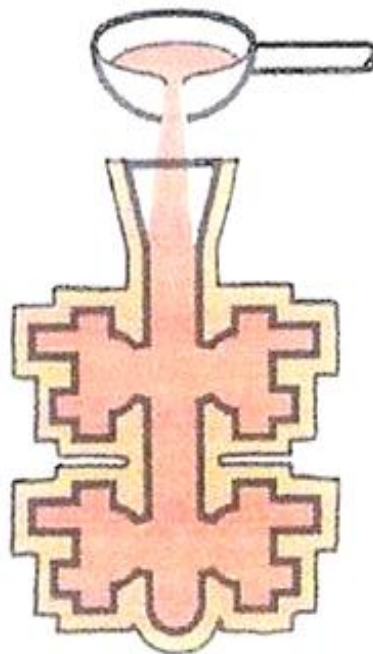
Žíhání

Cílem žíhání je odstranění zbytků nežádoucích látek, jako je voda a vosk z keramické skořepiny a dosažení její požadované mechanické pevnosti.



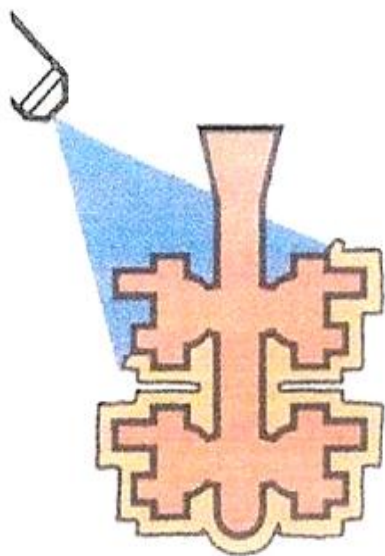
Do vyžíhaných skořepin je odléván roztavený kov

G) Lití kovu

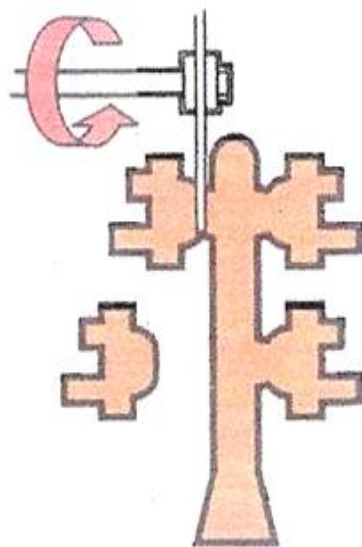


Vychladlá skořepina se ručně nebo mechanicky zbaví keramické formovací směsi. Stromečky jsou následně otryskány a jednotlivé odlitky jsou odděleny od vtokového kůlu.

H) Odstranění skořepiny



CH) Odřezání odlitků



Příklady použití

– lékařství kloubní implantáty, dentální implantáty, lékařské nástroje, odlitky komponentů proudových motorů - lopatky, rozváděcí kola a statorové díly, odlitky pro jadernou techniku, zbrojní průmysl, automobilový průmysl...

Vyrobí lze odlitky o hmotnosti několika gramů do několika kilogramů, s vysokou přesností (0,03 až $\pm 0,01\text{mm}$)

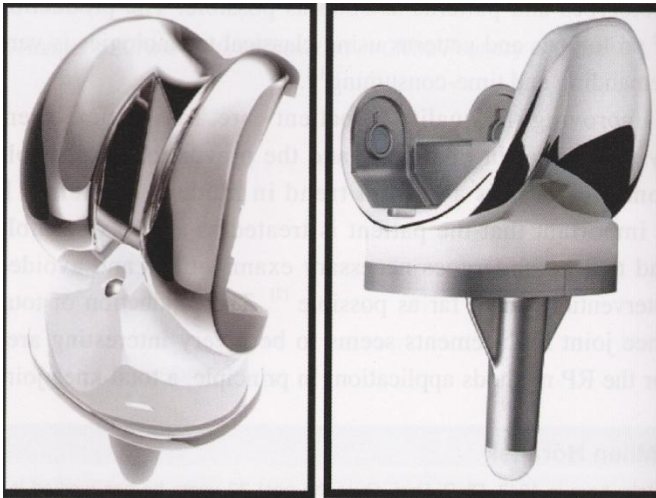


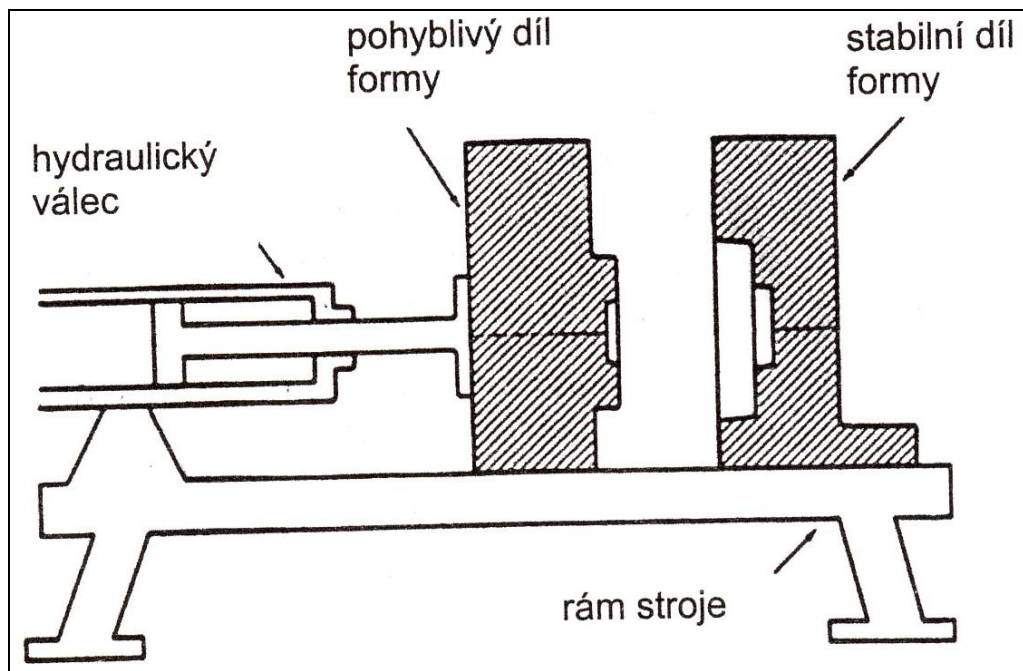
Fig. 3: Examples of joint replacement configurations



KOVOVÉ FORMY (KOKILY)

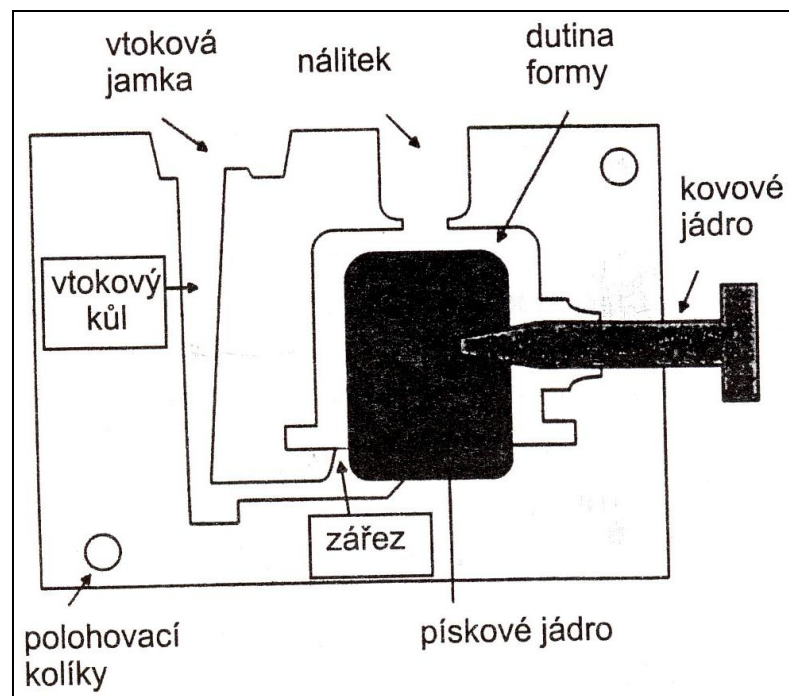
- Při odlévání do trvalých forem odpadá výroba modelu a forma se vyrábí přímo z kovového materiálu, takže tvoří negativ a odlitek je pozitiv zmenšený o smrštění.
- Vysoké výrobní náklady
- Velkosériová, hromadná výroba odlitků (automobilový průmysl)
- Životnost forem až 10000 lití

Gravitační lití do kovových forem



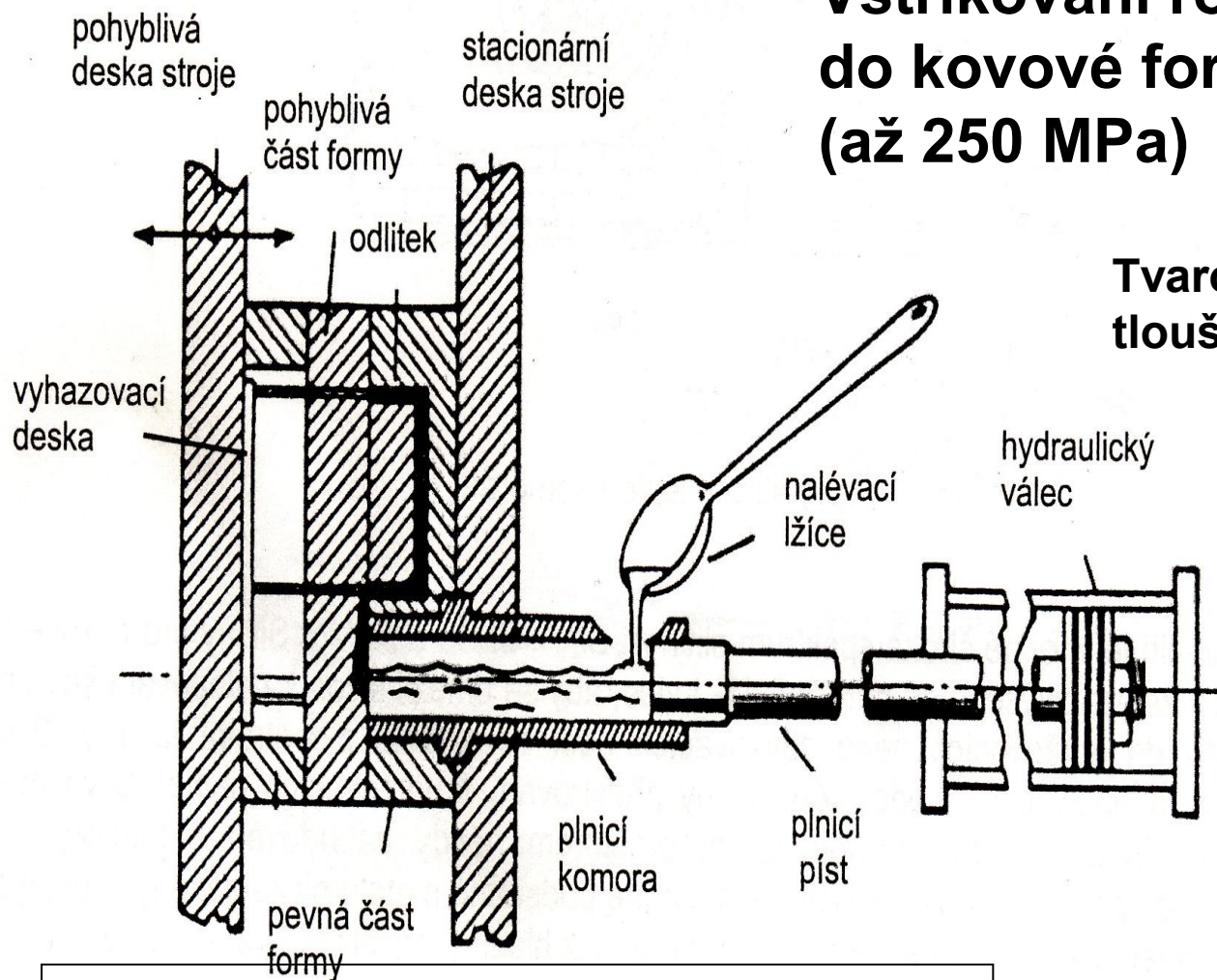
Kovová forma s jádrem
pohled do dělicí roviny

Kokilový stroj s
dvoudílnou formou



Tlakové lití

**Vstřikování roztavené slitiny
do kovové formy pod tlakem
(až 250 MPa)**

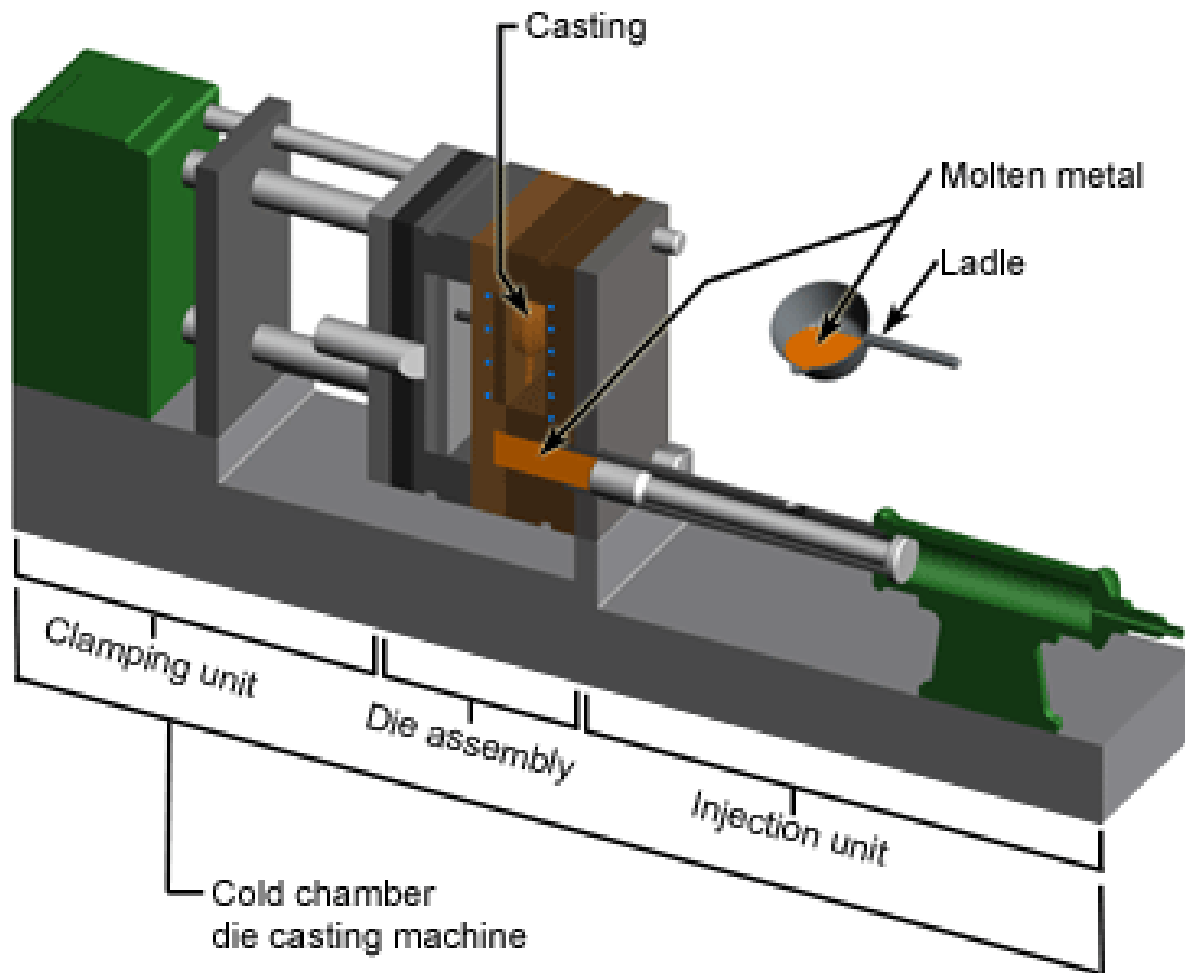


**Tvarově složité odlitky,
tloušťka stěny až 1 mm**

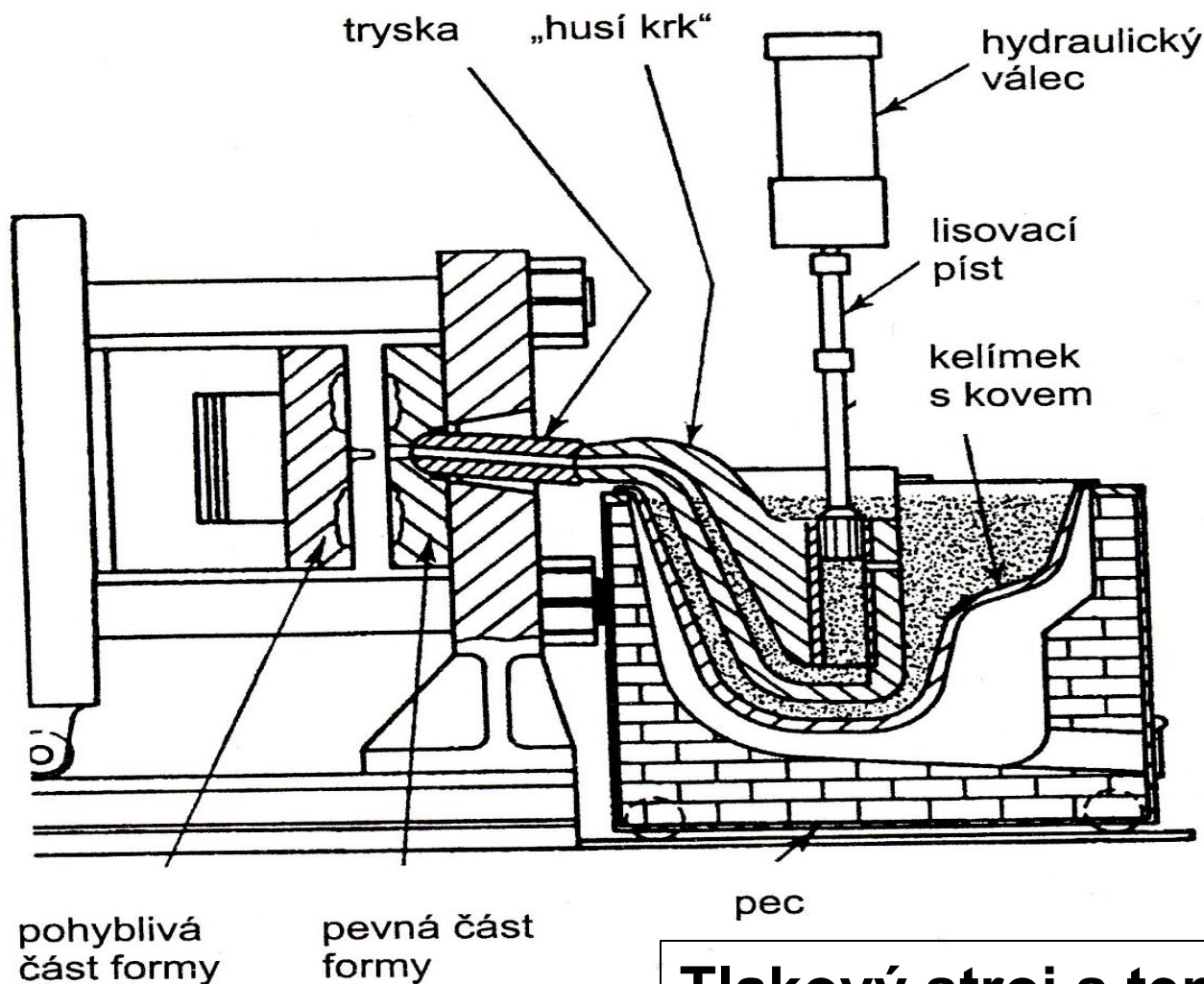
Tlakový stroj se studenou komorou

Slitiny Al

Tlakový stroj se studenou komorou



Tlakové lití



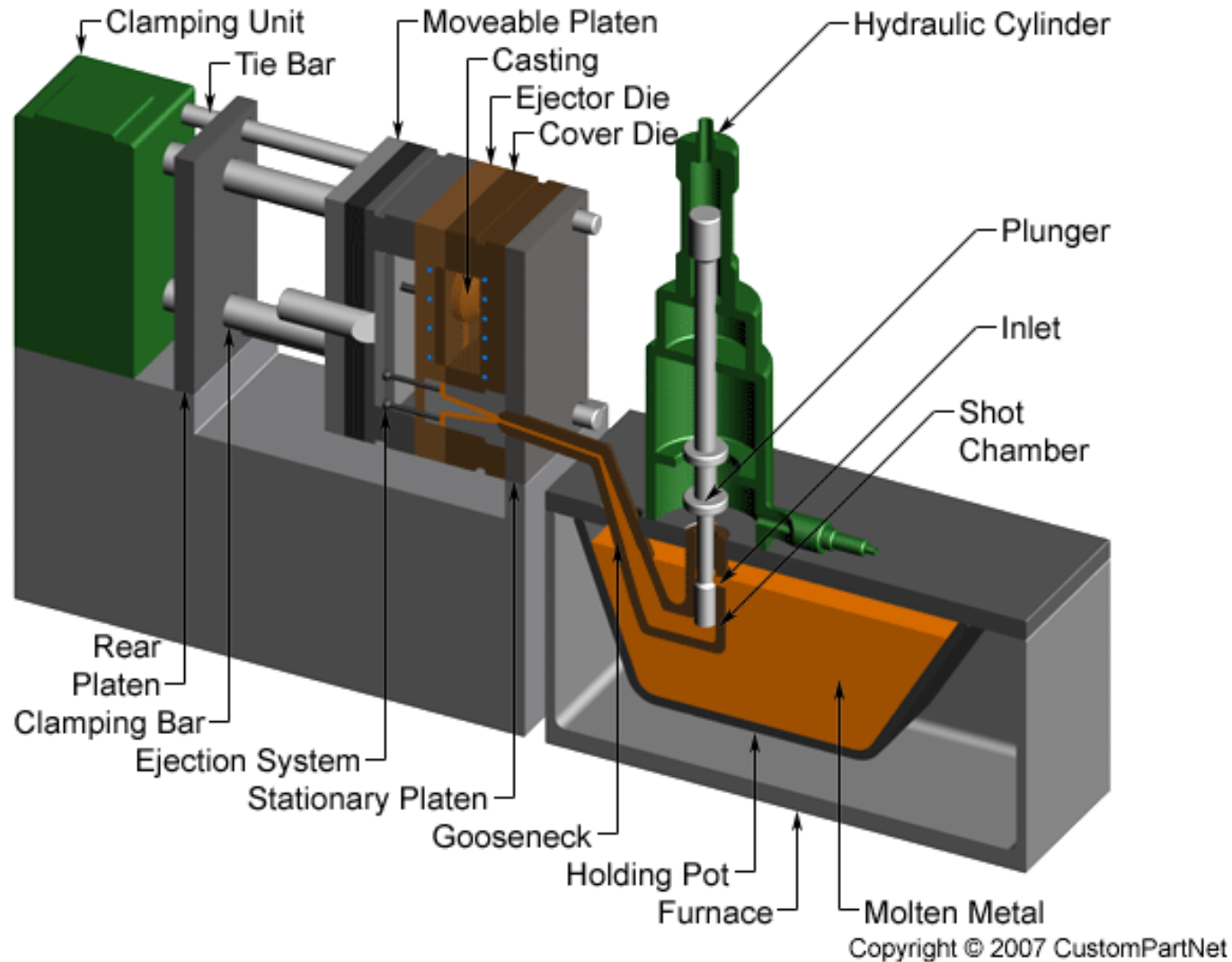
Plnicí komora je umístěna pod hladinou kovu v udržovací peci

Nedochází k oxidaci kovu

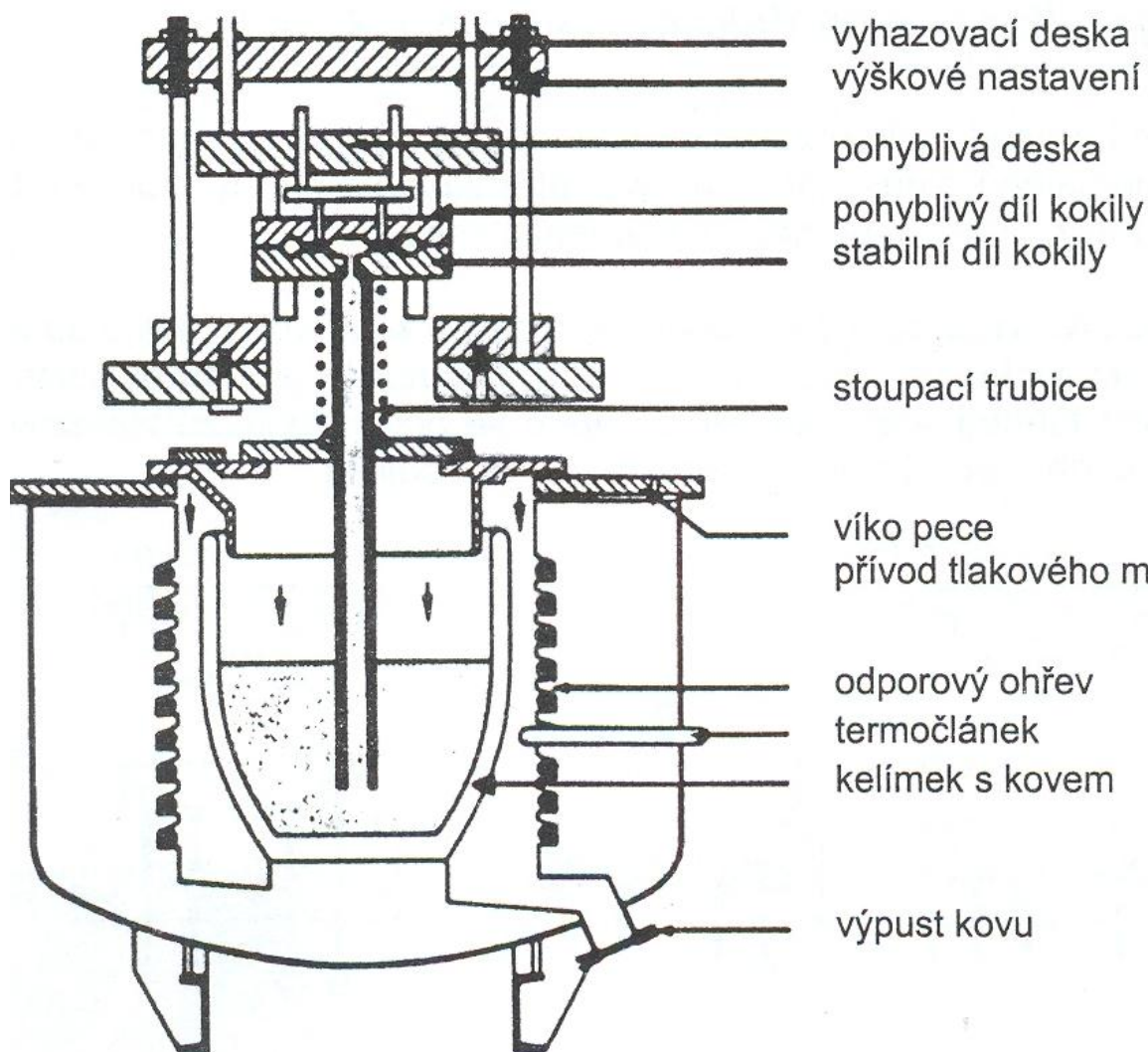
Slitiny Mg,Zn

Tlakový stroj s teplou komorou

Tlakový stroj s teplou komorou



Nízkotlaké lití



**Tlakotěsná udržovací pec
stoupací trubice propojuje
formu s taveninou v
kelímku**

**Zvýšení tlaku na hladinu
Kov je vytlačován do
formy**

**Přetlak udržován po celou
dobu tuhnutí odlitku**

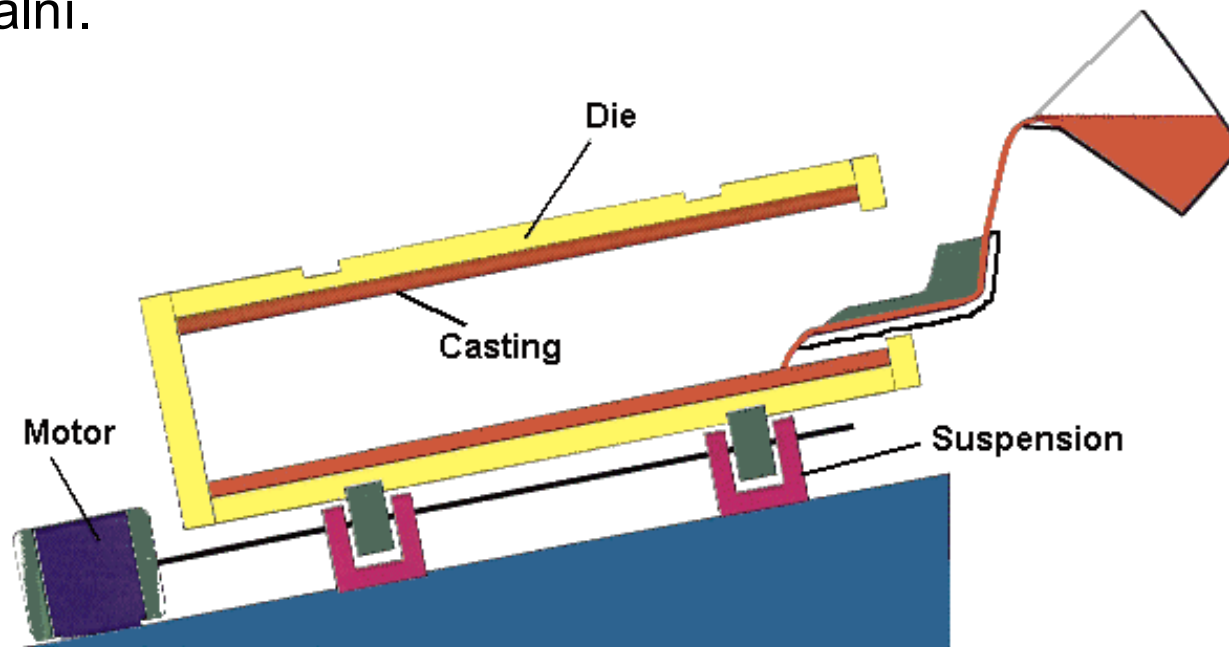
**Vysoká vnitřní homogenita
odlitků**



Odstředivé lití

Při odstředivém lití se tavenina odlévá do rotující formy (kovové nebo keramické) a tvar odlitku se vytváří vlivem odstředivé síly. Rychlost rotace a rychlost lití závisí na typu odlévané slitiny a velikosti odlitku.

Osa rotace může být horizontální (s možností naklonění) nebo vertikální.



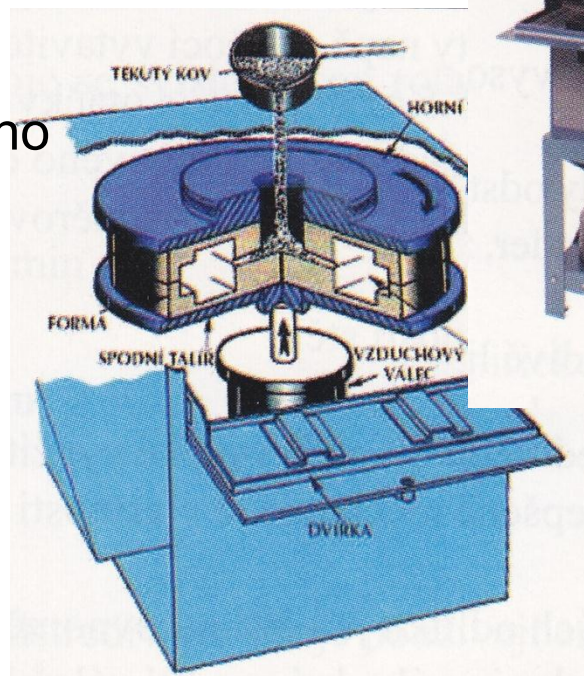
- Odstředivé lití pravé (osa rotace je shodná s geometrickou osou odlitku)
- Odstředivé lití nepravé (osa rotace je odlišná od geometrické osy)

Odstředivé lití pravé je vhodné pro výrobu rotačních odlitků s dutinou – vodovodní trubky, vložky válců spalovacích motorů, ložiska apod.



Příklad stroje pro vertikální odstředivé lití
drobných odlitků ze slitin ZN a Sn
technologií Tekcast

(forma je zhotovena ze speciálního
silikonu)



Výhody odstředivého lití

Vysoké využití kovu (nad 90%, vysoká hutnost, zlepšení
mechanických vlastností odlitků)



KONTROLNÍ OTÁZKY

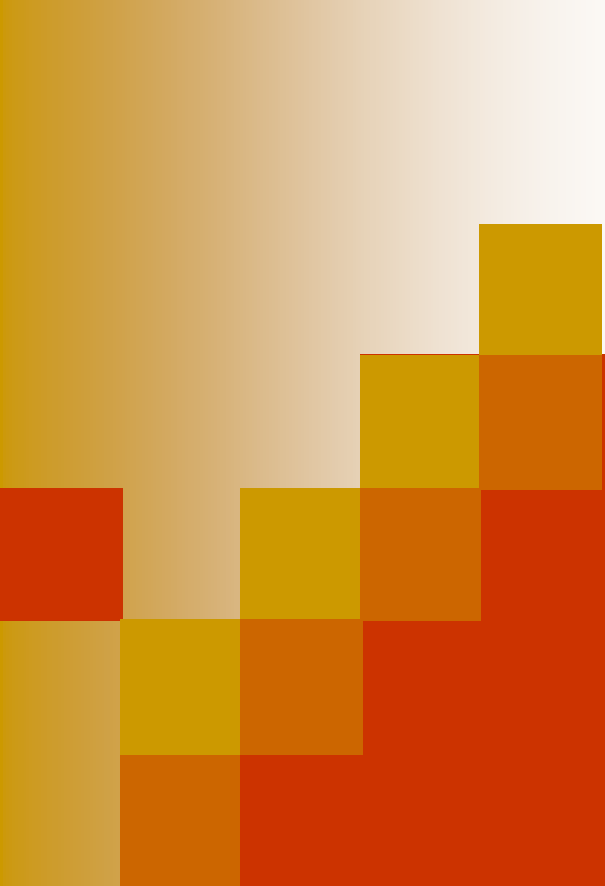
1. V čem se liší technologie výroby odlitků na spalitelný a vytavitelný model
2. Jaké jsou výhody a nevýhody odlévání pod vysokým tlakem
3. Co znamená pojem nepravé odstředivé lití a pro jaké typy odlitků se používá



DOPORUČENÁ LITERATURA

ROUČKA, J.: Metalurgie neželezných slitin, akademické nakladatelství CERM, Brno, 2004, 148s.

MICHNA, Š.- NOVÁ, I.. Technologie a zpracování kovových materiálů, Adin, s.r.o. Prešov 2008, ISBN 978-80-89244-38-6



Proudění kovu a vtoková soustava

**Statické a dynamické působení kovu
na formu
Plyny v kovech**



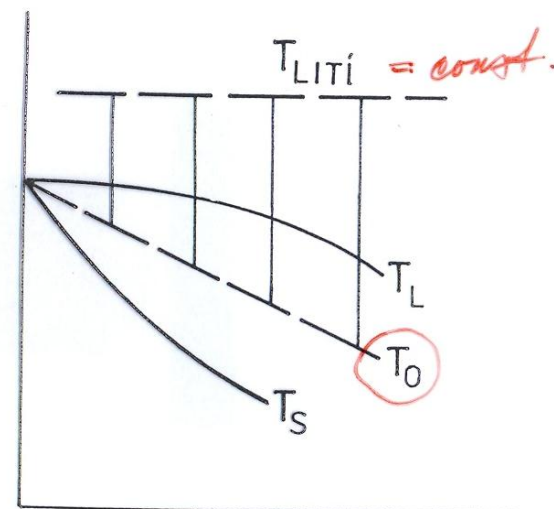
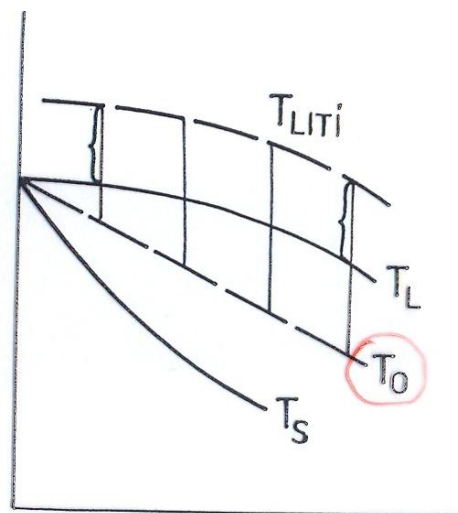
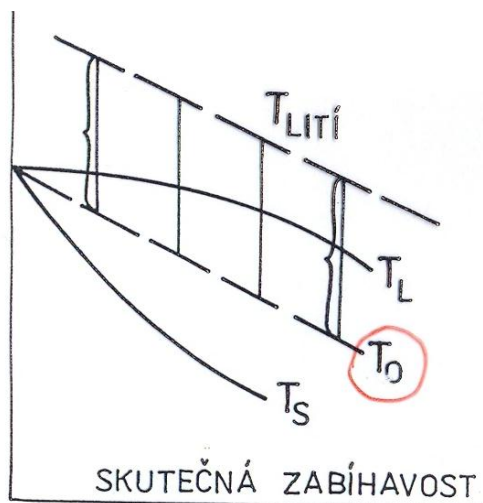
ZABÍHAVOST KOVŮ A SLITIN

ZABÍHAVOST

schopnost roztaveného kovu vyplnit dutinu formy

slévárenská charakteristika tekutého kovu, která je ovlivňována :

- ☐ **Materiálem odlitku.**
- ☐ **Materiálem formy.**
- ☐ **Způsobem odlévání (technologie).**
- ☐ **Konstrukcí odlitku.**



SLOŽENÍ SLITINY [%]

A. STEJNÉ PŘEHŘÁTÍ NAD
TEPLOTOU NULOVÉ ZABÍHAVOSTI

B. STEJNÉ PŘEHŘÁTÍ NAD
TEPLOTOU LIKVIDU

C. PRAKTICKÁ ZABÍHAVOST
(JELÍNEK, P.)

Nulová zabíhavost eutektických slitin nastává při obsahu 30% pevné fáze,
u ocelí okolo 20% pevné fáze v tavenině

V praxi posuzujeme zabíhavost buď při stejné teplotě lití (praktická zabíhavost) nebo při stejném přehřátí nad likvidem.

1. VLIV MATERIÁLU ODLITKU

□ viskozita

klesá s rostoucí teplotou taveniny

druh, tvar a velikost vměstků (křemičitanové vměstky

nižší tavící teplota oproti tavenině, zásadité – vyšší teplota)

šedá litina (1250°C) $\eta = 2,1 \cdot 10^{-1} \text{ Pa.s}$

ocel (1550°C) $\eta = 2,6 \cdot 10^{-1} \text{ Pa.s}$

□ povrchové napětí

tekuté kovy mají povrchové napětí tím větší, čím vyšší je teplota tavení

šedá litina (3,9% C)

1300°C

1,15 N m⁻¹

ocel (0,3%C)

1520°C

1,50 Nm⁻¹

❑ **pevnost oxidických blan (kůží)**

Oxidace Fe i legujících prvků vede k tvorbě oxidických blan zvyšujících povrchové napětí a snižujících zabíhavost kovu, stejně působí i oxid hlinitý produkt desoxidace oceli

❑ **charakter krystalizace** – během plnění formy dochází k zastavení čela proudu tekutého kovu ze čtyř důvodů :

- a) vlivem zvýšení viskozity taveniny vyloučením pevné fáze,
- b) ztuhnutím proudu kovu v počátečním průřezu,
- c) vytvořením pevné vrstvy na čele proudu,
- d) protitlak plynů.

čisté kovy a eutektické slitiny které nemají interval tuhnutí mají lepší zabíhavost než slitiny, které krystalizují v intervalu tuhnutí a tvoří rozvětvené dendrity

2. VLIV MATERIÁLU FORMY

□ druh formy

Jestliže se při styku kovu s formou tvoří plyny (páry), pak tření o formu klesá (plynový polštář) a zlepšuje se zabíhavost. Ocel nebo litina lépe zabíhá do syrových forem. U neželezných kovů převažuje vliv vyššího ochlazovacího účinku, který působí proti zabíhavosti a syrová forma hůř zabíhá než sušená.

dokonale odvětraná forma – plyny a páry nesmí tvořit protitlak



□ ostřivo, přísady, pojivo

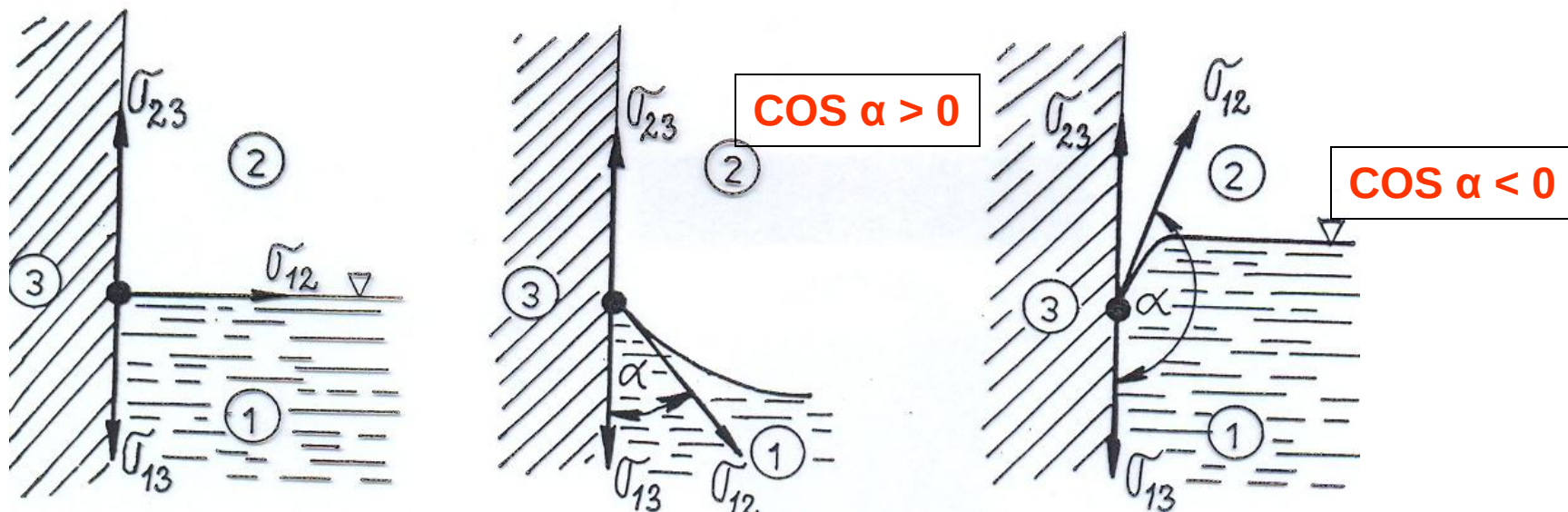
(jemnozrnější ostřivo vyšší zabíhavost)

vyšší ochlazovací účinek formy snižuje zabíhavost

□ použitý nátěr

□ teplota formy

Vliv smáčivosti a nesmáčivosti forem taveninou



Smáčivá forma usnadňuje zabíhavost kovu,
ale



podporuje penetraci kovu do mezizrnových prostorů a vznik
zapečení



3. VLIV ZPŮSOBU ODLÉVÁNÍ

4. VLIV KONSTRUKCE ODLITKU

- **teplota kovu (velikost přehřátí),**
- **rychlost lití,**
- **tlak kovu spojený se systémem plnění formy,**
- **plynový režim formy**
- **dutina formy s menšími průřezy stěn,**
- **dutina formy masivnějšího odlitku se silnějšími průřezy.**

Výpočet zabíhavosti (J.Příbyl)

$$l_z = A \cdot \zeta \frac{c \cdot (T_{lití} - T_{0z}) + x \cdot L}{(T_{stř} - T_f)} \cdot v_0$$

- l_z celková délka zaběhlého kovu, [m],

$$A = \frac{a}{\alpha}$$

a poloměr kanálu, [m],

α součinitel přestupu tepla z odlitku do formy [W.m².K⁻¹]

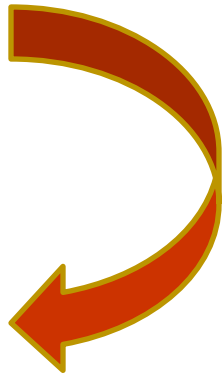
- c měrné teplo kovu, [J.kg⁻¹.K⁻¹].
- $T_{lití}$ teplota lití, [K]
- T_{0z} teplota nulové zabíhavosti, [K],
- x podíl tuhé fáze vytvořené do dosažení teploty nulové zabíhavosti (u oceli x= 0,2).
- L latentní teplo tuhnutí, [J.kg⁻¹],
- $T_{stř}$ střední teplota kovu do ztuhnutí čela proudu, [K],
- T_f teplota formy, [K],
- v_0 počáteční rychlost proudu kovu v kanále , [m.s⁻¹].


$$l_z = A.\zeta \frac{c.(T_{lití} - T_{0z}) + \chi.L}{(T_{stř} - T_f)} . v_0$$



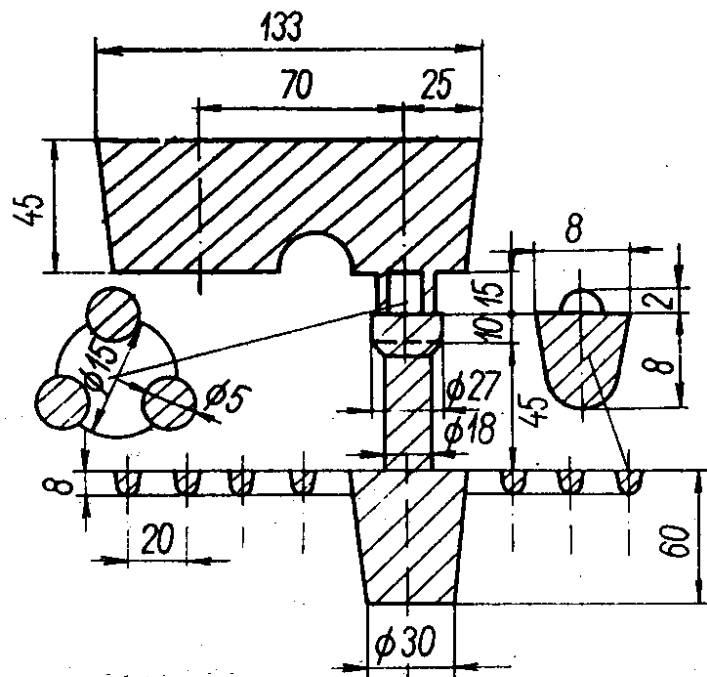
**zabíhavost daného odlitku v dané formě
můžeme regulovat**

regulací teploty lití



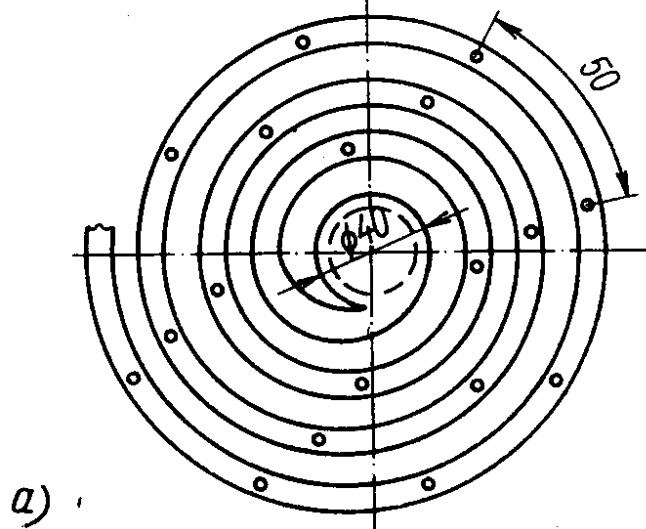
HODNOCENÍ ZABÍHAVOSTI

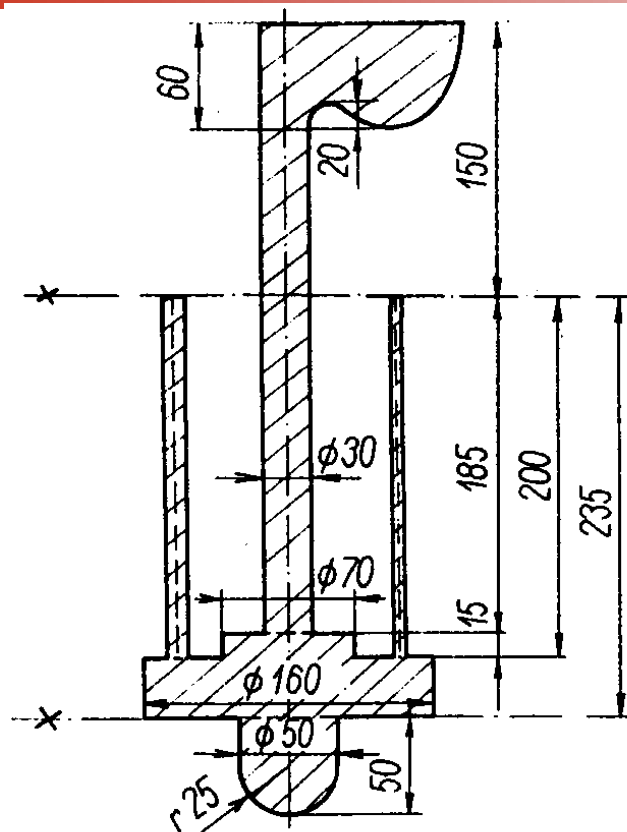
- Zkoušky zabíhavosti patří k nejstarším technologickým zkouškám ve slévárenství. Podle tvaru odlévaných vzorků se dělí do tří hlavních skupin:
- *a) tvar tyčí, spirál, destiček uspořádaných horizontálně,*
- *b) tvar tyčí a destiček uspořádaných vertikálně,*
- *c) proměnlivý průřez, např. klín, kruhová výseč apod.*



Curyho spirála (z r. 1924)

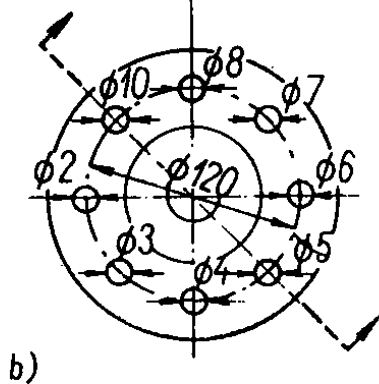
Zabíhavost je měřena délkou
zaběhnuté spirály



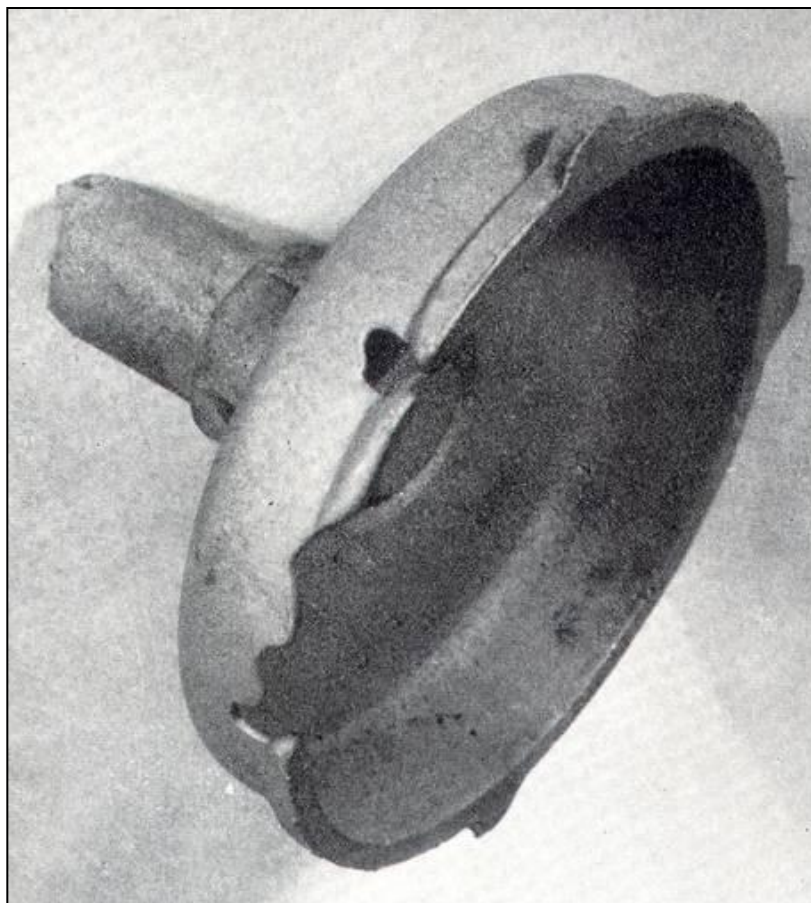


Cizkelova zkouška

Zabíhavost je vyjadřována
průměrem a výškou
zaběhnuté tyčinky



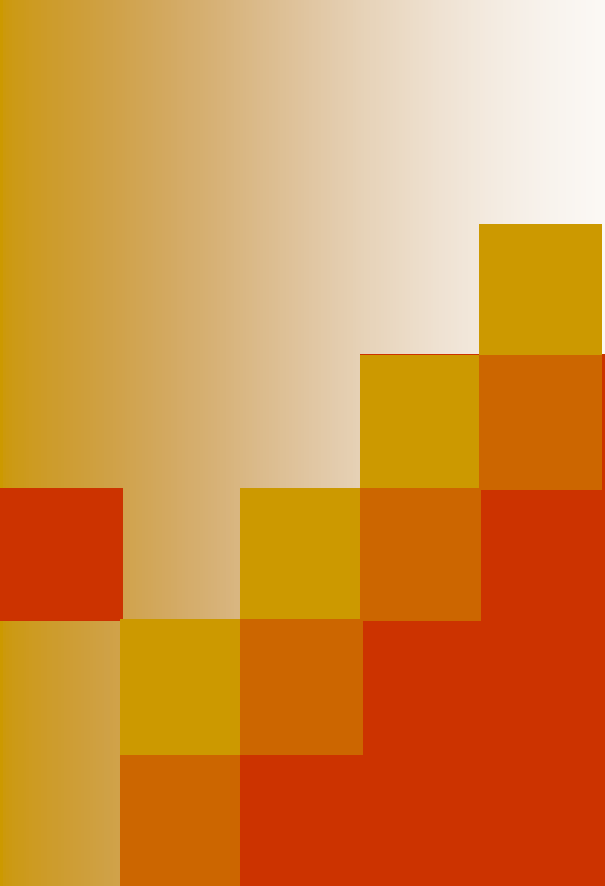
nezaběhnutí





KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Čím je ovlivněna zabíhavost kovů a slitin
2. Jak je možné v praxi zabíhavost zvýšit
3. Srovnejte zabíhavost litin a ocelí



Výpočet vtokových soustav

Tlakové poměry ve vtokové
soustavě a dutině formy

VTOKOVÁ SOUSTAVA

soustavou kanálů, kterými je tekutý kov přiváděn do dutiny formy

- Dobré zaběhnutí kovu do všech jejích částí,
- Rovnoměrné, stálé a klidné plnění formy kovem, bez turbulencí

$$Re = \frac{v_{krit} D}{\nu}$$

Re Reynoldsovo číslo

D průměr kanálu [m]

ν kinematická viskozita kovu [m² s⁻¹]

v_{krit} kritická rychlost proudu, kdy se mění laminární proudění na turbulentní

Pro ocel

Re= 3500

Pro litinu

Re = 7000

vtokové soustavy pro šedou litinu můžeme dimenzovat pro vyšší rychlost plnění při zachování laminarity proudu.



