



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY ODLITKŮ POTRUBÍ ZE SLITIN AL METODOU SKLOPNÉHO LITÍ

PROPOSITION OF CASTING TECHNOLOGY OF ALUMINIUM MANIFOLDS CAST BY TILT METHOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ivo Spáčil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Ivo Spáčil**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.**
Akademický rok: 2017/18

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

Návrh výroby odlitků potrubí ze slitin Al metodou sklopného lití

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh řešení technologie kovové slévárenské formy při odlévání metodou sklopného lití, zpracování podkladů konstrukční dokumentace.

Cíle bakalářské práce:

Navržení technologie formy pro odlévání hliníkových odlitků sacího potrubí metodou sklopného lití. Optimalizace teplotních parametrů lití a tuhnutí.

Seznam doporučené literatury:

Aluminium Casting Technology, 2nd Edition, AFS Inc. Des Plaines, Illinois, USA, 1993. ISBN 0-87433-157-9.


Aluminium Permanent Mold Handbook, AFS Inc. Des Plaines, Illinois, USA, 2001. ISBN 0-87433-250-8.

MICHNA, Š. a kol. Encyklopedie hliníku. Prešov: ADIN, s.r.o, 2005. ISBN 80-89041-88-4.

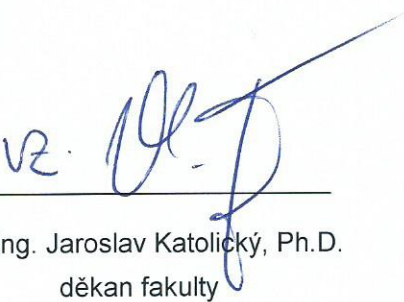
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18.

V Brně, dne 30. 10. 2017





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

SPÁČIL Ivo: Návrh výroby odlitků potrubí ze slitin Al metodou sklopného lití

Popis teoretických faktorů pro odlévání do kovových forem. Ukázalo se, že pro tenkostěnné odlitky je nejvhodnější metodou sklopné lití. Sklopné lití potlačuje turbulenci taveniny a dosahuje usměrněného tuhnutí. Pro experiment se zkoušely a měřily 2 kokily. Při měření teplotního režimu se prokázala menší teplota lící jamky než ostatních částí kokily, což mohlo zapříčinit řadu vad. Provedlo se ověření technologie forem. Pro dosažení přesnosti odlitku je nutné respektovat různá smrštění podle tvaru odlitku.

Klíčová slova: Kokila, teplotní režim, sklopné lití, lící jamka, sklápěcí rychlost

ABSTRACT

SPÁČIL Ivo: Proposition of casting technology of aluminium manifolds cast by tilt method

Description of the theoretical factors for casting into metal molds. For thin-walled castings it has turned out that the most advantageous method is tilt casting. Tilt casting reduces the turbulence of the melt and reaches a directed solidification. Two molds were tested and measured for the experiment. During measuring the temperature regime was established lower temperature of the pouring basin than the other parts of the mold, which could cause a many of defects. The verification of mold technology has been performed. To achieve the accuracy of the casting, it is necessary to respect the different shrinkage according to the shape of the casting.

Keywords: Mold, the temperature regime, Tilt casting, pouring basin, tilting velocity

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SPÁČIL, Ivo. *Návrh výroby odlitek potrubí ze slitin Al metodou sklopného lití*. Brno, 2018. 39 s, 2 výkresy, 9 příloh, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor slévárenství. Vedoucí práce doc. Ing. Jaromír Roučka, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 23.5.2018

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji:

Doc. Ing. Jaroslavu Roučkovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Společnosti MOOD International, s.r.o. za výrobu formy.

Společnosti KOVOLIT Česká, s.r.o. za experimentální odzkoušení odlití formy, provedení měření teplotního režimu forem a měření rozměrů odlitku.

Rodině a přítelkyni za podporu v průběhu tvorby práce.

OBSAH

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR VYVÍJENÝCH SOUČÁSTÍ	10
1.1 Technologie lití hliníkových slitin	11
2 SLÉVÁRENSKÉ SLITINY HLINÍKU	13
2.1 Al-Si – Siluminy	13
2.1.1 Materiál odlitku K-252.....	14
2.1.2 Materiál odlitku K-251.....	15
3 TECHNOLOGIE KOVOVÝCH FOREM PRO SKLOPNÉ LITÍ	17
3.1 Vtoková soustava	18
3.2 Kovová forma pro sklopné lití	20
3.3 Problematika rozměrových změn formy a odlitku	21
3.4 Konstrukce formy pro odlitek K-252	22
3.5 Konstrukce formy pro odlitek K-251	23
4 STROJ PRO SKLOPNÉ LITÍ	24
4.1 Popis stroje	24
5 VADY ODLITKŮ	25
6 OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE NA VYBRANÝCH FORMÁCH	26
7 MĚŘENÍ	31
7.1 Měření teplot	31
7.1.1 Měření teplot kokily a odlitku K-252.....	32
7.1.2 Zhodnocení teplotního režimu kokily K-252.....	33
7.1.3 Měření teplot kokily a odlitku K-251.....	34
7.1.4 Zhodnocení teplotního režimu kokily K-251.....	35
7.2 Měření rozměrů	36
7.2.1 Měření rozměrů odlitku K-252.....	36
7.2.2 Zhodnocení smrštění odlitku K-252.....	36
7.2.3 Měření rozměrů odlitku K-251.....	37
7.2.4 Zhodnocení smrštění odlitku K-251.....	38
8 ZÁVĚRY	39

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

Hliník a jeho slitiny dnes mají velké zastoupení v našich životech. V současné době nejpoužívanějším konstrukčním materiálem, kromě ocelí, jsou slitiny hliníku. Hliníkové slitiny jsou nejvíce známé, protože nabízejí výhodný poměr pevnosti a hmotnosti a jsou poněkud snadnější na odlití. Hliník má menší vodivost než měď, ale je třikrát lehčí. Jsou určeny k výrobě tvarových odlitků. Hrubá struktura s nejnižšími pevnostními charakteristikami vzniká při lití do písku, jemná struktura s lepšími vlastnostmi se tvoří při lití do kovových forem. Výroba odlitků ze slitin hliníku do kovových forem, je významnou technologií, která našla užití v celé řadě průmyslových odvětví, jako jsou automobilový průmysl, elektrotechnika, přístroje, zboží široké spotřeby a podobně.

Firma MOOD International s.r.o., kterou mi byla zadána bakalářská práce se zabývá výrobou kovových forem pro gravitační lití a nízkotlaké lití. Vyrobene formy byly dodány do slévárny KOVOLIT Česká s.r.o., kde budou odzkoušeny formy a technologie sklopného lití a následně bude zahájena sériová výroba.

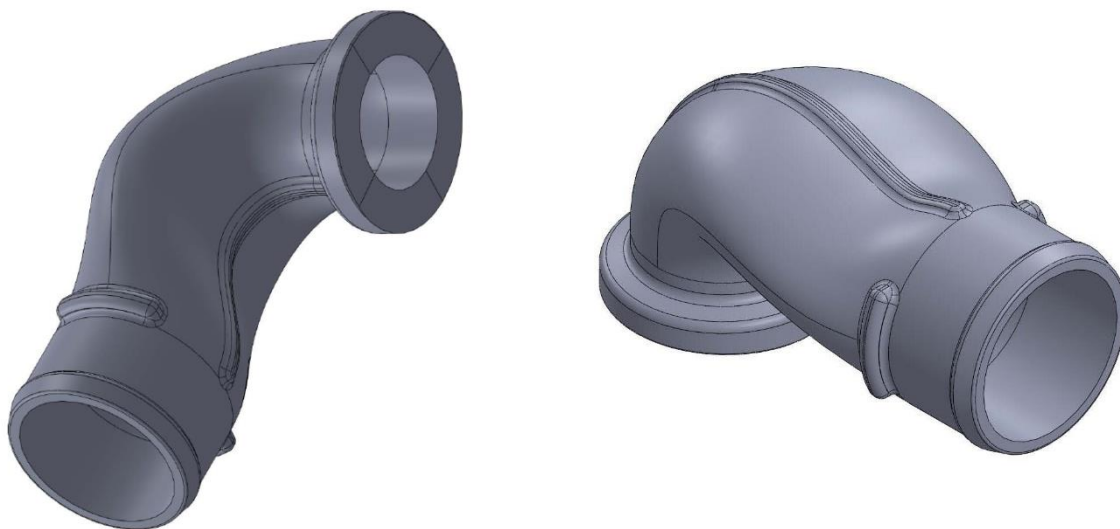
Provedl jsem měření teplotního režimu formy a měření rozměrů odlitků se zaměřením na smrštění. Výsledné rozměry odlitku jsem porovnal s rozměry na výrobním výkresu dle požadavku zákazníka slévárny KOVOLIT.

