



Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích

# Moderní slévárenské technologie

*Přednášky pro studijní program Strojírenství*

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

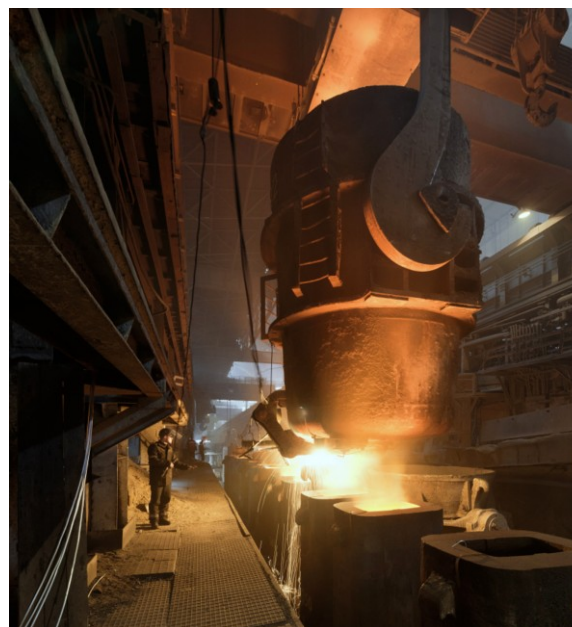


# Odlévání odlitků, průběh tuhnutí odlitků a vady odlitků

Přednáška č. 5

# Odlévání oceli

- ✓ Odlévání oceli představuje důležitou součást výrobního procesu
- ✓ Převážná část vyrobené oceli je v současné době odlévána na zařízeních plynulého lití (90 %) a menší část je odlévána do kokil na ingoty (10 %)
- ✓ Tradiční postup odlévání oceli do kokil činí cca 8,5 % a oceli na odlitky cca 1,5 %
- ✓ Podíl odlité oceli na zařízení pro plynulé odlévání (ZPO) činí ve vyspělých státech téměř 100 %

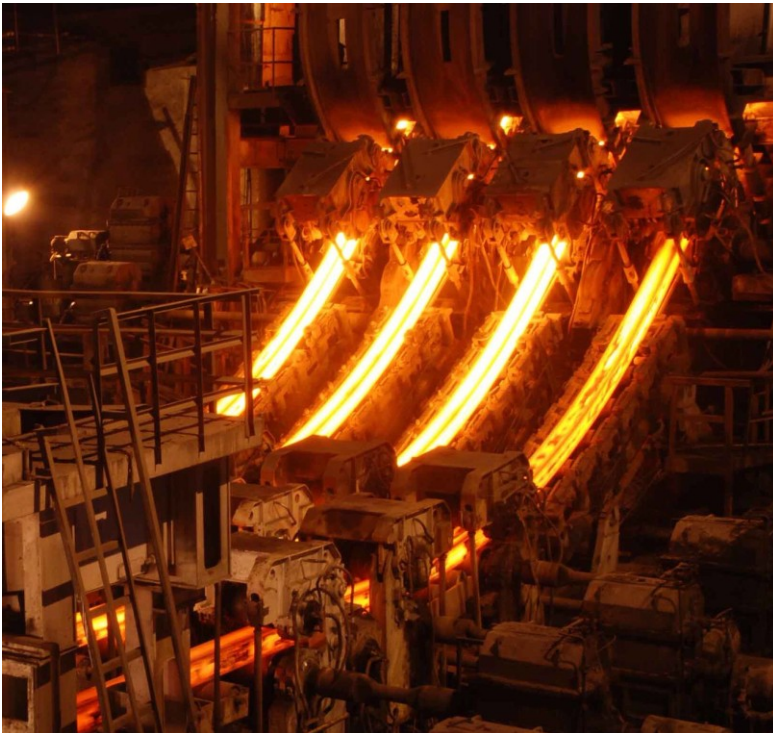


# Odlévání oceli

- ✓ Odlévání oceli lze tedy rozdělit na následující technologie:
  - odlévání oceli do kokil na ingoty – horem nebo spodem
  - odlévání oceli na odlitky
  - odlévání oceli na zařízení plynulého odlévání



*Odlévání oceli na odlitky*



*Plynulé odlévání oceli*



*Odlévání oceli do kokil na ingoty*

# Odlévání oceli do kokil na ingoty

- ✓ Provádí se v licí hale ocelárny do licích souprav, které se skládají z litinových forem, tzv. kokil, které jsou umístěny buď na pojízdných vozech, nebo jsou postaveny na licím poli
- ✓ *Odlévání horem* = ocel se do kokil odlévá přímo z odpichové pánve, která je opatřena uzavíratelnými výlevkami
- ✓ *Odlévání spodem* = ocel se nelije do kokil přímo, ale přes licí kůl a vtokové kanály, rovnoměrně pak stoupá ve všech kokilách současně, u tohoto způsobu odlévání mohou být kokily rovněž umístěny na licích vozech nebo v licích jámách

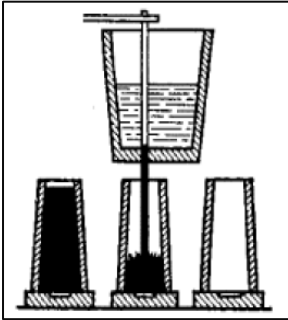


*Provozní odlévání oceli horem*

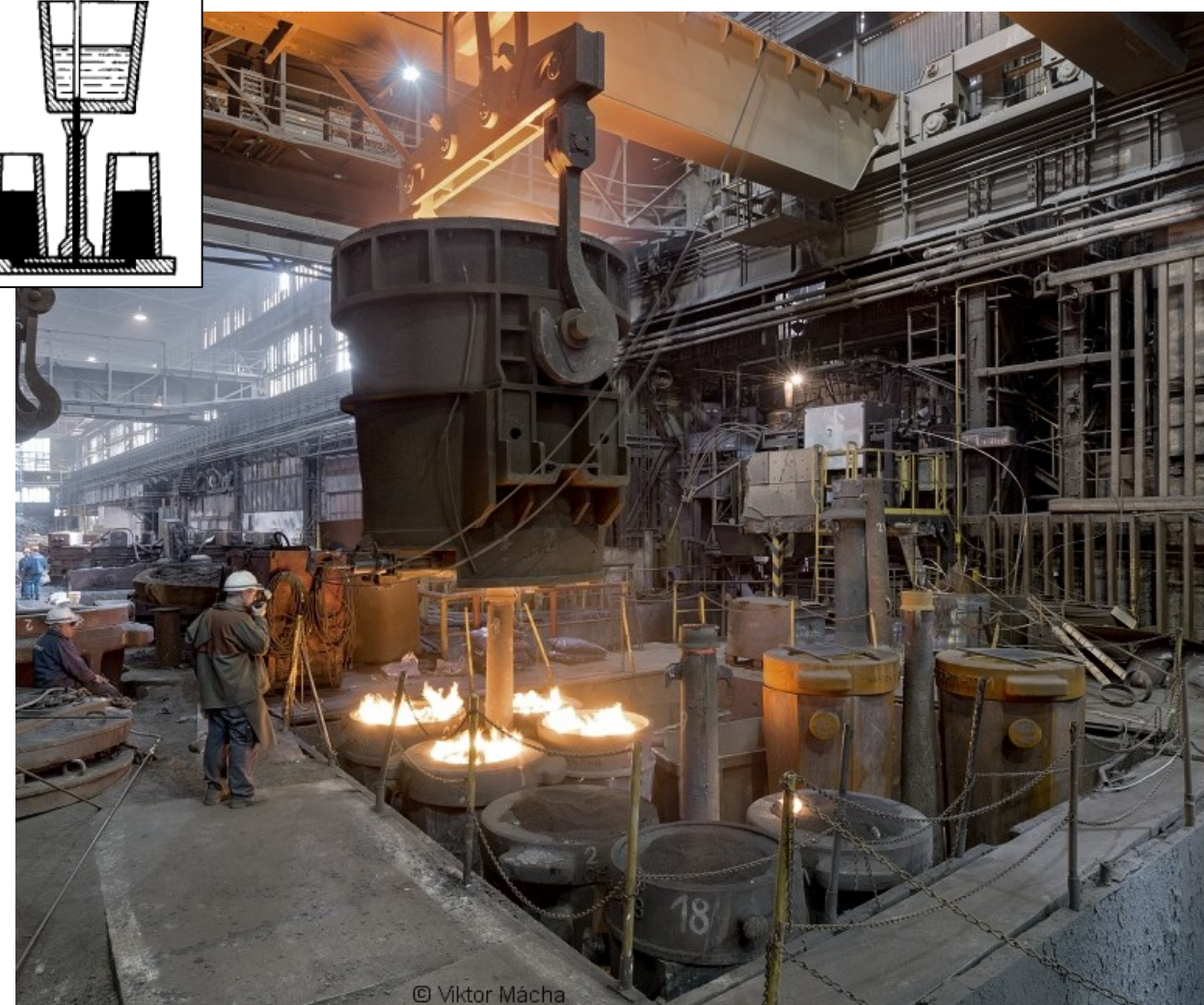
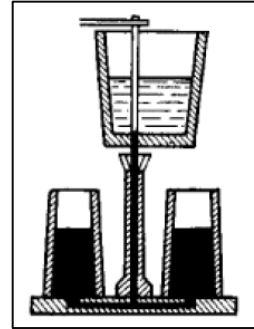