- 
- dokonalé zachycení strusky a nečistot, které by mohly vniknout do dutiny formy odlitku,
 - stejnoměrné a homogenní teplotní pole odlitku,
 - zabránit erozi formy tekutým kovem,
 - zabránit nasávání plynů, par a vzduchu z formy,
 - maximální využití tekutého kovu.

$$\eta = \frac{G_h}{G_s} \cdot 100 \%$$

G_h hrubá hmotnost odlitku

G_s surová hmotnost odlitku

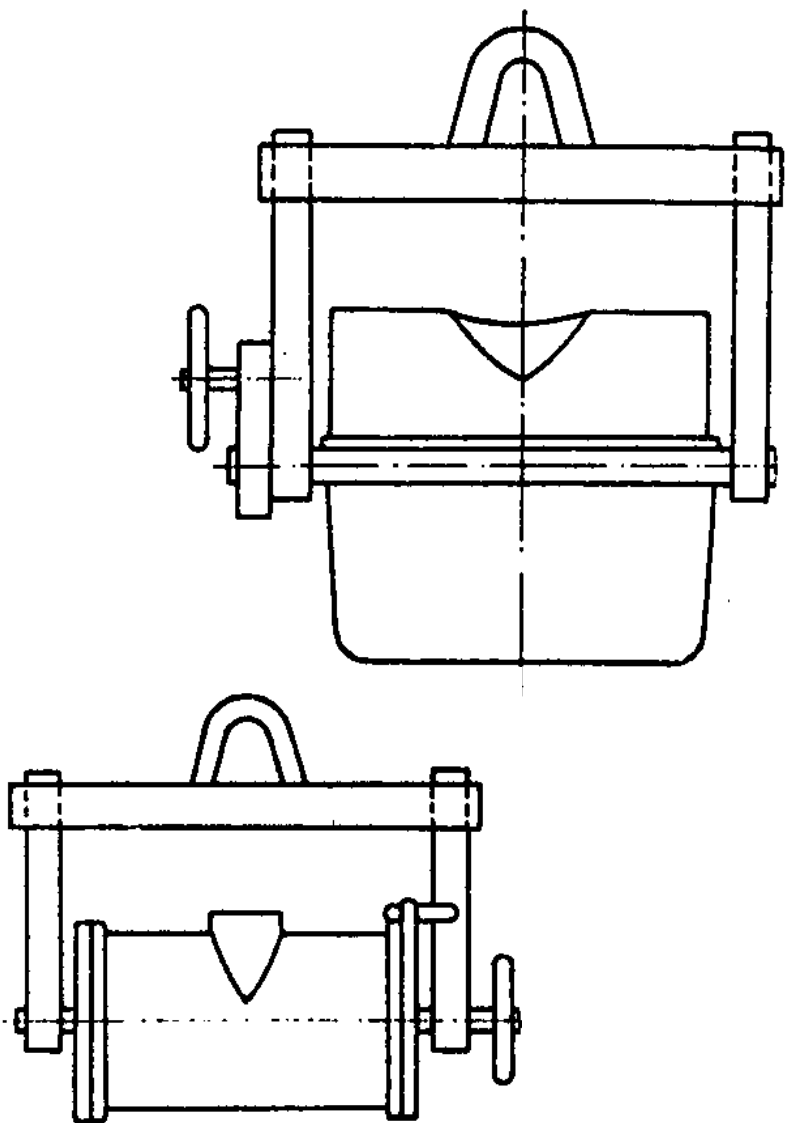


Čím je η větší, tím je dokonalejší technologie výroby odlitku



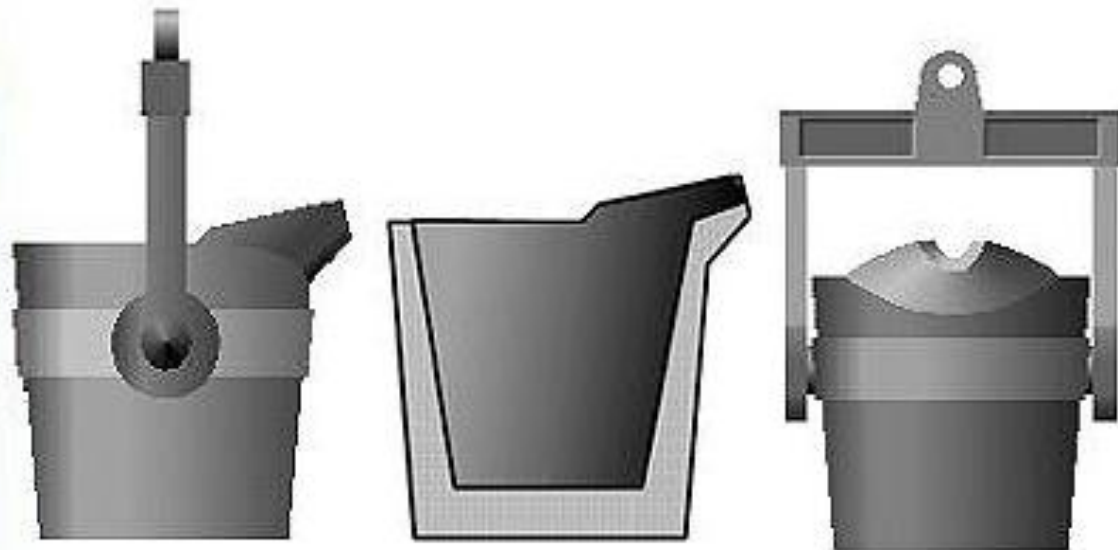
Na uspořádání vtokového systému má vliv:

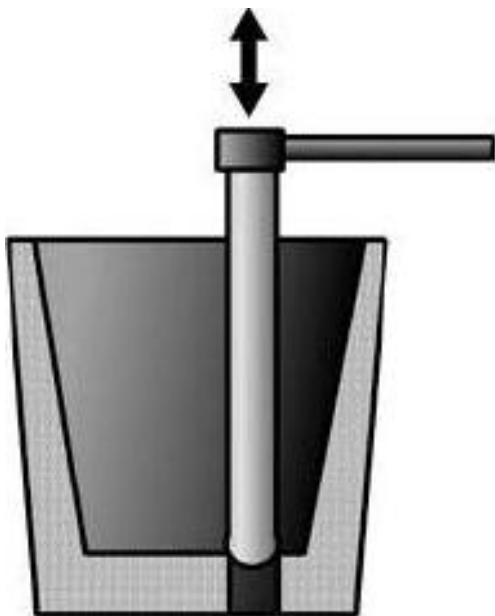
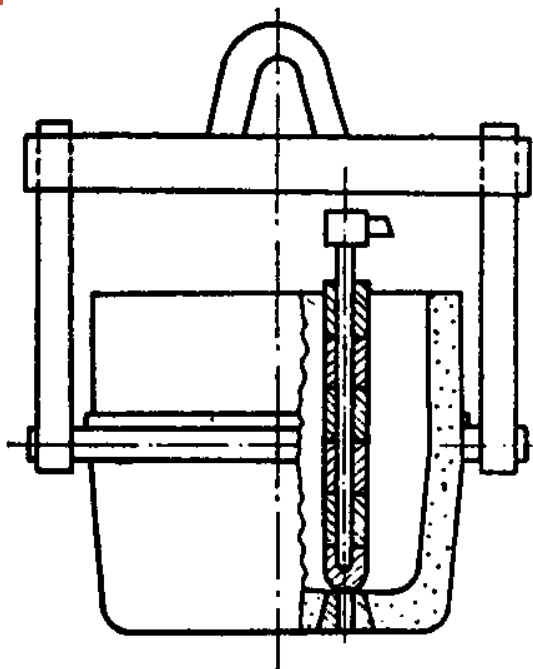
- **druh kovu, jeho teplota a vlastnosti**
- **tvarová složitost a tenkostěnnost odlitku**
- **materiál formy**
- **poloha dělicí roviny**
- **způsob odlévání a druh pánve**



Odlévání litiny

Litina s vysokou zabíhavitostí
je obvykle odlévána z licí
pánve „horem“ „přes hubičku“





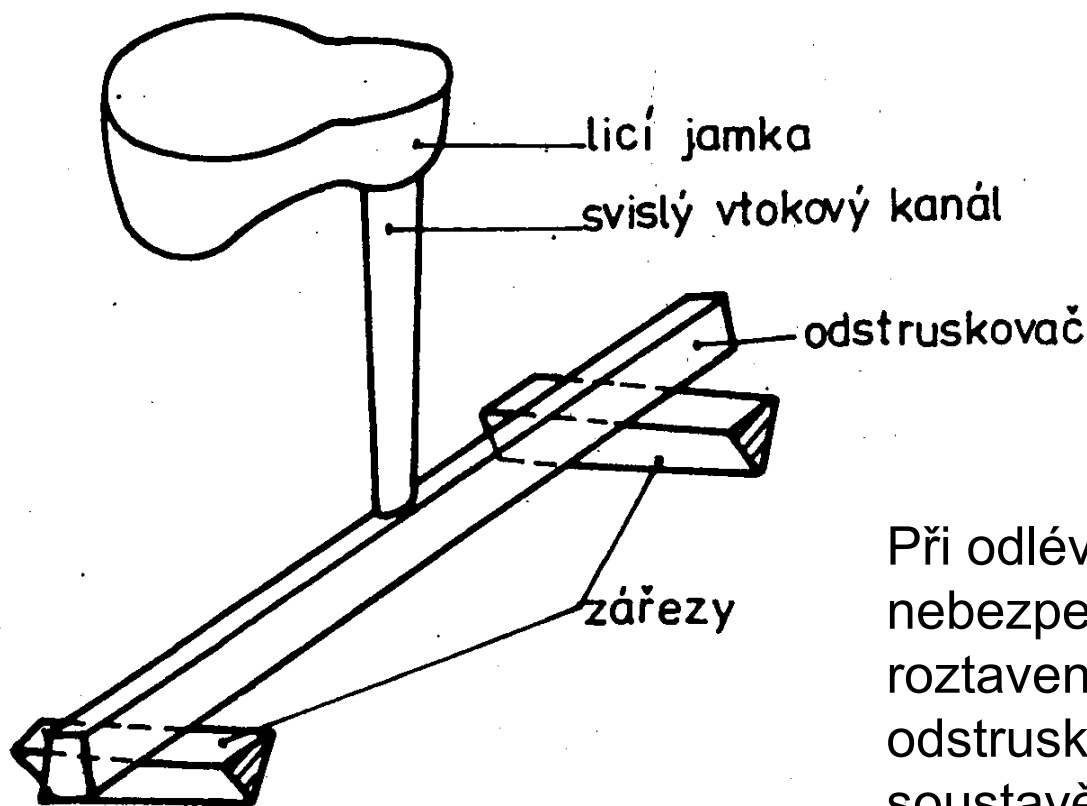
Odlévání oceli
Vzhledem k horší
zabíhavosti je ocel
odlívána z pánve
spodní výpustí



PRVKY VTOKOVÉ SOUSTAVY

- vtoková (licí) jamka,
- vtokový kanál (kůl),
- dopadová jamka, prohlubeň;
- odstruskovač (lapač strusky, struskovák)
- zářezy.

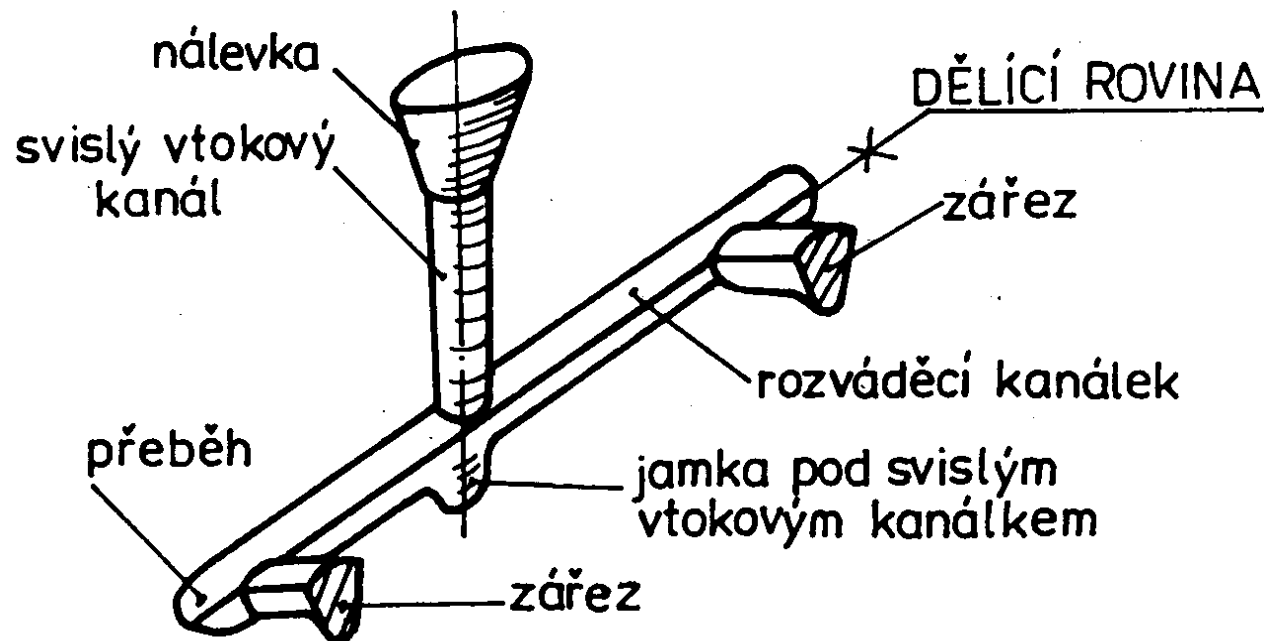
Příklad vtokové soustavy pro odlévání litiny



Při odlévání litiny horem existuje nebezpečí strhávání strusky do roztaveného kovu – nutnost odstruskování ve vtokové soustavě

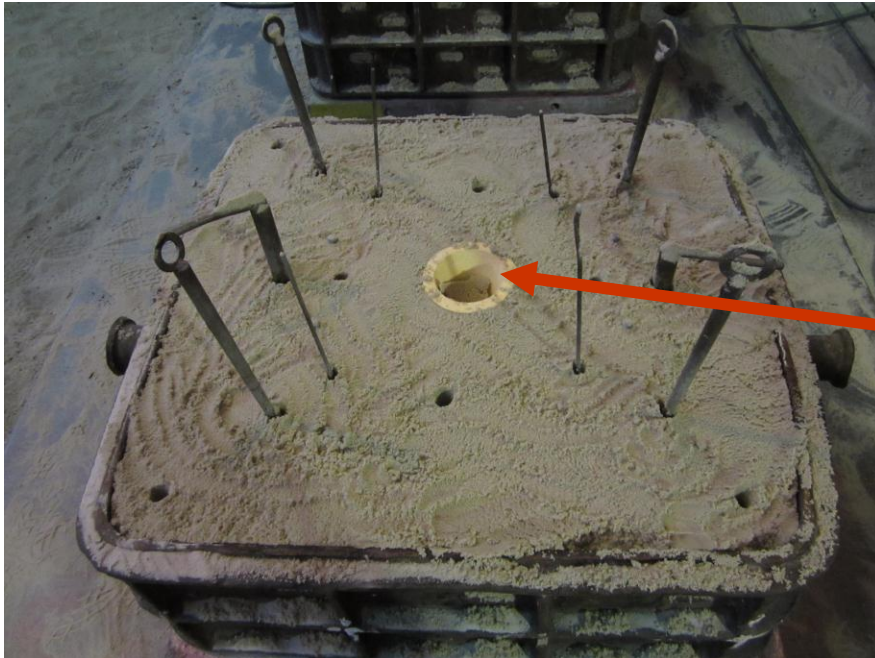
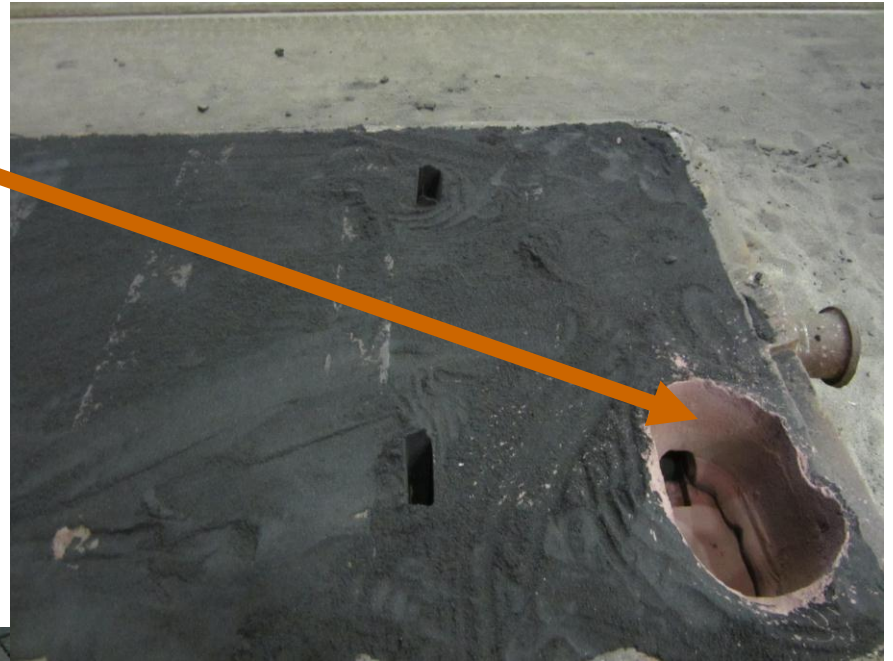
Licí jamka
odstruskovač

Příklad vtokové soustavy pro odlévání oceli



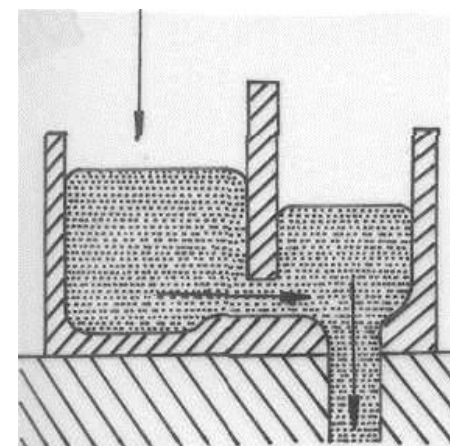
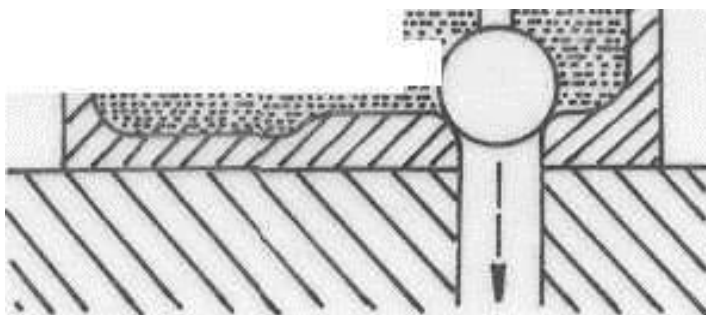
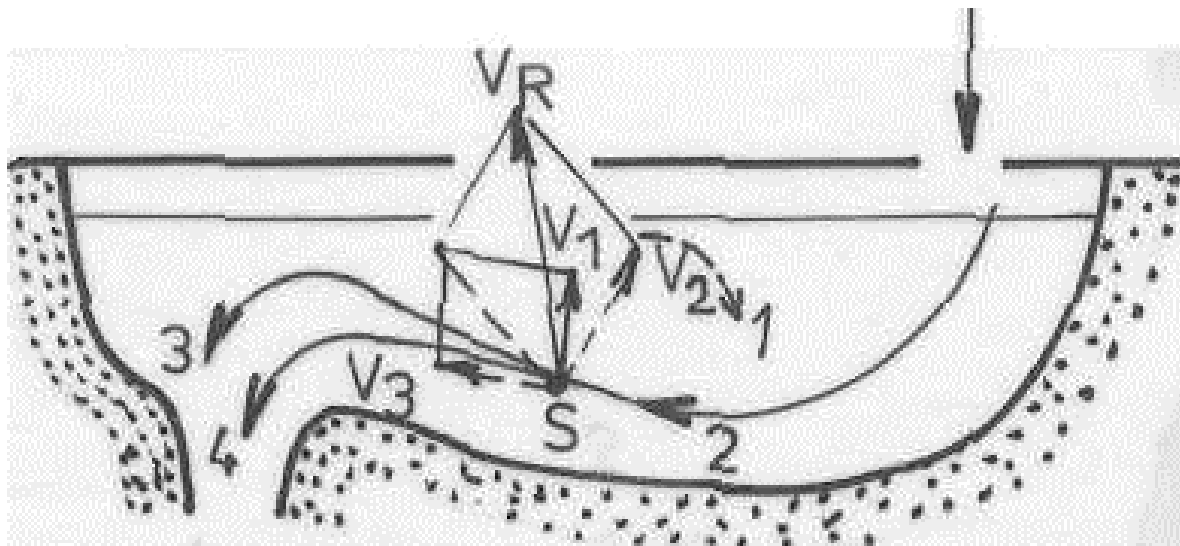
Vtoková soustava je jednodušší než u litiny, licí jamka je nahrazena nálevkou, odstruskovač rozváděcím kanálem

Licí jamka

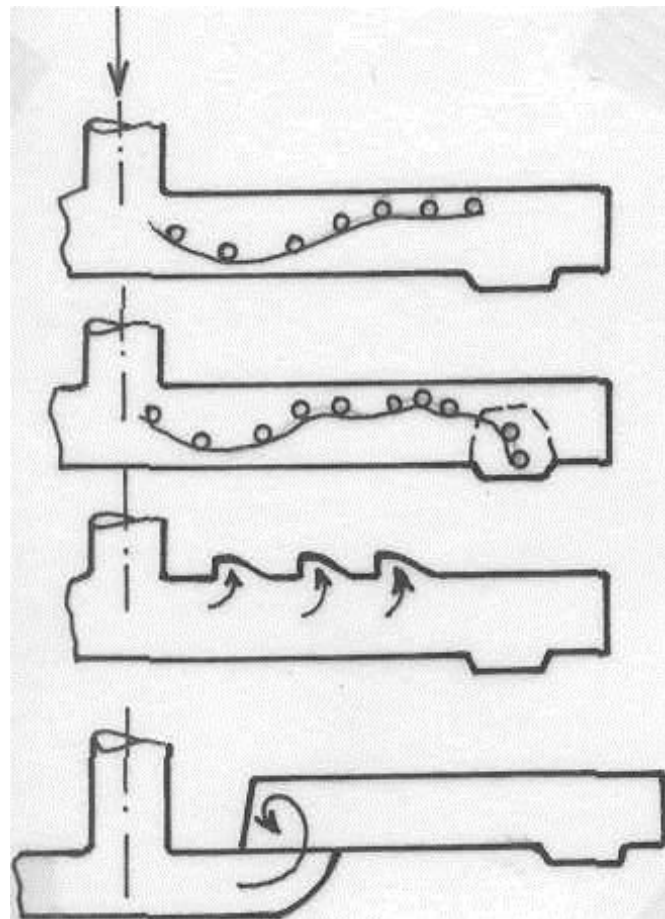
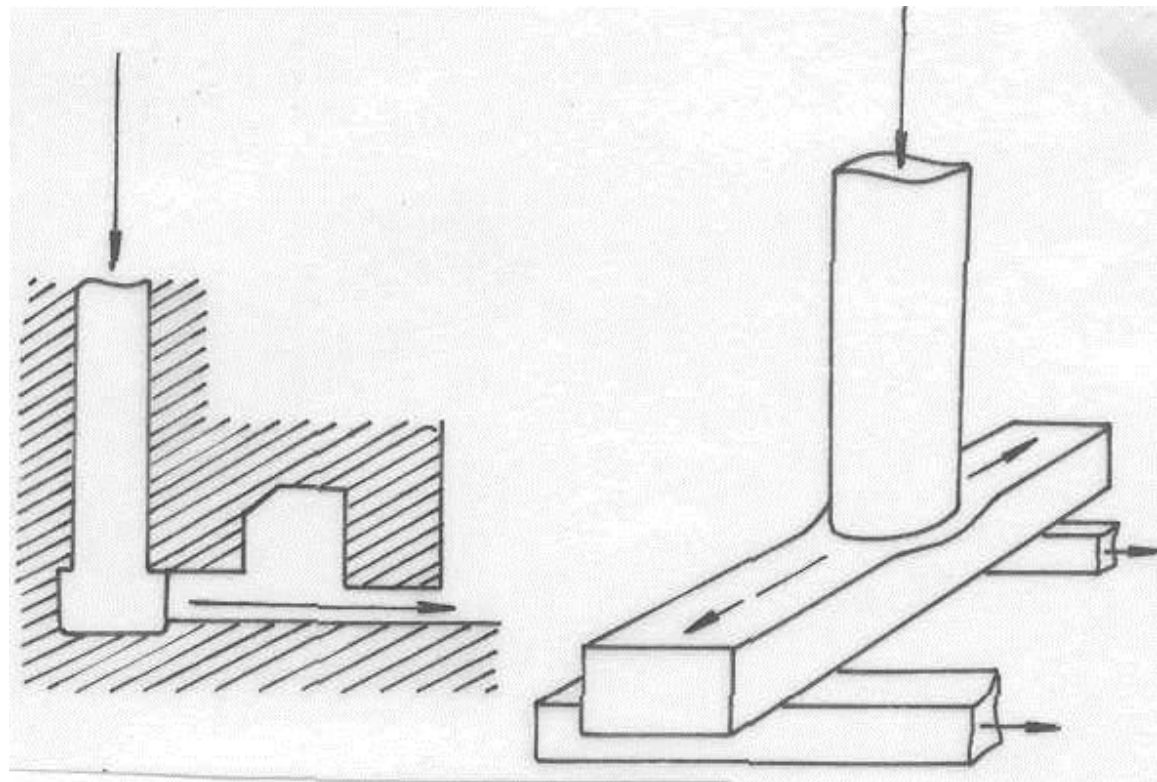


Licí nálevka

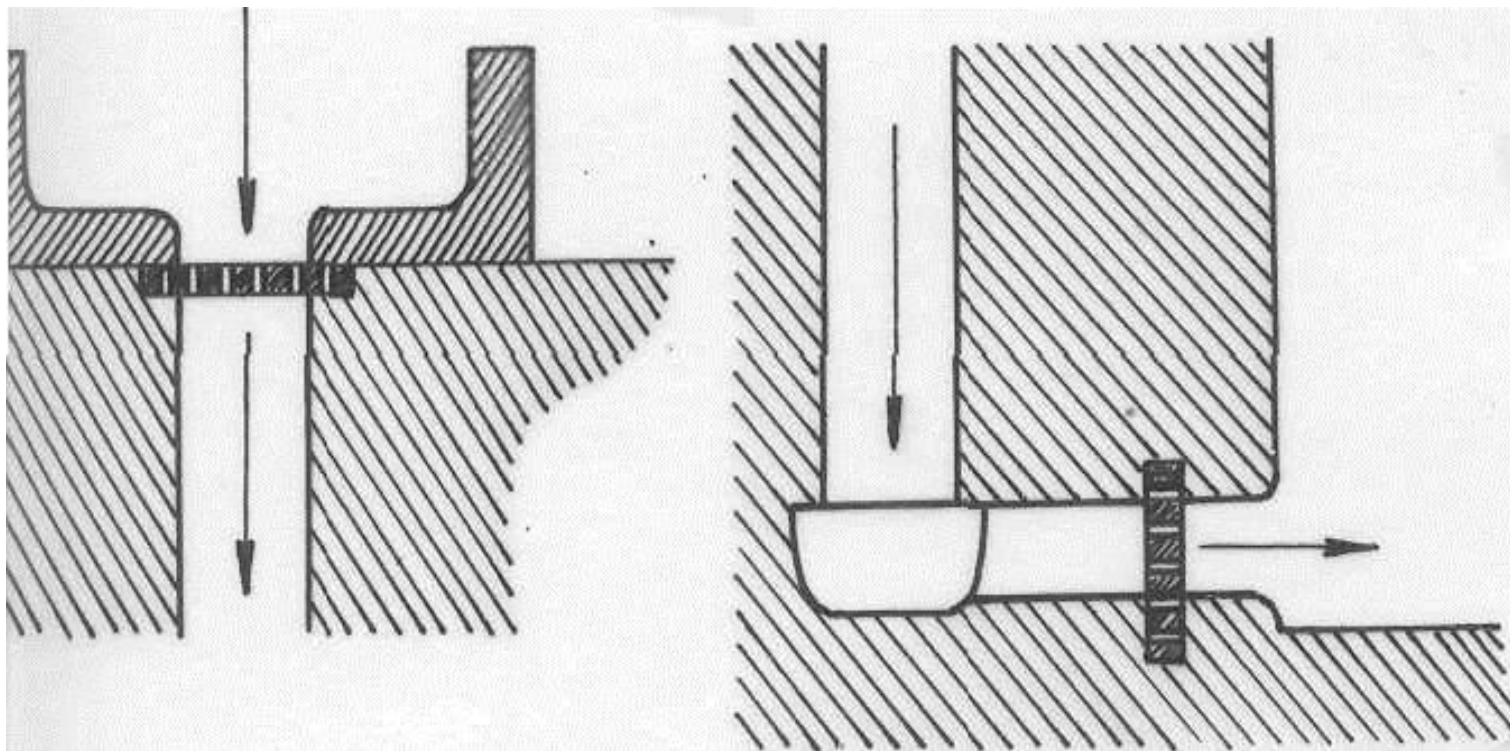
LICÍ JAMKY



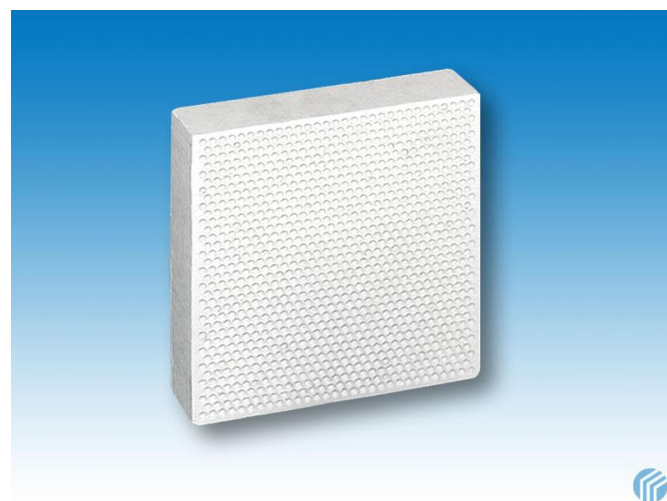
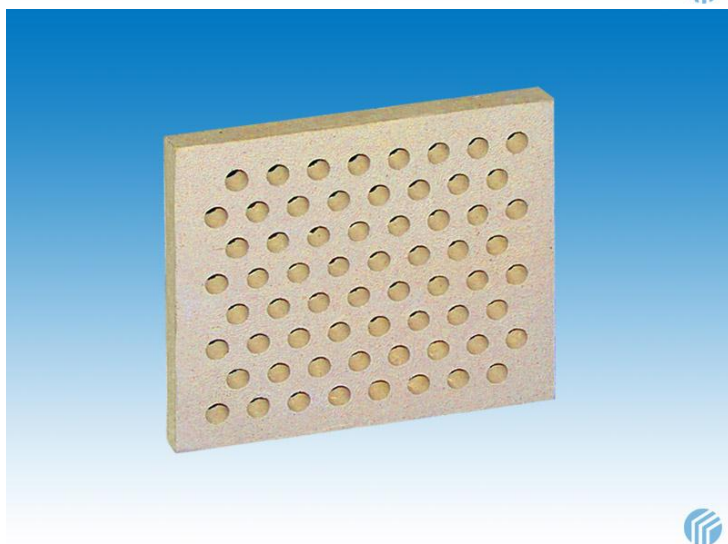
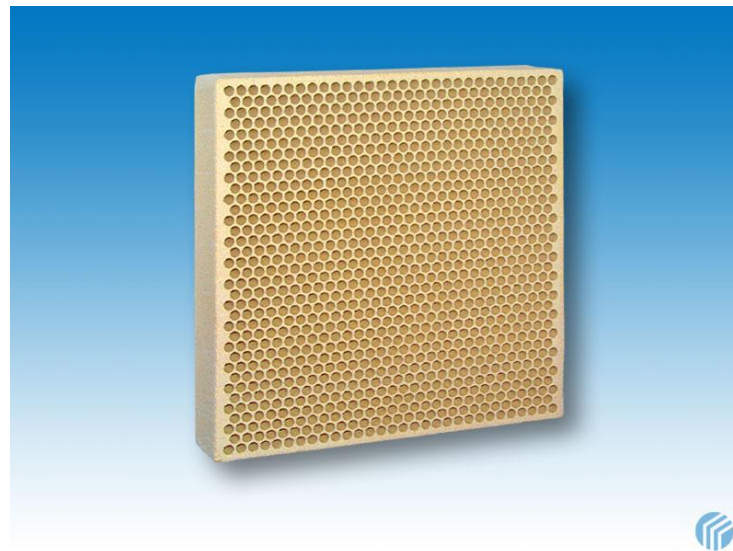
NAPOJENÍ ZÁŘEZŮ NA ODSTRUSKOVAČ



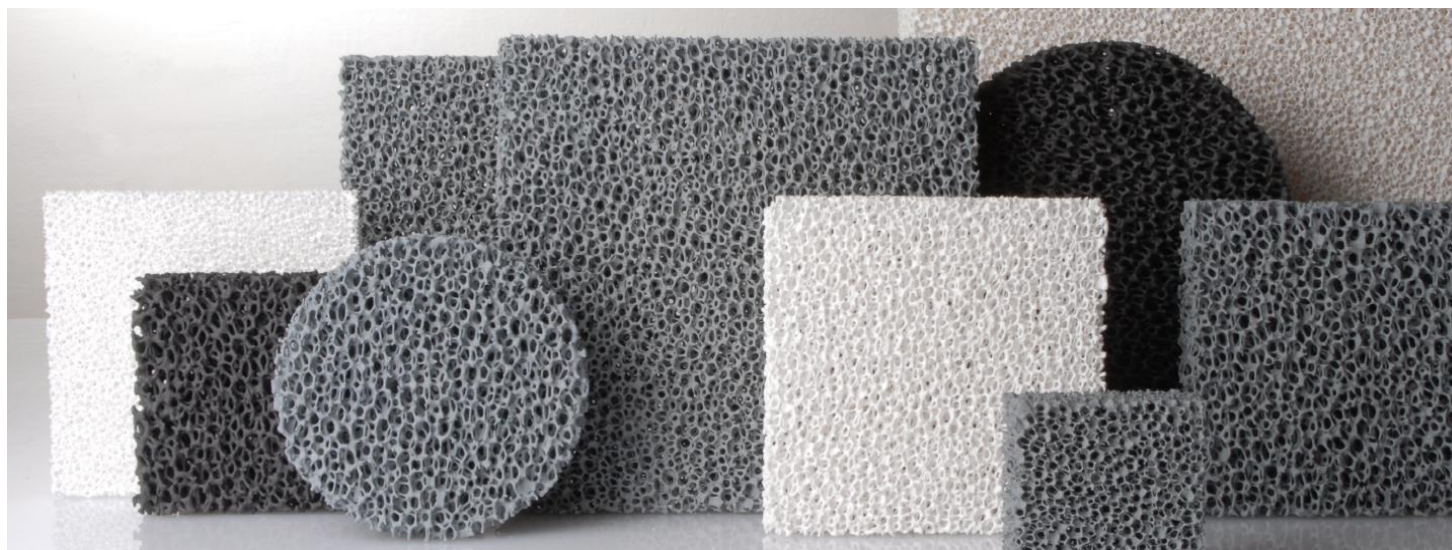
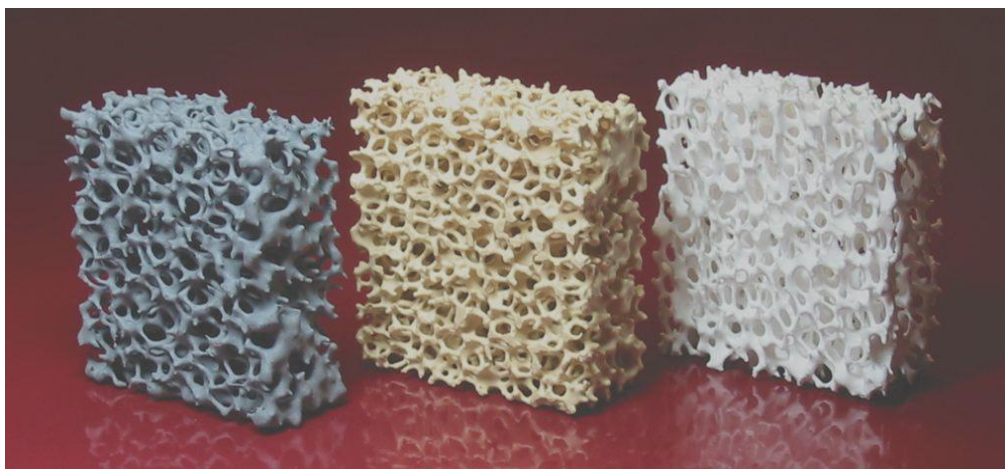
VYUŽITÍ SÍTEK A FILTRŮ



Příklady lisovaných sítok a filtrů



Příklad pěnových filtrů



TLAKOVÉ POMĚRY VE VTOKOVÉ SOUSTAVĚ A DUTINĚ FORMY

ZÁKLADNÍ VZTAHY PROUDĚNÍ KAPALIN

- Toricelliho vzorec – teoretická výtoková rychlost kapaliny z nádoby $\underline{v}$ [m.s⁻¹] je stejná jako při volném pádu tuhého tělesa z výšky H .

$$\frac{v^2}{2g} = H$$

$$v_t = \sqrt{2gH}$$

- Platí pro ideální kapalinu
- **Volný pád** je pohyb tělesa v homogenním gravitačním poli, při kterém počáteční rychlost tělesa je nulová a kromě gravitační síly na těleso nepůsobí *žádná* další síla (příp. jsou další síly *zanedbatelné*).

Průtočný výtokový objem taveniny, [m³.s⁻¹]

$$Q_v = S \cdot v = S \sqrt{2gH}$$

Průtočná výtoková hmotnost taveniny,

[kg . s⁻¹]

$$Q_m = Q_v \cdot \rho = S \cdot v \rho = S \rho \sqrt{2gH}$$

- kde S je průřez kanálku licí soustavy – pánve [m²],
- v rychlost proudu [m.s⁻¹]
- ρ měrná hmotnost taveniny [kg.m⁻³]

Součinitelé proudění a ztrát při proudění

Skutečná rychlost proudu v_s : [m.s⁻¹]

$$v_s = \psi \sqrt{2g \cdot H} = \sqrt{2g \cdot H_s}$$

$$H_s = \frac{v_s^2}{2g}$$

- kde ψ je součinitel ztrát (odporů) při proudění,
- H_s účinná (skutečná) výška licího kůlu snížená o ztráty proudění, vyjádřené výškou h_z ; tedy $H_s = H - h_z$.

Ztrátovou výšku h_z můžeme stanovit ze vztahu :

$$h_z = \frac{v_s^2}{2g} = \left(\frac{1}{\psi^2} - 1 \right) = \xi \frac{v_s^2}{2g}$$

$$\xi = \frac{2g \cdot h_z}{v_s^2}$$

ξ je označen jako odporový součinitel

ROVNICE KONTINUITY PROUDU

$$Q_v = S \cdot v = \text{konst.}$$

Při průchodu taveniny zaplněnou vtokovou soustavou se zachovává průtočné množství všemi průřezy soustavy. Se změnou průřezu se kontinuálně mění rychlost proudu

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

$$\sqrt{2gH_1} \cdot S_1 = \sqrt{2gH_2} \cdot S_2$$

Vtokové soustavy :

- přetlakové
- podtlakové

přetlaková vtoková soustava

řídícím průřezem je nejčastěji zářez

Dovoluje separaci strusky, zadržování a nečistot.



Vysoká rychlost kovu v zářezích.

Vznik turbulence v dutině formy a možnost její eroze.

Proudění je pod kontrolou až když se zaplní celý systém /t..zn. 25 až 30 % kovu je plněno při podtlaku)

Podtlakové vtokové soustavy

mají řídicí průřez ve vtokovém kanálu nebo blízko něj.

- Minimální nasávání vzduchu.
- Minimální eroze a turbulence.
- Účinná separace makrovměstků.



Horší využití tekutého kovu



OBECNÝ POSTUP VÝPOČTU VTOKOVÝCH SOUSTAV

Stanovení doby lití podle empirických vzorců.

Výpočet středního metalostatického tlaku.

Výpočet zářezů.

Výpočet dalších průřezů vtok.soustavy.

VÝPOČET DOBY LITÍ

■ Vzorec Soboleva

$$\tau_L = s \cdot \sqrt[3]{g \cdot m}$$

kde $\underline{s}$ koeficient hmotnosti (do 1t $s = 1,4 \div 1,6$;
pro 1t až 10t $s = 1,5 \div 1,9$)

$\underline{g}$ střední tloušťka stěn [mm],

$\underline{m}$ hmotnost surového odlitku [kg].

■ Vzorec Dieterta

kde $\underline{m}_0$ hrubá hmotnost odlitku [kg],

$\underline{s}$ koeficient volící se podle tloušťky stěn odlitku.

(3-4 mm $s=1,63$; 5-8mm $s=1,85$; 9-15 mm $s=2,2$)

$$\tau_L = s \cdot \sqrt{m}$$

Výpočet velikosti řídicího průřezu

■ Výpočet podle Osana:

$$S_{\dot{u}} = \frac{m_s}{\rho \cdot \mu \cdot \tau \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{stř}}}$$

m_s surová hmotnost odlitku

ρ hustota roztaveného kovu

μ odporu proti proudění

τ doba lití

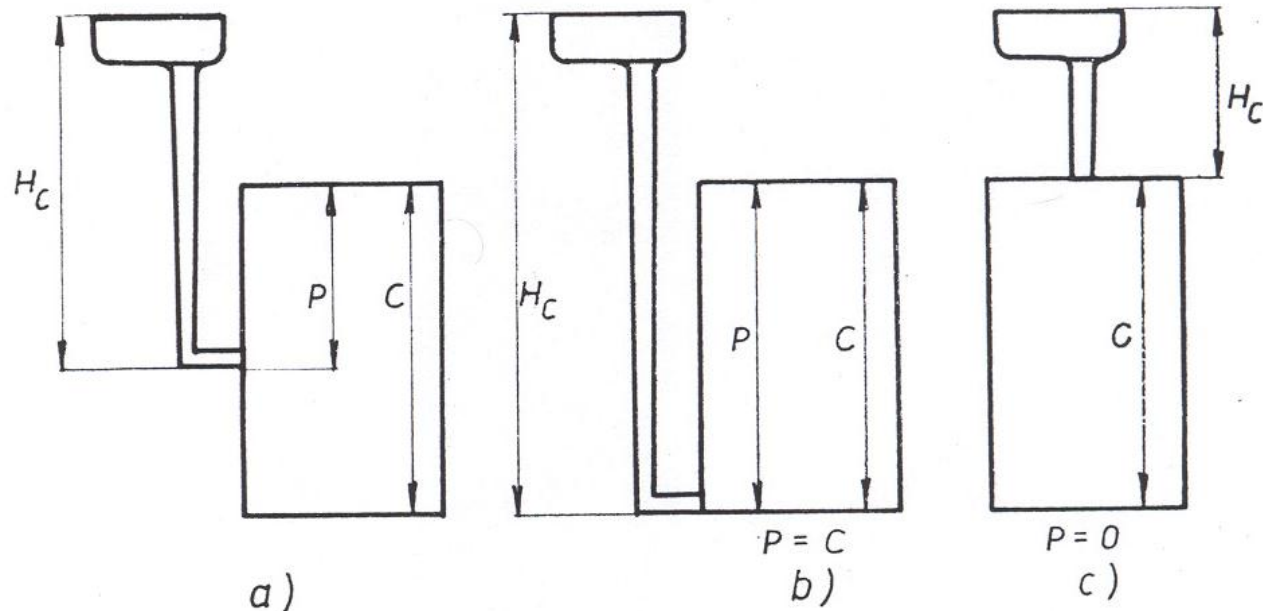
$H_{stř}$ střední metalostatický tlak

g tíhové zrychlení

Výpočet středního metalostatického tlaku $H_{stř}$

$$H_{stř} = H_c - \frac{P^2}{2 \cdot C}$$

C celková výška odlitku
 P výška odlitku nad úrovní zářezů
 H_c výška sloupce kovu ve vtoku nad úrovní zářezů



Stanovení dalších rozměrů vtokové soustavy

■ Přetlaková vtoková soustava

	S_Z	:	S_S	::	S_K
Vysoké formy a velké od.LLG	1	:	1,50	:	2
Střední odlitky ze LLG	1	:	1,20	:	1,40
Odlitky z LKG	1	:	1,40	:	1,50
Ocelové odlitky drobné	1	:	1,20	:	1,20
Ocelové odl. (šamotové kanály)	1	:	1,06	:	1,11

■ Podtlaková vtoková soustava

Složité ocelové odlitky	1	:	0,63	:	0,54
-------------------------	---	---	------	---	------

TLAK A VZTLAK VE FORMĚ

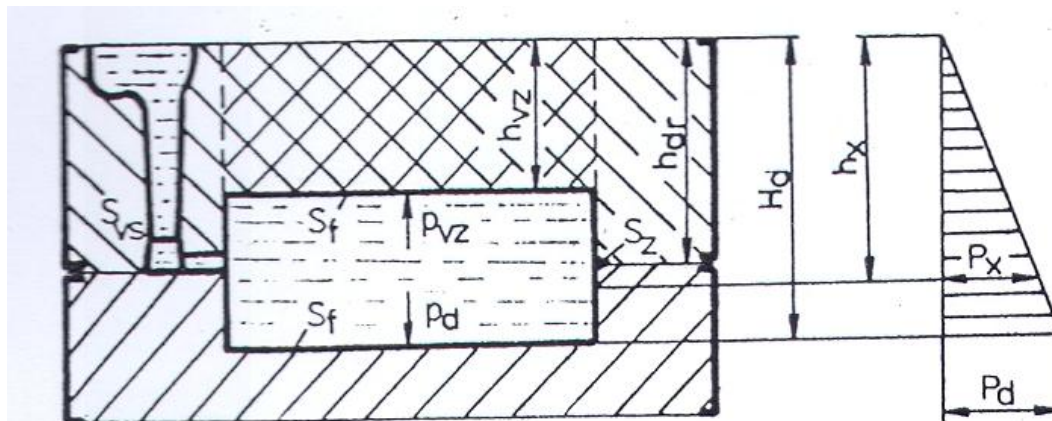
- Statický tlak u dna formy

$$P_d = H_d \cdot \rho_k \cdot g \quad [\text{N.m}^{-2}]$$

- Vztlak na vršek formy, (tedy metalostatický tlak směrem nahoru)

$$p_{VZ} = H_{VZ} \cdot \rho_K \cdot g$$

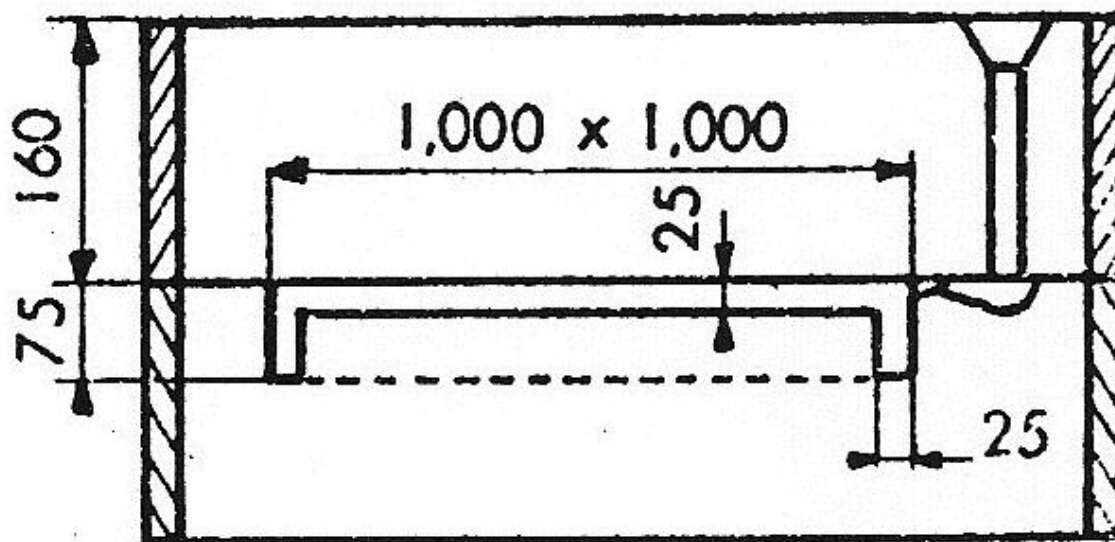
$$F_{vz} = h_{vz} \cdot s_f \cdot \rho_k + F_{dyn}$$



V praxi se dynamický vztlak vyjadřuje zvýšením statického vztlaku o 40-60%
koeficient 1,4 -1,6

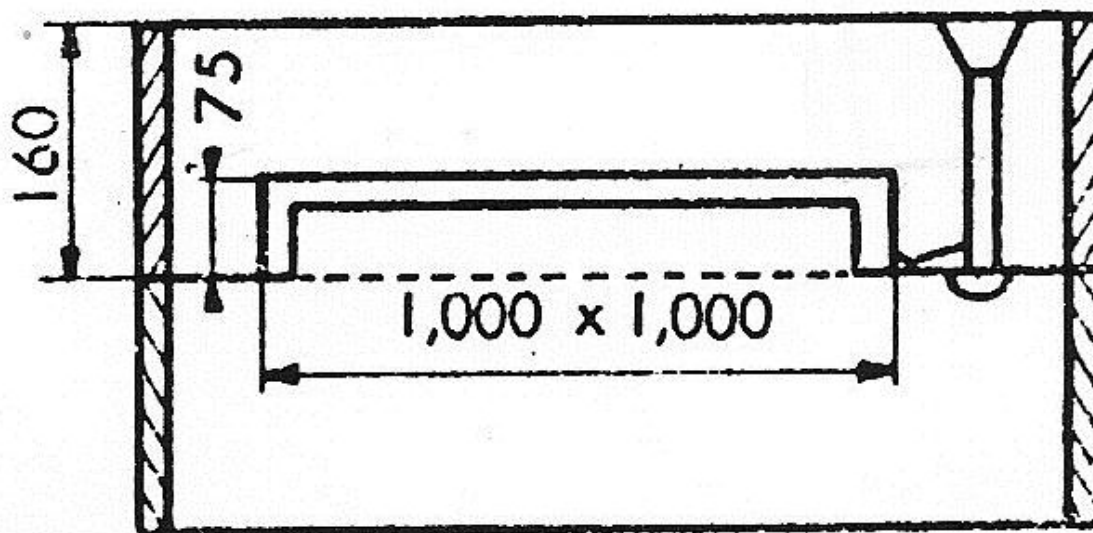
Praktický příklad výpočtu vztlakové síly pro odlitek stejných rozměrů, ale různým způsobem umístěného ve formě

A. Odlitek umístěný pod dělicí rovinou ve spodním formovacím rámu



$$\begin{aligned} F &= \text{plocha} \times \text{výška} \times \text{hustota} \\ &= 1 \times 0,160 \times 7,2 = 1,152\text{t} = \mathbf{1152\text{kg}} \end{aligned}$$

B. Odlitek umístěný nad dělicí rovinou ve vrchním formovacím rámu



$$F = \text{plocha} \times \text{výška} \times \text{hustota}$$
$$= 1 \times (0,160 - 0,075) \times 7,2 = 0,612\text{t} = \mathbf{612\text{kg}}$$

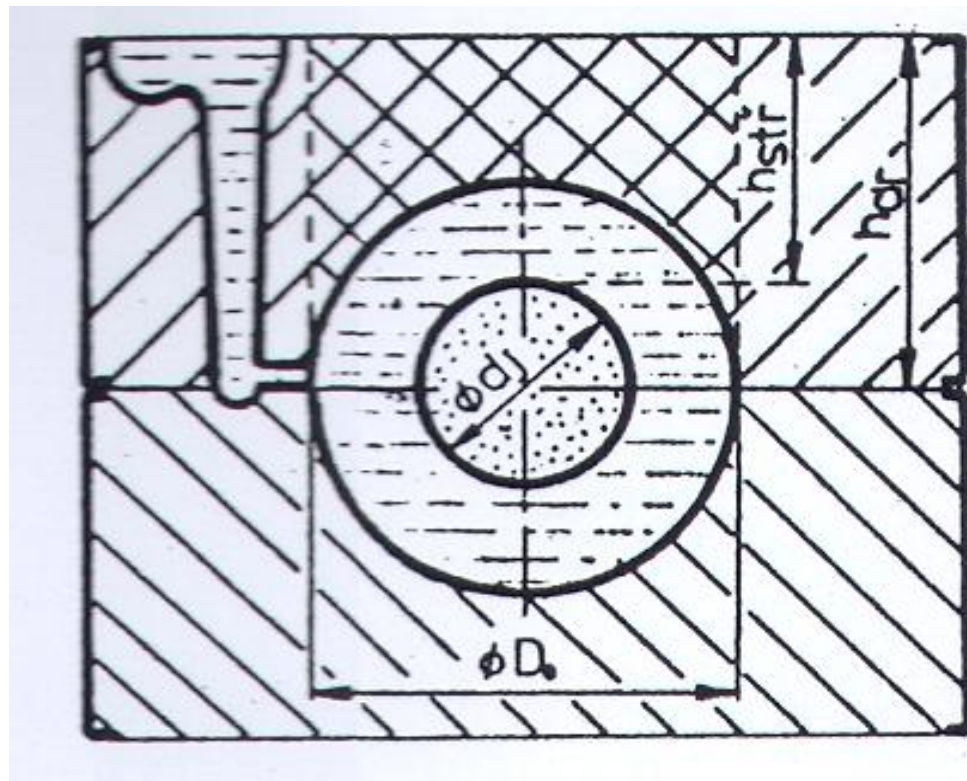
VZTLAK U DUTÝCH ODLITKŮ

$$F_{vz} = h_{str} \cdot D_o \cdot L_o \cdot \rho_k + v_j (\rho_k - \rho_j) + F_{dyn}$$

D_o - průměr odlitku (m)

L_o - délka odlitku (m)

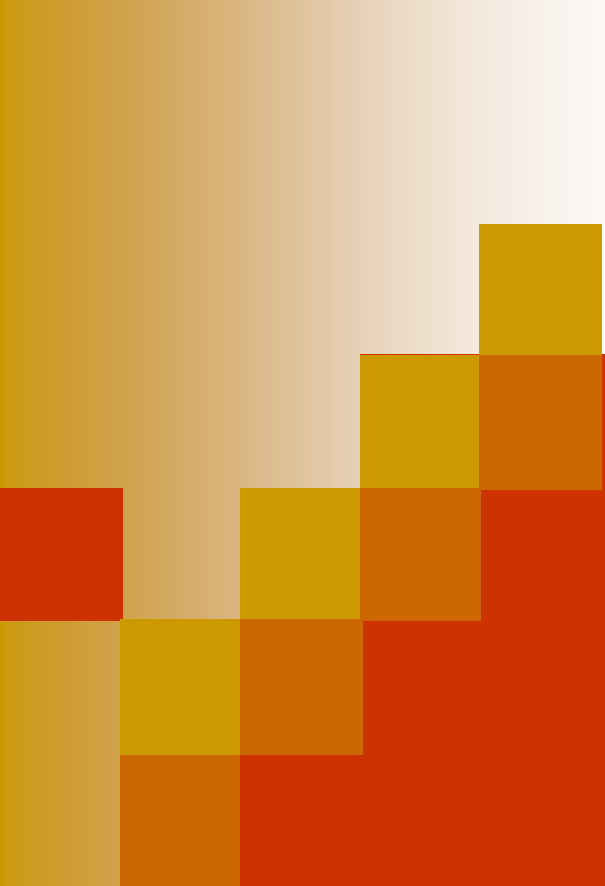
V_j - objem jádra (m^3)





KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Co je účelem vtokové soustavy
2. Z jakých základních částí se skládá
3. Jaký je rozdíl mezi vtokovou soustavou pro litinu a ocel a proč
4. Co znamená pojem řídicí průřez vtokové soustavy
5. Co je řídicím průřezem podtlakové vtokové soustavy
6. Pro jaký typ slitin je vhodná přetlaková vtoková soustava



Plyny v kovech a ve slévárenské formě



PLYNY V KOVU A VE SLÉVÁRENSKÉ FORMĚ

- **Rozpouštění plynů v tekutém kovu**
- **Tvorba plynů ve formě**
- **Proudění plynů k povrchu odlitku**
- **Odvod plynů z dutiny formy**
- **Vnikání plynů do tekutého kovu**
- **Pohyb plynů v tekutém kovu**
- **Vylučování plynů z tekutého kovu**

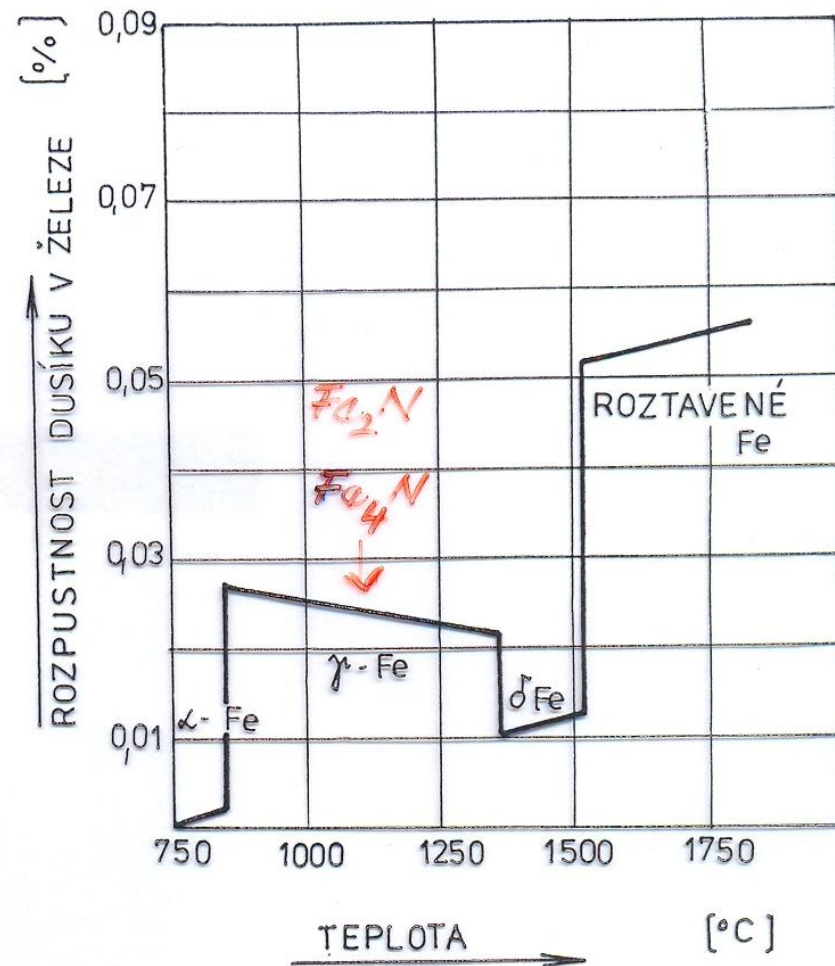
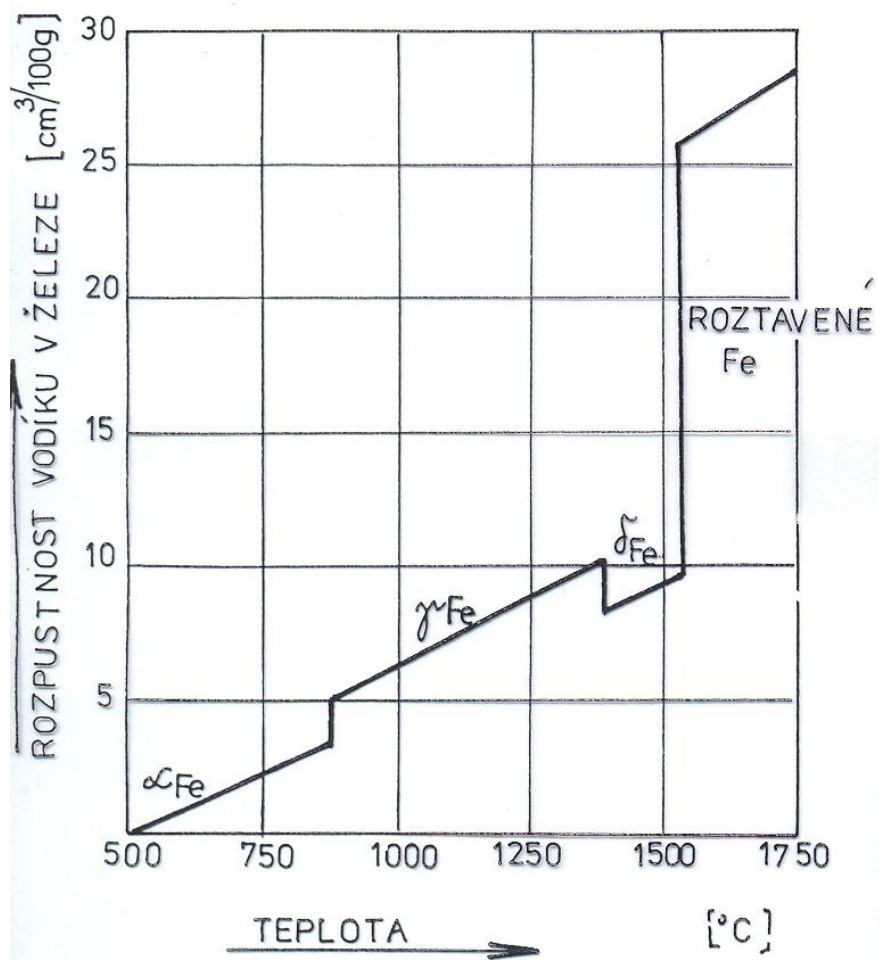


Výsledkem interakcí plynu a kovu může být :

- VZNIK ROZTOKU PLYNU V TUHÉM NEBO KAPALNÉM STAVU.
- VZNIK RŮZNÝCH CHEMICKÝCH SLOUČENIN PLYNŮ SE ZÁKLADNÍM KOVEM.
- VZNIK DISPERZE PLYNU V KOVECH (PLYNOVÝCH BUBLIN)

Rozpustnost plynů v kovech a slitinách závisí na:

- TEPLITĚ
- TLAKU
- DRUHU PLYNU
- DRUHU KOVU



průběh rozpustnosti vodíku a dusíku v železe v závislosti na teplotě

Rozpustnost plynů v kovech

- Primárním zdrojem plynů v kovu je nekvalitní vsázka, nedokonalá dezoxidace, špatné vedení tavby. Rozpustnost plynu klesá při ochlazování taveniny a výrazně se snižuje v okamžiku tuhnutí. Takto z taveniny vylučované plyny mají atomární charakter **a asociují v molekulární podobu**. Jedná se především o CO, N₂ a H₂.
- Uvolňování plynu z taveniny se řídí **Sievertsovým zákonem**:

[%X] Množství atomárně
rozpuštěného plynu v tavenině

$$[\%X] = K_X \cdot \sqrt{p_{X_2}}$$

p_{X_2} Parciální tlak molekulárního plynu nad taveninou

K_X Rovnovážná konstanta

Odstranění plynů z kovu

- Sievertsův zákon využíváme při odstraňování plynů rozpuštěných v tavenině. Pokud je kov zcela tekutý a má malou viskozitu, mohou uvolňované plyny snadno unikat.

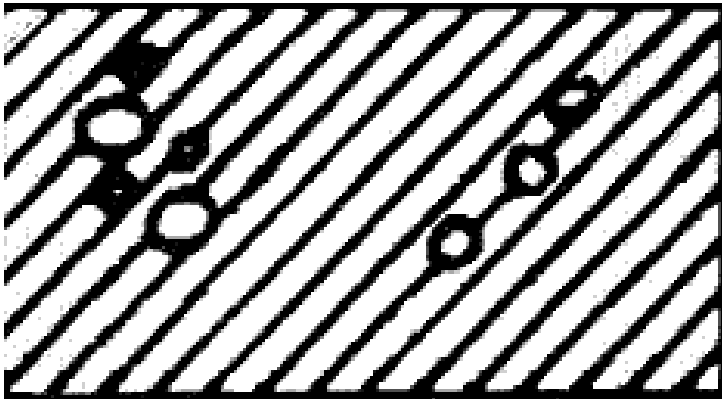
K usnadnění úniku plynů lze použít:

- mechanických prostředků, např. míchání,
- snížení parciálního tlaku plynu nad hladinou (na nulu u vakuové extrakce nebo při vhánění inertního plynu do taveniny).

