



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TAVÍCÍ AGREGÁTY VE SLÉVÁRNÁCH

MELTING EQUIPMENT IN FOUNDRIES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Toufar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vítězslav Pernica

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Tomáš Toufar
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Vítězslav Pernica
Akademický rok:	2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Tavící agregáty ve slévárnách

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro výrobu a zpracování kovů mají tavící agregáty ve slévárnách nezastupitelné místo. Svou konstrukcí jsou určeny pro zpracování daného typu kovů a jeho slitin. Výběr vhodného tavícího zařízení je dále volen nejen s ohledem na množství vyráběného sortimentu, ale i na metalurgické zpracování.

Cíle bakalářské práce:

Na základě rešerše na téma "Tavící agregáty ve slévárnách" popsat princip jednotlivých zařízení určených pro přípravu taveniny z kovů a jejich slitin a uvést jejich výhody, nevýhody a omezení pro jejich metalurgické zpracování.

Seznam literatury:

Chrást, J. (2006): Slévárenská zařízení. Brno: Akademické nakladatelství Cerm, 256 s., ISBN 8072044567.

Šenberger, J., aj. (2008): Metalurgie oceli na odlitky. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 311 s., ISBN 978-802-1436-329.

Roučka, J. (2004): Metalurgie neželezných slitin. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 148 s., ISBN 80-214-2790-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

TOUFAR Tomáš: Tavicí agregáty ve slévárnách

Cílem této bakalářské práce je popis vlastností a chod vybraných tavicích agregátů ve slévárnách. Stručně byla popsána historie zpracování kovů a vývoj tavicích agregátů. Na základě poznatků bylo provedeno rozdělení tavicích systémů používaných ve slévárenské praxi a u jednotlivých systémů byly popsány jejich výhody, nevýhody a použití. Na závěr byly tavicí agregáty zhodnoceny z technicko - ekonomického hlediska.

Klíčová slova: tavicí agregáty, zpracování kovů, rozdělení tavicích systémů

ABSTRACT

TOUFAR Tomáš: Melting equipment in foundries

The aim of this Bachelor thesis is a description of the properties and operation of selected melting equipment in foundries. History of metal processing and development of melting equipment are briefly described. Based on the findings, smelting systems used in foundry practice were classified and the individual systems were described in terms of their advantages, disadvantages and application. At the end of thesis, melting equipment was assessed from technical-economic point of view.

Key words: melting equipment, metal processing, classification of smelting systems

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOUFAR, Tomáš. *Tavící agregáty ve slévárnách*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vítězslav Pernica.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci na téma Tavící agregáty ve slévárnách jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....
Tomáš Toufar

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Vítězslavu Pernicovi za cenné připomínky a rady týkající se vypracování bakalářské práce. Dále bych také rád poděkoval všem rodinným příslušníkům, kteří mě podporovali při psaní bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 HISTORIE ZPRACOVÁNÍ KOVŮ A VÝVOJ TAVÍCÍCH PECÍ	11
2 KLASIFIKACE ZAŘÍZENÍ SLÉVÁREN	13
3 PECNÍ AGREGÁTY NA TAVENÍ LITIN	15
3.1 Kuplovna.....	16
3.1.1 Konstrukce kuplovnny.....	16
3.1.2 Zavážení kuploven.....	18
3.1.3 Typy kuploven.....	18
3.1.4 Bezvyzdívkové kuplovnny.....	19
3.1.5 Intenzifikace kuploven.....	20
3.2 Elektrická indukční pec.....	21
3.2.1 Kanálková indukční pec.....	22
3.2.2 Kelímková indukční pec.....	23
3.3 Rotační bubnová pec.....	26
3.3.1 Konstrukce a provoz pece.....	26
3.3.2 Metalurgie.....	27
4 PECNÍ AGREGÁTY NA TAVENÍ OCELI	29
4.1 Elektrická oblouková pec.....	29
4.1.1 Konstrukce EOP.....	31
4.1.2 Vyzdívky v EOP.....	32
4.1.3 Intenzifikace EOP.....	34
4.2 Elektrická indukční pec.....	34
5 PECNÍ AGREGÁTY NA TAVENÍ NEŽELEZNÝCH KOVŮ	35
5.1 Šachtová pec.....	36
5.2 Plamenná stabilní pec.....	38
5.3 Kelímková pec.....	38
5.4 Komorová pec.....	40
5.5 Indukční pec.....	41

5.6	Udržovací pece.....	41
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ AGREGÁTŮ.....	42
7	ZÁVĚR	43

Seznam použitých zdrojů

ÚVOD

V dnešní době mají odlitky ze slitin železných a neželezných kovů nezastupitelnou roli nejenom ve strojírenství, ale i v dalších odvětvích průmyslu. Výroba odlitků je závislá na zpracování tekutého kovu, který se získává z tavicích agregátů. Každá slévárna disponuje určitým typem tavicích pecí, které jsou voleny např. podle typu odlévaného kovu nebo jiných priorit, které si každá slévárna sama stanoví. Tavicí agregáty ve slévárnách výrazně ovlivňují její výrobnost, produktivitu a ekonomii provozu. Tyto hodnoty jsou závislé na správné volbě tavicího agregátu, jeho konstrukci a správném udržování. [1], [2], [3]

V bakalářské práci jsem se zabýval běžně používanými a dostupnými tavicími agregáty ve slévárnách. Nejprve bych se chtěl zaměřit na historii zpracování kovů a následně vývojem tavicích pecí. Poté v práci rozdělím slévárenské tavicí a udržovací pece do několika kategorií. Jedno z nejdůležitějších rozdělání je podle druhu taveného kovu. Každý kov má specifický způsob tavení, který není možný provést v jakémkoliv typu tavicího zařízení. Z toho důvodu existuje několik typů tavicích agregátů, které jsou v této práci popsány.

Na závěr bych chtěl rozebrat vybrané tavicí agregáty po technicko-ekonomické stránce. Zhodnotit jejich využití ve slévárnách podle několika faktorů, mezi které můžeme zahrnout míru znečištění vsázky, spotřebu energie, nároky na vybavení pece aj. Ve výsledku bych rád zjistil, který provoz pece je nejvíce efektivní a výhodný pro slévárnu.

1 HISTORIE ZPRACOVÁNÍ KOVŮ A VÝVOJ TAVÍCÍCH PECÍ

Už ze starší doby kamenné existují archeologické nálezy, které nasvědčují znalost člověka o železu. Bohužel ještě několik tisíc let neuměli lidé dosáhnout teplot potřebných pro tavbu železných rud. První kov, který lidé zpracovávali, byla měď. Člověk zjistil, že měď může být roztavena a snadno tvarována do požadovaného tvaru. Jedním z prvních důkazů byla měděná sekera, která se dochovala při objevu nejstarší přírodní mumie v Alpách. Lidé nakonec objevili, že spojení mědi s cínem vytvoří silnější a atraktivnější kov, který nazvali bronz a začala tak doba bronzová (3300 – 1200 př. n. l.). Do dnešní doby se dochovaly různé bronzové nože a brnění, které byly na rozdíl od výrobků z mědi tvrdší a odolnější.



Obr. 1 Replika měděné sekery [4]

První železné předměty vyrobeny tavbou železných rud se datují do období 3000 až 2000 let př. n. l. z oblasti Egypta a Mezopotámie. Brzy nato železo postupně vytlačilo bronz a to především z důvodu vyšší tvrdosti a velkého výskytu železných rud, i když jeho získávání bylo z hlediska vysoké teploty tavení rud technologicky náročnější. Železo se stalo nejvíce využívaným kovem, podle něhož je pojmenovaná jedna z etap lidské společnosti – doba železná (u nás asi v 8. století př. n. l. – 0).



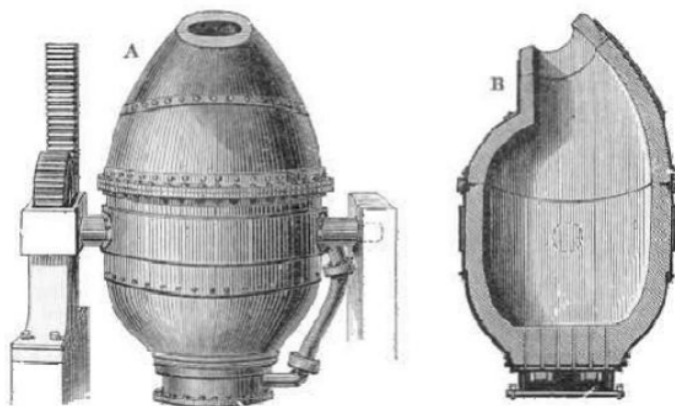
Obr. 2 Bronzové dýky [5]

První pozůstatky pecí na výrobu oceli se na našem území datují až s příchodem Slovanů. Tyto pece se nazývaly dýmačky.

Dýmačka je popisována jako kusová šachtová pec o výšce až 2 m, stavěná z kamene až na hrud' pece, který byl hliněný. Pec vytápělo dřevěné uhlí a redukovala velmi čisté rudy při teplotách do 1300°C. Výrobnost pece se pohybovala okolo 10 kg. První vysoké pece vytápěné dřevěným uhlím byly stavěny v 16. století a z důvodu vývinu vyšších teplot sloužily k výrobě surového železa, které se dále zkujňovalo ve výhních. Jedno zařízení dosahovalo denní výroby až 1 tuny železa.

Počátkem 18. století se začalo hojně dolovat černé uhlí. Anglický hutník Abraham Darby jako první použil ve vysoké peci černé uhlí, díky kterému nastal zlom ve výrobě železa. Veškeré železné hutě se začaly stěhovat poblíž nalezišť uhlí. Anglický podnikatel Henry Cort v roce 1784 poprvé použil pudlovací pece, které vedly ke zvýšení efektivity zkujňování surového železa. Surové železo se roztavilo v plamenné peci s mělkou nístějí, která z nedostatku dřevěného uhlí byla vytápěna černým uhlím. V průběhu oxidace nežádoucích prvků se postupně zvyšovala teplota tavení kovu a začala se vylučovat polotuhá zrna kujného železa. Produktem tohoto typu pece byla železná houba, která se upravovala na kulovité dejly a z nich se posléze kovááním na bucharu nebo lisu vyloučila struska. Denní výroba na pudlovací peci se pohybovala od 3 do 10 tun a spotřebovala zhruba třikrát méně paliva než dosud známé technologie. Ztráty kovu vzniklé propalem železa na pudlovacích pecích dosahovaly 12 až 15 %.

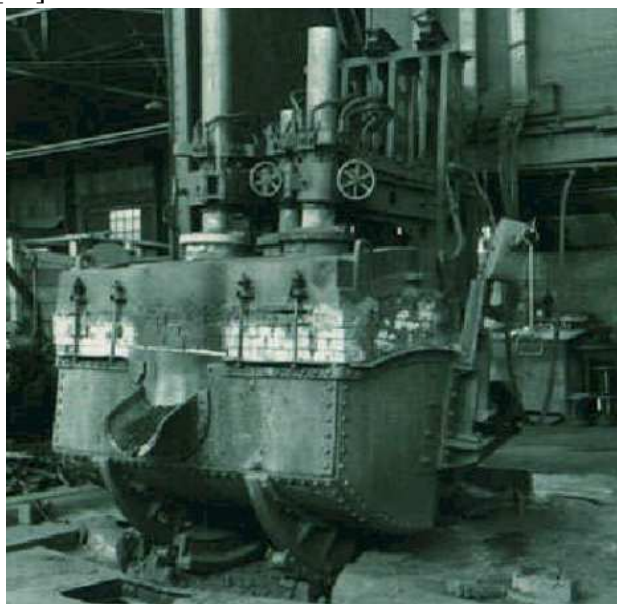
Obrovský vývoj ve výrobě oceli přinesla doba průmyslové revoluce. Novou technologií zkujňování surového železa si nechal patentovat v roce 1855 Henry Bessemer. Bessemerovy konvertory pracovaly na principu dmýchání vzduchu do roztaveného železa ve sklopné válcové nádobě, pomocí něhož je z taveniny odstraněn nadbytečný uhlík. Konvertor byl vyzděn kyselou vyzdívkou, která však neumožňovala výrobu oceli z rud s vyšším obsahem fosforu. Denní produktivita konvertoru mohla dosahovat až 1000 tun plávkové oceli. V ČR jsou Bessemerovy konvertory zapojeny do výroby ve Vítkovicích od roku 1866. Nedostatek Bessemerových konvertorů je odstraněn v roce 1878, kdy si nechal patentovat anglický vynálezce Sidney Gilchrist Thomas zásaditou vyzdívku pro konvertory. Thomasův konvertor byl využíván ke zpracování rud, které obsahovali velké množství fosforu. Tato nová technologie vyzdívky je také hned zavedena u nás a to v Kladně v roce 1889.



