



TEORIE SLÉVÁNÍ

Přednáška č. 10: Zásady metalurgické přípravy oceli na odlitky a zásady odlévání. Tavení v elektrických indukčních pecích, zvláštnosti vedení tavby slitinových ocelí, desoxidace, zásady odlévání oceli.

Autoři přednášky: **prof. Ing. Iva NOVÁ, CSc.**
Ing. Jiří MACHUTA, Ph.D.

Pracoviště: **TUL – FS, Katedra strojírenské technologie**



Metalurgie oceli na odlitky

Problémy výroby ocelových odlitků

- poměrně vysoké teploty lití cca 1550 až 1600 °C, které způsobují větší tepelné namáhání forem, což může přispívat více k povrchovým vadám odlitků (zapečeniny);
- vyzdívkové materiály pecí a pánví nesnesou dlouhodobě tak vysoké teploty;
- ocelové odlitky mají větší smrštění než litiny, proto se musí nálitkovat, to vede k tavení velkého množství kovu;
- pro výrobu forem na ocelové odlitky nejsou vhodná kyselá ostřiva (SiO_2), často na povrchu odlitku vznikají nízkotavitelné chemické sloučeniny přispívající ke vzniku vad - připečenin;
- ocelové odlitky nesmí být složité, musí mít větší tloušťku stěn než litinové odlitky (ocel má menší zabíhavost), vyrábí se odlitky pro jejich větší dynamické namáhání;



Metalurgie ocelí na odlitky

Oceli na odlitky se dle ČSN označují – základním šestimístným číslem **42 xx x x**

26 – uhlíkové
27, 28, 29 - slitinové

Šestá číslice vyjadřuje význačné vlastnosti ocelí

- 0 - obvyklá jakost
- 1 - zaručenou mez průtažnosti
- 2 - zaručenou vrubovou houževnatost
- 3 - zaručenou vrubovou houževnatost a svařitelnost
- 5 - zvýšená odolnost proti korozi
- 6 - zaručená mez kluzu a zvýšená odolnost proti korozi
- 7 – zaručená vrubová houževnatost a zvýš. odolnost proti korozi
- 8 – zaručená vrub. houž., svařitelnost a odol. proti korozi
- 9 – zaručená nejmenší magnetická indukce

Pátá číslice *u uhlíkových ocelí* vyjadřuje pevnost v tahu

- 3 – 300 až 390 MPa
- 4 – 400 až 490 MPa
- 5 – 500 až 590 MPa
- 6 – 600 až 690 MPa
- 7 – 700 až 790 MPa

Pátá číslice *u slitinových ocelí* udává přísadovou skupinu

- 0 – oceli C a (V);
- 1 – oceli Mn, Mn (V,Cr) do 5 % přísad,
- 2 – oceli Si, Si - Mn , Si (Cr)
- 3 – oceli Cr, Cr-Mn, Cr, W, Cr (V) do 5 % přísad
- 4 – oceli Mo, Mo,- Cr, Mo-V - Cr
- 5 – oceli Ni, Ni-Mo, Ni-Cr, Ni-Cr-Mo do 10 % přísad
- 6 – oceli speciální na bázi Mn přes 5 % přísad,
- 7 – oceli na odlitky trvalých magnetů
- 8 – oceli rychlořezné

Prvky uvedené v závorce jsou korigující přísady, které příliš nemění základní charakter této slitiny. Jejich obsah nebývá větší než 10 až 20 % obsahu hlavních přísadových prvků.

Metalurgie oceli na odlitky

Uhlíkové oceli na odlitky

- označují se ČSN 42 26 xx, kdy pátá číslice charakterizuje pevnost v tahu;
- šestá číslice vyjadřuje zvláštní vlastnosti oceli na odlitky.

Normy ČSN představují cca 20 druhů uhlíkové oceli

- mezi nejpoužívanější oceli patří ČSN 42 2650 až 42 2653, tj. oceli, které mají pevnost 500 MPa a mají zaručenou houževnatost a svařitelnost.
- protože však na mechanické vlastnosti má vliv uhlík, pak je dělíme ještě na oceli s nízkým, středním a vysokým obsahem uhlíku:

Metalurgie oceli na odlitky

Oceli na výrobu odlitků - jsou slitiny železa s jinými prvky. Jejich obsah uhlíku je obvykle nižší než 1,7 %.

