

Materiály používané ve slévárně hliníkových slitin

Martin Železník

Bakalářská práce
2015/2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Železník**
Osobní číslo: **T13197**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Materiály používané ve slévárně hliníkových slitin**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická část:
2. Obecné vlastnosti materiálů modelů
3. Současný stav
4. Praktická část:
5. Dřevěný model – kontrola geometrie, smrštění
6. Silikonkaučuk – lití, kontrola geometrie, tvrdosti a kvality povrchu
7. Sádra – napěnění, kontrola geometrie před a po sušení
8. Slévárenský písek – sušení a kontrola tvrdosti
9. Lití hliníku – kontrola geometrie a kvality
10. Závěr

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. PTÁČEK, L., *Nauka o materiálu I*. Brno: CERM, 2001. 505 s. ISBN 80-7204-193-2
2. DUCHÁČEK, V., *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vydání, přepracované, Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. 278 s. ISBN 80-708-0617-6

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Bednařík, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. ledna 2016

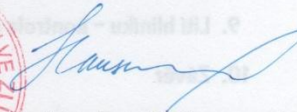
Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 29. ledna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: MARTIN ŽELEZNIK

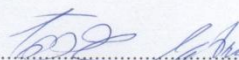
Obor: TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 20.4.2016



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Úkolem této práce je seznámení se s postupem výroby jednotlivých funkčních prvků ve slévárně a následné zhodnocení stávajících vlastností používaných materiálů s nově zaváděnými materiály.

Klíčová slova: model, silikony, lití materiálu

ABSTRACT

The goal of this work is to get familiar with the process of production of various functional elements in the foundry and the subsequent evaluation of the existing properties of the materials used with the newly introduced materials.

Keywords: model, silicones, molding material

Rád bych na těchto řádcích vyjádřil dík mému vedoucímu práce ze společnosti Continental Barum s.r.o. panu Ing. Michalu Vraštiakovi za technickou podporu a zasvěcení do výroby forem, adále děkuji panu Ing. Martinu Bednaříkovi za vstřícný přístup a rady při tvorbě mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

OBSAH	8
ÚVOD	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1. TEORIE MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH VE SLÉVÁRENSTVÍ	11
1.1 OBECNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLU MODELŮ	11
1.2 DŘEVO	11
1.3 UMĚLÉ POLYMERNÍ DŘEVO	12
1.4 KOVY	14
1.5 VOSKY	15
1.6 PRYSKYŘICE	18
1.6.1 POLYURETANOVÉ LICÍ PRYSKYŘICE	18
1.6.2 EPOXIDOVÉ LICÍ PRYSKYŘICE	20
1.6.3 AKRYLÁTOVÉ LICÍ PRYSKYŘICE	21
1.7 SILIKONY	22
1.7.1 POLYKONDENZAČNÍ SILIKONOVÉ HMOTY	23
1.7.2 POLYADIČNÍ SILIKONOVÉ HMOTY	25
1.8 SÁDRA	27
1.9 FORMOVACÍ SMĚSI	29
1.9.1 OSTRÍVO.....	31
1.9.2 POJIVO.....	33
1.9.3 PŘÍSADY, POMOCNÉ PŘÍDAVNÉ LÁTKY	34
1.10 METALURGIE SLITIN HLINÍKU	35
1.10.1 SLITINOVÉ PRVKY A NEČISTOTY VE SLITINÁCH HLINÍKU	36
1.10.2 TYPY SLÉVÁRENSKÝCH SLITIN	38
2. SOUČASNÝ STAV	40
2.1 VÝROBA MODELU	40
2.2 ODLÉVÁNÍ SILIKONKAUČUKU	41
2.3 ODLÉVÁNÍ SÁDROVÝCH JADER	43
2.4 VÝROBA HLINÍKOVÉHO ODLITKU	44
II. PRAKTICKÁ ČÁST	47
3. CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE A POUŽITÉ PŘÍSTROJE	48
3.1 CÍL PRÁCE	48
3.2 POUŽITÉ PŘÍSTROJE	49
4. HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE	50
4.1 DŘEVĚNÝ MODEL - KONTROLA GEOMETRIE, SMRŠTĚNÍ	50
4.2 SILIKONKAUČUK - LITÍ, KONTROLA GEOMETRIE, TVRDOSTI A KVALITY POVRCHU	53
4.3 SÁDRA-NAPĚNĚNÍ, KONTROLA GEOMETRIE PŘED A PO SUŠENÍ	57
4.4 SLÉVÁRENSKÝ PÍSEK - SUŠENÍ A KONTROLA TVRDOSTI	60
4.5 LITÍ HLINÍKU - KONTROLA GEOMETRIE A KVALITY	61
ZÁVĚR	64
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
SEZNAM OBRÁZKŮ	66
SEZNAM TABULEK	68
SEZNAM PŘÍLOH	69

ÚVOD

Slévárenství je technologií, pomocí které se předměty vyrábí odléváním roztaveného kovu do forem, kde výsledným výrobkem je odlitek. Umožňuje nám vyrábět odlitky složitých tvarů, s různými tloušťkami stěn a odlitky s komplikovanými vnitřními dutinami. Tvarová volnost tekutého kovu dává možnost vyrábět i součástky, které jinou technologií nelze zhotovit. Hmotnost odlitků se pohybuje v rozmezí gramů až několika tun.

Historie slévárenství je starší než 5000 let. Počátky této technologie se spojují s kulturami staré Persie, Číny a později Egypta.

Odléváním se vyráběly zejména zbraně a šperky. V našich zemích pochází nejstarší odlitky z doby Halštatské z 1. tisíciletí před n. l.

Od 18. století dochází k rozvoji výroby slitin železa. Hutě vyráběly zejména zbraně jako děla a dělové koule, dále pak nářadí, části strojů, uměleckou a komunální litinu.

Průmyslová revoluce v 18. a 19. století vedla k rozvoji slévárenství oceli a litin pro průmyslové účely. Dvacáté století bylo obdobím rozvoje metalurgie. Jsou vyvíjeny oceli se specifickými vlastnostmi, je objevena vysoko pevná tvárná litina, niklové slitiny pro použití za vysokých teplot, byly vyvinuty technologie tavení a zpracování tavenin ve vakuu, nové technologie výroby forem a technologie přesného lití.

Nejvýznamnější změnou slévárenství ve 2. polovině 20. století byl rozvoj výroby hliníkových odlitků, dále byla vyvinuta technologie tlakového lití a hliníkové odlitky se tak staly hlavním konstrukčním prvkem v automobilovém a leteckém průmyslu. Další možnosti snižování hmotnosti vozidel, strojů, nářadí a dalších výrobků vedlo k přínosu odlévání hořčíkových slitin.

Při konstrukci modelového zařízení se ve stále větší míře začíná využívat metod CNC obrábění a metod Rapid Prototyping. Výroba modelového zařízení pomocí 3D tiskáren urychluje vývoj technologie odlitků a zkracuje dobu přípravy výroby. Při návrhu technologie se využívá programů pro numerickou simulaci, takzvanou metodu konečných prvků MKP, kterou provádíme simulaci průběhu odlévání, tuhnutí, smršťování a nebezpečí vzniku slévárenských vad.

Numerická simulace společně s technologií Rapid Prototyping umožňují zhotovit odlitky extrémně složitých tvarů, které jiným způsobem nelze vyrobit. [1]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1. TEORIE MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH VE SLÉVÁRENSTVÍ

Při výrobě modelů se používají druhy materiálů, které mají požadované mechanické a technologické vlastnosti. Největší využití mají materiály jako dřevo, kov, keramika, polymery či kompozity. Po modelech se vyžadují vlastnosti jako například přesnost, rozměrová a tvarová stálost, trvanlivost, dobrá tvarovatelnost a ekologická nezávadnost. Výroba modelu s projektovou částí je složitý proces, který významně ovlivňuje konečný výrobek, jenž je forma.

Konstruktér modelu musí znát rozměry hotového výrobku jako například tvar, dovolené úchytky či jeho vlastnosti, dále je potřeba znát technologii, kterou bude model vyroben a jeho budoucí mechanické namáhání. Opakovatelné využití závisí na typu výrobní technologie a použitých materiálech při výrobě.

Modely se rozlišují na dělené a nedělené, kde dělené modely jsou složeny ze dvou a více částí, které dohromady tvoří tvar budoucího odlitku a jsou rozděleny dělicí rovinou pro lepší vyjmutí z formy. Pro zajištění správné vzájemné polohy jsou jednotlivé části modelu spojeny v dělicí rovině spojovacími čepy nebo kolíky. Dutina je ve formě vytvořena také pomocí modelů a je zvětšena o hodnotu smrštění materiálu při zvolené výrobní technologii. [1]

1.1 Obecné vlastnosti materiálu modelů

Vlastnosti materiálu určují technologické použití, možnosti opracování modelu, budoucí recyklaci a společně s ekonomickou náročností a ekologickou nezávadností určují kvalitu a jakost budoucího výrobku.

Materiálů pro výrobu modelů je velké množství. Ve výběru materiálů hraje roli sériovost, životnost modelu a také hmotnost výsledného modelu, zejména při ruční manipulaci. [1]

1.2 Dřevo

Dřevo je nejvíce používaný materiál pro tvorbu modelů. Je to cenově levný přírodní materiál s celkově nízkou hmotností, snadně obrobitelný a lehce spojovatelný.

Dřevo je anizotropní materiál s nehomogenní strukturou, jenž se projevuje sukovitostí či nerovnoměrně uspořádanými léty. [2]

Mezi hlavní nevýhody dřeva patří sukovitost a navlhavost, která způsobuje tvarové změny jako kroucení či trhliny a může způsobit i hnilobu. Tyto prvky negativně ovlivňují obrobiteľnosť. Za menší nevýhodu lze také považovat malou odolnosť vůči opotřebení.



Obr. 1 Dřevěný model. [1]

Vlhkost dřeva lze považovat za rozhodující vlastnost, protože má vliv na rozměrovou stálost modelu, dá se eliminovat pozvolným sušením a povrchovou úpravou např. mořením, které hloubkově zakonzervuje strukturu dřeva. Dále se mohou použít laky, jež vytvoří hladký povrch, a tím se model lépe vyjímá z formy. Z ekologických důvodů se používají látky, které jsou vodou rozpustné a nezatěžují tak životní prostředí.

V technické praxi se dřevěné modely nejvíce používají ve strojírenství, zejména slévárenství. Přírodní dřevo je postupně nahrazováno dřevem umělým, které nemá nedostatky přírodního dřeva.

Nejčastěji používanými dřevy na výrobu modelů jsou smrk, borovice, dub, buk, hrušeň, lípa, javor, ořech a olše. [3]

V praxi dřevo rozlišujeme:

- Měkké: smrk, jedle, borovice, topol, lípa, vrba, osika.
- Polotvrdé: červený smrk, javor, olše, bříza, jasan.
- Tvrdé: buk, dub, ořech. [2; 3]

1.3 Umělé polymerní dřevo

Umělé polymerní dřevo je relativně nový druh materiálu, který se používá zhruba 20 let. Tento druh dřeva je výbornou náhradní alternativou klasického dřeva, protože netrpí tolika nevýhodami a postupně začíná ve stále více aplikacích klasické dřevo nahrazovat.

Skládá se zhruba z 60-70 % dřevěného prachu a z 30-40 % polymeru (polyethylen, polypropylen aj.). Má nízký koeficient teplotní roztažnosti, velmi jemné složení, dobře se opracovává a je otěruvzdorné.

Tento druh dřeva se ve slévárenství využívá hlavně na slévárenské modely, jaderníky a formovací desky. [4]

Pomocí lepení dřevěných vrstev, zbytků či částí se mohou vyrábět tyto tři základní druhy desek:

- Překližka - je kompozitní deska vyrobené ze tří nebo více vrstev loupaných nebo krájených dýh. Jednotlivé dýhy jsou na sebe lepeny křížem. Počet dýh je většinou lichý, ale může být sudý, když se dají dvě podélné nebo příčné dýhy (vločky) na sebe. Tloušťka dýh se v desce může měnit, ale vždy musí být tloušťky souměrné od středové dýhy. Někdy se pro zvětšení pevnosti do středu překližky vkládá kovová vložka. Oproti rostlému dřevu mají lepší rozměrovou a tvarovou stálost. Lze je zpracovávat běžnými dřevoobráběcími nástroji a stroji jako masivní dřevo. Jsou vyráběny jako velkoplošné desky o rozměrech 1,2 m × 2,4 m. [4]



Obr. 2. Překližka. [2]

- MDF (Medium Density Fibreboard) desky - je to dřevovláknitá deska s velmi homogenní jemnou strukturou. Díky tomu je možné z MDF desky frézovat třídímenzionální profily. Vyrábí se rozsekáním zbytků tvrdého a měkkého dřeva do dřevěných vláken, které se za pomoci lepidla, velkého tlaku a tepla slisují. MDF deska je optimální pro odolnost vůči mechanickému zatížení schopností opracování na obráběcích centrech. [4]



Obr. 3. MDF desky. [3]

- OSB (Oriented strand board) desky - desky vytvořené lisováním velkých (2-7 cm) dřevních štepů nebo hoblin ve třech až čtyřech vrstvách. Typ pojiva záleží na volbě výrobce, používají se například polyuretanová pojiva. Různou orientací vrstev se dosahuje vylepšených mechanicko-fyzikálních vlastností. Desky se vyrábí s broušeným i nebroušeným povrchem. Jsou vodovzdorné. [4]



Obr. 4. OSB desky. [4]

1.4 Kovy

Kovové materiály vykazují houževnatost, tvrdost, dobrou elektrickou a tepelnou vodivost, ale mají malou odolnost vůči korozi. Kovy se používají tam, kde se vyžaduje velká rozměrová stálost, větší životnost modelu a dobré mechanické vlastnosti. Vlastnosti kovů a jejich slitin se mění jejich tepelným zpracováním. Hlavní nevýhodou kovových modelů je pořizovací cena a omezené možnosti dalších změn tvaru či rozměrů.

Pro výrobu modelu se používá kovový polotovár, který se nejčastěji nařeže nebo vypálí na požadovanou velikost včetně přídavek na opracování a pomocí obrábění se z něj pak vyrobí patřičný tvar modelu.

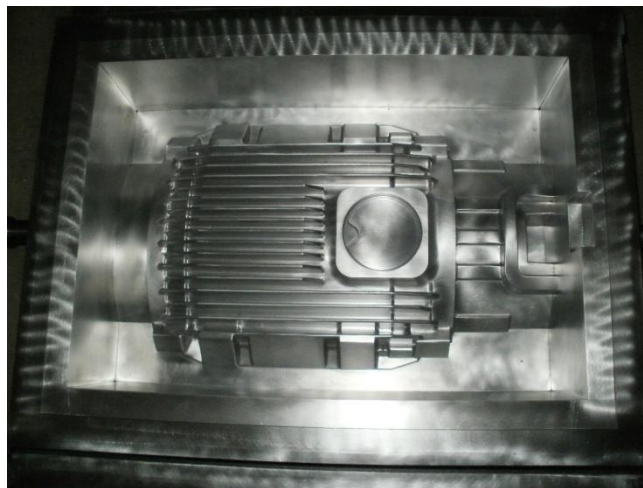
Kovové modely se uplatňují zejména při požadavku větší odolnosti při formování a výrobě velkých sérií.

Kovové materiály na výrobu modelů se třídí podle základního kovu, to je ten, který je ve slitině obsažen hlavním podílem.

Nejčastěji používanými materiály jsou:

- Železo - slitiny železa (oceli, litiny).
- Hliník - slitiny hliníku (dural).
- Měď - slitiny mědi (mosazi, bronzu aj.).
- Nikl - slitinu niklu.

Kovové modely jsou náchylné na prostředí, ve kterém jsou skladovány. Při nevhodném skladování, například při zvýšené vlhkosti může docházet ke korozi. Korozi kovů se rozumí jejich znehodnocení způsobené chemickým nebo fyzikálním působením daného prostředí. [1; 5]



Obr. 5. Kovový model. [5]

1.5 Vosky

Voskové modely nachází využití u technologie přesného lití metodou vytavitelného modelu. Samostatný vosk nespĺňuje všechny požadavky, které jsou kladeny na modelovou hmotu, proto je nutné použít voskové směsi. Moderní voskové směsi jsou složeny z více druhů materiálů, jako je syntetický vosk, uhlovodíky, estery, přírodní a syntetická pryskyřice, montánní vosk, organické plnivo a voda. [6; 7]

Přesné lití pomocí vytavitelného modelu je metoda, kterou se vyrábí odlitky, které jsou tvarově velmi složité, mají malé rozměrové tolerance a po odlitcích je vyžadována

velmi dobrá jakost povrchu. Použití nachází tam, kde díky složitosti součásti či obtížně obrobitelnému materiálu je výroba jinou technologií nákladná, nebo dokonce nemožná.

Po hmotě na výrobu voskových modelů požadují tyto vlastnosti:

- Dostatečná pevnost, tvrdost, stabilitu a pružnost při manipulování.
- Malé smrštění během tuhnutí a malou roztažnost za vyšších teplot.
- Odolnost proti oxidaci.
- Viskozita pro vyplnění formy a nepřilnavost na tuto formu.
- Rychlé zatuhnutí po vyplnění formy.
- Regenerace vosku.

K výrobě voskových modelů se využívá několika druhů voskových směsí lišících se jejich použitelností a vlastnostmi:

- Neplněné modelové vosky - jsou to sloučeniny více druhů vosků a pryskyřičných komponentů. Povrchy modelů z těchto vosků vykazují větší lesk.
- Emulgované modelové vosky - Obsahují základní materiály jako neplněné vosky, ale jsou emulgovány vodou v mezi 7 až 12 %. Povrch těchto modelů je hladký.
- Plněné modelové vosky - v základu mají podobné materiálové složení jako emulgované a neplněné vosky, ale do směsi se přidá práškové plnivo, které je nerozpustné v základním vosku. Plnivo zvyšuje stabilitu směsi a snižuje vznik dutin. Povrch modelů je oproti emulgovaným voskům nepatrně hrubší.
- Vosky používané na vtoky a vtokové soustavy.

Pro potřebu vyšší pevnosti vtokové soustavy se jedná o směsi neplněných vosků. Mezi které patří:

- Rekultivované vosky - použité vosky ze slévárny jsou vyčištěny a přetvořeny zpět do původního stavu a následně zpět poslány do slévárny, kde jsou znovu používány na vtokové soustavy a modely.
- Adhezní vosky - jsou lepivé vosky používané pro spojování modelů z podobných a různých vosků. Primární využití mají pro spojování modelů a vtokových soustav.

- Namáčecí vosky - jsou hodně tekuté, a proto mají schopnost téci do nedostupných míst, kde zaplňují otevřené spoje.
- Opravné vosky - třídí se na tvrdé a měkké, používají se pro opravu modelů nebo pro utěsnění vtokové soustavy.
- Vosky na jádra - použití k utěsnění keramických jader vkládaných do modelu, zlepšují povrch a snižují možnost vzniku prasklin.
- Vodou rozpustné vosky - jejich pomocí se vytváří vnitřní tvary tam, kde by bylo obtížné aplikovat jiné prostředky. Používají se jádra, která se vkládají do dutiny formy před vstříknutím standardního vosku.

