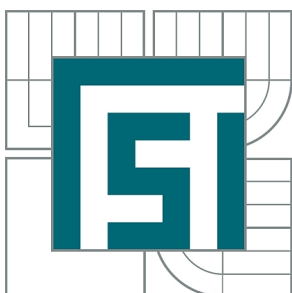


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VODOU ROZPUSTNÁ SLÉVÁRENSKÁ POJIVA VYTVRZOVANÁ TEPEM

WATER SOLUBLE FOUNDRY BINDERS WITH HEAT HARDENING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ DRATNAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR CUPÁK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Dratnal

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Vodou rozpustná slévárenská pojiva vytvrzovaná teplem

v anglickém jazyce:

Water soluble foundry binders with heat hardening

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zmapování současného stavu vodou rozpustných anorganických i organických pojivových systémů vytvrzovaných teplem.

Cíle bakalářské práce:

Sestavení přehledu používaných systémů slévárenských pojiv rozpustných ve vodě, které lze vytvrdit teplem. Srovnání jejich technologických a ekologických vlastností a uvedení příkladů jejich použití.

Seznam odborné literatury:

JELÍNEK, P. Slévárenské formovací směsi II. část - Pojivové soustavy formovacích směsí. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 1996. 180 s. ISBN 80-7078-326-5.

ŠKUTA, R., JELÍNEK, P., aj. Pojivové soustavy pro dehydratační pochody výroby jader na bázi alkalických silikátů. In: Sborník přednášek mezinárodní konference "Moderní metody výroby jader". Brno: Sand - Team, 2003, s. 77-88. ISBN 80-02-01556-8.

CUPÁK, P. I organická pojiva mohou být ekologicky příznivá. Slévárství. 2012, vol. LX, no. 3-4, p.75-78. ISSN 0037-6825.

CUPÁK, P. Biogenní pojiva jako ekologická alternativa k metodám HB a WB. In: Sborník abstraktů 47. slévárenské dny. Česká slévárenská společnost, Brno, 2010, s. 39. ISBN 978-80-904020-6-5.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Cupák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 19.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Se stoupajícími požadavky na slévárenství jsme nuceni vyvíjet nové druhy slévárenských pojiv ať už organických či anorganických. Existuje celá řada požadavků na formovací směsi, pro správnou funkci. Formovací směsi musí vykazovat vhodné technologické, ekonomické a navíc ekologické vlastnosti. Mnoho ekologicky závadných odpadů vzniká z organických látek obsažených převážně v pojivech a katalyzátorech používaných pro formovací směsi. Dobrým uplatněním tedy mohou být vodou rozpustná pojiva vytvrzovaná teplem. Tyto pojiva umožňují snadné a rychlé zpracování a obnovitelnost směsí.

Klíčová slova

Formovací směs, vytvrzování, Hot-Box, Gmbond[®], Cordis[®], Hydrobond, Beachbox[®], Dilab[®], Inotec[®], deriváty celulózy, kožní kliš.

ABSTRACT

With the increasing foundry requirements we are forced to develop new kinds of foundry binders, either organic or inorganic. There are several requirements for the molding composition and for the proper function. The sand mixture must exhibit appropriate technological, economic and also ecological characteristics. Many environmentally harmful wastes are created from the organic substances contained mainly in binders and catalysts used for molding of the mixture. A good application can be the water-soluble binder cured by heat. These binders allow easy and fast processing and a mixture recoverability.

Key words

Sand mixture, hardening, Hot-Box, Gmbond[®], Cordis[®], Hydrobond, Beachbox[®], Dilab[®], Inotec[®], cellulose derivatives, hide glue.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DRATNAL, L. *Vodou rozpustná slévárenská pojiva vytvrzovaná teplem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Cupák, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Vodou rozpustná slévárenská pojiva vytvrzovaná teplem* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 24. 5. 2014

.....

Lukáš Dratnal

Poděkování

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

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení	4
Poděkování	5
Obsah.....	6
1 Úvod.....	8
2 Formovací směsi.....	9
3 Vybrané pojivové systémy formovacích směsí.....	12
3.1 Metoda HOT-BOX.....	12
3.1.1 Použití pojiv pro metodu Hot-Box.....	12
3.2 Metoda WARM-BOX.....	13
3.2.1 Vstřelování jader	13
3.2.2 Vytvrzování jader	15
3.2.3 AWB proces.....	16
3.3 Metoda mikrovlnného vytvrzování.....	16
4 Anorganická SLÉVÁRENSKÁ pojiva.....	18
4.1 Anorganické soli.....	18
4.1.1 Vodou vyplavitelná jádra pro hliníkové odlitky lité na vytavitelný model	18
4.1.2 Hydrobond	21
4.1.3 Beach box®	21
4.2 Pojiva na bázi alkalických silikátů	21
4.2.1 Inotec®	21
4.2.2 Cordis®	23
4.2.3 Dilab®	25
4.2.4 Cast clean.....	26
4.2.5 Dryset	26
4.2.6 AWB.....	26
4.2.7 DESIL-J	27
4.3 Vodní sklo	28
5 Organická pojiva.....	31

5.1 Biogenní pojiva	31
5.1.1 GMBOND®	32
5.1.2 Pojiva na bázi kožního klišu.....	35
5.2 Sacharidová pojiva.....	37
5.2.1 Deriváty celulózy.....	38
Závěr	42
Seznam použitých zdrojů	44
Seznam použitých zkratk a symbolů	47
Seznam obrázků:	48
Seznam tabulek:.....	48
SEZNAM GRAFŮ:.....	49

1 ÚVOD

Slévárenské technologie vznikaly už před tisíci lety, kdy lidé zjistili, že se různé kovy po ohřátí mění na taveninu. Dalo by se tedy říci, že se jedná o jedno z nejstarších odvětví průmyslu. Je překvapivé, že už v dávných dobách byli řemeslníci schopni tvořit odlitky kovů, které odolaly všem nepříznivým vlivům až dodnes.

Slévárství patří i dnes k velmi významným a produktivním způsobům výroby. Největšími výhodami odlévání je možnost výroby široké škály tvarů a rozměrů odlitků. Kdekoli kolem nás se nacházejí stroje, které jsou částečně složeny z odlévaných součástí. Kromě strojírenství je určitá část slévárství zaměřena například i na tvorbu uměleckých produktů. Odlévat je možné kromě slitin kovů i některé typy plastů.

Dnes se kromě dobré produktivity zaměřujeme i na dopady provozu sléváren na životní prostředí. Snaha o zlepšení emisí sléváren směřuje k vývoji nových slévárenských formovacích směsí, které budou mít minimální, ba dokonce žádné emise. Největší produkci těchto nepříznivých emisí mají právě pojiva slévárenských formovacích směsí. Snahou tedy je vyvinout nová pojiva, která budou ekologicky příznivější než pojiva dosud používaná. Důsledkem použití těchto pojiv bude zlepšení pracovního prostředí sléváren a zmenšení produkce škodlivin do ovzduší. Cílem také je, aby pojiva byla ekonomicky a technologicky srovnatelná s pojivy dosud používanými nebo náklady na výrobu a zpracování ještě snížit. Velmi vhodným řešením jsou pojiva rozpustná ve vodě a posléze teplem vytvrditelná.

2 FORMOVACÍ SMĚSI

Ve slévárenství používáme pro výrobu netrvalých forem formovací směsi. Hlavními složkami směsi je ostřivo (obr. 1) a pojivo, dále pak voda a různé příměsi pro dosažení požadovaných vlastností formy či jádra. Ostřiva jsou zrnitá, žáruvzdorná a tvoří převážnou část formovacích směsí. Pojiva jsou látky, které dávají směsi vlastnosti jako: vaznost, pevnost, pevnost za zvýšených a vysokých teplot a zbytkovou pevnost. Vazností rozumíme pevnost v syrovém stavu směsi po zhuštění, která má velký vliv na technologické vlastnosti při formování, např: tekutost, spěchovatelnost, formovatelnost a jiné. Pevnost formovací směsi zkoumáme po vysušení a je výchozí pevností při odlévání. Pevnost za zvýšených a vysokých teplot rozhoduje o poddajnosti formy a vzniku vad. Zbytková pevnost nás zajímá kvůli rozpadavosti a čištění formy či jádra. [1]

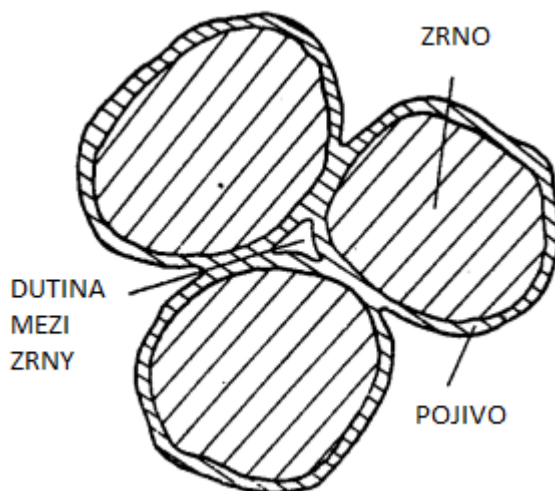
Vývoj pojivových systémů a směsí můžeme rozdělit do čtyř generací:

Směsi I. generace, kde spojení zrn ostřiva je způsobeno silami kapilárního tlaku a silami van der Waalsovými. Jsou to nejstarší pojivové soustavy, které využívají pojících vlastností jílu (Kaolinitické, Illitické, Montmorillonitické).

Směsi II. generace, kde k procesu pojení využíváme chemizace formovacích směsí. Používáme pojiva anorganická (např. vodní sklo) a organická (umělé pryskyřice, sacharidy).

Směsi III. generace, kde k pojení dochází vlivem fyzikálních účinků např. silového pole (magnetická forma), vakua (V-metoda) nebo ledu (EFF-SET proces). Dále sem patří i bezpojivové systémy se zplyňujícím modelem (REPLICAST, LITGAZ, LOST FOAM).

Směsi IV. generace, kde využíváme biologických pochodů. Tyto pojivové systémy používají materiály, které jsou v porovnání s organickými pojivy rapidně šetrnější k životnímu prostředí. [1]

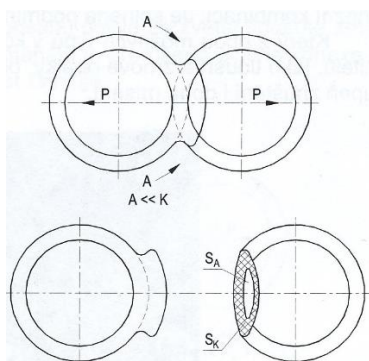


Obr. 1: Struktura směsi [7]

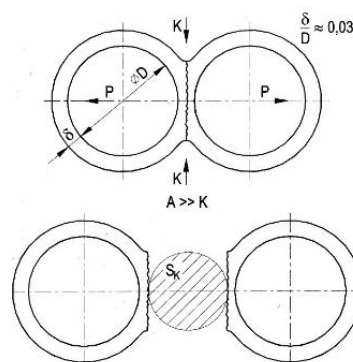
Pojiva ve formovacích směsích:

Pojiva ve formovacích směsích tvoří interakci mezi zrny pískového ostřiva. Vazebné účinky pojiva se mohou projevit zasyrova ihned po smíchání nebo až po fyzikálním či chemickém zásahu z vnějšku. Ve vazbách mezi pojivem a ostřivem vznikají adhezní (obr. 2) a kohezní (obr. 3) síly. Tyto síly závisí na stavu povrchu zrn, granulometrii a fyzikálněchemických vlastností pojiva. Pojiva lze klasifikovat dle mnoha hledisek. Hledisko chemické příbuznosti, vztah k navlhavosti, způsob vytvrzování aj. Nejčastěji rozdělujeme slévárenská pojiva na anorganická a organická.

