

Vysoká škola technická a ekonomická

v Českých Budějovicích

**Studijní opora pro prezenční a kombinovanou
formu studia**

2020

České Budějovice

Vysoká škola technická a ekonomická

v Českých Budějovicích

Moderní slévárenské technologie

Ústav technicko - technologický

Environmentální výzkumné pracoviště

Doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D.

Obsah

1	<i>Kapitola: Úvod do výrobních technologií</i>	1
1.1	Klíčová slova.....	1
1.2	Cíle kapitoly	1
1.3	Úvod do kapitoly.....	1
1.4	Výklad.....	1
1.5	Úlohy k řešení	6
1.6	Zajímavosti z dané problematiky	7
1.7	Kontrolní otázky.....	7
1.8	Doporučená studijní literatura.....	7
2	<i>Kapitola: Charakteristika a rozdělení ocelí</i>	8
2.1	Klíčová slova.....	8
2.2	Cíle kapitoly	8
2.3	Úvod do kapitoly.....	8
2.4	Výklad.....	8
2.5	Zajímavosti z dané problematiky	12
2.6	Kontrolní otázky.....	12
2.7	Doporučená studijní literatura.....	12
3	<i>Kapitola: Technologie a princip výroby oceli v primárních agregátech</i>	14
3.1	Klíčová slova.....	14
3.2	Cíle kapitoly	14
3.3	Úvod do kapitoly.....	14
3.4	Výklad.....	14
3.5	Zajímavosti z dané problematiky	17
3.6	Kontrolní otázky.....	17
3.7	Doporučená studijní literatura.....	17

4	<i>Kapitola: Zpracování oceli na zařízeních sekundární metalurgie</i>	18
4.1	Klíčová slova.....	18
4.2	Cíle kapitoly	18
4.3	Úvod do kapitoly.....	18
4.4	Výklad.....	18
4.5	Zajímavosti z dané problematiky	22
4.6	Kontrolní otázky.....	22
4.7	Doporučená studijní literatura.....	23
5	<i>Kapitola: Odlévání odlitků, průběh tuhnutí a vady odlitků</i>	24
5.1	Klíčová slova.....	24
5.2	Cíle kapitoly	24
5.3	Úvod do kapitoly.....	24
5.4	Výklad.....	24
5.5	Kontrolní otázky.....	31
5.6	Doporučená studijní literatura.....	31
6	<i>Kapitola: Základní rozdělení slévárenských litin</i>	33
6.1	Klíčová slova.....	33
6.2	Cíle kapitoly	33
6.3	Úvod do kapitoly.....	33
6.4	Výklad.....	33
6.5	Zajímavosti z dané problematiky	38
6.6	Kontrolní otázky.....	38
6.7	Doporučená studijní literatura.....	38
7	<i>Kapitola: Slévárenské zařízení a postupy tavení litiny</i>	39
7.1	Klíčová slova.....	39
7.2	Cíle kapitoly	39

7.3	Úvod do kapitoly.....	39
7.4	Výklad.....	39
7.5	Kontrolní otázky.....	42
7.6	Doporučená studijní literatura.....	43
8	<i>Kapitola: Charakteristika metalurgických pochodů výroby a mimopecní zpracování litin..</i>	44
8.1	Klíčová slova.....	44
8.2	Cíle kapitoly.....	44
8.3	Úvod do kapitoly.....	44
8.4	Výklad.....	44
8.5	Zajímavosti z dané problematiky.....	49
8.6	Kontrolní otázky.....	49
8.7	Doporučená studijní literatura.....	49
9	<i>Kapitola: Výroba odlitků, slévárenské směsi a formy</i>	50
9.1	Klíčová slova.....	50
9.2	Cíle kapitoly.....	50
9.3	Úvod do kapitoly.....	50
9.4	Výklad.....	50
9.5	Zajímavosti z dané problematiky.....	55
9.6	Kontrolní otázky.....	55
9.7	Doporučená studijní literatura.....	55
10	<i>Kapitola: Základní druhy slitin hliníku, hořčíku, mědi a zinku</i>	57
10.1	Klíčová slova.....	57
10.2	Cíle kapitoly.....	57
10.3	Úvod do kapitoly.....	57
10.4	Výklad.....	57
10.5	Zajímavosti z dané problematiky.....	61

10.6	Kontrolní otázky.....	61
10.7	Doporučená studijní literatura.....	62
11	<i>Kapitola: Materiálové vlastnosti slitin neželezných kovů.....</i>	63
11.1	Klíčová slova.....	63
11.2	Cíle kapitoly	63
11.3	Úvod do kapitoly.....	63
11.4	Výklad.....	63
11.5	Zajímavosti z dané problematiky	66
11.6	Kontrolní otázky.....	66
11.7	Doporučená studijní literatura.....	66
12	<i>Kapitola: Principy metalurgického zpracování neželezných kovů</i>	67
12.1	Klíčová slova.....	67
12.2	Cíle kapitoly	67
12.3	Úvod do kapitoly.....	67
12.4	Výklad.....	67
12.5	Zajímavosti z dané problematiky	75
12.6	Kontrolní otázky.....	75
12.7	Doporučená studijní literatura.....	76
13	<i>Kapitola: Základní metody odlévání slitin neželezných kovů</i>	77
13.1	Klíčová slova.....	77
13.2	Cíle kapitoly	77
13.3	Úvod do kapitoly.....	77
13.4	Výklad.....	77
13.5	Zajímavosti z dané problematiky	80
13.6	Kontrolní otázky.....	80
13.7	Doporučená studijní literatura.....	80

Název: Moderní slévárenské technologie

Autor: doc. Ing. Ladislav Socha, Ph.D., Ing. Jana Sviželová, doc. Ing. Karel Gryc, Ph.D.

Vydání: první, 2021

Počet stran: 80

1. vydání

© Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2020

Vydala: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, Okružní 10, 370 01 České Budějovice

Za obsahovou a jazykovou správnost odpovídají autoři a vedoucí příslušných kateder.

Anotace předmětu

Student je v průběhu semestru hodnocen na základě splnění dílčích požadavků pro udělení zápočtu, mezi které patří ústní prezentace na odborné téma (až 30 bodů), písemný zápočtový test (až 70 bodů) a účast na cvičeních. Písemný test je složen z otázek, které budou zaměřeny na probrané učivo v rámci přednášek, seminářů a jednotlivých laboratorních praktik. Absence v maximálním rozsahu 30 % musí být omluvena a omluva musí být vyučujícím akceptována (o důvodnosti omluvy rozhoduje vyučující).

Cíl předmětu

Předmět je zaměřen na získání teoretických a praktických znalostí z oblasti moderních slévárenských technologií výroby technických materiálů používaných ve strojírenské praxi představujících oceli na odlitky, litiny a slitiny neželezných kovů. Důraz je kladen na aplikaci teoretických znalostí v rámci technologických procesů výroby a zpracování jednotlivých materiálů se zaměřením na technologii výroby, zpracování a odlévání kovů a jejich slitin. Studenti získají představu o moderních slévárenských procesech, které se výraznou měrou podílejí na užitných vlastnostech kovových materiálů. Výsledkem studia jsou tedy komplexní znalosti z transferu teoretického a technického know-how do procesů výroby kovů a slitin. Studium umožňuje získat jedinečné poznatky o moderních slévárenských technologiích výroby, zpracování a odlévání kovů a jejich slitin představující základní technické materiály ve strojírenské praxi.

Výstupy z učení

Student bude umět definovat základní rozdělení ocelí, litin a slitin neželezných kovů, dále charakterizovat mechanické a technologické vlastnosti uvedených materiálů, základní pochody a rafinační technologie používané při metalurgickém zpracování ocelí, litin a neželezných kovů. Student bude mít teoretické a praktické znalosti z oblasti technologie odlévání ocelí, litin a neželezných kovů a bude znát základní metody hodnocení tekuté fáze tavenin ocelí na odlitky, litin a neželezných kovů. Student bude umět aplikovat teoretické i praktické poznatky z oblasti moderních slévárenských technologií k řízení technologie výroby, zpracování a odlévání ocelí na odlitky, litin a neželezných kovů. Dále bude student umět využít svých znalostí slévárenských technologií k rozhodování o použití vhodného výrobního pochodu a následného postupu zpracování při výrobě ocelí na odlitky, litin a neželezných kovů a bude schopen posoudit vhodnost nastavení technologie odlévání a bude znát základní typy vad, příčiny vzniku a možnosti jejich odstranění.

Základní okruhy studia

1. Úvod do výrobních technologií – význam, současný stav a perspektivy jednotlivých technologií. Mechanické, fyzikální, technologické a slévárenské vlastnosti jednotlivých typů ocelí na odlitky, litin a slitin neželezných kovů.
2. Charakteristika rozdělení a značení ocelí, zásady přípravy vsázky pro tavbu oceli, metalurgické reakce, odsíření, odfosfoření a teorie strusek.

3. Technologie a princip výroby oceli v primárních agregátech – elektrické obloukové pece, elektrické indukční pece a intenzifikace tavení.
4. Zpracování oceli na odlitky pomocí metod sekundární metalurgie – homogenizace oceli, injektáž prachových látek, injektáž plněných profilů, ohřev oceli a vakuování oceli.
5. Odlévání odlitků do forem, průběh tuhnutí a krystalizace odlitků, vady odlitků, rozdělení a charakteristika.
6. Základní rozdělení slévárenských litin, strukturní diagramy litin, kritéria hodnocení vlastností litin, zásady přípravy vsázky pro tavbu litin, materiály na odlitky.
7. Slévárenská zařízení a postupy tavení – kuplové pece, elektrické obloukové pece a elektrické indukční pece.
8. Charakteristika metalurgických pochodů výroby a mimopecní zpracování litin – metalurgické reakce, plyny v roztavené tavenině, teorie a způsoby očkování a fyzikální a chemické podmínky modifikace. Termická analýza litin, teorie a provozní aplikace.
9. Slévárenské směsi a slévárenské formy, vtoková soustava odlitků, druhy modelů, základy dimenzování náliček, plyny ve slévárenské formě, rozdělení a charakteristika metalurgických vad litin.
10. Základní druhy neželezných kovů. Slitiny hliníku, siluminy, Al-Si, duraly, Al-Cu, hořčíkové slitiny, slitiny mědi a zinku – chemické složení, vsázkové suroviny.
11. Materiálové vlastnosti slitin neželezných kovů – mechanické, fyzikální a technologické. Mechanické zkoušky, metalografie a strukturní diagramy litin.
12. Principy metalurgického zpracování – tavicí a udržovací pece, úprava chemického složení, fyzikální a chemické podmínky modifikace, teorie a způsoby očkování, rafinační postupy, plyny ve slitinách a odplyňování tavenin.
13. Základní metody odlévání slitin neželezných kovů – netrvalé a kovové formy, odstředivé lití, nízkotlakové, vakuové a tlakové lití do kovových forem, lití přesných odlitků metodou vytavitelného modelu. Charakteristika vad slitin neželezných kovů a jejich rozdělení, kontrola odlitků a oprava vad.

Povinná literatura

- SAHOO, Mahi.; SAHU, Sam. *Principles of Metal Casting*. 3rd ed. McGraw Hill Professional, 2014, 832 p. ISBN 9780071789752.
- NĚMEC, M., BEDNÁŘ, B., BRYKSÍ STUNOVÁ, B. *Teorie slévání*. 2. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2016. 217 s. ISBN 978-80-01-06026-1.
- MACHEK, V. *Kovové materiály 4: výroba a zpracování ocelí a litin*. Praha: České vysoké učení technické, 2015. 143 s. ISBN 978-80-01-05686-8.
- MATUCHA, J., NOVÁ, I. *Slévárenské formy*. vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2014. 165 s. ISBN 978-80-7494-083-5.

- MICHNA, Š., MICHNOVÁ, L. *Neželezné kovy*. vyd. 1. Děčín: Štefan Michna, Lenka Michnová, 2014. 245 s. ISBN 978-80-260-7132-7.
- MICHNA, Š. *Technologie a zpracování hliníkových materiálů*. vyd. 2., Ústí nad Labem: Štefan Michna, 2015. 150 s. ISBN 978-80-260-7706-0.

Doporučená literatura

- BEDDOOES, J., BIBBY, M. J. *Principles of Metal Manufacturing Processes*. 1st ed. Butterworth-Heinemann, 1999, 326 p. ISBN 9780080539553.
- ŠENBERGER, J. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1.vyd. Brno: VUTIUM, 2008. 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
- JELÍNEK, P. *Slévárenství*, 5. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava. 2007. 255 s. ISBN 978-80-248-1282-3.
- VONDRÁK, V., HAMPL, J., HANUS, A. *Metalurgie litin: mimopecní zpracování roztavené litiny*. 1.vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2005. 133 s. ISBN 80-248-0777-7.
- NĚMEC, M., PROVAZNÍK, J. *Slévárenské slitiny neželezných kovů*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2008. 137 s. ISBN 978-80-01-04116-1.
- SILBERNAGEL, A. *Struktura, vlastnosti, zkoušení a použití kovů*. 1. vyd. Ostrava: Kovosil, 2011. 284 s. ISBN 978-80-903694-6-7.

1 Kapitola: Úvod do výrobních technologií

1.1 Klíčová slova

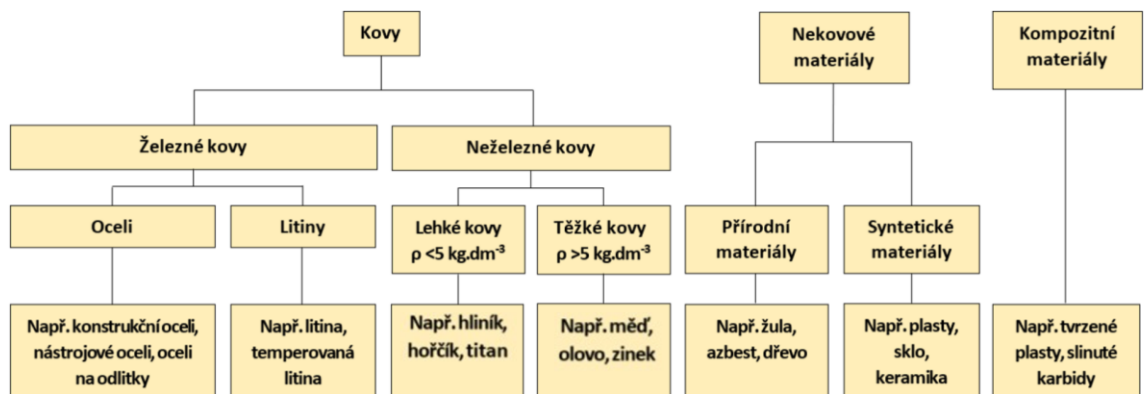
oceli, litiny, neželezné kovy, význam, současný stav, aplikace v průmyslu, perspektivy použití

1.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit s významem a použitím oceli, litin a neželezných kovů v soudobé společnosti. Definovat současný stav použití v průmyslu a perspektivy jednotlivých technických materiálů ve strojírenské praxi.

1.3 Úvod do kapitoly

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.



Obrázek – Rozdělení materiálů do skupin

1.4 Výklad

Materiály v každé skupině mají zčásti společné, zčásti pro daný materiál specifické, typické vlastnosti. Určují možnosti použití jednotlivého materiálu.

Typické znaky jednotlivých skupin materiálů a jejich použití:

- ✓ **oceli**: jsou slitiny železa s vysokou 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,



a) Hřídele z oceli



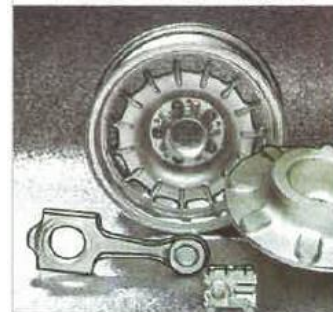
b) Těleso z litiny

Obrázek – Součásti z železných kovů

- ✓ **těžké neželezné kovy** ($\rho > 5 \text{ kg/dm}^3$): jsou např. měď, zinek, chrom, nikl, olovo,
- ✓ **lehké neželezné kovy** ($\rho < 5 \text{ kg/dm}^3$): jsou hliník, hořčík a titan.



a) Měděné vinutí motoru



b) Hliníkové součástky automobilu

Obrázek – Součásti z neželezných kovů

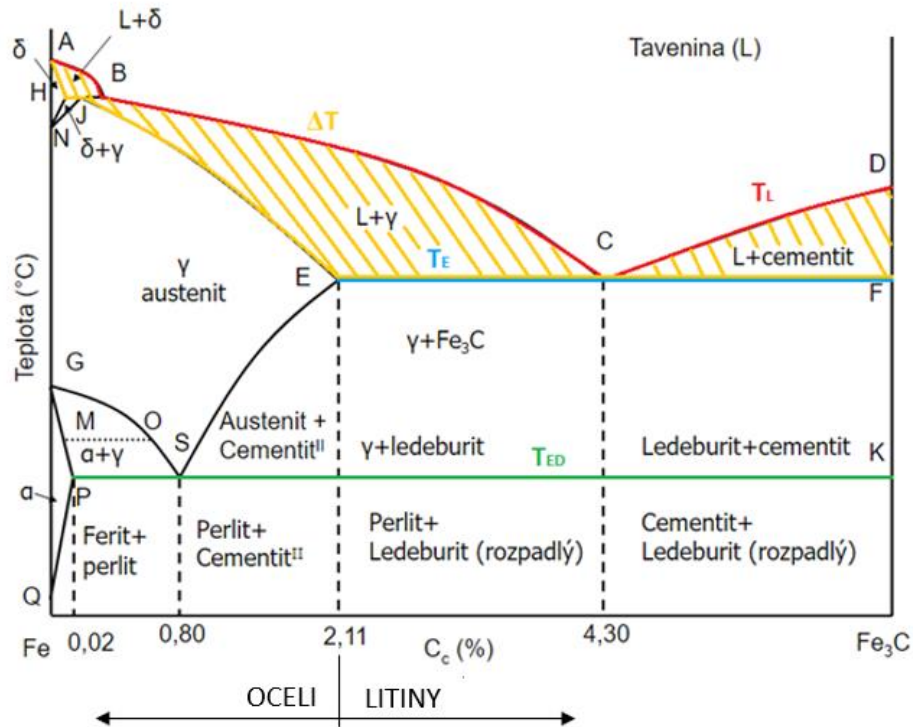
Charakteristika ocelí: ocel je slitina železa s uhlíkem do 2,14 hm. % a doprovodnými prvky (Mn, Si, P, S), které se dostaly do oceli při výrobě. Kromě doprovodných prvků obsahují některé oceli úmyslně přidané prvky, jako Cr, W, Mo, V, Ni aj. Pro své mechanické a technologické vlastnosti je ocel dodnes 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 po 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, jehož obsah je větší než 2,14 %, a dalších prvků Si, Mn, P, S. Uhlík je v litinách vyloučen ve formě grafitu (grafitické litiny), nebo cementitu (Fe_3C). Většina odlitků se odlévá z tzv. grafitických litin, které mají dobré slévárenské vlastnosti. Litiny, které mají ve struktuře vyloučen cementit, se používají tam, kde odlitek má mít vysokou tvrdost, nebo odolnost 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.



Obrázek – Metastabilní soustava Fe-Fe₃C rozdělení oblasti na oceli a litiny dle obsahu C

Označování ocelí a litin: v současném období je mnoho dosud platných ČSN nahrazováno mezinárodně platnými normami ISO a v případě označování materiálů evropskými normami EN. Tento proces bude ještě delší dobu probíhat. V případech, kde již ČR převzala normy EN, jsou uváděny tyto normy; tam, kde dosud normy EN nebyly převzaty, je uváděno označení podle normy ISO. Není-li zavedena ani tato norma, je uvedeno označení podle ČSN. Pro označování materiálů dosud platí kromě označení podle mezinárodně platných ČSN EN a ČSN ISO po přechodnou dobu prozatím i označení ČSN. Považujeme však za vhodné používat přednostně označování podle ČSN EN (popř. ČSN ISO). Nový systém označování rozlišuje při tvoření zkratk pro oceli dvě skupiny. Zkratka se skládá z hlavního a pomocného symbolu, které se píšou za sebou bez mezery.

Značky ocelí podle použití a mechanických nebo fyzikálních vlastností: značky ocelí této skupiny začínají charakteristickým písmenem pro účel použití a poskytují základní informaci o oblasti hlavního použití a hlavních vlastnostech oceli:

- ✓ **základní symboly:** charakteristické písmeno v základních symbolech označuje účel použití. Po něm následuje nejčastěji trojmístné číslo, vyjadřující mechanické vlastnosti oceli, např. minimální mez kluzu R_e v MPa,
- ✓ **přídavné symboly:** jsou písmena a písmena s číslicemi. Rozdělují se na symboly skupiny 1 a symboly skupiny 2. Symboly skupiny 2 se používají vždy pouze ve spojení se symboly skupiny 1 a jsou uvedeny za nimi; označují další vlastnosti, stav zpracování oceli apod.

Tabulka – Základní struktura označování → ukázka označování

G S 235 J0 W				
Základní symboly			Přídavné symboly	
			Skupina 1	Skupina 2
Charakteristické písmeno pro ocel na odlitky (uvedení v případě potřeby)	Charakteristické písmeno pro skupinu oceli	Písmena a číslice, např. pro označení <ul style="list-style-type: none"> • Mechanických vlastností • Tvrdosti • Způsobu tváření 	Písmena a číslice, např. pro označení <ul style="list-style-type: none"> • Nárazové práce • Tepelného zpracování • Použití 	Písmena a číslice přípustné pouze ve spojení se skupinou 1, např. k označení <ul style="list-style-type: none"> • Tvařitelnosti • Speciálního použití • Vlastností

Písmena a číslice jako přídavné symboly pro výrobky z oceli jsou od předchozích odděleny znaménkem (+)

Přídavné symboly pro výrobky z oceli (výběr)					
Pro zvláštní požadavky		Pro druh povlaku		Pro stav zpracování	
+C	Hrubozrnná ocel	+AZ	Potaženo slitinou Al-Zn	+A	Žiháno naměkko
+F	Jemnozrnná ocel	+S	Žárově pocínováno	+C	Zpevněno za studena
+H	Se zvláštní prokalitelností	+Z	Žárově pozinkováno	+N	Normalizačně žiháno
+Z15	Minimální kontrakce ve směru kolmém k povrchu 15 %	+ZE	Elektrolyticky pozinkováno	+QT	Zušlechtěno
				+U	Nezpracování

Značky ocelí podle jejich chemického složení: značky ocelí této skupiny obsahují údaje o chemickém složení oceli:

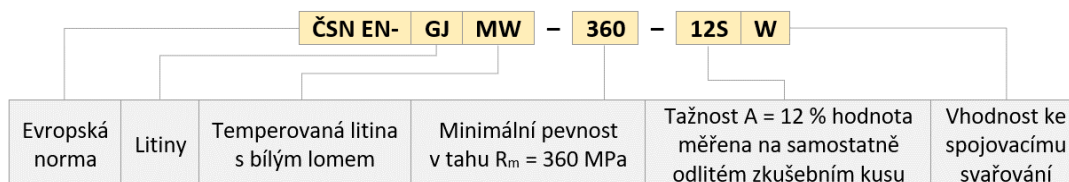
- ✓ **základní symboly:** charakteristická písmena v hlavních symbolech označují druh oceli,
- ✓ **charakteristická čísla:** označují stonásobný obsah uhlíku nebo ve spojení se symboly legovacích prvků čtyř-, deseti-, sto – nebo tisícínásobný obsah tohoto legovacího prvku. U charakteristických písmen X a HS udávají čísla přímo obsah legovacího prvku v procentech,
- ✓ **přídavné symboly:** přídavnými symboly jsou písmena a písmena s číslicemi. Rozdělují se na symboly skupiny 1 a symboly skupiny 2. Přídavné symboly skupiny 2 se používají vždy pouze ve spojení se symboly skupiny 1. Označují vlastnosti a legovací prvky oceli.

Označování slitin železa na odlitky podle ČSN ISO a ČSN EN:

- ✓ **litiny s lupínkovým grafitem:** značka je třímístné číslo, udávající přibližnou pevnost v tahu v MPa (např. ČSN ISO 250),
- ✓ **litiny s kuličkovým grafitem:** značka se skládá z třímístného čísla, udávajícího přibližnou pevnost v tahu v MPa, spojovníku a čísla, udávajícího minimální tažnost v % (např. ČSN ISO 600-3),
- ✓ **temperované litiny:** značka se skládá z písmene, mezery a dvou dvojčíslí spojených spojovníkem. Význam písmene: W–s bílým lomem, B–s černým lomem, P – perlitická. První dvojčíslí udává přibližnou pevnost v 10 MPa, druhé minimální tažnost v % (např. ČSN ISO B 35-10),
- ✓ **austenitické litiny:** značka se skládá z písmene: L–s lupínkovým grafitem, S–s kuličkovým grafitem, spojovníku a symbolů chemického složení – značek legujících prvků a jejich přibližného obsahu (např. ČSN ISO S-NiCr 20 2),

- ✓ **oceli na odlitky:** značka je složena z číselných minimálních hodnot meze kluzu R_e a meze pevnosti v tahu R_m v MPa oddělených od sebe spojovníkem (např. ČSN ISO 540-720),
- ✓ **nové označování litin podle ČSN EN:** zkratky litin se skládají ze šesti částí, přičemž často nejsou obsazeny všechny pozice. Části se za sebe skládají bez mezery, popř. se spojovníky.

Tabulka – Základní struktura označování → příklad



Charakteristika neželezných kovů a jejich slitin: dělení neželezných kovů může vycházet z různých kritérií, nejběžnější je členění podle teploty tání s přihlédnutím k dalším fyzikálním a chemickým vlastnostem (hustota, chemická stálost):

- ✓ *kovy s nízkou teplotou tání* – Bi, Sn, Cd, Pb, Zn, Sb,
- ✓ *lehké kovy* – Mg, Al, Be, Ti,
- ✓ *kovy se střední teplotou tání* – Cu, Ni, Co, Mn,
- ✓ *ušlechtilé kovy* – Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Ir,
- ✓ *kovy s vysokou teplotou tání* – Zr, Cr, V, Nb, Mo, Ta, W.

Nejvýznamnější slitiny neželezných kovů užívané ve strojírenství jsou rozděleny do tří skupin:

- ✓ *těžké (barevné) neželezné kovy* → slitiny mědi,
- ✓ *lehké neželezné kovy* → slitiny hliníku,
- ✓ *přísadové (legující) kovy.*

Způsob značení slitin neželezných kovů: slitiny se označují číselně nebo chemickými značkami:

- ✓ číselné značení: je určeno příslušnými evropskými, národními, podnikovými nebo jinými normami. Z číselného značení obvykle nevyplývá chemické složení slitiny,
- ✓ značení chemickými značkami: uvádí střední obsah hlavních prvků v procentech. Na první pozici je značka základního prvku, na dalších místech značky přísadových prvků v pořadí jejich obsahu. Číslice za značkou prvku značí jeho střední obsah ve slitině. Při obsahu prvku nižším než 1 % se obvykle množství prvku neuvádí.