V dnešní době už většina používaných modelových hmot reprodukuje věrně dutiny formy a zajišťuje kvalitní povrch modelu. Rozměry modelů mají dostatečnou přesnost, ale nejobtížněji se dodržují přesné geometrické tvary, protože modelová hmota při tuhnutí mění svůj rozměr. To se negativně projevuje u hmotných modelů a u modelů s rozdílnými tloušťkami stěn. Tomuto problému se brání za pomoci zvýšeného tlaku při vstřikování vosku do formy, nebo vložením voskových jader do formy před vstříknutím. [6; 7]

Voskové modely se vyrábějí dvěma způsoby:

- Gravitační lití modelů - používá se jen velice zřídka a to při výrobě pomocných modelů jako jsou vtokové kanály apod.
- Vstřikování do formy - nejvíce používaná metoda, kdy se používají vstřikovací lis, které vstříkují roztavený vosk pod tlakem do formy. Teplota vosků při vstřikování je v rozmezí 50-90 °C a po následném ztuhnutí je model vyjmut z formy.



Obr. 6. Vstřikovaný voskový model. [6]

1.6 Pryskyřice

Pro větší série odlitků je vhodnější výroba pryskyřicových modelů a jaderníků než výroba stejných modelů ze dřeva. [8; 9]



Obr. 7. Dávkování pryskyřice. [7]

1.6.1 Polyuretanové licí pryskyřice

Jedná se o velmi rozmanitou skupinu produktů se širokým rozmezím mechanických a fyzikálních vlastností, od pevných tvrdých hmot až po měkké elastomery. Tyto pryskyřice umožňují výrobu nejrůznějších dílů a součástí jako například modelové zařízení pro slévárenství, formy pro zpracování plastů, prototypové díly, nebo dokonce funkční díly do různých přístrojů a zařízení.

Dle způsobu použití se dělí na licí hmoty plněné a neplněné, které jsou určeny k dodatečnému naplnění. Z časového hlediska se dělí na rychle a pomalu tuhnoucí hmoty. Podle způsobu zpracování pryskyřice rozdělujeme na gravitační odlévání, pro odlévání ve vakuu, pro průběžné mísení a plnění mísicím tlakovým zařízením. Výsledné mechanické vlastnosti se u těchto skupin liší různou tvrdostí a elasticitou hmot, různou tepelnou odolností, barvou atd. Potřebné vlastnosti hmoty lze upravovat tím, že se smísí dva odlišné typy pryskyřic v určitém poměru, který dává potřebnou tvrdost a pevnost či elasticitu součástí. Také mísíme typy pryskyřic s krátkou a dlouhou dobou zpracování k dosažení optimálního času pro další následné zpracování. K tomuto účelu jsou k dispozici tabulky s doporučeným poměrem míchání. Hlavní výhodou rychlých polyuretanových hmot je možnost výroby mnoha dílů do jedné formy za krátký čas.

Polyuretany se vyrábí tuhé či měkké, lineární nebo síťované, protože obsahují širokou škálu různých vlastností. Základní vlastností je extrémní odolnost vůči otěru, dobrá adheze k řadě materiálů z kovu, chemická stálost při styku s vodou, kyselinami a zásadami. [8; 9]

Tab. 1. Vybrané vlastnosti plněných pryskyřic.[1]

Název	Vlastnosti	Použití	Doba zpracovatelnosti	Doba vytvrzení	Tloušťka lité vrstvy
Multicast 20	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nízkoviskózní, ▪ dobře opracovatelný ▪ velmi malé smrštění ▪ tepelná odolnost 90 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ univerzální pro formy a modely všeho druhu ▪ jaderníky 	5 - 6 min	30 - 60 min	až 40 mm
Multicast 22	<ul style="list-style-type: none"> ▪ středněviskózní ▪ dobře opracovatelný ▪ velmi malé smrštění ▪ tepelná odolnost 80 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ univerzální pro formy a modely všeho druhu ▪ jaderníky 	5 - 6 min	30 - 60 min	až 40 mm

Tab. 2. Vybrané vlastnosti neplněných pryskyřic.[2]

Název	Vlastnosti	Použití	Doba zpracovatelnosti	Doba vytvrzení	Tloušťka lité vrstvy
Multicast 1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rychlé vytvrzení ▪ dobře opracovatelný ▪ tepelná odolnost 80 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ univerzální na formy a modely ▪ pro jemné kontury 	4 - 6 min	30 - 60 min	až 40 mm
Multicast 4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ velmi rychlé vytvrzení ▪ dobře opracovatelný ▪ minimální smrštění ▪ tepelná odolnost 100 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ na formy a modely ▪ výroba různých součástí 	2 - 3 min	30 - 60 min	až 40 mm

1.6.2 Epoxidové licí pryskyřice

Epoxidové licí pryskyřice se vyznačují především vysokými mechanickými vlastnostmi v kombinaci s dobrou stálostí a odolností proti působení různých korozivzdorných médií. Tyto pryskyřice mají široké možnosti použití, jsou vhodné na různé výrobky, jako například modelová zařízení pro slévárství, formy pro další zpracování plastů, šablony pro měření, ale také jako různé díly z kompozitu, pracovní modely pro keramický průmysl a další. Podle způsobu použití se dělí na plněné licí pryskyřice, víceúčelové pryskyřice tj. laminovací, nebo vhodné k další úpravě plněním pro odlévání. Charakteristické vlastnosti při zpracování: delší doba pro zpracování po přidání tvrdidla, která umožňuje provést nanesení více vrstev a následné odsání vzduchu ze spojů. Doba pro vyjmutí výrobků z formy je 16 až 24 hodin. Epoxidové systémy se skládají ze tří složek: pryskyřice, tvrdidla a urychlovače. Hlavní výhody těchto systémů jsou: nízká viskozita, dostatečná doba zpracování při pokojové teplotě, nízké smrštění, nízká teplota při exotermické reakci.



Obr. 8. Pryskyřice a tvrdidlo. [8]

Podle množství přidaného urychlovače může být doba zpracování epoxidových pryskyřic od několika hodin až po několik dní. Pryskyřice má po vytvrzení velmi dobré mechanické, elektrické i teplotní vlastnosti. Při vytvrzování se neuvolňují žádné vedlejší produkty a dochází jen k velmi malému smrštění a vytvrzené produkty mají dobré vlastnosti v široké oblasti teplot. Jsou značně odolné vůči vodě, rozpouštědlům a roztokům kyselin. Výsledné produkty mají výbornou přilnavost na kovy, sklo, keramiku, dřevo. [8; 9]

Tab. 3. Vybrané vlastnosti epoxidových pryskyřic.[3]

Název	Vlastnosti	Použití	Doba zpracovatelnosti	Doba vytvrzení	Tepelná odolnost
VG F	<ul style="list-style-type: none"> ▪plněná, středně viskózní ▪pro tloušťku odlévané vrstvy 30-40mm ▪černá barva 	<ul style="list-style-type: none"> ▪slévárenské modely ▪pro zadní plnění s použitím zrnitých plniv 	60 min	20 h	55 °C
VG 3	<ul style="list-style-type: none"> ▪plněná, středně viskózní ▪velmi tvrdá, otěruvzdorná, třískově opracovatelná ▪udržuje stabilní hrany 	<ul style="list-style-type: none"> ▪lisovací nářadí ▪hlubokotažné formy ▪slévárenské modely 	130 min	24 h	55 °C

1.6.3 Akrylátové licí pryskyřice

Postupným vývojem byly vypracovány speciální technologie pro akrylátové pryskyřice, které odpovídají nejnovějším poznatkům techniky pro oblast výroby forem a nářadí. Akrylátové pryskyřice používají speciální hliníkové plnivo a samo vytvrzovací pryskyřice a tuhnou za studena. Vyrobené formy jsou pak rozměrově stálé, mají vysokou tepelnou odolnost, výbornou opracovatelnost a lehce dosáhneme vysokého stupně vyleštění povrchu. [8; 9]

Tab. 4. Vybrané vlastnosti akrylátových pryskyřic.[4]

Název	Vlastnosti	Použití	Tloušťky lití	Tepelná odolnost
ALWA MOULD V	<ul style="list-style-type: none"> ▪dvousložkový licí systém s hliníkovým plnivem ▪samotemperovací 	<ul style="list-style-type: none"> ▪formy pro vakuové tváření ▪přípravky pro ořezávání a montáž výlisků 	30-80mm	120 °C
ALWA MOULD D	<ul style="list-style-type: none"> ▪třísložkový licí systém s hliníkovým plnivem ▪samotemperovací ▪stálost za vysokých teplot 	<ul style="list-style-type: none"> ▪formy pro vakuové tváření ▪lisovací formy ▪PU vypěňovací formy 	30-80mm	145 °C (krátkodobě 185 °C)

Akrylátové pryskyřice se dají použít pro:

- Formy pro vakuové tvarování folií s trvalým zatížením až 145 °C(krátkodobě 180 °C).
- Formy pro RTM tlakové injektážní plnění.
- Formy pro RTM vakuovo tlakové injektážní plnění.
- Formy pro RIM technologie.
- Formy pro PU vypěňování silikony.

1.7 Silikony

Silikony patří mezi elastomerové otiskovací hmoty. Na výrobu forem jsou často používány silikonové kaučuky, které se snadno zpracovávají a vytvrzují. Mimo výroby forem jsou vhodné i na výrobu dalších výrobků a proto je jejich uplatnění velmi rozsáhlé. Silikonové kaučuky jsou velmi pružné, díky tomu se snadno z forem uvolňují i tvarově komplikované odlitky. Ve většině případů není nutno kvůli snadnému vyjmutí odlitku z formy používat separátory. Při vytváření modelu ze silikonu musíme věnovat zvýšenou pozornost na kvalitu modelu, protože každá nepravidelnost na modelu se otiskne dokonale do formy a tím i do odlitku, model proto nesmí mít pórovitý povrch. Při použití silikonového materiálu na formu může mít model různé tvary ploch, ale máme-li členitý povrch, musíme použít vakuum pro lepší zatečení. Vakuum získáváme díky dvoustupňové vývěvě. Elastomery, mezi které se řadí přírodní a syntetická pryž, jsou směsí amorfních polymerů a dalších přísad.

U silikonů se uvádí i jejich tvrdost Shore A. Tato metoda určuje, jak hluboko pronikne vnikající těleso do materiálu (nejčastěji kulička). Vnikající těleso je zatěžováno pružinou, která má trvalou charakteristiku. Čím je materiál tvrdší, tím je hloubka vtisku menší a zkušební těleso je více zatíženo.



Obr. 9. Odlévání dávky silikonu. [9]

Uplatnění nachází především při výrobě prototypových dílů, v malosériové výrobě, v oborech elektrotechniky, přístrojové techniky a v automobilovém průmyslu. Vyznačují se vysokou reprodukovatelností podkladových povrchů, vysokou elasticitou výrobků, lehkou zpracovatelností a dobrými samo separačními vlastnostmi forem. Silikony jsou dvojího druhu a to polyadiční a polykondenzační. Vyrábí se v různých tvrdostech, od silikonových gelů až po houževnaté elastomery. Vytvrzené silikony dobře odolávají povětrnosti, dlouhodobě snášejí teploty do 200 °C a krátkodobě až 300 °C. Jejich elektroizolační vlastnosti se zvyšující se teplotou mění jen minimálně. Pro modifikaci epoxidových i jiných pryskyřic se dodávají tzv. silikonové meziprodukty, které za tepla reagují se základní pryskyřicí a zvětšují pak její odolnost vůči teple a povětrnosti. Silikonové otiskovací hmoty se třídí podle typu tuhnutí na kondenzační C-silikony a adiční A-silikony. Jedná se o tixotropní látky, kdy s postupným časem klesá jejich viskozita.

[8; 9]

1.7.1 Polykondenzační silikonové hmoty

Chemickým základem polykondenzačních silikonových otiskovacích hmot je tzv. siloxanový řetězec, v němž se pravidelně střídají atomy Si a O. Na čtyřvázný křemík se vážou obvykle metylové skupiny CH_3 . Řetězec je oboustranně ukončen vysoce aktivními skupinami $-\text{OH}$. Kombinací anorganického řetězce s organickými skupinami jsou zajištěny vlastnosti otiskovací hmoty. První zajišťují stálost, druhé plasticitu.

K zesíťování (vulkanizaci) pomocí skupin -OH se používají estery kyseliny křemičité. Reakci hmoty tuhnoucí v ústech je však třeba urychlit přidáním např. organických sloučenin cínu.

Silikony se dají barvit pomocí pigmentových past, což jsou homogenní směsi silikonových olejů a pigmentů. Pasty jsou vyráběny v odstínech černé, žluté, zelené, modré či cihlové. Doporučené dávkování je v rozmezí 1-5 hm. % (to odpovídá 1 až 5 gramů pigmentu na 100 gramů silikonu). Pro vizuální kontrolu forem se nehodí bílá barva, protože ta více namáhá oči, a proto se volí zelená. Pigmenty se dále používají pro vrstvené formy.

Po smíchání obou složek dojde nejprve k prodloužení řetězců a k narůstání viskozity. S přibývajícím zesíťováním roste elasticita. Podstatou tuhnutí je polykondenzace, při níž vzniká jako vedlejší produkt alkohol. Jeho vypařováním z hotového otisku dochází ke kontrakci. [8; 9]



Obr. 10. Polykondenzační silikony. [10]

Silikony se aplikují dvěma základními způsoby:

- Metodou dvojího otiskování, kdy první otisk se provede pomocí silikonu, který má formu tmelu, a druhý otisk provedeme silikonem, který má konzistenci řídkého krému. Před druhým otiskem je nutné upravit první otisk, tak, aby do něj mohl být zhotoven druhý otisk. Úprava spočívá v odstranění podsekřivin, vytvoření odtokových rýh a zkrácení okrajů.
- Metodou dvojího míchání, při níž se míchají dva druhy silikonu, jeden řidší a druhý hustější. Prvním se zalije prvek, který je třeba kopírovat, a na první vrstvu se nalije následně druhý materiál. Doba tuhnutí silikonů bývá různá, záleží na daném materiálu. Snížení doporučeného množství katalyzátoru by mohlo tuhnutí prodloužit. Opačný způsob, tj. zvýšení množství katalyzátoru, nemá vliv na rychlost tuhnutí, ale zhorší objemovou stálost a pružnost.

Tab. 5. Vybrané vlastnosti kondenzačních silikonů.[5]

Název	Vlastnosti	Použití	Doba zpracovatelnosti	Tvrdost Shore A
RTV 10	<ul style="list-style-type: none"> ▪dvousložkový licí systém s hliníkovým plnivem ▪samotemperovací 	<ul style="list-style-type: none"> ▪formy na polyester, epoxidy, vosk 	60-120 min	50
RTV 102	<ul style="list-style-type: none"> ▪systém s vysokou houževnatostí ▪dobře tekutý, tixotropní 	<ul style="list-style-type: none"> ▪formy na polyester, epoxidy, vosk 	45 min	20

Přesnost otisků a tedy i modelů závisí na objemových změnách a na tvarové změně (deformaci), která probíhá po ztuhnutí. Otisk se smršťuje vlivem ztrát těžkých látek, z nichž některé jsou do hmoty přidávány již ve výrobě (změkčovadla, zbytky výchozích polymerů) nebo vznikají jako vedlejší produkt polykondenzace (alkohol, voda). [8; 9]

1.7.2 Polyadiční silikonové hmoty

Byly uvedeny na trh v 70. letech 20. století. Chemickou reakcí tuhnutí se od předchozí skupiny polykondenzačních silikonů liší tím, že při ní nevzniká žádný vedlejší produkt a nedochází tedy k smrštění při tuhnutí.

Reakce je umožněna katalyzátory obsahujícími ušlechtilé kovy (platina, palladium) např. ve formě kyseliny chloroplatinové. Základní látka se skládá ze dvou odlišných past, z nichž jedna má siloxanový řetězec ukončený vinylovými skupinami (-CH=CH), druhá má siloxanový řetězec s postranními skupinami H-Si-. Při vulkanizaci se koncové skupiny prvních řetězců naváží na postranní skupiny druhých. Vulkanizace probíhá za pokojové teploty a můžeme ji zrychlit zvýšením okolní teploty.

Polyadiční silikonové hmoty mají velmi malé smrštění pod 0,1 %, vysokou pevnost v tahu, jsou rozměrově stálé, zdravotně nezávadné a mají velmi kvalitní otisk, kdy forma má dlouhou životnost. Další uplatnění nachází jako dubovací hmoty. [8; 9]



Obr. 11. Polykondenzační silikony. [11]

Z hlediska použití rozlišujeme silikonové hmoty:

- Lící hmoty.
- Natírací a špachtlovací hmoty.
- Transparentní systémy.
- Lící hmoty pro elektrotechniku.
- Lící hmoty pro zdravotnictví.

Tab. 6. Vybrané vlastnosti adičních silikonů.[6]

Název	Vlastnosti	Použití	Doba zpracovatelnosti	Doba rozebíratelnosti	Tvrdost Shore A
RTV 22	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nízká tvrdost ▪ dobře tekutý, tixotropní 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ tělní otisky ▪ formy na čokoládu 	5 min	30 min	22
RTV 23	<ul style="list-style-type: none"> ▪ variabilní nižší tvrdost ▪ dobře tekutý ▪ vysoké mechanické vlastnosti 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ formy na sádku, vosky ▪ ortopedické pomůcky 	60-150 min	24 h	6 až 25

1.8 Sádra

Pro výrobu modelů se nejčastěji používá sádra. Je to univerzální materiál a podle použití patří do několika skupin pomocných hmot: otiskovacích, modelových, formovacích. I když se v současnosti k otiskování už téměř neuzívá, získala zato zcela univerzální postavení jako materiál užívaný k přípravě všech typů situačních modelů. Základní surovina pro výrobu sádry, sádrovec, se vyskytuje po celém světě, je snadno dosažitelný a poměrně levný. Více než původního sádrovce se ale používá tzv. chemického sádrovce. Má dobrou slévatelnost a zatékavost, stálost rozměrů, schopnost rychlého tuhnutí a dobrou opracovatelnost. Životnost je však v porovnání s kovovými a dřevěnými modely výrazně nižší. Nejčastěji je používána pro netrvalé modely. Při rozmíchávání sádry lze přimístit i různé látky, jako urychlovače (sůl) či zpomalovače (borax) tuhnutí, barviva či povrchově aktivní látky, které způsobí při míchání napěnění sádry. Napěnění má vliv na zvýšení tekutosti sádrové hmoty a po zatuhnutí má forma díky bublinkám zvýšenou prodyšnost.

Hotové sádrové odlitky se suší volně, nebo v sušárnách, uvnitř probíhá exotermická reakce, při níž se sádra zahřívá a navíc zvětšuje svůj objem. Pevnost ztuhlého vyschlého sádrového modelu je závislá na jeho hustotě, na jeho porozitě (pórovitosti) a užitém poměru vody a sádry. Přebytečná voda zůstává po zatuhnutí v pórech modelu a snižuje jeho pevnost stejně jako vzduch vpravený při míchání do směsi. Ještě 5 % vlhkosti však snižuje pevnost modelu o polovinu. Čím menší množství vody použijeme, tím pevnější a tvrdší sádra bude. Dále je nutná opatrnost při sušení sádrových modelů, protože už při zahřátí nad 90 °C může dojít ke ztrátě pevnosti modelu. [10; 11]



Obr. 12. Sádrový model. [12]

Sádra dělíme na pět základních typů:

- **Typ I - otiskovací sádra:**

Používá se pro předběžné laboratorní otisky snímatelných náhrad. Její expanze je v rozmezí 0,15 %, pevnost v tlaku 4 MPa, tuhne zhruba 4 minuty a její poměr míchání je 100 gramů prášku na 40-70 ml vody.



