



Vysoká škola technická a ekonomická
v Českých Budějovicích

Základy 3D simulace lití kovů a slitin

Doc. Ing. Karel GRYC, Ph.D.

Anotace předmětu

Student je v průběhu semestru hodnocen na základě splnění dílčích požadavků pro udělení zápočtu, mezi které patří průběžné testy (30 %), průběh práce na projektu (30 %), finální prezentace výsledků projektu (40 %) a účast na seminářích. Písemné testy jsou složeny z otázek, které budou zaměřeny na probrané učivo v rámci seminářů. Absence v maximálním rozsahu 30 % musí být omluvena a omluva musí být vyučujícím akceptována (o důvodnosti omluvy rozhoduje vyučující)

Cíl předmětu

Předmět rozšiřuje znalosti z oblasti způsobu odlévání kovů a jejich slitin o možnosti využití soudobých nástrojů 3D simulací pro zvýšení kvality výsledných odlitků. Jednotlivé fáze numerických simulací v atraktivním profesionálním softwaru skládající se z pre-processingu, processingu a post-processingu budou implementovány do řešení konkrétních úloh z oblasti slévárenství. Celý proces vlastní 3D simulace lití kovů a slitin bude plně využit pro doporučení optimálního způsobu nastavení procesu odlévání.

Výstupy z učení

Student bude znát základní rámec slévárenských technologií se zaměřením na odlitky z ocelí, litiny a neželezných kovů. Student bude umět identifikovat vhodný rozsah využití numerických simulací ve slévárenských technologiích. Student se bude orientovat prostředí komerčního simulačního programu ProCast. Student v prostředí programu ProCast dokáže provádět úpravy/opravy geometrie, generovat 2D a 3D síť, nastavit simulační parametry procesu, spustit výpočet a částečně kvalifikovaně prezentovat získané výsledky.

Základní okruhy studia

1. Shrnutí problematiky slévárenských technologií zaměřené na ocelové a litinové odlitky.
2. Shrnutí problematiky slévárenských technologií zaměřené na odlitky neželezných kovů.
3. Úvod do možností využití metod numerických simulací k lití kovů a slitin.
4. Výběr konkrétní úlohy, její definování a zahájení tvorby geometrie v CAD prostředí.
5. Dokončení geometrie vybrané úlohy v CAD prostředí.
6. Generování sítě vybrané úlohy a její vyhlazování.
7. Definice vstupů, výstupů, stěn modelované oblasti a import do simulačního software.
8. Volba typu modelů, specifikace fyzikálních vlastností, definování okrajových podmínek.
9. Vlastní numerické řešení ukončené dosažením konvergence.
10. Vizualizace výstupu 3D simulování vybrané úlohy.
11. Vyhodnocování výstupů, tvorba technologické výstupní sestavy, kvantifikace.
12. Grafická interpretace výsledků numerické simulace.
13. Prezentace výsledků 3D simulace vybrané úlohy z oblasti lití kovů a slitin a finální implementační doporučení.

Povinná literatura

- NĚMEC, Milan; BEDNÁŘ, Bohumír; BRYKSÍ STUNOVÁ, Barbora. Teorie slévání. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06026-1.
- MACHEK, Václav. Kovové materiály 4: výroba a zpracování ocelí a litin. Praha: České vysoké učení technické, 2015, 143 s. ISBN 978-80-01-05686-8.
- MATUCHA, Jiří; NOVÁ, Iva. Slévárenské formy. vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2014, 165 s. ISBN 978-80-7494-083-5.
- MICHNA, Štefan; MICHNOVÁ, Lenka. Neželezné kovy. vyd. 1. Děčín: Štefan Michna, Lenka Michnová, 2014, 245 s. ISBN 978-80-260-7132-7.
- MICHNA, Štefan. Technologie a zpracování hliníkových materiálů. vyd. 2., Ústí nad Labem: Štefan Michna, 2015, 150 s. ISBN 978-80-260-7706-0.



Shrnutí problematiky slévárenských technologií zaměřených na ocelové a litinové odlitky

Seminář č. 1

Klíčová slova

oceli, litiny, charakteristika, základní rozdělení litin, chemické složení litin, vliv prvků na mikrostrukturu, suroviny pro tavení litin, výroba odlitků, typy odlitků, modelové zařízení, druhy modelů, slévárenské formy, formovací směsi, vtoková soustava, vady odlitků

Cíle kapitoly

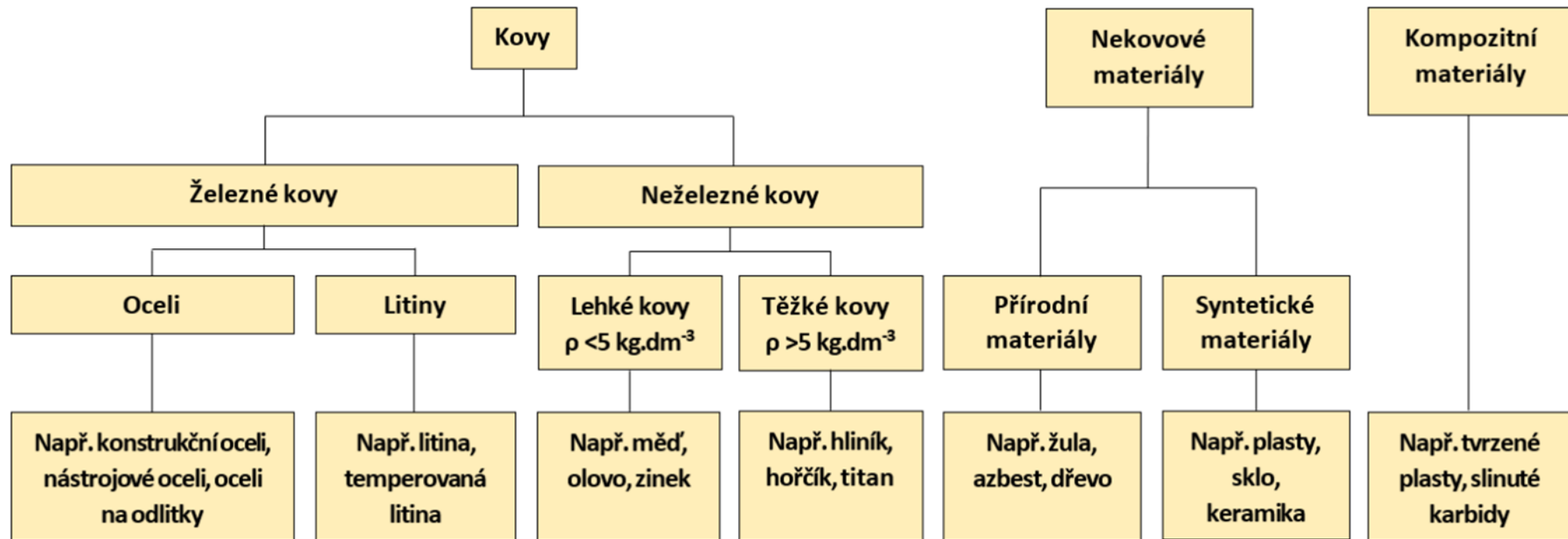
Cílem kapitoly je ve velmi základních rysech shrnout vybranou problematiku slévárenských technologií slitin železa