*Provozní odlévání oceli spodem*

# Odlévání oceli do kokil na ingoty



*Odlévání oceli horem*

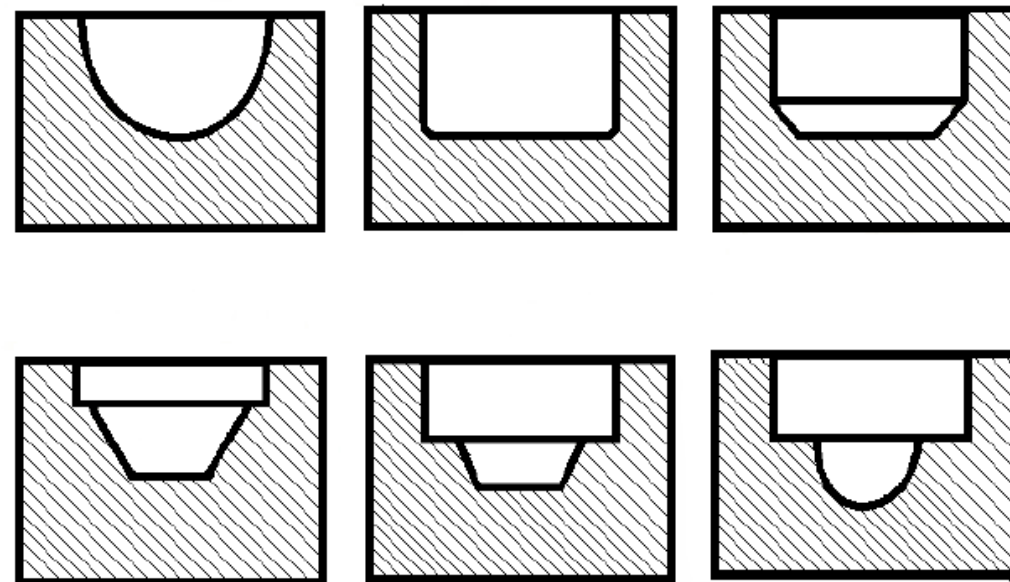
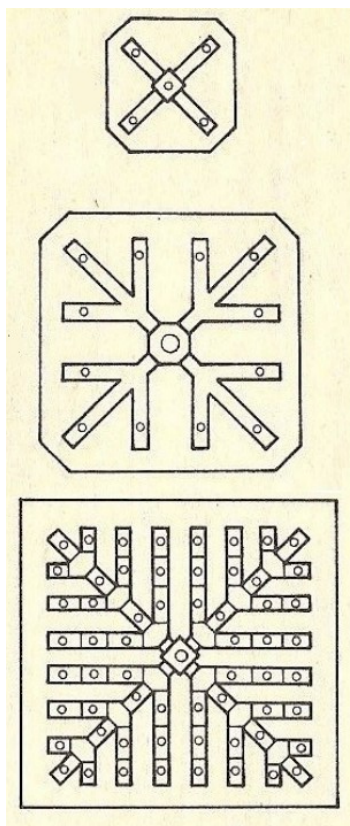


© Viktor Mácha

*Odlévání oceli spodem*

# Odlévání oceli do kokil

- ✓ **Licí souprava** se skládá z následujících základních částí: licí deska, kokila, kokilová podložka a hlavový nástavec



- **Kokilová podložka:** je umístěna pod kokilou, zabraňuje rozstříku kovu

- **Licí deska:** základna pro odlévání

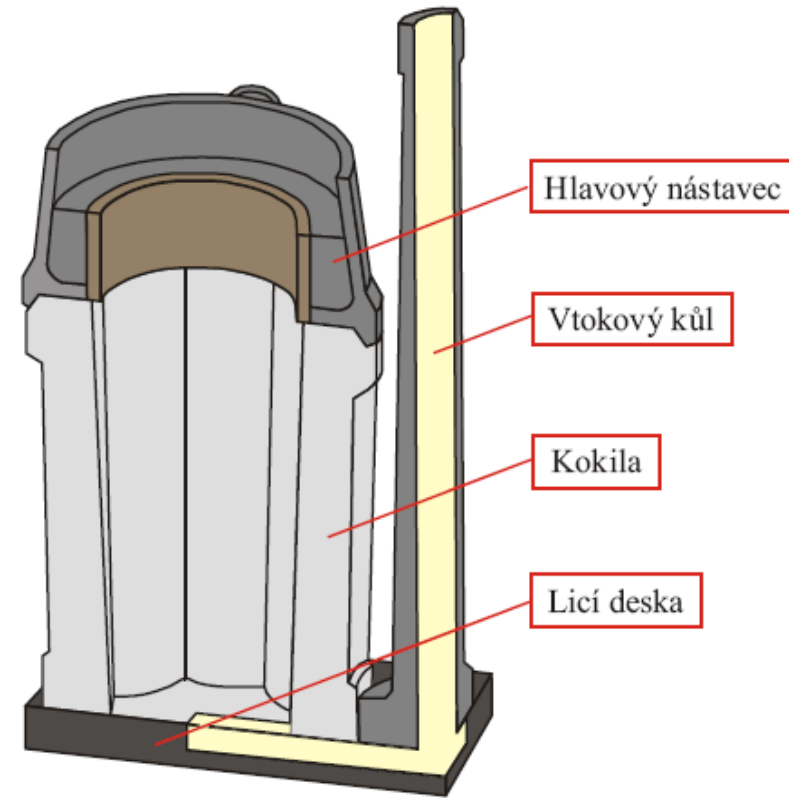
# Odlévání oceli do kokil



- **Kokila:** litinová forma, v níž tekutá ocel ztuhne na požadovaný tvar



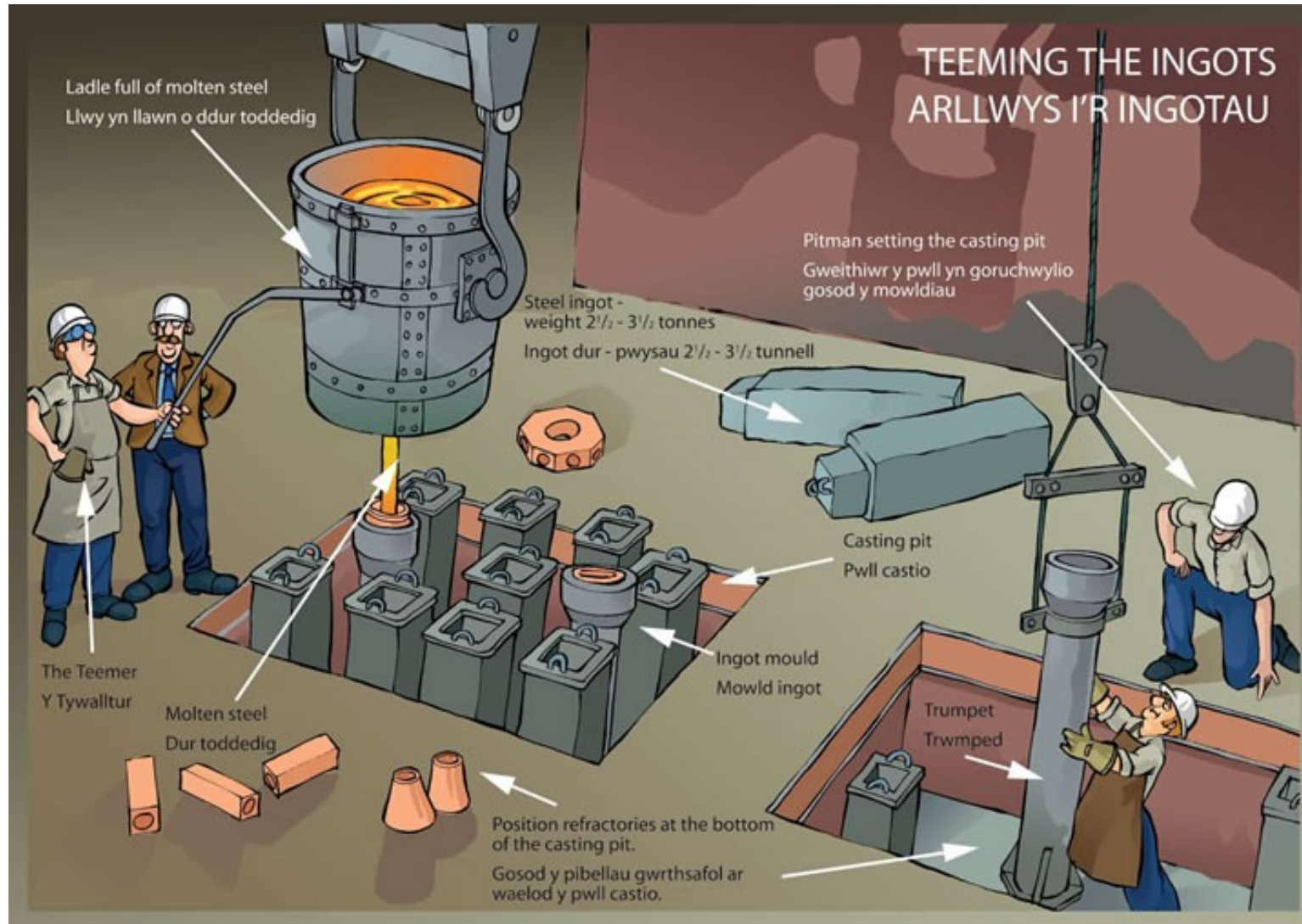
- **Hlavový nástavec:** má za cíl soustředit staženinu v hlavové části ingotu