Při vypracování jsem vycházel z mě doporučené a dostupné literatury a ze zkušeností firmy MOOD a slévárny KOVOLIT.



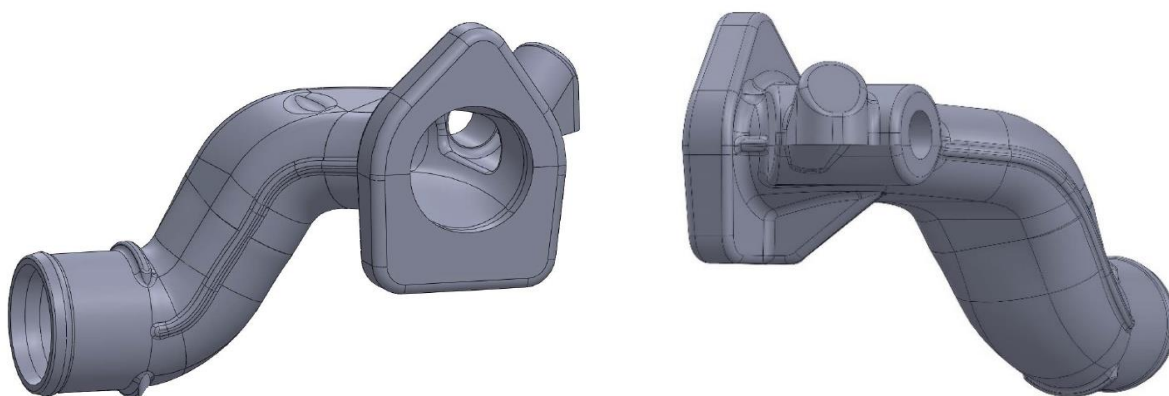
Obr. 1 Příklady hliníkových odlitků [6]

1 ROZBOR VYVÍJENÝCH SOUČÁSTÍ



Obr. 2 Model odlitku K-252

Model odlitku s názvem K-252 na Obrázku č. 2 je vzduchové potrubí pro automobily, které je vyrobeno ze slitiny s označením EN AC- AlSi8Cu3 . Výrobní tolerance rozměrů jsou dle ISO 8062-3. Tloušťka stěny potrubí je 5 mm. Model odlitku má podle výpočtového programu SolidWorks hmotnost 0,540 kg.



Obr. 3 Model odlitku K-251

Druhý model odlitku s názvem K-251 na Obrázku č. 3 je zatočené chladicí potrubí, které je vyrobeno ze slitiny s označením EN AC- AlSi10Mg(a) . Výrobní tolerance rozměrů jsou dle ISO 8062-3. Stěny potrubí mají tloušťku 5 mm. Model odlitku má podle výpočtového programu SolidWorks hmotnost 0,683 kg.

Při výrobě obou odlitků bude nutno použít pískové jádro, tato podmínka je důležitá pro volbu správné technologie lití. Oba odlitky budou po odlití opracovány, proto jsou vysoké nároky na vnitřní jakost bez ředin a oxidů.

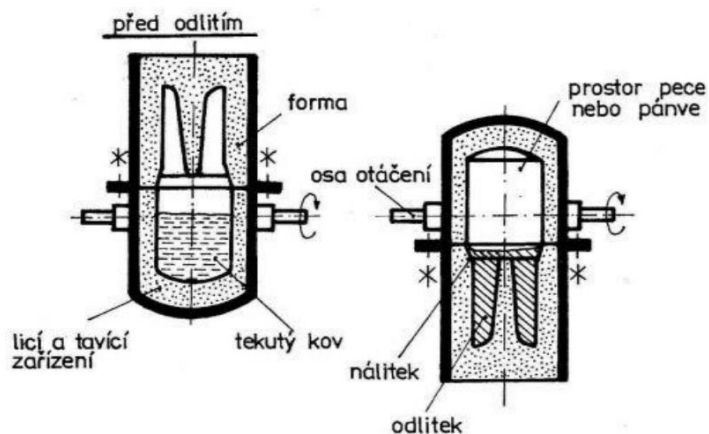
1.1 Technologie lití hliníkových slitin [1], [7], [8], [9], [10], [11] [12], [13]

Výroba tenkostěnného potrubí je obtížná výrobními technologiemi jako jsou svařování, třískové obrábění nebo tváření. Jedinou vhodnou výrobní technologií je slévárenství.

Pro výrobu dané součásti existuje více slévárenských metod. Kritéria pro volbu technologie jsou tvar součásti, tloušťka stěn, využití pískového jádra, přesnost, vnitřní jakost, jakost povrchu. Vzhledem k zaměření na kokilové lití, nebudeme uvažovat metodu odlévání do pískových forem.

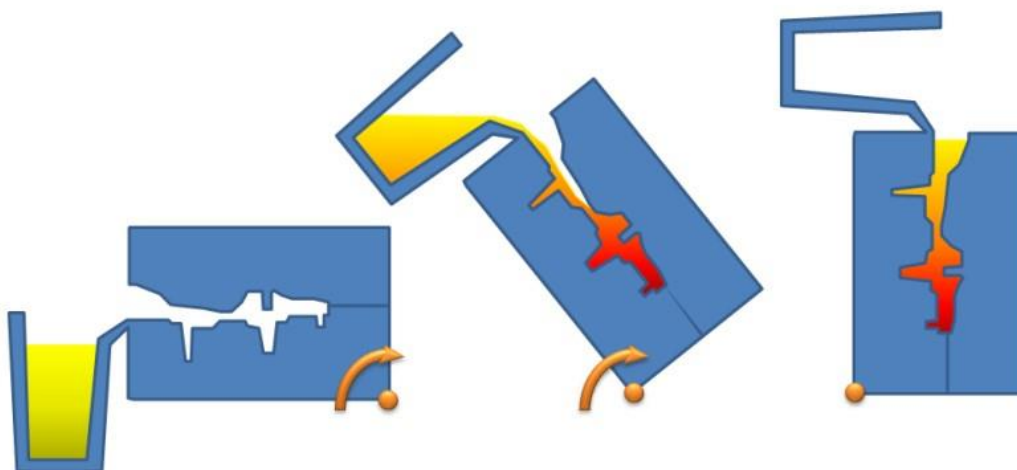
- **Nízkotlaké lití** – Proces, při kterém z udržovací pece je vytlačován kov pomocí přetlaku plynu. Přetlak je tvořen vysušeným vzduchem nebo plynným médiem o velikosti 0,03 až 0,05 MPa. Pec se nachází pod nízkotlakým strojem. Tavenina proudí do kovové formy trubici. Jeden konec plnicí trubice je zasunut do udržovací pece, druhý konec se zavede do dutiny kovové formy. Přetlak trvá do ztuhnutí odlitku. Plnicí trubice plní funkci vtoku i nálitku a může obsahovat filtry. Při této technologii je zajištěno klidné proudění kovu do formy bez turbulencí, tedy minima oxidů. Další výhodou je vysoké využití kovu 90-95 %. Odlitky jsou povrchově a vnitřně vysoce kvalitní, jsou bez vměstků a vnitřních vad. Užívá se například při výrobě kol z lehkých slitin. Konstrukce formy je navržena pro usměrněné tuhnutí shora dolů, výhodou je zásobárna kovu z plnicí trubice.
- **Tlakové lití** – Pomocí vysokého tlaku je možné vyrábět tvarově složité, tenkostěnné a přesné odlitky s hladkým povrchem. Odlitky mohou být vyrobeny bez přídavků na obrábění. V první fázi výroby se roztaveným kovem naplní plnicí komora tlakového stroje. V druhé fázi se plní dutina formy roztaveným kovem, vtokem prochází velké množství kovu velkou rychlostí. Roztavený kov je vstříkovan do dutiny kovové formy v krátkém čase pod tlakem 2-250 MPa. Další fáze spočívá v dotlaku (60–100 MPa) kovu do formy, nárůstem hydrodynamického tlaku. Poslední fází je odstranění tlaku a při tuhnutí je přítomný pouze hydrostatický tlak. Výrobní stroje se dělí na 2 základní typy: se studenou a s teplou komorou. Technologie je vhodná pro velké série, především pro slitiny neželezných kovů, kvůli středně vysoké teplotě lití. Ze všech technologií má vyšší pořizovací cenu stroje a zhotovení formy. Při tuhnutí vzniká vnitřní pomezita, odlitek ztrácí těsnost, proto tato technologie není vhodná pro zhotovení tenkostěnných odlitků s vysokými nároky na vnitřní jakost. Hlavními nevýhodami jsou vysoká pořizovací cena, ale především technologie tlakového lití neumožňuje použití pískových jader při výrobě složitých vnitřních dutin odlitku.
- **Gravitační lití do kokil** – Tavenina je přivedena do formy za působení pouze gravitačních sil. Gravitační lití je vhodné pro středně tvarově složité, malé a velké odlitky. Výrobky mají vysokou kvalitu povrchu a vyšší rozměrovou přesnost. Kovová forma není prodyšná a odvzdušnění formy musí být řešeno při konstrukci formy. Náklady na zhotovení formy jsou vyšší. Lze použít kovová i písková jádra. Odlévání probíhá na stacionárních licích strojích. Technologie se používá pro vyšší série a pro slitiny se středně vysokou teplotou tavení. Nežádoucí vysoký odpor formy při smršťování v době tuhnutí.

