

Výrobní technologie (2VT)

Přednáška č. 4

Vytloukání a tryskání odlitků, technologičnost konstrukce odlitku, NDT, vady odlitků, RP metody, simulace slévárenských procesů

doc. Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie, odbor slévárenství

e-mail: zadera@fme.vutbr.cz

Vytloukání odlitek

- nedílná součást výroby odlitek – uvolnění odlitku z formy
- 20-35% celkových nákladů
- polovina práce dělníků spojená s pouhou manipulací s odlitky
- špatné hygienické poměry – hluk, vibrace, prašnost
- agenturní pracovníci
- většinou zastaralé provozy – nutnost modernizace
- brousící automaty – nutnost programování – vyšší sériovost

Vytloukací rošty

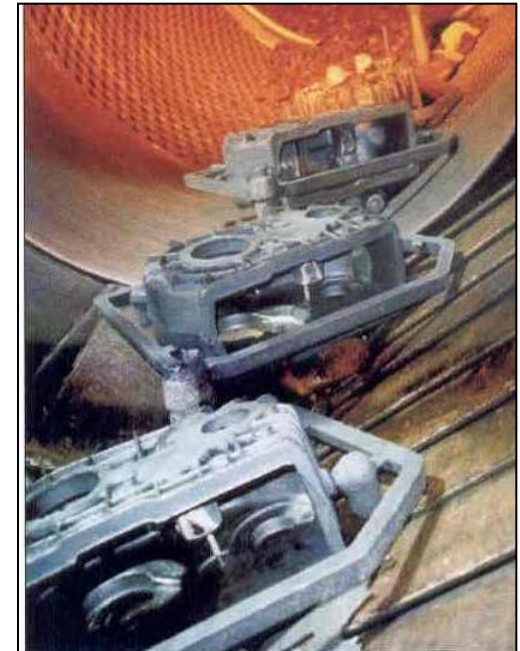
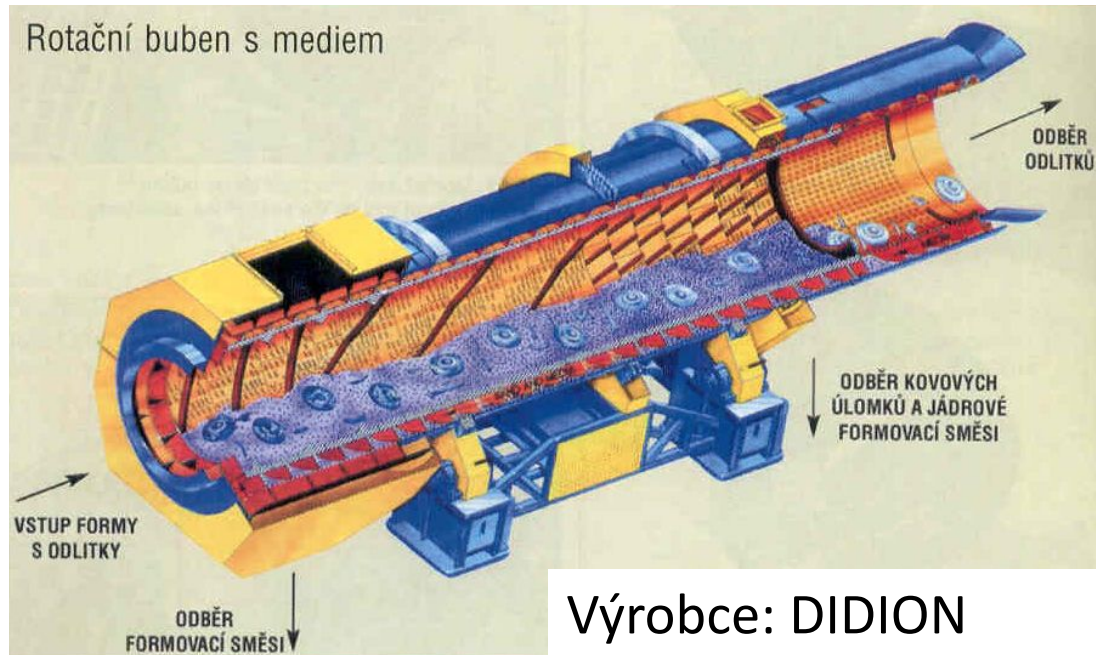
Jednoduché účinné stroje, vyšší hlučnost a prašnost, možnost poškození horkých odlitků, mísení jádrové a formovací směsi



Stroje s usměrněnou vibrací –
foto www.sandteam.cz

Rotační uvolňovací (vytloukací) bubny

Použití u automatických linek – vysoký výkon, nižší hlučnost a prašnost, šetrnější k odlitkům, homogenizace a chlazení směsi, vyšší cena



Dokončovací operace

- čištění povrchu - tryskání
- oddělování vtoků a nálitků – odlamování, upalování
- apretura (odstraňování přebytečného kovu z povrchu odlitku)
- kontrola (rozměrová, mechanické vlastnosti, NDT atp.)
- tepelné zpracování
- opravy - svařování
- povrchová úprava – nátěr (polévání, namáčení, stříkání)
- expedice

Čištění povrchu odlitků

- vodní tryskač
- chemicky - louhování
- za sucha
 - tlakovzdušné tryskače (směs vzduchu a písku)
 - tryskače s metacími koly
 - kontinuální tryskače (bubnový, závěsný, s článkovým dopravníkem, karuselový, v otočných koších)
 - tryskače s přerušovaným cyklem (závěsný, pásový, stolový, komorový)
- omílání – měkké materiály např. Al (v bubnech, vibrační)

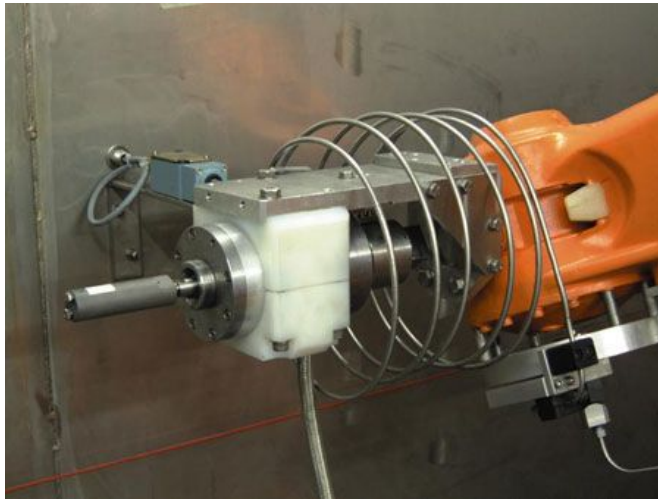
Chemické čištění

- použití pro přesné a velmi složité odlitky – metoda přesného lití na vytavitelný model
- odstraňování jader zalitých v kovu
- ponoření odlitku do taveniny NaOH (400 – 530°C)
- doba louhování je 4 – 6 minut
- metoda vhodná pro všechny slitiny, které jsou v daném louhu nerozpustné



Louhovací linka v PBS Velká Bíteš
<http://www.pbsvb.cz/sluzby-zakaznikum/pr-esne-odlitky/louhovani-odlitku>

Vodní tryskače



- velká účinnost čištění (použití i pro Al)
- dnes ve slévárenství ústup - chemizace výroby (pryskyřice - výluhy)
- princip - výtok kapaliny velkou rychlostí z trysky

- voda - tryskáčský prostředek + medium pro odsun materiálu
- slévárenství - vysoké provozní náklady