Obr. 13. Otiskovací sádra. [13]

- **Typ II - alabastrová sádra:**

Nachází využití ve výrobě forem, modelů a ve výrobě stavebních hmot. Její expanze je 0,1 %, pevnost v tlaku 9 MPa, tuhnutí probíhá po dobu 15-20 minut a míchá se v poměru 100 gramů prášku na 60 ml vody.

- **Typ III - tvrdá sádra (hydrokal):**

Využití jako formy a modely v keramickém průmyslu či ortopedii. Expanze je v rozmezí 0,14-0,20 %, pevnost v tlaku 20 MPa, doba tuhnutí 10-15 minut, míchání probíhá za poměru 100 gramů prášku na 28-32 ml vody.



Obr. 14. Tvrdá sádra. [14]

- **Typ IV - kamenná sádra (denzit/stone):**

Super tvrdé sádry s nízkou či vyšší expanzí nachází využití u modelů s vysokou pevností a odolností vůči vrypu. Expanze nabývá hodnoty 0,1 nebo 0,3 %, pevnost v tlaku je 34,5 až 48,3 MPa, doba tuhnutí je 10-15 minut a míchá se při poměru 100gramů prášku na 18-25 ml vody. [10; 11]

1.9 Formovací směsi

Formovací směs je důležitá pro tvorbu slévárenských forem pro odlévání kovů. Základními složkami formovací směsi jsou ostřivo a pojivo, kde ostřivo tvoří 98 % objemu a určuje hlavní vlastnosti. Pojivo nám ve směsi působí jako lepidlo, které vyplní mezery mezi ostřivem a to pak udržuje požadovanou pevnost a tvar. Do formovací směsi můžeme ještě přidat další látky, které zlepšují vlastnosti, tyto látky nazýváme jako přísady. [11; 12]



Obr. 15. Chromitový písek. [15]

Ostřivo s pojivem a přísadami se vzájemně ovlivňuje a proto se směsi podrobují několika zkouškám, které nám určí vlastnosti. Jsou to tyto:

- **Pevnost** - schopnost směsi udržet svůj tvar při zatížení, ověřuje se mechanickými zkouškami pevnosti v tlaku, střihu a ohybu.
- **Plasticita** - schopnost tvarování směsi bez porušení celistvosti.
- **Pórovitost a prodyšnost** - pórovitost nám určuje objem prázdných míst ve směsi vzhledem k objemu směsi, pórovitý materiál nemusí být prodyšný. Prodyšnost směsi je schopnost propouštět plyny.
- **Navlhavost** - vlastnost směsi pohlcovat vzdušnou vlhkost, což nepříjemně může ovlivnit pevnost formy či vznik par a plynů při odlévání.
- **Tepelná vodivost** - schopnost přenosu tepla, která ovlivňuje ochlazování odlitého výrobku.

V závislosti na typu použitých pojivových soustav se formovací směsi dělí do čtyř generací.

Formovací směsi I. generace

Jedná se o nejstarší pojivové soustavy využívající jíly v přírodních či syntetických směsích. V jílových pojivech probíhá interakce mezi vodou a jílem [kapilární tlakové síly a Van der Waalovy síly (fyzikální adsorpce)]

Patří zde:

- kaolinitické jíly - se šamotovým lupkem tvoří formovací směs pro velké ocelové odlitky.
- Illitické jíly - hlavní pojivo přirozených formovacích písků.
- Montmorillonitické jíly - jílový materiál obsažený v bentonitech.

Formovací směsi II. generace

Zpevnění forem a jader probíhá vytvrzováním a chemickými reakcemi pojiva samovolně nebo zásahem zvenci a tyto směsi se dělí na dva základní typy, a to směsi s ovládaným vyztužováním a směsi samo tvrdnoucí. Druhá generace pojiv zvýšila efektivitu práce a zlepšila povrchovou kvalitu výrobků. Tyto pojiva dělíme na anorganická a organická.

Formovací směsi III. generace

Jedná se o formovací směsi, které jsou bez pojiv a ke zpevnění se využívají fyzikální principy.

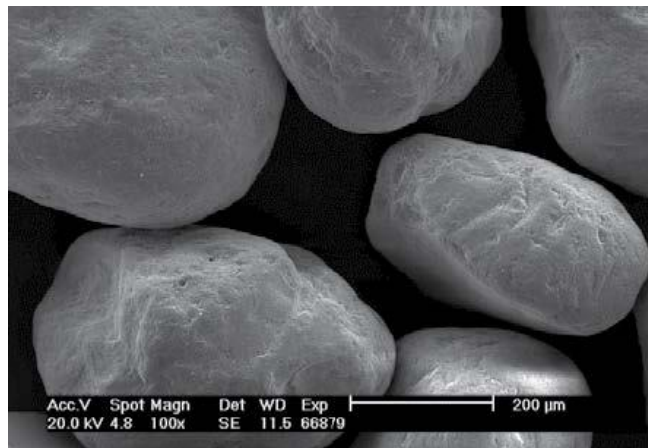
- Magnetické formování - ostřivo tvoří kovové kuličky o rozměrech 0,1 až 0,5 mm a k jejich vázání se používá elektromagnetické pole. V praxi zatím nerozšířená metoda.
- Odlévání na odpařitelný model - model je umístěn do nádoby a zasypan křemenným pískem, který je upěchován pomocí vibrací. V praxi velmi používaná metoda.
- Vakuová výroba forem - k zhuštění směsi (písek bez pojiva) se používá vakuum. Tato metoda našla v praxi uplatnění.
- Výroba forem zmrazováním - směs obsahuje ostřivo a vodu, zhotovená forma se zmrazuje kapalným dusíkem či CO₂. V praxi zatím také nerozšířená metoda.

Formovací směsi IV. generace

Nejmladší typ pojivových systémů, vývoj ekologicky a hygienicky nezávadných pojivových soustav na bázi biopolymerů. Hlavní výhodou těchto směsí jsou malé emise, čistější slévárna, zvýšená produktivita práce, ekologicky nezávadné, jednoduché vytlačování odlitků. [13; 14]

1.9.1 Ostřivo

Jedná se o zrnitý žáruvzdorný materiál, jehož částice jsou větší jak 0,02 mm. Při výběru ostřiv nás zajímá jejich chemické a mineralogické složení s disperzí částic. Tyto vlastnosti ovlivňují technologické vlastnosti jako pevnost či prodyšnost.



Obr. 16. Ostřivo pod mikroskopem. [16]

Ostřiva můžeme dělit dle:

- Původu - přirozená (křemenný písek) či umělá (korund).
- Chemického složení - kyselé (křemenné písky), neutrální (šamot) a zásadité (magnezit).

Ostřiva se označují ve formě písmen a čísel, kde písmena znamenají zkratku výrobce nebo obchodní název a čísla nám určují průměrnou velikost jednoho zrna daného písku. Jako příklad uvedeme slévárenský křemičitý písek od společnosti Sand team, kde označení slévárenského písku je SP 28. SP značí slévárenský písek a 28 nám určuje velikost středního zrna, která je 0,24 až 0,28 mm. [11; 12]

Křemenný písek

Křemenné písky řadíme mezi ostřiva kyselého charakteru a jejich používání se uplatňuje k formování přirozených i syntetických směsí, jedná se o nejrozšířenější minerál v přírodě a

má vhodnou zrnitost. Teplota tavení těchto písků je nad 1 700 °C, což je vhodné pro výrobu forem k odlévání téměř všech slévárenských slitin.



Obr. 17. Křemičitý písek. [17]

Tyto písky mají i své nevýhody. Při ohřevu prodělávají polymorfnní přeměny, které se projevují objemovými změnami a poruchami v celistvosti formy. Při svém kyselém charakteru reagují se zásaditými látkami, což má za následek snížení žáruvzdornosti a křemenný prach vyvolává silikózu, která je velmi vážným onemocněním.

Písky obsahují materiály, které mohou mít vliv na jakost odlitků. Jsou to zejména živec, slída a uhličitany, jenž způsobuje spékavost směsi a tím zhoršení kvality povrchu odlitku. Obsah těchto minerálů by neměl překročit hodnotu 3 %. [11; 12]

Šamotové ostřívo

Jako šamot označujeme vypálený žáruvzdorný jííl, který obsahuje nejméně 30% oxidu hlinitého Al_2O_3 . Další složkou je oxid křemičitý SiO_2 . Další kyslíčníky obsažené ve směsi jsou považovány za nečistoty.



Obr. 18 Šamotové ostřívo. [18]

Žárovzdornost závisí na obsahu kyslíčnicku hlinitého a dle žárovzdornosti rozdělujeme šamot na:

- Nízko žárovzdorný - Al_2O_3 méně jak 30 %, teplota 1 670 °C.
- Středně žárovzdorný - Al_2O_3 více jak 30 %, teplota až 1 730 °C.
- Vysoko žárovzdorný - Al_2O_3 více jak 34 %, teplota nad 1 730 °C.

Šamotové ostřívo je vhodné pro výrobu forem na těžké ocelové odlitky či odlitky ze šedé litiny. [11; 12]

Magnezitové ostřívo

Jedná se o zásadité ostřívo, které se vyrábí z magnezitové horniny a obsahuje kromě čistého minerálu ještě vápenaté, křemičité a železité sloučeniny. Čistý magnezit je uhličitan hořečnatý MgCO_3 a ten se získá tak, že ze surového magnezitu vypálíme CO_2 a vytvoří se tak kyslíčnick hořečnatý MgO , který krystalizuje jako minerál periklas. Tento kyslíčnick má následně podobné vlastnosti jako vápno - pohlcuje na vzduchu vodu a hydratuje. [11; 12]



Obr. 19. Uhličitan hořečnatý. [19]

1.9.2 Pojivo

Pojiva nám vytváří ve formovací směsi vazby mezi jednotlivými zrníčky ostřiva. Tato vazba vzniká již po promíchání ostřiva s pojivem nebo může vzniknout až po zásahu fyzických či chemických sil. Velikost vazby mezi ostřivem a pojivem je ovlivněna adhezními silami mezi jejich povrchy a pevností daného pojiva. [13; 14]



*Obr. 20. Anorganické pojivo
GEOPOL. [20]*

- Anorganické pojiva - Používají se jíly, vodní sklo (CT písky) či sádra. Tyto pojiva nejsou citlivá na sušení, vyvíjí málo plynu při lití a po odlití mají zhoršenou rozpadavost. Výhoda anorganických pojiv spočívá v tom, že se mohou použít všechny druhy ostřív a na ostřiva nejsou kladeny nároky jako u organických pojiv. Hlavní nevýhoda je špatná rozpadavost směsí po odlití.
- Organická pojiva - Patří zde umělé pryskyřice (fenolické, furanové, alkydové), oleje, sacharidy. U těchto pojiv se může řídit chemické či tepelné ztužení, vyvíjí velké množství plynů při lití a mají dobrou rozpadavost, výrobek se dá tedy dobře vyjmout. K přednostem organických pojiv patří vysoká pevnost jader, vysoká produktivita za použití automatizace, vysoká rozpadavost po odlití. Hlavní nevýhody jsou vznik škodlivých zplodin při přípravě směsí a odlévání, negativní účinky na pracovní a životní prostředí.

1.9.3 Přísady, pomocné přídavné látky

Přísady jsou pomocné látky, které upravují některé nevhodné vlastnosti formovacích a jádrových směsí. Tyto látky dělíme do čtyř skupin:

- Přísady zlepšující povrch odlitku - je to černouhelná moučka a mazut. Uhlík obsažený v těchto přísadách vytvoří mezi formou a roztaveným kovem izolační vrstvu.
- Přísady upravující technologické vlastnosti směsi - jedná se například o organické polymery, které zlepšují formovatelnost, smáčedla, jenž zkracují dobu míchání směsi či látky, které snižují pnutí ve formě.

- Látky k povrchové úpravě forem - využívá se slévárenská tuha, kterou se natírají formy pro šedé litiny a barevné kovy nebo křemennou či zirkonovou moučku, jež se používá pro formy na ocelové odlitky.
- Dělicí prostředky snižující adhezi pojiva k povrchu modelu - používá se jemně mletý vápenec, silikonové oleje, petrolej či naftu.

Přísady se využívají nejčastěji ve formě nátěru či nástřiku a slouží tak k oddělení tekutého kovu od stěn formy, kov se nebude lepit na stěny. Nátěry mají své specifické vlastnosti jako udržení nebo odvedení tepla, zlepšení zabíhavosti, vytvoření čistých a hladkých povrchů. [13; 14]



Obr. 21. Přísada pro hladký povrch. [21]

1.10 Metalurgie slitin hliníku

Hliník (Al) je stříbrobílý nepolymorfní kov s měrnou hmotností 2698 kg/m³. Teplota tání hliníku byla stanovena při 660 °C (933 K) a teplota varu při 2519 °C (2792 K). Technicky čistý hliník obsahuje 99 až 99,9 % Al. Má poměrně malou pevnost, výrazný pokles pevnostních charakteristik za zvýšených teplot a špatné slévárenské vlastnosti. Uvedené nedostatky se postupem času podařilo eliminovat vývojem hliníkových slitin. [15; 16]



Obr. 22. Čistý hliník. [22]

Slitiny hliníku je možno odlévat všemi běžnými způsoby, užívá se zejména lití do písku, gravitační lití do kokil a tlakové lití. Rychlé chladnutí v kovových formách snižuje porezitu a přispívá ke vzniku jemnozrnné struktury a zlepšení mechanických vlastností.

Slitiny hliníku jsou využívány pro součásti, od nichž je požadována nízká hmotnost nebo odolnost proti korozi. Mají výhodnou kombinaci pevnosti a houževnatosti. Patří k nejsnadněji obrobitelným materiálům a k jejich výhodám patří netoxičnost a poměrně snadná recyklovatelnost. [15; 16]

1.10.1 Slitinové prvky a nečistoty ve slitinách hliníku

Měď - patří k tradičním přísadám ve slitinách hliníku. Zvyšuje tvrdost, pevnost a tepelnou vodivost. Nepříznivě ovlivňuje tvárnost, sklon ke vzniku trhlin, odolnost proti korozi, a proto musí být odlitky povrchově chráněny. Za určitých podmínek zvyšuje citlivost i ke korozi pod napětím. Rozšiřuje interval tuhnutí, a tím zvyšuje riziko ředin. Fáze CuAl_2 umožňuje vytvrzování – nejúčinněji při obsahu 4 až 6 % Cu. Měď zlepšuje obrobitelnost slitin hliníku. Tyto slitiny jsou proto určeny pro dlouhodobou funkci za teplot 350–450 °C.

Křemík - obsahuje ho většina užívaných slévárenských slitin hliníku, protože výrazně zlepšuje technologické vlastnosti. Ovlivňuje příznivě tekutost a odolnost proti vzniku trhlin. Navíc zvyšuje pevnost odlitků a jejich odolnost proti korozi. Křemík snižuje hustotu a součinitel teplotní roztažnosti. S rostoucím obsahem křemíku stoupá tvrdost a klesá tvárnost a obrobitelnost slitiny. Optimální obsah křemíku je závislý na způsobu lití,

pískové, sádrové a skořepinové formy obsahují 5 až 7 % Si, gravitační lití do kokil 7 až 9 % Si a tlakové lití 8 až 12 % Si.

Hořčík - je v přísadách 0,25 až 0,7 %, umožňuje vytvrzování slitin Al-Si (siluminy), kterým lze více než zdvojnásobit jejich pevnost. Čím vyšší je obsah Mg, tím více se zvýší pevnost slitiny. Ze stejných důvodů je rovněž používán ve slitinách Al-Si obsahujících měď, nikl a další prvky. Přísady kolem 1 % Mg jsou užívány ve slitinách s vysokým obsahem křemíku. Obsahem 3 až 10 % Mg mají slitiny s nízkým obsahem křemíku pro zvýšení odolnosti proti korozi, zlepšení jasnosti povrchu. Nestabilita a stárnutí při pokojové teplotě slitin s vyšším obsahem hořčíku bývají důvodem pro jejich tepelné zpracování.

Železo - je ve slitinách hliníku běžnou (ale velmi sledovanou) nečistotou s nízkou rozpustností (0,05 %). Dostává do slitin hliníku užitím ocelových nástrojů pro tavení a odlévání nebo přimícháním železa nebo rzi do tavného materiálu. Již při malém obsahu tvoří intermetalické fáze FeAl_3 , FeSiAl_5 , AlFeSi aj. ve tvaru destiček (na výbrusu jehlice). Tyto nerozpustné fáze zlepšují pevnost zejména za zvýšených teplot, ale s jejich rostoucím podílem se zhoršuje zabíhavost. Fáze obsahující železo mají značně odlišný modul pružnosti a teplotní roztažnost než hliník. Proto se uplatňují jako koncentrátoři napětí při mechanickém namáhání. Ke kompenzaci nepříznivého vlivu železa se užívají přísady Mn, Co, Cr, Be a Ni.

U slitin Al-Si zvyšuje železo pevnost, snižuje tvárnost a odolnost proti korozi. U slitin Al-Cu váže měď na Al_7FeCu_2 , čímž snižuje jejich pevnost. U slitin Al-Cu-Ni zlepšuje železo pevnostní charakteristiky za zvýšených teplot.

Nikl - zvyšuje pevnost, houževnatost a odolnost proti korozi. Navíc snižuje součinitel teplotní roztažnosti. Přísady do obsahu 2 % Ni v kombinaci s mědí nebo křemíkem zvyšují pevnost a tvrdost při zvýšených teplotách. Slitiny s niklem se používají zejména pro odlitky pístů a hlav válců.

Titan - je běžnou příměsí v hliníku, protože TiO_2 je vždy přítomen v bauxitu. Titan se přidává obvykle k řadě průmyslových slitin hliníku z důvodu vysoce efektivní modifikace při lití. Zvýšené množství titanu se používá pro potlačení sklonu ke vzniku trhlin a zvýšení pevnosti za běžných i zvýšených teplot. [15; 16]

1.10.2 Typy slévárenských slitin

Podle hlavního slitinového prvku se rozlišují binární (dvousložkové) slitiny:

- Al-Si Siluminy - ze siluminů se odlévají součástky pro letecký průmysl, motory, písty, hlavy válců, tlakově lité odlitky pro automobilový průmysl.
- Al-Cu Duraluminy - hlavní užití duraluminů jsou odlitky namáhané za vyšších teplot (písty, hlavy válců) a odlitky vyžadující větší tvrdost (řemenice, skříně).
- Al-Mg.
- Al-Zn.

K nejpoužívanějším ternárním (trojsložkovým) slitinám patří kombinace s dobrými slévárenskými i mechanickými vlastnostmi:

Al – Si – Mg a Al – Si – Cu, ze kterých se litím do písku a do kokil vyrábí 80 % odlitků a tlakovým litím víc než 95 % všech odlitků.



Obr. 23. Píst a ojnice z hliníkové slitiny. [23]

Pořadí podle slévárenských vlastností slitin hliníku je:

Al-Si, Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Mg, Al-Cu, Al-Zn

Podle metalurgického charakteru se slévárenské slitiny dělí na:

- **nevytvrditelné:** Al-Si a Al-Mg. Vlivem tepelného zpracování nezmění své vlastnosti.
- **vytvrditelné:** Al-Cu, Al-Si-Cu, Al-Si-Mg a Al-Zn-Mg. Tyto slitiny obsahují prvek, který při změně teploty v tuhém roztoku hliníku změní své vlastnosti.

