



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Bakalářská práce

Využití litinových materiálů v konstrukci dopravní
a manipulační techniky

Autorka práce: Lenka Haklová

Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Zoubek

České Budějovice
2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Lenka Haklová

Abstrakt

Obsah této rešeršní práce se věnuje možná co nejkomplexněji problematice základních typů litin, od jejich původu jako jedné ze slitin železa, po jejich charakteristiku, vlastnosti a využití jako konstrukčního materiálu v oblasti dopravní a manipulační techniky. Práce je doplněna o informace o železe jako chemickém prvku, železných rudách, kovech, krystalografických soustavách a v neposlední řadě také o diagram železo – uhlík, který se přímo váže k litinám.

Klíčová slova: konstrukční materiál, železo, kovy, krystalická mřížka, diagram Fe-Fe₃C, šedá litina, tvárná litina, bílá litina, temperovaná litina, mikroskopická struktura

Abstract

The content of this research work is devoted as comprehensively as possible to the issue of basic types of cast irons, from their origin as one of the iron alloys, to their characteristics, properties and use as a construction material in the field of transport and handling technology. The work is supplemented by information about iron as a chemical element, iron ores, metals, crystallographic systems and, last, but not least, a diagram of iron - carbon, which is directly related to cast iron

Keywords: construction material, iron, metals, crystal lattice, Fe-Fe₃C diagram, gray cast iron, ductile iron, white cast iron, malleable cast iron, microscopic structure

Poděkování

Děkuji Mgr. Tomáši Zoubkovi za vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily.

Obsah

Úvod.....	7
Cíl práce	9
1 Železo a technické železo.....	10
1.1 Charakteristika a vlastnosti železa.....	10
1.2 Výskyt	11
1.3 Výroba	12
1.4 Sloučeniny železa	13
1.5 Význam	13
1.6 Kovy	13
1.6.1 Vlastnosti kovů	14
1.6.2 Vnitřní stavba kovů.....	15
1.7 Železo a jeho slitiny (technické železo)	18
2 Soustava železo-uhlík.....	21
2.1 Diagram Fe-Fe ₃ C.....	21
3 Litiny	24
3.1 Šedá litina	26
3.2 Tvárná litina	28
3.3 Bílá litina	30
3.4 Temperovaná litina.....	32
4 Vlastnosti a využití litin	34
4.1 Vlastnosti šedé litiny	34
4.1.1 Využití šedé litiny	35
4.1.2 Výhody a nevýhody použití	38
4.2 Vlastnosti tvárné litiny	38
4.2.1 Využití.....	39
4.2.2 Výhody a nevýhody použití	41

4.3	Vlastnosti bílé litiny	41
4.3.1	Využití.....	42
4.3.2	Výhody a nevýhody použití	43
4.4	Vlastnosti temperované litiny	44
4.4.1	Využití.....	44
4.4.2	Výhody a nevýhody	46
	Závěr	47
	Seznam použité literatury.....	48
	Seznam obrázků	53
	Seznam tabulek	54

Úvod

Slévárenství, litina, železo. Tyto pojmy se s lidskou civilizací nesou již tisíce let. Proces zpracování kovů za pomoci lití se datuje do období začátku doby bronzové. Někdy v této době se na světě objevily rané pokusy obyvatel o zpracování kovů. Právě tímto počinem se začala psát doba bronzová, ve které si tehdejší lidé vyráběli nástroje a zbraně za pomoci odlévání bronzu do kamenných forem. Tuto dobu můžeme tedy označit jako dobu vzniku technologie lití kovů.

Na dobu bronzovou navázala v průběhu posledního tisíciletí před naším letopočtem doba železná. Železo jako materiál uměli využít na Blízkém východě již výrazně dříve, nicméně do Evropy se tato technologie dostala až později. Cesta železa k pracovníkovi byla ovšem velmi obtížná. Železo bylo nutné nejprve vytěžit a takto vytěžené železo dále zpracovat. Železo zbavené nečistot se pak dostalo ke kovářům, kteří za pomoci dmýchadel a kladiv vyráběli nástroje jako kosy, sekery a dláta, ale také první výrobky související s dopravní a manipulační technikou a to podkovy, koňské postroje nebo čepy a hřebíky pro použití na tažených vozech.

Litina jako sloučenina železa, uhlíku a případných legujících prvků se objevuje až mnohem později. Prvním známým nálezem litinových předmětů jsou litinové dělové koule vyrobené v Aušpurku v druhé polovině 14. století. Její zpracování se pak rozšířilo do německých a italských zemí v druhé polovině 15. století.

Přelom ve zpracování železa nastal v 18. století, když John Wilkinson, známý také jako mistr ocelář ze Staffordshire, vynalezl a sestrojil první stroj schopný vrtat válce a dělové hlavně s velmi vysokou přesností. Díky tomuto inovativnímu stroji mohl James Watt dokončit svůj parní stroj. Tento krok však Wilkinsona posunul ve zpracování litin ještě dál, když za pomoci Wattova parního stroje poháněl obrovskou vzduchovou pumpu pro jeho velkovýrobnu tepaného železa. Další z mnoha Wilkinsonových inovací zahrnovali například člun se železným trupem, v té době revoluční vynález pro přepravu těžké munice. Ve spolupráci s Francií pak vytvářel děla z jednotlivých odlitků a odlil všechny trubky, válce a kování potřebné k provozu pařížské vozdárny. Ani jeho skon se neobešel bez litiny, jeho tělo bylo pohřbeno v litinové rakvi jeho vlastní konstrukce.

Vrchol vývoje litin nastal na počátku 19. století, který se nesl ruku v ruce s průmyslovou revolucí, protože litina a výrobky z ní stály za konstrukčními prvky, které dosahovaly do té doby nevídané kvality. Tento obrovský posun ve využití litin měl za

následek realizaci dosud nemyslitelných staveb mostů a obrovský rozvoj železniční dopravy. Postup výroby litiny vyhovuje jak masové výrobě opakujících se součástí, tak specifickým požadavkům složitých konstrukčních tvarů. Díky tomu se mohla města rychleji rozvíjet, což mělo za následek potřebu vybudování nových vodovodních potrubí, opět z litin. V této době se také ve městech objevovaly kanalizační systémy a litinové poklopy jako kryty těchto staveb jsou nepostradatelné dodnes.

Posun ve zpracování litin nastal při objevení kuličkového grafitu ve struktuře litiny. Litina, která obsahuje kuličkový grafit se nazývá tvárná litina a je materiálem s kombinací mechanických vlastností oceli a šedé litiny. V dnešní době rozeznáváme velké množství druhů litin, mezi hlavní patří šedá litina, bílá litina, tvárná litina a temperovaná litina, kterým se budu podrobněji věnovat v této práci.

Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je poskytnout přehled současného stavu využívání litinových materiálů v konstrukci dopravní a manipulační techniky, poskytnout náhled na vývoj těchto materiálů a na vybraných příkladech demonstrovat používání litinových materiálů v konstrukci dopravní a manipulační techniky.

1 Železo a technické železo

Železo, chemická značka Fe, je považován za jeden z nejrozšířenějších přechodných kovů – prvků, a je též druhým nejvíce rozšířeným kovem na zemi, který je současně velmi rozšířen ve vesmíru. Lidstvu je železo známé již od pravěkých dob. V přírodě častý výskyt minerálů železa, jehož požadovaná konečná forma se z nich získává pomocí redukce ve vysoké peci. Samotný objev výroby a jeho využití byl jedním z milníků historie, který pomohl vývoji civilizace. Železo je všestranně široce využitelné zejména pro výrobu slitin a dále pro většinu základních technických vymožeností, které dnes lidstvo používá se samozřejmostí. Velký význam mají také všechny tři typy sloučenin železa, ať už se jedná o anorganické, organické nebo komplexní. Železo je také velmi významným biogenním prvkem, který je přítomen nejen v lidském těle, ale i v tělech dalších organismů, kde má zcela zásadní význam, jelikož se podílí na přenášení kyslíku k buňkám a tím umožňuje život (Multimediaexpo, 2002; RSC, 2022)

1.1 Charakteristika a vlastnosti železa

Železo je měkký kov, barvy od světle šedé až po odstíny špinavě bílé, jedná se o ferromagnetický kov s obvykle špatnou korozivzdorností. Železo zůstává ferromagnetické do teploty přibližně 770 °C – kdy nastává tzv. Curieův bod – v tomto bodě železo tuto vlastnost ztrácí (Materials science & engineering, 2022). Lidstvu je železo známo po mnoho tisíc let (konkrétně objeveno na konci pravěké éry, a to v období halštatském a laténském), přesto jsme se dočkali jeho masové průmyslové výroby až v průběhu 18. století. Chemicky vzato je elementární železo obecně velmi nestálé a reaktivní. Železo je schopné se snadno rozpouštět působením minerálních kyselin. Železo reaguje například:

- s kyselinou chlorovodíkovou HCl
- s kyselinou sírovou H₂SO₄ (Pilaardelements, 2022)
- se zředěnou kyselinou dusičnou HNO₃, s koncentrovanou železo na povrchu lehce pasivuje (rezaví), ale nerozpouští se (Vedantu, 2022)

Má se za to, že hydroxidy na železo za běžné teploty nepůsobí, ovšem zahříváním železných pilin s hydroxidem alkalického kovu mohou za vhodných podmínek vzniknout železany. Vzdušná vlhkost má na železo destruktivní vliv, jejím působením snadno oxiduje za tvorby tzv. hydratovaných oxidů (rez). Tato reakce přitom nevede k ochraně materiálu povrchovou pasivací jako můžeme pozorovat u jiných kovů, protože vrstva rzi se snadno odlupuje a koroze postupuje hlouběji do materiálu. Při žíhání

železa ve vzduchu nebo také jeho reakcí s vodní párou vzniká oxid železnato-železitý Fe_3O_4 . Železo se přímo za vysoké teploty slučuje s chlórem, sírou a fosforem a má dále schopnost se slučovat s uhlíkem a křemíkem, ovšem například s dusíkem se železo neslučuje v žádném případě. Podstatnou vlastností jádra atomu železa je fakt, že je pro něj typická nejvyšší vazebná energie ze všech jinak známých prvků. V konečném důsledku to představuje mimo jiné situaci, že při termojaderné fúzi, která probíhá například v jádru hvězd je železo právě tím posledním prvkem, který lze tímto způsobem připravit za vzniku energetického zisku. Naopak v odlišném případě, například při štěpení jader těžkých prvků je jádro atomu železa tím prvním, z něhož nelze štěpením získat energii (Multimediaexpo, 2002; Lumen, 2022).

1.2 Výskyt

Železo je široce rozšířeno ve vesmíru, za což vděčí především stálosti svého atomového jádra. V zemské kůře je železo jedním z nejvíce zastoupených prvků, nalezneme ho tam v množství 5 % (Sharp a Gohd, 2017). Poměrně zajímavé množství železa bylo objeveno také v měsíční kůře, konkrétně 3 %, na odvrácené straně měsíce až 8 % (Lucy et al., 1995). Obvyklá podoba železa v zemské kůře je převážně ve formě oxidů a uhličitánů. Pouze výjimečně se železo na Zemi vyskytuje ve své ryzí podobě, a to ve formě kuliček, nicméně toto železo pochází pravděpodobně pouze z meteoritů. Hlavní minerály železa jsou (Chemickeprvky.cz, 2022):

- Hematit (Fe_2O_3)
- Magnetit (Fe_3O_4)
- Limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$)
- Siderit (FeCO_3)

Přehled nejpoužívanějších železných rud, obsah železa v nich, charakteristika a místa jejich těžby jsou zaznamenány v tabulce 1.1.

Tabulka 1.1 – Přehled železných rud (UPOL, 2022b)

Název rudy	Obsah železa	Charakteristika	Místo těžby
Hematit – Krevet (Fe ₂ O ₃)	69,94 %	Vhodné k výrobě slévárenského surového železa	Švédsko Ukrajina Rusko
Magnetit – Magnetovec (Fe ₃ O ₄)	70 %	Nejbohatší obsah železa	Švédsko Rusko (Ural)
Limonit – Hnědel (Fe ₂ O ₃ .xH ₂ O)	30–60 %	Vznik zvětráním jiných žel. rud. Nejrozšířenější. Nejvíce nečistot.	Rusko (Ural) Francie (Lotrinsko)
Siderit – Ocelek (FeCO ₃)	48 %	V současnosti malý význam.	Rakousko USA Rusko

1.3 Výroba

Železo se vyrábí redukcí oxidů železa ve vysoké peci koksem za přídavku uhlíčitanu vápenatého CaCO₃. Rovnice 1 a 2 popisují chemické reakce redukce železa (Kašpárek et al., 2001):



Tímto způsobem vzniká surové železo s velkým množstvím nečistot neboli nežádoucích prvků, jejichž obsah se pohybuje v rozmezí 2–10 % (C, S, P, Si, Mn). Podle rychlosti chlazení vzniká šedé železo obsahující grafit (při pomalém chlazení) a bílé železo obsahující karbid triželeza (při rychlém chlazení) (Kašpárek et al., 2001). Přeměna surového železa na ocel se nazývá zkujňování. Spočívá v odstranění přebytečného uhlíku, síry, fosforu a křemíku (Heinrich, 1971). Nejčastější způsoby jsou Bessemerův proces, Siemens-Martinův proces, zásaditý kyslíkový konvertorový proces, zkujňování v elektrické peci aj. (Greeneood a Earnshaw, 1993).

