



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 DEHYDRATACÍ

WATER SOLUBLE FOUNDRY BINDERS WITH HEAT DEHYDRATATION HARDENING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL ŠEBESTA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR CUPÁK, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Pavel Šebesta

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 dehydratací

v anglickém jazyce:

Water soluble foundry binders with heat dehydration hardening

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zmapování současného stavu v oblasti slévárenských vodou rozpustných anorganických i organických pojiv vytvrditelných dehydratací.

Cíle bakalářské práce:

Zpracování přehledu vodou rozpustných slévárenských pojiv, jejich vlastností a použití.

Seznam odborné literatury:

1. THIENEL, H. Rudal Verfahren-Ergebnisse in deutschen Giessereien. In: Sborník přednášek mezinárodní konference "Moderní formovací materiály". Sand-Team Brno, 2006, s. 183-185. ISBN 80-02-01818-4.
2. 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". Sand-Team Brno, 2003, s. 77-88. ISBN 80-02-01556-8.
3. HORÁČEK, M. Slévárenská technologie I. Skripta VUT Brno. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1990. 166 s. ISBN 80-214-0217-2.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 24.10.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Ekologický tlak na slévárenství přiměl výrobce k vývoji nových organických a anorganických pojiv. Jednou z možností jsou vodou rozpustná pojiva vytvrditelná dehydratací. Kromě pevnostních vlastností a regenerovatelnosti formovacích směsí se pohlíží na množství emisí vzniklých během odlévání. Při používání těchto nových pojiv není zapotřebí nákladných modifikací strojů pro práci s formovací směsí.

Klíčová slova

Slévárenská pojiva, dehydratace, INOTEC[®], DILAB[®], CORDIS, HYDROBOND, BEACHBOX[®], GMBOND, deriváty celulózy

ABSTRACT

Environmental pressure on foundries has forced manufacturers to develop new organic and inorganic binders. One of the options is water soluble binders that can be hardened by dehydration. In addition to tenacity characteristics and regenerability of the forming mixtures another considered aspect is the amount of emissions generated by casting. Use of these new binders does not require expensive modifications of the machines for work with the forming mixtures.

Key words

Foundry binders, dehydration, INOTEC[®], DILAB[®], CORDIS, HYDROBOND, BEACHBOX[®], GMBOND, derivatives of cellulose

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠEBESTA, P. *Vodou rozpustná slévárenská pojiva vytvrzovaná dehydratací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Cupák, Ph.D..

Prohlášení

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

V Brně dne 24. 5. 2013

.....
Pavel Šebesta

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
Úvod.....	7
1 Formovací směsi.....	8
2 Pojivové systémy formovacích směsí.....	10
2.1 Metoda HOT-BOX.....	10
2.1.1 Vytvrzování jader	11
2.2 Metoda WARM-BOX.....	11
2.2.1 Princip vstřelování jader.....	12
2.2.2 Vytvrzování jader	13
2.2.3 AWB proces.....	14
2.3 Metoda mikrovlnného vytvrzování.....	14
3 Anorganická pojiva	16
3.1 Vodní sklo	16
3.2 Pojiva na bázi alkalických silikátů	18
3.2.1 INOTEC®	18
3.2.2 DILAB®	21
3.2.3 CORDIS	23
3.2.4 Další pojiva na bázi alkalických silikátů.....	25
3.3 Anorganické soli.....	27
3.3.1 HYDROBOND.....	27
3.3.2 BEACHBOX®	28
4 Organická pojiva.....	30
4.1 Deriváty celulózy.....	30
4.2 Biogenní pojiva	32
4.2.1 GMBOND®.....	32
4.2.2 Kožní klič	35
5 Ochrana pracovního prostředí sléváren a ekologie	37
5.1 Trvale udržitelný rozvoj a formovací materiály	37
5.2 Emise během formování a lití.....	37
5.3 Seznam škodlivých látek používaných při výrobě forem.....	38
Závěr	41
Seznam použitých zdrojů	42
Seznam použitých zkratk a symbolů	45
Seznam obrázků:	46
Seznam tabulek:.....	46

ÚVOD

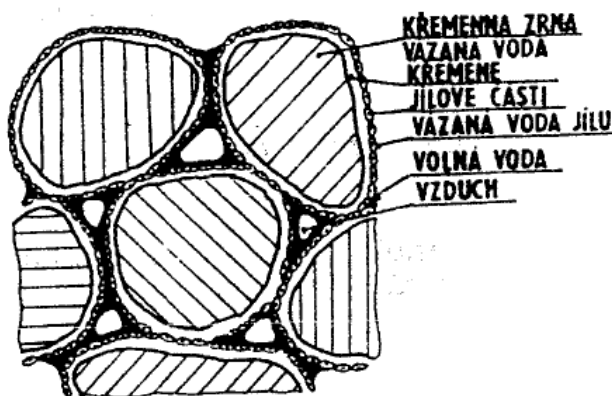
Slévárství bylo lidmi využíváno už tisíce let před naším letopočtem, což je možné pozorovat na vykopávkách po celém světě. Člověk pomocí odlévání kovů vytvářel různé nástroje pro každodenní život - nádoby, zbraně, ale především umělecké předměty. Za tisíce let slévárství dosáhlo podoby, v jaké jej známe dnes. Přesto další možnost vývoje v tomto oboru není zdaleka vyčerpána.

Slévárny se potýkají s ekologickým dopadem svého provozu na životní prostředí a snahou o snížení škodlivých emisí při lití, čímž by došlo ke zlepšení jak pracovních podmínek zaměstnanců tak i ovzduší pro obyvatele v okolí sléváren. S tím souvisí také vzrůstající prosperita a konkurenceschopnost sléváren.

Zlepšení je možné dosáhnout používáním ekologičtějších pojiv, které během spalování neuvolňují jedovaté a zdraví škodlivé látky. Jednou z možností je využití anorganických pojiv, které obecně proti organickým pojivům uvolňují menší množství emisí. Nevýhodou těchto pojiv jsou jejich nižší pevnostní vlastnosti. Výrobci pojiv se proto snaží najít řešení například ve formě vodou rozpustných pojiv na bázi anorganických i organických pojiv. Tyto pojiva mají vyhovovat ekologickým nárokům a zároveň dosáhnout co nejlepších vlastností pro výrobu odlitků. Tato pojiva je zapotřebí vytvrzovat dehydratací.

1 FORMOVACÍ SMĚSI

Formovací a jádrové směsi pro odlitky se skládají ze dvou hlavních složek: z ostřiva a pojiva. Ostřivo (obr. 2) je zrnitý materiál většinou minerálního původu (SiO_2 , Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO) a tvoří převážnou většinu objemu (obvykle nad 90 %) směsi. Pojiva jsou částice o malých rozměrech a tvoří spojovací můstky (obr. 3) mezi zrna ostřiva. Vlastnosti těchto spojovacích můstků (velikost adheze a koheze) jsou rozhodující pro pevnostní vlastnosti vytvrzených směsí a také pro případnou regeneraci formovacích a jádrových směsí. [1]



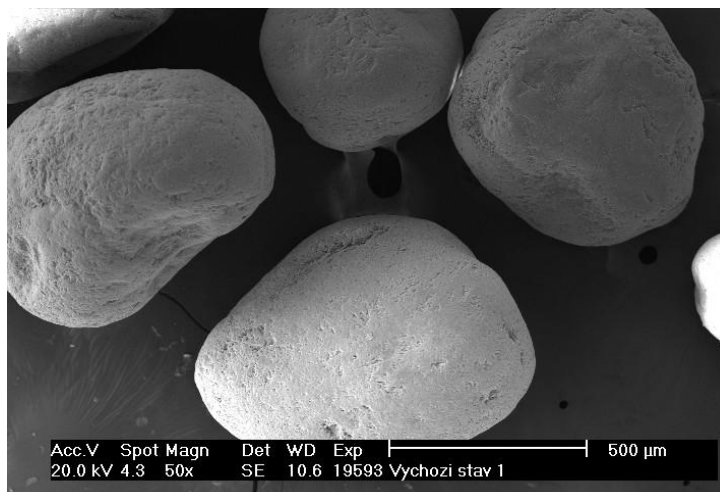
Obr. 1: Příklad formovací směsi [2]

Pojiva můžeme rozdělit do dvou skupin:

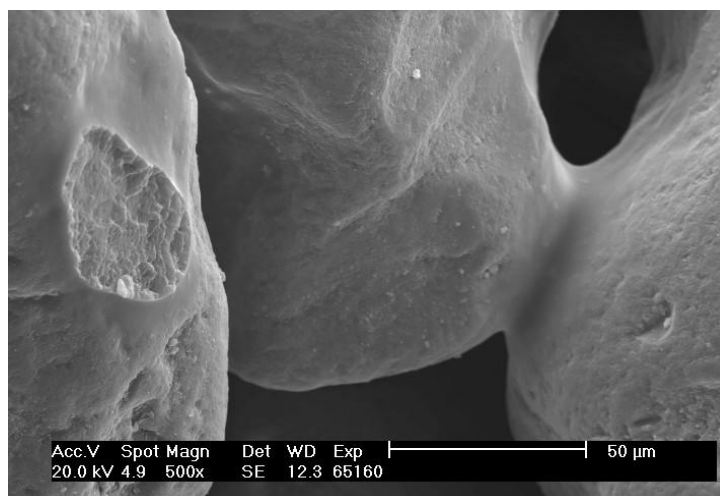
První skupinu tvoří pojiva anorganická. Velkou výhodou těchto pojiv je, že vzniká jen malé množství plynů, které jsou škodlivé životnímu prostředí nebo zdraví pracovníků. Naopak nevýhodou anorganických pojiv jsou jejich horší pevnostní vlastnosti (nižší pevnost po vytvrzení a vyšší zbytková pevnost po odlití). Mezi tato pojiva patří především jíly, vodní sklo a v menší míře také sádra a cement. Nově vyvinutá anorganická pojiva na bázi geopolymérů (GEOPOL), anorganických solí (BEAX BOX, HYDROBOND, ...) a sodných silikátů (CORDIS, INOTEC, ...) získali lepší pevnostní vlastnosti a mohou konkurovat organickým pojivům, které tvoří druhou skupinu pojiv.