- **Rotacast** – V České literatuře takto nazýváno sklopné lití. Forma je připevněna na pec shora. Pec udržuje teplotu taveniny a vyhřívá formu. Obsah taveniny v peci se rovná obsahu dutiny ve formě. Stroj formu s pecí překlápá o 180° a tavenina se přelee z pece do dutiny formy. Rozžhavená pec pak snižuje rychlost tuhnutí nálitku. Výhodou je klidný tok kovu a usměrněné tuhnutí. Nevýhodou je časová náročnost.



Obr. 4 Princip metody rotacast [12]

- **Gravitační sklopné lití** – V anglické literatuře se nazývá Tilt casting. Jedná se o vylepšenou nízko turbulentní metodu gravitačního lití. Metoda je vhodná pro velkosériovou výrobu středně velkých odlitků se střední tvarovou složitostí. Odlévá se do kovových i pískových forem. Stroj se sklápí kontrolovanou rychlostí společně s formou. Umístění odlitku ve formě a vtoková soustava s nálitky musí být umístěny tak, aby bylo zajištěno usměrněné tuhnutí odlitku. Technologie je vhodná pro odlitky s velkými nároky na vnitřní jakost. Z těchto důvodů jsme zvolili gravitační sklopné lití pro výrobu zadaných součástí.



Obr. 5 Princip sklopného lití [13]

2 SLÉVÁRENSKÉ SLITINY HLINÍKU [1], [2], [4], [9], [11]

Hliník se řadí mezi neželezné kovy. Mechanické vlastnosti se při teplotách pod 0 °C se nemění. Teplotou nemění, proto je vhodné použití za nízkých teplot. Naopak za zvýšených teplot se mechanické vlastnosti snižují, a to již při teplotách kolem 200 °C. Jednou z výhod hliníku je nízká hmotnost a dobrá pevnost. Mezi nevýhody se řadí nízká tvrdost a horší obrobiteľnosť.

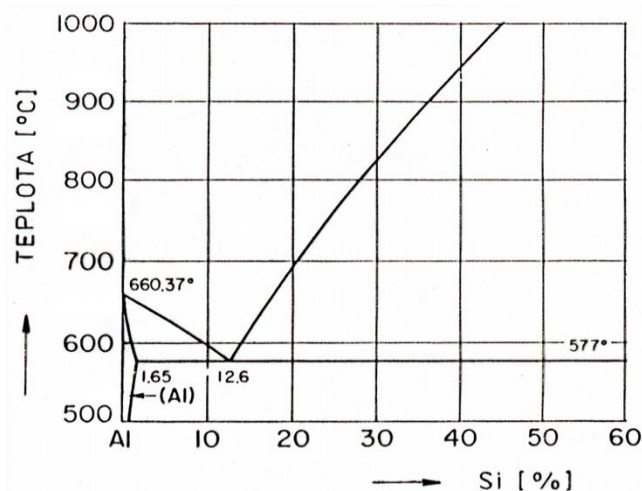
Čistý hliník se ve slévárenství neodlévá, používají se jeho slitiny, kde základní prvek tvoří hliník. Druhy slitin Al se dělí podle hlavního přísadového prvku (Si, Cu, Mg, Zn). Dalšími prvky ve slitinách jsou legury pro zlepšení mechanických vlastností a doprovodné prvky. Slitiny obvykle mají teplotu tavení nižší, kvůli přítomnosti přísadových prvků. Slévárenské hliníkové slitiny mají řadu výhod oproti jiným slévárenským slitinám. Některými z nich jsou nízká teplota tavení, úzké pásmo tuhnutí, dobrá zabíhavost a odolnost vůči korozi. Jsou určeny k výrobě tvarových odlitků.

Tab. 1 Fyzikální vlastnosti čistého hliníku [9]

Chemická značka	Al
Teplota tavení	660 °C
Hustota	2 700 kg/m ³
Krystalická mřížka	Kubická plošně centrovaná

2.1 Al-Si – Siluminy [4], [5], [9], [12]

Nejrozšířenější slitinou hliníku je silumin. Je tvořen hlavním přísadovým prvkem, kterým je křemík. Při eutektické teplotě (577 °C) je rozpustnost čistého křemíku pouze 1,65 % a při nižší teplotě rozpustnost klesá. Slévárenské slitiny vždy přesahují maximální rozpustnost Si, tedy obsahují vždy eutektikum. Eutektické siluminy mají lepší slévárenské vlastnosti. Hlavní výhodou křemíku je, že při zvyšování jeho obsahu se zužuje interval tuhnutí a tím i skoro všechny slévárenské a technologické vlastnosti. Dále zlepšuje zabíhavost taveniny, snižuje smrštění a vznik mikrosraženin, zvyšuje korozní odolnost, snižuje tepelnou roztažnost a sklon k tvorbě trhlin za tepla. Křemík nemá vliv na pevnost a tažnost. S rostoucím obsahem křemíku roste i cena slitiny. Pro zlepšování mechanických vlastností se siluminy legují mědí, hořčíkem nebo niklem.



Obr. 6 Rovnovázný diagram Al-Si [9]

Slitiny tohoto typu lze rozdělit podle procentuálního obsahu křemíku:

- Podeutektické – 7-10 %
- Eutektické – 11,5-13 %
- Nadeutektické – 14-17 %

Ze speciálních siluminů s přísadami a legurami jsou odlévány tvarově složité a tenkostěnné odlitky všeho druhu včetně velkorozměrných, např. skříně spalovacích motorů a převodovek, písty a hlavy válců řemenice, pouzdra, disky kol, součásti pro letadla.

Pevnost a současně i tvárnost siluminů lze zvýšit zjemněním krystalů křemíku v eutektiku:

- Podchlazením taveniny zvýšenou rychlostí ochlazování a následně pak vyšší rychlostí eutektické přeměny s tvorbou normálního eutektika
- Modifikací malým množstvím alkalických kovů (sodíku, lithia, stroncia)

První způsob je použitelný jen pro odlitky tenkostěnné, odlévané do kovových forem, na druhou stranu druhý způsob je univerzálnější. Siluminy eutektické a nadeutektické mají po modifikaci strukturu podeutektických siluminů.