Vznik bublin

Plyny rozpuštěné v kovu mohou způsobit vznik bublin, což jsou dutiny na povrchu nebo i uvnitř odlitku s hladkým povrchem.

endogenní bubliny





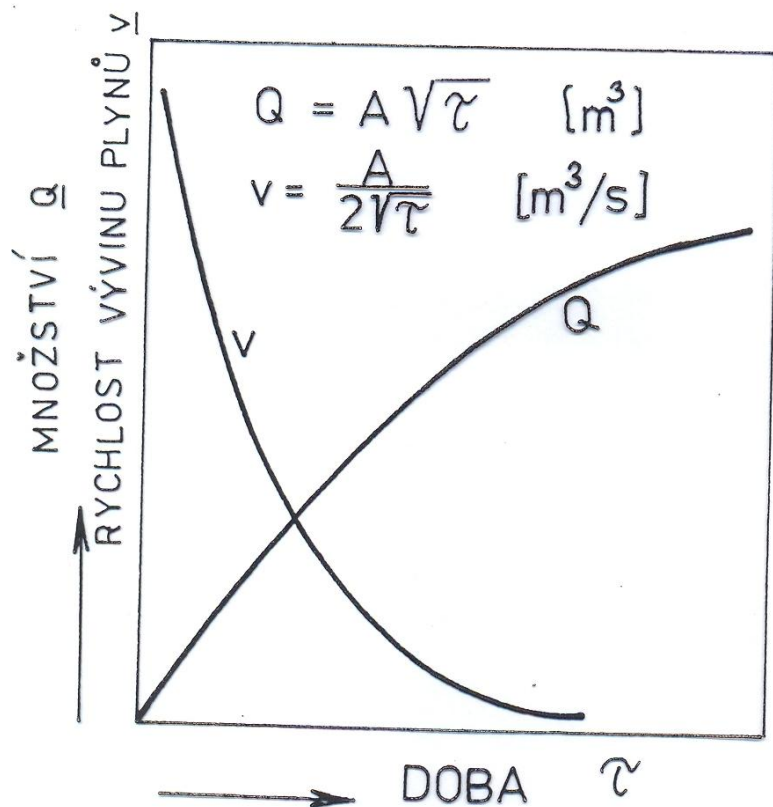
PLYNY VE SLÉVÁRENSKÉ FORMĚ

Plynotvornost reálné formy

Vývin plynů ve slévárenské formě /jádře/ je důsledkem tepelného působení tekutého kovu na formovací směs, kde probíhají procesy vypařování, uvolnění chemicky vázané vody, oxidace, disociace apod. Na plynotvornost má proto rozhodující vliv formovací směs.

Plynotvornost směsi G je schopnost směsi při ohřevu vyvíjet plyny a vyjadřujeme ji v cm^3 na 1 g směsi /nebo na cm^3 směsi/

Celkové množství uvolněných plynů formou (Q) je dáno plynotvorností směsi ($G \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) a objemem formy (V),, který byl ohřát nad kritickou teplotu T_k při které se uvolňuje daný plyn



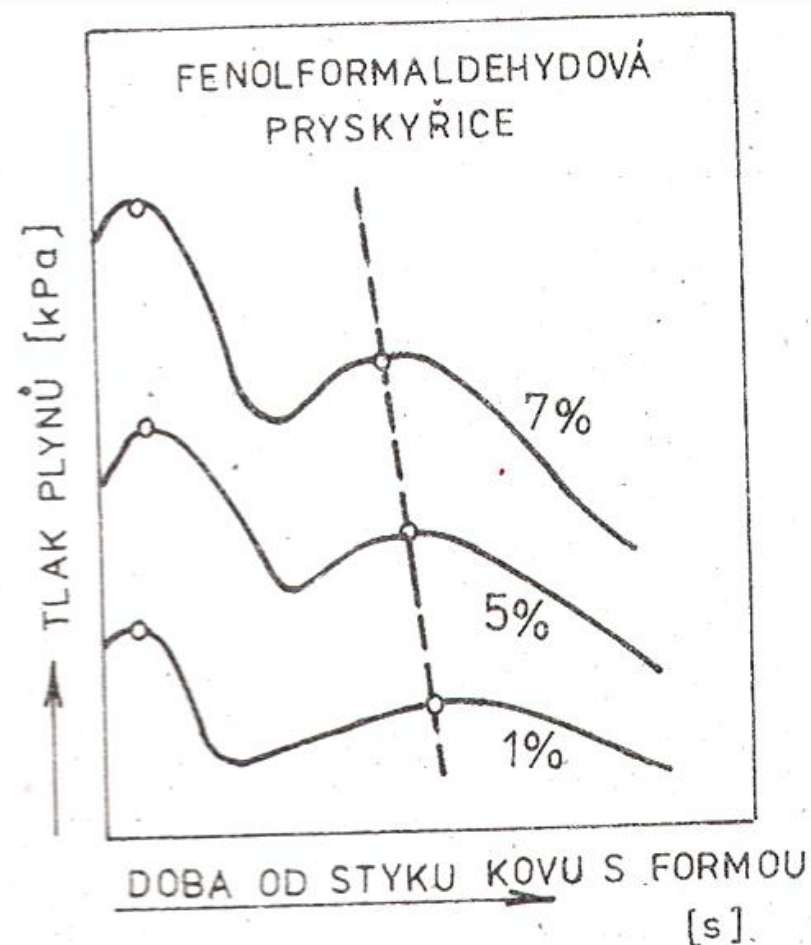
Množství uvolněných plynů, rychlost vývinu plynů v závislosti na době

Tlakové poměry na hranici forma-kov

Rychlost ohřevu formy odpovídá na počátku rychlosti vývinu plynů. Proto maximální tlak na hranici forma – kov vzniká v prvním okamžiku styku kovu s formou (první maximum).

Vytvoří-li se odpor proti filtraci plynů (snížení prodyšnosti s teplotou, vznik kondenzační zóny), nastává druhé zvýšení tlaku (druhé maximum)

Pokud tlak plynů vyvíjených formou překročí odpor, který klade tuhnoucí kov, projeví se to na odlitku vznikem plynových vad (exogenní bubliny, bodliny)



exogenní bubliny

vznikají v důsledku působení plynů
uvolněných z materiálu formy (jádra)
při plnění formy



Zdroje plynů:

- vzduch v dutině formy a v pórech pískových formovacích směsí
- Velmi nebezpečná je vlhkost formovacích směsí a zejména syrové formy vyvíjejí značné množství páry
- rozklad organických pojiv a přísad – tvoří uhlovodíky a oxidy uhlíku



Prevence vzniku bublin

- K odstranění plynů, páry a vzduchu z pískové formy nestačí pouze samotná **prodyšnost formovací směsi.**
- Proto se ve formě vytváří kanálky pro odvod plynů, které se nazývají **výfuky a průduchy.**
- Kromě forem se vytváří i v jádrech a společně tvoří **odvětrávací soustavu dutiny formy.**

Model odlitku včetně modelu výfuků





Pohled na formu shora s předformovanými výfuky



Vytváření výfuků a průduchů mechanicky



Plynové vady odlitku v důsledku nedokonale odvětrané formy





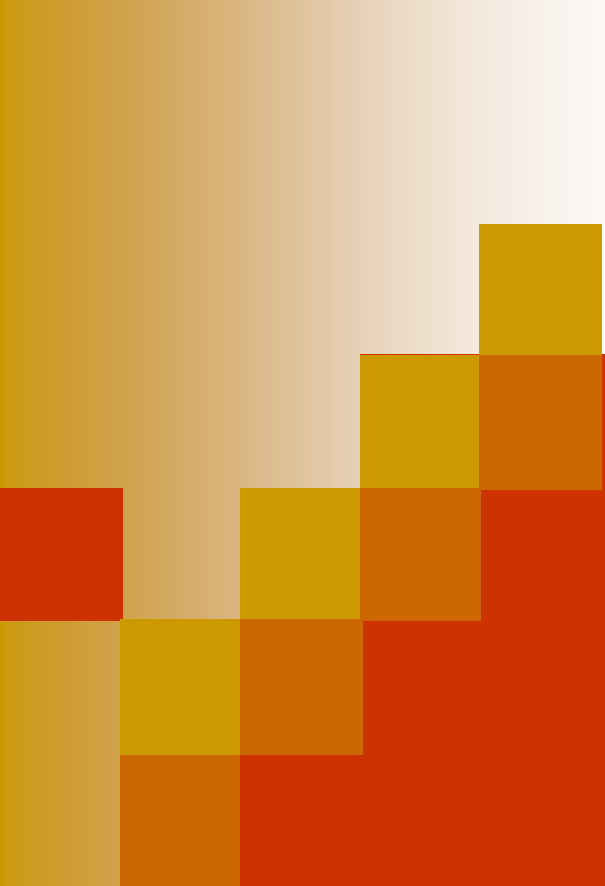
KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Co je příčinou vzniku endogenních bublin
2. Jakým způsobem lze odstranit rozpuštěný plyn z taveniny
3. Co je to plynotvornost formy a na čem závisí
4. Co je příčinou vzniku exogenních bublin



DOPORUČENÁ LITERATURA

JELÍNEK, P.: Slévárenství, skripta VŠB, 2007, 256 s.
ELBEL, T. a kol.: Vady odlitků ze slitin železa, Matecs
Brno 1992



Krystalizace, tuhnutí odlitku



KRYSTALIZACE

pod pojmem krystalizace rozumíme tvorbu zárodků, růst dendritů a tvorbu primární struktury

TUHNUTÍ

pod pojmem tuhnutí rozumíme vznik souvislé kovové vrstvy a její postup směrem k tepelné ose odlitku, při tuhnutí přibývá tuhé fáze a ubývá tekuté. Tuhnutí končí v okamžiku, kdy úplně vymizí tekutá fáze.



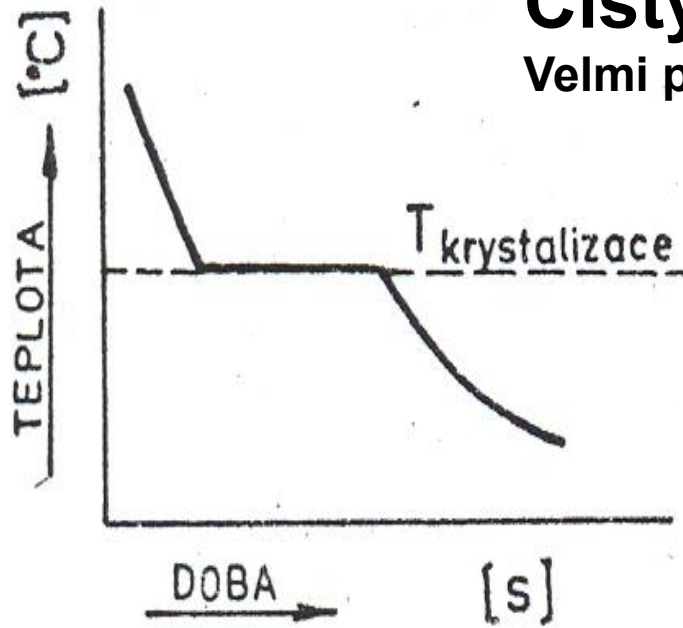
KRYSTALIZACE

fázová přeměna, při níž nastává změna tekuté fáze ve fázi tuhou (krystalického charakteru).

- ❑ Je doprovázena změnou objemu za současného vybavení skupenského tepla krystalizace.**
- ❑ U čistých kovů, slitin o eutektické koncentraci probíhá krystalizace za určité teploty tuhnutí.**
- ❑ Ostatní slitiny krystalizují v určitém rozmezí teplot, které je dáno vzdáleností likvidu od solidu v rovnovážném diagramu.**

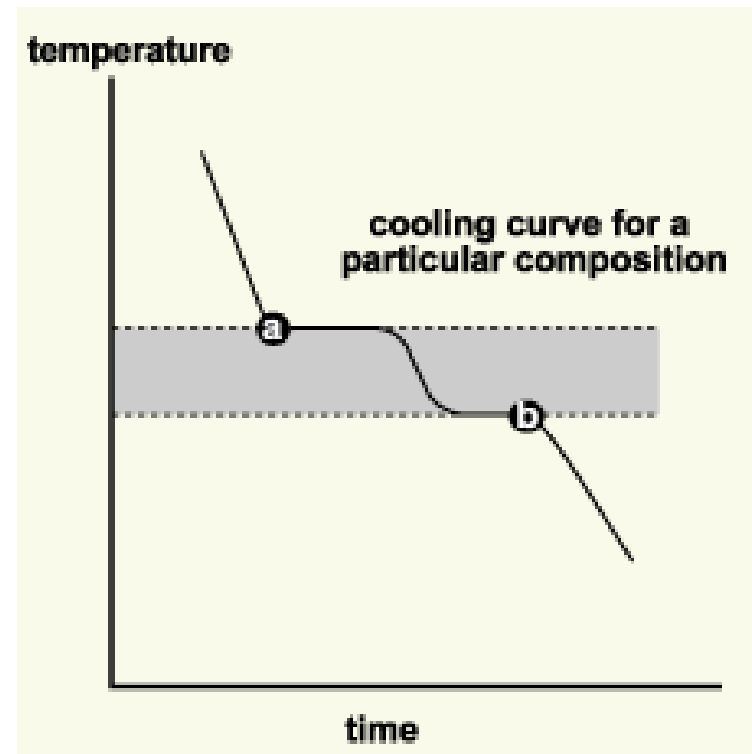
Čistý kov (eutektická slitina)

Velmi pomalé ochlazování



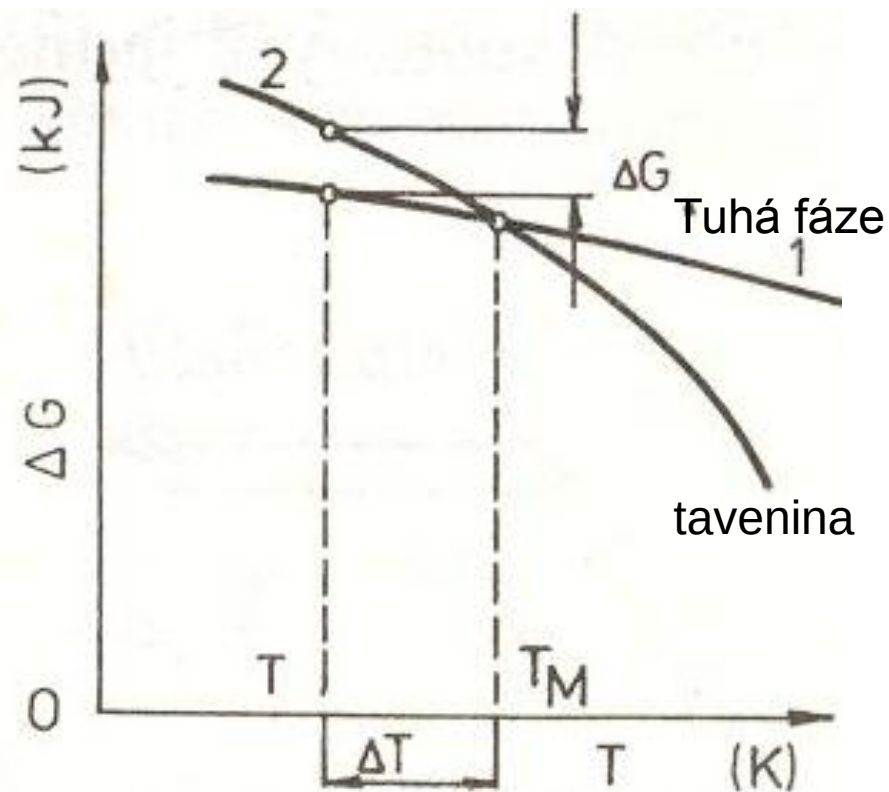
uvolnění latentního tepla krystalizace

Slitina - krystalizace probíhá
v intervalu teplot



TERMODYNAMICKÉ PODMÍNKY KRYSTALIZACE

- snaha kovu nebo slitiny dosáhnout při ochlazení stabilního stavu, z termodynamického hlediska charakterizován minimální volnou entalpií.
- Z rozdílu volných entalpií tuhé a tekuté fáze se uhradí práce nutná na základání a růst zárodků



pro zajištění dynamiky krystalizačního pochodu proti uvolňujícímu se skupenskému teplu krystalizace je nutné přechlazení

HOMOGENNÍ NUKLEACE

- Spontánní krystalizace vzniká na samostatně vzniklých zárodcích uvnitř přechlazené taveniny.

■ Vznik trvalých krystalů je podmíněn jejich nadkritickou velikostí.

Práce nutná k vytvoření zárodku

$$\Delta G = \Delta G_v + \Delta G_s$$

ΔG_v změna volné entalpie při přechodu tekuté fáze na tuhou

ΔG_s volná entalpie potřebná k vytvoření mezifázové hranice

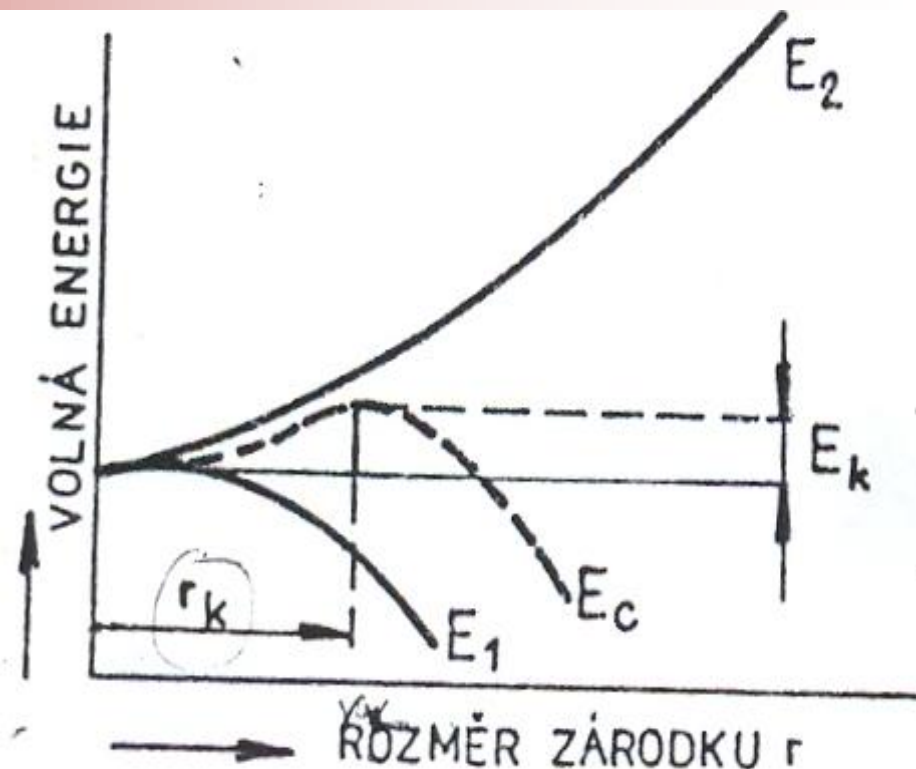
$$\Delta G_s = E_2 = A \cdot \sigma = 4\pi r^2 \cdot \sigma$$

A plocha fázového rozhraní
 σ povrchové napětí

$$\Delta G_v = E_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \frac{\Delta G_m}{v}$$

V molární objem

ΔG_m rozdíl molárních volných entalpií tekuté a tuhé fáze (je při krystalizaci záporný)



$$E_c = 4\pi r^2 \cdot \sigma - \frac{4}{3}\pi r^3 \cdot \frac{\Delta G_m}{v}$$

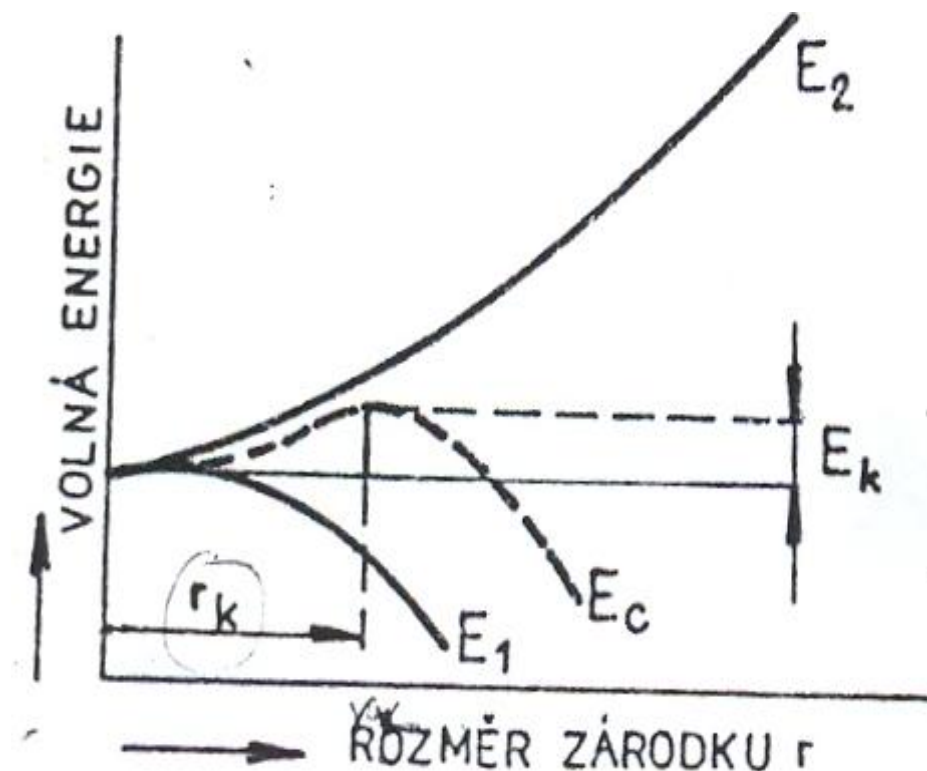
Kritická velikost zárodku

$$r_k = 2\sigma \frac{v}{\Delta G_m} = \frac{2M.T.\sigma}{\lg \Delta T}$$

T skutečná teplota krystalizace

M molekulová hmotnost

s rostoucím přechlazením
klesá kritická velikost zárodku



homogenní nukleace je možná jen v laboratorních
podmínkách při velkých přechlazeních cca 0,8 $T_{\text{tavení}}$



HETEROGENNÍ NUKLEACE

Odpovídá podmínkám krystalizace ve slévárenské formě.

Pro vznik krystalů je postačující přechlazení cca
 $0,02 T_{\text{tání}}$

Krystalizace je vyvolána přítomností vměstků (oxidy, nekovové vměstky), které se stávají jejími iniciátory dříve, než může vzniknout přechlazení nutné k zahájení spontánní krystalizace.



KRYSTALIZAČNÍ ZÁRODKY

- **Krystalizační zárodky musí splňovat následující podmínky :**

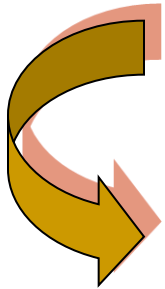
- **musí mít příbuznou krystalickou mřížku, zárodek musí být smáčen taveninou**

Čím je krystalická příbuznost mřížek kovu a vměstku větší, tím menší je úhel smáčení a tím snáze se zárodek stává aktivním krystalizačním zárodkem.

- 
- **Existují i další vlivy ovlivňující vlastní průběh krystalizace:**
 - **čistota kovu (obsahuje-li kov plyny, vměstky, vzduch, pak nepotřebuje velké přechlazení k zahájení krystalizace)**
 - **pohyb taveniny (každý neklid, vibrace, chvění, proudění ap., snižuje nutné přechlazení k tvorbě zárodku)**
 - **tlak (vysoký vnější tlak napomáhá krystalizaci)**

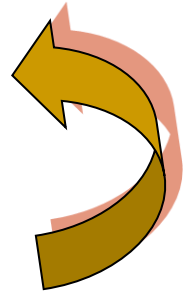
jemnost vyloučených krystalů je možno ovlivňovat:

**□ rychlostí vzniku krystalizačních zárodků (N_1)
lineární rychlostí růstu krystalů (ω)**



$N_1 \gg \omega$ jemnozrnná struktura

$N_1 \ll \omega$ hrubozrnná struktura



□ Umělým zvětšováním počtu zárodků – očkování (např. u šedé litiny očkování FeSi, MnSi) je potřeba jen malé přechlazení

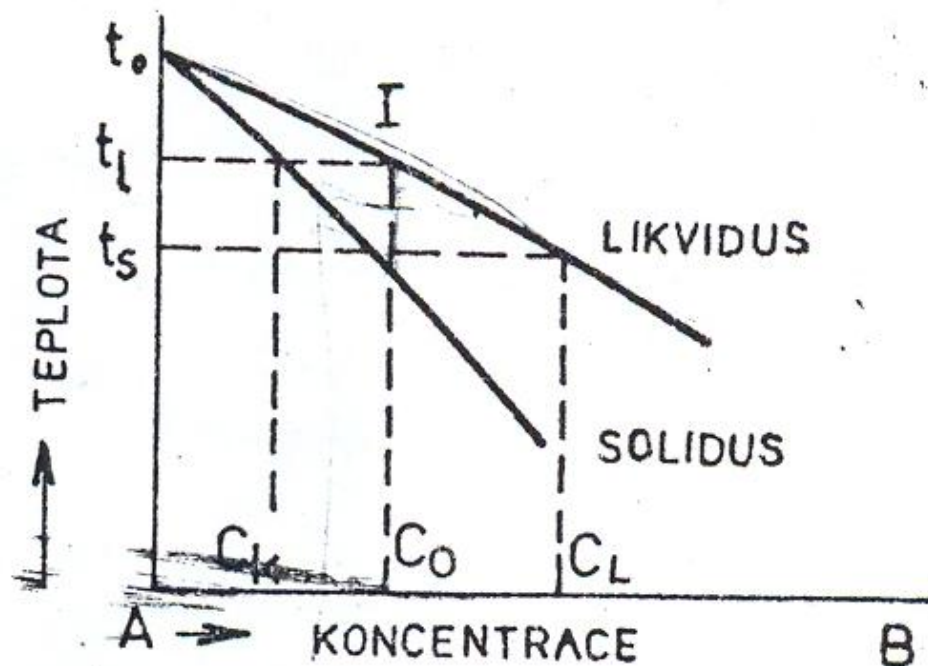
□ přehřátí taveniny

roztavení části vměstků, které podněcují krystalizaci při malém přechlazení, uplatní se jiné vměstky až při větším přechlazení, menší kritická velikost zárodku – tím je umožněn růst většímu počtu zárodků a výsledná krystalizace je jemnější

KRYSTALIZACE SLITIN V REÁLNÝCH PODMÍNKÁCH

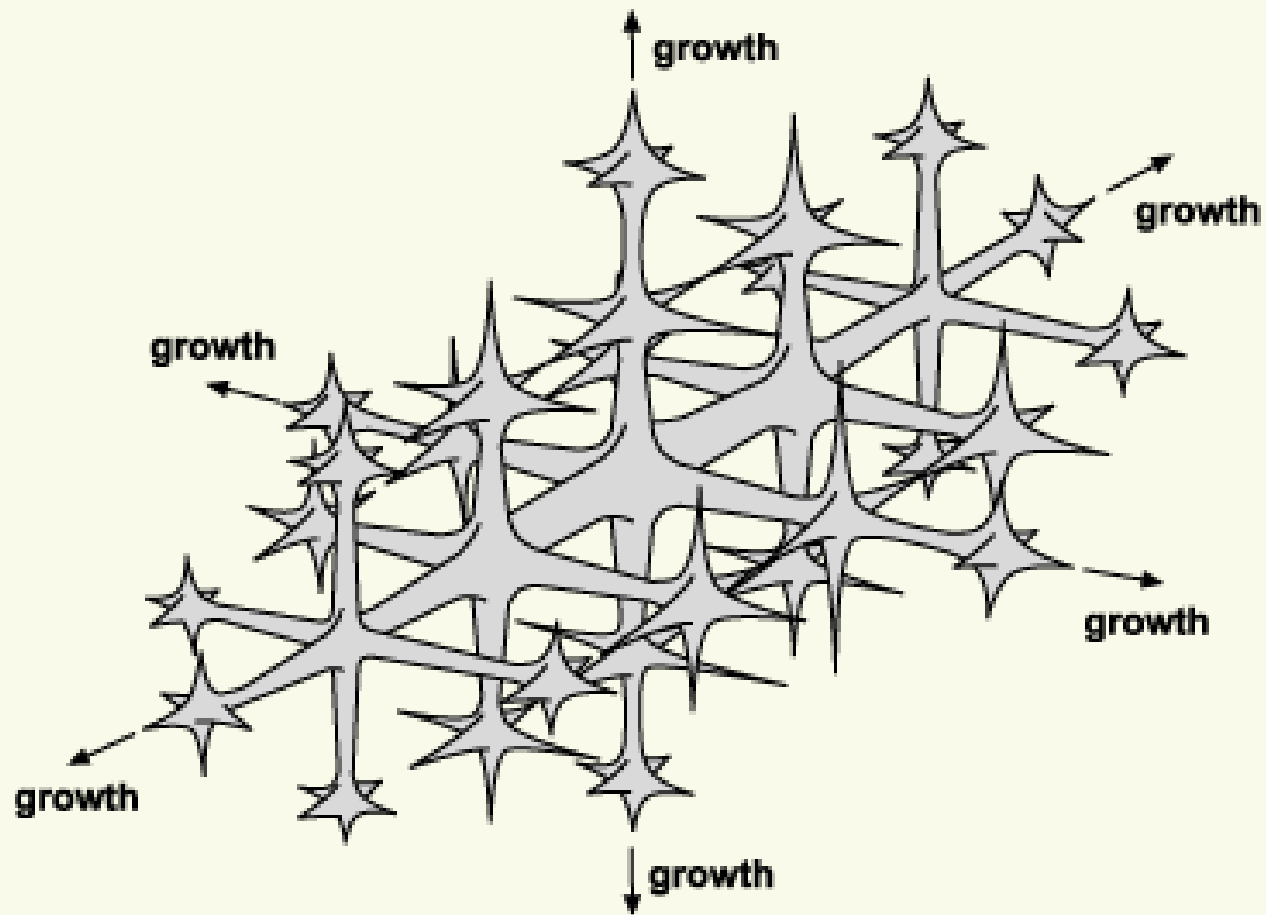
Odchylky od rovnovážného diagramu

- Postupnou změnou koncentrace tuhé fáze dochází k nehomogenitám (první krystaly bohaté na složku A, až na poslední tuhnoucí ochuzené složkou A).



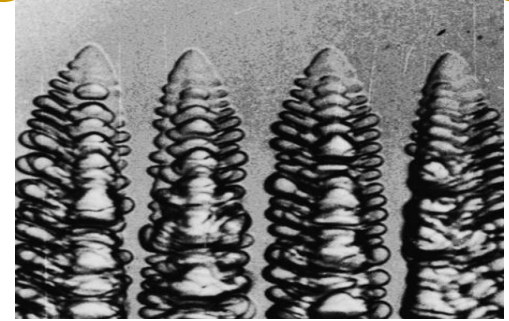
- nehomogenita krystalu, se částečně vyrovnává difuzí v tuhé i tekuté fázi

Rust dendritu

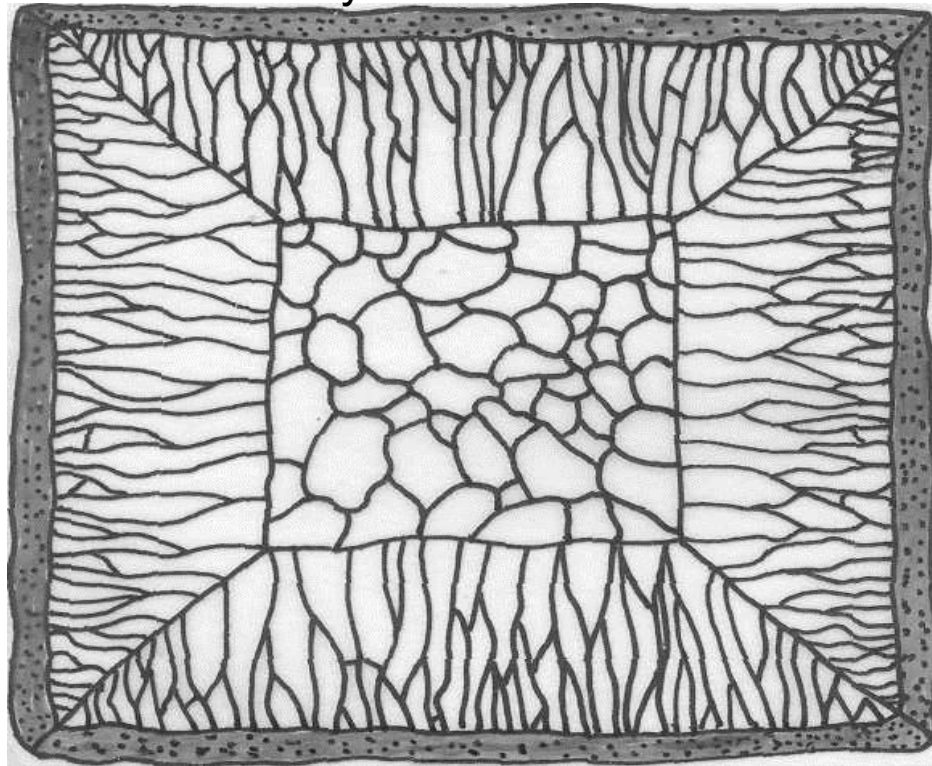
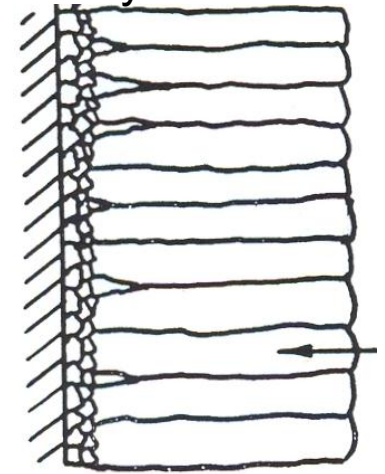


PRIMÁRNÍ KRYSTALIZACE ODLITKŮ

povrch drobné nahodile orientované krystalky (globulity) - **licí kůra** (rychlé ochlazení taveniny na stěnách formy



pásma protáhlých kolumnárních krystalů, hlavní osy rovnoběžné se směrem maximálního odvodu tepla z odlitku typický dendritický charakter.

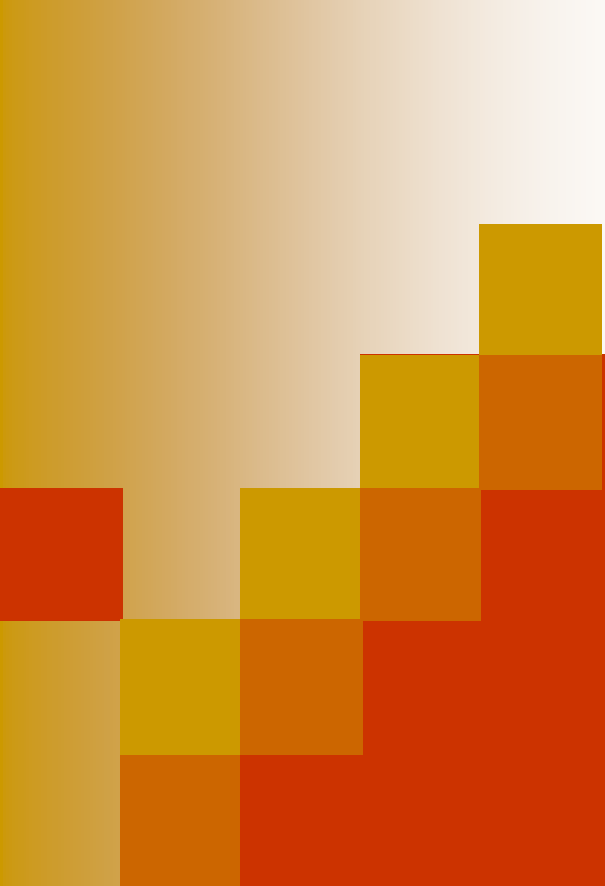


Ve středu odlitku se nachází pásma rovnoosých polyedrických krystalů



KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jaké jsou termodynamické podmínky krystalizace
2. Jaký je rozdíl mezi homogenní a heterogenní nukleací
3. Proč se provádí očkování



tuhnutí odlitku



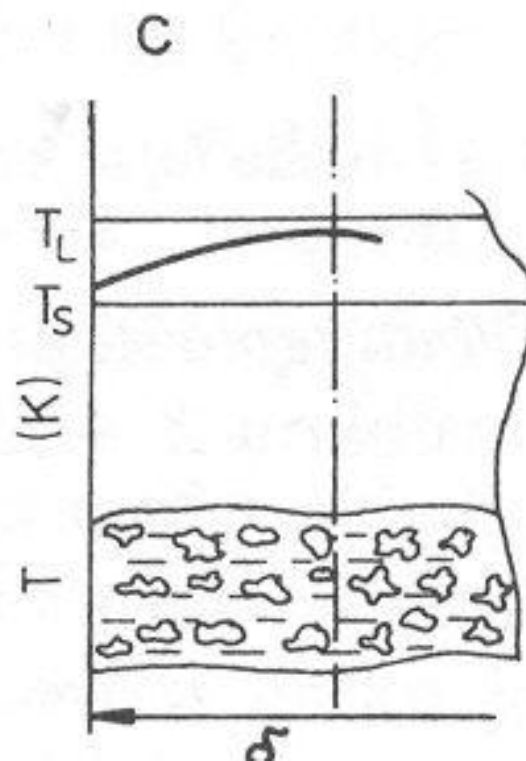
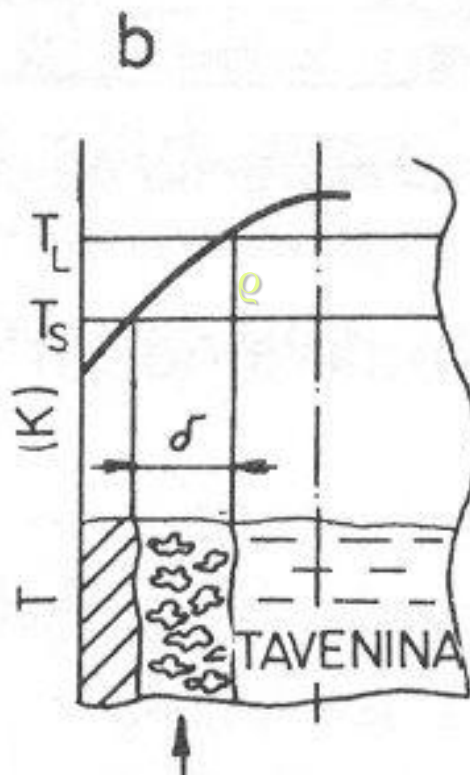
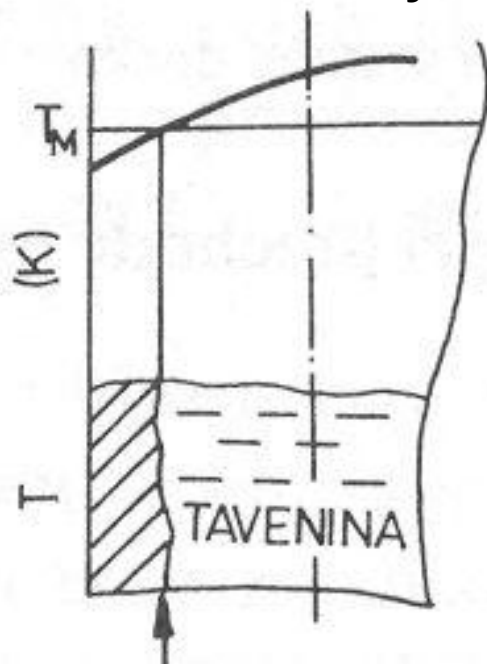
TUHNUTÍ KOVŮ A SLITIN

- Tuhnutí je pochod, při kterém vlivem ochlazování kovu ve slévárenské formě, dochází ke změně tekuté fáze v pevnou, krystalickou.
- Z hlediska řízení vlastností odlitku a technologie výroby nás zajímá jak dlouho trvá tento pochod (doba tuhnutí) a jaký je postup natuhávání pevné fáze od stěny formy.

Tři druhy příčného tuhnutí

a) progresivní; b) dvoufázové; c) objemové

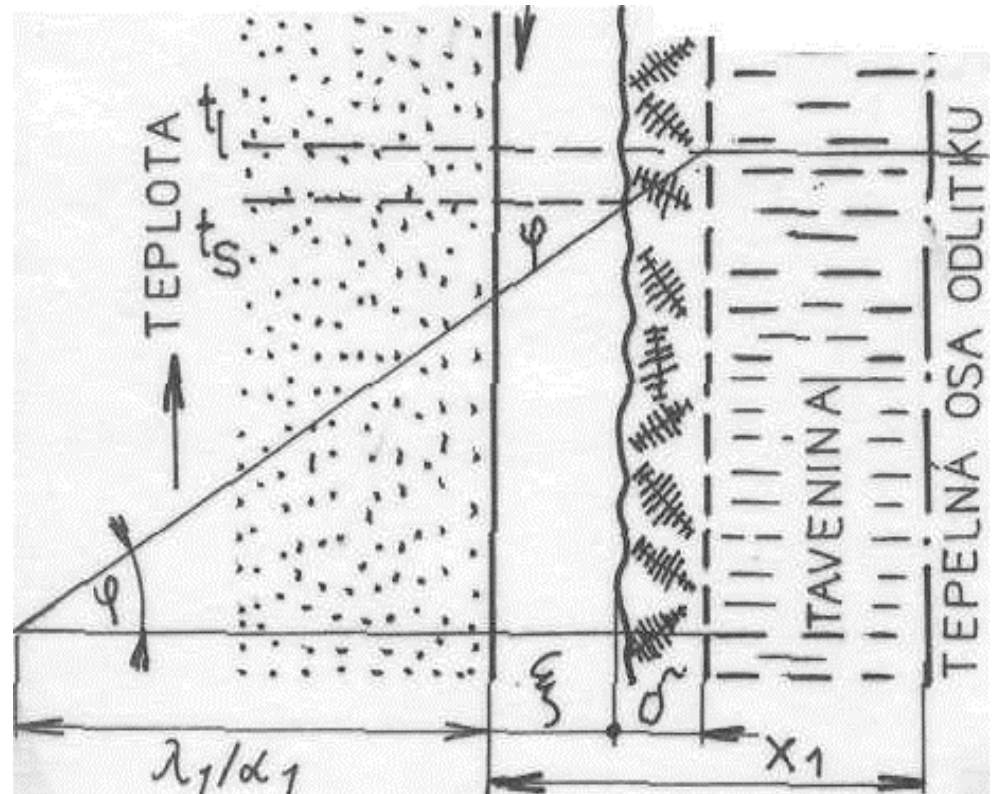
a Čisté kovy
eutektické slitiny



Dvoufázové tuhnutí

- Během tuhnutí mohou vedle sebe existovat 3 pásma

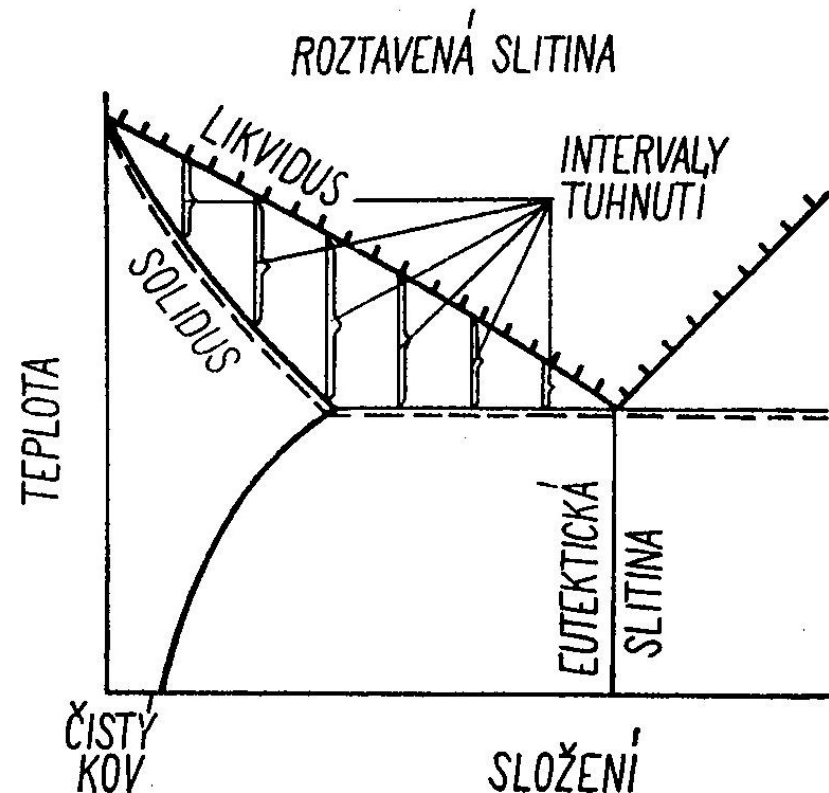
- Pásma tuhého kovu (ξ)
- Dvoufázové pásmo (δ)
- Pásma taveniny.



Šířka dvoufázového pásma

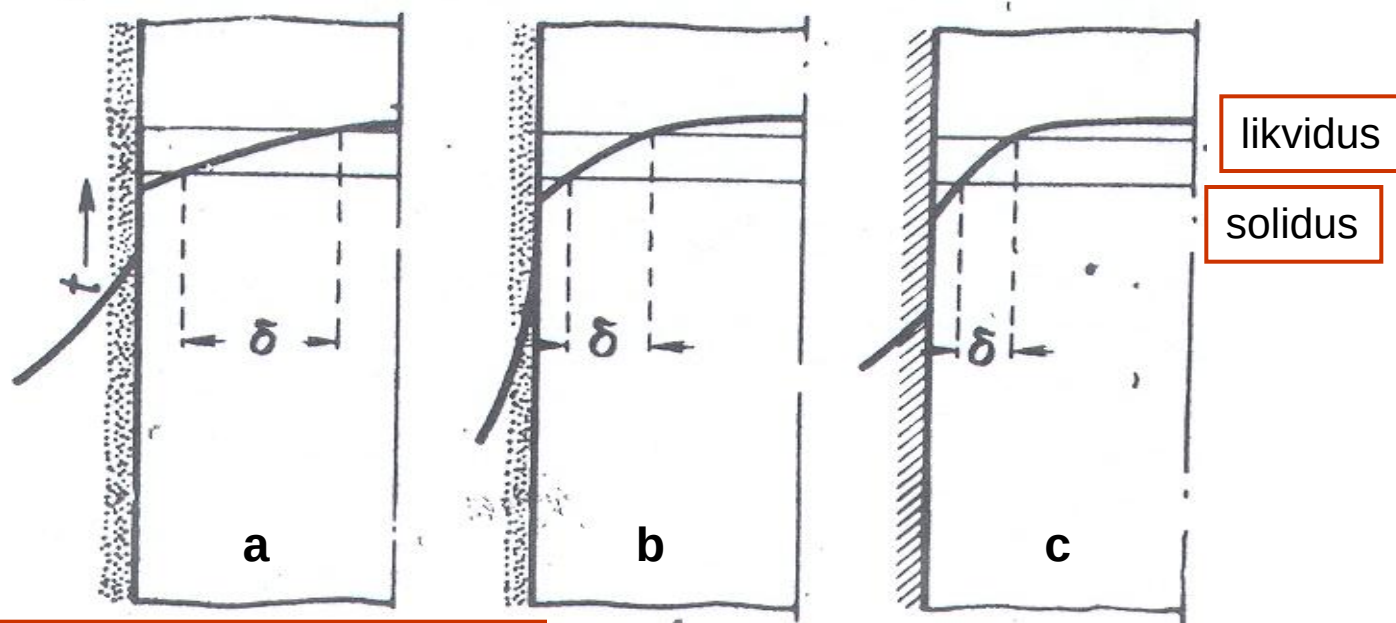
Na šířku dvoufázového pásma má vliv:

- Kov odlitku - interval tuhnutí slitiny (dáno chemickým složením slitiny) a λ slitiny;



rychlost ochlazování (tepelná akumulace formy bf);

a) sušená forma, b) syrová forma, c) kokila

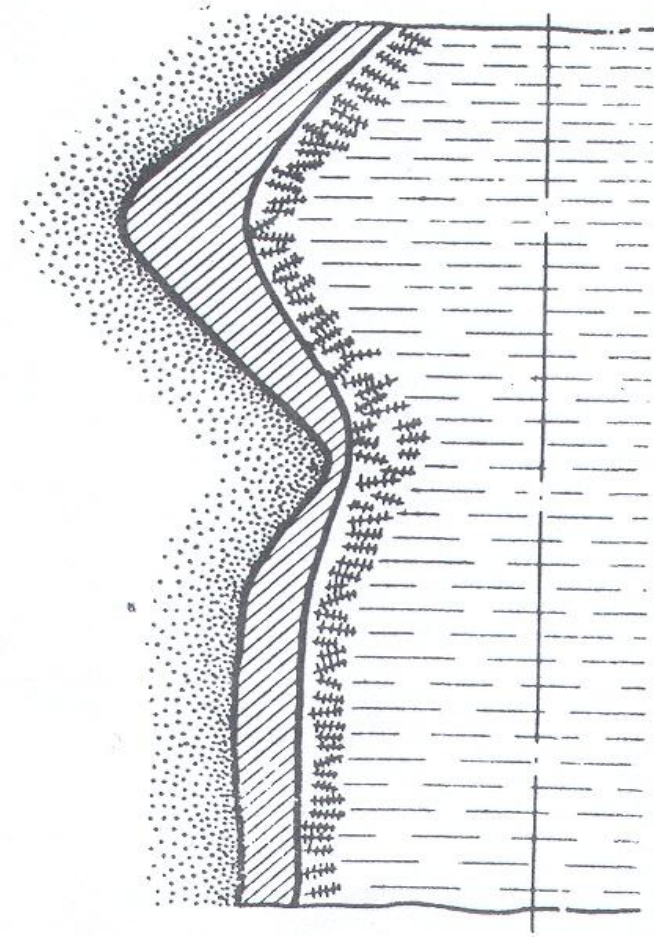
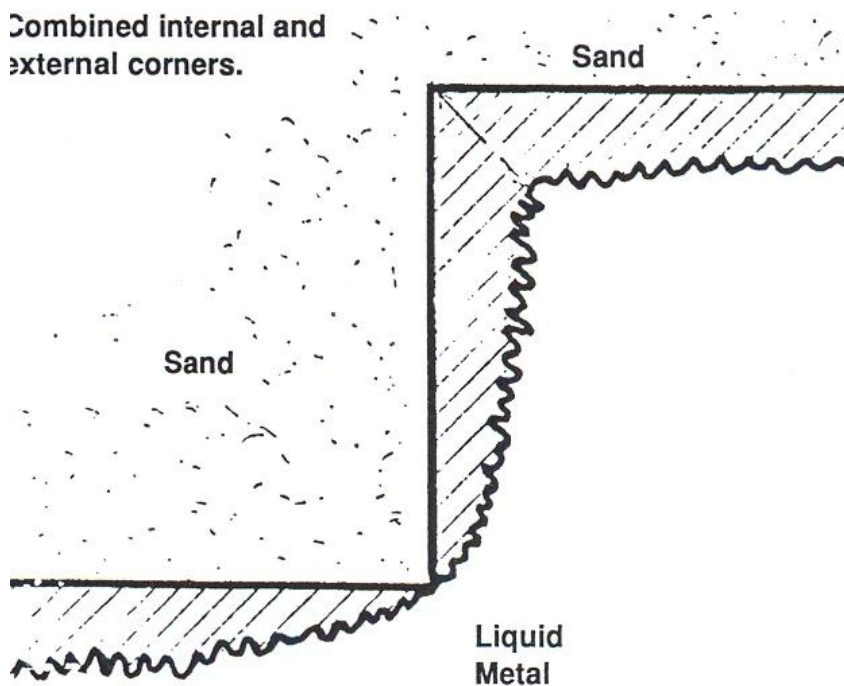


$$b_f = \sqrt{\lambda_f c_f \varsigma_f}$$

Λ tepelná vodivost, c_f měrné teplo, ς hustota

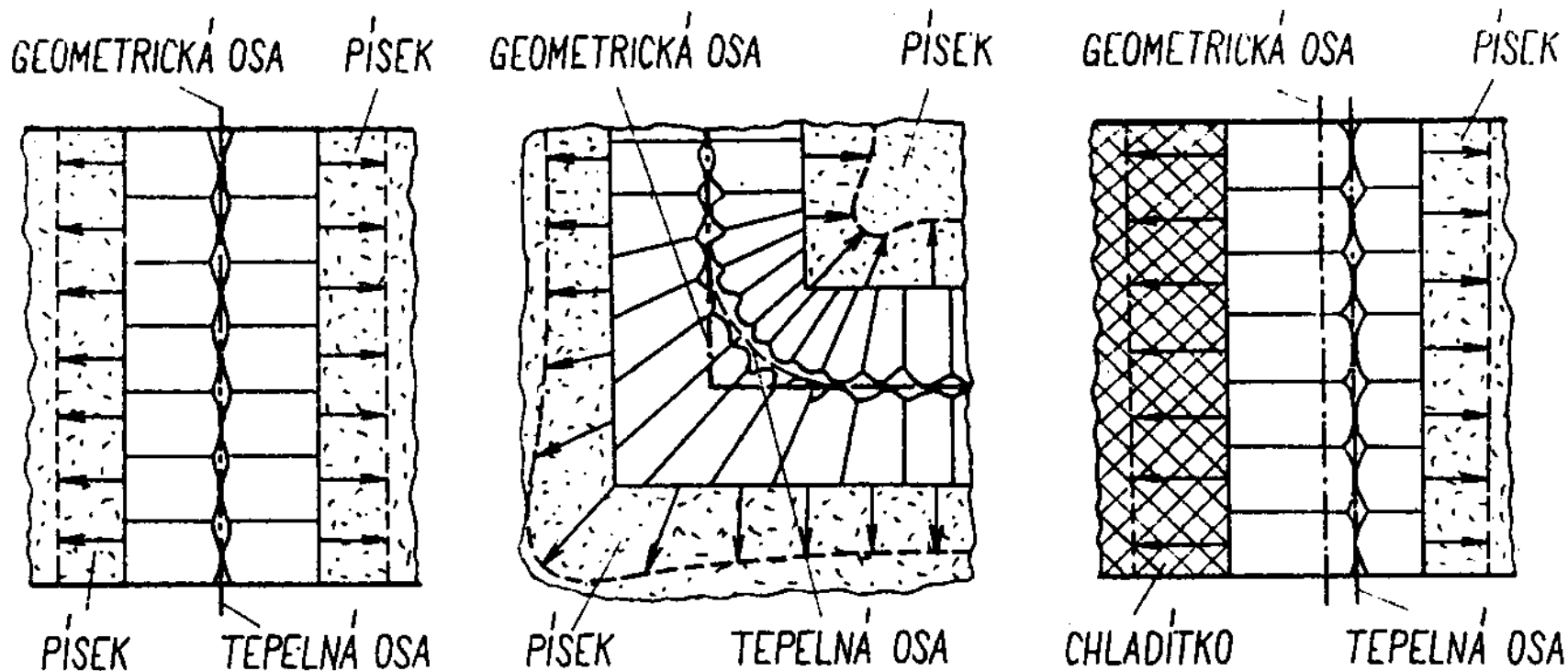
Čím je akumulační schopnost formy vyšší, tím je příčný teplotní gradient větší a tím užší je dvoufázové pásmo

- konstrukce odlitku
- způsob odlévání (teplota lití a stupeň průtočnosti)



Tepelná osa

- Množina bodů, s nejvyšší teplotou (slitina tuhne naposled)
Její poloha závisí na tvaru odlitku a způsobu odvodu tepla.
- Tepelná osa se nemusí shodovat s geometrickou
odchýlení od osy geometrické ve směru menšího odvodu tepla.



Pro výpočet doby tuhnutí platí Chvorinův vztah:

$$\tau = \left(\frac{R}{K}\right)^2$$

Kde : R relativní tloušťka (modul)
odlitku [m]

$$R = \frac{V}{S}$$

K konstanta tuhnutí [m.s^{-1/2}]

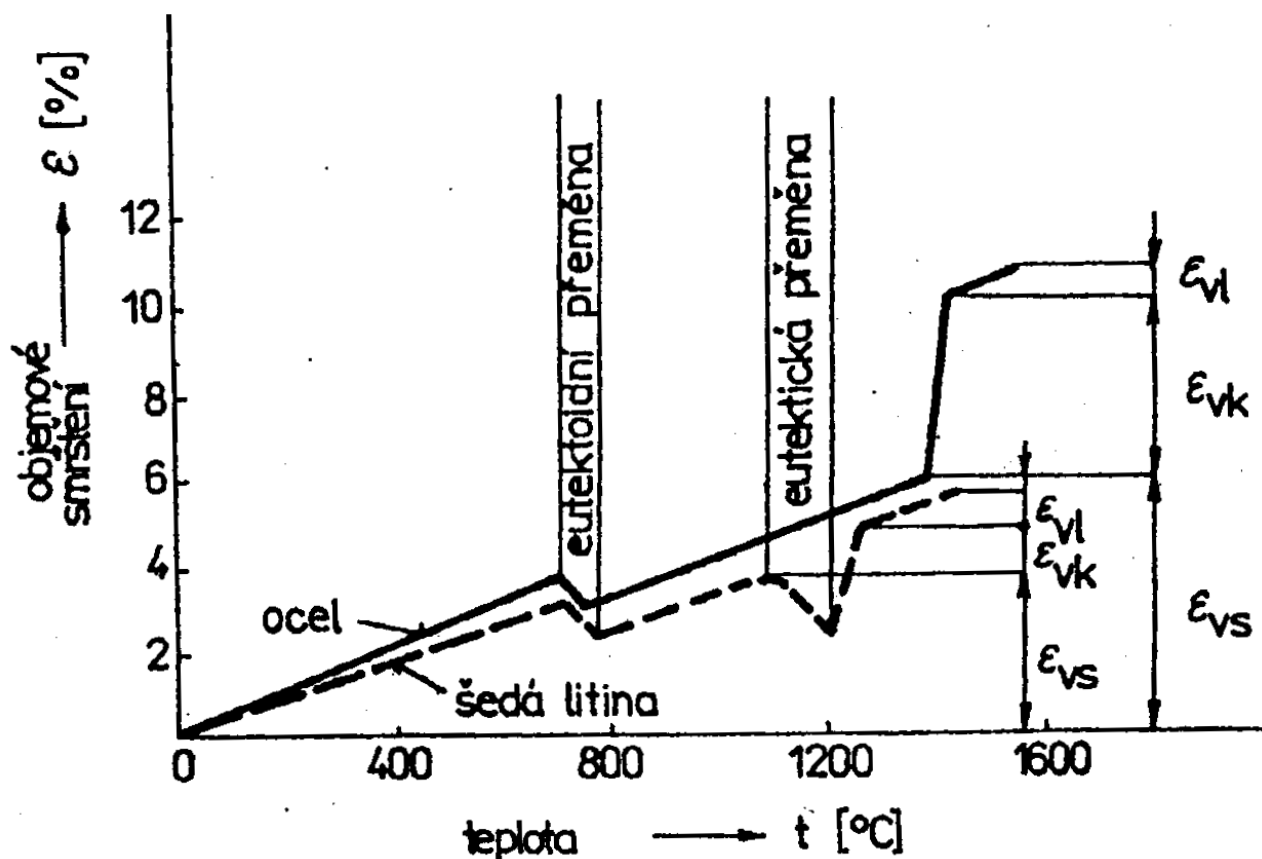
$$K = 1,158 \frac{t_s \cdot b_f}{L_k + (t_{tek} - t_s) \cdot C_k \cdot \gamma_k}$$

SMRŠTĚNÍ KOVU PŘI TUHNUTÍ A CHLADNUTÍ ODLITKU

- Chladnutí slitin je doprovázeno zmenšováním jejich objemu – smršťováním.
- K tomu dochází v důsledku změny měrné hmotnosti (hustoty) slitiny ρ , která s klesající teplotou roste. Protože platí zákon zachování hmoty musí se změna hustoty rostoucí projevit při ochlazování odlitku zmenšováním jeho objemu.
- Smršťování lze rozdělit
 - smršťování roztavené slitiny, ε_{vl}
 - smršťování při tuhnutí, ε_{vk}
 - smršťování v pevném stavu, ε_{vs}

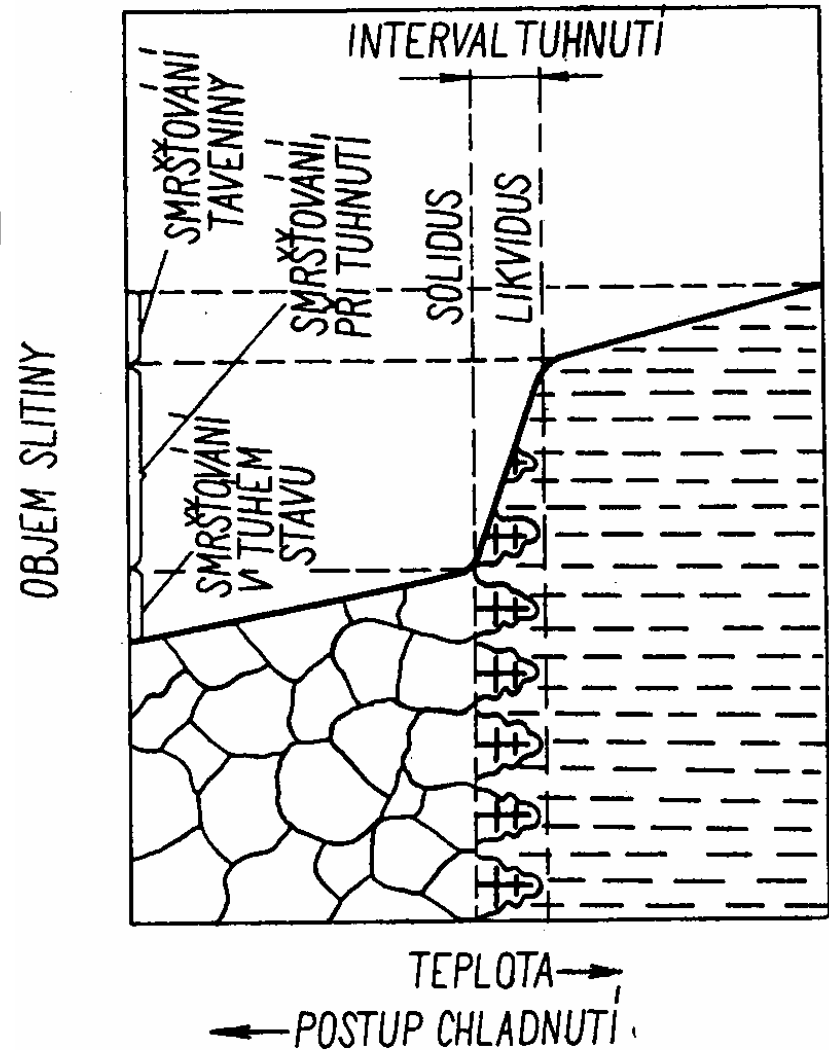
Průběh smršťování oceli a litiny.