Tabulka – Příklad značení chemickými značkami

Označení	Charakteristika
CuAl9Mn2	označuje hliníkový bronz s obsahem 9 % hliníku a 2 % manganu
AlSi10Mg	silumin s 10 % křemíku a méně než 1 % hořčíku

- ✓ *materiálové normy obvykle připouští značení slitin oběma způsoby. U některých slitin se někdy používá i jiný způsob značení (např. u mosazí),*
- ✓ *při značení čistých kovů se k chemické značce kovu připojuje číslice, označující obsah základního kovu v procentech. Zbytek tvoří nečistoty,*

✓ u velmi čistých kovů se zavedlo označení podle počtu devítek v obsahu tohoto prvku. Např. ve slitině s čistotou Al5N číslice před písmenem N značí počet devítek v procentuálním obsahu základního prvku, v tomto případě 99,999 % Al. Pak hovoříme o hliníku pět devítkové čistoty.

1.5 Úlohy k řešení

Cvičení – Ukázka značení ocelí

Rozbor značek ocelí dle nového označování ocelí ČSN EN. Jednotlivé příklady jsou uvedeny níže:

Tabulka – Konstrukční oceli

E 360 G C			
Základní symboly	Přídavné symboly		
	Skupina 1		Skupina 2
E a číslo pro minimální mez kluzu R_e v MPa pro nejmenší tloušťku výrobku	G a jiné znaky, případně s jedním nebo dvěma připojenými čísly		C se zvláštní tvařitelností za studena

Tabulka – Oceli pro ocelové konstrukce

S 355 J2G1 W							
Základní symboly	Přídavné symboly Skupina 1				Přídavné symboly Skupina 2		
	S a číslo pro minimální mez kluzu R_e v MPa pro nejmenší tloušťku výrobku	Nárazová práce v [J]			Zkuš. tepl. °C	M termomechanicky válcováno	C Se zvláštní tvařitelností za studena
27 J		40 J	60 J		N Normalizačně žiháno nebo normalizačně válcováno	D Žárové pokovení	F Pro kování
JR		KR	LR	+20	Q Zušlechťeno	L Pro nízké teploty	H Duté profily
J0		K0	L0	0	G Jiné znaky, příp. s 1 nebo 2 číslicemi	M Termomechanicky válcováno	O Pro konstrukce v pobřežních vodách
J2		K2	L2	-20		N Normalizačně žiháno nebo normalizačně válcováno	Q Zušlechťeno
J3		K3	L3	-30			S Na stavbu lodí
J4		K4	L4	-40			W Odolné proti atmosférické korozi
J5		K5	L5	-50			P Štětovnice
J6	K6	L6	-60				

Tabulka – nelegované oceli se středním obsahem Mn < 1 % (bez automatových ocelí)

C 35 E			
Základní symboly	Přídavné symboly, skupina 1		
	C a charakteristické číslo pro obsah uhlíku (charakteristické číslo = obsah uhlíku)	E Předepsaný max. obsah S	R Předepsaný rozsah obsahu S
	C Pro tváření za studena	G Pro jiné znaky s 1 nebo 2 následnými čísly	U Na nástroje
			W Na svařovací dráty
			D K tažení drátů

Tabulka – legované oceli s obsahem min. jednoho legovacího prvku ≥ 5 %

X 5 CrNi 18-8		
Základní symboly		
X a číslo pro obsah uhlíku (číslo = obsah uhlíku x 100)	Značky legujících prvků	Čísla pro střední obsah legujících prvků v procentech

1.6 Zajímavosti z dané problematiky

<http://www.hutnickaspol.cz>

<https://steeluniversity.org/>

<https://ceskaslevarenska.cz>

<https://www.svazslevaren.cz/cs/>

www.casopis-slevarenstvi.cz/cs/

1.7 Kontrolní otázky

1. Definujte rozdělení materiálů do skupin.
2. Charakterizujte typické znaky jednotlivých skupin materiálů.
3. Uveďte charakteristiku ocelí.
4. Definujte základní rozdělení ocelí.
5. Uveďte charakteristiku litin.
6. Definujte základní rozdělení litin.
7. Uveďte charakteristiku neželezných kovů a jejich slitin.

1.8 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- NĚMEC, Milan; BEDNÁŘ, Bohumír; BRYKSÍ STUNOVÁ, Barbora. *Teorie slévání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06026-1. **str. 108-216**
- SKOČOVSKÝ, Petr; PALČEK, Petr; VÁRKOLY, Ladislav. *Konstruktivní materiály*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2000. ISBN 80-7100-608-4. **str. 49-145**
- BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie I pro strojírenské učební obory: doporučený učební text pro střední odborná učiliště*. Praha: Sobotáles, 1997. ISBN 80-859-2042-5. **str. 49-84**
- ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6. **str. 42-55, str. 123-144**
- FISCHER, Ulrich. *Základy strojírenství*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-867-0609-5. **str. 139-187**
- MOHYLA, Miroslav. *Strojírenské materiály I*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0270-8. **str. 4-125**
- ŠENBERGER, Jaroslav. 2008. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1.vyd. Brno: VUTIUM, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9. **str. 84-96**

2 Kapitola: Charakteristika a rozdělení ocelí

2.1 Klíčová slova

charakteristika oceli, prvky v oceli, vliv prvků na vlastnosti oceli, suroviny pro výrobu oceli, metalurgické reakce, značení ocelí

2.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základní charakteristikou oceli a vlivem prvků na vlastnosti oceli. Popsat vsázkové suroviny pro výrobu oceli a základní metalurgické reakce.

2.3 Úvod do kapitoly

Oceli jsou nejčastěji používanými kovovými materiály. Rozdílným způsobem výroby, legováním a kombinací tepelného a tepelně-mechanického zpracování je možno ovlivnit vlastnosti ocelí v širokém rozmezí, a tak jejich vlastnosti přizpůsobit zamýšlenému použití.

2.4 Výklad

Ocel je slitina železa s uhlíkem a dalších kovových a nekovových prvků, která obsahuje méně než 2,14 hm. % uhlíku. Kromě základního prvku představujícího železo obsahuje ocel:

- ✓ *běžné doprovodné prvky – C, Si, Mn, P, S,*
- ✓ *speciální doprovodné prvky – tyto prvky se do oceli přidávají za účelem získání speciálních vlastností či mechanických hodnot. Patří mezi ně např. Cr, Ni, W, Mo, V, Ti, Nb, Zr atd.,*
- ✓ *doprovodné prvky ze skupiny neželezných kovů – Cu, As, Sb, Sn, Bi, Zn atd. Tyto prvky nelze z oceli běžnými postupy odstranit, v oceli působí škodlivě,*
- ✓ *plyny – dusík, vodík, kyslík,*
- ✓ *v oceli jsou rovněž přítomny vždy produkty probíhajících reakcí v kovu či reakcí kovu s žárovzdornými materiály (koroze, eroze). Vzhledem k jejich nekovové povaze je označujeme jako nekovové vměstky.*

Oceli lze zařadit mezi technické slitiny železa a obsahují celou řadu prvků, které ovlivňují jejich vlastnosti. Z hlediska vlivu prvků a jejich působení na vlastnosti ocelí je lze rozdělit následovně:

- ✓ *prospěšné (neškodlivé) prvky – patří zde např. C, Mn, Si, Cr, V, Mo, W, Ti, Al ad. Všechny tyto prvky mohou pozitivně ovlivňovat určitým způsobem vlastnosti oceli, např. její pevnost, houževnatost, tažnost, tvrdost, obrobitelnost, korozivzdornost, žáruvzdornost a mnohé další,*
- ✓ *škodlivé prvky – patří zde fosfor, síra (obecně škodlivé prvky),*
- ✓ *plyny v oceli – patří zde kyslík, dusík a vodík,*
- ✓ *stopové neželezné kovy – Cu, Sn, As, Sb, Bi, Zn a Pb. Ve většině případů zhoršují škodlivé prvky technologické a užitné vlastnosti oceli, a proto je snahou udržovat jejich obsah v oceli co nejnižší.*

Tabulka – Vliv vybraných škodlivých prvků a plynů na vlastnosti oceli

Prvek	Vliv na vlastnosti oceli	Maximální obsah
C	✓ <i>hlubokotažnost</i>	25 ppm
S	✓ <i>zvýšení náchylnosti k praskání</i> ✓ <i>náchylnost k lámavosti za červeného žáru</i> ✓ <i>nižší obsah síry zlepšuje svařitelnost</i>	10 až 30 ppm
P	✓ <i>křehnutí struktury (v důsledku segregace při tuhnutí)</i> ✓ <i>lámavost za studena</i>	50 až 80 ppm
O	✓ <i>zvýšení citlivosti k lámavosti za studena (tvoří ostrohranné vměstky)</i> ✓ <i>ovlivnění kvality povrchu</i>	10 až 15 ppm
N	✓ <i>zvýšení tvrdosti při stárnutí</i> ✓ <i>snížení tažnosti a houževnatosti</i>	20 až 50 ppm
H	✓ <i>vodíková křehkost</i>	1 až 1,5 ppm

Základní suroviny pro výrobu oceli představuje **surové železo** a **ocelová vsázka (odpad)**.

Surové železo: je produkt zpracování železných rud ve vysoké peci. Ocelářské surové železo obsahuje:

$C \rightarrow 4,3 - 4,6 \text{ hm. } \%$, $Mn \rightarrow 0,5 - 0,7 \text{ hm. } \%$, $Si \rightarrow 0,5 - 0,7 \text{ hm. } \%$, $P \rightarrow 0,10 - 0,17 \text{ hm. } \%$, $S \rightarrow 0,010 - 0,025 \text{ hm. } \%$. Surové železo se používá do vsázky primárních agregátů v tekutém nebo tuhém stavu.

Ocelová vsázka (odpad): zanáší do ocelí prvky používané k dezoxidaci a legování oceli, i tzv. stopové prvky, které zhoršují vlastnosti oceli i v nepatrných koncentracích (As, Sb, Pb apod.). Ocelový odpad se musí třídít podle přítomných legur. Dezoxidační přísady a legury se do oceli přidávají jako:

- ✓ *feroslitiny ($FeMn$, $FeSi$, $FeMnSi$, $CaSi$, $FeTi$, $FeCr$, $FeMo$, $FeVb$, FeB , FeV apod.),*
- ✓ *technicky čisté kovy (Al , Ni atd.).*

Surové železo obsahuje cca 4 hm. % uhlíku a nežádoucí nebo příliš velká množství doprovodných prvků. Při přeměně surového železa a ocelového odpadu na ocel je nutno snížit obsah uhlíku a téměř zcela vyloučit nežádoucí složky. Tento proces se nazývá zkujňování a po zkujňování je ocel podrobena dodatečné úpravě v rámci sekundární metalurgie. Nejdůležitější metody zkujňování jsou kyslíkové zkujňování (v kyslíkových konvertorech) a výroba elektrooceli (v elektrických obloukových pecích).

Rozdělení a použití ocelí: oceli je možné dělit podle jejich složení na nelegované a legované, podle užitných vlastností na oceli obvyklých jakostí, jakostní a ušlechtilé a podle jejich použití na konstrukční a nástrojové.

Rozdělení podle složení a užitných vlastností:

- ✓ **Oceli obvyklých jakostí:** jsou druhy ocelí, od kterých nejsou očekávány žádné zvláštní užitné vlastnosti. Nejsou určeny k tepelnému zpracování (kromě žhání).
- ✓ **Nelegované jakostní oceli:** mohou být tepelně zpracovávány a mají zvláštní užitné vlastnosti. K nelegovaným jakostním ocelím patří např. nelegované konstrukční oceli k ohýbání a profilování zastudena, nelegovaná tyčová ocel, plechy k hlubokému tažení a automatové oceli,

- ✓ **Nelegované ušlechtilé oceli:** jsou druhy oceli, které jsou vyráběny velmi čisté a po tepelném zpracování vykazují rovnoměrnější hodnoty než jakostní oceli. Jsou určeny k cementování, zušlechťování nebo povrchovému kalení. Do této skupiny patří i nelegované nástrojové oceli.
- ✓ **Legované jakostní oceli:** jsou např. svařitelné jemnozrnné konstrukční oceli, křemíko-manganové oceli na pružiny, oceli na štetovnice a důlní výztuže aj.,
- ✓ **Legované ušlechtilé oceli:** jsou všechny legované oceli kromě ocelí legovaných jakostních ocelí.

Rozdělení podle použití:

- ✓ **Konstrukční oceli:** se používají k výrobě strojů, automobilů, přístrojů a na ocelové konstrukce, konstrukci lodí a nádob, z nástrojových ocelí se vyrábějí ruční a strojní nástroje, nářadí a měřidla, řezné nástroje, formy na zpracování plastů a tlakové lití kovů, zápustky apod.
- ✓ **Konstrukční oceli musejí podle účelu použití splňovat různé požadavky.** Mechanické vlastnosti → vysoká mez kluzu, dostatečná houževnatost, především u rázového namáhání nebo při nízkých a vysokých teplotách, žárovevnost. Fyzikální vlastnosti → magnetizovatelnost, malá teplotní roztažnost. Technologické vlastnosti → dobrá obrobiteľnosť, tvariteľnosť za studena, např. při vystřihování a hlubokém tažení, svařitelnost, slévateľnosť. Chemické vlastnosti → odolnosť proti korozi, žárovzdornost.
 - **Nelegované konstrukční oceli:** jsou válcované za tepla a nejsou určeny k tepelnému zpracování. Pro jejich použití v ocelových konstrukcích a strojírenství je rozhodující minimální mez kluzu, popř. pevnost v tahu a vhodnost ke svařování. Ve značce podle ČSN EN je uvedena minimální mez kluzu v MPa, např. S235JR.
 - **Jemnozrnné konstrukční oceli vhodné ke svařování:** minimální mez kluzu jemnozrnných konstrukčních ocelí vhodných ke svařování pro jmenovitou tloušťku ≤ 16 mm leží v oblasti 275 MPa až 460 MPa. Jejich chemické složení a omezení obsahu C na max. 0,2 % je dimenzováno na vhodnost ke svařování. Jemnozrnná konstrukční ocel vhodná ke svařování S420N má minimální mez kluzu 420 MPa.



a) Základní těleso frézovací hlavy z konstrukční oceli



b) Svařovaný rám lisu z jemnozrnné konstrukční oceli

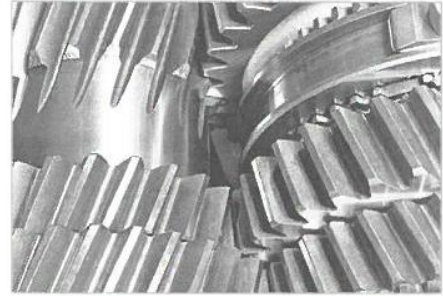
Obrázek – Ukázka výrobků z konstrukční oceli

- **Automatové oceli:** jsou nelegované jakostní oceli se zvýšeným obsahem síry (do 0,3 % S) a fosforu (do 0,2 % P), a nejsou proto vhodné ke svařování. Jsou velmi dobře obrobiteľné. Zpracovávají se většinou obráběním na automatických soustruzích. Vlivem obsahu síry vznikají krátké třísky.

- **Oceli k cementování:** jsou nelegované ušlechtilé oceli, jako např. C10E a legované ušlechtilé oceli, jako např. 17Cr3, 16MnCr5, 15NiCr6 aj. Jejich obsah uhlíku je nižší než 0,24 %. Z ocelí k cementování se vyrábějí součásti, které cementováním získávají tvrdou povrchovou vrstvu odolnou proti opotřebení, přičemž jádro součástí zůstává houževnaté.



a) Součásti soustružené na soustružnickém automatu

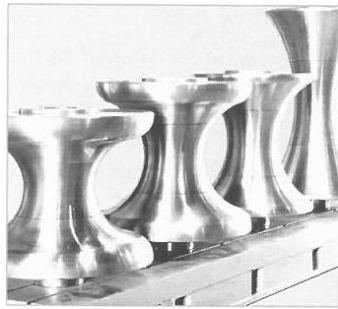


b) Ozubená kola z oceli k cementování

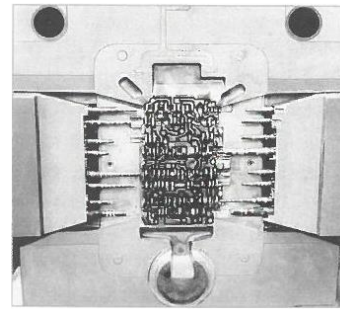
Obrázek – Ukázka výrobků z konstrukční oceli

- **Oceli k nitrídování:** jsou legované oceli, např. 41CrAlMo7, které jsou kvůli obsaženým prvkům tvořícím nitridy, jako je chrom, hliník a titan, velmi vhodné k nitrídaci. Používají se pro součásti odolné proti opotřebení s vysokou únavovou pevností.
- **Oceli k zušlechťování:** mají obsah uhlíku mezi 0,2 až 0,65 %, některé i více. Tyto oceli získávají svou vysokou pevnost zušlechťením. Mají přitom vysokou houževnatost a používají se hlavně pro dynamicky namáhané konstrukční díly s vyšší pevností. Oceli k zušlechťování se vyrábějí jako nelegované jakostní oceli, např. C22E a C45E4, nelegované ušlechtilé oceli, např. C50E4 a C60M2, nebo legované ušlechtilé oceli, např. 31CrNiMo8 a 37Cr4.
- **Pružinové oceli:** musejí být elastické a s vysokou mezí únavy při kmitavém namáhání, a kromě toho musejí mít vysokou pevnost. Pružinové oceli, které se používají běžně v konstrukci strojů a automobilů, jsou nelegované jakostní oceli např. C75, nelegované ušlechtilé oceli např. C76D a legované ušlechtilé oceli např. 50Si7.
- **Oceli pro zvláštní použití:** představují **oceli houževnaté** za studena, např. 12Ni14, X8Ni9, jsou při teplotách pod -50 °C ještě dostatečně houževnaté. Používají se např. na nádrže, potrubí a armatury v zařízeních a k výrobě a přepravě kapalného plynu. **Žáropevné oceli**, např. 10CrMo9-10, X50Cr-MoV 15, se používají při provozních teplotách nad 350 °C na potrubí v tepelných elektrárnách, na topné kotle a na hnací jednotky. **Vysoce žáropevné oceli**, např. X4NiCrTi25-15, X45CrNiW18-9, si svou pevnost zachovávají až do 700 °C . Používají se v konstrukci hnacích ústrojí, např. pro ventily a lopatky turbín. **Nerezavějící oceli** např. X5CrNi18-10, jsou odolné proti korozi působením vlhkosti vzduchu, vody a většiny kyselin a louhů.
- **Ocelové plechy:** konstrukční prvky z plechu mohou při vhodném tvaru přenášet vysoká zatížení. U ocelových plechů rozlišujeme plechy tenké a tlusté. Plechy se vyrábějí z nelegovaných konstrukčních ocelí, ocelí k cementování, ocelí k zušlechťování, nerezavějících ocelí.

- ✓ **Nástrojové oceli:** z těchto ocelí se vyrábějí nástroje k dělení, tváření a prvotnímu tváření materiálu. Svou tvrdost získávají tepelným zpracováním. Rozdělujeme je podle jejich složení na nelegované a legované nástrojové oceli, podle kalícího prostředí na nástrojové oceli kalené do vody, do oleje a na vzduchu a podle jejich použití (pracovní teplota) na oceli pro práci za studena, oceli pro práci za tepla a rychlořezné oceli. Obsah uhlíku (C) v nelegovaných nástrojových ocelích se pohybuje mezi 0,5 a 1,4 %. Legované nástrojové oceli mohou obsahovat až 2 % C, především však obsahují různé legující prvky. Ze složení oceli lze rozpoznat její použitelnost. Všechny nástrojové oceli jsou ušlechtilé oceli.



a) Válcovací válečky z oceli pro práci za studena



b) Forma pro tlakové lití z oceli pro práci za tepla

Obrázek – Ukázka výrobků z nástrojových ocelí

2.5 Zajímavosti z dané problematiky

<https://steeluniversity.org/>

<http://www.hutnickaspol.cz>

2.6 Kontrolní otázky

1. Charakterizujte pojem ocel.
2. Uveďte doprovodné prvky v ocelích.
3. Definujte doprovodné prvky ze skupiny neželezných kovů v ocelích.
4. Charakterizujte termín prospěšné (neškodlivé) prvky ovlivňující vlastnosti ocelí.
5. Definujte pojem škodlivé prvky ovlivňující vlastnosti ocelí.
6. Charakterizujte plyny v ocelích.
7. Uveďte vsázkové suroviny pro výrobu oceli.
8. Definujte pojem zkujňování a uveďte příklad.

2.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-867-0609-5. str. 175-178

- JELÍNEK, Petr. *Slévárství*. 5. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1282-3. **str. 195-205**
- NĚMEC, Milan; BEDNÁŘ, Bohumír; BRYKSÍ STUNOVÁ, Barbora. *Teorie slévání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06026-1. **str. 186-189**
- KRATOCHVÍL, Bohumil; ŠVORČÍK, Václav; VOJTĚCH, Dalibor. *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-708-0568-4. **str. 147-156**
- VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 978-80-7080-600-5. **str. 87-119**
- MOHYLA, Miroslav. *Strojírenské materiály I*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0270-8. **str. 50-94**

3 Kapitola: Technologie a princip výroby oceli v primárních agregátech

3.1 Klíčová slova

primární agregát, kyslíkový konvertor, elektrická oblouková pec, surová ocel

3.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základními typy primárních agregátů představujících kyslíkový konvertor nebo elektrickou obloukovou pec. Popsat základní funkce jednotlivých primárních agregátů, definovat vsázkové suroviny a charakterizovat technologie vedení taveb.

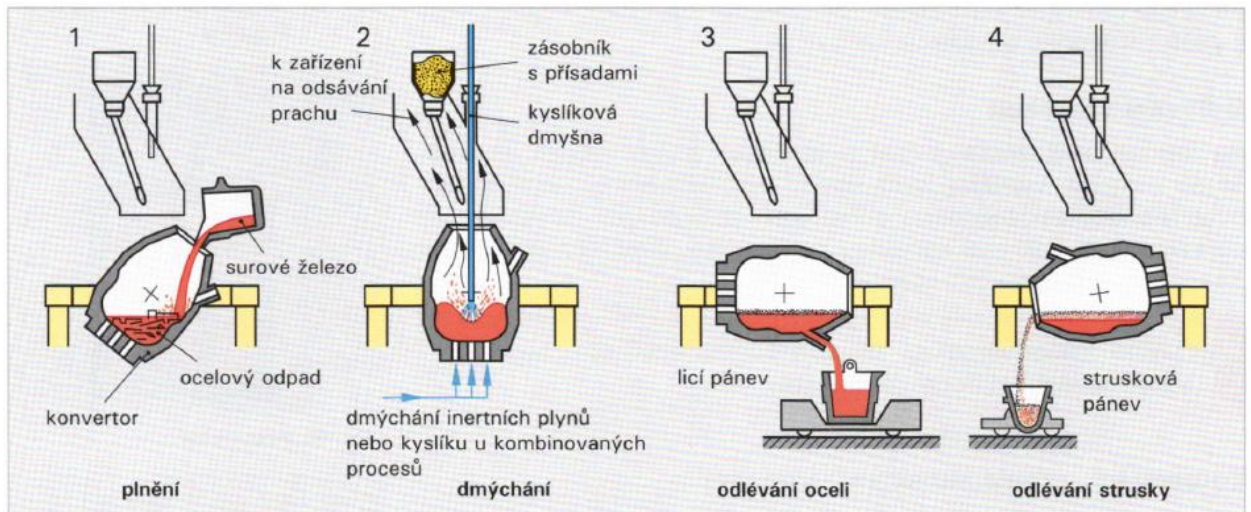
3.3 Úvod do kapitoly

V současné době představují kyslíkové konvertory a elektrické obloukové pece stěžejní primární agregáty pro výrobu surové oceli o předepsaném chemickém složení a teplotě, přičemž finální zpracování oceli se přesouvá na zařízení sekundární metalurgie.

3.4 Výklad

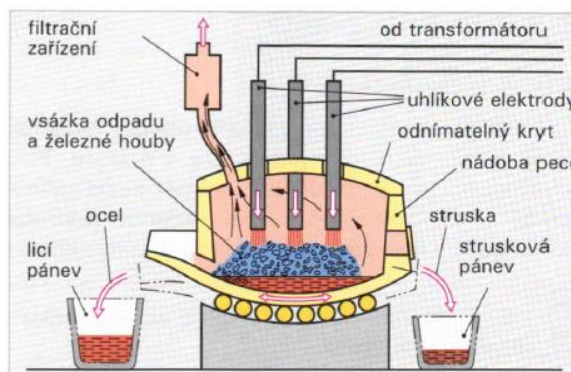
V současné době představuje nejpoužívanější kyslíkový konvertor typ LD, i když již byla vyvinuta řada variant, zejména konvertory s dmýcháním dnem typu OBM a konvertory s tzv. kombinovaným dmýcháním. Základní vsázkou kyslíkového konvertoru tvoří surové železo, kovový odpad interního výskytu a externě nakupovaný kovový odpad a struskotvorná přísada vápno anebo dolomitické vápno. Podstatou pochodu LD je zkujňování surového železa kyslíkem (s min. čistotou 99,5 %), dmýcháním do lázně tekutého kovu shora měděnou, vodou chlazenou tryskou, umístěnou v ose bazicky vyzděného konvertoru. Dynamický účinek kyslíkového proudu spolu s oxidací uhlíku zajišťuje intenzivní promíchávání lázně a tím příznivé podmínky pro rychlý průběh zkujňovacích reakcí. Výrobní technologie surové oceli se v kyslíkových konvertorech skládá z několika fází:

- ✓ *sázení kovového odpadu a následné nalévání surového železa,*
- ✓ *dmýchání kyslíku a sypání struskotvorných přísad, nahličovadla aj.,*
- ✓ *ukončení dmýchání kyslíku a následně se provede odběr předzkoušky kovu ponorným vzorkovačem a změří se teplota oceli,*
- ✓ *při splnění předepsaného chemického složení a požadované teploty se provede odpich oceli do lící pánve,*
- ✓ *následně je provedeno vylití konvertorové strusky do struskové mísy,*
- ✓ *po ukončení odpichu se provádí kontrola vyzdívky s mezitavbovou opravou a následně je konvertor opět připraven na další tavbu.*



Obrázek – Výroba oceli v konvertoru typu LD

Kromě kyslíkových konvertorů se pro výrobu oceli používají elektrické obloukové pece (EOP). Výroba oceli v elektrické obloukové peci se vyznačuje určitými specifickými možnostmi, které vyplývají v podstatě z existence vysokoteplotního, koncentrovaného zdroje tepla (elektrického oblouku), který není vázán na průběh oxidačních (respektive spalovacích) reakcí. Ocel se vyrábí z kovového odpadu a dalších kovových a nekovových přísad, tavení probíhá pomocí tepla uvolňovaného elektrickými oblouky, které vznikají mezi grafitovou elektrodou a kovovou vsázkou. Díky specifickým možnostem výroby v elektrických obloukových pecích existuje velmi velký počet modifikací těchto technologií umožňující výrobu: *uhlíkových ocelí, legovaných, vysokolegovaných, nástrojových ocelí a ocelí na odlitky.*



Obrázek – Elektrická oblouková pec napájená střídavým proudem (AC)

Výrobní technologie surové oceli se v elektrických obloukových pecích skládají z několika fází:

- ✓ *sázení vsázky pomocí sázečích košů,*
- ✓ *tavení vsázky na max. příkon oblouků, částečný průběh metalurgických reakcí,*
- ✓ *oxidační údobí (oxidace uhlíku, oxidace dalších doprovodných prvků, oxidace fosforu, snížení obsahu plynů N_2 , H_2 a částečné snížení obsahu síry),*
- ✓ *redukční údobí (dezoxidace oceli, odsíření oceli, nalegování lázně a konečná úprava chemického složení), dohotovení (konečná úprava chemického složení, úprava teploty lázně na odpichovou teplotu) a odpich,*

- ✓ *po ukončení odpichu se provádí kontrola vyzdívky s mezeitavbovou opravou a následně je elektrická oblouková pec opět připravena na další tavbu.*

Úlohy k řešení

Exkurze výroby v ocelárnách

Cílem exkurze je seznámit studenty s provozními podmínkami průběhu výroby různých jakostí ocelí. Nedílnou součástí exkurze je také možnost rozšířit si teoretické znalosti z oblasti primárních agregátů, výrobních technologií, rafinačních procesů, sekundární metalurgie, odlévání oceli na zařízení plynulého odlévání nebo odlévání oceli kokilovou cestou a možnost kontroly vad odlitků vznikajících v průběhu výroby. Pro realizaci exkurze byly vybrány následující významné podniky, které se v ČR zabývají výrobou různých jakostí ocelí:

- ✓ **LIBERTY OSTRAVA a.s.:** patří do holdingu Liberty House Group. Roční kapacita výroby je 3 milionů tun oceli. Kromě tuzemského trhu prodává společnost své výrobky do více než 40 zemí světa.
 - videosekvence: „Výroba oceli v Liberty Ostrava“:
<https://libertyostrava.cz/video/Vyroba-oceli-v-Liberty-Ostrava.mp4>
 - videosekvence: „Výroba svodidel Ostrava – ArcelorMittal Distributions Solutions“:
https://www.youtube.com/watch?v=R0_NZQRdhYM&list=PLbeQ4-Qf52suF9_uZaqhghIn4gVQRBp5A&index=6
- ✓ **TŘINECKÉ ŽELEZÁRNY a.s.:** představují moderní provoz používající nejmodernější technologie na výrobu kolejnic, polotovarů, speciálních ocelí, válcovaného drátu, tyčové oceli atd.
 - videosekvence (domovská stránka):
<https://www.youtube.com/user/trzcz>
 - 3D model konvertorové ocelárny v Třineckých železárnách:
<https://www.youtube.com/watch?v=rSiELZTegc4>
- ✓ **VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.:** představují moderní provoz, který zajišťuje celý výrobní postup od výroby tekutého kovu přes výrobu odlitků a výkovků, vše z vlastních zdrojů a vlastními silami, kontrola celého výrobního procesu na jednom místě, spolupráce v rámci skupiny umožňuje pružně reagovat na požadavky zákazníků a dosáhnout té nejlepší kvality
 - oficiální stránky:
<http://www.vitkovice.cz/vitkovice-heavy-machinery>
- ✓ **ŽĎAS a.s.:** výrobní program společnosti je zaměřen na tvářecí stroje, zařízení pro volné kování, zařízení na zpracování šrotu, hydraulické lisy, zařízení na zpracování válcovaných výrobků, zařízení pro rovnání materiálu, inspekční a rovnací linky pro úpravu tyčí a kusové dodávky pro válcovny. Společnost se specializuje také na výrobu odlitků od 200 do 50 000 kg, výkovků od 20 do 9 000 kg, ingotů od 500 do 20 000 kg a modelů nebo lisovacích nástrojů především z oblasti automobilového průmyslu.
 - oficiální stránky:
<https://www.zdas.com/cs/>

Exkurze (videosekvence) také povede ke zvýšení zájmu o následující semináře.