<https://www.gamin.c>

Tryskače tlakovzdušné

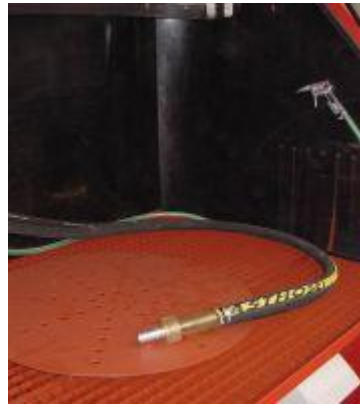


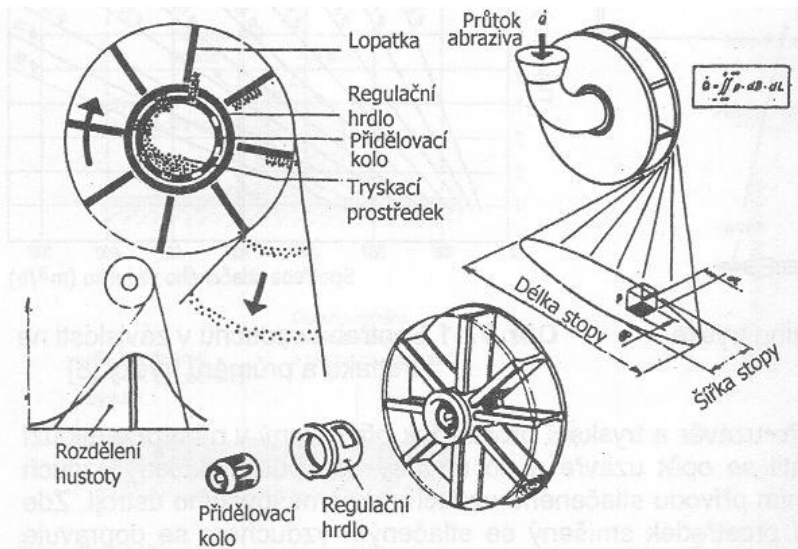
Foto
<http://www.oteco.cz>
/

Ruční injektorové
kabiny

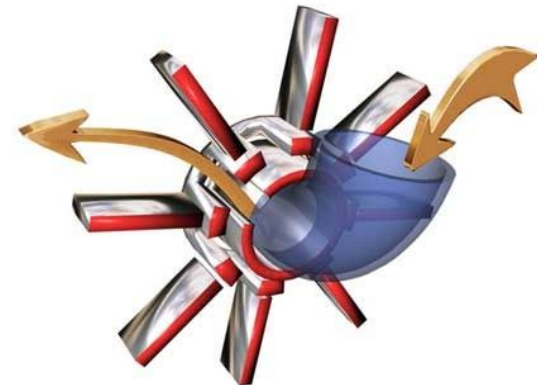


Tlakové
kabiny

Tryskače s metacími koly

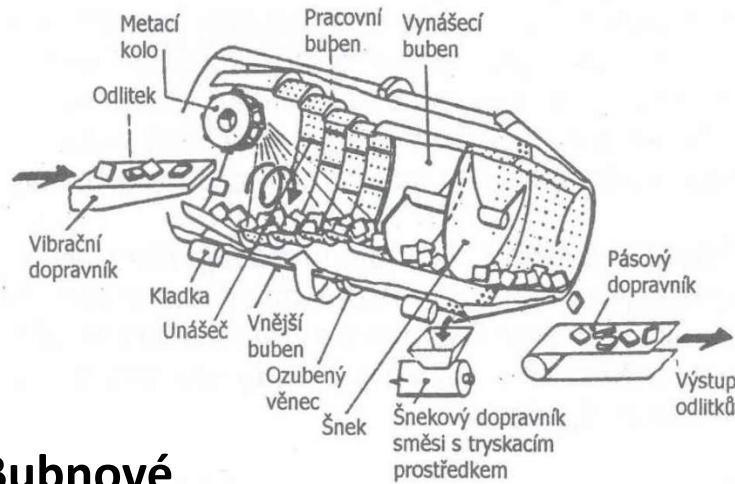


- nejpoužívanější technologie
- princip - vrhání velkého množství tuhých částic na povrch odlitku
- používá se k odstranění formovací směsi i k odjádrování
- nutnost důsledné separace tryskacího prostředku

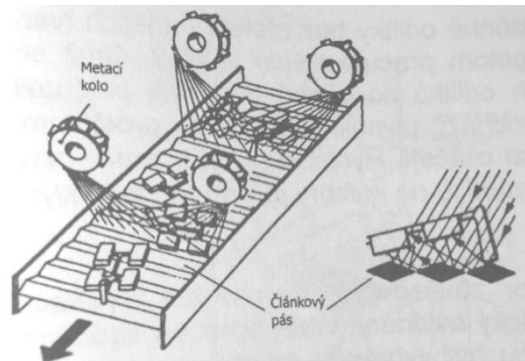


- průběžné tryskače (kontinuální, bubnové)
- dávkové (pásové stolové), závěsné (komorové, průběžné)

Průběžné tryskače



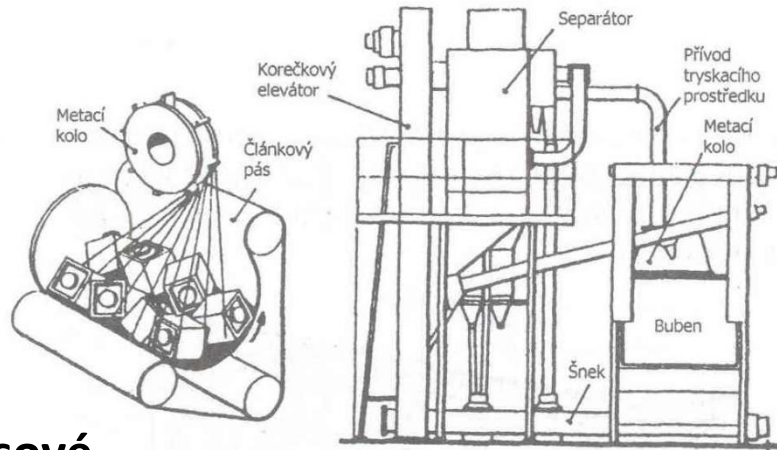
Bubnové



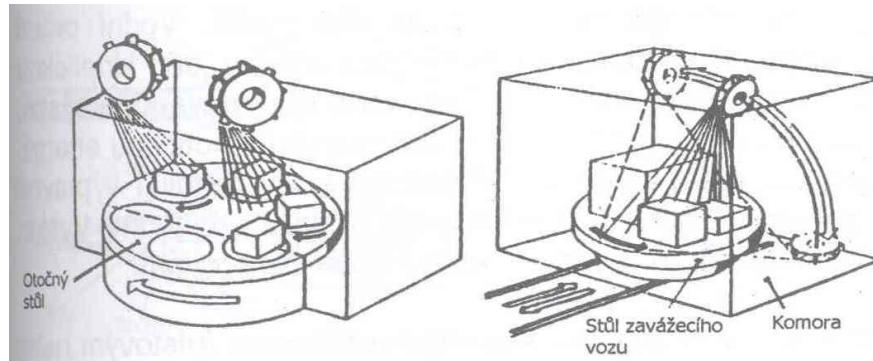
Kontinuální tryskač s článkovým dopravníkem

- použití u automatických formovacích linek
- drobné odlitky
- možnost tryskání odrazem

Dávkové tryskače



Pásové



Stolové



Závěsné tryskače



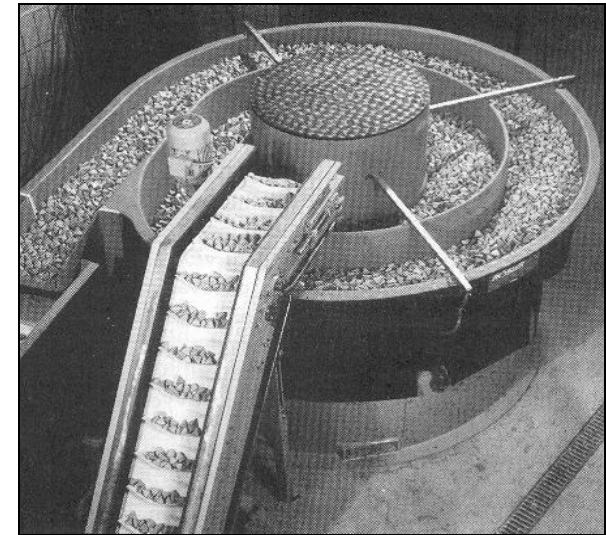
Omílání odlitků

- pro drobné odlitky typu s vysokými požadavky na jakost povrchu
- slitiny s nižší tvrdostí (Al, Zn)
- zvýšení účinnosti – omílací tělíska (keramika, litina)
- hluk, vibrace

dávkové



průběžné omílání



NDT – nedestruktivní kontrola odlitků

Největší množství vad v odlitcích způsobují ultrazvuk, magnet a rentgen.

(A. Záděra 2014)

NDT – nedestruktivní kontrola odlitků

Rozdělení metod NDT:

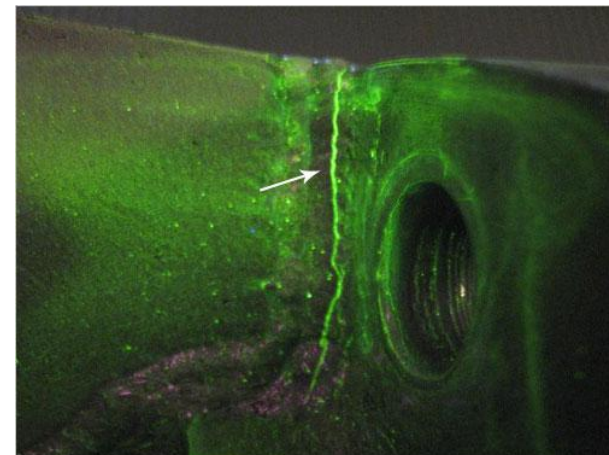
- Vizuální kontrola – oko, endoskop, kamera
- Kapilární defektoskopie
- Magnetická defektoskopie
- Ultrazvuková defektoskopie
- Kontrola rentgenem

Kapilární defektoskopie

- zkouška využívá působení kapilárních sil, které umožňují vniknutí vhodných indikačních kapalin – penetrantů do vad – následně jejich zviditelnění detekční látkou - vývojka
- indikace povrchových vad (trhliny, dutiny, póry)
- použití i u nemagnetických materiálů



barevná indikace

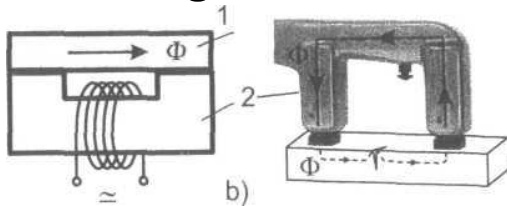


fluorescenční metoda – UV lampa

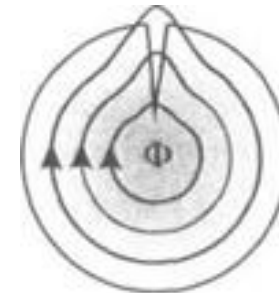
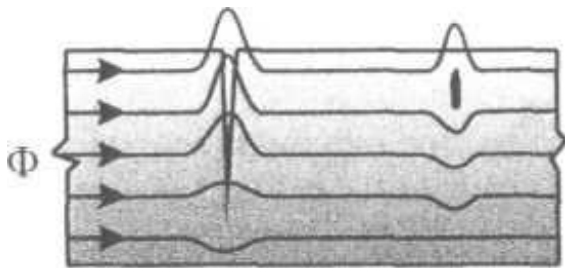
Magnetická defektoskopie

