



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POROVNÁNÍ TECHNOLOGICKÝCH, EKOLOGICKÝCH A EKONOMICKÝCH VLASTNOSTÍ RŮZNÝCH TECHNOLOGIÍ SAMOTUHNOUCÍCH FORMOVACÍCH SMĚSÍ

COMPARISON OF ENVIRONMENTAL, TECHNOLOGICAL AND
ECONOMICAL PROPERTIES OF VARIOUS SELF-HARDENING SAND
MIXTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Martin ŠPONDR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Petr CUPÁK, Ph.D.

BRNO 2014

Místo tohoto listu bude vloženo zadání (oboustranně). Zadání musí být vevázáno v obou vyhotoveních práce. Do druhého výtisku bude vložena kopie.

Tento list není třeba tisknut!

ABSTRAKT

Slévárenství zná čtyři generace výroby forem a jader, z nichž je v dnešní době nejvíce používaná druhá generace - chemické pojení. Tyto technologie jsou však škodlivé k životnímu prostředí. Tato práce pojednává o samotuhnoucích směsích druhé generace, jejich ekonomice a šetrnosti k životnímu prostředí.

Klíčová slova

Samotuhnoucí směsi, geopolymery, vodní sklo, furan, alphaset, pep-set.

ABSTRACT

There are four generations of form and core production in foundry industry. From these the most used these days is the second generation –chemical connection. However, these technologies are not environmentally friendly. This bachelor's work deals with self-hardening sand mixtures of second generation, their economy and environment friendliness.

Key words

Self-hardening sand mixtures, geopolymer, Sodium silicate, furan, alphaset, pep-set.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠPONDŘ, M. *Porovnání technologických, ekologických a ekonomických vlastností různých technologií samotuhnoucích formovacích směsí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Cupák, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Porovnání technologických, ekologických a ekonomických vlastností různých technologií samotuhnoucích formovacích směsí** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Martin Špondr

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Petru Cupákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 Výroba odlitků	9
2 Výroba forem a jader	11
2.1 Trvalé formy	11
2.2 Polotrvalé formy	12
2.3 Jednorázové formy.....	12
2.3.1 Formovací směsi	12
2.3.2 Ostřivo	14
2.3.2 Pojivo	19
3 Anorganické pojivové systémy.....	23
3.1 Samotuhnoucí anorganické pojivové systémy.....	23
3.1.1 Sádrové formy.....	23
3.1.2 Cementové formy	24
3.1.3 Vodní sklo.....	24
3.1.4 Geopolymery	25
4 Organické pojivové soustavy.....	26
4.1 Organické samotuhnoucí pojivové systémy	27
4.1.1 Furanové pryskyřice	28
4.1.2 Fenolová pryskyřice.....	28
4.1.3 Alphaset	29
4.1.4 PEP-SET systém	29
5 Ekonomické zhodnocení samotuhnoucích pojivových systémů	30
6 Škodlivé látky v organických pojivových systémech.....	30
ZÁVĚR	34
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	35

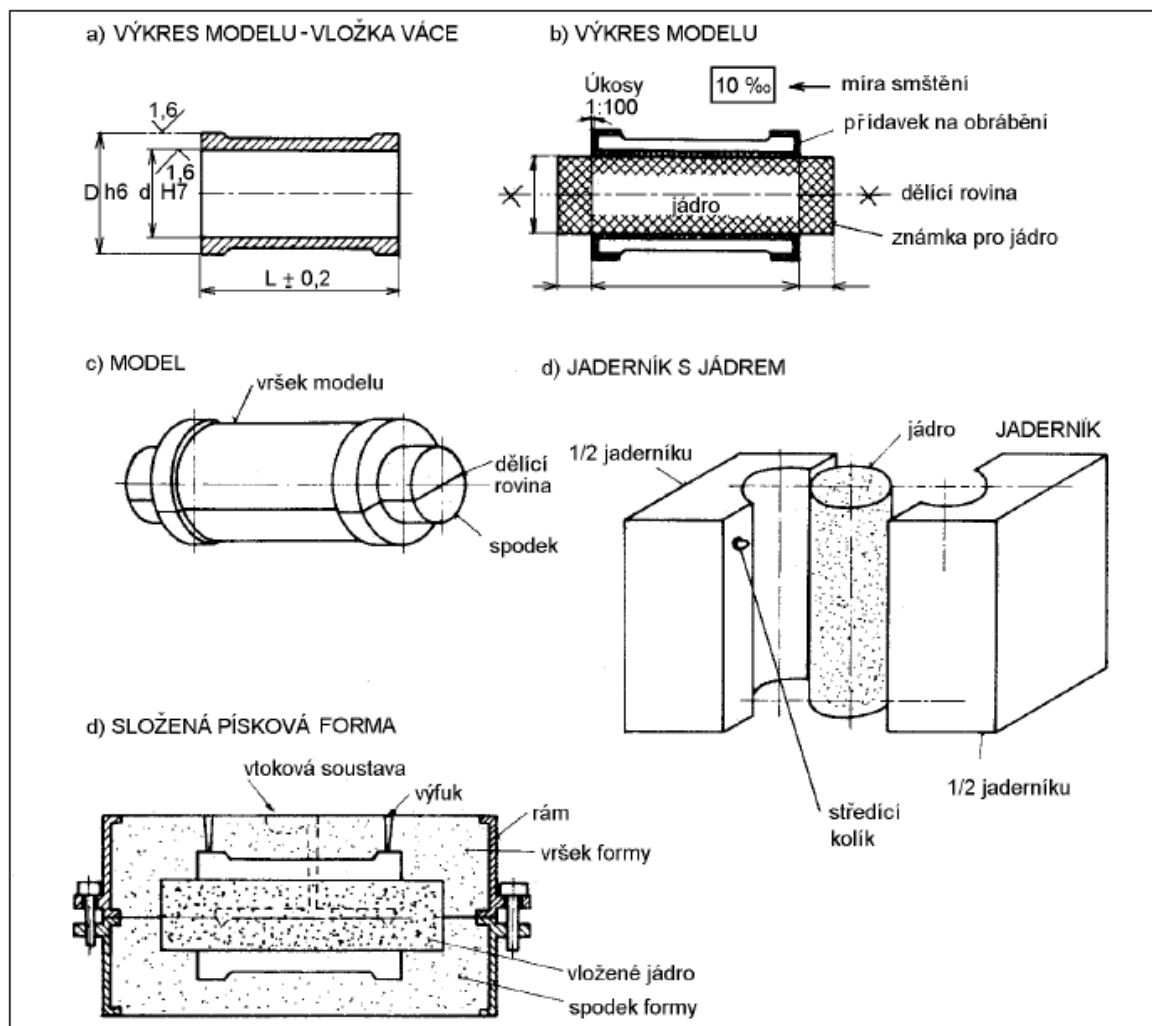
ÚVOD

V posledních třiceti letech došlo k nárůstu výroby odlitků pomocí technologie samotuhnoucích formovacích směsí. Jako náhrada za ekonomicky a časově náročné formy na sušení se začaly používat technologie druhé generace - chemicky pojené formovací materiály. Tuto éru zahájil L. Petržela a J. Croning. Chemicky tvrzené formovací materiály dosahují své pevnosti až po vytvrzení chemickou reakcí, která nastává po fyzikálních nebo chemických změnách. V dnešní době jsou kladeny velké nároky jak na kvalitu výrobků, tak na ochranu životního prostředí. Slévárenská výroba produkuje největší množství nebezpečných odpadů v oblasti strojírenství, a proto se slévárenští odborníci snaží o nalezení co nejpríznivější metody. V dnešní době se často používají samotuhnoucí formovací směsi a to jak organické tak anorganické.