Obr. 3 Bessemerův konvertor [6]

V roce 1864 je do provozu uveden nový typ pecí. Siemens-Martinské pece mají uzavřenou nístěj a předežíváním topného plynu se vzduchem v regeneračních komorách, umožní dosáhnout vyšších teplot a tím zpracovat velké množství ocelového odpadu. Tento typ pece byl pro svůj efektivní systém využití tepla používán až do 2. poloviny 20. století. U nás byla tato technologie poprvé zavedena do výroby oceli v roce 1878 ve Vítkovicích.

První komerčně využívaná elektrická oblouková pec (EOP) Heroult byla zprovozněna v roce 1899 a jednalo se o jednofázový typ pece na stejnosměrný proud. Od roku 1902 byly ve slévárnách využívány pece Heroult a také elektrické indukční pece (EIP) Kjellin. Do obloukových pecí se poté převedla výroba ušlechtilých ocelí. První elektrická ocelářská pec na našem území byla zprovozněna v Kladně v roce 1908 typu Kjellin. [2], [5], [6], [7], [8], [9], [10]



Obr. 4 Elektrická oblouková pec Heroult [6]

V současné době je jedním z nejvyužívanějších zařízení pro výrobu oceli kyslíkový konvertor, tzv. LD pochod (Linz – Donavitz). Do provozu byly uvedeny v roce 1952 a proces zkujňování v nich probíhá dmýcháním kyslíku tryskami z vrchu přes struku do tekutého surového železa. Od 60. let minulého století se některé metalurgické reakce přesouvají z pece do pánve a tím začíná rozvoj sekundární metalurgie. [2], [7]

2 KLASIFIKACE ZAŘÍZENÍ SLÉVÁREN

Volba tavicího zařízení je významným činitelem slévárenského procesu. Podle taveného kovu je vždy nutné vhodně zvolit agregát pro jeho tavení. [1]

Slévárenské tavicí a udržovací pece se mohou dělit do několika kategorií [1], [11], [12]:

I. Podle druhu tavicí energie

a) Palivové

- na tuhá paliva (kuplovny a kelímkové pece)
- na plynná paliva (kelímkové, rotační a nístějové pece)
- na kapalná paliva (kelímkové a nístějové pece)

b) Elektrické

- indukční kelímkové a kanálkové (nízko a středofrekvenční)
- obloukové
- odporové

II. Podle tvaru tavicího prostoru

a) Šachtové (kuplovny)

b) Kelímkové (elektrické indukční a odporové, palivové)

c) Vanové (elektrické odporové a indukční, palivové)

d) Válcové (rotační pec)

e) Nístějové (plamenné)

III. Podle velikosti

IV. Podle vyzdívky

V. Podle typu tavených slitin

VI. Podle tepelné účinnosti

V tab. 1 je zobrazeno porovnání účinnosti vybraných tavicích agregátů.

Tab. 1 Porovnání účinností vybraných tavicích agregátů [12]

Typ pece	EOP	EIP	Kuplovna			Rotační pec
			Studenovětrná	Horkovětrná	Bez koksu	
Zdroj energie	Elektř.	Elektř.	Koks	Koks	Plyn/palivo	Plyn/palivo
Tepelná účinnost (%)	60 – 70	50 – 60	30 - 40	40 - 45	50 - 60	50 - 60
Odběr (kWh/t)	500 – 800	520 – 800	950 – 1200	800 – 900	700 – 800	600 - 800
Invest. náklady	Vysoké	Vysoké	Střední	Vysoké	Střední	Nízké

V tab. 2 je přehledně provedeno užití vybraných tavicích agregátů pro tavení kovu.

Tab. 2 Použití slévarenských tavicích a udržovacích pecí [1]

Pec/ slitina	Kuplovna	EOP	EIP		Rotační plynová	Plamenná plynová	Šachtová	Kelímková pec
			kanálková	kelímková				
Litina	T	T	U	T/U	T			U
Ocel		T		T				U
Al				T	T	T	T	U
Mg								T/U
Cu				T/U		T		T/U
Pb				T/U				T/U
Zn				T/U				T/U

T – tavení, U - udržování

3 PECNÍ AGREGÁTY NA TAVENÍ LITIN

Pro tavení litiny jsou využívány tyto typy tavicích agregátů [13]:

- kuplovný
- elektrické indukční pece
- rotační bubnové pece
- elektrické obloukové pece

Ve většině sléváren se litina taví v kuplovnách nebo elektrických indukčních pecích. Z ekonomického hlediska je kuplovna stále nejvýhodnějším tavicím agregátem pro tavení litin s lupínkovým grafitem, neboť vsázku lze měnit u nelegovaných druhů poměrem surového železa, ocelového šrotu, vratného materiálu, zlomkové litiny a obsahem přísadového koksu. V neprospěch využívání kuploven hovoří hlavně složité dodržování chemického složení, obtížná změna obsahu taveného kovu, limitující teplota kovu a zvýšení obsahu síry koksem. Nevýhody kuploven tak vedou v posledních letech k přechodu tavení litin do EIP, která je z hlediska ekologičnosti a využitelnosti vhodnější. V EIP lze dobře dodržet chemické složení, čehož se využívá hlavně při tavení litin s kuličkovým grafitem. Problémem EIP jsou jejich vysoké pořizovací a provozní náklady oproti kuplovnám.

Další alternativou náhrady kuploven jsou rotační bubnové pece. Po ekonomické stránce dosahují pořizovací a provozní náklady výhodnějších hodnot oproti EIP. Také z hlediska ekologičnosti mají rotační bubnové pece nižší náklady na životní prostředí. V těchto typech pecí je možné tavit všechny druhy litin, ale svojí kapacitou jsou vhodné maximálně pro střední slévárny, proto nejsou tolik rozšířené.

K tavení litin mohou být využívány i elektrické obloukové pece. Jejich využívání je velmi omezené a používají se pouze v ocelárnách oceli, která vyrábí odlitky z tvárné litiny a má k dispozici pouze obloukové pece. Jako nové zařízení pro tavení litin se však nestaví. [1], [13], [14]

Při volbě tavicího agregátu pro tavení litiny musíme zohlednit [1]:

- typ litiny
 - pro litiny s kuličkovým grafitem nebo legovanou litinu je vhodná EIP
- výroba taveniny
 - pro kampaňovitý proces je vhodná kuplovna, v dávkách taví indukční nebo rotační pec
- výkonnost nebo kapacita
- pružnost při změně slitiny a požadavků na čistotu
 - lépe se uplatňuje EIP nebo rotační pec
- dostupnost levného kovového odpadu
- přístupnost energetického zdroje
- emise a dopady na životní prostředí

3.1 Kuplovna

Kuplovny jsou řazeny do skupiny tzv. šachtových pecí s žáruvzdornou vyzdívkou, kde vsázka zaujímá celý objem pece. Veškerá kovová vsázka je dopravována výtahy a sázecím otvorem, umístěným v horní části šachty, přidávána do kuplovny. Vsázka se ohřívá a taví teplem, které vzniká spalováním koksu ve spodní části agregátu, tzv. nístěji. V oblasti nístěje jsou instalovány dmyšny pro přívod vzduchu, který slouží k urychlení spalování paliva. V oblasti dmyšen a horním okrajem tavicího pásma dochází k průběhu metalurgických reakcí a teploty nabývají nejvyšších hodnot. Veškeré nečistoty kovu jsou zachycovány pomocí strusky, která z důvodu nižší hustoty plave na hladině kovu. Při dosažení předepsané hladiny kovu je otevřen odpichový otvor a litina se vyleje přes kanál nebo odpichový žlab do pánve. Spalovací plyny, které se v kuplovně vytvoří při tavení, opouštějí pec komínem nebo jsou v některých případech dále zpracovávány. [1], [13], [14], [15]



Obr. 5 Kuplovna ve slévárně Heunisch [16]

3.1.1 Konstrukce kuplovny

Konstrukci kuplovny můžeme rozdělit na tři hlavní části [14]:

- komín – prostor nad zavážecím otvorem
- šachta – prostor mezi zavážecím otvorem a dmyšnami
- nístěj – prostor mezi dmyšnami a dnem kuplovny

Komín – slouží k odvodu spalin mimo prostor slévárny. V dnešní době většina moderních horkovětrných kuploven nemá komín, protože veškeré spaliny jsou odsávány do rekuperátoru a dále využívány. [14]

Šachta – je hlavní část pece. Tvar u starších kuploven byl válcový, u moderních se šachta směrem k nížěji rozšiřuje. Největšího rozměru nabývá v oblasti dmyšen, kde se průměr kuplovný pohybuje od 700 do 1400 mm. Existují i kuplovný s větším průměrem šachty, které jsou však využívány pouze ve velkých automobilních slévárnách. Průměr šachty ovlivňuje tavicí výkon kuplovný. [13], [14]

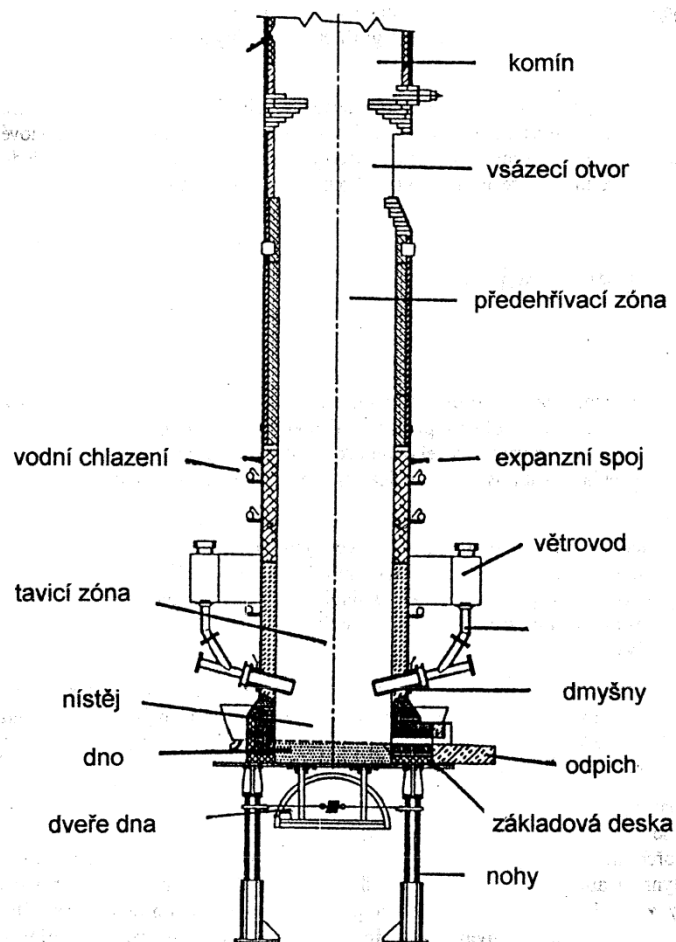
Okružní větrovod – přivádí vzduch od zdroje větru do jednotlivých dmyšen. [1]

Dmyšny – jsou měděné, vodou chlazené otvory, které se využívají k přívodu spalovacího vzduchu do pece. Počet dmyšen na obvodu kuplovný je 4 až 6, kdy mohou být v jedné nebo ve více řadách nad sebou. V dmyšnách je vyhotoven průzor, kterým je možné sledovat průběh tavení. Také je možné je otevřít a provést mechanické čištění, kdyby došlo k ucpaní dmyšen struskou. [1], [14]

Nístěj – má jiné funkce u kuploven s periodickým nebo kontinuálním odpichem. U kuploven s periodickým odpichem slouží k akumulaci kovu, a proto mívají výšku od 500 do 800 mm. V tomto případě je kov dlouho ve styku s koksem a dochází tak k velkému nasíření. Moderní kuplovný pracují s kontinuálním odpichem, kde nístěj neslouží jako zásobník kovu. Nístěj tak má výšku jen 300 až 400 mm a litina se struskou společně odtéká do sifonu. [13], [14]

Pracovní dvířka – je otvor umístěný ve stěně nístěje a slouží k zapálení koksu. Otvor je také využíván při nutných opravách a vypečování dna. [13], [14]

Dno – jeho konstrukce musí být dostatečně silná, aby unesla tíhu celé vsázky. Uzavření dna je zajištěno mechanicky nebo pneumaticky. Po ukončení kampaně se otevrou dvířka dna a vypadnou zbytky vsázky a vyhořelého koksu. [13], [14]

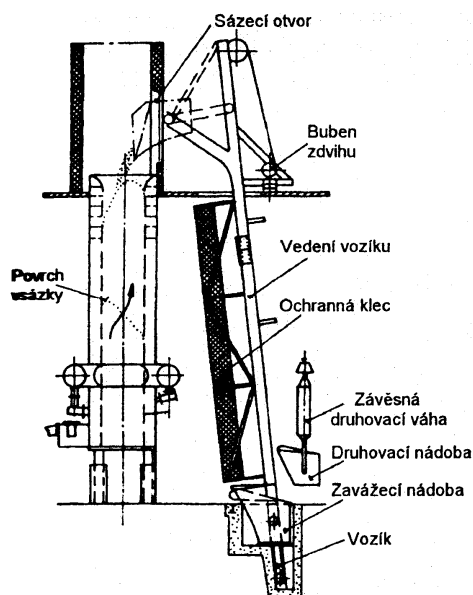


Obr. 6 Průřez kuplovný [14]