Hlavní rozdíl spočívá ve způsobu krystalizace, kdy u litin při vylučování grafitu z taveniny dochází k předsmršťovacímu roztažení. Výsledkem pak je celkově nižší lineární smrštění litinových odlitků (1%) proti ocelovým odlitkům (2 %).



Smršťování při tuhnutí

- Smrštění (stahování) při tuhnutí je závislé na materiálu odlitku, způsobu tuhnutí, formě a konstrukci odlitku.
- Rozdíl mezi objemem tekutého kovu před tuhnutím a pevného kovu po ztuhnutí je nazýván *staženinou*

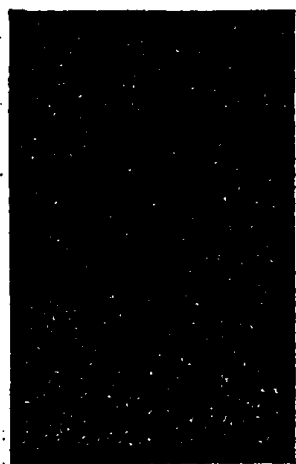




Vznik staženin v odlitcích

- Staženina je dutina v odlitku, která vzniká úbytkem slitiny při tuhnutí, větší část jejího povrchu má obnažené dendritové skelety.
- Na její tvar a umístění má rozhodující vliv způsob odvodu tepla. Staženiny se tvoří v tepelném centru litého útvaru.
- Kromě staženin rozlišujeme i řediny což jsou malé staženiny patrné pouhým okem na řezu nebo lomu odlitku.

Vliv teploty na objem slitiny



1000

Litý
stav



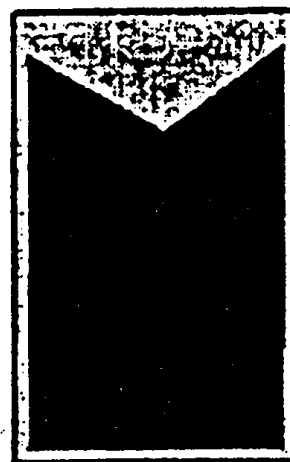
980

smrštění
taveniny



950

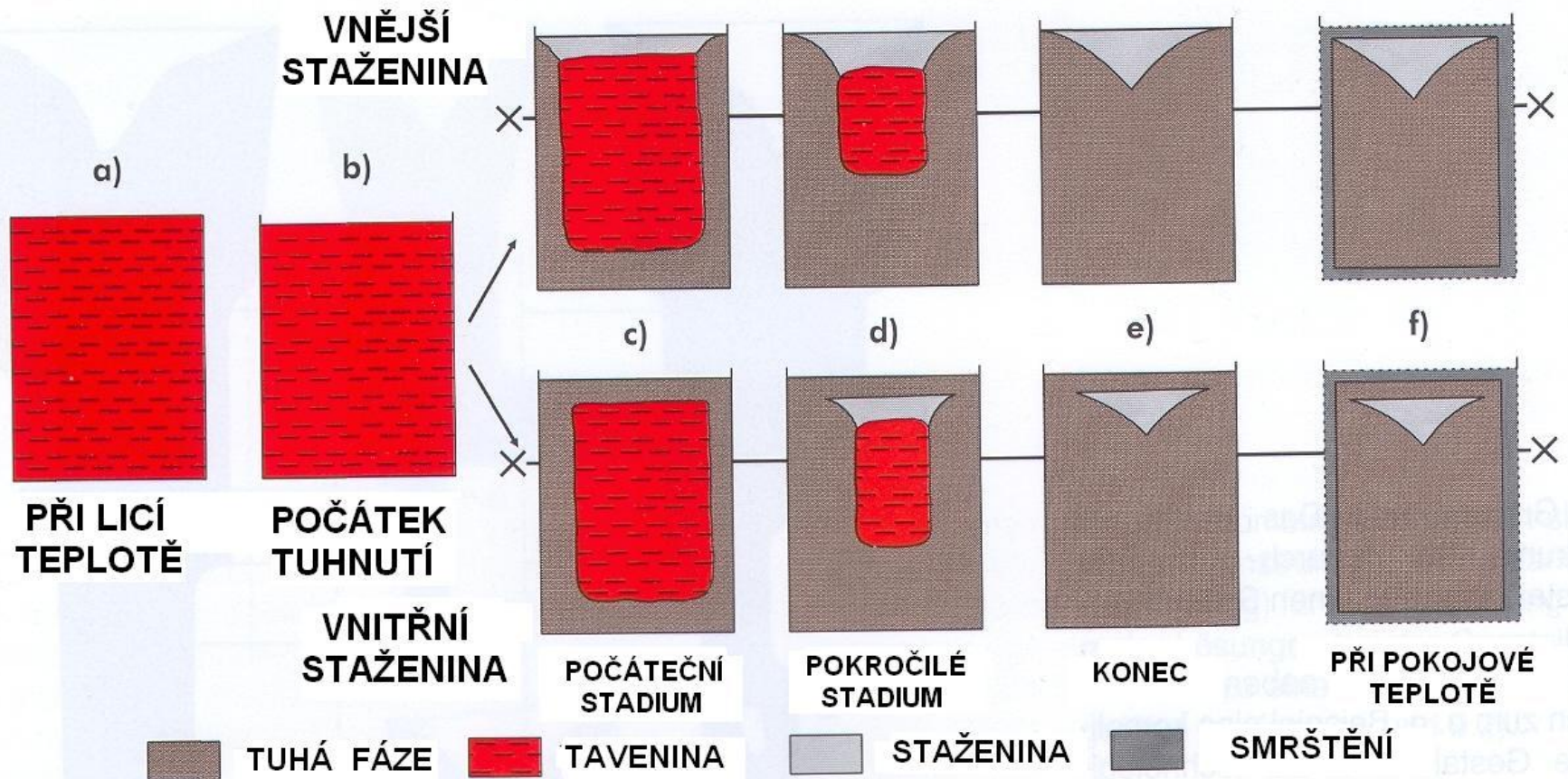
smrštění
při tuhnutí



878 cm³

smrštění
pevné fáze

Postup vzniku vnější a vnitřní staženiny



SMRŠŤOVACÍ MIKROPÓROVITOST

- slitiny se širokým intervalem tvorba mikrostaženin.
- Příčina vytváření ostrůvků taveniny mezi rostoucími dendrity
- Po jejich ztuhnutí se vytvoří vnitřní mikrostaženiny neboli smršťovací mikropórovitost.

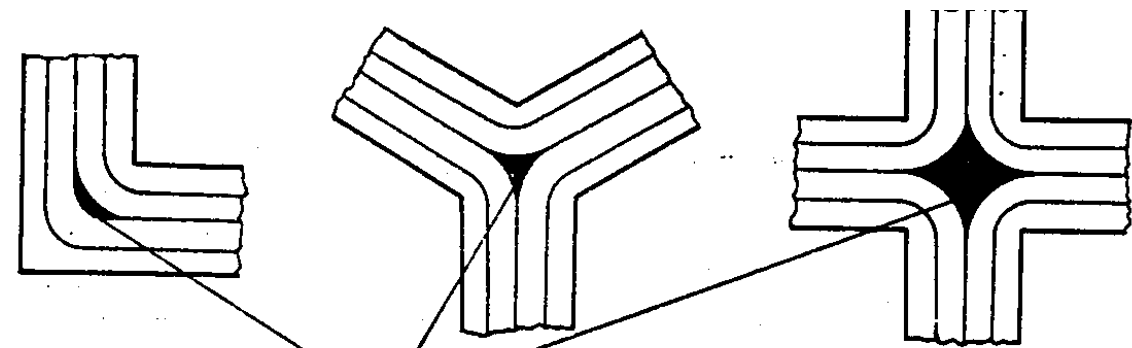


Tepelné uzly

- V místech, kde je proti okolním stěnám nashromážděn kov, tuhne roztavená slitina později.

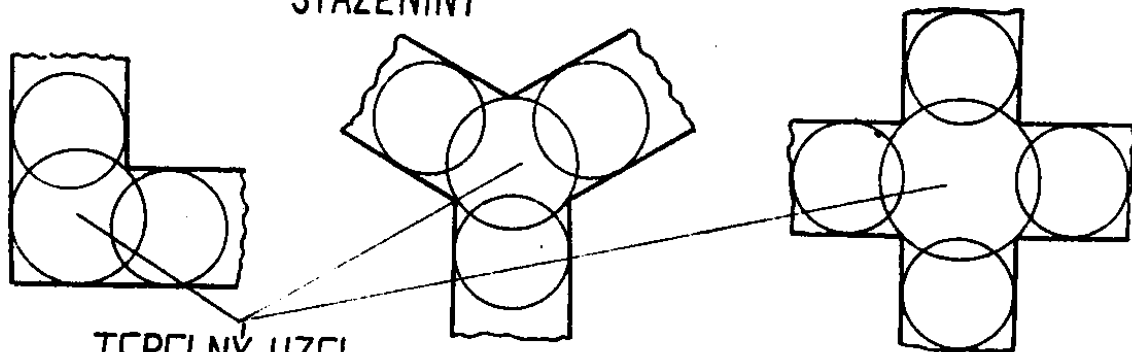
 **tepelné uzly**

- Tvorba staženin



STAŽENINY

Metoda vepsaných kružnic (Heuversova)



TEPELNÝ UZEL



Zneškodňování tepelných uzlů

■ ZMĚNA KONSTRUKCE ODLITKU

- Úpravy tvaru odlitku.
- Technologické přídavky

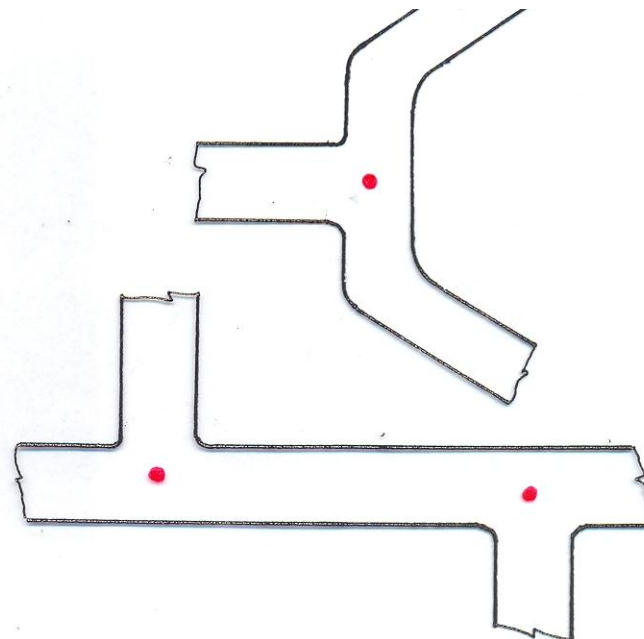
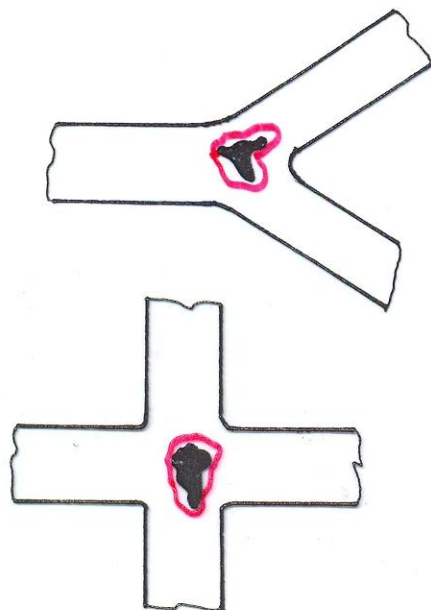
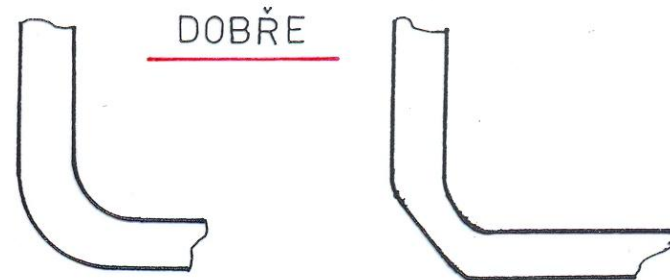
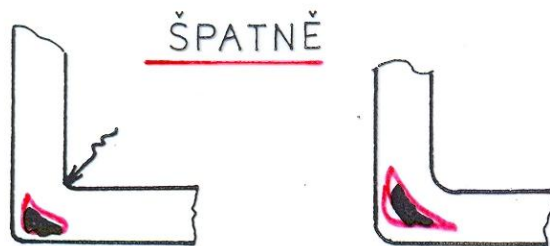
■ NÁLITKOVÁNÍ

(nálitky doplňují úbytek objemu kovu během tuhnutí)

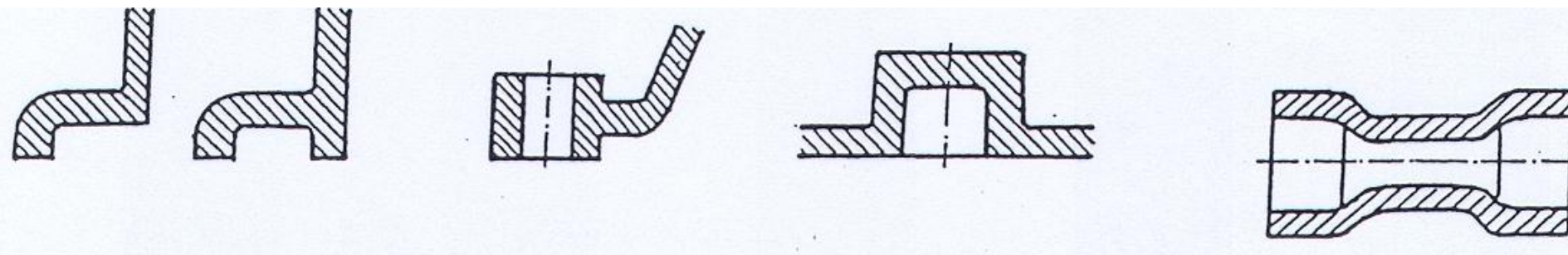
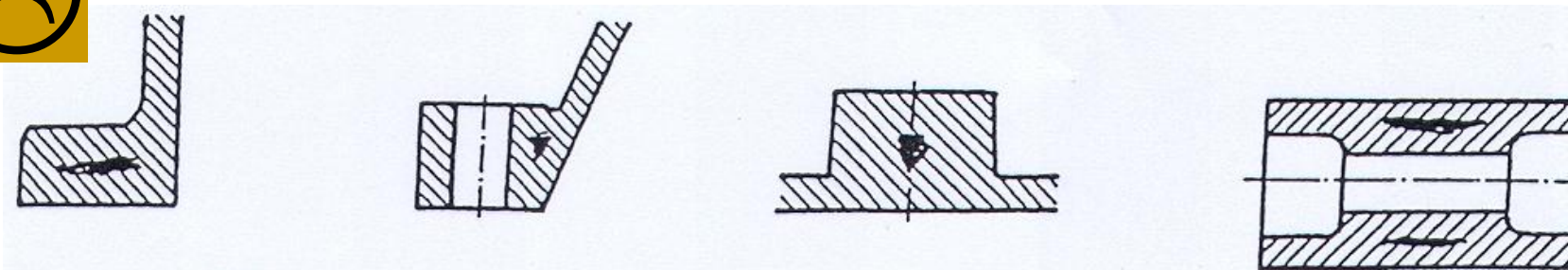
■ CHLAZENÍ TEPELNÝCH UZLŮ

- Vnitřní.
- Vnější.

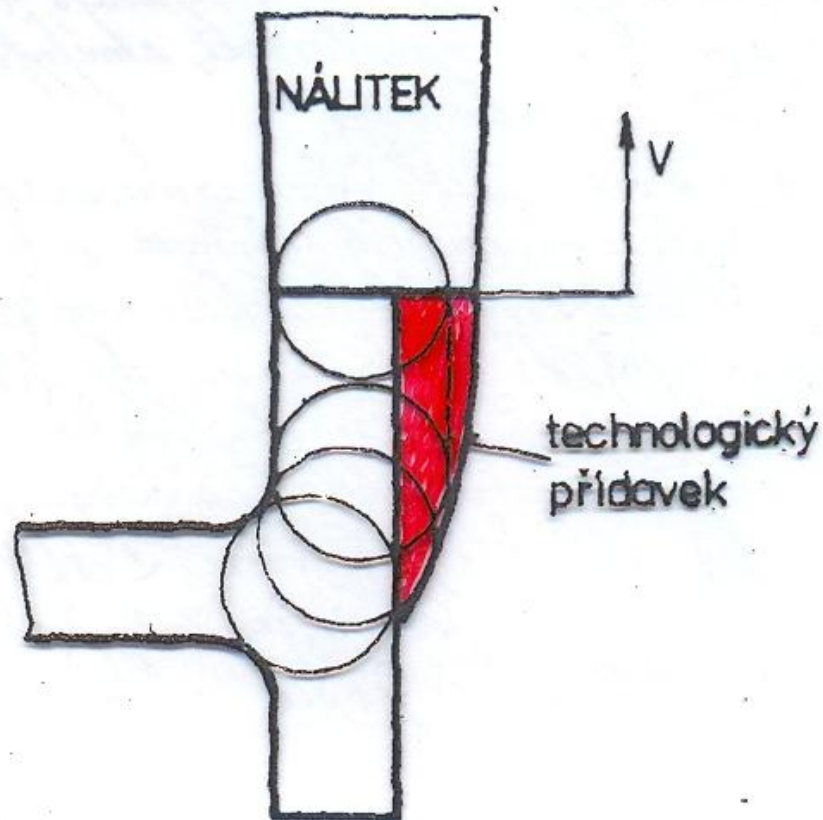
Konstrukční změna tepelných uzlů



Konstrukční změna tepelných uzlů

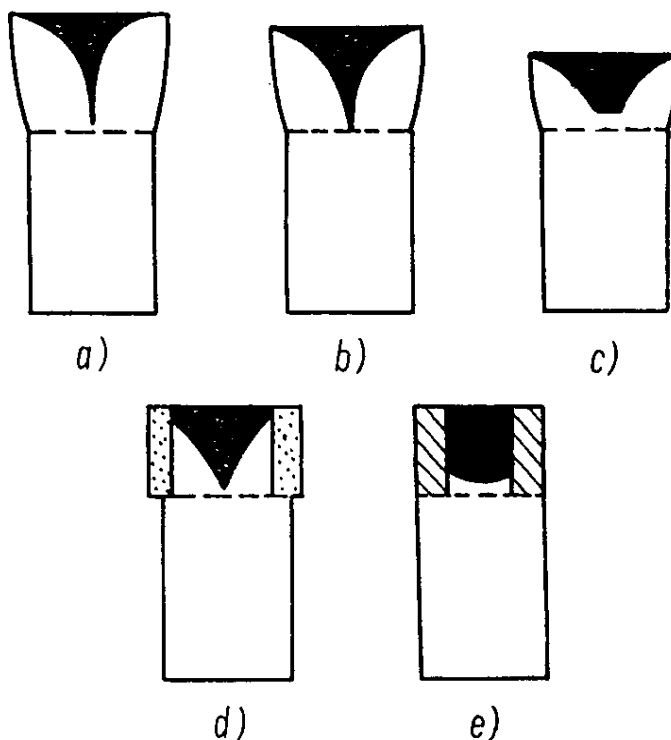


Technologické přídávky



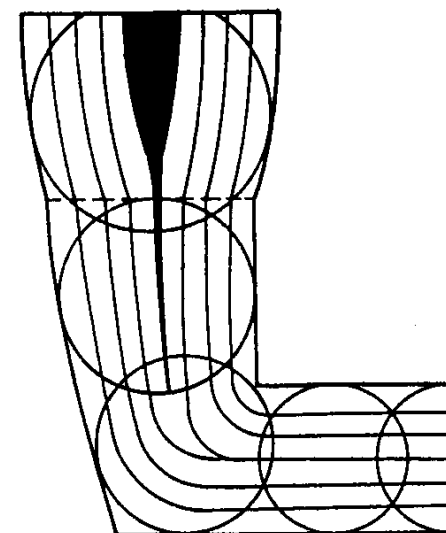
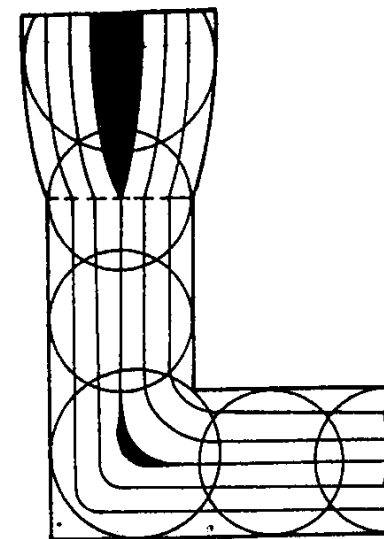
Nálitkování odlitků (tepelných uzlů)

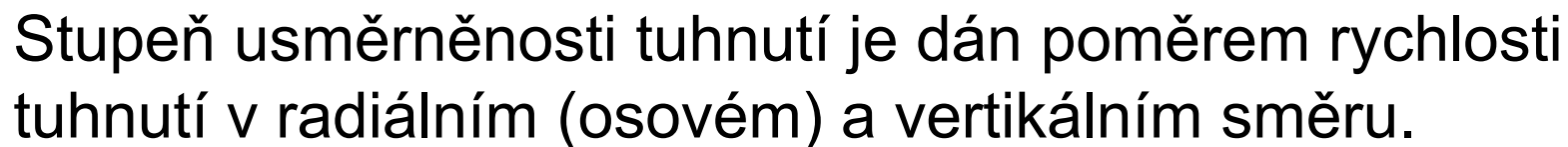
- Zásobník tekutého kovu, ze kterého se doplňuje úbytek objemu při tuhnutí, se nazývá nálitek a je třeba, aby se staženina soustředila v nálitku.



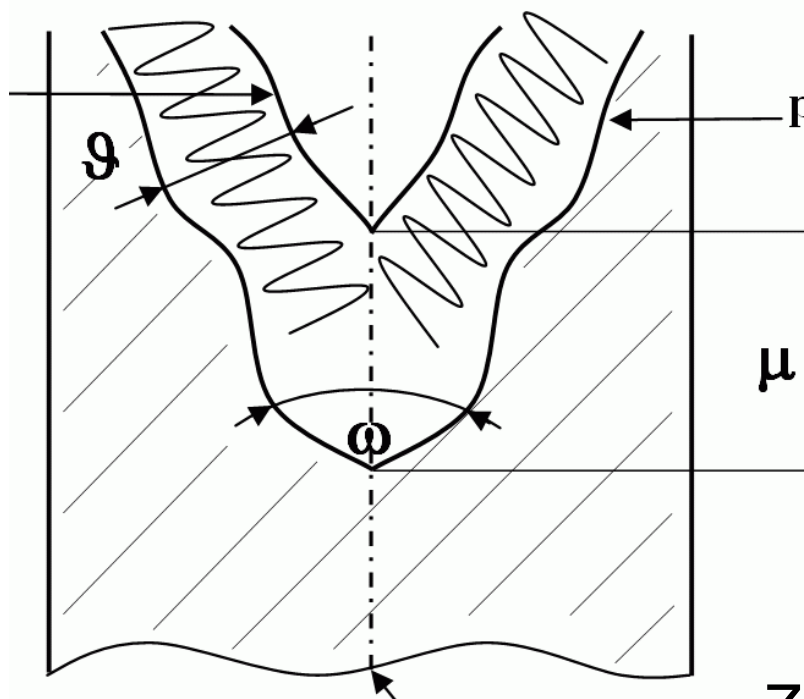
Usměrněné tuhnutí

- Má-li být dosaženo zdravého odlitku, musí jeho tuhnutí postupovat od nejvzdálenějších míst až do nálitku, který má ztuhnout jako poslední.
- Pak je zaručeno, že nálitek doplňuje úbytek slitiny při tuhnutí a že tepelné uzly jsou napojeny na nálitek.





Odvod tepla musí být řízen tak, aby pásmo tuhnutí směrem k nálitku tvořilo kuželovitý tvar o úhlu ω



úhel ω vyjadřuje stupeň
zdravosti odlitku

zdravě ztuhlý odlitek bez mikroředin, je nutno

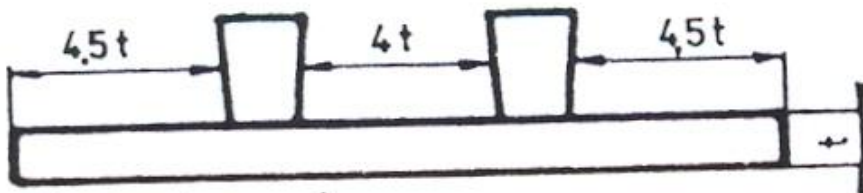
- zmenšit šířku dvoufázového pásma
- zvětšit úhel ω

Zmenšuje se μ
pásma překážek proti dosazování

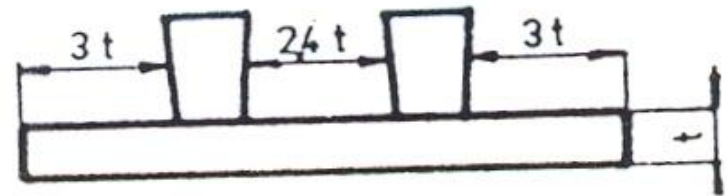
Nálitek jakožto zásobník tekutého kovu musí ztuhnout jako poslední.

Musí být umístěn tak, aby zajistil dobré doplňování tekutým kovem do určité oblasti odlitku (oblast dosazování).

Dosazovací schopnost nálitků pro jednoduché odlitky

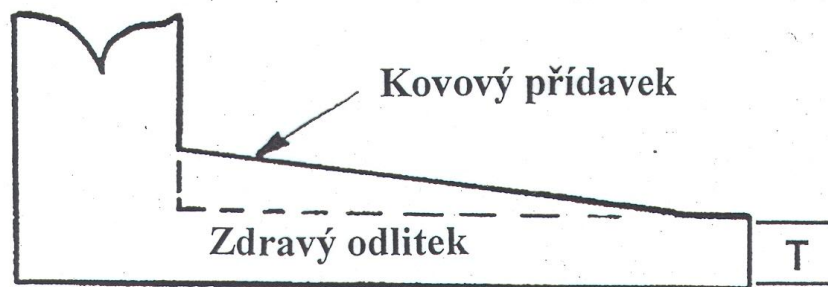
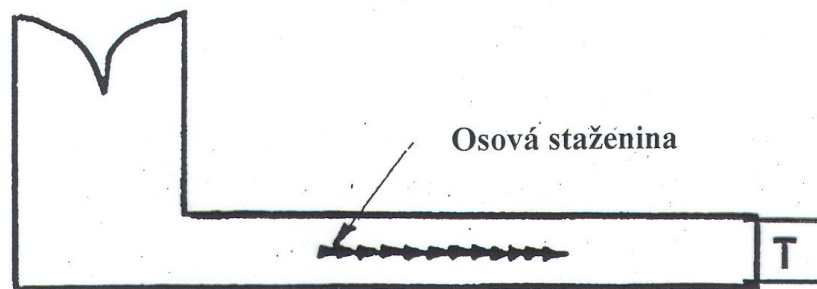


a) deska

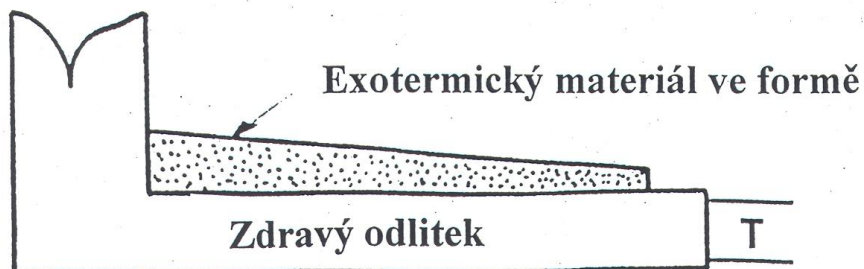


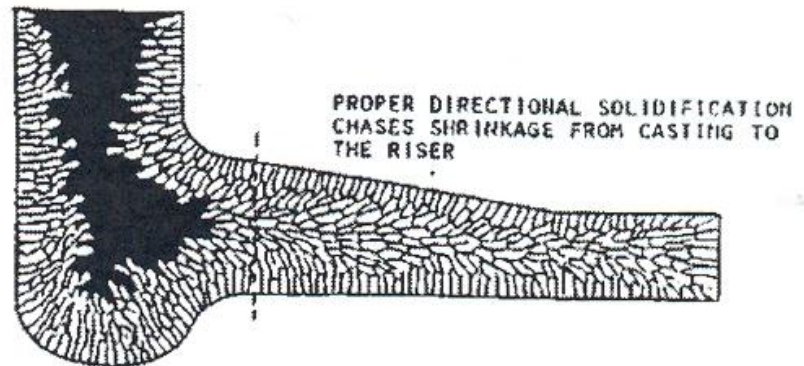
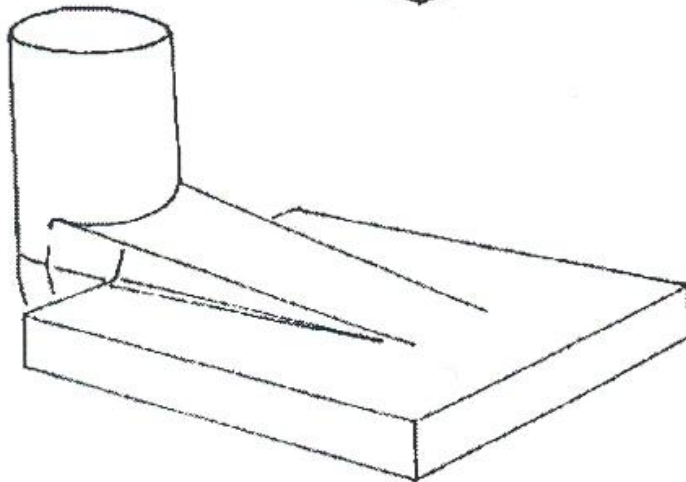
b) tyč

Prodloužení nálitkového pásma



Použití technologického přídavku



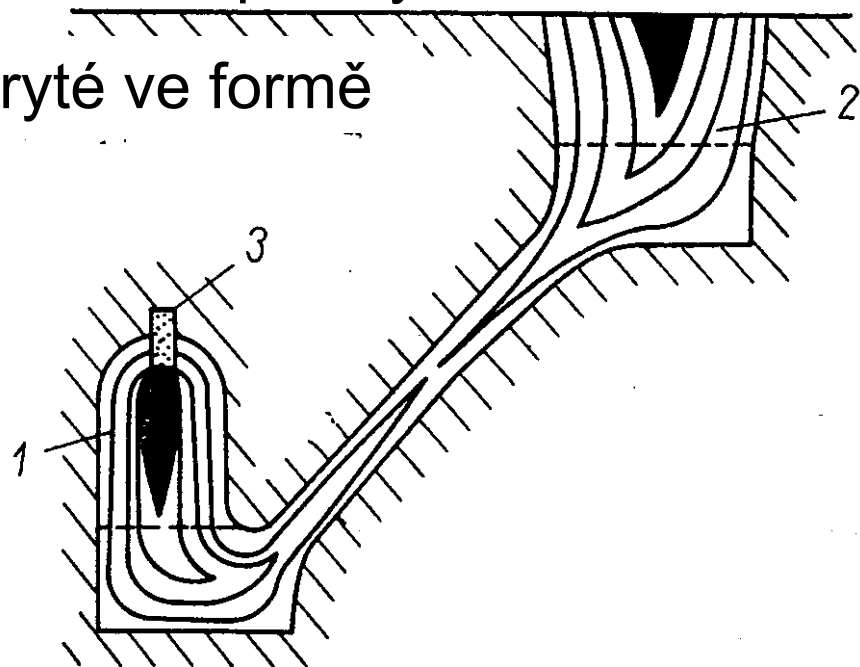


Druhy nálitků

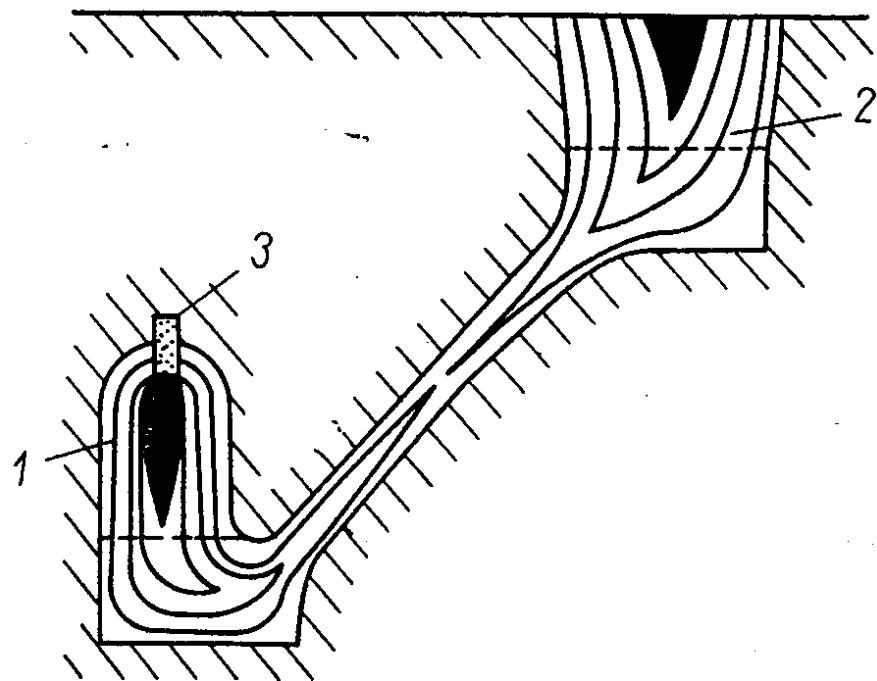
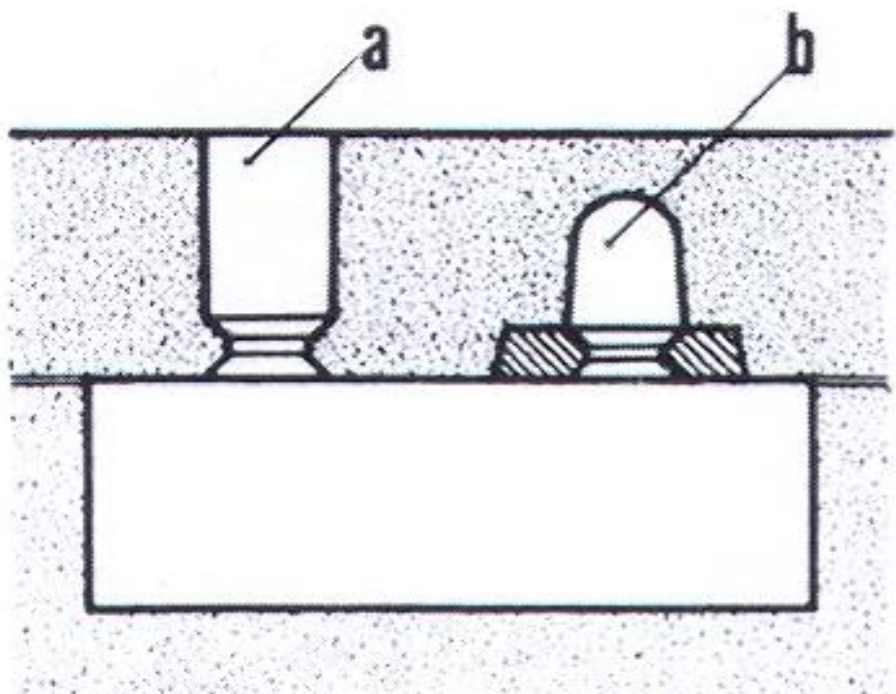
Podle uspořádání rozeznáváme

- ❑ nálitky otevřené, které vyúsťují do horní plochy rámu
- ❑ Nálitky uzavřené, které jsou skryté ve formě

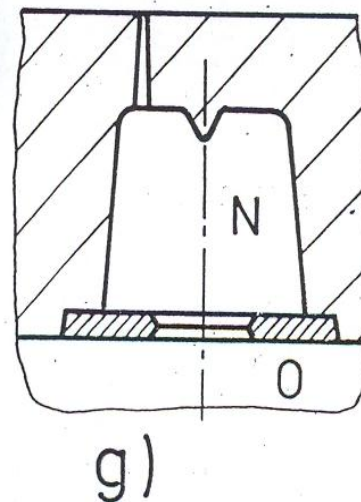
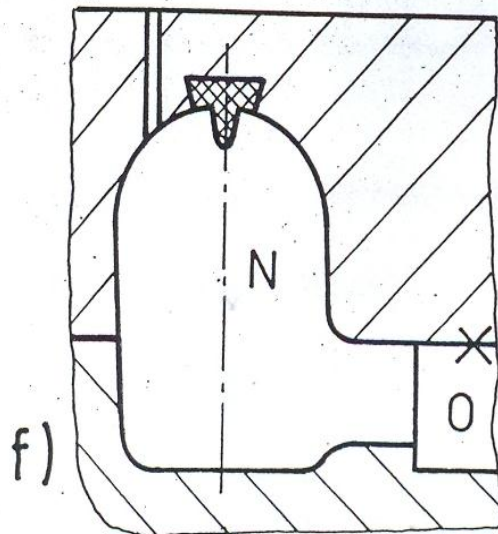
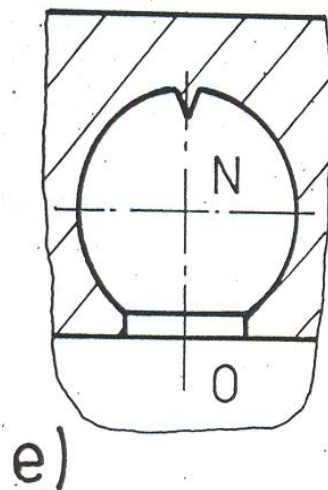
- Uzavřené nálitky se obvykle umisťují do spodních částí odlitku
- Používá-li se současně více nálitků, musí být oblasti jejich působení od sebe odděleny ztuhlým kovem, jinak se navzájem „přetahují“.



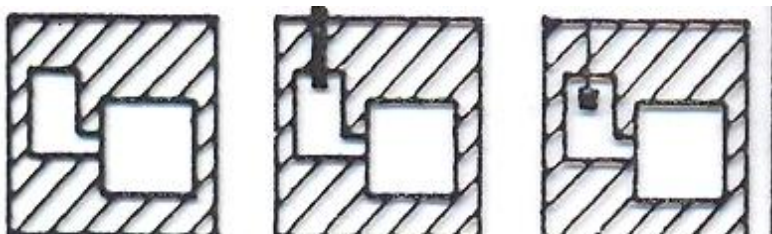
Přímý otevřený a uzavřený nálipek



U uzavřených nálitků se umísťuje do vrchní části keramické nebo pískové jádérko, které zaručuje propojení staženiny s okolní atmosférou (atmosférické nálitky).



Zajištění atmosférického tlaku



Stejný účinek jako zvýšení metalostatické výšky o 1,5m



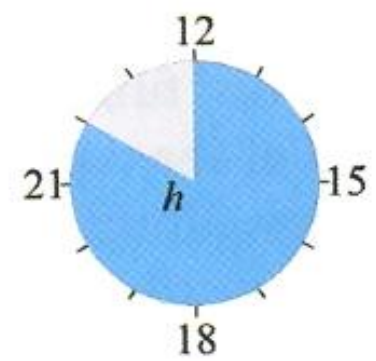
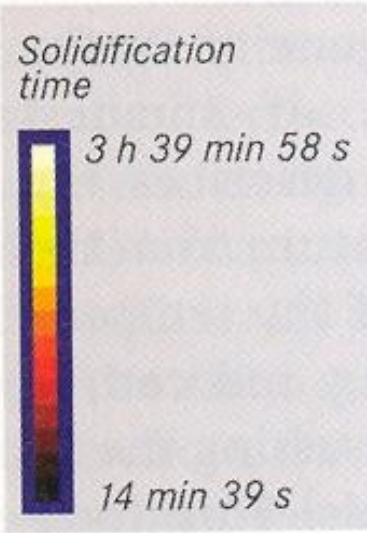
Nálitky u ocelových odlitků



m



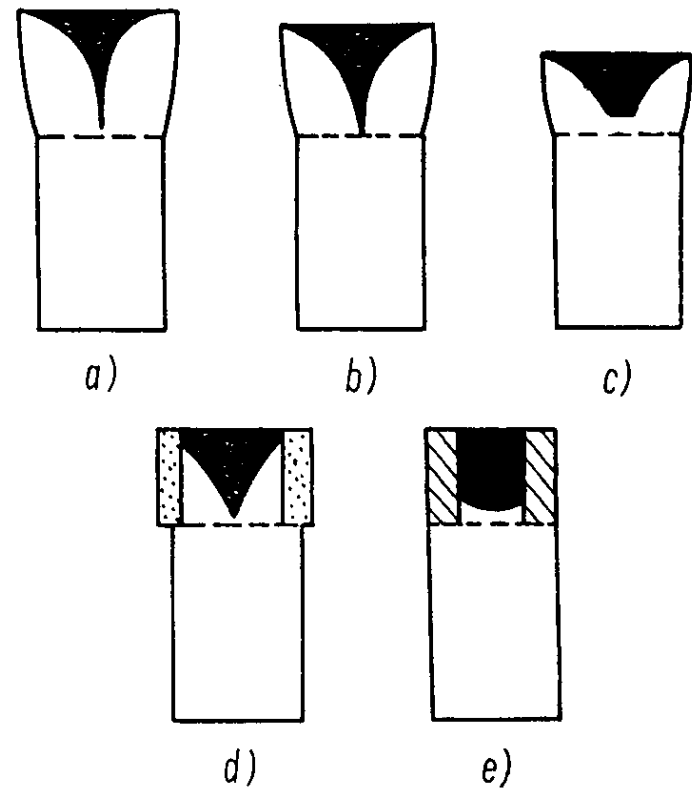
l

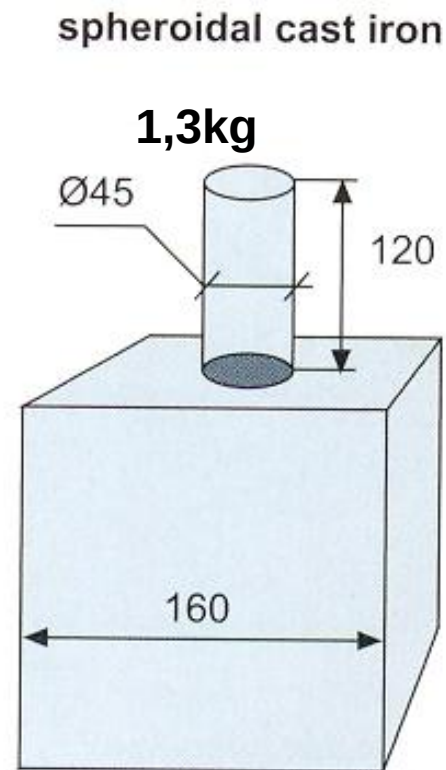
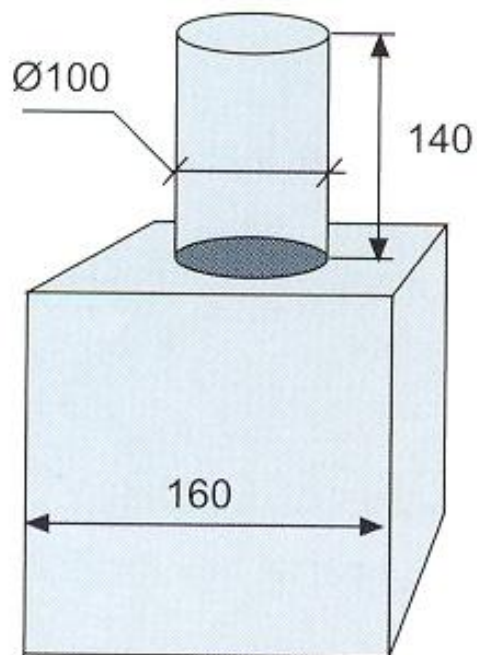
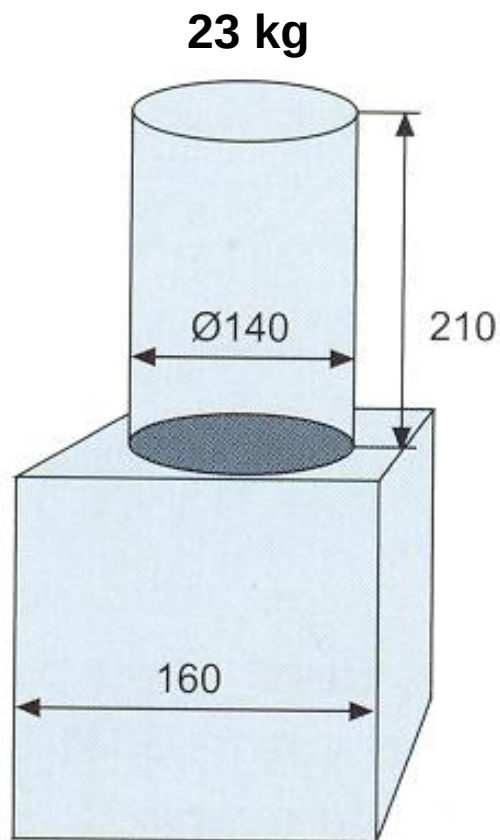


Úsporné nálitkování

K prodloužení doby tuhnutí nálitku bez zvětšování jeho rozměrů se používá izolačních nebo exotermických zásypů a obkladů.

- **Izolačními zásypy** (popílek, perlit, koks, dřevěné uhlí) se izoluje povrch nálitku od okolní atmosféry, takže ztrácí méně tepla, tuhne déle a zajišťuje působení atmosférického tlaku na hladinu při dosazování kovu do odlitku.
- **Izolační obklady** izolují odvod tepla bočními stěnám.
- **Exotermické materiály** vyvíjejí teplo a zpomalují tak ochlazování hladiny nálitku i odvod tepla bočními stěnami.





Prodloužením doby tuhnutí nálitku (vhodnou izolací) lze jeho velikost snížit až 10x



PŘÍKLADY KERAMICKÝCH
IZOLACÍ NÁLITKŮ



Stanovení velikosti nálitků

- Velikost a počet nálitků a jejich umístění přímo souvisí s konstrukcí odlitku.
- Pro výpočet velikosti nálitku se používá různých metod. Rozhodující je velikost tepelného uzlu a jeho doba tuhnutí.

$$T_N > T_o$$

$$m_n > m_o$$

$$m_n \approx 1,2 m_o$$

Důležitým pojmem pro posouzení velikosti nálitků je „**využití tekutého kovu**“ η

$$\eta = \frac{G_h}{G_s} \cdot 100 \%$$

poměr mezi hrubou hmotností odlitku m_o a surovou hmotností odlitku m_s (součet hmotnosti všech nálitků, technologických přídavek, vtoků a hrubé hmotnosti odlitku).

Čím menší jsou nálitky, tím větší je využití kovu a vyšší hospodárnost výroby



Výpočet objemu nálitku podle J. Přibyla

- Výpočet velikosti nálitku V_n vychází z pozorování tvaru a velikosti staženiny, což zachycuje koeficient nehospodárnosti nálitku :

$$V_N = V_O \cdot \frac{\beta \cdot x}{1 - \beta \cdot x}$$

$$x = \frac{V_n}{V_{sst}}$$

- Čím je hodnota x větší (12 a více), tím nálitek funguje nedostatečně a nehospodárně. Dobře ošetřené izolované nálitky dosahují $x=4$ až 6.
- V_O je objem odlihu, tepelného uzlu, nálitkované sekce
 β je součinitel smrštění slitiny.

Bylo zjištěno, že poměr V_{sst} / V_N je u nálitků atmosférických
1 : 8 ÷ 1 : 10.

$$x = \frac{V_n}{V_{sst}}$$

Reciprokou hodnotu nazýváme součinitel ne hospodárnosti nálitku (x):

podtlakové nálitky

$x > 12$

atmosférické

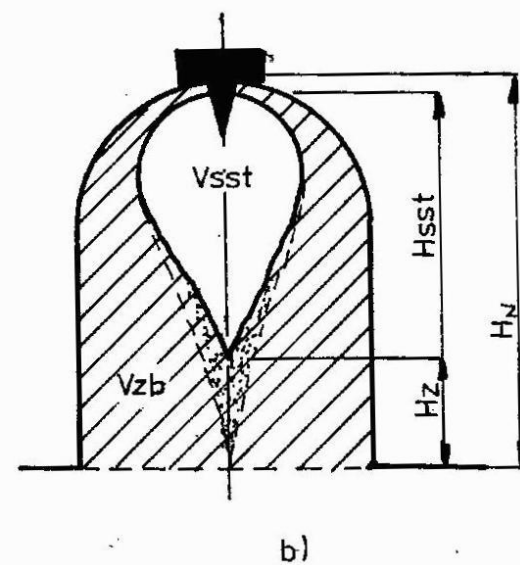
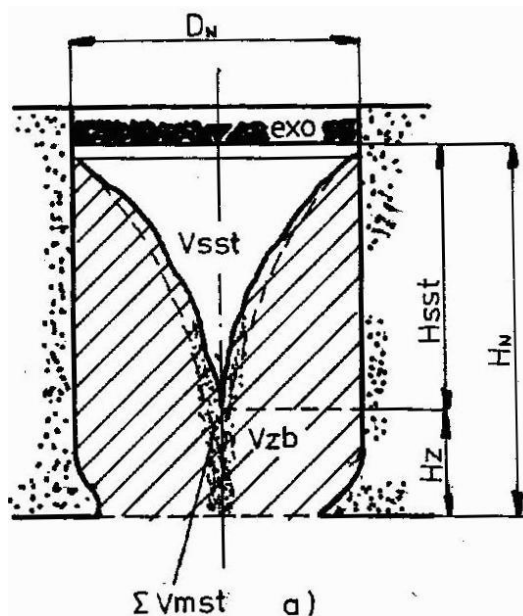
8 ~ 12

atmosférické – izolované

6 ~ 9

atmosférické – exotermické

3 ~ 6



β smrštění slitiny při změně teplot – od teploty lití do teploty tuhnutí

ocel s 0,1 % C	$\beta = 0,02$
0,35 % C	$\beta = 0,03$
0,45 % C	$\beta = 0,043$
0,70 % C	$\beta = 0,053$
slitiny hliníku	$\beta = 0,04 + 0,050$
bronzы	$\beta = 0,035 + 0,045$
LLG 2,5 % C	$\beta = 0,03 + 0,04$
3,0 % C	$\beta = 0,02 + 0,03$
3,5 % C	$\beta = 0,01 + 0,02$
bílá litina	$\beta = 0,045 + 0,055$

Chlazení tepelných uzlů

- Některé tepelné uzly v odlitku lze pro jejich odlehlost jen velmi obtížně napojovat na otevřené nálitky a napojení na místní uzavřené nálitky by bylo velmi nákladné.
- V takových případech odstraňujeme tepelný uzel zvýšeným ochlazováním roztaveného kovu pomocí chladítek.

chladítka vnější (umístěná na povrchu odlitku)

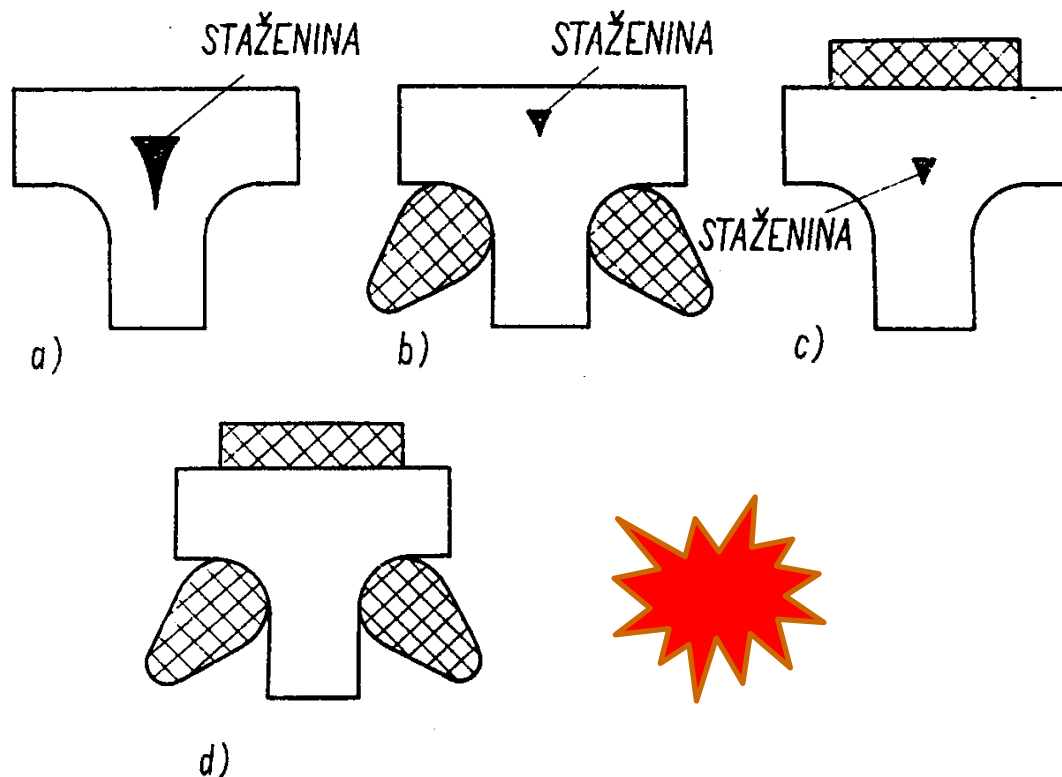
chladítka vnitřní (umístěná uvnitř odlitku).

Vnější chladička

Vnější chladička se používají pro odlitky tenkostěnné a odlitky se střední tloušťkou stěn při sériové výrobě nebo při jednoduchých tvarech odlitků.

Tepelný uzel je zvnějšku nepřechladitelný

Nejúčinnější je chlazení neprůtočných uzlů.



Jsou z materiálů s vysokou teplotou tavení, dobře odvádějících teplo (měď, ocel, šedá litina, grafit, magnezit) a tvoří část formy.



tloušťka vnějších chladítek má být přibližně rovna polovině tloušťky zachlazované stěny.

Nebezpečí vzniku trhlin

- ☐ vlivem ostrého přechodu chlazené části povrchu v nechlazenou
- ☐ bržděné smršťování odlitku v důsledku zatečení kovu mezi chladítka a vzniku výronku

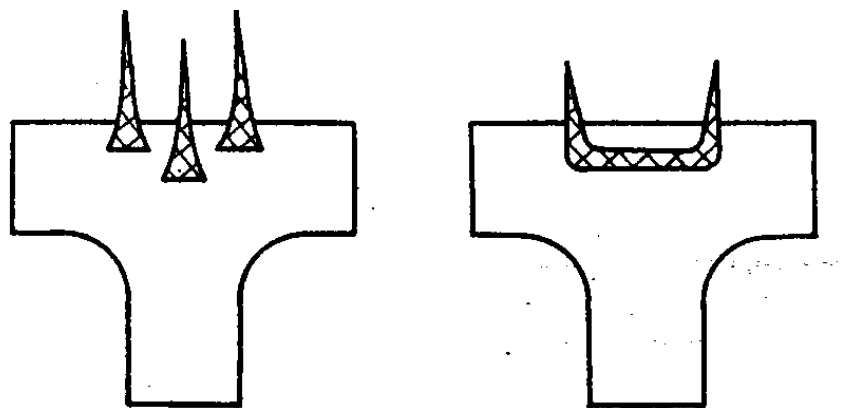
Vnitřní chladítka

- Vyrábějí se z podobného kovu jako je odlitek, protože se musí tekutým kovem natavit, aby se s odlitkem spojila.
- Jejich tvar je různý, nejčastěji se však používá podkováků, skob a spirál. Proti korozi se vnitřní chladítka chrání tenkou vrstvou snadno tavitelného kovu.
- Je-li vnitřní chladítko malé, tepelný uzel se nezachladí a vznikne staženina; je-li velké, nenataví se a tedy se nespojí s odlitkem.

Hmotnost

2-4%

5 – 10%





KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Na čem závisí doba tuhnutí odlitku
2. Co to je tepelný uzel
3. Co je to staženina a jaká je příčina jejího vzniku
4. Jaká je funkce nálitku
5. K čemu používáme chladítka

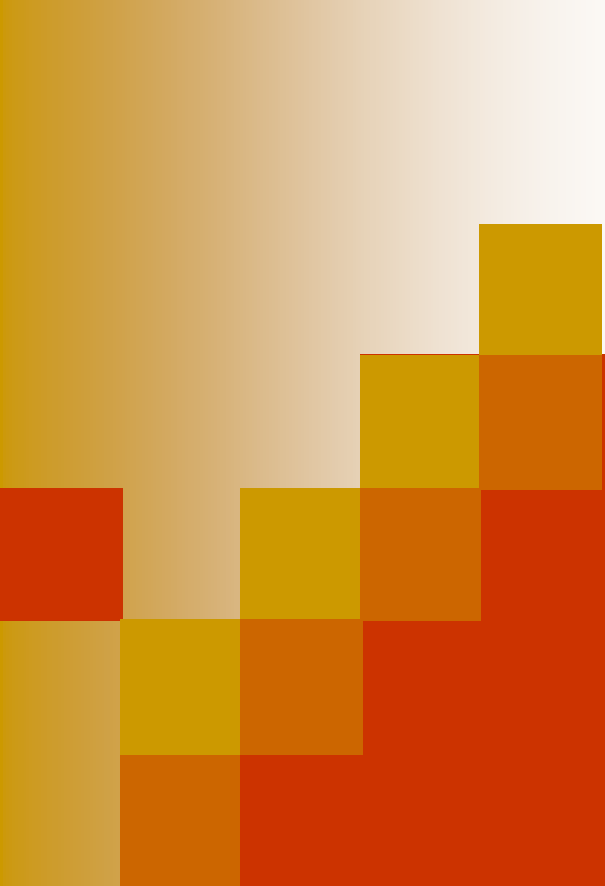


DOPORUČENÁ LITERATURA

JELÍNEK, P.: Slévárenství, skripta VŠB, 2007, 256s.

HAVLÍČEK, F.: Kapitoly z teplofyziky odlitku a formy, skriptum VŠB, Ostrava, 1970

ELBEL, T. a kol.: Vady odlitků ze slitin železa, Matecs Brno 1992



Smršťování v pevném stavu Pnutí v odlitcích



Smršťování kovu v pevném stavu

- **Smrštění v pevném stavu je příčinou vzniku vnitřního pnutí, popřípadě trhlin, prasklin nebo deformace odlitku.**
- **Lineárním smrštěním dojde ke změně – zmenšení rozměrů odlitku.**



Celkové smrštění odlitku v % se obvykle volí

1 % pro šedou litinu a cínový bronz

1,5 % pro mosazi a slitiny hliníku

2 % pro bílou litinu a ocel

O příslušnou hodnotu smrštění se musí zvětšit rozměry modelu.

Rozměry modelu se zvětšují také o přídavek na obrábění. O přídavky na obrábění se odlitek zvětšuje na těch místech, kde je na výkresech předepsáno opracování odlitku.

Napětí v odlitcích

- Odlitek je namáhán napětím od okamžiku jeho vzniku až do úplného vychladnutí ve formě (i v následujícím procesu tepelného zpracování).
- V počátku tuhnutí jde o **mechanické namáhání odporem** formy, jádra, taveniny nebo vlivem vlastní konstrukce
- později po ztuhnutí a při chladnutí napětím **tepelným a transformačním** (zbytkovým-residuálním a dočasným).