Princip - změna magnetického toku v místě vady

Podélné (pólové)
zmagnetizování



Příčné (cirkulární)
magnetizování



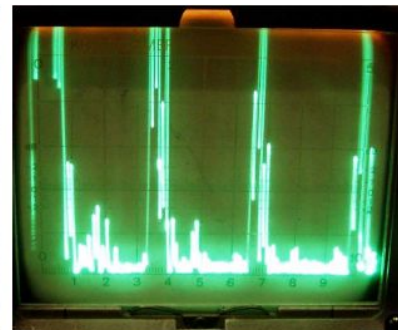
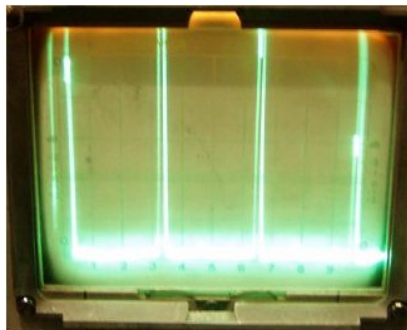
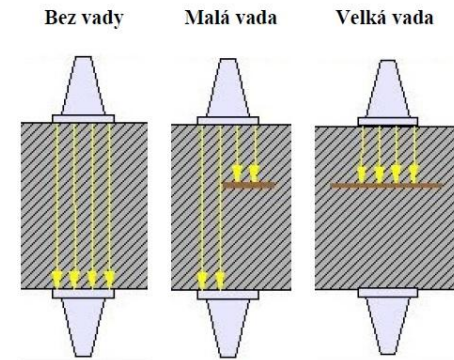
<http://www.tediko.cz/index.php?sub=02cz&lang=cz&p=0207c>

Ultrazvuková defektoskopie

Princip - založená na změnách propustnosti a odrazivosti ultrazvukové vlny vlivem nečelivosti materiálu

Metoda průchozí

- možnost přiložit sondu ze dvou stran
- použití u materiálů s nižším útlumem

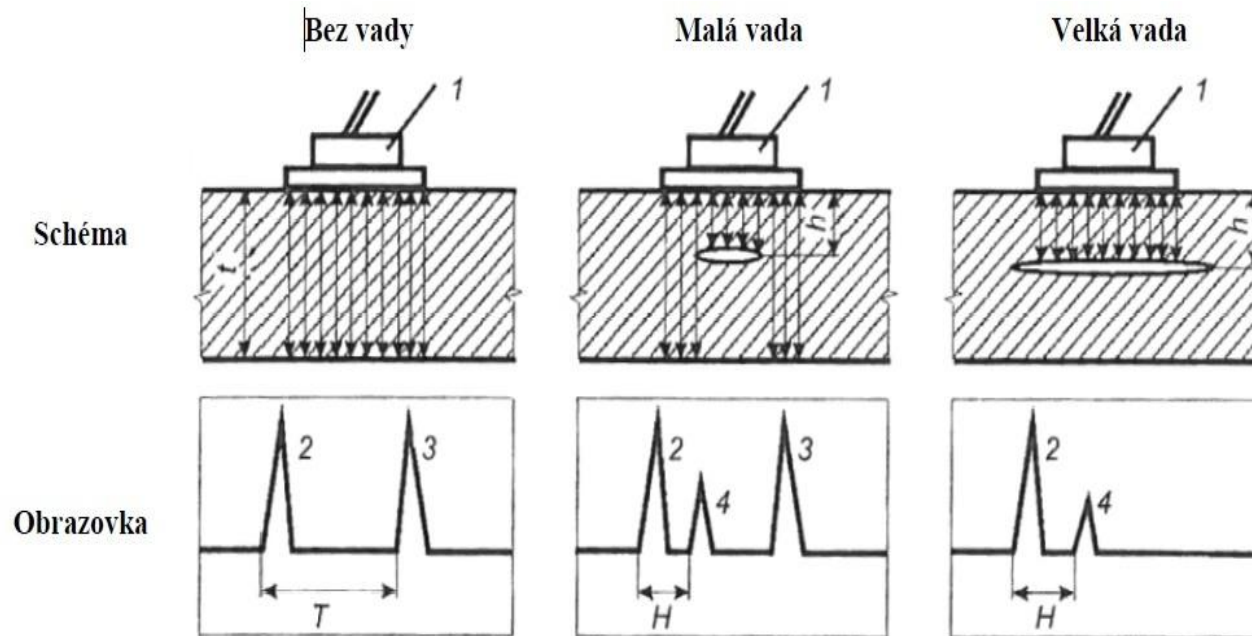


Pro porovnání: echa ocelového etalonu.
Vlevo přímá sonda 2MHz, vpravo přímá sonda 1MHz



Ultrazvuková defektoskopie

Metoda odrazová



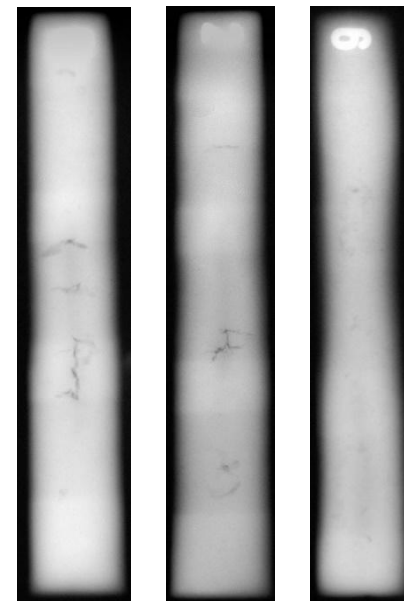
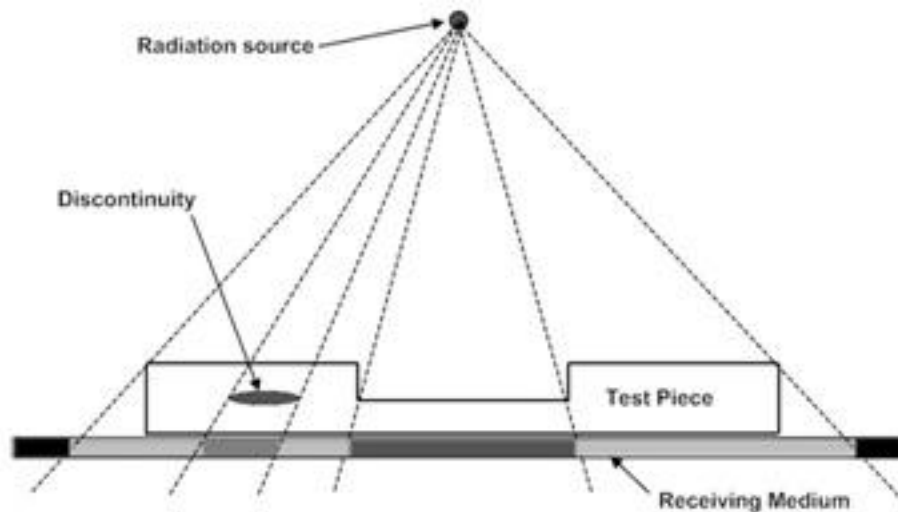
T - doba odpovídající dvojnásobné vzdálenosti tloušťky materiálu

H - doba odpovídající dvojnásobné vzdálenosti vady od povrchu

Rentgenová defektoskopie

Princip - prozáření materiálu ionizačním zářením

- vyhodnocení zeslabení záření při průchodu odlitkem
- zeslabení v důsledku strukturních povrchových a pod povrchových defektů



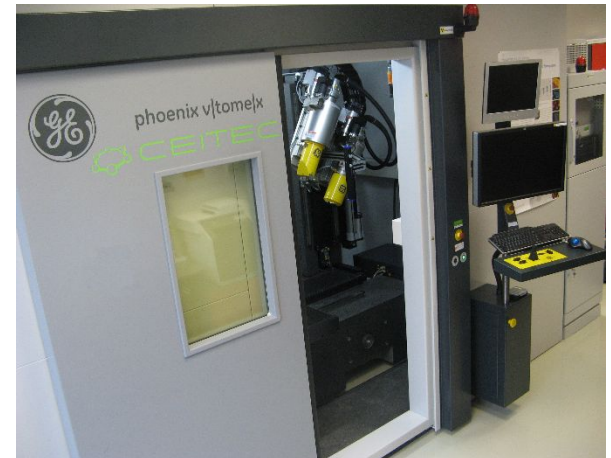
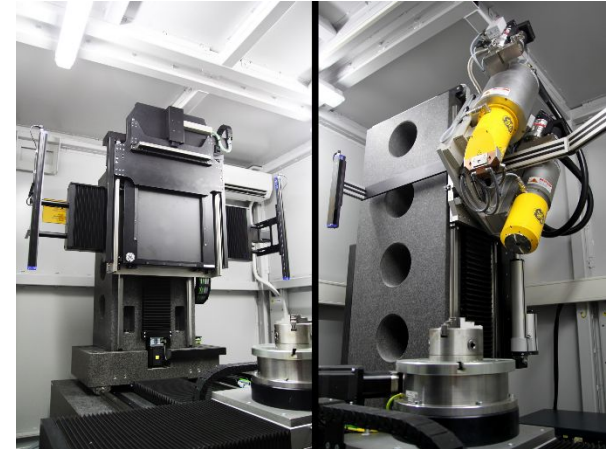
Rentgenová defektoskopie