Podle způsobu lití bývají slitiny hliníku děleny na:

- slitiny pro gravitační lití do kovových forem.
- slitiny pro gravitační lití ostatními metodami.

- slitiny pro tlakové lití – mají nejméně variant složení. Vyžaduje se od nich vysoká tekutost, pevnost za zvýšených teplot, odolnost proti trhání a nelepivost na formu.

[15; 16]

2. SOUČASNÝ STAV

V koncernu Continental Barum Otrokovice se vyrábí z hliníkových slitin vulkanizační formy pro výrobu pneumatik. Než proběhne samotné odlití hliníkové formy, je nutné udělat několik výrobních operací.

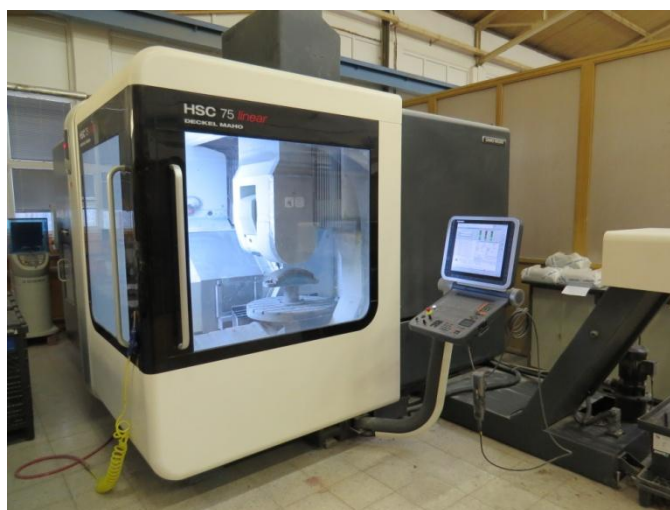
Nejprve se vyrobí z umělého dřeva model, který je zalit v přípravku silikonovou směsí a tak vznikne silikonový negativ. Do negativní silikonové formy je následně vlita napěněná sádra a po jejím vytvrzení jsou získány sádrové jádra pro odlévání. Jádra jsou sestavena na licím přípravku, k nim je přiložen zaformovaný rám z pískové směsi a do něj vlita hliníková slitina. Po vychladnutí je odlitek převezen na další operace ve výrobě forem, kde se provede mechanické dokončení a výrobek se nadále podrobí výstupní kontrole.

2.1 Výroba modelu

Na výrobu modelu se používá umělé dřevo s obchodním názvem Necuron 651. Tento materiál je dovezen ve formě desek a na pásové pile se uřeže kus, který bude rozměrově blízký budoucímu modelu, ale je zvětšený o následné hrubování.

Uříznutý polotovár je upnut do první frézky a do jeho základny se vyfrézují kalibrační excentrické drážky, které zabraňují posunu modelu při frézování, a díky těmto drážkám není možno model špatně upnout.

Polotovár se usadí vyfrézovanou částí do upínacího přípravku a provede se hrubování, které nám vytvoří základní tvar modelu, který je zvětšený o 3 milimetry pro dokončovací operace.



Obr. 24. Frézování modelu.

Dokončení modelu se provádí na vysokorychlostní 5osé CNC frézce, kde se do modelu vyfrézují drážky na lamely, obvodové a příčné drážky, značky pro polohu měřících stop, protismykové hroty a nakonec je model osazen lamelami.

Po frézování je výrobek očištěn tlakovým vzduchem a podroben 3D kontrole geometrie, kde je hotový model porovnáván s modelem v CADu.



Obr. 25. Dodatečná kontrola modelu.

Materiálový list Necuron 651 je v Příloze 1.

2.2 Odlévání silikonkaučuku

Hotový a zkontrolovaný model je nastříkán separačním prostředkem, který způsobí lepší odformovatelnost silikonu, vyplní mikroskopické nerovnosti povrchu modelu a tím vytvoří dokonale hladký povrch. Po zaschnutí přípravku se model obloží deskami (čely), ty zadrží po stranách tekutý silikon a vytvoří se tak silikonový blok, jenž bude mít negativní otisk modelu.

Pro výrobu forem je používán dvousložkový silikonkaučuk ELASTOSIL M4512 s kondenzačním vytvrzováním při pokojové teplotě. Při lití je nutné dodržet přesně stanovený poměr míchání s katalyzátorem dle technického listu. Pro dokonalý otisk se míchání směsi provádí ve vakuu a pak se integrovanou pumpou lije do přípravků.



Obr. 26. Složený přípravek.

Po zatuhnutí a vytvrzení je silikonová forma vyjmuta (vyjmutí nazýváme demolding) a podrobena vizuální kontrole, kde se hledají nedostatky v zatečení silikonu na částech modelu, které jsou pod úhlem. Jedná se o bublinky, propadlé povrch či porezitu silikonové směsi. Následně je forma změřena na kvalitu přenosu geometrie. V případě vyhovujících testů se silikonová forma přesune na pracoviště, kde se do ní vloží výrobní lamely.



Obr. 27. Silikonová forma osazená lamelami.

Materiálový list ELASTOSIL M4512 naleznete v Příloze 2.

2.3 Odlévání sádrových jader

Silikonová forma je následně osazena obložením a utěsněna. V dalším kroku je namíchána sádra, která se nejprve nanese formou nástřiku ve vrstvě silné 5 milimetrů na formu. Zbytek sádry se pak promísí do požadovaného napěnění a vlije do dutiny. Zhruba po 5 minutách se vloží do jádra dílenský přípravek pro budoucí manipulaci a nechá se sádra ztvrdnout.



Obr. 28. Nástřik sádry na formu.

U vytvrzeného sádrového jádra se odstraní přetoky ze sádry a pak se u jádra provede kontrola kvality přenosu geometrie a posoudí se průběh demoldingu. Po všech nutných kontrolách se jádra zařezou dle výkresové dokumentace na požadovanou kruhovou výseč, osadí se lamelami a pomocí přípravků jsou vloženy do kruhu, aby se vytvořila celá část dezénu budoucí pneumatiky. Takto připravený sádrový blok složený z jednotlivých jader je vložen do sušicí pece, kde je sušen podle daného technologického postupu, a získají se tak požadované parametry pro další operace.



Obr. 29. Jádro osazené lamelami.

Požadavky na kvalitu jader jsou následující:

- Dostatečná tvrdost.
- Objemová stabilita.
- Přesná reprodukce detailů.
- Pevnost v tlaku a ohybu.
- Hladký a neporézní povrch.
- Výdrž při manipulaci.
- Žádné dodatečné změny po zatuhnutí.

Materiálový list sádry Thermomold Foam naleznete v Příloze 3.

2.4 Výroba hliníkového odlitku

Před začátkem lití se vyrobí písková forma, která je vyrobena za pomoci dřevěného modelu. Dřevěný model je vystředěn na formovacím stole a osazen vtokovou soustavou a nálitky. Na takto připravený model se usadí ocelový rám, který bude tvořit záda pískové formy a bude sloužit k manipulaci s formou. Pomocí směšovacího zařízení se nasype do mezikruží formovací směs tvořenou ze slévárenského písku a příslušných pojiv, pro větší houževnatost skořepiny se formovací směs upěchuje a nechá vytvrdit. Za přibližně hodinu písková forma vyzraje a je z ní sejmout dřevěný model, vznikne nám tak dutina, která je podrobena vizuální kontrole a případně se na ní provedou úpravy a odstraní nečistoty. Dutina skořepiny je pak nastříkána vodním sklem, aby se zvýšila pevnost a hladkost stěn.

Dle technologických předpisů musí být forma den před samotným odléváním vyzrálá a připravena k použití.

Skořepina a sádrový blok jader se usadí na licí desku, kde se vzájemně mezi sebou vystředí, dále se zarovnají a utěsní případné otvory. Slévač následně provede lití hliníku.



Obr. 30. Odlévání hliníkové slitiny.

Jakmile forma s odlitkem vychladne, tak se položí na vytloukací rošt, kde se odstraní písková skořepina, pomocí tlakové vody jsou odstraněny zbytky sádrových jader a odřežou se nálitky společně s vtokovou soustavou. Odlitek se dále očistí od nežádoucích materiálů a zbude tak čistý hliníkový blok ve tvaru negativního dezénu budoucí pneumatiky.



Obr. 31. Očištěný hliníkový blok s nálitky.

Odlitek pak putuje na technologickou přejímku, kde je provedena kontrola kvality, jejímž úkolem je nalezení případných slévárenských vad. Ty mohou být následující:

- Nezaběhnutí žeber.
- Propadlá pole.
- Vysoké výronky na žebrech.
- Hrubý povrch.
- Porezita.
- Řediny.
- Kuličky.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3. CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE A POUŽITÉ PŘÍSTROJE

3.1 Cíl práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je porovnání a grafické zhodnocení přenosu geometrie běhounu pneumatiky z CADu modelu na dřevěný model a pak následný přenos geometrie z dřevěného modelu na silikonovou formu a to pro stávající a nový materiál.

Následně se práce zabývá přenosem geometrie ze silikonové formy na sádrové jádro, kde je první měření provedeno po vytvrnutí sádrového jádra a druhé měření je provedeno po vysušení. Grafické mapy jsou pak mezi sebou porovnány, zda-li sušení má vliv na stálost rozměrů jader.

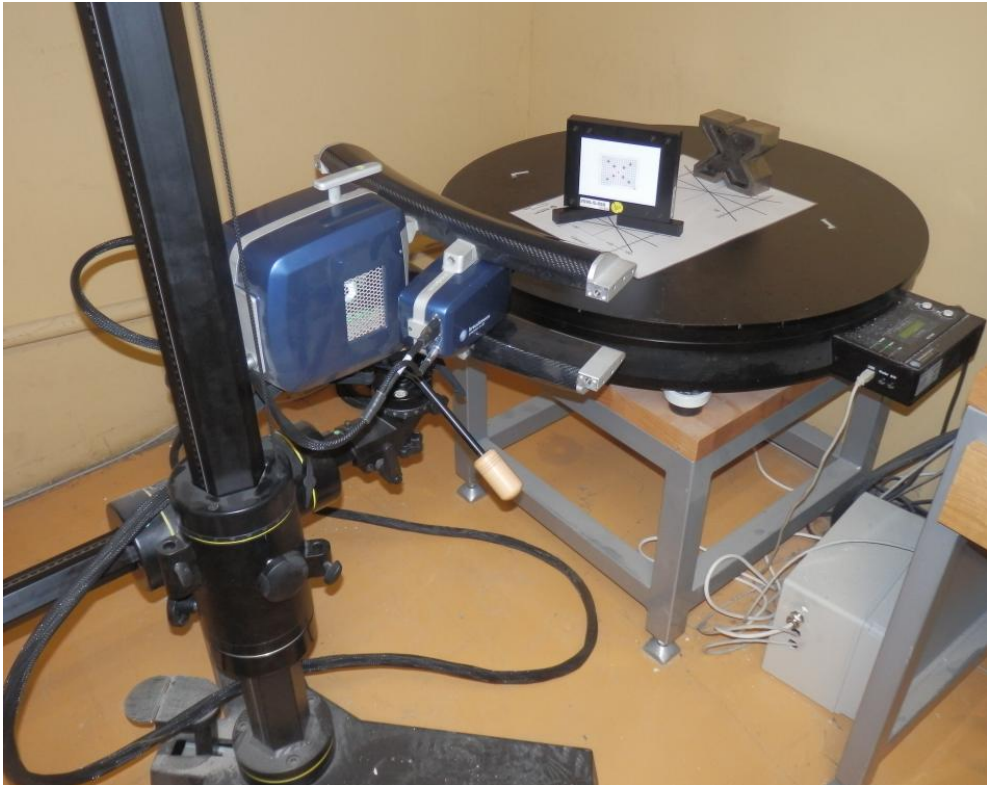
V dalším bodu praktické části popisují přípravu slévárenského písku tak, aby byly zajištěny potřebné vlastnosti pískové formy pro odlévání hliníkové slitiny.

V posledním bodu se provede kontrola geometrie a kvality hliníkového bloku, kde je geometrie měřena také pomocí grafické mapy, ale ta je následně převedena do stop, aby se určila házivost formy.

3.2 Použité přístroje

Měření geometrie se provádí na stroji Breuckmann stereoSCAN^{3D} - HE, jehož technická specifikace je umístěna v Příloze 7.

Skener je upnut na statický stojan a propojen s otočným stolem, na který je položen měřený objekt a celý tento systém je připojen do PC.



Obr. 32. Kalibrace stroje Breuchmann.

Kalibrace skeneru se provádí každý týden anebo po výměně optiky a probíhá tak, že doprostřed stolu se položí kalibrační předmět a pak se pustí program měření. Systém díky uložené databázi provede kontrolu senzorů a vypíše protokol s úchyly.

Z měření geometrie dostane barevnou grafickou mapu, kde jednotlivé barvy určují odchylku od referenčního modelu v CADu.

4. HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

4.1 Dřevěný model - kontrola geometrie, smrštění

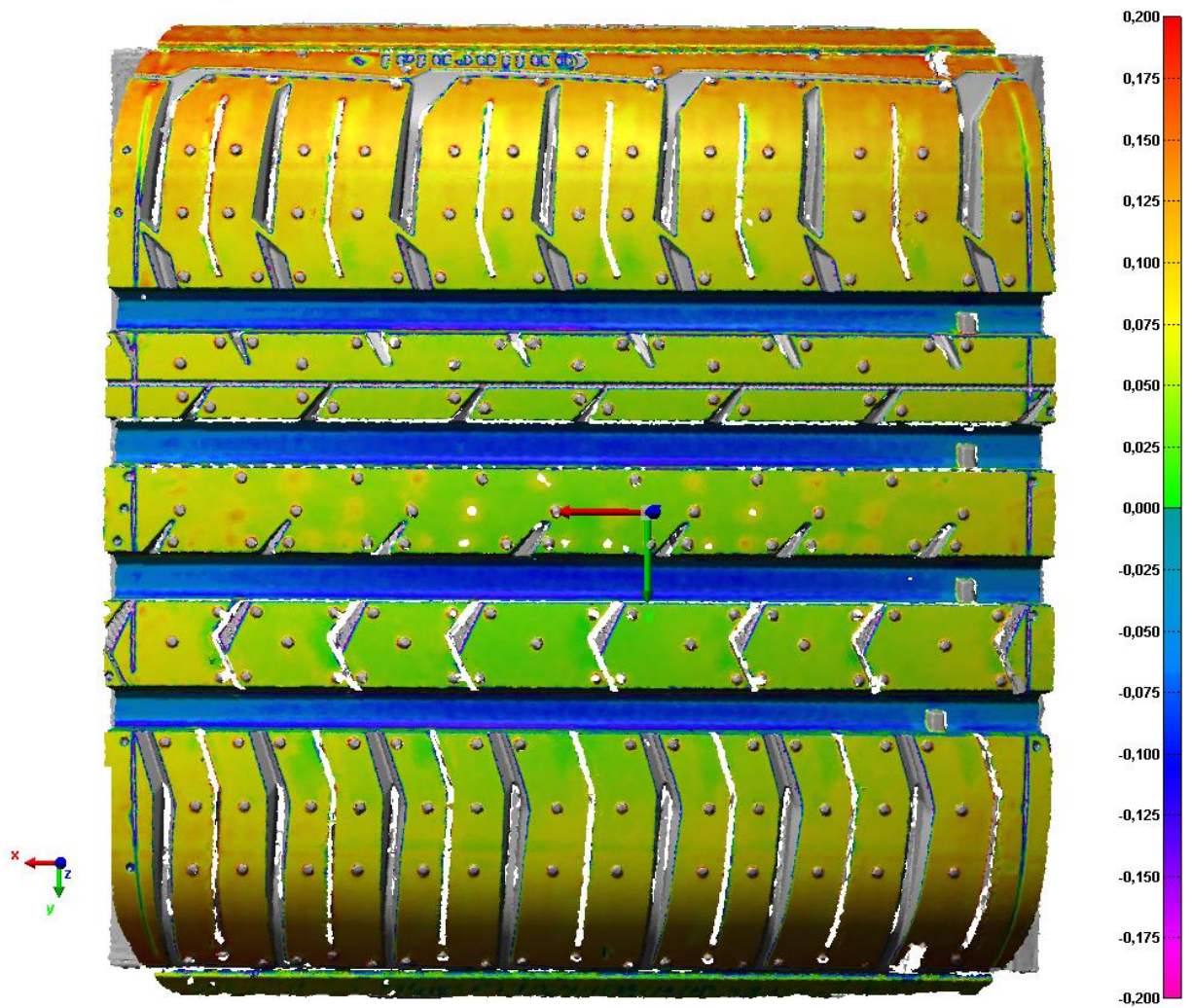
Tab. 7. Základní vlastnosti modelů.

	Necuron 651	Ebaboard 0780
Barva	Hnědá	Tyrkysová
Hustota	0,70g/cm ³	0,78g/cm ³
Teplotní odolnost	70°C	86°C
Koeficient délkové roztažnosti	52x10 ⁻⁶ K ⁻¹	63x10 ⁻⁶ K ⁻¹
Tvrдость Shore D	67	67
Pevnost v tlaku	26N/mm ²	31N/mm ²
Pevnost v ohybu	30N/mm ²	33N/mm ²

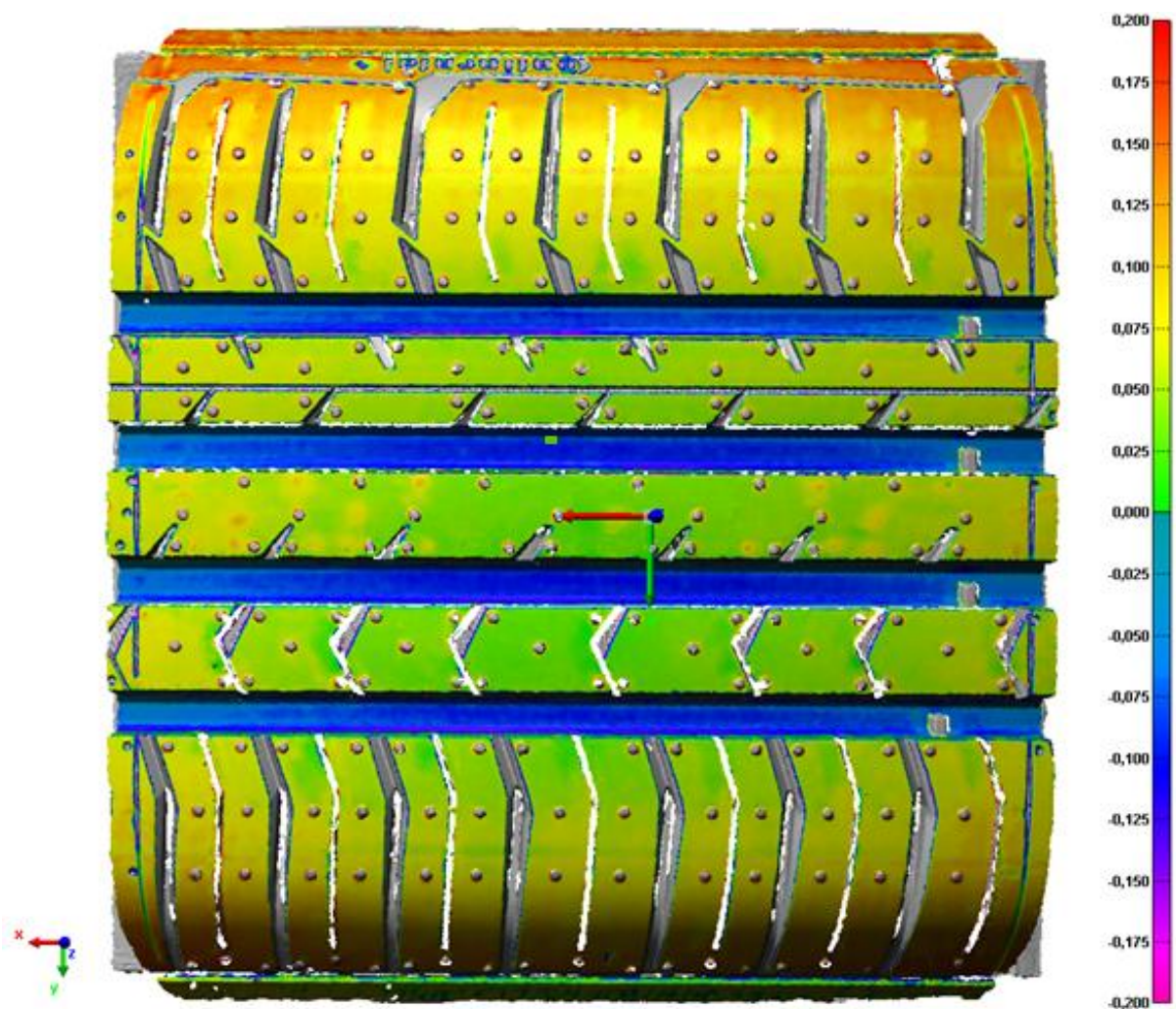
Z tabulky vidíme, že nový dřevěný model Ebaboard 0780 má vyšší hustotu a také větší tepelnou odolnost, vykazuje vyšší hodnoty koeficientu délkové roztažnosti, pevnosti v tlaku a ohybu. Tvrдость materiálu zůstává na stejné úrovni jako v případě Necuronu 651. Hranol Ebaboardu 0780 o rozměrech 1500 x 500 x 150 mm stojí 11 655 Kč a profil materiálu Necuron 651 o rozměrech 1200 x 350 x 130 mm má cenu 4 464 Kč. Od nového modelu je očekávaná lepší obrobiteľnosť, vyšší stálost rozměrů a menší pórovitost, model z materiálu Ebaboard 0780 by měl mít menší rozměrové úchytky oproti referenčnímu modelu v CADu.