Úvod do kapitoly

Problematika slévárenských technologií je velmi rozsáhlá, proto bude v této kapitole pozornost zaměřena pouze na stručné shrnutí poznatků z oblasti slévárenství slitin železa. Detaily naleznete v povinné literatuře k předmětu, v doporučených literaturách a také ve studijní opoře k předmětu „Základy slévárenských technologií“. Tato kapitola obsahuje pouze výťah z uvedené opory.

Materiály používané ve strojírenské praxi mají někdy velmi rozdílné vlastnosti a pro určitou součást jsou voleny tak, aby součást mohla dobře a trvale plnit svůj úkol. Správný výběr vhodného materiálu pro součást a správné opracování materiálu je možné pouze při zevrubné znalosti materiálů. Abychom získali přehled o rozmanitosti materiálů, třídíme je do skupin podle složení nebo charakteristických vlastností.

Rozdělení materiálů do skupin



Rozdělení materiálů

Typické znaky jednotlivých skupin materiálů a jejich využití:

- ✓ **oceli:** jsou slitiny železa s velkou pevností. Vyrábějí se z nich především části strojů, které musejí zachycovat a přenášet síly: hřídele, čepy, ozubená kola, profily
- ✓ **litiny:** jsou dobře odlévatelné materiály. Některé navíc tlumí chvění. Odlévají se z nich části strojů, jejichž složitý tvar se nejlépe vyrobí litím, např. tělesa strojů



hřídel z oceli



těleso z litiny

Charakteristika ocelí

- ✓ ocel je slitina železa s uhlíkem do 2,14 % a doprovodnými prvky (Mn, Si, P, S, Cu), které se dostaly do oceli při výrobě
- ✓ kromě doprovodných prvků obsahují některé oceli úmyslně přidané prvky, jako Cr, W, Mo, V, Ni aj.
- ✓ pro své mechanické a technologické vlastnosti je ocel nejdůležitějším technickým materiálem
- ✓ v současné době je vyráběno asi 2500 druhů ocelí
- ✓ v normách (ČSN, DIN atd.) jsou oceli rozděleny do skupin jednak podle chemického složení, jednak podle struktury a mechanických a fyzikálních vlastností
- **nelegované oceli:** zvané také uhlíkové oceli. Maximální hmotnostní podíl legujících prvků je kolem 2 %
- **nízkolegované oceli:** obsah legujících prvků pro odečtení obsahu uhlíku je nižší než 5 %
- **vysoce legované oceli:** obsah legujících prvků je vyšší než 5%

Charakteristika litin

- ✓ litina je slitina železa s uhlíkem nad 2,14 % a dalších prvků Si, Mn, P, S a prvky z okujích přísad
- ✓ uhlík je v litinách vyloučen ve formě grafitu (grafitické litiny), nebo cementitu (Fe_3C)
- ✓ většina odlitků se odlévá z tzv. grafických litin, které mají dobré slévárenské vlastnosti
- ✓ litiny, které mají ve struktuře vyloučen cementit, se používají tam, kde odlitek má mít vysokou tvrdost, nebo odolnosti proti otěru
- **tvárná litina:** litina s kuličkovým grafitem
- **šedá litina:** litina s lupínkovým grafitem
- **bílá litina:** v podstatě odlité surové železo
- **temperovaná litina:** litina s vločkovým grafitem
- **vermikulární litina:** litina s červíkovitým grafitem