přenosný
radiograf



rentgenová kontrola s počítačovou
tomografií



Ceitec

<http://www.ctlab.cz/home/>

Technologičnost konstrukce odlitku

Dokonalá konstrukce tvoří dokonalý odlitek

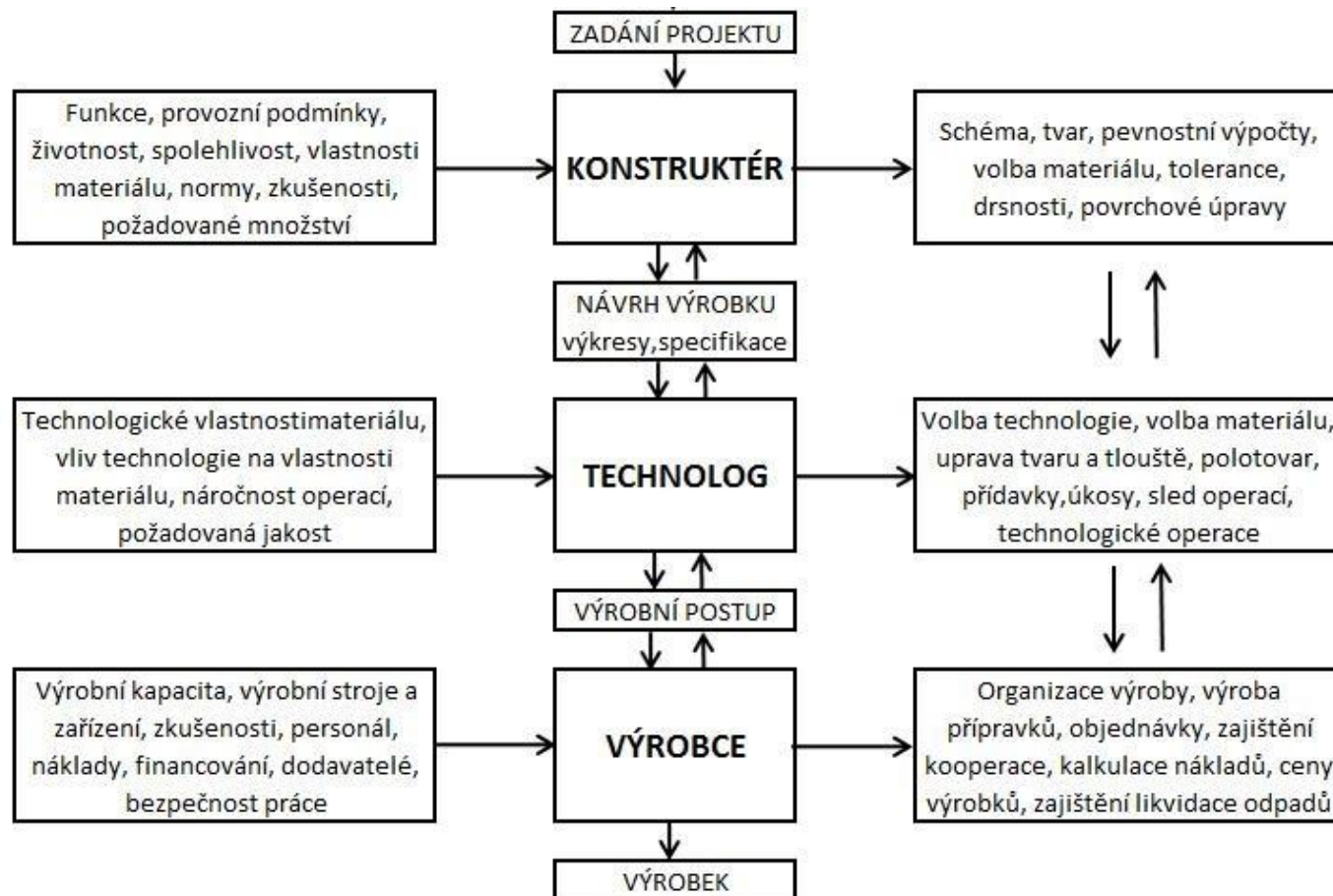
!!!

Ideální konstrukce - kompromis mezi technickými požadavky, funkcí, tvarem, pevností, jakostí, životností, spolehlivostí, na straně jedné a technologickými možnostmi a ekonomickou výrobou na straně druhé.

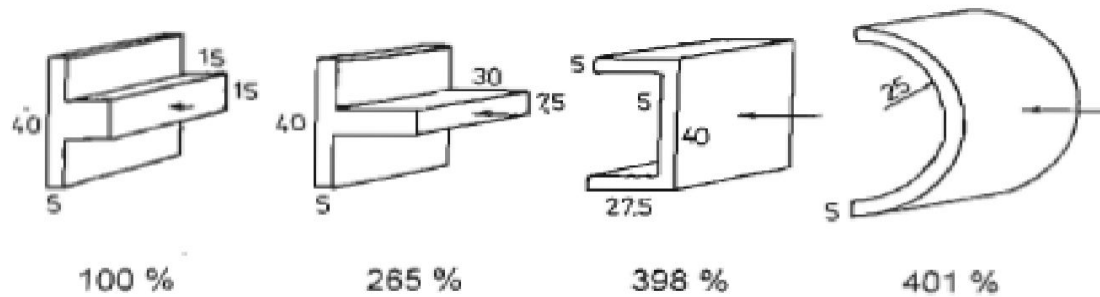
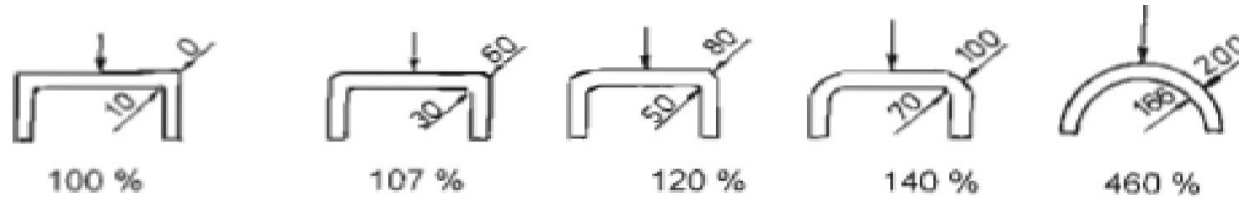
Požadavky na konstrukci

- jednoduchý tvar odlitku
- vyhovující technologické vlastnosti materiálu (slévatelnost, obrobitelnost), nízká cena, spotřeba materiálu
- přizpůsobení konstrukce odlitku technologii výroby (tloušťka stěn, otvory, dutiny, drážky, úkosy, žebra, dělicí plochy, zaoblení atd.)
- přiměřené požadavky na drsnost, přesnost, výskyt vad.

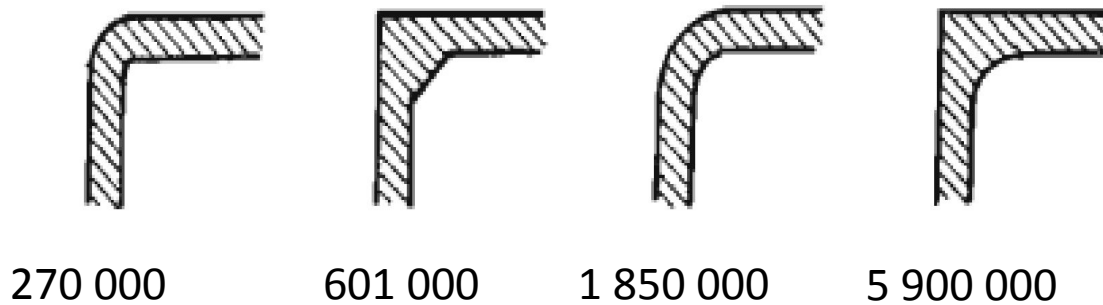
Vztahy ovlivňující konstrukci odlitku



Technologičnost konstrukce odlitku - příklady

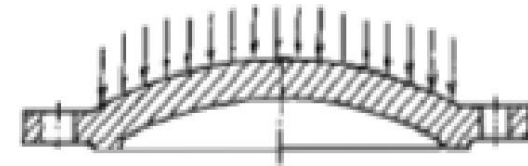
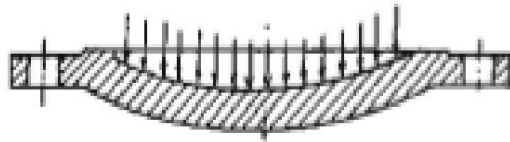


porovnání s
ohledem na
tuhost

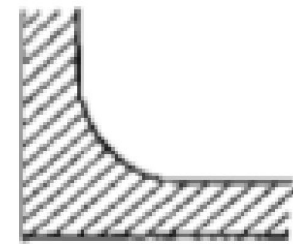
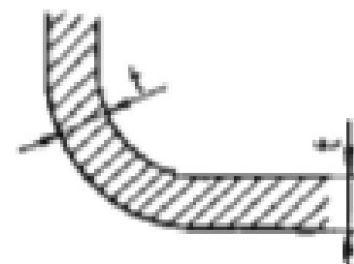
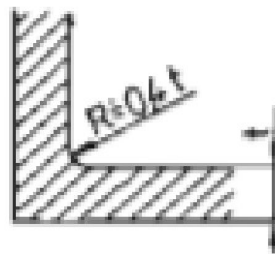
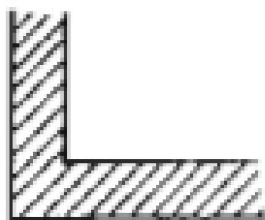
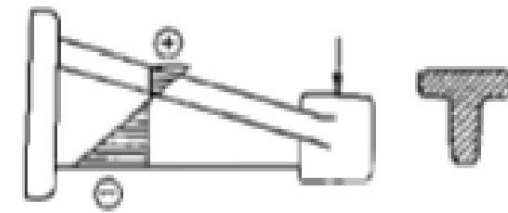
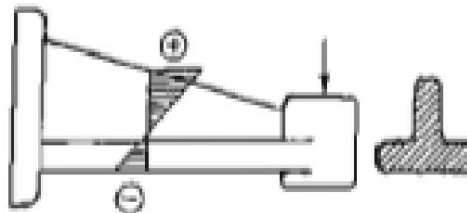