Organická pojiva se vyznačují vyššími pevnostmi po vytvrzení, nižšími zbytkovými pevnostmi (dosahujeme lepší kvality odlitku), lepší

regenerovatelnost směsí a nízký sklon k navlhání. Na druhou stranu při používání organických pojivových systémů se často během pracovního procesu uvolňují zdraví škodlivé látky, které mohou mít i karcinogenní nebo mutagenní účinky. Také samotné komponenty organických pojivových směsí velmi často patří mezi škodlivé látky. Tyto skutečnosti mají i ekonomický dopad – deponie odpadů je drahá, provozy pracující s těmito látkami musí investovat značné částky na ochranu pracovního a životního prostředí. I v oblasti organických pojivových systémů však existují materiály, jejichž použití je šetrné k životnímu prostředí a které zachovávají většinu výhod, kvůli nimž jsou organická pojiva používána. Patří do relativně nové skupiny tzv. biogenních pojiv (GMBOND®). [1, 3]



Obr. 2: Zrna ostřiva [1]

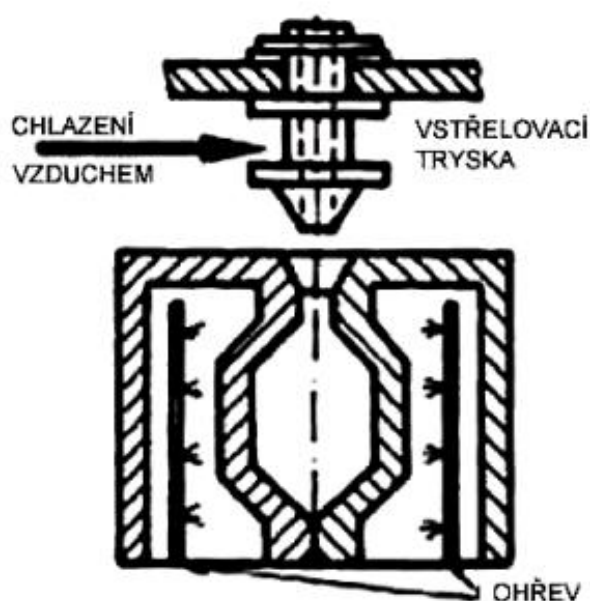


Obr. 3: Stopa po adhezním odtržení pojivového můstku a pojivový můstek mezi zrna ostřiva [1]

2 POJIVOVÉ SYSTÉMY FORMOVACÍCH SMĚSÍ

2.1 Metoda HOT-BOX

Metoda Hot-Box byla vyvinuta v letech 1959–1960 Philippe Jassonem. Metoda je užívána při velkosériové výrobě odlitků a celý proces byl automatizován. Vazná směs je vstřelována do horkých kovových jaderníků, kde je vytvrzována teplem. Oproti starší C-metodě se nevyužívá obalené směsi, ale HB vazné směsi. Směsi tvoří převážně vodou rozpustná pojiva. [4]



Obr. 4: Příprava ke vstřelování [5]

Pro vytvrzování jader touto metodou je využíváno dvou skupin organických pojiv: pryskyřic a sacharidů. V posledních letech se odstoupilo od sacharidových pojiv (používány jsou v případě kombinace s pryskyřicemi). Důvodem bylo navlhání pojiv během skladování a jejich nevyhovující pevnosti po vytvrzení. Z umělých pryskyřic se používají např.: močovino-formaldehydová, melamino-formaldehydová, furanová, fenol-formaldehydová (nejrozšířenější). [4]

Velký význam pro použití metody HB mají anorganická pojiva. Mezi tato pojiva patří například vodní sklo [4], pojiva na bázi alkalických silikátů (INOTEC® [6], DILAB® [7], CORDIS [8]), anorganické soli (BEACH BOX [9]).

2.1.1 Vytvrzování jader

Proces vytvrzování probíhá od povrchu. Jaderník je vyhříván na teploty 180–300 °C (podle druhu pojiva). Po vstřelení dochází (vzhledem k vysoké termoaktivitě pojiv) k rychlému vytvrzování povrchu jádra (14–45 sec). V jádře je dosaženo optimální pevnosti pro manipulaci a je vyjmutο z jaderníku. Jádro je po vyjmutí dotvrzeno v celém objemu akumulovaným teplem.

Nevýhodou metody Hot-Box je možnost výroby pouze plných jader (hlavní rozdíl oproti C-metodě). Je tedy možné používat metodu s velmi drahο obalenou směsí a nebo zvolit metodu HB s lacinějším materiálem, ale za cenu výroby pouze plných jader. Jádro vyrobené metodou HB je mnohem pevnější, odlévá se v licím přípravku bez zasypání.

Je důležité skladovat již namíchanou směs co nejkratší dobu, protože vytvrzování směsi začíná v okamžiku smíchání pojiva se směsí katalyzátoru s pískem. [4]



Obr. 5: Postup tvrdnutí jádra [5]

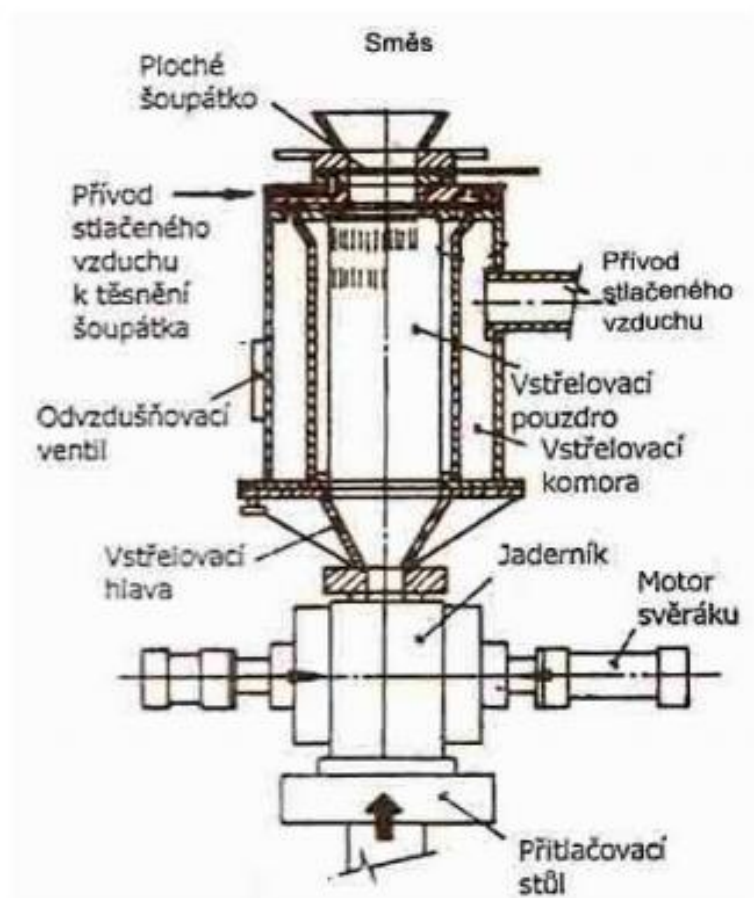
2.2 Metoda WARM-BOX

Warm-Box je modifikací metody Hot-Box. Při použití metody HB (horký jaderník) jsou jaderníky vyhřívány na teplotu 230–300 °C (poznámka: podle [4] mohou být jaderníky vyhřívány na teplotu 180–300 °C) oproti tomu, při použití metody WB (teplý jaderník), jsou jaderníky vyhřívány na nižší teploty v rozmezí 180–240 °C. Při použití metody WB je možné vytvrzování také biogenních pojiv a to při teplotách 100–150 °C. Doba vytvrzování je pro obě

metody srovnatelná. Stejně jako pro metodu HB, je i zde možné vyrábět pouze plná jádra. [10]

2.2.1 Princip vstřelování jader

Vstřelování jader probíhá expanzí stlačeného vzduchu, který před sebou tlačí jádrovou směs do jaderníku. Tím dosáhneme rychlého naplnění a zároveň dojde k minimálnímu promíchání směsi se vzduchem. [10]



Obr. 6: Schéma vstřelovacího stroje [10]

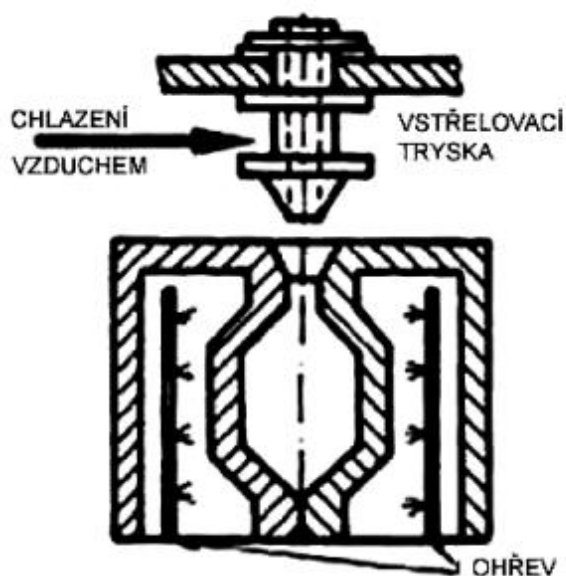
Směs je nejdříve dopravena ze zásobníku do vstřelovací komory, která se šoupátkem vzduchotěsně uzavře. Na spodní straně komory je vyměnitelná vstřelovací hlava (obsahuje jeden či více vstřelovacích otvorů – výběr záleží na aktuálním jaderníku). Dělený jaderník se pevně sevře svěráky a následně přitlačí na vstřelovací hlavu. Dojde ke vstřelení otevřením vstřelovacího ventilu odkud proudí stlačený vzduch z tlakového zásobníku do vstřelovací komory. Po vstřelení jádra se ventil uzavře a komora se

odvzdušní. U moderních vstřelovacích strojů se nemusí používat vstřelovací pouzdro. Expandovaný vzduch působí pouze shora na dávku směsi. Výhoda spočívá v odstranění čištění pouzdra, které bylo u starších vstřelovaček. [10]

2.2.2 Vytvrzování jader

Vytvrzování začíná vstřelením formovací směsi do jádra. Formovací směs obsahuje pojiva vytvrditelná teplem. Jaderník je před vstřelením směsi ohříván na teplotu od 100–240 °C (to záleží na pojivovém systému, který byl použit ve směsi).

Aby nedošlo k vytvrzení směsi před vstřelením do jaderníku vlivem prostupu tepla z jaderníku (přítlačeného na vstřelovací hlavu) do vstřelovací komory, musí být vstřelovací hlava chlazena vodou nebo vzduchem. Vstřelovací hlava má malé vstřelovací otvory, protože WB jádrová směs je dobře tekutá. [10]



Obr. 7: Příprava ke vstřelování [5]

Ohřev kovových jaderníků se provádí plynovými hořáky nebo elektrickými topnými články umístěnými v topné desce nebo přímo v tělese jaderníku. Pro ohřev větších jaderníků je vhodnější ohřev plynovými hořáky. Jejich nasměrováním dosáhneme rovnoměrného ohřevu jádra. Plynovým ohřevem se rychle naběhne na provozní teplotu.