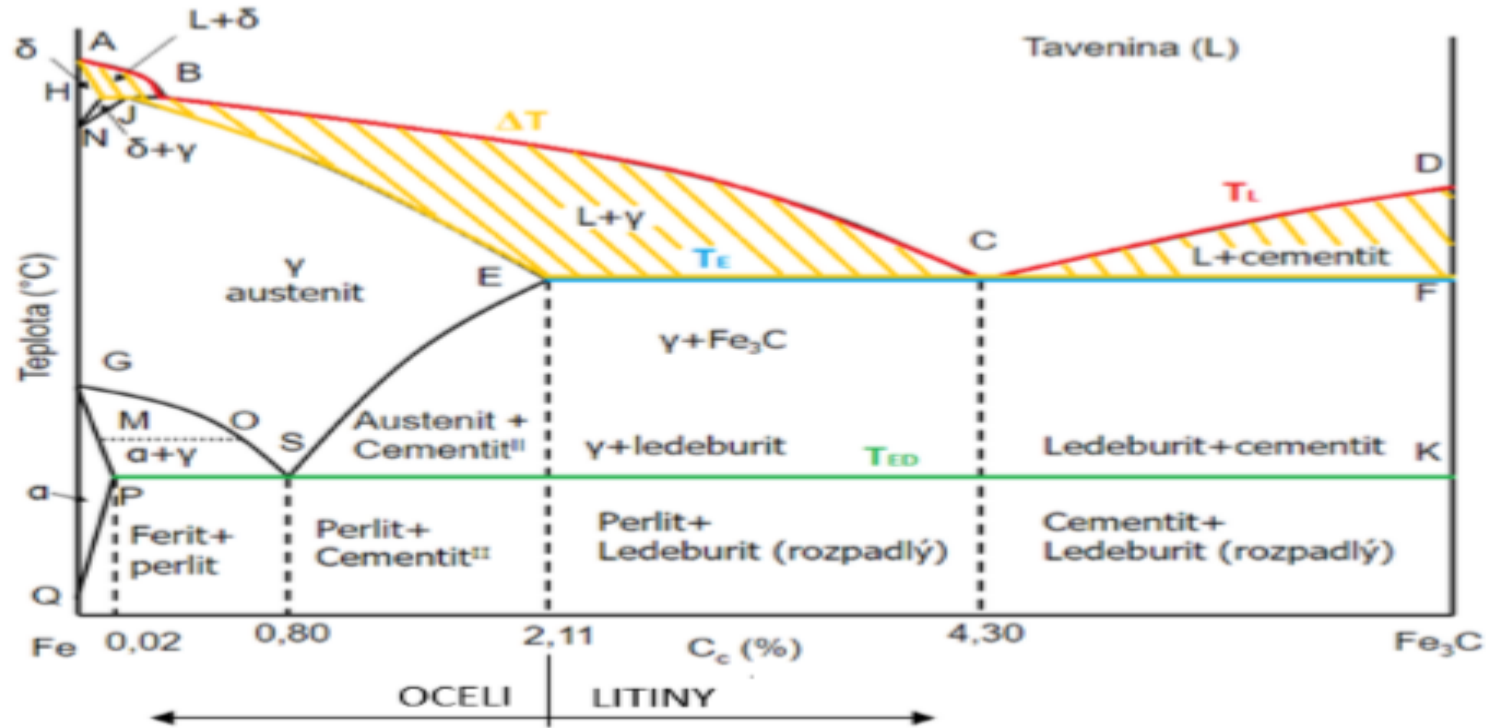
Charakteristika litin

- ✓ u legovaných nebo speciálních litin to mohou být prvky: nikl, měď, molybden, cín, titan, chrom atd.
- ✓ poslední skupinu tvoří prvky, jež mohou do litiny přejít z výchozích surovin při druhování a jejich přítomnost je většinou nežádoucí (Pb, Bi, Sb, As, B, Al, V, Zr atd.)
- ✓ většina prvků přítomných v litině může být klasifikována podle jejich vlivu na mikrostrukturu

Rozlišujeme prvky:

- ✓ primární: C, Si, Mn, P a S
- ✓ legující: Cu, Ni a Mo
- ✓ karbidotvorné a perlitotvorné: As, B, Cr, Sn a V
- ✓ nežádoucí: As, Bi, Pb, Sb atd.
- ✓ plyny: H, N

Charakteristika litin

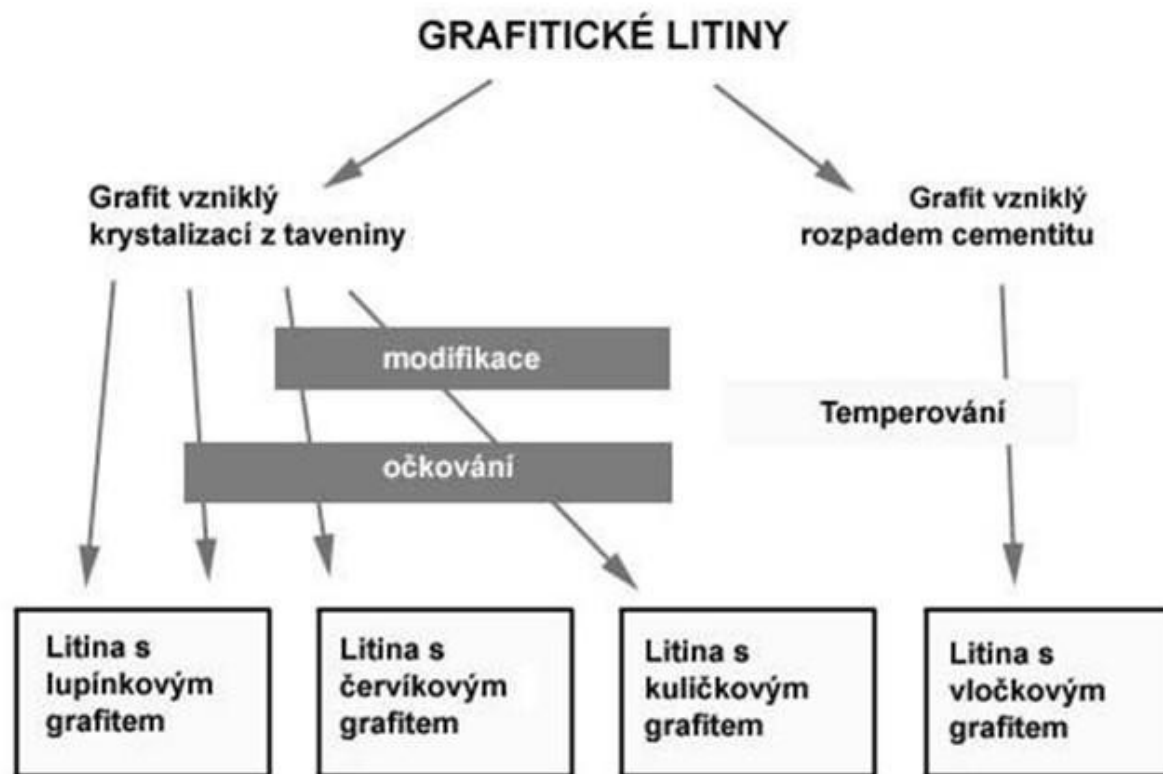


metastabilní soustava Fe-Fe₃C rozdělení oblasti na oceli a litiny dle obsahu C



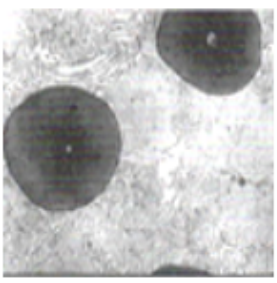
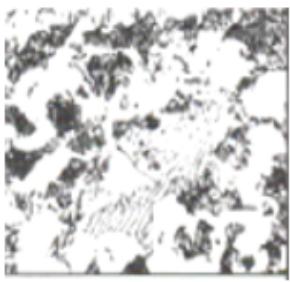
Základní rozdělení litin

- ✓ litiny s lupínkovým grafitem LLG (šedá litina) EN-GJL- 150 až 350
- ✓ litiny s kuličkovým (zrnitým) grafitem EN-GJS- 350-22 až 900-2
- ✓ litiny s červíkovitým (vermikulárním, kompaktním) grafitem LČG, EN-GJV-300 až 500
- ✓ temperované litiny s bílým lomem TLB, EN-GJMW-350-4 až 550-4 a černým lomem TLČ, EN-GJMB-300-6 až 800-1
- ✓ bílá litina je litina bez volně vyloučeného grafitu s volným cementitem
- ✓ legované litiny pro speciální určení.