1.4 Sloučeniny železa

Železo vystupuje ve svých sloučeninách převážně jako dvojmocné a trojmocné. Od dvojmocného železa se odvozuje oxid železnatý a hydroxid železnatý, stejně jako soli četných anorganických kyselin. Nejdůležitější z nich je síran krystalizující se sedmi molekulami vody, heptahydrát síranu železnatého (zelená skalice). Od trojmocného železa je odvozen oxid železitý a hydroxid železitý. Tvoří rovněž soli s četnými anorganickými kyselinami, například dusičnan železitý a kamenec $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Známé jsou i sloučeniny v oxidačních stupních $-II$, $-I$, 0 , IV , a VI . Sloučeniny železa v těchto oxidačních stupních jsou méně časté a mnohé jsou velmi reaktivní. Vazby atomu železa ve sloučeninách, resp. v komplexních sloučeninách, mají vesměs nízký kovalentní stupeň – jsou tedy většinou kovalentního charakteru (Kašpárek et al., 2001; Kůtek, 1996).

1.5 Význam

Největšího významu se železu dostává jako široce a variabilně použitelnému konstrukčnímu materiálu, který se typicky používá ve formě oceli, nebo obecně také slitin s jinými kovy. Železo je také podstatným prvkem v tělech živočichů a dalších organismů. Je složkou hlavního proteinu hemoglobinu přenášejícího kyslík v červených krvinkách. Typická červená barva krve je způsobena komplexem železa s porfyrinem (hem) (Kanjaksha, 2006; Chemickeprvky.cz, 2022).

1.6 Kovy

Pro kovy je charakteristická kovová vazba, vzniklá pomocí sdílení valenčních elektronů. Zvláštností kovové vazby je její schopnost být jak slabou vazbou (jako např. u rtuti), tak i silnou vazbou (jako např. u wolframu). Počet elektronů je určen protonovým číslem. Při dostatečném přiblížení valenčních elektronů dojde k překrytí orbitalů sousedních atomů, čímž vznikne kovová vazba, vytvoří se kationty, které jsou obklopeny společně sdíleným prostředím záporných valenčních elektronů – „plynem“ volných elektronů. Zjednodušeně lze říct, že kovová vazba je druh chemické vazby, jenž vzniká vazbou kladně nabitých jader k prostředí záporně nabitých elektronů (Helmenstine, 2019). Nicméně tímto nedochází ke vzniku lokalizované vazby, neboť volných elektronů je značné množství a nezaujmají vzhledem k atomům stabilní polohu. V kovové vazbě se vyskytují stabilizované kationty, které jsou schopni dosazení do uzlových bodů mřížky. Kovy obvykle disponují nanejvýše třemi valenčními elektrony. Va-

lenční elektrony mají schopnost procházet strukturou, což vysvětluje velmi dobrou vodivost kovů, a to jak tepelnou, tak elektrickou. S klesajícím počtem elektronů ve valenční sféře slábne vazebná síla.

Z toho vyplývá, že nejlepšími vodiči elektřiny a tepla jsou například měď, zlato, platina nebo stříbro, protože disponují ve valenční sféře právě jedním elektronem (Tampa Steel, 2022). Pohyb volných elektronů podléhá kvantovým pravidlům. V materiálech schopných dobrého vedení el. proudu se valenční pás s elektrony překrývá s vodivostním pásem nebo je valenční pás obsazen pouze částečně, nicméně obě situace napomáhají pohybu elektronů ve struktuře (UPOL, 2022a).

1.6.1 Vlastnosti kovů

Kovové materiály jsou z pohledu společnosti jedny z nejvýznamnějších technických materiálů. Fyzikální a mechanické vlastnosti kovů mohou být velmi různorodé a proměnlivé v závislosti na daném druhu. Přesto lze definovat fyzikální vlastnosti, které jsou společné celé skupině kovových materiálů (Vojtěch et al., 2005). Jsou to především:

- **Tvárnost (kujnost), houževnatost**

Tvárnost je nejčastěji definována jako schopnost materiálu snadno se deformovat při aplikaci tahové síly, nebo jako schopnost materiálu odolat plastické deformaci bez porušení. Houževnatost spojuje pevnost a tažnost v jediné měřitelné vlastnosti a vyžaduje rovnováhu mezi pevností a tažností. Obě vlastnosti jsou stěžejní pro zpracování kovů do požadovaných tvarů (Nuclear-power, 2022).

- **Elektrická vodivost**

Elektrická vodivost je mírou množství elektrického proudu, který může materiál přenášet, nebo jeho schopnosti přenášet proud. Díky této vlastnosti se řadí kovy a slitiny do kategorie vodičů. Dobrou el. vodivost mají měď a hliník (Helmenstine, 2020).

- **Tepelná vodivost**

Tepelná vodivost (často označovaná k , λ nebo κ) se týká vnitřní schopnosti materiálu přenášet nebo vést teplo. Kovy a slitiny kovů vykazují obecně vyšší tepelnou vodivost oproti jiným materiálům (Thermtest, 2022).

- **Kovový lesk, odrazivost viditelného záření**

Uvedené vlastnosti kovů velmi úzce souvisejí se zvláštním typem vazby a s charakterem vnitřní struktury kovů, jak bude popsáno v následujících kapitolách (Vojtěch et al., 2005).

1.6.2 Vnitřní stavba kovů

Pro všechny kovy je typ vyznačující tuhým skupenstvím (kromě rtuti) ve své podobě za běžných teplot okolí. Kovy krystalizují nejčastěji v soustavě krychlové a šesterečné, konkrétně železo krystalizuje do podoby krychlové prostorové, či plošné mřížky. Základem stavby kovů jsou atomy, které jsou tvořeny jádrem s množstvím elektronů okolo. Atomy kovu se musí spojit do útvaru, v němž jsou pomocí vnitřních sil drženy na svém místě. Tím mohou vytvořit krystal (Odehnalová, 2022). Jednotlivé stavební částice materiálových struktur na sebe působí silami. U plynů a kapalin se vzájemná poloha částic mění vzhledem k jejich skupenství, u krystalických (pevných) látek jsou síly natolik silné, že se atomy (ionty) udrží ve stálých vzájemných polohách (Brownův tepelný pohyb). Podle charakteru se vazby dělí na (Meluzin, 2002; Beneš, 2022):

- **Iontová**

Lze charakterizovat jako nejjednodušší vazbu, jejíž princip spočívá v elektrické přitažlivosti mezi elektropozitivními a elektronegativními ionty (což se týká prvků umístěných v blízkosti vzácných plynů v periodické tabulce).

- **Kovalentní**

Pojmenování odvozeno od tzv. „kolektivní valence“, oproti iontové vazbě definována společnými dvojicemi valenčních elektronů elektricky neutrálních atomů. Páry se tvoří, jakmile dojde u atomů k překrytí valenčních orbitalů. Charakteristická je pro tuto vazbu značná síla – pevnost, takže ani tání nebo rozpouštění nemá na molekuly vliv. Příkladem této párové vazby elektronů může být např. H_2O , CO_2 , Cl_2 .

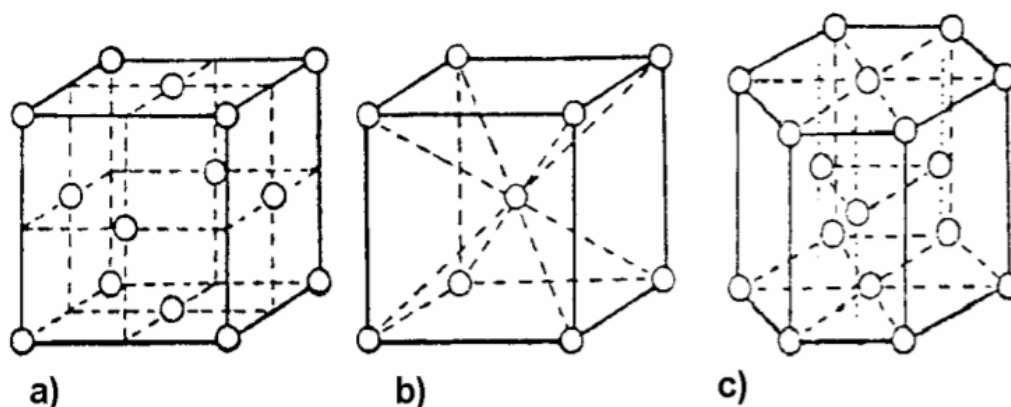
- **Kovová**

Podobnost s kovalentní vazbou. Za předpokladu přiblížení atomů kovů na dostatečně malou vzdálenost, čímž umožní vznik krystalické struktury, se mohou valenční elektrony pohybovat volně jako plyn mezi ionty, kterými jsou kationty a tím vyvolávají vazebné síly. Kovová vazba je charakteristická pro látky, které mají nízký počet elektronů ve vnější sféře, což jsou často právě kovy.

- **Vazba van der Waalsova**

Častá u prvků a chemických sloučenin s velmi stabilní valenční skupinou, což jsou např. inertní plyny (Ptáček et al., 2002).

U kovů se projevuje kovová vazba a vzniklý útvar se nazývá buďto jako krystalový mřížkový element, nebo častěji jako krystalická mřížka. Tímto oborem se zabývá metalografie, což je studium mikrostruktury všech typů kovových slitin. Lze ji přesněji definovat jako vědní disciplínu sledování a určování chemické a atomové struktury a prostorového rozložení zrn, složek, vměstků nebo fází v kovových slitinách. V rozšíření lze tyto stejné principy aplikovat na charakterizaci jakéhokoli materiálu (Leica Microsystems, 2020). Souhrnnou vlastností kovů je vysoká tepelná a elektrická vodivost, vysoká pevnost, schopnost přetváření (tvárnost) a kovový lesk. Kovová mřížka je tvořena mřížkovými elementy opakujícími se v nesmírném množství všemi směry. Na obrázku 1.1 jsou zobrazeny nejčastější mřížkové elementy kovů.



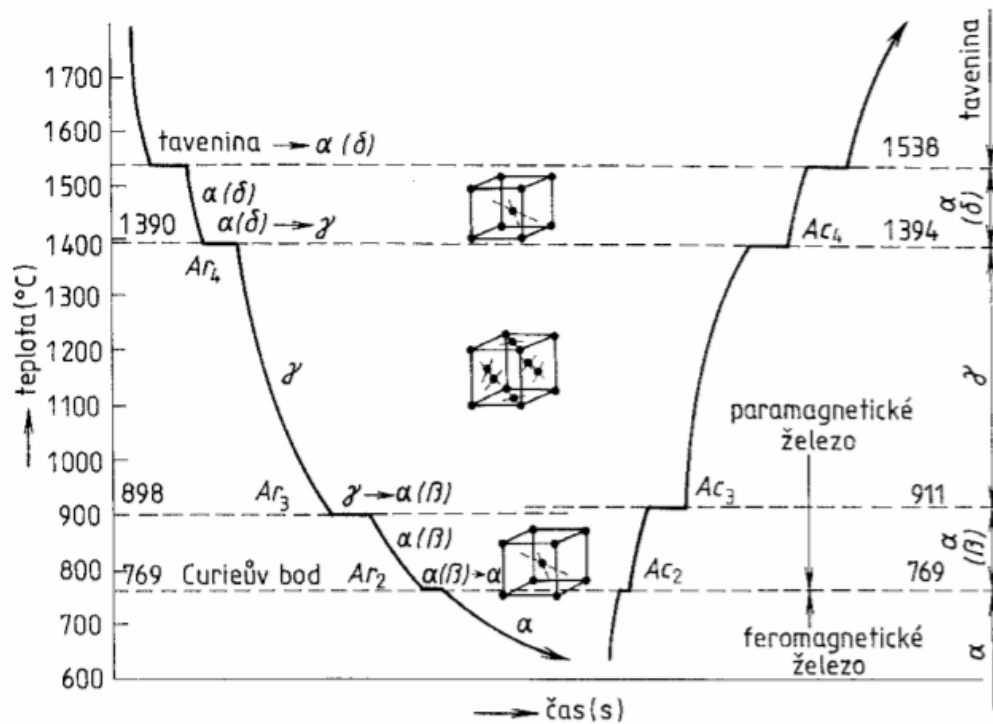
Obrázek 1.1 - nejčastější mřížkové elementy kovů: a) krychlová mřížka plošně středěná b) krychlová mřížka prostorově středěná, c) šesterečná mřížka (Meluzin, 2002)

Čisté železo je „polymorfní“. To znamená, že jako pevný materiál má schopnost existovat ve více než jedné krystalické struktuře. To je jedno z „tajemství“ úspěchu železa v kombinaci s jinými prvky za účelem vytvoření slitin (jako je ocel), což vede k dramatickému rozšíření jeho spektra vlastností při jeho použití jako konstrukčního materiálu. Polymorfie železa je předvedena na obrázku 1.2, kde jsou zachyceny změny jeho krystalové mřížky v závislosti na teplotách při zahřívání a ohřevu (Meluzin, 2002):

- Do teploty 911 °C železo disponuje krystalickou mřížkou krychlovou, prostorově středěnou, celkem tedy 9 atomů, což se vyjadřuje tzv. stabilní modifikací α .
- Za teploty 911 °C se krystalická mřížka změní z α v γ , tzn. též do krychlové mřížky, tentokrát ale plošně středěné o počtu 14 atomů.

- Za teploty 1 394 °C vznikne opět původní mřížka krychlová, prostorově středěná ($\delta = \alpha$).
- Při teplotě 769 °C přijde tato konkrétní modifikace železa α o své feromagnetické vlastnosti, díky čemuž tuto modifikaci železa α v rozsahu teplot 769 °C až 911 °C nazýváme železo β .