Pro ohřev menších jaderníků se používají elektrické topné články. Touto metodou není dosaženo rovnoměrného zahřívání. Regulace se provádí postupným vypínáním a zapínáním elektrických topných článků. Po dosažení optimální pevnosti pro manipulaci na povrchu jádra, je jádro vyjmuto z jaderníku a stejně jako u metody HB dochází k vytvrzení celého objemu akumulovaným teplem. [10]

Díky tomuto postupu došlo ke snížení energetické náročnosti a zároveň ke snížení obsahu plynů, uvolňujících se při lití. Jádra dosahují dobré pevnosti v tahu za tepla. Jsou využívány například pro odlévání hlav válců. [3]

2.2.3 AWB proces

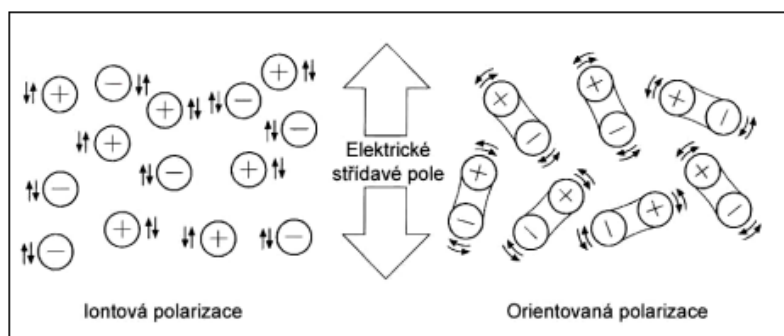
(AWB = Alternative Warm Box Process)

Jádra se vyrábí na standardní vstřelovače s elektricky ohříványi jaderníky (140–200 °C). Během výroby se vytvrdí v jaderníku pevná skořepina (10–60 s). Podle [9] je možné zkrácení času provést pomocí odsátím vodních par pomocí vakuování. Konečné vytvrzení se uskuteční v mikrovlnné sušárně (1,5kW, 1–3 min). Jádra mají dobrou pevnost, prodyšnost a lépe se vytloukají.

Předností je nízká ekologická zátěž při výrobě jader i odlévání. Používá se modifikované vodní sklo s nižší viskozitou → dobrá vstřelovatelnost. [11, 9]

2.3 Metoda mikrovlnného vytvrzování

„Mikrovlnný ohřev patří k oblasti dielektrického ohřevu. Předpoklad pro ohřev v elektrickém střídavém poli je nesymetrická molekulová struktura, jako má např. molekula vody. Molekuly této látky tvoří elektrický dipól, který se natáčí ve směru pole.“ [10, s. 14] (obr. 8)



Obr. 8: Molekulová oscilace v polarizovaných látkách pod vlivem elektrického střídavého pole [10]

Princip ohřevu spočívá v přeměně energie střídavého pole o velmi vysoké frekvenci na energii tepelnou. Tepelná energie je vytvářena třením molekulového dipólu, který ve vysokofrekvenčním poli rotačně osciluje podle okamžitého směru elektromagnetického pole. Svou orientaci mění až miliardkrát za sekundu. Kromě tření, vznikajícího překonáváním mezimolekulárních sil, dochází k hysterze. Ta vzniká vlivem setrvačnosti mezi elektromagnetickým polem a indukovanou elektrickou odezvou. Důsledkem tření a hysterze je ohřev materiálu, který je rychlý a probíhá v celém objemu vytvrzovaného jádra.

Není možné zahřívat látky se symetrickou molekulovou strukturou ve vysokofrekvenčním střídavém poli. Povrch je působením mikrovln přehříván a důsledkem toho začne vlny odrážet (jedná se především o kovy). Účinnost materiálu závisí na schopnosti absorbování vln. Touto vlastností disponují materiály obsahující alespoň malé množství polárních molekul (voda, soli, uhlík, ...). V pojivech obsahujících tyto materiály je dosaženo ohřevu. [1, 10]

Vodou rozpustná pojiva jsou pro mikrovlnná vytvrzování efektivní. Voda je vysoce polární látka s dobrými absorpčními vlastnostmi a tím je mikrovlnná energie přeměňována na teplo s vysokou účinností. [1]

„Mikrovlny patří do frekvenčního pásma 300 MHz až 300 GHz. Zařízení pro průmyslový mikrovlnný ohřev se konstruuje na nejčastěji používané frekvenci okolo 2450 MHz, případně na frekvenci okolo 915 MHz (výhodou této frekvence je větší průnik vln do ohřivaného materiálu).“
[1, s. 28]

3 ANORGANICKÁ POJIVA

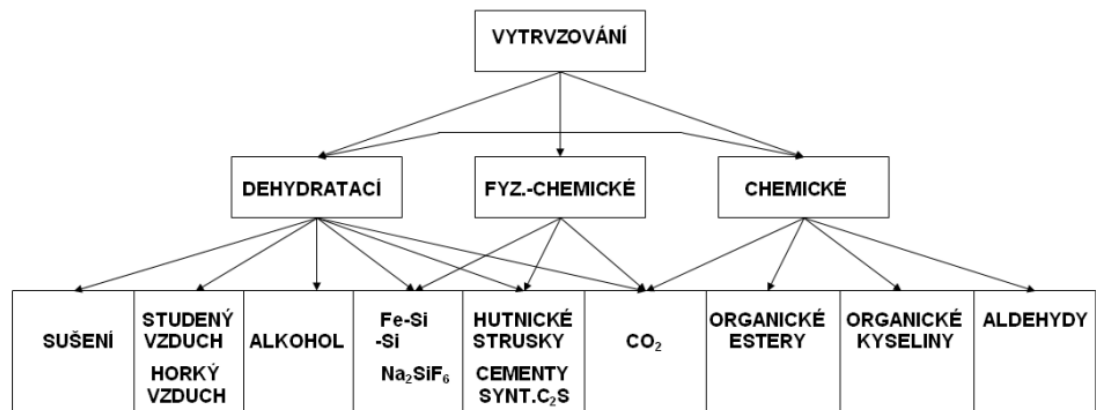
Ekologický tlak vede ke snižování dopadů sléváren na životní prostředí a emisí vzniklých při lití. Z toho důvodu se výrobci snaží vyvíjet ekologicky přijatelnější pojiva. Těmto požadavkům nejlépe odpovídají anorganická pojiva (je možná kombinace pojiv organických i anorganických, smluvně je do 5 % organiky pojivo klasifikováno jako anorganické). Při jejich používání ve výrobě vzniká méně kondenzátů a emisí, z čehož mají prospěch nejen zaměstnanci slévárny, ale také obyvatelé v okolí sléváren.

Snížením množství vzniklých emisí lze snížit náklady na čištění vzduchu a jeho následné zpracování. Čištění vzduchu spotřebovává energii, ta stojí peníze a její výroba má vliv na životní prostředí. V českých a slovenských slévárnách jsou více než 50 let využívána anorganická pojivová systémy s vodním sklem. Slévárny mohou překonat ekologické tlaky a tím zvýšit konkurenceschopnost a prosperitu zavedením nových anorganických materiálů. Použití nových anorganických pojiv vede ke zlepšení jakosti odlitků. Snížení množství kondenzátů znamená výrazné snížení nutnosti čistit nástroje. [12, 13, 9]

3.1 Vodní sklo

Vodní sklo bylo vyvinuto roku 1818 J. N. Fuchsem [12] a jako pojivo je ve slévárenství využíváno přes 50 let. V českých a slovenských slévárnách představuje vodní sklo hlavní pojivo používané pro výrobu forem a jader. [15]

Vyrábí se tavením kalcinované sody (Na_2CO_3) a sklářského písku (v ČR z lokality Střeleč) v kontinuální vanové peci při 1300–1400 °C a tavenina se následně granuluje. [12]



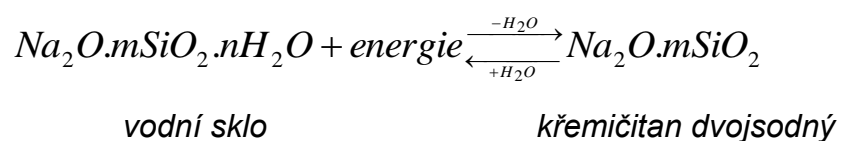
Obr. 9: Možnosti vytvrzování směsí s vodním sklem [11]

	Proces vytvrzení	Pevnost v tlaku [MPa]
Směs křem. písek = 100 h. d. Vodní sklo, 50°Bé (m=2,2)=4 h. h.	Dehydratace	10 – 11
	CO ₂	1,0 – 1,2
	Ester/4 h	1,6 – 2,2
	C2S/4 h	0,8 – 1,3

Tab. 1: Dosažená pevnost v tlaku různými postupy vytvrzování [12]

Vytvrzování vodního skla dehydratací:

Dochází k tepelné dehydrataci vodního skla pomocí sušení studeným a horkým vzduchem, horkým jaderníkem Hot-Box (při teplotě 160–200 °C [10]), nebo mikrovlnným vytvrzováním. Proces je reverzibilní a proto je možné použitou formovací směs regenerovat. Nevýhodou je skladování, protože dochází k navlhání vytvrzeného pojiva a ke snižování pevnosti forem a jader. [4, 12]

proces dehydratace [4]:

Z energetického hlediska je velmi výhodný proces mikrovlnného vytvrzování, protože teplo vzniká pouze v silikátových filmech na povrchu zrn ostřiva. Mikrovlnným vytvrzováním je dosahováno 2krát vyšších pevností v ohybu oproti vytvrzování estery. Z toho důvodu je postačující menší množství pojiva a vyplývající nižší spotřeba pojiva a lepší rozpadavost [4]

Dehydratované gely jsou vysoce kompaktní, neexistují žádné vedlejší produkty reakce, které by snižovaly pevnost pojivového filmu. [12]

Nedostatky pojiv s vodním sklem [12]:

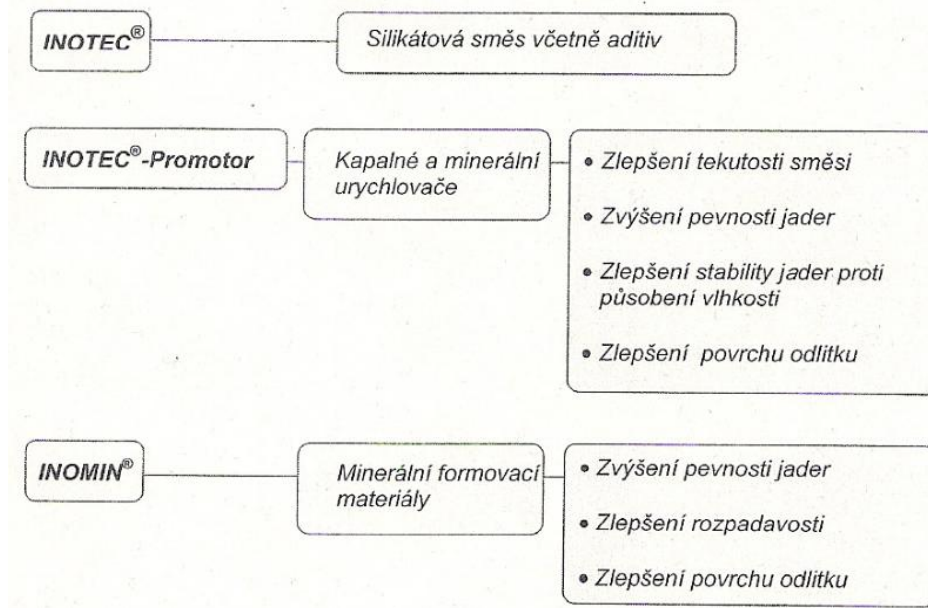
- nízká pevnost po vytvrzení
- špatná rozpadavost jader, kvůli vysoké sekundární pevnosti
- obtížná regenerovatelnost, protože pojivová obálka na zrnu ostřiva má vysokou adhezní pevnost ke křemennému ostřivu)