Základní rozdělení litin

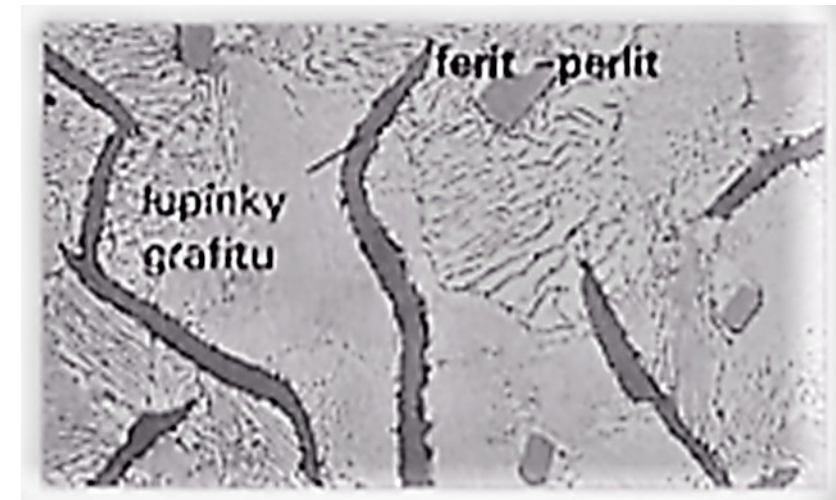


Struktura různých druhů slitin železa

Slitiny železa	Litina		Temperovaná litina s černým lomem	Ocel na odlitky
	S lupínkovým grafitem	S kuličkovým grafitem		
Obraz struktury M 100:1				
Forma uhlíku	Velké ... malé lupínky		Vločky	Lamelární cementit
	Grafit + lamelární cementit			
Základní struktura	Ferit ... perlit		Ferit	Ferit a perlit
Pevnost v tahu MPa	100-350	400-900	300-350	200-840

Litina s lupínkovým grafitem (šedé litiny)

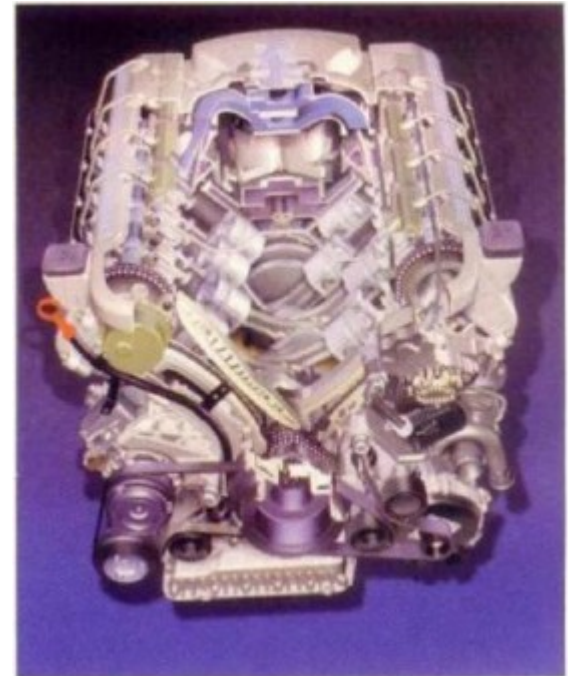
- ✓ velká část uhlíku je obsažná ve struktuře jako mikroskopicky jemný, lupínkový grafit
- ✓ **vlastnosti:**
- ✓ černý, měkký grafit ve světlé feriticko-perlitické základní struktuře s šedou plochou lomu litiny
- ✓ dobré kluzké vlastnosti, snadná obrobitelnost a schopnost tlumit vibrace
- ✓ vysoký obsah uhlíku způsobuje dobrou slévateľnosť, proto mohou být odlévány i složitě tvarované součásti
- ✓ pro své dobré vlastnosti je nejpoužívanějším materiálem pro výrobu odlitků
- ✓ kvůli lupínkovému grafitu má omezenou pevnost a její houževnatost je velmi malá
- ✓ použití např. rámy a sáně obráběcích strojů, tělesa převodovek a klikové skříně



struktura litiny s lupínkovým grafitem

Litina s vermikulárním (červíkovitým) grafitem

- ✓ modifikace litiny s lupínkovým grafitem
- ✓ pevnost je při zhruba stejné tepelné vodivosti vyšší
- ✓ hodí se zejména pro tepelně namáhané součásti, jako jsou bloky a hlavy válců spalovacích motorů a součásti brzd automobilů
- ✓ Výhody litiny s vermikulárním grafitem při konstrukci motorů (oproti konvenčním motorům):
 - snížení tloušťky stěn při běžných provozních podmínkách
 - zvýšení provozních zatížení při stejné konstrukci motoru
 - vylepšené NVH (zkratka z anglického noise, vibration and harshness-zvuk, vibrace, zápach)
 - kratší hloubky závitů, a tedy kratší šrouby



ukázka motoru z litiny s vermikulárním grafitem (BMW M8)

Litina s kuličkovým grafitem (tvárná litina)

- ✓ grafit je v základní struktuře podobné oceli uložen ve tvaru kuliček
- ✓ kuličkovým tvarem vyvolává grafit pouze malý vrubový účinek
- ✓ vysoká pevnost a dobrá tažnost
- ✓ svými vlastnostmi se nejvíce ze všech druhů litin blíží oceli
- ✓ žíhání lze zvýšit tažnost, zušlechtěním pevnost
- ✓ součásti z litiny kuličkovým grafitem mohou být také povrchově kaleny
- ✓ litina s kuličkovým grafitem se používá pro odlitky, které musejí mít vysokou pevnost a tažnost
- ✓ **Použití:** ozubená kola, klikové hřídele, skříně řízení, skříně zadní nápravy, skříně čerpadel a turbín



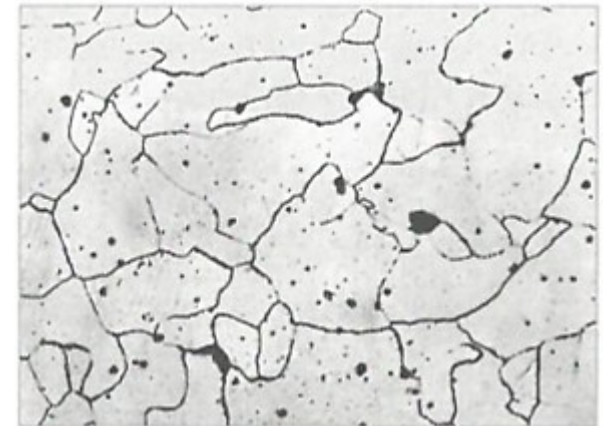
držák kola pro zadní nápravu osobního automobilu s prostorově uloženými rameny z litiny

Temperovaná litina

- ✓ je vytvořena tepelným zpracováním (tzv. temperací)
- ✓ svým složením je podobná šedé litině, je však o něco tvrdší
- ✓ vhodný konstrukční materiál pro odlitky menší hmotnosti (asi do 100 kg), například pro automobily, hospodářské stroje atd.