Železo, díky tomu, že se jedná o polymorfní kov disponuje dvěma odlišnými modifikacemi: primárně se jedná o modifikaci α , která je stabilní v průběhu dvou rozsahů teplot, nejprve do teploty 911 °C, poté v rozsahu 1 394 až 1538 °C, přičemž v tomto rozmezí se označuje jako modifikace δ . Obě tyto modifikace odděluje oblast γ . Průběh ochlazování je v zásadě shodný, pouze v opačném pořadí, za mírně rozdílných teplot. Tento vzniklý tepelný rozdíl nazýváme jako tepelná hystereze. Schopnost železa měnit krystalickou mřížku i v pevném (tuhém) skupenství popisujeme jako překrystalizaci (Meluzin, 2002).



Obrázek 1.2 - Překrystalisace železa v závislosti na teplotě během jeho ochlazování a ohřevu (Meluzin, 2002).

Schopností překrystalisace disponuje také tzv. technické železo, což je pouze jiné pojmenování pro slitiny železa a uhlíku, případně s malým množstvím jiných prvků. Překrystalisace je v zásadě základ tepelného zpracování kovů a jejich slitin, během které dokážeme ku prospěchu měnit jejich vlastnosti, a to vše pouze změnou teploty, jinými slovy, bez nutnosti tváření. Je všeobecně známo, že slitiny kovů mají lepší vlastnosti než původní čisté kovy. Slitinu můžeme připravit za předpokladu, že použité kovy budou v tekutém stav mezi sebou vzájemně rozpustné. Ve slitinách vznikají při tuhnutí tři druhy krystalů (Meluzin, 2002; Machek V., Sodomka J., 2008):

- **Krystaly tzv. čistých kovů** ve zkratce je lze popsat tak, že jejich základ spočívá v čistém kovu, což znamená, že mají stejnou krystalickou mřížku a stejné vlastnosti jako původní čistý kov.
- **Tuhý roztok** může mít jiné složení, základ mřížky stejný jako základní kov, ovšem některé atomy pochází z přidaného kovu, u některých roztoků se atom přidaného prvku umístí mezi atomy původního kovu do mřížky. Technické železo krystalizuje do tuhého roztoku.
- **Kovové (chemické) sloučeniny** jsou složeny z různých atomů, může mezi nimi vzniknout kovová vazba, kterou získají vlastnosti kovů, nebo pokud se vyskytne vazba typu jako u anorganických nekovových sloučenin, čímž získají křehkost.

1.7 Železo a jeho slitiny (technické železo)

Železo a od něho odvozené slitiny jsou stále nejužívanějším materiálem ve strojírenství. Slitiny železa rozlišujeme nejčastěji dle procenta obsahu uhlíku do dvou skupin:

- Oceli = kujné slitiny
- Litiny = nekujné slitiny

Toto dělení technického železa je veskrze pragmatické, jelikož vychází ze způsobu výroby obou slitin a zahrnuje zásadní vliv obsahu uhlíku na výsledné vlastnosti jak litin, tak ocelí. Výroba surového železa probíhá ve vysoké peci. K výrobě je v zásadě zapotřebí třech základních surovin, a to jsou rudy, koks a vápenec. Výrobu surového železa provází ve své podstatě poměrně jednoduchý proces (Meluzin, 2002).

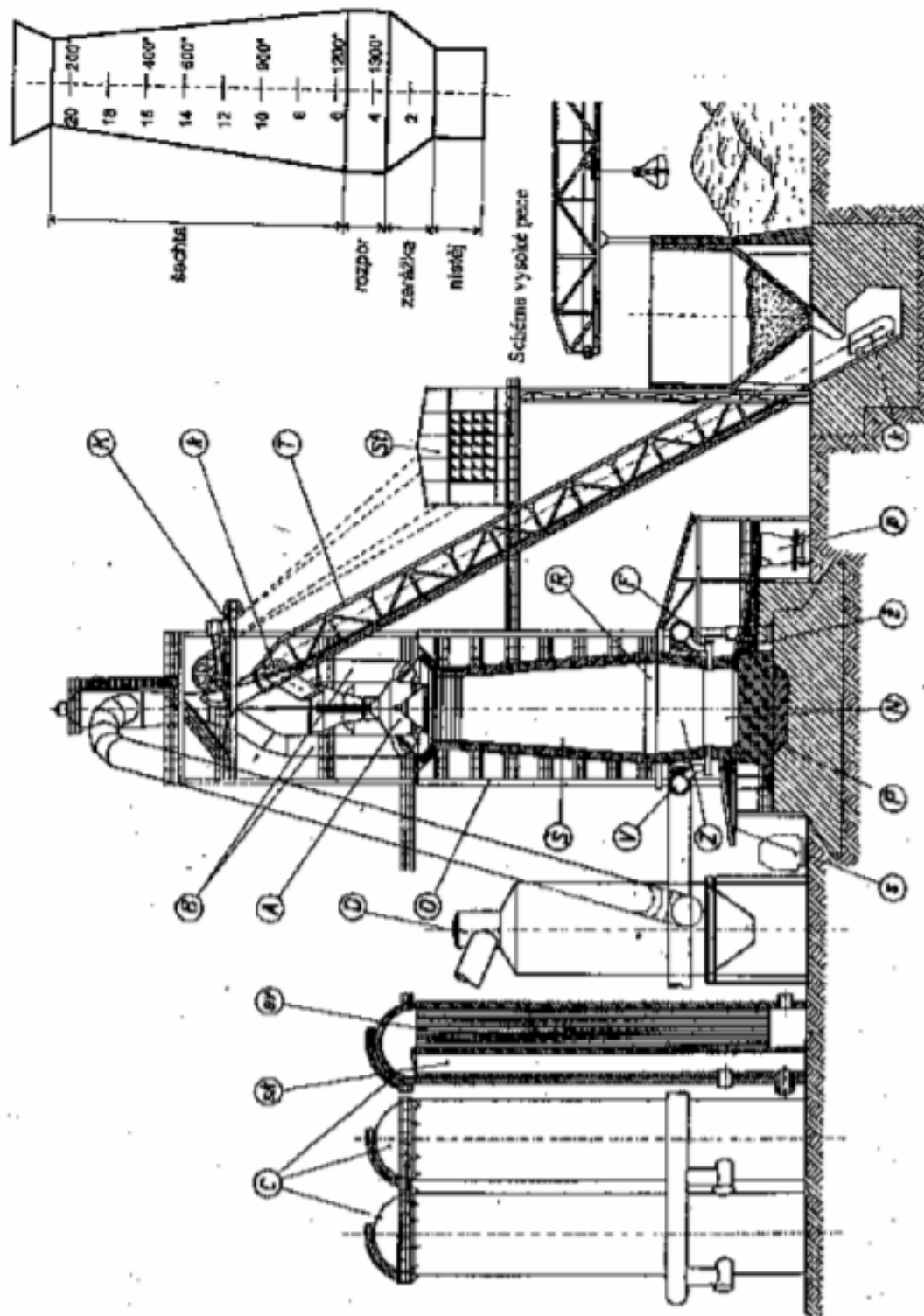
Existuje dělení dle použité výrobní technologie na výrobu z železných rud přímou a nepřímou. Rozdíl mezi těmito způsoby spočívá v tom, že výsledným produktem nepřímé metody je surové železo, které je nutno dále zpracovat ve slévárnách a ocelárnách, kdežto u přímé metody je výsledkem tzv. předredukovaná peleta, nebo

hrudka, která disponuje menším nebo vyšším stupněm nauhličení. Tyto pelety nebo hrudky se také dále zpracovávají, svůj účel mají například v práškové metalurgii. V současnosti dominuje nepřímý způsob výroby železa z rud (Ptáček et al., 2002).

Jak již bylo řečeno, pro výrobu železa je zásadní zvolit vhodný způsob uvolnění železa z vybrané rudy, což je proces probíhající za vysokých teplot až 1300 °C ve vysoké peci, což je zjednodušeně sestava strojních zařízení vyobrazená na obrázku 1.3. Výška pecí bývá 26 až 28 m i více. Do pece se plynule zaváží základní suroviny potřebné pro výrobu, a to tzv. kovonosné suroviny, což jsou železné rudy, dále palivo, nejčastěji se jedná o metalurgický koks a v neposlední řadě také struskotvorné přísady jako např. vápenec CaCO_3 .

Palivo se spaluje proudem horkého vzduchu, dosahujícího teplot až 1300 °C. Při spalování dochází ke vzniku redukčního plynu, obsahujícího vodík a oxid uhelnatý, a který dosahuje teploty přes 2000 °C. Produkt redukce, železo je dále obohaceno nauhličeno koksem a zůstává v nístěji pece společně se struskou, jenž se tvoří nad hladinou železa. Oba produkty redukce, jak železo, tak struska volně opouští pec pomocí odpichových otvorů (Ptáček et al., 2002). Surové železo se dále odlévá do tzv. licího pole, do tvaru tzv. housek, rozměru asi 1 000 x 100 x 50 mm. Odlévá se vždy množství jednoho odpichu, což je množství, které průměrně pojme jedno licí pole, struska se mezi odpichy odpouští třikrát až čtyřikrát. Železo je možné odlévat do písku, nebo také do litinových forem. Zchladlé housky se dopraví do skladiště a proces pokračuje znova, většinou se pracuje na dvě pole. Do jednoho pole se odlévá, druhé se v mezičase připravuje (Meluzin, 2002).

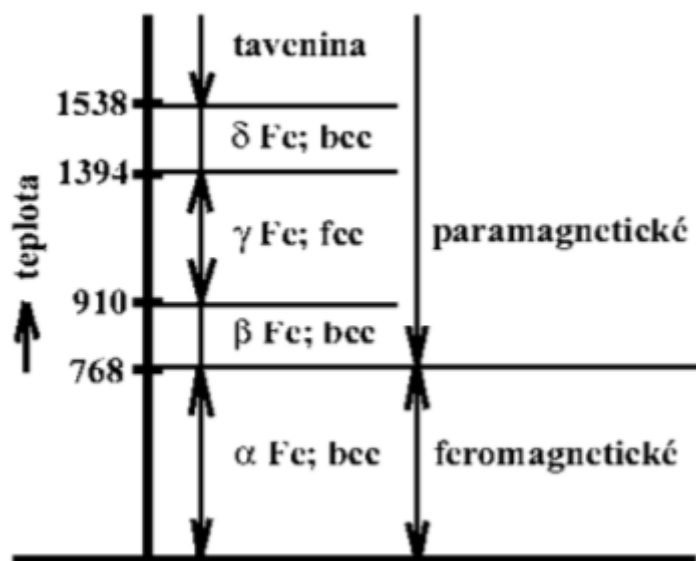
Složení vyrobeného surového železa převážně odpovídá slitině železa s uhlíkem, křemíkem, manganem a menším množstvím nečistot, jako je např. síra a fosfor. Obsah uhlíku v surovém železe dosahuje až 4,5 %. Rozlišujeme dvě hlavní jakosti surového železa. Pro výrobu litin se využívají surová železa slévárenská a pro výrobu oceli surová železa ocelárenská, nebo také základní. Základní surová železa obsahují méně než 1 % křemíku i manganu. Slévárenská surová železa obsahují větší množství křemíku, obvykle přes 4 %. Toto železo se nechá vychladnout ve tvar housek, které se dále transportují do sléváren. Surové železo lze také použít k výrobě šedé litiny. Některé druhy surového železa jsou vhodné pro výrobu tvárných litin. Jedná se o vysoce čistá surová železa a v závislosti na jakosti vyráběné tvárné litiny mohou tato surová železa obsahovat nízký obsah prvků jako Si, Mn, S a P (Ispatguru, 2014b).



Obrázek 1.3 - Schéma vysoké pece: Sazebna (K), Šachta (Š), Rozpor (R), Zarážka (Z), Podstava (P), Válcová nístěj (N), Ocelová konstrukce (O), Závěr (A), Výtah (T), Vozík (k), Strojovna (st), Potrubí (B), Prašník (D), Ohřívače (C), Spalovací komora (sk), Ohřívač vzduchu (ov), Koks (CO), Železo (z), Pánve (P) (Meluzin, 2002)

2 Soustava železo-uhlík

Železo je polymorfní kov, který během ohřevu z normální teploty prodělá změnu skupenství do taveniny. Při ohřevu u železa proběhnou dvě fázové transformace krystalické mřížky viz obrázek 2.1. Při normální teplotě má čisté železo mřížku krychlovou, prostorově středěnou (bcc), zároveň je feromagnetické. Vlastnosti čistého železa lze podobně jako u jiných čistých kovů charakterizovat jako velmi měkké, z toho důvodu dobře tvárné, nicméně s malou pevností. Nejen díky těmto vlastnostem se čisté železo v praxi jako konstrukční materiál nepoužívá (Hodis, 2010).



Obrázek 2.1 - Čisté železo a jeho polymorfie (Hodis, 2010).

Pro zlepšení vlastností na požadované hodnoty se v praktickém životě používají slitiny železa. Důležité je zejména zvýšení pevnosti, tvrdosti, houževnatosti. V praxi využívané uhlíkové slitiny, jako základní materiály používané v konstrukcích ve strojírenství (Hodis, 2010):

- oceli a bílé litiny (metastabilní slitiny);
- grafitické litiny (stabilní slitiny).

2.1 Diagram Fe-Fe₃C

Binární diagram metastabilní soustavy Fe – Fe₃C má praktické využití pro oceli a litiny. Koncentrace uhlíku v diagramu vyznačena od 0 do 6,68 % C (6,68 % C je považováno za maximální množství, které je podle stechiometrického poměru nezbytné na

vytvoření 100 % karbidu železa Fe_3C). Proto jsou právě tyto součásti vyneseny v diagramu jako 100 % Fe na levé straně a 6,687 % C, tj. 100 % cementitu, na pravé straně. Na svislé ose se vynáší teplota za konstantního tlaku 1013 hPa.