3.2 Pojiva na bázi alkalických silikátů

3.2.1 INOTEC®

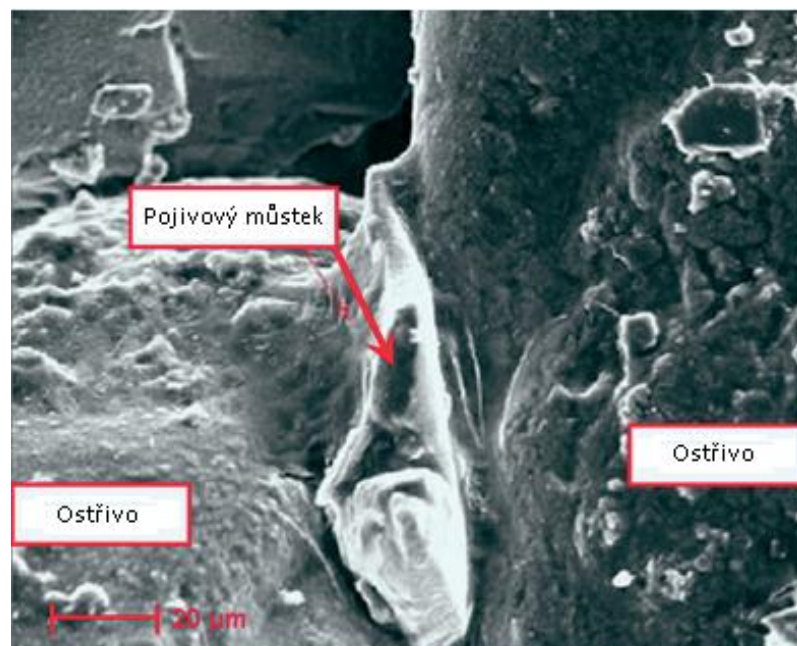
V roce 2009 [16] firma ASK Chemicals vyvinula nové anorganické pojivo. To se podařilo zavést do výroby ve slévárně BMW Leichtmetallgießerei. [17]

Používá se dvou až tříkomponentní pojivový systém skládající se ze silikátového pojiva (1,8–2,5 %), přísad s vysokým podílem promotorů, tzv. promotory urychlující reakci (0,1–1,0 %). Jako optimální ostřivo je doporučován INOMIN (1–30 % z hmotnosti křemenného ostřiva). [6, 17]



Obr. 10: INOTEC® - tříložkový systém sestávající z pojiva, promotoru a volitelné komponenty INOMIN® [6]

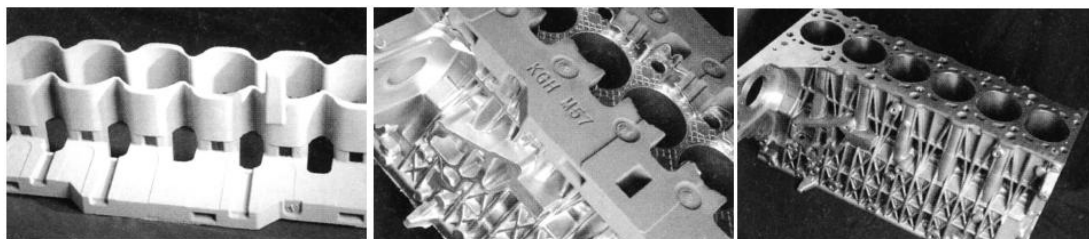
Jednotlivé komponenty mohou být navzájem měněny a nastavovány podle požadavků konkrétní výroby jader a odlitků. Správnou volbou pojiva a promotoru lze nastavit okamžité pevnosti a rozpadavosti v závislosti na relativní vlhkosti. [6]



Obr. 11: Struktura směsi s využitím pojiva INOTEC® [18]

Proces vytvrzování směsi:

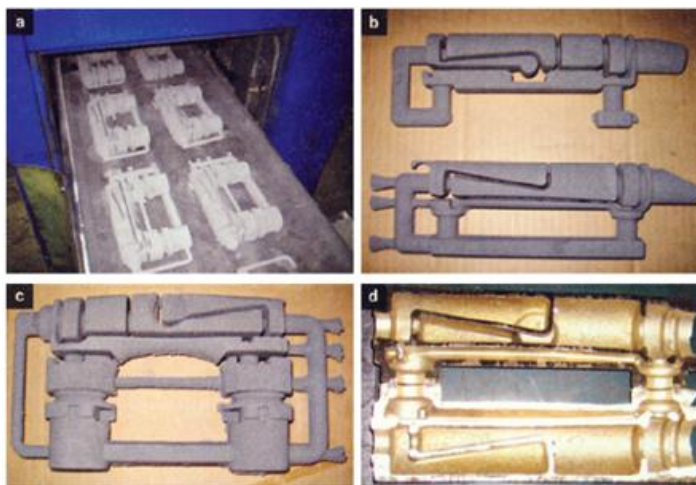
Vytvrzování formovací směsi probíhá dehydratací v horkém jaderníku. Optimální doba vytvrzování a následné skladovatelnosti byla dosažena při modifikaci procesu vytvrzování o profukování horkým vzduchem o teplotě 150–200 °C. [6, 17]



Obr. 12: Sériový odlitek tělesa 6válcového klikového válce a příslušné jádro [17]

Výhodou pro slévárny je, že nemusí při přestupu na pojivo INOTEC® kupovat nové stroje. Stroje pro metodu Hot-Box lze doplnit profukovací jednotkou. Práce s pojivem INOTEC® tak nevyžaduje velké investice.

Vzhledem k této technologii vytvrzování je v jádrech dosaženo homogenního vytvrzení celého objemu. Během vytvrzování je téměř všechna voda dehydratována a během lití dochází k minimálnímu vylučování množství plynu a žádný kondenzát. [6]



Obr. 13: Obrázky a až c ukazují jádra s pojivem INOTEC® pro termostaty, na obr. d je sériový odlitek z mosazi [17]

Přednosti přechodu na systém INOTEC® [6, 17]:

- výroba jader bez zápachu
- snížené emise a snížená tvorba kouře při lití
- zjednodušené čištění nástrojů
- jaderníky je třeba čistit až po 2500 vstřeleních (oproti metodě Cold-Box, kde čištění probíhá už po 1500 vstřelení)
- vysoká okamžitá pevnost
- krátké doby cyklu
- dobrá rozpadavost jader

3.2.2 DILAB®

V roce 2005 [19] bylo na katedře slévárenství VŠB-TU Ostrava, ve spolupráci s výrobcem Vodní sklo Brno, a.s., vyvinuto kompozitní pojivo, zn. DILAB®. Pojivo je vhodné pro širokou aplikaci výroby forem a jader, vytvrzovaných: [7]

1. CO₂-procesem s přednostmi:

- vyšší primární pevnost
- výrazně zvýšená rozpadavost v širokém intervalu teplot
- zlepšená regenerovatelnost ostřiva

2. ST-směsi s estery s přednostmi:

- minimální spotřeba pojiva
- vhodná kombinace s estery kyseliny uhličitě (propylen-, butylen-karbonát)
- zvýšená rozpadavost
- zlepšená regenerovatelnost ostřiva

3. Fyzikální konverzí sol → gel

- Hot-Box (Warm-Box)
- mikrovlnné vytvrzování

DILAB[®] je čistě anorganické pojivo na bázi Na-silikátu s vysokou rozpadavostí zvláště za vyšších teplot (600–1000 °C) [20]. Pojivo je čiré, šedo-modré barvy [7]. Polymerní řetězec alkalického silikátu, který tvoří pojivo DILAB[®], „je částečně substituován koordinačními tetraedry typu $[MeO_4]^{4-}$, způsobující jak chemické tak i po fyzikální (tepelné) konverzi zvýšení primárních pevností, umožňující snížení koncentrace pojiva proti běžnému dávkování vodního skla i za použití regenerátoru (do 75 %) a snížení sekundární pevnosti.“ [7, s. 71]

Za normálních podmínek při skladování je pojivo stabilní minimálně po dobu 3 měsíců [7]. Dobrá regenerovatelnost směsi je zaručena při použití dodávaných tvrdidel [20].

Vytvrzování fyzikální konverzí sol → gel:

- Využití techniky Hot-Box (Warm-Box)

Dehydratační proces je reversibilní. Při malém množství použitého pojiva DILAB[®] dosahujeme vysokých pevností [7].

Podle [7] byl proveden experiment pro zjištění pevnosti v ohybu v závislosti na teplotě jaderníku a doby vytvrzování. Měření bylo provedeno s formovací směsí o složení 100 hm. d. křemenného ostřiva Š35 ŠH, 2 hm. d. pojiva DILAB[®] a 0,5 hm. d. vody. Výsledky měření jsou uspořádány v následující tabulce (Tab. 2). [7]

Pevnost v ohybu $[N/cm^2]$			
Teplota jaderníku $[^{\circ}C]$	Doby vytvrzování [s]		
	50	70	90
170	256,8	359,8	336,8
190	277,7	276,2	308,2
210	327,1	351,9	252,5
230	323,0	309,4	272,6

Tab. 2: Pevnost v ohybu formovací směsi s pojivem DILAB[®] [7]

- Využití mikrovlnné techniky

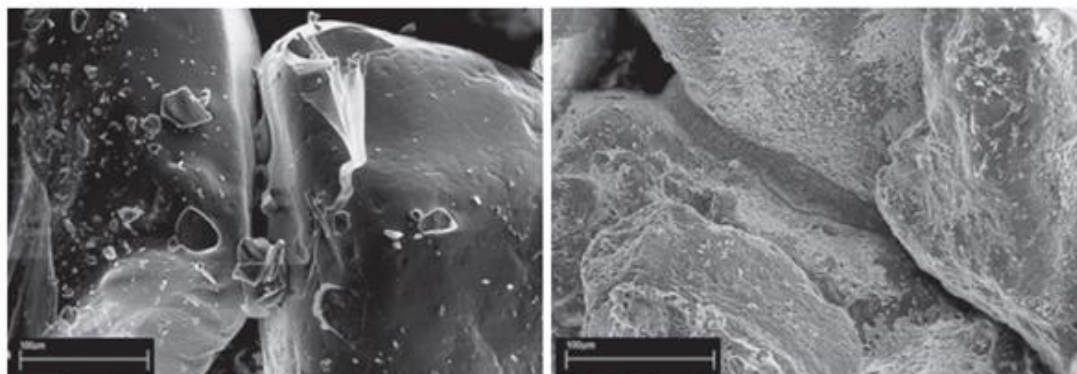
Podle [7] probíhalo měření směsí o stejném složení jako u Hot-Box, ale na zařízení nízkého výkonu (900 W). Maximální pevnosti v ohybu bylo dosaženo až po 8 min. vytvrzování (2,02 MPa). Ve zkušebním tělísku byla naměřena teplota pouze 101 °C. Dá se předpokládat, že při zvýšeném výkonu mikrovlnné jednotky dojde ke zkrácení doby vytvrzování a minimálně vyrovnání pevnosti s technikou Hot-Box.