Rozdělení temperované litiny podle druhu lomu:

- **s bílým lomem** (korozivzdorná – závitové spojky vodovodních a plynovodních trubek)
- **s černým lomem** (na dynamicky namáhané součásti, které nejsou vystaveny otěru)
- **s perlitickým lomem** (vhodný konstrukční materiál zejména pro středně namáhané odlitky, klikové hřídele, bubny, atd.)



struktura temperované litiny s
bílým lomem

Temperovaná litina

- ✓ temperovaná litina s bílým lomem obsahuje v povrchové oblasti málo uhlíku
- ✓ temperovaná litina s černým lomem obsahuje vločkovitý grafit
- ✓ oba druhy mají vyšší pevnost a houževnatost než litina s lupínkovým grafitem
- ✓ zvláštní vlastností temperované litiny je svařitelnost
- ✓ **Použití:** především při konstrukci automobilů na ojnice, sloupky řízení a řadicí vidlice, ale také ve strojírenství např. pro páky a v instalační technice pro fitinky a tělesa ventilů



rozvaděč vody pro plynový
topný kotel



fitink z
temperované
litiny

Bílá litina

- ✓ u této litiny je veškerý uhlík přítomen ve formě cementitu (Fe_3C)
- ✓ název „bílá“ vznikl z charakteristického bílého zbarvení lomové plochy litiny
- ✓ vznik cementitu v litinách podporuje vyšší ochlazovací rychlost při tuhnutí
- ✓ bílé litiny jsou velmi tvrdé, křehké a prakticky neobrobitelné, odolné proti opotřebení (odolnost se dále zvyšuje legováním a tepelným zpracováním)
- ✓ **Použití:** součástky extrémně namáhané třením, jako jsou čelisti drtičů nebo koule v kulových mlýnech, hlavním využitím je však jako výchozí materiál pro výrobu temperované litiny
- ✓ použití bílých litin je velmi omezené



kulový mlýn k mletí, míchání a homogenizaci surovin a materiálů v laboratořích, výrobě a keramických dílnách

Legované litiny

- ✓ litiny je možno legovat, aby se dosáhlo zvláštních vlastností, jako žárovevnost, odolnost proti korozi, rozměrová stálost, odolnosti proti teplotním šokům, kyselinám a louhům
- ✓ **smyslem legování je zejména:**
 - zajistit v celém průřezu odlitků perlitickou strukturu
 - zvýšení mechanických vlastností, tj. odolnosti proti otěru, tvrdosti, pevnosti
 - zdokonalení vlastností při zvýšených teplotách
 - zejména stabilizace mechanických vlastností za vyšších teplot, zvýšení stability struktury, zvýšení odolnosti proti oxidaci a odolnosti proti tepelné únavě
 - zlepšení odolnosti vůči korozi
- ✓ leguje se hlavně chromem, vanadem, mědí, molybdenem, niklem a cínem, méně často se rovněž leguje hliníkem, antimonem, titanem příp. jinými prvky

Suroviny pro tavení litin

✓ *surové železo, ocelový odpad, vratný materiál, legury, nahličovadla, očkovadla, modifikátory a struskotvorné přísady*

Surová železa: představují základní materiál kovové vsázky pro všechny typy litin

Ocelový odpad: používá se na snížení obsahů C a Si a také jako náhrada surového železa

Vratný materiál: je vlastní technologický odpad slévárny, zvyšuje obsah síry a viskozitu strusky, jeho podíl ve vsázce by neměl převyšovat 60 %

Zlomková litina: je smíšený spotřebitelský odpad, pro jeho použití je nutné oddělení případně se vyskytujících neželezných složek

Legury: při výrobě LLG a legovaných litin se nejčastěji zvyšují obsahy těchto prvků – Si, Mn, Cr, Cu, P, Ni, V, W, Mo, Al. Jako mikrolegury se používají Sn, Sb, Ti, B, Ca, Mg

Slévárenství

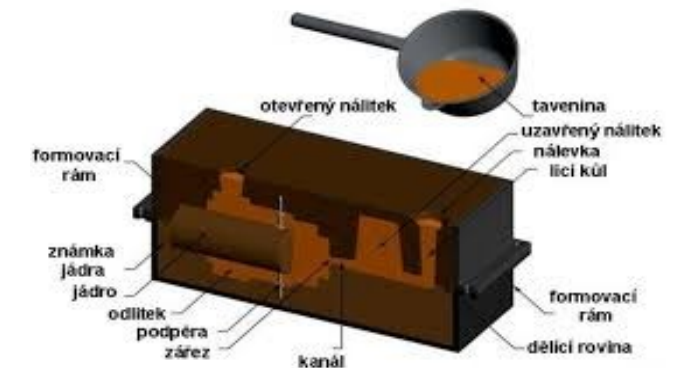
- ✓ slévárenství umožňuje nejrychlejší a často i neekonomičtější způsob, jak dodat kovům a slitinám určitý, často velmi složitý tvar
- ✓ je to způsob výroby kovových součástí, při kterém roztavený kov vlijeme do formy, v dutinách tavenina ztuhne a vytvoří odlitek
- ✓ je to způsob výroby kovových součástí, při kterém roztavený kov vlijeme do formy, v dutinách tavenina ztuhne a vytvoří surový odlitek
- ✓ po odstranění vtokové a nálitkové soustavy obdržíme hrubý odlitek a po jeho obrobení dle konstrukčního výkresu čistý odlitek