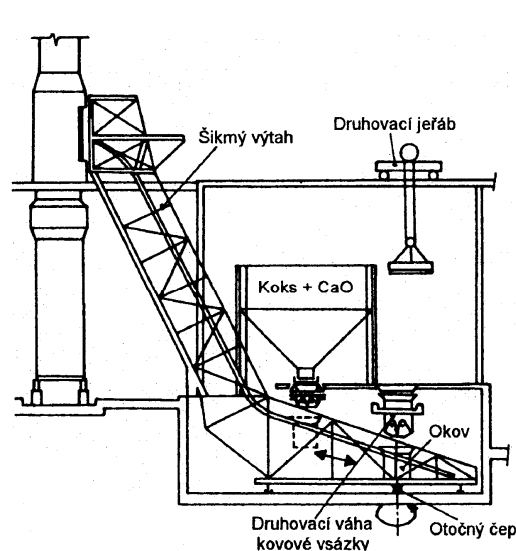
Sifon – u kuploven s kontinuálním odpichem slouží k oddělení strusky od kovu. Moderní pece mají odpich litiny a strusky společný na pevném předpecí a jedná se o tzv. tlakový sifon. [1], [14]

3.1.2 Zavážení kuploven

Volba zavážecího systému by měl zajistit rovnoměrné rozložení vsázky v kuplovně. Vsázka je zavážena zavážecím otvorem do kuplovny skipovým výtahem nebo zavážecím jeřábem se zavážecím okovem. Vozík skipu se překlápí a sype jeho obsah do šachty kuplovny. Vsázka by měla obsahovat surové železo, vratný materiál, litinový odpad, ocelový šrot, struskotvorné přísady, legury a koks. Tento způsob zavážení využívají zejména v provozu malých kuploven, kdy systém je jednodušší, levnější, ale vsázku do pece zaváží nerovnoměrně. [13], [14]



Obr. 7 Skipový výtah [1]



Obr. 8 Šikmý zavážecí výtah [1]

3.1.3 Typy kuploven

a) Studenovětrné kuplovný

Studenovětrné kuplovný používají nepřehříváný studený vzduch v dmyšnách. Dosahují menšího výkonů, a proto bývají v dnešní době nahrazovány indukčními pecemi. Tyto kuplovný jsou v nejčastějším provedení stavěny v párech, kdy jedna pec taví a druhá se vyzdívá. Je to z důvodu vyzdívkového materiálu, který v tavicím pásmu vydrží pouze jednu tavbu. Na opotřebení vyzdívky a její přeměnu na strusku má výrazný vliv intenzivní teplo a přítomnost účinků strusky. Studenovětrné kuplovný pracují 4 až 16 hodin denně. Poté je tavba ukončena, roztaví se všechna kovová vsázka, litina a struska se vypustí a otevře se kovové dno kuplovny. Vypadne spálený základový koks a pískové dno. V případě intenzivního chlazení kuplovny vodou, mohou pracovat i v několikátýdenním nepřetržitým provozu. Jako zdroj větru slouží převážně vysokotlaké odstředivé ventilátory a dmychadla s rotačními písty.

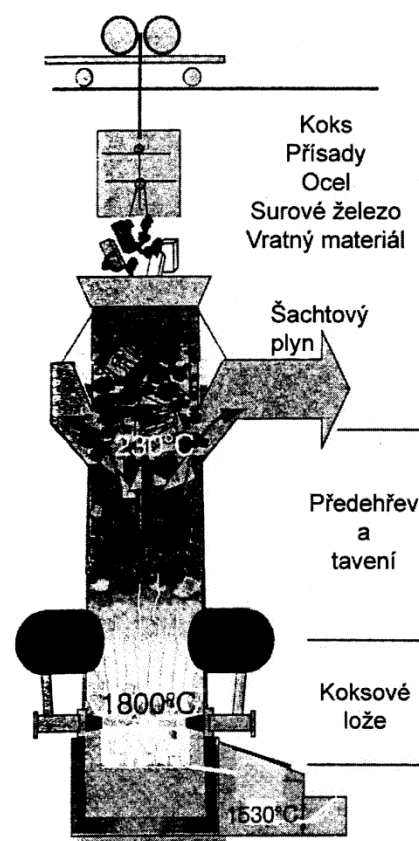
Výhodou těchto pecí je možnost použití různého druhu levného odpadu a dosažení dostatečné tepelné účinnosti. Nedostatkem studenovětrných kuploven je poměrně nízká teplota kovu na žlábků, ztráta energie kychtovými plyny, pomalá reakce na změnu sortimentu a zvýšená cena vsázky. Dochází také k nasíření kovu. Tyto kuplovny nacházejí uplatnění při výrobě kanálové a topenářské litiny, protože tyto odlitky mohou obsahovat vyšší podíl vratného litinového odpadu. [1], [13]

b) Horkovětrné kuplovny

V současné době jsou horkovětrné kuplovny používány u velkých agregátů a u kuploven, které svojí dobou tavení překračují 8 hodin denně. Vysoké metalurgické efekty jsou dosaženy vyššími teplotami předehřátého větru (700-800°C). Ve většině zahraničních firem je do horkovětrné kuplovny zavážena vsázka s obsahem ocelového odpadu, vratného materiálu, případně ferolitín a není použito surové železo.

Pro zvýšení účinnosti kuplovny existují dvě metody ohřevu větru, rekuperace a vnější ohřev. V případě rekuperace jsou spaliny, odcházející z pece, zcela nebo částečně odsávány a spalovány tak, aby se v přidavné spalovací jednotce spálil oxid uhelnatý na oxid uhličitý. Spaliny dále procházejí do výměníku tepla, rekuperátoru. Mezi spalinami a studeným větrem dochází k výměně tepla. Dmýchaný vzduch dosahuje teplot cca 500°C. Při použití vnějšího ohřevu je spalovací vzduch ohříván oxidačním plynovým hořákem nebo plasmou. Použitím obou metod ohřevu větru je možné dosáhnout teploty dmýchaného vzduchu až 1 000°C.

V horkovětrných kuplovnách dochází ke snížení spotřeby koksu, zvýšené teploty taveniny, zvýšené rychlosti tavení, snížení tavících ztrát a snížení nasíření. Vyšší teploty spalin vedou ke snížení součinitele spalování, což vede ke snížení propalu Mn a Si a zvyšuje nauhličení vsázky. Zvýšený podíl oceli ve vsázce je zapříčiněn vysokými teplotami v tavícím pásnu. Tento typ kuploven umožňuje výrobu litiny s kuličkovým grafitem z důvodu dosažení teploty až 1 530°C u výpustního otvoru. [1], [13], [14]



Obr. 9 Horkovětrná kuplovna [13]

3.1.4 Bezvyzdívkové kuplovny

Tento specifický typ kuploven umožňuje zvýšit délku kampaně až na několik týdnů. Délka kampaně je obvykle omezena životností vyzdívky nístěje. Po celou dobu se kuplovna nenechá vyhasnout a po ukončení kampaně je pec v oblasti nístěje a dmyšen opravena. Ocelový plášť musí být důkladně vodou chlazen převážně ve střední oblasti šachty. Ve většině sléváren pracují tyto pece jen vymezenou část dne, ale při přerušení provozu se nenechají vyhasnout, pouze se provede jejich utlumení. Začne se do kuploven

zavážet koks namísto kovové vsázky, vypustí se kov a přestane se foukat vítr. Při obnově tavení je pec znovu rozfoukána a do kuplovný zavezena nová vsázka. Výhodou bezvyzdívkoých kuploven je možnost pracovat jak s kyselou tak neutrální a zásaditou struskou. [1], [13], [14]

3.1.5 Intenzifikace kuploven

Z důvodů značných nedostatků studenovětrných kuploven jsou prováděny intenzifikační procesy, které vedou ke zvýšení efektivity tavení. Nejčastější intenzifikační zlepšení u těchto typů kuploven je použití druhé řady dmyšen. [13]

Cílem intenzifikačních opatření je zejména [14]:

- zvýšit teplotu kovu na žlábků a snížit množství koksu ve vsázce
- zvýšit tepelnou účinnost kuplovný využitím energie spalných plynů
- zvýšit operativnost řízení chodu kuplovný

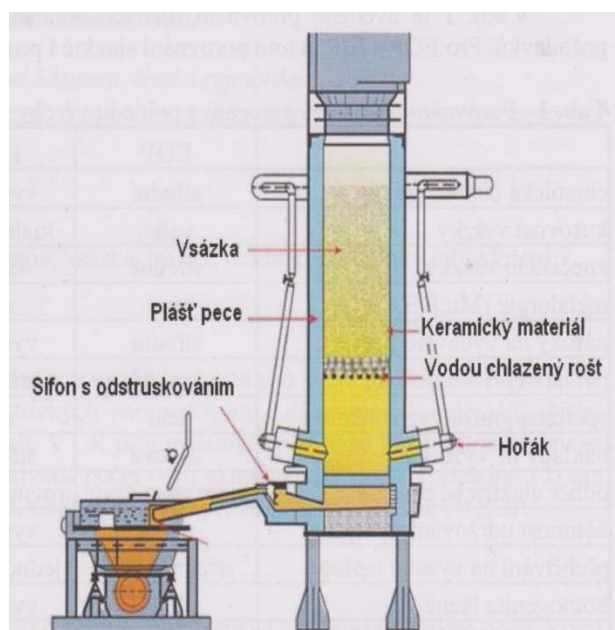
Nejdůležitějšími postupy intenzifikace jsou [14]:

- dmýchání horkého větru v horkovětrných kuplovnách
- konstrukce kuploven s dvěma řadami dmyšen
- obohacení větru kyslíkem
- využití kyslíko-palivových hořáků

Konstrukce kuploven s druhou řadou dmyšen vedou ke zvýšení teplot v předehřívacím pásmu a dosažení tak vyšších teplot kovu na žlábků. Druhá řada dmyšen je umístěna asi 900 – 1300 mm nad primárními dmyšami a vhání sekundární vítr, který vede ke spalování oxidu uhelnatého na oxid uhličitý.

Hlavními důvody využívání intenzifikace kyslíko-palivových hořáků je zvýšení výkonu kuplovný, operativnosti a kompenzace částí koksu spalováním alternativních paliv. Účinnost závisí především na typu kuplovný. Použití kyslíko-palivového hořáku u studenovětrné kuplovný slouží k zabezpečení snadného opakovaného startu nebo pro snížení množství koksu. U horkovětrných kuploven vede ke zvýšení kapacity pece.

Větší koncentrace kyslíku ve spalovacím vzduchu kuplovný způsobuje zvýšení teploty litiny, tavicího výkonu a snížení spotřeby koksu či surového železa. Kyslík je přidáván do hlavního proudu



Obr. 10 Intenzifikace kuplovný hořáky [3]

dmýchaného vzduchu, vháněný do nístěje pomocí injektorů nebo injektory v dmyšnách. Možnost měnit množství kyslíku v libovolném čase dovoluje větší pružnost a řízení tavicího procesu kuplovný. [1], [12], [13], [14]

3.2 Elektrická indukční pec

EIP jsou společně s kuplovnami nejdůležitějšími tavicími agregáty pro výrobu litin. V současné době se EIP stávají hlavním zařízením pro výrobu litin s lupínkovým a kuličkovým grafitem. Ve slévárnách se tak počet kuploven snižuje. Kuplovný jsou EIP nahrazeny z důvodů ekologických a metalurgických. Zejména z ekologického hlediska je EIP výhodná, protože nevypouští do okolního prostředí tak velké množství plynných a prachových plynů jako kuplovna. Na EIP lze snadno dosáhnout vysokých teplot, snadno měnit chemické složení kovu, čehož se využívá při tavení legovaných litin. Značnou nevýhodou tavení v EIP je nutnost použití vhodné jakosti vsázky, s vyššími nároky na chemické složení. Tento problém má za následek vyšší cenu vsázky, což může vést k vyšší ceně vyráběného kovu.

EIP se uplatňují i ve slévárnách neželezných kovů a oceli, kde postupně vytlačují EOP. Doba tavení se v moderních EIP pohybuje do jedné hodiny.

Princip tavení v EIP spočívá v průchodu elektrického proudu cívkou, které vytvoří silné magnetické pole. Vznikem magnetického pole se indukuje elektrické napětí, vyvolávající vznik vířivých proudů v kovové vsázce, které jsou zdrojem tepla.