Při vytvrzování Hot-Box a mikrovlnném vytvrzování lze jádra odstranit z odlitků loužením ve vodě. [20]

3.2.3 CORDIS

Začátkem 90. let vznikla myšlenka vytvořit pojivový systém s vodou jako jediným rozpouštědlem a realizovat jednu úplnou anorganickou pojivovou matici. Tuto myšlenku se podařilo zrealizovat až v letech 2000/2001, kdy bylo vytvořeno vodou rozpustné pojivo CORDIS. [8, 21]

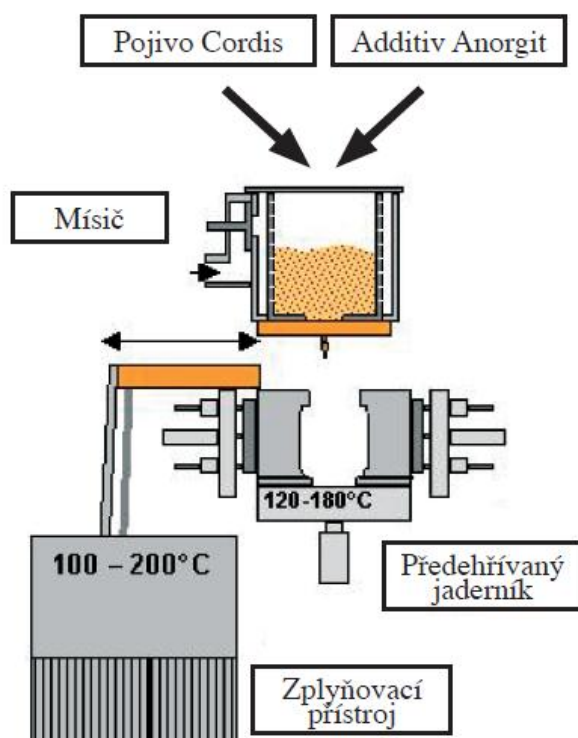
Pojivo je tvořeno směsí fosfátových, silikátových a boratových skupin, jejichž kombinací nastavujeme požadované vlastnosti jednotlivých pojivových typů systému CORDIS. Pro zlepšení těchto vlastností je možné přidat další anorganické přísady. Ty mohou být součástí pojiva, nebo se dávkuje do jádrové směsi během míchání jako aditiva. Kombinací těchto aditiv dochází k cílenému ovlivňování tekutosti, skladovatelnosti, rozpadavosti a dalších vlastností. [8]



Obr. 14: Snímky pojivových mřížek dvou pojivových typů CORDIS. [8]

Pro výrobu jader se používají běžné vstřelovací stroje. Směs je vstřelována do přehřátého jaderníku. Teplota je nastavena vzhledem na použité granulometrii ostřiva a pohybuje se mezi teplotami 120–180 °C (poznámka: podle [21] jsou jaderníky vyhřívány na 300–350 °F, tj. asi 150–180 °C). Vytvrzování formovací směsi je možné výrazně ovlivnit vstřelováním ohřátým vzduchem (Podle [21] 100 °C). Dosahujeme rovnoměrného prohřátí formovací směsi a efektivnějšího odstranění vody a tím vyšší pevnosti směsi. Podle [11] je vytvrzování možné provádět i mikrovlnným ohřevem.

Vytvrzování probíhá ve dvou etapách. První etapa spočívá v procesu schnutí (sušení), během kterého dochází k dehydrataci. Důležitý je homogenní teplotní spád jaderníku. Po smíchání formovací směsi a vstřelení směsi do jaderníku, vytváří se povrchová vrstva podle vnější kontury jádra. Po první etapě je pojivo vytvrzováno chemicky podle pojivového typu systému CORDIS. Díky dvojímu vytvrzování dochází ke zvýšení manipulační pevnosti. [22, 8]



Obr. 15: Princip výroby anorganických jader. [8]

Doba vytvrzování je ovlivňována geometrií použitého jaderníku. Čím větší je jádro, tím je doba vytvrzování delší. Je důležité navrhnout jaderník tak, aby přes něj bylo možné profukovat co nejvíce teplého vzduchu. Pojivo CORDIS se vyznačuje dobrou tekutostí, což umožňuje vyrábět tvarově složitá jádra. Hotová jádra jsou citlivá na vlhký vzduch (pojivo je rozpustné ve vodě), proto je tedy nemůžeme skladovat ve vlhkých prostorech nebo venku [8].



Obr. 16: Použití pojivového systému CORDIS při výrobě sacího potrubí [8]

3.2.4 Další pojiva na bázi alkalických silikátů

CAST CLEAN:

Pojivo CAST CLEAN bylo poprvé použito v roce 1990 [23]. Technologie používá jednokomponentní modifikované pojivo s anorganickými, ale i organickými aditivy. Vytvrzování pojiva je možné chemickými procesy (CO_2 proces, estery) i fyzikálními (Warm-Box, mikrovlnné vytvrzování), ale také kombinovaným postupem.

Starším CO₂ procesem bylo možné dosáhnout pouze nízkých pevností jader. To neumožňovalo výrobu tenkostěnných a tvarově složitých odlitků. Při použití technologie Warm-Box dosahujeme po vytvrzení několikanásobně vyšší pevnosti. Technologii lze využít k výrobě jader a forem pro odlitky ze slitin hliníku, mědi, litiny s lupínkovým grafitem i oceli. [9]

DRY SET:

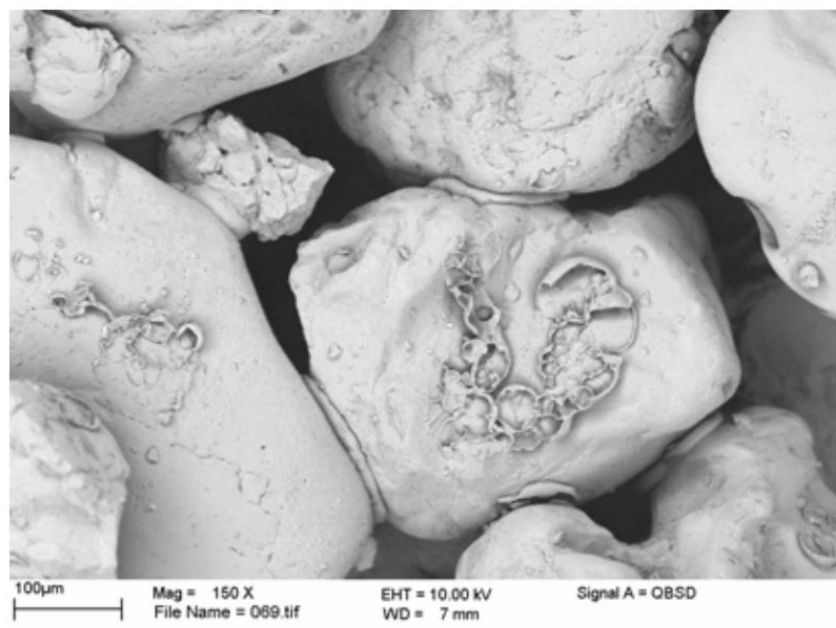
Pojivový anorganický systém Dry set byl vyvinut v letech 1986-1988 H. K. Maierem a M. D. Setnoienem [24] na bázi alkalických silikátů za pomoci aditiv. Vytvrzování směsi s pojivem Dry set probíhá dehydratací při snížených teplotách (60–70 °C). Už po několika sekundách až minutách jsou v jádře dosaženy pevnosti o srovnatelných hodnotách jako při použití směsi s organickými pojivy.

Při vkládání jader do studených forem je zapotřebí vyhřátí jádra na vyšší teplotu, než je teplota formy. Hrozí kondenzace vlhkosti na jádrech a tím snížení jejich pevnosti. [9]

AWB:

AWB je anorganické pojivo vyvinuté pro technologii Warm-Box. Pojivo je tvořeno modifikovaným alkalickým silikátem se sníženou viskozitou. To zabezpečuje lepší vstřelovatelnost do jaderníku. Systém AWB je ekologicky nezávadný a bez zápachu. Jádra jsou vhodná při lití oceli, železa, hliníku i jiných neželezných materiálů.

Jádra jsou vytvrzována dehydratací při teplotách 160–200 °C po dobu 10–60 s. Zkrácení času vytvrzování povrchu je možné odsátím vodních par pomocí vakuování. Jádro je po vyjmutí z jaderníku vloženo do sušičky k dotvrzení na dobu 1–3 min/1,5 kW. Po odlití dojde k rozpadu jader loužením ve vodě. [9, 25]



Obr. 17: Pojivové můstky mezi zrny ostřiva použitím pojiva AWB [26]

3.3 Anorganické soli

3.3.1 HYDROBOND

Pojivo Hydrobond bylo vyvinuto v Německu v roce 2003 firmou MEG binder technologien [27]. Pojivo je tvořeno roztokem sodných polyfosfátů s aditivem. Vytvrzení směsi se provádí profukováním horkým vzduchem o teplotě 80 °C v tepelně stabilních jadernících. Hotová jádra lze skladovat pouze po omezenou dobu. [9]

Podle [11] se jádra tvořená pojivem Hydrobond odstraní loužením teplého, nebo studeného odlitku ve vodní lázni. Písek je možno recyklovat. Pojivo je možné použít pouze pro odlitky slitin s nižší teplotou odlévání. Problémem je nízká teplota tavení solí. [12]

3.3.2 BEACHBOX®

Pojivo BeachBox® je tvořeno roztokem $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ s anorganickou přísadou. Pro tuto technologii byla v počátcích používána zařízení pro Cold-Box a Hot-Box. Pro zkrácení doby výroby jader (10–80 s) byly stroje modifikovány [9]. Směs pojiva a ostřiva se mísí v uzavřené komoře, kde dochází k ohřevu směsi na 80 °C [28]. Směs vyniká vysokou tekutostí (výroba tenkostěnných, složitých odlitků do hmotnosti 40 kg). Následně je vstřelena do horkého jaderníku o teplotě 130–140 °C (poznámka: podle [28] může být jaderník zahříván na teploty v rozsahu 120–160 °C). Během vytvrzování je jádro profukováno horkým vzduchem. [9]

Čištění odlitků a odjádrování může probíhat dvěma způsoby: [9]

- Za sucha vibrací (Pojivo nad 200 °C se stává porézní a dobře rozpadavé. Drť lze opět použít do nové směsi)
- Za mokra rozpouštěním ve vodě a zpětným použitím solí i ostřiva v uzavřeném cyklu.