Z průběhu exkurze studenti vypracují „**Zprávu z exkurze**“, kterou připraví na následující cvičení. Vlastní text zprávy bude koncipován dle následující osnovy:

- ✓ *Úvod – krátká charakteristika zprávy,*
- ✓ *Popis firmy (videosekvence) – charakteristika firmy (lze čerpat údaje z internetu nebo prospektů),*
- ✓ *Popis exkurze – uvedení průběhu exkurze, technicko-technologické parametry provozních agregátů, výrobní program atd.,*
- ✓ *Závěr – krátké shrnutí exkurze,*
- ✓ *Použitá literatura – citace dle normy ISO 690, která je dostupná na internetu:*

<https://sites.google.com/site/novaiso690/>

3.5 Zajímavosti z dané problematiky

<https://steeluniversity.org/>

3.6 Kontrolní otázky

1. Charakterizujte základní typy primárních agregátů.
2. Popište technologii výroby v LD konvertorech.
3. Uveďte skladbu vsázkových materiálů pro kyslíkový konvertor typu LD.
4. Definujte média používaná v kyslíkovém konvertoru pro zajištění zkouňovacích reakcí.
5. Uveďte základní technologie výroby oceli v elektrické obloukové peci.
6. Definujte vsázkový materiál používaný pro tavbu v elektrické obloukové peci.
7. Charakterizujte dvoustruskovou technologii výroby oceli v elektrické obloukové peci.
8. Uveďte princip výroby v elektrické obloukové peci jednostruskovou technologií.

3.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ADOLF, Z. *Technologie výroby oceli v konvertorech: Studijní opora*. VŠB-TU Ostrava, 2013, **51 s.**
- CHRÁST, Jaroslav. *Slévárenská zařízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-720-4456-7. **str. 60-66**
- MORES, Antonín; NĚMEC, Milan. *Technologická zařízení sléváren*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04490-2. **str. 27-32**
- FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-867-0609-5. **str. 155-156**
- ŠENBERGER, Jaroslav. 2008. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1.vyd. Brno: VUTIUM, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9. **str. 97-190**

4 Kapitola: Zpracování oceli na zařízeních sekundární metalurgie

4.1 Klíčová slova

sekundární metalurgie, dmýchání inertních plynů, injektáž přísad, přihřev oceli v pánvi, vakuové zpracování oceli

4.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit s příčinami rozvoje sekundární metalurgie, charakterizovat výhody a přínosy zpracování oceli pomocí metod sekundární metalurgie a definovat základní metody a zařízení sekundární metalurgie.

4.3 Úvod do kapitoly

Druhá polovina 20. století je v ocelářské výrobě charakterizována výraznou snahou snižovat materiálovou a energetickou náročnost. Současně se zvyšují nároky uživatelů na kvalitu oceli představující zvyšování užitných vlastností výrobků. Limitujícím faktorem dalšího zvyšování produktivity primárních agregátů (kyslíkových konvertorů nebo elektrických obloukových pecí) se stala délka fáze dohotovení tavby po roztavení vsázky. Zákonitě se proto objevila technická řešení umožňující přenést některé technologické operace mimo primární agregát. To vedlo ke vzniku nových ocelářských technologií souhrnně označovaných jako sekundární metalurgie.

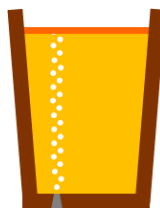
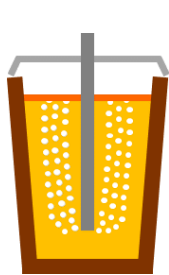
4.4 Výklad

Přesunutí rafinačních operací z výrobního reaktoru do pánve umožňuje:

- ✓ *snižovat výrobní náklady na jednu tunu vyráběné oceli,*
- ✓ *zvyšovat jakost vyráběné oceli na úroveň nedosažitelnou v pecním agregátu,*
- ✓ *připravit tekutou ocel pro plynulé lití na ZPO s přesnou lící teplotou a řízenou chemickou i metalografickou čistotou.*

Základní způsoby mimopecního zpracování oceli (sekundární metalurgie) a jejich účinky lze shrnout do následujících bodů:

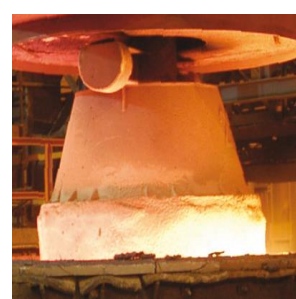
- ✓ *dmýchání inertních plynů:*
 - *pouhé dmýchání (vyplouvání vměstků, teplotní a chemická homogenizace oceli),*
 - *dmýchání pod aktivní struskou (reakce mezi struskou a kovem; odsíření oceli),*
- ✓ *přihřev oceli v pánvi:*
 - *elektrickým obloukem,*
 - *chemický přihřev.*



a) Dmýchání ponornou tryskou

b) Dmýchání půdní dmyšnou

Obrázek – Dmýchání inertních plynů



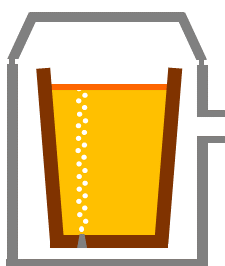
a) Pánvová pec – LF

b) Pánvová pec – IR-UT

Obrázek – Příhřev oceli v pánvi

✓ vakuové zpracování oceli:

- odplynění v pánvi,
- odplynění v proudu,
- odplynění v komoře (oběžné RH, zdvižné DH),
- oxidační vakuování oceli – VOD (výroba korozivzdorných ocelí – hluboké oduhličení chromem vysoce legovaných ocelí).



a) Vakuovací stanice – VD

b) Vakuovací stanice – DH

c) Vakuovací stanice – RH

Obrázek – Jednotlivá zařízení pro vakuové odplynění oceli

Jednotlivé metody zpracování oceli v rámci sekundární metalurgie uvedené výše umožňují dosáhnout odlišné metalurgické (rafiční) schopnosti. Charakteristickým znakem moderní sekundární metalurgie je její rozmanitost, kdy jednotlivé ocelárny využívají sekundární metalurgii v komplexní podobě a volí takovou kombinaci zařízení a metod, které zabezpečí potřebnou kvalitu oceli odpovídající zvyšujícím se užitečným vlastnostem výrobků spolu s možností optimalizace výroby v rámci primárních agregátů.

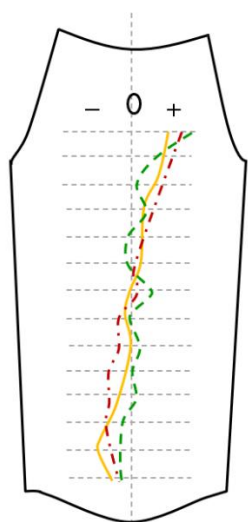
Tabulka – Ukázka metalurgických schopností jednotlivých zařízení sekundární metalurgie

Technologie sekundární metalurgie	Změna obsahu prvku				Možnosti legování	ΔT (°C)	Modifikace vměstků
	ΔS (%)	ΔH (ppm)	ΔN (ppm)	ΔO_2 (%)			
Homogenizace Ar	-50/-60	+3/+4	0/+20	-50	ohraničené	-10/-15	Ne
Injektáž prachových látek	-50/-80	+2/+5	+20/+40	-50	velký propal	-40/-60	Ano
Injektáž plněných profilů	-50/-80	0/+2	0/+20	+/-	vynikající	-10/-15	Ano
Pánvová pec LF	-50	+	+	-50	vynikající	+/-	Ne
Vakuovací stanice VD	-70/-90	-60	-50	-50	ohraničené	-50	Ne
Vakuovací stanice RH	---	-80	-30	-50	vynikající	-50	Ne

Úlohy k řešení

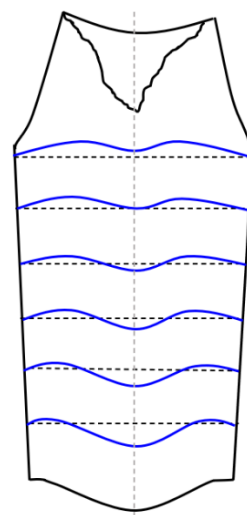
Laboratorní praktikum – Studium heterogenity odlitků z oceli

Úkolem laboratorního praktika je studium chemické heterogenity, segregace, nečistivostí, bublin a defektů jednotlivých vzorků oceli s cílem seznámení se s principem metody Baumannových otisků. Stupeň segregace jednotlivých prvků spočívá v tvorbě nové specificky lehčí fáze, bohaté zejména na síru, fosfor a uhlík, která má tendenci vystupovat do horní části ingotu. Stupeň segregace jednotlivých prvků se mění nejen ve svislém řezu ingotu, ale i v příčných řezech.



Legenda: — C, - - - P, - - - S, napravo od osy jsou kladné odchylky, nalevo záporné odchylky od středního složení

a) Ukázka průběhu chemického složení v ose ingotu



Legenda: — průměrné složení, segregující prvky: C, Mn, P a S

b) Ukázka rozdělení hlavních segregujících prvků v jednotlivých řezech

Obrázek – Schematicky znázorněný mechanismus vzniku segregací

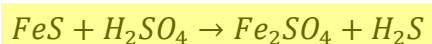
Pro studium struktury oceli pomocí Baumannových otisků je nejprve nutné odebraný vzorek oceli A a B postupně vybrousit pomocí brusných papírů s odlišnou zrnitostí od nejhrubšího k nejjemnějšímu s cílem získání hladkého a lesklého povrchu. Následně je nutné povrch očistit silným proudem vody a potom povrch vzorku osušit filtračním papírem, přičemž případné mastné skvrny se odstraní otřením povrchu vatou namočenou do odmašťujícího prostředku (benzínový čistič) a povrch znovu osušit filtračním papírem.

Následně bude vystřižen fotografický papír ve formátu mírně přesahující analyzovaný vzorek oceli A a B. Matný fotografický papír s chlorobromostříbrnou emulzí se na denním světle ponoří do zředěného, asi 5 % vodního roztoku kyseliny sírové a ponechá se v něm po dobu 5 až 10 minut. Přebytková vlhkost se po vytažení fotografického papíru odstraní přiložením filtračního papíru.

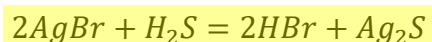
Na takto připravený fotografický papír se přiloží analyzovaný vzorek oceli, a to broušenou stranou na citlivou část fotografického papíru. Takto ponecháme vzorek oceli reagovat s fotografickým papírem po dobu 5 až 10 minut, a to v závislosti na koncentraci síry ve vzorku oceli. Po uplynutí uvedené doby se vzorek oceli z fotografického papíru odstraní a fotografický papír se vypere v proudu vody a následně jej vložíme do ustalovače na dobu cca 10 minut.

Poslední krok představuje důkladné opláchnutí fotografického papíru minimálně cca 30 minut a následné důkladné vysušení pomocí fénu. Tímto způsobem získáme tzv. Baumannův otisk, který představuje rozložení tmavých skvrn na fotografickém papíru, ze kterého se usuzuje způsob vyloučení síry v oceli.

Vznik těchto tmavých skvrn v oceli lze vysvětlit následujícím způsobem: síra je v oceli přítomna buď jako sulfid železnatý anebo sulfid manganatý. Účinkem kyseliny sírové se v místech obsahujícím sulfidy tvoří síran železnatý a hydrogen sulfid dle rovnice:



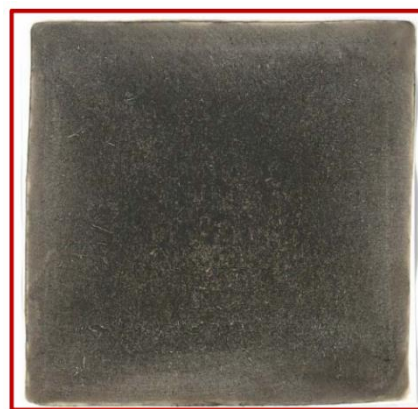
Vzniklý hydrogen sulfid působí na bromid stříbrný v emulzi fotografického papíru a vzniká sulfid stříbrný dle rovnice:



Vzniklý sulfid stříbrný se na fotografickém papíru projeví jako tmavé skvrny.



a) Obsah S v oceli cca 0,015 hm. %



b) Obsah S v oceli cca 0,3 hm. %

Obrázek – Ukázka Baumannových otisků z plynule litých předlitků s odlišným obsahem síry

Po sejmutí fotografického papíru s Baumannovým otiskem bude prováděna fotodokumentace jednotlivých vzorků ocelí A a B a výsledných Baumannových otisků pomocí digitálního fotoaparátu (určeno pro laboratorní protokol).

Úkolem laboratorního praktika je studium chemické heterogenity, segregace, necelistvostí, bublin a defektů jednotlivých vzorků oceli s cílem seznámení se s principem metody Baumannových otisků. Jednotlivé úkoly lze shrnout do následujících bodů:

- ✓ *studium principu metody Baumannových otisků na vzorcích oceli označených písmeny A a B,*
- ✓ *provedení snímání Baumannových otisků v laboratorních podmínkách ze vzorků ocelí označených písmeny A a B,*
- ✓ *posouzení a vyhodnocení Baumannových otisků ze vzorků ocelí se zaměřením na strukturu, segregaci, necelistvosti, bubliny a defekty jednotlivých vzorků ocelí,*
- ✓ *popište struktury jednotlivých vzorků ocelí A a B. Uvedený popis doplňte fotodokumentací vybroušeného vzorku, který byl studován s Baumannovým otiskem,*
- ✓ *dle sejmutých Baumannových otisků ze vzorků ocelí A a B vyhodnoťte strukturu oceli se zaměřením na chemickou heterogenitu a popis doplňte fotodokumentací,*
- ✓ *na základě fotografií proveďte vizuální hodnocení se zaměřením na výskyt vad. Pokud se na vzorcích oceli A a B vyskytuje vada, popište ji dle níže uvedené literatury.*
- ✓ *vypracování laboratorního protokolu „Studium heterogenity odlitků z oceli“.*

4.5 Zajímavosti z dané problematiky

<https://steeluniversity.org/>

4.6 Kontrolní otázky

1. Uveďte příčiny rozvoje sekundární metalurgie.
2. Uveďte základní metody sekundární metalurgie.
3. Vysvětlete princip rafinace oceli inertními plyny.
4. Charakterizujte základní metody zavádění inertního plynu do oceli v pánvi.
5. Vyjmenujte základní typy pánvových pecí.
6. Popište pánvovou pec LF.
7. Popište pánvovou pec IR-UT
8. Definujte metody vakuování oceli.
9. Popište vakuovací stanice typu VD, RH a DH.

4.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- MICHALEK, Karel. *Rařinace a odlěvání oceli: studijní opora*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3581-5. **str. 3-22, 29-32**
- ADOLF, Zdeněk. *Mimopeční rařinace oceli*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká řkola báňská, 1991. **str. 1-6, 41-54, 58-84, 103-109**
- PARMA, Václav; BEČVÁŘ, Jaroslav. *Sekundární metalurgie při výrobě oceli*. Praha: Infometal, 1983. Hutnické aktuality (Infometal). **str. 3-53**
- ADOLF, Zdeněk; SOCHA, Ladislav. *Sekundární metalurgie: Studijní opora*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2016. **str. 4-60**
- ŠENBERGER, Jaroslav. 2008. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1.vyd. Brno: VUTIUM, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9. **str. 191-234**

5 Kapitola: Odlévání odlitek, průběh tuhnutí a vady odlitek

5.1 Klíčová slova

odlívání oceli do kokil, odlívání oceli na odlitky, odlívání oceli na zařízení plynulého odlévání, průběh krystalizace a tuhnutí, vady odlitek a plynule litých předlitek

5.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základními způsoby odlévání oceli. Bude umět popsat odlévání oceli do kokil (horem a spodem), definovat odlévání oceli na zařízení plynulého odlévání, průběh krystalizace a tuhnutí a také bude umět charakterizovat základní typy vad.

5.3 Úvod do kapitoly

Odlévání oceli představuje důležitou součást výrobního procesu. Převážná část vyrobené oceli je v současné době odlévána na zařízeních plynulého lití (90 %) a menší část je odlévána do kokil na ingoty (9 %). Tradiční postup odlévání oceli do kokil činí cca 8,5 % a oceli na odlitky cca 1,5 %. Podíl odlité oceli na zařízení pro plynulé odlévání (ZPO) činí ve vyspělých státech téměř 100 %. Odlévání oceli lze tedy rozdělit na následující technologie:

- ✓ odlévání oceli do kokil – horem nebo spodem,
- ✓ odlévání oceli na odlitky,
- ✓ odlévání oceli na zařízení plynulého odlévání.

5.4 Výklad

Odlévání oceli do kokil: se provádí v licí hale ocelárny do licích souprav, které se skládají z litinových forem, tzv. kokil, které jsou umístěny buď na pojízdných vozech, nebo jsou postaveny na licím poli. Ocel se do kokil odlévá přímo z odpichové pánve, která je opatřena uzavíratelnými výlevkami. V tomto případě se jedná o odlévání horem. Při odlévání spodem se ocel nelije do kokil přímo, ale přes licí kůl a vtokové kanály, rovnoměrně pak stoupá ve všech kokilách současně. Odlévání oceli horem nebo spodem se provádí do licí soupravy. Licí souprava se skládá z následujících základních částí: *licí deska, kokila, kokilová podložka a hlavový nástavec*.

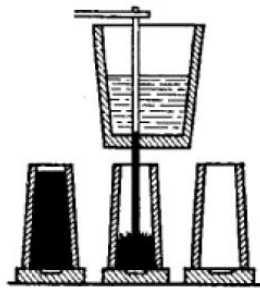
Licí deska: se používá jako základna pro odlévání. Pokud jsou odlévány těžké kovářské ingoty, tak jsou licí desky umístěny v licí jámě. Jestliže se odlévají menší ingoty, může být licí deska umístěna na speciálním voze, ale dnes se většinou licí desky umísťují do licích jam, kde ingoty chladnou v kokilách na vzduchu.

Kokila: je litinová forma kruhového, čtvercového, obdélníkového nebo mnohoúhelníkového průřezu, v níž tekutá ocel ztuhne v žádaný tvar, aby mohla být jako ocelový ingot zpracována válcováním nebo kování. Materiál k výrobě kokil představuje šedá litina s lupínkovým grafitem

(3,3 ÷ 4,0 % C, 0,4 ÷ 0,9 % Mn; 1,2 ÷ 2,2 % Si; max. 0,2 % P; max. 0,05 % S), tvárná litina nebo železo prvního tavení s úpravou.

Kokilové podložky: jsou nedílnou součástí kokily. Umisťují se pod vlastní kokilu. Vyrábějí se ze stejného materiálu jako kokily. Jsou intenzivně namáhány zejména při odlévání kovem v prvních okamžicích od začátku lití. K zamezení rozstříku kovu jsou kokilové podložky tvarovány.

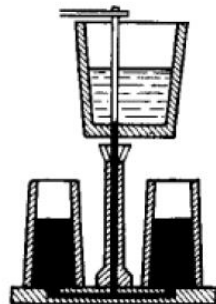
Hlavové nástavce: se používají při odlévání uklidněných ocelí a mají za účel soustředit staženinu v hlavové části ingotu. Plášť kokilového nástavce se zhotovuje většinou z litiny a tento se vyzdívá či pěchuje žárovzdorným materiálem, jehož malá vodivost umožňuje udržení oceli v hlavové části co nejdéle v tekutém stavu. Někdy se používá, zvláště při odlévání ingotů o velké hmotnosti, exotermického obložení.



a) Schéma odlévání oceli horem



b) Provozní odlévání oceli horem



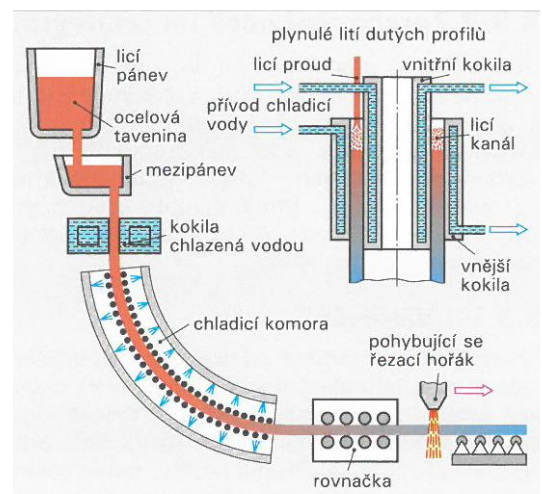
c) Schéma odlévání oceli spodem



d) Provozní odlévání oceli spodem

Obrázek – Ukázka principu odlévání oceli do kokil

Plynulé odlévání oceli: neboli zařízení plynulého odlévání (ZPO), představuje technologii, která nahrazuje stávající postup odlévání oceli ingotovou cestou. Princip plynulého odlévání lze definovat jako technologický postup, při kterém je tekutá ocel (lze říci s finálními parametry) průběžně zpracovávána na předlítek, který může mít různé tvary dle požadavků pro následné tváření. Po nalití oceli do kokily, resp. krystalizátoru, dochází k bezprostřednímu styku tekutého kovu s chladnou stěnou kokily anebo krystalizátoru, což má za následek



Obrázek – Zařízení pro plynulé odlévání

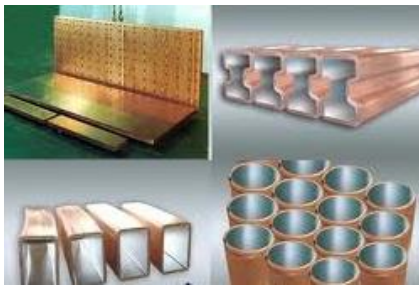
pokles teploty oceli a počátek její krystalizace s následným tuhnutím a vznik charakteristické struktury odlitku nebo předlitku.



a) licí stojan



b) mezipánev



c) různé typy vložek krystalizátoru



d) sekundární zóna chlazení



e) dělení předlitků



f) terciární zóna chlazení (vychlazovací lože)

Obrázek – Ukázka základních částí zařízení plynulého odlévání

V porovnání s konvenčním způsobem odléváním oceli do kokil můžeme výhody plynulého odlévání oceli shrnout do několika bodů:

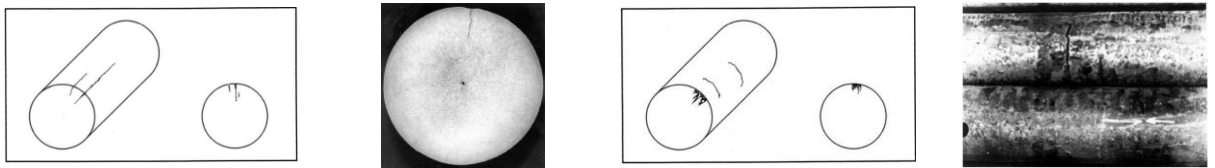
- ✓ vyšší výtěžnost kovu,
- ✓ úspora energie,
- ✓ nižší zpracovací náklady,
- ✓ nižší investiční náklady.

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

- ✓ **vady povrchové (vnější):** vnější šupiny (pleny), trhliny podélné, trhliny příčné a šikmé, ev. klikaté, praskliny, zavaleniny, podpovrchové bubliny, strusková a písková hnízda na povrchu,
- ✓ **vady vnitřní:** staženiny a řediny v těle ingotu, vycezeniny, vločky, vměstky exogenní a endogenní.