Převážná část odlitků z hliníkových slitin se používá v tepelně nezpracovaném stavu. Stejně tomu je u obou odlitků z již uvedených materiálů. Tyto odlitky se používají v litém stavu, slitina pro odlitek K-252 se samovolně vytvrdí za studena. Druhá slitina pro odlitek K-251 se používá v litém stavu. V našem případě zákazník tepelné zpracování nepožadoval.

2.1.1 Materiál odlitku K-252 [9]

Pro výrobek byl zákazníkem stanoven materiál na označení EN AC-AlSi8Cu3, který má vhodné chemické i mechanické vlastnosti pro danou součást.

Označení materiálu odlitku K-252:

- Číselné označení – EN AC – 46200
- Chemické označení – EN AC – Al Si8Cu3

Tab. 2 Chemické složení slitiny EN AC – 46200 [9]

Chemické složení – EN-AC-Al Si8Cu3				
Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
7,5-9,5	Max 0,8	2,0-3,5	0,15-0,65	0,05-0,55
Ni [%]	Zn [%]	Pb [%]	Sn [%]	Ti [%]
Max 0,35	Max 1,2	Max 0,25	Max 0,15	Max 0,25
Mechanické vlastnosti pro lití do kovové formy				
Stav	Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Rp 0,2 [MPa]	Tažnost A_{50mm} %	Tvrdość dle Brinella [HBS]
Litý	170	100	1	75

Vlastnosti a použití materiálu:

Mechanické vlastnosti se vyznačují nízkou pevností i tažností. Pro zlepšení mechanických vlastností se obvykle vytvrzuje, nikoli za tepla, ale samovolným vytvrzováním. Speciální silumin s mnohostranným využitím pro tvarově složitější odlitky a tenkostěnné odlitky s pevností za zvýšených teplot. Slitina je podeutektická s obsahem křemíku od 7,5 do 9,5 %.

Je dobře obrobitelná a má velice dobré slévárenské vlastnosti. Při tuhnutí má velmi malý sklon k vnitřním a vnějším staženinám. Vhodná pro složité strojní součásti, odlitky pro automobilní průmysl.

2.1.2 Materiál odlitku K-251 [9]

Pro druhý výrobek byl zákazníkem stanoven materiál s označením EN AC-ALSi10Mg(a), který má vhodné chemické i mechanické vlastnosti pro danou součást.

Označení materiálu odlitku K-251:

- Číselné označení – EN AC – 43000
- Chemické označení – EN AC – AlSi10Mg(a)

Tab. 3 Chemické složení slitiny EN AC – 43000 [9]

Chemické složení – EN-AC-Al Si10Mg(a)				
Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]
9,0-11,0	Max 1,0	Max 0,10	Max 0,55	0,2-0,5
Ni [%]	Zn [%]	Pb [%]	Sn [%]	Ti [%]
Max 0,15	Max 0,15	Max 0,15	Max 0,05	Max 0,20
Mechanické vlastnosti pro lití do kovové formy				
Stav	Mez pevnosti Rm [MPa]	Mez kluzu Rp 0,2 [MPa]	Tažnost A _{50mm} %	Tvrdost dle Brinella [HBS]
Litý	180	90	2,5	55

Vlastnosti a použití materiálu:

V litém stavu slitina nemá příznivé vlastnosti, má nízkou pevnost i mez kluzu, tažnost i tvrdost jsou také nižší. Zlepšení mechanických vlastností se dosahuje tepelným zpracováním. Speciální silumin s nízkým obsahem doprovodných prvků, vměstků. Má úzké pásmo tuhnutí a díky tomu má výbornou tekutost a zabíhavost. Slitina je lehce podeutektická, obsah křemíku se může pohybovat od 9,0 do 11,0 %. Slitina se vyznačuje velmi dobrou obrobitelností a výbornou svařitelností. Tento materiál korozivzdorný. Při tuhnutí neutváří vnitřní staženiny nebo trhliny. Modifikuje se sodíkem při odlévání do pískových forem, ale modifikace se doporučuje i pro kokilové lití. Užití pro složité odlitky s vysokou pevností a houževnatostí. Dále se používá pro tenkostěnné odlitky s vysokou těsností nebo pro součásti, které jsou vysoce mechanicky namáhané jako brzdové čelisti a ventilátory.

Chemické složení materiálů pro odlitky užívaných ve slévárně KOVOLIT naleznete v Příloha 1 a 2.

Tavba

Slitiny obou uvedených materiálu byly taveny v udržovací peci v blízkosti liciho sklopného stroje. Důvodem použití udržovací pece pro tavbu je kusová výroba zkušebních odlitků K-252 a K-251 pro odeslání zákazníkovi ke schválení.

Slitiny se taví z housek požadovaného složení. Následně slévárenský pracovník nasypal do taveniny rafinační sůl (Příloha 3), poté taveninu promíchal. Pomocí zvonu zasunul na dno kelímku modifikační tabletu (Příloha 4). Modifikace se opakovala každou hodinu a rafinace kovu byla prováděna každé dvě hodiny.

3 TECHNOLOGIE KOVOVÝCH FOREM PRO SKLOPNÉ LITÍ [7], [8], [9]

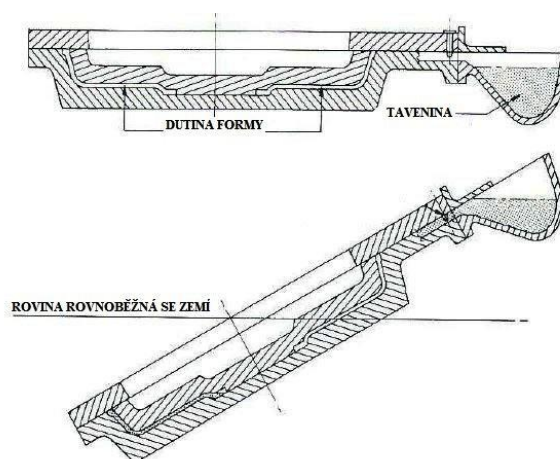
Sklopné lití je vylepšená metoda gravitačního lití, protože tavenina je přivedena do formy kontrolovanou rychlostí. Forma je připevněna ke stroji pro sklopné lití. Tavenina se naleje do licí jamky a stroj s formou se sklopí. Stroj je ovládán hydraulickými válci pro klidný tok materiálu ve formě. Součástí formy bývají vyhazovače pro uvolnění odlitku z formy. Pro sklopné lití lze použít kovová i písková jádra.

Uspořádání formy musí být kompatibilní s procesem lití, pokud se očekává nákladově efektivní produktivita a kvalita. Jedním ze základních technologických kroků při výrobě kvalitních odlitků ze slitin hliníku je vhodné umístění odlitku v dutině formy a k němu správně navržený vtokový systém s nálitky.

To znamená:

- Stálé a úplné naplnění dutiny taveninou
- Odlitek by měl chladnout rychle a bez defektů
- Požadovaný tvar musí být z kokily lehce vyjmutelný

Tloušťka stěn by neměla být rozdílná, pokud to tvar dovoluje, a spojení mezi stěnami by se mělo plynule plnit. Během plnění se přehřátá tavenina chová jako hydraulická kapalina. Ostrým rohům by se mělo také vyhýbat, protože je zde větší odvod tepla a kov ztrácí tekutost se snižující se teplotou. Turbulence taveniny vznikají právě v ostrých rozích. Kokilové lití potřebuje vhodné umístění dělicí roviny.



Obr. 7 Průběh lití ve formě při sklopném lití [1]

Proces lití

Předehřev formy je zajištěn plynovým hořákem na provozní teplotu 330 °C. Vnitřní strana formy byla ošetřena ochranným nátěrem pomocí pistole. Ošetřena byla jak horní, tak i spodní část formy včetně licí jamky. Ochranný nátěr chrání formu a jamku před vlivem teploty taveniny a zajišťuje hladší povrch výrobku, avšak při tom dochází ke snížení teploty formy. Po nástřiku byla forma opět předehřáta na provozní teplotu.