SMRŠŤOVACÍ (SLÉVÁRENSKÁ) NAPĚTÍ *exogenní*

- vzniká ve ztuhlé povrchové vrstvě odlitku v průběhu tuhnutí od okamžiku jejího lineárního smršťování.
- V oblasti vyšších teplot, kdy je materiál plastický , uvolňuje se vnitřní napětí trvalou deformací rozměrů.
- napětí v odlitku vlivem jeho smršťování v počáteční fázi, je vyvoláno výhradně

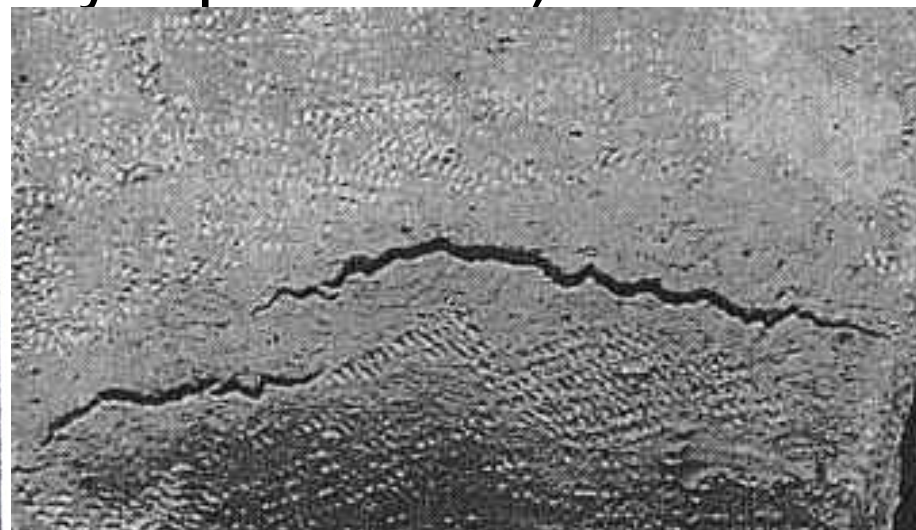
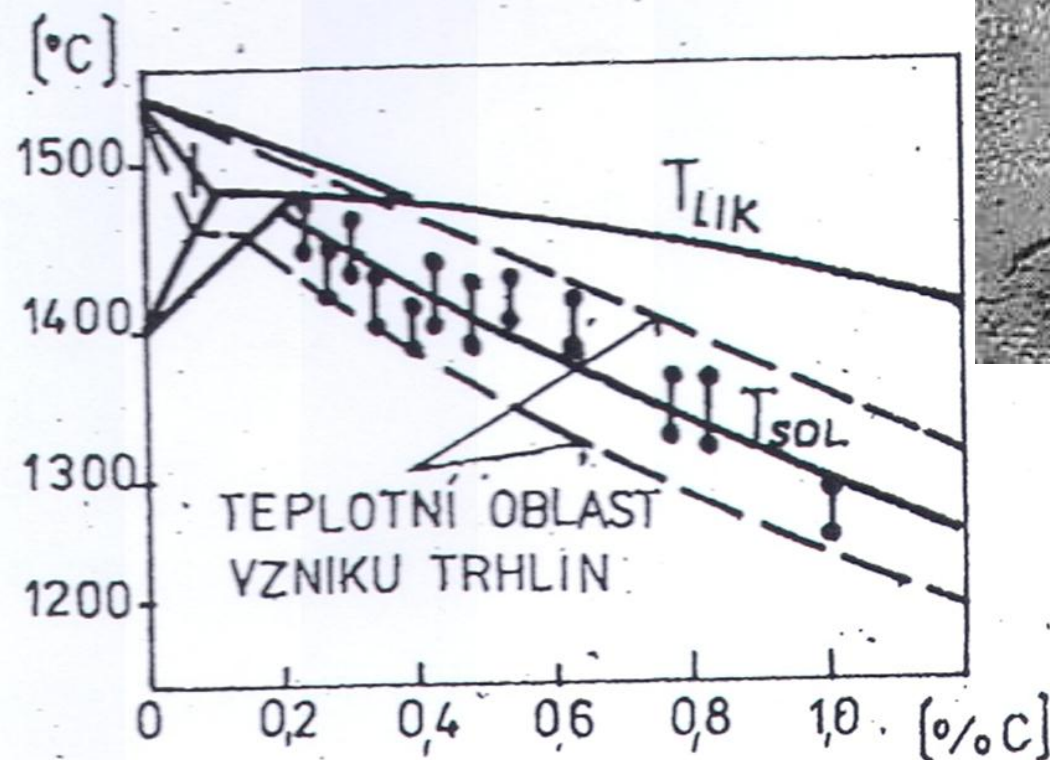
brzděným smršťováním, t.zn. mechanickými silami.



Příčiny vzniku smršťovacího napětí

- mechanický odpor formy nebo jádra,
- síly vzniklé třením odlitku o formu při jeho smršťování (zvláště u hmotných a rozměrově velkých odlitků),
- metalostatický tlak sloupce taveniny proti vnější smršťující vrstvě.

V oblasti vyšších teplot, kdy je materiál plastický, uvolňuje se vnitřní pnutí trvalou deformací rozměrů. Pokud hodnota napětí převyší **pevnost slitiny za tepla**, vznikají **trhliny** (s oxidovaným povrchem).

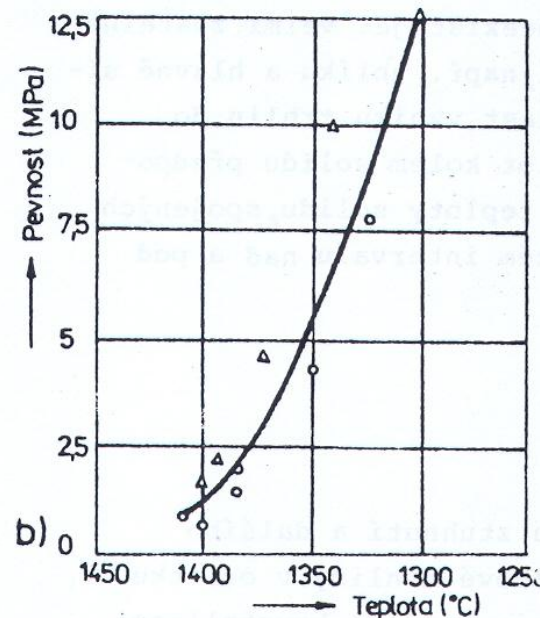
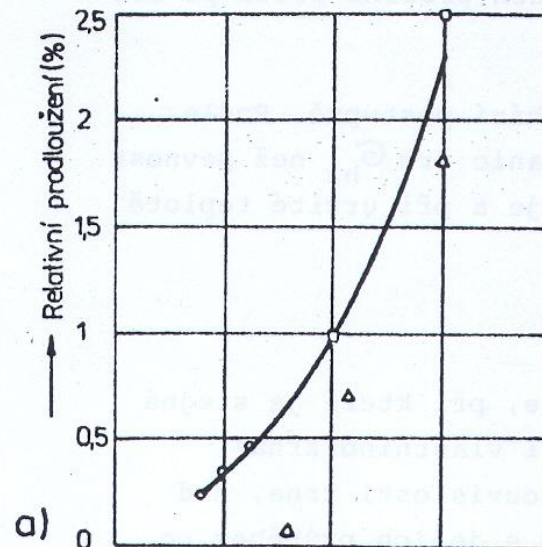


Vlastnosti kovu v teplotní oblasti solidu

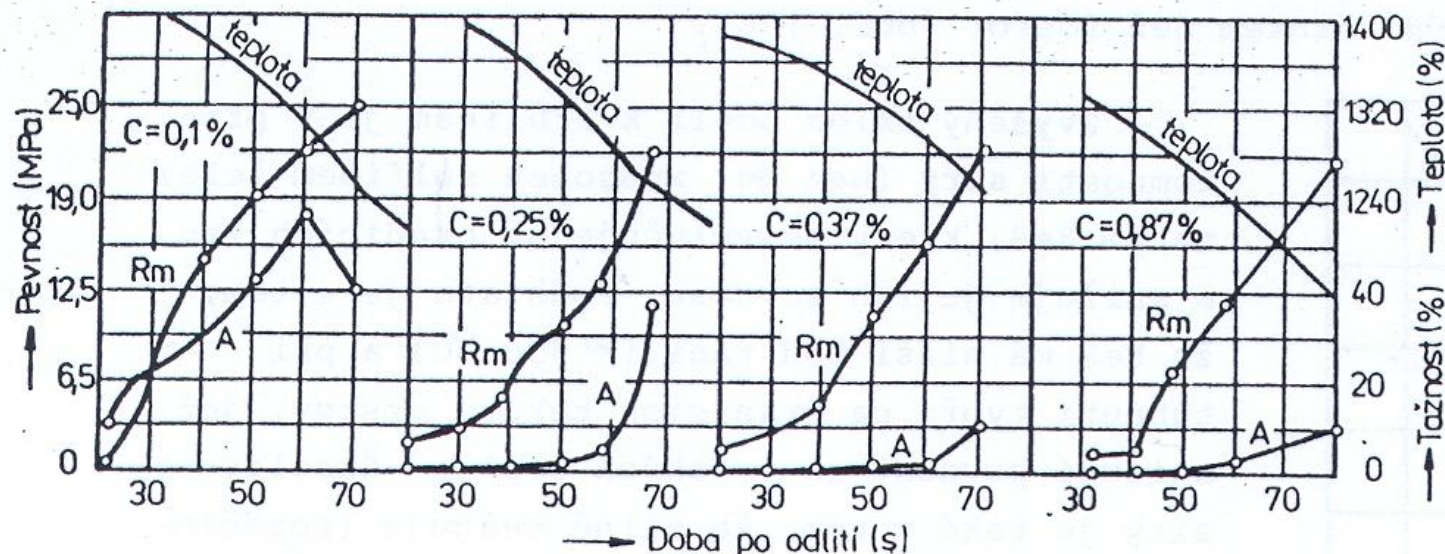
- Rozhodují o vzniku nebo zamezení povrchové trhliny v odlitku vlivem smršťovacího napětí.
- Protože jde o pevnost hranic zrn při krystalizaci taveniny, označujeme ji jako **krystalizační pevnost** kovu.
- Ta je v oblasti teplot solidu velmi nízká, u oceli např. jen 1 MPa.
- Důležitá pro porušení je **plastičnost**. Je-li nízká, dojde při napětí ke křehkému lomu, sledujícímu hranice zrn.

Krystalizační pevnost a tažnost u oceli

- Krystalizační pevnost rychle stoupá s poklesem teploty; celková pevnost také stoupá s narůstající tloušťkou tuhé vrstvy.
- Také tažnost s poklesem teploty roste, což snižuje možnost vzniku trhlin, protože dochází k plastickým deformacím.



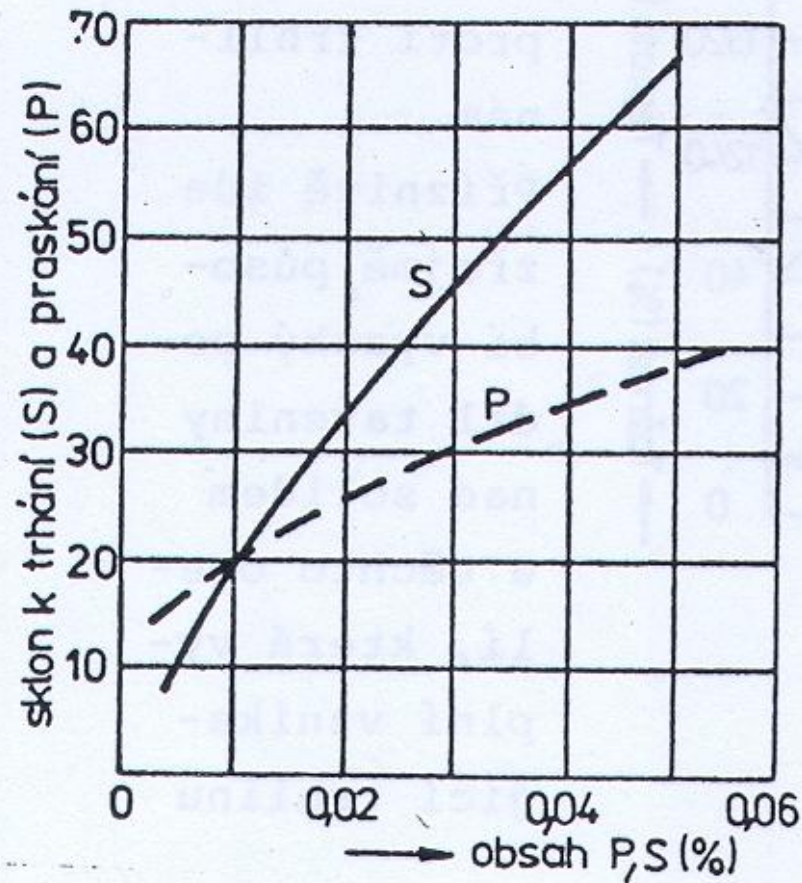
Vliv chemického složení na vlastnosti ztuhlé vrstvy

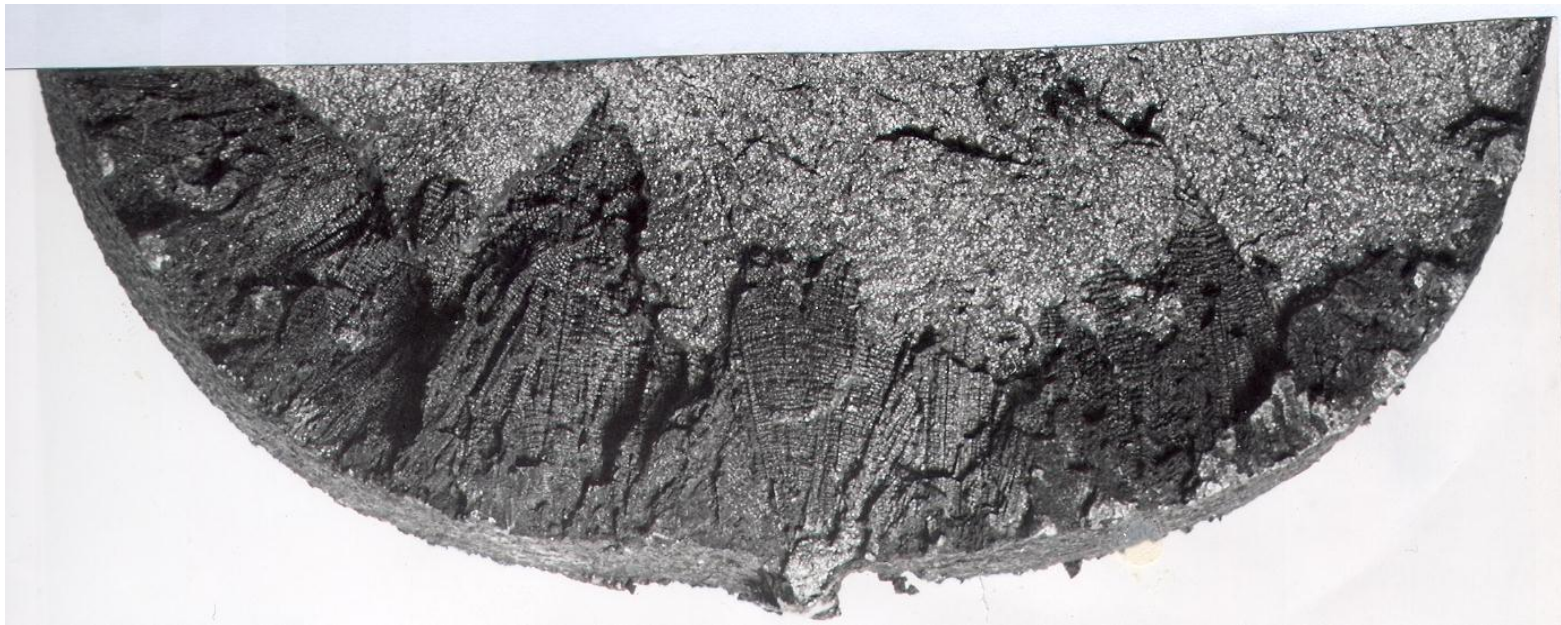


- Z obrázku vyplývá významný vliv C. U ocelí do 0,15 %C je nízká náchylnost ke vzniku trhlin.
- Proti trhlinám působí i Mn, který omezuje vliv síry.

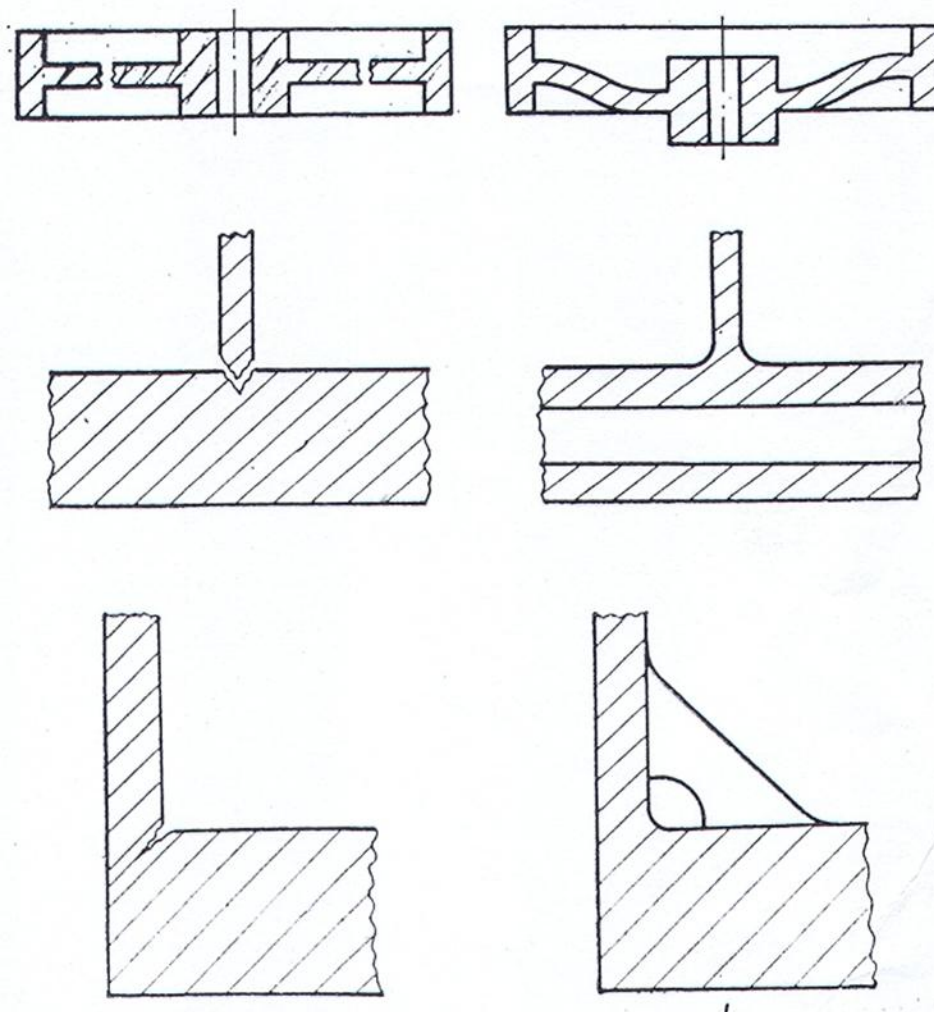
Vliv P a S

- Vysoká náchylnost S k trhlinám (bez přísady Mn) je dána vznikem FeS, který se vylučuje po hranicích zrn.
- Fosfor tvoří se železem křehký tuhý roztok a fosfidy.
- Teoretický obsah Mn k vázání S je 1,71 (podle stechiom. poměru).





Úprava tvaru odlitku k odstranění smršťovacího pnutí a vzniku trhlin



Tepelné napětí (vnitřní, endogenní)

- vzniká v oblasti **teplot pružně-plastických deformací** a později v oblasti zcela **pružných deformací**
- je vyvoláno **nestejnoměrným** (nesoučasným) **chladnutím nebo ohřevem** částí odlitku (s rozdílnou tloušťkou stěn) nebo jeho vnějších a vnitřních vrstev (masivní odlitky-válce, šaboty),
- při **existenci rozdílů teplot** mezi nimi;
- tím vznikají zároveň rozdíly v tepelné dilataci vrstev.
- Pokud převýší pevnost v tahu, vznikají praskliny (s kovově čistým povrchem)



Tepelné pnutí

Oblast pružných deformací Hookův zákon

$$\pm \sigma = E \cdot \alpha (T_1 - T_2)$$

σ – napětí [MPa],

α – součinitel tepelného lineárního smrštění [K⁻¹],

E – modul pružnosti kovu [MPa],

ΔT – rozdíl teplot ve dvou místech odlitku [K].

Uhlíková ocel

$E = 210 \cdot 10^3 \text{ Mpa}$

Tvárná litina

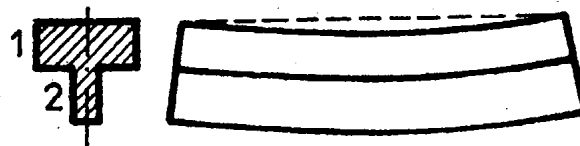
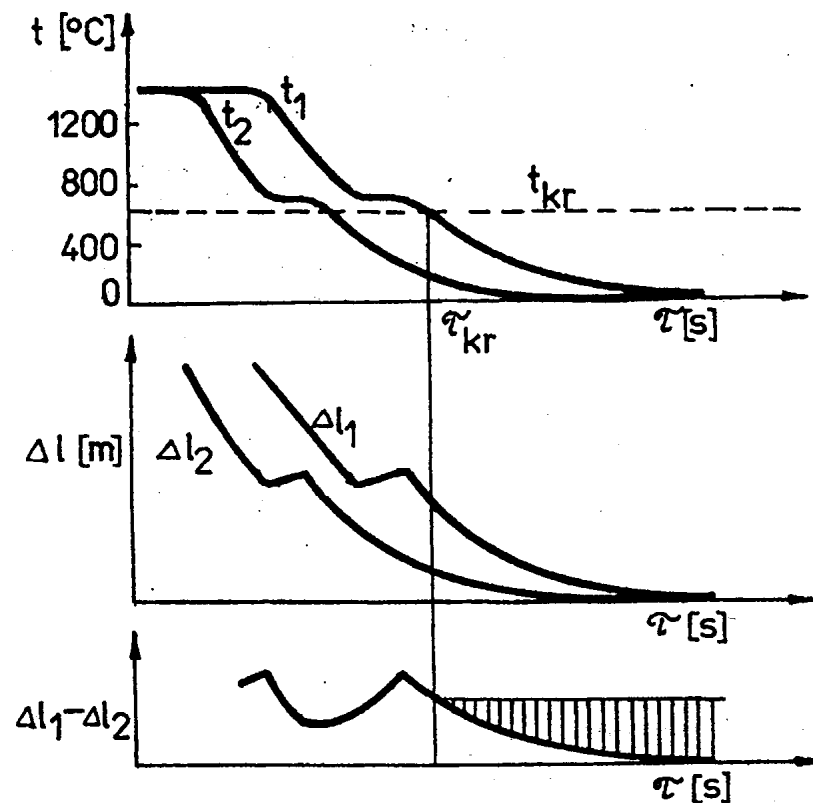
$E = 160 - 180 \cdot 10^3 \text{ Mpa}$

Šedá litina

$E = 60 - 140 \cdot 10^3 \text{ Mpa}$

Vnitřní napětí (pnutí)

- Kromě vnitřního napětí způsobeného nerovnoměrným ochlazováním odlitku v pevném stavu existuje
- **transformační pnutí** způsobené fázovou přeměnou v pevném stavu při které se přeměnou fáze $\gamma \rightarrow \alpha$ Fe zvětšuje objem.





Vnitřní napětí (pnutí) v odlitcích je velmi nebezpečné

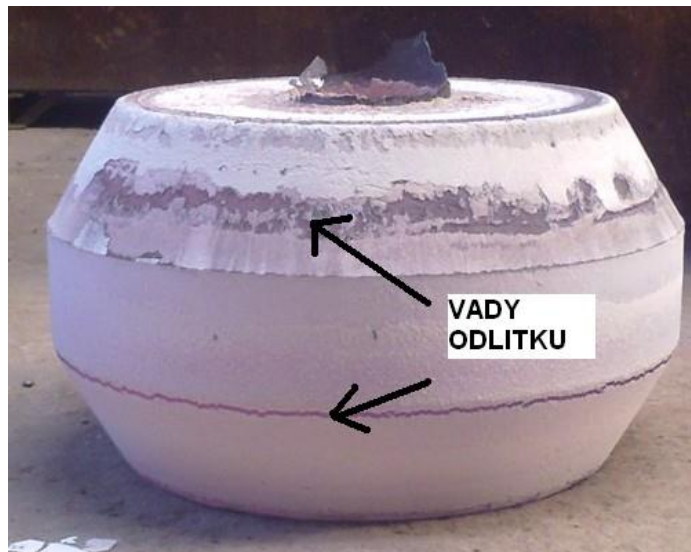
vede k deformacím (zvláště při obrábění),

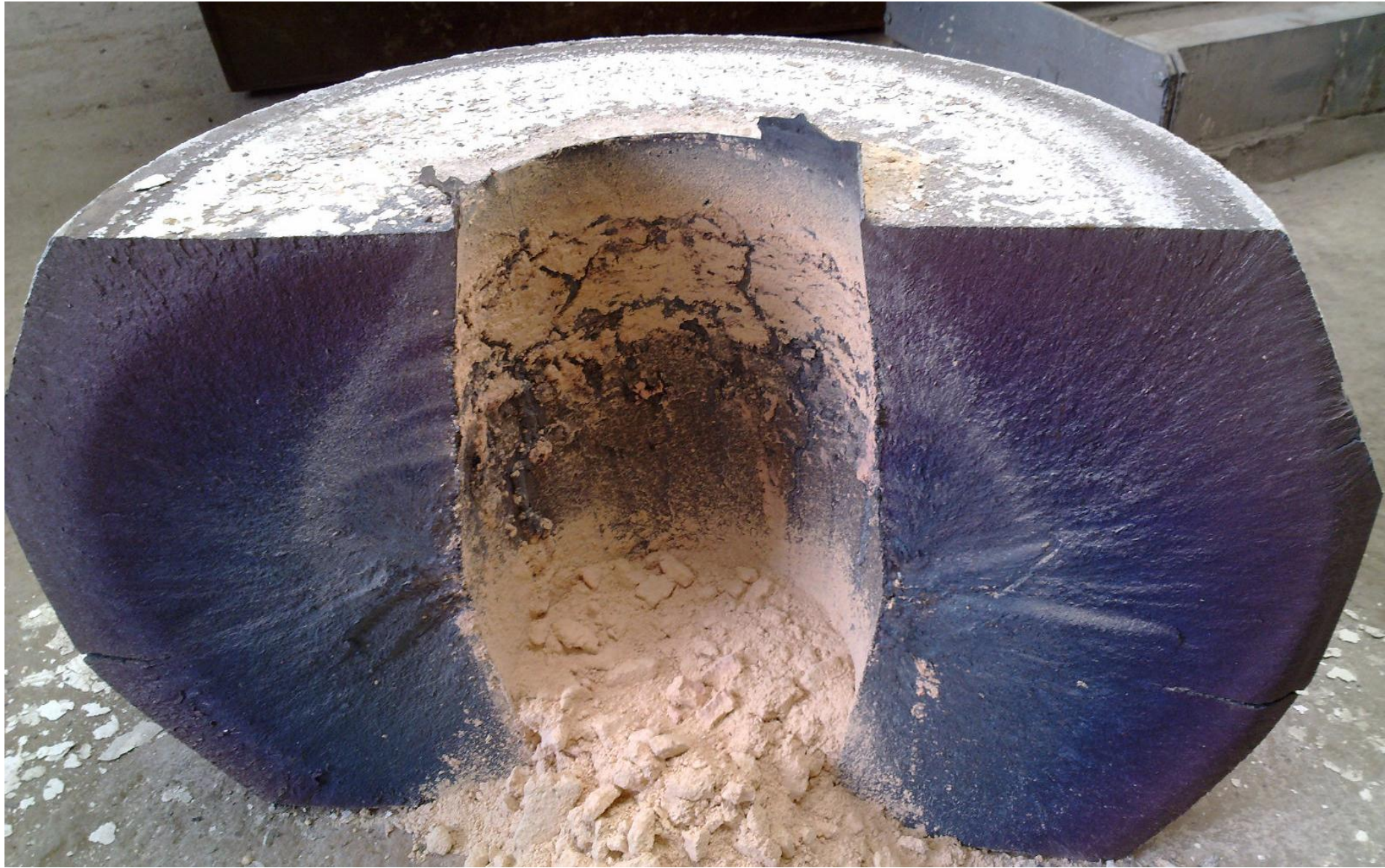
snižuje možnost namáhat odlitek (vnitřní pnutí se přičítá k vnějšímu napětí)

je příčinou předčasného porušení odlitku vznikem prasklin.

Zbytkové napětí způsobuje velmi často porušení souvislosti materiálu:
praskliny jdoucí přes zrna (transkrystalický lom)







Opatření proti vzniku vnitřního pnutí

- **Proti vzniku vnitřního pnutí se bráníme**
- **vhodnou konstrukcí odlitku (možnost neškodného uvolnění vnitřního pnutí, rovnoměrné tloušťky stěn, plynulé přechody),**
- **vhodnou slévárenskou technologií (poddajné formy, včasné uvolnění odlitku z formy, zpevnění ohrožených míst žebry)**
- **pomalým rovnoměrným ochlazováním odlitku.**



Pokud přes všechna opatření vnitřní pnutí v odlitku vznikne, je možno je odstranit

přirozeným uvolněním - stárnutím (tj. dlouhodobým skladováním, nejlépe při vystavení odlitku povětrnostním vlivům)



nebo žíháním na odstranění vnitřního pnutí.

Vznik trhlin a prasklin v odlitcích

	T R H L I N A	P R A S K L I N A
Teplota vzniku	nad teplotou ekvikoheze (vysoké teploty nad solidem)	pod teplotou t_{kr} , v oblasti převážně pružných deformací
Doba vzniku	postupným vývojem ve třech etapách	okamžitě (v jeden časový okamžik)
Příčiny vzniku	většinou pnutí exogenního charakteru	tepelně zbytková pnutí a transformační pnutí
Vliv konstrukce odlitku	malý	rozhodující
Zvukový efekt vzniku	Ø	často velmi silný
Tvar	křivolaký, po hranicích zrn	rovný - přes zrna
Povrch	zoxidovaný	čistý (naběhové barvy)



KONTROLNÍ OTÁZKY

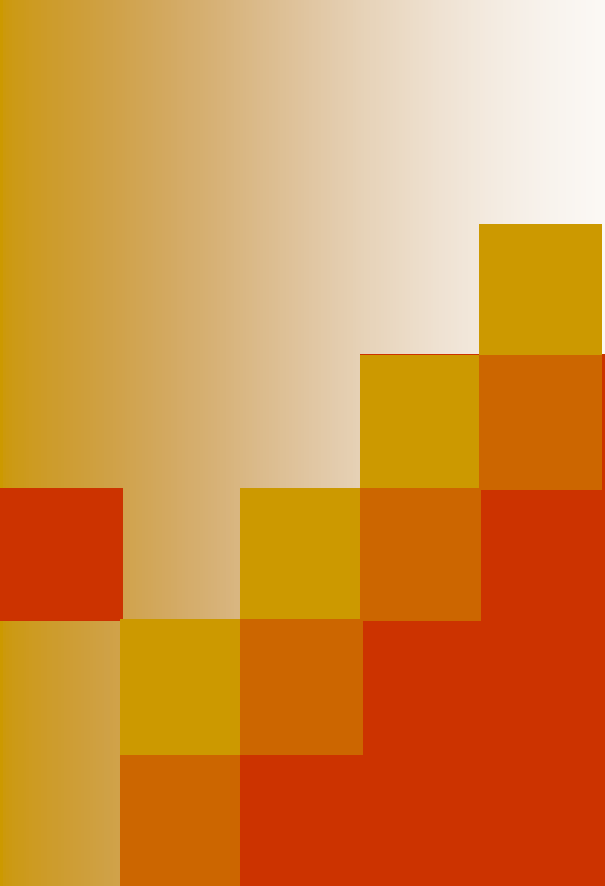
1. Co je příčinou exogenního slévárenského pnutí
2. Jak vzniká tepelné (endogenní) napětí v odlitku
3. Jaký je rozdíl mezi trhlinou a prasklinou
4. Jak je možné zabránit vzniku vnitřního pnutí v odlitku
5. Jak je možno vnitřní pnutí odstranit



DOPORUČENÁ LITERATURA

JELÍNEK, P.: Slévárenství, skripta VŠB, 2007, 256s.

HAVLÍČEK, F.: Kapitoly z teplofyziky odlitku a formy, skriptum VŠB, Ostrava, 1970



Ocel na odlitky



Ocel na odlitky

Historický vývoj

Počátek výroby ocelových odlitků pol.19.stol.

Příčiny zpoždění

- ☐ *dosažení vysokých teplot k roztavení oceli*
- ☐ *výdrž žárovzdorného materiálu*

první úspěšné pokusy výroby tvarových odlitků r. 1841-1842

Jacob Mayer (1813 – 1875)

*vyvinul **šamotovou formu** – na vysoké teploty vyžíhané jíly a lupky – vyšší žárovzdornost než formy z písků.*



- 1852 patent

- *pro výrobu forem na ocelové odlitky je možno použít „čisté ohnivzdorné hlíny“, která se vyžihá „do běla“. Po rozemletí nahrubo se rozmíchá s pivními kvasnicemi, bílkem a přeplaveným nevyžíhaným jílem.*

***Reálnost svého patentu prokázal Mayer v praxi odléváním
2 – 4 tunových ocelových zvonů
(vystaveny r.1855 na světové výstavě v Paříži)***



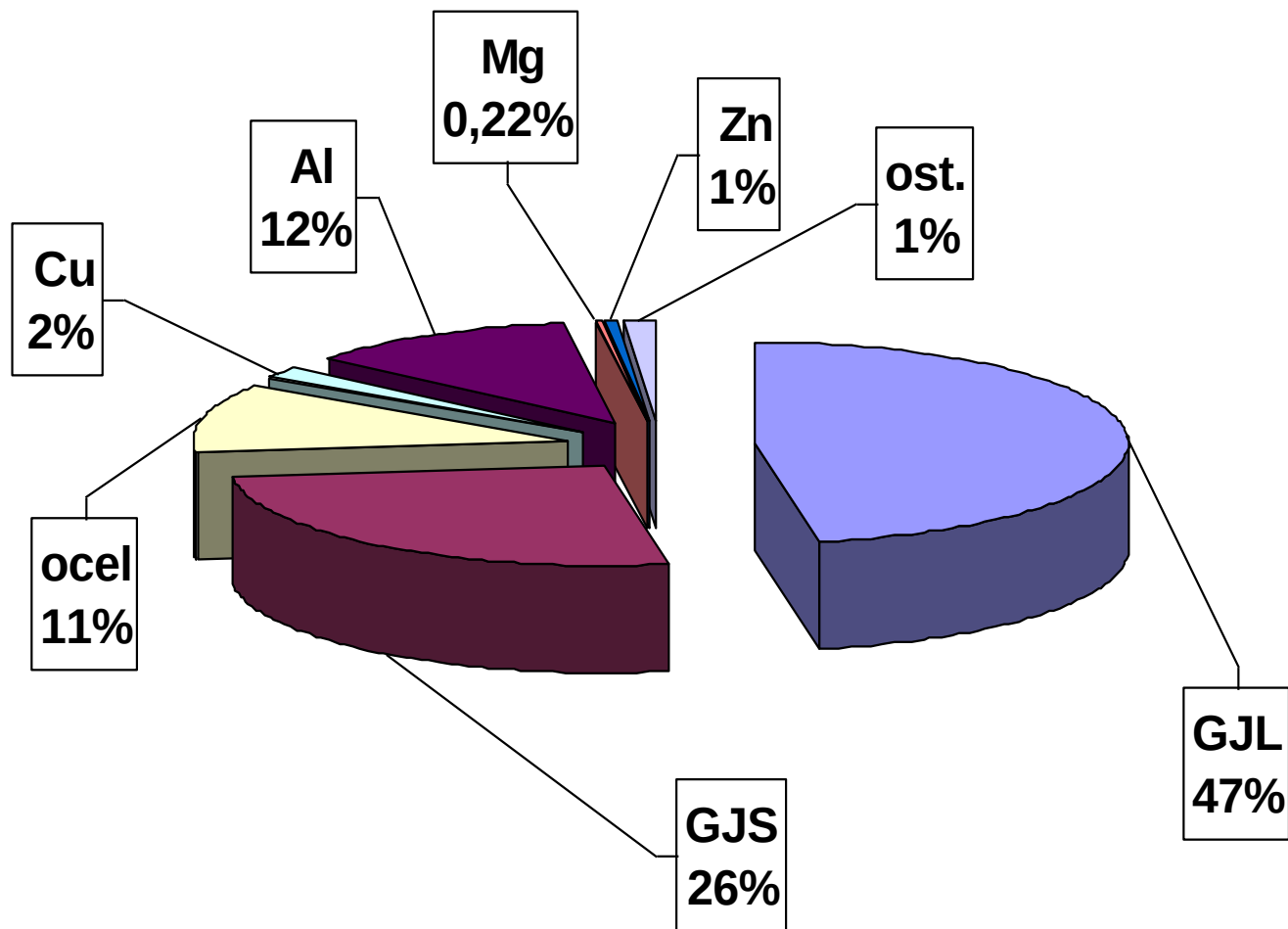
***ocelový zvon
průměr 3,13 m
hmotnost 15 t***

***Odlit v roce 1867
pro bochumskou radnici***

http://de.wikipedia.org/wiki/Bochumer_Verein

Světová výroba odlitků v r. 2010

91,48 mil. t (80,34 2009)





Ocel na odlitky

slitina železa s uhlíkem, křemíkem, manganem a dalšími prvky, ve které množství uhlíku nepřesahuje nejvyšší hodnotu rozpustnosti v austenitu (2,14%).

**Odlitky z oceli se zpravidla tepelně zpracovávají
pro zjemnění struktury
zlepšení vlastností
žíhání pro snížení pnutí**



Uhlík je nejdůležitějším legujícím prvkem v železe, i nepatrné množství uhlíku silně mění charakter a vlastnosti železa, např. pevnost, houževnatost, tvrdost.

Stejný vliv jako 0,1%C má např. 1%Mn, Si nebo Cr.

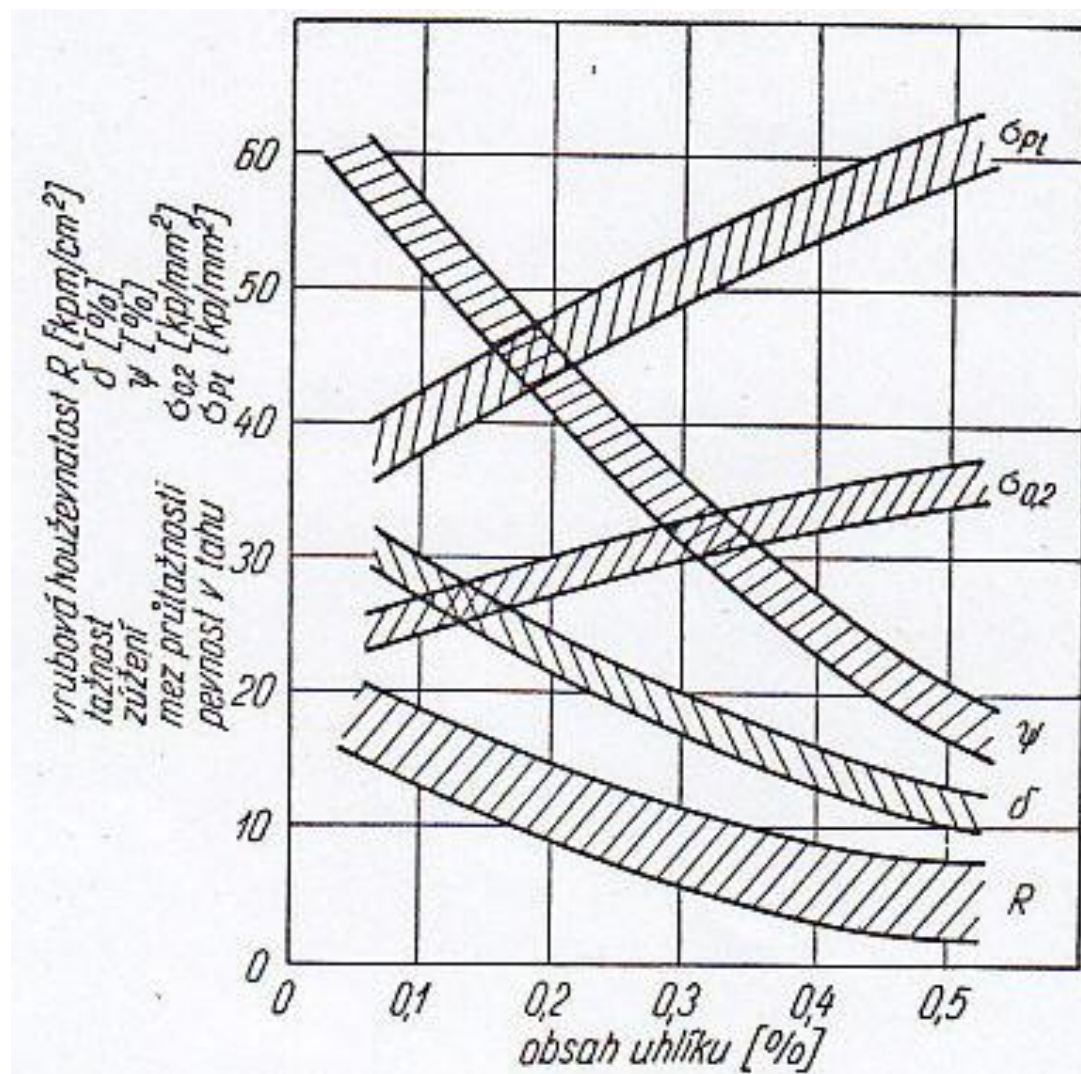
V binární soustavě železo – uhlík je uhlík přítomen jako elementární složka /grafit/, v tuhých roztocích /fáze α , γ , δ / nebo jako chemická sloučenina Fe_3C /cementit/

Má-li uhlík formu grafitu, mluvíme o stabilním diagramu

Fe – grafit,

má-li formu chemické sloučeniny, mluvíme o metastabilním diagramu Fe – Fe_3C

**Uhlíkové oceli obsahují 0,1 až 0,6%C,
uhlík zvyšuje podíl perlitu ve struktuře, s rostoucím obsahem C
roste pevnost a tvrdost, klesá tažnost**



Strukturní složky

Ferit

Je intersticiální tuhý roztok uhlíku v $\text{Fe}\alpha$, rozpustnost uhlíku v $\text{Fe}\alpha$ je velmi malá (max. 0,02% při 727°C) a s klesající teplotou dále klesá.

Kubická prostorově centrovaná mřížka KSC.

Struktura feritu je tvořena polyedrickými zrny, méně hranatými, než jsou zrna austenitu. Po naleptání nítalem jsou zřetelně vidět hranice zrn, plochy zrn zůstávají bílé.

Legující prvky zvyšující stabilitu feritu Cr, Si, Al, W, Mo, V, Ti, Nb

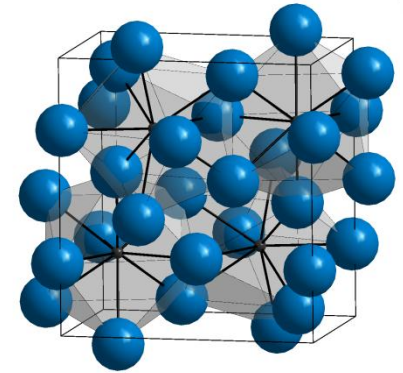


Perlit

Eutektoid – tj. výsledek rozpadu austenitu v bodě S představuje heterogenní směs dvou fází – feritu (0,02%C) a cementitu.

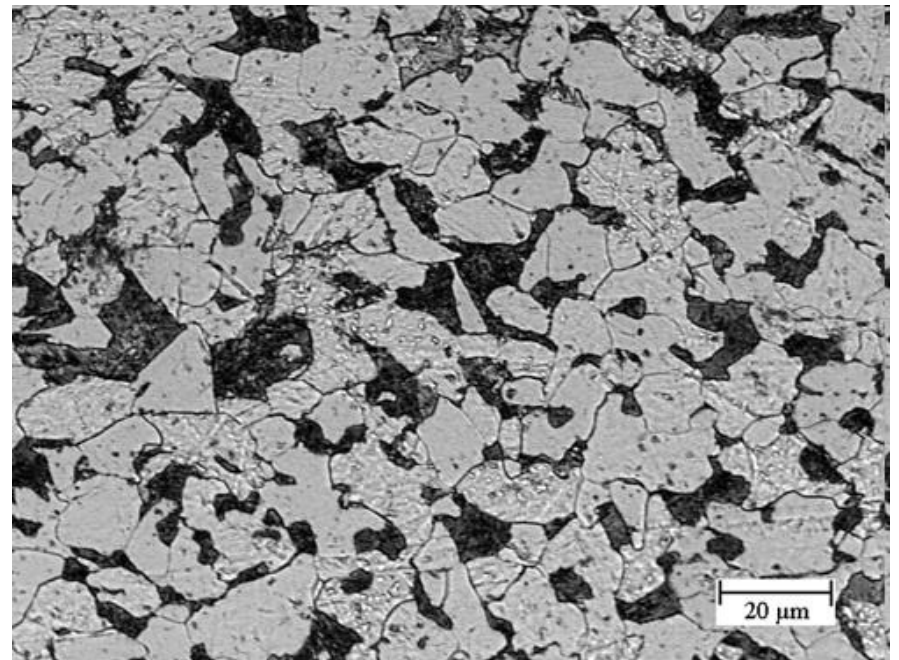
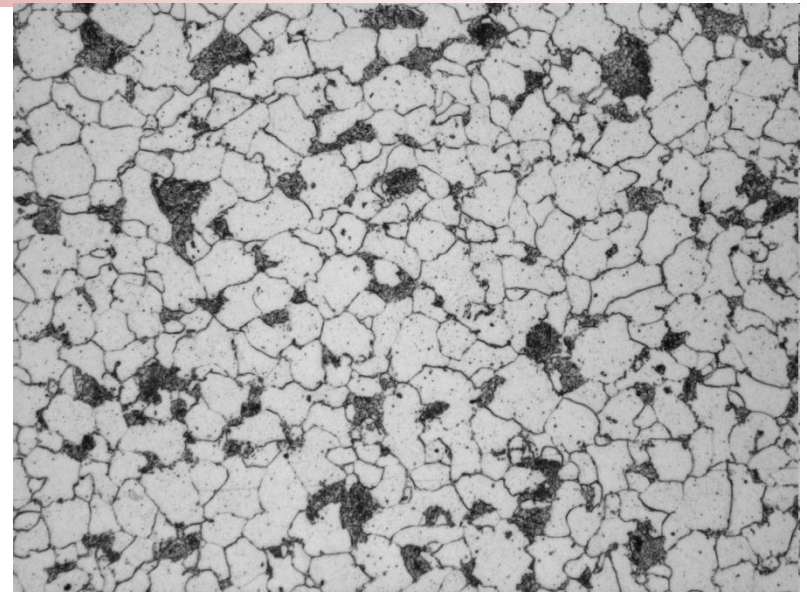
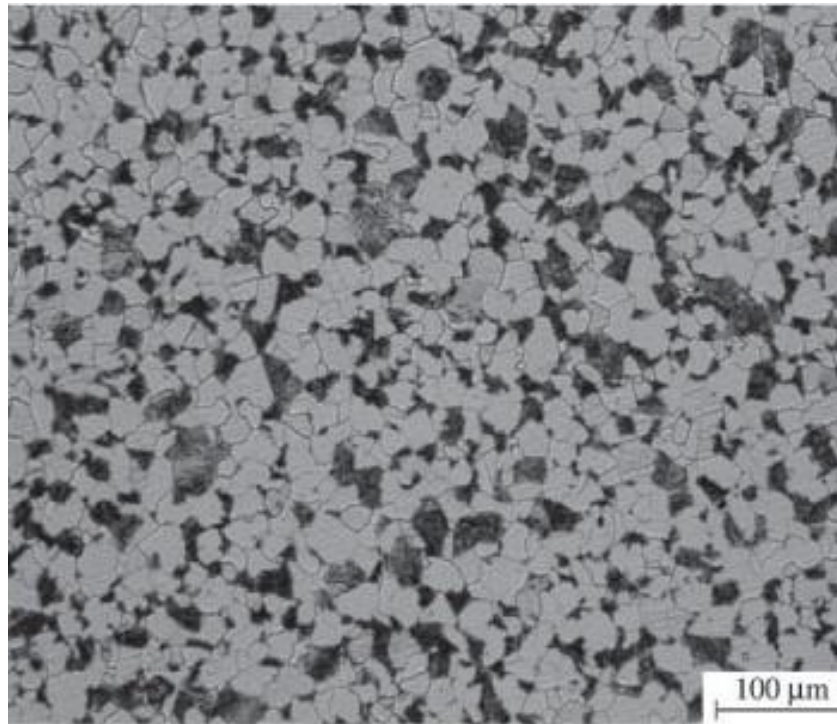
Ferit i cementit mají bílou barvu, leptáme-li perlit nitalem, naleptává se měkčí ferit mnohem rychleji než cementit – vytvoří se reliéf, vystupující desky cementitu vrhají při šikmém osvětlení stín – struktura získává vzhled střídajících se světlých a tmavých pruhů, u velmi jemného perlitu je dokonce celé zrno tmavé.

Pro perlit je charakteristická houževnatost, malá tvárnost (křehké lamely cementitu), poměrně nízká mez kluzu.



Karbid železa Fe₃C se metalograficky nazývá cementit, má velmi složitou mřížku, je velmi tvrdý, má menší hustotu než železo a při pokojové teplotě je magnetický. Při vyšších teplotách se rozpadá na Fe a C.

Chemicky jde stále o tutéž sloučeninu, obsahující vždy 6,687% C, metalograficky se jedná o samostatné fáze (cementit terciární, perlitický (eutektoidní), sekundární (proeutektoidní- vzniká před eutektoidní reakcí), ledeburitický (eutektický), primární a steaditický



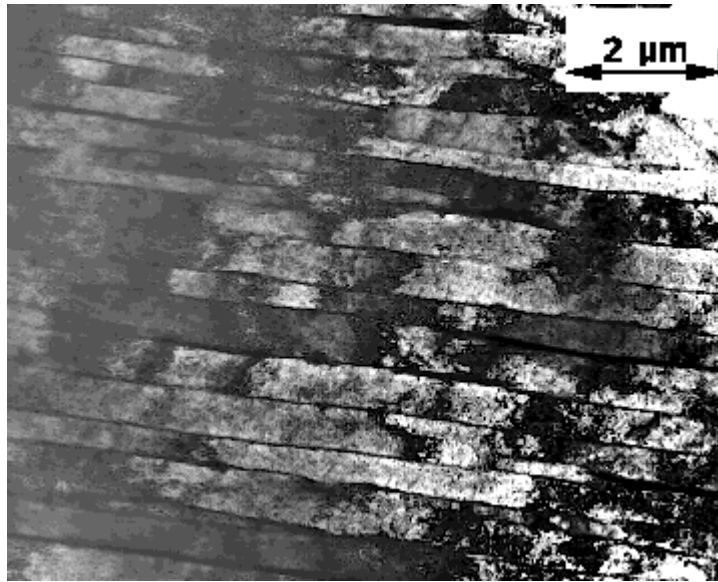
Austenit

Vzniká peritektickou reakcí nebo primární krystalizací z taveniny.

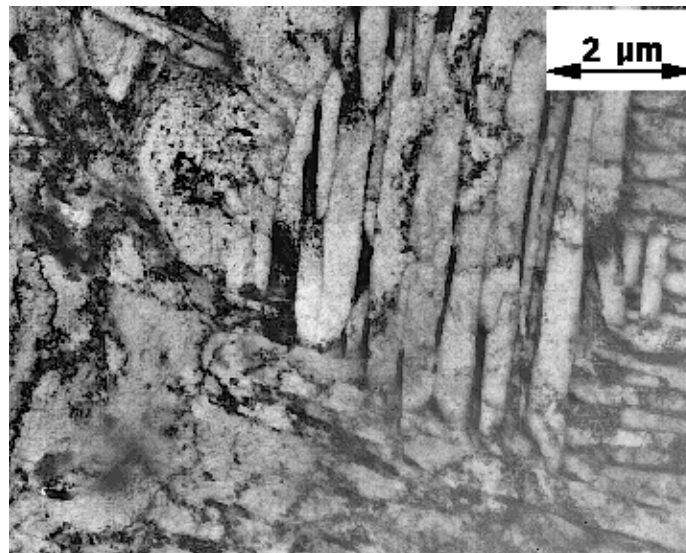
Je to intersticiální tuhý roztok uhlíku v Fe. Kubická plošně centrovaná mřížka KPC. Austenit tvoří hranatá polyedrická zrna s četnými dvojčaty.

Legující prvky zvyšující stabilitu austenitu Ni, Mn, Cu, Co.

Jestliže při ochlazování austenitické struktury nedodržíme podmínky, odpovídající rovnovážnému diagramu, nemusí austenit transformovat na perlit, nýbrž vznikají nové struktury, označované jako martenzit a bainit. Jejich tvorba závisí na stupni přechlazení a na legurách.



martenzit



bainit

Slévárenské vlastnosti oceli

viskozita ocel (1550°C)

$$\eta = 2,6 \cdot 10^{-1} \text{ Pa.s}$$

$$\nu = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$$

šedá litina (1250°C)

$$\eta = 2,1 \cdot 10^{-1} \text{ Pa.s}$$

$$\nu = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$$

povrchové napětí

ocel (0,3%C)

1520°C

1,50 Nm⁻¹

šedá litina (3,9% C)

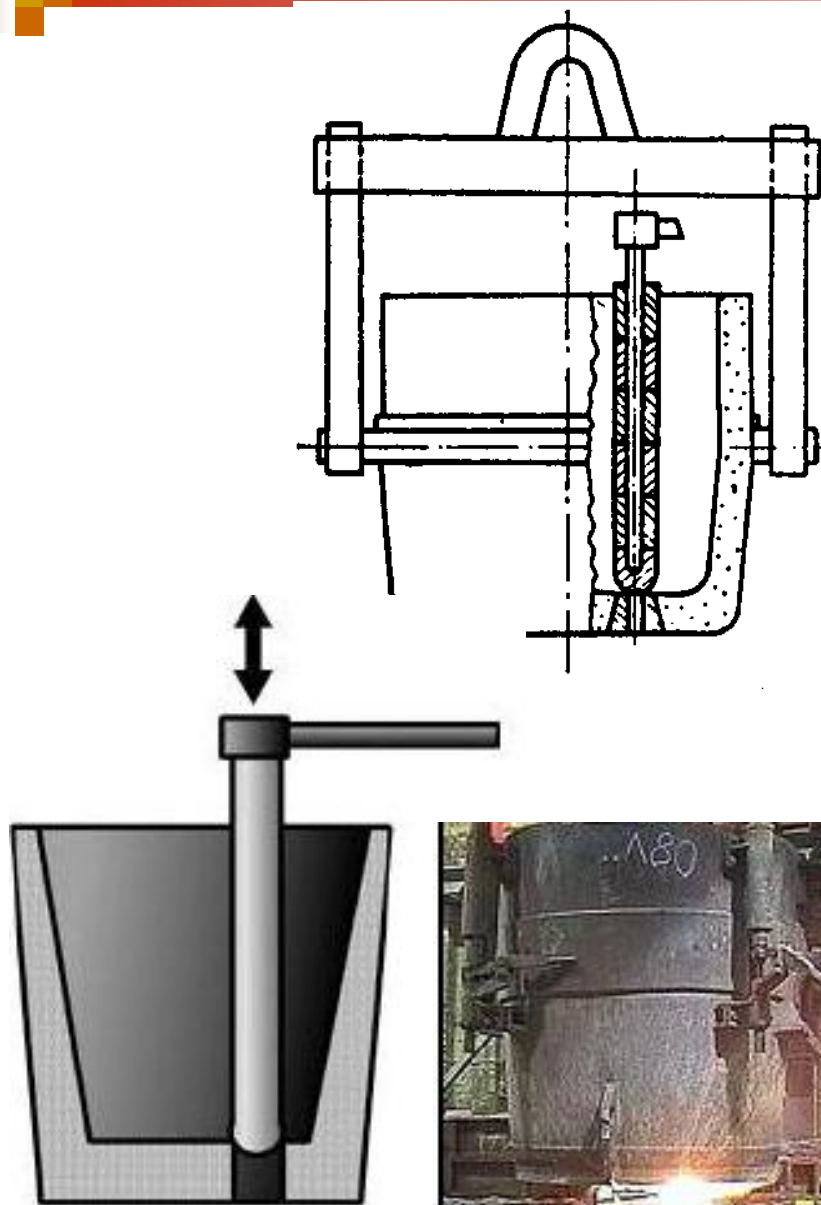
1300°C

1,15 N m⁻¹

Re = 3500 ocel

Re = 7000 litina

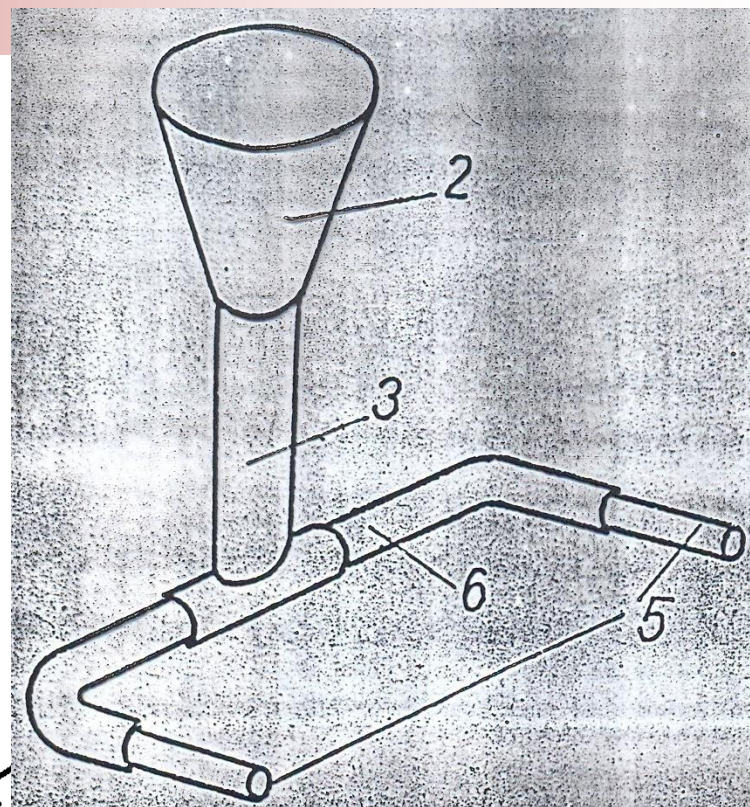
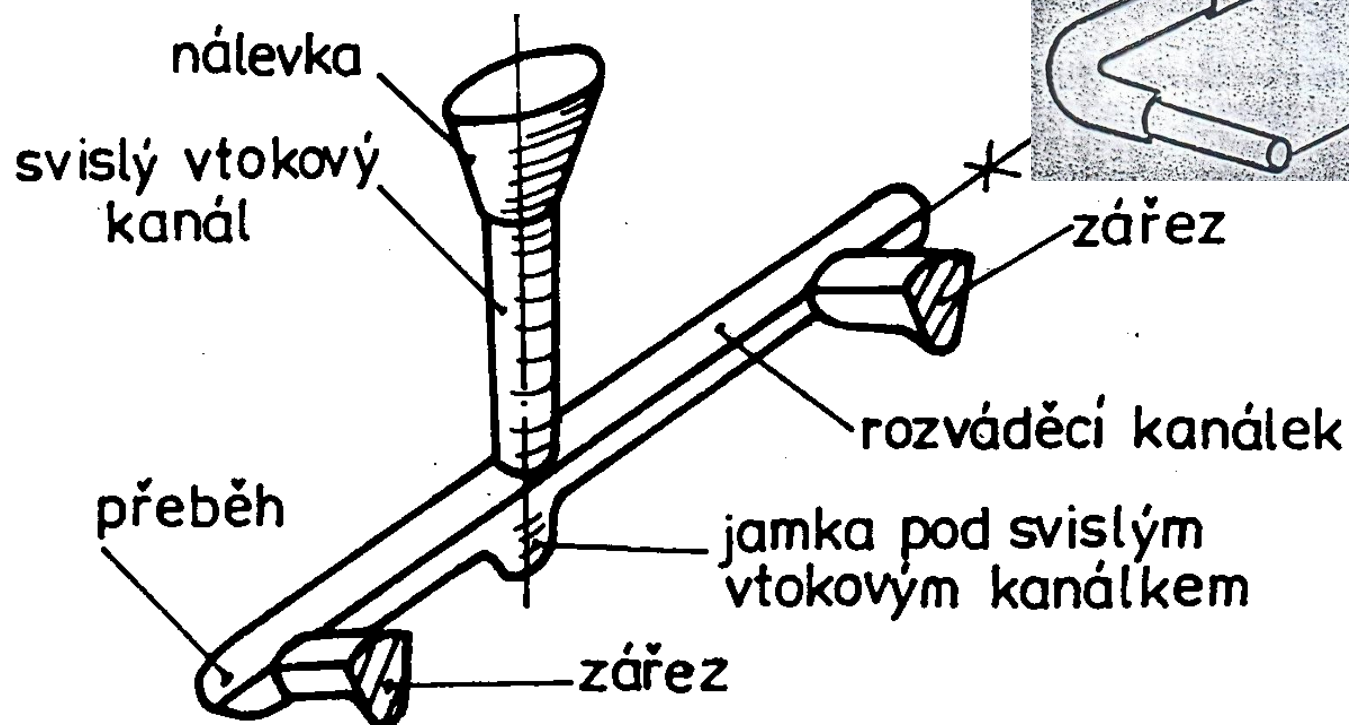
Špatná zabíhavost



Odlévání oceli

**Horší zabíhavost
umožňuje odlévání z
pánve spodní výpustí**

Jednoduchá vtoková soustava, mnohdy ze šamotových tvarovek



Vyšší objemové smrštění

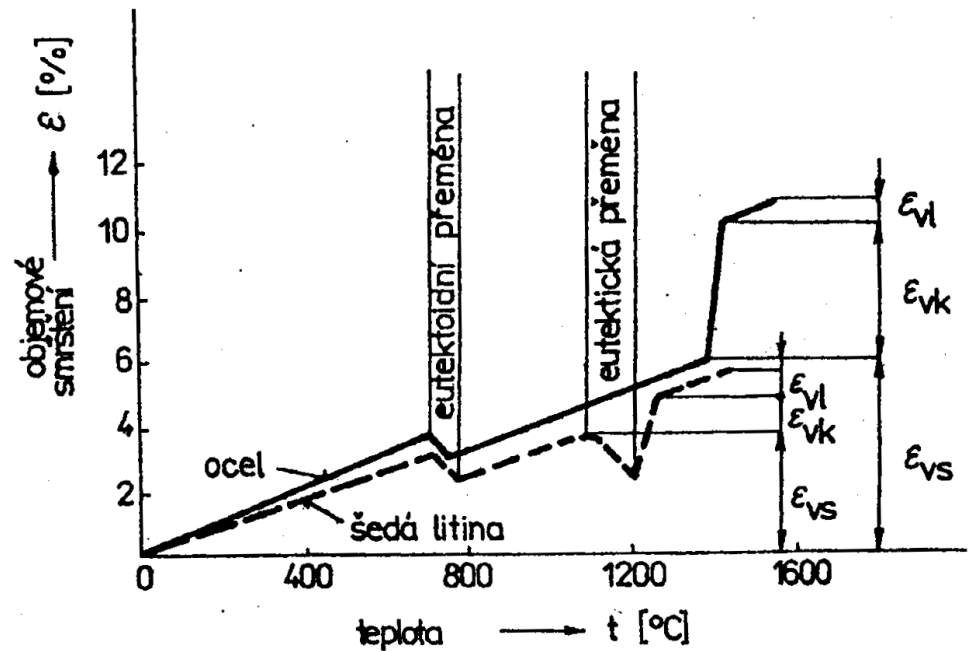
Nálitkování

horší využití kovu

Lineární smrštění

2 % bílá litina a ocel

1 % šedá litina



Odlitek z oceli s řadou nálitků

Označování uhlíkových ocelí podle ČSN

42 26 X₁ X₂ . Y₁ Y₂

základní značka . doplňková značka

42 hutní skupina

26 uhlíková ocel na odlitky

X₁ pevnost v tahu : 3

R_m = 300 – 390 MPa

4 R_m = 400 – 490 Mpa

5 R_m = 500 – 590 Mpa

6 R_m = 600 – 690 MPa

7 R_m = 700 – 790 MPa

X₂ význačné vlastnosti

0 – obvyklá jakost

1 – zaručená mez průtažnosti

2 – zaručená vrubová houževnatost (KC)

3 – zaručená (KC) a tavná svařitelnost

5 – zvětšená odolnost proti korozi

6 – vlastnost (1) a (5) současně

7 - vlastnost (2) a (5) současně

8 - vlastnost (3) a (5) současně

9 – zaručená nejmenší magnetická indukce

Y₁ stav (druh tepelného zprac.)