- slouží pro výrobu nejnáročnějších konstrukčních odlitků, které mají vykazovat značnou pevnost až **800 MPa** a dobré plastické vlastnosti. Při správném zpracování se ocel na odlitky vyrovná oceli tvářené.

Ocel na odlitky lze v podstatě rozdělit na:

- *uhlíkové* - s nízkým, středním, vysokým obsahem uhlíku;
- *slitinové* - nízkolegované, středně legované a vysokolegované oceli;

Metalurgie oceli na odlitky

Oceli s nízkým obsahem uhlíku - obsahují uhlíku méně než 0,2 %, max. 0,05 % P, 0,05 % S.

- množství uhlíku se řídí tloušťkou stěn odlitku.
- čím je tl. větší, tím má být větší obsah, aby nepoklesla pevnost odlitku. Tyto oceli mají vysokou tažnost a kontrakci, ale nižší pevnost, tvrdost i slévatelnost.
- maximální pevnost bývá 450 MPa, HB 140, dobrá svařitelnost.
- smrštění těchto ocelí je velké a je jednou z příčin mikrostaženin a vměstků;

Metalurgie oceli na odlitky

Oceli se středním obsahem uhlíku - obsah uhlíku bývá 0,25 až 0,45 %, 0,07 % S a 0,05 % P;

- dosahují pevnost 400 až 600 MPa.
- patří sem oceli ČSN 42 2641 až 42 2659.
- vlivem vyššího obsahu uhlíku je **zabíhavost větší** než u ocelí nízkouhlíkových;

Metalurgie oceli na odlitky

Oceli s vysokým obsahem uhlíku - obsahují 0,45 až 0,55 % C, 0,05 % S, 0,05 % P.

- jsou označovány ČSN 42 2661 až 42 2671.
- pevnost ocelí je 700 až 800 MPa.
-
- mají nepatrný sklon ke vzniku trhlin, ale snížená tepelná vodivost ocelí s vysokým obsahem uhlíku podporuje vznik prasklin.
- proto se odlitky nechávají chladnout ve formě.

Metalurgie oceli na odlitky

Slitinové oceli na výrobu odlitků

- používají se na výrobu odlitků, které budou více tepelně namáhány;
- oceli mají vyšší fyzikálně-mechanické vlastnosti, dobrou prokalitelnost a odolnost proti korozi.
- podle obsahu hlavního přísadového prvku se oceli nazývají křemíkové, manganové, uhlíkové, chromové, atd.

Podle množství slitinových prvků je dělíme na:

- nízkolegované;
- střednělegované;
- vysokolegované;

Metalurgie ocelí na odlitky

Charakteristika a použití vybraných ocelí na výrobu odlitků

- **ČSN 422630** – ocel je vhodná pro výrobu odlitků strojních součástí, mostní konstrukce. Svařitelnost je zaručená do tl. 35 mm, je určena pro méně náročné svařence.
- **ČSN 422760** – ocel manganová (tzv. Hedfieldova) – austenitická, vhodná pro srdcovky výhybek, zuby rypadel (součásti vystavené značnému dynamickému namáhání), vhodná ve stavu austenitizačně žíhaném na odlitky, které jsou vystavené značnému opotřebení. svařitelnost obtížná,
- **ČSN 422955** – ocel chromniklová, austenitická, žáruvzdorná. Vhodná pro odlitky proti žáru do teploty 1200 °C, vhodná pro různá tepelná zařízení. Svařování tavné velmi dobrá.

Ocel (ČSN)	Chemické složení vybraných ocelí na odlitky [%]								
	C	Mn	Si	Cr	V	Ni	Cu	P max.	S Max.
422630	0,1-0,2	0,4-0,8	0,2-0,5	-	-	-	-	0,05	0,09
422760	1,1-1,5	12-14	max. 0,7					0,1	0,05
422955	max.0,35	0,4-0,7	max.1,5	20-22	-	37-40		0,04	0,07

Metalurgie oceli na odlitky

- jednou z nejdůležitějších ocelí je tzv. **Hadfieldova - manganová austenitická**, která obsahuje 1,1 až 1,4 % C, 12 až 14 % Mn, max. 0,7 % Si, 0,05 % S.
- pevnost v tahu této oceli je 750 MPa, 300 HB.
- má velkou odolnost proti opotřebení, používá se na drtiče kamene. Tavní teplota je 1340 °C.
- vykazuje velmi dobrou zabíhavost, musí se však odlévat s dostatečnou rychlostí, aby se předešlo vzniku zapečenin.
- smrštivost Haedfieldovy ocele je 2,4 až 3,2 %. Po odlití je velmi křehká.