Vsázku tvoří převážně vratný materiál, se známým chemickým složením. V indukčních pecích nedochází ke kontaktu vsázky s nosičem energie, proto je vhodná pro tavení širokého množství kovů. [1], [2], [13], [14], [17]

Výhody tavení v EIP [13]:

- dosažení přesného chemického složení (výhodné pro výrobu litiny s kuličkovým grafitem)
- nízká hlučnost pecního agregátu
- malé obsahy exhalací a propalů
- vysoké tavicí výkony
- snadné dosažení požadovaných licích teplot
- snadná údržba pece, rychlá výměna vyzdívky
- nízká spotřeba elektrické energie

Nevýhody tavení v EIP [13]:

- vyšší energetická náročnost v porovnání s kuplovnou
- vysoké investiční náklady
- zaručené chemické složení vsázkového materiálu
- omezená možnost použití třísek ve vsázce
- při výrobě litiny s lupínkovým grafitem nutnost nauhličení ocelové kovové vsázky

3.2.1 Kanálková indukční pec

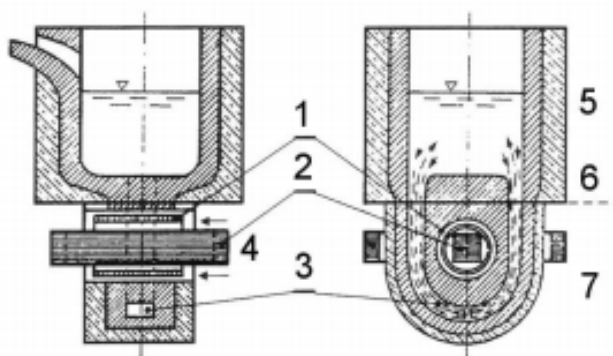
Kanálkové indukční pece jsou provozovány převážně jako pece udržovací ve slévárnách litin a neželezných kovů. Jejich princip ohřevu kovu neumožňuje využití při výrobě oceli, proto nejsou ve slévárnách oceli používány k tavení. Samotné tavení se v kanálkových pecích provádí jen u hliníkových slitin. Především jsou používány v duplexu s kuplovnou. Hlavní částí kanálkové indukční pece je tepelně izolovaná hrncová případně vanová nádoba. Dno pece je vybaveno jedním nebo více kanálky, kterými proudí kov. Ohřev kovu probíhá pomocí vodou chlazené indukční cívce, která je umístěna kolem kanálků. Ohřátý kov proudí ven z kanálků a promíchává se s ostatním kovem v kelímku. Z tohoto důvodu je nutné, aby v kelímku byl stále zbytek tekutého kovu. V kanálkových indukčních pecích dochází k nízkým tepelným ztrátám způsobené stěnami pece. Často jsou instalovány s kapacitou od 5 do 100 tun a pracují na síťovou frekvenci 50 Hz. Nejpoužívanějším typem je ve slévárnách indukční pec s uzavřeným kanálkem. [1], [2], [12], [13], [17]

Výhody tavení v kanálkové indukční peci [1], [13]:

- vysoká tepelná účinnost
- minimální propal legujících prvků
- nízké nároky na údržbu

Nevýhody tavení v kanálkové indukční peci [1], [12], [13]:

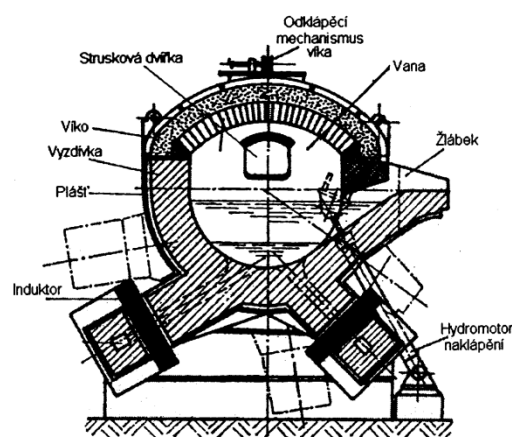
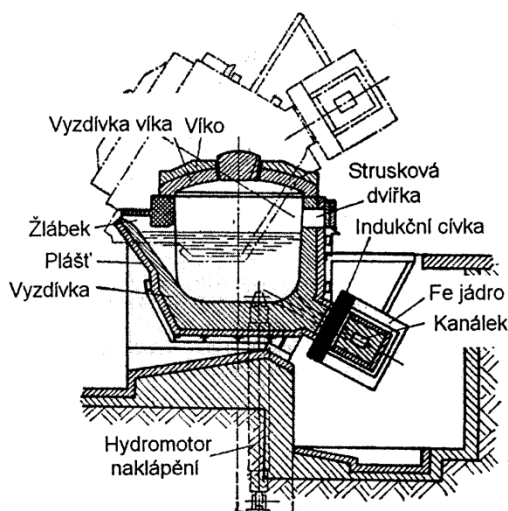
- obtížná údržba kanálků v induktorech
- nutný obsah minimálního množství železa
- neumožňují provádět studené starty



1 – indukční cívka, 2 – jádro, 3 – kanálek, 4 – chladičí vzduch, 5 – vana pece, 6 – dělící spára, 7 – induktor

Obr. 11 Kanálková indukční pec [18]

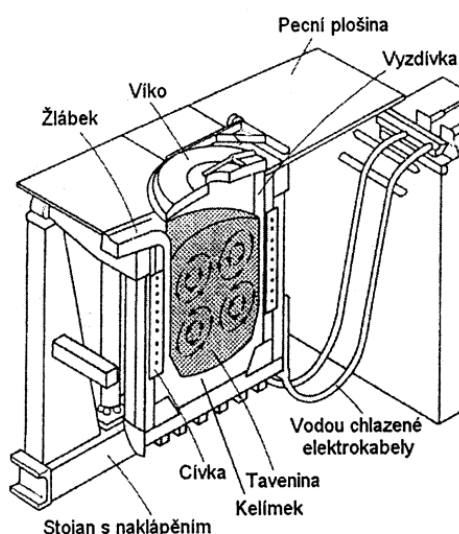
Vsázka je do pece zavážena izolovaným vrchním víkem, které je vyrobeno z ocelového plechu. Uložení víka se podle druhu indukční kanálkové pece liší. Zatímco pece válcového tvaru mají víko otočné, u pecí vanových je víko přišroubováno k plášti. Induktor umístěný ve spodní části pece se skládá z transformátoru s železným jádrem a kanálkem. K plášti se induktor přišroubovává a je tedy vyměnitelný. Ohřev kovu může způsobit jeden nebo až tři induktory, kdy každý je zapojený na jednu fázi elektrického proudu. V případě, že na kanálkové indukční peci je prováděno tavení hliníkových slitin, zvětšuje se část kelímku, která přichází ke styku s lázní. Dosáhne se tak nižší rychlosti pohybu kovu v kanálku, nižší rychlosti pohybu lázně a tím eliminaci vnášení oxidů do lázně. [1]



Obr. 12 Kanálková indukční pec, hrncová [1] Obr. 13 Kanálková indukční pec, vanová [1]

3.2.2 Kelímková indukční pec

Kelímková indukční pec má širokou škálu využití. Tento agregát slouží výhradně k tavení litin, ocelí a neželezných kovů. Kelímková pec může být využita také k udržování. V případě využití těchto agregátů ve slévárnách oceli, musí být zavedena pouze ocelovým vratem, protože zde neprobíhá rafinace. Primární vinutí tvoří indukční cívka, uvnitř které je kelímek. Samotná kovová vsázka tvoří sekundární vinutí. Ve chvíli kdy primární cívkou protéká střídavý proud, vytvoří se kolem cívky magnetické pole a ve vsázce se začínají indukovat vířivé proudy. Dochází tak k tavení a zároveň promíchávání tekutého kovu. V případě, že víření kovu je moc silné, dochází k vzdutí hladiny a tím zvýšení tepelné ztráty a opotřebení kelímku. [1]



Obr. 14 Kelímková indukční pec [1]

V tab. 3 je zobrazena frekvence využívaná v EIP a její následná aplikace.

Tab. 3 Aplikace dostupných indukčních pecí vztahených k jejich frekvenci [1]:

Frekvence (Hz)	Aplikace
70	Mosazné třísky
100	Hliníkové třísky
100 – 150	Litínové třísky
250	Odpad po protahování hliníku
250	Slitiny Fe ze slévárenského vratu a ocelového odpadu
500 – 1 000	Tavení oceli a tavení mokrých litinových třísek
1 000 – 3 000	Různé slitiny mědi
3 000	Vakuové pece pro přesné lití
10 000	Šperkařství

Výhody tavení v kelímkové indukční peci [12]:

- snadno dosažitelné vysoké teploty (omezení je v kvalitě vyzdívky)
- vysoká homogenita lázně
- rovnoměrné zatížení elektrické sítě
- nižší hlučnost
- velká operativnost a pružnost

Nevýhody tavení v kelímkové indukční peci [12]:

- u kyselých vyzdívek možnost jen přetaveb
- složité elektrické vybavení
- použití čisté i chemicky tříděné vsázky
- problémy při protavení kelímku

a) Konstrukce kelímkové indukční pece

Transformátor – přeměňuje vysoké napětí ze sítě na provozní napětí. [14]

Usměrňovač – přeměňuje střídavé napětí na stejnosměrné. [14]

Frekvenční měnič – u většiny pecí se využívají tyristorové měniče, které mění stejnosměrný proud na střídavý s vyžadovanou frekvencí. Frekvenci mění podle druhu vsázky a obsahu kovu a tím zvýšit tavicí výkon pece. [13], [14]

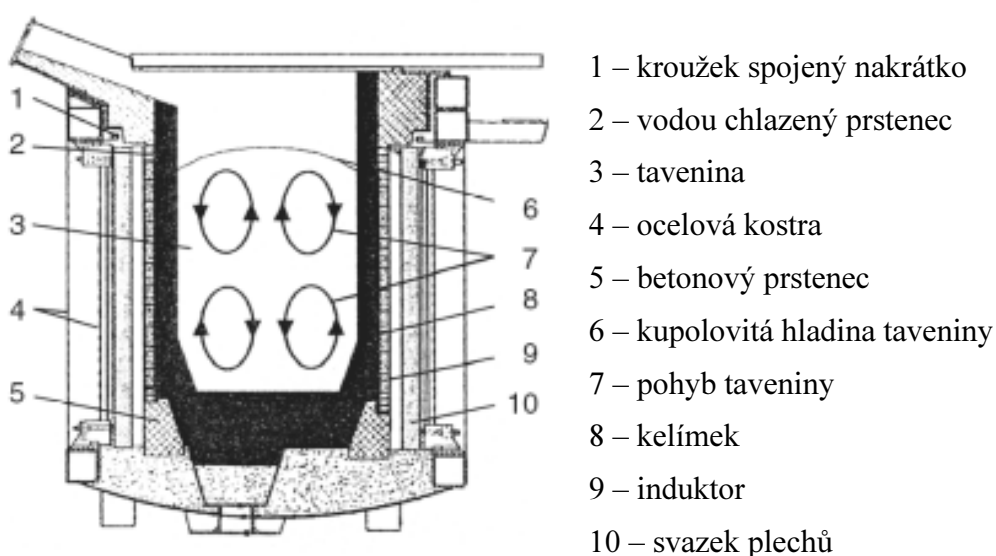
Kondenzátor – slouží ke kompenzaci zatížení sítě, aby se docílilo, že účinník $\cos \varphi$ bude co nejbližší hodnotě 1. [13], [14]

Těleso pece – je složeno z kelímku, indukční cívky, stínacího prstence, trafoplechů a pracovní plošiny. [13]

Kelímek pece – tvoří monolitický tvar, který je zhotoven ze žáruvzdorné vyzdívky. Na druhu vyzdívkového materiálu závisí životnost vyzdívky, kdy obvykle se pohybuje v rozmezí 200 až 400 taveb. U tavení nelegovaných ocelí a litin je kelímek z Si hmoty, u slitin neželezných kovů na bázi Al-Si a u tavení legovaných ocelí a litin z Mg-Ca hmoty. Kelímek se po překročení životnosti vybourá a nová vyzdívka se zhotoví dusáním nebo vibrací na šablonu. [1], [13], [14]

Indukční cívka – svírá kelímek v celé jeho výšce. Cívka je měděná a stočená do spirály z kruhového nebo obdélníkového průřezu. Chladí se vodou a od vyzdívky je oddělena vrstvou izolace. [1], [14]

Trafoplechy – slouží k uzavření magnetického obvodu. [13]



Obr. 15 Konstrukce kelímkové indukční pece [19]

b) Rozdělení kelímkových indukčních pecí podle využívané frekvence

Elektrická kelímková pec na síťovou frekvenci (nízkofrekvenční)

Pec pracuje na síťovou frekvenci 50 Hz a nepotřebuje tak měnič. Nízkofrekvenční pece byly často využívány ve slévárnách litin jako pece udržovací i tavicí. Výraznou nevýhodou nízkofrekvenční pece je pomalejší tavení. Pro nepřetržitý provoz je nutné, aby byly provozovány se zbytkem kovu. Toto opatření činí nízkofrekvenční pec nepružným tavicím agregátem. [1], [2], [20]

Středofrekvenční kelímková pec

Frekvence u středofrekvenční kelímkové pece se pohybuje mezi 120 až 1 000 Hz. Pece se stavějí od několika kilogramů až po hmotnost vsázky přes 25 tun. Čím větší je pec, tím menší frekvence. V dnešní době nejpoužívanějším tavicím agregátem ve slévárnách je právě středofrekvenční kelímková pec, která umožňuje natavovat z pevné vsázky bez tekutého zbytku. [1], [2], [13], [14]