V průběhu odlévání oceli na zařízení plynulého odlévání může docházet ke vzniku vad předlitků, které lze rozdělit do následujících skupin:

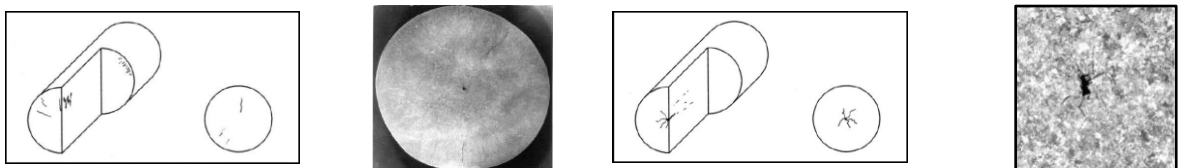
- ✓ **povrchové vady předlitků:** podélné trhliny, příčné trhliny, výronek, prūnik tekuté oceli, žebrování, oscilační vrásky, podpovrchové bubliny, bodliny atd.
- ✓ **vnitřní vady předlitků:** podpovrchové vnitřní trhliny, hvězdicové trhliny, diagonální trhliny, trhliny v polovině průřezu (mezitrhliny), trhliny způsobené tažnými válci, středová porezita, středová segregace.
- ✓ **tvarové vady předlitků:** deformace do tvaru kosodélníku, deformace do tvaru oválu, vyboulení, vydutí, povrchové vady.



a) Podélné trhliny

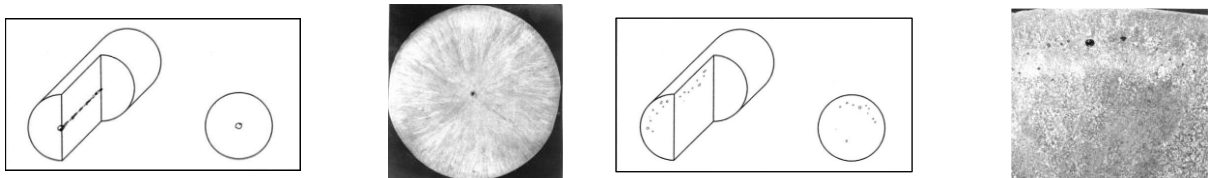
b) Příčné trhliny

Obrázek – Vybrané povrchové vady plynule litých předlitků



a) Radiální podélné trhliny

b) Hvězdicovité trhliny



c) Středová staženina tzv. lunkr

d) Kruhové bubliny (pórovitost, bodliny)

Obrázek – Vybrané vnitřní vady plynule litých předlitků



a) Ovalita průřezu

b) Příčné lokální vborcení

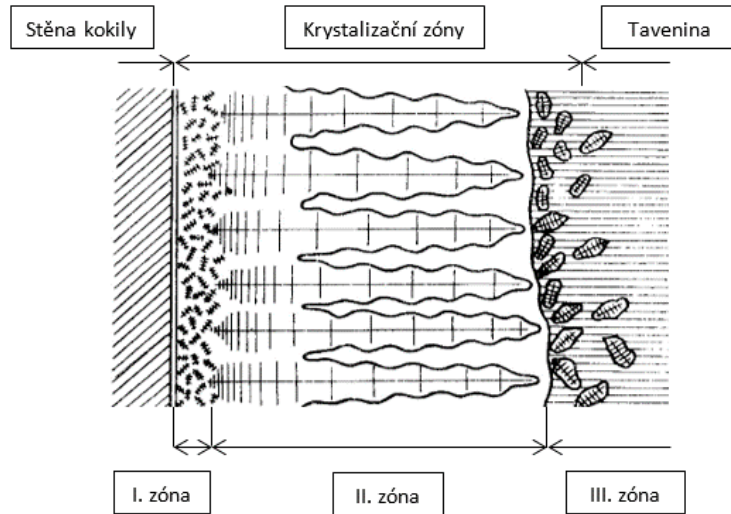
Obrázek – Vybrané tvarové vady plynule litých předlitků

Úlohy k řešení

Laboratorní praktikum – Modelování procesu krystalizace oceli

Úkolem laboratorního praktika je modelování procesu krystalizace pomocí thiosíranu sodného ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) v plochých modelech kokil A a B. Proces krystalizace a tuhnutí reálného ocelového ingotu je značně složitý. V jeho průběhu dochází k rozvoji chemických, tepelných,

kinetických a fyzikálněchemických procesů, které výrazným způsobem ovlivňují nejen růst a tvar krystalů, ale také jejich rozměry a orientaci.



Obrázek – Ukázka schématu struktury krystalizačních zón ocelového ingotu

Struktura ocelových ingotů je charakterizována třemi krystalizačními zónami. První zóna: představuje zónu drobných rovnoosých krystalů, která se rozkládá v povrchových vrstvách ingotu, tzv. licí kůra. Na první zónu navazují protažené krystaly ve směru odvodu, tzv. kolumnární krystaly. Třetí zóna je umístěna ve střední části ingotu a tvoří ji oblast hrubých různě orientovaných krystalů. Charakteristika jednotlivých zón závisí na chemickém složení a fyzikálních vlastnostech oceli, dále hmotnosti ingotu, teplotě kovu při odlévání a celé řadě dalších faktorů.

Významný údaj pro provozní praxi představuje hodnota doby tuhnutí ingotu. Tuto dobu neboli čas krystalizace a tuhnutí ingotu je možno určit dle následující rovnice, která platí až do vzdálenosti $0,75R$ (od povrchu kokily):

$$\xi = k \cdot \sqrt{\tau}$$

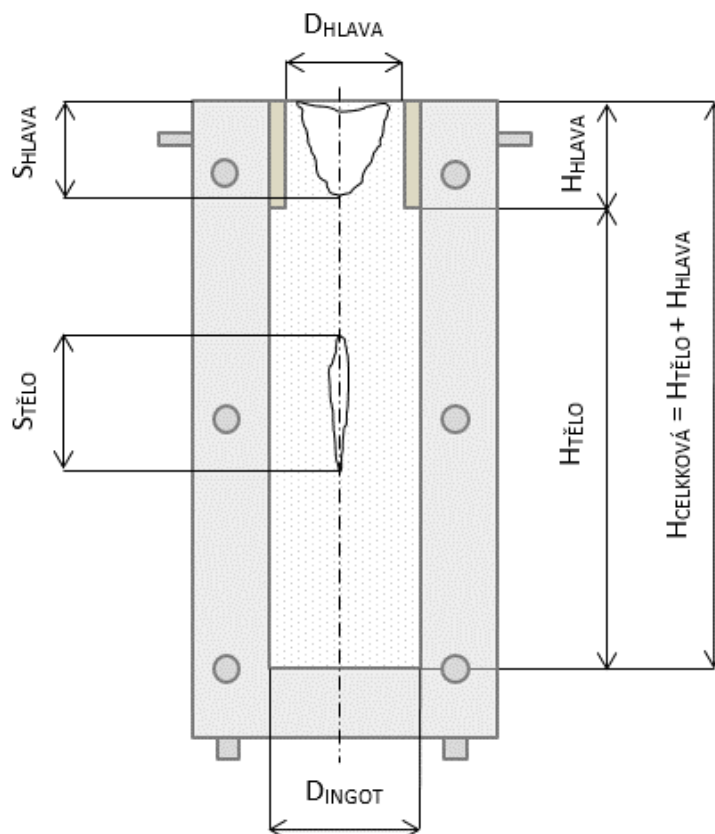
kde: ξ je tloušťka utuhlé oceli (cm),
 k – konstanta tuhnutí ($\text{cm} \cdot \text{min}^{-1/2}$),
 τ – doba tuhnutí oceli (min).

Konstanta tuhnutí oceli se mění v rozmezí $2,0$ až $3,5 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1/2}$. V případě uhlíkových ocelí dosahuje konstanta tuhnutí oceli hodnoty až $3,5 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1/2}$. U legovaných ocelí charakteristických sníženou tepelnou vodivostí a velkým rozdílem teplot na začátku a konci krystalizace se konstanta tuhnutí oceli pohybuje v rozmezí $2,0$ až $2,5 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1/2}$.

Pro studium krystalizačních dějů v plochých modelech kokil byl jako modelové médium krystalizující taveniny kovu vybrán thiosíran sodný ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Tato chemická sloučenina se nejprve naváží dle jednotlivých objemů modelů kokil v množství, které bude stanoveno výpočtem rozměrů modelů kokil. Navážené množství se roztaví v kádince PYREX o objemu 2000, 3000 a 4000 ml pomocí topné ploténky externí sondou a digitálním teplotním regulátorem. Čistý thiosíran sodný se taví při $t = 56 \text{ }^\circ\text{C}$ ve vlastní krystalické vodě, avšak již při malém znečištění se

teplota tavení pohybuje v oblasti $t = 48$ až 52 °C. Pro modelování krystalizačních dějů se thiosíran sodný roztaví a následně vytemperuje na teplotu $t = 55$ °C.

V průběhu přípravy taveniny modelového média (thiosíranu sodného) se připraví jednotlivé ploché modely kokil. Modely kokil představují svařené ocelové profily (boční stěny a dno) s možností cirkulace vody za účelem usměrněného ochlazování modelového média taveniny (thiosíranu sodného). Čelní a zadní stěny modelů jsou vyrobeny z plexiskla pro vizuální hodnocení krystalizace a tuhnutí v ingotu. Ke zlepšení pozorování probíhajících krystalizačních dějů lze použít halogenové svítidlo umístěné v zadní části modelu kokily.



Obrázek – Ukázkové schéma modelu kokily typ A ($H/D = 4$)

Ploché modely A a B se rozměrově odlišují a představují kokily o odlišné štíhlosti v rozsazích $H_{CELKOVÁ} / D_{INGOT} = 4$ a 3 .

Tabulka – Rozměry a označení kokil typu A a B

Rozměr	Označení	Jednotky	Modely kokil	
			A	B
Výška ingotu	$H_{CELKOVÁ}$	mm	500	500
Výška těla	$H_{TĚLO}$	mm	400	400
Výška hlavy	H_{HLAVA}	mm	100	100
Průměr ingotu	D_{INGOT}	mm	125	166
Průměr hlavy	D_{HLAVA}	mm	105	136
Štíhlost ingotu	$H_{CELKOVÁ} / D_{INGOT}$	---	4	3

Roztavený thiosíran sodný se před odléváním do modelu kokily přefiltruje pomocí jemného sítky, kontrolně se změří jeho teplota pomocí digitálního teploměru. Spustí se cirkulace vody do modelu kokily. Následně se naleje vytemperovaný thiosíran sodný pomocí vycentrované nálevky upevněné na laboratorním stojanu do modelu kokily. Po naplnění celého modelu se ve směru vertikální osy ingotu vloží do objemu kokily digitální teploměr pro měření teploty krystalizujícího thiosíranu sodného.

Současně s tímto měřením bude prováděna fotodokumentace pomocí digitálního fotoaparátu, přičemž naměřené hodnoty (tloušťky ztuhlých vrstev) se zaznamenají.

Tabulka – Naměřené výsledky jednotlivých tloušťek utuhlých vrstev a zaznamenaná teplota v ose ingotu

Model kokily typu ...			
Čas experimentu (s)	Tloušťka utuhlé fáze (mm)		
	Dno	Střed	Hlava
300	<i>doplnit</i>	<i>doplnit</i>	<i>doplnit</i>
600			
900			
1200			
1500			
1800			
2100			
2400			
2700			
...			

Po úplném utužení thiosíranu sodného se provede fotografování jednotlivých zón krystalizace (od stěny kokily) s rozložením staženiny (při fotografování utuhlého modelu ingotu je vhodné použít měřidlo). Dále se provede měření a zaznamenání staženiny spolu s jejím vyfotografováním (určeno pro laboratorní protokol).

Tabulka – Naměřené výsledky rozměrů staženiny v ingotu modelu kokil typu A a B

Rozměr	Označení	Jednotky	Modely kokil	
			A	B
Délka staženiny celková	S _{CELKOVÁ}	mm	<i>doplnit</i>	<i>doplnit</i>
Délka staženiny tělo	S _{TĚLO}	mm		
Délka staženiny hlava	S _{HLAVA}	mm		

Úkolem laboratorního praktika je modelování procesu krystalizace pomocí thiosíranu sodného (Na₂S₂O₃·5H₂O) v plochých modelech kokil A a B. Jednotlivé úkoly cvičení lze shrnout do následujících bodů:

- ✓ popište průběh krystalizace a tuhnutí ingotů jednotlivých modelů kokil A a B. Uvedený proces krystalizace doplňte fotodokumentací ve vybraných časových intervalech (cca 9 snímků),
- ✓ určete hodnotu konstanty tuhnutí modelového média (thiosíranu sodného) pro tloušťku utuhlé vrstvy $\xi = R = D/2$ dle rovnice:

$$k = \xi / \sqrt{\tau} \text{ (cm} \cdot \text{min}^{-1/2} \text{)} \quad \text{nebo} \quad k = R / \sqrt{\tau} \text{ (cm} \cdot \text{min}^{-1/2} \text{)}$$

- ✓ následně tuto hodnotu porovnejte s konstantou tuhnutí oceli (viz teoretická část),
- ✓ stanovte průměrnou rychlost krystalizace ingotů pro jednotlivé modely kokil A a B pro tloušťku utuhlé vrstvy $\xi = R = D/2$ dle vztahu:

$$v = R/\tau \text{ (cm} \cdot \text{min}^{-1} \text{)} \quad \text{nebo} \quad v = D/2/\tau \text{ (cm} \cdot \text{min}^{-1} \text{)}$$

- ✓ a to pro tři úrovně (dno, střed a hlava ingotu).
- ✓ dosažené výsledky následně graficky zpracujte jako funkci:

$$\xi = f(\tau)$$

- ✓ a to opět pro tři úrovně (dno, střed a hlava ingotu) uvedené v jednom grafu,
- ✓ proveďte měření struktury ingotů jednotlivých modelů kokil A a B a stanovte poměr délky staženiny k celkové výšce ingotu dle vztahu:

$$S_{\text{CELKOVÁ}} / (H_{\text{TĚLO}} + H_{\text{HLAVA}}) \cdot 100 \text{ (}\% \text{)}$$

- ✓ na základě fotografií a vizuálního hodnocení vyhodnoťte staženinu celkovou ($S_{\text{CELKOVÁ}}$) a její uložení.
- ✓ vypracování laboratorního protokolu „Modelování procesu krystalizace“.

5.5 Kontrolní otázky

1. Definujte odlévání oceli do kokil na ingoty, a to při odlévání horem a spodem.
2. Charakterizujte základní části lící soupravy.
3. Popište zařízení plynulého odlévání a uveďte jeho jednotlivé části.
4. Vyjmenujte a popište krystalizační zóny v oceli.
5. Popište strukturu oceli a uveďte možnosti jejího ovlivnění.
6. Definujte rozdělení vad vznikajících při odlévání oceli do kokil.
7. Vyjmenujte vnitřní a povrchové vady ingotů.
8. Definujte rozdělení vad vznikajících při plynulém odlévání oceli.
9. Vyjmenujte vnitřní a povrchové vady plynule odlévaných předlitků.
10. Vyjmenujte tvarové vady plynule odlévaných předlitků.

5.6 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- MICHALEK, Karel; SOCHA, Ladislav; ADOLF, Zdeněk, BAŽAN, Jiří. *Rafinace a odlévání oceli: studijní opora*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3581-5. **str. 33-88**

- FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-867-0609-5. **str. 157**
- NĚMEC, Milan; BEDNÁŘ, Bohumír; BRYKSÍ STUNOVÁ, Barbora. *Teorie slévání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06026-1. **str. 49-78**
- BAŽAN, Jiří. *Lití a krystalizace oceli: studijní opora*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-3581-5. **str. 1-157**
- ŠMÍD, Jaromír. *Katalog vad plynule litých předlitků*. Šmíd – TaM. **str. 4-107**
- ŠENBERGER, Jaroslav. 2008. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1.vyd. Brno: VUTIUM, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9. **str. 235-250**

6 Kapitola: Základní rozdělení slévárenských litin

6.1 Klíčová slova

charakteristika litiny, základní rozdělení litin, chemické složení litin, vliv prvků na mikrostrukturu, suroviny pro tavení litin

6.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základní charakteristikou litin, jejich chemickým složením a základními vsázkovými surovinami pro tavení litin.

6.3 Úvod do kapitoly



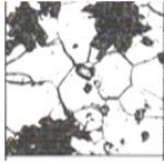
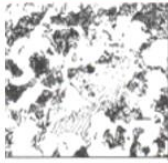
Litiny jsou slitiny železa, uhlíku, křemíku, manganu, síry, fosforu s dalšími prvky, ve kterých je obsah uhlíku vyšší než 2,14 hm. %. Uhlík je v litinách vyloučen ve formě grafitu (grafitické litiny) nebo cementitu (Fe_3C). Většina odlitků se odlévá z tzv. grafitických litin, které mají dobré slévárenské vlastnosti. Litiny, které mají ve struktuře vyloučen cementit, se používají tam, kde odlitek má mít vysokou tvrdost nebo odolnost proti otěru.

6.4 Výklad

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.

Tabulka – Ukázka typů litin, struktur a základních mechanických vlastností

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

Základní chemické složení litin: hlavními prvky v litině jsou mimo železa uhlík, křemík, mangan, fosfor, síra a prvky z očkujících přísad. 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.*

Suroviny pro tavení litin představuje: *surové železo, ocelový odpad, vratný materiál, legury, nahličovadla, očkovačla, modifikátory a struskotvorné přísady.*

- ✓ **Surová železa:** *představují základní materiál kovové vsázky pro všechny typy litin,*
- ✓ **Ocelový odpad:** *používá se na snížení obsahu 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.*

Úlohy k řešení

Laboratorní praktikum – Světelná mikroskopie

Optickou (světelnou) mikroskopií: rozumíme pozorování metalografických vzorků pomocí optických mikroskopů, a to především klasických světelných mikroskopů nebo speciálních metalografických mikroskopů. Metalografický vzorek je vzorek připravený ke studiu struktury jeho materiálu, která není obvykle bez předchozí úpravy sledovaného vzorku pozorovatelná. K jejímu zviditelnění je nutné provést sérii kroků. Příprava metalografických vzorků má svá pravidla, která musí být dodržena, aby nedošlo ke změně struktury vzorku během jeho přípravy.

Metalografický vzorek: též vzorek pro optickou metalografii, je vzorek připravený za účelem studia struktury materiálu. Metalografický vzorek, jehož jedna plocha je připravena k metalografické analýze, se nazývá výbrus.

Odběr vzorků: vzorky z měkkých a snadno obrobitelných materiálů jsou obvykle odebrány za použití řezání či odfrézování. Tvrdé a těžko obrobitelné materiály se dělí odlamováním nebo rozbrušováním pod chladicí kapalinou nebo pomocí elektrojiskrových řezaček. Při odběru vzorku nesmí dojít k mechanickému ani tepelnému ovlivnění jeho struktury.

Preparace vzorků: v případě, že je vzorek tak malých rozměrů, že by nebylo pohodlné, a především bezpečné jej držet při ruční přípravě, přistupuje se k zalévání vzorku za studena nebo jeho zalisování za tepla. Tato procedura je rovněž nezbytná při přípravě vzorků, u nichž je požadavek na dodržení ostroty hran nebo zachování povrchových vrstev. Důvodem preparace vzorků pro poloautomatickou přípravu je zajištění jednotného tvaru vzorků, který je určen tvarem držáku přístroje.

Broušení vzorků: má za cíl minimalizovat povrchové nerovnosti vzorku. Lze jej provádět ručně nebo mechanizovaně. Při ručním broušení pomocí brusného papíru pohybuje vzorkem stále jedním směrem. Brousíme tak dlouho, dokud zcela nezmezí drážky reprezentující předchozí směr broušení. Poté opět opláchneme, přejdeme na jemnější papír. K broušení se obvykle používají SiC nebo Al₂O₃ brusné papíry s dostupnou zrnitostí 60 až 2400 dle normy FEPA.

Leštění vzorků: je dalším krokem při přípravě kvalitního výbrusu. Na rozdíl od broušení materiál z povrchu vzorku neubývá, ale dochází pouze k deformaci vrcholů povrchové drsnosti, příp. jen minimálním úbytkům. Brusivo může mít podobu prášku, pasty nebo suspenze, která již obsahuje další pomocné látky jako je smáčidlo či chladicí médium. K leštění se obvykle používají Al₂O₃, Cr₂O₃, MgO nebo C (diamant).

Leptání vzorků: slouží k vyvolání jejich mikrostruktury. V závislosti na materiálu výbrusu a konkrétních požadavcích pro následné pozorování je možné aplikovat různé metody leptání vzorků. Leptání je nejcitlivější operací při přípravě metalografických vzorků. Každý materiál vyžaduje speciální techniku leptání včetně volby leptadla.

Hodnocení metalografických vzorků: metalografické vzorky lze hodnotit makroskopicky nebo mikroskopicky v neleptaném nebo naleptaném stavu. Při makroskopickém hodnocení jsou vzorky pozorovány ve skutečné velikosti nebo při malém zvětšení. K mikroskopickému pozorování se obvykle používají světelné mikroskopy (zvětšení do 1000x), nově také laserové konfokální mikroskopy (zvětšení do 10000x).

Struktura litin: je vždy tvořena primární fází a eutektikem, při tuhnutí podle stabilního diagramu Fe-C vzniká grafitické eutektikum, které tvoří austenit a grafit. Tyto litiny se nazývají litiny grafitické a tvoří drtivou většinu všech odlévaných litin a lze je rozdělit na:

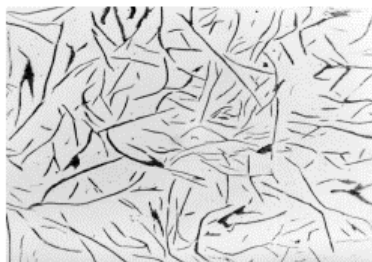
- ✓ *litinu s lupínkovým grafitem (LLG),*
- ✓ *litinu s kuličkovým grafitem (LKG),*
- ✓ *vermikulární litinu (LVG).*

Základním kritériem pro určení druhu litin je tvar vyloučeného grafitu. Názvy jednotlivých druhů litin, značky a číselné označování uvedené ve skriptu vychází z evropské normy ČSN EN 1560:

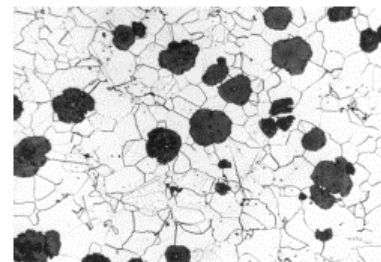
- ✓ *litina s lupínkovým grafitem – LLG (častěji nazývaná jako šedá litina): obsahuje grafit ve tvaru prostorových útvarů, podobných zelné hlávce, které na metalografickém výbrusu mají tvar lupínků. Délka lupínků je podstatně větší než jejich tloušťka, konec lupínků je ostrý. Litina s lupínkovým grafitem je nejobvyklejším typem vyráběných litin,*

- ✓ **litina s kuličkovým grafitem – LKG** (častěji nazývaná jako litina tvárná): obsahuje grafit ve formě kuliček. Z hlediska vlastností litiny je ideálním tvarem dokonalá kulička, často se však vyskytuje grafit "nedokonale zrnitý",
- ✓ **litina vermikulární – LVG** (nebo také litina s červíkovitým grafitem): vermikulární grafit má podobný tvar jako grafit lupínkový. Ve srovnání s LLG jsou však útvary grafitu kratší, tlustší a jejich konec bývá zaoblený. Vermikulární litina obvykle obsahuje též určité množství lupínkového nebo kuličkového grafitu,
- ✓ **temperovaná litina – TL** (dříve též litina s vločkovým grafitem): obsahuje grafit ve tvaru vloček. Grafitové vločky vznikají rozpadem ledeburitického cementitu.

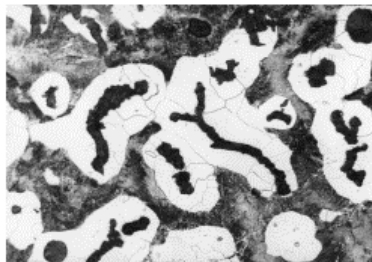
Lupínkový grafit: vzniká obvykle bez jakýchkoliv metalurgických zásahů. Pro získání litiny s kuličkovým a vermikulárním grafitem je nutno provádět modifikaci.



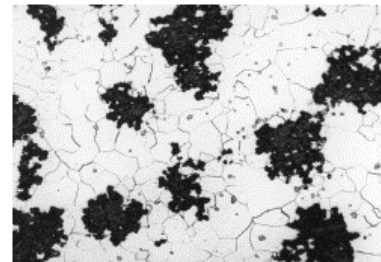
a) Grafit lupínkový – LLG



b) Grafit kuličkový – LKG



c) Grafit vermikulární – LVG



d) Grafit vločkový – TL

Obrázek – Tvar grafitu v litinách

Strukturní složky litin: struktura litin je tvořena grafitem a základní kovovou hmotou. Grafit je krystalická forma uhlíku. Druhy grafitu:

- ✓ **eutektický (lupínkový, kuličkový, červíkovitý):** vzniká při tuhnutí eutektika. S austenitem tvoří tzv. grafitické eutektikum,
- ✓ **primární:** vzniká jako primární fáze při tuhnutí nadeutektických grafitických litin. Má tvar hrubých lupínků a při dostatečně pomalém tuhnutí odlitku nebo při odstátí litiny v pánvi vyplouvá na hladinu kovu a tvoří grafitický šum. U silnostěnných odlitků může zůstat uzavřen především v horních partiích stěn. Primární grafit ve struktuře litiny má nepříznivý vliv na její mechanické vlastnosti,
- ✓ **grafit, vznikající rozpadem metastabilních složek:** při tepelném zpracování (temperování, žíhání na odstranění karbidů).

Tvar grafitu: se hodnotí podle normy ČSN EN ISO 945, která stejně jako dříve ČSN 420461 zařazuje grafit do 6-ti tříd: I – lupínkový grafit, II – pavoučkový grafit, III – červíkovitý grafit, IV

– vločkový grafit, V – nedokonale zrnitý grafit, VI – pravidelně zrnitý. Z nich II a V jsou tvary nežádoucí.



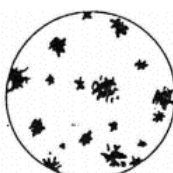
a) Typ I – lupínkový grafit



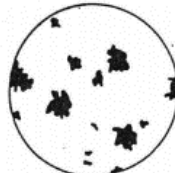
b) Typ II – pavoučkový grafit



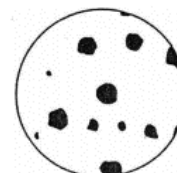
c) Typ III – červíkovitý grafit



d) Typ IV – vločkový grafit



e) Typ V – nedokonale zrnitý grafit



f) Typ VI – pravidelně zrnitý

Obrázek – Tvar grafitu dle normy ČSN EN ISO 945

Rozložení grafitu: grafit může být ve struktuře rozložen ve formě pravidelných, stejnoměrně velkých útvarů, nebo nerovnoměrně, kdy tvoří útvary nestejně velké nebo místně nahromaděné. Rozložení grafitu podle normy ČSN 420461 se hodnotí podle etalonové řady do 5-ti tříd a značí se: A – rovnoměrné rozložení, B – růžicovitě, C – smíšené, D – mezidendritické neusměrněné, E – mezidendritické usměrněné.



a) Typ A – rovnoměrné rozložení



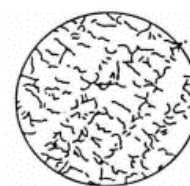
b) Typ B – růžicovitě



c) Typ C – smíšené



d) Typ D – mezidendritické neusměrněné



e) Typ E – mezidendritické usměrněné

Obrázek – Rozložení grafitu dle normy ČSN 420461

Úkolem laboratorního praktika je prohloubení teoretických a získání praktických zkušeností z oblasti přípravy vzorků pro světelnou mikroskopii a dále provedení analýz struktur různých typů litin pro určení jejich jakosti. Jednotlivé úkoly lze shrnout do následujících bodů:

- ✓ *studium a vyhodnocení jednotlivých jakostí litin pomocí světelné mikroskopie, a to na sadě vzorků označených písmeny A, B, C ... atd.,*
- ✓ *provedení analýzy pomocí světelné mikroskopie sady vzorků litin A, B, C ... atd. v laboratorních podmínkách se zaměřením na studium struktury,*
- ✓ *vyhodnocení struktur jednotlivých vzorků se zaměřením na druh neboli jakosti litiny a současně*

zajištění fotodokumentace jednotlivých vzorků,

- ✓ *na základě analýzy struktur a fotografií proveďte přiřazení jednotlivých vzorků k daným typům litin,*
- ✓ *vypracování laboratorního protokolu „Světelná mikroskopie“.*

6.5 Zajímavosti z dané problematiky

www.casopis-slevarenstvi.cz/cs/

6.6 Kontrolní otázky

1. Charakterizujte pojem litina.
2. Definujte základní rozdělení litin.
3. Uveďte klasifikaci prvků dle jejich vlivu na mikrostrukturu.
4. Charakterizujte vsázkový materiál představující surové železo.
5. Definujte vsázkový materiál ocelový odpad.
6. Uveďte, co je to vratný materiál a k čemu slouží při tavení litin.
7. Charakterizujte pojem zlomková litina.
8. Popište, k čemu slouží legury při výrobě litin.
9. Vyjmenujte vsázkové materiály při tavení litin.