1 VÝROBA ODLITKŮ

Pro výrobu odlitků je potřeba mnoho různých specialistů, technologů a metalurgů. Jejich vzájemnou spoluprací musí vzniknout odlitek s určitými vlastnostmi.

Odlitek zhotovujeme na základě výkresu součásti, který se upravuje pro slévarenskou výrobu (úkosy, přídavky na obrábění, snížení tvorby vad), podle výkresu součásti se zhotoví výkresy modelového zařízení (modely, jaderníky, šablony), obr. 1. Zaformováním modelu a jeho následným vyjmutím získáme dutinu, do které se vlévá roztavený kov. Dutiny v odlitku, které předléváme, se musí vytvořit pomocí jader, které vyrábíme v jadernících. Jaderníky bývají dělené na několik kusů za účelem vyjmutí neporušeného jádra.



Obr. 1. Schéma odlitku, modelového zařízení a pískové formy [1]

Formovací směs vytváříme tak, že smícháme ostřivo s pojivem, výsledná směs musí dosahovat ideální žáruvzdornosti, prodyšnosti, vaznosti, atd.. Formovací směs se připraví a dopraví do formovny. Za pomoci modelu a jaderníků se vytvoří forma. Do takto vytvořené dutiny je nutné přivést kov pokud možno tak, aby se nenarušil povrch formy. K tomuto účelu se používá vtoková soustava, jejíž tvar se volí vzhledem k velikosti odlitku a potřebné rychlosti plnění dutiny. Zvláště pro ocel se často používají nálitky a chladítka, aby docházelo k ideálnímu tuhnutí kovu.

Před litím je třeba formu povrchově upravit nátěrem, složit a zabezpečit proti vztlaku, teprve poté se může odlévat.

V tavírně je připraven tekutý kov s požadované lící teploty a chemického složení. Kov se taví v různých pecích. Vsázka obsahuje kov dodaný hutěmi, kovový šrot, vratný materiál a přísady. Tekutý kov se přepravuje pomocí pánví a je vléván do vtokové jamky. Do dutiny formy nesmí vniknout žádné nečistoty, struska, oxidy, nebo nesmí dojít k poškození formy.

Po ztuhnutí kovu se odlitek vyjímá z formy a to způsobem odpovídajícím druhu formy. U netrvalých forem odlitek vytloukáme, u trvalých vyjmeme odlitek z otevřené formy. Po vyjmutí z formy dostáváme surový odlitek s nálitky a vtoky. Povrch odlitku není dokonale čistý, jsou zde zbytky formovací směsi z jader a formy. Nálitky, vtoky, výfuky, výronky, nebo hrubé povrchové vady odstraňujeme v cídirně. Zbytky kovu se znovu používají v tavírně.

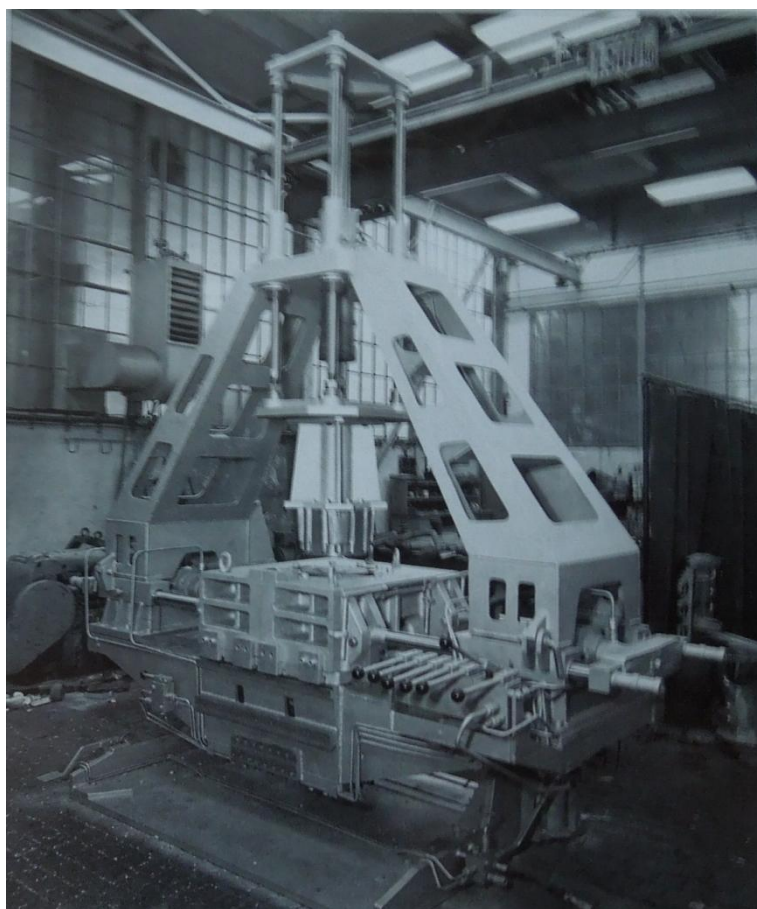
Zkontrolovaný očištěný odlitek se nazývá hrubý dolitek, před expedicí se podle potřeby natírá základním nátěrem.

2 VÝROBA FOREM A JADER

Výroba odlitků spočívá v nalití tekutého kovu do dutiny formy. Formy lze rozdělit podle počtu použití na trvalé, polotrvalé a netrvalé.

2.1 Trvalé formy

Trvalé formy se vyrábí z litiny, oceli, mědi, grafitu a jiných vysoce tepelně vodivých materiálů. Do těchto forem lze odlévat řadu odlitků (30-250 ks), forma se používá, dokud není znehodnocená (změna tvaru, mapování, prasknutí apod.). Jako příklad můžeme použít ingot (odlitek). Kvůli zvýšení životnosti lze některé nejvíce namáhané části vyrobit z formovacích materiálů jako výměnné. Do těchto forem můžeme odlévat gravitačně, pod tlakem, nebo odstředivým litím. Kokilový stroj s vytahováním jader je zobrazen na obr. 2. [2].



Obr. 2. Kokilový stroj s vytahováním horního jádra z roku 1973 [3]

Při používání trvalých forem dochází až k šestinásobnému zvýšení produktivity práce. Je dosažena vyšší tvarová přesnost (přidavky na opracování), dochází k rychlejšímu chladnutí odlitku v kovových formách. Materiál kokil se musí volit tak, aby bylo dosaženo co největší životnosti kokily a zároveň náklady na výrobu byly co nejnižší. Je nutné, aby kokila měla od vzdušnění. Při návrhu musíme vycházet z absolutní nepoddajnosti kovových jader a kokil. Do kokil odléváme odlitky jednoduchých tvarů uzpůsobené k usměrněnému tuhnutí. Kvůli snadné vyjímatelnosti odlitku z formy se zhotovují úkosy 1-2°, u jader 2-10°, lze použít i netrvalá - písková jádra. U drobných odlitků je minimální tloušťka stěn 2 mm, u větších odlitků je tloušťka stěn minimálně 10 mm. [4]

2.2 Polotrvalé formy

V polotrvalých formách lze odlít více než jeden odlitek, ale po každém odlití forma potřebuje opravit a přesušit. Formy se vyrábějí ze zrnitých keramických žáruvzdorných hmot pomocí pěchování. Životnost forem závisí na velikosti, tvaru, materiálu odlitku a pečlivosti zacházení s formou. Do těchto forem odléváme gravitačně. [2]

2.3 Jednorázové formy

Jednorázová forma se zhotovuje z formovacích směsí a slouží k odlití jednoho odlitku. Po odlití se forma rozbije a směs se může použít pro přípravu nové formovací směsi. Formovací směs obsahuje ostřivo, pojivo a další přísady. Podle použití pojivového systému můžeme rozdělit jednorázové formy na čtyři generace. [2], [4].