Vysokofrekvenční kelímková pec

Tento typ kelímkové pece pracuje s frekvencí do 10 kHz. Jsou využívány jako pece laboratorní s velikostí vsázky od několika gramů po několik set gramů. Slouží k tavení veškerých technických kovů. [1], [2]

3.3 Rotační bubnová pec

Rotační bubnové pece jsou moderní tavicí agregáty využívány pro tavení všech druhů litin a některých neželezných kovů, zejména pro hliník. Vyznačují se nízkými investičními a provozními náklady, vysokou flexibilitou a příznivým vlivem na životní prostředí. Rotační pec je možné použít pro tavení objemů od 2 do 20 tun. Výrobní kapacita dosahuje 1 až 6 tun za hodinu. Nejčastější uplatnění nacházejí v malých případně středních slévárnách. [1], [14]

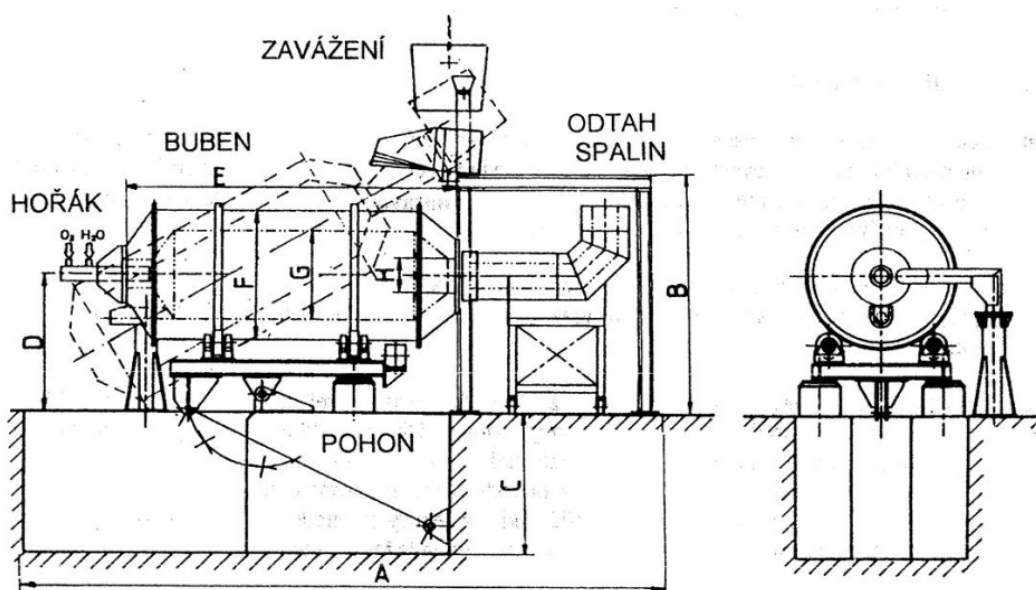
3.3.1 Konstrukce a provoz pece

Hlavní částí pece je horizontální válcová nádoba, ve které je kovová vsázka ohřívána pomocí vodou chlazenými hořáky na lehký topný olej, kapalný plyn nebo na zemní plyn. K potřebnému spalování je využíván výhradně čistý kyslík. Hořáky jsou umístěny na jedné straně pece, přičemž otvor na opačné straně slouží k odvodu spalin a k zavážení pece vsázkou. Otáčení pece je zprostředkováno podpěrnými válci, poháněných elektromotorem, na kterých je pec uložena. Naklápěcí mechanismus dovoluje sklopení pece až o 45° nahoru nebo dolů. Na plášti válcové nádoby jsou umístěny 1 až 2 odpichové otvory, které jsou během tavení utěsněny žáruvzdornou hmotou. Pro lití kovu do pánve je nutné jej prorazit sochorem. Vnitřek celé pece je vyzděn žáruvzdornými materiály.

Před zahájením tavení je pec nakloněna směrem nahoru a zaváží se vsázkou, která je dopravována pomocí vibračního žlabu nebo v případě velkých výkonů článkovým dopravníkem. Poté co je vsázka zavezena, sklopí se pec zpátky do původní polohy a probíhá fáze tavení. Jakmile je kov roztaven, prorazí se odpichový otvor a kov se nalije do lící pánve. Po vylití veškerého kovu je pec nakloněna do vertikální polohy, která slouží k odstranění strusky nebo případné opravě vyzdívky.

Ve většině případů je v těchto typech pecí používána kyselá vyzdívka do tloušťky až 350 mm. Na její životnost má z velké části vliv teplota přehřátí, kdy teplota v peci by neměla překračovat 1 480°C a složení vsázky. Také je nutné dávat pozor na mechanické rázy, studené starty, rychlost rotace a dobu udržování. Obvyklá životnost vyzdívek za normálních podmínek se pohybuje do 500 tavicích cyklů, jen ve výjimečných případech může životnost dosahovat až 1 000 taveb.

Účinnost pece dosahuje 50 až 60 %, což je asi o 50 % větší efektivita než u kuploven. Tavicí cyklus trvá od 1,5 až 3 hodin. Proto se pro plynulou výrobu litiny staví 2 až 4 rotační pece, ve kterých je postupně taveno. [1], [3], [12], [14]



Obr. 16 Schéma rotační bubnové pece [11]

3.3.2 Metalurgie

Metalurgie v rotačních pecích je stanovena hořením nad hladinou vsázky a styku spálených plynů s kovem. V průběhu natavování je často použit krátký oxidační plamen, který je zdrojem vysoké vstupní energie. Během přehřátí a udržování je nutný dlouhý redukční plamen.

Výraznou nevýhodou rotační pece je propal C, Si, Mn. Množství uhlíku je upraveno pomocí nauhličovadel, které jsou přidány do vsázky. Obsah Mn a Si se koriguje přidáním feroslitin, které se však z důvodu propal přidávají až v průběhu tavení. Vsázka je z větší části tvořena surovým železem (30-50 %), zbytek se skládá z vratného materiálu, litinového a ocelového odpadu. V případě, že ve vsázce je obsaženo větší množství ocelového odpadu, spotřeba energie se zvyšuje. [1], [12], [14]



Obr. 17 Rotační bubnová pec KVARK 500 [21]

Výhody tavení na rotační bubnové peci [12]:

- Rychlá změna slitiny
- Možnost tavení bez nečistot, bez nasíření
- Nízké investiční náklady
- Snadná údržba

Nevýhody tavení na rotační bubnové peci [12]:

- Snadný propal C, Si, Mn
- Vyšší použití plynu nebo kyslíku, pokud pec není provozována kontinuálně
- Zvýšení spotřeby energie, za předpokladu přidání více ocelového šrotu do vsázky

4 PECNÍ AGREGÁTY NA TAVENÍ OCELI

K tavení ocelí jsou využívány tyto typy tavicích agregátů [13]:

- elektrické obloukové pece
- elektrické indukční pece

Ve slévárnách oceli jsou jako tavicí agregáty využívány elektrické obloukové pece a elektrické indukční pece. Výhodou obloukových pecí oproti pecím indukčním je možnost změny chemického složení oceli v širokých mezích. Také lze použít levnější odpad do vsázky, z důvodu provedení rafinace. Obloukové pece jsou v porovnání s indukčními pecemi využívány pro největší výkony. Nevhodné je však tavení nízkouhlíkové oceli, protože grafitové elektrody při vysokých teplotách oxidují a zrníčka grafitu dopadají na hladinu lázně. Z tohoto důvodu je nutné při výrobě těchto ocelí počítat s nauhličením oceli. V indukčních pecích neprobíhá rafinace, proto je nutné použít jen vhodně vybranou vsázku.

V ČR je provozováno asi 65 obloukových pecí s hmotností vsázky pohybující se od 4 do 18 tun. U nás největší provozovaná oblouková pec je ve Vítkovicích a má obsah 70 tun. Ve světě existují daleko větší pece a to i s objemem 300 tun. [1], [2], [3], [13]

4.1 Elektrická oblouková pec

Elektrické obloukové pece slouží ve většině sléváren pro tavení uhlíkových a nízko, středně i vysoce legovaných ocelí. Mohou však také sloužit v některých provozech k tavení litin s kuličkovým nebo lupínkovým grafitem. Jejich velkou výhodou je možnost změny obsahu C, Si, Mn, S a P. Veškerá vsázka se taví elektrickým obloukem, který hoří mezi elektrodami a vsázkou. Během tavení dosahuje oblouk teplot 3 000 až 4 000°C. Obloukové pece jsou charakteristické svojí vysokou tepelnou účinností, která dosahuje až 80 %. Skutečná spotřeba elektrické energie v EOP je v rozmezí 500 – 800 kWh/t taveniny. Doba tavení se na elektrických obloukových pecích pohybuje od 1 do 4 hodin.

Do EOP se vsází ocelový odpad, vratný materiál a surové železo. Po vsazení materiálu se uzavře víko a elektrody se zasunou do pece. Mezi elektrodami a kovovým materiálem začne probíhat elektrický oblouk, který způsobuje ohřev materiálu a zároveň způsobí náhlé zvýšení teploty, které je důležité pro tavbu kovových materiálů. Elektrody jsou zasouvány do taveniny, dokud nedojde k celkovému protavení kovového materiálu. [1], [2], [12], [13]

Výhody tavení v elektrické obloukové peci [12]:

- zpracování méně kvalitního nakupovaného šrotu
- snížení obsahu nevhodných prvků (P, S)
- přesná regulace obsahu prvků (C, Si, Mn, Cr, Mo, Ni, Al)
- snížení obsahu plynů v tavenině (H a N)
- poměrně jednoduché elektrické vybavení pece
- vysoká účinnost při natavování

Nevýhody tavení v elektrické obloukové peci [12]:

- vysoké náklady na spotřebu grafitových elektrod
- vysoké náklady na vyzdívku
- nepravidelná spotřeba elektrické energie
- nízká tepelná účinnost při udržování a přehřevu taveniny



Obr. 18 Elektrická oblouková pec s hmotností vsázky 25 tun [7]

EOP lze dělit dle několika kritérií [1], [13]:

1. Podle způsobu otevírání pece pro zavážení vsázky

- **Pece s otočným víkem** - celé víko se včetně elektrod a vozíků zvedne portálem. Víko se otočí ve vodorovném směru k odpichovému žlabu nebo ke struskovému otvoru (dvířkům). [1], [13]
- **Pece s pojízdným víkem** - víko se zvedne pomocí portálu a odjíždí mimo vanu pece. [1], [13]
- **Pece s pojízdnou vanou** - víko se zvedne pomocí portálu a vana pece odjíždí z dosahu víka. [1], [13]

2. Podle typu vyzdívky

- **Kyselá** – vhodné použití u tavení nelegovaných a nízkolegovaných ocelí.
- **Zásaditá** – nejvíce rozšířené vyzdívky v EOP.
- **Neutrální**

3. Podle přenosu tepla

- **Pece s přímým obloukem a nevodivou nístějí** – tento typ provedení elektrických obloukových pecí je v praxi nejpoužívanější. [1], [13], [20]
- **Pece s přímým obloukem a vodivou nístějí** [13]

4.1.1 Konstrukce EOP

Vlastní nádoba (vana) – je svařenec z tlustostěnného ocelového plechu. Konstrukce vany musí být natolik dimenzována, aby unesla váhu vyzdívky, kovu a tlaku vzniklého roztahováním zahřáté vyzdívky. Z jedné strany vany jsou umístěny strusková dvířka a z druhé strany výpustný žlábek. [1], [2], [13]

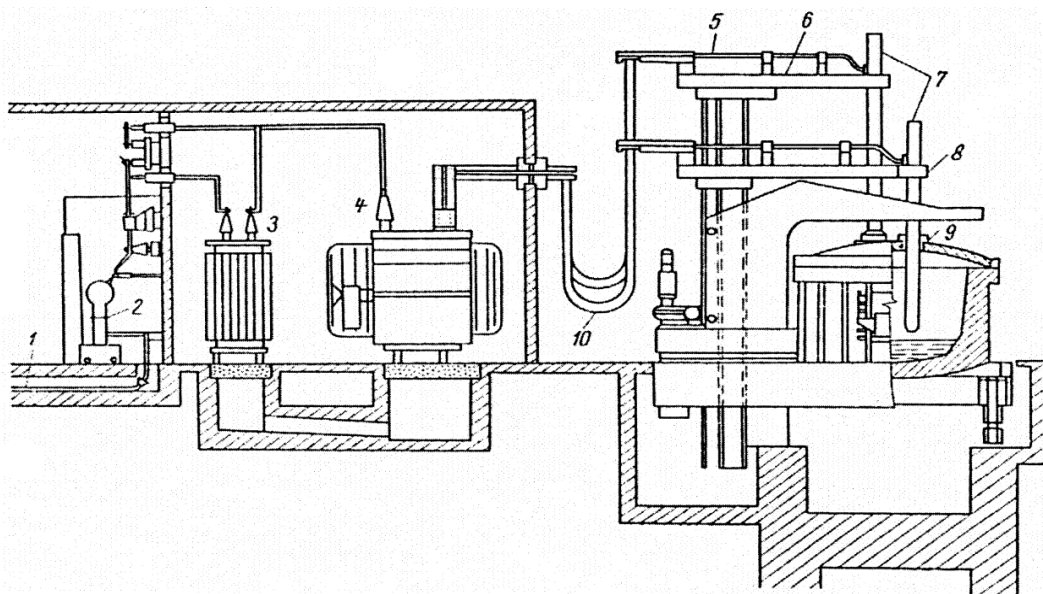
Víko – je svařenec, vyzděn žáruvzdornými chrommagnezitovými cihlami a rovněž chlazen vodou. Otvory v klenbě víka slouží pro instalaci chladičů elektrod, kterými procházejí samotné elektrody. [13], [22]