Metalurgie oceli na odlitky

Dále lze oceli na odlitky podle metalurgie rozdělit

- **neuklidněné** - nepřidává se dezoxidační prvek, zůstane velký obsah rozpuštěného FeO. Při krystalizaci v kokile reaguje při ochlazování uhlík s rozpuštěným kyslíkem za vzniku CO a vzniká tzv. uhlíkový var. Bubliny CO z velké části unikají z oceli, zčásti ale zůstávají jako bubliny ve ztuhlém kovu (neuklidněná ocel má dobrou jakost povrchu, dobrou svařitelnost, je vhodná pro výrobu svařovaných trub a tenkých plechů a pásů. Nevýhodou je sklon ke stárnutí a silná segregace uhlíku i síry – nevhodná pro namáhané konstrukce);
- **polouklidněná** - vzniká tehdy, když se uhlíkový var zastaví před ukončením reakce uhlíku s kyslíkem. To lze zabezpečit např. zvýšením tlaku (mechanicky) nebo přidavkem silnějšího dezoxidovadla, případně obojím dohromady;

Metalurgie oceli na odlitky

Metalurgické rozdělení ocelí

- **uklidněná** - neobsahuje bubliny CO, jejichž vznik se zamezí přidávkem dezoxidovadla (Mn, Si, Al) do taveniny před jejím odléváním. Dezoxidační prvky vykazují vyšší slučivost s kyslíkem než, uhlík. Tím se zamezí reakci rozpuštěného kyslíku s uhlíkem, při které vznikají bubliny CO.

Uklidněná ocel je základem přípravy taveniny pro výrobu odlitků.

Neuklidněná nebo polouklidněná ocel se může použít pro výrobu ingotů hutních polotovarů, které se následně tváří, čím se vytváří komplaktnost jejich struktury.

Metalurgie oceli na odlitky

Proces tavení (metalurgický proces) je závislý na charakteru vyzdívky slévárenské pece. Může být ***kyselý*** a ***zásaditý***.

Kyselý pochod spočívá v tom, že vyzdívka tavící pece je kyselá (např. dinas, křemičitý písek) a struska nad taveninou musí být též kyselého charakteru (převaha SiO_2).

- používáme tam, kde nepotřebujeme snížit obsah síry a fosforu nebo chceme materiál jen přetavit (roztavit), pak se většinou používají elektrické indukční pece, které dosahují největší teploty ve středu kelímku.

Metalurgie oceli na odlitky

Zásaditý pochod obnáší zásaditou vyzdívku (magnezit, chrommagnezit) i zásaditou strusku (převaha CaO).

- tento pochod použijeme pokud chceme z taveniny odstranit **fosfor a síru** nebo neznáme-li chemické složení taveniny, popř. vsázky.
- tyto prvky při odstranění přechází z taveniny do strusky na základě difúzního pochodu. Difúzi podporuje poměrně vysoká teplota, proto vysokou teplotu na strusce (na hladině taveniny) docílíme prostřednictvím obloukové elektrické pece. Tím jsou umožněny metalurgické reakce mezi struskou a kovem.

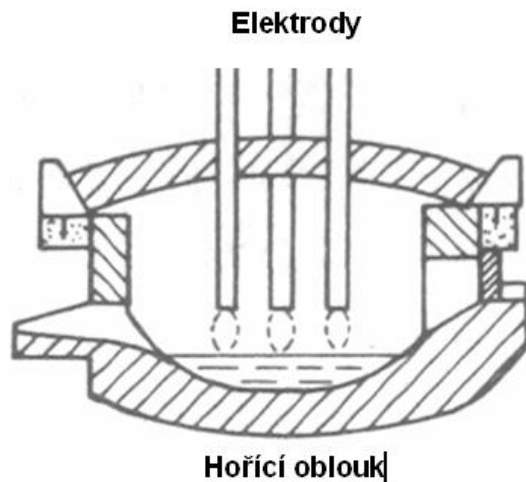
Metalurgie oceli na odlitky

Pece obloukové - oblouk hoří mezi elektrodami a lázní (ve středu oblouku jsou teploty cca 7000 °C).