- **Licí souprava**

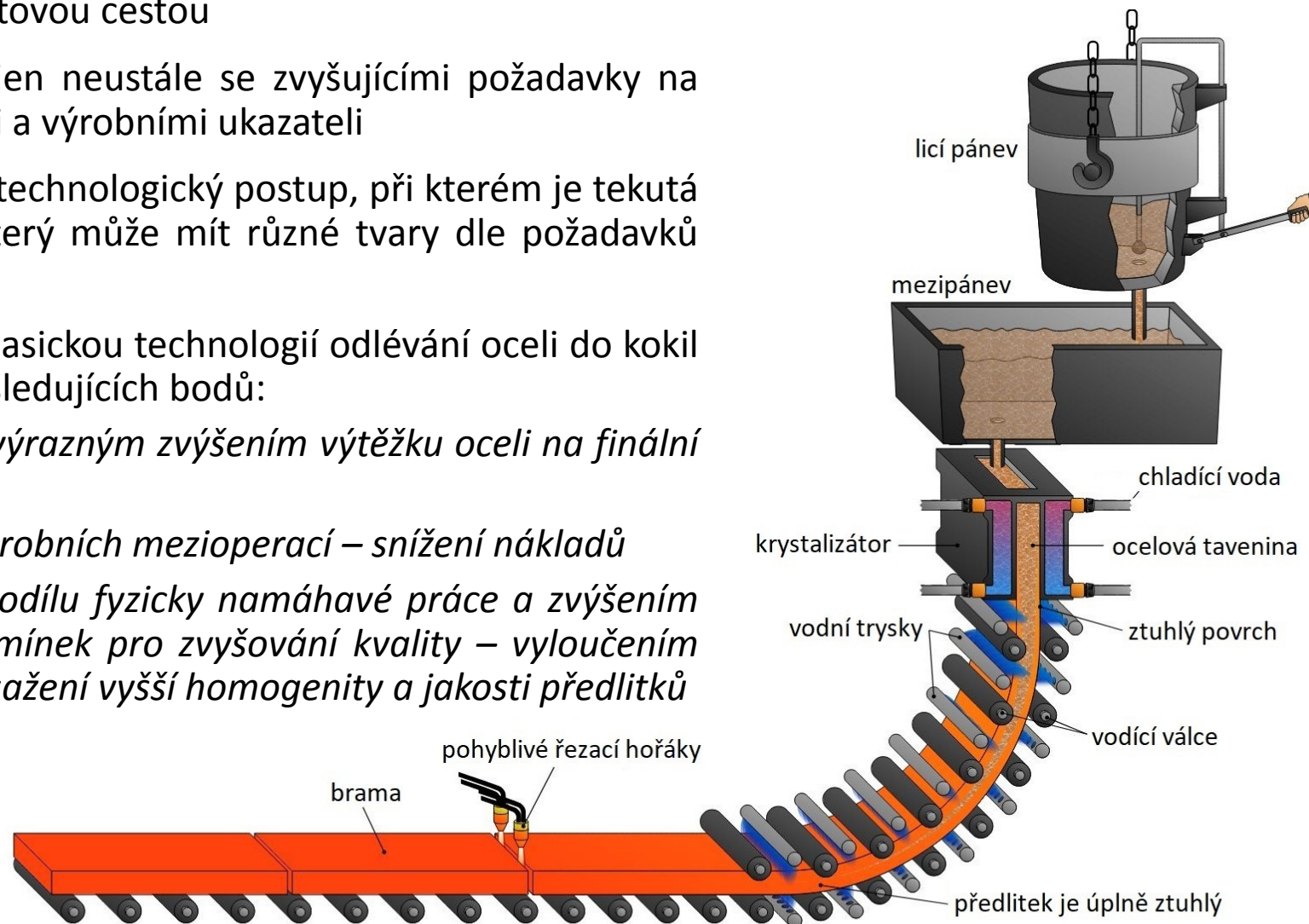


# Odlévání oceli do kokil



# Plynulé odlévání oceli (ZPO)

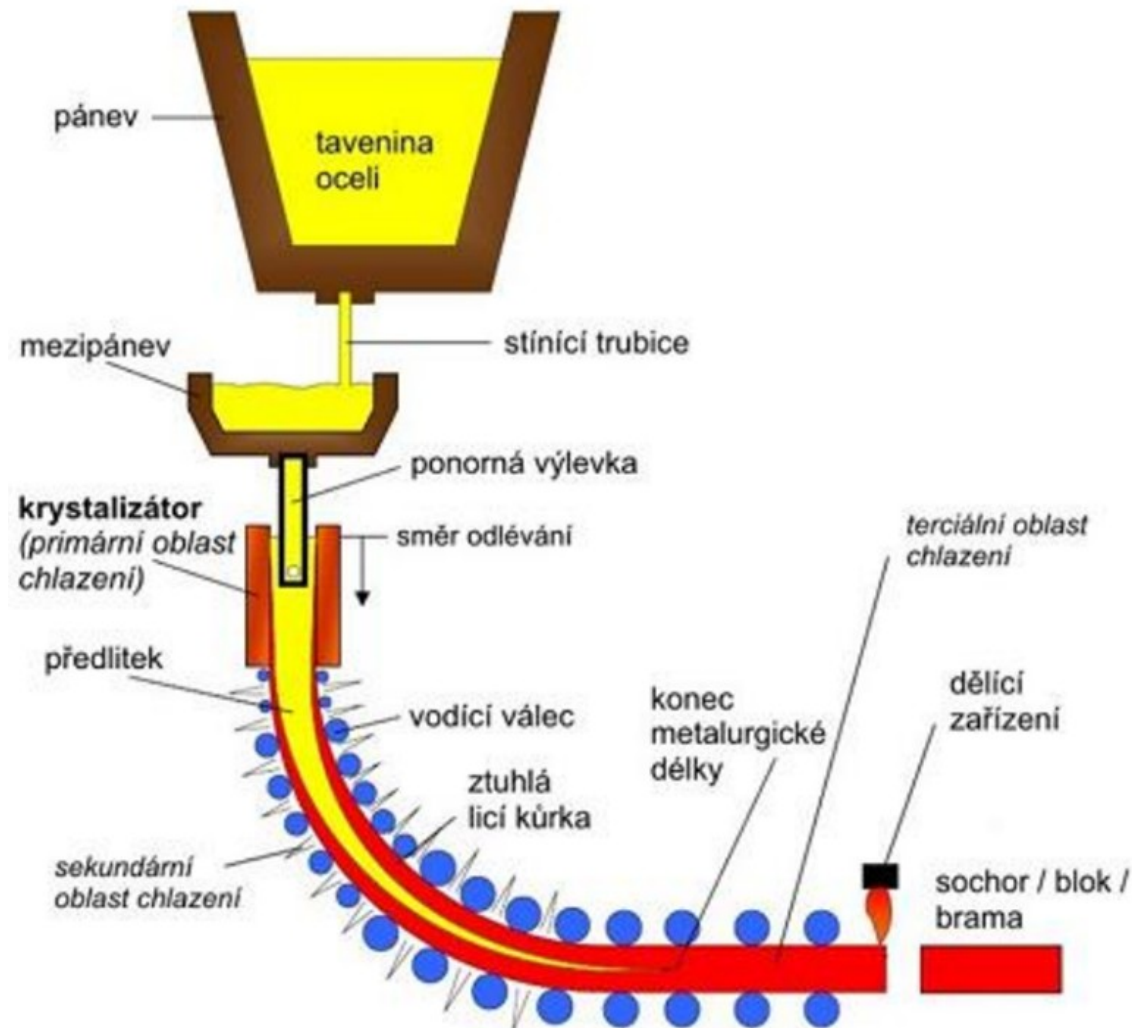
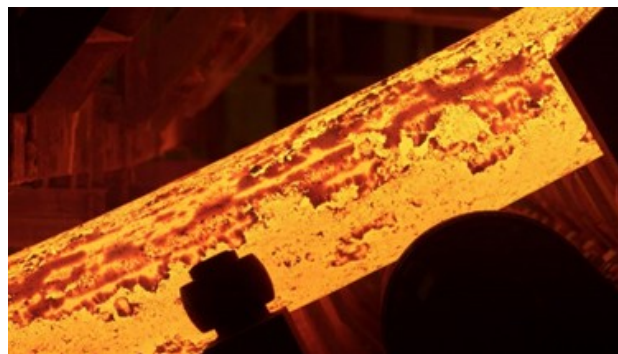
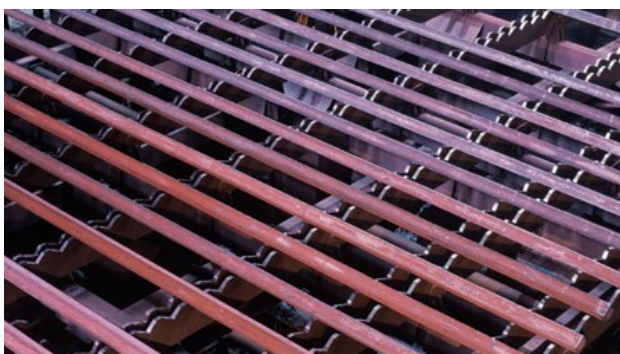
- ✓ Nahrazuje stávající postup odlévání oceli ingotovou cestou
- ✓ Rozšíření této technologie je způsobeno nejen neustále se zvyšujícími požadavky na kvalitu vyráběné oceli, ale také ekonomickými a výrobními ukazateli
- ✓ Princip plynulého odlévání lze definovat jako technologický postup, při kterém je tekutá ocel průběžně zpracovávána na předlitek, který může mít různé tvary dle požadavků pro následné tváření
- ✓ Při porovnání procesu plynulého odlévání s klasickou technologií odlévání oceli do kokil lze výhody plynulého odlévání shrnout do následujících bodů:
  - *Vysoká efektivnost výroby – způsobena výrazným zvýšením výtěžku oceli na finální výrobek a úsporu energie*
  - *Racionalizace živé práce – vypuštěním výrobních mezioperací – snížení nákladů*
  - *Vyšší úroveň kultury práce – snížením podílu fyzicky namáhavé práce a zvýšením úrovně bezpečnosti práce, zlepšení podmínek pro zvyšování kvality – vyloučením subjektivních vlivů na jakost výroby a dosažení vyšší homogenity a jakosti předlitků*