Držáky elektrod – držáky neslouží pouze k uchycení elektrod, ale současně do nich přenášejí proud. Držáky jsou měděné, vodou chlazené a dobře elektricky izolované od zbylých částí konstrukce pece. [13], [22]

Elektrody – elektrody slouží k přívodu elektrické energie do pracovního prostoru pece. V elektrických obloukových pecích jsou používány tři typy elektrod: grafitové, uhlíkové a samospékavé. Většina pecí používá elektrody grafitové, které mají nejlepší elektrickou vodivost a mechanickou pevnost. [2], [13], [22], [23]

Teleskopický sloup – umožňuje pohyb víka. [13]

Přívod elektrického proudu – přívod elektrického proudu skrz vypínač předává elektrickou energii do transformátorové kobky, kde je umístěna tlumivka a pecní transformátor. Pecní transformátor, který slouží převodu vysokých napětí na nízké s vysokou hodnotou proudu. Ve většině případů jsou chlazeny vodou, jen u starších provedení jsou chlazeny vzduchem. Střídavý proud dále putuje přes držáky do elektrod. Vzniká zkrat mezi elektrodou a kovem při oddálení oblouku, které umožňuje tavení kovové vsázky. [1], [2], [13]



1 – vedení vysokého napětí, 2 – hlavní vypínač, 3 – tlumivka, 4 – transformátor, 5 – vedení krátké sítě, 6 – přípevňovací rameno, 7 – elektrody, 8 – držák elektrod, 9 – chladicí kroužky elektrod, 10 – přívodní kabely

Obr. 19 Elektrické zařízení EOP [13]

4.1.2 Vyzdívky v EOP

Využívané vyzdívky v EOP [12]:

- kyselé – na bázi SiO_2
- zásadité – na bázi MgO
- neutrální – na bázi Al_2O_3

Kyselé – při tavení je nutné, aby vsázka obsahovala nízký obsah P a S, protože odfosfoření a odsíření nelze z ekonomického hlediska provést. U kyselých typů vyzdívky není snadná úprava chemického složení oceli, protože vyzdívka je postupně napadána vápnem a vápencem. Kyselé obloukové pece tak mohou sloužit pouze pro výrobu nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Nelze je však využít k tavení vysokolegovaných chromových a manganových ocelí. [1], [2], [12], [13]

Zásadité – jedná se o nejrozšířenější typ vyzdívky. Cenově jsou dražší než kyselé vyzdívky, ale mohou se využít pro tavení veškerých typů ocelí. Velkou předností je, že lze použít různé druhy ocelových odpadů. Značně se u nich snižuje obsah P a S, proto je možné získání kvalitní oceli. Využívají se tak pro výrobu vysokolegovaných a manganových ocelí. U těchto typů vyzdívky je nutné, aby neprocházela častými teplotními změnami, protože materiál “rád praská“. [1], [2], [12], [13]

Požadavky kladené pro zásadité vyzdívky obloukových pecí [2]:

- vysoká žáruvzdornost
- odolnost zdiva proti střídání teplot
- odolnost zdiva proti působení kovu a strusky
- nízká tepelná vodivost
- odolnost proti mechanickému poškození
- minimální náklady na vyzdívku → ideální poměr mezi životností vyzdívky a její cenou

Neutrální – dražší pořizovací náklady než u zásaditých vyzdívek, proto nejsou tolik rozšířené. [12]

Oprava vyzdívek musí probíhat co nejrychleji, aby vyzdívka zbytečně nechladla a neztrácela tak teplo. Pec se prohledává a případně opravuje ihned po odpichu. Je nutné opravit i malé vady ve vyzdívce, protože po následující tavně se nepatrná vada zvětší a může být příčinou většího poškození vyzdívky. Tyto poškození mají za následek zdlouhavé a náročné opravy. Zkrácení oprav vyzdívek má za následek zvýšenou výrobnost zařízení a prodlouženou životnost vyzdívky. Ve většině případů se opravy vyzdívky provádějí po dvou až čtyřech tavnách. [2], [12], [13], [22], [24]



Obr. 20 Izolace v EOP [24]

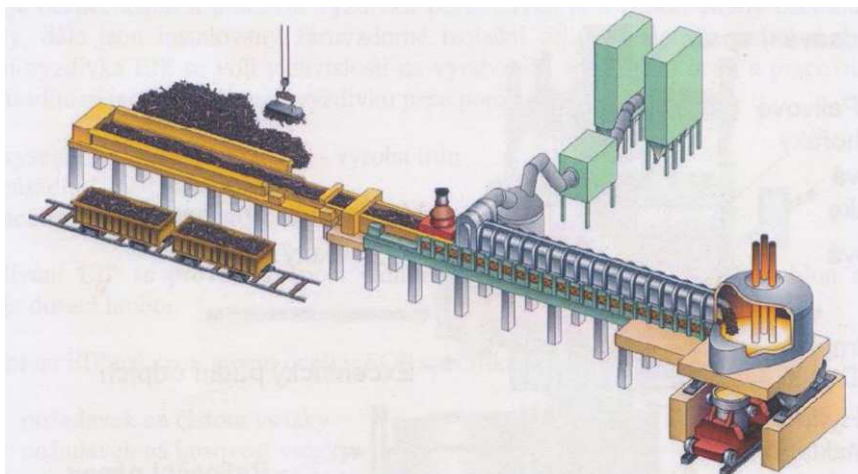
4.1.3 Intenzifikace EOP

Intenzifikací výroby oceli na EOP dosáhneme zkrácení doby tavby za účelem snížení zpracovacích nákladů a zvýšení výrobnosti. Mezi zpracovací náklady patří náklady na elektrickou energii, grafitové elektrody, vyzdívku a mzdy pracovníků. [2]

Hlavní intenzifikační procesy v EOP [3], [12], [13]:

- Předehřev vsázky – využití tepla spalin a snížení doby tavení.
- Zvýšení výkonu transformátoru – zvýšení tavicího výkonu pece se dosahuje zvýšením výkonu transformátoru. Zkrátí se tak doba natavování za předpokladu, že stěny pece jsou dostatečně vodou chlazeny.
- Dmýchání kyslíku se zvýšeným obsahem uhlíku v údobí oxidace – zvýšení účinnosti při oduhličení taveniny a oxidačních procesů
- Použití přídavných kyslíko-palivových hořáků – nižší spotřeba elektrické energie a elektrod za předpokládané zkrácení doby tavení.

Jedním moderních intenzifikačních procesů u EOP je kontinuální sázení ocelového šrotu tzv. technologie CONSTEEL. Pomocí vibračního dopravníku je veškerá vsázka postupně přiváděna do EOP. Vsázka prochází předehřívacím tunelem a ohřívá se na teplotu cca 500°C. Tunnel je vyhříván pomocí hořáků na zemní plyn a spalin, které odcházejí z EOP. Využije se tepla spalin a odstraní teplotní ztráty v období sázení pece. Sníží se také spotřeba elektrické energie. [2], [3]



Obr. 21 Předehřev vsázky a kontinuální sázení EOP – technologie CONSTEEL [3]

4.2 Elektrická indukční pec

Konstrukce elektrické indukční pece, která slouží k tavení oceli je stejná, jako u tavení litin (viz kapitola 3.2 Elektrická indukční pec). Velkou předností EIP oproti EOP je možnost tavit jakýkoliv typ oceli a tím se stává ve vybraných slévárnách jediným zařízením pro výrobu korozivzdorných ocelí s nízkým obsahem uhlíku. V dnešní době EIP vyrábí asi 40 % ocelových odlitků ve slévárnách oceli. [13]

5 PECNÍ AGREGÁTY NA TAVENÍ NEŽELEZNÝCH KOVŮ

Tavení neželezných kovů je odlišné od tavení kovů železných. Jelikož neželezné kovy mají rozdílnou tavicí teplotu a je tak možné volit z většího množství tavicích agregátů. [13]

Rozdělení agregátů ve slévárnách neželezných kovů [11]:

- tavicí pece
- udržovací pece

V tavicích pecích se vykonává samotné roztavení vsázky. Proveďte se změna chemického složení, rafinace a odplynění, vše při dosažení lící teploty. Udržovací pece slouží k udržování teploty roztaveného kovu a jsou umístěny v blízkosti lících agregátů. [1], [11], [13]

Tavicí a udržovací pece musí dodržet některé obecné zásady [11]:

- malá oxidace a naplynění kovu
- oddělení tekutého kovu od pevné vsázky
- zamezení místního přehřívání taveniny

Nejvhodnějším zařízením pro tavení neželezných kovů a jejich slitin je kelímková pec. Ve velkých podnicích jsou využívány zařízení s vyšší kapacitou jako indukční, plamenné nebo šachtové pece, které jsou z hlediska vyšší energetické účinnosti výhodnější než malé kelímkové pece. Pro každý jiný druh neželezného kovu je jinak vhodná tavicí pec. Tavení Mg probíhá výhradně jen v kelímkové odporové peci. Pro slitiny hliníku je možné volit z více tavicích agregátů a závisí na daných okolnostech, které zařízení je vhodné zvolit. Často jsou tak používány indukční pece nebo malé a střední kelímkové pece. Pro slitin Cu jsou využívány pro tavení plynové kelímkové a plamenné pece. U zinkových slitin se pouze při vysoké výrobní kapacitě taví v elektrických odporových kelímkových pecích. [1], [11], [13], [25]

V tab. 4 je provedeno využití vybraných tavicích agregátů pro tavení neželezných kovů.

Tab. 4 Pece na tavení neželezných kovů [1]

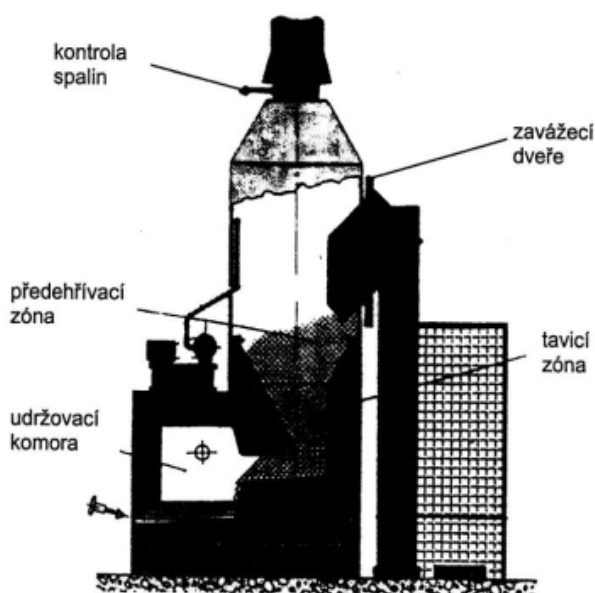
Pec/ slitina	Indukční kelímková	Rotační	Plamenná	Šachtová	Kelímková odporová/ plynová	Pec s tepelným víkem
Al	T	T	T	T	U	U/L
Mg					T/U	
Cu	T/U		T		T/U	
Pb	T/U				T/U	
Zn	T/U				T/U	
T – tavení, U – udržování, L – lití						

5.1 Šachtová pec

Šachtová pec je průběžná tavící pec s vysokým tavícím výkonem, který se pohybuje od 0,5 do 5 tun hliníku za hodinu. Je využívána zejména ve slévárnách slitin hliníku, kde se dlouhodobě odlévá ze stejného materiálu s totožným chemickým složením. Pro efektivní tavení jsou provozovány v kontinuálním režimu. Nejčastěji jsou využívány ve slévárnách s velkou produkcí stejných odlitků (např. v kokilárnách, vyrábějících kola osobních automobilů). Pec je vhodná pro slitiny hliníku, z důvodu nízkého rizika naplynění H_2 a dobře vysušené vsázky před zahájením tavení.