- tímto typem pecí se docílí vysoká teplota na strusce, která umožňuje difúzní pochody mezi taveninou a struskou.
- tyto pece mohou pracovat se zásaditým nebo kyselým metalurgickým procesem.
- při zásaditém procesu lze snížit obsah fosforu a síry v tavenině, pak lze použít i méně kvalitní vsázku.
- pracuje-li pec s kyselým metalurgickým procesem, pak nelze z taveniny odstranit škodlivé prvky - fosfor, síru, které zhoršují mechanické vlastnosti oceli.
- v českých slévárnách se taví ocel v elektrických obloukových pecích se zásaditou vyzdívkou, systém HEROULT; 3 až 10 t.

Metalurgie oceli na odlitky

Ukázka elektrické obloukové pece



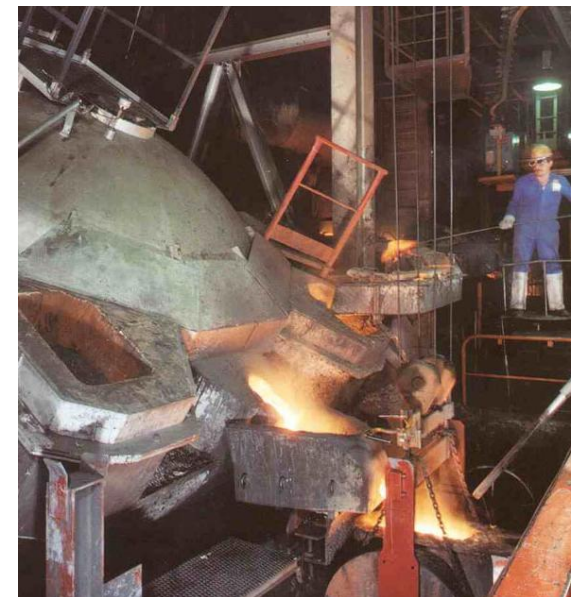
Elektrická oblouková pec s přímým ohřevem – elektrody jsou uloženy svisle a oblouk se vytváří mezi každou elektrodou a kovovou vsázkou.

Elektrická oblouková pec 25 t v ocelárně Poldi Hütte, Kladno. Grafitové elektrody a klenba pece jsou zdviženy před nasazením nové vsázky. Foto J. Hodan, 2006.

Metalurgie oceli na odlitky

Elektrická kelímková indukční pec

- která se používá zejména pro tavení oceli.
- na vnější straně keramického kelímku je vodou chlazený induktor, napájený ze zdroje střídavého proudu o frekvenci 50 až 1 000 Hz. V důsledku indukovaných vířivých proudů a elektromagnetických sil dochází uvnitř kelímku k intenzivnímu proudění materiálu, což se projevuje i kopulovitým vzednutím horní hladiny.
- pohyb taveniny zaručuje rovnoměrné promísení základní oceli s legovacími přísadami.
- u pecí napájených přímo ze sítě o frekvenci 50 Hz je maximální měrný výkon omezen přibližně na 300 kW na tunu taveniny.



Metalurgie oceli na odlitky

Indukční pece - jsou to pece, kde jádro tvoří kovová vsázka a indukční cívka.

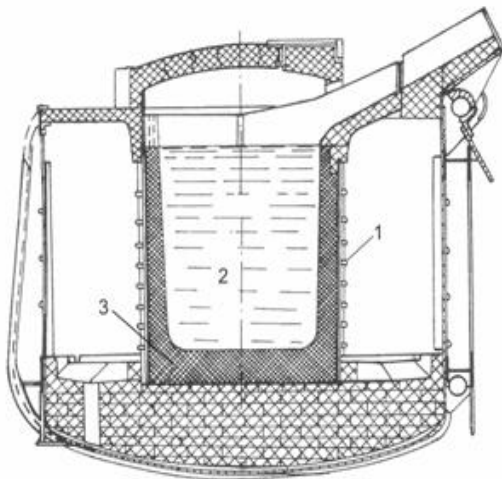


- docilují vyšší teplotu v tavenině než ve strusce.
- u těchto pecí se používá kyselý proces. Tyto pece jsou přetavovací, bez možnosti pracovat se struskou vysoké teploty. Kvalitu ocele je nutno docílit kvalitní vsázkou. Jsou vhodné pro malosériovou a kusovou výrobu. V českých slévárnách pracují s kyselou vyzdívkou (Suracit - 98 % SiO_2).