Adhezní oddělení zrn je typické pro směsi s organickým pojivem a pro geopolymery. Nejvíce záleží na tom, jak je pojivo navázané na povrch ostřiva. Kohezní oddělení je typické pro směsi s vodním sklem. Posílení pevnosti lze dosáhnout změnou morfologie zrnové obálky.



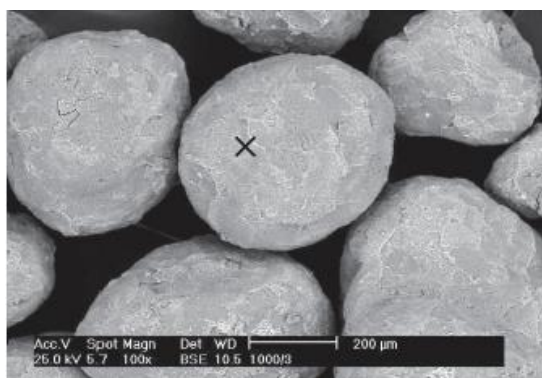
Obr. 2: Adhezní oddělení [1]



Obr. 3: Kohezní oddělení [1]

Anorganická pojiva jsou minerálního původu a vykazují vaznost už v syrovém stavu a dále se vytvrzují chemicky či fyzikálně. Nejznámější anorganická pojiva jsou: jíly, cement, sádra, vodní sklo, geopolymerní pojiva a pojiva na bázi anorganických solí. Pojiva tohoto typu jsou vhodná pro lití za syrova, nejsou citlivá na teplotu sušení, produkují málo plynů při odlévání, mají však zhoršenou rozpadavost po odlití.

Organická pojiva jsou druhou velkou skupinou pojiv pro formovací a jádrové směsi. Jsou to umělé pryskyřice, oleje a sacharidy. Tato pojiva našla uplatnění právě v oblasti přípravy jádrových směsí a poskytla výrobu jader novými progresivními postupy. Směs vykazuje vysokou pevnost po vytvrzení (v ohybu) a nízkou teplotu termodestrukce v souvislosti s poklesem pevnosti jádra. Velkou výhodou však je výborná rozpadavost a regenerovatelnost. Směsi mají výbornou tekutost a dají se foukat nebo vstřelovat. Rozvoj organických pojiv je brzděn zpříšňujícími se normami pro životní a pracovní prostředí kvůli vznikajícím emisím škodlivým pro lidský organismus nebo emisím, u kterých neznáme konkrétní účinky. [2, 3]



Obr. 4: Zrna ostřiva [6]

3 VYBRANÉ POJIVOVÉ SYSTÉMY FORMOVACÍCH SMĚSÍ

3.1 Metoda HOT-BOX

Metoda horkého jaderníku se začala rozšiřovat v letech 1959 – 1960. Tato metoda umožnila při velkosériové výrobě automatizovat celý proces. Hot – Box vyrábí přesná jádra v kovových horkých jadernících, do kterých je směs vstřelena a následně vytvrzena teplem. Na rozdíl od C – metody, která využívá obalených směsí, se metoda HB zaměřuje na použití vazných směsí, nejčastěji na bázi pojiv rozpustných ve vodě. Tato metoda využívá hlavně pojiv na bázi pryskyřic, a nebo kombinací pryskyřic se sacharidy. Sacharidová pojiva byla vystřídána modifikovanými pryskyřicemi sacharózou, které jsou velmi dobře rozpustné ve vodě, kde se podařilo až 50 % drahého fenolu nahradit sacharózou. Nejčastěji používaná pojiva jsou: močovino-formaldehydová, melamino-formaldehydová, furanová, fenol-formaldehydová, modifikované Na-silikáty a roztoky solí.

Vytvrzení směsi jádra probíhá od povrchu jaderníku (180÷300°C). Teplota vytvrzování závisí hlavně na typu pojiva. Metoda HB umožňuje pouze výrobu plných jader, ale na druhou stranu jsou jádra pevnější než při výrobě C - metodou. Lze tedy odlévat v licím přípravku bez zasypání. Vytvrzování směsi začíná ihned po smíchání pojiva, katalyzátoru a písku, proto je nutné směs rychle zpracovat. Příčinou rychlosti vytvrzení jsou kyselé katalyzátory: soli anorganických a organických kyselin, např. dusičnan amonný. [1, 4]

3.1.1 Použití pojiv pro metodu Hot-Box

Při volbě druhu pojiva formovací směsi záleží vždy na tom, jaký kov chceme odlévat a za jakých teplot.

- šedá litina = fenol-resolová, resp. Fenol-močovinné pryskyřice
- lehké neželezné kovy = furan-močovinné pryskyřice
- těžké neželezné kovy = močovinné, resp. močovino-furanové.

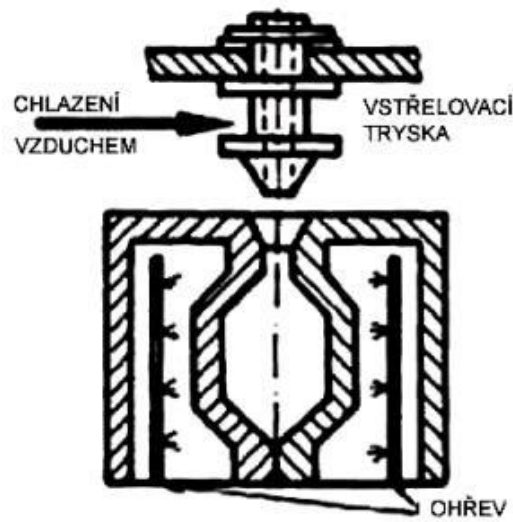
V dnešní době si razí cestu anorganická pojiva, např. aditivované vodní sklo a roztoky solí. U pryskyřic se při výrobě a odlití uvolňuje velké množství formaldehydu, proto je obtížné dodržet maximální hodnotu koncentrace 0,5 ppm formaldehydu. Pro zlepšení emisí je vhodné zvolit jiné, anorganické či biogenní pojivo. [1]

3.2 Metoda WARM-BOX

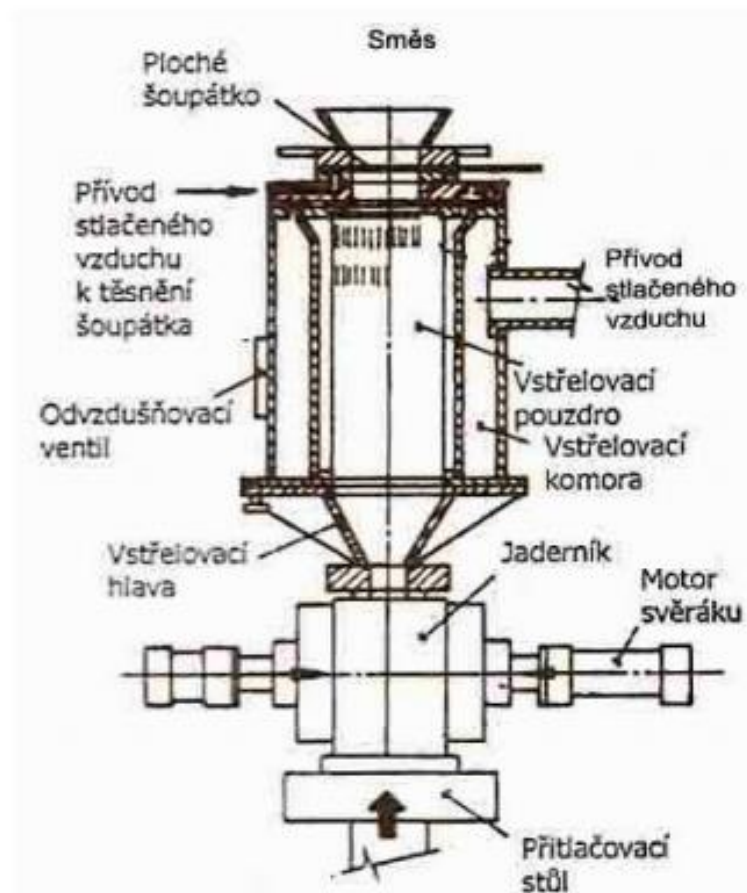
Metoda Warm – Box je variantou metody HB. U této technologie vytvrzujeme směs za nižší teploty ($140\div 200^{\circ}\text{C}$). Doba vytvrzování je velmi podobná jako u metody HB. Pojivy jsou modifikované furanové pryskyřice a speciální tvrdidlo na bázi solí kyseliny sulfonové. Množství pojiva může být $0,9\div 1,2\%$, kde $20\div 30\%$ hmotnosti pojiva je tvrdidlo. Touto metodou lze ušetřit na energii a lze snížit obsah plynů při lití. Jádra zhotovená metodou WB jsou používána pro odlitky z lehkých slitin a to díky dobré pevnosti v tahu za tepla. Biogenní pojiva lze vytvrzovat při teplotách $100\div 150^{\circ}\text{C}$.

3.2.1 Vstřelování jader

Formovací směs se vrhá do jaderníku proudem stlačeného vzduchu. Směs zůstává při vstřelování jako jeden celek a je tedy kompaktní. Směs je dopravena do jaderníku během zlomku sekundy. Lze zhotovit formy a jádra i ze směsí vazných (bentonitové směsi se pro vstřelování nepoužívají – šlo by to jen u velmi jednoduchých tvarů jader) či chemicky tvrzených vodním sklem. V současné době se tento princip používá u moderních formovacích linek při bezrámovém formování. Schéma vstřelovacího stroje je uvedeno na obr. 4. [6]



Obr. 5: Vstřelování směsi do jaderníku [4]



Obr. 6: Vstřelovací stroj [9]

Vstřelovací komora je nejdřív doplněna formovací směsí ze zásobníku. Následně se vzduchotěsně uzavře šoupátkem a vstřelovací hlavou, která může mít jeden či více vstřelovacích otvorů. Uvnitř vstřelovací komory je vstřelovací pouzdro s podélnými otvory, kterými je možnost přístupu vzduchu. Jaderník se sevře svěraky a následně je přitlačen stolem ke vstřelovací hlavě. Po otevření vstřelovacího ventilu je směs proudem vzduchu vstřelena do jaderníku. Nakonec se uzavře ventil a odvzdušňovacím ventilem se vyrovnají tlaky. Modernější stroje nepoužívají vstřelovací pouzdro, protože vzduch působí pouze shora na dávku směsi, tím odpadá čištění pouzdra. [2]

3.2.2 Vytvrzování jader

Rychlost konverze pryskyřičných směsí závisí na mnoha vnitřních i vnějších vlivech: na přívodu tepla, koncentraci katalyzátorů, granulometrii ostřiva, velikosti jádra, typu pryskyřice apod. Pokud dokážeme určit tyto vlivy, můžeme řídit průběh vytvrzování. Rychlost vytvrzení se zjišťuje z měření pevnosti v ohybu speciálních trámečků. Dalším způsobem měření je například měření tloušťky vytvrzené vrstvy vpichem jehly. Kvůli neostrému přechodu mezi vytvrzenou a nevytvrzenou částí je tato metoda nepřesná. [3]

Směs je vstřelena do kovového předeheřátého jaderníku. Ihned po vstřelení začne reagovat pojivový systém na teplo přecházející z jaderníku do směsi. Teploty se pohybují dle typu pojiva v rozsahu 100÷240°C.