Obr. 18: Čištění jaderníku vodou a vysavačem [28]

Jádra tvořené pojivem BeachBox[®] se vyznačují nižší pevností jader a proto je doporučováno přidání dalších ve vodě rozpustných solí. Tím dosáhneme vyšší pevnosti po vytvrzení. [9] Pojivo je možné použít pouze pro odlitky slitin s nižší teplotou odlévání. Problémem je nízká teplota tavení solí. [12]

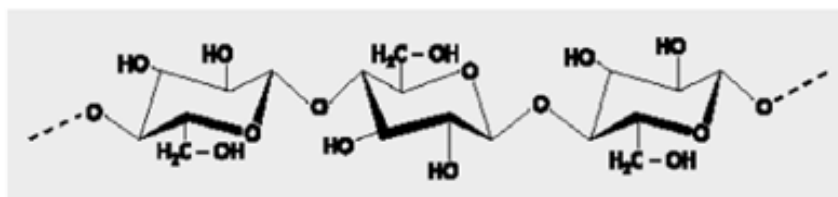


Obr. 19: Příklady jader s použitím pojiva BeachBox[®] [28]

4 ORGANICKÁ POJIVA

4.1 Deriváty celulózy

Jsou vyráběny z celulózy, která je chemicky aktivována na alkalickou celulózu a ta dále reaguje s řadou chemických činidel za vzniku éterů celulózy. [29]



Obr. 20: Základní struktura celulózy [29]

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 celulóza

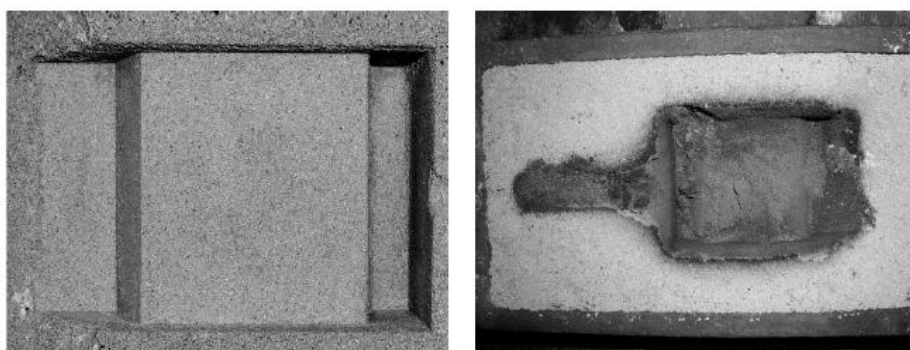
Tab. 3: Přehled nejčastěji používaných derivátů celulózy [29]:

Étery celulózy jsou biodegradabilní látky s malým zatížením životního prostředí. Jsou to látky s výbornými pojivovými, adhezními a filmotvornými vlastnostmi a jsou rozpustné ve vodě. Při dokonalém spálení, v teplotách nad 380–400 °C, je plynným produktem CO₂ a vodní pára.

V současné době je možné volit ze široké palety těchto látek. Mají bílou až nažloutlou barvu v dostání prášků o různých granulometriích. Po rozpuštění vznikají roztoky o různých viskozitách podle zvoleného derivátu. Důležitými vlastnostmi jsou typ substituované funkční skupiny, stupeň

substituce, granulometrie a viskozita. Viskozita ovlivňuje množství vody potřebné k přípravě formovací směsi. [29]

Při míchání směsi je potřeba zařadit vysokosmykové míchání (high shear mixing, HSM) s dostatečným podílem třecích a střížných sil. Tím získáme tenkou souvislou vrstvu viskózního pojiva na povrchu pískových zrn. Způsob míchání směsi má zásadní vliv na pevnostní charakteristiky formovací směsi [30]. Dalším důležitým faktorem, který ovlivňuje průběh pevností vysušené formovací směsi je poměr pojivo : voda. [29]



Obr. 21: Forma před litím a po vyjmutí odlitku [30]

„Rozpustnost ve vodě a tepelná degradace pojiva při teplotách nad 380–400 °C zajišťují předpoklad dobré rozpadavosti formy po odlití a následné regenerace. Volbou vhodného derivátu (HPC, MHPC), množství vody a postupu přípravy umožňuje připravit formovací směs s obsahem pojiva 1–2 % hmot. a vody kolem 3–4 % hmot. s pevností v tahu ohybem 2,6–4,2 MPa.“ [29, s. 14]



Obr. 22: Odformovaný opískovaný odlitek [30]

Výhody celulóзовých pojiv: rozpustnost ve vodě; minimum škodlivých produktů při licím procesu; velmi dobrá rozpadavost; předpoklad dobré recyklace; dobré pevnostní charakteristiky; hygienická nezávadnost.

Nevýhody celulóзовých pojiv: vyšší obsah vody ve směsi; delší čas nutný k dokonalému vysušení formy; vlhnutí vytvrzených forem; plasticita směsi za tepla; cena pojiva. [30]

4.2 Biogenní pojiva

Pojiva jsou tvořeny biogenními látkami. Tyto látky vznikají během „živých procesů“ v živočišné říši. [1]

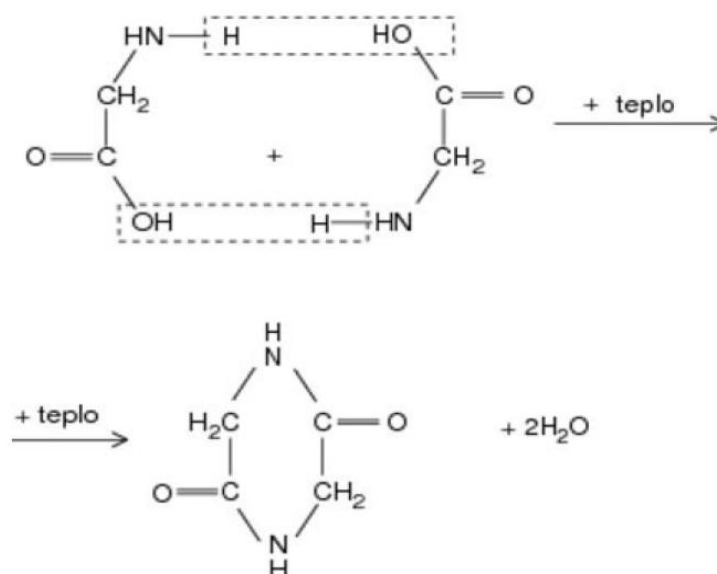
Biogenní pojiva jsou jednou z možností, jak omezit nepříjemné vlivy technologií Hot-Box a Warm-Box. Při použití těchto metod s látkami jako je fenol, formaldehyd, močovina, nebo furan, které nejsou příznivé pro životní ani pracovní prostředí, dochází k uvolňování formaldehydu a zápachu. [31]

4.2.1 GMBOND®

V 90. letech započala firma General Motors výzkum nového ekologického pojiva. Cílem bylo vytvořit pojivo, které by bylo silné, netoxické a šetrné k životnímu prostředí. Výzkum se ubíral směrem k pojivu na bázi vodou rozpustného proteinu. Na projektu se pro své odborné znalosti v oblasti bílkovin podílela firma Hormel Foods corporation. Společný výzkum přinesl nové pojivo GMBOND®. [32]

Pojivo GMBOND® bylo testováno „Programem pro redukcí slévárenských emisí (Casting Emission Reduction Program = CERP)“, což je výzkumná skupina spolupracující s různými americkými federálními agenturami včetně ministerstva obrany. Přitom bylo zjištěno, že při použití tohoto pojiva klesají emise organických těkavých látek o více než 90 % v porovnání s použitím pojiv s fenolickými uretanovými reziny (podle [32] došlo ke snížení znečišťujících látek až o 89 % v případě výroby hliníkových odlitků a až o 99 % v případě železných odlitků). Pojivo je naprosto netoxické, při práci s ním není nutno používat ochranné pomůcky.

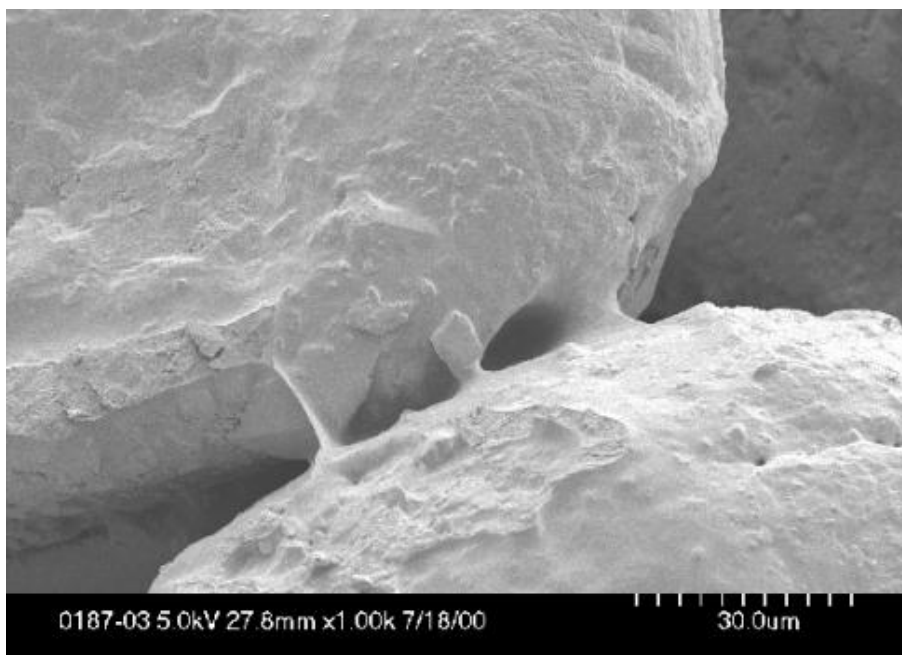
Pojivo GMBOND[®] pomáhá snadno a efektivně vytvářet složitá jádra. Různě složitě díly mohou být vyráběny použitím GMBOND[®] potahovým pískem. To proto, že písek lze velmi snadno odstranit z jader. [22]



Obr. 23: dehydratace pojiva na bázi biopolymerů [1]

Pojivo je vhodné pro výrobu jader pro odlitky hlavně z hliníkových slitin. Základem pojiva GMBOND[®] jsou proteiny (bílkoviny). Tyto materiály pochází z přírodních, obnovitelných zdrojů, tvořených kombinací různými polypeptidovými molekulami a řetězců aminokyselin. Je také přidáno malé množství oxidů železa, které pomohou tepelné degradaci pojiva v jádrech po odlití. Ta probíhá při teplotách nižší než 450 °C. [1]

Základní složkou pojiva GMBOND[®] je ve vodě rozpustný protein ve formě prášku. Po rozpuštění dojde k nabalení na zrna ostřiva a po následném vysušení utváří biopolymerové vazby. Tyto vazby jsou reverzibilní, to znamená, že zlomená a použitá jádra je možné regenerovat. Tím dochází ke snížení odpadů a výrobním ztrátám. [1, 32] Výrobní náklady se sníží také díky malému množství pojiva, potřebného pro vytvoření dostatečně pevných jader (0,75–1,25 % v závislosti na množství písku) [32].



Obr. 24: Pojivové můstky a zrna obalená pojivem GMBOND® [33]

Po odlití forem dochází k ohřevu jádra odlévanou slitinou a tím klesá rychleji pevnost jádra (závisí na teplotě a čase). Díky tomu je následné odstraňování jader snazší a dochází k minimalizování škod při jejich odstraňování. Přes to je účinnější provést rozpuštění pojiva ve vodě. Vliv recyklované směsi (spálené, nebo rozdrcených jader) má minimální vliv na kvalitu formovací směsi - pouze se mírně zvýší vlhkost směsi. [1]

Pro ušetření nákupu nového písku jej stačí smíchat s vodou. Tím dojde k rozpuštění pojiva. Písek je tedy po vysušení možné použít znovu [32]. Pojivo v odpadním písku není toxické a navíc biodegraduje. Písek nemá charakter odpadu a je možné použít jej i v zemědělství.