2.3.1 Formovací směsi

Formovací směsi rozdělujeme podle několika charakteristik a to podle obsahu vody nebo podle jejich použití.

Rozdělení formovacích směsí z hlediska obsahu vody:

Bezvodé směsi: obsah vody do 0,1%, organická pojiva, např.: alkoholy.

Polosuché směsi: obsah vody do 3%, směsi pro lisování vyššími měrnými tlaky.

Směsi bentonitové „na syrovo“: obsah vody do 5%, není třeba formy sušit.

Směsi „na přisoušení“ (sušení na kůru): obsah vody 6-7%, forma se suší krátkou dobu a po sušení musí dojít okamžitě k lití.

Směsi „na sušení“ (vypalování): obsah vody 7% a více, formy a jádra se musí sušit, dokud nedojde k odstranění volné i chemicky vázané vody.

Směsi „na přisoušení“ a směsi „na sušení“ se v dnešní době nepoužívají z důvodů velkých nákladů na vytvrzování. Směsi připravované z jednotlivých komponentů se nazývají syntetické směsi. Dříve se hodně používali směsi s křemenným ostrivem, jílovým pojivem a vodou. Suroviny se těží v různých přírodních lokalitách a byly používány především na sušené formy a jádra ve slévárnách neželezných kovů a litin. Formy a jádra, která se musí sušit, mají několik nedostatků a to především horší kvalitu povrchu odlitků, náklady na sušení, dobu sušení a skladovatelnost.

Rozdělení formovacích směsí z hlediska jejich použití:

- Modelová formovací směs (modelka): příprava z nových surovin, směs se používá jen v okolí modelu a je nejvíce namáhaná od tekutého kovu,
- výplňová formovací směs (vratná): připravuje se z použité směsi, touto směsí se vyplňuje zbytek formy, nedosahuje takových kvalit jako směs modelová,
- jádrová formovací směs: příprava z nových surovin, je požadována vyšší kvalita jak u modelové armovací směsi, používá se k výrobě jader,
- jednotné formovací směsi: příprava z použité směsi, jednotná směs pro vyplnění celé formy, používá se u strojní výroby forem.

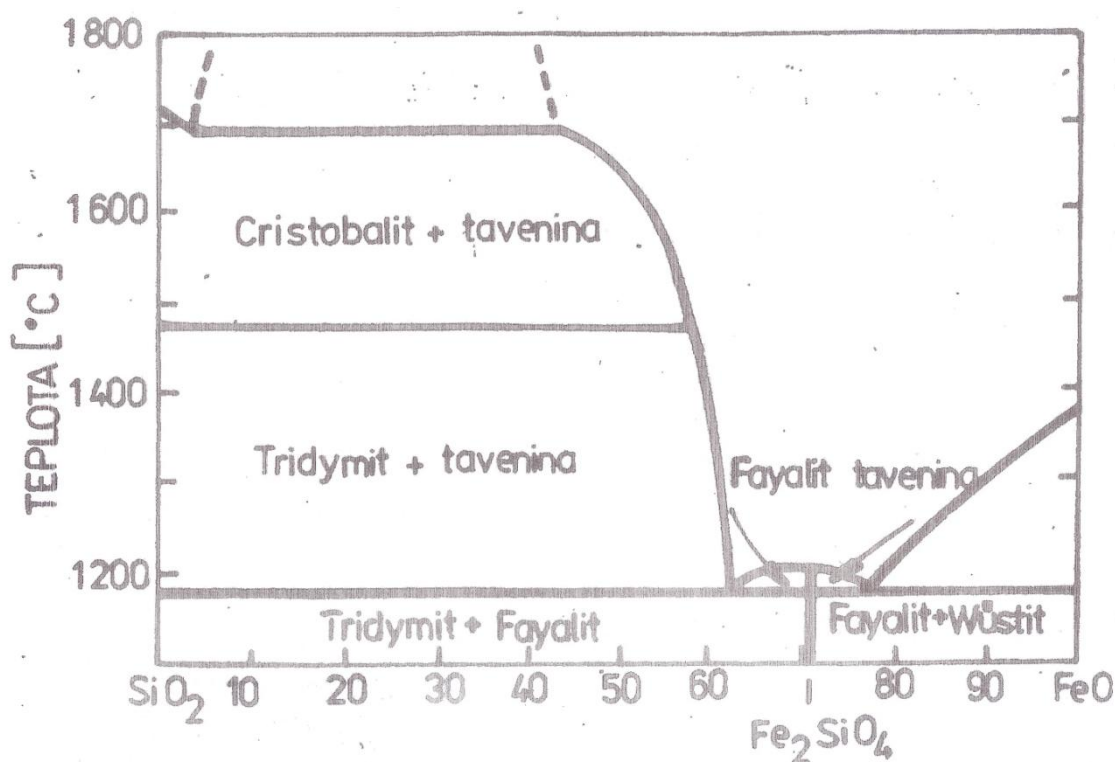
2.3.2 Ostřivo

Ostřivo je žáruvzdorný, zrnitý materiál s velikostí částic nad 0,02 mm. Hlavní objem ve formovací směsi má ostřivo, tvoří hlavní skelet forem a jader. Jeho hlavní vlastnosti jsou hranatost a granulometrická skladba (zrnitost) jednotlivých částic. [2]

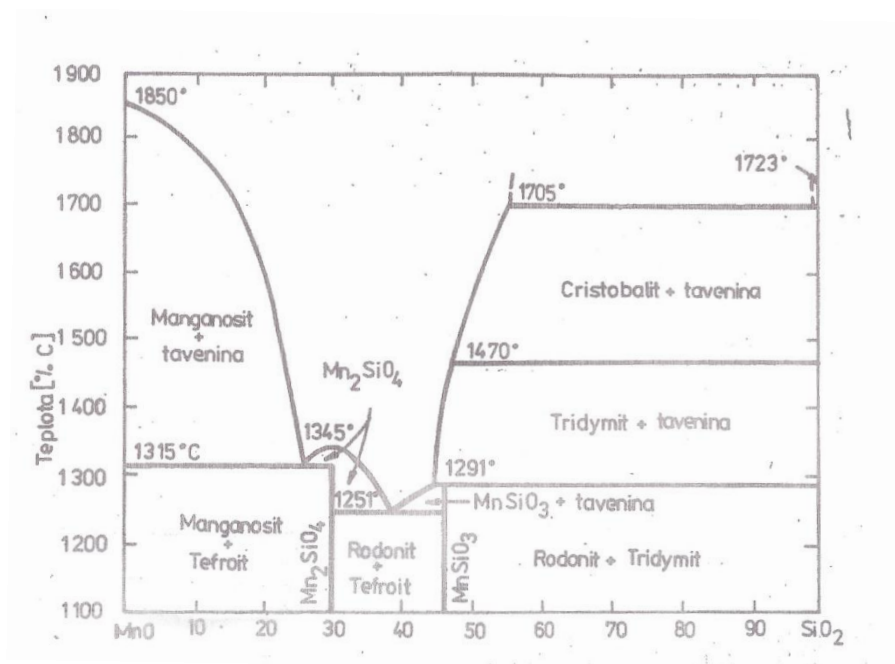
Ostřivo dělíme podle chemické povahy a to na:

- Kyselé ostřiva: křemenné písky,
- neutrální ostřiva: šamot, korund a chromit,
- zásaditá ostřiva: magnesit.