vliv napojení stěn na
životnost při cyklickém
namáhání

Technologičnost konstrukce odlitku - příklady



lépe



nevhodné

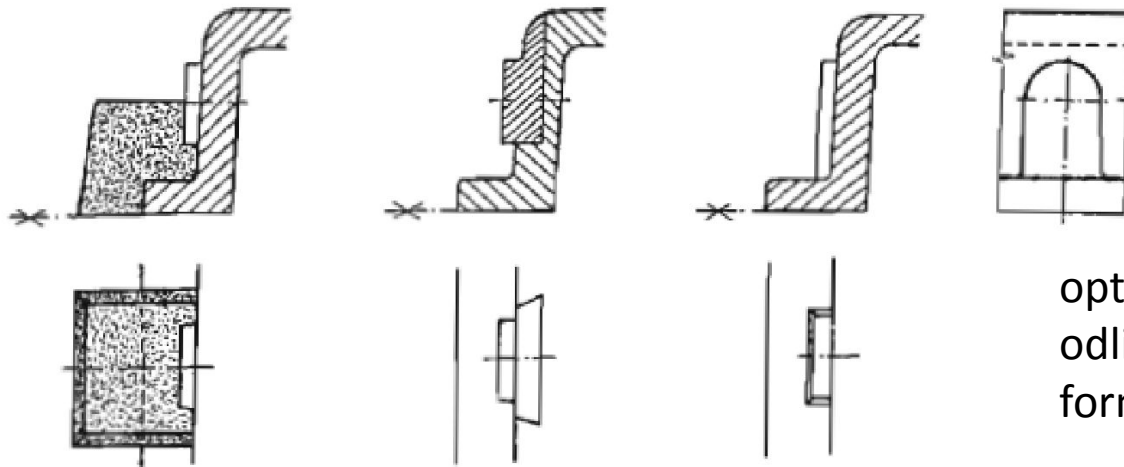
vhodnějš

optimální

nevhodné

í

Technologičnost konstrukce odlitku - příklady

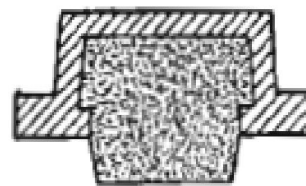


optimalizace konstrukce odlitku s ohledem na formování

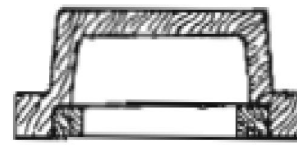
použití nepravého jádra

použití volné části modelu

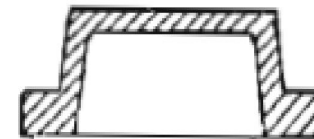
optimální řešení s protažením výstupku



použití jádra



použití volné části modelu



optimální řešení

Vady odlitků

- vadou odlitku se rozumí každá odchylka od rozměru, hmotnosti, vzhledu, makrostruktury, mikrostruktury nebo vlastností předepsaných příslušnými normami.
- vady mohou být zjevné(okem rozpoznatelné), skryté.
- dle rozsahu a charakteru mohou být vady přípustné, nepřípustné, opravitelné a neopravitelné.
- 7 základních skupin – dle [1]

[1] ELBEL, T., HAVLÍČEK, F., JELÍNEK, P., LEVÍČEK, P., ROUS, J., STRÁNSKÝ, K.:
Vady odlitků ze slitin železa (klasifikace, příčiny a prevence

Vady odlitků

100 Vady tvaru, rozměru, hmotnosti

200 Vady povrchu

300 Porušení souvislosti

400 Dutiny

500 Makroskopické vměstky

600 Vady mikrostruktury

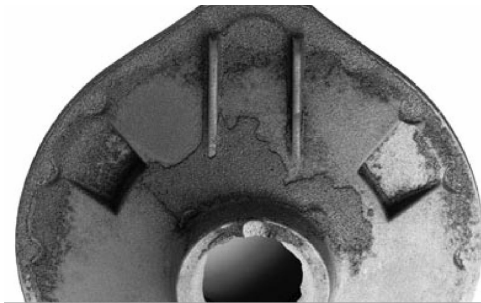
700 Vady chemického složení

Členění vad – příklad vady třídy 100

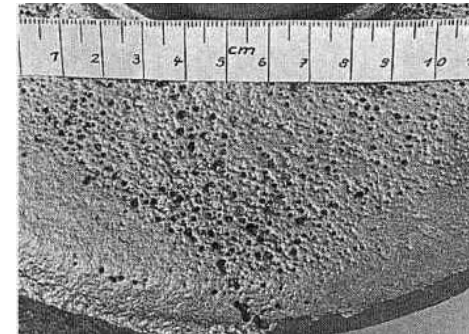
Třída vad	Skupina vad	Název skupiny vad	
100	110	Chybějící část odlitku bez lomu	111 Nezaběhnutí
			112 Nedolití
			113 Vytečený kov
			114 Špatná oprava formy
			115 Přetrysaný odlitek
			116 Omačkání, potlučení, pohmoždění
			117 Nesprávně upálený, odřezaný a obroušený odlitek
	120	Chybějící část odlitků s lomem	121 Ulomená část odlitku za tepla
			122 Ulomená část odlitku za studena
			123 Vyštípnutí
	130	Nedodržení rozměrů, nesprávný tvar	131 Špatný model
			132 Přesazení
			133 Nevyhovující rozměry
			134 Zborcení, deformace
	140	Nedodržení hmot. odlit.	

Vady odlitku

Povrchové – zpravidla opravitelné



Porušení souvislosti – brzděné smršťování, objemové změny, fázové transformace- odstranění - svařování



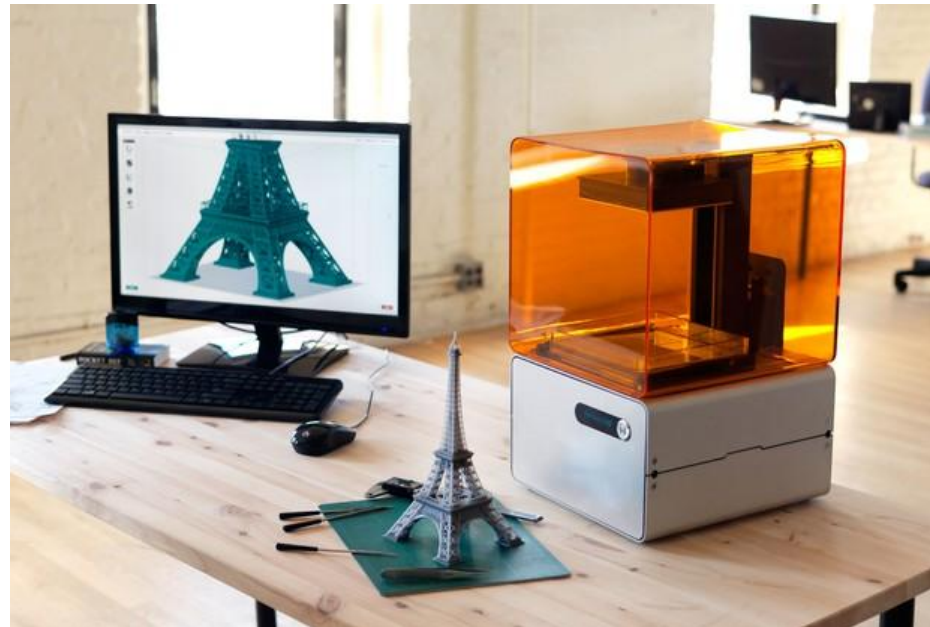
shodná výroba

RP – Rapid Prototyping

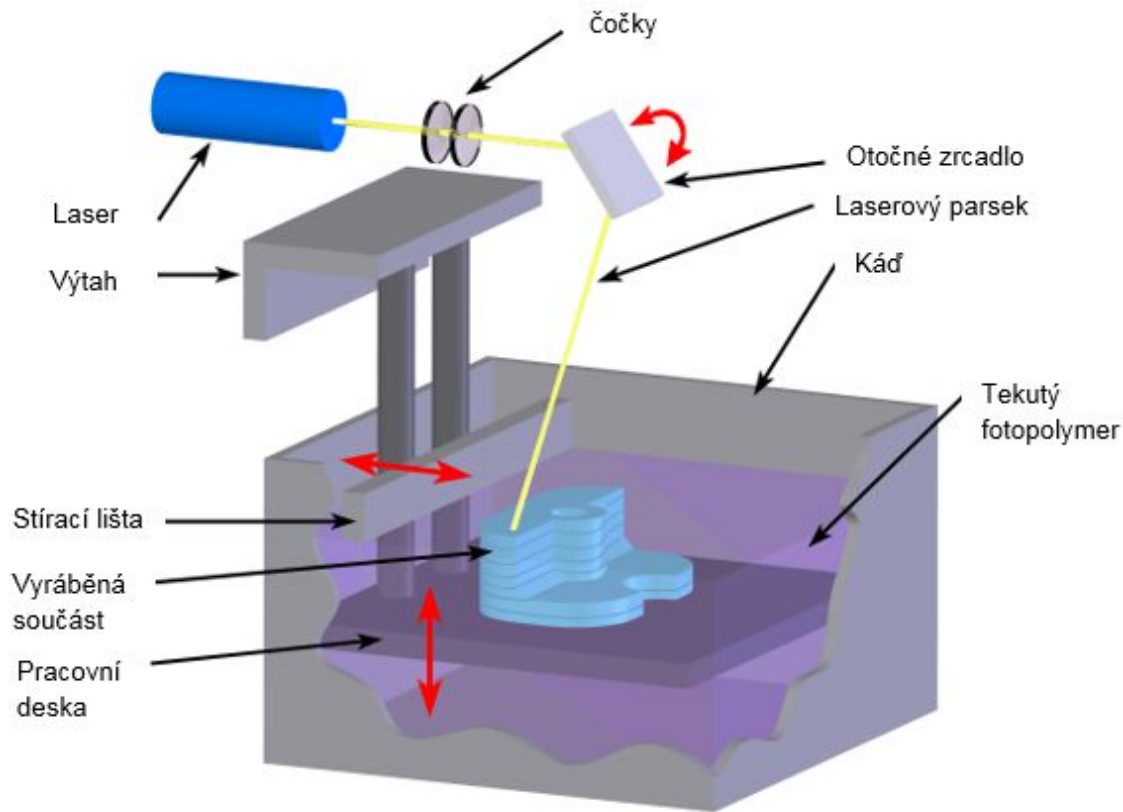
Postupy a technologie, které umožňují vytvářet reálné modely součástí v relativně krátkém čase, v co nejvyšší kvalitě a úsporou výrobních nákladů přímo z 3D dat.