Po založení jádra se forma uzavře. Pracovník odstraní strusku v udržovací peci a nabere taveninu do ruční licí pánve. Roztavený kov poté nalije do licí jamky a stiskne nožní pedál pro sklápění stroje s formou. Ve sklopné poloze probíhá tuhnutí. Rychlost sklápění formy je možné řídit v jednotlivých úsecích sklápění. Dobu chladnutí odlitku ve formě je potřebné řídit. Nejvýhodnější by bylo řídit dobu otevření formy podle teploty formy, což je obtížné. V praxi se proto používá řízení časem anebo obsluha kontroluje ztuhnutí odlitku podle tuhosti nálitku. Nožním pedálem je dán signál pro sklopení stroje do původní vertikální polohy. V této pozici je forma rozevřena a pomocí vyhazovačů je odlitek uvolněn z kovové formy. Odlitek lze kleštěmi vyjmout a přesunout na stanovené místo k volnému chladnutí. V otevřené formě lze formu a licí jamku očistit stlačeným vzduchem od zbytku kovu a jader. Vložení dalšího jádra je zahájen další cyklus.

3.1 Vtoková soustava [5], [7], [8], [14]

Vtoková soustava zajišťuje plynulé a správné plnění formy. Tavenina musí proudit plným profilem vtokového kůlu do formy. Správné provedení vtokového systému je takové, že čistá tavenina protéká přes licí jamku do vtokového kanálku a zajišťuje plynulé plnění.

Čtyři hlavní body, které umožňují správný vtokový systém jsou:

- Čistý roztavený kov
- Plynulé plnění
- Rovnoměrné plnění
- Úplné plnění

Dutina musí být naplněna čistou taveninou, aby se zabránilo vniku strusky a vměstků, což naopak minimalizuje povrchovou nestabilitu. Pokud má forma vhodnou vtokovou soustavu, snižuje se tvorba oxidů v důsledku turbulentního toku taveniny.

Požadavky na vtokový systém:

- Roztavená slitina by měla proudit vtokem bez turbulencí a přerušování toku taveniny, aby se zabránilo přisávání vzduchu
- Slévárenský pracovník by měl být schopen rychle zaplnit vtokovou soustavu.
- Zabránit nezaběhnutím a studeným spojům
- Vtokový systém by měl být navržen tak, aby se dal snadno oddělit od odlitku celý vtokový kanál, který po celou dobu odlévání bude plný

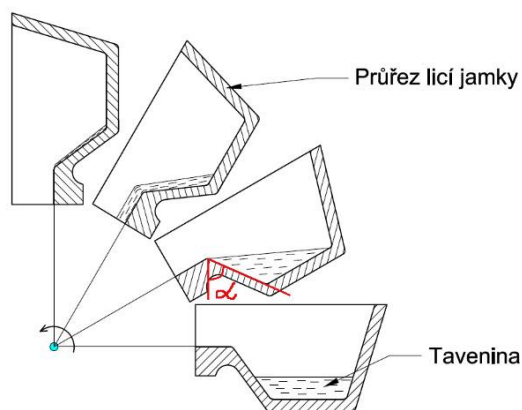
Licí jamka

Do licí jamky se naleje tavenina, která se částečně uklidní od turbulencí, vzniknutých přeléváním kovu. Obvykle je vyrobena z oceli nebo šedé litiny. Licí jamka je přišroubována přímo na část formy. Měla být navržena, aby minimalizovala teplotní ztráty. Jamka může mít různé tvary. Tvar „V“ při vstupu roztaveného kovu do vtokového systému, zachycuje na dně jamky zoxidovanou strusku. Její tvar by měl zajišťovat klidné a plynulé plnění.

Důležitý je výstupní úhel (α) na vyústění jamky (Obr. 8), který nám udává, pod jakým úhlem sklopení začne tavenina proudit z licí jamky do vtokového systému kokily.

Nad vyústění licí jamky do formy může být přidána ochranná stříška, které zabraňuje vylití kovu. To v případě, že by sklápěcí rychlost stroje byla příliš velká a objem licí jamky by se nestihl v čas nalít do dutiny formy, případně by přetekl.

Nástřík se aplikuje i na licí jamku, aby se snížil přechod tepla mezi taveninou a jamkou, dále aby jamka měla vyšší životnost. Přestože je její odšroubování a výměna není nějak složitá, snižuje se efektivnost výroby a stoupají ekonomické náklady na její výrobu.



Obr. 8 Tok taveniny v licí jamce při sklápění

Sklápěcí rychlost

Plnění kokily taveninou je řízeno rychlostí sklápění. Cílem je při kontrolované rychlosti dosáhnout klidného neturbulentního toku taveniny a zamezení přísávání vzduchu během plnění.

Automatické naklápění stroje s formou snižuje riziko vzniku vměstků při lití oproti gravitačnímu lití, kde pracovník nalije z ruční lící pánve kov přímo do vtoku. Zvyšuje se kvalita odlitku kontrolovanou rychlostí lití bez turbulencí a usměrněním tuhnutí.

Na stroji je umístěno 6 indukčních snímačů (P1-P6), které zaznamenávají polohu stroje při sklápění. Rychlosti sklápění mezi jednotlivými snímači mohou být různé a řídí se pomocí počítače. Na začátku sklopení se stroj sklopil z 0° (P1) do 20° (P2) a z 20° (P2) do 40° (P3). Počáteční sklopení je rychlejší, protože kov je nalit v lící jamce a nedochází k plnění. Plnění probíhá za klidného sklopení s rychlostí vhodnou pro náročnost odlitku. Doba plnění formy u obou odlitků trvala cca 6 vteřin, tedy čas sklopení z pozice P1 do P3. Zbylé časy nebyly důležité, při doklopení stroje již byla taveninou vyplněna dutina formy a ostatní sklápěcí rychlosti již nebyly zkoumány.

Vtokový kanál

Vtokový kanál se skládá z vtokového kůlu, rozváděcího kanálu a zářezu. Do rozváděcího kanálu může být vložen filtr. Vtokový kanál má obvykle při gravitačním lití tvar vertikální kůlu, kterým je kov dopravován z pánve do formy. Návrh vtokového kanálu u sklopného lití musí zajišťovat klidný proud kovu. Tvar kanálu by měl být navržen se zkosenými stěnami, bez ostrých rohů a musí zajišťovat snadné vyjmutí z formy. Vtokové kanály kokil byly navrženy vhodně pro tvary odlitků podle zkušeností firmy MOOD.

Nálitek

Objemové změny odlitků a vznik staženiny při tuhnutí taveniny a následném ochlazování jsou eliminovány nálitky. Typickým místem jsou spoje dvou nebo více stěn a lokální zvětšení tloušťky stěny odlitku. Tato místa nazýváme tepelnými uzly, a právě místa tepelných uzlů je nutno nalítovat. Obecnou zásadou při navrhování konstrukce odlitku je požadavek, aby stěny odlitku zvětšovaly svou tloušťku směrem k nálitku při zvolené poloze odlitku ve formě. Odlitek musí přecházet do tuhého skupenství postupně od nejnižších částí formy směrem nahoru a změny objemu při tuhnutí musí mít možnost vyrovnávat taveninou z nálitků. Proto jsou nálitky umístěvány co nejvýše a plní funkci zásobníku taveniny po celou dobu tuhnutí. Vedlejší funkcí nálitku je i výfuk vzduchu z dutiny formy.

Nálitek proto splňuje následující podmínky:

- Doba tuhnutí nálitku musí být větší než doba tuhnutí odlitku
- V nálitku musí být až do ukončení tuhnutí odlitku zásoba tekutého kovu
- Podmínky v nálitku musí umožňovat proudění kovu z nálitku do odlitku

3.2 Kovová forma pro sklopné lití [1], [7], [8], [9], [15], [16]

Pro slitiny hliníku je výhodnější lití do kokil než do pískových forem. Rychlost tuhnutí má příznivý vliv na vlastnosti a strukturu slitin hliníku. Velká ochlazovací rychlost napomáhá vzniku jemnozrnné struktury, která má zásadně lepší mechanické vlastnosti. Při vysokém ochlazení se zvyšuje strukturní homogenita a snižuje vylučování plynů z taveniny. Všechny tyto vlivy musí být uvažovány při návrhu kovové formy. Pro odlévání hliníkových slitin se používají menší přídavky na obrábění. Životnost kokil je vysoká, záleží na odlévaném materiálu, teplotě taveniny, hmotnosti a tvarové složitosti odlitku.