V diagramu se vyskytují tyto základní fáze:

- L – tavenina
- δF – δ ferit – intersticiální tuhý roztok C v Fe;
- A – austenit – intersticiální tuhý roztok C v Fe;
- F – (α) ferit – intersticiální tuhý roztok C v Fe;
- cem – cementit – intersticiální chemická sloučenina Fe_3C ;
- cemI – cementit primární;
- cemII – cementit sekundární;
- cemIII – cementit terciární;

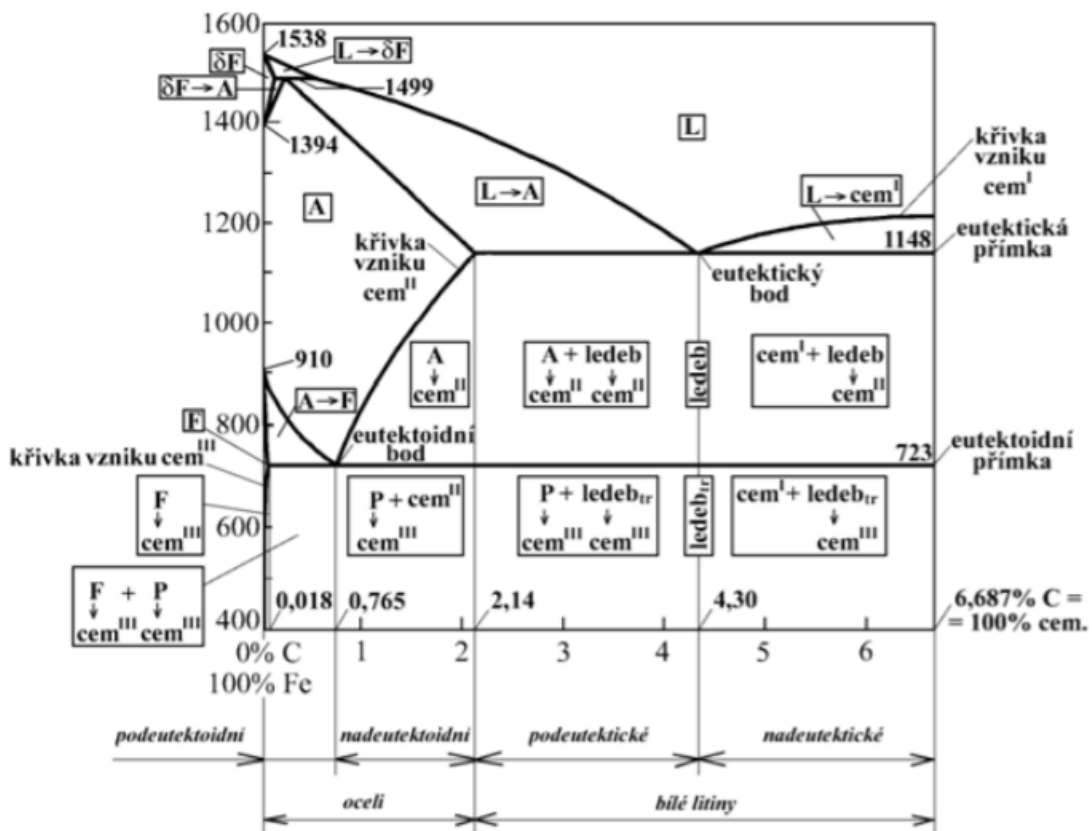
a strukturní směsi:

- Ledeburit (ledeb – ledeburit), směs austenitu a cementitu, jedná se o eutektikum, slitinu obsahující 4,3 % C
- Perlit (P – perlit), směs feritu a cementitu, jedná se o eutektoid, slitinu obsahující 0,8 % C

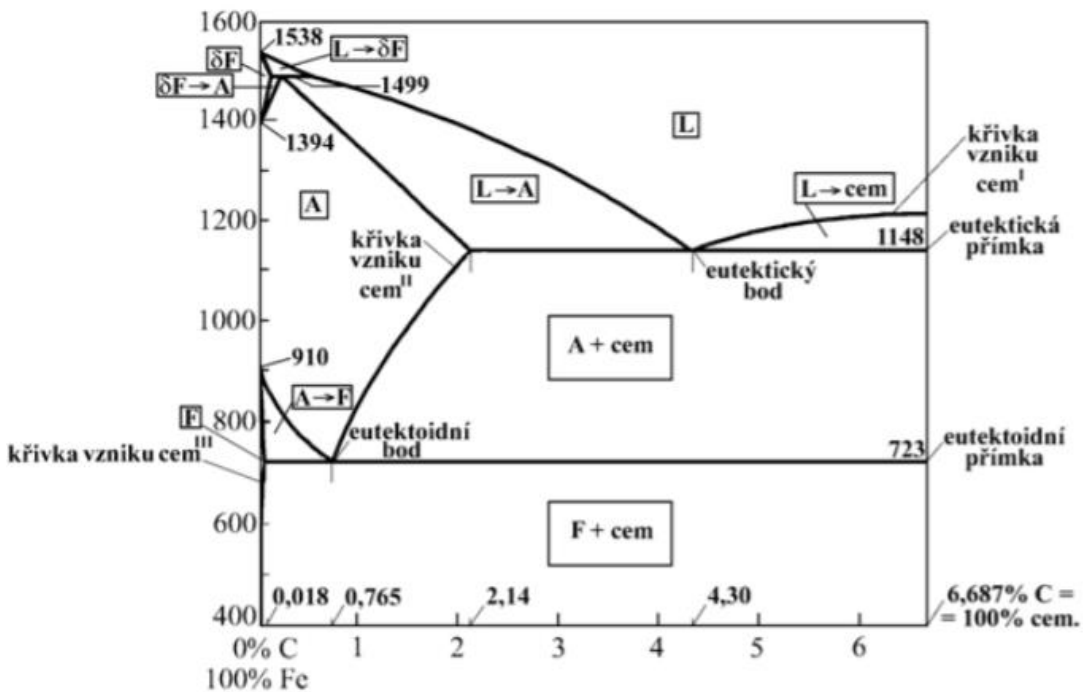
Dále se v diagramu vyskytují:

- eutektická a eutektoidní přímka,
- eutektický a eutektoidní bod.

Rozdíl mezi fází a strukturou spočívá v tom, že se fáze skládá z atomů jednoho nebo více prvků, například austenit jako fáze představuje tuhý roztok uhlíku v železe. Příklad fázového popisu diagramu Fe – Fe_3C je uveden na obrázku 2.3. Na rozdíl od fáze, ve struktuře probíhá několik fází, např. struktura směsi – ledeburitu se skládá z dvou fází – austenitu a cementitu. Příklad strukturního popisu diagramu Fe – Fe_3C je uveden na obrázku 2.2 (Hodis, 2010; Machek V., Sodomka J., 2008).



Obrázek 2.2 - Strukturní popis diagramu Fe-Fe₃C (Hodis, 2010)



Obrázek 2.3 - Fázový popis diagramu Fe-Fe₃C (Hodis, 2010)

3 Litiny

Litiny jsou skupinou železo-uhlíkových slitin s obsahem uhlíku mezi 2 až 4 procenty. Kromě toho obsahuje množství křemíku od 1 do 3 % hmotnosti, manganu a také stopové prvky, jako je síra a fosfor. Litina se vyrábí redukcí železné rudy ve vysoké peci. Tekuté železo se odlévá a tuhne do surových ingotů, které se pak přetavují spolu se šrotem a legujícími prvky v kupolových pecích a přelévají do forem za účelem výroby různých produktů.

Legující přísady ovlivňují barvu a strukturu lomu: bílá litina má karbidové nečistoty, které umožňují snadný průchod trhlin, šedá litina má grafitové vločky, které odchýlí procházející trhlínu a iniciují bezpočet nových trhlin, když se materiál rozbije, a tvárná litina má kuličkový grafit, který brání dalšímu postupu trhlin v materiálu (Sabhadiya, 2022).

Litina je jedním z nejstarších železných kovů v komerčním využití. Obvykle je křehký a nekujný (tj. nelze jej ohýbat, natahovat ani do něj zatloukat tvary kladivem) a relativně slabý v tahu. Litinové prvky mají tendenci se lámat po malé předchozí deformaci. Litina má však vynikající pevnost v tlaku a běžně se používá pro konstrukce, které tuto vlastnost vyžadují (Semih Genculu, 2022).

S výjimkou temperované litiny bývají litiny křehké. S relativně nízkým bodem tání, dobrou tekutostí, slévateľností, vynikající obrobiteľnosť, odolnosť proti deformaci a odolnosť proti opotrebení se litina stala strojírenským materiálem s širokým spektrem aplikací. Litina se používá v potrubí, strojních zařízeních a automobilových součástech, jako jsou hlavy válců, bloky válců a převodovky. Litiny jsou odolné vůči oxidačnímu poškození, ale například se obtížně svařují (Sabhadiya, 2022).

Složení litiny, způsob výroby a použité tepelné zpracování jsou rozhodující pro určení její konečné podoby a vlastností. Aby bylo dosaženo nejlepšího odlitku pro konkrétní aplikaci v souladu s požadavky na danou součást, je nutné mít přehled o různých typech litiny. Obecné označení litina je nedostatečné, kromě případu odlišení litinového dílu od ocelového odlitku. Podle složení a metalurgické struktury třídíme litiny do 4 skupin:

- Šedé litiny
- Tvárné litiny
- Bílé litiny.
- Temperované litiny

Složení litiny se výrazně liší v závislosti na jakosti surového železa použitého při její výrobě. Způsob koncentrace uhlíku v litině je řízen tak, aby produkoval různé třídy litiny, které se výrazně liší jejich mechanickými vlastnosti nebo i svařitelností.

Vzhledem k jejich relativně vysokému obsahu křemíku litiny přirozeně odolávají oxidaci a korozi. Litinové odlitky se používají v aplikacích, kde tato odolnost poskytuje relativně dlouhou životnost. Odolnost vůči teple, oxidaci a korozi je znatelně zvýšena s legováním. Protože však litiny obsahují více než 2 % uhlíku, obvykle 1 až 3 % křemíku a až 1 % manganu, jejich svařitelnost je špatná. Protože jsou litiny relativně levné, lze je snadno odlévat do složitých tvarů a také obrábět, tím jsou důležitou skupinou materiálů. Bohužel většina jakostí není svařitelná a speciální opatření jsou běžně vyžadována i u takzvaných svařitelných jakostí (Semih Genculu, 2022).

Účinky legujících prvků v litinových materiálech (ClubTechnical, 2018):

- Mangan: Zvyšuje odolnost proti opotřebení a oděru
- Chrom: Zvyšuje kalitnost, odolnost proti opotřebení, odolnost proti korozi a oxidaci
- Nikl: Zvyšuje pevnost v tahu
- Wolfram: Zvyšuje tvrdost a pevnost za tepla
- Molybden: Zvyšuje kalitnost
- Vanad: Zvyšuje prokalitelnost a tvrdost za tepla
- Křemík: Zvyšuje kalitnost a elektrický odpor
- Hliník: Funguje jako deoxidační činidlo v oceli
- Titan: Funguje jako dezoxidátor v oceli
- Niob: Snižuje prokalitelnost a zvyšuje tažnost, což má za následek zvýšenou rázovou houževnatost
- Kobalt: Snižuje prokalitelnost a odolává měknutí při zvýšených teplotách

Ačkoli ocel i litina obsahují stopy uhlíku a vypadají podobně, mezi těmito dvěma kovy jsou značné rozdíly. Ocel obsahuje méně než 2 % uhlíku, což umožňuje konečnému produktu ztuhnout v jediné mikrokrystalické struktuře. Vyšší obsah uhlíku v litině znamená, že tuhne jako heterogenní slitina, a proto má v materiálu více než jednu mikrokrystalickou strukturu.

Právě kombinace vysokého obsahu uhlíku a přítomnosti křemíku dává litině její vynikající slévatelnost. Různé typy litin se vyrábějí pomocí různých technik tepelného

zpracování a zpracování, včetně šedé litiny, bílé litiny, temperované litiny, tvárné litiny a lisované litiny s grafitem (Reliance foundry, 2022b).

Jedním z důvodů širokého použití litinových odlitků je vysoký poměr výkonu k ceně, který nabízejí. Tato vysoká hodnota vyplývá z mnoha faktorů, z nichž jedním je kontrola mikrostruktury a vlastností, kterých lze dosáhnout v odlitém stavu, což umožňuje výrobu vysokého procenta odlitků z feritické a perlitické litiny bez dodatečných nákladů na tepelné zpracování. Výroba vysoce kvalitních odlitků v odlévaném stavu však vyžaduje použití konzistentních vsázkových materiálů a zavádění konzistentních a účinných postupů pro tavení, udržování, ošetřování, očkování a chlazení v tomto případě. Tepelné zpracování je cenným a všestranným nástrojem pro rozšíření žádoucích vlastností litin i jejich rozsahu v porovnání s litinami nacházejících se v odlitém stavu (Semih Genculu, 2022).

3.1 Šedá litina

Šedá litina je nejstarším a nejběžnějším typem litiny a představuje s největší pravděpodobností to, co si většina lidí představí, když slyší výraz „litina“. Obsah uhlíku se v šedých litinách pohybuje mezi 2,5 a 4,0 %. Obsah křemíku se pohybuje v rozmezí 1,0 a 3,0 % hmotnosti.