3 základní výrobní etapy:

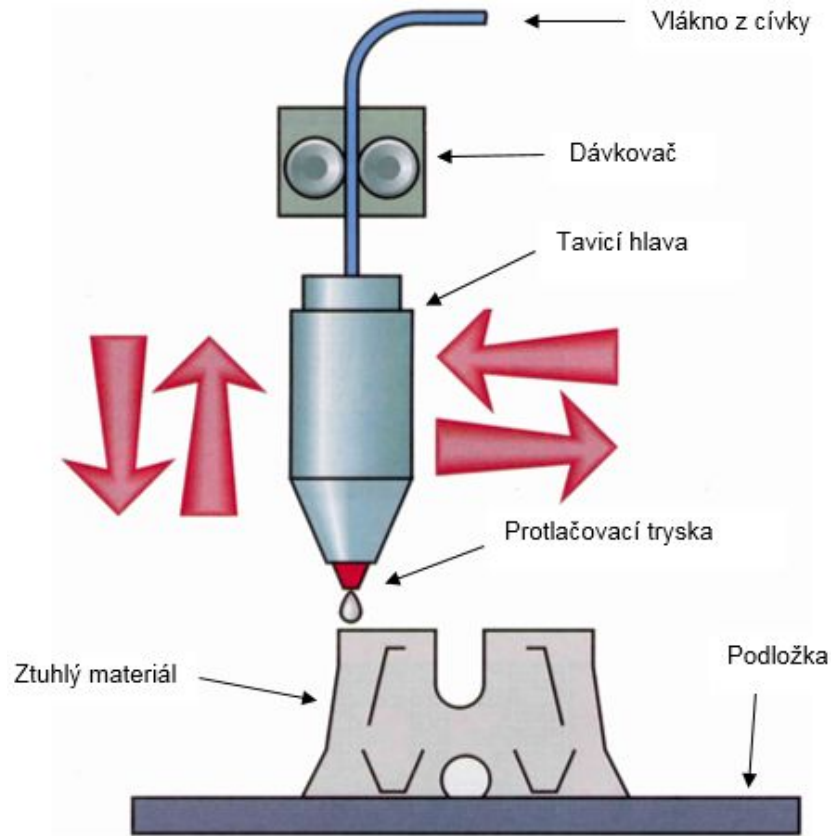
1. Preprocessing
2. Processing
3. Postprocessing



Metody RP na bázi tekutého materiálu Stereolitografie (SLA)

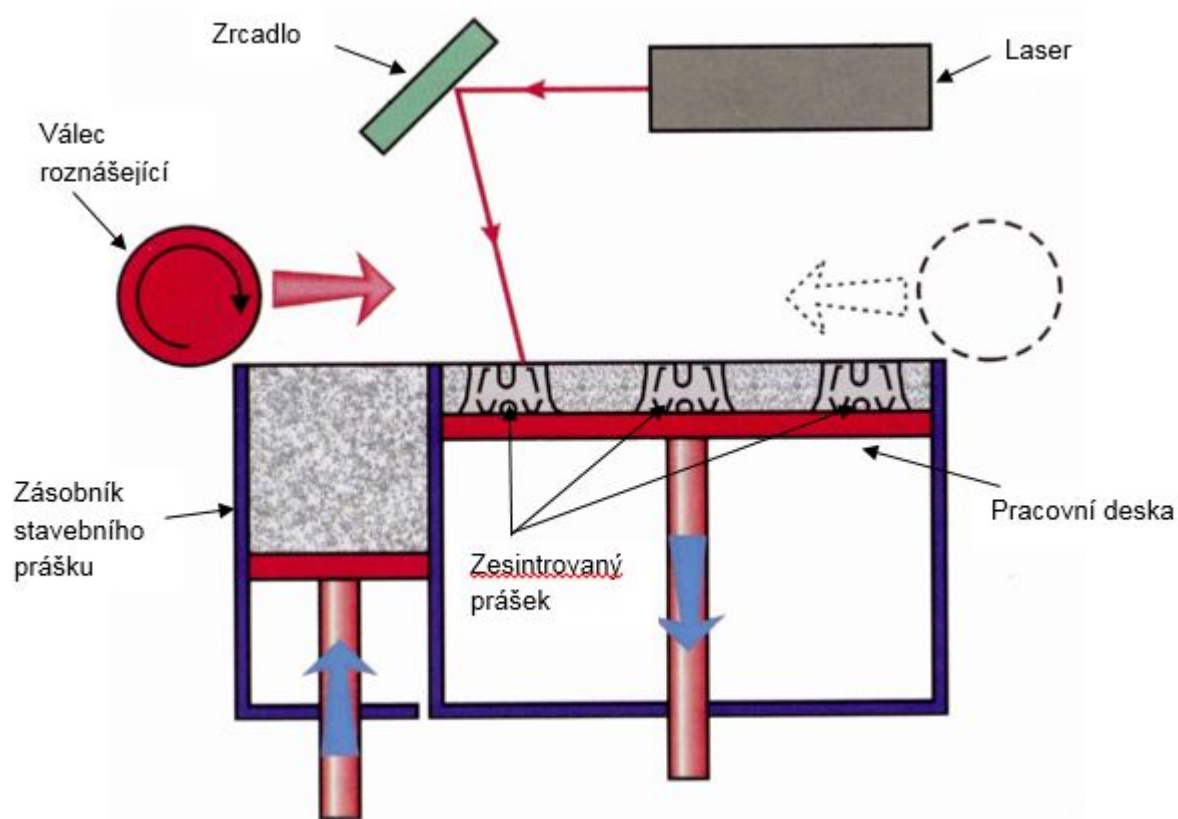


Fused Deposition Modeling (FDM)



Metody RP na bázi práškového materiálu

Selective Laser Sintering (SLS)



Uplatnění metod RP ve slévárenství

- přímé zhotovení součásti
- zhotovení slévárenské formy
- Přímé zhotovení součásti - Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

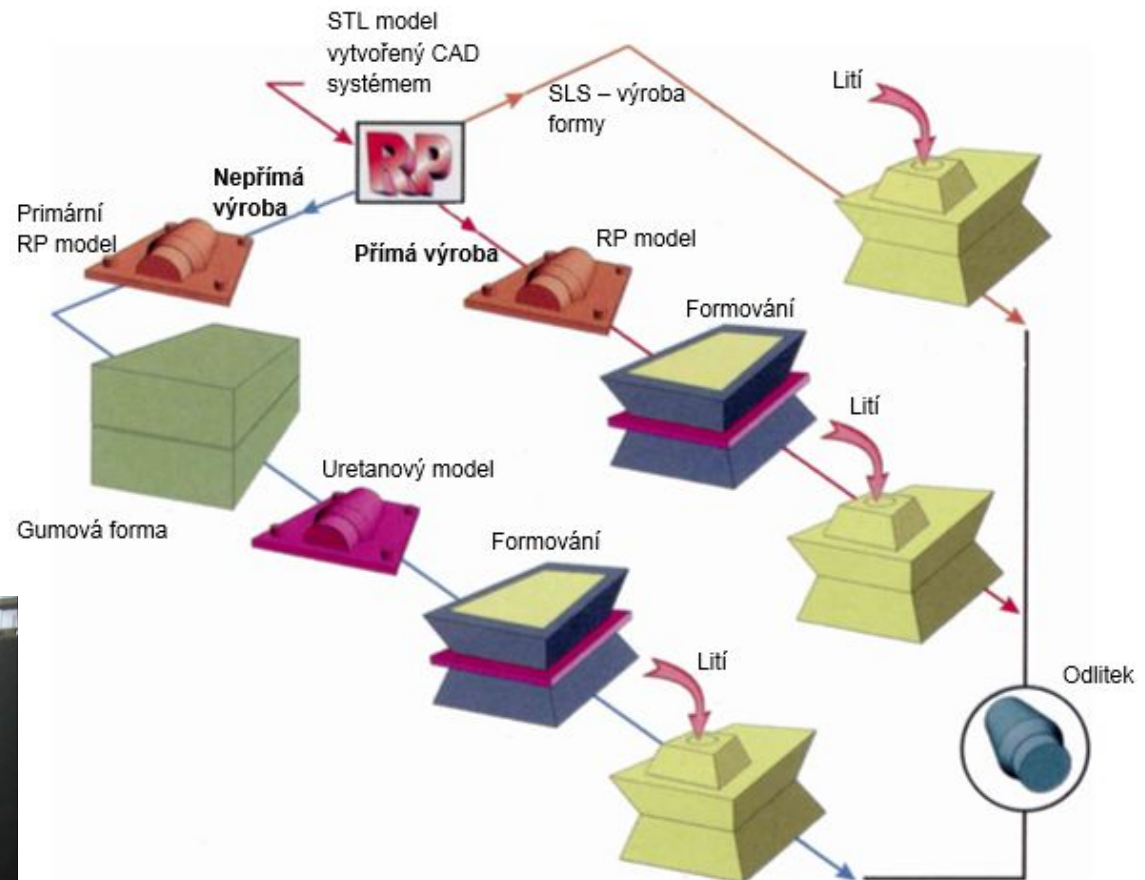
Slévárenská forma

- trvalá
- netrvalá
 - zhotovení přímo metodami RP
 - výroba pomocí modelu
 - trvalý model
 - netrvalý model – vytavitelný nebo vypařitelný/spalitelný