Výhody kovové formy

- Zvýšení rychlosti ochlazovacího účinku, důsledkem je zvýšení mechanických vlastností z důvodu vzniku jemnozrnné a homogenní struktury
- Hladkost povrchu – napomáhává hladkosti dutiny formy i hladké vrstvy postříku
- Vyšší rozměrová přesnost
- Snižování přídavků na obrábění
- Snižování zmetkovitosti

Nevýhody kovové formy

- Metoda se uplatňuje při výrobě většího množství odlitků
- Vyšší náklady na výrobu než u lití do písku
- Výroba se realizuje zpravidla ve speciálních slévárnách vybavených kokilovými licími stroji
- Metoda je vhodná pro odlévání slitin s nižší licí teplotou například slitiny Cu, Al, Mg, Zn a podobně. Lze odlévat všechny druhy slitin, kde tepelné zatížení formy není příliš vysoké. Slitiny s vysokou licí teplotou snižují životnost forem.
- Kovová forma a kovová jádra kladou odpor při smršťování odlitku v době jeho tuhnutí a ochlazování. Nejsou poddajná jako je tomu u pískových jader a forem. Smrštění odlitků je nižší, brzděním smršťování tvarem formy a jader, tím vzniká i napětí v odlitku. Může dojít k velkému smrštění kolem kovového jádra a důsledkem toho je obtížné vyjmutí odlitku.
- Kovová forma není prodyšná a je nutno konstrukčně řešit odvodu vzduchu formy



Obr. 9 Kokila pro sklopné lití o hmotnosti 1,2 tuny

3.3 Problematika rozměrových změn formy a odlitku [5], [7], [15]

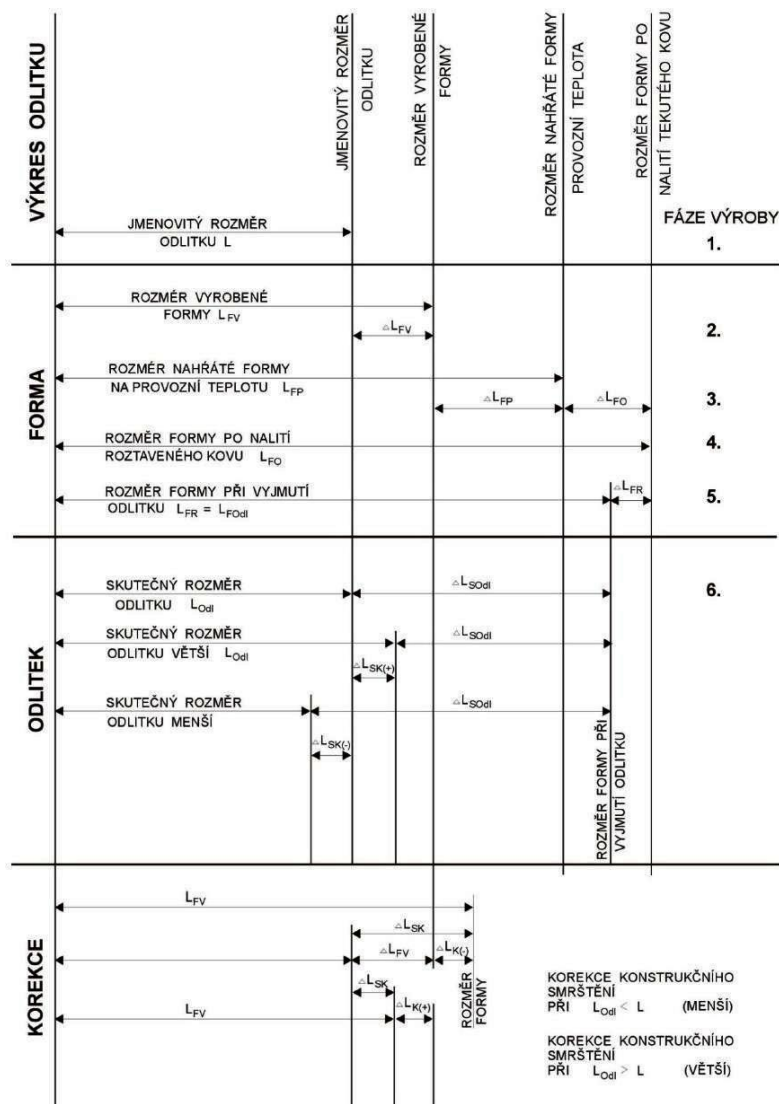
Obrázek 10 popisuje změny rozměrů formy i odlitku v různých fázích procesu kokilového lití. Forma je vyrobena třískovým obráběním při okolní teplotě cca 20 °C. Provozní teplota formy je však kolem 300-350 °C. Se zvyšující se teplotou se rozměr kokily zvětšuje. Další změna nastává po nalití tekutého kovu, který má kolem 700-750 °C. Při tuhnutí se teplota snižuje a mění se rozměr odlitku i kokily. Smršťování odlitků je ve formě brzděno jak tvarem formy, tak i jádery. Vliv pískových jader na brzděné smršťování je minimální. Odlitek následně volně chladne na vzduchu při teplotě cca 20 °C.

Jsou 2 fáze při procesu lití, kdy je forma vystavena významným teplotním změnám:

- Při sklopení tavenina proudí do kokily, kde chladne a přenáší teplo do formy
- Po odlití, když je kokila rozevřená a odlitek vyjmut z formy. Kokila se navíc musí očistit před dalším litím a obnovit nátěr dutiny formy postříkem.

Po zchladnutí odlitku se provede kontrola rozměrů a případné korekce rozměrů formy pro dosažení požadovaného rozměru na odlitku.

Je poměrně obtížné dosáhnout požadovaných rozměrů po zchladnutí odlitku. Při tuhnutí se jinak smršťuje odlitek (v našem případě slitina Al) a jinak pracuje ocelová forma.



Obr. 10 Rozměrové změny při lití [15]

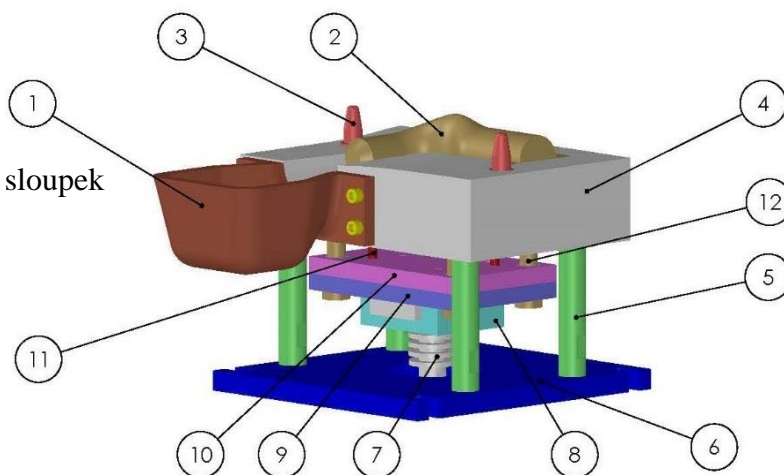
3.4 Konstrukce formy pro odlitek K-252

Při konstrukci formy se vychází z rozměrů odlitku a jeho požadovaného smrštění. Odlitek je s vtokovou soustavou vhodně umístěn ve formě. Forma byla konstruována bez jader a vyrobena z oceli třídy 11, stejně tak je vyrobena i licí jamka. Rozměry sevřené kokily jsou: 360 mm x 240 mm x 160 mm. Šířka 240 mm je měřena bez licí jamky. Rozměry celé formy s licí jamkou a základními deskami jsou: 360 mm x 415 mm x 550 mm.

Forma byla navržena konstruktérem firmy MOOD.