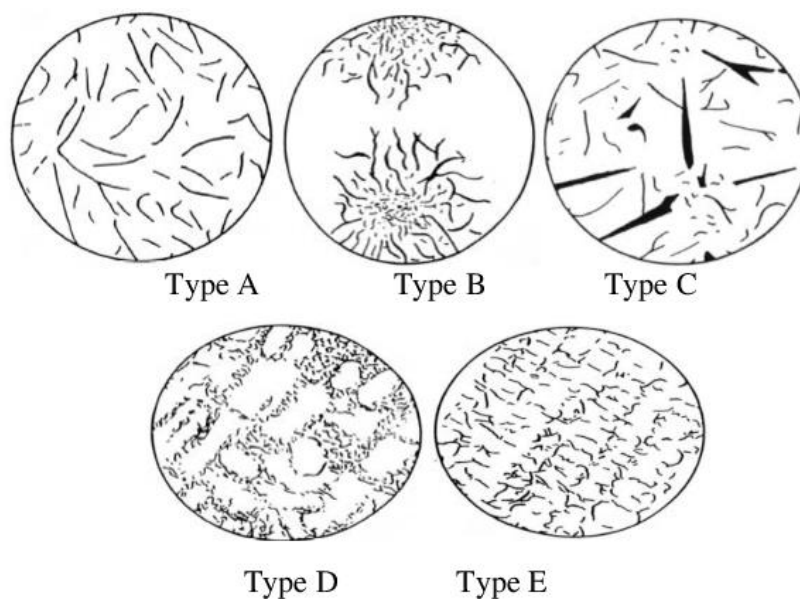
Šedá litina má také vynikající tlumicí schopnost, která je dána grafitem, protože absorbuje energii a přeměňuje ji na teplo. Velká tlumicí kapacita je žádoucí pro materiály používané v konstrukcích, kde jsou během provozu indukovány nežádoucí vibrace, jako jsou základny obráběcích strojů nebo klikové hřídele.

Šedá litina je charakteristická svou grafitickou mikrostrukturou, která způsobuje, že lomy materiálu mají typický šedý vzhled. To je způsobeno přítomností grafitu v jeho složení. V šedé litině se grafit tvoří jako vločky, které nabývají trojrozměrné geometrie viz obrázky 3.1 a 3.2. Nekalená šedá litina je ve srovnání s jinými litinami kovy „křehká“. Grafitové vločky vytvářejí v kovu oblasti oslabení, kde mohou začít praskliny, které kov rozdělí. Tato náchylnost k lomu je důvodem, proč má šedá litina nízkou pevnost v tahu a rázovou houževnatost. Přesto grafitové vločky vytvářejí velkou odolnost proti opotřebení, protože při tření působí grafit jako mazivo. Grafitová struktura má také skvělé vlastnosti tlumící vibrace, protože struktura vytvořená grafitovými vločkami pomáhá tlumit vibrace (MaterialProperties, 2022d; Willman, 2022c).

Šedá litina má menší pevnost v tahu a rázovou odolnost než ocel, nicméně její pevnost v tlaku je srovnatelná s nízkou a středně uhlíkovou ocelí. Šedá litina má dobrou tepelnou vodivost a měrnou tepelnou kapacitu, proto se často používá na kuchyňské nádobí a na brzdové kotouče (MaterialProperties, 2022d).



Obrázek 3.1 – Mikrostruktura šedé litiny (Metal Casting Institute, 2022)



Obrázek 3.2 – 5 typů mikrostruktur šedé litiny (Prakash, 2011)

Forma grafitu v šedé litině je důležitým faktorem při určování vlastností slitiny. Tvar a velikost grafitu se mohou výrazně lišit v důsledku rychlosti ochlazování a obsahu slitiny. Nejběžnější forma, jak je popsána v předchozím odstavci, je označována jako typ A. Stručná charakteristika jednotlivých typů grafitické struktury v litinách (Metal Casting Institute 2022):

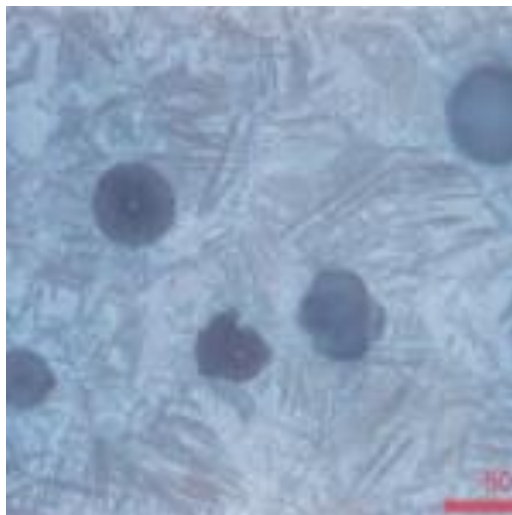
-
- Grafit typu A má rovnoměrné rozložení a náhodnou orientaci. Obecně poskytuje nejlepší vlastnosti a je obvykle specifikován pro komponenty hnacího ústrojí.
 - Grafit typu B se jeví jako růžice s náhodnou orientací. Vyskytuje se nejčastěji v téměř eutektických slitinách, které jsou nesprávně naočkovány a obsahují velmi málo grafitových jader. Grafit typu B se často nachází na povrchu odlitku, kde je jinak typ A.
 - Grafit typu C se vyskytuje v hypereutektických litinách, ve kterých se grafit tvoří jako primární fáze. Přítomnost tohoto grafitu snižuje vlastnosti v tahu, což může být žádoucí pro některé speciální aplikace.
 - Grafit typu D se vyskytuje v důsledku mezidendritické segregace v rychle ochlazených litinách. Skládá se z malých, náhodně orientovaných vloček mezi austenitovými dendrity. Typ D může vést k vyšším tahovým vlastnostem, ale může ho být obtížné tepelně zpracovat kvůli segregaci.
 - Grafit typu E je podobný typu D, ale s orientovanými vločkami mezi rameny austenitu dendritu. Nejčastěji se vyskytuje u litin s velmi nízkým uhlíkovým ekvivalentem.

3.2 Tvárná litina

Tvárná litina je druh litiny známý pro svou odolnost proti nárazu a únavě, tažnost a odolnost proti opotřebení díky sférickým (kulatým) grafitovým strukturám (Willman, 2022b). Tvárná litina, také známá jako tvárná litina nebo litina s kuličkovým grafitem, je složením velmi podobná šedé litině, ale během tuhnutí grafit nukleuje do podoby kulových částic (noduly) na rozdíl od vloček v šedé litině. Tvárná litina není jediný materiál, ale je součástí skupiny materiálů, které lze vyrábět s širokou škálou vlastností díky možným změnám v řízení jejich mikrostruktury. Matricová fáze obklopující tyto částice je buď perlitická nebo feritická, v závislosti na tepelném zpracování. Tvárná litina je pevnější a odolnější proti otřesům než šedá litina, takže ačkoli je dražší kvůli legujícím prvkům, přesto může být preferovanou ekonomickou volbou, protože stejnou funkci může plnit i lehčí odlitek (MaterialProperties, 2022b).

Jak tvárná litina, tak litina obsahují grafit. Když se pozorně podíváte, například pomocí vysoce výkonného mikroskopu se 100násobným nebo větším zvětšením, na běžnou šedou litinu, uvidíte, že kousky grafitu vypadají jako klikaté čáry zvané

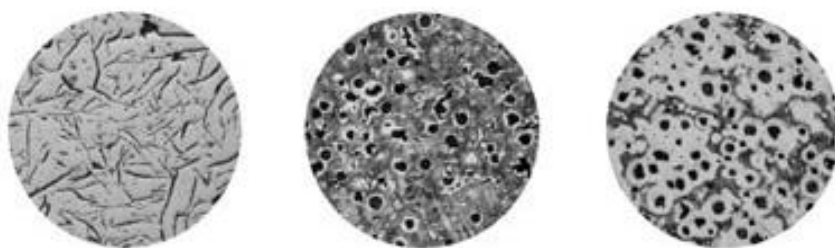
„vločky“. Když se však podíváte na grafit v tvárné litině, vypadají jako malé kuličky nebo noduly (odtud název litiny s kuličkovým grafitem nebo nodulární litiny) viz obrázek 3.3. Tato formace v tvárné litině umožňuje, aby byla poddajnější a schopná odolávat namáhání bez praskání nebo lámání (Willman, 2022b).



Obrázek 3.3 – Mikrostruktura tvárné litiny (Willman, 2022b).

Pro vytvoření různých jakostí tvárné litiny je třeba kontrolovat strukturu matrice kolem grafitu během procesu odlévání nebo prostřednictvím následného tepelného zpracování. Malé rozdíly ve složení mezi různými druhy tvárné litiny existují za účelem vytvoření požadované matrice (mikrostruktur). Tvárnou litinu lze považovat za litinu s grafitovými kuličkami rozptýlenými po celé její matrici. Vlastnosti kovové matrice, ve které jsou grafitové kuličky zavěšeny, mají významný vliv na vlastnosti tvárné litiny, ale samotné grafitové kuličky nikoli.

Existuje několik grafitických mřížek vyskytujících se u tvárné litiny, které jsou vyobrazeny na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4 – Mikrostruktury tvárné litiny: vlevo – litina s vločkovou mikrostrukturou, uprostřed – tvárná litina s perlitickou mikrostrukturou, vpravo – tvárná litina s feritickou mikrostrukturou, (Reliance foundry, 2022a).

Jedinečná mikrostruktura každého typu litiny mění jejich výsledné fyzikální vlastnosti (Reliance foundry, 2022a):

- Feritická – čistá, tvárná, pružná litina s malou pevností. Tato struktura má nízkou odolnost proti opotřebení, ale vysokou odolnost proti nárazu a dobrou obrobitelnost.
- Perlitická – mechanická směs feritu a karbidu železa (Fe_3C). Je poměrně tvrdá, se střední tažností. Má vysokou pevnost, dobrou odolnost proti opotřebení, střední odolnost proti nárazu a dobrou obrobitelnost.
- Perliticko/Feritická – struktura sestávající ze směsi perlitu a feritu a nejběžnější matrice pro komerční jakosti tvárné litiny.

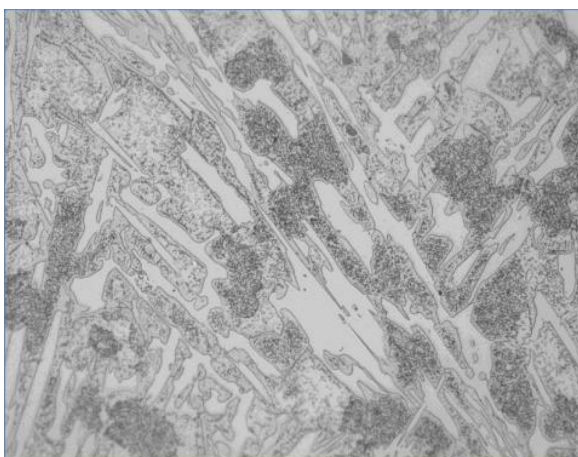
3.3 Bílá litina

Přestože není tak rozšířená jako šedá litina, je bílá litina dalším typem litiny, který stojí za zmínku. Tento typ litiny získal svůj název díky své špinavě bílé barvě, která je výsledkem sloučenin železa známých jako cementit. Stejně jako šedá litina má také bílá litina ve své mikrostruktuře potenciálně mnoho malých trhlin. Rozdíl je v tom, že bílá litina má pod povrchem prvky cementitu, zatímco šedá litina má pod povrchem grafit. Grafit vytváří šedou barvu, zatímco cementit vytváří bílou barvu. Bílá litina je tvrdá a nabízí vynikající odolnost proti oděru (Sabhadiya, 2022). Mikrostruktura bílé litiny je znázorněna na obrázku 3.5.

Bílé litiny jsou tvrdé a křehké a nelze je snadno obrábět. Bílé litiny jsou jediným členem rodiny litinových materiálů, ve kterém uhlík je přítomen pouze jako karbid. Přítomnost různých karbidů činí bílé litiny extrémně tvrdé a odolné proti otěru, ale také velmi křehké. Mikrostruktura bílých litin obsahuje cementit a perlit. Bílá litina odvozuje svůj název od bílého povrchu mikrokryalických trhlin pozorovaných při

prasknutí odlitku. Většina bílých litin obsahuje méně než 4,3 % uhlíku, s nízkým obsahem křemíku, čímž se zabrání srážení uhlíku jako grafitu (Semih Genculu, 2022).

Při správném obsahu uhlíku a vysoké rychlosti ochlazování se atomy uhlíku spojují se železem za vzniku karbidu železa. To znamená, že ve ztuhlém materiálu je velmi málo nebo žádné volné molekuly grafitu. V lomu bílé litiny se rozlomená plocha jeví jako bílá právě kvůli nepřítomnosti grafitu. Cementitová mikrokrytalická struktura je tvrdá a křehká s vysokou pevností v tlaku a dobrou odolností proti opotřebení (Reliance foundry, 2022b).



Obrázek 3.5 – Mikrostruktura bílé litiny (Semih Genculu, 2022).

Bílé litiny lze rozdělit do následujících tříd dle podílu legujících prvků:

- Normální bílá litina – tato litina obsahuje C, Si, Mn, P a S, bez dalších legujících prvků. Normální bílá litina je nejstarším typem litiny, produkovaná po staletí vyráběná speciálně pro odolnost proti otěru.
- Nízkolegovaná bílá litina – celkový hmotnostní podíl legujících prvků je menší než 5 %. Funkcí legujících prvků je zvýšit tvrdost karbidů v mikrostruktuře, zpevnit ji a dále zlepšit opotřebení. Mezi běžně používané legující prvky patří Cr, Ni, Mo, Cu, V, Ti a B.
- Vysoce legovaná bílá litina – celkový hmotnostní podíl legujících prvků je více než 5 %. Vysoce legované bílé litiny mají typické složení 15 % Cr, 3 % Mo a 23 až 28 hm. % Cr a poskytují vynikající kombinaci odolnosti proti oděru a houževnatosti. V některých případech mohou být použity pro odlitky, které jsou normálně kalené, aby se vyvinuly optimální vlastnosti.