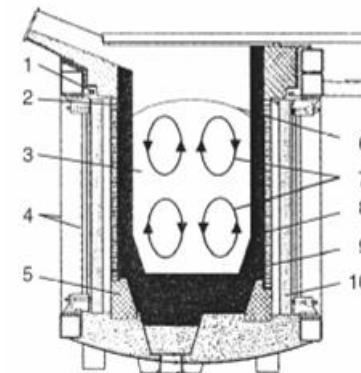
V českých slévárnách se ocel na odlitky převážně taví v elektrických obloukových pecích - systém HEROULT; 3 až 10 t a v kelímkových indukčních pecích - 5 t

Metalurgie oceli na odlitky

Ukázka elektrické indukční pece



Elektrická indukční pec s vertikálně uspořádaným tavicím žlábkem - měděným induktorem (1) se přivádí střídavý proud, přechodem indukovaného proudu mezi (1) a kovem (2) v kelímku (3) se kov ohřívá a taví



1 – kroužek spojený nakrátko, 2 – vodou chlazený prsteneč, 3 – tavenina, 4 – ocelová kostra, 5 – betonový prsteneč, 6 – kopulovitá hladina taveniny, 7 – pohyb taveniny, 8 – kelimek, 9 – induktor, 10 – svazek plechů

Metalurgie oceli na odlitky

Kovová vsázka

- ocelový odpad, vratný materiál, ocelové třísky;
- struskotvorné látky - podle charakteru procesu tavení - kyselý nebo zásaditý.

Etapy přípravy taveniny pro zásaditý proces (v el. obloukové peci)

- příprava vsázky - kovové, nekovové (struskotvorné látky);
- ohřev a roztavení vsázky a přehřátí taveniny;
- úprava taveniny
 - *snížení obsahu nežádoucích prvků např. P, S;*
 - *snížení obsahu kyslíku - dezoxidace (srážecí, difúzní, syntetickými struskami, vakuová);*
 - *snížení obsahu rozpuštěných plynů (např. profukování taveniny inertním plynem);*
 - odstranění nekovových vměstků (např. vyplouváním na povrch taveniny);
 - legování - zvýšení obsahu požadovaných prvků.

Metalurgie oceli na odlitky

Metalurgické operace s taveninou před odléváním

Metalurgie a ošetření taveniny ocele vyráběné v el. obloukové peci se zásaditým pochodem se provádí tzv. mateřská - dvoustrusková tavba, která se skládá ze dvou důležitých období:

- oxidační období;
- rafinační období.

Metalurgie a ošetření taveniny při tavení v indukční peci se používá jednostrusková tavba, tj. pouze rafinační období;

Přísady v průběhu tavby:

- struskotvorné - kusové (cca 5 cm): vápno (CaO); kazivec (CaF_2); drcený šamot ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$);
- oxidační - kusová železná ruda (Fe_2O_3 , Fe_3O_4), okuje;
- dezoxidační - feroslitiny a slitiny kovů; kovy pro srážecí dezoxidaci (Mn, Si, Al, Ca, Ti, Zr);
- k úpravě chemického složení - k nauhličení (surové železo - hematit); feroslitiny při tavení nelegovaných i legovaných ocelí (FeMn , FeSi , FeCr , FeMo , FeV) s různým obsahem přísadového prvku.

Výroba odlitků z legovaných ocelí

Výroba ocelových odlitků - lití do pískových forem, odlévají se taveniny uhlíkových, středně nebo vysoce legovaných ocelí.

- příprava taveniny se provádí v indukčních, popř. i v obloukových pecích
- rozměry odlitků jsou od 100 mm do 4000 mm.



Převzato z propagačních materiálů firmy,
Královopolská slévárna, s.r.o, prosinec 2012

Výroba ocelových odlitků

Literatura:

- [1] NOVÁ, I.: Teorie slévání. [Skripta], FS-TU v Liberci 2006;
- [2] MICHNA, Š., NOVÁ, I.: Technologie zpracování kovových materiálů. 1. vyd. Adin Prešov, 2008.
- [3] VETIŠKA, A.: Teoretické základy slévárenské technologie. 1. vyd. Praha 1974.