Pevnostní charakteristiky biopolymerního materiálu souvisí s obsahem různých aminokyselin. Jako vhodné se jeví aminokyseliny: prolin, glycin, alanin, arginin, kyselina glutamová a kyselina asparagová. Naopak nevhodný je cystein, který tvoří disulfidové vazby a tak znemožňuje rozpouštění proteinové molekuly ve vodě, čímž brání použití vody jako ekologicky nezávadného rozpouštědla. [1]

Nevýhodou je, že pojivo může navlhát během skladování a pevnost vytvrzené formovací nebo jádrové směsi s proteinovým pojivem může postupem času při nevhodných skladovacích podmínkách klesat. [1]



Obr. 25: příklady jader ze směsí s pojivem GMBOND® [33]

4.2.2 Kožní klich

Výroba kožních klichů probíhá vylouhováním nečiněných kůží a kožních odpadů teplou vodou. Klichy jsou ekologické a neobsahují žádné nebezpečné chemikálie. Po naředění je možná likvidace v biologických čistírnách odpadních vod (podle [35] je biologická odbouratelnost 98 %). Pojiva jsou rozpustná ve vodě, kde po naředění přechází ve vodní roztok. Pro vytvrzení směsí obsahující tato pojiva je nutná dehydratace. Vytvrzování formovací směsi se provádí metodou Hot-Box, Warm-Box, nebo je možno vytvrzování mikrovlnným ohřevem. [1, 34]

Skladování je doporučeno v suchých, krytých a dobře větraných prostorách [35]. Klichy jsou dodávány v zrnité konzistenci s nepravidelnou velikostí zrn (drcený cca 1,5–2,5 mm a nedrcený 3,5–4,5 mm) [34].

Pojiva na bázi kožního klihu [1]:

- Topaz speciál
- Topaz I
- Technická želatina
- Kožní kliš K-2
- Kliš Modifikovaný



Obr. 26: Příklad jádra hlavy motoru s využitím pojiva Kožní kliš K-2 [1]

Podle experimentu v disertační práci Ing. Petra Cupáka, Ph.D. [1] není vhodné použití modifikovaného klišu a technické želatiny jako pojiv. Pojiva Topaz speciál, Topaz I a Kožní kliš K-2 jsou použitelné pro odlévání Al slitin. Vzhledem k jejich rozpustnosti ve vodě, lze jádrovou směs snadno recyklovat. Jádrové směsi mají dostatečnou pevnost po vytvrzení, vysokou rozpádivost po odlití a jádra mohou být skladována. Pojiva i použité jádrové směsi obsahují nízké množství PAU, to ukazuje, že použití těchto pojiv je i v oblasti plyných odpadů ekologicky příznivé. [1]

5 OCHRANA PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ SLÉVÁREN A EKOLOGIE

5.1 *Trvale udržitelný rozvoj a formovací materiály*

Důležitým aspektem současné doby je ekologie a trvale udržitelný rozvoj. „*(Trvale) udržitelný rozvoj je takový způsob rozvoje, který uspokojuje potřeby přítomnosti, aniž by oslaboval možnosti budoucích generací naplňovat jejich vlastní potřeby.*“ [14]

Pozornost vývoje nových pojivových systémů pro slévárenské formovací směsi se stále více přesouvá do oblasti ochrany pracovního prostředí sléváren a ekologie [7]. Slévárny patří k těm provozům, jejichž pracovní prostředí je špatné a jsou jedním z předních znečišťovatelů ovzduší. Tyto skutečnosti mají nepříznivý vliv na chod sléváren od ekonomické zátěže při řešení ekologických záležitostí až po problémy se získáváním odborníků pro tuto profesi. Proto ekologický tlak vede výrobce k vývoji ekologicky přijatelných pojivových systémů [13]. Vedle požadovaných pevnostních charakteristik (primární a sekundární tvrdost, otěruvzdornost, skladovatelnost forem a jader) musí splňovat i nezávadnost exhalací po odlití, tuhnutí i vybití odlitků, nebo kriteria pro odpadní písky [7].

V českých a slovenských slévárnách má dlouholetou tradici používání anorganických pojivových systémů s vodním sklem. České a slovenské slévárny mohou využít tuto tradici ve spojení s novými anorganickými materiály a poznatky k používání pojivových systémů přátelských k životnímu prostředí a tím k překonání ekologických tlaků a zvýšení konkurenceschopnosti a prosperity sléváren. [13]

5.2 *Emise během formování a lití*

Emise jsou jedním z hlavních ekologických problémů sléváren. Tato problematika není otázkou výhledů a záměrů, ale je potřeba zaobírat se jí už dnes. Slévárny mají problémy ke vztahu ke svému okolí a nemusí při tom ani

překračovat limity emisí. Slévárny se stále častěji zajímají o technologie s lepšími ekologickými vlastnostmi, které se snaží zavést do svého provozu. V hospodářsky vyspělých zemích je tento tlak ještě vyšší než u nás. V USA byl vytvořen ekologický Program pro redukci slévárenských emisí (Casting Emission Reduction Program = CERP), jehož cílem je změna environmentálního dopadu slévárenství. Nově vyvíjená pojiva musí splňovat daná kritéria a přepokládá se výrazného snížení emisí. [13]

5.3 Seznam škodlivých látek používaných při výrobě forem

„Tyto škodlivé látky jsou buď obsaženy v pojivových systémech, nebo vznikají při samotném odlévání.

Aceton – je poměrně hořlavý a ve směsi se vzduchem (2,5 – 12,8 %) je výbušný. Může oxidovat na nestabilní peroxidy, které jsou velmi citlivé na tření a náraz. Je dobře rozpustný ve vodě, proto vzniká velké nebezpečí kontaminace spodních vod. Při vysokých koncentracích par acetonu dochází k dráždění dýchacích cest a očí. Výpary acetonu se degradují v atmosféře působením UV záření.

Akrolein – je vysoce hořlavý a toxický, proto je velmi nebezpečný při jeho vdechnutí. Tato látka je žíravá způsobuje poleptání.

Alkohol – je hořlavá látka. Při určité koncentraci alkoholu a vzduchu může dojít k výbuchu.

Aminy – jsou těkavé hořlavé kapaliny, které tvoří se vzduchem výbušnou směs. Nepříjemně páchnou a jsou při vyšší koncentraci toxické. Mohou být i karcinogenní.

Benzen – je hořlavý, toxický a karcinogenní. Při vdechnutí malého množství může způsobit bolest hlavy, únavu, zrychlení srdečního tepu a ztrátu vědomí. Při vysoké koncentraci může benzen způsobit i smrt. Dále má za následky chudokrevnost a poškození kostní dřevě. Benzen je karcinogen skupiny 1, což znamená, že je rakovinotvorný. Způsobuje především leukémii a rakovinu plic.

CO – je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, který může poškodit plod v těle matky.

Fenol – je žíravý, vysoce korozivní a toxický. Má leptavé účinky na tkáň lidského těla. Vstřebává se velmi rychle a všemi cestami (v tekuté formě i ve formě par) včetně pokožky. Fenol dráždí pokožku a poškozuje ledviny a játra. Způsobuje poruchy dýchacího a oběhového systému, bolest hlavy a má tlumící účinek na centrální nervovou soustavu. Při vysokých dávkách může způsobovat i smrt. Je slabě karcinogenní.

Formaldehyd – má štiplavý zápach, dráždí pokožku, dýchací cesty i oči. Způsobuje bolesti hlavy, vyrážky a záněty nosní sliznice. Při vyšší koncentraci může způsobovat dýchací problémy a ztrátu zraku. Může poškodit i centrální nervovou soustavu. Je to karcinogen.

Furfurylalkohol – jeho páry ve směsi se vzduchem mohou být výbušné.

Furan - je to vysoce těkavá látka, která je zároveň i hořlavá a toxická. Furan může být i karcinogenní.

Metanol – je to těkavá látka, která je hořlavá a zároveň i silně jedovatá. Páry metanolu způsobují závratě, ospalost a křeče. Utlumuje centrální nervovou soustavu a při jeho požití může způsobovat i trvalou slepotu.

Metyletylketon – je hořlavý a jeho páry ve směsi se vzduchem mohou být výbušné.

Metylformiát – je to těkavá látka, která ve směsi se vzduchem může být výbušná.

Močovina – její působení může dráždit narušenou pokožku a při požití může způsobovat nevolnost a letargii.

Naftalen – patří mezi aromatické uhlovodíky. Je toxický, těkavý a vysoce hořlavý. Má štiplavý zápach a způsobuje bolesti hlavy, křeče, průjmy a zvracení. Při dlouhodobém působení způsobuje rozklad červených krvinek a nekrózu jater.

SO₂ – je to jedovatý, štiplavě páchnoucí plyn, který dráždí dýchací cesty a jeho dlouhodobé působení způsobuje rozednu plic a poškozuje srdeční sval. Pro Floru je toxický, protože reaguje s chlorofylem a tak narušuje fotosyntézu.

Toluen – je těkavý a jeho páry tvoří se vzduchem výbušnou směs. Patří mezi aromatické uhlovodíky. Tlumí centrální nervovou soustavu a kardiovaskulární systém, dráždí oči a dýchací cesty. Toluen může při dlouhodobé expozici způsobit poruchy rovnováhy a zraku. Vdechování par toluenu může být poškozen mozek.

Xylen – je to hořlavá látka, patřící mezi aromatické uhlovodíky. Dráždí dýchací cesty a trávicí ústrojí. Způsobuje poškození jater a ledvin, zhoršuje rovnováhu a tlumí centrální nervovou soustavu. Při vysoké koncentraci může způsobit bezvědomí, útlum dýchání a může vést ke smrti. “[1, s. 13–14]

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá pojednáním o nových možnostech v oblasti vodou rozpustných pojiv vytvrzovaných dehydratací. Ekologický tlak na slévárny vede výrobce k vývoji nových pojiv s minimálním množstvím emisí během lití. V posledních letech proto došlo k vývoji nových anorganických i organických pojiv.

Mezi nová anorganická pojiva patří INOTEC[®], DILAB[®] a CORDIS, která jsou na bázi alkalických silikátů. Tato pojiva jsou ekologická a není zapotřebí speciálních modifikací strojů pro práci s nimi. Další nová anorganická pojiva jsou HYDROBOND a BEACHBOX[®] založená na bázi anorganických solí. U těchto pojiv jsou pro docílení rychlejšího vytvrzování jader doporučeny modifikace vstřelovacích strojů jako například profukování horkým vzduchem, nebo ohřev formovací směsi před vstřelením. Pojiva na bázi anorganických solí je možné použít pouze pro odlitky s nižší teplotou odlévání. Důvodem je nízká teplota tavení solí. Nová anorganická pojiva mají dobré pevnostní vlastnosti a mohou plně konkurovat organickým pojivům.