Y₂ zvláštní vlastnost

Slitinové (legované) oceli

42 27.. . .	nízko (do 5%) a středně (do 10%) legované oceli
42 28..	oceli na trvalé magnety
42 29..	vysoko (nad 10%) legované oceli

Oceli na odlitky pro všeobecné použití

ČSN EN 1093

GE200...G30NiCrMo14

ČSN EN 10293

Uhlíkové oceli pro tlakové nádoby

ČSN EN 10213 -2



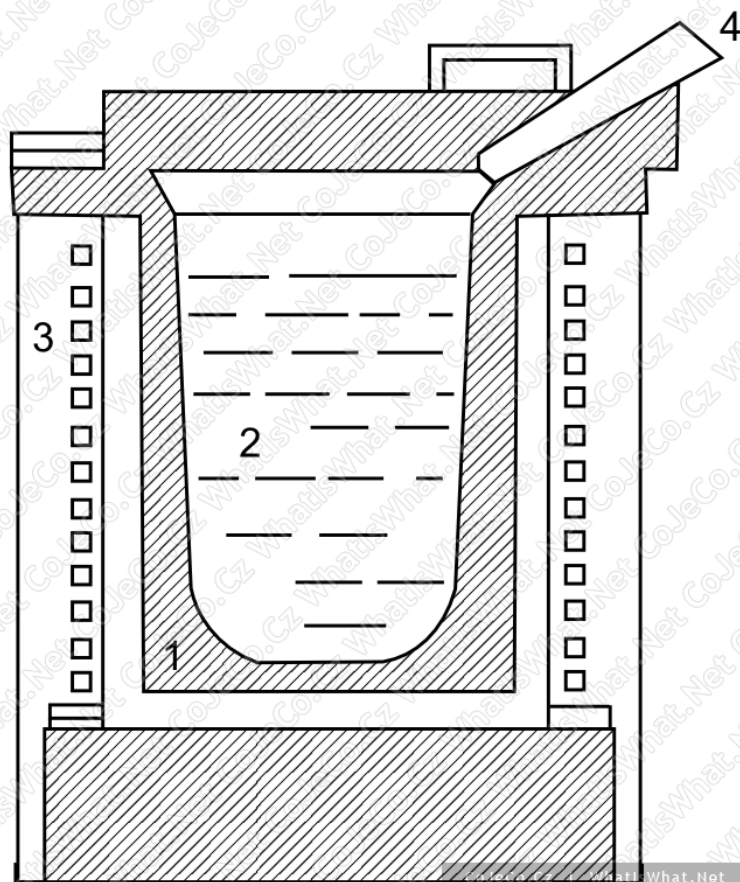
Tavicí agregáty používané ve slévárnách oceli

Elektrická indukční pec

Elektrická oblouková pec

Indukční pec

pec k tavení materiálů využitím tepla vzniklého vířivými proudy indukovanými ve vodivém materiálu – vsázce



kelímková otevřená pec

Ocelová nádoba, kolem níž je vedena ohřívací cívka (měděná trubka chlazená vodou).

Uvnitř nádoby je keramický nebo grafitový kelímek.

obsah od několika kg až asi do 60 tun.



V důsledku indukovaných vířivých proudů a elektromagnetických sil dochází uvnitř kelímku k intenzivnímu proudění materiálu.

Míchání kovu vytváří v kelímku chemickou a tepelnou homogenitu, což je výhodné pro dosažení úzkého rozmezí chemického složení a odpichových teplot.

Indukční pece slouží jako agregát k přetavování vsázky.

Kromě nauhličení, legování a dezoxidace se během tavby nemění chemické složení oceli.

Pro slévárny přesného lití se staví nejčastěji pece s hmotností tavby 40 až 250 kg, pro ostatní slévárny oceli s 0,5 až 25t.

Při výrobě ocelí běžných jakostí a třísměnném provozu je životnost kyselé výdusky u pecí nad 1t jeden až tři dny. Indukční pece proto bývají stavěny se dvěma kelímkami.

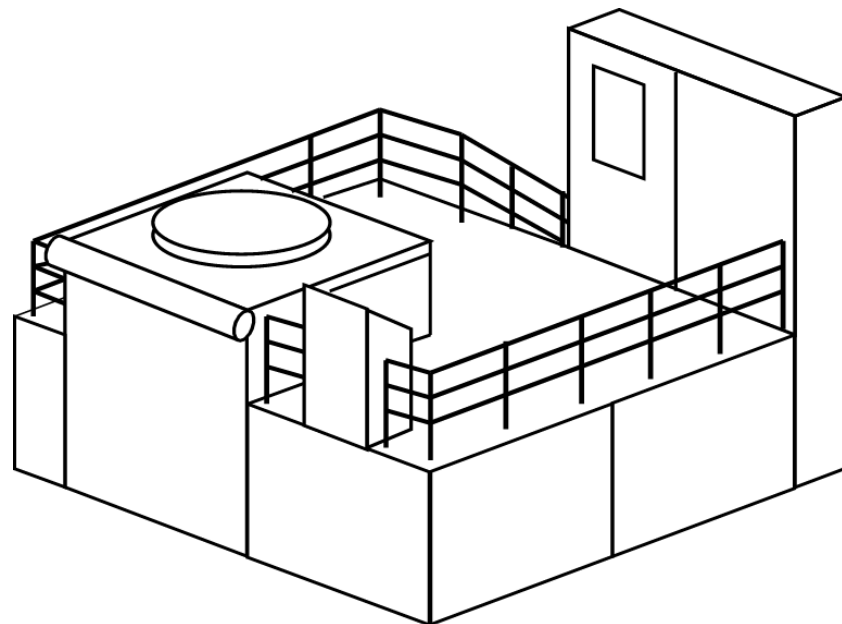
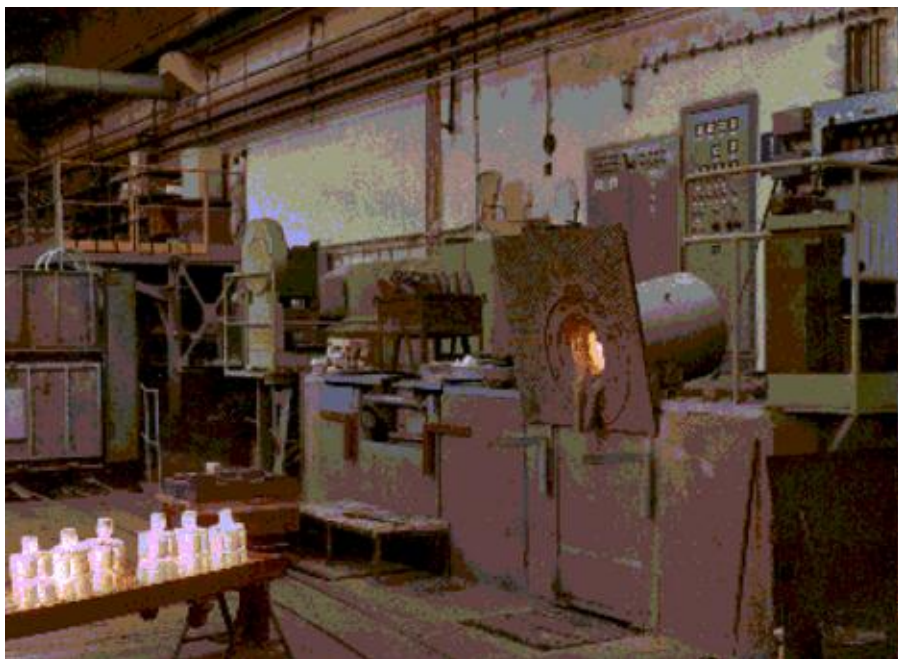
Jeden kelímek je v provozu, druhý se chladí, bourá , vyzdívá a zůstává v rezervě



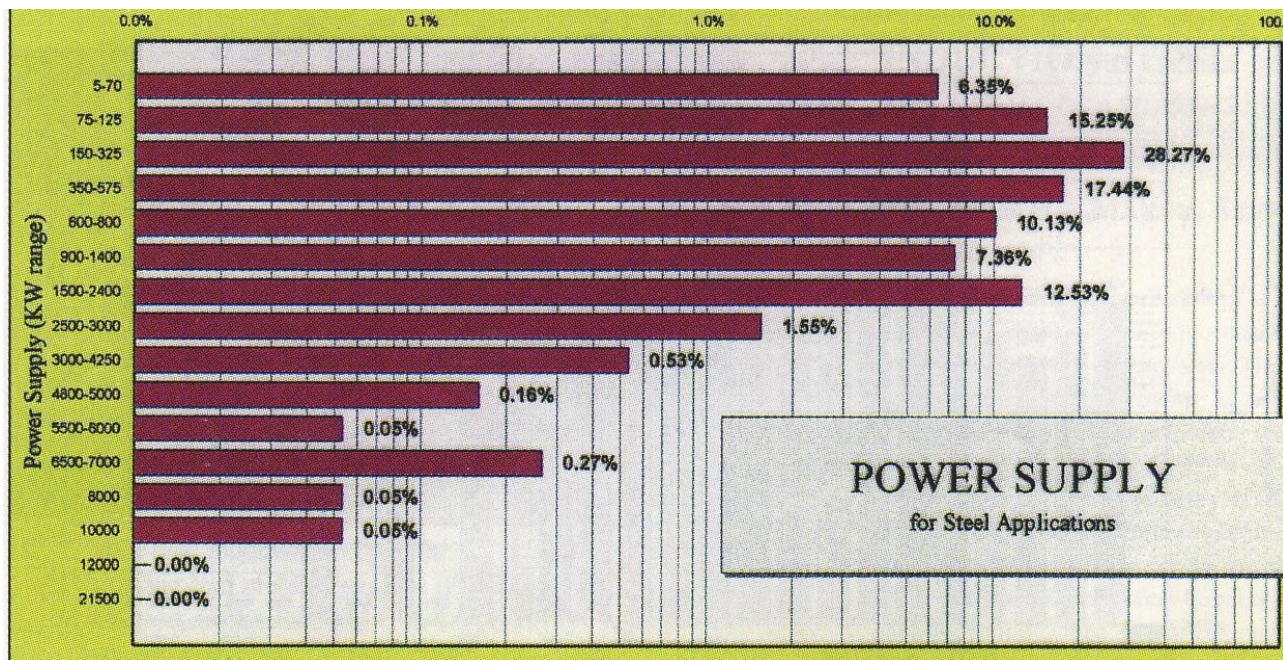
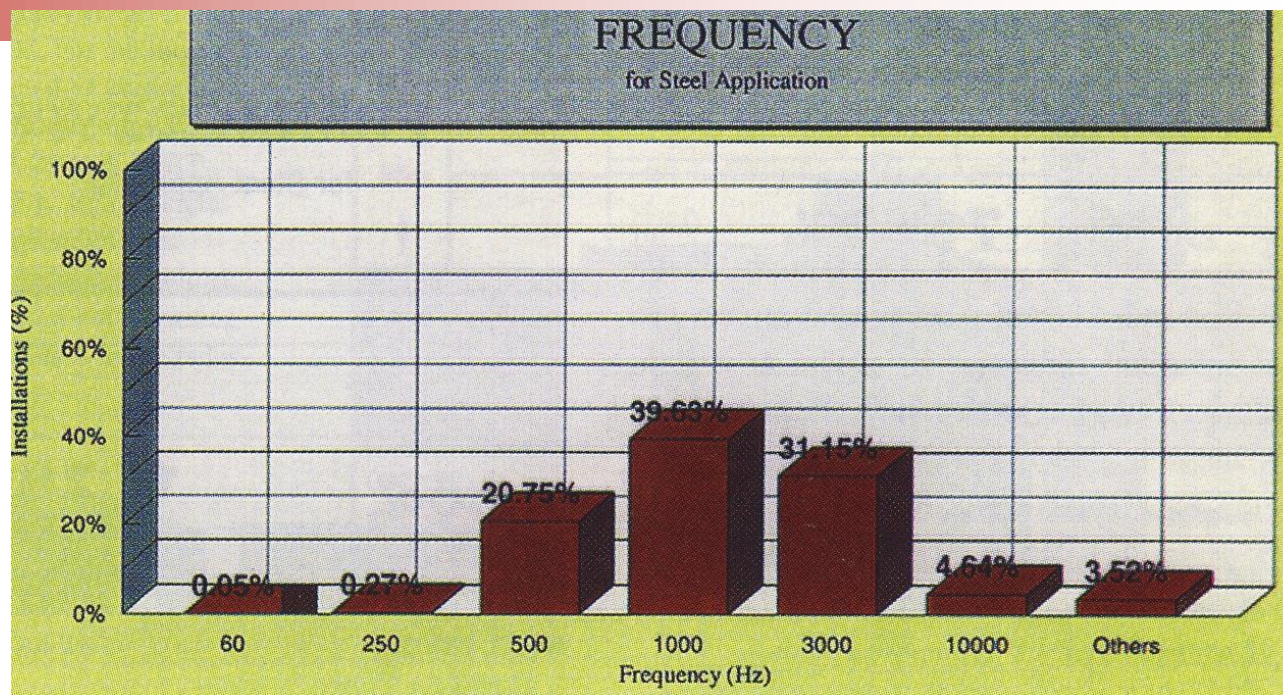
Indukční pec je operativní tavicí agregát vhodný pro přerušovaný provoz. U výkonných pecí jsou doby tavy kratší než jedna hodina.

Výhodou indukčních pecí oproti pecím obloukovým

- nižší zpracovací náklady,
- nižší pořizovací náklady (při srovnatelné výrobě)
- ekologické přednosti (nižší prašnost, nižší hluchnost).



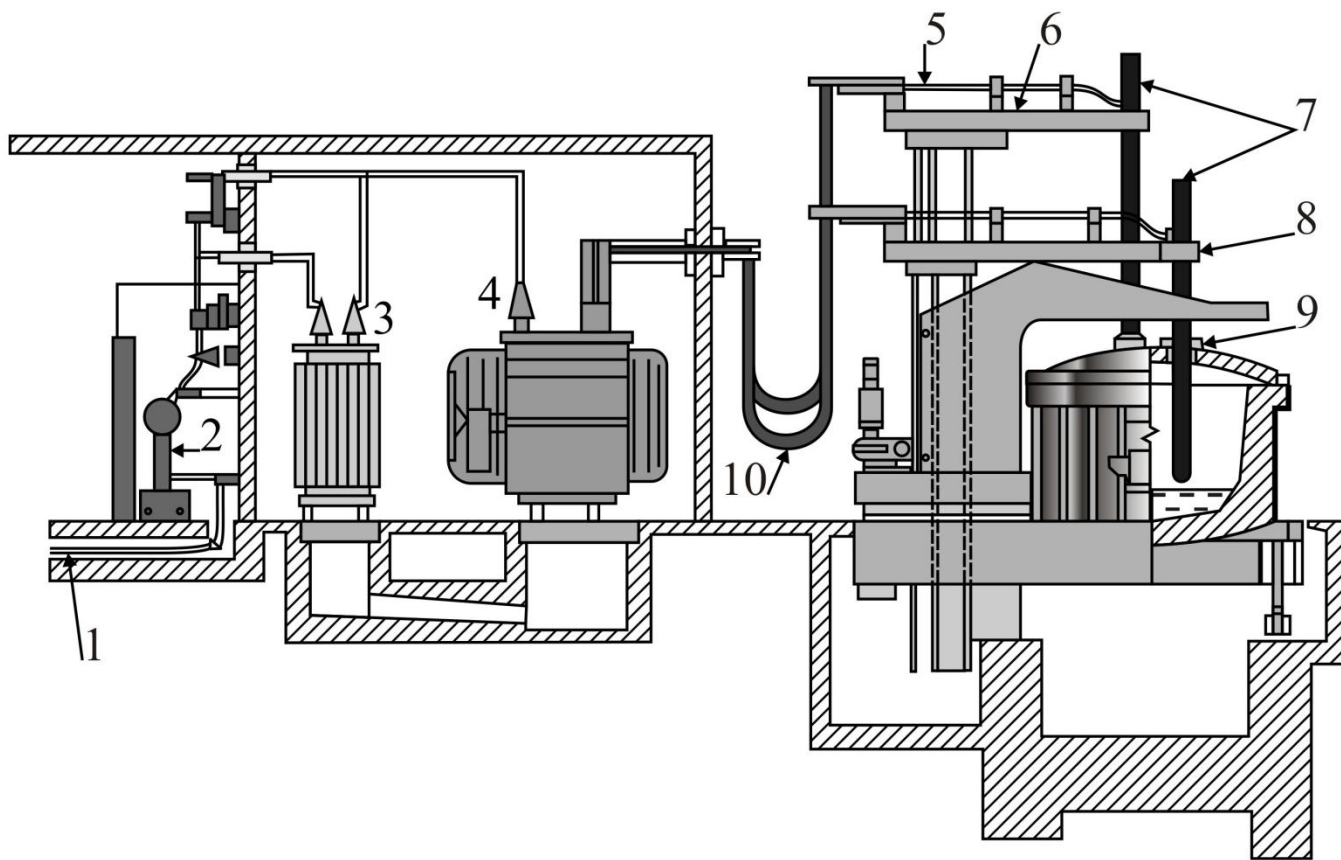
Rozdělení
instalovaných
zařízení podle
frekvence



Rozdělení
instalovaných
zařízení podle
výkonu měniče

Elektrická oblouková pec

Ve slévárnách pracují obvykle EOP o hmotnosti tavby 4 až 20 t. Těžké odlitky se vyrábějí ve slévárnách u hutních oceláren, které dodávají tekutý kov.



Vsázka - vratný odpad

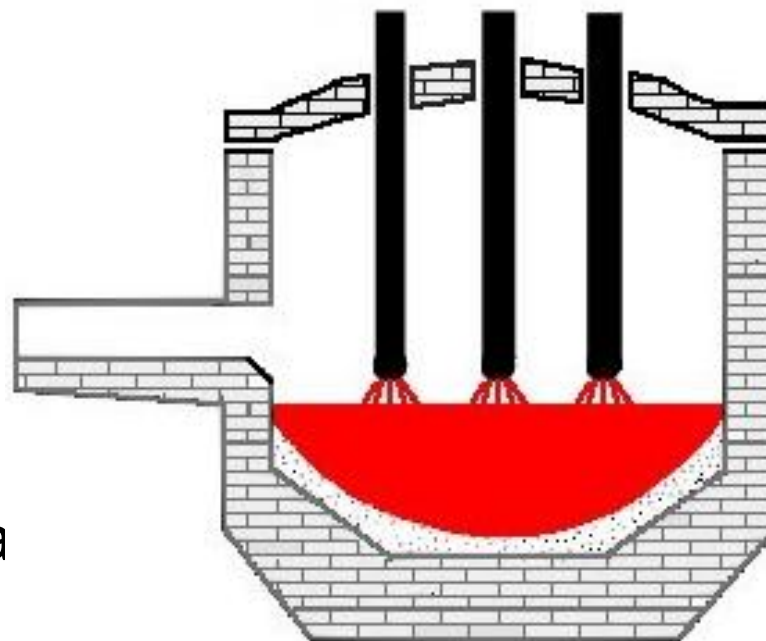
Vsadí se do pece sázecím košem shora po odsunutí víka s elektrodami

Rychlost roztavení vsázky závisí především na instalovaném příkonu pecního transformátoru a na schopnosti regulace pece využít instalovaný příkon.

Instalovaný příkon pecního transformátoru ve slévárnách 300 až 600 kVA/t
Na roztavení tuny vsázky se počítá s teoretickou spotřebou 380 kWh/t.



Teploty v elektrickém oblouku přesahují 3000 °C. Ohřev elektrickým obloukem má za následek lokální přehřívání kovu. Po vzniku lázně působí oblouk pouze na povrch lázně, což může mít za následek vysokou teplotní heterogenitu a zhoršené podmínky pro přenos tepla.



http://fr.wikipedia.org/wiki/Four_%C3%A0_arc_%C3%A9lectrique

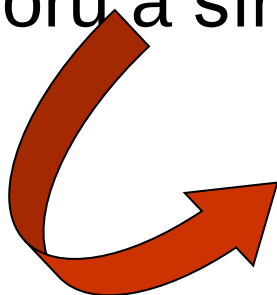
V elektrickém oblouku dochází k disociaci dusíku a vodíku, které se rozpouští v lázni. Vysoké teploty lázně pod obloukem mají rovněž vliv na odpařování některých kovů nebo jejich oxidů.



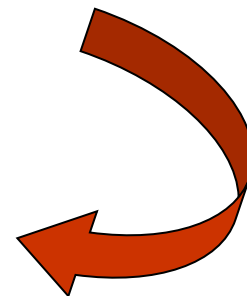
Vyšší obsah dusíku a vodíku v ocelích vyráběných na obloukových pecích se snižuje uhlíkovým varem. Povrch grafitových elektrod při vysokých teplotách oxiduje a zrníčka grafitu padají na hladinu lázně. Zejména při výrobě ocelí s nízkým obsahem uhlíku je nutné počítat s nauhličením oceli.

Ve slévárnách pracují pece se zásaditou vyzdívkou (magnezit a chrommagnezit)

Výhoda pecí se zásaditou vyzdívkou je možnost zpracovávat šrot s nezaručeným obsahem fosforu a síry.



**Odsíření
Odfosfoření**



Výhoda obloukových pecí oproti pecím indukčním

- menší nároky na kusovitost a sypnou hmotnost vsázky
- možnost měnit chemické složení oceli v širokých mezích.



http://www.airproducts.cz/metals/metalurgie/slevarny_taveniOdlevani.htm



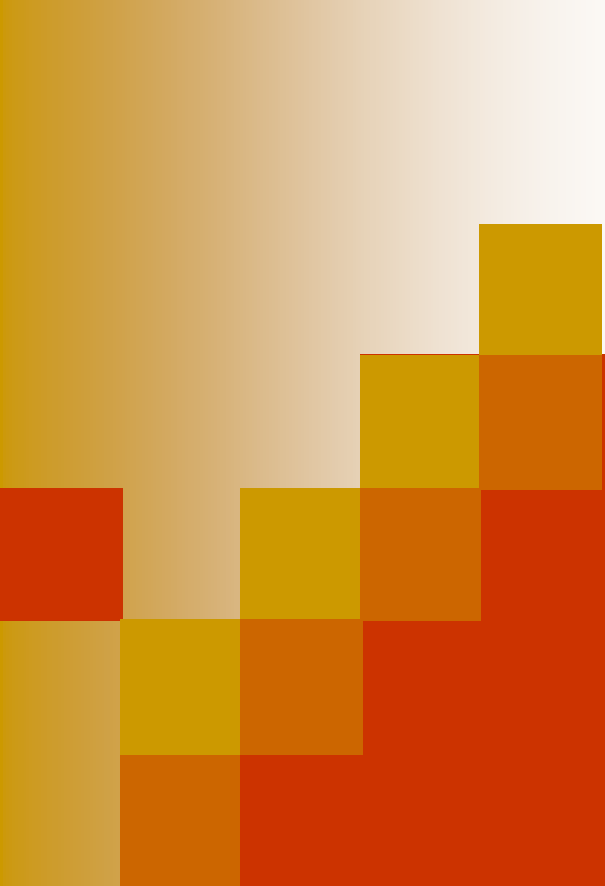
KONTROLNÍ OTÁZKY

1. V čem se liší slévárenské vlastnosti oceli na odlitky a litiny
2. Srovnejte využití kovu při odlévání odlitků z oceli a litiny a rozdíl zdůvodněte
3. Jaké pecní agregáty jsou nejčastěji používány ve slévárnách oceli



DOPORUČENÁ LITERATURA

JELÍNEK, P.: Slévárenství, skripta VŠB, 2007, 256 s.



Materiály na odlitky Litiny

LITINY

slitiny železa s uhlíkem a dalšími prvky (Si,Mn,P,S...), kde obsah uhlíku je vyšší než 2%.

materiály určené výhradně na výrobu odlitků.

Historie

Různé předměty z litiny se odlévaly v Číně již zhruba v 6.stol. př.n.l.



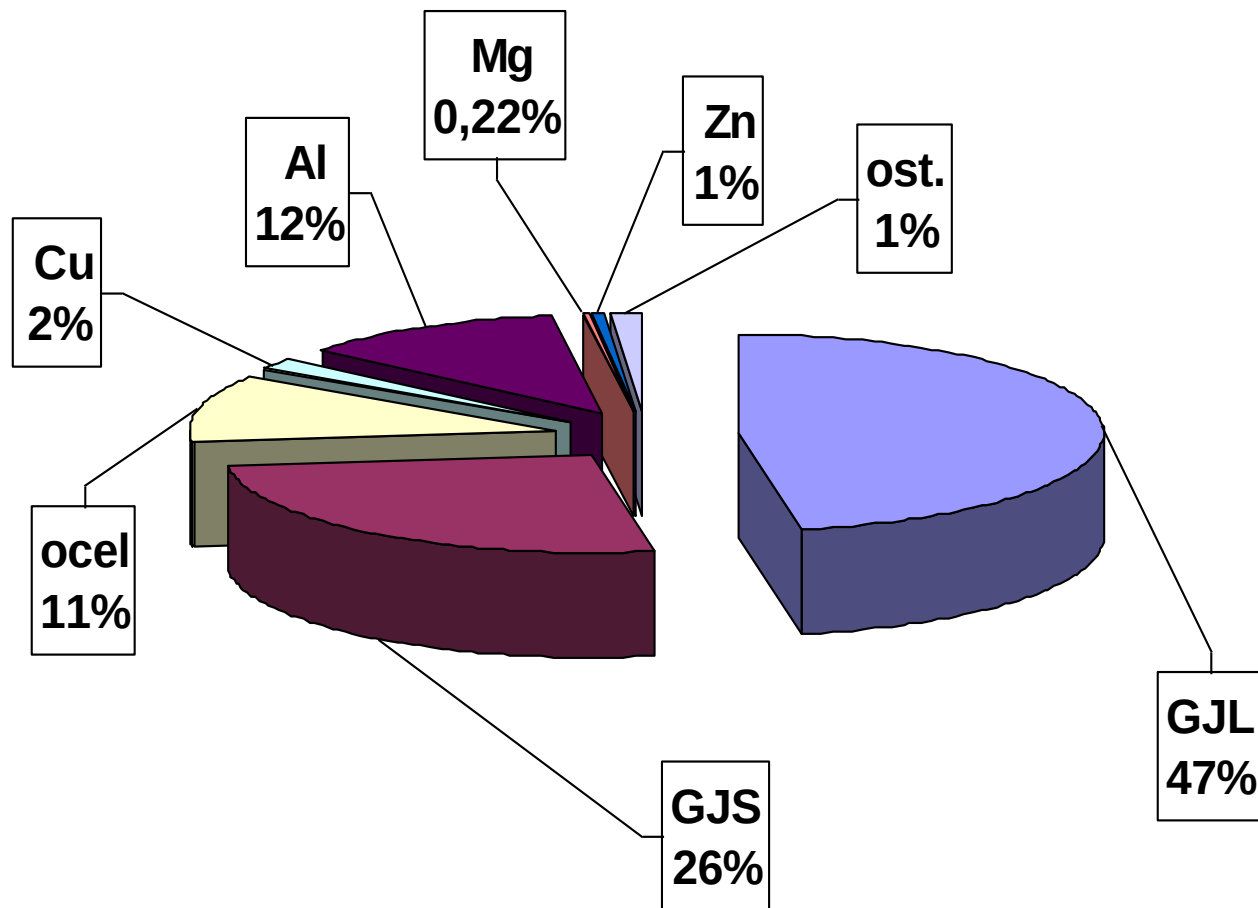
<http://www.computersmiths.com/chineseinvention/ironplow.htm>



Evropa potřebovala k tomuto objevu dalších téměř 2 000 let

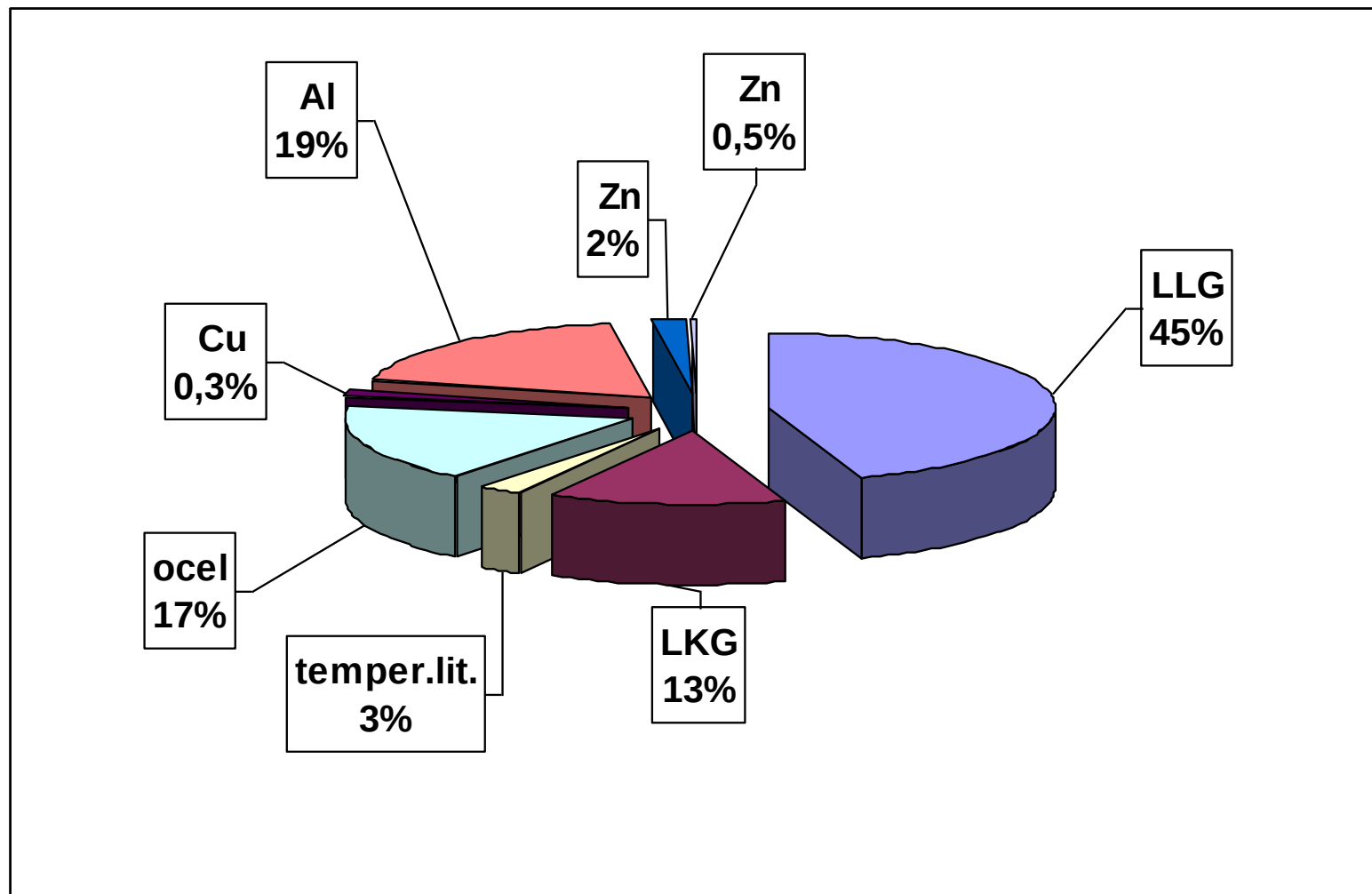
Světová výroba odlitků v r. 2010

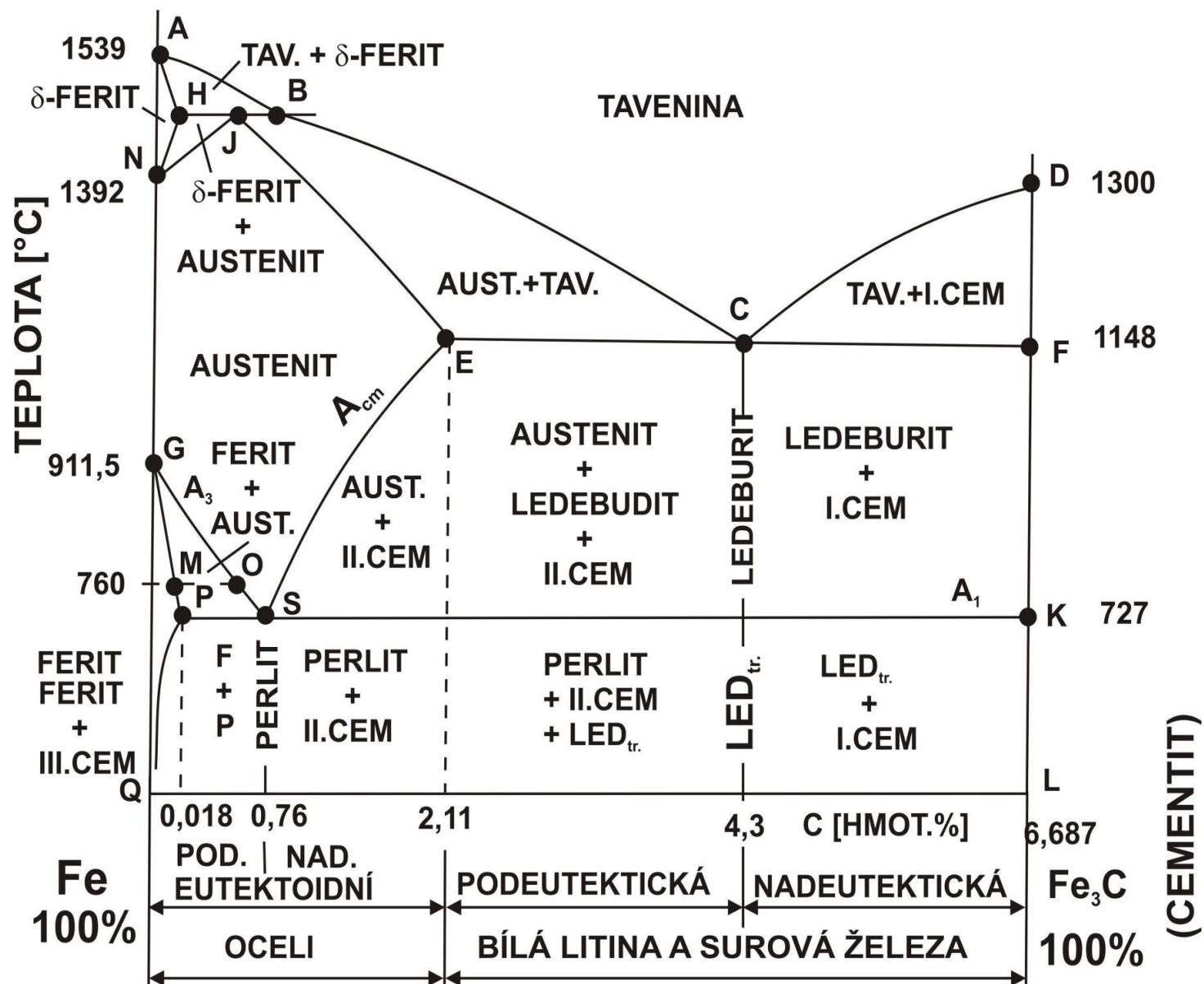
91,48 mil. t (80,34 2009)

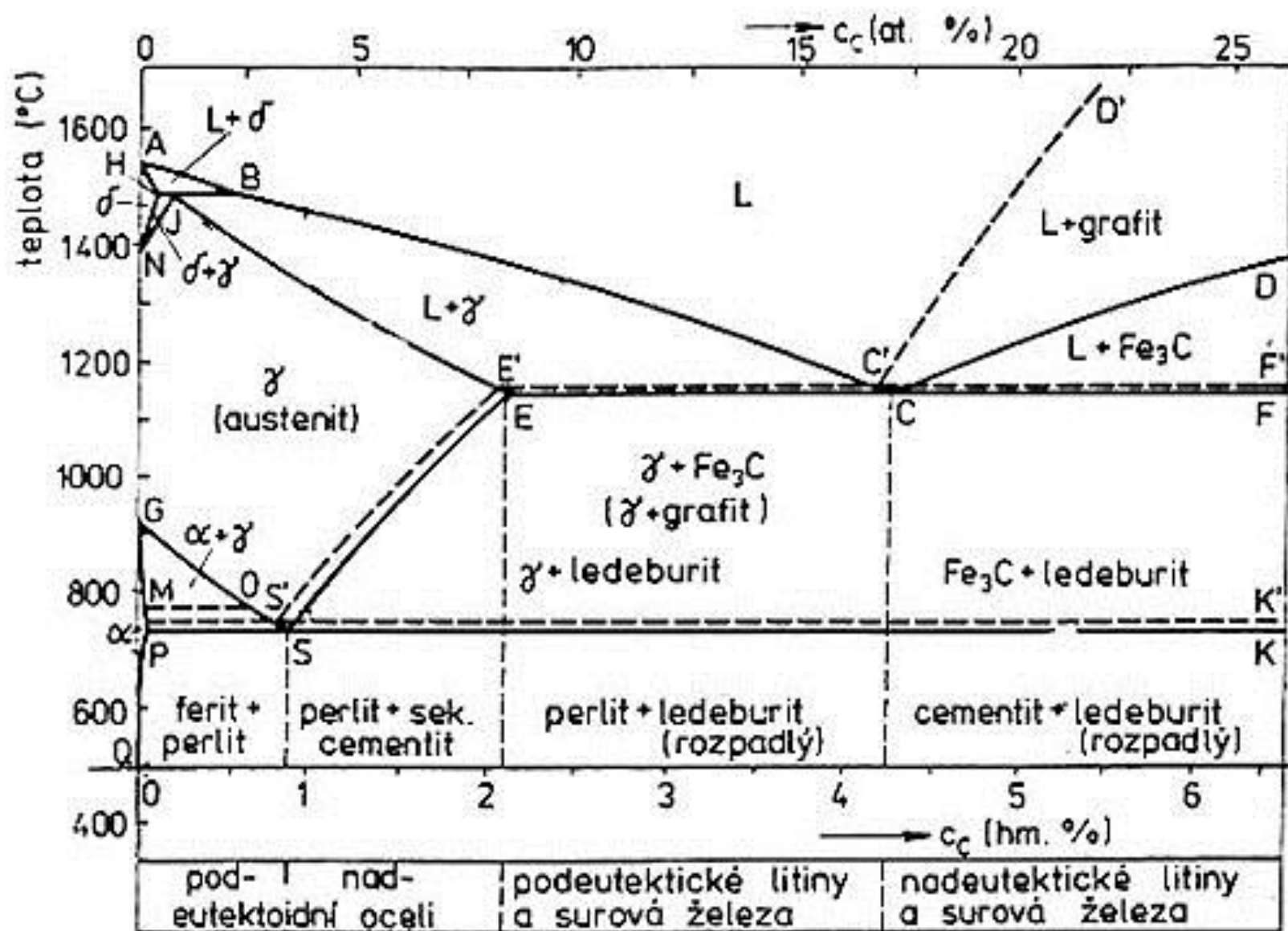


Výroba odlitků v České republice r. 2010

344 397 t



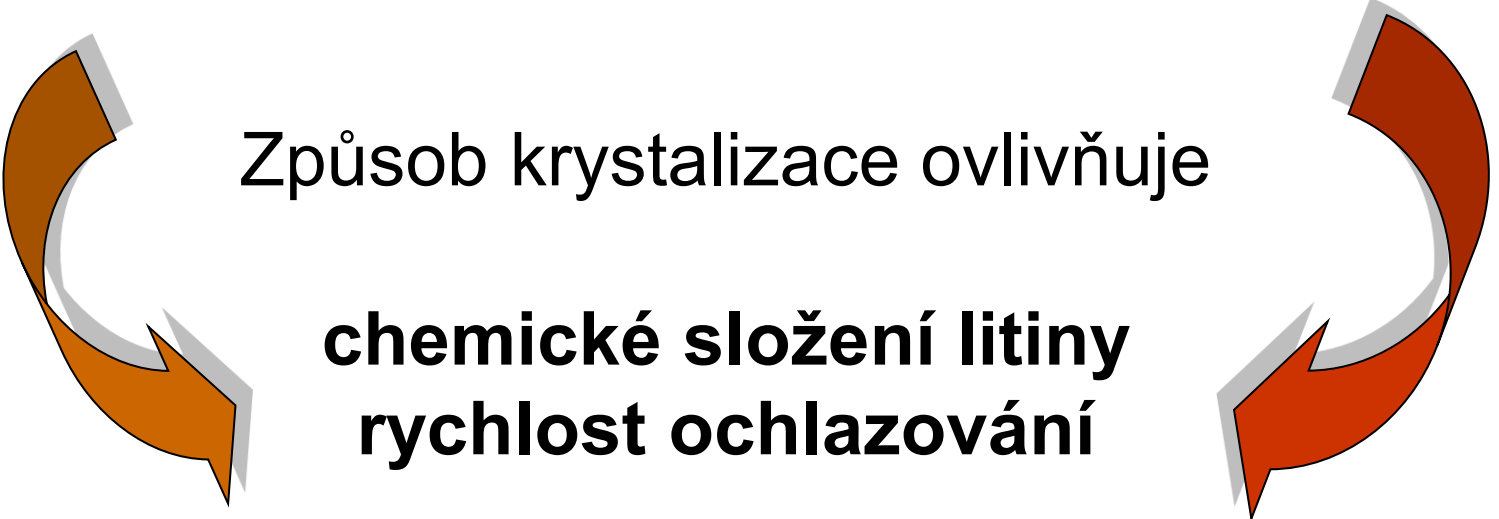


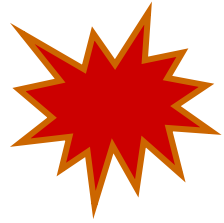




Způsob krystalizace ovlivňuje

chemické složení litiny
rychlost ochlazování





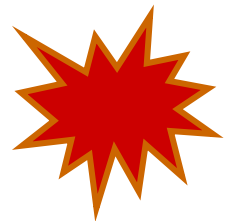
rychlost ochlazování

pomalé ochlazování

grafit

rychlé ochlazení

cementit



chemické složení

grafitotvorné prvky

C, Si, P, Al

vznik cementitu

Mn, S



Krystalizace **metastabilní**

vysokouhlíková fáze se vylučuje ve formě cementitu Fe_3C

-litina bílá

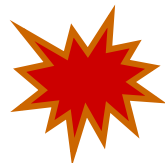


Struktura bílé litiny obsahuje perlit a cementit.

Vlivem cementitu je velmi tvrdá (400 až 500HB), křehká a obrobitelná jen broušením.

Použití omezeno jen na odlitky pro mlecí desky, mlecí tělesa a rošty.

Hlavní význam bílé litiny



tepelné zpracování odlitků na litinu temperovanou.

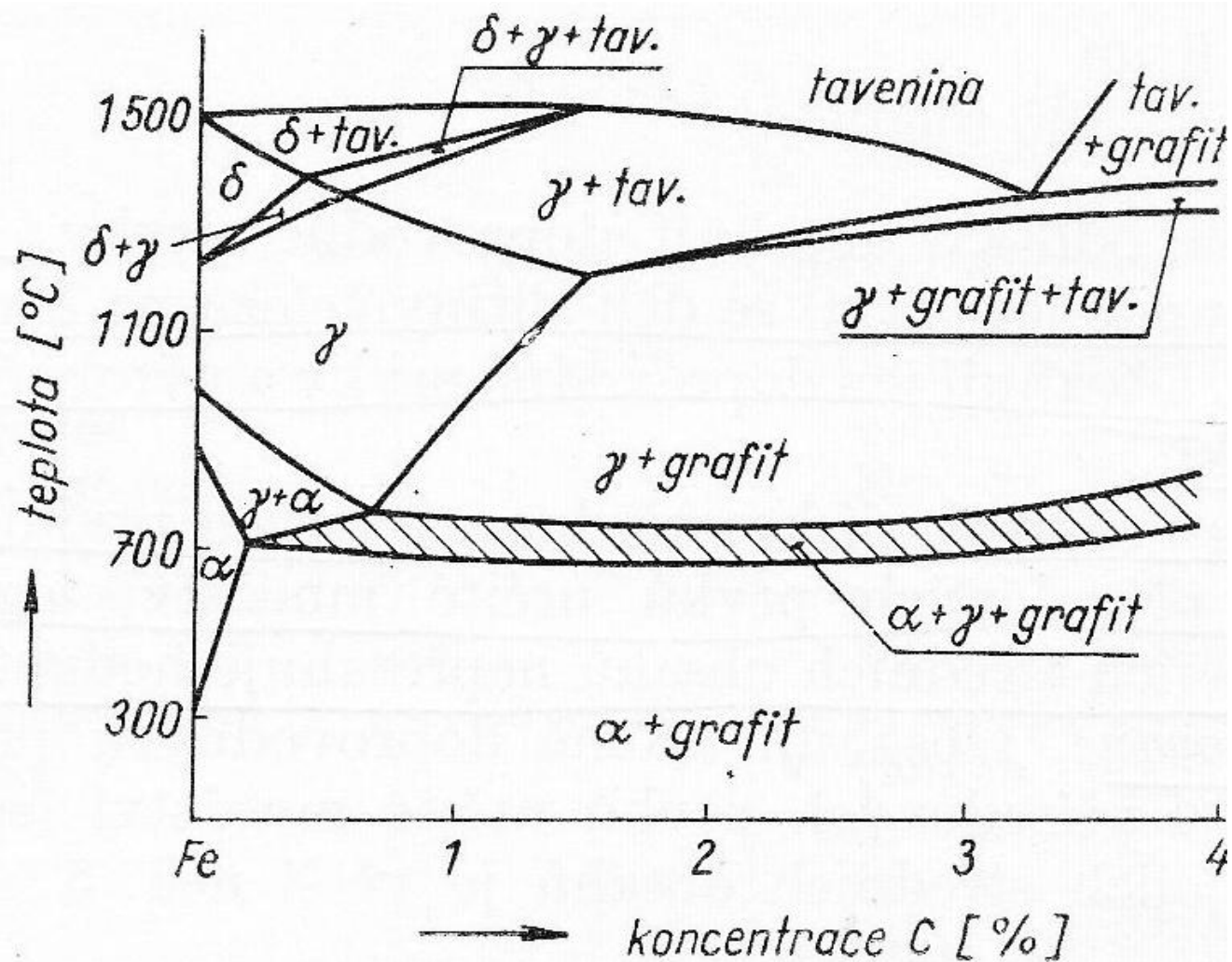
Krystalizace **stabilní** vysokouhlíková fáze se vylučuje ve formě grafitu - **litiny grafitické**

Tvar vyloučeného grafitu

Litina s lupínkovým grafitem

Litina s kuličkovým grafitem



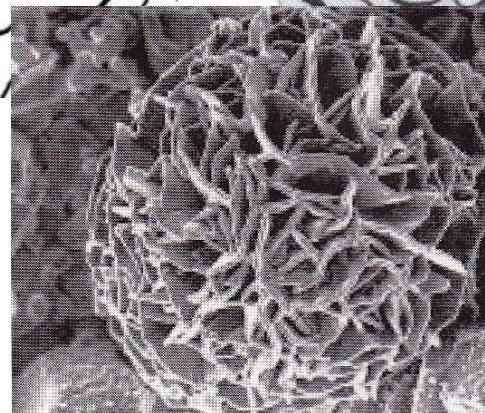


Ternární diagram Fe – C - Si

LITINA S LUPÍNKOVÝM GRAFITEM

(Šedá litina)

2,5 až 3,5 % C,
do 3,5 % Si,
0,4 až 0,8 % Mn
0,2 až 1,2 % P
0,08 až 0,12 % S



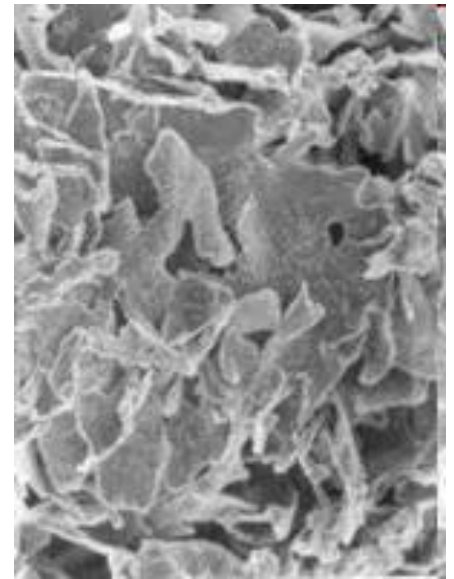
Výsledná struktura a mechanické vlastnosti
závisí

na chemickém složení litiny
a na rychlosti ochlazování

slévárenské vlastnosti

vynikající **zabíhavost**

relativně **malý sklon ke smršťování**



lepší **tepelná vodivost** než oceli.

Nízké mechanické vlastnosti

$R_m = 100 - 250 \text{ MPa}$

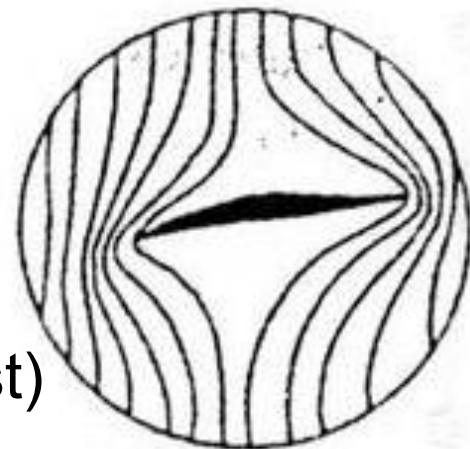
$A \sim 0\%$



litina má díky svému tvaru grafitu nejhorší
plastické vlastnosti v porovnání s ostatními
litinami

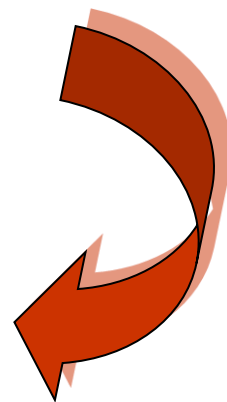


(téměř žádná tažnost)



Způsobuje to **vysoká koncentrace napětí**,
na ostrých hranách lupínek

zvýšení schopnosti útlumu



Ke zlepšení pevnostních charakteristik se používá
očkování litin (FeSi).



Grafitizační očkování

- zjemnění vyloučených grafitových lamel,
- jejich rovnoměrné rozdělení
- stabilizace perlitické základní kovové hmoty

Jakostní litiny

$R_m = 300 - 350 \text{ MPa}$

ČSN	ČSN EN 1561	DIN 1691	UNI 5007	Pevnost v tahu Rm [Mpa]	Tvrdost [HB]
422415	EN-GJL-150	GG-15	G15	>150	140-190
422420	EN-GJL-200	GG-20	G20	>200	150-230
422425	EN-GJL-250	GG-25	G25	>250	180-250
422430	EN-GJL-300	GG-30	G30	>300	200-275
422435	EN-GJL-350	GG-35	G35	>350	220-290

Litiny pro běžné použití

EN GJL-100 a EN GJL-150.

tenkostěnné odlitky s tloušťkou stěny od 4 do 30 mm, nebo odlitky, u kterých se nepožaduje záruka mechanických vlastností.

Používají se pro výrobu součástí pecí, kotlů, roštů, odlitky na smaltování, vodovodní tvarovky, části textilních či polnohospodářských strojů, kanálové poklopy, mříže



Litiny se zaručenými mechanickými vlastnostmi

EN GJL-200 a EN GJL-250

odlitky, u kterých se požaduje záruka mechanických vlastností (pevnost v tahu a tvrdost).

Nejčastěji se používají v automobilovém a strojařském průmyslu. Jsou vhodné na převodové skříně, stojany lisů, soustruhy, frézky, motorové vložky, ozubená kola, motorové bloky, hlavy válců, písty, kompresorové válce, řemenice

Litiny s vysokou pevností

EN GJL-300 a EN GJL-350.

Obvykle se označují jako jakostní litiny. Používají se na stojany těžkých lisů a obráběcích strojů, armatury, písty těžkých kompresorů, velká ozubená kola, pastorky

Litina s kuličkovým grafitem (tvárná litina)



Náhrada litých ocelí:

- Náklady na výrobu jsou cca o 40% nižší (poloviční spotřeba energie)
- Měrná hmotnost je o 8% (feriticko-perlitická) nižší, než u oceli (tenkostěnnější – lehčí konstrukce)
- Pevnost v tahu se pohybuje od 300 do 900MPa v litém stavu, po tepelném zpracování až 1300MPa

■ Podstatně lepší slévárenské vlastnosti
(lepší zabíhavost, malé objemové stahování)

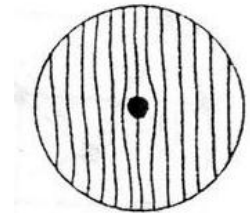
■ Kuličkový tvar grafitu snižuje původní vrubový účinek lamel – oproti šedé litině výrazně roste tažnost

litina s lupínkovým grafitem

$A \sim 0-2\%$

litina s kuličkovým grafitem

$A \sim \text{až } 30\%$



R_m v litém stavu až 900MPa.

- Velmi dobrá obrobiteľnosť tvárnej litiny umožňuje zvyšovať reznú rýchlosť pri vysokej životnosti rezného nástroja
- Vysoká odolnosť proti opotrebeniu, dobrá svaiteľnosť, korozivzdornosť a pevnosť za zvýšených teplôt
- Materiál snáži dynamické, cyklické namáhanie a tlumí vibrácie viac než uhlíková ocel

vyrábí se z litiny s lupínkovým grafitem **přídavkem Mg, Ce** (nebo předslitin) do roztaveného kovu, získáme litinu s vyloučením nodulárního grafitu.

modifikace



Mechanismus modifikace

- ❑ Zvyšuje se povrchové napětí taveniny
- ❑ Zvětšuje se přechlazení - mění se podmínky grafitizace, zkracuje se doba k difuzi, vytváří se větší počet zárodků
- ❑ Ovlivňuje se rychlost růstu krystalových ploch (vypařování Mg –

v atomárním stavu)

Teplota tání Mg

650°C

Teplota vypařování

1110°C při tlaku 1,013 bar



Požadavky na výchozí materiál – šedou litinu

Dostatečně vysoká teplota přehřátí kovu

Litina musí být přehřátá o $60 - 70^{\circ}\text{C}$, aby se vyrovnaly tepelné ztráty při přidání Mg (pro roztavení); naopak reakce Mg s O_2 , S, N_2 je exotermická

Přesné chemické složení

C = 3,4 – 3,8% a Si = 1,8 – 2,9%, protože přidáváme Mg, který má stabilizační účinek (bílá litina)

Stupeň modifikace sledujeme podle zbytkového Mg

0,03 – 0,12% Mg litina se zrnitým grafitem

Technologie modifikace

Polévací metody

Ponořovací metody

Konvertorový způsob

Kontinuální modifikace

Metoda plněných profilů



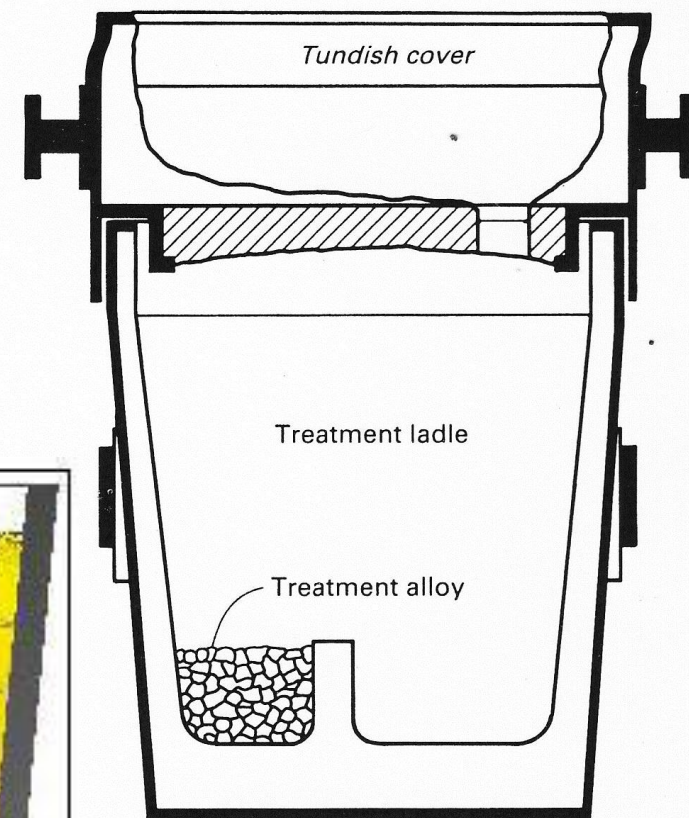
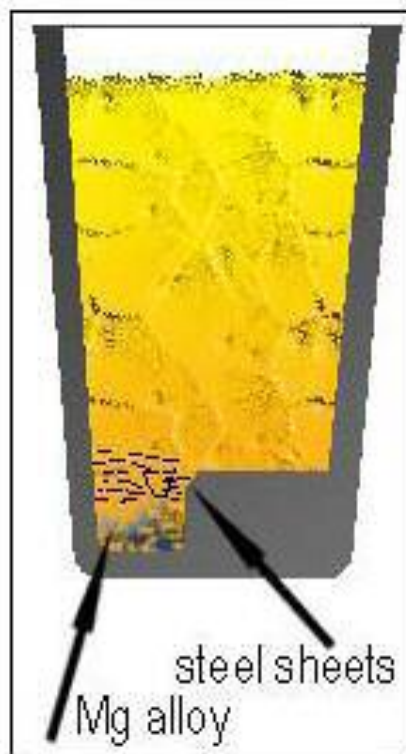
Polévací metody

Pánev se zalévá roztaveným (na opačné straně, než je modifikátor), který se zakrývá litinovými třískami pro maximální zpoždění reakce taveniny s modifikátorem. (zlepšení procesu metoda Sandwich, Tundish –Cover)

velmi jednoduché,
nevyžadují velké
investiční náklady



nehospodárné z hlediska
využití modifikátoru.