Kyselé ostřiva reagují se zásaditými oxidy legovaných ocelí, vznikají sloučeniny s nižší žáruvzdorností a díky tomu vznikají připečeniny a spečeniny na odlitcích. Reaktivnost SiO_2 a FeO je zobrazena na grafu 1. a reaktivnost MnO a SiO_2 je zobrazena na grafu 2. [2]



Graf 1 Binární diagram FeO - SiO_2 [2]



Graf 2 Binární MnO - SiO₂ [2]

Ostřiva dělíme podle vzniku:

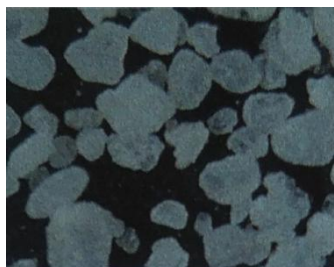
- Přirozená: křemenné písky, zirkonové písky, dunit a olivín,
- umělé: korund, šamotový lupek, kovové kuličky a chrommagnesit.

Volba druhu ostřiva záleží na:

- Chemické povaze odlévané slitiny a druhu legujících prvků,
- druh odlévané slitiny, lící teplotě, přípustném obsah živců v písku,
- tvarové složitosti a tloušťce stěn odlitku,
- druh pojivové soustavy,
- ekonomické dostupnosti a ceně směsi, s ohledem na získání maximální pevnosti s minimem pojiva

Křemenné ostřivo

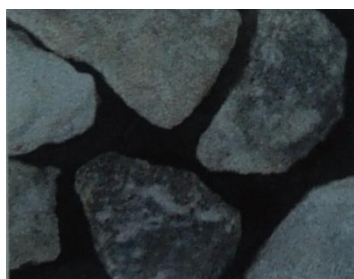
Mezi nejpoužívanější ostřiva patří křemenné písky (více jak 98 % SiO_2), na které jsou kladeny velké nároky z hlediska chemické čistoty a mineralogického složení. Křemen je nejrozšířenější minerál, vyskytuje se v přiměřené zrnitosti, jeho vlastnosti vyhovují běžným požadavkům i za vysokých teplot. Vyšší reaktivnost křemenných písků s FeO , MnO a dalších oxidů za vyšších teplot řešíme nahrazováním křemenných ostřiv (obr. 3), ostřivy s vyšším bodem tavení, např.: šamot, lupek, korund, chrommagnesit, zirkon, chromit. Mezi další nevýhody patří neplynulá a mnohem vyšší tepelná dilatace oproti jiným ostřivům. [2]



Obr. 3. Křemenný písek z lokality Hlubany [5]

Šamotový lupek

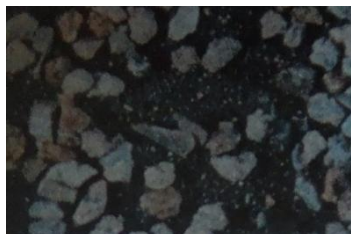
Vzniká vypalováním vysoce žáruvzdorných břidličnatých jíílů (kaolinitický jííl) na šamotový lupek ($3 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{ SiO}_2$) v rotačních pecích při teplotách nad 1100°C , dále se provádí mletí a třídění s maximální velikostí zrna 3 – 5 mm. Ostřivo je ostrohranné (obr. 4) s plynulou dilatační křivkou a vysokou odolností proti zálupům. Podle teploty vypalování obdržíme šamotový lupek s rozdílnou hutností, nasákavostí. Pro slévárenské účely se používají spékavější jííly s nižšími nároky na žáruvzdornost, ale vysokými nároky na nasákavost do 3 %. [2]



Obr. 4. Šamotový lupek [2]

Chrommagnesit

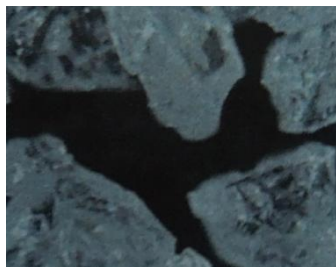
Jedná se o drcený vratný žáruvzdorný materiál (40% MgO, do 35% Cr₂O₃). Tento materiál (Obr. 5) má vysokou tepelnou vodivost, nízkou lineární roztažnost a nízký modul pružnosti. [2]



Obr. 5. Chrommagnesit [2]

Korund

V přírodě ho můžeme těžit jako minerál safír nebo korund. Ve slévárenství používá elektrokorund (Al₂O₃), vyrábí se redukčním tavením bauxitu v elektrické obloukové peci při teplotě 2050°C, nežádoucí látky jsou redukovány pomocí železných pilin a koksu. Elektrokorund (Obr. 6) je velmi stálý a nereaguje se sloučeninami Fe. [2]



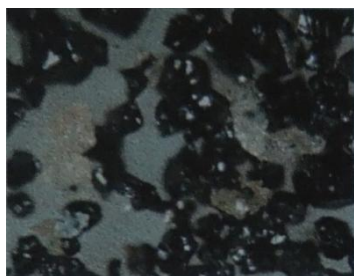
Obr. 6. Korund [2]

Chromit

Chromit (obr. 7) dělíme podle obsahu chromu:

- Chromit chemický: chromit s vysokým obsahem chromu,
- chromit keramický: chromit s nízkým obsahem chromu, ale vyšším obsahem hliníku.

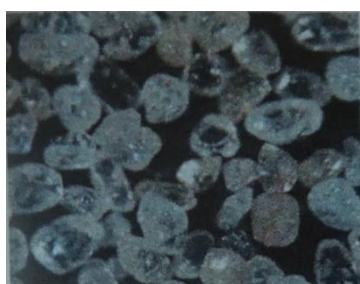
Ve slévárnách používáme chromit keramický, obsahuje minimálně 45 – 48% Cr_2O_3 a maximálně 12% Fe. Pro masivní ocelové odlitky SiO_2 nesmí přesáhnout 2 – 2,5%, SiO_2 se vyskytuje jako volný křemen nebo jak silikát. Chromitová zrna jsou černá, hladká a mají polyedrický tvar. [2]



Obr. 7. Chromit [2]

Zirkon

Zirkonové písky (Obr. 8) obsahují směs $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ a ZrO_2 , teplota tavení je okolo 1900°C . Vynikají lineární tepelnou dilatací, která je několikanásobně nižší než u ostatních ostřiv, vysokou tepelnou vodivostí, vysokou měrnou hmotností, nereaktivností vůči Fe za vysokých teplot, nedochází k penetraci nebo zapékání. Uplatňuje se i jako plnivo slévarenských nátěrů. [2]



Obr. 8. Zirkon [2]

Olivín

Jedná se o tuhý roztok 93% Mg_2SiO_4 (forsterit) a 6% Fe_2SiO_4 (fayalit), materiál je sopečného původu s teplotou tavení 1870°C . Obsahuje vyšší množství par než u křemenných písků, vznikají problémy s bublinatostí odlitků. Olivín (Obr.9) má lineární tepelnou dilataci nižší, než u SiO_2 . [2]



Obr. 9. Olivín [2]

2.3.2 Pojivo

Pojivové systémy můžeme rozdělovat podle generací, které jsou zobrazeny v tab. 1.

- I. generace: jílová pojiva (vytvrzování probíhá zhutňováním a popřípadě dosoušením),
- II. generace: chemické vazby (organická a anorganická pojiva),
- III. generace: fyzikální vazby,
- IV. generace: biologické vazby.