Jaderníky jsou ohřívány plamenem (větší jaderníky) či elektricky topnými články. Ohřev plamenem je výkonnější a dochází k rovnoměrnému ohřevu jaderníku. Elektrické články se používají pro menší jaderníky a regulují se opětovným vypínáním a zapínáním. [2]

Po ztvrdnutí povrchové vrstvy jádra získává jádro manipulační pevnost a lze jej vyjmout a dotvrdit mimo jaderník. Postup tvrdnutí reprezentuje obr. č. 5. [5]



Obr. 7: Vytvrzování jádra [4]

3.2.3 AWB proces

Alternative Warm Box Process (AWB), umožňuje opět vytvrzení cestou vysušení, to umožňuje vratnou reakci. Další výhodou je dosažení dostatečných pevností jader při použití malého množství pojiva. Při vytvrzování pojiv na bázi vodního skla nedochází k tak velkému zpevnění jako u metod chemických a to má za následek jednoduché odjádrování po odlití. Využívá se modifikovaného vodního skla se sníženou viskozitou. Po odlití lze směs regenerovat. [28]

Vlastní proces spočívá ve vstřelení a vytvrzení v teplých jadernících při teplotách 160-200°C a zároveň odsáváním par. Po 10-60 sekundách je jádro vytvrzeno na manipulační pevnost. Dосуšení lze dále provést pomocí mikrovlnného ohřevu s nízkým příkonem. Po vychladnutí jádro vykazuje maximální pevnost a je připraveno pro odlití. [28]

3.3 Metoda mikrovlnného vytvrzování

Při ohřevu pomocí mikrovln se využívá účinků střídavého elektrického pole o vysoké frekvenci na polární molekuly daného materiálu. Molekuly jsou dipóly a vlivem rychlých změn střídavého elektrického pole se dipóly otáčejí dle polarity. Díky vysoké frekvenci změn elektrického pole se pohyb molekul děje tak rychle, že vlivem tření vzniká teplo. Jelikož materiál je celý umístěn v elektrickém poli, ohřev probíhá v celém objemu stejně. Mikrovlny mohou nabývat hodnot od 300 MHz do 300 GHz, ale nejčastěji používaná frekvence

pro známé mikrovlnné trouby je 2450 MHz. Nejdůležitější částí ohřívaného materiálu je alespoň nějaké množství polární látky. Nejčastěji využívanou polární látkou je právě voda či nějaké soli. Voda představuje velmi užitečného pomocníka pro mikrovlnný ohřev, je vysoce polární, nezávadná a levná. [2, 10]



Obr. 8: Dipolární molekuly přizpůsobující se elektrickému poli

4 ANORGANICKÁ SLÉVÁRENSKÁ POJIVA

4.1 Anorganické soli

4.1.1 Vodou vyplavitelná jádra pro hliníkové odlitky lité na vytavitelný model

Keramická jádra pro odlitky lité na vytavitelný model jsou běžně používána u superslitin, ocelí a u odlitků pro náročné aplikace v leteckém či energetickém průmyslu. Jádra se vyrábějí technologií vstřikování keramických komponent a vosků za středního tlaku (do 50 atm) do kovových forem. Následně se jádra vypálí v zásypu v keramických pouzdrech. Při výpalu dochází k vyhoření vosku a ke vzniku keramické vazby. Jádra jsou na bázi SiO_2 a tak se vyplavují alkalickými hydroxidy.

U hliníkových odlitků nastává problém louhování hydroxidy, protože dochází k reakci mezi hliníkovou slitinou a hydroxidem. Tento problém vede ke studii vodou vyplavitelných jader pro hliníkové slitiny.

Požadavky na jádra:

- přijatelné rozměrové změny během výroby jádra (technologické smrštění max. 2 %)
- rozměrová přesnost výsledného jádra ($\pm 0,2$ mm)
- dostatečná mechanická pevnost (pevnost v ohybu min. 3 MPa)
- rozpustnost ve vodě (max. do 24 hod.)

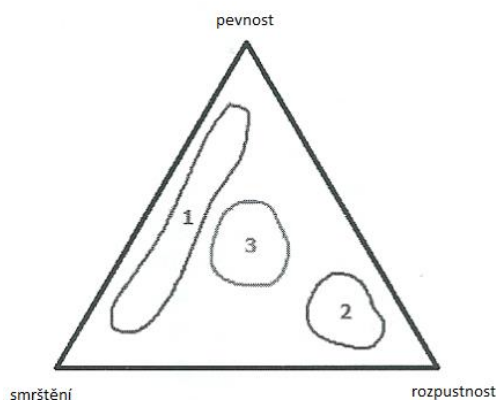
Pojiva a plniva:

Směs musí obsahovat plniva (keramická) , pojiva a ve vodě rozpustnou složku. Vzájemný poměr vlastností jádra bude ovlivňovat trojúhelník základních vlastností (smrštění – pevnost – rozpustnost) na obr. 9. Optimálního složení směsi lze docílit po nalezení látky, která je ve vodě rozpustná a jejíž teplota tání vyhovuje zpracování jádra a odlévání hliníku. Tyto podstatné podmínky splňují právě anorganické soli rozpustné ve vodě.

Soli se podílejí na rozpustnosti směsi a na pevnosti po výpalu. Vhodnými solemi se dle [11] prokázaly sírany a chloridy alkalických kovů.

Jako druhou podstatnou částí složení, keramikou, se prokázaly suroviny na bázi SiO_2 a ZrSiO_4 .

Pro metodu vstřikování je důležité zajistit manipulační pevnost směsi, což lze zajistit směsí vosků a parafínů. Pracovní hmota je zpracovávána při teplotách 70 – 90 °C, což zajistí tekutost při vstřikování. Po vypálení jádra vosk ze směsi odchází a vzniká vysoká pórovitost, což je výhodné pro konečné vyplavování. [11]



Obr. 9: Trojúhelník základních vlastností [11]

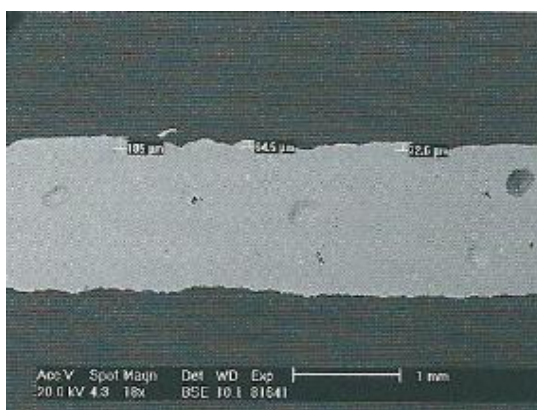
Pro dosažení nejlepšího poměru mechanické pevnosti jádra, stabilního smrštění a vyhovující rozpustnosti ve vodě, je nutné optimalizovat trojúhelník základních vlastností. Lze toho dosáhnout různými změnami složení, nastavení vypalovací křivky (průběh, maximální teplota, doba vypalování) a výběr prostředí výpalu.

Po optimalizaci bylo dosaženo dle [11] těchto parametrů:

- pevnost v ohybu cca 3-5 MPa
- smrštění 1,2 %
- vyplavitelnost 3-5 min.

Je důležité mít na paměti i ochranu jader vůči vlhkosti, protože jádro musí vydržet všechny technologické kroky beze změn. Například vytavování vosku ze skořepiny se uskutečňuje pomocí vodní páry v autoklávu za vyšší teploty a tlaku. Je tedy důležité jádra opatřit ochrannou vrstvou proti vodě, která bude následně při žíhání jader spalitelná. Jako vhodné povlaky se prokázaly dle [11] roztoky syntetických pryskyřic aplikované namáčením. Kromě odolnosti vůči vodě či vodní páře, vykazují jádra takto ošetřená i větší mechanické pevnosti.

Dle [11] bylo po odlití slitiny AlSi7Mg0,3 o teplotě 710 °C a teplotě skořepiny 600°C vyzkoušeno vyplavení jádra. Jádro bylo vyplavováno tekoucí vodou o teplotě 40 – 50°C. Vyplavení bylo účinné, nebylo potřeba mechanických prostředků. Při testování odlitku byly odebrány 3 vzorky, ve směru kolmém k povrchu odlitku. Ze vzorků byly zpracovány metalografické výbrusy a pod mikroskopem zřetelně objeveny pouze plynové vady, nikoliv vměstky či jiné produkty interakce jádra a taveniny.