Vsázka je dopravena do šachtice pece pomocí zavážecího zařízení, kde se z vsázky odpaří vlhkost a přetrvávající organické nečistoty vyhoří. V tavící zóně dochází k natavení a kov proudí do udržovací komory, odkud je odebrán po licích dávkách nebo odebrán ve větších dávkách do transportní pánve. Vytápění pece je provedeno plynovými nebo olejovými hořáky, které regulují redukční nebo oxidační atmosféru v peci. V menších pecích je použit pouze jeden hořák umístěný v udržovací komoře. U větších provedení jsou instalovány dva hořáky, jeden v tavící a druhý v udržovací zóně. Vzniklé pecní plyny jsou odsávány a čištěny. Životnost vyzdívky, která je vyzděna žáruvzdornými materiály, se za normálních okolností pohybuje od 4 do 8 let.

Moderní typy pecí mohou dosahovat spotřeby 650 kWh/t nataveného Al a tepelné účinnosti 50 %. Velkou předností pece je postupné předeřívání vsázky, což vede k zamezení vniknutí vlhké nebo znečištěné vsázkové suroviny do roztaveného kovu. Z pece tak dostaneme kov s vysokou čistotou a nízkým stupněm naplynění. Ztráty vzniklé propalem se u těchto zařízení pohybují pouze od 1 do 2 %. [1], [11], [13], [26], [27]



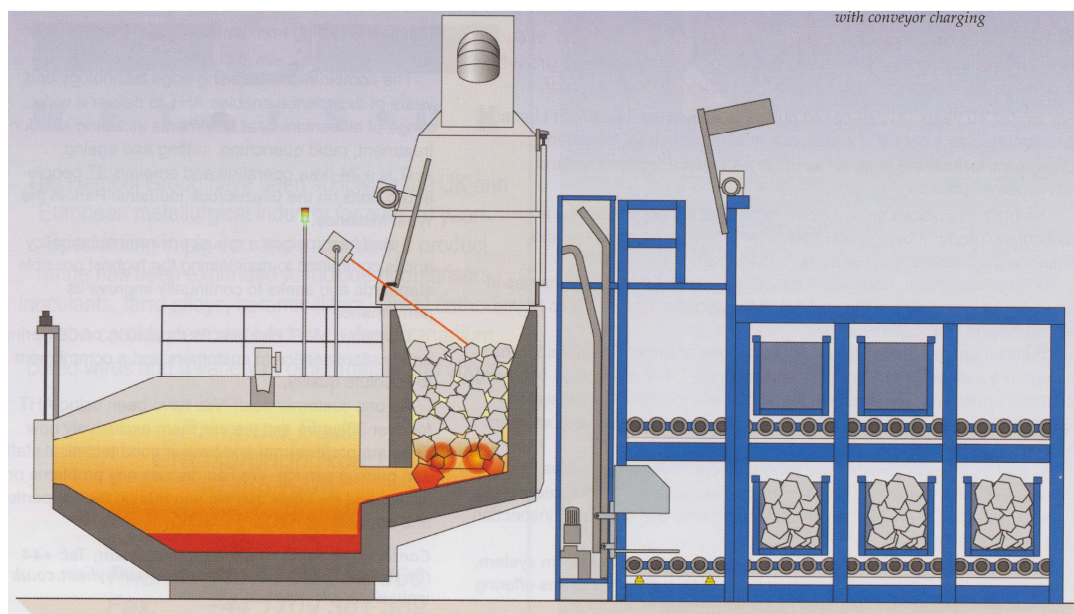
Výhody tavení v šachtových pecích [26]:

- nepřetržité tavení (průběžný odběr kovu)
- dobré využití tepla
- vyšší životnost vyzdívky
- malé energetické ztráty
- použití vlhčí vsázky

Obr. 22 Šachtová tavící pec (StricoWestofen) [11]

Nevýhody tavení v šachtových pecích [26]:

- složitá změna na jiný druh slitiny
- nepravidelné rozložení teploty taveniny v nístěji
- potřebné mimopecní ošetření taveniny



Obr. 23 Šachtová tavící pec pro tavení slitin Al (StrikoMelter) [27]

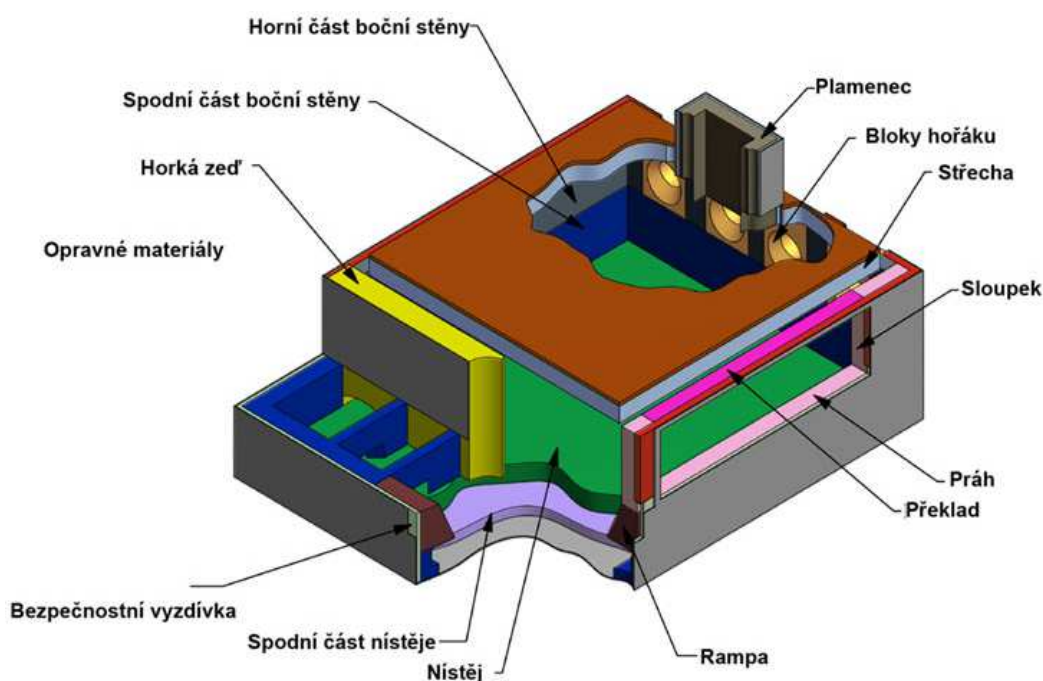
Výhodným moderním řešením je pak spojení šachtové pece s předehřívací a tavící komorou s udržovací sklopnou kelímkovou pecí, která v případě potřeby může sloužit i k tavení. [28]

Výhody tavení ve spojeném tavícím agregátu [28]:

- využití udržovacího kelímku pece k ošetření taveniny
- snadná změna na jiný druh tavení hliníkové slitiny
- snadno provedené čištění po každém vyprázdnění kelímku
- snadné vyhrabování nečistot z tavící komory
- tavení lze přizpůsobit potřebám odlévání
- dobré využití tepla spalín
- vyšší životnost kelímku (o min. 30 %)
- nízké energetické ztráty (o min. 25 %)
- použití vlhčí vsázky

5.2 Plamenná stabilní pec

Plamenná pec je obdélníkový případně kruhový agregát vyzděná žáruvzdornými materiály. Zařízení pracuje na principu přímého vytápění, kdy horký vzduch a plyn z topného oleje nebo horký vzduch a plyn se spalují. Vše je hnáno nad kov/taveninu, spaliny jsou následně odtahovány a upravovány. Poměrem plynu a vzduchu se pomocí hořáku dosahuje požadovaných teplot a dochází k roztavení vsázky. Hořáky jsou umístěny na víku nebo častěji na stěně pece. Značnou nevýhodou těchto pecí je nízký převod tepla z hořáku, proto účinnost těchto zařízení nebývá veliká. V praxi se účinnost zlepšuje obohacením paliva kyslíkem nebo kombinací plynů. Problémy nastávají u velkých plamenných pecí, které docilují výrazně vyšších rychlostí tavení, ale vedou k vysokým ztrátám kovu, naplynění, znečištění oxidy a to z důvodu přímého kontaktu plamene se vsázkou. Tento typ pece je využíván k tavení značného množství neželezných kovů a to převážně hliníku a jeho slitin. [1], [13], [29]



Obr. 24 Konstrukce plamenné pece [30]

5.3 Kelímková pec

Nacházejí uplatnění pouze u tavení neželezných kovů. Je nutné zajistit, aby vsázka nepřicházela do kontaktu s plamenem a se spalinami palivových pecí. Kelímková pec je vyzděná žáruvzdornou vyzdívkou na bázi SiO_2 a Al_2O_3 . Při tavení Al je do kelímku vsazena studená vsázka. Musí se dbát na to, aby při vsázení nepůsobila vsázka prudké nárazy, čímž by mohlo dojít k poškození kelímku. Není také vhodné tavit kov, který ztuhl v kelímku, protože by při ohřevu mohlo dojít k jeho prasknutí. Kov se ohřeje nepřímým ohřevem. Vytápění těchto pecí je plynové případně elektrické odporové. K úpravě taveniny dochází až po odstranění strusky. Provádí se odplynění, odstranění kyslíku, rafinace a snížení obsahu přechodových kovů (Zn, Mg). Poté se znova stáhne struska a probíhá lití.

V případě, že pro tavení slitin s nízkou tavící teplotou je využit kelímek z SiC, pohybuje se životnost kelímku od 130 do 150 vsázek. U vysoce tavitelných slitin se životnost kelímku pohybuje okolo 50 až 80 vsázek. Kapacita kelímku bývá od 100 do 200 kg hliníkové slitiny. [1], [11]

Výhoda tavení v kelímkové peci [1], [11]:

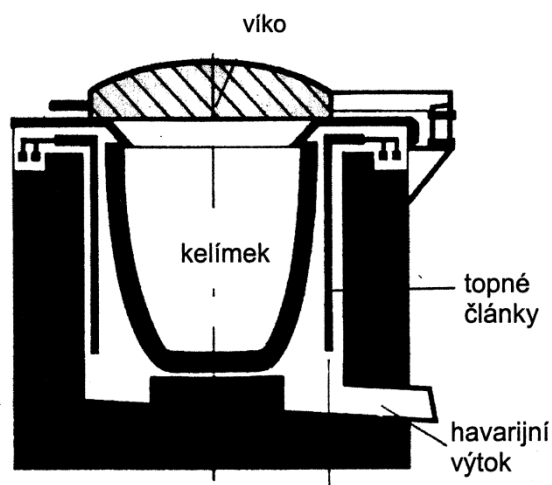
- kov není ve styku se spalinami → nedochází k pohlcování vlhkosti
- jednoduchá technologie
- snadná údržba
- pružná změna slitiny
- využití kelímku jako transportní a lící pánev

Nevýhoda tavení v kelímkové peci [1]:

- menší výrobní kapacita



Obr. 25 Kelímková pece [31]



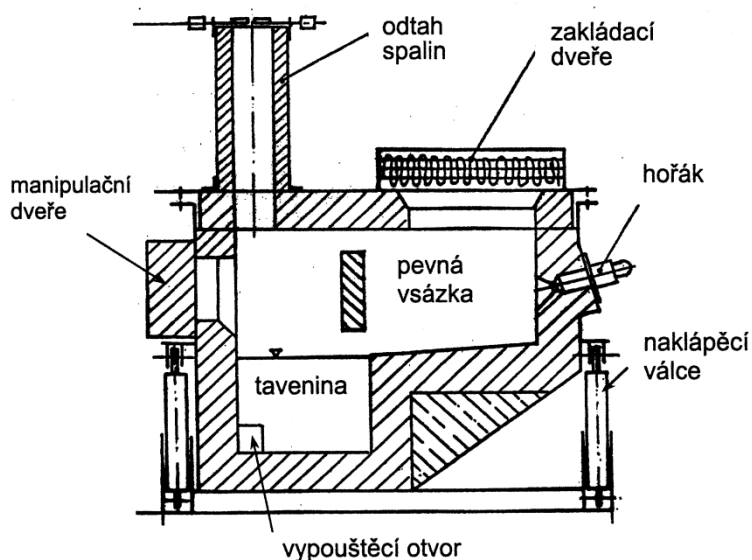
Obr. 26 Elektrická odporová kelímková pec [11]

5.4 Komorová pec

Komorové pece patří do skupiny tzv. níštějových plynových pecí. Vsázka se zavazuje do tavicí části pece a nepřichází tak do kontaktu s taveninou. Principem podobný agregát je dvoukomorová vanová pec s vertikálním uspořádáním. Vsázka je tady zavážena do horní tavicí komory a roztavený kov se nahromaduje ve spodní komoře, kde vypouštěcím otvorem opouští pec. [11], [13]



Obr. 27 Tavicí jednokomorová plynová pec [32]



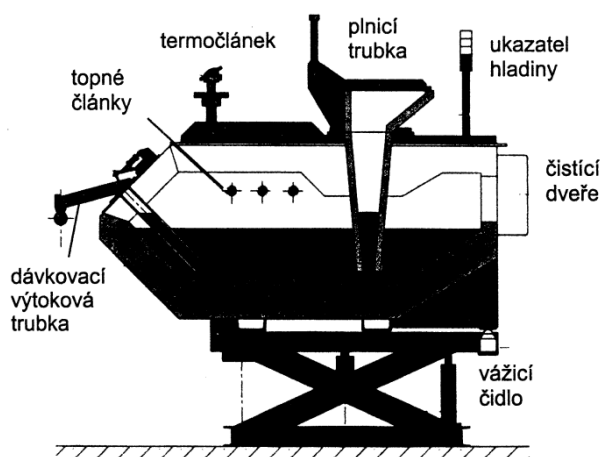
Obr. 28 Tavicí dvoukomorová plynová pec [11]

