



Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích

Moderní slévárenské technologie

Přednášky pro studijní program Strojírenství

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



Výroba odlitků, slévárenské směsi a formy

Přednáška č. 9

Slévárenství

- ✓ Slévárenství je výrobní odvětví, kde se zhotovují výrobky – odlitky litím roztaveného kovu, resp. slitiny kovů do dutiny slévárenské formy
- ✓ Po vyplnění formy a po jeho ztuhnutí získáváme odlitek
- ✓ **Výhody odlévání**
 - *Odlévat se mohou jakékoliv kovy nebo slitiny*
 - *Je možné odlévat odlitky nejrůznějších velikostí a tvarů*
 - *Složité vnější a vnitřní tvary mohou být vyrobeny pouze odléváním*
 - *Možnost dosažení různých vlastností různých částí odlitků*
 - *Ekonomicky přijatelný pro malou i velkou výrobu – nejlevnější technika*
- ✓ **Nevýhody odlévání**
 - *Zahrnuje tavbu kovu – energeticky náročné*
 - *Velmi pracovníě náročné*
 - *Velká spotřeba dalšího materiálu (zejména písek)*
 - *Časová náročnost (čas od přijetí nákresu odlitku po vytvoření odlitku)*
 - *Náročné pracovní podmínky ve slévárně – teplo, prach, výpary, odpad*