6.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1. **str. 1-7, 20-28**
- ČIŽMÁROVÁ, Elena; SOBOTOVÁ, Jana. *Nauka o materiálu I. a II.: cvičení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2. **str. 30-33, 46-51**
- NĚMEC, Milan; BEDNÁŘ, Bohumír; BRYKSÍ STUNOVÁ, Barbora. *Teorie slévání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04395-0. **str. 123-187**
- JELÍNEK, Petr. *Slévárství*. 5. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1282-3. **str. 206-249**
- BOLIBRUCHOVÁ, Dana. *Zlievarenska metalurgia a technológia: návody na cvičenia*. V Žiline: Žilinská univerzita, 2004. ISBN 80-807-0263-2. **str. 21-45**
- KRATOCHVÍL, Bohumil; ŠVORČÍK, Václav; VOJTĚCH, Dalibor. *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-708-0568-4. **str. 156-157**
- MOHYLA, Miroslav. *Strojírenské materiály I*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0270-8. **str. 95-106**
- ŠENBERGER, Jaroslav. 2008. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1.vyd. Brno: VUTIUM, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9. **str. 251-272**

7 Kapitola: Slévárenské zařízení a postupy tavení litiny

7.1 Klíčová slova

kuplová pec, elektrická indukční pec, elektrická oblouková pec, postup tavení

7.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základními typy agregátů pro tavení litin představující kuplové pece, elektrické indukční pece a elektrické obloukové pece. Popsat základní funkce jednotlivých agregátů a charakterizovat technologie vedení taveb.

7.3 Úvod do kapitoly

Pro výrobu, tj. tavení litin se používají různé tavicí agregáty. Nejstarší a stále rozšířené jsou kuplové pece (KP), dále pak elektrické indukční pece (EIP), elektrické obloukové pece (EOP).

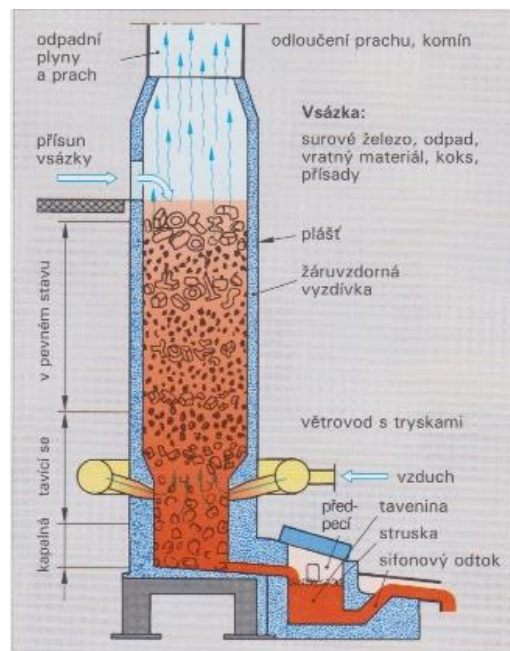
7.4 Výklad

Kuplovna, označovaná také jako šachtová pec, je nejčastěji používaným zařízením pro tavení slitin železa na odlitky, především litin s lupínkovým grafitem, přičemž funguje jako protiproudý výměník tepla. Zdrojem tepla v kuplovnách je nejčastěji koks, použití jiných druhů paliv, např. plyn nebo tekutá paliva, jsou spíše výjimečná.

Kuplovna má šachtovitý, žáruvzdorně vyzděný pecní prostor. Spalovací vzduch, „vítr“, je vháněn tryskami a spaluje koks. Stoupající spaliny zahřívají vsázku, která se seshora sesouvá. Nedaleko trysek se vsázka taví a odkapává do níže. Kapalná litina vytéká z kuplovny do předpeci, které slouží jako sběrná jímka. Sifonovým odtokem se litina odděluje od lehčí strusky.

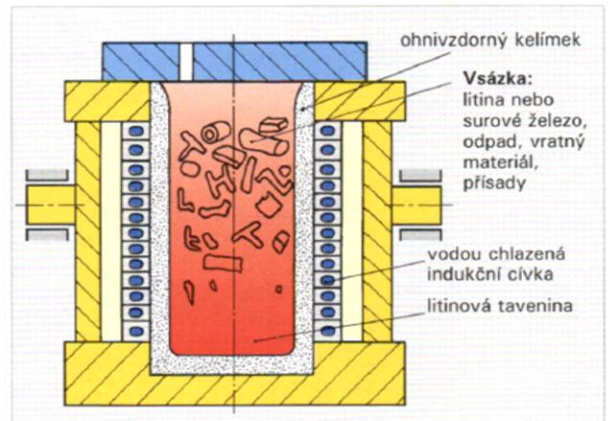
Horkovzdušná kuplovna pracuje s předehřátým spalovacím vzduchem. Lze tak dosáhnout vyšších teplot pece a přesnějšího složení taveniny.

Základní metalurgické pochody v kuplové peci lze rozdělit na: *nauhličení litiny, propal Si, Mn, Fe, změna obsahu P, změna obsahu S a změna obsahu ostatních prvků.*



Obrázek – Ukázka průřezu kuplovou pecí

Elektrické indukční tavicí a udržovací pece (EIP) mají před tavbou v kupolových pecích řadu předností: velmi přesné a pružně říditelné chemické složení, téměř neomezeně říditelná provozní teplota (tavení, přehřev, udržování), operativní změna chemického složení litiny, možnost použití méně hodnotné vsázky (až 100 % odpadu, kovové třísky) bez použití nových surových želez, dokonalá homogenizace nataveného kovu vířivými proudy, nižší propal prvků, lepší ekologie tavení, celkově dokonalejší řízení celého procesu tavby.



Obrázek – Ukázka průřezu elektrickou indukční kelímkovou pecí

Při procesu tavení je elektrická energie přiváděna do vsázky prostřednictvím elektromagnetické indukce. Střídavý proud o vhodné frekvenci přiváděný do primární cívky – induktoru iniciuje v jejím okolí střídavé elektromagnetické pole, které vyvolává ve vsázce uložené v působnosti tohoto pole vznik vířivých proudů, protékajících vsázkou a způsobující její ohřev.

K tavení litin se mohou použít i elektrické obloukové pece (EOP), jako k tavení oceli. Lze v nich získat taveniny s přesným složením (podílem legujících prvků) a s velkou čistotou.

Duplexní pochod představuje tavení v kuplovně, a to velkého množství litiny, z níž se potom menší množství plní do indukčních pecí, tam se leguje a při přesné lící teplotě se může odlévat.

Úlohy k řešení

Tavení litiny v elektrické indukční peci

Při návrhu a sestavování vsázky pro indukční pec je třeba brát ohled na optimalizaci procesu zejména prostřednictvím zajištění:

- ✓ *minimálních nákladů,*
- ✓ *požadované kvality litiny,*
- ✓ *maximálního výkonu tavení při minimální spotřebě elektrické energie.*

Při výrobě legované litiny je nejdůležitější znát vztah mezi uhlíkem v kovu a legujícími prvky, kvůli zajištění požadovaného chemického složení a mechanických vlastností litiny. V průběhu výroby kovů totiž dochází k chemickým reakcím, které mohou být příčinou poklesu obsahu některého z prvků či vzniku nežádoucích fází, které zásadně mění vlastnosti finálního výrobku.

Nauhličení litiny: se řídí okamžitým a požadovaným obsahem uhlíku v kovu. Proto je v prvním kroku pozornost zaměřena na nauhličení kovu, resp. výpočet množství uhlíku, které je potřeba do taveniny dodat prostřednictvím nauhličovadla (materiálu s vysokým obsahem C). Nauhličovadla by měla obsahovat co nejvyšší procento uhlíku a zároveň co nejnížší procentuální podíl nežádoucích prvků (S) a popela. Nízký by měl být také propal uhlíku, tzn. množství, které v průběhu tavby oxiduje a přechází do spalin. Oxidací se zvyšuje ztráta prvku, který se poté

do taveniny musí opět dodat z jiného zdroje. Různé druhy využívaných nauhličovadel jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka – Druhy a vlastnosti nauhličovadel

Nauhličovadlo	C (%)	S (%)	Popel (%)	Propal (%)	Rychlost nauhličování (%.min ⁻¹)
Grafitové elektrody	99,7	0,19	0,2	15,3	0,103
Uhlíkové elektrody	98,6	0,19	1,3	21,1	0,084
Antracit	84,9	1,68	3,3	29,5	0,072
Smolný koks	98	0,4	0,4	18,6	0,072
Umělý grafit	99	0,06	0,5	12	0,082
Přírodní grafit	85	0,25	13,0	30	0,08
Dřevěné uhlí	82,9	0,19	3,7	22	0,073

Cílem výpočtu je v případě nauhličení **stanovení hmotnosti nauhličovadla**, kterým se do taveniny dodá potřebné množství uhlíku. Výpočet se provádí podle následujících vztahů:

$$\Delta C = C_L - C_{kv}$$

kde ΔC je uhlík, který je potřeba dodat (%),

C_L - požadovaný obsah uhlíku v litině (%),

C_{kv} - průměrný obsah uhlíku v kovové vsázce (%).

$$C_{kv} = \sum 0,01 \cdot C_i X_i$$

kde C_i je obsah uhlíku v i -té složce vsázky

X_i - podíl i -té složky vsázky

$$m_n = \frac{\Delta C}{C_n - p_c} \cdot m_k$$

kde m_n je hmotnost nauhličovadla (kg),

C_n - obsah uhlíku v nauhličovadle (%),

p_c - propal uhlíku při nauhličování (%),

m_k - hmotnost nauhličovaného tekutého kovu (kg).

Legování litiny: představuje úpravu obsahu vybraných prvků přítomných v litině na požadovanou mez. K legování se využívají různé druhy feroslitin, což jsou slitiny železa s dalšími prvky (FeSi, FeMn, FeCr a další). Pro dosažení požadovaného obsahu legujícího prvku je třeba vypočítat přesné množství přidávané feroslitiny. Nejobtížnější je přitom stanovení propalu prvku, který je ovlivněn obsahem kyslíku v tavenině a také způsobem vedení tavby. Tavba by se proto měla vést tak, aby byl zajištěn minimální propal legur. Úkolem výpočtu legování je tedy stanovení množství prvku, které je potřeba do taveniny dodat a množství feroslitiny, ve které bude požadované množství prvku obsaženo.

$$\Delta X_i = \frac{X_L - X_{vs}}{100 \pm p_i} \cdot 100$$

kde ΔX_i je *přídavek legujícího prvku (%)*,

X_L - *požadovaný obsah legujícího prvku v litině (%)*,

X_{vs} - *obsah legujícího prvku ve vsázce (%)*,

p_i - *propal legujícího prvku (%)*.

$$m_i = \frac{\Delta X_i}{K_{Fe_i}} \cdot m_k$$

kde m_i je *hmotnost legury – feroslitiny (%)*,

K_{Fe_i} - *obsah legujícího prvku v přísadě (%)*,

m_k - *hmotnost tekutého kovu (kg)*.

$$m_l = m_k - \sum m_i$$

kde m_l je *hmotnost tavby (kg)*,

m_i - *hmotnost přidané feroslitiny (kg)*.

Proveďte **výpočet vsázky** pro tavbu legované litiny v indukční peci. Hmotnost tekutého kovu je 6000 kg. Vsázka je tvořena ocelovým odpadem a jako nahličovadlo uvažujte smolný koks. Legujte Si a Mn prostřednictvím feroslitin FeSi 44 a FeMn 62. Chemické složení jednotlivých složek vsázky je uvedeno v tabulce.

Tabulka – Požadované chemické složení litiny a chemické složení vsázky

Vsázka	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Propal (%)
Litina	3	1,3	0,7	max 0,25	max 0,015	---
Ocelový odpad	0,15	0,2	0,4	0,02	0,012	---
Nahličovadlo	98	---	---	---	---	18,6
FeSi 44	---	44	---	---	---	3
FeMn 62	---	---	62	---	---	10

7.5 Kontrolní otázky

1. Vyjmenujte základní typy agregátů pro tavení litin.
2. Popište kuplovou pec.
3. Uveďte metalurgický princip tavení v kuplové peci.
4. Definujte zdroj tepla v kuplovnách.
5. Charakterizujte rozdíly mezi kuplovou pecí a elektrickou indukční pecí.
6. Definujte princip ohřevu v elektrické indukční peci.
7. Charakterizujte základní metalurgické postupy tavení v elektrické indukční peci.
8. Popište tavení litin v elektrické obloukové peci.
9. Definujte výhody a nevýhody jednotlivých agregátů pro tavení litin.

7.6 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1. **str. 29-46**
- CHRÁST, Jaroslav. *Slévárenská zařízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-720-4456-7. **str. 23-58**
- FISCHER, Ulrich. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-867-0609-5. **str. 160-163**
- BOLIBRUCHOVÁ, Dana. *Zlievarenska metalurgia a technológia: návody na cvičenia*. V Žiline: Žilinská univerzita, 2004. ISBN 80-807-0263-2. **str. 9-19**
- MORES, Antonín; NĚMEC, Milan. *Technologická zařízení sléváren*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04490-2. **str. 11-27**
- ŠENBERGER, Jaroslav. 2008. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1.vyd. Brno: VUTIUM, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9. **str. 273-275**

8 Kapitola: Charakteristika metalurgických pochodů výroby a mimopecní zpracování litin

8.1 Klíčová slova

metalurgické pochody při zpracování litin, mimopecní zpracování litin, očkování, modifikace

8.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základními principy mimopecního zpracování roztavených litin, a to se zaměřením na očkování a modifikace.

8.3 Úvod do kapitoly

Litiny na odlitky jako konstrukční materiál si stále udržují standard využitelnosti proto, že poskytují širokou paletu užitných vlastností a také proto, že vyžadují méně nákladnou metalurgii, případně technologii a v mnoha případech poskytují ekonomicky výhodnější řešení. Z celosvětové poptávky po slévárenských materiálech vyplývá důležité postavení následujících dvou slitin železa:

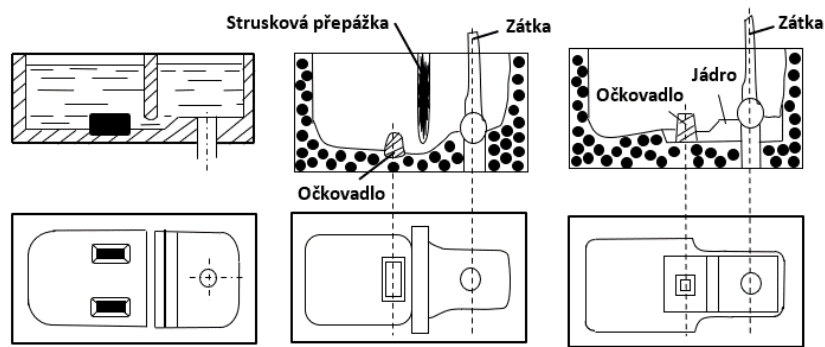
- ✓ *litina s lupínkovým grafitem (LLG) – má vysokou pevnost, houževnatost, tažnost a svými vlastnostmi se blíží oceli,*
- ✓ *litina s kuličkovým grafitem (LKG) – je pro své dobré vlastnosti nejpoužívanějším materiálem pro výrobu odlitků, přičemž vykazuje dobré kluzné vlastnosti, snadnou obrobitelnost a schopnost tlumit vibrace.*

8.4 Výklad

Jednou z možností, jak ovládat přechod litiny z tekuté do pevné fáze, je tzv. mimopecní úprava roztavené litiny. Jeden z hlavních způsobů mimopecního zpracování roztavené litiny je **očkování**, což znamená vytvoření dostatečného množství grafitizačních zárodků. Větší počet zárodků zjemňuje grafit, zabraňuje vyloučení volného cementitu a tím snižuje sklon k zákalce. Podstatou očkování je heterogenní nukleace, která je podporována vnášením očkovacích látek, obvykle na bázi FeSi do roztavené litiny.

V současné době se používá řada různých způsobů přidávání očkovačů do roztavené litiny:

- ✓ *očkování tekutým očkovačem (méně častý způsob),*
- ✓ *očkování granulovaným očkovačem (nejčastější způsob), rozměr zrn se pohybuje v širokém rozmezí od 0,2 mm až po 8-10 mm,*
- ✓ *očkování kompaktními tělisky, vkládanými buď do lící jamky, nebo do reakční komůrky ve vtokové soustavě,*

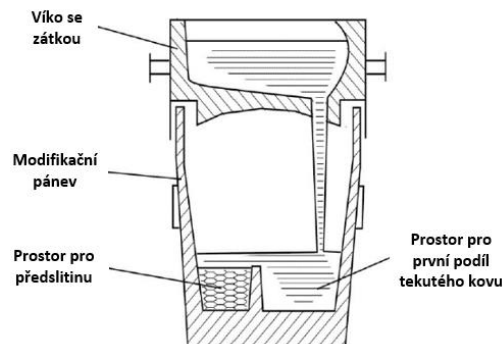


Obrázek – Schéma způsobů očkování v lici jamce

Modifikací ovlivňujeme tvar grafitu při jeho krystalizaci tak, že grafit lupínkový se mění působením modifikátoru na tvar kuličkový. Tím se podstatně mění užité vlastnosti litiny, ale také i současně fyzikální vlastnosti jako tepelná vodivost, koeficient tepelné roztažnosti a technologické vlastnosti jako je korozivzdornost, možnost svařování a obrábění. Důležité je, že těchto vlastností u litiny s kuličkovým grafitem lze docílit v litém stavu nebo následným tepelným zpracováním. Nejčastěji se jako modifikátor používá: *hutnický čistý Mg (99, 5 %) nebo předslitiny Mg (s koncentrací od 5 do 35 %)*.

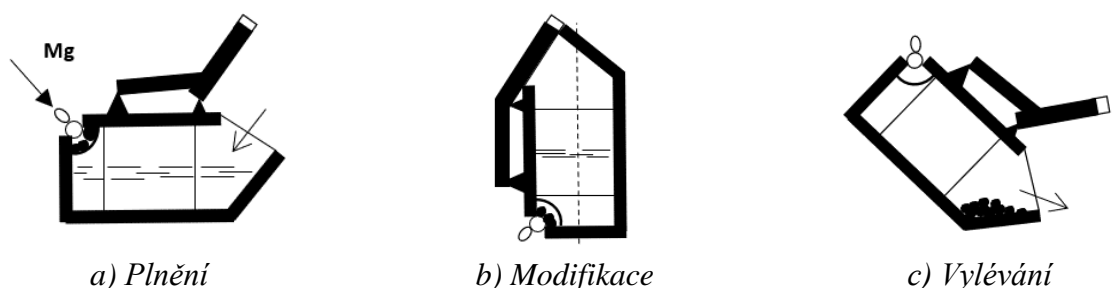
Hlavní představitelé jednotlivých skupin způsobů modifikace tvoří následující metody:

Polévací metody: Princip této metody spočívá v umístění modifikátoru na dno pánve, které je buď upravené komůrkou, nebo přepaženo přepážkou. Před zalitím je nutno zakrýt modifikátor ocelovými třískami nebo plíšky pro opoždění rozpuštění a tím udržení modifikátoru u dna pánve.



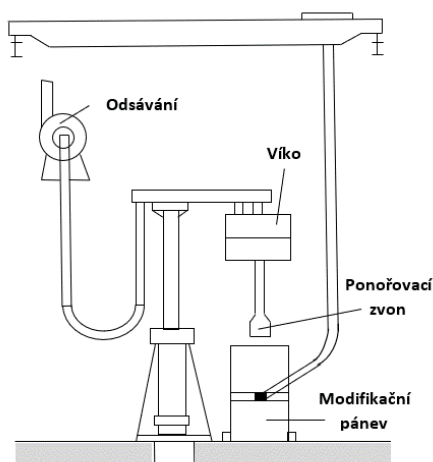
Obrázek – Schéma polévací metody modifikace litiny

Konvertorový způsob: Ve speciálně tvarově upravené pánvi v podobě konvertoru je možné modifikovat čistým Mg. Při vodorovné poloze pánve probíhá plnění tekutým kovem. Modifikátor je umístěn ve speciálně upraveném prostoru, který zabraňuje vyplouvání modifikátoru na hladinu kovu. Modifikace probíhá otočením pánve do svislé polohy.

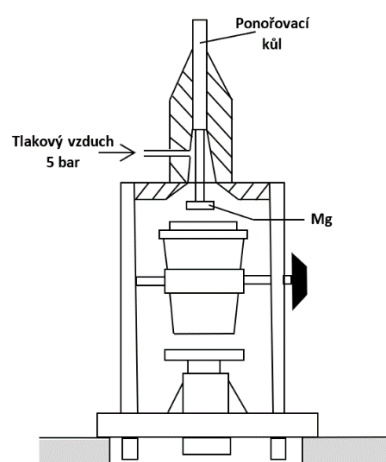


Obrázek – Schéma konvertorového způsobu modifikace litiny

Ponořovací metody – atmosférické: výhodou tohoto způsobu výroby LKG je v podstatě přidávání modifikátoru umístěného v koši (zvonu) do roztavené litiny a ponoření ke dnu modifikační pánve.



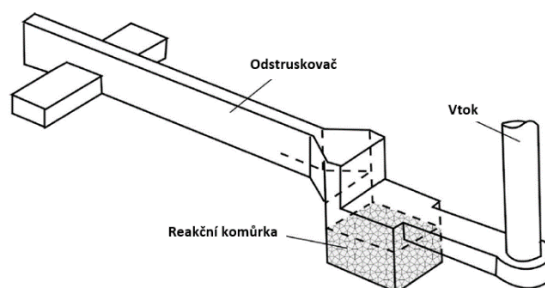
Obrázek – Ponořovací metoda modifikace → atmosférická



Obrázek – Ponořovací metoda modifikace → přetlaková

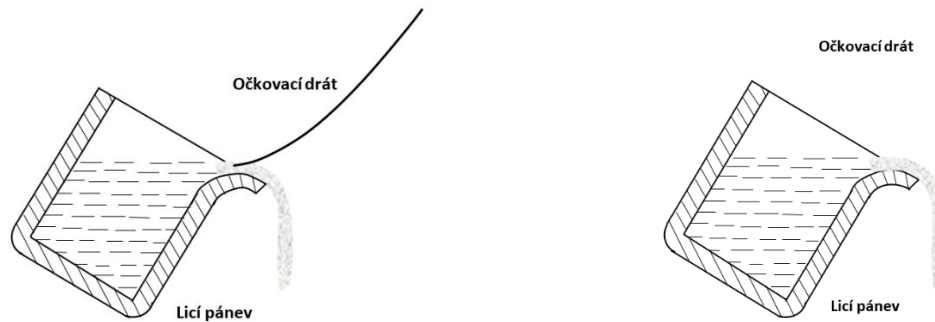
Ponořovací metody – přetlakové: tato metoda umožňuje modifikovat za přetlaku uměle vyvozeného, tedy modifikaci v autoklávu či v autoklávkové pánvi a tím i použití čistého Mg jako modifikátoru.

Kontinuální modifikace: při tomto způsobu výroby LKG probíhá modifikace při odlévání tekutého kovu z tavicího agregátu, a to buď modifikujeme přímo ve vtokové soustavě slévárenské formy (tzn. In Mold způsob) anebo litím speciálně upravenou reakční komorou, ve které je umístěn modifikátor, a odtud do pánve lici (tzn. Flotret způsob).

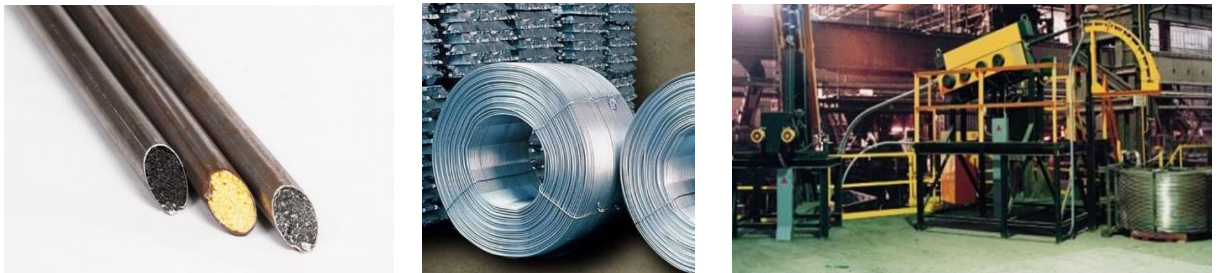


Obrázek – Kontinuální modifikace → Flotret způsob

Metoda plněných profilů: v poslední době nabývá tato metoda značného významu. Je poměrně jednoduchá, spolehlivá. Princip metody spočívá v tom, že do roztavené litiny injektujeme plněný profil určitou rychlostí tak, aby odtavování profilu probíhalo na dně pánve.



Obrázek – Způsoby očkování plněným profilem



Obrázek – Ukázka plněných profilů a provozního zařízení

Z výše uvedeného vyplývá důležitost poznání problematiky mimopecního zpracování litin jako možnosti ovlivnění krystalizace litin a současně ovlivnění užitných vlastností tohoto materiálu. Mimopecní odsíření, očkování, modifikace a legování natavené litiny jsou nedílnou součástí zpracování taveniny, které patří do metalurgie litin.

Úlohy k řešení

Výpočet množství modifikačního činidla

V současné době se používá jako modifikátor hutnický čistý Mg (99,5 %) nebo předslitiny Mg s koncentrací 5–35 % Mg. Na modifikaci se podílí pouze hořčík, který se rozpustí v tavenině. Tento podíl se nazývá zbytkový hořčík Mg_{zb} . Pro docílení požadovaného účinku se dávkování modifikátoru řídí obsahem Mg_{zb} a dalšími parametry jako jsou množství síry ve výchozí slitině a využití hořčíku. Využití hořčíku je možné vypočítat podle následujícího vztahu:

$$\eta_{Mg} = \frac{Mg_{zb}}{Mg_{vs}} \cdot 100$$

kde Mg_{zb} je zbytkový hořčík po modifikaci (%),

Mg_{vs} - množství hořčíku potřebné pro modifikaci (%).