Uplatnění RP při výrobě netrvalé slévárenské formy

lití do písku



Uplatnění RP při výrobě netrvalé slévárenské formy

lití do písku – Voxeljet – tisk forem a jader – směr pryskyřice umělé ostřivo

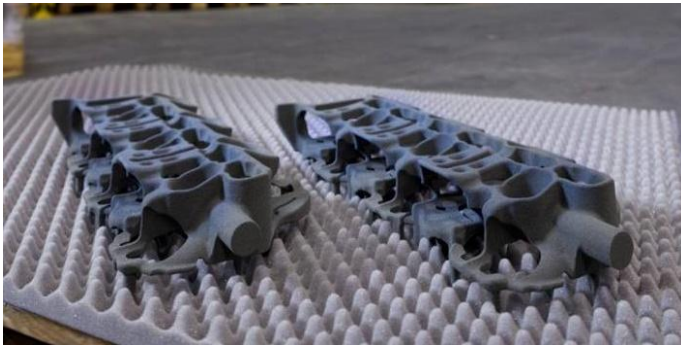
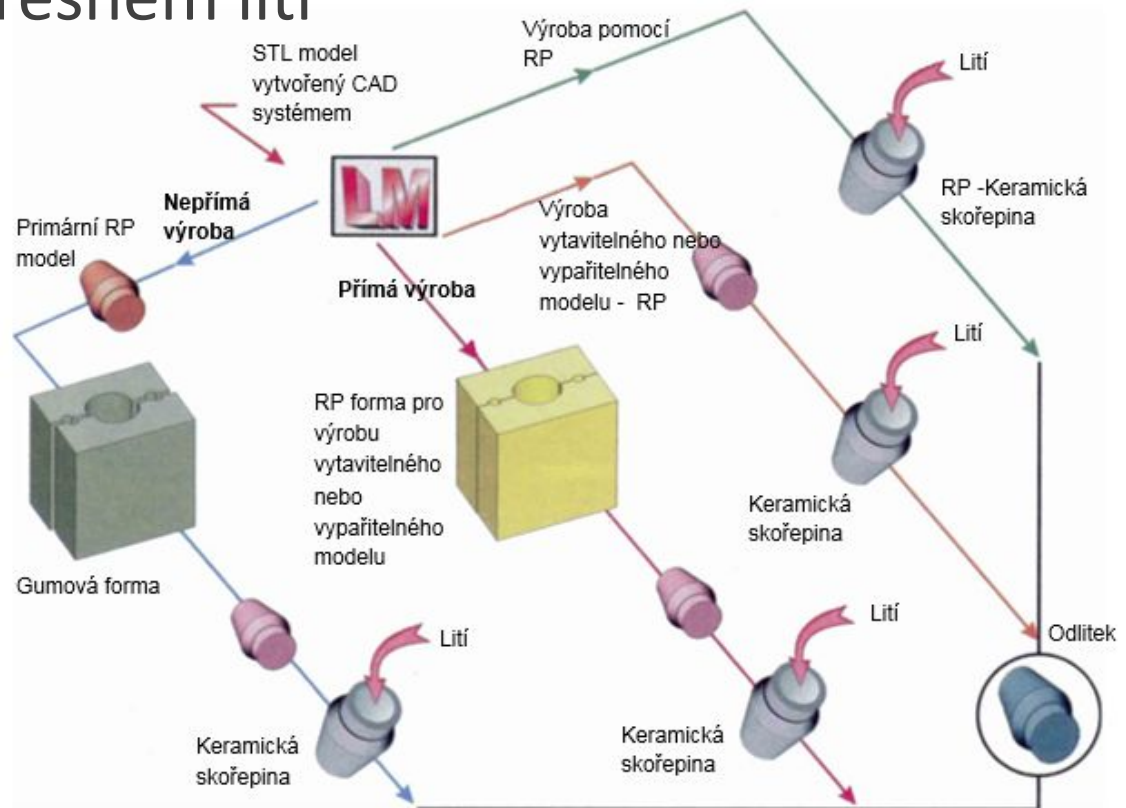


Foto
<https://www.voxeljet.com>
/

Uplatnění RP při výrobě netrvalé slévárenské formy

Uplatnění RP při přesném lití



příklady – vypařitelný model

Numerické simulace slévárenských procesů

Matematický a grafický popis dějů probíhajících při odlévání, chladnutí a tuhnutí odlitků.

Cíl simulací:

- optimalizovat technologii výroby
- zkoumat technologičnost – proveditelnost výroby
- zkrátit čas vývoje nového odlitku
- snížit náklady = zvýšit výnosy
- vývoj nových technologií
- zvýšit kvalitu odlitků



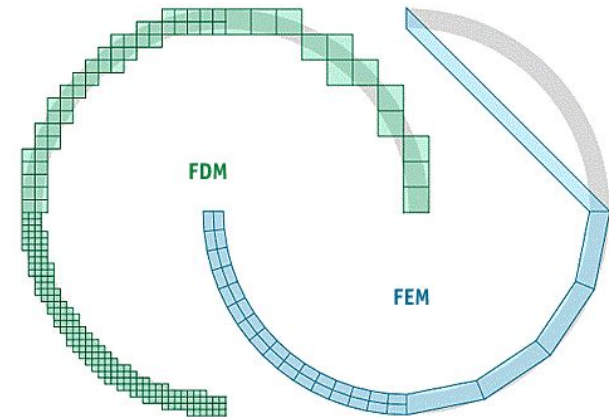
Numerické simulace slévárenských procesů

Metoda konečných prvků (FEM - Finite Element Method)

- snadnější kopírování geometrického tvaru odlitku
- větší nároky na hardwarové vybavení a čas

Metoda konečných diferencí (FDM - Finite Differences Method)

- snadnější rozdělení do diferenční sítě
- jednoduchost výpočtového systému



Kroky numerické simulace slévárenských procesů

Preprocessing

- tvorba geometrie odlitku a formy (přenos z CAD softwaru)
- modelace úkosů, návrh vtokové soustavy, nálitků
- rozšířování, definice okrajových podmínek (materiály)

Mainprocessing

- výpočet plnění dutiny formy, teplotního pole během lití, tuhnutí a chladnutí
- přiřazení fyzikálních vlastností z databáze
- možný výpočet například mikrostruktury nebo smrštění

Postprocessing

- vyhodnocení a analýza simulace v libovolném místě odlitku

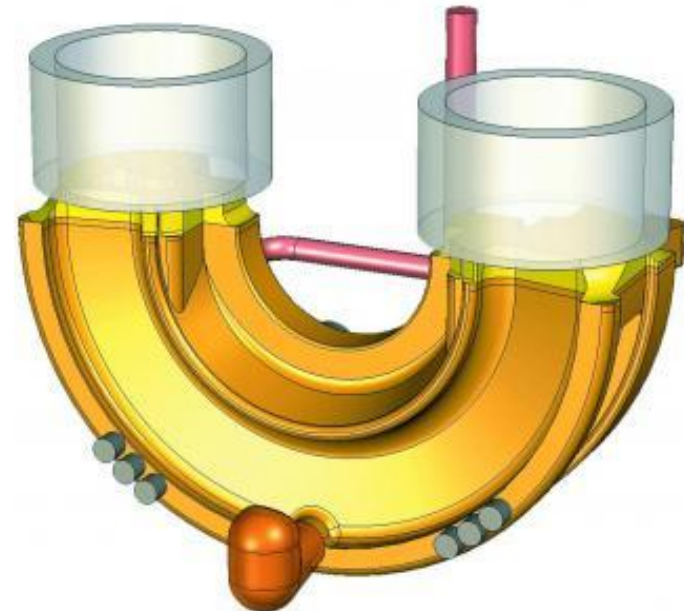
Databáze

- podpora – databáze termofyzikálních parametrů důležitých materiálů

Použití numerické simulace v praxi

Příprava modelu

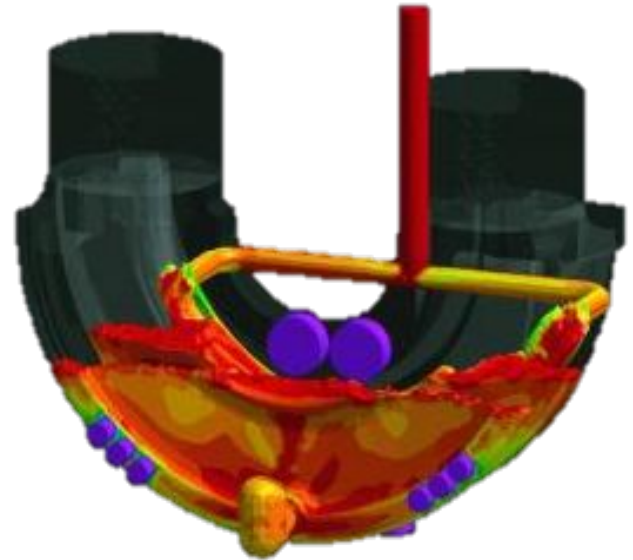
- přenesení modelu z CAD softwaru do simulačního prostředí
- automatické sestavení jader, nálitků, chladítek, licí soustavy
- vygenerování výpočtové sítě (síťování)
- definice vstupních dat:
 - slitiny
 - formovací materiály
 - odvzdušnění
 - nátěry forem