Ponořovací metody

Modifikátor je umístěn v koši (nebo zvonu) a ponořován ke dnu modifikační pánve .

Tím je zabráněno možnému vyplouvání modifikátoru na hladinu taveniny.

Při ponořování je pánev současně uzavřena víkem pro lepší účinnost modifikace.

Modifikovat je takto možno také za uměle vyvozeného přetlaku –v autoklávu nebo autoklávové pánvi.



Kontinuální modifikace

Modifikace probíhá při odlévání tekutého kovu z tavicího agregátu

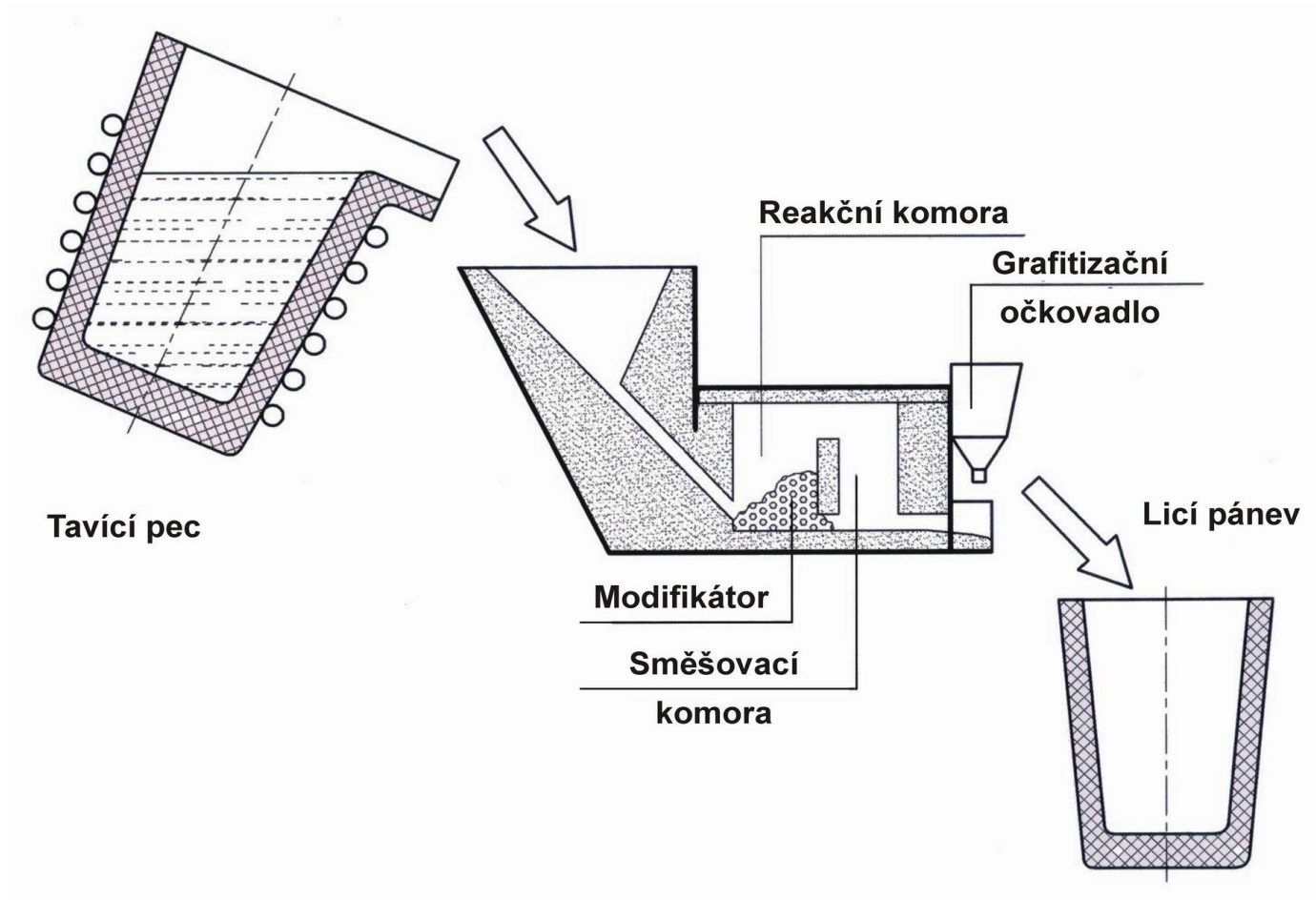
- ❑ do speciálně upravené mezipánve, ve které je umístěn modifikátor a odtud do pánve licí (způsob Flotret)

- ❑ modifikuje se přímo ve vtokové soustavě slévárenské formy (In Mold) Ve vtokové soustavě reakční komůrka, do které se umisťuje modifikátor.

Velmi účinný způsob modifikace,
využívá i dynamické působení tekutého kovu

.

Reakční komora Flotret





Metoda plněných profilů

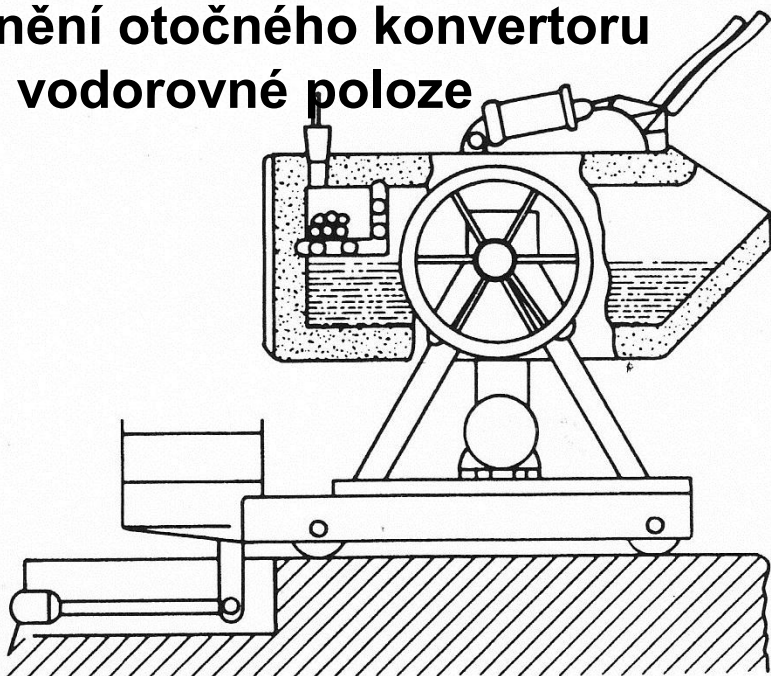
Plněný profil je dutý drát o tloušťce 0,2 – 0,5 mm a průměru 3, 5, 8, 12, 18mm, který je plněn vlastním modifikátorem.

Do roztavené litiny se injektuje určitou rychlostí, tak aby otavování profilu probíhalo na dně pánve, která je při modifikaci zakryta víkem.

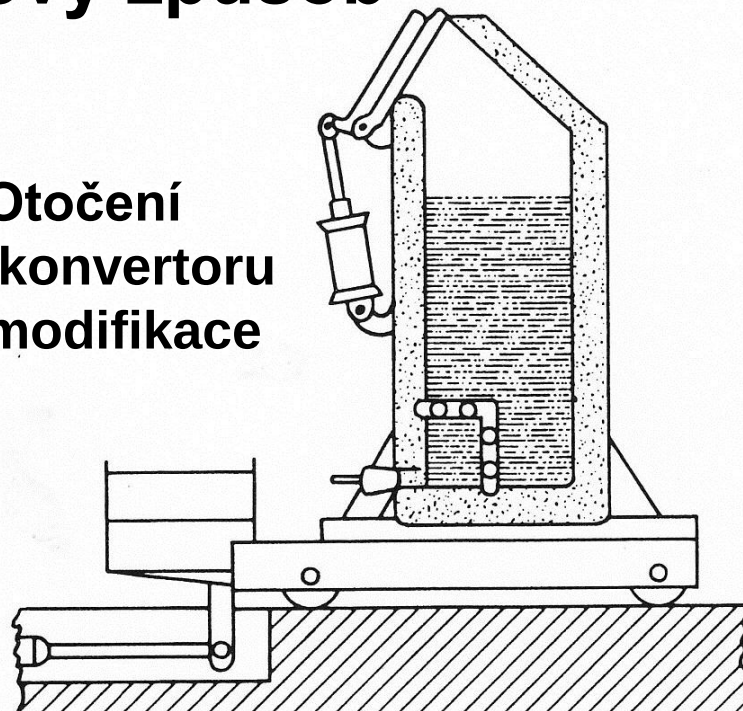
Plněný profil je injektován podavačem, který umožňuje změnu rychlosti podávání profilu a současně registruje jeho spotřebu v mm

Konvertorový způsob

Plnění otočného konvertoru
ve vodorovné poloze



Otočení
konvertoru
modifikace



Modifikátor je umístěn ve speciálně upraveném prostoru, který zabraňuje jeho vyplouvání, Modifikace probíhá otočením pánve do svislé polohy. Pánev je možno uzavřít víkem, omezuje se oxidace Mg při modifikaci. Pánev je ovládána dálkově, vysoké využití Mg (až 60%), ale vysoké pořizovací náklady.



LITINA S KULIČKOVÝM GRAFITEM

CSN	CSN EN 1563	DIN 1693	UNI 4544	Mez kluzu Rp 0,2 [Mpa]	Pevnost v tahu Rm [Mpa]	Tažnost Amin [%]
422314	EN-GJS-400-18LT	GGG-40.3	-	>240	>400	18
422304	EN-GJS-400-18	GGG-40	GS 400-12	>250	>400	15
422305	EN-GJS-500-7	GGG-50	GS 500-7	>320	>500	7
422306	EN-GJS-600-3	GGG-60	GS 600-3	>380	>600	3
422307	EN-GJS-700-2	GGG-70	GS 700-2	>440	>700	2

Litiny pro běžné použití

např. EN GJS350-22, EN GJS400-15 a EN GJS400-18

Jsou vhodné na odlitky dynamicky namáhané, u kterých se požaduje záruka mechanických vlastností a hlavně vysoké plastické hodnoty i při nízkých teplotách (např.– 50 °C).



Litiny pro běžné použití pro práci za nízkých teplot

EN GJS500-7, EN GJS600-3.

Tyto litiny jsou vhodné na odlitky dynamicky namáhané, v automobilovém a strojařském průmyslu, jako jsou vačkové, klikové hřídele, dále součástky na převodové skříně, motorové vložky a ozubená kola.

Litiny s nejvyšší pevností

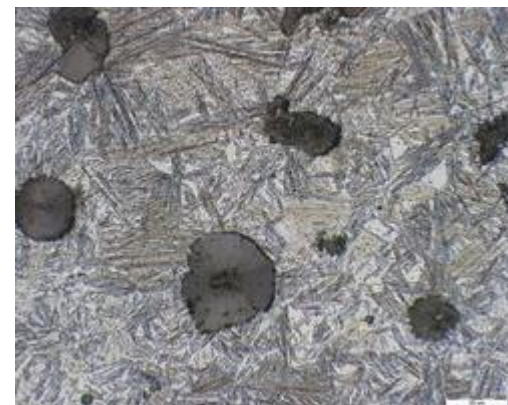
EN GJS700-2, EN GJS800-2 a EN GJS900-1.

velmi mechanicky a dynamicky namáhané odlitky v automobilovém a strojném průmyslu.

ADI litina

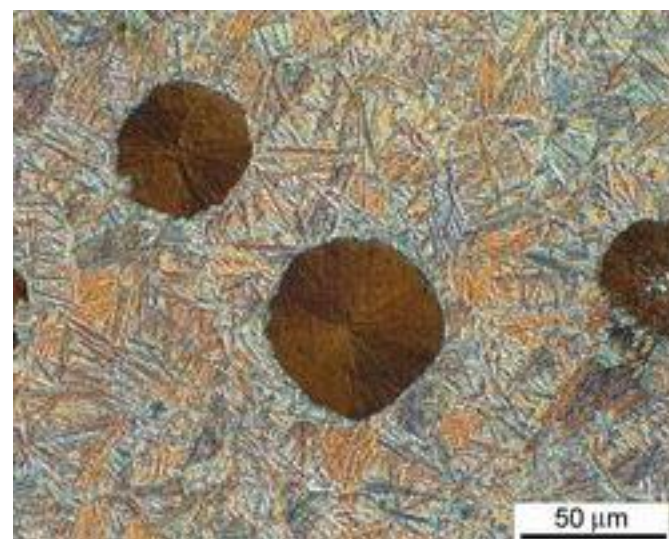
Austempered ductile iron

Izotermicky zušlechtěná tvárná litina

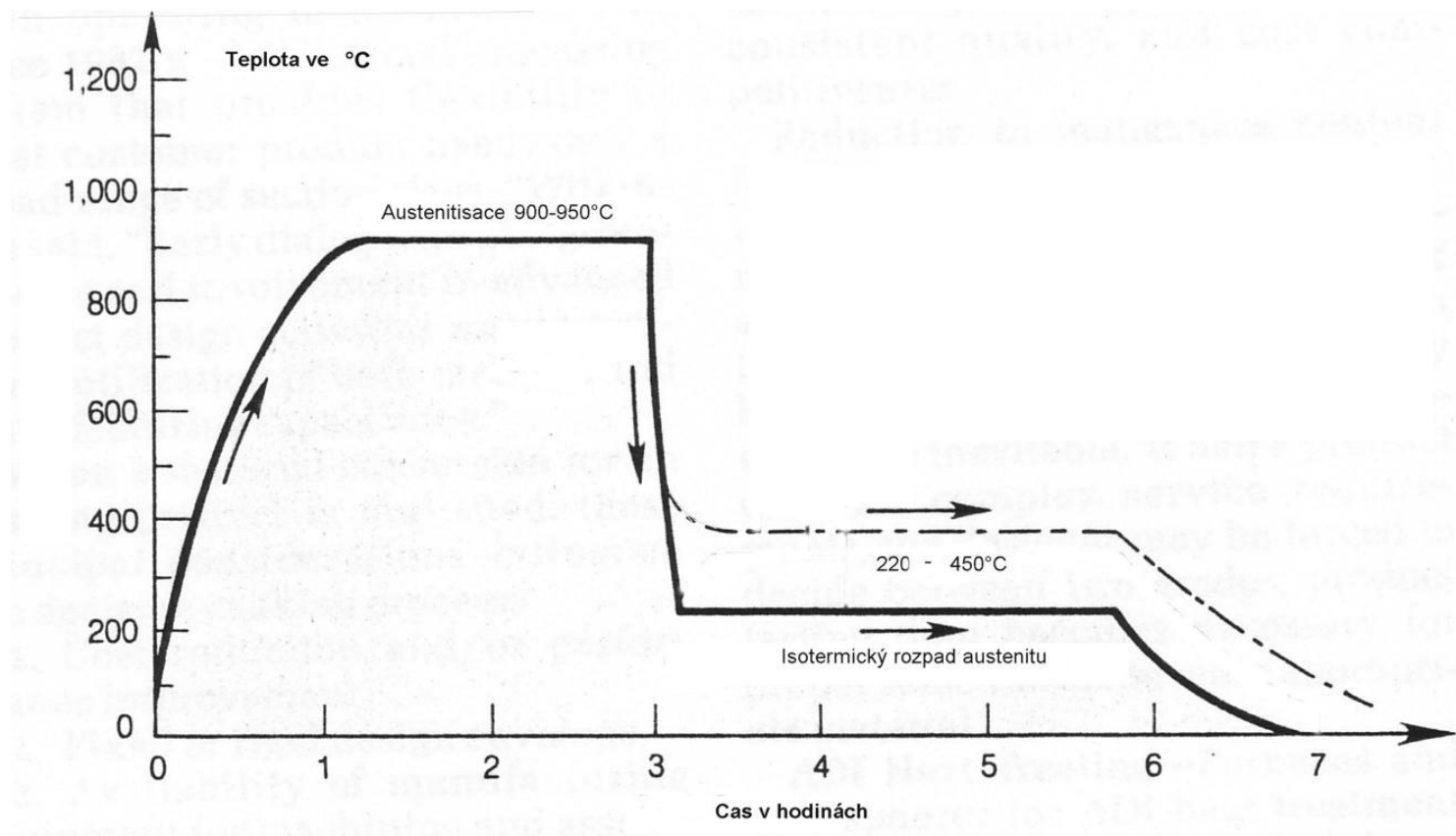


Výchozím materiálem je jakostní feritická nebo feriticko perlitická LKG. výsledná struktura se získá izotermickým rozpadem austenitu v bainitické oblasti

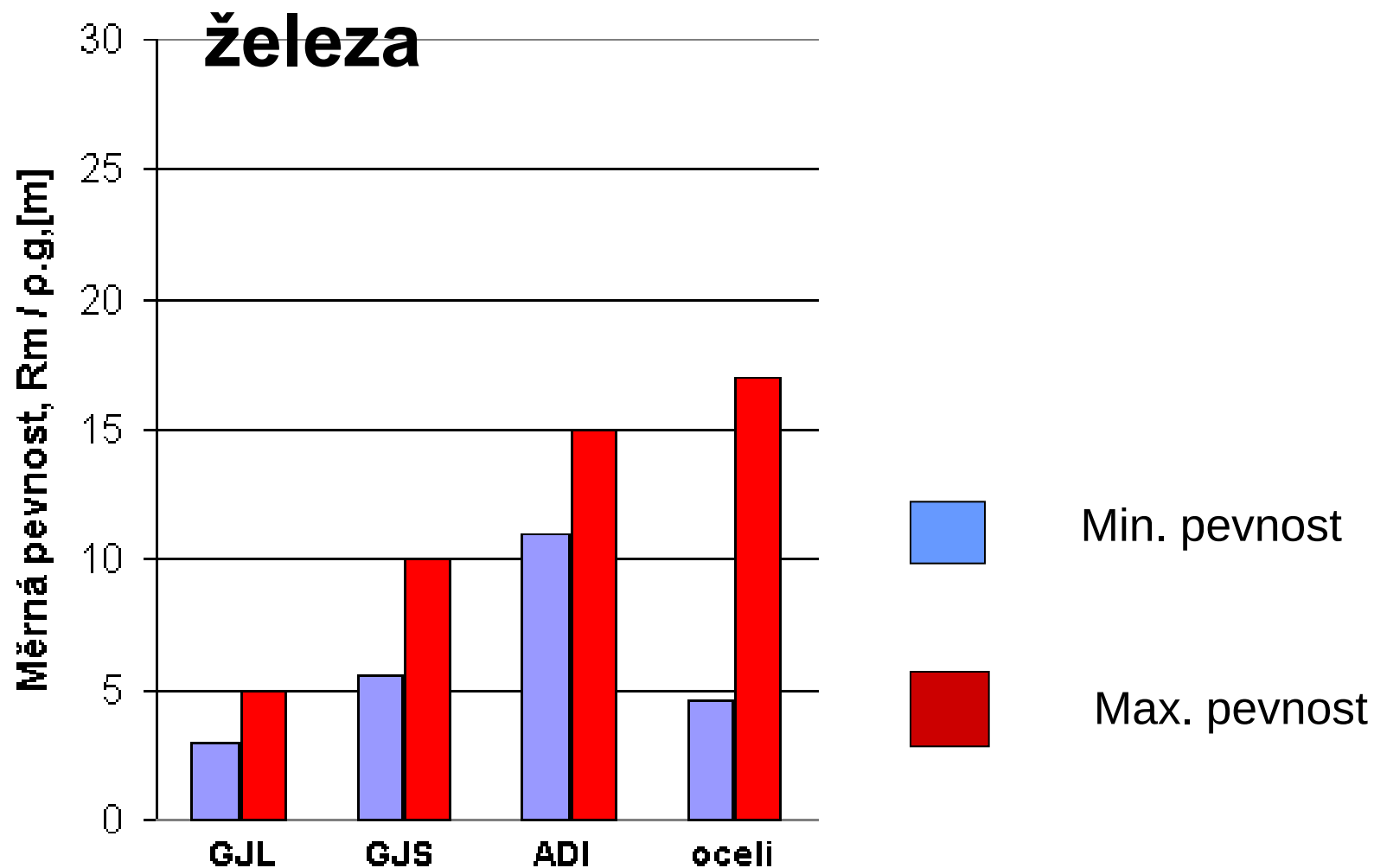
Výhodná kombinace
mechanických vlastností -
**vysoká houževnatost, dobrá
tažnost, vysoká
otěruvzdornost, tvrdost a
vysoká pevnost v tahu**



Izotermické zušlechťování se skládá z austenitizace, rychlého ochlazení na teplotu v bainitické oblasti a dochlazení na pokojovou teplotu,



Srovnání specifických pevností slitin



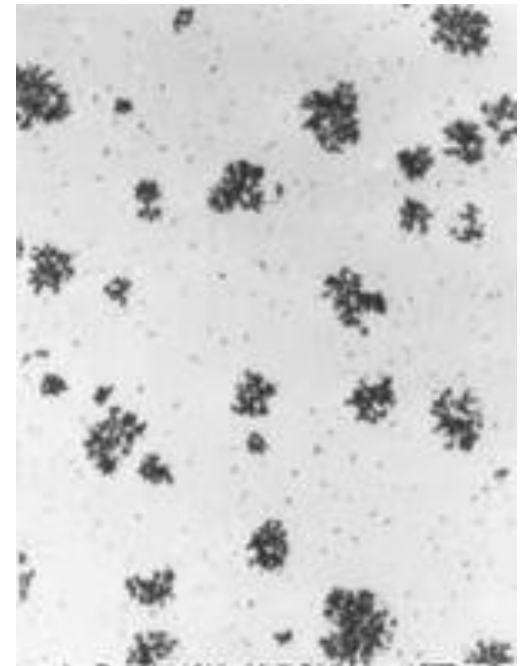
Temperované litiny

Tepelně zpracované bílé litiny

Temperování

dlouhotrvající žíhání, kdy se začíná rozpadat ledeburitický nebo perlitický cementit.

vzniká vločkový (pavoučkovitý) grafit





Temperovaná litina s bílým lomem

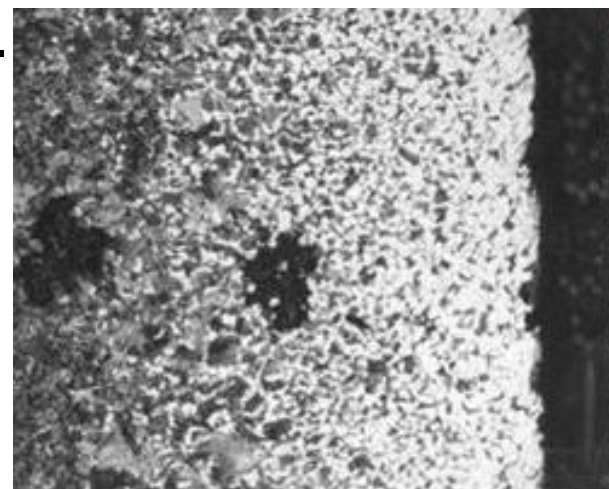
Velice dlouhodobý proces žíhání (až 140hod.)

- ❑ Žíhání na teploty 1050 – 950°C za postupného oduhličení
- ❑ Žíhání při 740 – 600°C pro získání perlitické struktury

Oduhličování povrchu odlitků vede k nepřetržitému rozpouštění cementitu a odvodu uhlíku ze středu odlitku směrem k povrchu.

Toto temperování je zastaralé, velmi zdoluhavé a nákladné. Využívá se nejčastěji pro tenkostěnné odlitky s tloušťkou stěny maximálně 6 mm.

Ukončené temperování
na povrchu odlitku ferit (za pomalého chladnutí)
s nízkým obsahem uhlíku, poněkud hlouběji je perlit a
ferit
střed stěny je tvořen směsí grafitu a perlitu.
Grafit má pavoučkovitý (vločkový) tvar.



Oduhličená povrchová vrstva usnadňuje povrchové
zinkování nebo cínování
– odlitky vystavené účinkům koroze např. fitingy.

Temperovaná litina s černým lomem

Základním pochodem je grafitizační žíhání k rozpadu cementitu (40hod)

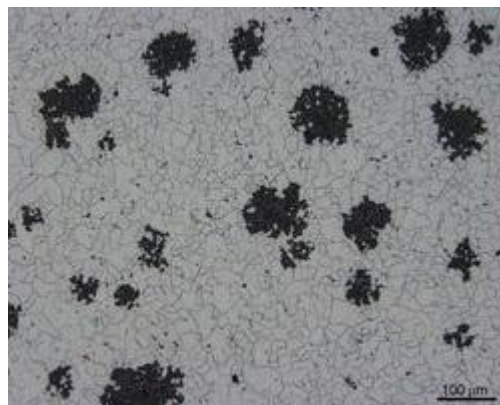
- stadium 950 – 980 °C rozpad ledeburitického cementitu – grafit eutektický
- stadium 720°C rozpad perlitického cementitu – grafit

Temperuje se v neutrálním prostředí.

Struktura temperovaný grafit, ferit, s rostoucí rychlostí ochlazování roste podíl perlitu na úkor feritu, struktura je homogenní v celém průřezu.

Větší množství temperovaného grafitu vyvolává tmavohnědý vzhled lomové plochy.

Litina velmi houževnatá a dobře obrobitelná. Používá se na dynamicky namáhané součásti, které nejsou vystaveny otěru.

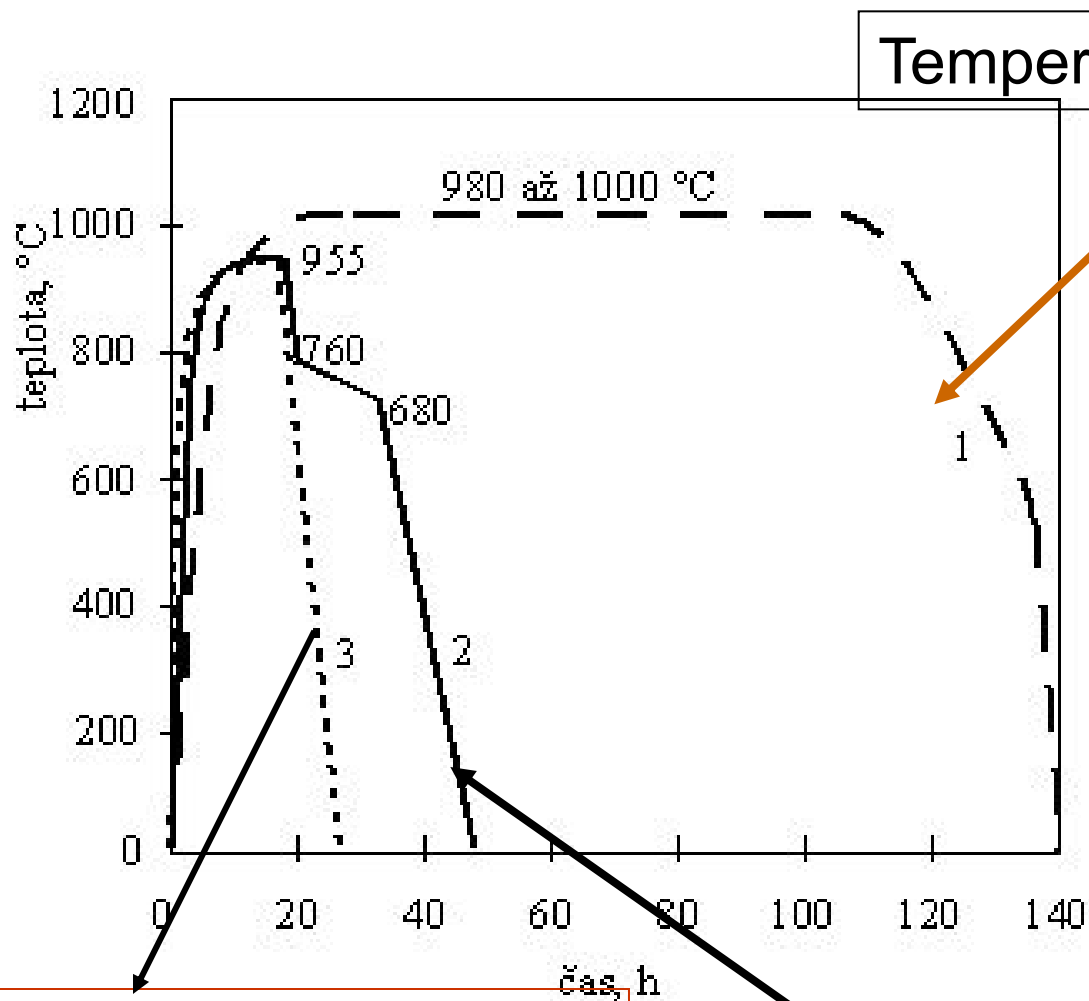




Perlitická temperovaná litina

1. stadium jako u temperování na černý lom rozpad ledeburitického cementitu
2. ochlazování tak, aby bylo zabráněno vzniku feritu – zvolna do 800°C potom rychle 20°C/min.
3. sferoidizační žíhání – dokonalá úprava grafitu do zrnitého tvaru

Uplatnění především v konstrukci motorových vozidel - klikové hřídele, brzdové bubny, převodovky apod.



Temperování na bílý lom

Perlitická temperovaná litina

Temperování na černý lom



Náklady %

Litina s lupínkovým grafitem	100%
Litina s lupínkovým grafitem očk.	105%
Litina s lupínkovým grafitem leg.	110%
Litina s kuličkovým grafitem	140%
Temperovaná litina	180%
 Litá ocel	 200%

Kritéria hodnocení vlastností litin

Stupeň eutektičnosti

$$S_c = \frac{C_{celkový}}{4,23 - 0,3(Si + P)}$$

udává poměr obsahu uhlíku v litině k obsahu uhlíku, odpovídajícímu eutektickému složení

eutektické litiny : $S_c = 1$ mají vynikající slévárenské vlastnosti – zabíhavost,

ale nízké mechanické vlastnosti.

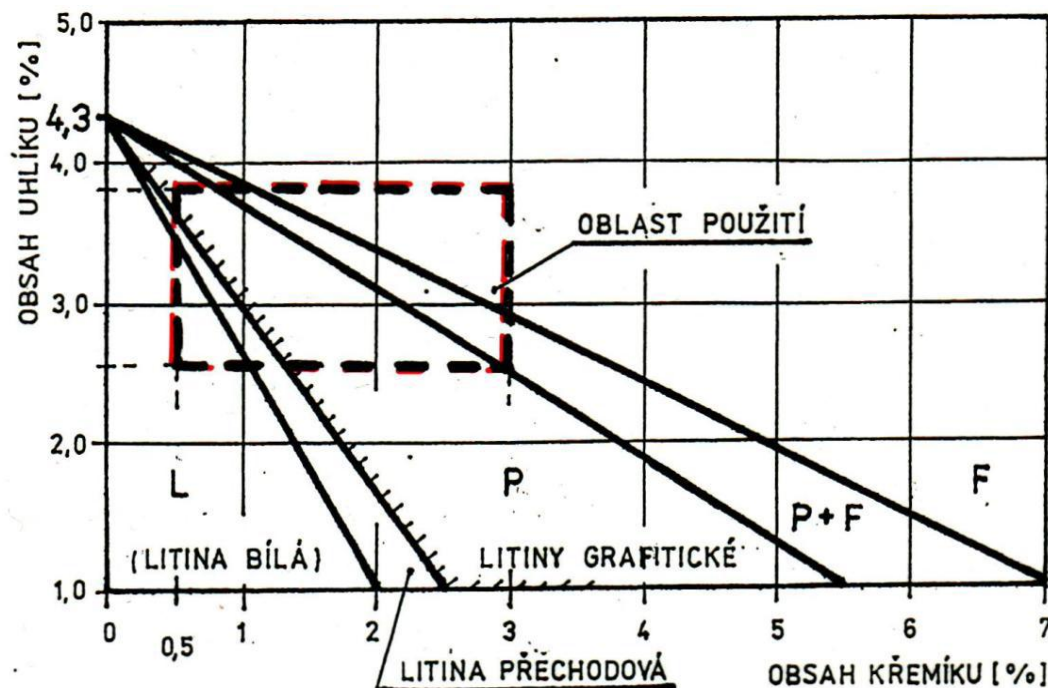
S poklesem S_c roste pevnost v tahu.

Strukturní diagramy litin

Závislost mezi chemickým složením, strukturou a mechanickými vlastnostmi litin

Maurerův strukturní diagram (1924)

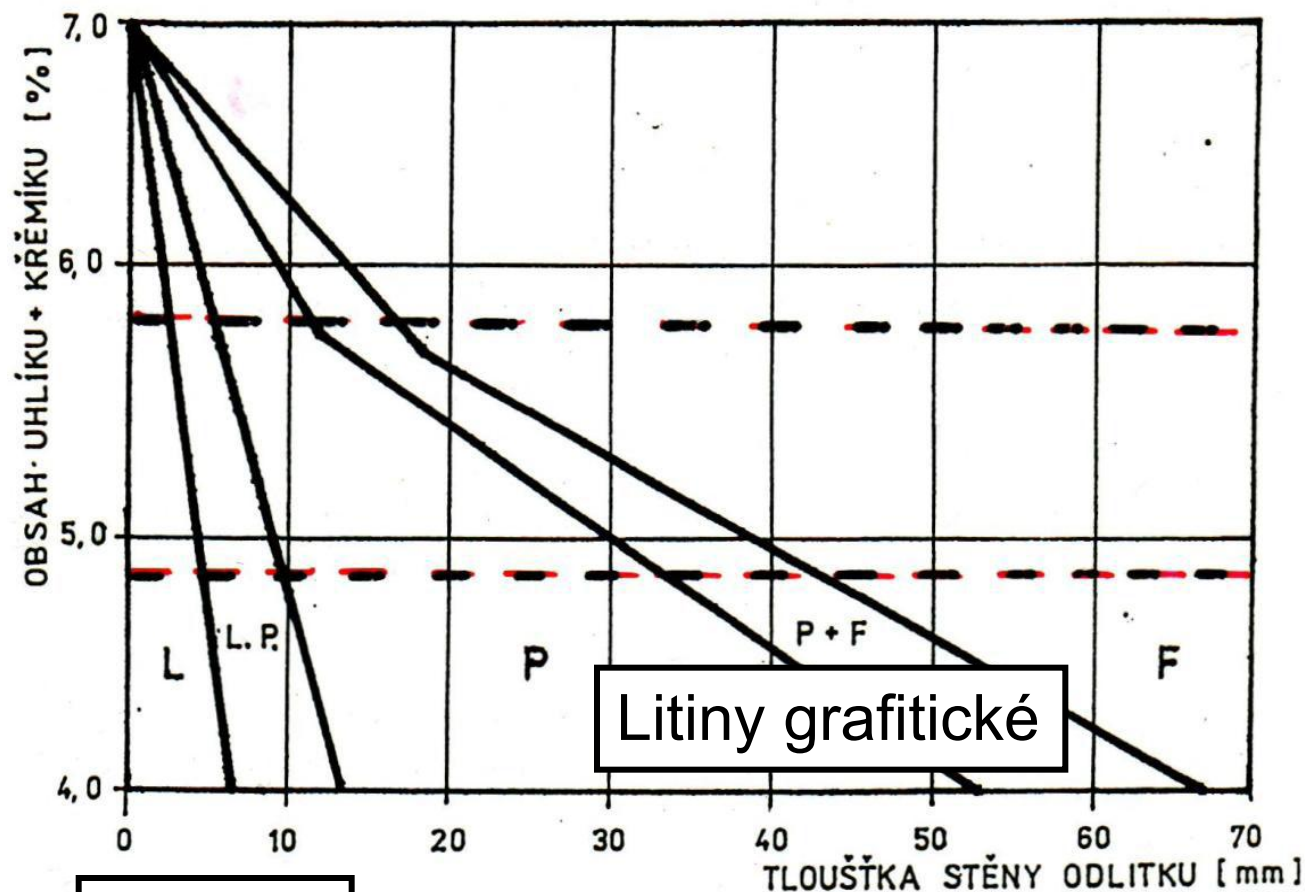
Vliv C, Si
na strukturu litiny



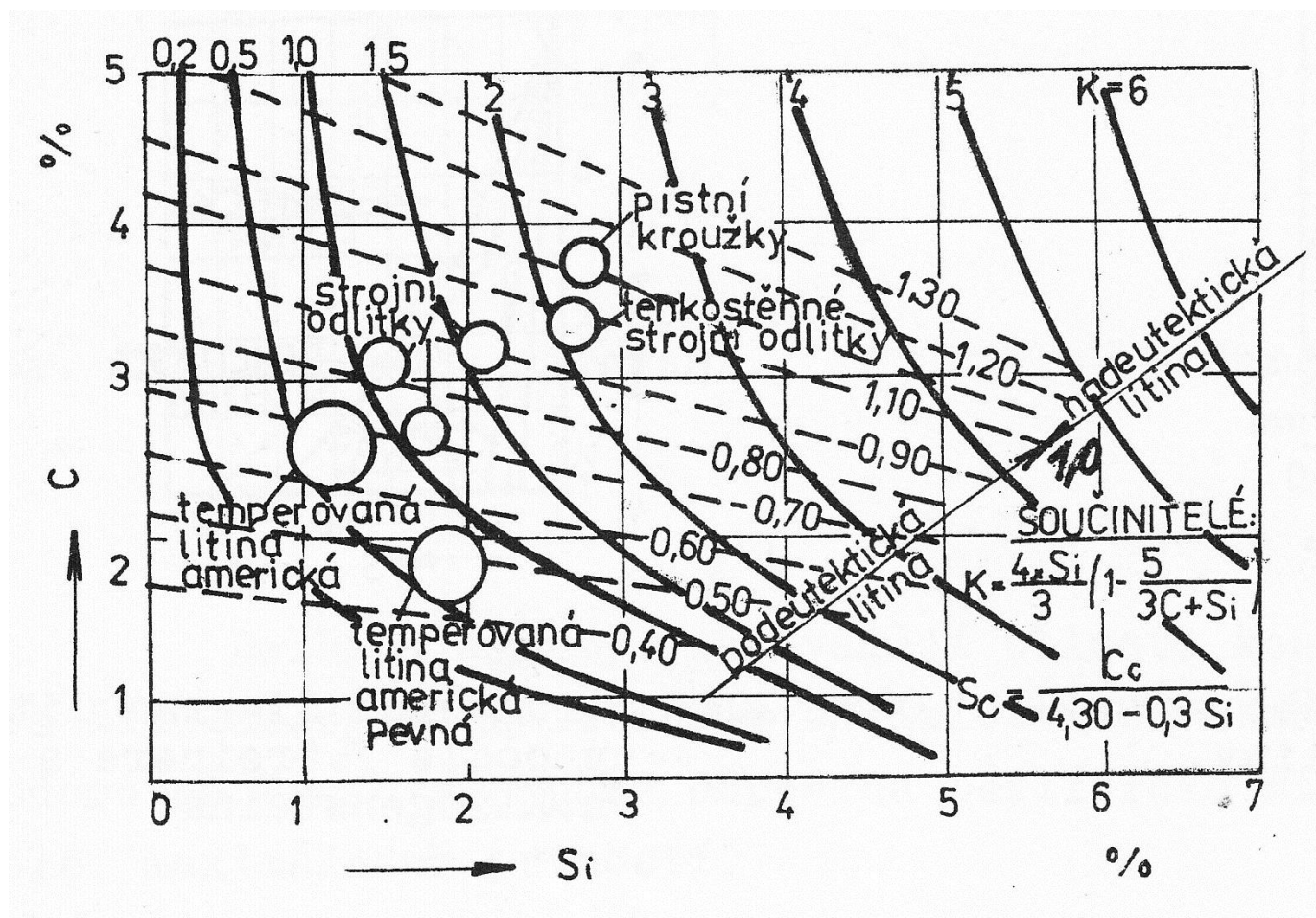
L - ledebutit; P - perlit; F - ferit

Klingensteinův strukturní diagram

Vliv různé rychlosti ochlazování (tloušťka stěny)



Laplancheův strukturní diagram





Pecní agregáty využívané pro tavení litin

Kuplovna

Elektrická indukční pec



Kuplovna

šachtová pec s žáruvzdornou vyzdívkou, kde je kovová vsázka ohřívána spalováním koksu.

Spalovací vzduch je vháněn dmyšnami (studenovětrná, horkovětrná kuplovna).

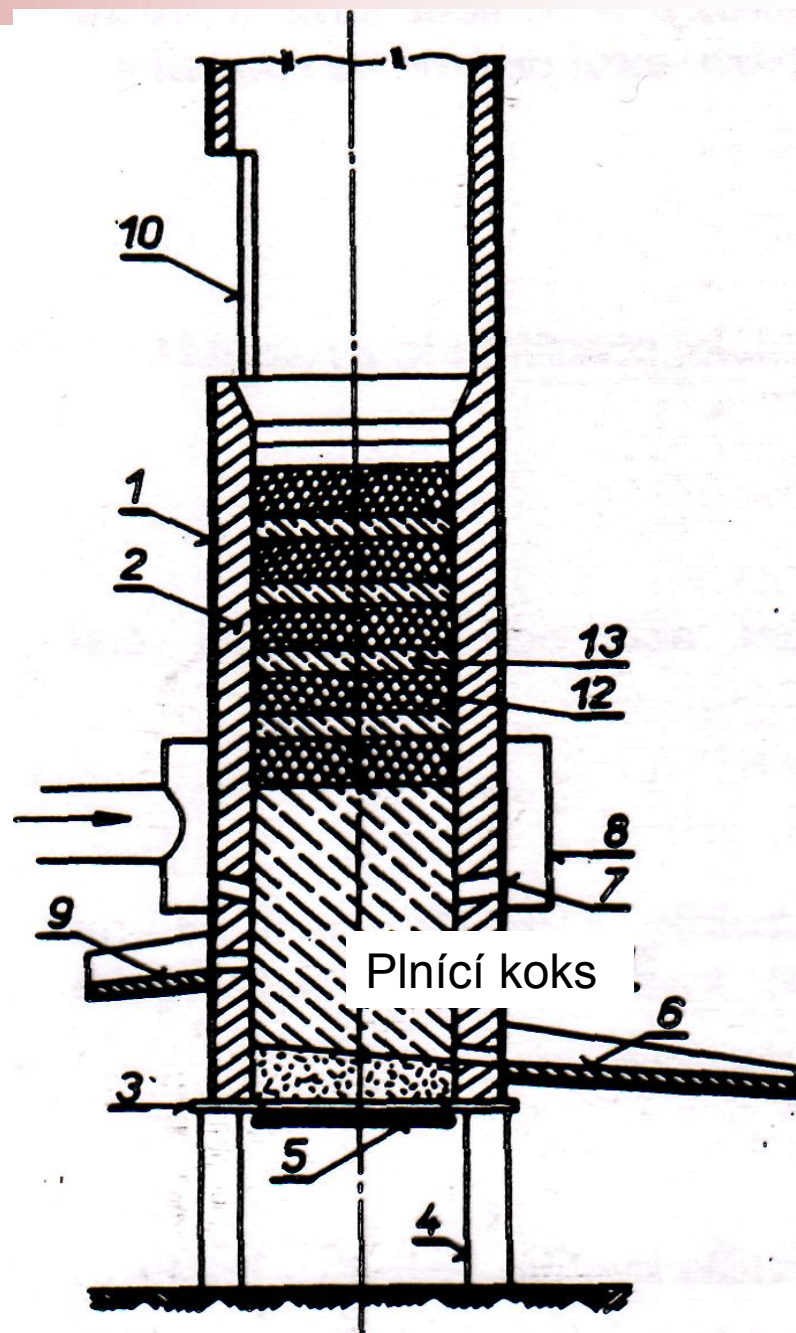
Vsázka je dodávána sázecím otvorem v horní části šachty

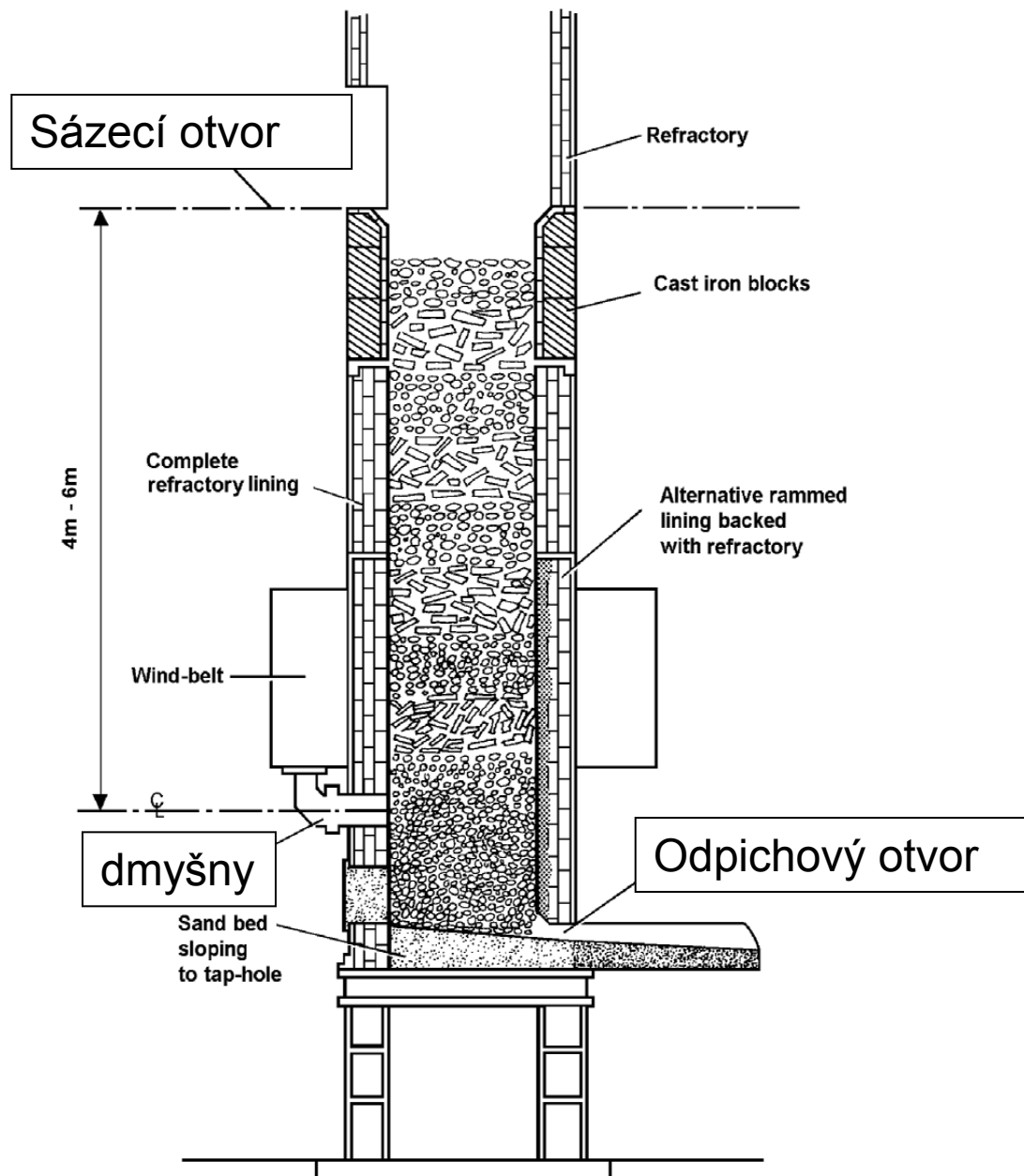
Složení vsázky

- ☐ Pevná kovová vsázka (surové železo, ocelový šrot, zlomková litina, slévárenský vratný materiál, feroslitiny)
- ☐ Koks (palivo a plnivo)
- ☐ Struskotvorné přísady (vápenec CaCO_3 ...)

Schéma kuplovny

1. Plášť
2. Vyzdívka
3. Základová deska
4. Nosné sloupy
5. Uzavírací otvor
6. Odpichový žlábek
7. Dmyšní trubice
8. Vzduchové potrubí
9. Struskový žlábek
10. Zavážecí a sázecí otvor
11. Plnicí koks
12. Kovová vsázka
13. Vsázkový koks a taviva







Odpich litiny



Výtok strusky do granulace

Tavení litiny v kuplovně

Výhody

Nízká spotřeba energie pro tavení a vysoká výrobnost
V průběhu tavení lze měnit složení litiny



Nevýhody

Obtížná udržitelnost teploty většího množství kovu
(nutné předpecí)

zatížení životního prostředí (emise škodlivých látek,
prach)

potřeba instalace rozsáhlého zařízení pro odprášení
velkého množství spalin o vysoké teplotě



Tavení litiny v indukčních pecích

Indukční pec

pec k tavení materiálů využitím tepla vzniklého vířivými proudy indukovanými elektromagnetickým polem ve vodivém materiálu – vsázce

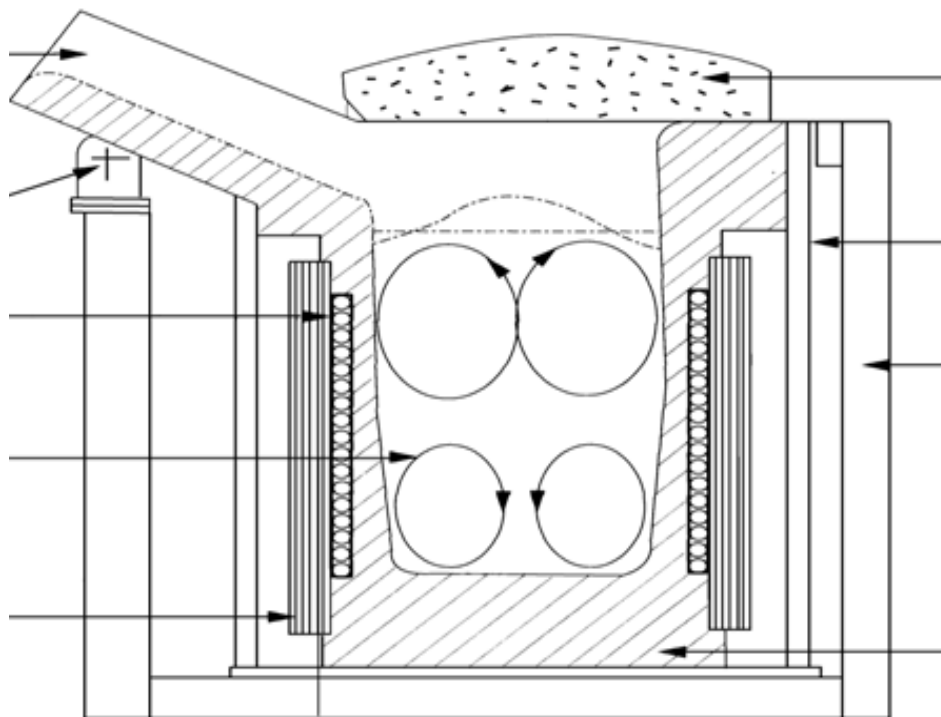
Indukční pece

kelímkové (tavící)

kanálkové (udržovací)



Kelímková indukční pec



průchodem elektrického proudu cívkou která je umístěna kolem kelímku pece se vytváří silné magnetického pole.

Magnetické pole indukuje napětí a následně elektrický proud v kovu, který má být nataven. Elektrický odpor kovu produkuje teplo a to taví kov

Kapacity pecí dosahují od 10 kg do 30 tun.

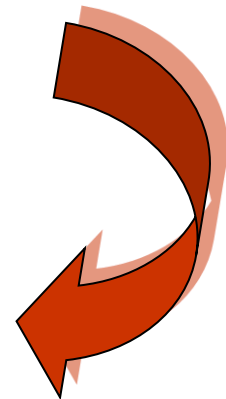
Do cívky se elektrickou sítí přivádí střední nebo vysoká frekvence střídavého proudu (50, 250, příp. 1 000 Hz)



V důsledku indukovaných vířivých proudů a elektromagnetických sil dochází uvnitř kelímku k intenzivnímu proudění materiálu (čím nižší frekvence, tím intenzivnější)

Promíchávání

teplotní homogenita
chemické homogenita



Výhody



krátké časy tavení
vysoká flexibilita
Nedochází k nasíření
Možnost výroby syntetické litiny
nižší zatížení životního prostředí



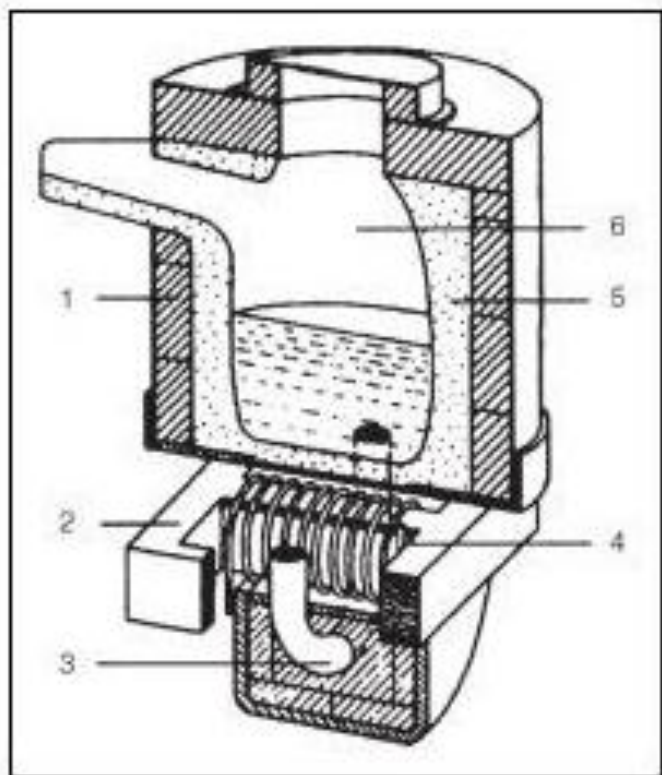
Nevýhody

náklady na energii
mnohem vyšší než u
fosilního paliva



Kanálková indukční pec

Ve slévárnách litiny je používána jako udržovací pec



Dno pece má jeden nebo několik kanálků ve tvaru písmene U.

Kolem těchto kanálků je vodou chlazená indukční cívka, která ohřívá kov a způsobuje jeho cirkulaci.

Aby byl umožněn provoz v peci, je třeba ponechat minimální množství roztaveného kovu uvnitř kelímku a kanálku.

většina taveného kovu je umístěna mimo ohřívací cívku

Výhody

- ❑ vysoká tepelná účinnost (proto se používá jako udržovací pec)
- ❑ minimální propal legujících prvků
- ❑ nenáročná údržba.



Nevýhody

- ❑ v peci musí být udržováno minimální množství taveniny, ·
- ❑ pec nemůže provádět studený start z důvodu omezené hustoty elektromagnetického výkonu, jakého může být v cívce dosaženo
- ❑ je obtížné sledovat opotřebení kanálu
- ❑ existuje potenciální nebezpečí náhodného průsaku z důvodu umístění indukční cívky ve dně
- ❑ je obtížné předejít kontaktu mezi chladicí vodou a kovem



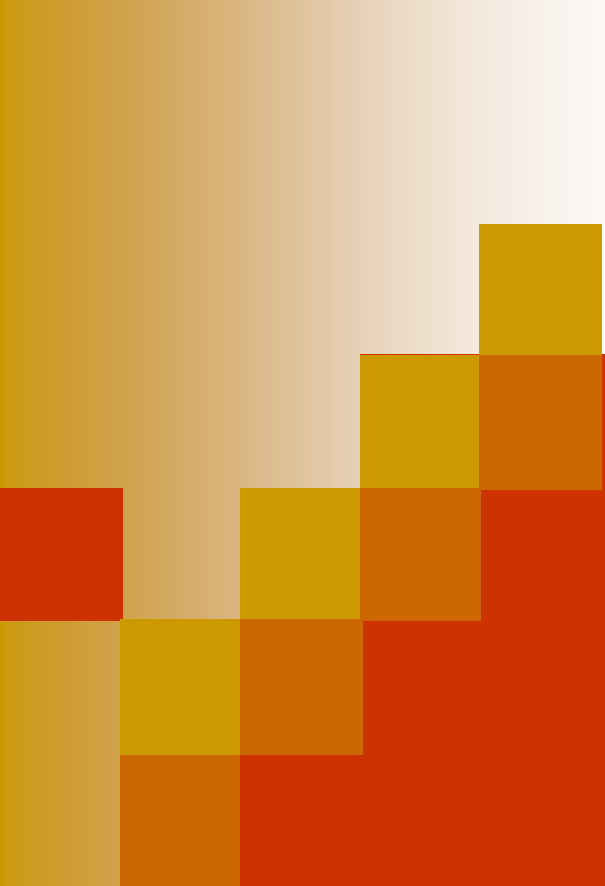
KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jak ovlivňuje rychlost tuhnutí výslednou strukturu litin?
2. Jaký je v současné době správný název šedé litiny a definujte její slévárenské a mechanické vlastnosti
3. Jaký je v současné době správný název tvárné litiny a definujte její slévárenské a mechanické vlastnosti
4. Pro jaký typ litiny je typický vločkový grafit
5. Jaké děje popisujeme pojmy „očkování“ a „modifikace“
6. co vyjadřují strukturní diagramy litin
7. Srovnajte výhody a nevýhody tavení litin v kuplovně a v elektrické indukční peci



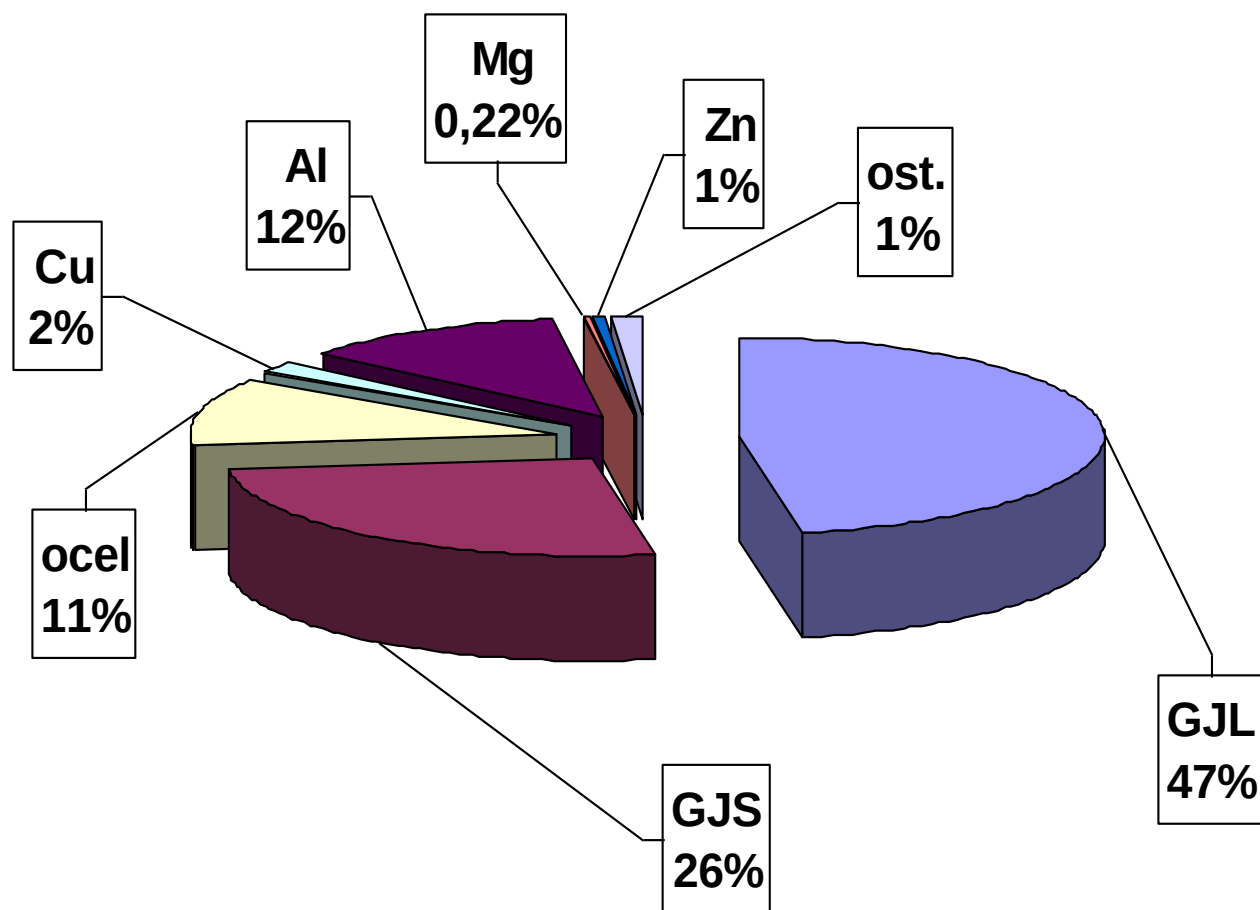
DOPORUČENÁ LITERATURA

JELÍNEK, P.: Slévárenství, skripta VŠB, 2007, 256 s.