Tab. 1 Rozdělení technologií na generace [5]

Technologie	Popis metody	Základní složení formovací směsi
I. Generace	Ke zpevnění dochází při zhutňování (pěchování, metání, lisování), některé směsi se dosoušejí.	Ostřivo Jílové pojivo: Bentonit, Ilitický kaolinitický jíl. Voda
II. Generace	Ke zpevnění dochází pomocí chemických procesů. Je nutné formu upěchovat.	Ostřivo Chemické pojivo, tvrzené pomocí chemických reakcí.
III. Generace	Ke zpevnění dochází pomocí fyzikálních vazeb jako je magnetismus, změna teplot.	Ostřivo Pojivo není potřeba, pouze občas se používá voda.
IV. Generace	K vytvrzení dochází pomocí mikroorganismů.	Ostřivo Obnovitelné pojivo.

I. Generace

Jako pojivo se používá jíl (aluminosilikát), vazbu tvoří s vodou. Formovací směsi s jílovými pojivy jsou spojeny díky kapilárnímu tlaku. Je to nejstarší technologie výroby forem. [5]

Kaolinitické jíly

V kaolinitických jílech je hlavní složkou kaolinit. Tyto žáruvzdorné jíly slouží jako pojiva k přípravě šamotových směsí. Jsou málo plastické, špatně bobtnají. Ve směsi se používá 15% jílu, používá se pro ocelové odlitky, k vytvrzení dochází po usušení. [5]

Jílové minerály vznikají v podstatě třemi postupy:

- Zvětráváním hornin s vysokým obsahem živců,
- hydrotermálním rozpadem hornin obsahujících živce,
- rozrušení hornin, jejich přemístění a sedimentací.

Illitické jíly

Illitické jíly jsou nejrozšířenější v přírodních píscích. Železité minerály jsou zbarveny do zelena. Glaukonit se v přírodních píscích nachází ve formě drobných zelených zrn, které po rožnění vytváří film obalující křemenná zrna. Tím roste vaznost přírodních písků (Rájec, zelený polomastný přírodní písek s obsahem 12÷15 % jílu). Jejich spékavost se pohybuje mezi 1300÷1350 °C. K další známým illitům patří Vonšovský zelený jíl GE. Používá se pro těžké odlitky za šedé litiny, k vytvrzení dochází po vysušení. [5]

Montmorilinitický jíl

Montmorillonit je hlavní složkou horniny nezvané bentonit, vykazuje vysokou bobtnavost a vysokou vaznost za syrova. Ve směsi se používá 5% jílu a do 5% vody, směs používá za syrova. Bentonity těžené u nás mají nízkou pevnost při převlhčení, a proto se natrifikují 2 až 3% sody, čímž dojde k výměně draselných iontů za sodné. Bentonitová směs na syrovo je nejrozšířenější formovací směs. [5]

II. Generace

II. generace formovacích směsí nahradila I. generaci směsí na sušení a zkrátila tím dobu výroby forem a jader. II. generaci formovacích směsí můžeme rozdělit z několika hledisek a to na organické a anorganické nebo na samotuhnoucí směsi a směsi tuhnoucí zásahem zvenčí. Za počátek chemické výroby forem a jader považujeme aplikace směsí s vodním sklem, CO₂ proces (Lev Petržela, čs. Patent z 12. 12. 1947), i když je třeba přiznat, že existovaly patenty již před tímto datem, chránící například použití fenolformaldehydových pryskyřic jako slévárenských pojiv (Johanes Croning, německý patent 1943). Výzkumy, ale i soudobá praxe, vedou ke strukturně upraveným alkalickým silikátům s vysokou specifickou pevností, minimální spotřebou ve směsi, a proto i zlepšující se rozpadavostí a dobrou regenerovatelností ostřiv suchou a pneumatickou cestou. Současná pozornost je věnována samotvrdnoucím směsím s kapalnými tvrdidly esterolového typu. [6]

III. Generace

Cílem III. generace výroby forem je především řešit nedostatky II. Generace: ekologii, rozpadavost a regenerovatelnost ostřiva. [6]

Magnetická forma

Výroba forem magnetickým způsobem našla jen velmi malé uplatnění v úzkém sortimentu výroby. Vedle známých hygienických předností je výhodou jen technologie vysokých ochlazovacích účinků formy a odstranění používání klasických pískových jader.

Vakuová forma

Vakuová forma doznala vysoké rozšíření ve slévárnách, zvláště při výrobě velkoplošných odlitků, koupacích van a v umělecké výrobě. Japonci dokázali odlévat odlitky až do hmotnosti 15t. Dokonce vyřešili povrchovou ochranu forem pomocí termoplastické folie plněné grafitem (tloušťka pod 0,1mm). Metoda rovněž není univerzální a na nedostatky je možno považovat energetickou náročnost (vakuové pumpy) a nízký ochlazovací účinek forem proti formám syrovým (vnitřní vady odlitků, chybí přenos tepla konvekci, vedením je výrazně snížen).

Plná forma

Plná forma neboli spalitelný model, forma z ostřiva bez pojiva. Jak prokazují mezinárodní slévárenské výstavy GIFA, je to technologie velmi rozšířená, zvláště ve slévárnách automobilového průmyslu a je velmi produktivní. V USA pracuje více než 40 sléváren s touto technologií, značné je její rozšíření v Koreji a Japonsku.

Zmrazená forma

Jedná se o vysoce perspektivní technologii řešící současné problémy sléváren (vynikající rozpadavost, nevyžaduje regeneraci ostřiv, není nutno používání C-přísad, lití bez škodlivých exhalací, vysoký ochlazovací účinek formy atd.). Bohužel i přes důsledné a obsáhlé teoretické rozpracování i poloprovozní ověření v několika slévárnách, panuje k technologii stálá nedůvěra slévačů, plynoucí z přílišného profesionálního konzervatismu. I když byla technologie oficiálně patentovaná v Anglii, největšího rozpracování doznala v Rusku, v České republice a v Německu v oblasti výroby zmrazených jader. Stále se setkáváme s novými patenty v Japonsku, v Rusku a dalších zemích, rozvíjejících tuto převzatou technologii, bohužel jen na teoretické a poloprovozní bázi.

IV. Generace

Po chemizaci a fyzikálních postupech pojení lze v dalším období očekávat i biologizaci procesů výroby forem a jader. O tom svědčí zatím ojedinělé použití mikroorganismů ve slévárnách, např. při čištění exhalací (zachycení fenolů a formaldehydů z odsávání) sléváren pracujících s umělými pryskyřicemi nebo k zamezení odsávání aktivních prachových podílů z mísičů při přípravě směsi. Jako pojivo IV. generace se používá pojivo GMBOND od firmy General Motors, je vhodné pro odlévání hliníkových slitin. Jedná se směs vodou ředitelných biopolymerů (bílkoviny), která se vytvrzuje v horkém jaderníku profukováním horkého vzduchu. Pojivo GMBOND je vhodná náhrada CB a HB jader, předčí je jak svou rozpadavostí, tak ekologickou nenáročností. [6], [7].

3 ANORGANICKÉ POJIVOVÉ SYSTÉMY

Do této kategorie můžeme zařadit anorganická pojiva vytvrzované zásahem z venčí a to vodní sklo vytvrzované pomocí profukování CO_2 . Mezi samotuhnoucí systémy řadíme sádku, cement, vodní sklo a v poslední době rozšiřující se technologie geopolymery. [5]

3.1 Samotuhnoucí anorganické pojivové systémy

Dříve používané pro ocelové odlitky, nyní jsou nahrazovány technologiemi organických pojiv. Z důvodů ekologie se stále vylepšují anorganické pojivové systémy.