Zařízení pro plynulé odlévání oceli

# Plynulé odlévání oceli

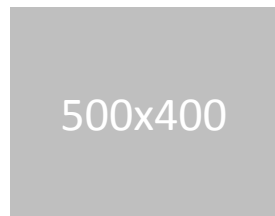
- ✓ Nahrazení odlévání oceli do kokil
- ✓ **Princip:** průběžné zpracování tekuté oceli na předlitky různých tvarů a velikostí





# Plynulé odlévání oceli

✓ Příklad různých typů předlitků a jejich názvosloví



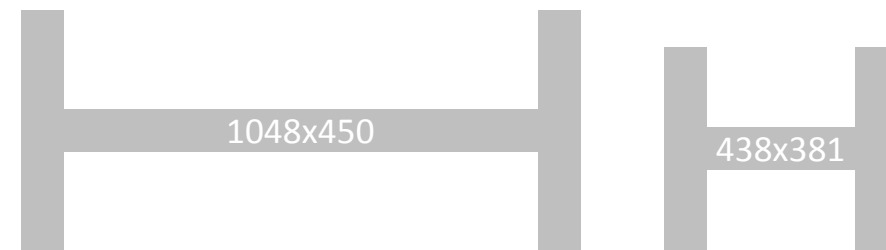
*Blok (Bloom)*



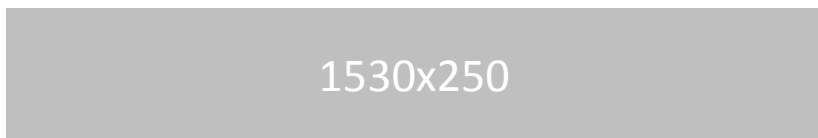
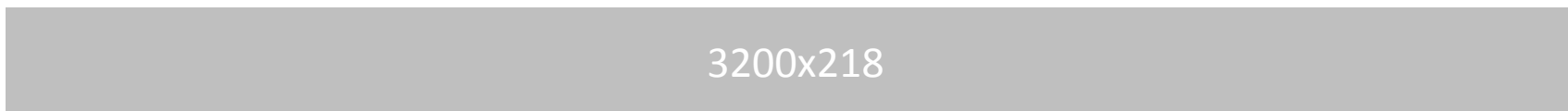
*Sochor (Billet)*



*Kulatiny – kruhové sochory (Rounds)*



*Klasické nosníkové profily (Conventional Beam Blanks)*



*Klasické a středně tlusté bramy (Conventional & Medium Thickness Slabs)*



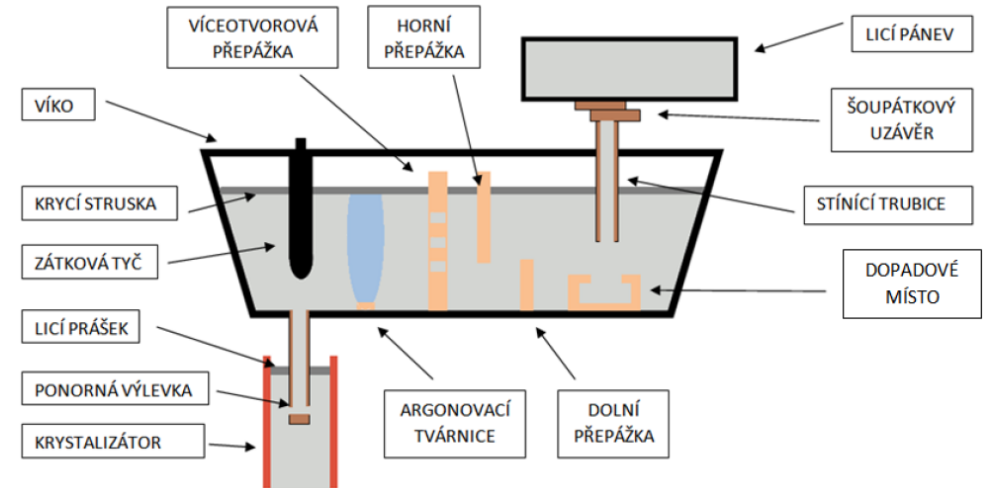
*Tenká brama (Thin Slab)*



*Přesný profil nosníku (Near-Shape Beam Blank)*

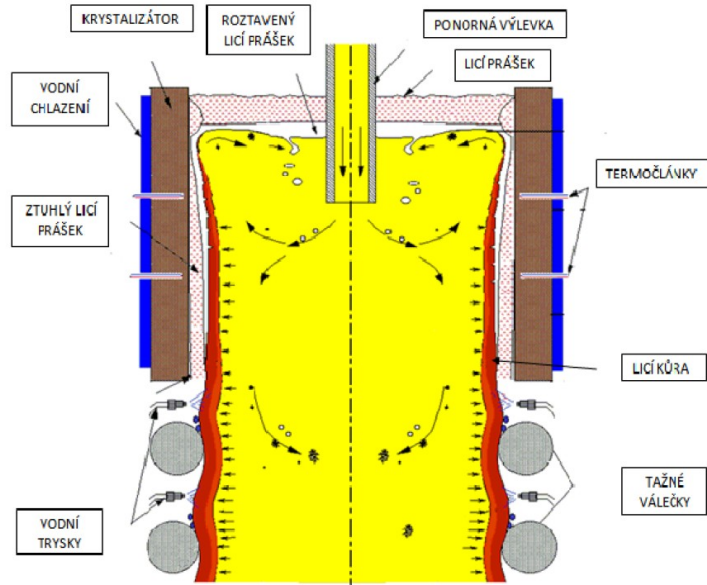
# Základní části ZPO

➤ **Licí stojan:** doprava tekuté oceli v licích pánvích na ZPO



➤ **Mezipánev:** dělení oceli do licích proudů, regulace toku oceli do krystalizátoru, usměrnění proudění, homogenizace, minimalizace rozstříku atd.