Výroba modelového zařízení

- ✓ modelovým zařízením rozumíme zařízení ke zhotovení dutiny formy, která je ohraničena jednak stěnami vlastní formy, jednak stěnami vložených jader
- ✓ patří sem modely, modelové desky, šablony a jaderníky, zhotovené podle postupového výkresu odlitku
- ✓ tvar modelového zařízení je určen tvarem a rozměry budoucího odlitku, způsobem výroby forem a jader, druhem materiálu odlitku a formy



jednorázová
písková forma
s jádry



Materiály pro výrobu modelů

- ✓ každý materiál má své přednosti a nedostatky
- ✓ při volbě je nutno uvážit, pro jaký odlitek je modelové zařízení určeno, pro jaký způsob formování, požadovanou životnost, danou sériovostí výroby, přesnost, cenu atd

dřevěné modely: jsou nejvíce používány v kusové a malosériové

z kovových materiálů se používá k výrobě modelových zařízení nebo jejich částí litina s lupínkovým grafitem

z plastů se v modelářství používají epoxydové, polyesterové a polyamidové pryskyřice s vhodnými plnivy

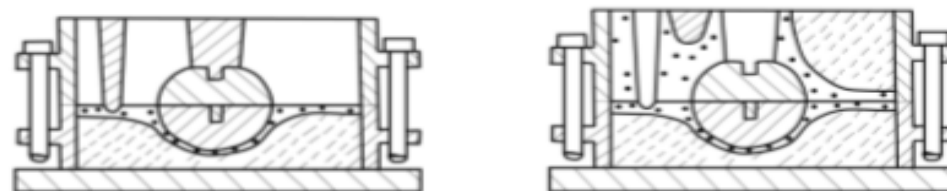
Slévárenská forma

- ✓ forma je výrobní produkt, který slouží k odlévání odlitku
- ✓ podle možného množství odlitků vyrobených v jedné formě můžeme formy rozdělit do tří základních skupin:
 - ✓ **formy netrvalé:** formy na jedno použití
 - ✓ **formy polotrvalé:** jedna forma se dá použít pro odlití až 102 kusů odlitků
 - ✓ **formy trvalé:** lze odlít řádově 103 až 104 kusů odlitků