Výše uvedené tři třídy bílých litin mají podobný průběh krystalizace a výsledné struktury. Odlévané struktury obsahují velké množství karbidů, které činí tyto litiny

velmi tvrdé, křehké a obtížně obrobitelné. Tyto litiny jsou odolné proti opotřebení díky své vysoké tvrdosti a umožňují široké použití pro otěruvzdorné součásti (Ngqase, 2020).

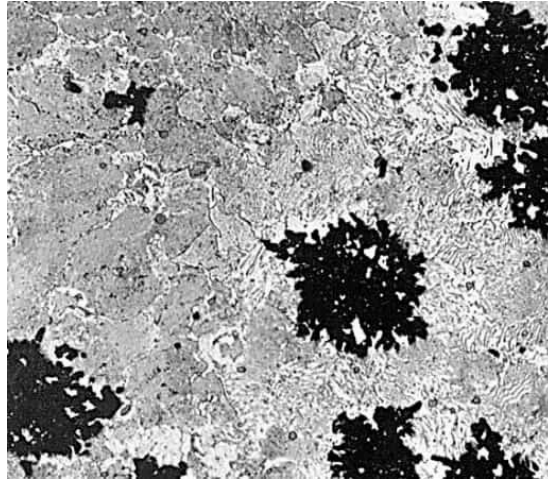
3.4 Temperovaná litina

Temperovaná litina je litina obsahující obvykle 2 až 3 % uhlíku a 1,5 až 0,8 % křemíku, a vyrobená žíháním bílé litiny za účelem přeměny tvrdého křehkého cementitu na grafit v nodulární formě, čímž získá materiál výrazně větší tažnost než standardní bílá litina nebo obyčejná šedá litina obsahující grafit ve formě vloček (Merriam-Webster, 2022).

Temperovaná litina je typ litiny, který se celkově snadno opracovává. Typicky se vyrábí pomocí procesů tepelného zpracování bílé litiny. Bílá litina se pomalu zahřívá po dobu až dvou dnů a poté se přibližně stejnou dobu. Po dokončení lze temperovanou, jinak řečeno také kujnou litinu ohýbat a manipulovat s ní, aby se dosáhlo jedinečných tvarů a velikostí. Zjednodušeně lze temperovanou litinu charakterizovat jako tepelně upravenou bílou litinu za účelem zlepšení tažnosti (Sabhadiya, 2020; MaterialProperties 2022c).

Temperovaná litina vzniká přesněji žíháním bílé litiny na teplotu kolem 920 °C, která se poté se nechá velmi pomalu vychladnout. Grafit se v tomto případě odděluje mnohem pomaleji, takže povrchové napětí má čas zformovat jej do sféroidních částic spíše než do vloček (Materials-today, 2020). Kvůli jejich nižšímu poměru stran jsou sféroidy relativně krátké a daleko od sebe a mají nižší průřez. Mají také tupé hranice, na rozdíl od vloček, což zmírňuje problémy s koncentrací napětí, kterým čelí šedá litina. Obecně se vlastnosti temperované litiny podobají spíše měkké oceli.

Bílá litina je přeměněna na tvárnou litinu dvoustupňovým procesem tepelného zpracování do stavu, kdy většina jejího obsahu uhlíku je ve formě nepravidelně tvarovaných uzlů grafitu, zvaných jako temperovaný uhlík. Struktura temperované litiny se skládá z feritu, perlitu a temperovaného uhlíku (Ispatguru 2014a). Mikrostruktura temperované litiny viz obrázek 3.6.



Obrázek 3.6 – Mikrostruktura temperované litiny (Materials-today, 2020).

Po tepelném zpracování, žhání lze díky následnému procesu ochlazování rozdělit výsledné temperované litiny do tří skupin (Materials-today, 2020):

- Feritická temperovaná litina – extrémně pomalé ochlazování má po žhání za následek vznik feritické matrice s grafitovými noduly.
- Perlitická temperovaná litina – po procesu žhání je výsledkem rovnoměrného ochlazení perlitická matrice.
- Martenzitická temperovaná litina – při tvorbě uzlů během procesu temperování nebo tepelného zpracování má extrémně rychlé ochlazení za následek tvorbu martenzitové matrice díky austenitizační teplotě, která poté vygeneruje martenzitickou temperovanou litinu.

Dále rozlišujeme dva typy temperovaných litin dle barvy lomu na temperovanou litinu s bílým lomem a temperovanou litinu s černým lomem. Bílý lom u litiny vzniká během procesu temperování, kdy je v peci dávkována oduhličující oxidační atmosféra, složená z CO, CO₂, H. Tato atmosféra působí oxidačně a odebírá odlitku uhlík, jenž oxiduje bez vzniku okují. Černý lom u temperované litiny vzniká tepelným zpracováním, kde není oxidací bráněno ve vyloučení uhlíku prostřednictvím temperovaného grafitu, jenž získává typický šedý, až černý vzhled. Díky absenci oduhličování lze volit nižší obsah uhlíku okolo 2,5 %. (Ptáček et al., 2002)

4 Vlastnosti a využití litin

Litiny jsou dodnes používány v mnoha průmyslových aplikacích, jako je vodárenský průmysl, již více než 150 let. V důsledku toho byla velká část potrubí pro dopravu a rozvod vody v minulosti vyrobena převážně z litiny, i když jsou postupně vyřazovány zaváděním nových materiálů. Zasypané litinové trubky degradují během provozu v důsledku různých agresivních prostředí obklopujících potrubí. V závislosti na různých faktorech včetně typu litinových materiálů, místní geologie a provozních podmínek litinové trubky degradují různou rychlostí. Je však také známo, že rychlost koroze uložených trubek s jejich postupným vývojem v současnosti klesá. To je z velké části způsobeno vytvořením protikorozních produktů obsahujících grafit, které pevně přilnou k neovlivněnému kovovému substrátu, a vytvoří bariéru omezující rychlost, při které může docházet k dalšímu koroznímu napadení (Semih Genculu, 2022).

4.1 Vlastnosti šedé litiny

Šedá litina není tak pevná jako tvárná litina nebo ocel, má však přiměřenou pevnost v tahu, tvrdost, a další vlastnosti, díky kterým je vhodná pro většinu litinových součástí, které slévárny obvykle produkují. Nízký stupeň smrštění šedé litiny ji činí vhodnou pro aplikace v průmyslovém inženýrství, protože má různý rozsah pevnosti v tahu od méně než 138MPa až po více než 400MPa a tvrdost od 100 BHN do 300 BHN (číslo tvrdosti podle Brinella). Souhrn vlastností šedé litiny můžeme najít v tabulce 4.1.

Typická šedá litina obsahuje přibližně 2,5–4,2 % uhlíku, 1,0–3,0 % křemíku, 0,15–1,0 % manganu, 0,02–0,25 % síry a 0,02–1,0 % fosforu. Má vysokou tepelnou vodivost, vynikající schopnost tlumení vibrací a přijatelnou pevnost v tahu. Tento typ litiny je navíc nákladově efektivní a má vynikající schopnost odolávat tepelným výkyvům (Qualitas Exports, 2022c).

Tabulka 4.1 – Souhrn vlastností šedé litiny (MaterialProperties, 2022d)

Název	Šedá litina
Hustota	7150 kg.m ⁻³
Maximální pevnost v tahu	395MPa
Mez kluzu	-
Youngův modul pružnosti	124GPa
Tvrдость podle Brinella	235BHN
Bod tání	1260 °C
Tepelná vodivost	53 W.Mk ⁻¹
Tepelná kapacita	460 J.g K ⁻¹

4.1.1 Využití šedé litiny

Na celém světě se ročně vyrobí více kilogramů odlitků ze šedé litiny než jakéhokoli jiného typu odlitku. Téměř každý poklop je ze šedé litiny a kotoučové brzdy na vašem voze jsou s největší pravděpodobností také ze šedé litiny. Mezi další běžné způsoby použití šedé litiny patří (Willman, 2022c):

- ozubená kola
- hydraulické komponenty
- komponenty automobilového odpružení
- radlice pluhu
- součásti čerpadel
- díly traktorů
- ventily
- komponenty odpružení nákladních vozidel
- ostatní díly nákladních automobilů
- kryty větrných turbín.
- závaží a protizávaží
- strojní základny, které jsou zároveň často vystaveny vibracím
- tlakové nádoby
- lamely spojky, písty, hlavy válců
- armatury, páky, ventily

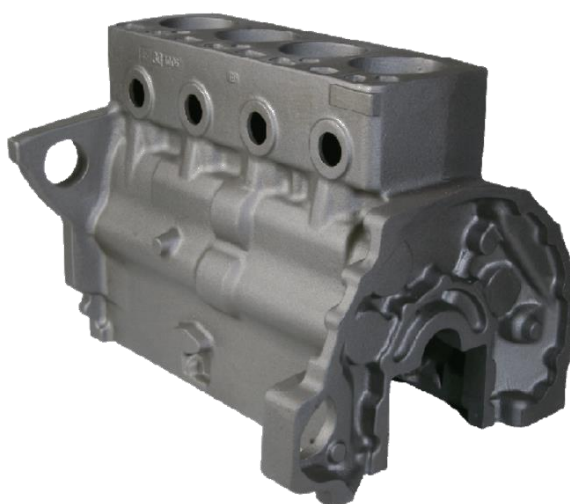
Ozubená kola z šedé litiny – ozubené kolo na obrázku 4.1 je rotační část určená k přenosu kroutícího momentu a přenosu otáčení. Jsou určeny ke kontaktnímu přenosu, protože jednotlivé zuby do sebe zapadají a odvalují se. Dvě a více do sebe zapadajících ozubených kol tvoří společně převod. Hnané kolo se nazývá pastorek. Ozubená kola mohou být litinová, nebo ze slitinových materiálu a plastů. Standardní litinová kola se vyrábějí nejčastěji obráběním. Při této technologii vznikají zuby vyřezáváním zubových mezer za pomoci frézy nebo obrážky. Speciální případy pak umožňují výrobu ozubených kol lisováním nebo litím.



Obrázek 4.1 – Příklad čelního ozubeného kola ze šedé litiny (Qualitas Exports, 2022a)

Odlitky z šedé litiny, jako například blok motoru na obrázku 4.2 se vyrábějí odléváním, v elektrických pecích roztaveného, tekutého kovu s nastavením surového železa požadovaného chemického složení. Podmínkou lití je, aby výstupní nebo vsázkový materiál neobsahoval jakékoliv nečistoty, příměsi prvků nebo vlhkost, které by mohly ohrozit jakost odlitků.

Nejčastěji se používá automatického lícího zařízení do jednorázových pískových forem. V případě odlitků vložek válců se používá lící automat a speciální výstelkové formy (SECO Industries, 2022).



Obrázek 4.2 - Blok motoru z šedé litiny (Heunish, 2022)

Dalším z obvyklých výrobků z šedé litiny je deskový pluh na obrázku 4.3.



Obrázek 4.3 - Litinový pluh používaný v zemědělství (Fieldking, 2022)

Qualitas Exports Pvt. Ltd, renomovaný indický výrobce konstrukčních dílů nejen ze šedé litiny se zabývá výrobou všech typů ozubených kol potřebných pro převodovky a převodovky (jako jsou čelní ozubená kola, šneková soukolí, šneková soukolí, šikmá ozubená kola, ozubená hřebenová soukolí atd.) (Qualitas Exports, 2022a). Ozubená kola, která přenášejí malé kroutící momenty, se vyrábějí z běžných konstrukčních ocelí, nebo někdy i z plastu. Mají-li tato kola velké rozměry, odlévají se často z šedé litiny (Palát, 2011).

4.1.2 Výhody a nevýhody použití

Použití šedé litiny přináší několik výhod (ClubTechnical, 2018):

- celková dostupnost, nízká cena
- dobrá obrobiteľnosť
- dobrá odolnosť proti otěru a opotřebení
- vysoká pevnost v tlaku

Jako je tomu u všech konstrukčních materiálů, tak i použití šedé litiny může přinášet jistá úskalí (BCSolutions, 2022):

- křehkost
- vzhledem k typu grafitické struktury náchylnost k prasklinám
- nízká pevnost v tahu

4.2 Vlastnosti tvárné litiny

Odlitky z tvárné litiny jsou ve srovnání s běžnou litinou (šedá litina) velmi pevné. Pevnost litiny v tahu je 138–400MPa, zatímco pevnost tvárné litiny začíná na hodnotě přes 400MPa a může dosáhnout až 800MPa. Mez kluzu pro tvárnou litinu je obecně 275–625MPa, ovšem mez kluzu šedé litiny je tak nízká, že ji nelze měřit. Souhrn vlastností tvárné litiny můžeme najít v tabulce 4.2.