✓ **Primární zóna chlazení - Krystalizátor**



✓ **Sekundární zóna chlazení: chlazení předlitku vodními tryskami a vzduchem**



# Základní části ZPO

## ✓ Dělení předlitku



## ✓ *Terciární zóna chlazení:* ochlazování vzduchem



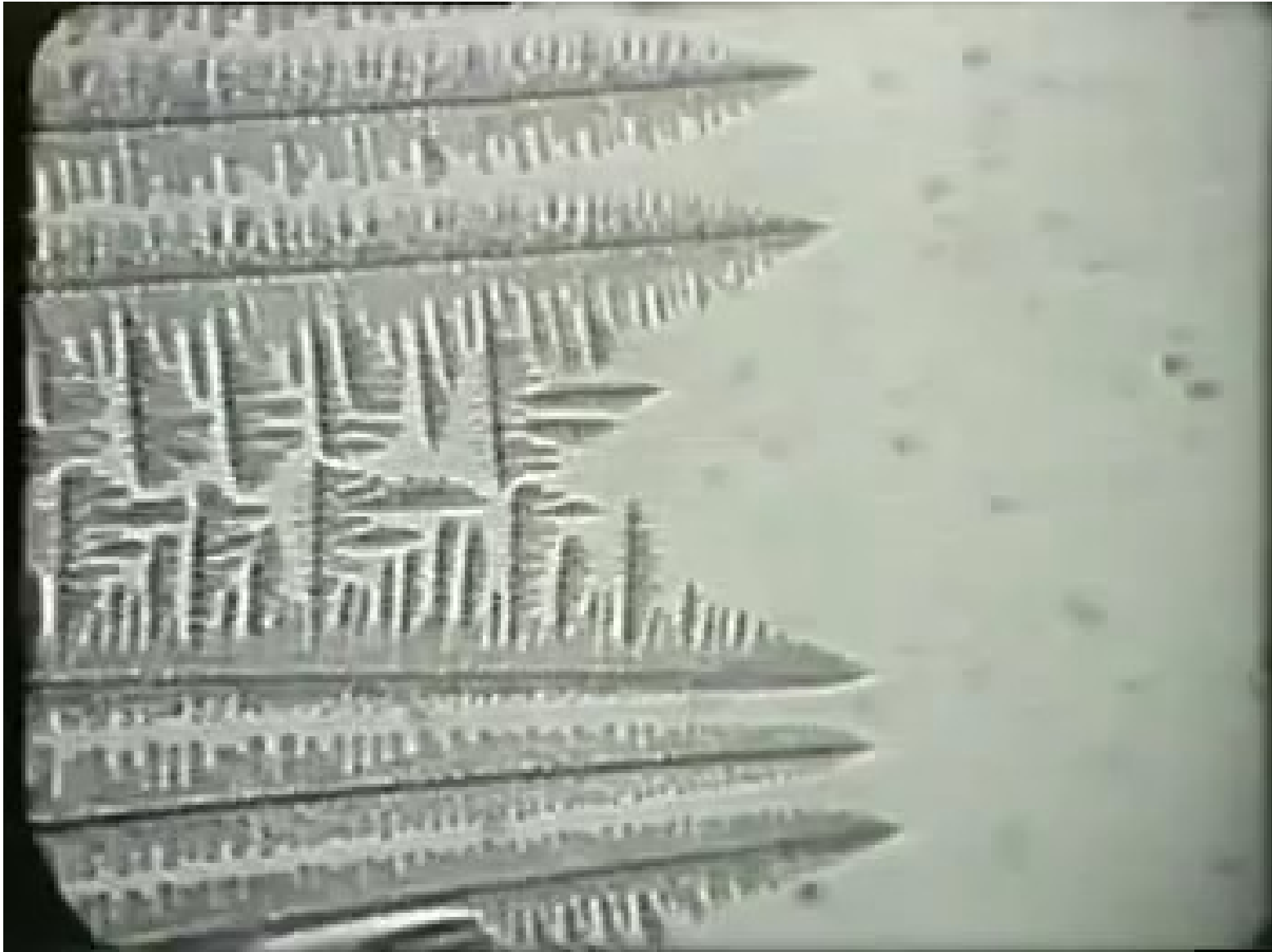






# Tuhnutí odlitků

- ✓ Po nalití oceli do kokily, resp. krystalizátoru, dochází k bezprostřednímu styku tekutého kovu s chladnou stěnou kokily anebo krystalizátoru, což má za následek pokles teploty oceli a počátek její krystalizace s následným tuhnutím a vznik charakteristické struktury odlitku nebo předlitku
- ✓ O stabilitě plynné, kapalně nebo tuhé fáze rozhodují termodynamické podmínky
- ✓ Čím nižší je hodnota volné entalpie, tím je soustava stabilnější, to znamená, že nad teplotou tuhnutí ( $T_s$ ) bude stabilní tavenina, pod teplotou tuhnutí bude stabilní tuhá fáze
- ✓ Změna volné entalpie při přechodu z taveniny do tuhé fáze je hnací silou, která určuje směr změny skupenství
- ✓ O vlastním začátku fázové změny rozhoduje kinetický faktor, je nutná přítomnost zárodka tuhé fáze
- ✓ Při homogenní nukleaci vzniká krystalizační zárodek přímo v tavenině, při heterogenní nukleaci se zárodky krystalů tvoří na cizích tuhých částicích přítomných v tavenině
- ✓ Při tuhnutí ocelových ingotů jde vždy o heterogenní nukleaci, příčinou je přítomnost velkého počtu cizích částic (vměstků), vzniku zárodků napomáhají i nerovnosti na povrchu kokily, které se z hlediska nukleace chovají podobně jako cizí částice v tavenině
- ✓ Ocel krystalizuje dendriticky, dendritická struktura vzniká, jestliže má tavenina v blízkosti fázového rozhraní záporný teplotní gradient
- ✓ Charakteristickým jevem při dendritické krystalizaci je vysoká krystalizační rychlost



*Dendritický růst krystalů*

# Tuhnutí oceli

- ✓ Proces krystalizace a tuhnutí reálného ocelového ingotu je značně složitý. V jeho průběhu dochází k rozvoji chemických, tepelných, kinetických a fyzikálně-chemických procesů, které výrazným způsobem ovlivňují nejen růst a tvar krystalů, ale také jejich rozměry a orientaci.
- ✓ Struktura ocelových ingotů je charakterizována třemi krystalizačními zónami:
  - **I. zóna** - tzv. *licí kůra*, drobné rovnoosé krystaly v povrchových vrstvách ingotu
  - **II. zóna** - kolumnární, protažené krystaly ve směru odvodu tepla
  - **III. zóna** - střední část ingotu tvořená hrubými různě orientovanými krystaly
- ✓ Na průběh tuhnutí ingotu a jeho strukturu má vliv celá řada faktorů:
  - chemické složení
  - režim ochlazování
  - tepelné zpracování
  - tvářeni

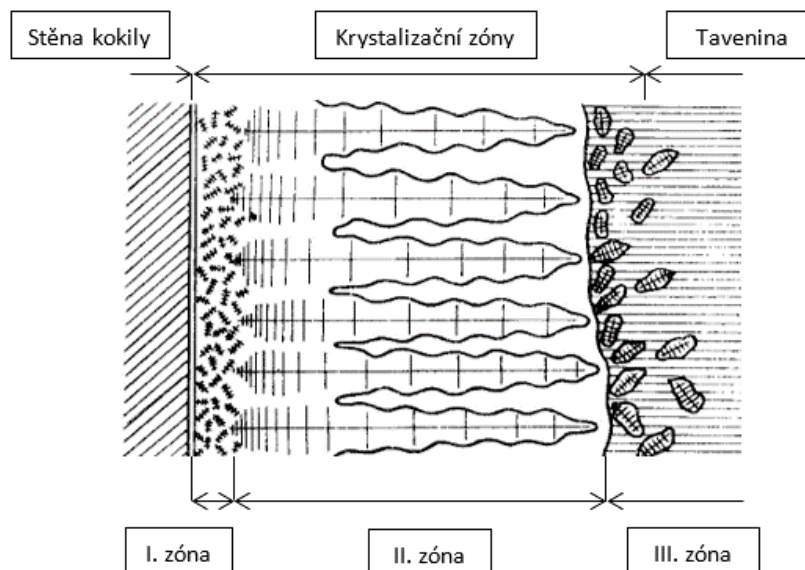
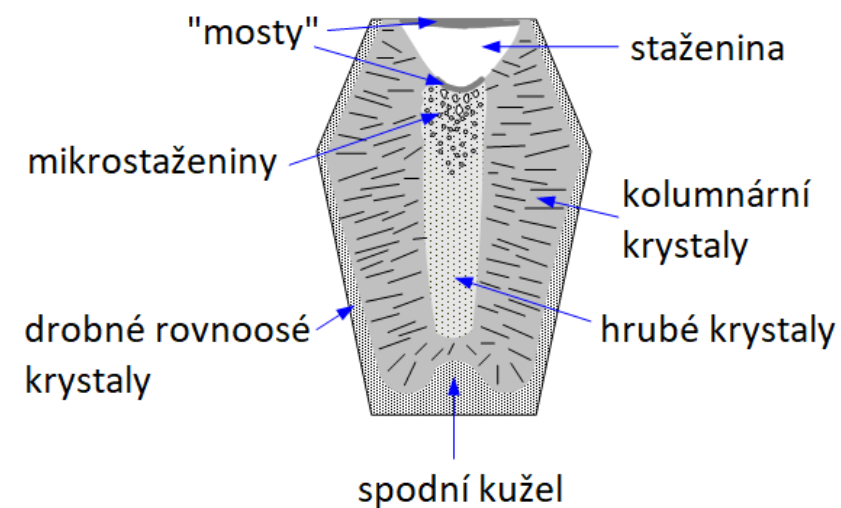