Slévárnictví

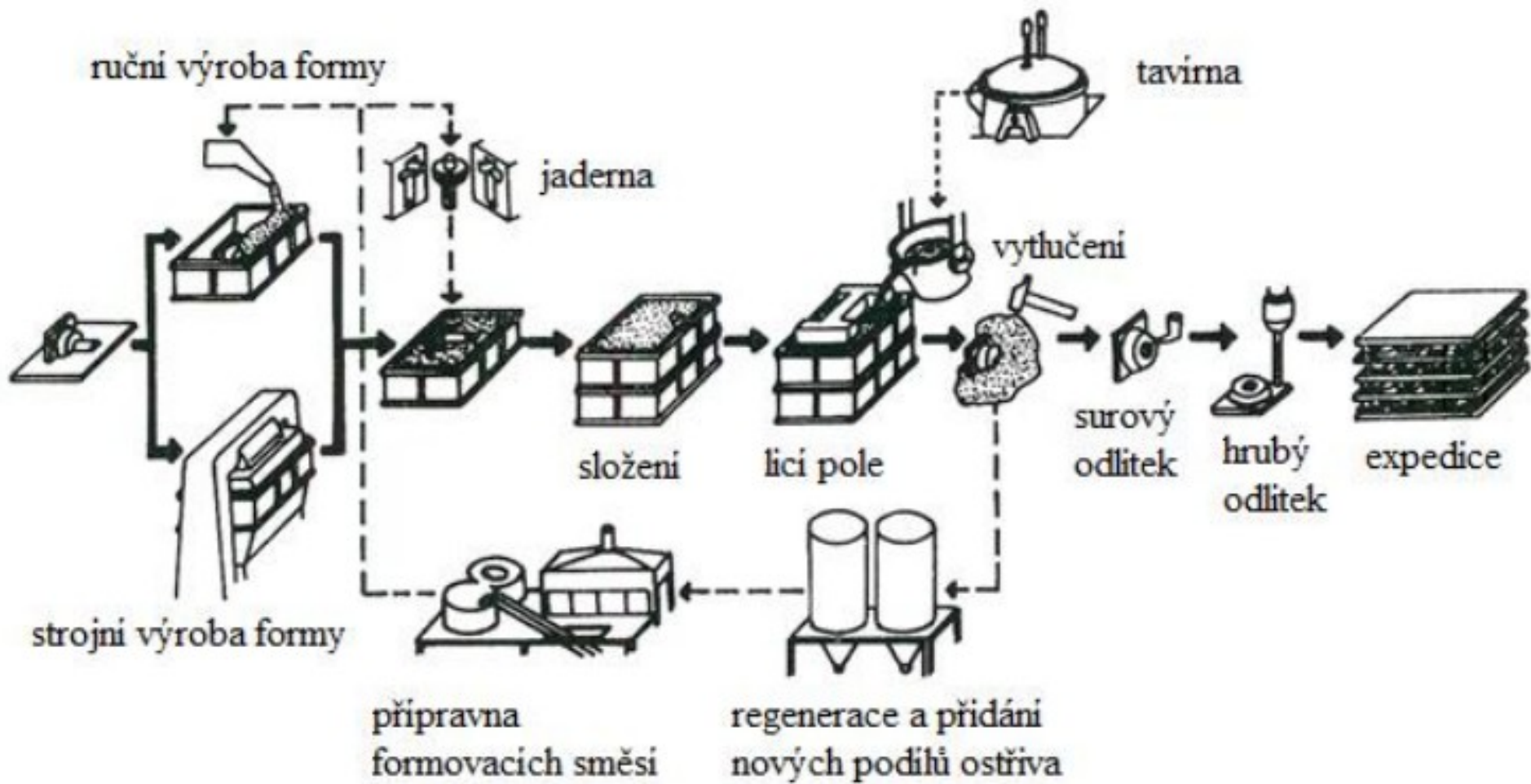


Schéma procesu vyhotovení odlitků

Slévárenství

✓ Ze širšího metalurgického pohledu rozlišujeme slévárenství hutní a strojní

✓ **Hutní slévárenství**

- *Hutní slévárenství se provádí v ocelárnách (odlívání oceli)*
- *Tavenina se odlévá do jednoduchých kovových forem – kokil*
- *Získané odlitky nazýváme ingoty*
- *Ingoty jsou podle následného procesu posílány buď do válcovny nebo do kovárny*



✓ **Strojní slévárenství**

- *Strojní slévárenství představuje výrobu velmi členité a tvarově složité skupiny odlitků*
- *Tyto odlitky mají uplatnění např. v automobilovém průmyslu (výroba bloků a hlav motorů, brzdových kotoučů a bubnů, části výfukových a sacích potrubí); výroba litých radiových těles; výroba mlýnků na maso, zvonů, šperků atd.*
- *Největší uplatnění však nacházejí ve výrobě nejrůznějších strojních součástí*



Slévárenské formy

- ✓ Slévárenská forma je předmět vyrobený ze žáruvzdorného materiálu, jehož dutina odpovídá svým tvarem budoucímu odlitku
- ✓ Formy můžeme z hlediska trvanlivosti rozdělit na formy **trvalé**:
 - *Kokily – kovové formy vyrobené z oceli nebo šedé litiny*
 - *Až několik tisíc odlití, počet závisí na složitosti dutiny formy a na typu odlévané slitiny*
 - *Do těchto forem může být tavenina odlévána gravitačním způsobem (málo používané) nebo tlakově (velmi časté) – vysoký nebo nízký tlak*
 - *Pro oba druhy tlakového lití se využívají příslušná zařízení*
 - *U vysokotlakého lití se tavenina do dutiny slévárenské formy dopravuje na základě tlaku pístu pracovního stroje*
 - *U nízkotlakého lití se tlakem vzduchu působí na hladinu taveniny v udržovací peci, která se nachází pod úrovní podlahy slévárny, tavenina se do formy, která je nad pecí upevněna k tlakovému přístroji, dopravuje pomocí vtokové trubice*
- ✓ **Polotrvalé**
 - *Keramické – vyrobené ze speciálních keramických materiálů obléváním modelu v rámu*
 - *Slouží pro více odlití*

Slévárenství – slévárenské formy, odlitky

✓ Netrvalé

- *Pískové – velmi často používané k odlévání litiny, slitin hliníku, oceli na odlitky atd.*
- *Na jedno použití*
- *Pískové formy mohou před odléváním být:*
 1. *Syrové (nevysušené)*
 2. *Přisušené (vysušené pouze u pracovního povrchu – líce formy)*
 3. *Vysušené*

✓ Z forem poté získáváme **odlitky**

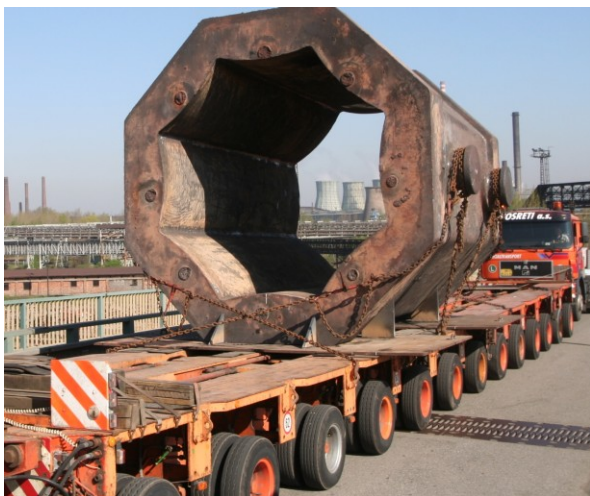
✓ Odlitek může být buď hotový výrobek nebo polotovár

✓ Rozlišujeme tři základní pojmy:

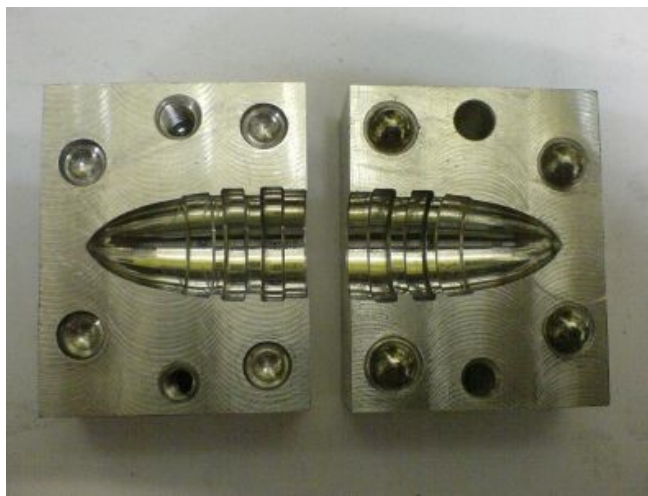
- **Surový odlitek** – po vytlučení z formy, dále postupuje do čistírny, kde se odstraňuje vtoková soustava, nálitky atd.
- **Hrubý odlitek** – konečný produkt slévárny, může být i celkovým konečným produktem, ale ve většině případů se odesílá do obrobny, kde se dále zpracovává třískovým obráběním
- **Čistý odlitek** – vzniká obrobením hrubého odlitku