Použití numerické simulace v praxi

Výpočet plnění formy

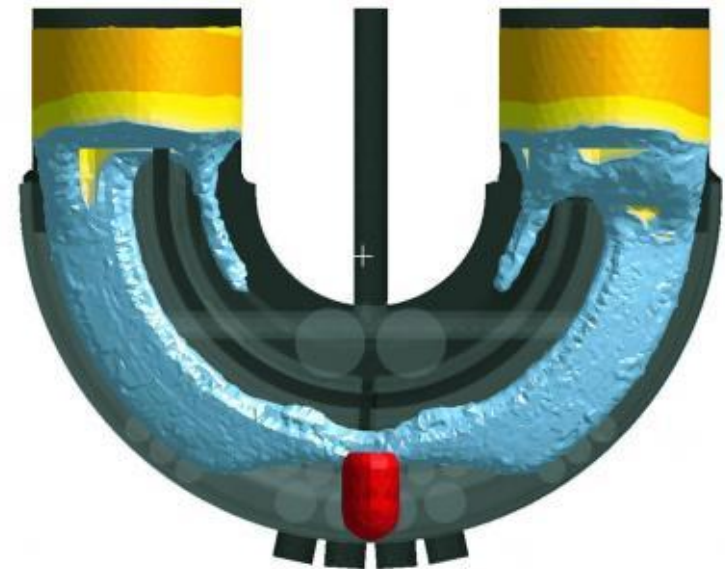
- predikce vzniku vad (staženiny, řediny) nálitkování
- první výpočet: tuhnutí samotného odlitku bez nálitků a vtokové soustavy vyhodnocení
- druhý výpočet: rozmístění nálitku (rozměru) případné použití chladítek, izolace
- třetí výpočet: plnění formy
- v případě potřeby – návrh a kompletní výpočet v jednom kroku



Použití numerické simulace v praxi

Výpočet tuhnutí

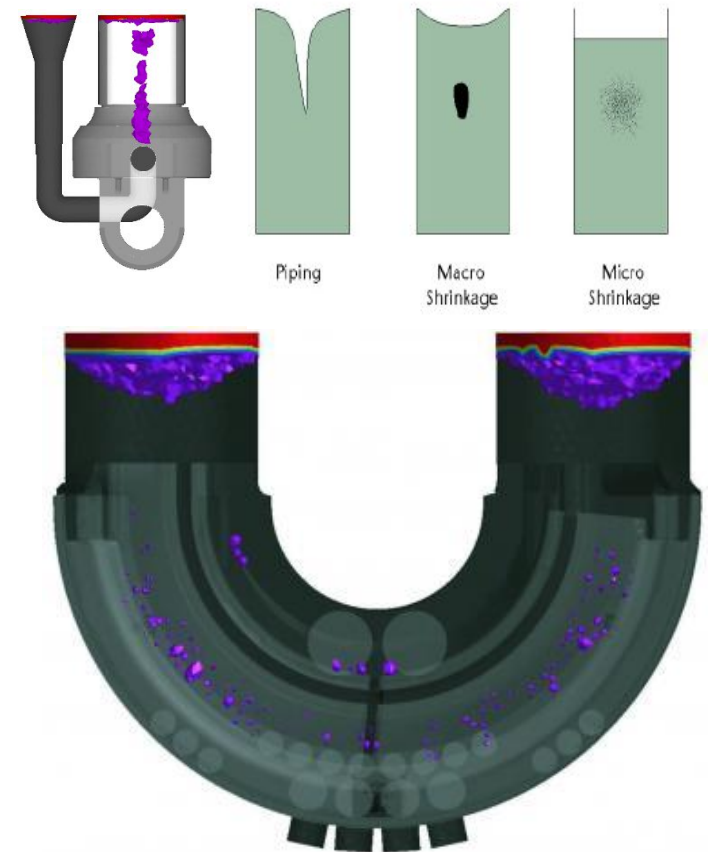
- sleduje se usměrnění tuhnutí (z charakteru teplotního pole) a teplotní a objemová dostatečnost nálitků
- simulací tuhnutí lze zjistit:
 - vhodnost a účinnost nálitkování
 - optimalizace využití kovu v nálitcích
 - nutnost použití chladítek, zásypů atp.



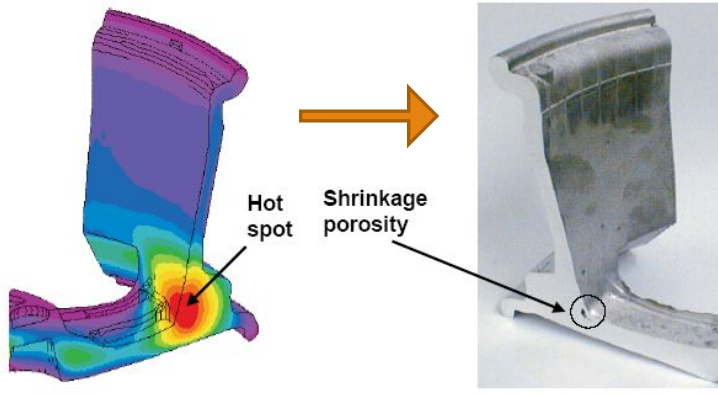
Použití numerické simulace v praxi

Analýza technologie

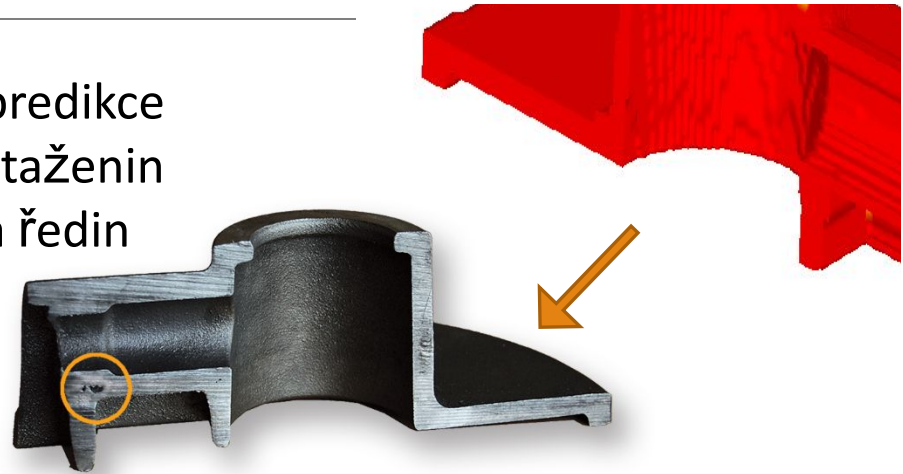
- analýza vzniku ředin, staženin
- predikce vzniku bublin – zahlcený vzduch, predikce pnutí a deformací odlitku při chladnutí a po vyjmutí z formy
- analýza hot spotů – možnost ovlivňovat teplotní pole odlitku na formy
- dále je možné predikovat např. nukleaci a růstu zrn, predikce mechanických vlastností či tepelného zpracování



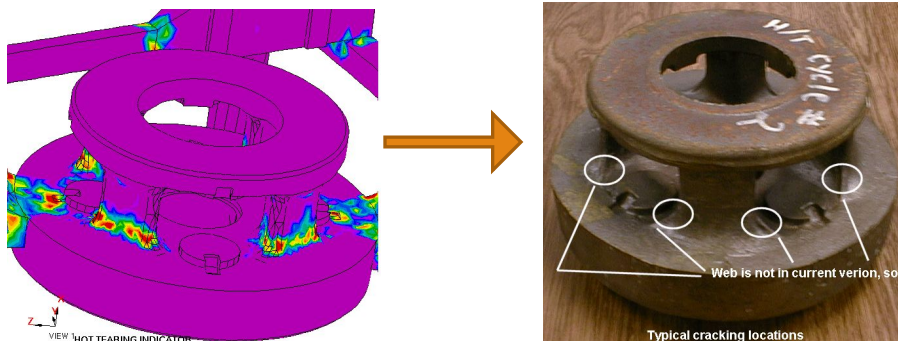
Příklady výsledků simulací



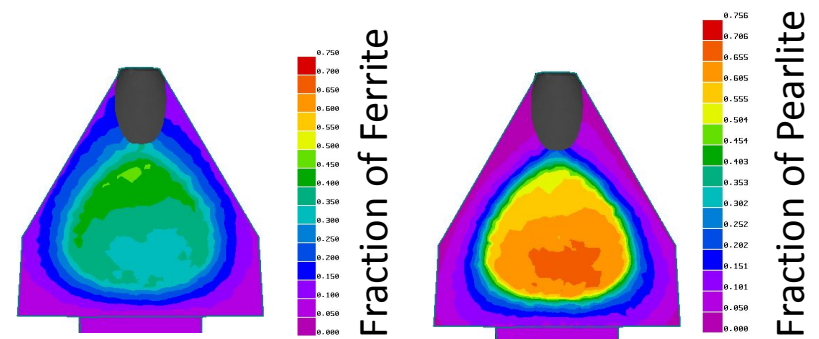
predikce
staženin
a ředin



trhliny



predikce struktury



Děkuji za pozornost