Parametry frézování modelu jsou pro oba materiály stejné, model je zvětšený o smrštění odlitku z důvodu chladnutí taveniny.

Výsledky měření geometrie jsou následující.



Obr. 33. Geometrie modelu Necuron 651.



Obr. 34. Geometrie modelu Ebaboard 0780.

Z map měření jde vidět, že geometrie modelu Ebaboard 0780 je lehce světlejší a tedy naměřené hodnoty vykazují menší úchyly oproti referenčnímu modelu. Zmizely i bílé tečky patrné uprostřed modelu Necuronu, které znamenají nezměřené místo kvůli odlesku. Nový materiál lze tedy považovat za přesnější.

Po konzultaci s pracovníky jakosti pro geometrii modelů jsme určili, že rozdíl hodnot je téměř minimální, a proto se materiál Ebaboard 0780 nedoporučuje pro tento typ rozměrů pneumatiky. Jednak proto, že větší přesnost tohoto materiálu nepřináší výraznou změnu přesnosti modelu a za druhé z ekonomického hlediska je Ebaboard 0780 výrazně dražší a zvednutí ekonomické náročnosti při výrobě je nežádoucí. Zvýšená přesnost materiálu se projeví u modelů pro pneumatiky vyšší třídy, které mají větší rozměry a tím i vyšší požadavky na kvalitu povrchu a dalších procesních parametrů.

4.2 Silikonkaučuk - lití, kontrola geometrie, tvrdosti a kvality povrchu

Současný kondenzační silikonkaučuk Elastosil M4512 vykazuje při výrobě nedostatky, a proto se provedla zkouška o jeho nahrazení adičním silikonem Cenusil M820, jehož vlastnosti jsou uvedeny v příloze 5.

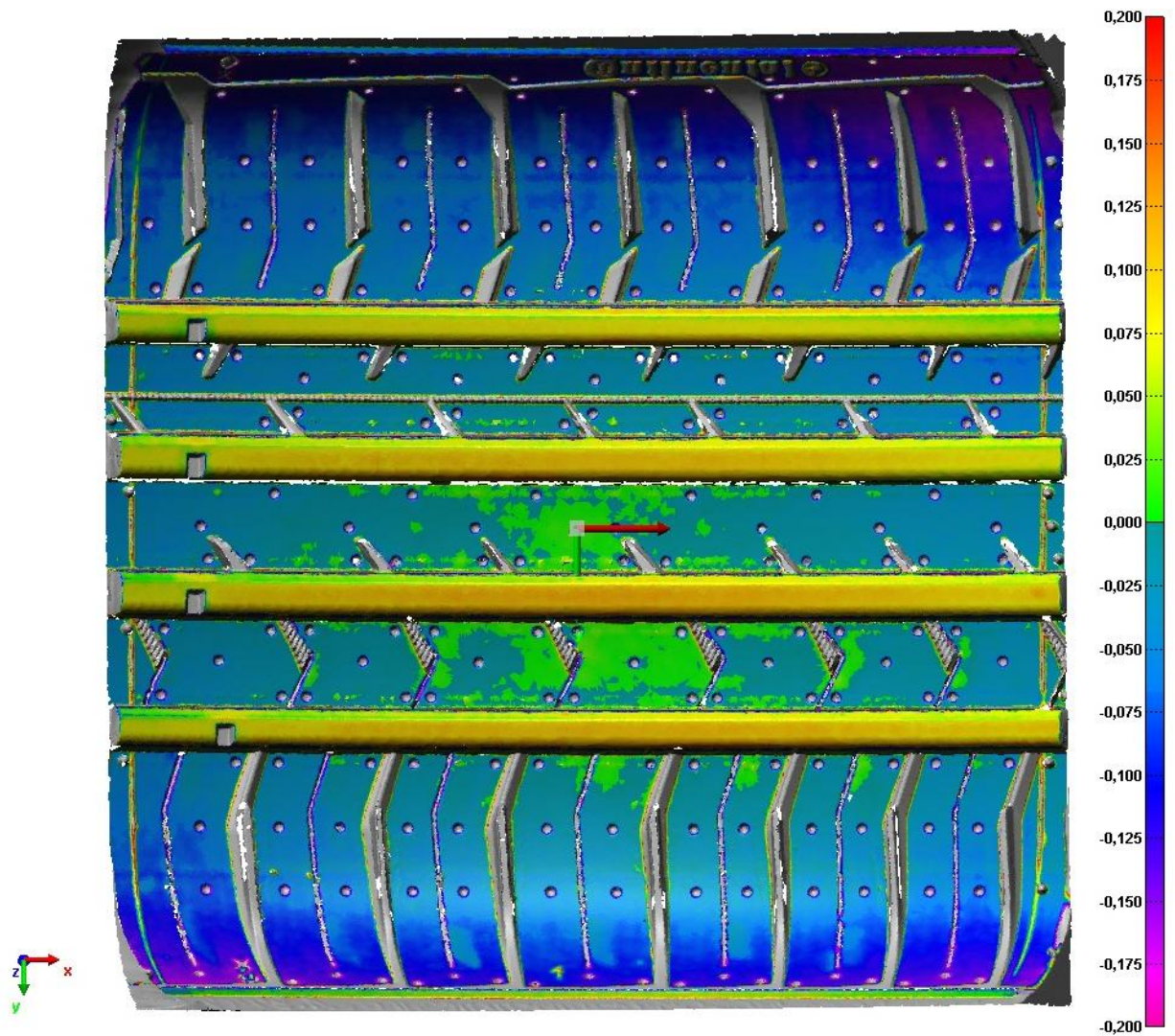
Tab. 8. Vlastnosti použitých silikonů.

	Elastosil M4515	Cenusil M820
Hustota	1,20g/cm ³	1,05g/cm ³
Viskozita	25000mPa s	5000mPa s
Tvrdost Shore A	20	20
Pevnost v tahu	3,50N/mm ²	4,00N/mm ²
Délkové prodloužení	500%	500%

Z tabulky lze vidět, že materiály mají stejnou tvrdost Shore A, ale Cenusil má nižší hustotu, menší viskozitu a vyšší hodnotu pevnosti v tahu.

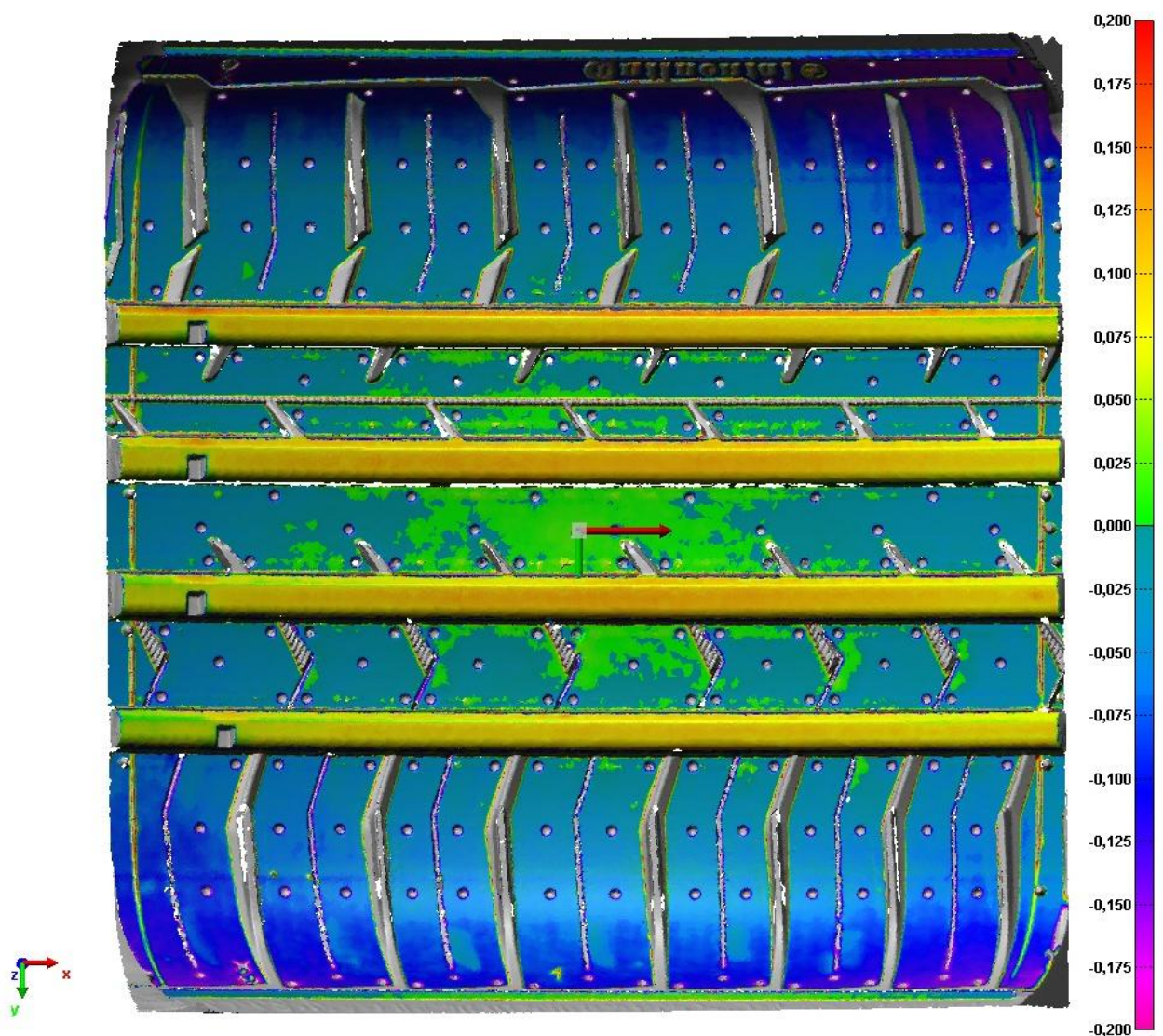
Pro zaručení stejných podmínek lití silikonu se odlévání do přípravků provádí pomocí automatu, na kterém se před každou odlévanou várkou provádí kalibrace, kdy se váží poměr složky A k poměru složky B.

Oba materiály byly odlévány ve stejných podmínkách přesně dle pokynů výrobce a výsledné měření dopadlo následovně.



Obr. 35. Geometrie materiálu Elastosil M4512.

Při zvoleném rozsahu měření $\pm 0,200$ mm vidíme, že vrchní a spodní díl formy z Elastosilu je zbarven na větší ploše tmavě modrou barvou. V pravém horním rohu a na spodním okraji je fialová oblast, kde se dostáváme do mezních hodnot měření.



Obr. 36. Geometrie materiálu Cenasil M820.

U nového materiálu Cenasil vidíme, že na horním a spodním okraji nejsou už tak velké fialové plochy. Nejpatrnější rozdíl je ale uprostřed formy, kde máme na větší ploše kladné odchylky a navíc se nám kladné hodnoty posunuly k hornímu okraji.

Drážky pro odvod vody nám u Cenasilu jdou více do mezních kladných hodnot a celkově je tato forma oproti materiálu Elastosil světlejší.



Obr. 37. Automatické mísící zařízení.

Díky nižší viskozitě a hustotě zatéká Cenusil lépe do drážek a prohlubní, má dobré odplynění, takže se zbavuje lépe případných vzduchových bublin vzniklých při odlévání.

Kontrola tvrdosti se provádí na každém kusu silikonové formy jako ověření zda-li dávka splňuje parametry udávané výrobcem.

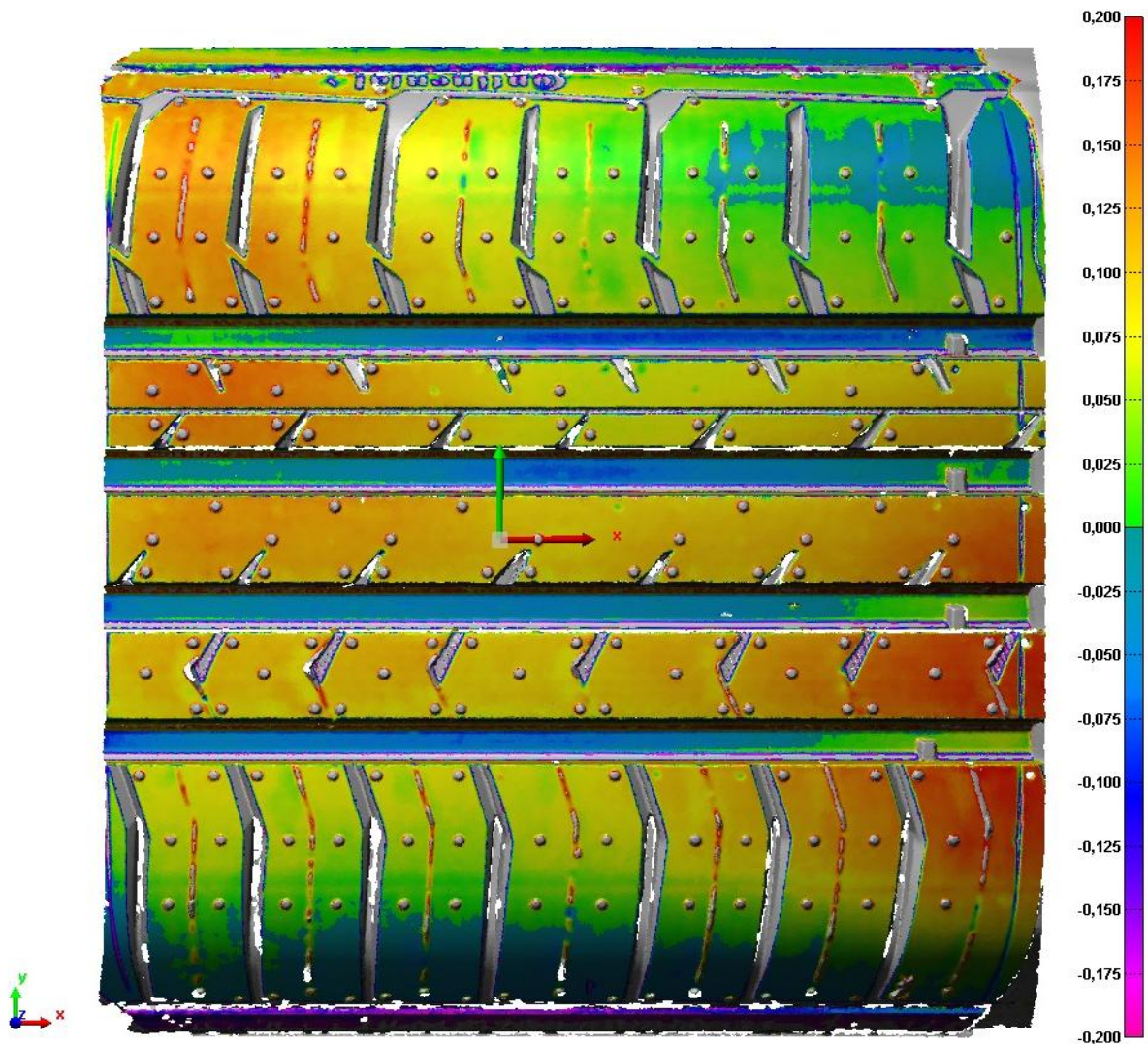
Po kontrole jakosti se došlo k vyjádření, že Cenusil M820 je vhodnější oproti Elastosilu M4512, protože kopírovací vlastnosti Cenusilu a jeho odlévání do formy vykazuje lepší vlastnosti.

Jeden kilogram Cenusilu M820 vychází cenově na 460 Kč, což je oproti ceně Elastosilu M4512, který stojí 442 Kč mírně dražší, avšak po měsíci používání se ukázalo, že Cenusil vykazuje menší procento zmetkovitosti.