Trvalé formy – kovové formy

- ✓ Vyrábí se litím nebo obráběním z kovových slitin
- ✓ Při obrábění jsou využívány číslicově řízené obráběcí stroje, které umožňují výrobu složitých dutin kovových forem
- ✓ Možné gravitační nebo tlakové lití (nízkotlaké a vysokotlaké)
- ✓ Uplatnění při velkých sériích odlitků, k výměně formy dochází až při jejím poškození
- ✓ Životnost dána materiálem formy a odlévaným materiálem
- ✓ Např. formy pro tlakové lití bloků spalovacích motorů nebo formy pro odlévání hlav motorů



Obří kokila ArcelorMittal Ostrava



Kokila na výrobu střel

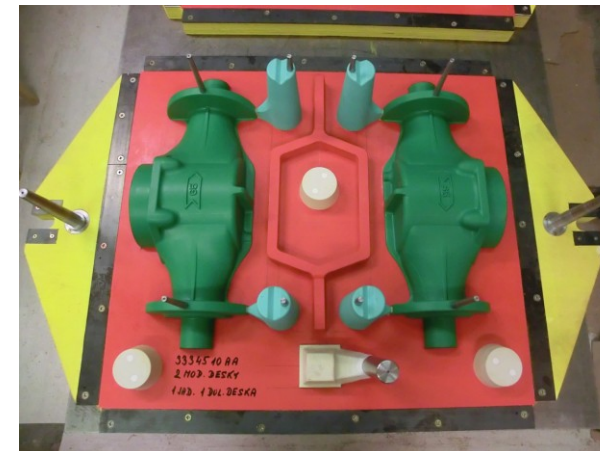
Netrvalé formy

- ✓ Výroba pískových forem se provádí přímo ve slévárnách a je součástí výroby
- ✓ Podkladem pro pískové formy je strojírenský (kótovaný) výkres součástky
- ✓ Podle tohoto výkresu se nakreslí výkresy modelového zařízení
- ✓ Podle toho se vyrobí příslušné modely, modelové desky a jaderníky
- ✓ **Modelové zařízení**
 - *K zařízení patří modely, šablony a jaderníky, modelové desky, všechny pomůcky vyrobené v modelárně*
 - *Rozlišujeme ruční a strojní formování*
 - *Modelová deska pro ruční formování je většinou rovná dřevěná deska s rámem, na kterou se usazuje model*
 - *Modelovou desku pro strojní formování tvoří deska, na kterou je připevněn model odlitku, model vtokové soustavy, model výfuků atd.*
- ✓ **Model**
 - *Základní pracovní pomůcka sloužící k výrobě dutiny formy*
 - *Jeho tvar odpovídá budoucímu odlitku*
 - *Součástí modelu jsou známky, které po zaformování slouží jako plochy k uložení jádra*
 - *Modely jsou většinou dělené, jen zřídka nedělené*
 - *Dělené modely musejí být spojeny spojovacími čepy, aby byla zajištěna vzájemná poloha částí modelu*

Netrvalé formy

✓ Model

- *Výroba ze dřeva, dnes ze dřeva umělého, které nepodléhá roztažnosti nebo nabobtnání, modely mohou být i kovové, ty jsou dražší a vyplatí se pouze pro velké série malých a středních odlitek*
- *Rozměr modelu je větší než odlitek o tzv. míru smrštění*
- *Hodnota smrštění závisí na odlévaném materiálu*