5.5 Indukční pec

Indukční pece sloužící pro tavení hliníku, mědi, olova a zinku mají stejnou konstrukci jako indukční pece pro tavení litin (viz kapitola 3.2 Elektrická indukční pec). [1]

5.6 Udržovací pece

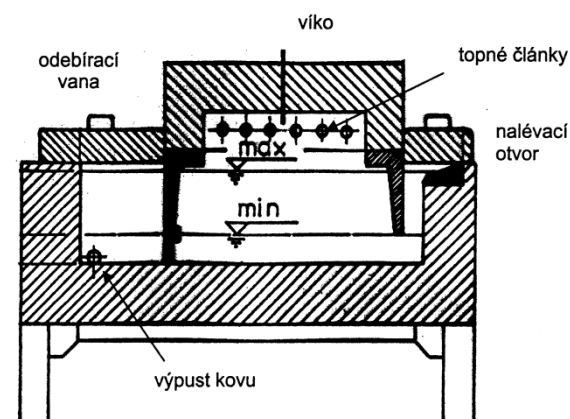
Udržovací pece nejsou primárně určeny k tavení, ale k udržení teploty taveniny na určité hodnotě. Neprovádí se v nich zásadní metalurgické zásahy ani výrazná změna chemického složení. Často je však v nich prováděno očkování a modifikace. Ve velkých slévárnách jsou k vidění velkoobjemové udržovací pece, které mají funkci zásobníku kovu. Z nich je tavenina transportována do menších udržovacích pecí. Nejpoužívanějšími udržovacími pecemi je pec dávkovací a vanová.[11]



Obr. 29 Dávková pec [11]



Obr. 30 Dávková pec - WESTOMAT [33]



Obr. 31 Elektrická vanová pec [11]



Obr. 32 Vanová udržovací pec na slitiny Al [34]

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ AGREGÁTŮ

V tab. 5 je provedeno porovnání tavicích agregátů pro tavení litin dle různých požadavků, podle kterých slévárna volí jejich provoz. V případě EOP a EIP je porovnání totožné jak pro tavení litin tak oceli. [7]

Tab. 5 Porovnání tavicích agregátů [7]

	EOP	EIP	Kuplovna	Rotační pec
Chemická čistota vsázky	střední	vysoká	střední	vysoká
Kusovost vsázky	velké	malé kusy	střední	malé kusy
Znečištění vsázky	středně	čisté	znečištěné	čisté
Metalurgie (Mn, P, S, O ₂ , N)	ano	ne	ne	ne
Nároky na vybavení pece	střední	vysoké	nízké	nízké
Účinnost při natavování	vysoká	střední	střední	střední
Spotřeba grafitových elektrod	ano	ne	ne	ne
Náklady na vyzdívku	vysoké	střední	nízké	nízké
Odběr elektrické energie	nerovnoměrný	rovnoměrný	téměř žádný	žádný
Účinnost udržování na teplotě	nízká	vysoká	nízká	střední
Přehřívání na vysoké teploty	středně těžké	jednoduché	problémy	problémy
Homogenita lázně	střední	vysoká	vysoká	vysoká
Hlučnost	vysoká	střední	nízká	nízká
Spotřeba energie kWh/t	520	500	800-1300	500
Spotřeba kyslíku m ³ /t	15	0	0-50	100

Dle tabulky lze vidět, že pro volbu tavicího zařízení k tavení oceli je vhodné z hlediska náročnosti na vsázku, nároků na vybavení pece a široké možnosti změny chemického složení volit elektrickou obloukovou pec. Možné intenzifikační procesy jsou u elektrických obloukových pecí prováděny pouze v hutních ocelárnách, kde se produktivita pohybuje od stovek tisíců až přes milion tun oceli. Pouze v těchto případech se velké intenzifikační náklady na zařízení pece vrátí. Oproti tomu elektrické indukční pece mají nižší náklady na vyzdívku a rovnoměrný odběr elektrické energie. Je možné zde tavit jakýkoliv typ oceli, což u elektrické obloukové pece není možné. U elektrických indukčních pecí se neprovádí intenzifikace v takovém rozsahu jako u pecí obloukových. Provádí se pouze lepší využití stávající technologie. [2], [12]

V případě volby agregátu pro tavení litin je stále účinným zařízením kuplovna, kde je možné použít značně nečištěnou vsázku. V kuplovnách je obtížně dodržet požadované chemické složení, proto jsou v posledních letech často nahrazovány pecemi indukčními. Rotační pece mají nízké pořizovací a provozní náklady. Nejsou však hojně využívány pro tavení litin. [2], [14]

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést literární rešerši, pojednávající o tavicích agregátech využívaných ve slévárnách litin, oceli a neželezných kovů.

První kapitola řešila historii zpracování kovu a následný vývoj tavicích pecí. Průběhem času se vyvíjely nové technologie tavení, které způsobily proměnu původních pecí do podoby dnešních tavicích agregátů ve slévárnách. Velký vývoj přinesla zejména průmyslová revoluce, kdy se zvýšila poptávka po litých výrobcích. Začaly se používat konvertory, které výrazně zvýšily denní produktivitu oceli. Začátkem 20. století jsou do provozu zavedeny elektrické obloukové a indukční pece. Tyto pece jsou ve slévárnách využívány dodnes, pouze jejich konstrukce prošla výrazným vývojem.

V druhé kapitole jsem provedl ve zkratce klasifikaci tavicích agregátů, nicméně práce se zabývá rozdělením podle typu odlévaného kovu.

V třetí, čtvrté a páté kapitole byly tavicí agregáty ve slévárnách litin, oceli a neželezných kovů popsány. Byla uvedena jejich oblast využití, popsán princip tavení kovu a stručně proveden popis konstrukce. U některých tavicích pecí byla provedena intenzifikace, která zvyšuje výrobnost pece. Náklady na intenzifikační zařízení jsou však vysoké, proto není vhodné použít tyto procesy u pecí s malou produktivitou, kde by se tyto náklady nevrátily.

V šesté kapitole bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení tavicích zařízení. Vybrané tavicí agregáty byla zhodnocena dle různých aspektů. Jako nejuniverzálnější tavicí agregát byla vybrána elektrická indukční pec. Nevýhodou této pece jsou výrazně vyšší pořizovací náklady než u ostatních pecí, avšak lze ji využít nejen pro tavení litin a ocelí, ale také pro neželezné kovy jako je hliník, olovo, měď a zinek. Dalším důvodem proč jsou tyto pece instalovány, je schopnost snadného dodržení chemického složení taveniny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CHRÁST, Jaroslav. *Slévárenská zařízení*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 256 s. ISBN 80-7204-456-7.
2. ŠENBERGER, Jaroslav, a kol. *Metalurgie oceli na odlitky*. 1. vyd. Brno: VUT v Brně - Nakladatelství VUTIUM, 2008, 311 s. ISBN 978-80-214-3632-9.
3. BALCAR, Martin, Petr PÁLÁN a Jiří BAŽAN. Technologická zařízení na výrobu a zpracování oceli a litiny. *XX. celostátní školení tavičů a mistrů oboru elektrooceli a tvárné litiny s kuličkovým grafitem na odlitky*. Žďár nad Sázavou: Žďas, 2011, s. 47-56. ISBN 978-80-02-02336-4.
4. Ötzi. Wikipedia [online]. 2016 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%96tzi#/media/File:ReconstructedOetziAxe.jpg>
5. Archeologická sbírka Národního muzea. *Archeologie na dosah* [online]. 2014 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.archeologienadosah.cz/archeologie-v-nm/sbirky/archeologicka-sbirka>
6. HERMAN, Marek. *Konstrukce kyslíkových konvertorů a elektrických obloukových pecí* [online]. Ostrava: FMMI VŠB - TUO, 24 s. [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HKH6kdVCkswJ:files.marekherman.webnode.cz/200000021-7f04d7fff2/Hutn%25C3%25AD%2520za%25C5%2599%25C3%25ADzen%25C3%25AD%2520ocel%25C3%25A1ren%25201.pdf+&cd=5&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>
7. Výroba železa a oceli. *Institut geologického inženýrství* [online]. 2007 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/vyroba_zeleza.html#surove
8. Historie kovů. *GamePark.cz* [online]. 2010 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://www.gamepark.cz/historie_kovu_397796.htm
9. Historie ocelářství. *Hutnictví železa, a.s.* [online]. 2014 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.hz.cz/cz/historie-ocelarstvi>
10. History of Casting. *Industrialmetalcastings.com* [online]. 2009 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.industrialmetalcastings.com/history.html>
11. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 s. ISBN 80-214-2790-6
12. PALÁN, Petr a Pavel MERTA. Tavicí agregáty pro výrobu tekuté fáze a jejich možnosti intenzifikace. *16. celostátní školení tavičů a mistrů oboru elektrooceli a litiny s kuličkovým grafitem na odlitky*. Uničov: UNEX, 2003, s. 12-22. ISBN 80-02-01550-9
13. MORES, Antonín a Milan NĚMĚC. *Technologická zařízení sléváren*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2010, 158 s. ISBN 978-80-01-04490-2.

14. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1998, 166 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1263-1
15. VÍTEK, R. *Mechanické vlastnosti litiny s kuličkovým grafitem vyrobené metodou Tundish a procesem Initek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 51 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Stanislav Věchet, CSc.
16. MÁCHA, Viktor. *Industrial Blog: Velká kuplovna* [online]. 2015 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.industrialnifotografie.cz/blog/velka-kuplovna-62.html>
17. BRUŠTÍK, Josef. *Elektrické indukční pece ve slévárnách*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 28 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.
18. KOUBEK, Ondřej. *Návrh studeného kelímku*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechniky, 2014. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Lubomír Musálek.
19. ČERNÝ, Václav. Indukční ohřev. *Elektro* [online]. 2002, č. 12 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/indukcni-ohrev-3--14655>
20. FREMUNT, Přemysl a Jaroslav ŠIMON. *Tavení oceli v elektrických pecích*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984, 244 s.
21. KVARK-500 Bubnová Pec. *Tkomplex.ru/cs* [online]. 2013 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.tkomplex.ru/cs/products/drum-furnace/photos?galAlbum=119>
22. JAGOŠ, Miloslav. *Metalurgické zařízení*. 3. přeprac. vyd. Brno: VUT, 1990, 165 s. ISBN 80-214-0103-6
23. MIKULINEC, R. *Optimalizace provozu elektrických obloukových pecí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Ilona Lázničková, Ph.D.
24. NEVYHOŠTĚNÝ, Vlastimil, Pavel FIALA a Luboš ĎURIK. Vyzdívky EOP a faktory ovlivňující jejich životnost. *XXI. celostátní školení tavičů a mistrů oboru elektrooceli a tvárné litiny s kuličkovým grafitem na odlitky*. Žďár nad Sázavou: Žďas, 2013, s. 90-99. ISBN 978-80-02-02479-8.
25. VOLEJNÍK, Vojtěch. *Tavení a lití mědi a jejích slitin*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1953, 92 s. Řada hutnické literatury
26. MORAVEC, L.. *Výroba odlitků ze slitin hliníku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 50 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Antonín Záděra, Ph.D.

27. Furnaces and Heat Treatment. *Foundry*. 2011, vol. 185, no. 3688, s. 278-285. ISSN 1758-9789.
28. LÁNA, Ivo. Výzkumně inovační kapacita tavení slitin hliníku v plynové šachtové peci se sklopným kelímkem. *Slévárství*. 2013, roč. 61, č. 5-6, s. 175-178. ISSN 0037-6825
29. TOMAN, Vladimír. *Metalurgie neželezných kovů Slévárství – Část 1* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/obrazky/seminare/ovzdusi/seminar2/20_toman_final.pdf
30. Tavení hliníku. *Aceso.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.aceso.cz/taveni-hliniku>
31. ELEKTRICKÉ KELÍMKOVÉ PECE pro tavení a udržování barevných kovů na teplotě. *Realistic.cz* [online]. 2014 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.realistic.cz/vyrobní-program/84-elektrické-kelímkové-pece>
32. Jednokomorová tavící pec. *Stinchcombe.eu* [online]. 2011 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.stinchcombe.eu/sortiment/jednokomorova-tavici-pec>
33. StrikoWestofen Group. *Šebesta služby slévárnám* [online]. 2016 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.sebestasro.cz/cz/dodavatele/strikowestofen>
34. Vanové udržovací pece na slitiny Al. *Ústav využití plynu Brno* [online]. 2010 [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.uvp.cz/plynove-pece/vanove-udrzovaci-pece-na-slitiny-al.html>