Pro přibližné stanovení potřebného množství modifikovačidla se v závislosti na metodě modifikace využívají vztahy:

✓ Modifikace předslitinou

$$m_{pr} = m_t \cdot \frac{0,76 S_v + Mg_{zb}}{\eta_{Mg} \cdot Mg_{pr}} \cdot 100$$

kde m_{pr} je hmotnost předslitiny (kg),

m_t - hmotnost tavby (kg),

S_v - počáteční obsah síry před modifikací (%),

η_{Mg} - účinnost modifikace (%),

Mg_{pr} - množství hořčíku v předslitině (%).

✓ *Modifikace plněným profilem*

$$m_{pp} = m_t \cdot \frac{0,76 S_v + Mg_{zb}}{\eta_{Mg} \cdot Mg_{pp}} \cdot 100$$

$$l_{pp} = m_{pp} \cdot m_{mod}$$

kde m_{pp} je hmotnost plněného profilu (kg),

Mg_{pp} - množství hořčíku v plněném profilu (%),

m_{mod} - množství modifikačního činidla v plněném profilu ($kg \cdot m^{-1}$),

l_{pp} - potřebná délka plněného profilu (m).

Vypočítejte množství předslitiny a plněného profilu (v kg a m), potřebné pro modifikaci jednotlivých taveb litiny. Chemická složení litiny, plněného profilu a předslitiny jsou uvedena v tabulce. Uvažujte hmotnost tavby 5450 kg a množství modifikačního činidla v plněném profilu $0,438 kg \cdot m^{-1}$.

Tabulka – Chemické složení (%)

Materiál	Fe	C	Mn	Si	S	Mg
Litina	94,578	3,79	0,21	1,4	0,022	---
Plněný profil	---	---	---	---	---	25
Předslitina	---	---	---	---	---	6

Tabulka – Vstupní data a výsledky

Parametr	Výchozí obsah síry před modifikací S_v	Množství hořčíku po modifikaci Mg_{zb}	Potřebné množství hořčíku Mg_{vs}		Účinnost modifikace η_{Mg}	Množství plněného profilu pro modifikaci		Hmotnost předslitiny pro modifikaci
	(%)	(%)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(m)	(kg)
Tavba 1	0,022	0,055	0,0702	0,1755	doplnit	doplnit	doplnit	doplnit
Tavba 2	0,022	0,056	0,0702	0,1755				
Tavba 3	0,022	0,058	0,0702	0,1755				
Tavba 4	0,022	0,050	0,1063	0,2657				
Tavba 5	0,022	0,052	0,1134	0,2836				
Tavba 6	0,022	0,051	0,1087	0,2716				

8.5 Zajímavosti z dané problematiky

www.casopis-slevarenstvi.cz/cs/

8.6 Kontrolní otázky

1. Charakterizujte mimopecní zpracování roztavených litin.
2. Popište a porovnejte následující typy litin – LLG a LKG.
3. Vysvětlete pojem očkování roztavené litiny.
4. Definujte faktory, které lze ovlivnit očkováním.
5. Uveďte základní typy modifikátorů.
6. Charakterizujte postup modifikace metodou polévací.
7. Definujte konvertorový princip modifikace.
8. Charakterizujte a porovnejte ponořovací metodu modifikace atmosférickou a přetlakovou.
9. Vysvětlete princip modifikace litin metodou kontinuální.
10. Definujte princip modifikace plněnými profily.

8.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1. str. 7-19, 46-56
- VONDRÁK, Vladimír; HAMPL, Jiří; HANUS, Aleš. *Metalurgie litin: mimopecní zpracování roztavené litiny (očkování, modifikace)*. 2. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2415-4. str. 4-119

9 Kapitola: Výroba odlitků, slévárenské směsi a formy

9.1 Klíčová slova

výroba odlitků, typy odlitků, modelové zařízení, druhy modelů, slévárenské formy, formovací směsi, vtoková soustava, vady odlitků

9.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základními pojmy, materiály a technologiemi při výrobě odlitků včetně vad odlitků z litin.

9.3 Úvod do kapitoly

Slévárství 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 surový odlitek. Po odstranění vtokové a nálitkové soustavy obdržíme hrubý odlitek a po jeho obrobení dle konstrukčního výkresu čistý odlitek.

9.4 Výklad

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.

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,

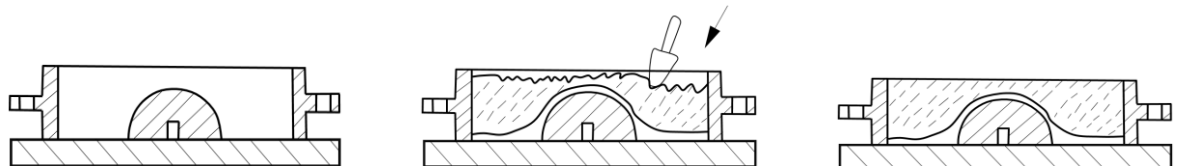


Obrázek – Jednorázová písková forma s jádry

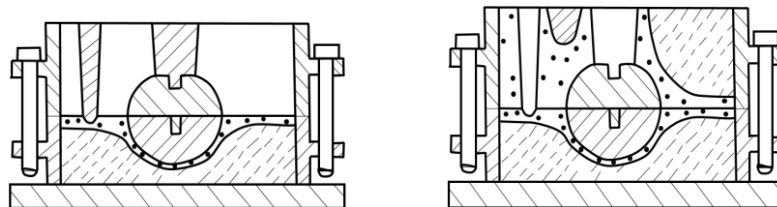
✓ z plastů se v modelářství používají epoxidové, polyesterové a polyamidové pryskyřice s vhodnými plnivý.

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:

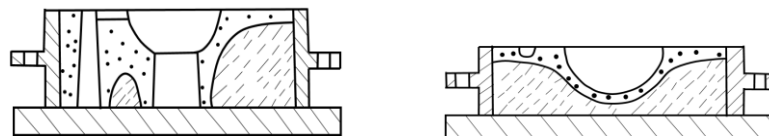
- ✓ formy netrvalé: formy na jedno použití,
- ✓ formy polotrvalé: jedna forma se dá použít pro odlití až 10^2 kusů odlitků,
- ✓ formy trvalé: lze odlít řádově 10^3 až 10^4 kusů odlitků.



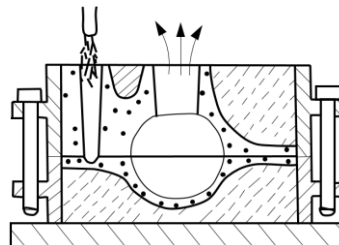
a) Výroba horního dílu formy



b) Výroba dolního dílu formy

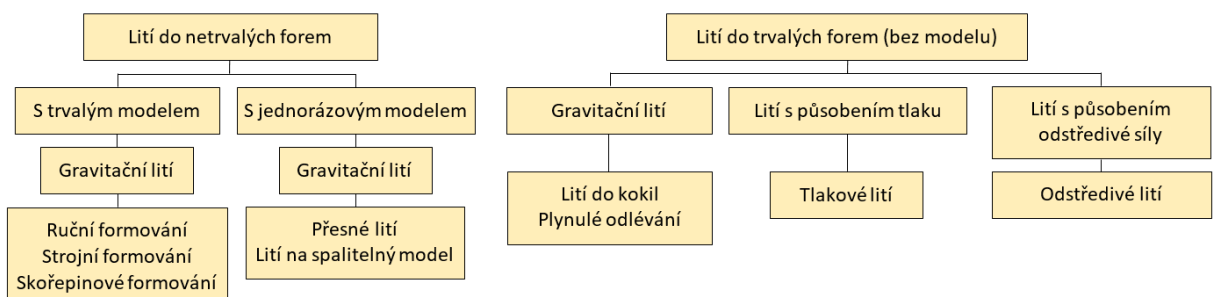


c) Rozložení formy a vyjmutí modelu



d) Složení formy a odlévání

Obrázek – Postup výroby slévárenské formy



Obrázek – Přehled postupů při formování a lití

Formovací směsi: slévárenské formovací směsi jsou přirozené nebo upravené sypké částice neplastických hornin, většinou křemene, obsahující až 50 % zemitého pojiva, vhodné přímo 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, rozpadovostí a nízkou cenou. Uvedené vlastnosti jsou závislé na stavu a množství základních složek směsi, 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 směsi.

Vtokovou soustavou: se rozumí systém kanálů a dutin vytvořených ve formě za účelem dopravy roztaveného kovu do všech částí dutiny formy tvořící budoucí odlitek. Základní části vtokové soustavy představuje: *licí jamka, licí (vtokový) kůl, odlučovač strusky a zářezy.*

Licí jamka: do vtokové jamky se nalévá z pánve roztavený kov.

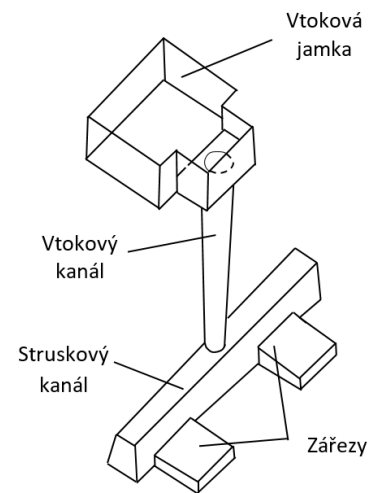
Licí (vtokový) kůl: vtokový kůl bývá většinou kruhového průřezu. U lehkých kovů se někdy také používá několika úzkých obdélníkových kanálů.

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.

Vady odlitků: představují konečný důsledek nedokonalých a zastaralých technologií, nekázně i nedodržování příslušných výrobních postupů ve slévárně. Vady odlitků se člení do následujících skupin:

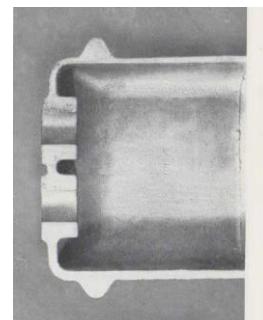
- ✓ *odchylky tvaru, rozměru a hmotnosti,*



Obrázek – Vtoková soustava pro odlitek z litiny s lupínkovým grafitem



Obrázek – Přesazení odlitku v dělicí rovině



Obrázek – Nestejné tloušťky stěn odlitku

✓ odchylky vzhledu (povrchové vady),



Obrázek – Povrchová připečenina



Obrázek – Dutiny na hrubém odlitku z oceli vyvolané zálupy ve vršku formy

✓ odchylky od celistvosti (porušení souvislosti, dutiny, vměstky),



Obrázek – Trhlina za tepla



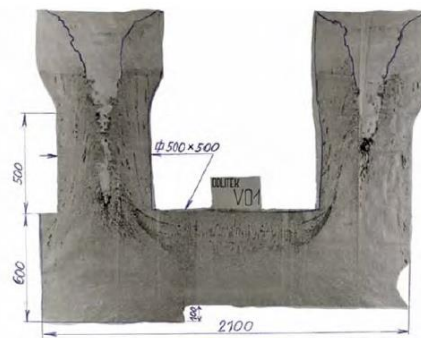
Obrázek – Bubliny ve stěně odlitku

✓ odchylky od struktury (makro, mikrostruktura),



Obrázek – Oxidická plena

✓ odchylky od chemického složení a vlastností odlitku.



Obrázek – Segregace v odlitku

Úlohy řešení

Exkurze do slévárny litiny

Cílem exkurze je seznámit studenty s provozními podmínkami průběhu výroby různých jakostí litin. Nedílnou součástí exkurze je také možnost ověřit si teoretické znalosti z oblasti výrobních agregátů, výrobních technologií, rafinačních procesů, mimopecního zpracování, odlévání litin, přípravy licích souprav a kontrola vad odlitků vznikajících v průběhu výroby. Pro realizaci exkurze byly vybrány následující významné podniky, které se v regionu zabývají výrobou různých jakostí litin:

✓ **KOVOSVIT MAS, a.s., Slévárna:** je tradičním výrobcem a dodavatelem obráběcích strojů a odlitků z šedé a tvárné litiny. Slévárna ročně vyrobí až 10 000 tun odlitků a prezentuje se jako výrobce a subdodavatel komponentů převážně pro strojírenství, energetický, těžební, obranný, automobilový, železniční průmysl a další odvětví.

➤ *metalurgická výroba:* představuje především produkci a dodávky komponentů a polotovarů od 2 kg do 13 tun. Odlitky z šedé litiny a tvárné litiny nacházejí své uplatnění nejčastěji ve strojírenském průmyslu, u výrobce převodovek, zemních strojů, zemědělské techniky, v železniční dopravě, automobilovém průmyslu, automatických linkách a v dalších odvětvích,

➤ *strojírenská výroba:* představuje především produkci a dodávky obroběných odlitků malých i velkých sérií ve váhovém rozmezí od 2 kg až do 8 tun. Jedná se především o díly obráběcích strojů, zemědělské techniky, stavebních strojů, dílů pro energetiku, obranný průmysl atd. Řada výrobků společnosti KOVOSVIT MAS, a.s. je svým charakterem zcela unikátní,

<https://www.youtube.com/watch?v=HbGwOi07FfA>

✓ **MOTOR JIKOV Slévárna a.s., Divize Slévárna litiny:** představuje moderní provoz používající moderní technologie na výrobu odlitků z tvárné a šedé litiny. Proces výroby je řízen podle mezinárodních jakostních standardů. Podstatná část produkce je určena pro mezinárodní automobilový průmysl.

Exkurze také povede ke zvýšení zájmu o následující semináře.

Bezpečnostní pokyny pro návštěvu provozů: studenti se musí chovat dle pokynů platných v provozu. Při návštěvě podniku jsou studenti obeznámeni a poučeni o BOZP daného podniku a zavazují se podle těchto pokynů chovat, což stvrzují svým podpisem.

Z průběhu exkurze studenti vypracují „Zprávu z exkurze“, kterou připraví na následující cvičení. Vlastní text zprávy bude koncipován dle následující osnovy:

- ✓ Úvod – krátká charakteristika zprávy,
- ✓ Popis navštívené firmy – charakteristika firmy (lze čerpat údaje z internetu nebo prospektů),
- ✓ Popis exkurze – uvedení průběhu exkurze, technicko-technologické parametry provozních agregátů, výrobní program atd.,
- ✓ Závěr – krátké shrnutí exkurze,
- ✓ Použitá literatura – citace dle normy ISO 690, která je dostupná na internetu:

< <https://sites.google.com/site/novaiso690/> >

9.5 Zajímavosti z dané problematiky

www.casopis-slevarenstvi.cz/cs/

9.6 Kontrolní otázky

1. Vysvětlete pojem slévárenství kovů.
2. Definujte pojem hrubý odlitek.
3. Co si představíte pod pojmem výroba modelového zařízení?
4. Definujte materiály pro modely.
5. Charakterizujte pojem slévárenská forma a uveďte základní typy.
6. Definujte složky formovacích směsí a popište jejich vlastnosti.
7. Charakterizujte vtokovou soustavu a popište jednotlivé části.
8. K čemu slouží zářez ve vtokové soustavě?
9. Vysvětlete výraz vada odlitku.
10. Definujte jednotlivé druhy vad odlitků.

9.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- NĚMEC, Milan; BEDNÁŘ, Bohumír; BRYKSÍ STUNOVÁ, Barbora. *Teorie slévání*. 2. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06026-1. **str. 24-48**
- NĚMEC, Milan; BEDNÁŘ, Bohumír; BRYKSÍ STUNOVÁ, Barbora. *Teorie slévání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04395-0. **str. 4-48**
- NĚMEC, Milan; SUCHÁNEK, Jan; ŠANOVEC, Jan. *Základy strojírenské technologie I*. 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06056-8. **str. 22-71**
- VONDRÁK, Vladimír; PAVELKOVÁ, Alena; HANUS, Aleš. *Metalurgie litin: vtokové soustavy a nálitkování*. 2. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0960-5. **str. 1-18**
- BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie II pro strojírenské učební obory*. 6., upr. vyd. Praha: Sobotáles, 1999. ISBN 80-859-2058-1. **str. 11-49**
- JELÍNEK, Petr. *Slévárenství*. 5. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1282-3. **str. 4-64, 138-177**
- BOLIBRUCHOVÁ, Dana. *Zlievarenska metalurgia a technológia: návody na cvičenia*. V Žiline: Žilinská univerzita, 2004. ISBN 80-807-0263-2. **str. 97-139**
- ČADA, Radek. *Technologie tváření, slévání a svařování: objemové tváření zatepla, slévání: (návody do cvičení)*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2015. ISBN 978-80-248-3833-5. **str. 46-109**

- ŠANOVEC, Jan. *Technologie I: návody pro cvičení*. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2211-0. **str. 68-78**
- BEDNÁŘOVÁ, Vlasta. *Základy teorie a technologie slévárenství: Studijní opora*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava. **str. 177-186**
- ELBEL, Tomáš. *Atlas fotografií vad odlitků: Příloha studijní opory: Diagnostika a řízení kvality odlitků*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016. **str. 5-133**
- Silesia-Tech s.r.o.: *Lití do pískové formy* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.silesia-tech.cz/liti-do-piskove-formy>

10 Kapitola: Základní druhy slitin hliníku, hořčíku, mědi a zinku

10.1 Klíčová slova

základní typy slitin neželezných kovů, slitiny hliníku, slitiny hořčíku, slitiny mědi, slitiny zinku

10.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základními slitinami neželezných kovů.

10.3 Úvod do kapitoly

Neželezné kovy jsou všechny kovy a slitiny, u nichž je základním prvkem jiný kov než železo. Největší využití mají tyto neželezné kovy: hliník, měď, hořčík, zinek, olovo, titan, nikl a jejich slitiny.

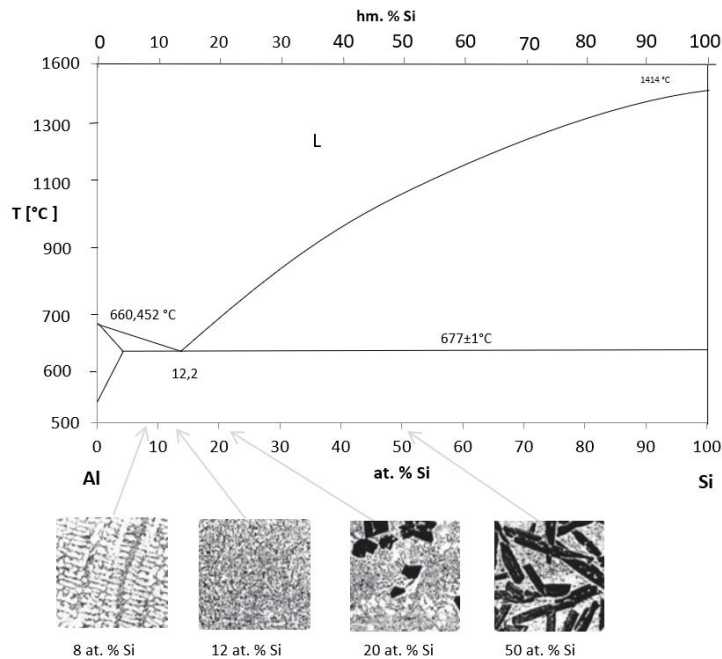
10.4 Výklad

Nejrozšířenější a nejpoužívanější jsou slitiny hliníku a jejich podíl představuje téměř 90 % hmotnosti všech vyráběných odlitků z neželezných slitin. Významnou skupinu tvoří odlitky z hořčíkových slitin. Jejich produkce a využití se v posledních letech prudce zvyšuje. Důvodem je nízká hmotnost a dobré mechanické vlastnosti. Dalšími významnými materiálovými skupinami jsou slitiny mědi a slitiny zinku. Důležitou skupinu tvoří také slitiny niklu, vyznačující se výbornými mechanickými vlastnostmi za vysokých teplot a odolností proti korozi. Používají se zejména v leteckém a automobilovém průmyslu.

Z velkého počtu vyvinutých a odzkoušených slitin se v běžné slévárenské praxi používají základní typy:

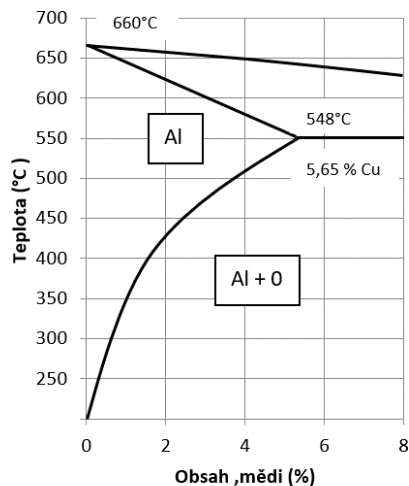
- ✓ *Al-Si* (tzv. *siluminy*),
- ✓ *Al-Cu* (tzv. *duralaluminiumy*),
- ✓ *Al-Mg* (tzv. *hydronalium*),

Slévárenské slitiny typu Al-Si (tzv. siluminy): obsah křemíku jako základní přísady je ve dvou a vícerozložkových slitinách typu Al-Si vždy vyšší, než je jeho max. rozpustnost v tuhém roztoku Al. Podle rovnovážného diagramu tvoří pak hliník (fáze α) s křemíkem (fáze β) eutektický systém s omezenou rozpustností Si v Al.

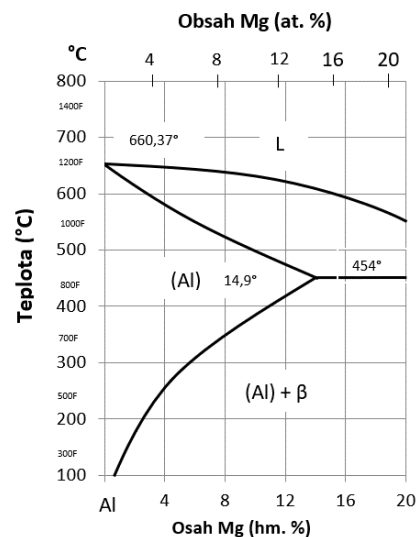


Obrázek – Rovnovážný diagram Al-Si a typické strukturní složení dle obsahu Si

Slévárenské slitiny Al-Cu (duraly): měď tvoří s hliníkem slitiny s omezenou rozpustností v tuhém roztoku (α) a eutetikem. Rozpustnost mědi v hliníku při eutektické teplotě 548 $^{\circ}\text{C}$ je max. 5,7 % a při ochlazování se snižuje. Snižující se rozpustnost Cu umožňuje provádět vytvrzování. Vytvrzování se provádí za tepla i za studena. Slévárenské slitiny obsahují obvykle 4–5 % Cu. Vyznačují se vysokou pevností až nad 400 MPa. Tažnost a lomová houževnatost jsou až dvojnásobné oproti slitinám Al-Si.



Obrázek – Rovnovážný diagram Al-Cu



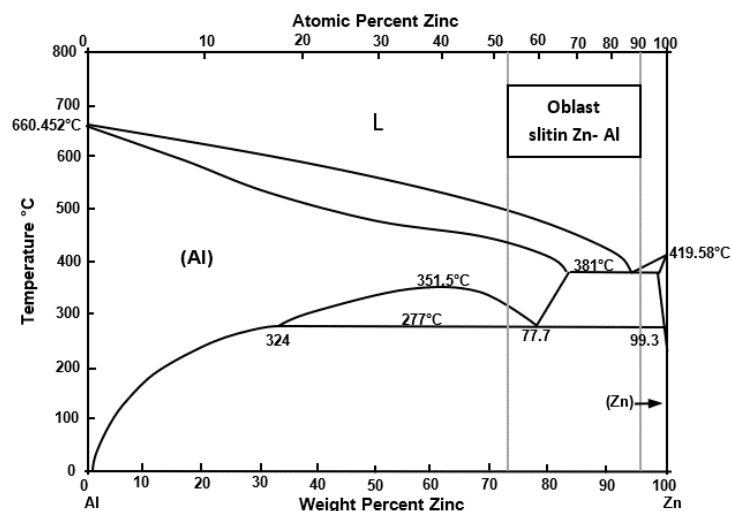
Obrázek – Rovnovážný diagram Al-Mg

Slévárenské slitiny typu Al-Mg (tzv. hydronalium): hořčík tvoří s hliníkem slitiny s maximální rozpustností 17,4 % Mg při eutektické teplotě 450 $^{\circ}\text{C}$. S poklesem teploty se rozpustnost rychle snižuje (při teplotě 300 $^{\circ}\text{C}$ je asi 5,3 %, při 200 $^{\circ}\text{C}$ 2,9 %). Vlivem přísadových prvků se rozpustnost Mg dále snižuje. Podle obsahu hořčíku se slévárenské slitiny Al-Mg dělí na typy se 3, 5 a 9 % Mg. Čím vyšší je obsah hořčíku, tím širší je dvoufázové pásmo tuhnutí a tím horší jsou slévárenské vlastnosti.

Slévárenské slitiny hořčíku: v technické praxi se hořčík používá výhradně ve formě slitin. Převážná část hořčíkových slitin se zpracovává odléváním. Hlavním přísadovým prvkem je téměř výhradně hliník (jedná se tedy o slitiny Mg-Al). Obsah hliníku ve slévárenských slitinách se pohybuje v rozmezí od 3 do 9 % Al. Čím je ve slitině vyšší obsah hliníku, tím lepší je zabíhavost. Technicky zajímavé, ale výrobně mimořádně složité jsou superlehké slitiny Mg-Li.

Slévárenské slitiny mědi: měď tvoří základní prvek ve velmi rozmanitém okruhu slitin. U slitin se často využívají jejich specifické mechanické, frikční, fyzikální, antikorozi a jiné vlastnosti, které u jiných druhů slitin nejsou dosažitelné. Slitiny mědi se podle hlavního přísadového prvku dělí do dvou základních skupin – na bronzы a mosazi.

Slévárenské slitiny zinku: obsahují jako hlavní přísadový prvek hliník. Obsah hliníku v normovaných slitinách se pohybuje v rozmezí 4–27 % Al. Slitiny zinku se odlévají všemi běžnými slévárenskými metodami, výrazně však převažuje metoda tlakového lití.



Obrázek – Rovnovážný diagram Zn-Al

Úlohy k řešení

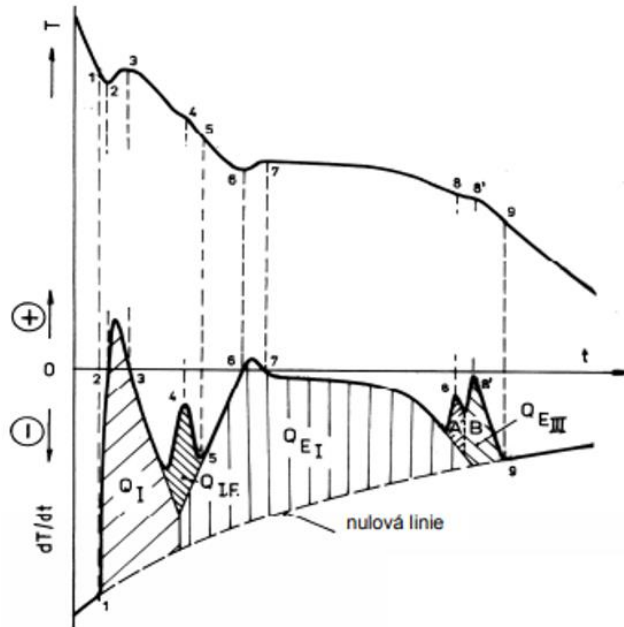
Laboratorní praktikum – Termická analýza slitin neželezných kovů

Úkolem laboratorního praktika je vyhodnocení termické analýzy hliníkových slitin s cílem seznámení se s metodou a aplikací teoretických znalostí z oblasti krystalizace hliníkových slitin, posouzení očkovacího účinku, stupně modifikace eutektika a vznik intermetalických fází.