3.1.1 Sádrové formy

Používají se pouze pro odlévání slitin s nižším bodem tavení (olovo, měď). Využívá se pro odlévání uměleckých předmětů. Problémy s prodyšností forem. Jako pojivo se používá sádka CaSO_4 ostřivo je mletý SiO_2 , pro urychlení nebo zpomalení se používají přísady kyselina boritá, vápno, cement. Před litím je potřeba odstranit jak volnou vodu tak vázanou vodu a to sušením forem. [5]

3.1.2 Cementové formy

Cementové formy se u nás nevyužívají. V cizině se používají pro výrobu těžkých odlitků jako náhrada za I. generaci formovacích směsí. Na výrobu forem se využívá buď Portlandský nebo Hlinitanový cement. Rychlost vytvrzování závisí na jemnosti mletí cementu, druhu cementu koncentraci urychlovačů. Jako urychlovač se používá celosit, tricasal. Odlévání po 10 až 12 hodinách. Je nutné rychlé zpracování, po 30minutách dochází k ztrátě až 30% pevnosti. Prodyšnost formy závisí na množství cementu. Modelové zařízení musí být opatřeno speciálním nátěrem a mít dvakrát větší úkosity než obvykle. [5]

3.1.3 Vodní sklo

Vodní sklo je ternární soustava SiO_2 - Na_2O - H_2O , hustota vodního skla se udává v °Bé (36-60°Bé), modul vodního skla je poměr mezi SiO_2 a Na_2O (2-3,3). Rychlost vytvrzování se zvyšuje snižováním modulu vodního skla. Směsi s vodním sklem dělíme podle způsobu vytvrzování na samotuhnoucí směsi (obr. 10) a vytvrzované zásahem z venčí (CO_2). Mezi nejhorší negativní vlastnosti vodního skla patří rozpadavost. [5]



Obr. 10. dolní poloforma z ST směsi s dunitovým obkladem a magnezitovým nátěrem

rozdělení samotuhnoucích směsí s vodním sklem:

- Samotvrdnoucí směsi s vodním sklem: obsahuje ostřivo, vodní sklo, tvrdidla a to prášková (ferosilicium, ferochromovou strusku, ocelářskou strusku, cement, anhydrid), nebo kapalná (estery kyseliny octové, esterol),
- samotvrdnoucí směsi s vodním sklem a bentonitem: obsahuje ostřivo, vodní sklo, práškové tvrdidlo, bentonit,
- samotvrdnoucí směsi s vodním sklem a dikalciem: ostřivo, vodní sklo, tvrdidlo, zvěšvadlo,
- vodní sklo s organo-minerálními pojivy.

Vazné samotuhnoucí směsi s vodním sklem (bentonit) se používají na výrobu jader, kde lze jádro po zaformování hned vyjmout a k dosažení vhodných mechanických vlastností dojde po určité době dotvrzením na vzduchu. Není potřeba zvětšovat úkopy. Směs obsahuje ostřivo, bentonit, vodní sklo, tvrdidlo kamenouhelnou moučku. [5]

Samotuhnoucí směsi s vodním sklem se používají na výrobu forem, a to s kapalným tvrdidlem nebo s práškovým tvrdidlem. S práškovým tvrdidlem bývají problémy s nastavením doby zpracovatelnosti pro rozdílné vlastnosti tohoto tvrdidla, proto se více využívá kapalné tvrdidlo. Je možné regenerovat až 60% směsi. [5]

Ztekucené samotuhnoucí směsi s vodním sklem se používají u vypařitelných modelů, kde není potřeba používat nepravá jádra, ztekucená směs zateče do všech děr. Jako ztekucovadlo se používá durosol nebo etoxon.

3.1.4 Geopolymery

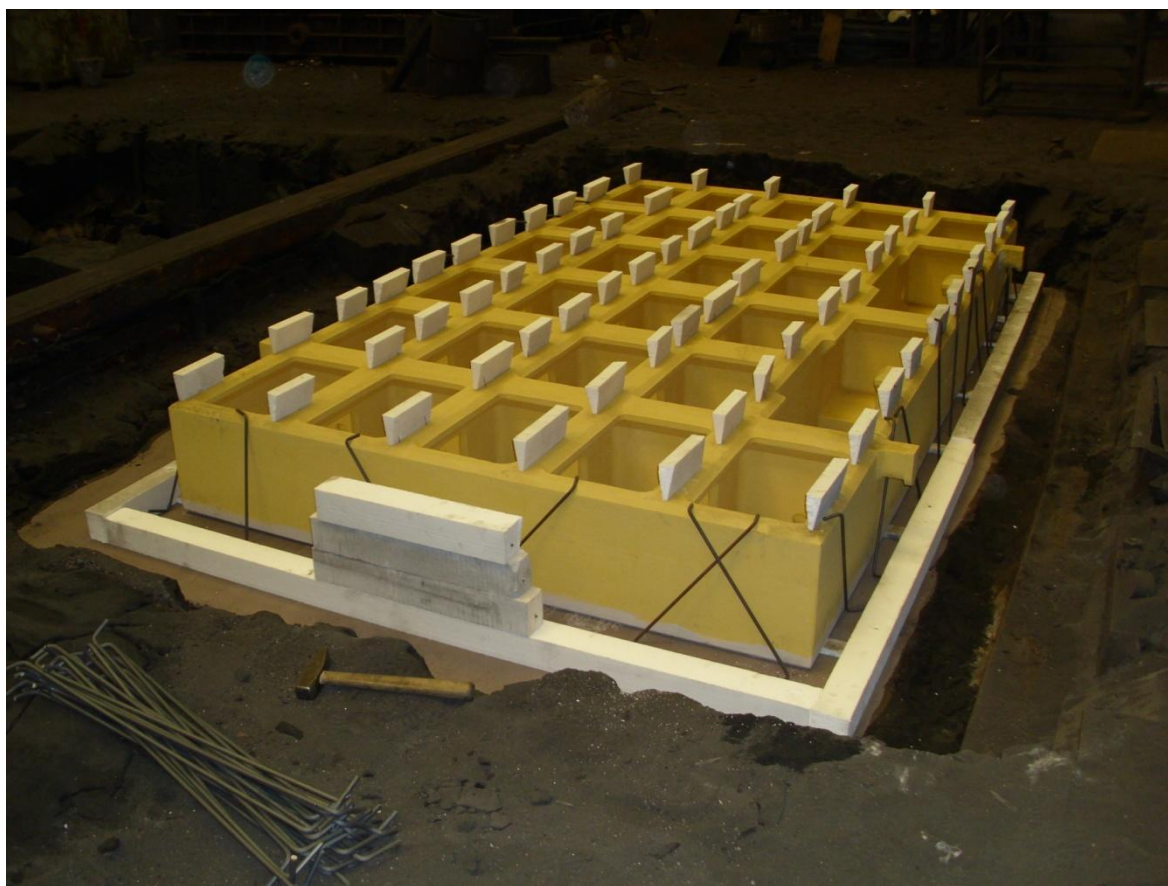
Jako průkopník geopolymérů je považován prof. Joseph Davidovits (Francie). Jedná se o anorganické polymery na bázi Si a Al, zvané polysialáty. Tvoří se řetězcem tetraedrů SiO_2 a AlO_4 , spojených navzájem vazbou Si - O - Al (siliko - oxy - aluminát), které mají amorfni strukturu. Poměr Al a Si se pohybuje od 1 : 1 až 1 : 35. Ve slévárenství se využívají pryskyřice s vysokým molárním poměrem $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Tato pojiva se vytvrzují chemicky (CO_2 , estery) nebo fyzikálně (hot box, 80 - 200°C). [8]

Mezi výhody geopolymérů patří:

- Vysoké pevnosti při vytvrzování estery, umožňuje snížení pojiva na 2-2,5%,
- dobrá rozpadavost, hlavně v oblasti I. maxima,
- adhezní typ destrukce vytvrzené směsi umožňuje použít mechanickou regeneraci s použitím až 75% regenerátu,
- lze využít i nekřemenná ostřiva např. chromit. [8]

4 ORGANICKÉ POJIVOVÉ SOUSTAVY

Organické ST směsi se používají k výrobě forem a jader za studena. Směs obsahuje katalytické pryskyřice. K řetězení dochází přidáním kyselin (podle charakteru pryskyřičných vytvrzovadel), během třiceti minut až několika hodin. Hlavní použití je pro malosériovou a kusovou výrobu. Příprava směsi probíhá buď v průběžných žlabových mísičích nebo ve vířivých mísičích. Nealkalický vysušený písek je v mísiči zvlhčován kyselinou a následně obalován tekutou pryskyřicí. Vlhká formovací směs, která se zpracovává v určitém omezeném čase, se nepatrně zhutní, většinou manuálně, přetvoří na požadované formy, případně jádra, která se zpevní řetězcem pryskyřice. Doba zpracovatelnosti a doba rozebíratelnosti se řídí podle druhu pryskyřice, také množstvím kyseliny a teplotou formovací směsi. Dobu vytvrzování lze zkrátit vyšší teplotou, použitím většího množství kyseliny nebo použitím silnějších kyselin, mezi používané kyseliny patří organické sulfonové kyseliny (především p-toluol-sulfonová kyselina) a fosforové kyseliny. Používají se při výrobě malé série nebo při výrobě jader velkých rozměrů nebo forem pro odlitky (velkých rozměrů). Použití alkalických formovacích materiálů, jako je olivínový nebo chromitový písek, nepřináší problémy. Tyto technologie jsou také vhodné pro velké kusové odlitky, pro které se nevyplatí vyrábět trvalé modely, ale pouze modely z polystyrenu, které se opatří nátěrem, zaformují a odlíjí (polystyrén se při kontaktu s kovem odpaří), ukázka polystyrénového modelu je na obr. 11. [5], [6].



Obr. 11. Polystyrénový model pro organické samotuhnoucí směsi.

4.1 Organické samotuhnoucí pojivové systémy

Mezi organické samotuhnoucí pojiva řadíme furanové, fenolové a esterolové pryskyřice. Obecným problémem s organickými pojivy je obsah škodlivých látek a plynatost odlitků. Největší výhodou těchto systémů je rozpadavost po odlití, dobrá regulovatelnost rychlosti vytvrzování i vzhledem k fyzikálním změnám směsi. [5], [6], [9]

4.1.1 Furanové pryskyřice

Furanové pryskyřice jsou složeny z močovino-formaldehydového předkondenzátu a furfurylalkoholu. Vedle těchto základních látek jsou modifikovány furanové a fenolytické pryskyřice, přírodní pryskyřice nebo ostatní přírodní a plastické hmoty, s cílem dosáhnout dobrou zpracovatelnost nebo specifickou technickou úroveň odlitku. Rozsah typů je od furanových pryskyřic s nízkým obsahem furfurylalkoholu pro lití lehkých kovů až po pryskyřice obsahující skoro čistý furfurylalkohol pro ocelové odlitky. Jako ostřívo se používají křemenná a chromitová ostřiva. Regenerovatelnost ostřiva probíhá v mechanických regeneračních zařízeních, 5-10% nového ostřiva. Furanové pryskyřice se používají například ve slévárnách ŽĐAS Žďár nad Sázavou a.s., Slévárna Kuřim a.s., PILSEN STEEL s.r.o.. [5], [6], [9]

4.1.2 Fenolová pryskyřice

Vytvrzování pomocí sterolové kyseliny a PTS

Fenolové pryskyřice obsahují fenol, formaldehyd a volnou vodu, tendencí je snižovat podíl těchto látek. Mezi další kladné vlastnosti patří vysoká rychlost vytvrzení a dobrá pružnost po vytvrzení. Tyto vlastnosti zajišťují dobrou manipulovatelnost, rovnoměrné obalování, bezpečné plnění a zhutnění forem, mimořádně nízký zápach a při dodržení vhodné doby vytvrzení i zvýšenou hodnotu tažnosti. Vysoká pevnost vytvrzených formovacích směsí umožňuje dosáhnout úsporného dávkování. Velký obsah uhlíku a nízký obsah dusíku fenolických pojiv vede k velmi dobré povrchové jakosti odlitků. Jako vhodné ostřívo se používají křemenná a chromitová ostřiva, 5-10% nového ostřiva. Regenerování ostřiva probíhá formou mechanické regenerace. Fenolové pryskyřice se používají ve slévárnách DSB Euro s.r.o., SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o.. [5], [6], [9]

4.1.3 Alphaset

Při metodě Alphaset se používají jako pojiva tekuté alkalické fenolresoly v kombinaci s tekutými alifatickými estery. Podle druhu esterolu je možné nařídit dobu vytahování modelu na 5 – 30 min.. Protože pojiva neobsahují dusík a síru, projevují se přednostmi zvláště u ocelových odlitků, odlitků z tvárné litiny, odlitků z hliníkových slitin. Jako vhodné ostřívo se používá křemenné, olivín, lupek a chromit. Regenerování ostříva probíhá v mechanické regeneraci, 30% nového písku. Alphasetová technologie se používá ve slévárnách ČKD Kutná Hora a.s., Viadrus a.s., Královopolská slévárna s.r.o.. [5], [6], [9]

4.1.4 PEP-SET systém

Jedná se o trojsložkový systém:

- Speciální fenolformaldehydový resol, rozpuštěný v organických rozpouštědlech,
- polymerní izokyanát,
- speciální aminový katalyzátor, který reguluje rychlost vytvrzování.

Během vytvrzování dochází k vytváření uretanového polymerního pojiva, bez vedlejších produktů. PEP-SET má ideální průběh vytvrzování, probíhající v celém objemu. Dobu rozebíratelnosti lze řídit od několika desítek sekund až po 3 hodiny. Nevýhodou je obsah N_2 . Jako vhodné ostřívo se používá křemenný písek a chromit, regenerovatelnost je 95%. Regenerace probíhá v mechanických regeneračních zařízeních. PEP-SET se využívá ve slévárnách Slévárna Pilana Hulín s.r.o., [5], [6], [9].

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ SAMOTUHNoucÍCH POJIVOVÝCH SYSTÉMŮ

Pokud budeme hodnotit ekonomické vlastnosti jednotlivých samotuhnoucích směsí, musíme brát v úvahu několik faktorů, zejména náklady na formovací směs, regenerovatelnost a nebezpečnost odpadu. Anorganická pojiva můžeme vyvážet na komunální a ostatní odpad, ale regenerovatelnost je velmi špatná, zatímco náklady na formovací směs jsou nízké. Organická pojiva musíme vyvážet na řízené skládky s nebezpečným odpadem, avšak mají výbornou regeneraci, náklady na formovací směs jsou vyšší než v případě anorganických systémů. Tato kritéria zachycuje tab. 2.