Obr. 10: Řez stěnou odlitku [11]

Ve spolupráci s polským Instytutem Odlewnictwa bylo provedeno měření intenzity vývinu plynů (TGA) pro tyto vzorky:

- č. 1: 100% impregnován bez vyžíhání
- č. 2: 0% impregnován po úplném vyžíhání

Analýza byla prováděna v atmosférickém prostředí, po dobu 200 min. Prokázalo se, že u nevyžíhaného jádra dochází k velmi postupnému vyhořívání organické impregnace při teplotách 700 – 800°C, což se projevuje změnou hmotnosti. Na drhou stranu u dokonale vyžíhaného jádra k žádným

úbytkům hmotnosti nedochází. Je tedy vhodné provést optimalizaci doby žíhání skořepiny, což sníží počet vad v odlitku. [11]

4.1.2 Hydrobond

Pojivový systém Hydrobond je roztok sodíkových polyfosfátů s aditivem v množství 1,5%. Vytvrzení směsi se provádí v horkých jadernících profukováním vzduchem o teplotě 80°C. Hotová jádra nemají dlouhou skladovatelnost a je vhodné použití lihových nátěrů. Toto pojivo lze po odlití dovyplavit vodou. Používá se pro formy a jádra odlitků z neželezných kovů. Po vyplavení směsi lze lehce regenerovat ostřívo a recyklovat až 85 % vody. [8,27]

4.1.3 Beach box[®]

Pojivový systém BEACH BOX[®] je tvořen roztokem $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$. Kromě toho obsahuje i anorganickou přísadu. Po smíchání ingrediencí se směs vstřeluje do horkého jaderníku, který je zahřátý na teplotu 130 až 140°C. Pro rychlejší vytvrzování je směs ještě profukována horkým vzduchem. Směs má vysokou tekutost a proto lze vyrábět složitá tenkostěnná jádra menších hmotností (do 40kg). Po odlití lze jádra odstranit vibračním strojem či rozpouštěním ve vodě. Pojivo jako takové se při teplotách nad 200°C stane porézní a dobře se rozpadá. [27]

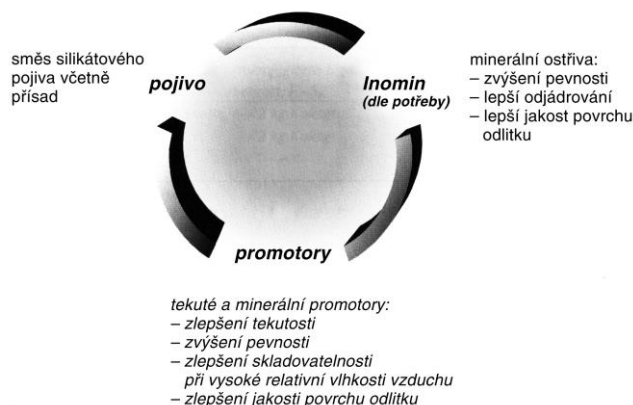
Jádra s pojivem BEACH BOX[®] nedosahují příliš vysokých pevností v ohybu. Je možné tuto pevnost zvýšit použitím kombinace BEACH BOX[®] s některými rozpustnými solemi (Na_2SO_4). Jádra s pojivem BEACH BOX[®] mohou vytvářet problémy v použití se syrovými bentonitovými formami v důsledku navlhnutí. [27]

4.2 Pojiva na bázi alkalických silikátů

4.2.1 Inotec[®]

Anorganické Pojivo Inotec[®] zavedla firma ASK Chemicals ve slévárně BMW. Jedná se o kombinaci tekuté složky silikátového roztoku a přísady

(promotoru), která je velkým podílem minerálů. Nejpoužívanější ostřivo pro tuto kombinaci je Inomin. Tento pojivový systém se vytvrzuje v horkých jaderných profukováním horkého vzduchu. [21]



Obr. 11: Anorganický pojivový systém Inotec® [21]

Při použití anorganických pojiv vzniká méně kondenzátů a dochází k poklesu emisí v porovnání s pojivy organickými. Z toho mají samozřejmě užitek pracovníci provozu, obyvatelé okolí i slévárna, která ušetří na čištění vzduchu. Pojivo Inotec® způsobuje také lepší kvalitu povrchu odlitků a vzniká méně usazenin než u organiky, takže jsou menší náklady i na čištění nástrojů. V Tab. 1 je srovnání technologie Inotec® s technologií Cold-Box. Kromě výhody použití horkého vzduchu na profukování pro Inotec® oproti Cold-Box, kde se používají aminy, je potřeba jaderník čistit méně často než u metody Cold-Box. Ve výsledku tedy systémem Inotec® lze oproti organice snížit emise o 98% a snížit zmetkovitost odlitků o 7%. [21]

	Cold box	Inotec
pojivo	0,56 % Ecocure 1. část 0,56 % Ecocure 2. část	2,0 % pojivo 0,8 %* promotory
celková doba cyklu	62 s	62 s
teplota jaderníku	25 °C	180 °C
teplota profukování /nosič	70 °C amin	180 °C horký vzduch
cyklus čištění jaderníku	1 500 vstřelení	2 500 vstřelení

Tab. 1: Srovnání výroby systémem Cold-Box a Inotec® [21]

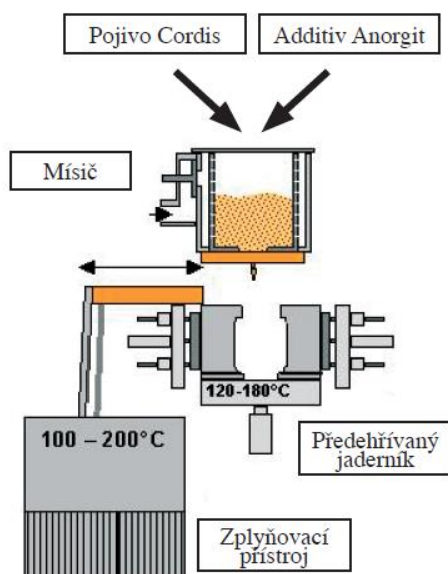
Dle [21] lze správným poměrem pojiva a promotoru dosáhnout velmi dobrých zabíhavostí směsi. Za užití vstřelovacího tlaku 2 bary se dosahuje zhutnění, které je srovnatelné s metodou Warm-Box vstřelením tlakem 5 barů. Inotec[®] lze s výhodou použít i pro litinové odlitky při použití vodných nátěrů a následném vysušení v sušičce.

Slévárna Ideal Standard ve městě Wittlich v Německu používá pojivo Inotec[®] již několik let pro výrobu jader pro odlitky z mosazi. Jádra mají vysokou počáteční pevnost, dobrou rozpadavost po odlití a není nutné použití nátěrů, což vede k menším nákladům na čištění jaderníků, rámu, apod. [21]

4.2.2 Cordis[®]

Firma Hüttenes-Albertus se už od devadesátých let věnuje anorganickým pojivům a na výstavě GIFA 2003 představila anorganický pojivový systém CORDIS[®]. Je to čistě anorganický, dvousložkový pojivový systém skládající se z pojiva Cordis a aditiva Anorgit. Je to modifikovaný silikátový roztok, jehož rozpouštědlem je právě voda. Použitím tohoto pojivového systému, lze dosáhnout kvalit odlitků, jako při použití dnes dostupných pojiv organických. Navíc CORDIS[®] nabízí velké snížení emisí a zvýšení produktivity slévárny. Použití anorganického pojiva CORDIS[®] navíc přináší, kromě ekologických výhod i výhody ekonomické. Odpadá čištění odtahovaného vzduchu v jaderně a slévárně, dochází k menšímu oteru kokil, minimálně srovnatelná kvalita odlitků jako u pojiv organických (někdy i vyšší), možnost regenerace. Nevýhodou této metody je ohřev jaderníků a chlazení vstřelovací hlavy. [22]

Systém CORDIS[®] používá několik pojivových typů. Pojivová matrice je tvořena dle typu pojiva kombinací fosfátových, silikátových a boratových skupin. Ke zlepšení vlastností se přidávají další anorganické přísady buď jako součástí pojiva nebo jako příměs při míchání. Různými poměry těchto aditiv lze regulovat tekutost, skladovatelnost a rozpadavost jader. Pro správné namísení všech ingrediencí je nutné použít správný typ mísiče. [23]



Obr. 12: Postup výroby jádra s CORDIS® [23]

Dobře namíchaná formovací směs je vstřelována do přehřátého jaderníku na 120-180°C. V první fázi po vstřelení dochází k sušení směsi neboli odstranění vody, která je rozpouštědlem. Dále probíhá chemické vytvrzování dle typu pojivového systému CORDIS®. Chemické vytvrzení dodá jádru větší pevnost než samotné vysušení. Množství pojiva ve směsi se pohybuje mezi 1,5 až 3% hmotnosti směsi. Pevnosti v ohybu za studena se pohybují mezi 3,5 až 5,5MPa. Vytvrzování je možno velice urychlit vstřelováním ohřátým vzduchem. Z toho důvodu je vhodné, aby jaderníky byly opatřeny vhodnými dutinami pro ohřátý vzduch a jaderník musí odolávat teplotám kolem 200°C, protože vháněný vzduch musí být o něco teplejší, aby při průchodem směsí udržel teplotu 150°C. Díky dobré tekutosti směsi s pojivem CORDIS®, lze vyrábět tvarově složitá jádra (jádra vodního pláště, jádra sacích vedení – Obr. 13, sestavy pro hlavy válců). Při odlévání z hliníkových slitin lze použít jader bez nátěrů, pro jiné slitiny (např. litiny), lze použít lihových či vodných nátěrů. Je však třeba počítat se ztrátami na pevnosti, obzvlášť u vodných nátěrů. Vzhledem k hydrofilitě jader, nesmíme jádra vystavovat při uskladnění vyšším vlhkostem. Při zkoušení navlhavosti zkušebního trámečku byl po 24 hodinách v prostředí s vyšší vlhkostí zaznamenán pokles pevnosti o jednu třetinu. Na Obr. 14 lze pozorovat vývin

plynů při odlévání v porovnání s metodou Hot-Box. U systému CORDIS[®] se začínají uvolňovat plyny až po 30 až 40 sekundách a po dosažení maxima opět závislost rychle klesá. Rozpadavost jader po odlití je bezproblémová. [23]



Obr. 13: Použití CORDIS[®] [23]

4.2.3 Dilab[®]

DILAB[®] je anorganické pojivo na bázi Na-silikátu, které má velice dobrou rozpadavost po odlití, při teplotách 600-1000°C. Díky vhodně zvoleným tvrdidlům má tento pojivový systém i dobrou regenerovatelnost. Při vytvrzování technologií Hot-Box či mikrovlnným vytvrzováním, lze pohodlně směs po odlití vyplavit ve vodě. [24]

Pojivo DILAB[®] je možno použít v kombinaci s křemennými i nekřemennými ostřivy. Nejvhodnější jsou však ostřiva bazické povahy. [25]

Pojivový systém DILAB[®] má zvýšené primární pevnosti a to díky tomu, že polymerní řetězec alkalického silikátu je částečně nahrazován (substituován) tetraedry typu $[\text{MeO}_4]^{4-}$. Díky tomu lze snížit koncentraci pojiva. Další pozitivní následky jsou snížení sekundární pevnosti a zlepšení rozpadavosti. Pojivo je šedo-modré, transparentní a je stabilní při normálních podmínkách uskladnění alespoň 3 měsíce. [25]

Vytvrzování pojivového systému lze provést CO_2 procesem, samovytrdnutím pomocí esterů nebo pro nás nejzajímavějším způsobem fyzikální konverze sol-gel. Při použití metod Hot-Box či Warm-Box získáváme

vysoké pevnosti při minimálním obsahu pojiva ve srovnání s chemickými metodami. Kromě metody Hot-Box je možnost i mikrovlnného vytvrzování zařízením s dostatečným výkonem. [25]

4.2.4 Cast clean

CAST CLEAN[®] systém obsahuje vysoce modifikované alkalické křemičitany, které lze vytvrzovat metodou profukováním CO₂ a nebo teplem. [26]

CAST CLEAN[®] využívá anorganická, ale i malý podíl organických aditiv. Pokud směs obsahuje přibližně do 5 % organiky, mluvíme stále o anorganické směsi. Metoda Cold-Box poskytuje pouze malé pevnosti směsi a proto se používá metoda Hot-Box a Warm-Box. Při vytvrzení teplotami 140 až 170°C získáme dostatečné pevnosti a to i při podílu pojiva do 3 hm.%. Malý obsah pojiva dodává směsi dobrou rozpádatelnost a případně regenerovatelnost suchou cestou. CAST CLEAN[®] pro jádra a formy pro odlitky slitin hliníku, mědi, LLG a oceli. [27]