Příklad slévárenského modelu

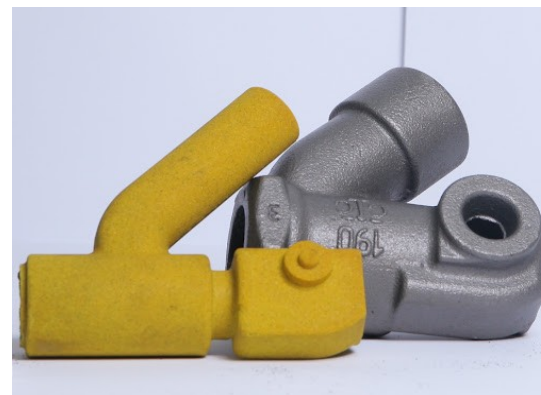
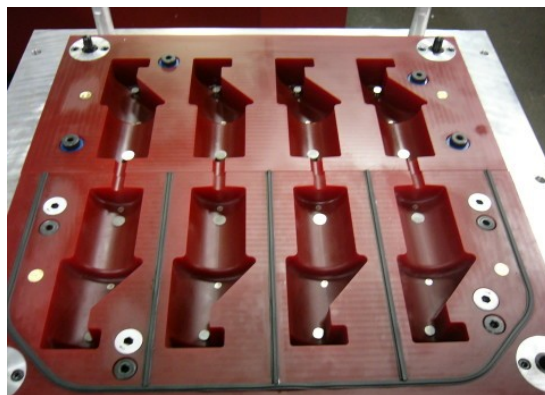
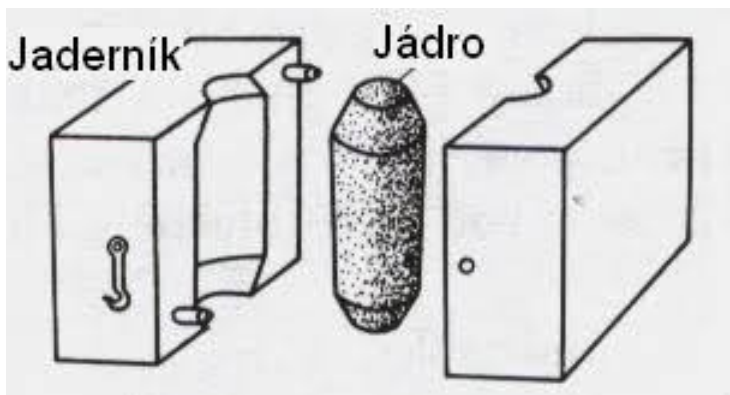
✓ Šablona

- *Má tvar obrysu odlitku*
- *Může nahradit mnohem dražší modely, pokud má odlitek jednoduchý tvar – šablona je sice levná, ale její výroba je zdlouhavá a nákladná*

Netrvalé formy

✓ Jaderníky

- *Dřevěné nebo kovové formy, jejichž dutina se vyplní formovací směsí, čímž se zhotoví jádro*
- *Většinou dělené a velmi složité*
- *Musejí být řešeny tak, aby z nich mohlo být pískové jádro bez poškození vyjmuto*



✓ Příslušenství modelového zařízení

- *Modely vtokových systémů (model jamky, vtokového, struskového, rozváděcího kanálu, zářezů, modely výfuků, nálitků atd.)*
- *Pomocné prostředky – modelové desky, kontrolní šablony, zaváděcí kolíky*



Netrvalé formy – formovací směsi

- ✓ Obvyklým materiálem pro výrobu netrvalých forem bývají formovací směsi
- ✓ Směs je většinou tvořena pískovými zrny (**ostřivem**), která jsou k sobě navzájem vázána **pojivem**
- ✓ **Požadavky na formovací směs:**
 - Vaznost – forma musí být dostatečně pevná, aby odolala tlaku vlévané taveniny
 - Prodyšnost – musí být umožněno rychlé unikání uvolněných plynů a par
 - Žárovzdornost – nesmí se při styku s taveninou začít tavit
- ✓ Největší nároky se kladou na formovací směs, která přichází do přímého kontaktu s taveninou
- ✓ Při formování se model někdy pokrývá vrstvou jakostnější modelové směsi a zbytek rámu je doplněn méně kvalitní výplňovou směsí
- ✓ Pokud směsi nejsou příliš vlhké, je možné odlévat do syrových (nesušených) forem, jinak je třeba sušit/přisoušet
- ✓ Formovací směsi se z velké části regenerují
- ✓ **Ostřivo**
 - Žárovzdorná zrna určitého chemického složení, velikosti a tvaru
 - Zrna jsou větší než 0,02 mm
 - Určuje základní vlastnosti směsi – spěchovatelnost, prodyšnost, mechanickou a chemickou odolnost proti roztavenému kovu

Formovací směsi – ostřivo

✓ Křemen

- Oxid křemičitý, nejčastější, v přírodě nejdostupnější s nejnižšími náklady na získání
- Nevýhodou je tepelná dilatace, dilatační změny nastávají při ohřevu nad 573 °C, z toho vyplývá malá rozměrová přesnost odlévaných odlitků a vznik slévárenských vad



Křemenný písek

✓ Šamotový lupek

- Výroba vypalováním vysoce žárovzdorných břidličnatých jílu
- Velmi drahý
- Vyplatí se pouze pro tepelně a mechanicky namáhané formy



Šamot

✓ Korund

- Téměř čistý oxid hlinitý přetavený v elektrické peci
- Vysoce stálý, neutrální povahy
- Využívá se pro skořepinové formy



Křemenný písek

✓ Magnezit

- Používá se pro formy na ocelové odlitky s vysokým obsahem manganu

- ✓ Mezi další ostřiva patří chromit, zirkoniové ostřivo, olivín, některé materiály na bázi uhlíku