Tab. 2. Náklady a regenerovatelnost samotuhnoucích formovacích směsí

Druh samotuhnoucích formovacích směsí:	Cena [%]	Možnost regenerace [%]	Množství nového ostříva [%]
Furan	100	95	5
PEP-SET	87	95	5
Alphaset	103	70	30
Vodní sklo s esterem	60	60	40

6 ŠKODLIVÉ LÁTKY V ORGANICKÝCH POJIVOVÝCH SYSTÉMECH

Tyto látky jsou buď obsažené v pojivových systémech nebo se tvoří během tepelné expozice složek pojivových systémů při odlévání. [10]

Aceton

Je značně hořlavý, ve směsi se vzduchem (2,5 – 12,8 % acetonu) je výbušný. Může oxidovat na nestabilní peroxidy které jsou velmi citlivé na tření a náraz. Vysoké koncentrace par acetonu jsou dráždivé, působí tlumivě na centrální nervový systém. Výpary acetonu v atmosféře degradují působením UV záření s poločasem 22 dnů. Aceton je dobře rozpustný ve vodě a může kontaminovat spodní vodu. [10]

Alkohol

Je hořlavý, páry alkoholu ve směsi se vzduchem mohou být při určité koncentraci výbušné. [10]

Aminy

Jsou těkavé hořlavé kapaliny, jejich páry tvoří se vzduchem výbušnou směs. Nepříjemně páchnou, při vyšší koncentraci jsou toxické. Mohou být karcinogenní. [10]

Benzen

Je hořlavý, toxický a karcinogenní. Vdechování malého množství benzenu způsobuje bolest hlavy, pocit únavy, zrychlení srdečního tepu a ztrátu vědomí, velká koncentrace benzenu může způsobit smrt. Poškozuje kostní dřeň a způsobuje chudokrevnost, je klasifikován jako karcinogen skupiny 1 (rakovinotvorný pro člověka). Způsobuje především rakovinu plic a leukémii. [10]

Fenol

Je toxický, žravý a vysoce korozivní, má leptavé účinky na lidské tkáně, do lidského organismu se vstřebává rychle všemi cestami (v tekuté formě i ve formě par) včetně pokožky. Dráždí pokožku, poškozuje játra a ledviny. Způsobuje bolest hlavy, poruchy dýchacího a oběhového systému, má tlumící účinek na centrální nervovou soustavu, při vysokých dávkách (řádově v gramech) může způsobit i smrt. Je slabě karcinogenní. [10]

Formaldehyd

Má štiplavý zápach, dráždí oči, pokožku a dýchací cesty. Vyvolává bolesti hlavy, záněty nosní sliznice, vyrážky na pokožce. Vyšší koncentrace může způsobit respirační problémy a ztrátu zraku. Může poškozovat centrální nervovou soustavu. Je klasifikován jako pravděpodobný karcinogen. [10]

Furfurylalkohol

Páry furfurylalkoholu ve směsi se vzduchem mohou být výbušné. [10]

Furan

Je vysoce těkavý, hořlavý, toxický a může být karcinogenní. [10]

Metanol

Je těkavý, hořlavý a silně jedovatý. Páry metanolu způsobují ospalost, závratě a křeče. Způsobuje útlum centrální nervové soustavy, při požití (již 4 – 10cm³) může způsobit trvalou slepotu. [10]

Metyletylketon

Je hořlavý, jeho páry ve směsi se vzduchem mohou být výbušné. [10]

Metylformiát

Je těkavý, hořlavý (jeho páry ve směsi se vzduchem mohou být výbušné), zapáchá. [10]

Močovina

Delší působení může dráždit narušenou pokožku, při požití může způsobovat nevolnost a letargii. [10]

Naftalen

Patří mezi aromatické uhlovodíky, je těkavý, vysoce hořlavý a toxický. Štiplavě zapáchá, způsobuje bolesti hlavy, zvracení, křeče a průjemy. Při dlouhodobém působení může způsobit rozklad červených krvinek (hemolýza) a nekrózu jater. [10]

SO₂

Je to štiplavě páchnoucí, jedovatý plyn. Dráždí dýchací cesty, dlouhodobá expozice způsobuje rozedmu plic, poškozuje srdeční sval. Je toxický pro flóru – reaguje s chlorofylem a narušuje tak fotosyntézu. [10]

Toluen

Je těkavý, jeho páry tvoří se vzduchem výbušnou směs. Patří mezi aromatické uhlovodíky. Dráždí oči a dýchací cesty, tlumí centrální nervovou soustavu a kardiovaskulární systém, při dlouhodobé expozici způsobuje poruchy zraku a rovnováhy. Vdechování par toluenu může poškodit mozek. [10]

Xylen

Patří mezi aromatické uhlovodíky, je hořlavý. Dráždí dýchací cesty a trávicí ústrojí, poškozuje játra a ledviny, tlumí centrální nervovou soustavu, zhoršuje rovnováhu. Při velkých koncentracích způsobuje bezvědomí a útlum dýchání (může vést i ke smrti). [10]

ZÁVĚR

Každá technologie byla ve své době něčím přínosná a posunula vývoj moderního slévárenství. Stále se pracuje na zlepšení všech potřebných vlastností tak, aby umožňovaly produkci kvalitnějších odlitků, výroba byla ekonomicky rentabilní a aby byly šetrné k pracovnímu i životnímu prostředí a vyhovovaly tak stále přísnějším požadavkům ekologických a hygienických norem daných evropskou i naší legislativou.

Nelze jednoznačně určit, která ze samotuhnoucích směsí je ve všech parametrech nejlepší. Z jejich srovnání vyplívá, že každá má své přednosti i nedostatky, pokud srovnáváme jejich vliv na životní a pracovní prostředí, ekonomickou výhodnost nebo kvalitu výroby.

Při technologickém vyhodnocení samotuhnoucích směsí v konkrétním provozu je potřeba vyzkoušet a poté stanovit, která technologie je pro jimi vyráběné odlitky v daných podmínkách nejvýhodnější. Na ocelové i litinové odlitky vyráběné technologií samotuhnoucí formovací směsí se používají nejčastěji furanové a fenolové pryskyřice nebo vodní sklo a geopolymery. Každá slévárna si volí příslušnou technologii podle typu odlitků a způsobu výroby tak, aby dosáhla vysoké kvality svých výrobků, aby splnila ekologické požadavky a hygienické normy a aby rentabilita výroby byla co nejvýhodnější.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1]. ŽÁK, CSC., Doc. Ing. Jan a Ing. Milan HORÁČEK, SCS. Základy strojírenské technologie. Brno: VUT Brno, 1983.
- [2] JELÍNEK, Petr. *Disperzní soustavy slévárenských formovacích směsí*. Ostrava: OFTIS, 2000. ISBN 80-238-6118-2.
- [3] HUČKA, Jan. *Plzeňské hutě v proměnách času: The history of the pilsen metallurgical works*. Plzeň: Starý most, 2008.
- [4] DLOUHÁ, M. *Srovnání ekologických a technologických vlastností různých způsobů výroby slévárenských forem a jader*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Cupák, Ph.D..
- [5] JELÍNEK, Petr. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí: (chemie slévárenských pojiv)*. [Ostrava: P. Jelínek], 241 s. ISBN 80-239-2188-6.
- [6] ŠPONDŘ, Martin. *Ekologičnost a regenerace pojivových systémů*. Brno, 2009. Maturitní práce. SPS Sokolská. Vedoucí práce Ing. Slavík.
- [7] PROKOP, T. *Vodou rozpustná slévárenská pojiva vytvrzovaná ohřevem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Cupák, Ph.D..
- [8] *Slévárenství*. Brno: Svaz sléváren ČR, 2012, roč. 2012, 3-4/2012. ISSN 0037-6825.
- [9] *Regenerace slévárenských vratných směsí: The reclamation of used foundry sands*. Českomoravská vrchovina, hotel Devět Skal, 16-17.4.2002.
- [10] CUPÁK, Petr. *Studium biogenních pojiv: Study of biogenous binders : zkrácená verze doktorské práce*. [V Brně: Vysoké učení technické], 2011. 30 s. ISBN 978-80-214-4289-4.