Termická analýza: je metodou provozní kontroly kvality tekutého kovu. V principu jde o vyhodnocení křivky chladnutí v intervalu krystalizace a vyvození správných souvislostí mezi tvarem křivky, charakteristickými teplotami a strukturou kovu. U slitin hliníku se termická analýza používá zejména k hodnocení:

- ✓ velikosti zrna primární fáze a posouzení očkovacího účinku,
- ✓ morfologie eutektické fáze a zjištění stupně modifikace eutektika,
- ✓ vzniku intermetalických fází a vícesložkových eutektik.

Při termické analýze se vzorek roztavené slitiny odlije do zkušebního kelímku a přesným termočlánkem s dostatečnou citlivostí se měří průběh křivky chladnutí. Tvar křivky chladnutí je závislý na intenzitě odvodu tepla ze vzorku kovu do zkušebního kelímku a průběhu uvolňování skupenského tepla krystalizace v různých fázích tuhnutí.



Legenda:

- 1 – teplota nukleace primární fáze – TNL
- 2 – teplota přechlazení na likvidu – TPL
- 3 – teplota likvidu – TL
- 4 – teplota tuhnutí primární intermetalické fáze
- 5 – teplota nukleace eutektika – TNE
- 6 – teplota přechlazení na eutektické teplotě – TPE
- 7 – teplota tuhnutí eutektika – TE
- 8 – teplota tuhnutí vícesložkového eutektika (intermetalické fáze) A, resp. B
- 9 – konec tuhnutí – teplota solidu – TS
- 3-2 – rekalescence na teplotě likvidu – ΔTL
- 7-6 – rekalescence na teplotě eutektické – ΔTE

Obrázek – Ukázka křivky ochlazování a její derivace

Závislost teplota – čas: pro obecnou slitinu typu Al-Si-X je znázorněna na horní křivce. Pro snadnější vyhodnocení jednotlivých teplotních bodů se využívá křivky derivace teploty, tedy závislosti dT/dt , která je ve spodní části.

Křivka derivace fakticky představuje průběh rychlosti chladnutí kovu a znamená, že v místech, kde je:

- ✓ $dT/dt < 0$ – dochází k poklesu teploty vzorku,
- ✓ $dT/dt = 0$ – vzniká teplotní prodleva,
- ✓ $dT/dt > 0$ – dochází ke zvýšení teploty vzorku – vznik rekalescence.

Oblast tuhnutí na křivce derivace je vymezena tvarem křivky derivace a tzv. „nulovou linií“.

Nulová linie: je taková rychlost chladnutí, kterou by se vzorek ochlazoval v případě, že by se neuvolňovalo žádné krystalizační teplo. Lze snadno dokázat, že plocha vymezená těmito dvěma křivkami je úměrná množství krystalizačního tepla. Plochu lze rozdělit do jednotlivých oblastí, odpovídajících různým fázovým složkám, a tak i kvantifikovat množství těchto složek.

Každá z etap krystalizace je zahájena nukleací příslušné fáze. Teplota nukleace bývá na křivce chladnutí nezřetelná (často to je inflexní bod), ale snadno se identifikuje na křivkách derivace jako místo změny průběhu křivky (obvykle dosti výrazné). Tuhnutí slitiny tedy začíná nukleací primární fáze v bodě 1, eutektické fáze v bodě 5 a končí na teplotě solidu v bodě 9. Mezi těmito základními body může docházet ke krystalizaci různých dalších fázových složek, které vznikají v teplotním intervalu mezi likvidem a solidem – např. mezi body 4 a 5, nebo jako různá vícesložková eutektika ke konci tuhnutí – oblasti A a B mezi body 8 a 9.

Při praktickém používání termické analýzy se obvykle na křivkách ochlazování v jednotlivých krystalizačních oblastech vyhodnocují hodnoty **minimální a maximální teploty**. Nejnižší teplota se označuje jako teplota přechlazení (bod 2 – teplota přechlazení na likvidu, nebo 6 – teplota přechlazení eutektika), maximální hodnota jako teplota růstu, nebo prostě jenom jako teplota likvidu – bod 3, nebo eutektická teplota – bod 7. Rozdíl mezi příslušnou maximální a minimální teplotou se nazývá rekalescence. Velikost přechlazení je při termické analýze důležitým kritériem.



Obrázek – Systém termické analýzy TA110

Úkolem laboratorního praktika je **vyhodnocení dat termické analýzy hliníkových slitin** v laboratorních podmínkách se zaměřením na krystalizaci hliníkových slitin, posouzení očkovacího účinku, stupeň modifikace eutektika a vznik intermetalických fází. Jednotlivé úkoly lze shrnout do následujících bodů:

- ✓ *studium a vyhodnocení surových dat z termické analýzy hliníkových slitin, a to na sérii měření získaných z provozních podmínek označených písmeny A, B, C ... atd.,*
- ✓ *provedení analýzy série dat A, B, C ... atd. v laboratorních podmínkách se zaměřením na krystalizaci hliníkových slitin, posouzení očkovacího účinku, stupně modifikace eutektika a vznik intermetalických fází,*
- ✓ *posouzení a vyhodnocení krystalizace hliníkových slitin, posouzení očkovacího účinku, stupně modifikace eutektika a vznik intermetalických fází,*
- ✓ *vypracování laboratorního protokolu „Termická analýza slitin neželezných kovů“.*

10.5 Zajímavosti z dané problematiky

www.casopis-slevarenstvi.cz/cs/

10.6 Kontrolní otázky

1. Charakterizujte základní typ hliníkových slitin.
2. Charakterizujte slévárenské slitiny typu Al-Si.
3. Popište slévárenské slitiny typu Al-Cu.

4. Definujte slévárenské slitiny typu Al-Mg.
5. Uveďte aplikace ve strojírenské praxi následujících slitin typu Al-Si, Al-Cu a Al-Mg.
6. Charakterizujte slévárenské slitiny hořčíku.
7. Uveďte základní typy slévárenských slitin mědi.
8. Definujte slévárenské slitiny zinku.

10.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- BOLIBRUCHOVÁ, Dana; PATIRČÁK, Richard. *Zlievarenská metalurgia neželezných kovov*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2018. ISBN 978-80-554-1463-8. **str. 27-165**
- SKOČOVSKÝ, Petr; PALČEK, Petr; VÁRKOLY, Ladislav. *Konštrukčné materiály*. Žilina: Žilinská univerzita v Žilině, 2000. ISBN 80-7100-608-4. **str. 165-221**
- ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6. **str. 1-8**
- NĚMEC, Milan; PROVAZNÍK, Jaroslav. *Slévárenské slitiny neželezných kovů*. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04116-1. **str. 4-68, 73-86**
- NĚMEC, Milan; BEDNÁŘ, Bohumír; BRYKSÍ STUNOVÁ, Barbora. *Teorie slévání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04395-0. **str. 200-217**
- KRATOCHVÍL, Bohumil; ŠVORČÍK, Václav; VOJTĚCH, Dalibor. *Úvod do studia materiálů*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-708-0568-4. **str. 158-168**
- VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 978-80-7080-600-5. **str. 125-147**
- MOHYLA, Miroslav. *Strojírenské materiály I*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2003. ISBN 80-248-0270-8. **str. 107-126**

11 Kapitola: Materiálové vlastnosti slitin neželezných kovů

11.1 Klíčová slova

materiálové vlastnosti slitin, technologické vlastnosti, slévárenské vlastnosti, mechanické vlastnosti

11.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základními materiálovými vlastnostmi slitin neželezných kovů se zaměřením na technologické, slévárenské a mechanické vlastnosti slitin neželezných kovů.

11.3 Úvod do kapitoly

Volba chemického složení hliníkových slitin vychází z komplexního posouzení nároků na užité vlastnosti i způsob výroby odlitků. Rozhodující při výběru vhodné slitiny bývají zejména tyto parametry:

- ✓ *technologické vlastnosti,*
- ✓ *mechanické vlastnosti,*
- ✓ *možnost tepelného zpracování.*

11.4 Výklad

Technologické vlastnosti: jsou takové vlastnosti slitin, které souvisí se způsobem výroby součástí. Nejdůležitějšími technologickými vlastnostmi jsou slévárenské vlastnosti, obrobiteľnosť, odolnosť proti korozi, svařitelnost, těsnost, někdy rovněž speciální vlastnosti, jako např. leštitelnost, možnost povrchové úpravy apod.

Pod pojmem **slévárenské vlastnosti** se rozumí takové vlastnosti, které souvisí s procesem odlévání. Jsou to především:

- ✓ *zabíhavost slitiny,*
- ✓ *sklon ke vzniku soustředěných staženin nebo ředin,*
- ✓ *sklon k naplynění taveniny a ke vzniku plynových dutin v odlitcích,*
- ✓ *sklon ke vzniku trhlin.*

Slévárenské vlastnosti: Nejlepší slévárenské vlastnosti mají slitiny s úzkým intervalem tuhnutí, tj. s chemickým složením, které se blíží buď čistému kovu nebo ke složení eutektickému. Naopak slitiny se širokým intervalem tuhnutí mívají slévárenské vlastnosti špatné.

Zabíhavost: je technologická vlastnost, která udává schopnost tekutého kovu zaplňovat dutinu formy. Zabíhavost, jako technologická vlastnost určuje, jak tenkostěnné odlitky je možno odlévat a jak přesně bude kov kopírovat dutinu formy.

Sklon ke vzniku staženin: charakterizuje objemový úbytek kovu během tuhnutí a tendenci ke vzniku soustředěných (vnitřních nebo vnějších) staženin, nebo rozptýlených staženin a ředin.

Sklon k naplynění: je charakterizován rozpustností plynů v tekutém stavu. Úroveň naplynění taveniny rozhoduje o tvorbě plynových bublin v odlitku.

Odolnost proti vzniku trhlin a prasklin: je schopnost odolávat napětí, které vzniká vlivem smršťování v oblasti teplot tuhnutí a během ochlazování.

Důležité **technologické vlastnosti** představuje:

- ✓ *obrobitelnost,*
- ✓ *odolnost proti korozi,*
- ✓ *svařitelnost, leštitelnost a nepropustnost.*

Obrobitelnost: je daná kombinací velikosti obráběcích sil, charakteru třísek, kvality obrobeného povrchu a životnosti ostří obráběcích nástrojů.

Odolnost proti korozi: indikuje schopnost odolávat chemickému působení plyných nebo kapalných prostředí. Elektrochemická koroze způsobuje povrchové nebo hloubkové reakce mezi některými fázemi slitiny a korozním médiem, eventuálně rozpouštění některých složek slitiny v korozním prostředí.

Svařitelnost: je schopnost spojování různými technologiemi svařování a dosažitelnost pevnosti a kvality spojů.

Leštitelnost: a možnost povrchových úprav charakterizuje schopnost povrchového zpracování odlitků.

Nepropustnost: je schopnost bránit pronikání tlakového média – plynu nebo kapaliny skrze stěny odlitku. Těsnost odlitků souvisí zejména s výskytem mikrostaženin nebo prasklin. Rovněž přítomnost oxidických vměstků v kovu těsnost odlitků významně zhoršuje. Nepropustnost se zjišťuje tlakovými zkouškami.

Mechanické vlastnosti slitin: jsou závislé zejména na druhu a vlastnostech základní kovové hmoty, na disperzitě strukturních složek, na přítomnosti a tvaru intermetalických fází a na tepelném zpracování. Jemnozrnná struktura jednoznačně zlepšuje všechny mechanické a také řadu technologických vlastností slitin.

Mez pevnosti: běžných hliníkových slitin se v litém stavu (podle slitiny, způsobu lití a tloušťky stěny) pohybuje v rozmezí asi 150–250 MPa. Pevnostní vlastnosti se velmi podstatně zvyšují vytvrzováním. Vytvrditelné slitiny obsahují obvykle hořčík nebo měď a jedná se o slitiny typu Al-Si-Mg, Al-Si-Cu nebo Al-Cu. Vytvrzením se zvyšuje mez pevnosti R_m a tvrdost oproti litému stavu o 30 až 50 %, mez $R_{p0,2}$ se zvyšuje až o 80 %. Po vytvrzení lze u slitin Al-Si-Mg dosáhnout pevnosti až kolem 330 MPa. Mezi vysokopevné slitiny patří zejména slitiny typu Al-Cu.

Tažnost: běžných hliníkových slitin je v řádu 1–4 %. Značného zvýšení tažnosti slitin Al-Si lze dosáhnout modifikací eutektika. Pevnostní vlastnosti se modifikací zvyšují jen poměrně málo – maximálně asi o 50 %, ale tažnost roste až o 200 %.

Za zvýšených teplot: se mechanické vlastnosti poměrně rychle snižují. U slitin typu Al-Si a Al-Si-Mg dochází k výraznějšímu poklesu již při teplotách nad asi 200 °C. Vytvrzené slitiny za těchto teplot svoje vlastnosti rychle ztrácejí a pod působícím napětím dochází k tečení. Teplotní stabilita slitin Al-Si se zvyšuje přísadou mědi, niklu, případně kobaltu nebo dalších stopových prvků. Slitiny Al-Cu si udržují stabilitu vlastností do asi 250 °C. Za nejvyšší možnou provozní teplotu se u hliníkových slitin považuje 350 °C.

Vlastnosti za nízkých teplot: se díky plošně centrované kubické mřížce hliníku téměř nemění. S poklesem teplot pevnost dokonce mírně vzrůstá, tažnost zůstává prakticky stejná. Proto jsou všechny typy hliníkových slitin vhodné pro použití za nízkých i kryogenních teplot.

Úlohy k řešení

Exkurze do slévárny hliníku a zinku

Cílem exkurze je seznámit studenty s provozními podmínkami průběhu výroby slitin neželezných kovů. Nedílnou součástí exkurze je také možnost ověřit si teoretické znalosti z oblasti výrobních agregátů, výrobních technologií, rafinačních procesů, odlévání slitin neželezných kovů a kontrola vad odlitků vznikajících v průběhu výroby. Pro realizaci exkurze byl vybrán významný podnik v regionu zabývající se výrobou slitin neželezných kovů:

✓ **MOTOR JIKOV Slévárna a.s., Divize Tlaková slévárna:** jedná se o specializovaný provoz na výrobu vysoce náročných odlitků, nedávno rozšířený o nízkotlaké lití špičkovou technologií Kurtz. Podstatná část produkce je určena pro mezinárodní automobilový, spotřební průmysl a elektroprůmysl. Tradice jakostní výroby sahá do sedmdesátých let minulého století, do období rozvinuté výroby karburátorů a komponentů vzduchotlakých brzdových soustav.

Exkurze také povede ke zvýšení zájmu o následující semináře.

Bezpečnostní pokyny pro návštěvu provozů: studenti se musí chovat dle pokynů platných v provozu. Při návštěvě podniku jsou studenti obeznámeni a poučeni s BOZP daného podniku a zavazují se podle těchto pokynů chovat, což stvrzují svým podpisem.

Z průběhu exkurze studenti vypracují „Zprávu z exkurze“, kterou připraví na následující cvičení. Vlastní text zprávy bude koncipován dle následující osnovy:

- ✓ Úvod – krátká charakteristika zprávy,
- ✓ Popis navštívené firmy – charakteristika firmy (lze čerpat údaje z internetu nebo prospektů),
- ✓ Popis exkurze – uvedení průběhu exkurze, technicko-technologické parametry provozních agregátů, výrobní program atd.,
- ✓ Závěr – krátké shrnutí exkurze,
- ✓ Použitá literatura – citace dle normy ISO 690, která je dostupná na internetu:

< <https://sites.google.com/site/novaiso690/> >

11.5 Zajímavosti z dané problematiky

www.casopis-slevarenstvi.cz/cs/

11.6 Kontrolní otázky

1. Definujte parametry rozhodující při výběru vhodné slitiny.
2. Charakterizujte pojem slévárenské vlastnosti.
3. Definujte pojem zabíhavost.
4. Charakterizujte pojem sklon ke vzniku staženin.
5. Vysvětlete pojem sklon k naplynění.
6. Definujte základní technologické vlastnosti.
7. Vysvětlete pojem obrobitelnost.
8. Charakterizujte pojem leštitelnost.
9. Vyjmenujte základní mechanické vlastnosti.
10. Definujte vlastnosti slitin za nízkých teplot.

11.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ČIŽMÁROVÁ, Elena; SOBOTOVÁ, Jana. *Nauka o materiálu I. a II.: cvičení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05550-2. **str. 7-29**
- VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2006. ISBN 978-80-7080-600-5. **str. 42-53**
- BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie I pro strojírenské učební obory: doporučený učební text pro střední odborná učiliště*. Praha: Sobotáles, 1997. ISBN 80-859-2042-5. **str. 12-20**
- BOLIBRUCHOVÁ, Dana; PASTRIČÁK Richard. *Zlievarenska metalurgia neželezných kovou*. V Žiline: Žilinská univerzita, 2018. ISBN 978-80-554-1463-8. **str. 7-165**

12 Kapitola: Principy metalurgického zpracování neželezných kovů

12.1 Klíčová slova

tavicí pece, udržovací pece, kelímkové pece, komorové pece, šachtové pece, vanové pece, dávkovací pece, očkování slitin, modifikace slitin, rafinace taveniny

12.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základními typy pecí k udržování teploty taveniny, principy metalurgického zpracování se zaměřením na úpravu chemického složení, očkování, modifikace a principy rafinace taveniny.

12.3 Úvod do kapitoly

Metalurgické zpracování neželezných kovů lze zpravidla rozdělit do dílčích fází. Každá z těchto fází je typická používanými agregáty a technologiemi, jejichž cílem je dosažení co nejvyšší kvality finálních odlitků.

- ✓ *Tavení* → *tavicí pece – kelímkové, komorové, šachtové,*
- ✓ *Rafinace taveniny* → *odstátí taveniny, rafinace inertními a aktivními plyny, krycí a rafinační přípravky, filtrace,*
- ✓ *Očkování,*
- ✓ *Modifikace,*
- ✓ *Regulace teploty před odléváním* → *udržovací pece – vanové, dávkovací,*
- ✓ *Odlévání.*

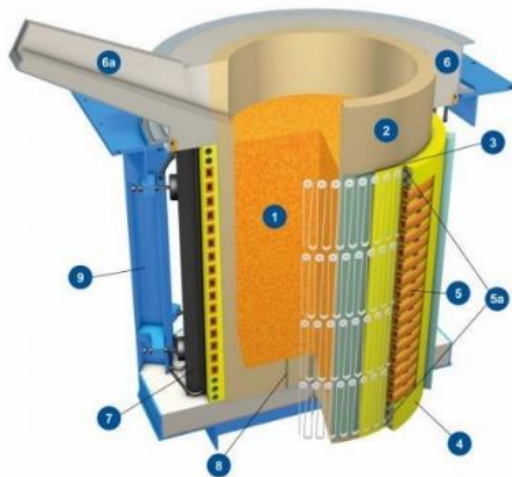
12.4 Výklad

V **tavicích pecích** se kov ohřívá přibližně na technologickou lící teplotu, provede se úprava chemického složení, rafinace a odplynění. Při přelévání z tavicí pece do transportních pánví se často tavenina filtruje keramickými nebo tkanými filtry.

Udržovací pece slouží především k udržování teploty taveniny v blízkosti jednotlivých pracovišť nebo lících agregátů. Topný systém umožňuje regulovat teplotu kovu a částečně též tavit pevnou vsázku, přidávanou do roztaveného kovu. V udržovacích pecích se obvykle neprovádí zásadní úprava chemického složení ani větší metalurgické zásahy. Taveninu je často možné očkovat nebo modifikovat.

Pro **tavicí a udržovací pece** platí některé obecné zásady, které by měly být zajištěny: *malá oxidace a naplynění kovu, oddělení tekutého kovu od pevné vsázky, zamezení místního přehřívání taveniny.*

Kelímkové pece: pro natavení menšího množství kovu se používají obvykle pece s jílografitovými kelímky nebo kelímky z SiC. Kelímky se po roztavení kovu z pece vyjmou a slouží pak také jako transportní a lící pánve. Velikost kelímků bývá obvykle do asi 100 až 200 kg hliníkové slitiny. Výhodou kelímků je velká flexibilita tavicího režimu při změnách druhu slitiny. Při správném zacházení je životnost kelímků řádově ve stovkách taveb. Vytápění kelímkových pecí je obvykle plynové nebo elektrické odporové. Výhodou elektrického ohřevu je, že se kov nedostává do styku se spalinami, z nichž by mohl pohlcovat vlhkost. Pro větší tavicí výkony a větší množství kovu se používají sklopné kelímkové pece. Kelímky bývají obvykle vyzděny žáruvzdornou vyzdívkou na bázi Al_2O_3 a SiO_2 .

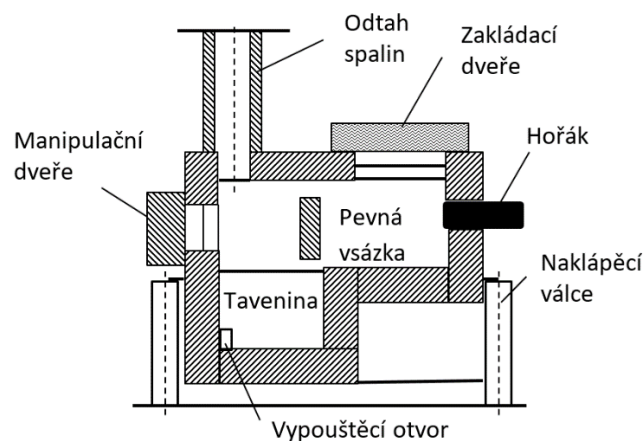


Legenda:

- 1 – lázeň roztaveného kovu
- 2 – žáruvzdorný kelímk
- 3 – tepelná izolační vrstva
- 4 – trvalá vyzdívka s vestavěným kabelem senzoru ocp (těžké opláštěné skleněné vlákno)
- 5 – výkonová cívka
- 5a – chladicí cívka
- 6 – vrch pece
- 6a – vylévací hubička
- 7 – vahadlo

Obrázek – Kelímková indukční pec

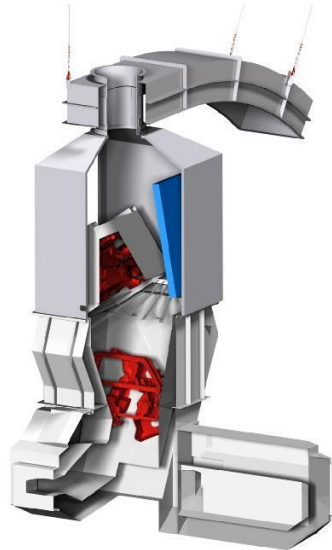
Komorové pece: jde o osvědčený a v našich slévárnách rozšířený typ pecí. Vsázka je vsázena do tavicí části a nepřichází do přímého styku s taveninou. Na podobném principu fungují i dvoukomorové vanové pece s vertikálním uspořádáním, u nichž se vsázka zaváží do horní tavicí komory a tekutý kov odtéká do spodní komory, která představuje zásobník kovu.



Obrázek – Schéma komorové tavicí pece

Šachtové pece: jsou založeny na principu protiproudého výměníku tepla. U tohoto typu pecí se vsázka dopravuje zavážecím zařízením do šachtice pece. Zde se odpařuje vlhkost a případné organické nečistoty vyhoří. Ve spodní části šachtice je tavicí zóna. Zde se vsázka natavuje

a roztavený kov odtéká do udržovací komory. Odtud se odebírá buď po jednotlivých licích dávkách z boční vany, spojené s udržovací komorou sifonem, nebo se vylévá po větších dávkách do transportní pánve. Vyhřívání pece se provádí plynovými nebo olejovými hořáky. Pec je vyzděna žáruvzdornými materiály a vnější izolační vrstvou, která zajišťuje minimální tepelné ztráty. Životnost vyzdívky je několik let.

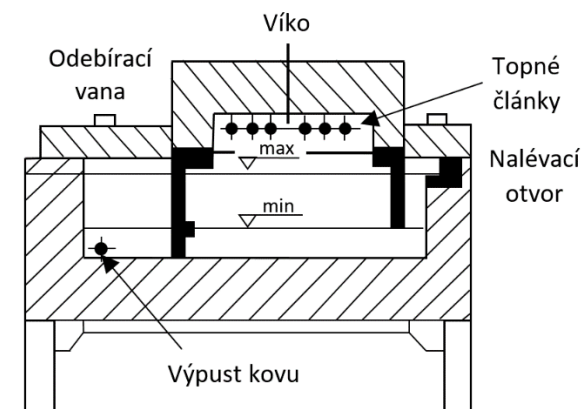


Obrázek – Schéma šachtové pece



Obrázek – šachtová pec v provozu

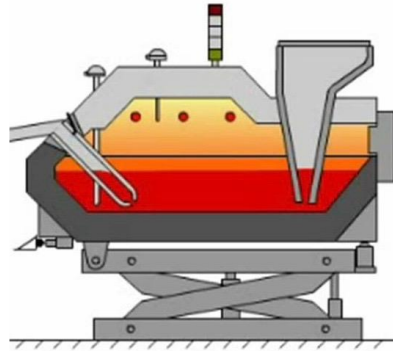
Vanové pece: pec má tvar vany s poměrně malou hloubkou. Podle půdorysného členění mohou být tyto pece jednokomorové až tříkomorové. Obvykle se používají jako udržovací, tzn. vsázkou je tekutý kov, který se nalévá do plnicí komory. Pevné kusy vsázky se přisazují spíše výjimečně po otevření pracovních dvířek nebo po odklopení víka. Tímto způsobem jsou komory přístupné rovněž pro legování, čištění hladiny nebo jiné metalurgické zásahy. Vytápění je plynové, elektrické odporové nebo indukční kanálkové. Kov se odebírá z odebírací komory, oddělené od hlavní komory sifonem. Tavenina se však špatně teplotně a chemicky homogenizuje.



Obrázek – Schéma vanové pece

Dávkovací pece: jsou určeny k automatickému dávkování tekutého kovu, nejčastěji při odlévání do kovových forem pod tlakem. Kov, natavený v tavicí peci, se plnicím trychtýřem nalije do vany dávkovací pece, která je hermeticky uzavřena. Teplota je obvykle udržována pomocí odporových topných článků SiC nad hladinou kovu. Teplota se měří pomocí termočlánku a udržuje v úzkých tolerancích, až ± 1 K. V peci se stále udržuje mírný přetlak tlakového vzduchu nebo ochranného plynu. Dávkování kovu se provádí zvýšením tlaku plynu v komoře pece, který vytlačí kov do

dávkovací trubice. Po snížení přetlaku na původní hodnotu se vylévání kovu ukončí. Množství nadávkovaného kovu se řídí automaticky podle nastaveného údaje velikosti přetlaku a času.