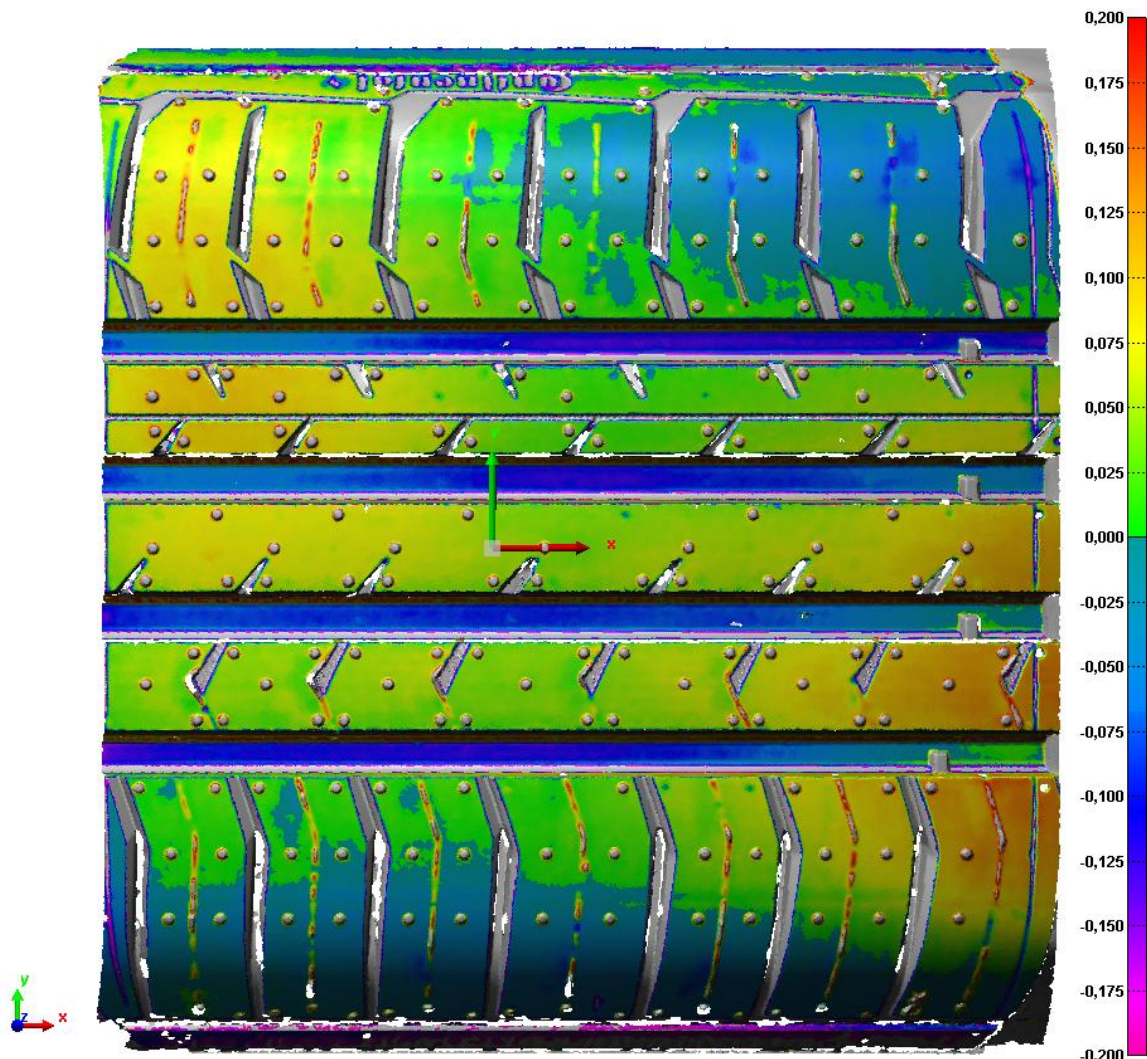
4.3 Sádra-napětí, kontrola geometrie před a po sušení

Optimální parametr napětí je klíčovým faktorem pro ideální chování sádrového jádra při lití hliníku. Sádra se promíchala dle postupu výrobce, ale praxe ukázala, že pro potřeby divize výroby forem se využívají mírně změněné parametry procesu míchání jako otáčky a doba míchání.

Po vytvrdnutí sádry a sejmutí silikonové formy se provede kontrola demoldingu na povrchu sádrového jádra a dále se provede kontrola geometrie. Výsledky byly následující.



Obr. 38. Sádrové jádro z materiálu Elastosil M4512.

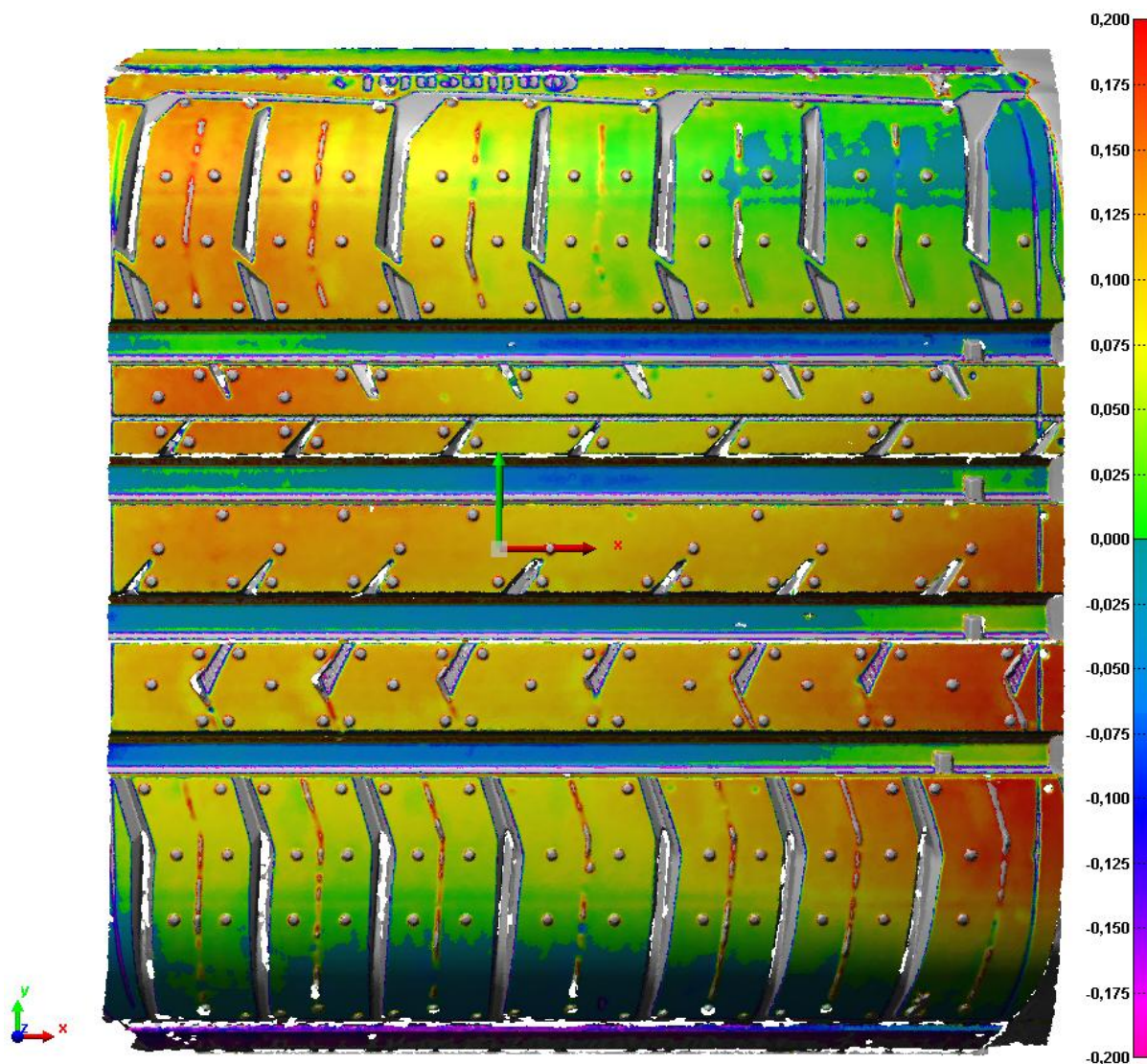


Obr. 39. Sádrové jádro z materiálu Cenusil M820.

Sádrové jádro je negativní povrch silikonové formy a získáme tak přesnou kopii původního modelu. Oproti původním modelům vykazují Sádrové jádra mírné odchylky, které jsou způsobeny postupným kopírováním povrchů a různým smrštěním materiálů. Ovšem pokud porovnáme silikonové formy se sádrovými jádry, tak jádra tvoří velmi přesné negativy.

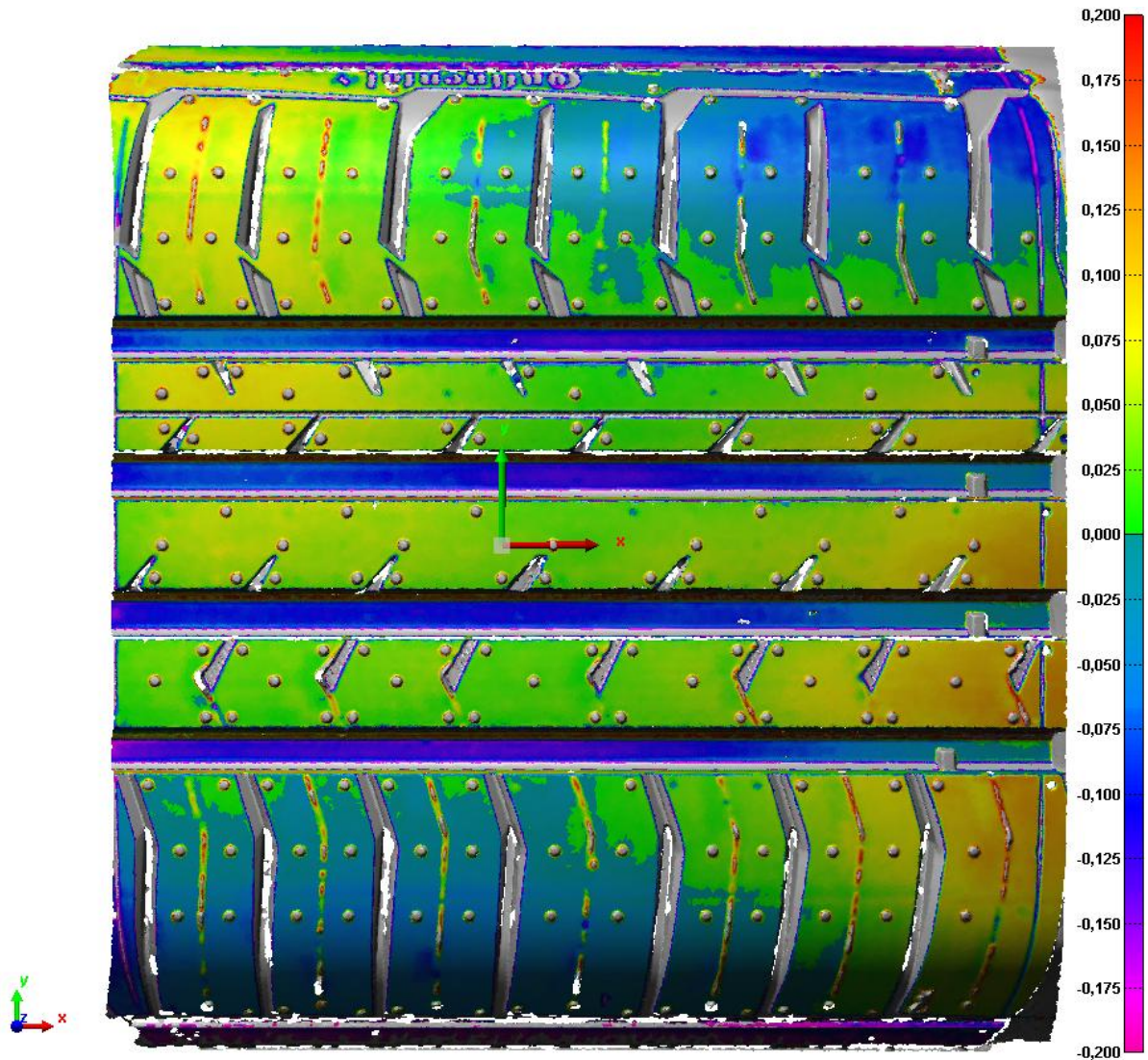
U sádrových jader je nyní více patrný rozdíl kopírování povrchů pomocí silikonkaučků, sádrové jádro z materiálu Cenusil M820 tvoří menší odchylky a nedochází u něj v takové míře ke vzniku nezměřených míst.

Jádra se daly sušit a po procesu sušení při 250 °C jsme opět změřili geometrii sádrových jader a toto druhé měření proběhlo následovně.



Obr. 40. Sádrové jádro po vysušení Elastosil M4512.

Po vysušení sádrového jádra při použití původního silikonového modelu z materiálu Elastosil M4512 došlo k minimálním změnám odchylek.



Obr. 41. Sádrové jádro po vysušení materiál Cenusil M820.

Rozměry se změnilo také minimálně po vysušení i u sádrového jádra z Cenusilu M820. Můžeme tedy říci, že samotné sušení má minimální vliv na rozměry sádrového jádra a nejdůležitějším krokem je nanášení sádrové směsi pomocí stříkací pistole.

4.4 Slévárenský písek - sušení a kontrola tvrdosti

Promíchaná formovací směs má samo vytvrzovací účinek, pro rychlejší vysušení a ztvrdnutí pískové formy se tato forma převezde do místnosti s pecí, kde se ponechá den před samotným litím.

Kontrola tvrdosti a konzistence formovací směsi se neprovádí z důvodu přípravy formovací směsi na strojním mísiči, který zaručuje vždy požadované vlastnosti směsi dle

dané receptury. Aby bylo možné dosáhnout pokaždé stejných podmínek, tak se mísič před každou přípravou kalibruje.

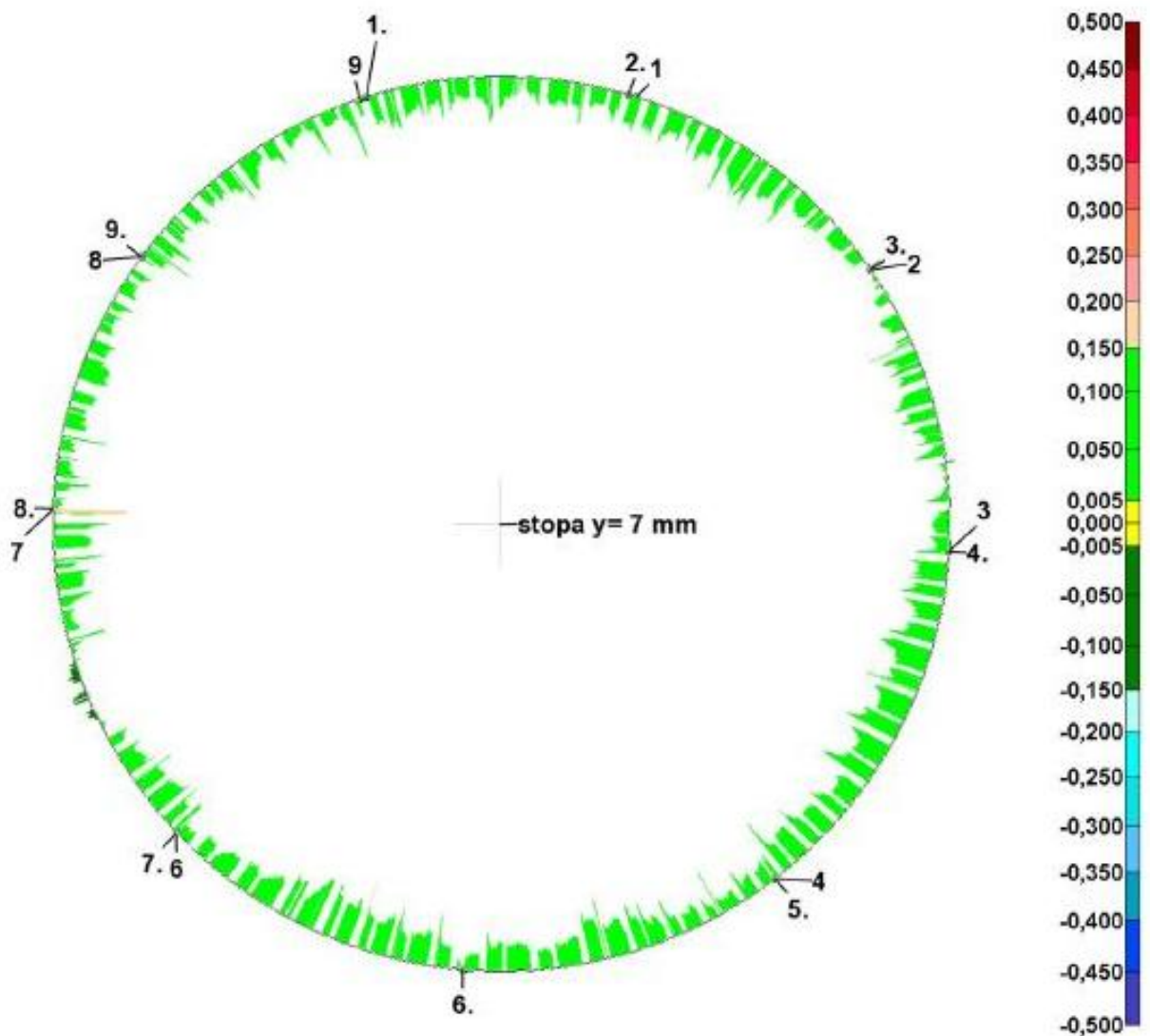
Tab. 9. Výpis kalibračního listu míchacího stroje Wöhr.

Kalibrace stroje Wöhr - provádí se denně dle příručky Wöhr						
Datum	Receptura	Písek	Pojivo	Poměr 1	Tvrdidlo	Poměr 2
		SH33	Geopol 510	(1,8-2)%	SA61	(14-15)%
[-]	[#]	[g]	[g]	[%]	[g]	[%]
Předpis	1	31700	634	2	89	14
15. 1. 2016	1	31850	638	2	96	15,05
18. 1. 2016	1	31800	638	2,01	89	13,95
19. 1. 2016	1	31780	637	2	93	14,6
20. 1. 2016	1	31800	642	2,02	91	14,17
21. 1. 2016	1	31750	640	2,02	90	14,06
22. 1. 2016	1	31500	634	2,01	91	14,35
24. 1. 2016	1	31580	639	2,02	95	14,87
25. 1. 2016	1	31500	637	2,02	94	14,76
26. 1. 2016	1	31600	645	2,04	92	14,26

4.5 Lití hliníku - kontrola geometrie a kvality

Na kontrolu geometrie a kvality hliníkového bloku je dáván velký důraz a berou se v potaz veškeré vlivy při výrobě. Kontrola přenosu geometrie sádrového jádra na hliníkový blok je obsáhlejší téma, které by se nevešlo do mé bakalářské práce, a proto popíšu pouze metodiku kontroly.

U hliníkového bloku se pomocí 3D scanneru měří také mapa povrchu jako v předešlých případech, ale nyní se místo celé mapy zpracovávají řezy, ze kterých se určuje házivost. Řez vypadá následovně.



Obr. 42. Řez grafické mapy geometrie hliníkové formy.

Každá stopa určuje výšku (šířku) formy, pokud se podíváme na předešlé měření geometrie, tak na obrázcích vlevo dole uvidíme osový kříž, kdy osa y je ve svislém směru.

Pro každou stopu se určí odchylky průměru od nominální hodnoty (CAD) a porovnají se s naměřenou hodnotou, počítač nám vygeneruje tabulku s jednotlivými stopami a odchylkami a určí nám toleranci.

Tab. 10. Výsledky měření házivosti.

Měřící stopa	Průměr nominální	Průměr naměřený	Obvodová házivost		Stabilita procesu 3DSO	
stopa y=54mm	647,388mm	647,170mm	0,116	v toleranci	-0,005	v toleranci
stopa y=23mm	655,024mm	654,890mm	0,091	v toleranci	-0,011	v toleranci
stopa y=7mm	655,905mm	655,790mm	0,115	v toleranci		
stopa y=-23mm	655,024mm	654,913mm	0,112	v toleranci		
stopa y=-54mm	647,388mm	647,179mm	0,171	v toleranci		
Měřítka zobrazení odchýlkových vektorů v řezech: 300:1						

ZÁVĚR

Při měření modelů z umělého dřeva bylo rozhodnuto, že nový materiál Ebaboard 0780 není vhodný pro náhradu za stávající Necuron 651 a to z důvodů, že přesnost modelů se výrazně od sebe neliší a cena nového materiálu je více jak 2,5 krát větší.