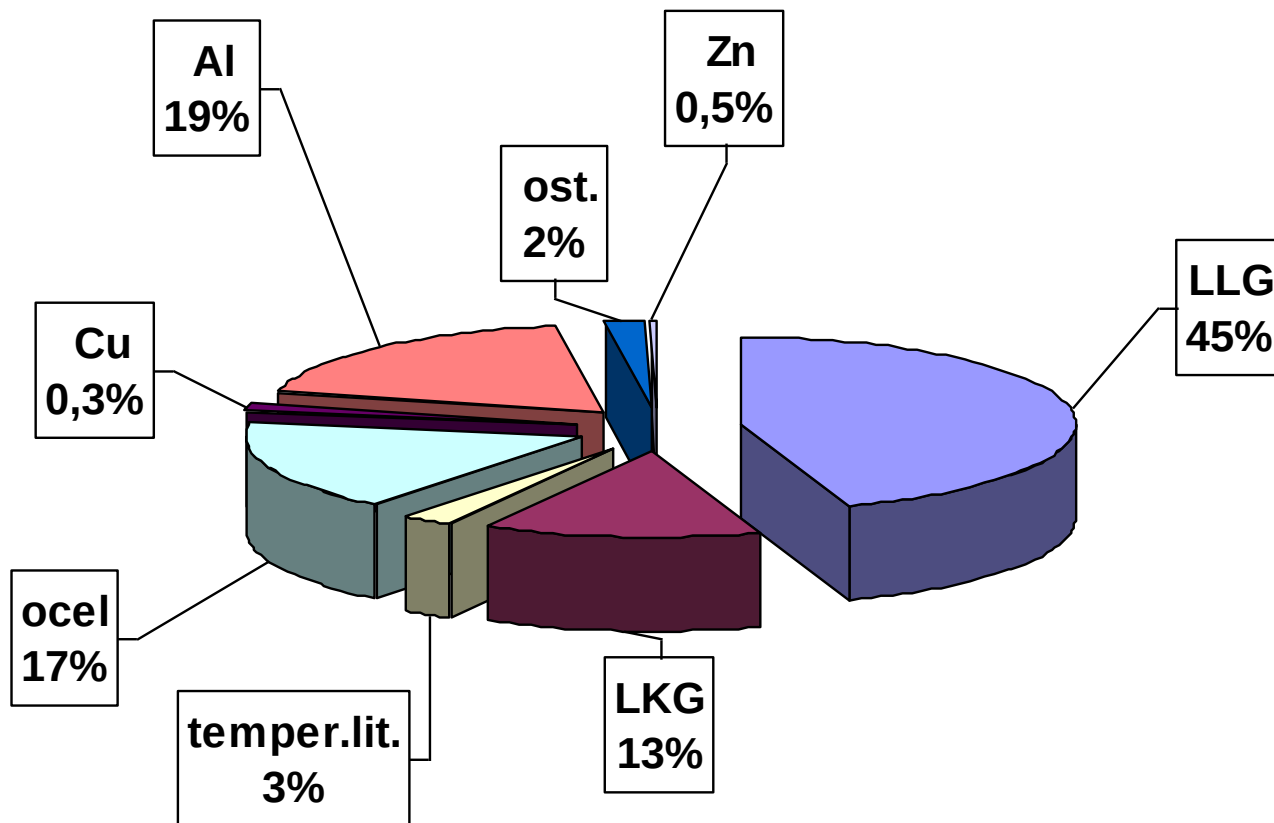


Slévárnictví neželezných kovů

Zastoupení neželezných kovů v % na světové výrobě odlitků (91,48 mil. t r. 2010)



Zastoupení neželezných kovů % na výrobě odlitků v ČR (r. 2010, 344 397 t)



Slitiny mědi

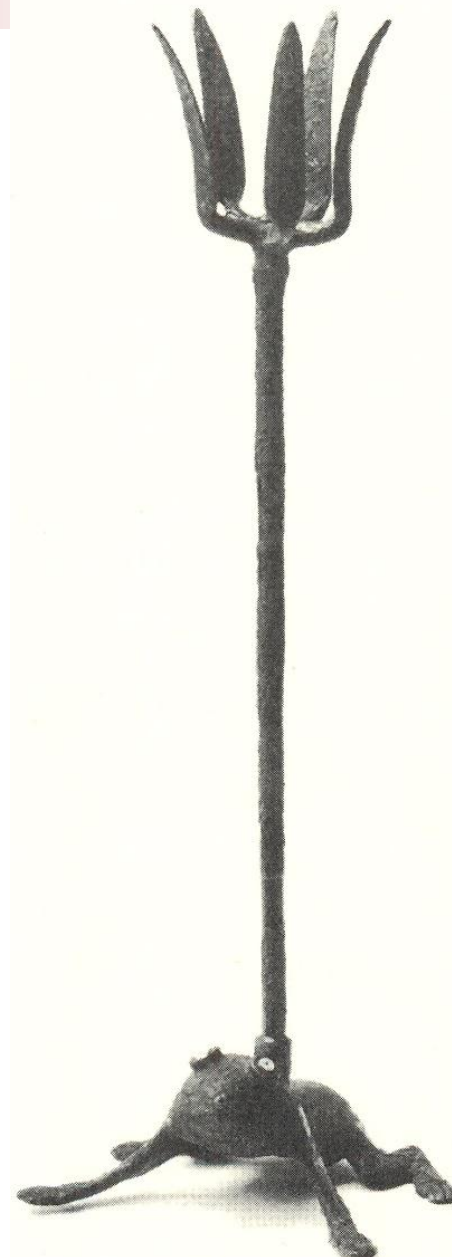
Začalo lidstvo používat již v 5. tis. př.n.l. jako první ze současných technických slitin



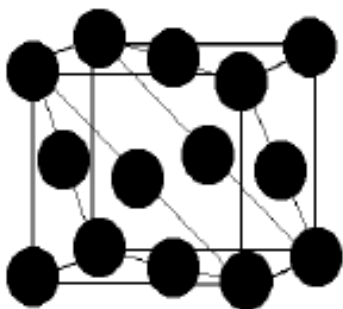
3 100 – 2 900 př.n.l.



**Bronzová sekera
3000 př.n.l.**



**Nejstarší měděný odlitek
3 200 př.n.l.**



Měď

výroba převážně ze sulfidových rud hydro
nebo pyrometalurgickými postupy,
čistá měď elektrolytická rafinace

Fyzikální a mechanické vlastnosti mědi

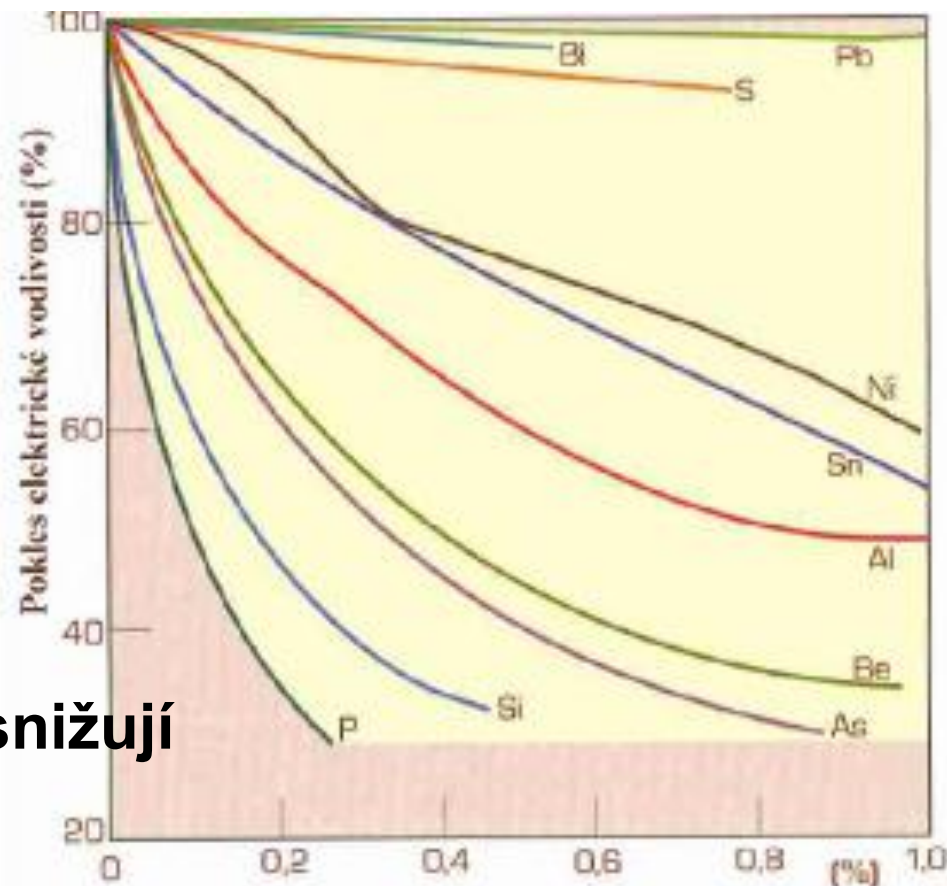
Fyzikální vlastnosti	Hustota ρ (kg . m ⁻³)	8940
	Teplota tání (°C)	1083
	Měrná tepelná kapacita (kJ / kg K)	0,385
	Délková roztažnost (K ⁻¹)	16,4 . 10 ⁻⁶
	Měrná tepelná vodivost (W/mK)	390
	Konduktivita (MS/m)	58
Mechanické vlastnosti	Mez kluzu (MPa)	60
	Mez pevnosti (MPa)	220
	Tažnost (%)	50
	Kontrakce (%)	70
	Modul pružnosti v tahu (MPa)	130 000
	Tvrдость HB	50

Mimořádně vysoká tepelná a elektrická vodivost

Elektrická vodivost čisté mědi (v rekrystalizačně žíhaném stavu) určuje **standard elektrické vodivosti**

Velmi špatné mechanické vlastnosti, nízká tvrdost, špatná obrobitelnost

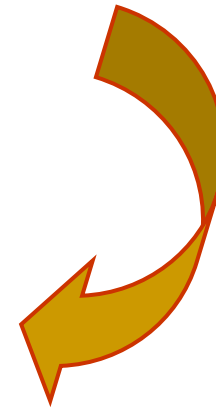
Přísady elektrickou vodivost **snižují**



Pro jiné, než elektrotechnické účely

slitiny mědi

ČSN EN 1982

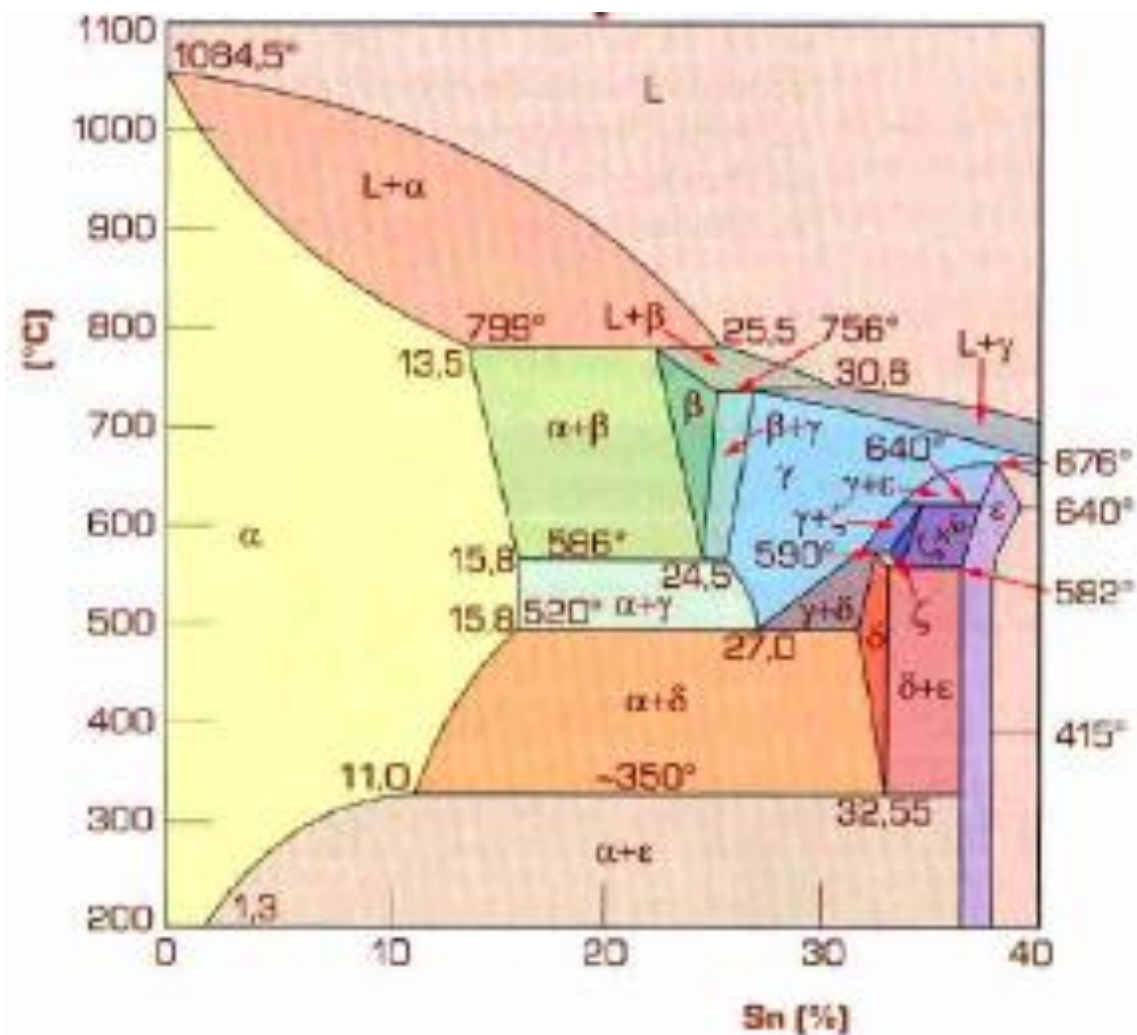


Slévárenské slitiny mědi

Mosazi (Cu-Zn)

Bronzy (Cu-ostatní prvky)

Cínový bronz (Cu-Sn) 9-13%Sn





Cínový bronz (Cu-Sn) 9-13%Sn



Široký interval tuhnutí

Sklon k objemovému tuhnutí – tvorba mikrostaženin a ředin

Odlitky není nutno silně nálitkovat



Použití

Odlitky, kde je vyžadována vysoká pevnost a odolnost proti opotřebení

Odlitky namáhané kluzným třením, kluzná ložiska, ozubená kola, čepy, armatury..

Speciální cínové bronzy

Zvonovina 15 - 22%Sn



Bronz pro umělecké lití 7-12%Sn

Dělovina 10 – 12% Sn

Historické slitiny

Zrcadlovina 30 – 33% Sn



Cíno – olověné bronzy

Cu-Sn,Zn,Pb **červené bronzy**

(4-8%Sn, 2-9%Zn, 3-8%Pb)

Levnější varianta cínových bronzů s poněkud nižšími mechanickými vlastnostmi (tvrdost)

Armaturní odlitky a jiné hydraulické komponenty

Cíno – olověné bronzy Cu,Pb,Sn

8-23%Pb, 8-11%Sn, max. 2%Zn

Kluzná ložiska pro vysoké namáhání, odlitky těsné za vysokých tlaků, odlitky pro prostředí vodní páry, odolné proti korozi

Hliníkový bronz Cu-Al (Mn,Fe,Ni)

Úzký interval tuhnutí
Nutno masivně nálitkovat

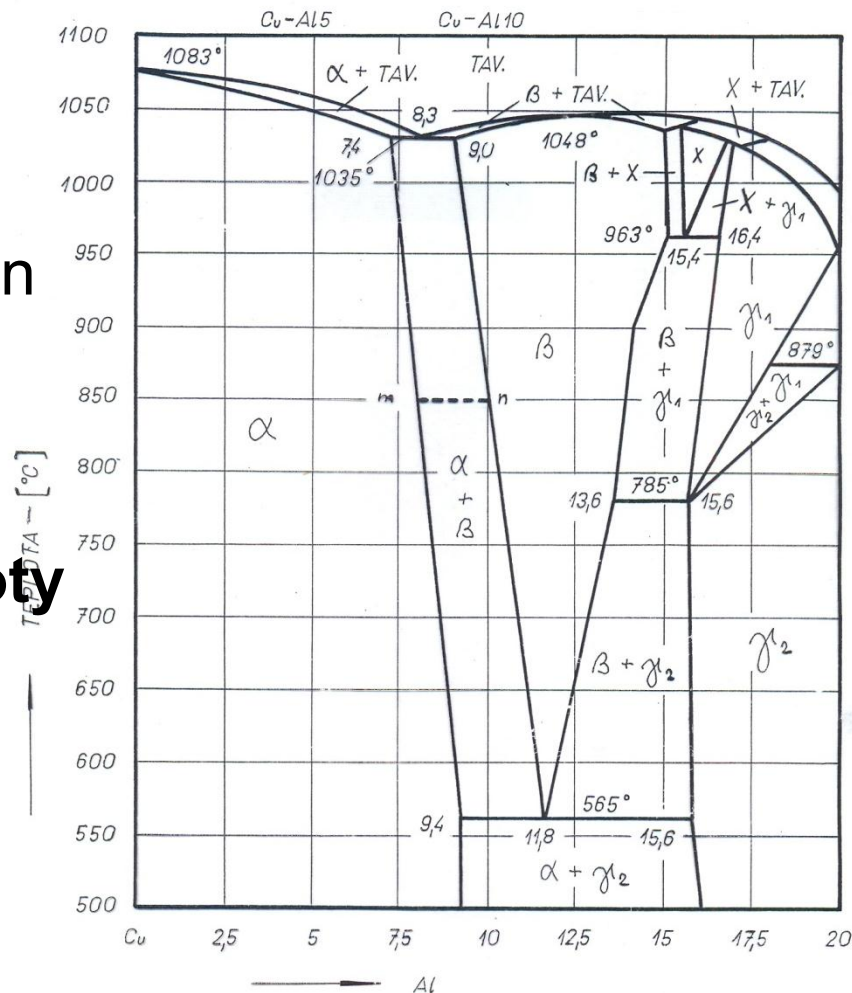
Minimální sklon k tvorbě ředin
Hutná struktura

Vysoká těsnost odlitků

Vysoké mechanické hodnoty

Použití

Součástky pro pumpy, třecí
ložiska, součástky pro
nejvyšší namáhání



Mosazi Cu-Zn (Fe,Ni,Mn,Sn,Al,Pb)

Výborné slévárenské
vlastnosti

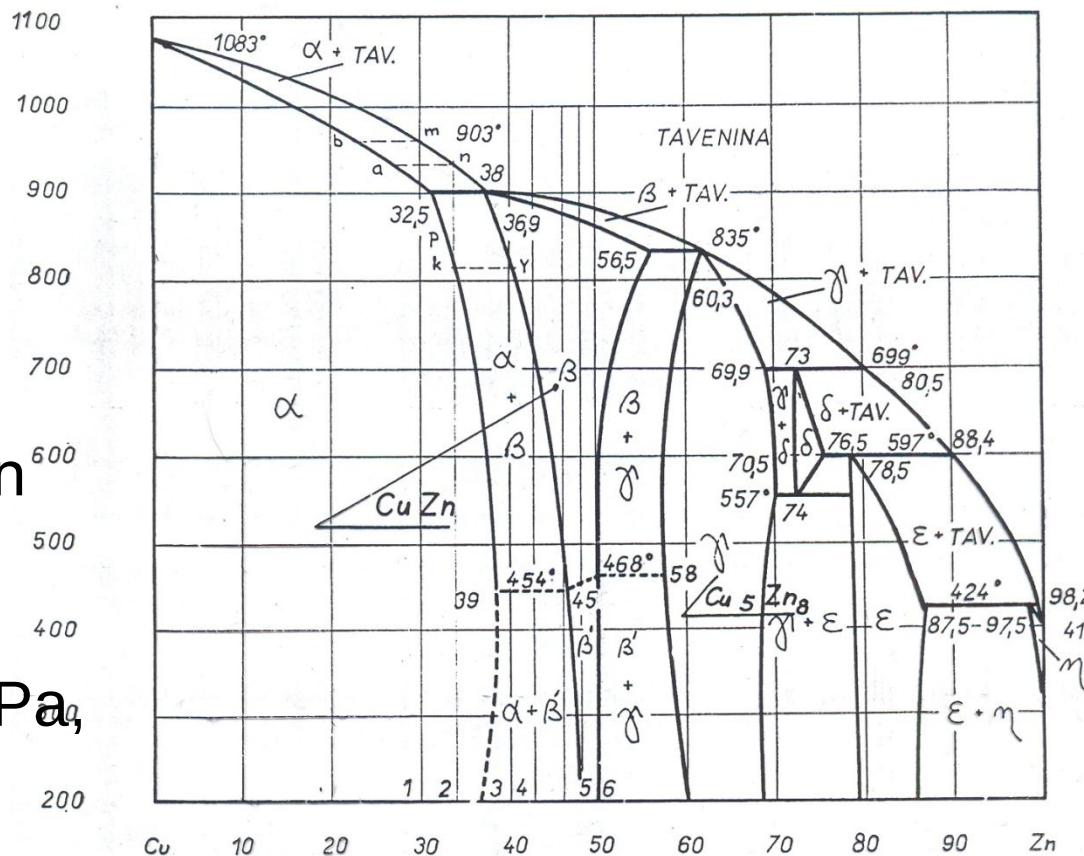
Dobrá zabíhavost



Úzký interval tuhnutí

Malý sklon ke vzniku ředin

Střední mechanické
vlastnosti (R_m 200-300MPa,
 A 10-20%)



Použití

Vodovodní armatury, součásti čerpadel, pouzder, pracujících
v prostředí solných roztoků

Slévárenské slitiny hliníku

Hliník

třetí nejrozšířenější prvek v zemské kůře v přírodě se vyskytuje pouze ve sloučeninách (bauxit $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, kryolit, Na_3AlF_6)

nízká měrná hmotnost ($2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), nízká teplota tání (660°C), vysoká tepelná a elektrická vodivost

- 1825 Dán H.C. Oersted první připravil Al laboratorně chemickou redukcí

1854 Henri Saint-Claire Deville pokus o hromadnou výrobu hliníku redukcí oxidu hlinitého draslíkem

Cena takto vyrobeného hliníku se rovnala ceně zlata, později stříbra

prvním hliníkovým odlitkem byla v r. 1884 pyramida na pomníku G. Washingtona o hmotnosti 2,8kg



*Pomník ve tvaru egyptského obelisku
vysoký 168 m navrhl americký architekt
Robert Mills
stavba byla zahájena v r.1848 a
ukončena 1884*



***The photographer Theodor Horydczak
admires the jewel-like pyramid of aluminum
on top of the Washington Monument***

http://www.americaslibrary.gov/jb/gilded/jb_gilded_monument_3_e.html



1863 – 1914

• **1886 P. Heroult** ve Francii a **C.M. Hall** v Americe
oznámili téměř shodný a prakticky proveditelný
postup elektrolytické výroby hliníku z bauxitu v lázni
roztaveného kryolitu

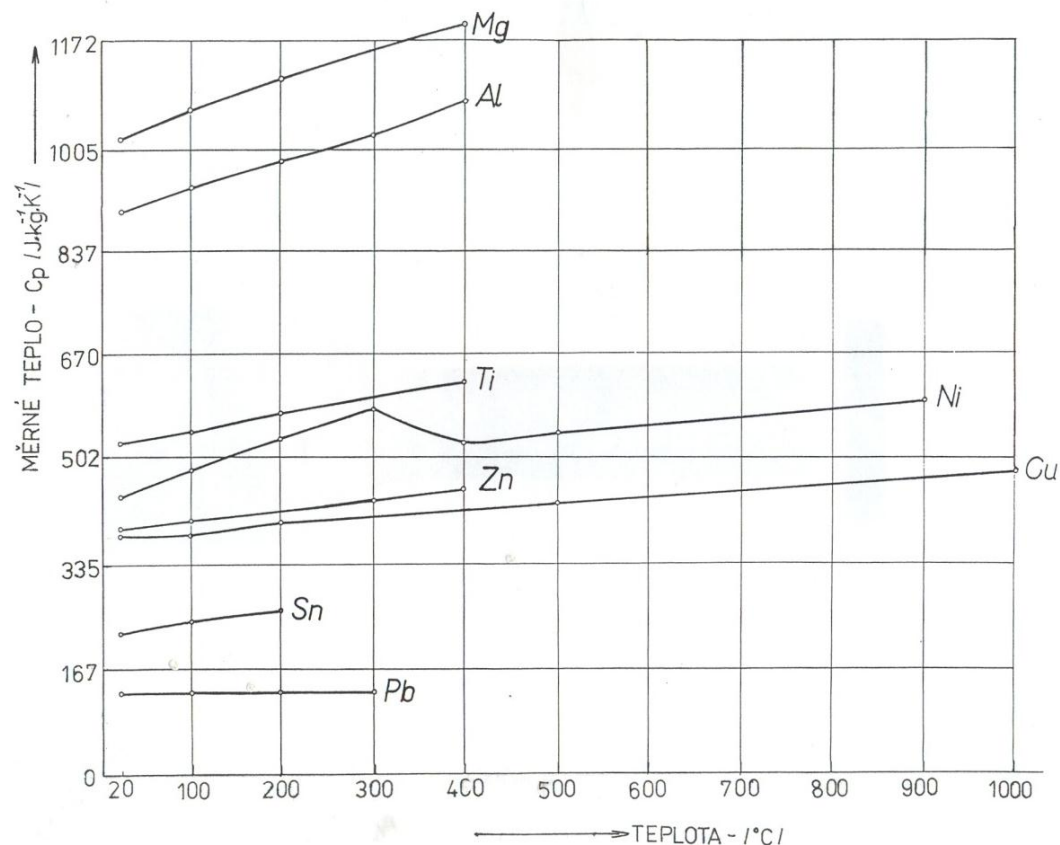
technická velkovýroba byla možná až ve 20. stol.
levnější elektrická energie

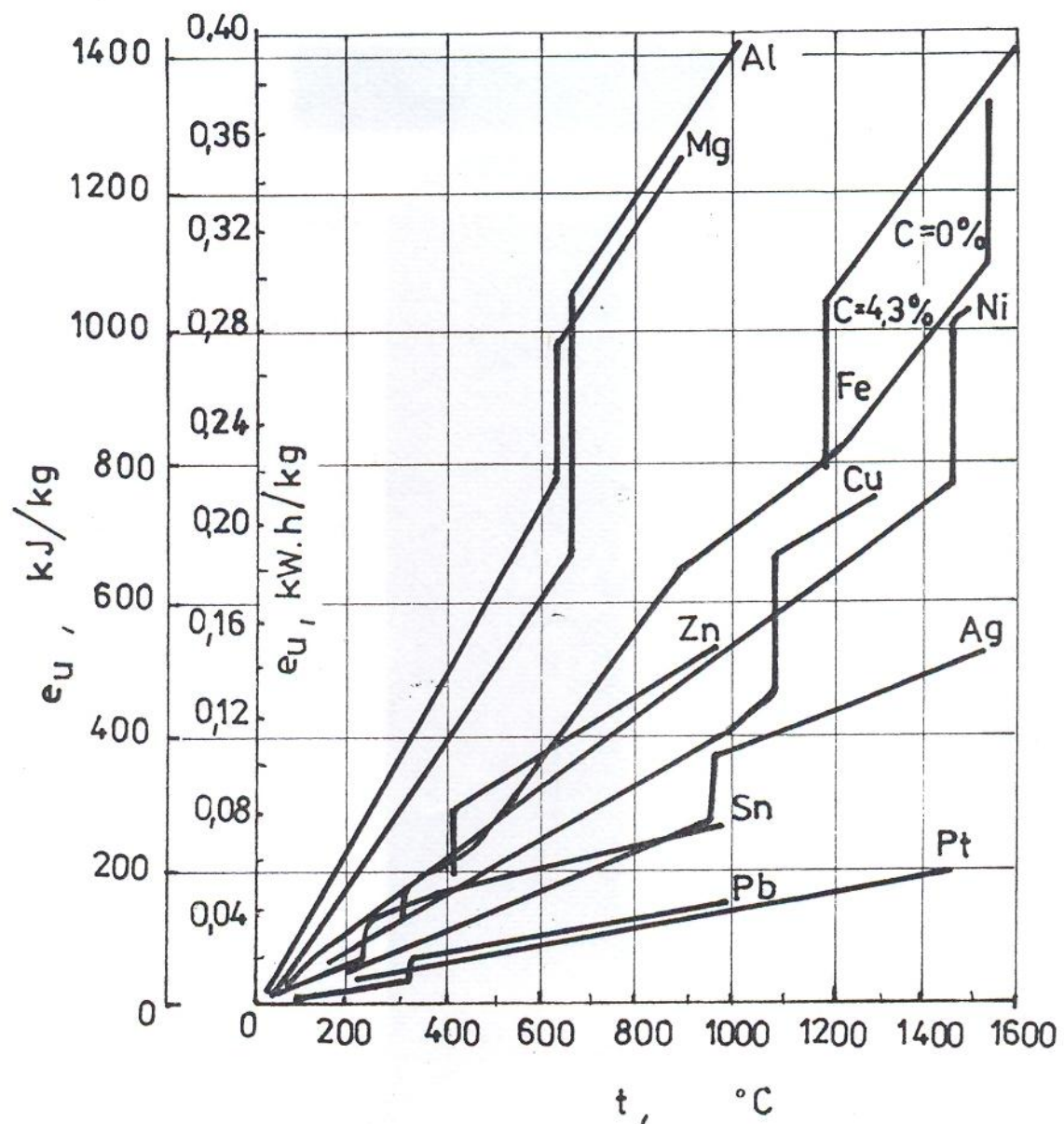
Slévárenské vlastnosti

Čistý hliník

špatná slévatelnost a nízká pevnost v tahu, vysoké skupenské teplo tání a měrná tepelná kapacita

na odlitky se používá jen výjimečně, tam, kde záleží na dobré elektrické vodivosti,





Vysoká energetická náročnost na roztavení slitin Al

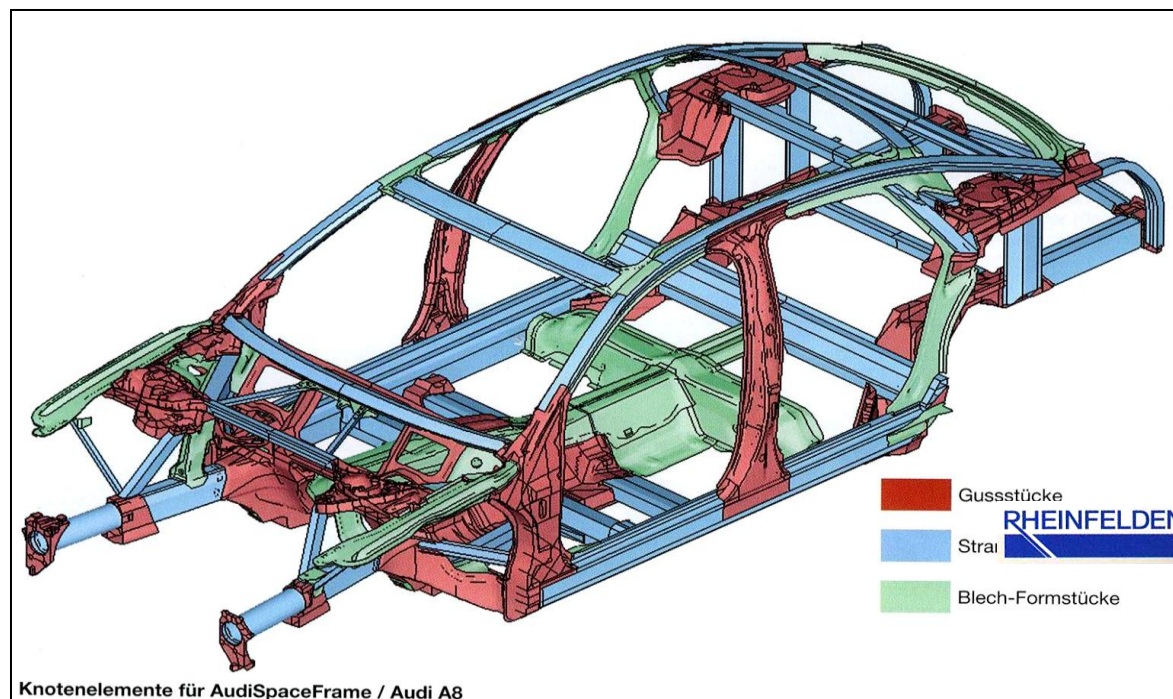
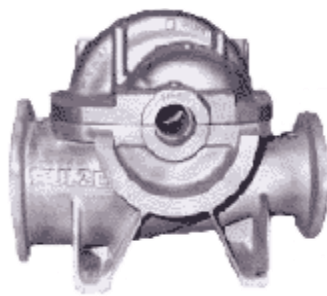
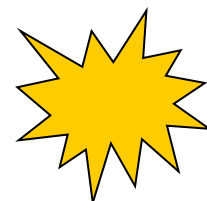
Slitiny Al

dobré slévárenské vlastnosti

odlévání tenkostěnných odlitků složitých tvarů.

Použití hliníkových slitin

**snížení hmotnost součástí,
urychlení rozvoje automobilismu a zejména letectví.**



(Al – Si) Siluminy

Nejčastěji používaným slitinovým prvkem je **křemík Si** (9-13%) zvyšuje pevnost, houževnatost



ale sklon ke vzniku trhlin.

Další legující prvky pro zlepšení vlastností:

AlSiCu (zlepšení obrobitelnosti, **nejpoužívanější**

hliníková slitina – automobilový průmysl

AlSiMg – vysoké mechanické hodnoty po tepelném zpracování.

Ze siluminů se odlévají součástky leteckého průmyslu, motorů, písty, hlavy válců, tlakově lité odlitky pro automobilový průmysl.

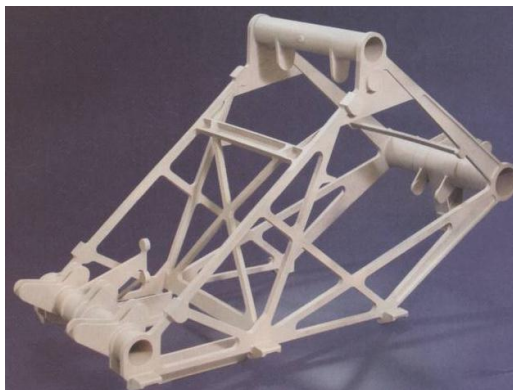
(Al-Cu) Duraluminy

Špatné slévárenské vlastnosti – sklon ke vzniku rozptýlených staženin, větší sklon k trhlinám, ale lepší žárovzdornost.

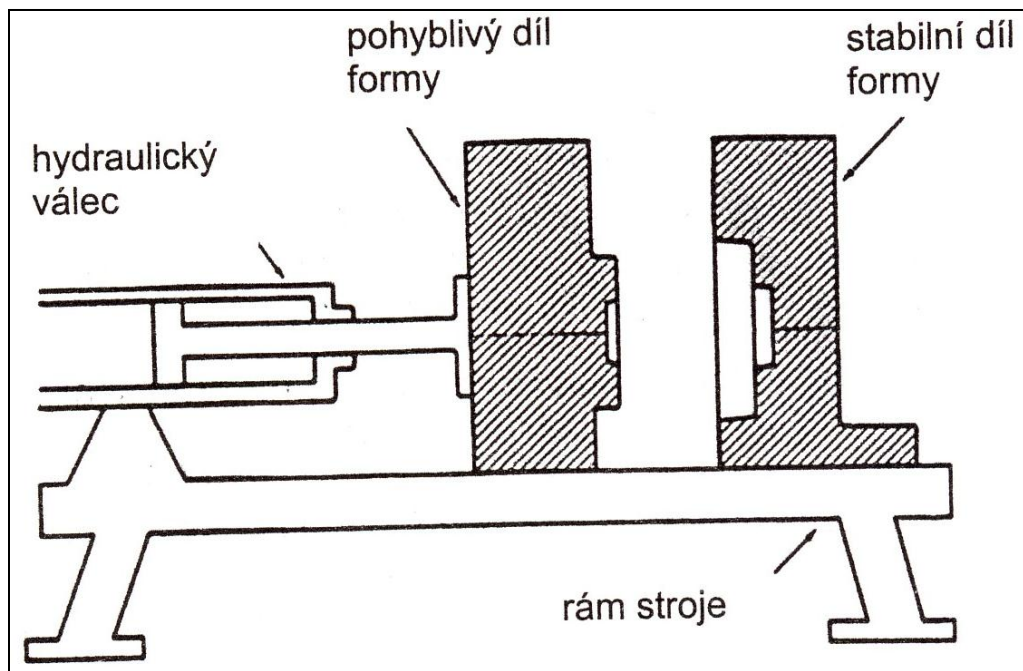
Odlitky namáhané při vyšších teplotách (hlavy válců, písty), odlitky vyžadující větší tvrdost (řemenice, skříně).

Slitiny Al – Mg

Velmi dobrá korozní odolnost, dobrá obrobiteľnosť, leštitelnosť – dekoratívni předměty

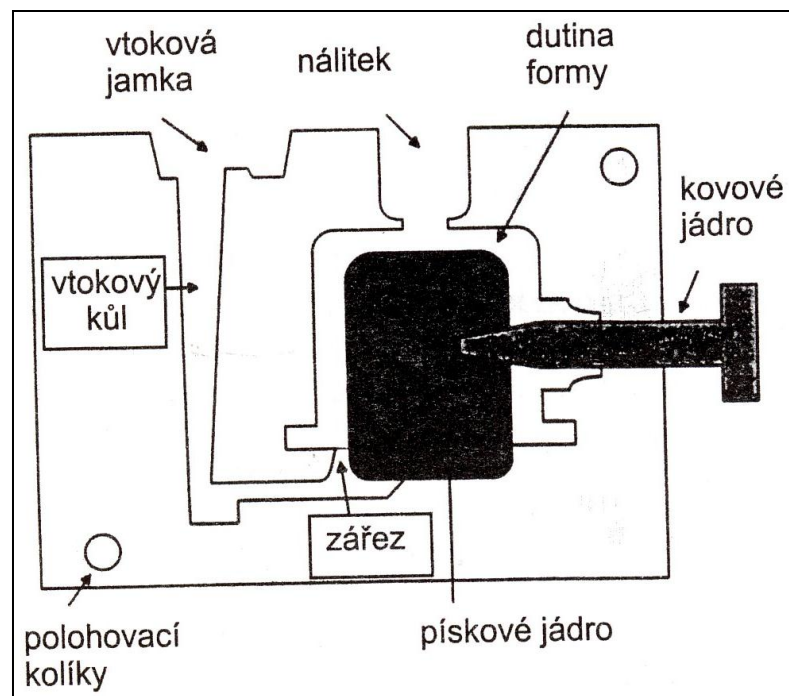


Gravitační lití do kovových forem



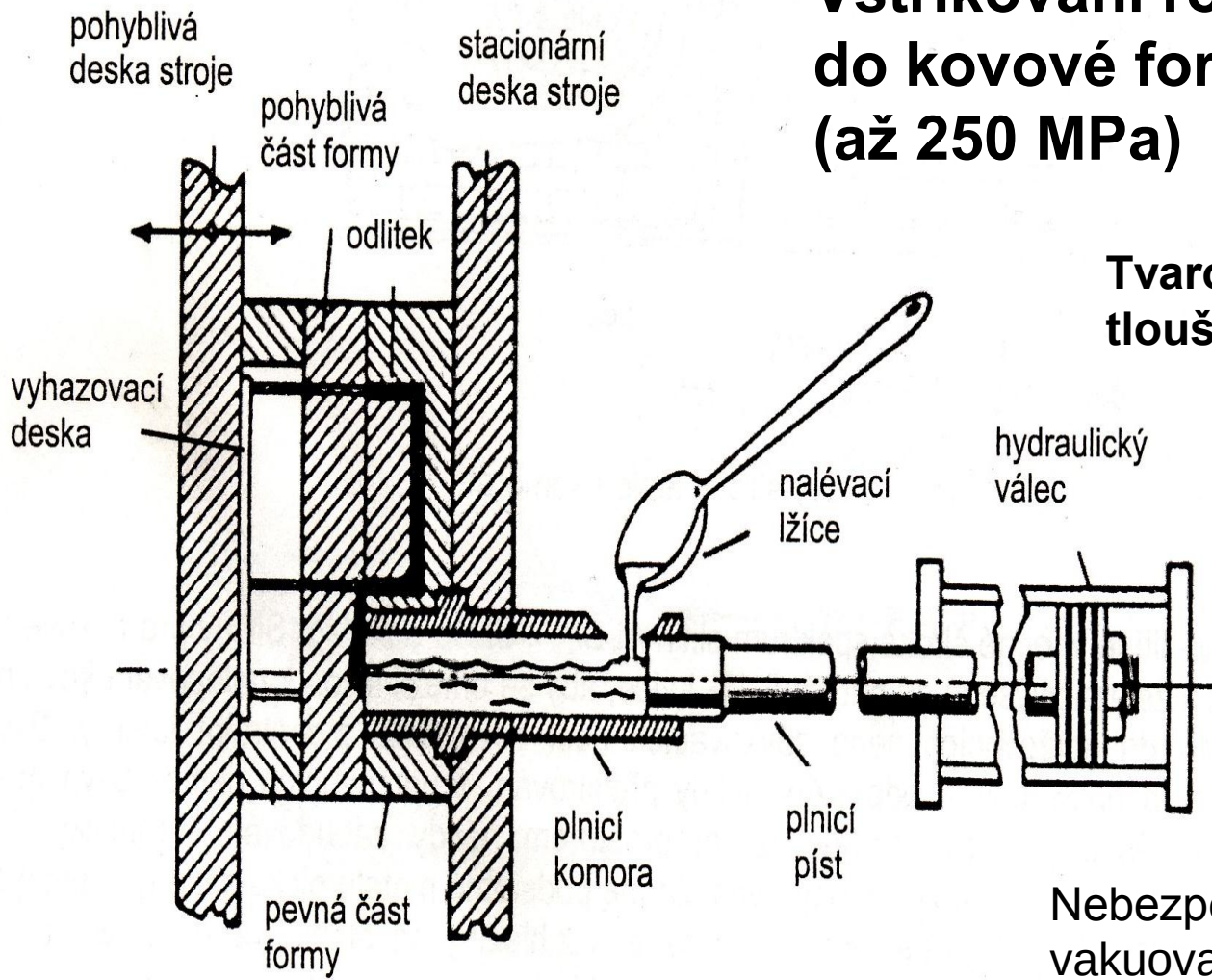
Kovová forma s jádrem
pohled do dělicí roviny

Kokilový stroj s
dvoudílnou formou



Vstřikování roztavené slitiny do kovové formy pod tlakem (až 250 MPa)

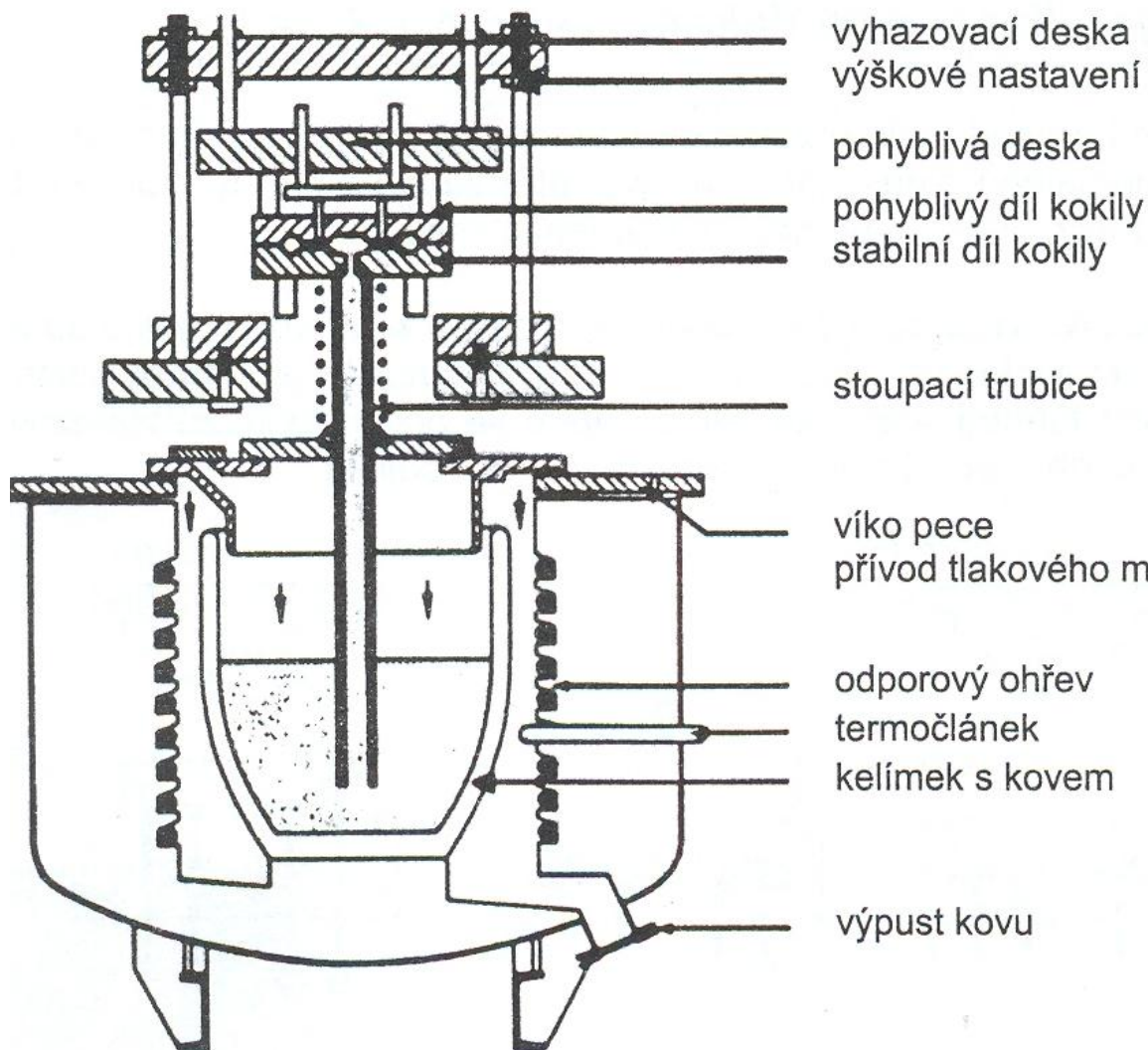
**Tvarově složité odlitky,
tloušťka stěny až 1 mm**



Nebezpečí reoxidace lze zamezit vakuovanou komorou

Tlakový stroj se studenou komorou

Nízkotlaké lití



**Tlakotěsná udržovací pec
stoupací trubice propojuje
formu s taveninou v
kelímku**

**Zvýšení tlaku na hladinu
Kov je vytlačován do
formy**

**Přetlak udržován po celou
dobu tuhnutí odlitku**

**Vysoká vnitřní homogenita
odlitků**



Slitiny hořčíku

Mg se díky své vysoké reaktivitě vyskytuje v přírodě pouze ve sloučeninách.

Nízká hustota 1740 kg/m^{-3} (2/3 hustoty Al)

Nízká teplota tavení 650°C

Teplota vypařování 1110°C

Slitiny Mg v současnosti **nejvyšší nárůst výroby** ve srovnání s jinými materiály



Výborné fyzikální a mechanické vlastnosti (vysoká **specifická pevnost**) , dobré slévárenské vlastnosti, dobrá obrobiteľnosť, recyklovateľnosť



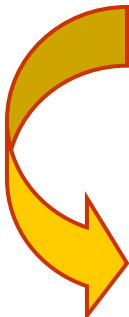
Špatná odolnost proti korozi a tvařitelnost za studena



Výroba hořčíku:

Suroviny – magnezit, dolomit, karnalit, mořská voda (0,13% - 1,1kg Mg na 1 m³ vody).

Výroba – elektrolyticky (75%) nebo tepelnou redukcí (cca 25%)



hořčík má vysokou afinitu ke kyslíku,
značné potíže při jeho slévárenském zpracování.



Mg je v kontaktu se vzduchem hořlavý, tavení probíhá pod ochrannou struskou v inertní atmosféře. Při dopravě je třeba zabránit kontaktu se vzduchem a vlhkostí – oxidické vměstky nevyplovávají protože mají shodnou hustotu, vlhkost hrozí znečištěním vměstky a explozí.



Slitiny Mg – Al

obsah Al 3-9%

S rostoucím obsahem Al se zvětšuje interval tuhnutí
šířka dvoufázového pásma – sklon k mikroředinám
umocněný malým metalostatickým tlakem. – obsah **Al**
pro gravitační lití nepřesahuje 5%.

Vyšší Al lepší zabíhavost

Tlakové lití slitina AZ91 (9% Al, 1% Zn norma ASTM) –
dobrá zabíhavost, vysoká pevnost, střední tažnost a
houževnatost.

pro jejich zvýšení se Zn nahrazuje Mn a Al snižuje –
AM20, AM50, AM60 – odlitky s vysokými požadavky na
bezpečnost



Technologie výroby odlitek

Nejpoužívanější tlakové lití

výhodné do vakuovaných forem – zabrání styku kovu s atmosférou

méně časté – gravitační lití do netrvalých forem

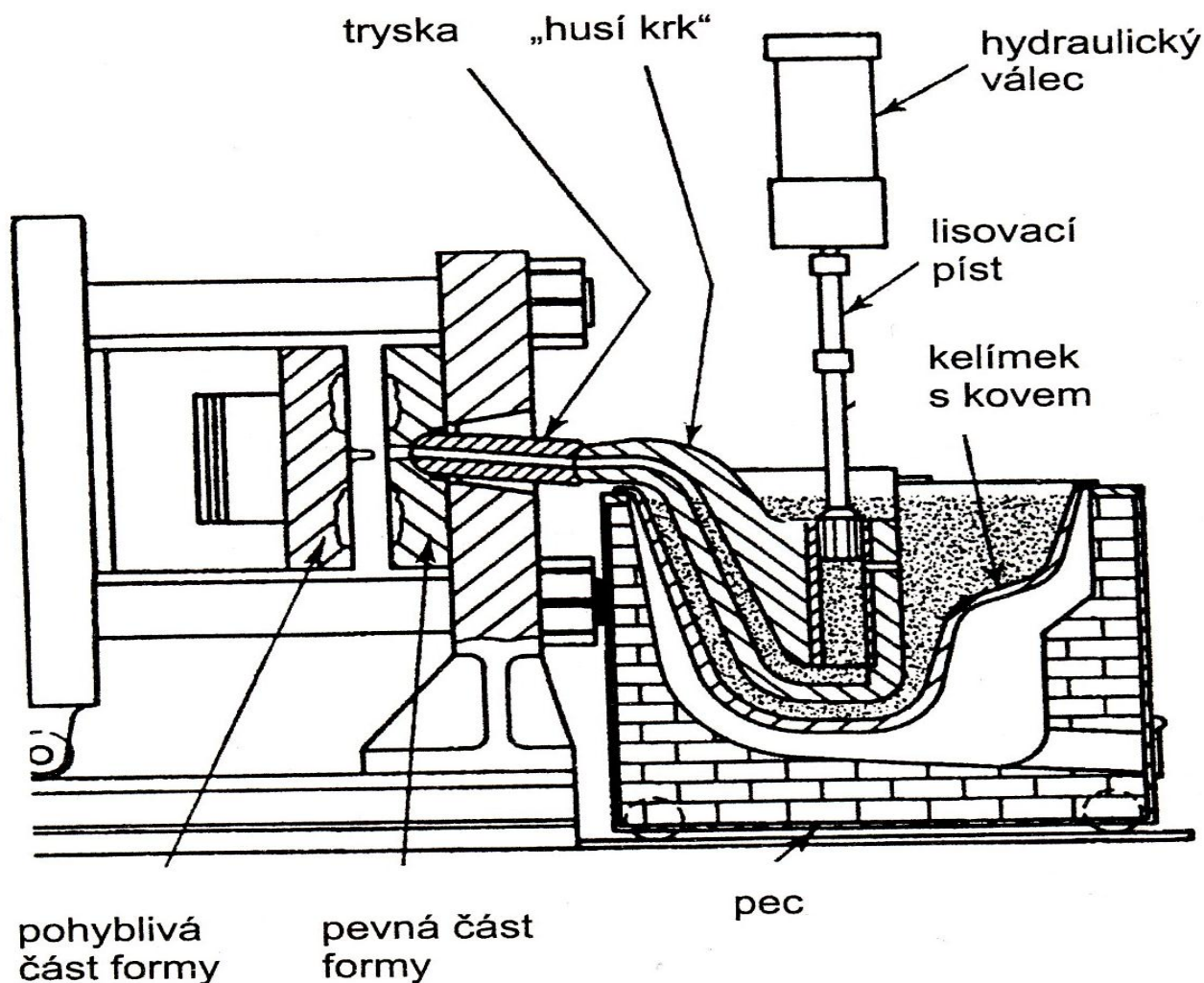
- proud kovu se zaprašuje sírou, přidává se i do směsi proti hoření

špatné dosazování – široký interval tuhnutí (proto obsah Al do 5%)

Použití

Vysoce namáhané součásti letadel, motorů, podvozků, přístrojů, brzdových bubnů – vysoká specifická pevnost

Tlakové lití



Plnicí komora je umístěna pod hladinou kovu v udržovací peci

Nedochází k oxidaci kovu

Pro celkové zamezení reoxidaci vakuovaná forma

Tlakový stroj s teplou komorou

Slévárenské slitiny zinku

Zn

těžký neželezný kov ($4\,507\text{ kg.m}^{-3}$) s nízkou teplotou tavení 419°C (b.varu 619°C).

Hlavní přísadové prvky Al, Cu a Mg (ZAMAK).

Za normálních teplot mají tyto slitiny výborné mechanické i dynamické vlastnosti lepší než většina slitin Al, Cu a LLG.dobrá tvrdost- odolnost proti opotřebení.



Prudký pokles vlastností při vyšších teplotách, max. provozní teplota cca 120°C .

Zhoršení také při nízkých teplotách (pod -20).

Slévárenské vlastnosti



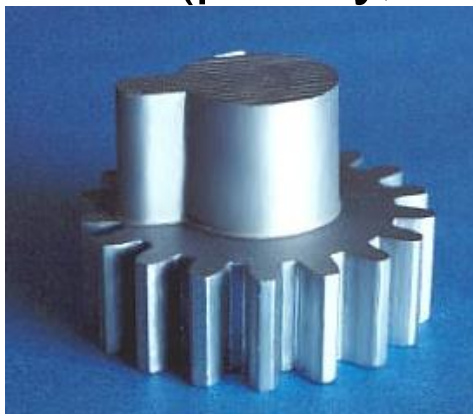
Nízká lící teplota, vynikající zabíhavost, vysoká přesnost odlitků

Technologie odlévání

Převažuje tlakové lití

drobné a střední odlitky 300-400mm s vysokou sériovostí (automobilový průmysl – karburátory, rámy světlometů, výrobky pro elektrické měřicí přístroje, domácí spotřebiče, ozubená kola, skříně plynoměrů...

lití do pískových forem,
sádrových ,
pryžových – metoda TEKCAST
(přezky, závěsy, nábytkové kování...)



Slitiny titanu

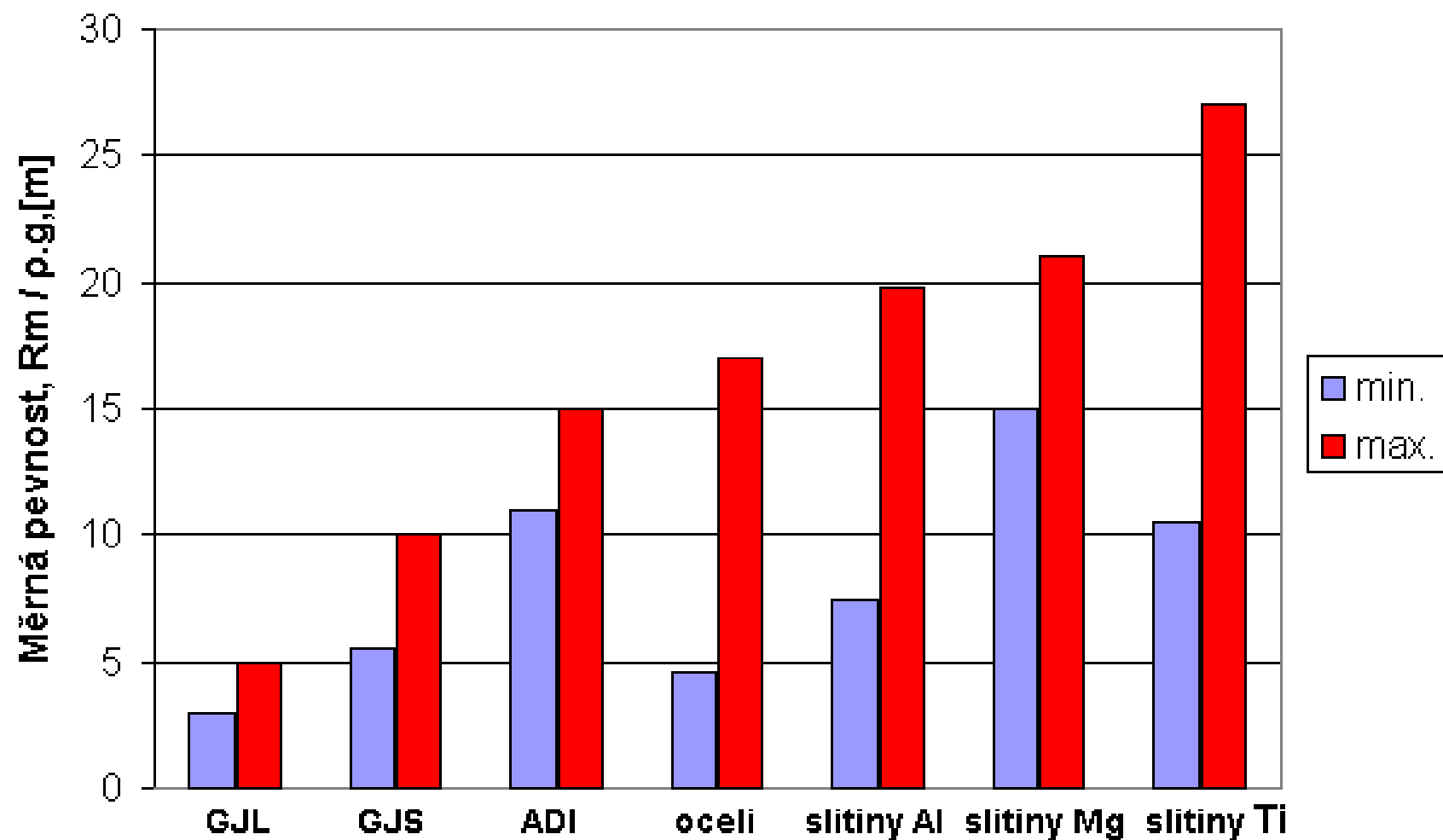
Titan nízká měrná hmotnost (4500kg.m^{-3}), vysoká teplota tavení (1668°C) a pevnost obdobná oceli.

Proto jsou slitiny titanu vhodné pro žárovevné a korozivzdorné konstrukční součásti hlavně v letecké a raketové technice.

Protože titan prudce reaguje s kyslíkem, dusíkem i vodíkem, musí být taven i odléván ve vakuu. Formy jsou zhotoveny z grafitu nebo syntetického uhlíku.



Srovnání specifických pevností





KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Jaké jsou nejčastěji používané slévárenské slitiny hliníku?
2. Slévárenské a mechanické vlastnosti používaných slitin hliníku
3. Nejčastější technologie odlévání slitin hliníku
4. Pro jaké aplikace jsou vhodné slévárenské slitiny mědi a proč
5. Základní charakteristiky slévárenských slitin zinku
6. Základní charakteristiky slévárenských slitin titanu



DOPORUČENÁ LITERATURA

ROUČKA, J.: Metalurgie neželezných slitin, skriptum VUT
Brno, 2004

MICHNA, Š.- NOVÁ, I.. Technologie a zpracování
kovových materiálů, Adin, s.r.o. Prešov 2008, ISBN 978-
80-89244-38-6