4.2.5 Dryset

Tento anorganický systém lze vytvrzovat při snížených teplotách 60 až 70°C. Doba vytvrzování v řádech sekund až několika minut postačí k získání vlastností, srovnatelných se systémy organickými. Velkou výhodou je možnost namíchání až 80% regenerátu do formovací směsi. Při založení jádra do studené formy může dojít ke kondenzaci vody a tím i ke snížení pevnosti, proto je vhodné jádro ohřát na vyšší teplotu. [27]

4.2.6 AWB

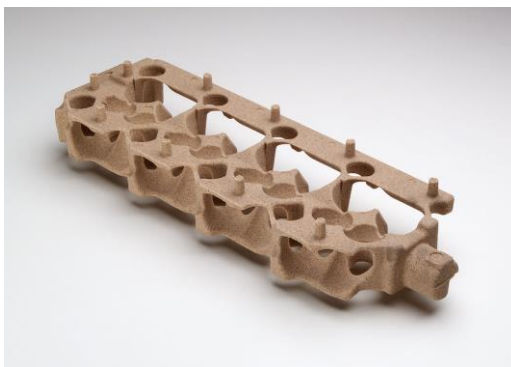
Základem této technologie je modifikovaný křemičitan sodný. AWB pojiva mají nižší viskozitu ve srovnání s konvenčními křemičitany pojiv a jsou tudíž mnohem snadněji míchatelné s pískem. Tato technologie je vhodná jako náhrada za technologii Cold-Box. Metoda AWB umožňuje výrobu

složitých jader jako třeba pro dutiny hlav spalovacích motorů. K vytvrzení směsi dojde dehydratací. [28]

Výhody oproti Cold-Box:

- Vytvrzení je vratné.
- Delší skladovatelnost.
- Produkují méně plynů v porovnání s organikou.
- Dostatečné pevnosti.
- Suchá regenerace.

Vytvrzování se provádí při teplotách 160 až 200°C s odsáváním par v časovém úseku 10 až 60 s. Doba vytvrzení závisí i na tvaru a rozměrech jádra. Po dosažení manipulační pevnosti se jádra dotvrzují mikrovlnami. [28]



Obr. 14: Jádro pro hlavu spalovacího motoru vyrobené metodou AWB [28]

4.2.7 DESIL-J

Základem této kompozice je alkalický silikát, který je modifikovaný alditoly (produkty alkalických monosacharidů) a organokřemičitany. Tento pojivový systém je možno vytvrzovat chemickou (CO₂ proces, estery) či fyzikální metodou (Warm-Box, Hot-Box, mikrovlnné vytvrzování). Ve slévárenské praxi tento pojivový systém dobře nahrazuje CO₂ proces. Právě se srovnání s touto metodou má DESIL-J několik výhod. [27]

Výhody:

- Vyšší primární pevnost
- Nízký vývin plynů při lití

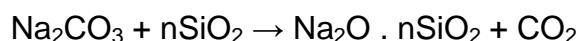
- Dobrá vstřelovatelnost a skladovatelnost
- Dobrá rozpadavost při teplotách 200-800°C
- Vhodnost pro slitiny Al a LLG

Pojivo DESIL-J je vhodné pro použití méně tvarově náročných jader. Při vytvrzení mikrovlnami, směs (2% pojiva) získává pevnost v ohybu minimálně 2 MPa do 60s a má výbornou rozpadavost. Pojivo DESIL-JH má výhodu prodloužené skladovatelnosti (více jak 16h i při zhoršených podmínkách). [29]

4.3 Vodní sklo

Vodní sklo je poměrně složitá fyzikálně – chemická soustava křemičitanů, která je koloidním roztokem. Chování těchto roztoků závisí na velikosti a členitosti makromolekul. Stálost koloidního roztoku vodního skla je určena hlavně shodným elektrickým nábojem částic. Stálost je zaručená v silně zásaditém roztoku vodního skla s pH vyšším jak 11. [3]

Pevné vodní sklo se vyrábí tavením sklářského písku se sodou a granulací taveniny. Dochází k této reakci:



Složení se obvykle udává jako hmotnostní procenta alkálie (%Na₂O, K₂O). Tavení probíhá kontinuálně ve vakuové peci při 1300 až 1400°C. Vodní sklo má polymerní strukturu a tudíž i fyzikálně – chemické vlastnosti jsou závislé na stupni polymerace. To je dáno podmínkami tavení a ochlazováním silikátové taveniny. [1]

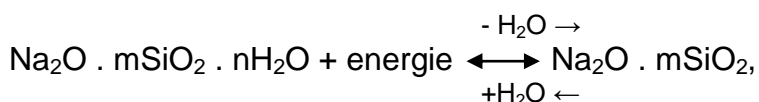
V některých zemích se používá i jiného postupu výroby a to reakce síranu dvojsodného se sklářským pískem a koksem: [1]



Složení vodního skla se vyjadřuje poměrem molárních hmotností $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$. Tento poměr nazýváme modul m . S modulem se mění i hustota vodního skla. Ve slévárenství se používají nejčastěji vodní skla se složením $m = 3$, $m = 2,4$ a $m = 2$. Obsah křemičitanu sodného v koloidním roztoku je důležitá vlastnost, která určuje rychlost tvoření silikátové vazby při vytvrzování. Další důležité charakteristiky vodního skla jako pojiva jsou hustota a koagulační práh. Hustota je definována jako podíl hmotnosti ku objemu. Pro určování hustoty ve slévárenství se používá Bauméův hustoměr. Jednotkou jsou $^\circ\text{Bé}$. Při zjišťování koagulačního prahu je roztok stabilizován sodnými ionty, poté se přidává kyselina, která ruší stabilizační účinek iontů a vzniká gel. Množství kyseliny, které je potřeba pro tuto změnu, se značí jako koagulační práh. Tato hodnota je vyjádřena v % Na_2O . [3]

Vytvrzování směsi s vodním sklem dehydratací je reverzibilní proces, to ale přináší nevýhodu pro dlouhodobé skladování jader. Pro snížení navlhavosti lze použít speciální aditiva. Chemické změny při vytvrzování lze sledovat infračervenou spektroskopií.

Dehydratace:



kde $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ je vodní sklo a $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ je křemičitan sodný.

Fyzikální dehydratace směsi s Na-silikáty metodou Hot-Box či mikrovlnným vytvrzováním nám umožňuje získat o řád vyšší pevnosti než u metod chemických. S klesajícím obsahem Na_2O roste pevnost dehydratovaných směsí, to se dá kladně využít pro lepší rozpadavost a regenerovatelnost ostřiva. Pro splnění požadavků na delší skladovatelnost je nutné pojivový systém stabilizovat (např. produkty monosacharidů). Relativní ztrátu pevnosti v ohybu lze vyjádřit jako:

$$S = \left[\frac{(\sigma_{2h} - \sigma_x)}{\sigma_{2h}} \cdot 100 \right],$$

kde σ_{2h} je primární ohybová pevnost a σ_x je pevnost po x hodinách skladování.

Pokud jsou při velkosériové výrobě požadavky na krátké vytvrzovací časy za stanovené minimální pevnosti v ohybu a skladovatelnosti pouze pár hodin, je vhodné užít mikrovlnného vytvrzování. Rozdíl mezi mikrovlnným sušením a metodou Hot-Box je ten, že mikrovlny rozkmitávají dipóly molekul vody v celém objemu, kdežto Hot-Box vytvrzuje vedením tepla od povrchu.

[1]

Vytvrzené směsi mají dobrou rozpavitost ve vodě, během pár minut dochází k rozpadu jader. Pokud jsou jádra ponořena do vody za tepla, třeba i s odlítkem, dochází k rozpadu do 2 minut. Následně je pak možná mokrá regenerace ostřiva, kde však nastává problém se solností odpadní vody. Tato voda se pak musí zpětně krystalizovat a neutralizovat. [1]

5 ORGANICKÁ POJIVA

5.1 Biogenní pojiva

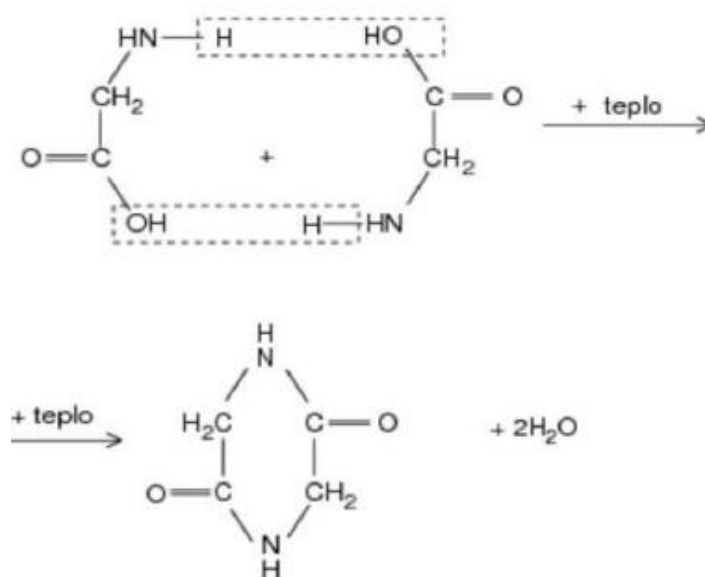
V posledních letech se značně rozvíjejí nové způsoby výroby forem a jader, které se zaměřují na hygienu a ekologii. Středem zájmu mohou být právě biogenní pojiva. [1]

Biogenní pojiva představují velký průlom v oblasti slévárenských formovacích směsí a to zejména díky minimálnímu negativnímu vlivu na životní prostředí a zároveň vykazují dostačující technologické vlastnosti pro odlévání. Další výhodou těchto pojiv je jejich možnost opětovného použití při nízkém poklesu pevností směsí po vytvrzení.