Popis formy

1. Licí jamka
2. Pískové jádro
3. Zaváděcí kolík
4. Spodní polovina kokily
5. Tepelně distanční upínací sloupek
6. Základní deska
7. Spojovací trn vyhazovačů
8. Držák desek vyhazovačů
9. Krycí deska vyhazovačů
10. Deska vyhazovačů
11. Vyhazovač
12. Vodící sloupek



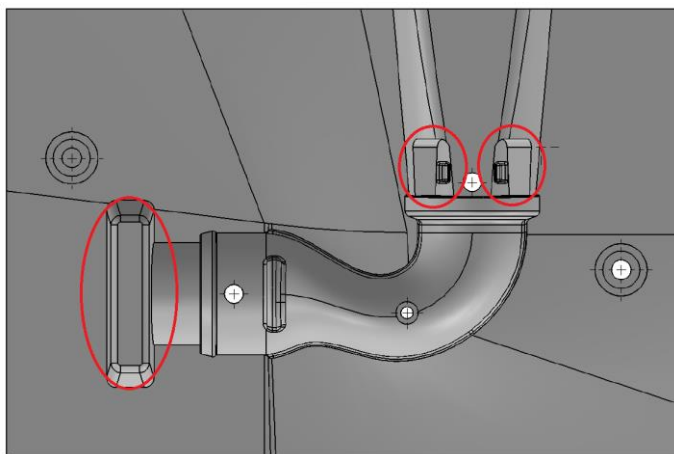
Obr. 11 Model spodní poloviny formy odlitku K-252

Jádro

Jádra vyrobila a dodala externí firma. Jádro pro odlitek K-252 bylo vyrobeno z jádrové směsi pro technologii COLD – BOX AMIN. Jádro je vyrobeno s úkosi a přísavky. Součástí jádra jsou známky, které slouží k nepohyblivému umístění jádra v kokile. Místa pro umístění známek v kokile jsou naznačena na Obrázku 12.

Po odlití a ztuhnutí odlitku se jádro odstraní z dutiny odlitku. Samotné odstranění jádra bylo fyzicky velice náročné, pevnost směsi se po odlití téměř nezměnila a rozpadavost byla bídna.

Složení směsi a způsob vytvrzení jádra jsou uvedeny v Příloha 5.



Obr. 12 Spodní polovina kokily s označením známek



Obr. 13 Pískové jádro odlitku K-252

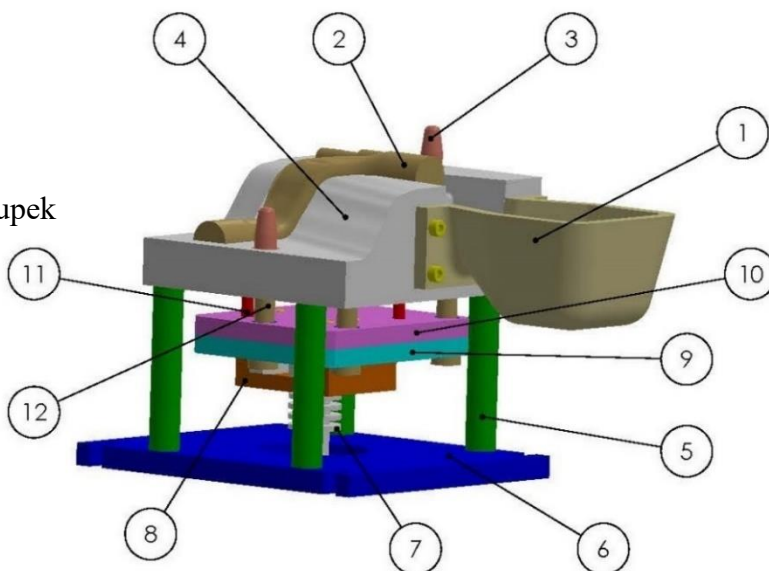
3.5 Konstrukce formy pro odlitek K-251

Konstrukce i materiál byly použity stejné jako pro formu odlitku K-252. Rozměry sevřené kokily jsou: 290 mm x 260 mm x 180 mm. Rozměry celé formy s licí jamkou a základními deskami jsou: 300 mm x 588 mm x 520 mm.

Forma byla navržena konstruktérem firmy MOOD.

Popis formy

1. Licí jamka
2. Pískové jádro
3. Zaváděcí kolík
4. Spodní část kokily
5. Tepelně distanční upínací sloupek
6. Základní deska
7. Spojovací trn vyhazovačů
8. Držák desek vyhazovačů
9. Krycí deska vyhazovačů
10. Deska vyhazovačů
11. Vyhazovač
12. Vodící sloupek

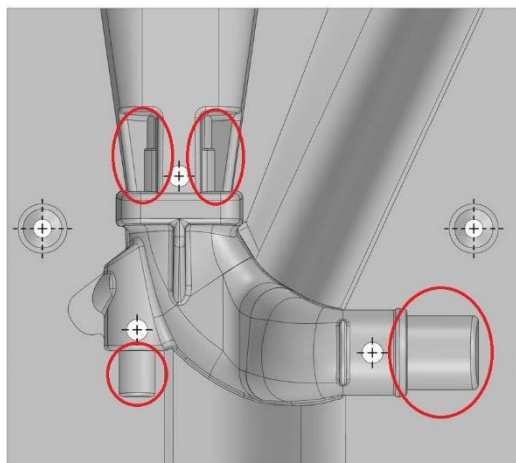


Obr. 14 Model spodní poloviny formy odlitku K-251

Jádro

Pro odlitek K-251 bylo vyrobeno jádro stejnou metodikou a se stejným chemickým složením. Vyrobeno bylo se všemi úkoso, přídávky a známkami. Při odstranění jader z dutiny odlitku nastal tentýž problém jako u předchozího odlitku. Pro sériovou výrobu bylo obtížné odstraňování jádra nepřijatelné a slévárna KOVOLIT zažádala o jiné jádro s vyššími nároky na rozpadavost směsi po odlití než jádro Coldboxové.

Pro odstranění potíží s vytloukáním jader bylo použito jádro ze směsi RESOL – CO₂. Jádro mělo vysokou rozpadavost již ve vytvrzeném stavu před samotným litím. Při zakládání jádra do kokily se muselo dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo k jeho zlomení nebo odloupení. Většina jader se nedochovala v celku ani při převozu do slévárny. Složení směsi a způsob vytvrzení jádra jsou uvedeny v Příloha 5. Pro další použití bude nutno upravit pevnost jader.



Obr. 15 Spodní polovina kokily s označením známek



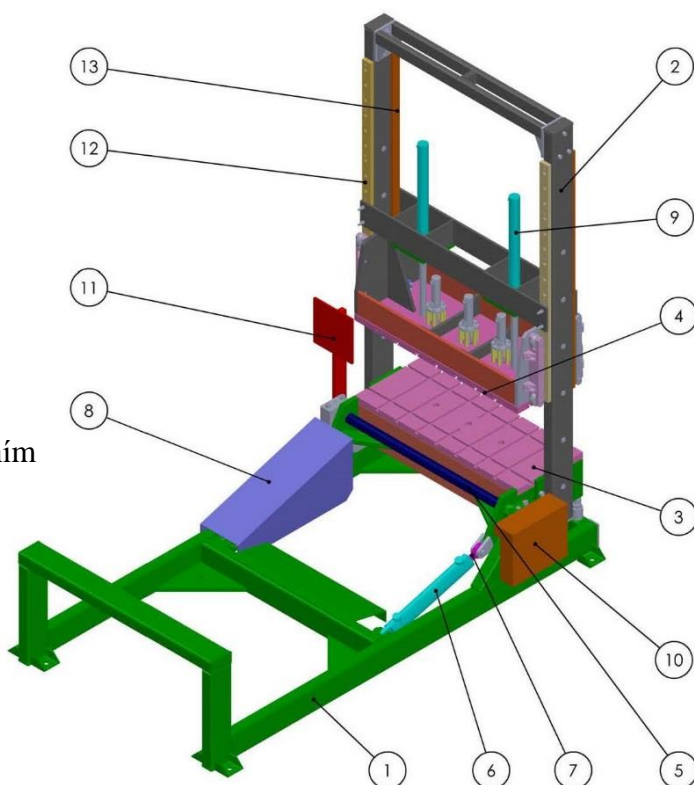
Obr. 16 Pískové jádro odlitku K-251

4 STROJ PRO SKLOPNÉ LITÍ

Firma MOOD vyrobila stroj pro sklopné lití pro odlévání ve slévárně KOVOLIT. Podobný stroj firma již vyrobila jako funkční vzorek pro jinou společnost, tudíž měla určité zkušenosti, ze kterých vycházela při návrhu a výrobě stroje.