Schéma struktury krystalizačních zón ocelového ingotu



Struktura ztuhlého ocelového ingotu

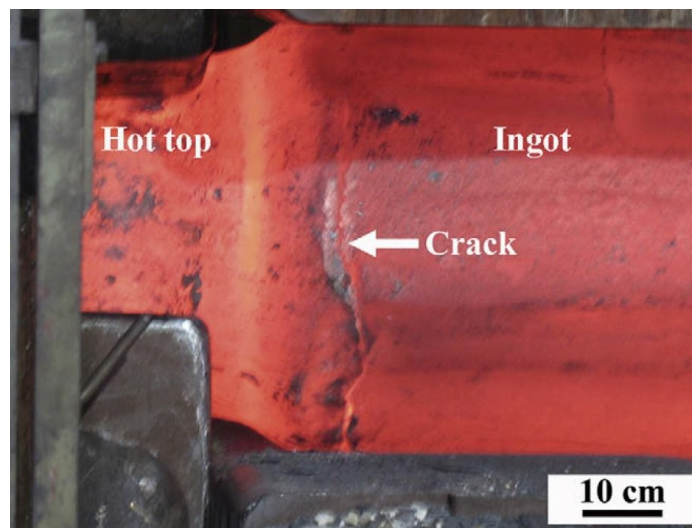
# Vady oceli

✓ V průběhu odlévání oceli do kokil může docházet ke vzniku vad ingotů, které lze rozdělit do následujících skupin:

- vady povrchové (vnější)
- vady vnitřní

✓ Také v průběhu odlévání oceli na zařízení plynulého odlévání může docházet ke vzniku vad předlitku, které lze rozdělit do následujících skupin:

- povrchové (vnější) vady
- vnitřní vady
- tvarové vady



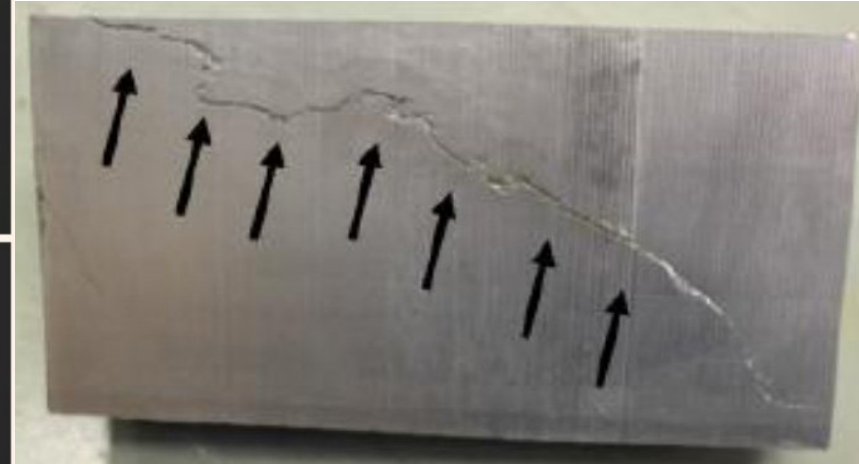
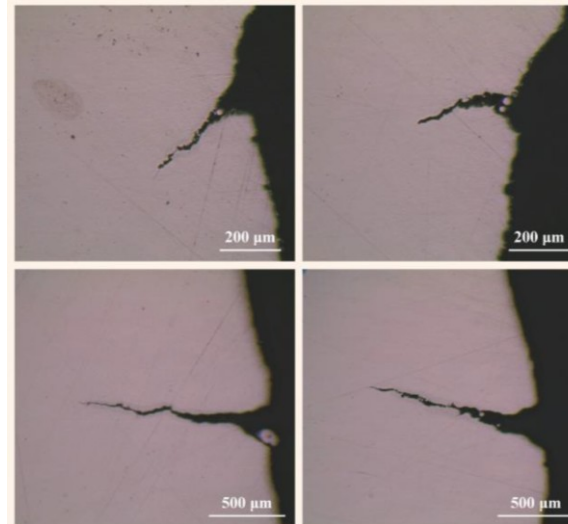
Ukázky vad oceli