Organická pojiva jsou tvořena látkami vznikajícími během "živých procesů" v živočišné nebo rostlinné říši. Terminologie v této oblasti není doposud ustálená. Podskupinou organických pojiv jsou pojiva Biogenní. Do této skupiny patří pojivo GMBOND[®], u kterého bylo docíleno poklesu emisí o 90–99 % oproti běžným organickým pojivům. Mezi biogenní pojiva patří také pojivo na bázi kožního klihu, které se svými pevnostními vlastnostmi prokázalo jako vhodné pro odlévání hliníkových slitin (a i pro šedou litinu – vyzkoušeno ve Slévárně a modelárně Nové Ransko 9.5.2013). Pojiva jsou lehce biologicky odbouratelná. Pojiva na bázi derivátů celulózy už nespádají mezi biogenní. Jejich používáním dochází k uvolňování minimálního množství škodlivých emisí a po odlití k dobré rozpadavosti. Nevýhodou je delší čas potřebný pro vysušení formy.

Vodou rozpustná pojiva jsou výhodná vzhledem k možnosti rozpouštění jader ve vodě a tím snížení možných škod během jejich vytloukání. Hotová jádra je nutno uchovávat v suchu z důvodu navlhání a tím snižováním jejich pevnosti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CUPÁK, Petr: *Studium biogenních pojiv*, Disertační práce, VUT FSI Brno 2011.
2. HORÁČEK, CSC., Doc. Ing. Milan. *Teorie Slévání*. 2. vydání. Brno: VUT Brno, 1991. ISBN 80-214-0293-8.
3. 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..
4. JELÍNEK, Petr. *Slévárenské formovací směsi*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996, 177 s. ISBN 80-7078-326-5.
5. HORÁČEK, M. *Slévárenská technologie I*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1990. 166 s. ISBN 80-214-0217-2.
6. MÜLLER, Jens; STÖTZEL, Reindhard; TEGEL, Michal; VONDRÁČEK, Radek. *Inovativní řešení pro slévárny využívající anorganické principy. Slévárenství*. 2009, 1-2, s. 120-122. ISSN 0037-6825.
7. JELÍNEK, Petr a František MÍKŠOVSKÝ. *Anorganické pojivo DILAB*. In *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, s. 71-78, ISBN 978-80-02-01925-1.
8. LÖCHTE, Klaus; BOEHM, Ralf; LUBOJACKÝ, Miroslav; IVANOV, Štefan. *Cordis - anorganický pojivový systém. Slévárenství*. 2009, 1-2, s. 36-39. ISSN 0037-6825.
9. JELINEK, PETR. *Anorganická pojiva si razí cestu do sléváren. Slévárenství*. 2012, 66-70, s. 18-22. ISSN 0037-6825.
10. 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
11. *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>
12. Od pana Cupáka P. poskytnuté podkladové materiály z přednášek *Anorganická slévárenská pojiva*. Brno 2011

13. BURIAN, Alois a Zdeněk KRAHULA. Novinky a praktické zkušenosti v oblasti geopolymerních technologií. In *Formovací materiály: Formstoffe = Moulding Materials : mezinárodní konference, 12. ročník : 19. a 20.4.2011, Hotel Devět Skal, Českomoravská vrchovina, Milovy*. 1. vyd. Brno: Česká slévárenská společnost, 2011, s. 111-116. ISBN 978-80-02-02316-6.
14. *Udržitelný rozvoj* [online]. CENIA. [cit. 2013-05-01]. Dostupné z WWW: <[http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/\\$pid/MZPMSFHV0HSB](http://www.cenia.cz/web/www/web-pub2.nsf/$pid/MZPMSFHV0HSB)>
15. Antoš, P.; Burian, A. *Vodní sklo: výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 1. vyd. Ústí nad Labem: SILCHEM; 2002. 135 s. ISBN 80-238-9515-x.
16. *INOTEC - TradeMark* [online]. Trademarkia Inc., Vydáno: 19.1.2010. [cit. 2013.04.25]. Dostupné z WWW: <<http://www.trademarkia.com/inotec-79070649.html> >
17. 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.
18. *Serieneinsatz des anorganischen Bindemittelsystems INOTEC® im Leichtmetallguss* [online]. GIESSEREI-PRAXIS, Vydáno: 10.5.2007. [cit. 2013.04.25]. Dostupné z WWW: <http://giesserei-praxis.schiele-schoen.de/110/10997/gp20705192/Serieneinsatz_des_anorganischen_Bindemittelsystems_INOTEC_im_Leichtmetallguss.html>
19. *DILAB - ochranná známka* [online]. Kurzy.cz, spol. s.r.o., AliaWeb, spol. s.r.o., ISSN 1801-8688, Vydáno: 9.11.2011. [cit. 2013.04.25]. Dostupné z WWW: <http://oz.kurzy.cz/vodni-sklo-as/dilab-p423215z274986u.htm>>
20. *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>>
21. *Cordis* [online]. HA International LLT, V1.0, Vydáno 12.2.2009. [cit. 2013.04.15]. Dostupné z WWW: <<http://www.ha-international.com/pdf/CordisPresentati on.pdf>>
22. 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..
23. *CAST CLEAN BINDER - Trademark Details* [online]. Justia. [cit. 2013.04.25]. Dostupné z WWW: <<http://trademarks.justia.com/742/43/cast-clean-binder-74243164.html>>

24. *Sag resistant dry set mortar composition* [online]. IFI CLAIMS Patent Services. [cit. 2013.04.25]. Dostupné z WWW: <<http://www.google.com/patents/EP0269015A2?cl=en>>
25. *Minelco AWB® Alternative Warmbox-Binder* [online]. MatWeb LLT. [cit. 2013.04.25]. Dostupné z WWW: <<http://www.matweb.com/search/data-sheettext.aspx?matguid=2183b12c451042ceb10aff843070aa9>>
26. *INOCAST layman report* [online]. Nematik, Vydáno 29.11.2007. [cit. 2013.04.10]. Dostupné z WWW: <<http://www.nematik.com/socialresponsibility/inocast/laymanreport.pdf>>
27. *HYDROBOND - TRADEMARK* [online]. Kurzy.cz, spol. s.r.o., AliaWeb, spol. s.r.o., ISSN 1801-8688. [cit. 2013.04.25]. Dostupné z WWW: <<http://tm.kurzy.cz/meg-binder-technologien-gmbh-co-kg/hydrobond-pz801727w.htm>>
28. *Inorganic Binder* [online]. Epa, Vydáno 9.11.2005. [cit. 2013.04.05]. Dostupné z WWW: <http://www.epa.gov/airtoxics/ifoundry/binders/laempe_reich10-26-05.pdf>
29. 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.
30. LAICHMAN, Lubomír; BRANDŠTETR, Jiří; RUSÍN, Karel. Deriváty celulózy jako pojiva slévárenských formovacích směsí.-II. část. *Slévárenství*. 2009, 1-2, s. 15-17. ISSN 0037-6825.
31. CUPÁK, Petr. I organická pojiva mohou být ekologicky příznivá. *Slévárenství*. 2012, 3-4, s. 75-78. ISSN 0037-6825.
32. *GMBOND: REVOLUTIONARY SAND BINDER* [online]. GM BOND INDIA. [cit. 2013.04.12]. Dostupné z WWW: <<http://www.indianfoundries.com/gmbond/product.html>>
33. *GMBOND® The Sand Binder of the Future* [online]. Epa, Vydáno: 16.11.2005. [cit. 2013.04.12]. Dostupné z WWW: <<http://www.epa.gov/airtoxics/ifoundry/binders/hormel10-26-05.pdf>>
34. *Přírodní klišy* [online]. Trade B.G.M. a.s.. [cit. 2013.04.12]. Dostupné z WWW: <<http://www.tradebgm.cz/klihy.htm>>
35. *Bezpečnostní list* [online]. TANEX Vladislav, a.s. , Vydáno: 1.10.1999. [cit. 2013.05.02]. Dostupné z WWW: <http://www.tanex.cz/dokumenty/003/topaz_bezp_list.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
HB	-	Metoda Hot-Box
WB	-	Metoda Warm-Box
AWB	-	Modifikovaná metoda Warm-Box (Alternative Warm-Box)
HSM	-	vysokosmykové míchání (high shear mixing)
CERP	-	Program pro redukci slévárenských emisí (Casting Emission Reduction Program)
PAU	-	Polyaromatické uhlovodíky

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1: Příklad formovací směsi [2]	8
Obr. 2: Zrna ostřiva [1]	9
Obr. 3: Stopa po adhezním odtržení pojivového můstku a pojivový můstek mezi zrny ostřiva [1]	9
Obr. 4: Příprava ke vstřelování [5]	10
Obr. 5: Postup tvrdnutí jádra [5]	11
Obr. 6: Schéma vstřelovacího stroje [10]	12
Obr. 7: Příprava ke vstřelování [5]	13
Obr. 8: Molekulová oscilace v polarizovaných látkách pod vlivem elektrického střídavého pole [10]	15
Obr. 9: Možnosti vytvrzování směsí s vodním sklem [11]	17
Obr. 10: INOTEC [®] - tříložkový systém sestávající z pojiva, promotoru a volitelné komponenty INOMIN [®] [6]	19
Obr. 11: Struktura směsi s využitím pojiva INOTEC [®] [18]	19
Obr. 12: Sériový odlitek tělesa 6válcového klikového válce a příslušné jádro [17]	20
Obr. 13: Obrázky a až c ukazují jádra s pojivem INOTEC [®] pro termostaty, na obr. d je sériový odlitek z mosazi [17]	20
Obr. 14: Snímky pojivových můstků dvou pojivových typů CORDIS. [8]	23
Obr. 15: Princip výroby anorganických jader. [8]	24
Obr. 16: Použití pojivového systému CORDIS při výrobě sacího potrubí [8]	25
Obr. 17: Pojivové můstky mezi zrny ostřiva použitím pojiva AWB [26]	27
Obr. 18: Čištění jaderníku vodou a vysavačem [28]	28
Obr. 19: Příklady jader s použitím pojiva BeachBox [®] [28]	29
Obr. 20: Základní struktura celulózy [29]	30
Obr. 21: Forma před litím a po vyjmutí odlitku [30]	31
Obr. 22: Odformovaný opískovaný odlitek [30]	31
Obr. 23: dehydratace pojiva na bázi biopolymerů [1]	33
Obr. 24: Pojivové můstky a zrna obalená pojivem GMBOND [®] [33]	34
Obr. 25: příklady jader ze směsí s pojivem GMBOND [®] [33]	35
Obr. 26: Příklad jádra hlavy motoru s využitím pojiva Kožní klich K-2 [1]	36

SEZNAM TABULEK:

Tab. 1: Dosažená pevnost v tlaku různými postupy vytvrzování [12]	17
Tab. 2: Pevnost v ohybu formovací směsi s pojivem DILAB [®] [7]	22
Tab. 3: Přehled nejčastěji používaných derivátů celulózy [29]	30