V případě měření geometrie silikonových forem se nový materiál Cenusil M820 ukázal jako vhodná náhrada stávajícího Elastosilu M4512. Cenusil M820 vykazuje lepší zabíhavost do drážek a tím lepší kopírování povrchu. Při počítání předběžných nákladů technik určil, že v případě používání materiálu Cenusil M820 je schopna divize výroby forem ušetřit na nákladech výroby díky změně materiálu až 400 000 Kč za rok a při stále větší tendenci růstu výroby se finanční úspora bude dále zvyšovat.

U sádrových jader byla potvrzena lepší kopírovací vlastnost adičního silikonkaučuku Cenusil M820 oproti kondenzačnímu Elastosilu M4512, což má pozitivní následky pro kontrolu kvality. S procesem přenosu geometrie sádrového jádra na hliníkový blok se už z důvodu technické náročnosti nepočítá, a proto je dále jen uvedena metodika přípravy dalšího stupně výroby pískové formy a následná kontrola hliníkového bloku pomocí 3D měření.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1]. PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu I*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. str. 505. ISBN 80-7204-193-2.
- [2]. PECINA, P. *Materiály a technologie-dřevo*. Brno : MZLU v Brně, 2006. str. 131. ISBN 80-210-4013-0.
- [3]. KAŠTÁNEK, O. *Strojírenské materiály a technologie*. Brno : Rektorát Vysoké učení technické v Brně, 1980. str. 308. ISBN 55-567-80.
- [4]. HERMAN, A. *Nástroje pro výrobu odlitků - modelová zařízení - materiály, výroba*. Praha : autor neznámý, 2009. str. 52. Učební texty k předmětu 2332016 Nástroje pro výrobu polotovarů.
- [5]. MOHYLA, M. *Fyzikální metalurgie a mezní stavy materiálu*. Ostrava : VŠB, 1989. str. 256. ISBN 80-7078-138-6.
- [6]. DOŠKÁŘ, J., a další. *Výroba přesných odlitků*. Praha : SNTL, 1976.
- [7]. HERMAN, A. *Přesné lití na vytavitelný model*. Praha : autor neznámý, 2009. str. 30.
- [8]. DUCHÁČEK, V. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vydání. Praha : VŠCHT, 2006. str. 278. ISBN 80-708-0617-6.
- [9]. WWW.SKOLIL.cz. *Skolil Kompozit*. [Online] Firma Skolil Kompozit s.r.o. [Citace: 25. Leden 2015.] <http://www.skolil.cz/blokove-materialy/32-lici-pryskyice-pro-slevarensky-prmysl>.
- [10]. JORDA, D. *Protetická technologie*. Praha : autor neznámý, 2008. str. 120.
- [11]. RUSÍN, K. *Disperzní formovací materiály*. 2. vydání. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1985. str. 184.
- [12]. NOVOTNÝ, J. *Technologie I. : (Slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. 2. vydání. Praha : ČVUT, 2006. str. 227. ISBN 80-01-02351-6.
- [13]. JELÍNEK, P. *Pojivové soustavy slévárenských formovacích (chemie slévárenských pojiv)*. Ostrava : skripta VŠB, 2004. str. 241.
- [14]. —. *Slévárenství*. Ostrava : skripta VŠB, 2007. str. 256.
- [15]. WWW.STROJNICKETABULKYONLINE.CZ. *Strojnické tabulky online*. [Online] Verlag Dashöfer, nakladatelství, spol. s r.o. [Citace: 20. Prosinec 2015.] <http://www.strojnicketabulkyonline.cz/odlevani/metalurgie-slitin-hliniku/>.
- [16]. PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. str. 396. ISBN 80-7204-248-3.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Dřevěný model. [1]</i>	12
<i>Obr. 2. Překližka. [2]</i>	13
<i>Obr. 3. MDF desky. [3]</i>	14
<i>Obr. 4. OSB desky. [4]</i>	14
<i>Obr. 5. Kovový model. [5]</i>	15
<i>Obr. 6. Vstříkovaný voskový model. [6]</i>	17
<i>Obr. 7. Dávkování pryskyřice. [7]</i>	18
<i>Obr. 8. Pryskyřice a tvrdidlo. [8]</i>	20
<i>Obr. 9. Odlévání dávky silikonu. [9]</i>	23
<i>Obr. 10. Polykondenzační silikon. [10]</i>	24
<i>Obr. 11. Polykondenzační silikon. [11]</i>	26
<i>Obr. 12. Sádrový model. [12]</i>	27
<i>Obr. 13. Otiskovací sádra. [13]</i>	28
<i>Obr. 14. Tvrdá sádra. [14]</i>	28
<i>Obr. 15. Chromitový písek. [15]</i>	29
<i>Obr. 16. Ostřívo pod mikroskopem. [16]</i>	31
<i>Obr. 17. Křemičitý písek. [17]</i>	32
<i>Obr. 18 Šamotové ostřívo. [18]</i>	32
<i>Obr. 19. Uhličitan hořečnatý. [19]</i>	33
<i>Obr. 20. Anorganické pojivo GEOPOL. [20]</i>	34
<i>Obr. 21. Přísada pro hladký povrch. [21]</i>	35
<i>Obr. 22. Čistý hliník. [22]</i>	36
<i>Obr. 23. Píst a ojnice z hliníkové slitiny. [23]</i>	38
<i>Obr. 24. Frézování modelu.</i>	40
<i>Obr. 25. Dodatečná kontrola modelu.</i>	41
<i>Obr. 26. Složený přípravek.</i>	42
<i>Obr. 27. Silikonová forma osazená lamelami.</i>	42
<i>Obr. 28. Nástřík sádry na formu.</i>	43
<i>Obr. 29. Jádru osazené lamelami.</i>	44
<i>Obr. 30. Odlévání hliníkové slitiny.</i>	45
<i>Obr. 31. Očištěný hliníkový blok s nálitky.</i>	45
<i>Obr. 32. Kalibrace stroje Breuchmann.</i>	49

<i>Obr. 33. Geometrie modelu Necuron 651.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 34. Geometrie modelu Ebaboard 0780.</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 35. Geometrie materiálu Elastosil M4512.</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 36. Geometrie materiálu Cenusil M820.</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 37. Automatické mísící zařízení.</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 38. Sádrové jádro z materiálu Elastosil M4512.</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 39. Sádrové jádro z materiálu Cenusil M820.</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 40. Sádrové jádro po vysušení Elastosil M4512.</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 41. Sádrové jádro po vysušení materiál Cenusil M820.</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 42. Řez grafické mapy geometrie hliníkové formy.</i>	<i>62</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Vybrané vlastnosti plněných pryskyřic.[1]</i>	19
<i>Tab. 2. Vybrané vlastnosti neplněných pryskyřic.[2]</i>	19
<i>Tab. 3. Vybrané vlastnosti epoxidových pryskyřic.[3]</i>	21
<i>Tab. 4. Vybrané vlastnosti akrylátových pryskyřic.[4]</i>	21
<i>Tab. 5. Vybrané vlastnosti kondenzačních silikonů.[5]</i>	25
<i>Tab. 6. Vybrané vlastnosti adičních silikonů.[6]</i>	26
<i>Tab. 7. Základní vlastnosti modelů.</i>	50
<i>Tab. 8. Vlastnosti použitých silikonů.</i>	53
<i>Tab. 9. Výpis kalibračního listu míchacího stroje Wöhr.</i>	61
<i>Tab. 10. Výsledky měření házivosti.</i>	63

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI: Materiálový list Necuron 651

Příloha PII: Materiálový list Elastosil M4515

Příloha PIII: Materiálový list Thermomold foam

Příloha PIV: Materiálový list Ebaboard 0780

Příloha PV: Materiálový list Cenusil M820

Příloha PVI: Materiálový list Písku SH33

Příloha PVII: Technický list Stereoscan 3D-HE

PŘÍLOHA P I: MATERIÁLOVÝ LIST NECURON 651

Materiálové listy

Datum vydání: 15.2.2010

NECURON 651

Deskový a blokový materiál, strojově lehce a rychle opracovatelný pro všeobecné modelářství

Oblasti použití: (Hlavní)	Prototypové a kopírovací modely Navrhářské modely Pracovní modely		
Barva:	Hnědá		
Technická data:	Koeficient tepelné roztažnosti (ISO 75): ca. $52 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ Teplotní odolnost: ca. 70 °C Tvrdost Shore D (ISO 868): ca. 67 Pevnost v tlaku (ISO 604): ca. 26 N/mm ² Pevnost v ohybu (ISO 178): ca. 30 N/mm ² Měrná hmotnost: ca. 0,70 g/cm ³ <ul style="list-style-type: none">• neobsahuje žádné halogeny, změkčovadla nebo rozpouštědla• vyrobeno bez přísad znečišťující vodu• fyziologicky bez podezření		
Rozměry: (Standard)	1 500 x 500 x 50	1 200 x 500 x 130	
	1 500 x 500 x 75	1 200 x 500 x 150	
	1 500 x 500 x 100		
	1 500 x 500 x 130		
	1 500 x 500 x 150		
	Povrchy rovnoběžně opracovány, jiné rozměry na zakázku		
Zpracování:	Lepidlo:	NECURON® K6	nebo NECURON® K8 nebo v modelářství obvyklá lepidla/pryskyřice nebo tmely
	Tmel:	NECURON® S6	
	Přelakování:	běžnými spreji nebo pryskyřicemi	
Nástroje:	Nástroje pro zpracování dřeva nebo kovu		

NECURON 651

- neobsahuje žádná plnidla, která uvolňují při broušení nebezpečný prach. Obsah prachu ve vzduchu by přesto neměl překročit 6 mg/m³. Při zpracování by měla být dodržována ochranná opatření, doporučena profesní skupinou chemického průmyslu.

- ve vytvrzeném stavu není žádná nebezpečná látka ve smyslu nařízení o nebezpečných látkách. Její odpady je možno spalovat ve vhodném povoleném zařízení nebo přivážet na povolenou skládku za dodržení zákonných předpisů

- technické údaje a doporučení se vztahují na současný platný stav techniky a zakládají se na naší dlouholeté zkušenosti. Vyhrazuje si další vývoj a vylepšování. Na základě mnohostrannosti v možnostech zpracování doporučujeme vlastní odzkoušení k dosažení optimálních výsledků.

Výrobce: NECUMER-PRODUCT, GmbH, Bruchheide 16, D-49163 Bohmte, Německo
Dovozce: Ing. Miroslav Sikora, Nebory 109, 73961 Třinec, Česká republika

PŘÍLOHA P II: MATERIÁLOVÝ LIST ELASTOSIL M4512

ELASTOSIL[®] M 4512

RTV-2 silikonkaučuk na tvorbu forem

06/ 2013

Tento technický list nahrazuje všechny dosud platné TL.

Obecně: Elastosil M 4512 je dobře odlévatelný dvousložkový silikonkaučuk s kondenzačním vytvrzováním při pokojové teplotě a je:

- dobře tekutý a odplyňující,
- s nízkou tvrdostí Shore A asi 20,
- velmi dobře odolný proti vzniku trhlin
- vysoce průtažný a pružný,
- velmi dobře odolný pro odlévání zejména polyuretanů a polyesterů. Formy mají mimořádně dlouhou životnost.

Použití: Elastosil M 4512 je víceúčelový materiál vhodný zejména na formy k reprodukci modelů s velkými negativními úkosy a na odlévání polyesterů a polyuretanů.

Zpracování: Pokud se bude do formy odlévat **epoxidová** nebo **polyuretanová pryskyřice** použijí se k vytvrzování Elastosilu tvrdidlo Catalyst T21 s dlouhou dobou zpracování a vytvrzování.

Pro formy na odlévání **polyesterů, sádry, betonu** nebo **umělého kamene a vosků** se k vytvrzování použijí tvrdidlo Catalyst T 51 s dlouhou dobou zpracování a vytvrzování.

U obou tvrdidel lze zkrátit dobu zpracování pomocí tvrdidla Catalyst T47. Např. doba zpracování s tvrdidlem T47 v poměru 95:5 (T51:T47) je 30 minut a vytvrzení 4 hodiny.

K vytvrzení je nutná minimálně 50% vzdušná vlhkost.

Tvrdidlo (%hm.)	Doba zpracovatelnosti (min)	Doba vytvrzování (h - nelepivé)
5,0 T 21	cca 60 - 90	8 - 10
5,0 T 51	cca 60 - 90	8 - 10

Doba zpracovatelnosti je interval, při kterém dosáhne při 23 °C a 50% relat. vlhkosti viskozita směsi 100 000 mPas a produkt je ještě odlévatelný.

Podrobné informace o Elastosilech na výrobu forem jsou obsaženy v brožurě „Elastosil M – pružné materiály na výrobu forem k získání dokonalých kopií“ nebo WACKER RTV – 2 silikonkaučuky – zpracování, která poskytuje i další všeobecné poznatky pro zpracovávání těchto materiálů.

Charakteristika produktu:

Barva		bílá
Hustota při 23 °C	g/cm ³	1,20
Viskozita při 23 °C dle ISO 3219	mPa s	30000
Viskozita s 5 % tvrdidla T 51 při 23 °C dle ISO 3219	mPa s	25000

Fyzikální vlastnosti:

Po vytvrzení s 5 % tvrdidla T 51 po 4 dny při 23 °C a 50% relativní vlhkosti

Hustota, 23 °C ponorem	ISO 2781	g/cm ³	1,19
Tvrdość Shore A	ISO 868		20
Pevnost v tahu	ISO 37	N/mm ²	3,5
Protážení do lomu	ISO 37	%	500
Odolnost proti vzniku trhlin ASTM D 624,B		N/mm	>24
Délkové smrštění		%	<0,4

(hodnoty udávají základní informace o produktu a jsou ovlivňovány typem a množstvím použitého tvrdidla)

Skladování:

Elastosil M 4512 je použitelný při skladování v původních neotevřených obalech v rozmezí teplot 5 – 30 °C min. 12 měsíců. Období použitelnosti je vyznačeno na etiketě od výrobce.

Tvrdidla T 21 a T 51 jsou použitelná při skladování v původních neotevřených obalech v rozmezí teplot 5 – 25 °C min. 12 měsíců.

U materiálů, u nichž došlo k překročení stanovené doby použitelnosti (vyznačené na etiketě), tato skutečnost ještě neznamená, že jsou nepoužitelné, ale je třeba je nejprve prakticky odzkoušet.

Bezpečnostní informace:

Elastosil M 4512 silikonkaučuk s kondenzačním typem vytvrzování obsahující pouze složky, které byly po mnoho let testovány a jsou netoxické a neagresivní. Proto není vyžadováno žádné speciální zacházení. Nutno dodržovat všeobecné hygienické předpisy pro pracující v průmyslu.

Tvrdidla T 21 a T 51 obsahují organotin a jsou hořlavá (bod vzplanutí je vyšší jak 50 °C) a ve styku s pokožkou a očima mohou způsobit podráždění. Používejte odpovídající ochranné prostředky.

Podrobné informace jsou uvedeny v příslušném hygienickém a bezpečnostním listu dodávaném na požádání.

Jiné:

Další informace naleznete též na www.wacker.com

Hodnoty, uvedené v tomto technickém listě zobrazují naše dosavadní znalosti, a nezprošťují uživatele nutnosti pečlivého vlastního ověření zpracování a výsledků. Vyhrazujeme si právo na možné pozměnění hodnot produktu v rámci technického zpracování nebo nového vývoje. Doporučení, uvedená v tomto listě musí být u uživatele ověřena předběžnými zkouškami, z důvodu možných odlišných pracovních podmínek, za které nemůžeme nést záruku, zejména pokud se používají produkty jiných výrobců. Tato doporučení nezprošťují uživatele povinnosti, při případném zjištění možného dotčení práv třetích osob, jejich respektování. Uvedená doporučení použití nevytváří záruku, způsobilosti či vhodnosti produktu pro určitý účel použití

Distribuce pro ČR a SK: **Transtech Tooling, s.r.o.**, Vintrova 389/1, 664 41 Popůvky u Brna,
tel: 545 321 258, fax: 545 216 546, e-mail: obchod@tooling.cz, www.tooling.cz

PŘÍLOHA P III: MATERIÁLOVÝ LIST THERMOMOLD FOAM

THERMOMOLD FOAM

Lití kovů

POPIS PRODUKTU

THERMOMOLD FOAM je připravována jako napěněná žáruvzdorná sádra pro odlévání slévárenských forem. Je zvláště vhodná pro odlévání hliníkových slitin pro svou rozměrovou přesnost, vynikající povrchovou stálost a vysokou propustnost.

VÝHODY

- + Vyrobeno přímo pro lití hliníkových slitin
- + Napěněná sádra
- + Dobrá povrchová opracovatelnost

APLIKACE

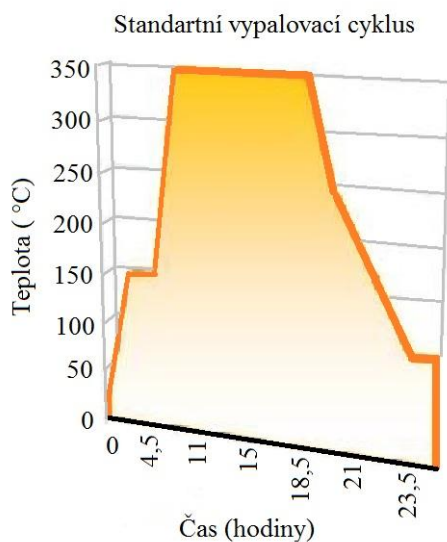
Průmyslové lití, obuv, pneumatiky

TECHNICKÉ INFORMACE

ŽÁRUVZDORNÁ	
% Použité vody	94
Doba míchání (minuty)	3
Pracovní / lici čas (minuty)	4
Počátek tuhnutí (minuty)	7-13
Lineární roztažnost 2 hodiny po začátku tuhnutí %	0.08

Uvedené technické data jsou pouze číselné vyjádření. Pro více informací se obraťte přímo na společnost Saint-Gobain Formula.

NÁVOD K POUŽITÍ



Doporučený poměr mezi sádrrou a vzduchem je může být upraven, ale je nutné přesně zvážit množství hmotnosti vody a sádry.

Příprava modelu:

Model očistěte pomocí stlačeného vzduchu od prachu a aplikujte na něj separační prostředek.

Míchání:

Míchání sádry ve vodě je nejdůležitějším krokem při výrobě sádrové formy a při nesprávném použití může téžce ovlivnit odolnost proti nárazům, tvrdost a absorpční vlastnosti.

Vždy se před začátkem míchání ujistěte, že veškeré vybavení je čisté.

Ujistěte se, že teplota při míchání nepřekročí 20-25°C. Účinnost napěnění sádry silně závisí na teplotě použité vody.

Nasypte sádru do vody a nechte ji nasáhnout po dobu 1 minuty.

Pro ideální míchání by měl mít míchací kotouč průměr 2/3 průměru nádrže, ve které budeme míchání provádět.

Míchejte po dobu 2 až 3 minut při doporučených otáčkách 2000-2500 otáček za minutu. (Vír při míchání by měl tvořit bubliny, které by měly být homogenní).

Pro vytvoření bublin pomocí vysokorychlostního mixéru použijte lopatky vyrobené z kovu, plastu či gumy.