# Vady oceli odlévané do kokil

## ✓ Vnější vady



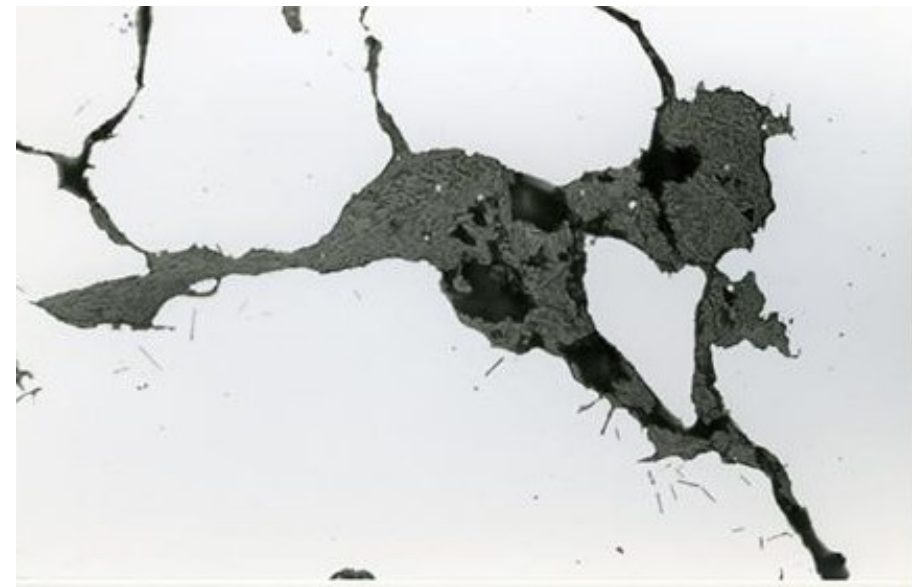
➤ *Vnější šupiny (pleny)*



➤ *Trhliny*

# Vady oceli odlévané do kokil

## ✓ Vnější vady



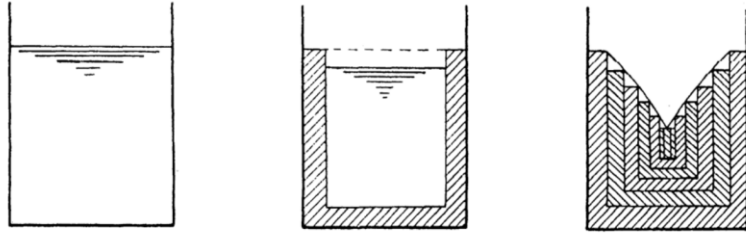
➤ *Strusková hnízda*

✓ *Dalšími vnějšími (povrchovými) vadami jsou například:*

- *Praskliny*
- *Zavaleniny*
- *Podpovrchové bubliny*

# Vady oceli odlévané do kokil

## ✓ Vnitřní vady



a) kokila naplněná ocelí b) počátek tuhnutí ingotu c) konec tuhnutí ingotu

### ➤ Staženiny



### ➤ Řediny (mikrostaženiny)

## ✓ Dalšími vnitřními vadami jsou například:

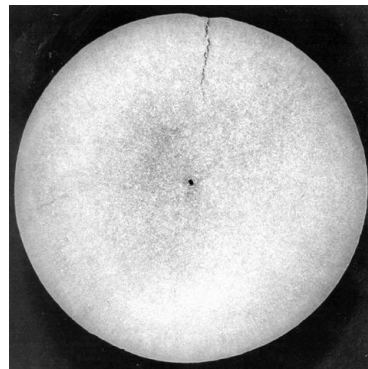
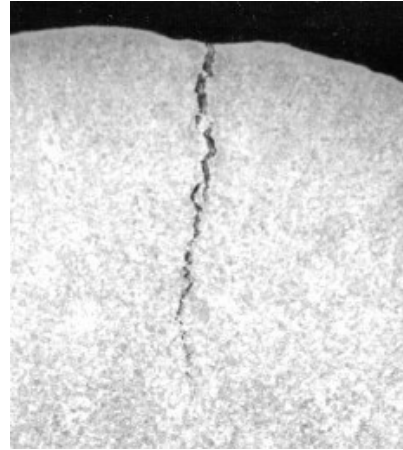
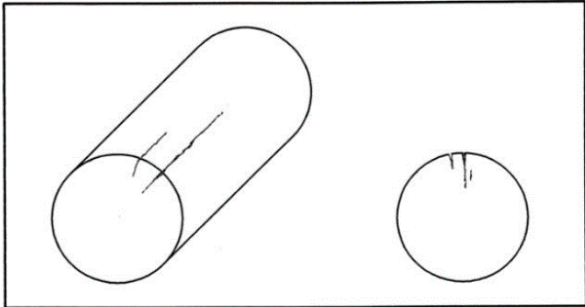
- Vycezeniny
- Vločky



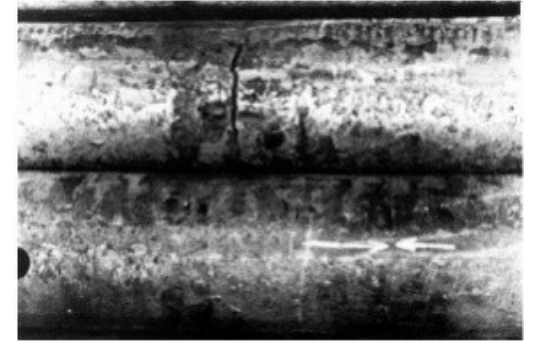
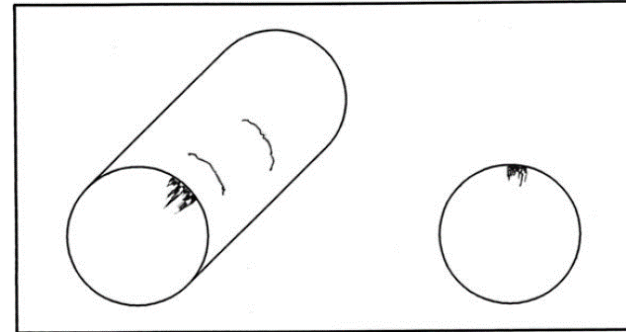
### ➤ Sulfidické a oxidické vměstky

# Vady plynule litých předlitků

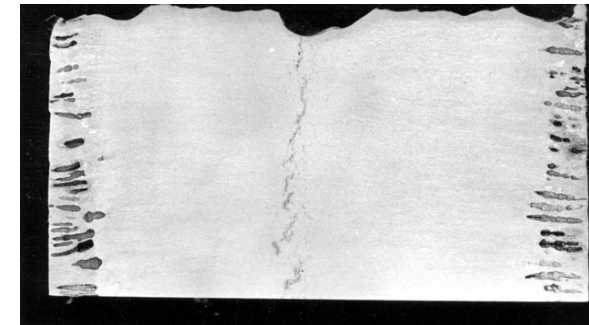
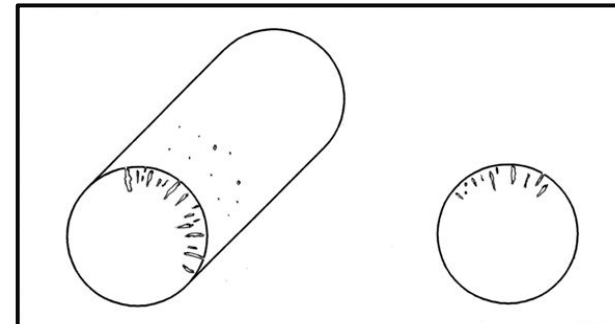
## ✓ Povrchové vady



➤ *Podélné trhliny*



➤ *Příčné trhliny*

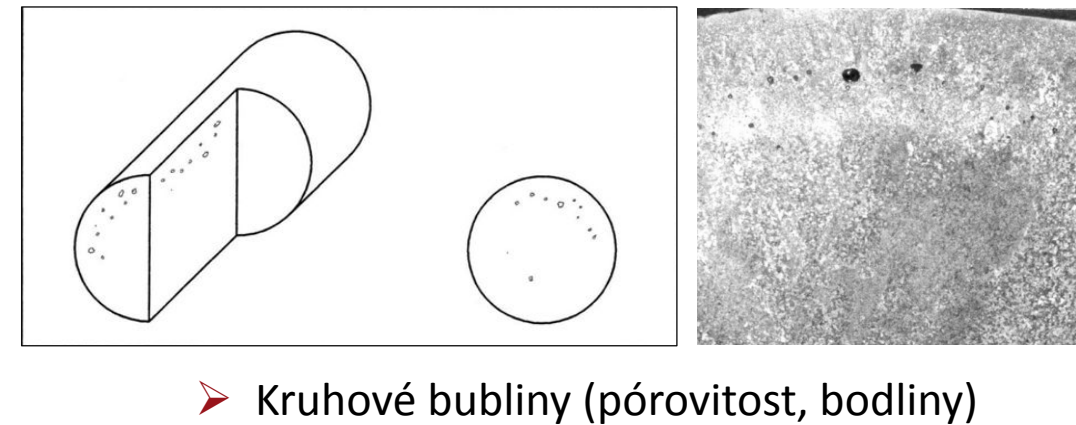
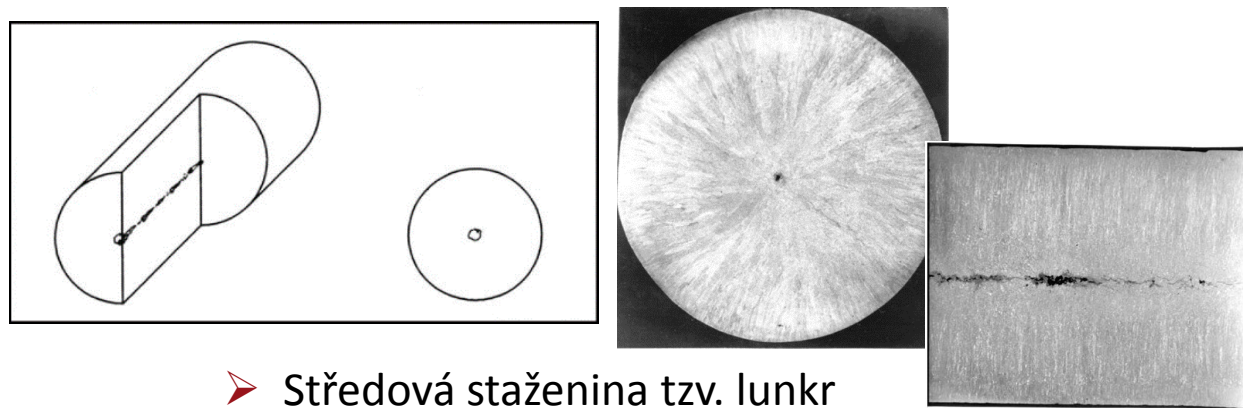
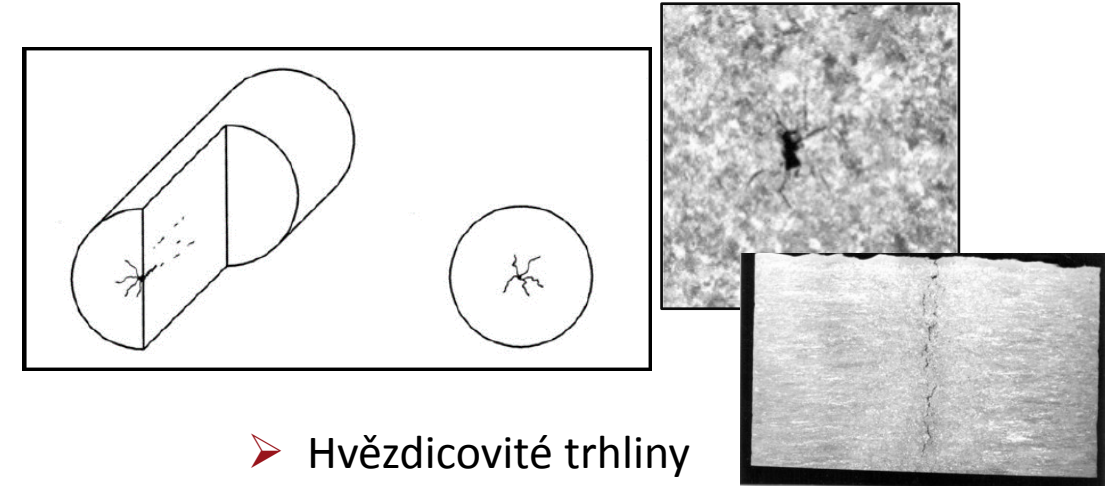
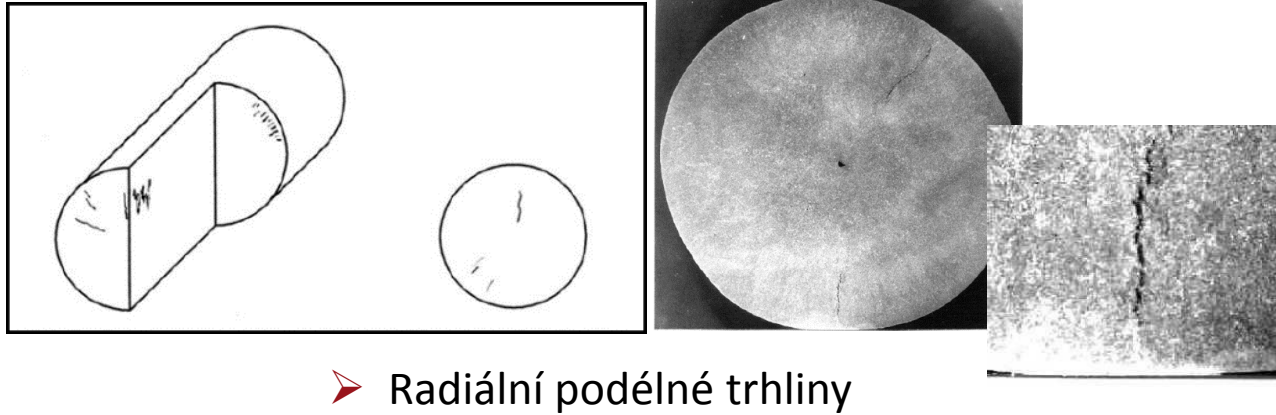