Mezi biogenní pojiva patří pojiva na bázi proteinů. Proteiny jsou základem tkání živých organismů a obsahují dlouhé aminokyselinové řetězce. Jsou rozpustné ve vodě a lze je vytvrdit při nízkých teplotách ($70\div 120^{\circ}\text{C}$) sušením, profukováním horkým vzduchem, v horkém jaderníku či mikrovlnným ohřevem. [1]

Rozlišujeme pojmy jako recyklace a regenerace směsi. Recyklaci provádíme znovupoužitím směsi, která dosud neprošla teplotním zatížením při odlévání. Teplotní zatížení biogenních pojiv může působit destruktivně. Rozdrcením jader získáme recyklovanou směs a přidáváme ji v menším či větším podílu do nové směsi (např. výroba jader metodou PUCB). Regenerace směsi znamená, že odstraníme pojivo, které je již ovlivněné teplem. Díky dobré rozpustnosti biogenních pojiv lze pojivo odstranit mokrou cestou. [10]

Při obsahu pojiva $0,5\div 1$ hm. % směsi získají pevnosti $3\div 6$ MPa v ohybu. K rozpadání dochází kolem 450°C . [1]

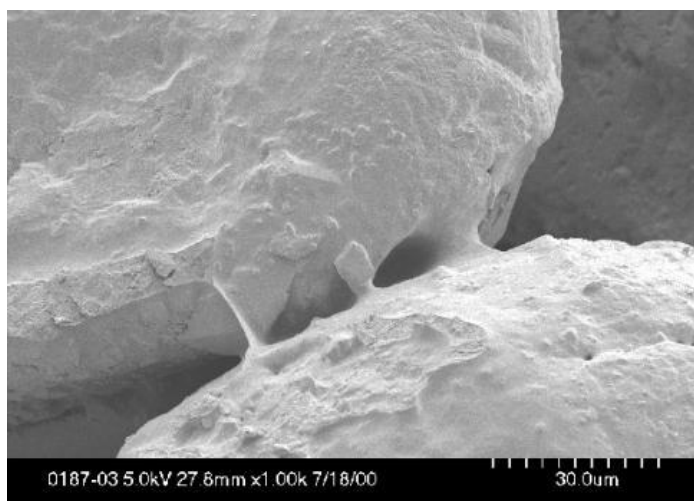


Obr. 15: Síťování molekul proteinů do řetězců [10]

5.1.1 GMBOND®

Pojivo GMBOND® vyvinula společnost General motors na počátku roku 1990 a vyrábí ji firma Hormel Foods Corporation. Jedná se o směs částic proteinových biopolymerů a kovových oxidů, které obsahují dostatek kyslíku pro tepelnou degradaci. Testy prokázaly, že již při 1% objemové hmotnosti tohoto pojiva ve směsi dosahují pevnosti po vytvrzení jako například fenolicko-uretanová pojiva. Pojivo GMBOND® bylo testováno Programem pro redukci slévárenských emisí (Casting Emission Reduction Program = CERP) a bylo zjištěno, že u tohoto pojiva prudce klesají emise organických těkavých látek o 90%. Dá se tedy říci, že toto pojivo je v podstatě nezávadné jak pro životní prostředí, tak pro slévárenský provoz. Další výhody jsou: použití i jiných než křemenných ostřiv, přesnost jader, vysoká pevnost v tahu (od 250 psi výše), pokles pevnosti po odlití a možnost odlévání odlitků s tenkými stěnami. GMBOND® je během krátké doby velice dobře rozpustné ve vodě a tak umožňuje dobrou recyklaci. Pojivo v odpadu je biodegradibilní a odpadový písek lze tedy použít například v zemědělství. Praxí je prověřeno, že při odlévání odlitků z litin je dosaženo dobrých výsledků a jádra se dobře vytloukají. Při odlévání slitin hliníku je kromě dobrého vytloukání dosaženo i velmi dobrých jakostí povrchu. [12, 13]

Pojivo se používá ve formě suchého, jemného, lehce snědého, ve vodě rozpustného prášku. Samotné pojení směsi se děje dehydratací vlhké směsi, kde biopolymery utvoří kovalentní vazby. To celé se děje bez přidání dalších chemikálií. Písek je nejdříve předehřát na teplotu kolem 120°C, poté je přidáno práškové pojivo. Následně je přidána voda, kde vody je přibližně dvojnásob než pojiva. Po dokonalém promísení v mísiči, je směs vstřelována do jaderníku, profukována horkým vzduchem a následně vytvrzena teplem (120-150°C).



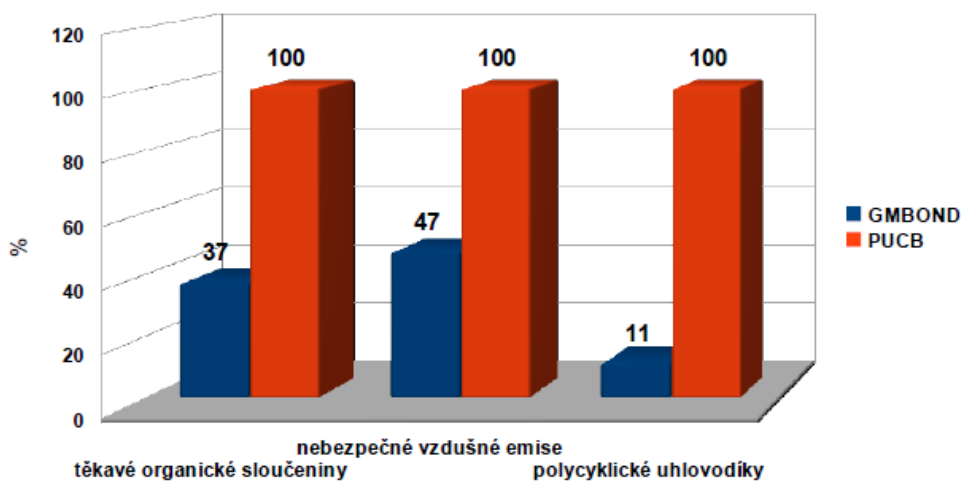
Obr. 16: Pojivový můstek mezi zrna ostřiva [10]

Firma General Motors provedla testy pojiva GMBOND[®] na konkrétních odlitcích. Formy pro odlitky byly vyrobeny z olivínového písku a jádra právě technologií GMBOND[®]. Byl odlit blok a hlava šestiválcového spalovacího motoru z hliníkové slitiny. Odstranění jader bylo provedeno vytřásáním. V obou případech, bylo dosaženo minimálně stejně kvalitních ba dokonce i kvalitnějších odlitků, jakostí povrchu a schopností vytřásání jader, než u fenol-uretan Cold - box procesu (PUCB). [14]



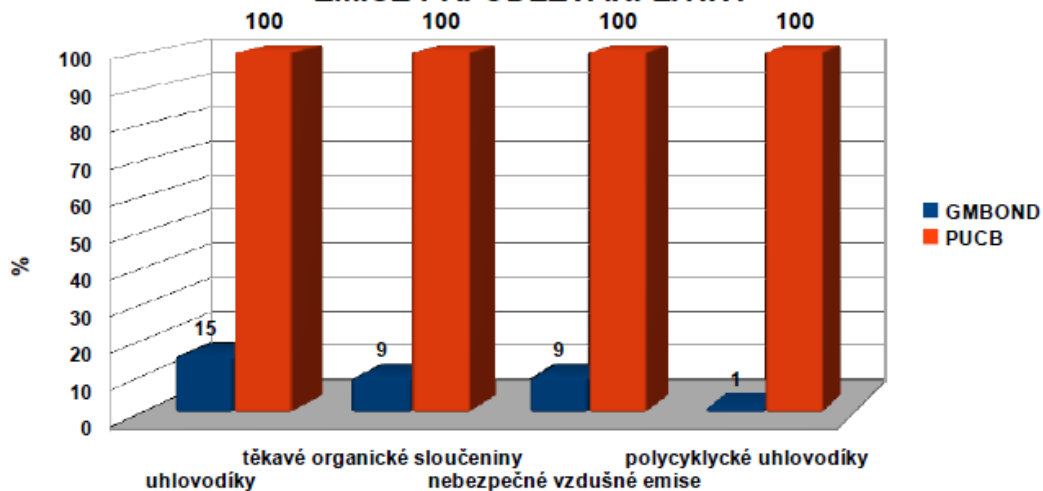
Obr. 17: Příklad jader s pojivem GMBOND® [15]

EMISE PŘI ODLÉVÁNÍ AL SLITIN



Graf 1: Srovnání emisí PAU metod GMBOND® a PUCB při lití Al slitin [10]

EMISE PŘI ODLÉVÁNÍ LITINY



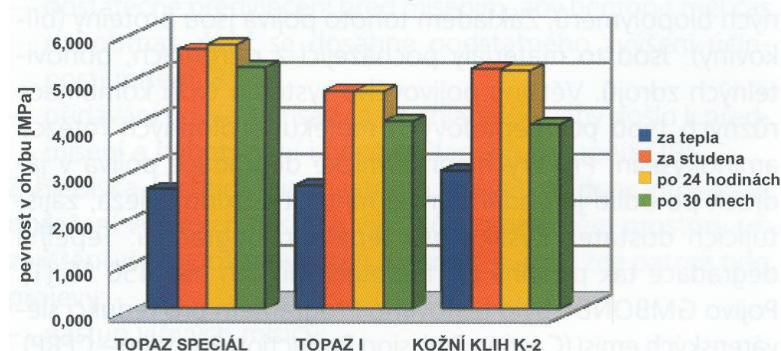
Graf 2: Srovnání emisí PAU metod GMBOND® a PUCB při lití litin [10]

5.1.2 Pojiva na bázi kožního klihu

Zdrojem pro výrobu klihu a želatiny jsou živočišné tkáně (kůže, kosti, chrupavky,...). Hlavní složkou je protein, který se nazývá glutin. Získává se hydrolýzou kolagenu v živočišných tkáních. V klihu jsou často obsaženy i jiné vedlejší produkty hydrolýzy kolagenu. Proces výroby želatiny je mírnější než u klihu a narušovány jsou jen nadmolekulární vazby v kolagenu. Želatina je průhledná, kdežto kliš je zakalený. Po smíchání s vodou oba produkty bobtnají a po zahřání nad 35°C se rozpouštějí a tvoří roztoky. S rostoucí teplotou klesá viskozita, při ochlazení roztok přechází do formy gelu. Je proto vhodné roztoky používat za vyšších teplot. Film roztoku je poměrně elastický a lze jej více plastifikovat změkčovadly. Kromě elasticity, filmy jsou citlivé na vlhkost, lze však navlhavost snížit přidáním kamence. Při vysoké koncentraci roztoku, po vyschnutí dochází k praskání. V nevhodném klimatu může být klišový film lepkavý. Postupem času, vlivem prostředí dochází k tmavnutí a křehnutí. [17]

Při vmíchání těchto pojiv (1 hm. %) do jádrové směsi, se pojivo rozpustí. Rozpouštědlem je právě voda, která není součástí směsi po vytvrzení. Proto je součet pojiva a ostřiva po vytvrzení 100%. Dle [18], dosahují zkušební trámečky po vytvrzení (3 minuty) v jaderníku při teplotě 120 °C pevností dle Obr. 16. Takových pevností lze dosáhnout i mikrovlnným ohřevem. Při skladování vzorků v prostředí o vzdušné vlhkosti 70% nedochází k výrazným poklesům pevností, jak zobrazuje také Obr. 16. Vzorky s pojivem TOPAZ SPECIÁL ani po 18 měsících skladování v suchém prostředí nevykazují velké poklesy pevnosti. I po takové době byla naměřena pevnost 5,1 MPa v ohybu. Dalším pokusem se prokázalo, že rozpadavost po odlití, je velmi dobrá, protože teplota termodestrukce je nižší než 400°C. Rozpad vzorků po ohřevu na 400°C je zobrazen na Obr. 17. [18]