Formovací směsi – pojivo

- ✓ Látka nebo směs látek tvořící pojivovou soustavu
- ✓ Pojivo se rovnoměrně rozprostře po zrnech ostřiva a váže je dohromady
- ✓ Pojivo dodává formovací směsi pevnost za syrova (vaznost) i plastičnost (nutné pro formování), pevnost po vytvrzení (vysušení)
- ✓ Pojiva se většinou dělí na anorganická a organická

➤ Anorganická pojiva:

- ✓ Jílová pojiva – nejrozšířenější, ekonomicky dostupné. Směsi velmi jemně rozpadlých jílových nerostů; dodávají vysokou pevnost i vaznost za syrova i sucha; důležitou součástí je volná (molekulová) voda, která umožňuje rozvinout plastické vlastnosti jílu
- ✓ Kaolinitické jíly – vysoká žárovzdornost, malá vaznost; při teplotách 500–600 °C dochází k jejich dehydroxylaci (odstranění chemicky vázané vody); při použití v šamotových formovacích směsích je vypalování na 500–600 °C nutné
- ✓ Illitické jíly – hlavním pojivem přirozených formovacích písků; dodávají dobrou pevnost za syrova a velkou pevnost po vysušení
- ✓ Jíly montmorillonitické – třívrstvé jílové materiály, obsažené hlavně v bentonitech; vhodné pro směsi při lití na syrovo



Kaolinitický jíl



Illitický jíl



Montmorillonitický jíl

Formovací směsi - pojivo

✓ Anorganická pojiva

- Vodní sklo – přidává se do směsi v množství 3–8 %; jedná se o vodný roztok křemičitanu sodného, jeho vytvrzení se dosáhne buď plynným oxidem uhličitým nebo vysušením vzduchem; existují i samotvrdnoucí směsi, kde probíhá reakce mezi vodním sklem a tvrdidlem (tvrdidlem může být např. bentonit nebo cement)
- Cement – používá se jen zřídka; již v množství 10–15 % vysoká pevnost; dlouhá doba tuhnutí (i několik dní)

✓ Organická pojiva

- Umělé pryskyřice – moderní slévárenská pojiva; vytvrzují se buď teplem (180–200 °C) nebo chemicky za studena; vysoká pevnost po sušení a výborná rozpadavost po odlití; nejčastěji jde o pryskyřice fenolformaldehydové, močovinoformaldehydové a furanové



Vodní sklo



Cement



Fenolformaldehydová pryskyřice

Formovací směsi - přísady

- ✓ Do formovacích směsí se někdy přidávají další přísady, kterými se mají zlepšit určité vlastnosti
- ✓ **Uhlíkaté látky**
 - Nejčastěji mleté černé uhlí; přidávají se do bentonitových formovacích směsí na syrové formy; při odlévání dochází k jejich pyrolýze a vzniklé produkty zabraňují kovu proniknout mezi zrna písku, čímž se zvyšuje kvalita povrchu odlitku
- ✓ **Neplastické látky**
 - Křemenná moučka, šamotová moučka
 - Velmi jemné a vyplňují mezery mezi zrny formovacích písků – tím je lepší kvalita povrchu odlitku, ale horší prodyšnost
- ✓ **Plastifikátory**
 - Dextrin, glukóza, sulfitový louh
 - Zlepšují plastické vlastnosti i prodyšnost
 - Sacharidy zmírňují osychání formovacích směsí



Mleté černé uhlí



Šamotová moučka



Dextrin

Formovací směsi

✓ Pomocné látky

- *Pomocné látky nejsou přímo obsaženy ve formovacích směsích, ale používají se při výrobě a úpravě forem a jader*
- *Jsou to především dělicí prostředky, lepidla, postřiky a nátěry*

✓ Dále je možné formovací směsi rozdělit z tohoto hlediska:

➤ Přírodní směsi

- ✓ *Obsahují ve vhodném poměru jak křemičitá zrna, tak vazný jíl*
- ✓ *Jsou levné, ale jejich vlastnosti jsou různorodé a neoptimální*
- ✓ *Nevhodné pro mechanizovanou výrobu*

➤ Syntetické směsi

- ✓ *Pro mechanickou výrobu*
- ✓ *Stálé vlastnosti*
- ✓ *Příprava mísením ostřiva a pojiva*