Každá slévárna má trochu jiné kombinace, které produkuje. Například pro zlepšení pevnosti tvárné litiny lze přidat další cín nebo měď. Navíc, pokud chcete zlepšit odolnost tvárné litiny proti korozi, pak měď, nikl a/nebo chrom mohou nahradit 15–30 % železa. Pokud byste provedli chemickou analýzu běžné tvárné litiny, dostali byste tyto hodnoty (Willman, 2022b):

- Železo ~ 94 %
- Uhlík 3,2 – 3,60 %
- Křemík 2,2 – 2,8 %
- Mangan 0,1 – 0,2 %
- Hořčík 0,03 – 0,04 %
- Fosfor 0,005 – 0,04 %
- Síra 0,005 – 0,02 %
- Měď \leq 0,40 %

Tabulka 4.2 – Souhrn vlastností tvárné litiny (MaterialProperties, 2022b)

Název	Tvárná litina
Hustota	7300 kg.m ⁻³
Maximální pevnost v tahu	414MPa
Mez kluzu	276MPa
Youngův modul pružnosti	170GPa
Tvrdoost podle Brinella	180BHN
Bod tání	1150 °C
Tepelná vodivost	36 W.mK ⁻¹
Tepelná kapacita	460 J.g K ⁻¹

4.2.1 Využití

Odlitky z tvárné litiny jsou vyrobeny ze slitiny železa, uhlíku, křemíku a hořčíku. Kromě toho může tvárná litina obsahovat také stopy manganu, fosforu, síry, cínu a mědi. Odlitky vyrobené z tvárné litiny získávají svou flexibilitu z modulárního grafitu. Tvárná litina má větší odolnost proti korozi než šedá litina (Qualitas Exports, 2022b). Snadno se obrábí, má dobrou únavu a mez kluzu, a přitom je odolná proti opotřebení. Její nejvýznamnější vlastností je však tažnost (Reliance foundry, 2022b).

Rozsah použití tvárné litiny lze rozdělit do pěti oblastí: tlakové trubky a tvarovky, automobilový průmysl, zemědělství, silniční a stavební aplikace, všeobecné strojírenství. Moderní zemědělství vyžaduje spolehlivou a dlouhou životnost zemědělských strojů. Celý zemědělský průmysl široce používá odlitky z tvárné litiny včetně dílů traktorů, pluhů, konzol, svorek a kladek (Borui, 2022).

Tvárná litina je hlavním strojírenským materiálem používaným pro odlitky. Používá se pro mnoho konstrukčních aplikací, zejména těch, které vyžadují pevnost a houževnatost v kombinaci s dobrou obrobitelností a nízkou cenou. Tvárná litina se používá hojně v automobilovém průmyslu:

- klikové hřídele
- ojnice motorů
- náboje kol
- součásti náprav atd. pro těžká vozidla, jako jsou nákladní automobily a traktory

-
- součásti olejových čerpadel (Qualitas Exports, 2022b).
 - potrubní tvarovky (téměř 50 % tvárné litiny prodávané v USA je pro trubky a tvarovky)
 - obráběcí stroje
 - klavírní harfy (část, která drží struny klavíru)
 - ventily (zejména vysokotlaké ventily) (Willman, 2022b)

Stejně jako u jiných materiálů i tvárná ocel není univerzálním řešením při návrhu odlitků, nicméně nabízí konstruktérům alternativu ke konvenčním materiálům. Díky své vyšší pevnosti konkuruje tvárná litina uhlíkovým a kaleným ocelím, při lepších tlumících schopnostech a obecně nižší výrobní cenou.

Tvárná litina konkuruje i kované oceli, kde může být vhodnou variantou díky své nižší ceně a hmotnosti, nicméně je potřeba počítat s její nižší tuhostí již v návrhu odlitku. Odlévané komponenty z tvárné oceli o tloušťce stěn 3 mm mohou konkurovat při stejné jednotkové hmotnosti tlakovým odlitkům a hliníkovým práškům a výkovkům (Keough a Hayrynen, 2000). Na obrázcích 4.4 a 4.5 můžeme vidět některé příklady odlitků z tvárné litiny.



Obrázek 4.4 – Těleso kompresoru z tvárné litiny (Borui, 2022)



Obrázek 4.5 – Odlitek z tvárné litiny, součást podvozku automobilu (Metal Casting Institute, 2022)

4.2.2 Výhody a nevýhody použití

Jako u ostatních materiálů, i použití tvárné litiny přináší podstatné výhody (Willman, 2022a):

- vysoká pevnost
- houževnatost
- tažnost
- nižší náklady na odlévání a zároveň podobné vlastnosti jako oceli na odlitky
- odolnost vůči lámání při ohýbání, kroucení nebo deformaci
- odolnost proti rázům

Mezi možné nevýhody použití tvárné litiny lze zařadit:

- nákladnější, než běžná šedá litina (i když tvárná litina nabízí lepší vlastnosti)

4.3 Vlastnosti bílé litiny

Nejvýznamnější vlastností bílé litiny je její vysoká tvrdost až 470 BHN (tvrdost podle Brinella), což je nejvyšší hodnota mezi konvenčními typy litin. Naopak hodnota 350MPa pro maximální pevnost v tahu je spíše průměrnou hodnotou. Mez kluzu je u bílé litiny neměřitelně nízká (Material Properties, 2022a).

Bílá litina má bílou barvu lomu v důsledku přítomnosti karbidu železa nebo cementitu Fe_3C . Přítomnost uhlíku v této formě, na rozdíl od grafitu, je výsledkem nižšího obsahu křemíku ve srovnání s šedou litinou. Bílá litina typicky obsahuje

1,8– 3,6 % hm. uhlíku; 0,5–1,9 % hm. křemíku a 1,0–2,0 % hm. manganu. Souhrn vlastností bílé litiny můžeme vidět v tabulce 4.3. Bílé litiny jsou extrémně odolné proti opotřebení a přitom křehké. Vykazují vysokou tvrdost v důsledku své mikrostruktury obsahující velké částice karbidu železa a nelze je snadno obrábět (Matmatch, 2022).

Tabulka 4.3 – Souhrn vlastností bílé litiny (MaterialProperties, 2022a).

Název	Bílá litina
Hustota	7770 kg.m ⁻³
Maximální pevnost v tahu	350MPa
Mez kluzu	-
Youngův modul pružnosti	175GPa
Tvrdost podle Brinella	470 BHN
Bod tání	1260 °C
Tepelná vodivost	15-30 W.mK ⁻¹
Tepelná kapacita	540 J.g K ⁻¹

4.3.1 Využití

Používá se v aplikacích, kde je důležitá odolnost proti otěru a není vyžadována tažnost, jako jsou například vložky do míchaček cementu, kulové mlýny, určité typy tažníků a vytlačovacích trysek. Obecně se považuje bílá litina za nesvařitelnou. Nízká míra tažnosti, která by mohla pomoci vyrovnat napětí vyvolané svařováním v základním kovu způsobuje, že v teplem postižené zóně, může dojít k praskání během ochlazování po svařování (Semih Genculu, 2022).

Bílé litiny se používají v otěruvzdorných součástech, kde je jejich křehkost minimálním problémem, jako jsou (Matmatch, 2022; Reliance foundry, 2022b):

- kulové mlýny viz obrázek 4.7
- potrubní armatury, příruby viz obrázek 4.6
- oběžná kola čerpadel
- dosedací plochy
- brzdové čelisti železničních vozidel
- skříně kalových čerpadel
- válců válcovacích stolic a drtiče



Obrázek 4.6 – Příklad odlitku z bílé litiny (Metallurgy, 2022)



Obrázek 4.7 – Kulový mlýn (TheNile, 2022)

4.3.2 Výhody a nevýhody použití

Použití bílé litiny přináší následující výhody:

- tvrdost
- odolnost proti otěru

Mezi nevýhody použití bílé litiny patří:

- křehkost
- velmi obtížně obrobitelná
- nesvařitelnost

4.4 Vlastnosti temperované litiny

Temperované litiny jsou třídou litin s mechanickými pevnostními vlastnostmi, které do jisté míry kombinují mix vlastností šedé a tvárné litiny. Mikrostruktura jí poskytuje vlastnosti, díky nimž jsou temperované litiny ideální pro aplikace, kde je vyžadována houževnatost a obrobitelnost, a pro součásti, které mají mít určitou tažnost nebo být tvárné, takže je lze ohýbat do požadovaného tvaru bez praskání. Temperovaná litina má kromě toho, že je méně citlivá na praskání, řadu vlastností, jako jsou například vyšší hodnoty pevnosti v tahu, meze pevnosti a tažnosti a vysoká odolnost proti opotřebení a silná odolnost proti nárazům. Tyto vlastnosti jí činí užitečnou pro řadu komerčních účelů. Temperovaná litina se často používá jako alternativa k oceli, protože je levnější na výrobu a použití (Ispatguru, 2014a).

Složení temperované litiny se obvykle pohybuje v mezích 2,16–2,90 % uhlíku, 0,90–1,90 křemíku a 0,15–1,25 manganu. Síra a fosfor v temperované litině figurují spíše jako stopové prvky s obsahem 0,02–0,20 % a 0,02–0,15 % (Reliance foundry, 2022b). Výčet vlastností temperované litiny můžeme vidět v tabulce 4.4.

Tabulka 4.4 – Souhrn vlastností temperované litiny (MaterialProperties 2022c)

Název	Temperovaná litina
Hustota	7150 kg.m ⁻³
Maximální pevnost v tahu	580MPa
Mez kluzu	480MPa
Youngův modul pružnosti	172GPa
Tvrдость podle Brinella	250 BHN
Bod tání	1260 °C
Tepelná vodivost	40 W/mK
Tepelná kapacita	465 J/g K

4.4.1 Využití

Temperované litiny se často používají jako materiál pro malé odlitky nebo odlitky s tenkými průřezy, které by u jiných litin měly tendenci k ukládání karbidů v povrchových vrstvách kvůli vysokým rychlostem ochlazování tenkých částí. Odlitky o hmotnosti menší, než jeden gram se úspěšně odlévají do písku. Dalším významným aspektem je, že kujné vlastnosti mohou existovat již na povrchu odlitku na rozdíl od tvárných litin, kde odlévaný povrch může obsahovat vločkový grafit, což vytváří situaci,

kdy tenké odlitky z temperované litiny mohou být pevnější než tvárná litina (Ispatguru, 2014a).

Různé druhy kujné litiny odpovídají různým mikrokrystalickým strukturám. Specifické vlastnosti, které činí tvárnou litinu atraktivní, jsou zejména její schopnost zadržovat a uchovávat maziva, neabrazivní částice opotřebení a porézní povrch, který je schopen zachytit abrazivní nečistoty. V důsledku své dobré pevnosti v tahu a tažnosti se temperovaná litina používá pro (Reliance foundry, 2022b):

- elektrické armatury a zařízení
- ruční nářadí
- potrubní armatury viz obrázek 4.8
- podložky, konzoly
- zemědělské vybavení
- řetězy, řetězová kola
- ojnice
- hnací ústrojí a součásti náprav
- železniční kolejová vozidla
- zemědělské a stavební stroje, součást nápravy traktoru viz obrázek 4.9



Obrázek 4.8 – Tvarovky z temperované litiny (SunnySteel, 2022)



Obrázek 4.9 – Součást nápravy traktoru (GlobalSources, 2022)

4.4.2 Výhody a nevýhody

Mezi výhody použití temperované litiny patří:

- odolnost proti otěru a poškrábání díky zakalenému povrchu
- vynikající pevnost v tahu ve srovnání se šedou litinou
- umožnění zpracování za studena, ohýbání, rovnání, lisování

Nevýhody použití:

- při ochlazování může dojít ke srážlivosti struktury, ztráta rozměrové stability (Bunty, 2022)

Závěr

Litina je jako konstrukční materiál 21. století spíše na ústupu. Své opodstatněné využití nachází u velkých konstrukcí, u kterých není vysoká hmotnost nežádoucí. V dnešní době je litina vhodná pro využití ve specifických konstrukčních případech, protože její výroba je z pohledu dnešní doby velmi náročná. Pro litinový rám je potřeba vytvořit formu, roztavit ocel na odlitky, tuto formu vylít, očistit a odlitek obrobit. Výsledný odlitek je pak obtížně lakovatelný a těžký. Z tohoto důvodu se dnes u menších konstrukcích využívá příhradových plechových rámců, jejichž konstrukce dosahuje stejných mechanických vlastností jako v případě litin, ale je mnohem snazší je vyrobit, protože nepotřebují obrovské pece a licí pánve s formami pro jejich výrobu.

Vysoká variabilita moderních produktů je dalším z faktorů hovořícím proti využití litin. Změna sériové výroby v případě lití je obtížná, protože je potřeba vytvořit nové formy. Příhradové konstrukce se upravují mnohem snáz a k jejich úpravě je potřebná pouze minimální úprava výrobních strojů.

Dle vyjádření osloveného odborníka, pana Ing. Swaczyny z ENGEL strojírenská spol. s.r.o. se sídlem v Kaplici, kde se věnují výrobě vstříkolisů, dopravníků, lakování a svařování konstrukcí z různých materiálů vychází, že menší výrobky, jako třeba plynové pedály u automobilů se dnes místo litin vyrábí z lisovaných plechů s ochranným plastovým nástřikem, který zároveň může fungovat jako okrasný prvek. Díky posunu v technologiích zpracovávajících plasty se plastové produkty stále více blíží požadovaným vlastnostem ocelí a litin. I z tohoto důvodu jsou litiny upozaďovány, protože výroba plastu vystříknutím do formy je mnohem levnější a rychlejší než proces lití a plasty přitom dosahují požadovaných vlastností. Příkladem mohou být například plastová ložiska, která stojí zlomek ceny a jejich výměna je jednoduchá.

Z tohoto plyne, že litiny mají stále své opodstatnění v případech, kde zatím nebyla nalezena vhodná alternativa. Nicméně ve spoustě případů využití se dnes již používají moderní materiály a konstrukce, které jsou levnější, konfigurovatelnější, estetičtější a pevnější.