Při odlévání silnostěnných odlitků ze slitiny hliníku byly zkušební trámečky použity jednak jako součást formy tvořící vnější povrch odlitku, tak i jako jádro v tepelné ose nálitku. Teplota slitiny byla 745°C. Na površích se nevyskytly žádné připečeniny, pouze v nálitcích malé řediny a trhliny. Jádra po odlití byla rozpadlá vlivem dobrého prohřátí jader. [18]



Graf 3: Pevnosti zkušebních směsí v ohybu [18]



Obr. 18: Stav trámečků po ohřevu na 400 °C [18]

Zkoušky byly opakovány i pro litinu s lupínkovým grafitem, kde povrchy jader i formy byly natřeny grafitovým nátěrem. Došlo ke vzniku zálupů, drobných staženin a zadrobenin. [18]

Tenkostěnné odlitky způsobí nedostatečné prohřátí směsi jádra a tak po odlití lze jádra lépe vyplavit vodou. Tato dobrá rozpustnost dovoluje směs recyklovat. Vhodnější recyklace je však suchou cestou rozdrčením zmetkových jader a následné použití směsi na výrobu nových. Vlivem odprášení jemných částic pojiva dochází k poklesu pevnosti recyklované směsi. [18]

TOPAZ SPECIÁL, TOPAZ I, TECHNICKÁ ŽELATINA,

KOŽNÍ KLIH K-2:

Jedná se o kožní klišy v suchém, zrnitém stavu žluté až tmavohnědé. Mají dobrou biologickou odbouratelnost a lze je likvidovat v čistírně odpadních vod. Mají pracovní teploty mezi 60 – 80 °C a bod tání 31°C. [10]

Dle [10] při recyklaci směsi s 1% pojiva TOPAZ SPECIÁL dochází k 15% poklesu pevnosti v ohybu, což je dobrý výsledek, protože recyklovaná směs se obvykle do nové směsi přidává pouze v menší míře (5 – 20%). [10]

KLIIH MODIFIKOVANÝ:

Modifikovaný kliš v suchém zrnitém stavu, žlutohnědé (medové) barvy uplatňující se jako rychleschnoucí nízkotavitelné lepidlo pro papírenský a polygrafický průmysl. Pracovní teploty se pohybují kolem 55 – 60°C.

5.2 Sacharidová pojiva

Sacharidy mají poměr v molekule H a O 2:1, což je stejné jako v H₂O. Pro popis se používá obecný vzorec C_n(H₂O)_n. Sacharidy se rozdělují do dvou velkých skupin. První z nich monosacharidy, které mají nižší molekulovou hmotnost. Často jsou nazývány běžnými cukry. Druhou skupinou jsou polysacharidy, které mají naopak velkou molekulovou hmotnost. Obecný vzorec je (C₆H₁₀O₅)_n a hydrolýzou lze štěpit na monosacharidy. [20]

MONOSACHARIDY:

Jsou to bezvodé krystalické látky, které se dobře rozpouští ve vodě. Při vyšších teplotách karamelizují.

Dříve se používalo glukózové pojivo, které se vyrábí z potravinářských škrobů. Obsahuje až 10% alkalických solí a kolem 3% celulózy. Oproti jiným sacharidům (melasa) méně navlhají, ale s ohledem na vysokou cenu čistých sacharidů, používáme spíše odpadní produkty (melasa, dextronér, glukoprén). [20]

GLUKOPRÉN

Roztok glukózy, upravený 10% síranu amonného, nahnědlé barvy. Obsahuje alespoň 55% sušiny a je vhodný pro výrobu jader metodou Hot - Box. Lze použít i do bentonitových směsí. [20]

MELASA

Je louh z výroby z cukru z cukrové řepy, obsahující 40-50% sacharózy a asi 30% alkalických solí. Dále už jen přibližně 20% vody. Vysoký podíl alkalických solí způsobuje zvýšenou navlhavost. Tím se zvyšuje i plynatost. [20]

DEXTRONÉR

Je louh z výroby glukózy, který obsahuje méně solí než melasa. Obsah sušiny se pohybuje od 55 do 75% podle vysušení. Nejvyšších pevností dosáhneme sušením na 210-215°C. Pojivo se používalo pro metodu Hot - Box. [20]

POLYSACHARIDY:

Látky, rozpadající se při hydrolyze minerálními kyselinami až na monosacharidy. Některé tvoří s vodou koloidní roztoky (škroby), jiné jen bobtnají či se vůbec nerozpouštějí (celulóza). [20]

ŠKROB

Bílý prášek, který vzniká v zelených rostlinách. Rozpustnost ve studené vodě je téměř nulová. Při rozpouštění v horké vodě dochází k částečnému rozpouštění (pouze molekuly ryzího škrobu). Výsledkem jsou tedy vysoce viskózní roztoky a po ochlazení gely. Přehříváním škrobu s vodou lze získat rozpustný škrob.

5.2.1 Deriváty celulózy

Celulóza je polysacharidová buničina a získáváme jí ze dřeva. Po odstranění ligninu (složka zajišťující dřevnatění) a dalších nečistot z celulózy,

získáváme dřevnou celulózu. Pro odstranění ligninu a nečistot se užívá louhu a Na_2S nebo roztoku $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$. Dřevná surová celulóza se dále použije pro výrobu derivátů celulózy rozpustných ve vodě, které mají význam pro pojení formovacích směsí nebo lze využít i pro ochranné nátěry forem a jader. [16]

Nejčastěji používané deriváty celulózy:

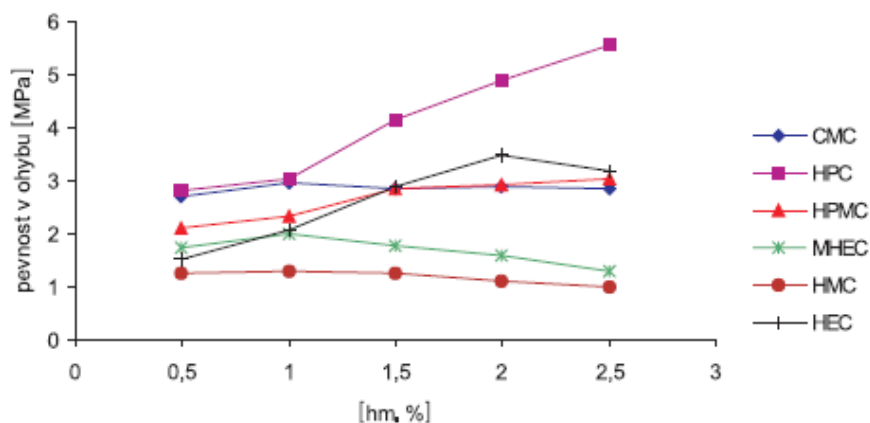
MC	metyl celulóza
HEC	hydroxyetyl celulóza
HPC	hydroxypropyl celulóza
MHEC	metylhydroxyetyl celulóza
MHPC	metylhydroxypropyl celulóza
EHEC	etylhydroxyetyl celulóza
CMC	karboxymetyl celulóza
NaCMC	sodná sůl karboxymetyl celulózy

Tab. 2: Deriváty celulózy [19]

Étery celulózy mají velmi dobré adhezní vlastnosti. Při dostatečně dokonalém spálení ($380\text{-}400^\circ\text{C}$) vzniká pouze CO_2 a vodní pára. Étery celulózy se dají použít jako zahušťovadla, adheziva, plniva, ale hlavně jako pojiva a filmotvorná činidla. Při použití derivátů je potřeba dodat relativně velké množství vody. Je vhodné využít tzv. vysokosmykové míchání (high shear mixing, HSM), které zapříčiní dobré obalení zrn a tím lepší pevnost směsi. Příčinou dobrých adhezních vlastností celulózového pojiva je makromolekulární stavba. Molekuly se vážou do dlouhých řetězců s mnohočetným počtem substituovaných funkčních skupin. Mezi molekulami se tedy tvoří vodíkové můstky. [19]

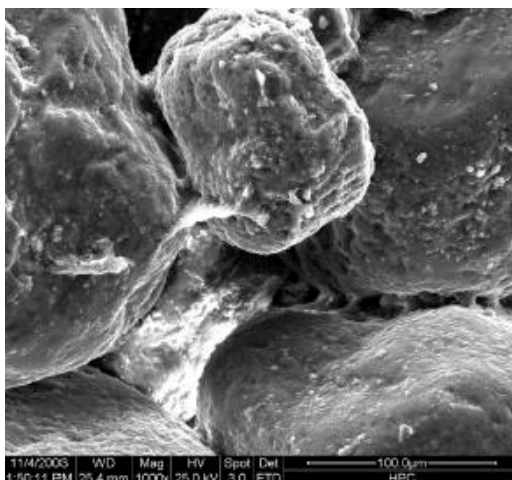
Dle [19] se ukázalo, že pro rostoucí viskozitu derivátu, je potřeba větší množství vody k hydrataci molekul. Hydratace molekul je důležitá pro správnou adhezi.

Pevnostní vlastnosti v ohybu vybraných směsí s deriváty celulózy byly po vysušení za teploty 70°C zaznamenány do Grafu 4.



Graf 4: Pevnost v tahu ohybem různých derivátů celulózy při různé koncentraci pojiva [19]

Při teplotách nad 380 °C směsi zajišťují dobrou rozpadavost po odlití a lze je regenerovat. Při použití vhodného derivátu (HPC, MHCP), lze připravit formovací směs s obsahem pojiva 1-2% hmot. s přibližným podílem vody 3-4% hmot. , která dosahuje pevností v tahu ohybem 2,6-4,2MPa.



Obr. 19: Distribuce pojiva HPC při míchání metodou HSM [19]

Žádoucích vlastností derivátů celulózy lze využít i v kombinaci s cementy jako pojivových směsí. Dle [19], je velmi vhodný derivát hydroxypropyl celulóza, při 1-1,5 hm. % v pojivu a 3-4 hm. % ve směsi. Dalším vhodným derivátem je metylhydroxypropyl celulóza s přidavkem hlinitanového cementu. Tato kombinace zapříčiní nárůst pevností a zlepšení jakostí povrchu odlitku. Důležité pro přípravu těchto směsí je opět HSM.

Výhody celulóзовých pojiv:

- rozpustnost ve vodě
- minimum škodlivin při lití
- dobře recyklovatelné
- dobré pevnosti

Nevýhody celulóзовých pojiv:

- vyšší obsah vody ve směsi
- delší časy pro vysušení
- navlhavost forem

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá možnostmi užití slévárenských pojiv, které jsou ekologicky šetrné k životnímu prostředí a zároveň mají požadované slévárenské technologické vlastnosti. Vodou rozpustná pojiva, následně vytvrzovaná dehydratací, jsou vhodnou volbou.