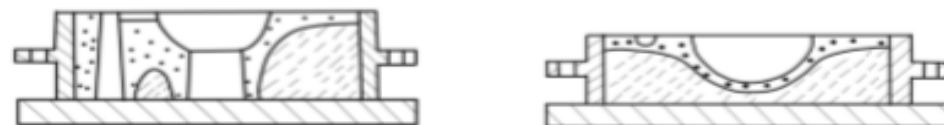
Slévárenská forma



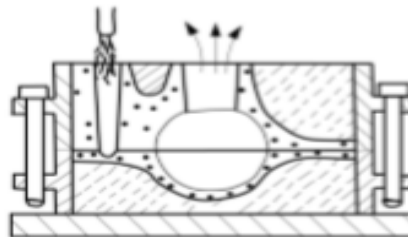
a) Výroba horního dílu formy



b) Výroba dolního dílu formy



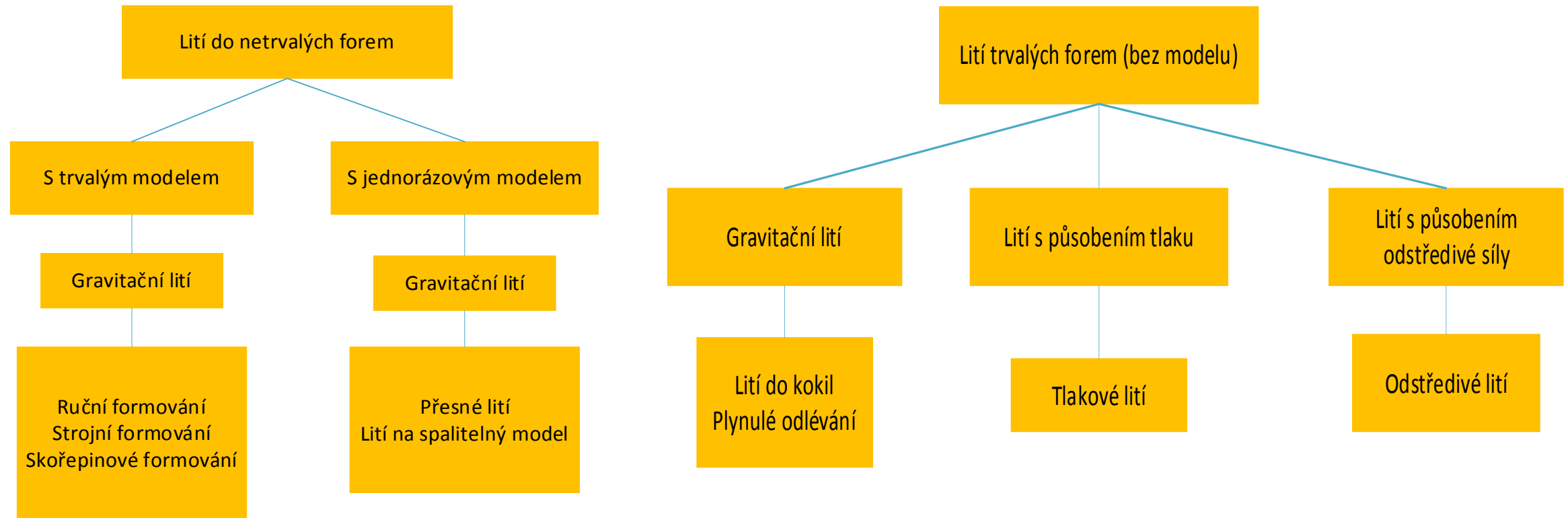
c) Rozložení formy a vyjmutí modelu



d) Složení formy a odlévání

Obrázek – Postup výroby slévárenské formy

Přehled postupů při formování a lití



Formovací směsi

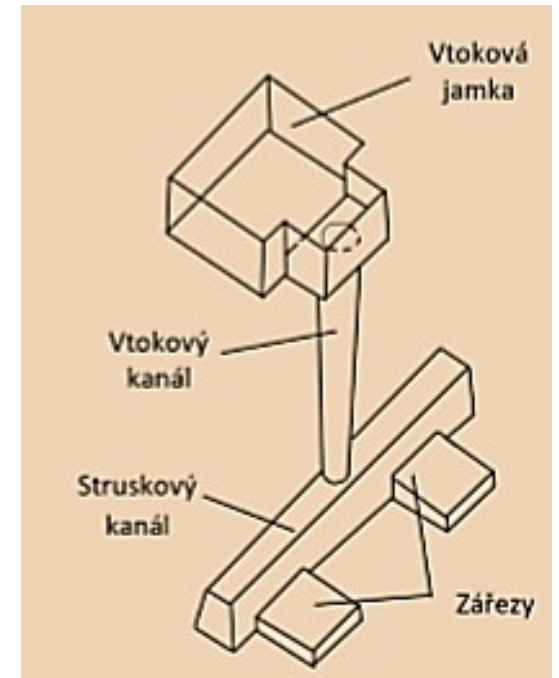
- ✓ přirozené nebo upravené sypké částice neplastických hornin, většinou křemene, obsahující až 50 % zemitého pojiva, vhodné při nebo po úpravě k výrobě slévárenských forem a jader
- ✓ musí se vyznačovat: dobrou tvárností, plastičností (schopnost přijímat tvar), vazností za syrova a případně pevností po vytvrzení, prodyšností, chemickou stálostí, žáruvzdorností, rozpadavostí a nízkou cenou
- ✓ uvedené vlastnosti jsou závislé na stavu a množství základních složek směsí, tj. **ostřiv** a **pojiv**
 - **ostřivem**: se nazývá podíl zrnitého žáruvzdorného materiálu se zrny většími než 0,02 mm (činí 50 až 98 % hmotnosti formovací směsi)
 - **pojiva**: tvoří ve formovacích a jádrových směsích vazbu mezi jednotlivými zrny ostřiva a tím ovlivňují především pevnostní charakteristiku směsí

Vtoková soustava

- ✓ Systém kanálů a dutin vytvořených ve formě za účelem dopravy roztaveného kovu do všech částí dutiny formy tvořící budoucí odlitek

Základní části vtokové soustavy:

- **Licí jamka:** do vtokové jamky se nalévá z pánve roztavený kov
- **Licí (vtokový) kůl:** vtokový kůl bývá většinou kruhového průřezu. U lehkých kovů se někdy také používá několika úzkých obdélníkových kanálů
- **Odlučovač strusky:** bývá nejčastěji lichoběžníkového průřezu a slouží k rozvedení tekutého kovu od licího kanálku do jednotlivých zářezů, dále slouží k zachycení nečistot
- **Zářezy:** spojují odlučovač strusky s formou. U větších nebo tenkostěnných odlitků se volí větší počet zářezů, aby se dosáhlo lepšího plnění a dobrého zaběhnutí kovu do všech částí dutiny formy



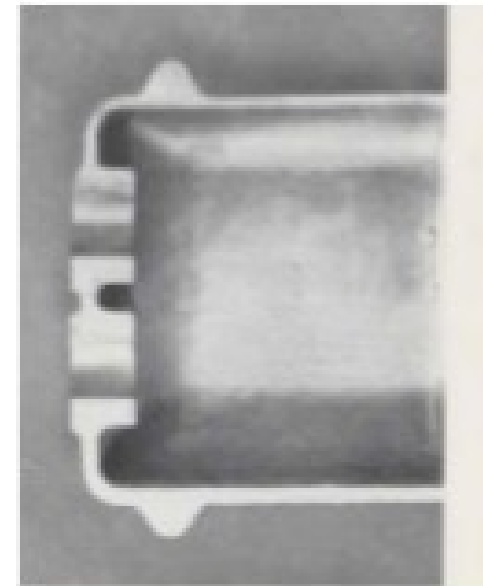
vtoková soustava pro odlitek z litiny s lupínkovým grafitem

Vady odlitků

- ✓ představují konečný důsledek nedokonalých a zastaralých technologií, nekázně i nedodržování příslušných výrobních postupů ve slévárně
- ✓ *odchyly tvaru, rozměru a hmotnosti*



předsazení odlitku v
dělicí rovině



nestejně tloušťky
stěn odlitku

Vady odlitků

✓ *odchyly vzhledu (povrchové vady)*



povrchová
přípečenina



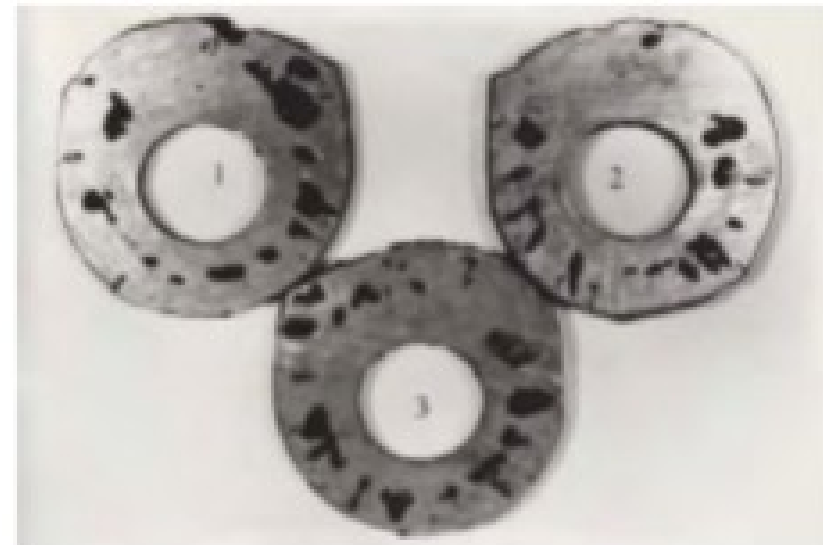
dutiny na
hrubém
odlitku z oceli
vyvolané
zálupy ve
vršku formy