Formovací směs

Netrvalé formy – Vtoková soustava

- ✓ Vtok je jednou z nejdůležitějších částí formy – protéká jím veškerý kov naplňující dutinu formy
- ✓ Nevhodná vtoková soustava může zapříčinit vznik mnoha vad odlitků
- ✓ Hlavním úkolem přípravy ve slévárnách je co nejlépe navrhnout vtokovou soustavu
- ✓ Základními prvky vtokové soustavy jsou vtoková jamka, vtokový kanál, struskový kanál, zářezy
- ✓ Návrh vtokové soustavy je velmi složitý, neexistuje žádný přesný, jednoduchý a jednoznačný výpočet
- ✓ **Správná funkce vtokové soustavy je dána:**
 - Správným výpočtem doby lití
 - Správným výpočtem jednotlivých průřezů vtoků
 - Její konstrukcí vzhledem k vlastnostem odlévaného kovu
- ✓ **Vtoková soustava zabezpečuje:**
 - Rovnoměrné, stálé plnění dutiny formy optimální rychlostí
 - Aby došlo k plnému zaběhnutí ve všech částech odlitků
 - Aby nedošlo k poškození stěn formy a jader
 - Odstranění nečistot a strusky v poslední fázi odlévání
 - Usměrněné tuhnutí



Netrvalé formy – Vtoková soustava

✓ Vtoková jamka

- Slouží k zachycení proudu kovu z licí pánve a jeho usměrnění do vtokového kanálu
- Zachycuje strusku
- Usměrnjuje tok kovu z licí pánve
- Objem licí jamky závisí především na surové hmotnosti odlitku a době lití

✓ Vtokový kanál

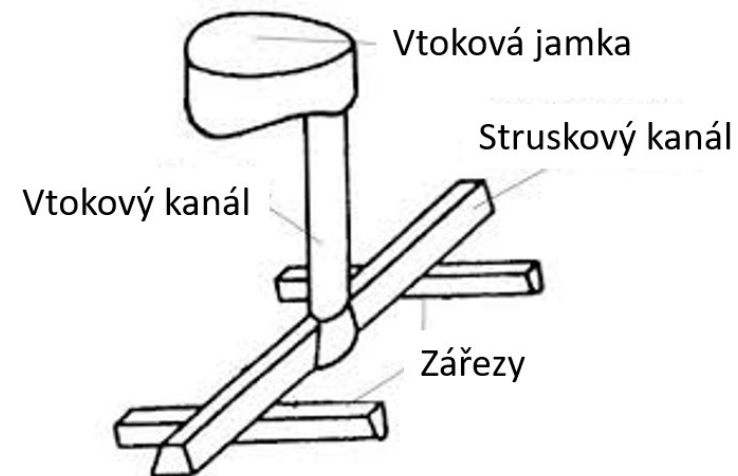
- Přivádí taveninu z vtokové jamky do úrovně zářezů
- Mívá kruhový průřez, který se směrem k vtokové jamce kuželovitě zvětšuje pod úhlem 3–4°

✓ Struskový kanál

- Z vtokového kanálu se tavenina dostává do struskového kanálu
- Rozvádí taveninu k zářezům a zachycuje strusku a nečistoty
- Aby správně plnil funkci, musí být při lití zaplněn kovem a jeho průřez musí být větší než součet ploch zářezů

✓ Zářezy

- Spojují struskový kanál s dutinou formy
- Nesmí být na konci struskového kanálu – proud kovu musí narazit do stěny odstruskovače, aby byly vytvořeny podmínky pro vyplavení strusky