Dehydratace probíhá v teplých jadernících, kterými může být pro urychlení profukován i teplý vzduch. Kvalitního vytvrzení v celém objemu se dá dosáhnout mikrovlnným ohřevem. Nevýhodou těchto technologií je riziko navlhavosti jader při skladování. Je proto nutné, aby sklad jader měl nízkou vlhkost. Při navlhnutí směsi dojde k velkému poklesu pevnosti v ohybu. Pojiva se obecně dělí do dvou velkých skupin, anorganická a organická. Z anorganických pojiv je možno užít anorganické soli, pojiva na bázi alkalických silikátů a vodní sklo. Pojivo Hydrobond se vytvrzuje v horkých jadernících profukováním vzduchu o teplotě 80°C a jádra pak mají krátkou skladovatelnost. Doporučuje se používat lihových nátěrů jader a směs je dobře vyplavitelná. Používá se pro slitiny neželezných kovů. Pojivo Beach box[®] se vytvrzuje při teplotách 130 – 140°C a profukováním horkého vzduchu. Díky vysoké tekutosti směsi lze vyrábět jádra složitých tvarů a tenkých stěn. Z nabídky pojiv na bázi alkalických silikátů jsou to pojiva Inotec[®], Cordis[®], Dilab[®], Cast clean, Dryset, AWB a DESIL – J. Pojivo Inotec používá firma BMW, má dobrou zabíhavost a vzniká méně usazenin. To vede k menší potřebě čištění jaderníků. Pojivo Cordis se vytvrzuje při teplotách 120 – 180°C a je vhodné pro složitá jádra. Dilab je pojivo, které způsobí vysokou rozpadavost po odlití a má dlouhou skladovatelnost. Systém AWB umožňuje výrobu složitých jader a je vhodnou náhradou za metodu Cold-box. Pojivo DESIL-J je vhodné pro méně tvarově složitá jádra, má dobrou rozpadavost a skladovatelnost. Organická pojiva se dělí na biogenní a sacharidová pojiva. Z biogenních to jsou GMBOND[®], Kožní kliš. Do sacharidových pojiv řadíme deriváty celulózy. Pojivo GMBOND[®] je velice ekologické a biodegradibilní. Vytvrzuje se v horkých jadernících při teplotách 130 – 150°C a je možné ho užít pro slitiny neželezných kovů i pro litiny. Směs s kožním klišem lze vytvrzovat v horkých jadernících i mikrovlnným ohřevem. Směs dosahuje

dobrých pevností a má dobrou rozpadavost po odlití. Deriváty celulózy se používají jako pojiva i jako ochranné nátěry jader. Směsi mají dobré pevnosti a pojivo je možné kombinovat ještě s cementy pro zajištění lepších pevnostních vlastností.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. JELÍNEK, Petr. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích směsí: (chemie slévárenských pojiv)*. [Ostrava: P. Jelínek], 2004. ISBN 80-239-2188-6.
2. LENGHARDOVÁ, Romana. Název: *Studium pojivových systémů pro technologii Warm box*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 78 s., příloh 2. Vedoucí práce: prof. Ing. Karel Rusín, DrSc
3. RUSÍN, Karel. *Slévárenské formovací materiály: celost. vysokošk. učebnice pro skupinu stud. oborů strojírenství a ostatní kovodělná výroba*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-030-0278-8.
4. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
5. HORÁČEK, M. *Slévárenská technologie I*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1990. 166 s. ISBN 80-214-0217-2.
6. NOVÁ, I., MACHUTA, J.: *Technologie I*. [Studijní opora]. TUL – FS Liberec 2012
7. *Základy teorie a technologie slévárenství* [online]. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. [cit. 2014-04-17]. Dostupné z WWW: <http://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/Zaklady_teorie_a_technologie_slevarenstvi.pdf>
8. *Základy teorie a technologie slévárenství* [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. [cit. 2013-04-11]. Dostupné z WWW: <http://www.fmmi.vsb.cz/miranda2/export/sites-root/fmmi/cs/okruhy/urceno-pro/studenty/podklady-ke-studiu/studijni-opory/Zaklady_teorie_a_technologie_slevarenstvi.pdf>
9. CHRÁST, J. *Slévárenská zařízení*. Brno: Akademické naklad. CERM, 2006. 256 S. ISBN 80-7204-456-7.
10. CUPÁK, Petr: *Studium biogenních pojiv*, Disertační práce, VUT FSI Brno 2011.
11. TOMEK, Ladislav; LÁNÍK, Boris; SEDLÁČEK, Jiří; VINTER, Václav. Vodou vyplavitelná jádra pro hliníkové odlitky lité na vytavitelný model. *Slévárenství*. 2012, 9-10, s. 358-364. ISSN 0037-6825.

12. *Nové postupy pojení slévárenských směsí* [online]. BOUCNÍK, Vladislav; SKÁLOVÁ, Zdena. Dostupné z WWW: <http://www.boucnik.cz/PDF_literatura/09_Pojivo.pdf>
13. CUPÁK, Petr. *Horké procesy výroby forem a jader*. Brno, 41 s. Učební materiály předmětu PFM [PDF]
14. GMBOND: PUTTING TO THE TEST [online]. GM BOND INDIA. Dostupné z WWW: <www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/Zaklady_theorie_a_technologie_slevarenstvi.pdf>
15. GMBOND: REVOLUTIONARY SAND BINDER [online]. GM BOND INDIA. Dostupné z: <<http://www.indianfoundries.com/gmbond/>>
16. LENGHARDOVÁ, Romana. *Název: Studium pojivových systémů pro technologii Warm box*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 78 s., příloh 2. Vedoucí práce: prof. Ing. Karel Rusín, DrSc.
17. TŘESOHLAVÁ, Magdalena. *Srovnání tradičních a moderních konsolidačních prostředků pro zpevňování barevné vrstvy nástěnné malby*. Pardubice: Univerzita pardubice, Fakulta restaurování, 2006. 133 s., příloh 1. Vedoucí práce: Ing. Karol Bayer.
18. CUPÁK, Petr. I organická pojiva mohou být ekologicky příznivá. *Slévárenství*. 2012, 3-4, s. 75-78. ISSN 0037-6825.
19. LAICHMAN, Lubomír; BRANDŠTETR, Jiří; RUSÍN, Karel. Deriváty celulózy jako pojiva slévárenských formovacích směsí.-I. část. *Slévárenství*. 2009, 1-2, s. 12-14. ISSN 0037-6825.
20. JELÍNEK, Petr. *Slévárenské formovací směsi*. 1. vyd. Ostrava, 1996, 177 s. ISBN 80-707-8326-5.
21. MÜLLER, Jens; KOCH, Diether; FROHN, Marcus; WEICKER, Günter; KÖRSCHGEN, Jörg; SCHRECKENBERG, Stefan. Inotec se osvědčuje v praxi. *Slévárenství*. 2009, 1-2, s. 18-22. ISSN 0037-6825.
22. *Formovací materiály: Formstoffe = Moulding Materials : mezinárodní konference, 12. ročník : 19. a 20.4.2011, Hotel Devět Skal, Českomoravská vrchovina, Milovy*. 1. vyd. Brno, 2011, 232 s. ISBN 978-80-02-02316-6.
23. LÖCHTE, Klaus; BOEHM, Ralf; LUBOJACKÝ, Miroslav; IVANOV, Stefan. CORDIS-anorganický pojivový systém. *Slévárenství*. 2009, 1-2, s. 36-39. ISSN 0037-6825.

24. *Vodní skla a pojivové systémy* [online]. Vodní sklo a.s., [cit. 2013-04-15]. Dostupné z WWW: <http://www.vodnisklo.cz/view.php?cisloaktuality=2009082501mn=13>
25. *Formovací materiály: Formstoffe = Moulding Materials : mezinárodní konference : 10. ročník : 17. a 18.4.2007 Hotel Jehla, Českomoravská vrchovina, Žďár nad Sázavou*. 1. vyd. Brno: Česká slévárenská společnost, 2007. ISBN 978-80-02-01925-1.
26. J.B. DEVENNE CAST CLEAN BINDER SYSTÉM [online]. Midvale. [cit. 2014.04.13]. Dostupné z WWW: < <http://www.midvaleind.com/foundry-equipment/jb-devenne-cast-clean-binder-system> >
27. JELÍNEK, Petr. Anorganická pojiva si razí cestu do sléváren. *Slévárenství*. 2012, 3-4, s. 66-70. ISSN 0037-6825.
28. WOLFF, A. ; STEINHÄUSER, T. AWB – an environment-friendly core production technology. *Giesserei*. 2004, roč. 91, č. 6, s. 80-84. ISSN 0016-9765.
29. JELÍNEK, Petr; ŠKUTA, Radim. Pojiva pro termickou konverzi sol-gel na bázi alkalických silikátů. *Slévárenství*. 2006, 1, s. 14-18. 0037-6825.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
HB	-	Metoda Hot-Box
AWB	-	Modifikovaná metoda Warm-Box (Alternative Warm-Box)
HSM	-	vysokosmykové míchání (high shear mixing)
PAU	-	Polyaromatické uhlovodíky
TGA	-	Termogravimetrická analýza
LLG	-	Litina s lupínkovým grafitem
PUCB	-	Metoda polyuretanového Cold - boxu
CERP	-	Casting Emission Reduction Program

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1: Struktura směsi [7]	10
Obr. 2: Adhezní oddělení [1]	10
Obr. 3: Kohezní oddělení [1]	10
Obr. 4: Zrna ostřiva [6]	11
Obr. 5: Vstřelování směsi do jaderníku [4]	14
Obr. 6: Vstřelovací stroj [9]	14
Obr. 7: Vytvrzování jádra [4]	16
Obr. 8: Dipolární molekuly přizpůsobující se elektrickému poli	17
Obr. 9: Trojúhelník základních vlastností [11]	19
Obr. 10: Řez stěnou odlitku [11]	20
Obr. 11: Anorganický pojivový systém Inotec® [21]	22
Obr. 12: Postup výroby jádra s CORDIS® [23]	24
Obr. 13: Použití CORDIS® [23]	25
Obr. 14: Jádro pro hlavu spalovacího motoru vyrobené metodou AWB [28]	27
Obr. 15: Síťování molekul proteinů do řetězců [10]	32
Obr. 16: Pojivový můstek mezi zrny ostřiva [10]	33
Obr. 17: Příklady jader s pojivem GMBOND® [15]	34
Obr. 18: Stav trámečků po ohřevu na 400 °C [18]	36
Obr. 19: Distribuce pojiva HPC při míchání metodou HSM [19]	40

SEZNAM TABULEK:

Tab. 1: Srovnání výroby systémem Cold-Box a Inotec®	22
Tab. 2: Deriváty celulózy [19]	39

SEZNAM GRAFŮ:

Graf 1: Srovnání emisí PAU metod GMBOND [®] a PUCB při lití Al slitin [10]	34
Graf 2: Srovnání emisí PAU metod GMBOND [®] a PUCB při lití litin [10]	34
Graf 3: Pevnosti zkušebních směsí v ohybu [18]	36
Graf 4: Pevnost v tahu ohybem různých derivátů celulózy při různé koncentraci pojiva [19]	40