Seznam použité literatury

- BCSolutions (2022). What is Gray Cast Iron?. [online]. [cit. 2022-03-24], Dostupné z: <https://www.bcisolutions.com/gray-cast-iron>
- Beneš, L. (2022). Materiálem letem světem. [online]. [cit. 2022-03-07], Dostupné z: https://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/mattech/01_Materiálem%20letem%20svetem.pdf
- Borui (2022). China Ductile Iron Castings. [online]. [cit. 2022-03-25], Dostupné z: <http://www.iron-foundry.com/china-ductile-iron-castings.html>
- Bunty (2022). Malleable Iron Castings. [online]. [cit. 2022-03-27], Dostupné z: <https://buntyllc.com/malleable-iron-castings/>
- ClubTechnical (2018). Cast Iron – Types, Advantages, Disadvantages, Uses, Properties. [online]. [cit. 2022-03-10], Dostupné z: <https://clubtechnical.com/cast-iron>
- Fieldking (2022). Mounted Mould Board Plough. [online]. [cit. 2022-03-22], Dostupné z: <https://www.fieldking.com/product-portfolio/plough/mounted-mould-board-plough/>
- GlobalSources (2022). Cast Iron Front Axle 35-40 Hp Tractor Parts Front Support. [online]. [cit. 2022-03-22], Dostupné z: <https://www.globalsources.com/Sand-casting/Tractor-Parts-1186113242p.htm>
- GRENEOOD, N.N., EARNSHAW, A.: *Chemie prvků: Svazek II*. Prof. Ing, Jursíka F,CSc a kolektiv. 1. vyd. Praha: Informatorium, 1993. 1635 s. ISBN 80-85427-38-9.
- HEINRICH, Remy: *Anorganická chemie: II. díl*. Drátovský Milan a kolektiv. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971. 832 s.
- Helmenstine, A. M. (2019). Metallic Bond: Definition, Properties, and Examples. [online]. [cit. 2022-03-02], Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/metallic-bond-definition-properties-and-examples-4117948>
- Helmenstine, A. M. (2020). Electrical Conductivity Definition . [online]. [cit. 2022-03-05], Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/definition-of-electrical-conductivity-605064>
- Heunish (2022). Strojně formované odlitky. [online]. [cit. 2022-03-22], Dostupné z: <https://www.heunisch.eu/cs/produkty/seda-litina>
-

-
- Hodis, Z. (2010), Materiály a technologie, Kovy I – Přednášky. [online]. [cit. 2022-03-08], Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/podzim2011/TE2BP_MTK1/um/MTK1_studijni_opory_04.pdf
- Chemickeprvky.cz (2022). Železo. [online]. [cit. 2022-03-01], Dostupné z: <https://www.chemickeprvky.cz/prvek/fe/>
- Ispatguru (2014a). Malleable Cast Iron. [online]. [cit. 2022-03-20], Dostupné z: <https://www.ispatguru.com/malleable-cast-iron/>
- Ispatgutu (2014b). Pig Iron. [online]. [cit. 2022-03-20], Dostupné z: <https://www.ispatguru.com/pig-iron/>
- Kanjaksha, G. (2006). *Non hematological effects of iron deficiency – A perspective*. Bioline, 60(1):30-37
- KAŠPÁREK, F. et al.: *Anorganická chemie*. 2. vyd. Olomouc: VUP, 2001. 394 s. ISBN 80-244-0311-0.
- Keough, J. R. a K. L. Hayrynen (2000). Automotive Application of Austempered Ductile Iron (ADI). [online]. Society of Automotive Engineers [cit. 2022-04-02], Dostupné z: https://www.appliedprocess.com/wp-content/uploads/2018/09/248871_SAE-00M-106.pdf
- KŮTEK, František: *Anorganická chemie – kovy vedlejších podskupin*. Praha: SNTL, 1996. 140 s. ISBN 80-7078-692-2.
- Leica Microsystems, Dionis Diez, James DeRose (2020). Metallography – an Introduction. [online]. [cit. 2022-03-01], Dostupné z: <https://www.leica-microsystems.com/science-lab/metallography-an-introduction/>
- Lucey, P.G. a G.J. Taylor, E. Malaret (1995). Abundance and distribution of iron on the moon. [online]. [cit. 2022-03-01], Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17840628/>
- Lumen (2022). Nuclear Binding Energy and Mass Defect. [online]. [cit. 2022-03-01], Dostupné z: <https://courses.lumenlearning.com/introchem/chapter/nuclear-binding-energy-and-mass-defect/>
- MACHEK V., SODOMKA J.: *Struktury kovových materiálů: Nauka o materiálu – 1. část*. Praha: ČVUT, 2008. 186s. ISBN 978-80-01-03379-1
- Material Properties (2022a). What is White Iron – White Cast Iron – Definition. [online]. [cit. 2022-03-26], Dostupné z: <https://material-properties.org/what-is-white-iron-white-cast-iron-definition/>
-

-
- MaterialProperties (2022b). Ductile Cast Iron – Density – Strength – Hardness – Melting Point. [online]. [cit. 2022-03-15], Dostupné z: <https://material-properties.org/ductile-cast-iron-density-strength-hardness-melting-point/>
- MaterialProperties (2022c). Malleable Iron – Density – Strength – Hardness – Melting Point. [online]. [cit. 2022-03-20], Dostupné z: <https://material-properties.org/malleable-iron-density-strength-hardness-melting-point/>
- MaterialProperties (2022d). What is Gray Iron – Gray Cast Iron – Definition. [online]. [cit. 2022-03-12], Dostupné z: <https://material-properties.org/what-is-gray-iron-gray-cast-iron-definition/>
- Materials science & engineering (2022). Curie point of iron. [online]. [cit 2022-03-01], Dostupné z: <https://mse.engin.umich.edu/internal/demos/curie-point-of-iron>
- Materials-today (2020). Cast Iron Types – Microstructure. [online]. [cit. 2022-03-20], Dostupné z: <https://materials-today.com/cast-iron-types-microstructure/>
- Matmatch (2022). Část Iron: Properties, Processing and Applications. [online]. [cit. 2022-03-26], Dostupné z: <https://matmatch.com/learn/material/cast-iron>
- Meluzin, L. (2002) Stroje a zařízení. [online]. [cit. 2022-03-05], Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/050/.content/galerie-souboru/studijni-materialy/zelezo.pdf>
- Merriam-Webster (2022). Malleable Iron. [online]. [cit. 2022-03-20], Dostupné z: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/malleable%20iron>
- Metal Casting Institute (2022) Iron Types. [online]. [cit. 2022-03-13], Dostupné z: <https://metalcastinginstitute.com/iron-types/>
- Metallurgy (2022). White Cast Iron. [online]. [cit. 2022-03-26], Dostupné z: <https://www.metallurgyfordummies.com/white-cast-iron.html>
- Multimediaexpo (2022). Železo. [online]. [cit 2022-03-01], Dostupné z: <http://www.multimediaexpo.cz/mmecz/index.php/%C5%BDelezo>
- Ngqase, M. a X. Pan (2020). An Overview on Types of White Cast Irons and High Chromium White Cast Irons. [online]. [cit. 2022-03-20], Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1495/1/012023/pdf>
- Nuclear-power (2022) Ductility and Toughness. [online]. [cit. 2022-03-04], Dostupné z: <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/materials-science/material-properties/ductility/ductility-and-toughness/>
-

-
- Odehnalová, D. (2022). *Nauka o materiálu I*. [online]. [cit. 2022-03-06], Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/kestaz/KMT_NMI_NM-P_PR01_CZE_Odehnalova_Vnitri%20stavba%20pevných%20latek.pdf
- Palát, Hynek (2011). *Materiály převodových kol, převodovky*. [online]. [cit. 2022-03-22], Dostupné z: https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/SPS_III/VY_32_INOVACE_C-08-12.pdf
- Pilaardelements (2022), *Iron chemical reactions*. [online]. [cit. 2022-03-01], Dostupné z: <https://pilgaardelements.com/Iron/Reactions.htm>
- Prakash, P.B., & Mytri, P.S. (2011). *Characterization of Flake Graphite Forms in Digital Microstructure Images of Gray Cast Iron using Digital Image Analysis Techniques*. [online]. [cit. 2022-03-14], Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Characterization-of-Flake-Graphite-Forms-in-Digital-Prakash-Mytri/c88bfe2a291f6a42fd2d1b454356cbbc616a1d6c>
- PTÁČEK Luděk et al.: *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM s.r.o., 2002. 392s. ISBN 80-7204-248-3.
- Qualitas Exports (2022a) *Gear Manufacturer from India*. [online]. [cit. 2022-03-20], Dostupné z: <https://www.qualitasexports.com/gear-manufacturing>
- Qualitas Exports (2022b). *Ductile Iron Castings from India*. [online]. [cit. 2022-03-24], Dostupné z: <https://www.qualitasexports.com/ductile-iron-castings-manufacturer>
- Qualitas Exports (2022c). *Gray Cast Iron*. [online]. [cit. 2022-03-20], Dostupné z: <https://www.qualitasexports.com/articles/gray-cast-iron>
- Reliance foundry (2022a). *Ductile Iron*. [online]. [cit. 2022-03-16], Dostupné z: <https://www.reliance-foundry.com/blog/ductile-iron>
- Reliance foundry (2022b). *Introduction to Cast Iron: History, Types, Properties, and Uses*. [online]. [cit. 2022-03-10], Dostupné z: <https://www.reliance-foundry.com/blog/cast-iron>
- RSC (2022). *Iron*. [online]. [cit. 2022-04-01], Dostupné z: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/26/iron>
- Sabhadiya, J. (2022) *What Is Cast Iron? - Definition, Properties, And Uses*. [online]. [cit. 2022-03-10], Dostupné z: <https://www.engineeringchoice.com/cast-iron/>
- SECO Industries (2022). *Odlitky*. [online]. [cit. 2022-03-22], Dostupné z: <https://www.seco-slevarna.cz/odlitky/>
-

-
- Semih Genculu, P.E. (2022) Cast Irons – Properties and Applications. [online]. [cit. 2022-03-10], Dostupné z: https://www.cabinc.com/uploads/case_studies/CastIronProp-wp.pdf
- Sharp, T. a Ch. Gohd (2017). Earth's Layers: What Is Earth Made Of?. [online]. [cit. 2022-03-01], Dostupné z: <https://www.space.com/17777-what-is-earth-made-of.html>
- SunnySteel (2022). Malleable Fitting. [online]. [cit. 2022-03-27], Dostupné z: <https://www.sunnysteel.com/malleable-fitting.php>
- Tampa Steel (2022). Which Metal is the Best Conductor of Electricity. [online]. [cit. 2022-03-03], Dostupné z: <https://tampasteel.com/best-metals-conduct-electricity/>
- TheNile (2022). Ball mill. [online]. [cit.2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.nile-mining.com/grinding-equipment/ball-mills/ball-mill.html>
- Thermtest (2022). What Is Thermal Conductivity?. [online]. [cit. 2022-03-05], Dostupné z: <https://thermtest.com/what-is-thermal-conductivity>
- UPOL (2022a). Kovy. [online]. [cit. 2022-03-02], Dostupné z: https://jointlab.upol.cz/hrabovsky/nahradit_STAG_2019/nahradit_ZNM1_2019/ZNM1_kap_V_2019.pdf
- UPOL (2022b). Železná ruda. [online]. [cit. 2022-03-01], Dostupné z: https://jointlab.upol.cz/schovanek/VYROBY_zeleza_oceli_2017.pdf
- Vedantu (2022). Chemical process of nitric acid. [online]. [cit. 2022-03-01], Dostupné z: <https://www.vedantu.com/question-answer/happens-when-concentrated-hno3-is-added-to-iron-class-12-chemistry-jee-main-5f813b6893ca24529277ef23>
- VOJTĚCH, D. et al. (2005). *Úvod do studia materiálů 1*. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha. ISBN 80-7080-568-4
- Willman (2022a). Ductile Iron Casting. [online]. [cit. 2022-03-25], Dostupné z: <https://willmanind.com/iron-castings/ductile-iron/>
- Willman (2022b). What is Ductile Iron?. [online]. [cit. 2022-03-16], Dostupné z: <https://willmanind.com/what-ductile-iron/>
- Willman (2022c). What is Grey Cast Iron?. [online]. [cit. 2022-03-12], Dostupné z: <https://willmanind.com/what-is-grey-cast-iron/>
-

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 – Nejčastější mřížkové elementy kovů.....	16
Obrázek 1.2 – Překrystalisace železa	17
Obrázek 1.3 – Schéma vysoké pece	20
Obrázek 2.1 – Čisté železo a jeho polymorfie	21
Obrázek 2.2 – Strukturní popis diagramu Fe-Fe ₃ C	23
Obrázek 2.3 – Fázový popis diagramu Fe-Fe ₃ C	23
Obrázek 3.1 – Mikrostruktura šedé litiny	27
Obrázek 3.2 – 5 typů mikrostruktur šedé litiny.....	27
Obrázek 3.3 – Mikrostruktura tvárné litiny	29
Obrázek 3.4 – Mikrostruktury tvárné litiny	30
Obrázek 3.5 – Mikrostruktura bílé litiny	31
Obrázek 3.6 – Mikrostruktura temperované litiny	33
Obrázek 4.1 – Příklad čelního ozubeného kola ze šedé litiny.....	36
Obrázek 4.2 – Blok motoru z šedé litiny	37
Obrázek 4.3 – Litinový pluh používaný v zemědělství.....	37
Obrázek 4.4 – Těleso kompresoru z tvárné litiny	40
Obrázek 4.5 – Odlitek z tvárné litiny, součást podvozku automobilu	41
Obrázek 4.6 – Příklad odlitku z bílé litiny	43
Obrázek 4.7 – Kulový mlýn	43
Obrázek 4.8 – Tvarovky z temperované litiny.....	45
Obrázek 4.9 – Součást nápravy traktoru	46

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 – Přehled železných rud	12
Tabulka 4.1 – Souhrn vlastností šedé litiny	35
Tabulka 4.2 – Souhrn vlastností tvárné litiny	39
Tabulka 4.3 – Souhrn vlastností bílé litiny	42
Tabulka 4.4 – Souhrn vlastností temperované litiny.....	44