Objem bublin a tím provzdušnění sádry závisí na typu a velikosti mixéru a doby míchání.

Pro více informací o tomto procesu kontaktuje společnost Formula.

Odlitek

Sádra nalijte do formy bezprostředně po míchání. Ujistěte se, že sádra není příliš hustá a příliš tvrdá. Doporučuje se sádra postupně lít tak, aby pomalu pokrývala povrch formy.

Vytvrzení sádry

Nedotýkejte se sádrové formy dokud neproběhne její vytvrzení, aby se zabránilo ve vzniku případných vad na povrchu. Vyjmutí z formy.

Po vytvrzení, zhruba po 45 minutách můžeme se sádrovou formou manipulovat. Tvrdost a propustnost formy je závislá na poměru sádry a vody během míchání.

Vypalování

Vypalování se může uskutečnit v klasické peci nebo v peci s cirkulací vzduchu. Použití trouby s cirkulací vzduchu snižuje čas vypalovacího cyklu.

Tato fáze se obecně provádí při teplotě vyšší než 200°C po dobu 30 až 72 hodin.

Před nalitím kovu se ujistěte, že forma neobsahuje žádnou vlhkost, aby se zabránilo tvorbě nedokonalostí odlitků při odlévání.

Poznámka: Doba sušení je silně závislá na velikosti a počtu sádrových forem v troubě

Kov se do sádrové formy musí nalít bezprostředně po vyjmutí z trouby.

Čištění odlitku

Forma se nechá vychladout a pak se rozbije ponořením do vody a nebo pomocí systému s vysokotlakým čištěním.

BALENÍ A TRVANLIVOST

	Balení k dispozici	Životnost (měsíce)
Pytel	25 kg	12

Pokud je výrobek skladován v suchu a originálním obalu, tak bude mít stanovenou životnost, která začíná datem výroby, jenž je uveden na každém pytli. Trvanlivost záleží na typu obalu. Pro produkty, kde je definovaná minimální trvanlivost se doporučuje zapsat na pytel datum jeho otevření.

ULOŽENÍ

Sádrové výrobky není vhodné ukládat do míst, kde jsou vystaveny povětrnostním vlivům nebo do míst, kde je zvýšená vlhkost.

Absorpce vlhkosti může mít za následek změnu fyzikálních vlastností, včetně navýšení doby tuhnutí, protože minerály obsažené v sádře mohou být ovlivněné vlhkostí.

Pro ochranu sádrové formy ji během používání uzavřete do plastových balíčků, které označíte datem. Formy používejte rotačním způsobem tak, aby nejstarší materiál byl použit jako první.

CERTIFIKACE

Tento výrobek může vytvářet prach. Proto se doporučuje vždy během práce s tímto výrobkem používat ochranu masku a dále se doporučuje zajistit větrání pracoviště.

ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ, ZDRAVÍ A BEZPEČNOST

Materiálové bezpečnostní listy Saint-Gobain

Dokumentace k sádře a sádrovým minerálům jsou k dispozici přímo na webových stránkách v sekci produkt a dokumentace.

Společnost Saint-Gobain Formula nepřijímá žádnou odpovědnost za újmu na zdraví osob nebo poškození majetku nesprávným používáním výrobku.

OZNÁMENÍ

Poměr sádry a vody je používán u Saint-Gobain jako vzorec pro standartní zkušební metodu a není nutné ho používat v praxi. Přesná konzistence použití je individuální. Změna poměru sádry a vody bude mít vliv na výkon produktu, zejména na dobu tuhnutí a pevnost. Pokud nejsou v dokumentu uvedeny jiné metody platí standartní zkušební metody firmy Saint-Gobain Formula. Chcete-li získat kopii zkušebních metod obraťte se přímo na naši společnost Saint-Gobain Formula. Tato literatu ruší a plně nahrazuje všechny přechozí dokumenty. Veškeré informace jsou poskytovány v dobré víře a mohou podléhat změnám. Pokud máte pochybnosti ohledně obsahu nějakých informací doporučujeme se obrátit na naši společnost Saint-Gobain Formula.

KONTAKT

Pro jakékoliv informace navštivte náš web

www.saintgobainformula.com



OBCHODNÍ KONTAKT



DOKUMENTACE



TECHNICKÉ
INFORMACE



GLOBÁLNÍ
INFORMACE

PŘÍLOHA P IV: MATERIÁLOVÝ LIST EBABOARD 0780



Ebaboard 0780

Barva : tyrkysová

Použití - mateční modely
- slévárenské modely
- laminovací nástroje
- design modely
- ukázkové modely

Vlastnosti materiálu – velmi nízká tvorba prachu při opracování
- vysoké hodnoty pevnosti
- dobrá stabilita hran
- velmi jemná struktura

Informace pro zpracování

Výrobek	ebaboard 0780	
Barva	tyrkysová	
Hustota při 20°C	g/cm ³	0,78 ± 0,02

Fyzikální informace

Vlastnost	Typ zkoušky	Jednotka	Hodnota
Pevnost v ohybu	EN ISO 178	MPa	33 ± 1
E-Modul (v ohybu)	EN ISO 178	MPa	1662 ± 60
Ohyb při prohnutí	EN ISO 178	%	3 ± 0,2
Pevnost v tahu	EN ISO 527	MPa	-
Prodloužení při přetržení		%	-
Pevnost v tlaku	EN ISO 604	MPa	31 ± 2
Rázová houževnatost (Charpy)	EN ISO 179	kJ/m ²	5,8 ± 0,2
Tepelná odolnost tvaru dle HDT	DIN EN ISO 75 B	°C	86 ± 1
Tepelná odolnost tvaru	-	°C	-
Tvrdost Shore	DIN ISO 7619-1	Shore D	67 ± 2
Koeficient délkové roztažnosti 20-50°C	DIN 53752	10 ⁻⁶ K ⁻¹	cca 63

Forma dodání:

Ebaboard 0780

1500x500x50 mm
1500x500x75 mm
1500x500x100 mm

Poznámky ke zpracování

Pokyny pro obrábění blokových materiálů

- frézou přerovnat čela
- ohrubovat
- žný
- upnout
- ofrézovat načisto

Frézovací parametry jsou k dispozici.

Pro lepení + opravu bloků doporučujeme naše lepidlo zelené, resp. hmotu na opravy zelenou.

Hmotu na opravu může být současně použita jako rychlé lepidlo za pomoci míchací tabulky pro dosažení různých časů zpracování.

Všeobecně

Materiály **ebaboard** jsou dodávány v omezených rozměrech. Povrch je všestranně opracovatelný. Materiál ebaboard je syntetický a temperovaný deskový materiál na polyuretanové bázi s rovnoměrnou strukturou a planoparalelním obrobitelným povrchem.

Výhody jsou:

- hutná struktura
- stabilita hran
- odolnost proti namáhání
- snadné opracování
- nízká tvorba prachu

Možná rozměrová odchylka je na délku do 1mm, na šířku do 0,5 mm.

U výrobků označených VP se jedná o pokusný výrobek.

Může zde dojít u technických údajů k malým změnám.

Ochranná opatření

ebablock modelové desky jsou produktem polyadice. Pryskyčice neobsahuje žádné plnivo, které by při opracování uvolňovalo nebezpečný prach. Doprava a skladování nepodléhá označení škodlivého nebo nebezpečného výrobku. Pro opracování je nutné dodržet koncentraci případných prachových podílů pod úroveň 6 mg/m³ (MAK hodnota), tak jak je předepsáno pro opracování kovů i dřeva.

Při zpracování tohoto produktu by se mělo dbát ochranných opatření odborového svazu chemického průmyslu.

Řídit se bezpečnostními radami.

Likvidace

Malé množství lze po domluvě s příslušným úřadem likvidovat jako domovní odpad.

Větším množství by mělo být odsouhlaseno s příslušným úřadem.

K upozornění

s největší starostlivostí , ,

PŘÍLOHA P V: MATERIÁLOVÝ LIST CENUSIL M820

WACKER

CENUSIL®

Internet A+B: CENUSIL M 820

RTV-2 SILIKONOVÝ KAUČUK / VÝROBA FOREM

Popis produktu

Tekutý adiční silikonový kaučuk RTV-2, u kterého probíhá vytvrzování za pokojové teploty

Vlastnosti

- vynikající tekutost a samoodvzdušnění
- vysoká odolnost proti roztržení
- tvrdost (Shore A 20)
- míchací poměr 1:1 pro snadné zpracování
- rychlé vytvrzení při pokojové teplotě, které může být urychleno působením tepla
- vynikající dlouhá doba stability mechanických vlastností
- dobrá reprodukovatelnost

Aplikace

Cenusil M820 je vhodný pro veškeré materiály s vysokou reprodukovatelností

Balení

20kg barel nebo 200kg sud

Zpracování:

Smíchejte komponenty A a B v poměru 1 : 1.

Důležitá poznámka:

Platinový katalyzátor je obsažen ve složce A.

Důležité:

Komponenty A a B mohou být společně použity pouze v případě, jestliže mají stejné číslo šarže.

Komplexní pokyny jsou uvedeny v letáku "Wacker RTV-2 silikonové pryže - zpracování"

Skladování

Doba zpracovatelnosti je uvedena na obalu každého výrobku.

Použití po uplynutí data na etiketě je možné, nemusí to totiž nutně znamenat, že výrobek není už možné použít, bude to mít však vliv na vlastnosti materiálu a před použitím je nutné tyto vlastnosti zkontrolovat.

Dodatečné informace:

Pro další informace navštivte naše webové stránky www.wacker.com

Bezpečnostní pokyny

Komplexní pokyny jsou uvedeny v materiálových bezpečnostních listech. Ty jsou k dostání na požádání u společnosti Wacker nebo na webových stránkách WACKER <http://www.wacker.com>

Technické informace

Charakteristika výrobku	Metoda kontroly	Hodnota
Komponent A		
Barva		bílá
Hustota při 23 °C	ISO 2811	1,05 g/cm ³
Viskozita	Brookfield	5000 mPa s
Komponent B		
Barva		bílá
Hustota při 23 °C	ISO 2811	1,05 g/cm ³
Viskozita	Brookfield	5000 mPa s
Údaje o produktu (katalyzátor A+b)		
Míchací poměr	A : B	1 : 1
Barva		modrá
Doba zpracovatelnosti, až do 60000 mPa s		50min
Doba vytvrdnutí, nelepivost		10-12h
Vlastnosti po vytvrdnutí		
Tvrdoost Shore A	ISO 868	20
Pevnost v tahu	ISO 37	4,00 N/mm ²
Délkové prodloužení	ISO 37	500%
Odolnost proti přetržení	ASTM D 624 B	20 N/mm

Po 24 hodinách při 23°C.

Tyto údaje jsou pouze orientační.

Údaje uvedené v tomto médiu jsou v souladu se současným stavem našich znalostí, ale nezprostřují uživatele si pečlivě zkontrolovat všechny hodnoty. Vyhrazujeme si právo na změnu konstant produktů v rámci použité techniky, pokroku a nového vývoje. Doporučená učinění v tomto médiu by měly být zkontrolovány v předběžných studiích, protože podmínky během zpracování nad kterými nemáme žádnou kontrolu se mohou měnit. Doporučení pro použití nepředstavují záruku, ať již vyjádřené nebo jinak naznačené vhodnosti materiálu pro konkrétní účel.

Systém má certifikaci DIN EN ISO 9001 a DIN EN ISO 14001

WACKER® je ochranná známka
Wacker Chemie AG.
CENUSIL® je ochranná známka
Wacker Chemie AG.

Pro technické, jakostní nebo bezpečnostní otázky kontaktujte:
DRAWIN Vertriebs-GmbH
Rudolf-Diesel-Straße 15
85521 Riemerling, Germany
info.silicones@wacker.com
www.wacker.com

PŘÍLOHA P VI: MATERIÁLOVÝ LIST PÍSKU SH33



KERKOSAND

ČLEN SKUPINY QUARZWERKE

Kremenný piesok SH 33

Materiálový list

Kremenný piesok SH 33 je upravená prírodná surovina. Kremenný piesok bol upravený na otierke, prepraný, triedený vodou, triedený na sítach a zbavený organických nečistôt.

Vďaka svojmu gufatému zrnú a chemickému zloženiu je tento druh zvlášť vhodný ako materiál pre zlievárenstvo.

Priebežnými kontrolami zaisťujeme vysokú a trvalú kvalitu.

Forma dodávok: vlhký voľne ložený alebo sušený voľne ložený alebo sušený balený v papierových vreciach, fóliovaný na palete alebo sušený balený vo veľkoobjemových vakoch (big bag).

Zrnitostné rozdelenie

Zrnitosť v mm	Zostatok na sítach v %		Prepad sítom v %
	Smerná hodnota	Garantovaná hodnota	Smerná hodnota
0,71	0,1	max.0,5	99,9
0,5	3	max.4	96,9
0,355	23	15-30	73,9
0,25	38	30-50	35,9
0,18	27	20-35	8,9
0,125	8	3-13	0,9
0,09	0,9	max.2	
<		max. 0,5	

Chemická analýza (hm.-%)

Prvok	Smerná hodnota	Garantovaná hodnota
SiO ₂	97,4	96-98
Al ₂ O ₃	1,5	max.2,3
Fe ₂ O ₃	0,17	max.0,25

Fyzikálne vlastnosti

Sypná hmotnosť	1,5 t/m ³	stredné zrnó (d50)	0,29 mm
Hustota	2,65 t/m ³	AFS-číslo	46
Tvrdosť	7 Mohs	Strata žiháním	<0,3 %
Vyplaviteľné látky	0,2 %	Začiatok spekania*	~1420 °C

*podľa ÖGI

CAS-č.:14808-60-7

EINECS-č.:2388784

HS-č.: 250 510 000

Kremenný piesok je upravená nerastná surovina. Všetky údaje sú smerné hodnoty podmienené geologickými pomermi ložiska a technologickým postupom výroby. Slúžia len k popisu a nepredstavujú garantované vlastnosti. Stopové množstvo hrubších a jemnejších slúžia len k popisu a nepredstavujú uistenie o vlastnostiach (garantované vlastnosti). Stopové množstvo hrubších a jemnejších podielov je možné. Užívateľmi je potrebné posúdiť vhodnosť použitia pieskov pre svoje účely. Na žiadosť radi poskytneme informácie o rozpätí tolerancií a užívateľsko-technických vlastnostiach. Predaj sa realizuje podľa našich predajných a dodacích podmienok.

KERKOSAND spol. s r.o., 90607 Šajdikove Humence 134, Slovensko

Telefon-predaj: +421 34 69400 22; +421 34 69400 23

Fax-predaj: +421 34 69400 17

E-Mail: predaj@kerkosand.sk; kerkosand@kerkosand.sk

www.kerkosand.sk

07/2012

<1854>

PŘÍLOHA P VII: TECHNICKÝ LIST STEREOSCAN 3D - HE



breuckmann
precision in 3D

stereoSCAN^{3D}-HE

TECHNICKÝ LIST

stereoSCAN^{3D}-HE, 5.0 MegaPixel

Technická specifikace

Snímač kamery	b/w, CCD, FireWire® IEEE 1394b	
Rozlišení kamery	2 x 2.452 x 2.054	
Projektor	Miniaturní projekční technika	
Světelný zdroj	Standardní	100W halogenová lampa
	Vysoce výkoný projektor	120W výbojka
Svitivost	Standardní	150 ANSI lumenů
	Vysoce výkoný projektor	2000 ANSI lumenů
Počet projektovaných linií	128	
Minimální doba měření	980 msec	
Hmotnost kamery	6.0 kg (7.7 kg)	
Napájecí zdroj	AC 110 / 230 volt, 50 - 60 Hz	
Řídící jednotka	150 W, USB 2.0	
Operační systém	Windows 7 64 Bit	

Zorné pole

Pozice venkovní kamery	Měřicí úhel:	30 stupňů					
	Základní vzdálenost:	450mm					
	Provozní vzdálenost:	840mm					
Zorné pole [mm] ⁽¹⁾	L-175	L-300	L-400	L-525	L-725	L-950	
Velikost zorného pole [mm] ⁽²⁾	140 x 105	240 x 180	320 X 240	420 x 315	580 x 435	760 x 570	
Hloubka měření [mm] ⁽³⁾	90	150	200	260	360	475	
x,y rozlišení [μm] ⁽⁴⁾	60	100	130	170	240	310	
Rozlišovací limit [μm] ⁽⁵⁾	4	6	8	11	15	19	
Šum (z) [μm] ⁽⁶⁾	± 7	± 11	± 15	± 20	± 27	± 36	
Přesnost měření [μm] ⁽⁷⁾	± 10	± 17	± 23	± 30	± 42	± 55	

Pozice vnitřní kamery	Měřicí úhel:	30 stupňů		
	Základní vzdálenost:	200 mm		
	Provozní vzdálenost:	340 mm		
Zorné pole [mm] ⁽¹⁾	S-060	S-125	S-250	
Velikost zorného pole [mm] ⁽²⁾	48 x 36	100 x 75	200 x 150	
Hloubka měření [mm] ⁽³⁾	30	60	125	
x,y rozlišení [μm] ⁽⁴⁾	20	40	80	
Rozlišovací limit [μm] ⁽⁵⁾	1	3	5	
Šum (z) [μm] ⁽⁶⁾	± 2	± 5	± 9	
Přesnost měření [μm] ⁽⁷⁾	± 5	± 7	± 14	



Anotace:

Všechny zorné pole lze realizovat pomocí stejné základní součásti, videokamery, projektoru a zařízení pomocí pouhé změny cílů kamer / projektorů a v případě potřeby změnou pozice kamer.

Pro zjednodušení nastavení a kalibrace standardních měřicích rozsahů, jsou k dispozici pouze speciální testované čočky pro každé zorné pole. Čočky jsou dodány s továrním nastavením clony a hloubkou ostrosti, které jsou optimalizovány pro odpovídající zorné pole, a tyto hodnoty nesmí být změněny uživatelem.

Upozornění:

Všechny údaje uvedené v tomto technickém listu se vztahují pouze na jednotlivé snímky.

Uvedené specifikace měření jsou průměrné hodnoty pro střední rozsah měření dosažené za definovaných podmínek měření a poté přesné kalibrace snímače. Přesnost a rozlišovací schopnost jsou závislé na povrchu objektu a podmínkách snímání.

(1) Všechny hodnoty uvedené v tomto listu jsou aproximací hodnoty označující pořadí hodnoty. Například, je-li zorné pole "400", může mít obraz s úhlopříčkou mezi 375 a 425 mm.

(2) Velikost zorného pole se vztahuje na nulovou hodnotu.

(3) Maximální prodloužení ve směru osy z.

(4) Hodnoty pro laterální rozlišení jsou teoreticky vypočteny (poměr zorného pole a počtem pixelů kamery čipu)

(5) Rozlišovací limit je definován jako teoretická přesnost (poměr zorného pole a počtem pixelů kamery čipu).

(6) Hodnota šumu je měřena jako odchylka naměřených bodů. Šum z naměřených 3D dat velmi záleží na šumu snímacího čipu kamery.

(7) Přesnost funkce je definována podle VDI 2634/2.

©Breuckmann GmbH
Průmyslové 3D zpracování a automatizace
Torenstr.14 · 88709 Meersburg Německo
Tel: +49 (0) 75 32 - 43 46 0
Fax: +49 (0) 75 32 - 43 46 50
info@breuckmann.com
www.breuckmann.com