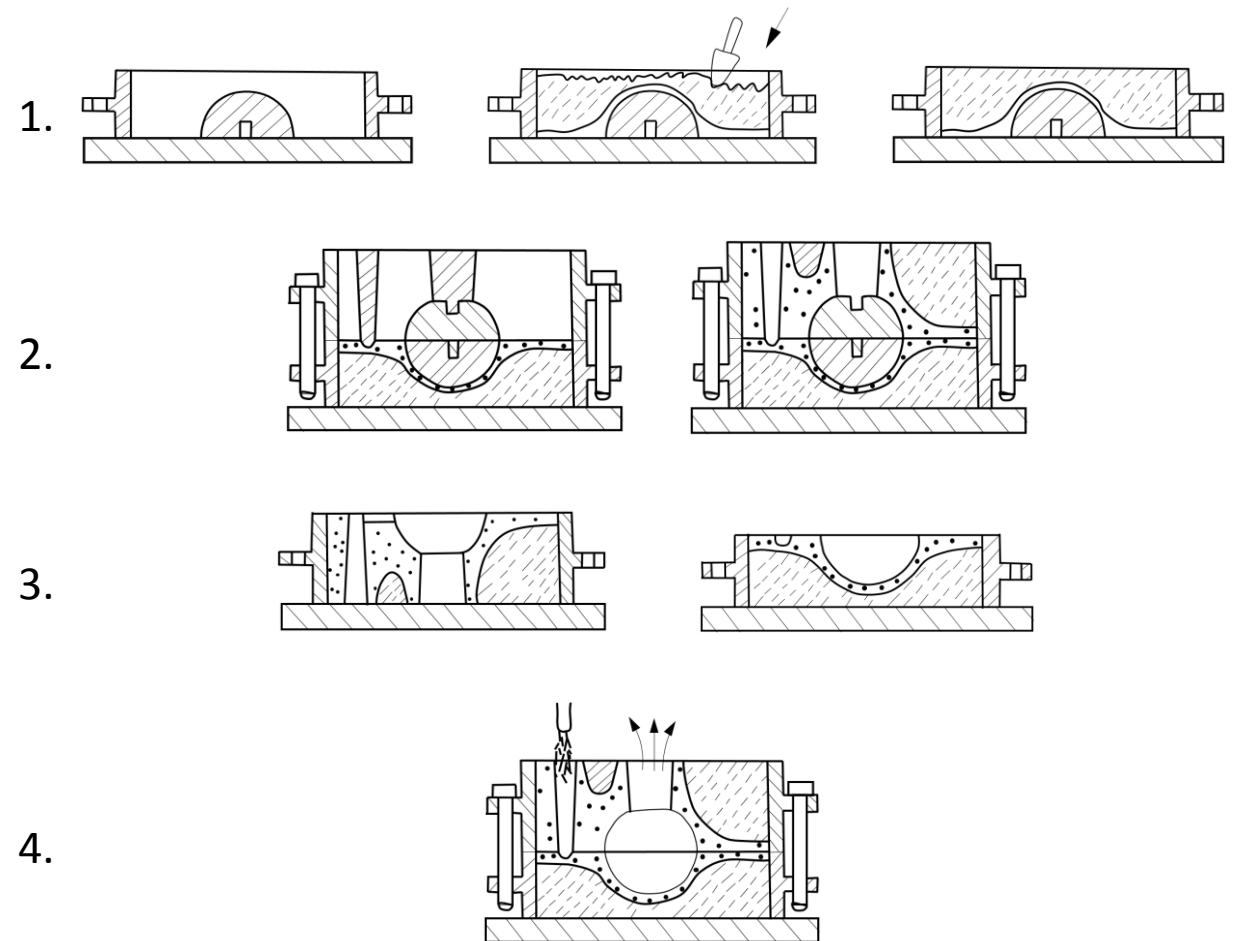
Výroba netrvalé formy

✓ Výroba netrvalé formy zahrnuje tyto základní kroky:

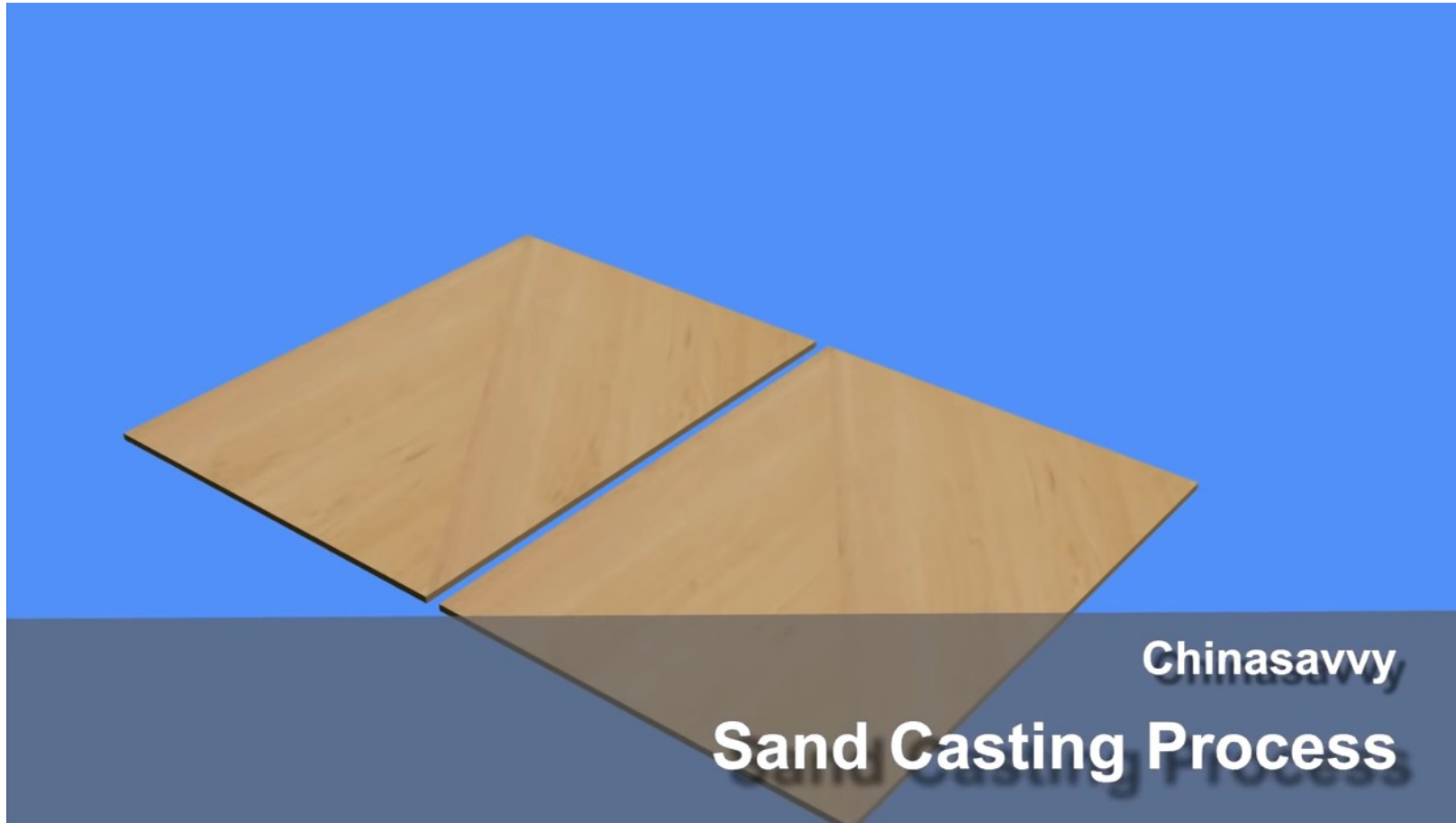
1. Výroba horního dílu formy
2. Výroba dolního dílu formy
3. Rozložení formy a vyjmutí modelu
4. Složení formy a odlévání