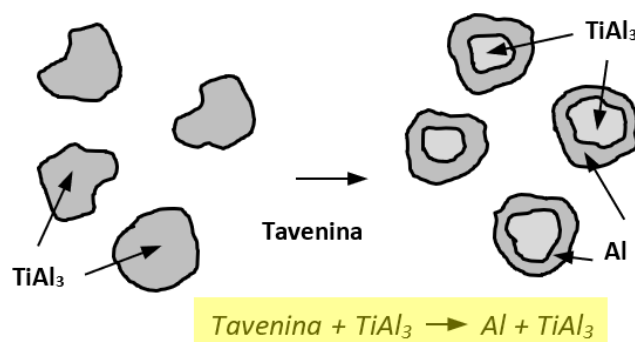


Obrázek – Schéma elektrické dávkovací pece

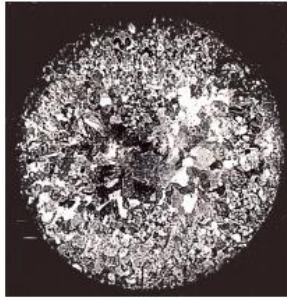
Úprava chemického složení taveniny: při tavení hliníkových slitin se obvykle vychází z vsázkových surovin, které svým chemickým složením odpovídají tavené značce. Úpravy chemického složení taveniny proto obvykle mají za cíl pouze drobné korekce obsahu jednotlivých prvků, eventuálně kompenzaci propalem. Úprava chemického složení se provádí po roztavení vsázky a po chemické analýze. Prvkem, u něhož je nutné doplňovat ztráty propalem, je zejména hořčík – přibližně se jedná o ztrátu asi 0,05 % Mg za tavbu. U jiných prvků se obvykle s propalem nepočítá.

Vliv očkování na vlastnosti slitin: zjemnění zrna se projeví zlepšením mechanických i mnoha technologických vlastností: zvýšením pevnosti a tažnosti, snížením sklonu slitiny ke vzniku trhlin, menší pórovitostí odlitků, zvýšením těsnosti odlitků, lepší obrobitelností, zlepšením kvality povrchu po anodické oxidaci, zlepšení vlastností po tepelném zpracování.

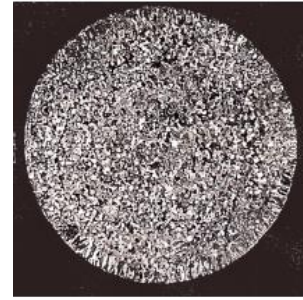
Očkování podeutektických slitin hliníku: se provádí titanem nebo kombinací titanu a bóru. Tyto prvky se do taveniny vnášejí pomocí očkovacích solí, (např. K_2TiF_6 , KBF_4 a dalších), očkovacích tablet nebo v podobě předslitin Al-Ti nebo Al-Ti-B. Při očkování přípravky s titanem reaguje titan s hliníkem za vzniku krystalizačních zárodků. Efektivní očkovací účinek předslitin Al-Ti obvykle trvá kolem 30-45 minut.



Obrázek – Nukleace zárodků $TiAl_3$ při peritektické reakci v systému Al-Ti



Základní neočkovávaná slitina



Po očkovaní Al-Ti

Obrázek – Vliv očkovaní na velikosti zrna slitiny Al-Si7

Modifikace: Nejsilnější modifikační účinek má sodík, což je dáno jeho vzdáleností rovin dvojčatění a tím zaručí vysokou hustotu dvojčat v částicích křemíku. Částice křemíku v modifikovaném eutektiku mají hrubý povrch a jsou krystalicky nedokonalé, což je potenciálním místem pro další větvení. Sodík se do taveniny přidává ve formě exotermických tablet, jako kovový sodík či modifikační soli.

Dalším prvkem, který má dobrou modifikační schopnost, je stroncium. Je mnohem méně reaktivní než sodík a dává vysoké a stabilní využití (až 90 %). Používá se jako předslitina s hliníkem (případně s hliníkem a křemíkem), kde tvoří intermetalickou fázi Al-Sr a ze které se do taveniny dostává rozpouštěním. Čím je vyšší teplota taveniny, tím rychleji se předslitina rozpouští a tím rychleji nabíhá modifikační účinek.

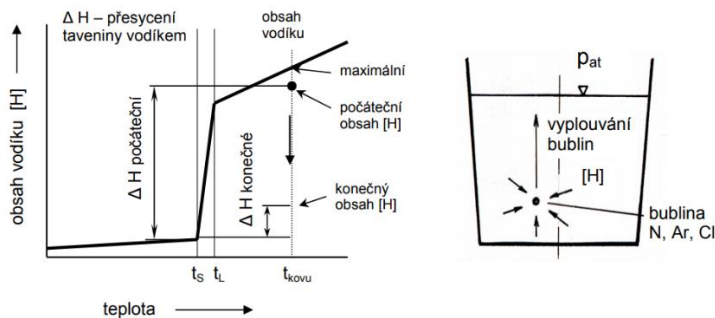
Rafinace taveniny: jako rafinace se označuje proces, při kterém se v tavenině snižuje množství vměstků. Při rafinaci se využívají zejména následující postupy: *odstátí taveniny, vynášení vměstků plynovými bublinami, chemická vazba vměstků pomocí krycích a rafinačních solí, mechanické zachycování vměstků při filtraci taveniny.*

Principem **odstátí** je separace vměstků na principu jejich vyplouvání. Vzhledem k téměř stejným hustotám kovu a většiny vměstků je však tento způsob časově náročný a málo efektivní.

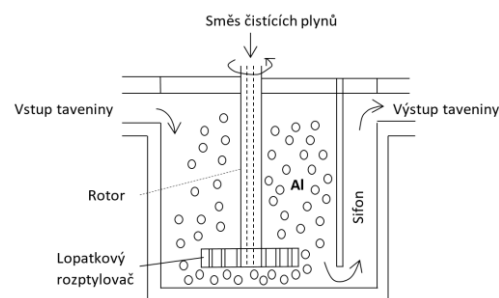
Princip odplyňování **probubláváním plyny** je založeno na difuzi vodíku do bublin s nulovým parciálním tlakem vodíku, s nimiž je vynášen na hladinu, nebo s nimi chemicky reaguje. Podle vzájemné reaktivity vodíku a vháněného plynu hovoříme o odplyňování inertními plyny nebo aktivními plyny.

Malá velikost bublin, dostatečně dlouhá dráha (tzn. jejich tvoření u dna dostatečně vysoké pánve) a dobré promíchávání (homogenizace) taveniny, jsou klíčovou podmínkou účinného odplynění. Rovněž je nutné, aby neutrální plyn neobsahoval vlhkost. Z tohoto důvodu je nutno používat vysoce čisté rafinační plyny, v případě dusíku čistoty 99,99 %.

Jako **aktivní plyny** se označují takové plyny, u nichž dochází ke vzniku chemické sloučeniny s vodíkem. Jako aktivní plyny se používají chlor nebo fluor (dříve i freon).



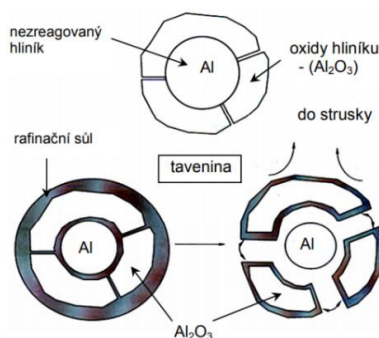
Obrázek – Princip odplyňování neutrálními a aktivními plyny



Obrázek – Schéma zařízení pro rafinaci hliníku

Krycí přípravky: krycí soli jsou směsí především chloridů a fluoridů alkalických kovů, zejména NaCl, KCl, Na_3AlF_6 (kryolit), NaF, KF, CaCl_2 a dalších. Jejich účelem je bránit přímému kontaktu taveniny s atmosferickým kyslíkem a s vlhkostí.

Rafinační přípravky: účelem rafinačních solí je odstranit z taveniny oxidické vměstky, snížit ztráty kovového hliníku, případně snížit obsah některých nežádoucích prvků. Chemicky se opět jedná o směs chloridových a fluoridových solí s přísadou dalších aktivních komponent, které s nimi reagují a ovlivňují povrchové napětí mezi kovem a oxidy. Cílem rafinace je pomocí rafinačních přípravků rozrušit oxidickou obálku a tak uvolnit nezreagovaný kov zpět do lázně.



Obrázek – Rozrušení oxidických obálek při rafinačním působení Na_2SiF_6

Filtrace: je účinný způsob zachycování vměstků. K tomuto účelu se používají ploché tkaninové filtry, kovová síťka nebo keramické filtry. Filtrace se provádí při přelévání taveniny z tavicích pecí do transportních pánví, v udržovacích pecích nebo přímo ve formách.

Úlohy k řešení

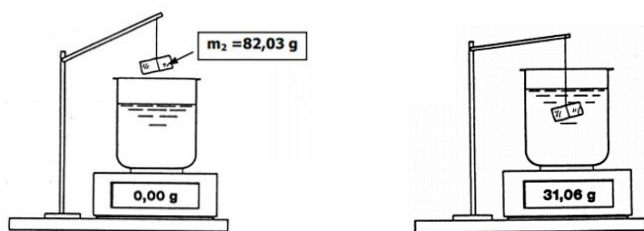
Laboratorní praktikum – stanovení naplynění hliníkových slitin

Úkolem laboratorního praktika je stanovení naplynění hliníkových slitin s cílem seznámení se s následujícími metodami: Dichte Index, Straube-Pfeifer test a Drosstest, které se běžně používají v moderních slévárnách hliníku.

Naplynění: se obvykle stanovuje tzv. metodou dvojího vážení. Principem metody je porovnání hustoty vzorku slitiny, který ztuhl při atmosférickém tlaku, se vzorkem, který ztuhl za podtlaku. Stejně jako v předchozím případě se využívá platnosti Sievertsova zákona, podle něhož je v kovu

za podtlaku nižší rozpustnost vodíku, a proto se při tuhnutí vyloučí více vodíkových bublin než při atmosférickém tlaku. Bubliny zůstávají v kovu uzavřeny a tím snižují jeho hustotu.

Tavenina hodnocené slitiny se odebere z tavicí pece a nalije do dvou zkušebních kelímků (kovových, keramických nebo z pískových směsí – podle výrobce) s objemem asi 40-80 ml. Jeden vzorek se nechá ztuhnout při atmosférickém tlaku, druhý za definovaného podtlaku ve vakuované komoře. Hustota vzorku, který ztuhl při atmosférickém tlaku $\rho_{vz\ atm}$, a vzorku, ztuhlého ve vakuu $\rho_{vz\ vak}$, se zjistí zvážením na vzduchu a po ponoření do kádinky s vodou s využitím principu Archimedova zákona. Při vážení ve vodě je vzorek zavěšen na závěsném zařízení tak, že váha registruje pouze přírůstek hmotnosti vody, vytlačené objemem ponořeného vzorku.



<p>1. fáze: příprava vzorek zvážit zavěsit vzorek vytárovat váhy</p>	<p>2. fáze: určení objemu ponořit zavěšený vzorek objem vzorku $\rightarrow V_{vz}$ $V_{vz}=31,06\text{ cm}^3$</p>	<p>3. fáze: určení hmotnosti vzorku hustota vzorku $\rightarrow \rho_{vz}$ $\rho_{vz}=2,64\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$</p>
---	--	---

Obrázek – Postup měření při metodě dvojího vážení

Výpočet hustoty vzorku ztuhlého při atmosférickém tlaku a vzorku ztuhlého za podtlaku se provádí podle následujícího schématu:

✓ *Objem vzorku:*

$$V_{VZ} = \frac{m_{vz\ H2O}}{\rho_{H2O}}$$

✓ *Hustota vzorku:*

$$\rho_{VZ} = \frac{m_{vz\ at}}{V_{vz}} = \frac{m_{vz\ at}}{m_{v\ H2O}} \cdot \rho_{H2O}$$

kde: $m_{vz\ H2O}$ je hmotnost vzorku ponořeného ve vodě (kg),

$m_{vz\ at}$ - hmotnost vzorku na vzduchu (kg),

ρ_{H2O} - hustota vody ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),

ρ_{vz} - hustota vzorku kovu ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$).

✓ Obsah vyloučeného plynu je roven rozdílu měrných objemů obou vzorků:

$$V_{H2} = \frac{1}{\rho_{vz\ vak}} - \frac{1}{\rho_{vz\ atm}} \quad (\text{m}^3\text{H}_2/\text{kg Al})$$

Z hustot $\rho_{vz\ atm}$ a $\rho_{vz\ vak}$ se určí tzv. „index hustoty“ (z německého „Dichte Index“ označovaný jako DI). Některé přístroje počítají index hustoty již automaticky:

$$DI = \frac{(\rho_{vz atm} - \rho_{vz vak})}{\rho_{vz atm}} \quad (\%)$$

Měřicí zařízení sestává z těchto částí:

- ✓ vakuované komory s možností přesného nastavení tlaku. Obvykle se pracuje s tlakem 8 kPa,
- ✓ přesných vah (požadovaná přesnost 0,01 g), s nádobkou na vodu a závěsem zkušební vzorku. Je výhodné, když váhy umožňují tárování.

Metoda dvojího vážení je v současné době ve slévárnách asi nejběžnější, poměrně přesnou metodou. Hodnota indexu hustoty se při běžném lití obvykle pohybuje kolem několika procent. Moderní přístroje určené pro tuto metodu vyžadují pouze zvážení vzorku na vzduchu a ponoření do vody. Výpočet hustoty se provádí automaticky. Protože vznik plynových bublin úzce souvisí s přítomností cizích zárodků, vyjadřuje index hustoty souhrnný vliv obsahu plynů a oxidických vměstků – tedy skutečný sklon slitiny ke vzniku bublin.

Provozní metody: jsou určeny pro orientační, převážně pouze kvalitativní hodnocení stupně naplynění taveniny. Jsou obvykle založeny na optickém pozorování a vyhodnocení vzhledu hladiny vzorku kovu, který ztuhl při atmosférickém tlaku nebo za podtlaku. Vodík se při tuhnutí vylučuje z kovu v podobě bublin, které v něm expandují a zůstávají uzavřeny pod tuhnoucí kůrou. Objem bublin kompenzuje objemový úbytek kovu v důsledku stahování při tuhnutí a vznik bublin se tak projeví „růstem“ vzorku. Hladina vzorku s nízkým obsahem vodíku má proto propadlý tvar, hladina naplyněného vzorku má tvar vypuklý.

Straube–Pfeifferův test: při testu Straube-Pfeiffer jsou vzorky rozříznuty středem:

- ✓ plochy řezu jsou poté porovnány s jinými. Velikost a množství „dutin“ dávají informaci o vměstcích. Pro tento test se vzorky zhotovují při 30 mbar.



a) Straube–Pfeifferův test



b) Drosstest

Obrázek – Ukázka výsledků provozních zkoušek naplynění hliníkových slitin

Drosstest: určování nekovových nečistot:

- ✓ Drosstest je založen na skutečnosti, že nečistoty vakuovaného vzorku (0 bar) vyplavou na povrch. Po ztuhnutí vzorku jsou nečistoty viditelné na povrchu a je možné vzorky porovnávat.

Úkolem laboratorního praktika je studium naplynění hliníkových slitin dle metod používaných v provozních podmínkách představující Dichte Index, Straube-Pfeiffer test a Drosstest. Jednotlivé úkoly lze shrnout do následujících bodů:

- ✓ studium a vyhodnocení naplynění hliníkových slitin následujícími metodami: Dichte Index,

Straube-Pfeiffer test a Drosstest, a to na sadě vzorků označených písmeny A, B, C ... atd.,

- ✓ *provedení analýzy sad vzorků hliníkových slitin A, B, C ... atd. v laboratorních podmínkách se zaměřením na Dichte Index,*
- ✓ *posouzení a vyhodnocení Dichte Indexu ze sady vzorků hliníkových slitin se zaměřením na dosahované hustoty jednotlivých vzorků ztuhnutých při atmosférickém tlaku $\rho_{vz, atm}$ a ztuhlých ve vakuu $\rho_{vz, vak}$,*
- ✓ *provedení analýzy sady vzorku hliníkových slitin A, B, C ... atd. v laboratorních podmínkách se zaměřením na Straube-Pfeiffer test a Drosstest,*
- ✓ *posouzení a vyhodnocení Straube-Pfeiffer test a Drosstest ze sady vzorků hliníkových slitin se zaměřením na velikost a množství „dutin“ dávají informaci o vměstcích, a dále na „nečistoty“ viditelné na povrchu,*
- ✓ *vyhodnoťte strukturu jednotlivých sad vzorků se zaměřením na množství „dutin“ a „nečistot“ na povrchu a popište doplněte fotodokumentací,*
- ✓ *na základě fotografií proveďte vizuální hodnocení se zaměřením na výskyt vad,*
- ✓ *vypracování laboratorního protokolu „Stanovení naplynění hliníkových slitin“.*

12.5 Zajímavosti z dané problematiky

www.casopis-slevarenstvi.cz/cs/

12.6 Kontrolní otázky

1. Charakterizujte úkoly tavicích pecí.
2. Charakterizujte úkoly udržovacích pecí.
3. Popište princip a účel kelímkových pecí.
4. Definujte princip šachtových pecí a jejich účel.
5. Charakterizujte úkoly dávkovacích pecí.
6. Uveďte cíl úpravy chemického složení taveniny.
7. Definujte vliv očkování a modifikace na vlastnosti slitin.
8. Uveďte princip a jednotlivé technologie rafinace slitin neželezných kovů.
9. Popište princip odplynování probubláváním plyny.
10. Popište úlohy rafinačních solí a mechanismus působení.
11. Definujte princip filtrace slitin neželezných kovů.

12.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- CHRÁST, Jaroslav. *Slévárenská zařízení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-720-4456-7. **str. 67-71**
- BOLIBRUCHOVÁ, Dana. *Zlievarenska metalurgia a technológia: návody na cvičenia*. V Žiline: Žilinská univerzita, 2004. ISBN 80-807-0263-2. **str. 47-58**
- MORES, Antonín; NĚMEC, Milan. *Technologická zařízení sléváren*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04490-2. **str. 33-36**
- JAGOŠOVÁ, Adriana. *Pece používané při výrobě odlitků z neželezných slitin*. Brno, 2018. Bakalářská práce. VUT v Brně. **str. 20-30**

13 Kapitola: Základní metody odlévání slitin neželezných kovů

13.1 Klíčová slova

metody odlévání neželezných kovů, lití do netrvalých forem, lití do kovových forem, vady slitin neželezných kovů

13.2 Cíle kapitoly

Cílem kapitoly je studenta seznámit se základními metodami odlévání slitin neželezných kovů spolu s definováním vad a možnostmi jejich odstranění.

13.3 Úvod do kapitoly

Pro výrobu odlitků z hliníkových slitin se používají téměř všechny známé slévárenské metody. Vzhledem k poměrně nízké tavicí teplotě není žáruvzdornost formovacích hmot velkým problémem a rovněž při gravitačním lití do kovových forem vyhovují běžné nelegované slitiny železa. Pouze při lití za zvýšených sil je tepelné a mechanické namáhání tak velké, že pro výrobu forem se musí používat vysokolegované oceli.

13.4 Výklad

Odlévání do netrvalých forem: netrvalé (jednorázové) se při vyjmutí odlitku z formy zničí.

Lití do pískových forem: odlévání do pískových forem je velmi flexibilní metodou, která je vhodná pro všechny hmotnostní kategorie odlitků. Používá se především pro kusovou a malosériovou výrobu menších odlitků.

V-proces: je metodou, která se ve světě uplatňuje ve stále větší míře pro výrobu tvarově složitých odlitků s vnitřními dutinami, které by bylo nutno vyrobít komplikovanými jádry. Typické je použití v automobilovém průmyslu pro výrobu hlav válců, výfukového potrubí nebo složitých skříňovitých odlitků.



Obrázek – Lití do netrvalé pískové formy

Lití do skořepinových forem: metoda lití do skořepinových forem, vyrobených metodou vytavitelného modelu, je velmi vhodnou technologií pro menší, tvarově komplikované odlitky z hliníkových slitin. Pro výrobu forem se obvykle používá křemenná keramika. Vzhledem k malému mechanickému a tepelnému namáhání se odlévá do samonosných skořepin, které mají menší počet obalů, než je obvyklé při lití slitin železa nebo niklu. Formy bývají před litím předehřáté asi na 200 až 300 °C. Odlitky mají vysokou přesnost, řadu rozměrů je možno předlévat „na hotovo“.



Obrázek – Ukázka skořepinové formy

Odlévání do kovových forem: do trvalých kovových forem se odlévají především odlitky menších až středních rozměrů. Účelnost použití kovových forem je limitována především náklady na jejich zhotovení.

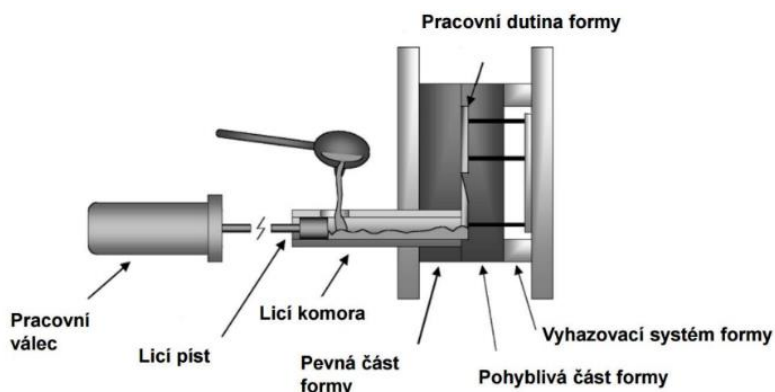


Obrázek – Odlévání do kovových forem

Gravitační lití do kovových forem: jedná se o poměrně jednoduchou technologii. Formy bývají obvykle zhotoveny odléváním z litiny s lupínkovým nebo kuličkovým grafitem. Povrch forem se periodicky ošetřuje nátěry, které zamezují lepení odlitků ke kokile a rozpouštění železa. Nálitky mohou být ošetřeny tepelně-izolačními nátěry, event. je možné do nálitků zakládat izolační nebo exotermické vložky.

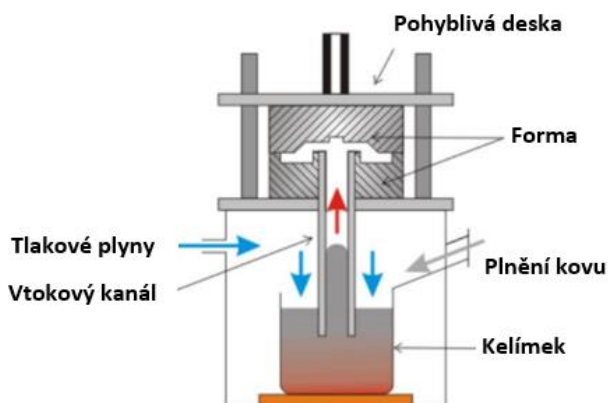
Tlakové lití: je nejdůležitější technologií výroby hliníkových odlitků. Principem výroby je vstříkávání roztavené slitiny do dutiny kovové formy pod vysokým tlakem až 250 MPa. Za těchto podmínek je možné vyrábět tvarově velmi komplikované odlitky. Maximální velikost odlitků, které se na konkrétním stroji dají vyrobit, je limitována maximální hmotností kovu a uzavírací silou stroje. Je to hodnota síly, kterou jsou svírány obě poloviny formy.

Podle konstrukce se tlakové stroje dělí na dva základní typy, se **studenou** a s **teplou komorou**. Podle směru pohybu plnicího pístu mohou být stroje se svislou nebo vodorovnou komorou. Slitiny hliníku se v současné době odlévají téměř výhradně na strojích se studenou horizontální komorou.



Obrázek – Schéma procesu vysokotlakého lití

Nízkotlaké lití: stroj pro tuto technologii je tvořen tlakotěsnou udržovací pecí, nad kterou je upnuta dělená kovová forma, obvykle s vodorovnou dělicí rovinou. Tavenina v kelímku pece je se spodním dílem formy propojena stoupačí trubicí ze žáruvzdorného materiálu tak, že trubice spodním okrajem zasahuje pod hladinu kovu. Odlévání se provádí zvýšením tlaku nad hladinou kovu, čímž je kov z kelímku vytlačován stoupačí trubicí vzhůru do formy. Kvalita odlitků, vyrobených touto metodou, je velmi vysoká.



Obrázek – Schéma procesu nízkotlakého lití

Kontrola odlitků a opravy vad: během dokončovacích operací se provádí průběžná kontrola odlitků, jejímž cílem je zachycení odlitků se zjevnými vadami a jejich vyřazení z výroby. Další testování jakosti se provádí podle požadavků zákazníka, přičemž se provádí zejména:

- ✓ *rozměrová kontrola,*
- ✓ *zkoušky struktury,*
- ✓ *zkoušky mechanických a fyzikálních vlastností,*
- ✓ *nedestruktivní kontrola odlitků prozařováním a ultrazvukem,*
- ✓ *penetrační zkoušky nebo zkoušky těsnosti.*

Impregnace odlitků: v případě, kdy se vyžaduje těsnost odlitků vůči průniku tlakových medií, provádí se zkoušky těsnosti. Těsnost se kontroluje téměř výhradně pomocí přetlaku plynů, neboť stěna odlitků je pro plyny podstatně propustnější než pro kapaliny. Dutina odlitků se uzavře vhodnými zátkami, odlitky se ponoří do vody a natlakuji vzduchem. Průnik plynu je indikován vznikem bublin.

Izostatické lisování za tepla: HIP (hot isostatic pressing) se používá k odstranění dutin a zvýšení mechanických a únavových vlastností odlitků. Výsledkem je zvýšení vnitřní homogenity a hustoty slitiny. Odlitky jsou umístěny v tlakové komoře izostatického lisu, ohřáty na teplotu blízkou teplotě solidu příslušné slitiny a tlak v komoře lisu je zvýšen na hodnoty kolem 100 MPa.

Opravy zavařováním: zavařováním se odstraňují lokální vady typu dutin, prasklin nebo defekty tvaru (např. podříznutí při odstraňování náliček nebo místní podbroušení apod.). Podmínkou použití této metody je přípustnost svařování pro daný odlitek.

13.5 Zajímavosti z dané problematiky

www.casopis-slevarenstvi.cz/cs/

13.6 Kontrolní otázky

1. Vyjmenujte technologie odlévání hliníkových slitin do netrvalých forem.
2. Popište technologii odlévání do pískových forem.
3. Uveďte a popište technologii lití do skořepinových forem.
4. Vyberte technologie odlévání do kovových forem.
5. Uveďte princip technologie tlakového lití.
6. Charakterizujte a popište technologii nízkotlakého lití.
7. Vyjmenujte zkoušky jakosti odlitků nejčastěji požadované zákazníky.
8. Definujte princip a účel impregnace odlitků.
9. Uveďte, k čemu je používána technologie o názvu izostatické lisování za tepla.
10. Definujte princip oprav zavařováním.

13.7 Doporučená studijní literatura

Problematiku k dané kapitole naleznete na stránkách uvedených za publikací.

- ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6. str. 98-108
- *Slovácké strojírný, a.s.: Gravitační lití do forem* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.sub.cz/mep-postrelmov/slevarna/gravitacni-liti-do-forem.aspx>
- *ČZ, a.s.: Technologie formování* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <http://www.czas.cz/?PageId=209>
- *MetalCasting s.r.o.: Gravitační odlévání do kovových forem* [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.metalcasting.cz/clanky/technologie/gravitacni-odlevani-do-kovovych-forem--kokil-.html>
- KAVKOVÁ, Danuše. *Slévárství: Lití pod tlakem* [online]. In: [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: https://www.moodle-trebesin.cz/pluginfile.php/9847/mod_resource/content/0/5.%20LIT%C3%8D%20TLAKOV%C3%89.pdf