➤ *Plástvové bubliny*



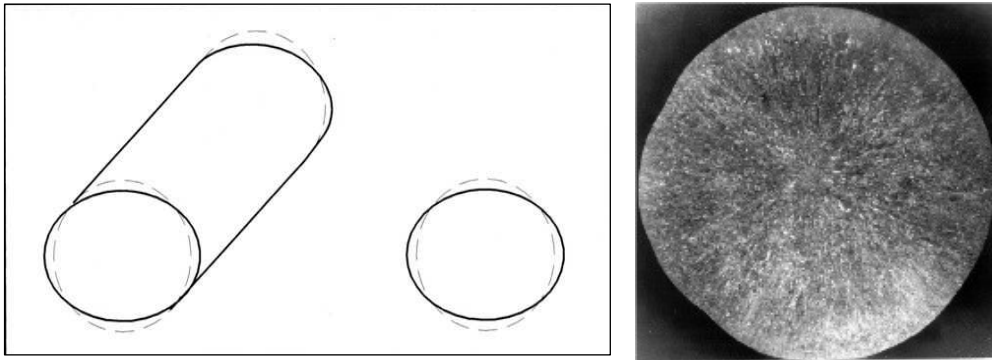
# Vady plynule litých předlitků

## ✓ Vnitřní vady

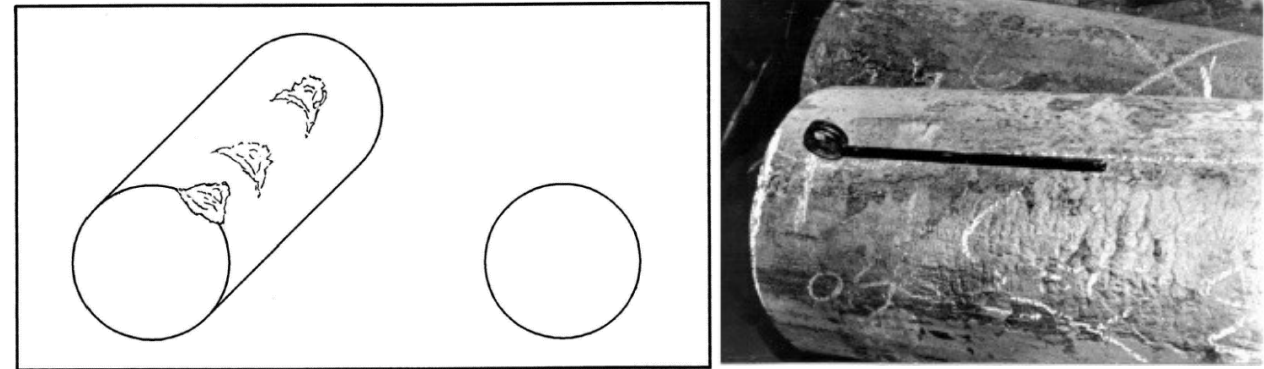


# Vady plynule litých předlitků

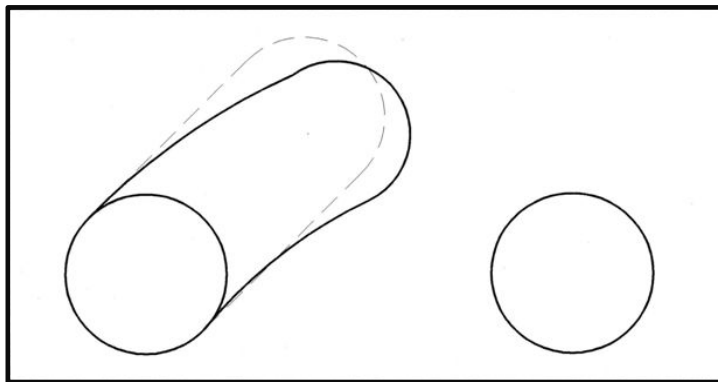
## ✓ Tvarové vady



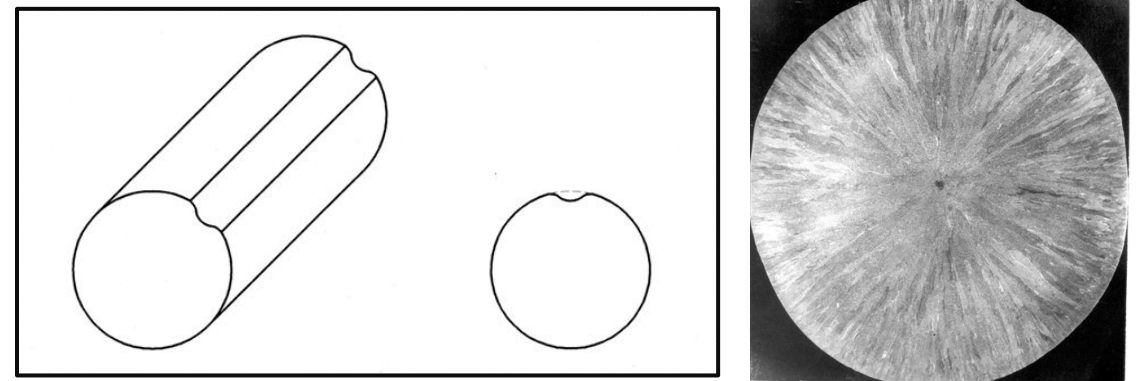
➤ *Ovalita průřezu*



➤ *Příčné lokální vborcení*



➤ *Prohnutí*



➤ *Podélné vborcení*



# Použité zdroje

- ✓ *Bothe O.: Strojírenská technologie II pro strojírenské učební obory. 6., upr. vyd. Praha: Sobotáles, 1999. ISBN 80-85920-58-1.*
- ✓ Michalek K., Socha L., Adolf Z., Bažan J.: *Rafinace a odlévání oceli: Studijní opora.* VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2013
- ✓ Bažan J.: *Lití a krystalizace oceli: Studijní opora.* VŠB-TU Ostrava, Ostrava 2008
- ✓ Iron & Steel [online]. Dostupné z: <https://www.viktormacha.com/galerie/iron-and-steel-11/>
- ✓ Brymbo Steelworks [online]. Dostupné z: [http://old.wrexham.gov.uk/english/heritage/brymbo\\_steelworks/go\\_large\\_images/no\\_8.htm](http://old.wrexham.gov.uk/english/heritage/brymbo_steelworks/go_large_images/no_8.htm)