Netrvalá forma



Výroba odlitku





Vady odlitků

- ✓ Očištěné odlitky podstupují kontrole kvality
- ✓ Sleduje se jak vizuální vzhled – výskyt povrchových vad a trhlin a geometrický tvar, tak kontrola rozměrů a jejich tolerance
- ✓ Vnitřní vady se zjišťují defektoskopickými zkouškami – rentgenem nebo ultrazvukem (kvůli nákladnosti zkoušek se provádějí pouze u velmi náročných odlitků)
- ✓ Chemické složení, zkoušky mechanických vlastností a struktury se provádějí na vzorcích celé tavby
- ✓ Vady odlitků bývají zapříčiněny například nesprávnou konstrukcí odlitků, nesprávně nadimenzované a umístěné vtokové soustavy, nesprávně provedeného tepelného zpracování, nedodržení lící teploty atd.
- ✓ **Mezi nejčastější vady odlitků patří:**
 1. *Bubliny*
 2. *Staženiny*
 3. *Trhliny*
 4. *Praskliny*
 5. *Nezaběhnutí*
 6. *Přesazení*
 7. *Zapečeniny*

Vady odlitků

✓ Bubliny

- Bubliny se vytvářejí vlivem plynů, které nemohou z formy uniknout do atmosféry
- Příčinou může být příliš vlhká forma bez průduchů

✓ Staženiny

- Vznikají vlivem špatně navržených nálitků

✓ Trhliny

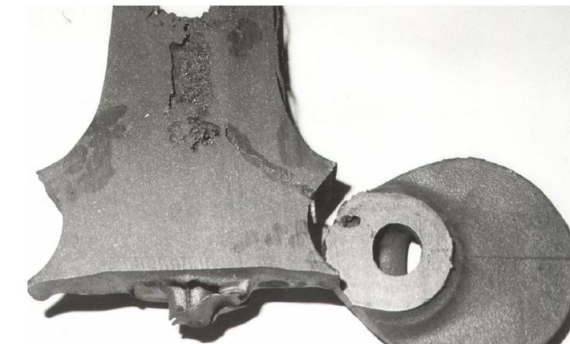
- Vznikají za tepla vlivem nestejné tloušťky stěn odlitků
- Důsledek nerovnoměrného ochlazování

✓ Praskliny

- Vlivem nevhodné konstrukce odlitku
- Důsledek smrštivosti různých objemů kovů
- Vlivem nevhodného tepelného zpracování odlitku



Bubliny



Staženiny



Trhliny



Prasklina

Vady odlitků

✓ Nezaběhnutí

- *Vlivem špatně dimenzované a špatně umístěné vtokové soustavy*
- *Vlivem příliš tenkých žeber – kov nevyplní celou dutinu soustavy*

✓ Přesazení

- *Důsledek nadměrného opotřebení rámců a zaváděcích kolíků*

✓ Připečení

- *Vniknutí kovu mezi zrna ostřiva*
- *Vlivem příliš vysoké lící teploty a nevhodně volené formovací směsi*
- *Dojde k natavení zrn ostřiva a přiškvaření k povrchu odlitku*



Nezaběhnutí



Přesazení



Připečení

Použitá literatura

- ✓ *Slévárství* [online]. Dostupné z: <http://techstroj.g6.cz/T/T05.pdf>
- ✓ *Beztržkové obrábění* [online]. Dostupné z: <http://jointlab.upol.cz/schovanek/beztriskoveOBRABENI20140416.pdf>
- ✓ *Základy strojírenské technologie* [online]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/strojtech/zaklStrojTech.pdf>
- ✓ ELBEL, Tomáš. *Atlas fotografií vad odlitků* [online]. In: . Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2016. Dostupné z: <https://docplayer.cz/108478857-Atlas-fotografii-vad-odlitku-photo-atlas-of-casting-defects.html>
- ✓ HAMPL, Jiří. *Metalurgie slévárenských slitin: studijní opora*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3357-3.