Vady odlitků

✓ *odchyly od celistvosti (porušení souvislosti, dutiny, vměstky)*



trhlina za
tepla



bubliny
ve stěně
odlitku

Vady odlitků

✓ *odchylky od chemického složení a vlastností odlitku*



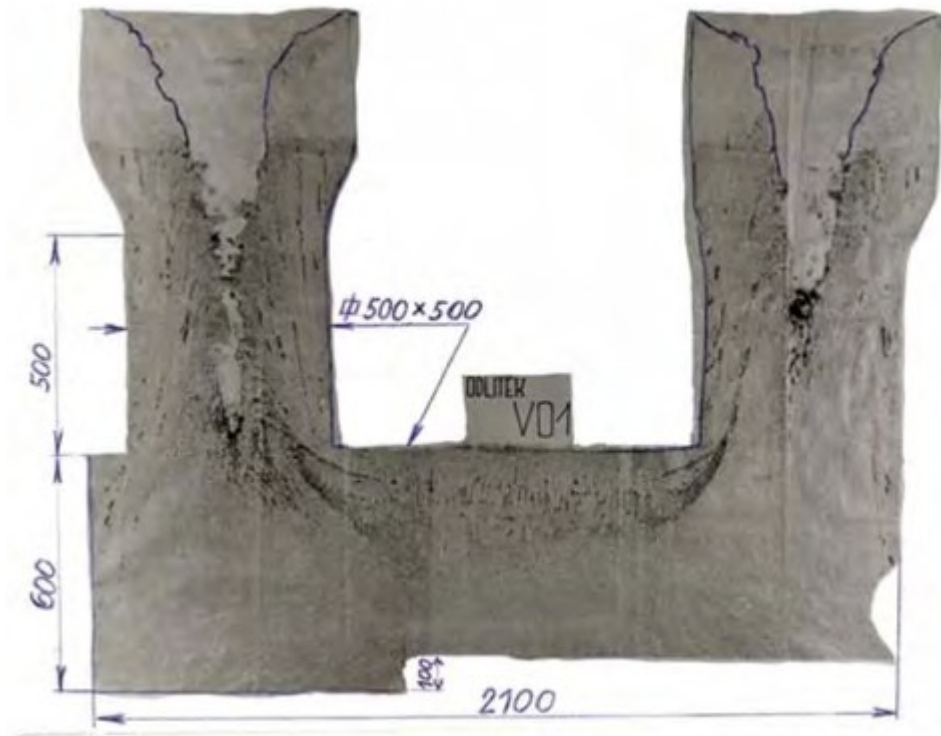
oxidická plena pod
povrchem
ocelového odlitku



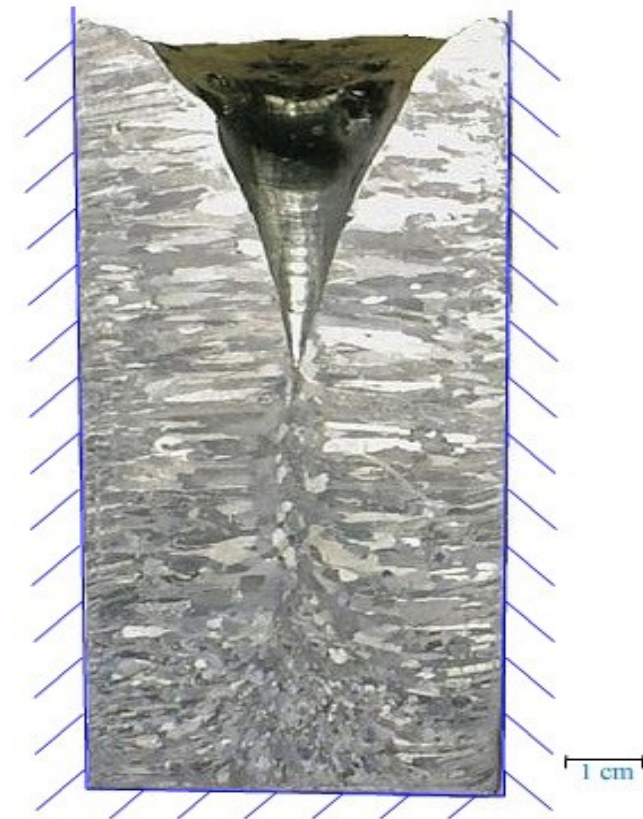
oxidická plena v
tyči pro tahovou
zkoušku – uhlíková
ocel

Vady odlitků

✓ odchylky od chemického složení a vlastností odlitku



segregace v odlitku



Kontrolní otázky

1. Definujte rozdělení materiálů do skupin.
2. Uveďte charakteristiku ocelí.
3. Definujte základní rozdělení ocelí.
4. Uveďte charakteristiku litin.
5. Definujte základní rozdělení litin.
6. Uveďte klasifikaci prvků dle jejich vlivu na mikrostrukturu.
7. Charakterizujte vsázkový materiál představující surové železo.
8. Definujte vsázkový materiál ocelový odpad.
9. Uveďte, co je to vratný materiál a k čemu slouží při tavení litin.
10. Charakterizujte pojem zlomková litina.

Kontrolní otázky

11. Popište, k čemu slouží legury při výrobě litin.
12. Vyjmenujte vsázkové materiály při tavení litin.
13. Vysvětlete pojem slévárenství.
14. Popište základní typy odlitku a vysvětlete odlišnosti.
15. Co si představíte pod pojmem výroba modelového zařízení?
16. Definujte materiály pro modely a uveďte jejich přednosti a nedostatky.
17. Charakterizujte pojem slévárenská forma a uveďte základní typy.
18. Definujte složky formovacích směsí a popište jejich vlastnosti.
19. Charakterizujte vtokovou soustavu a popište jednotlivé části.

Kontrolní otázky

20. K čemu slouží zářez ve vtokové soustavě?
21. Vysvětlete výraz vada odlitku.
22. Definujte jednotlivé druhy vad odlitků.

Použitá literatura a zdroje

- ✓ [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=43063
- ✓ FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-86706-09-5.
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%A0ed%C3%A1_litina
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://www.obl.cz/fitinky-z-temperovane-litiny/fitink-33-3-mm-r-1-x-26-4-mm-r-3-4-temperovana-litina/p/4952131>
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-600-1/pdf/121.pdf
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2802025/>
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.moodle-trebesin.cz/login/index.php>

Použitá literatura a zdroje

- ✓ <https://www.keramickepece.cz/cs/kulove-mlyny/1232-kulovy-mlyn-km-01-r-s-regulaci-otacek.html>
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-01]. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/42402/?jsessionid=AB5D0CA850DE6F3EBE27543FB64233C6?sequence=2>
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=149312
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/108478857-Atlas-fotografii-vad-odlitku-photo-atlas-of-casting-defects.html>
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <https://www.enaradinastroje.cz/3-celistove-sklicidlo-litina-format-din-6350-100-mm/>
- ✓ [online]. [cit. 2021-03-04]. Dostupné z: <http://www.wassheng.com.tw/en/product/Worm-Gear-Shaft-with-Inner-Threaded-Stainless-Steel/Shaft-SHT-14.html>