Stroj s názvem SKLS váží 2 tuny a má příkon 4,1kW. Rozměry stroje ve výchozí poloze viz Obrázek 17, jsou: 3 m x 1,5 m x 2,9 m.

1. Základový rám
2. Sklopný rám
3. Spodní stůl
4. Horní stůl
5. Osa sklopného rámu
6. Sklápěcí hydraulický válec
7. Pístnice
8. Kryt sklápěcího válce
9. Uzavírací hydraulický válec
10. Kryt snímačů polohy
11. Deska s hydraulickým ovládáním
12. Vodící lišta spodní
13. Vodící lišta horní



Obr. 17 Model stroje pro sklopné lití

4.1 Popis stroje

Základový rám (1) je připevněn k podlaze slévárenského pracoviště. Základový rám je spojen se sklopným rámem s válci (2), který tvoří pohyblivou(sklopnou) část stroje. Na sklopném rámu je připevněna spodní stacionární deska (3), ke které se přišroubuje spodní polovina kokily. Horní polovina kokily je přišroubována na horní pohyblivou desku (4), pohyb horní desky umožňují uzavírací hydraulické válce (9). Sklopný rám (2) se sklápí pomocí sklápěcích hydraulických válců (6), kolem osy (5). Ovládací hydraulické rozvaděče stroje jsou umístěny na desce pro ovládání (11). Na horním i dolním stole jsou upevněny hydraulické vyhazovače odlitku z formy.



Obr. 18 Stroj SKLS

5 VADY ODLITKŮ [1], [8], [11], [17], [18]

Ve slévárenské technologii je výskyt vad nežádoucí záležitostí, která má za následky zmetkovitost součástí a snížení produktivnosti (plynulosti) výroby. Vznik vad může být následkem volby špatné technologie či nedodržení technologického postupu.

Defekty u odlitků ze slitin hliníku bývají většinou stejného typu jako je tomu u odlitků z jiných kovových slitin. Výskyt vad jako jsou staženiny, dutiny, řediny a dále nehomogenita (vměstky), vznikají podle vlastností slitiny, návrhu formy a teploty lití. Defekty mohou být způsobeny i špatným návrhem formy. Hliníkové slitiny mají sklon k rychlé tvorbě oxidů, protože tyto slitiny mají vysokou afinitu ke kyslíku. Při přerušení toku taveniny hliník tvoří oxidické blány, což jsou plošné útvarry. Oxidy vznikají i turbulentním prouděním ve formě. Tato vlastnost je nežádoucí v lícím procesu a tyto vady jsou součástí objemu odlitku.

Sklopné lití je především schopné tenkostěnného lití, protože je kontrolována rychlost nepřerušenoého toku kovu, také snížení povrchového víření může být nápomocné. Potřebná rychlost sklápění a tím i rychlosti lití, v různých fázích plnicího cyklu, je řízena počítačem. Lití na sklopném stroji je vhodnější metodou pro lití tenkostěnných odlitků než tradiční gravitační lití s horním vtokovým systémem.

Při lití do kokil jsou vnější vady zejména považovány za povrchové vady, jedná se o vady tvarové, rozměrové jako jsou nezaběhnutí nebo rozměrová nepřesnost. Dále vady porušení souvislosti, jakými jsou trhliny nebo praskliny. Do vnitřních vad řadíme staženiny, vnitřní porezitu a vznik oxidů.

Porezita – prázdná místa uvnitř odlitku, v důsledku nehomogenní struktury dochází ke snížení pevnosti, malé těsnosti. Také působí jako koncentrátor napětí, který vede k defektu nebo snížení únavových vlastností odlitku.

Původce porezity:

- Smrštění během tuhnutí
- Vyloučení vodíku z tekutého kovu při tuhnutí
- Vzduchové bubliny, které vznikají při lití
- Nekovové vměstky

Smrštění – Roztavený kov v dutině formy chladne, mění se objem i rozměr. Čistý hliník má volné smrštění dle normy cca 1,2 %. Slitiny Al mají volné smrštění 1,1-1,3 % podle složení, které je uvedeno v materiálové normě. Pro kokilové lití, kde se projeví brzdné smrštění, slévárny používají 0,6-0,9 %. Firma MOOD používá převážně smrštění 0,8 %. Pouze u dlouhých odlitků se pečlivě propracovává smrštění podle intenzity brzdění. Písková jádra obecně umožňují volné smršťování. Pouze u velmi pevných jader typu CT dochází brzdnému smršťování.

Vliv na smrštění:

- Pásmo tuhnutí slitiny
- Teplota formy – čím větší předehřev formy, tím může být nižší teplota odlévaného kovu
- Tloušťka stěn – u tenkostěnných odlitků se projeví větší smrštění
- Složitost odlitku – úzká souvislost s tloušťkou stěny
- Teplota taveniny – je nutné dodržet co nejpřesněji optimální lící teplotu
- Rychlost lití – pro tenkostěnné odlitky odléváme co nejpomaleji
- Nálitkování – při tuhnutí má náletek tuhnout jako poslední – plní funkci zásobárny kovu

6 OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE NA VYBRANÝCH FORMÁCH

Odlévání odlitku K-252

Zaměstnanec společnosti MOOD nastavil zkušební sklápěcí rychlosti stroje podle provedené simulace lití a tuhnutí viz Tabulka 4. Obsluha stroje slévárny KOVOLIT po nahřátí formy plynovým hořákem na 330 °C provedla zkušební lití 5 odlitků pro odzkoušení sklápěcích rychlostí a dobu tuhnutí. Teplota taveniny byla 750°C. Jádro bylo použito Coldboxové.

Tab. 4 Experimentální sklápěcí rychlosti

Pozice	P1/P2	P2/P3	P3/P4	P4/P5	P5/P6
Stupně	0°- 20°	20°- 40°			
Čas mezi pozicemi	3,0 s	3,1 s	4,1 s	2,3 s	5,5 s

Rychlosti lití v pozicích P3-P6 u těchto odlitků již nemají vliv na plnění dutiny formy u kokil K-252, kdy dutina je již plně zaplněna kovem.

První zkušební odlitek prošel vizuální kontrolou bez vnějších vad a ve zkušebním lití se pokračovalo. Zbylé 4 odlitky již vykazovaly zřetelné vnější vady (Obrázek 19), kvůli kterým bylo následující experimentální lití přerušeno.

Byly zjištěny následující problémy:

1. Z pozice P1-P2 trvalo sklápění dlouhou dobu
2. Z pozice P2-P3 bylo sklopení naopak krátké a prudké
3. Zřetelné nezaběhnutí kovu způsobené naplyněním (Obrázek 19)



Obr. 19 Odlitek druhý

U počáteční, pomalé rychlosti sklápění mohlo dojít k většímu ochlazení taveniny v lící jamce před naplněním kokily. Při druhé, vyšší rychlosti vznikalo riziko neplynulého a přerušovaného proudu taveniny ve vtokové soustavě. Problémy č.1 a č. 2 byly vyřešeny přenastavením rychlostí sklápění.

Tab. 5 Upravené sklápěcí rychlosti

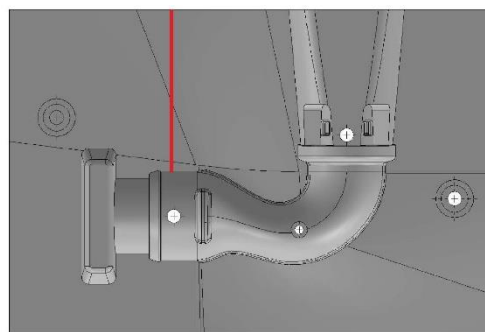
Pozice	P1/P2	P2/P3	P3/P4	P4/P5	P5/P6
Stupně	0°- 20°	20°- 40°			
Čas mezi pozicemi	2,8 s	3,3 s	4,3 s	2,2 s	5,2 s

Zkušenosti s rychlostmi sklápění neměla ani firma MOOD a ani slévárna KOVOLIT, proto se rychlosti neupravovaly nějak výrazně. Nastavila se vyšší rychlost mezi pozicemi P1/P2 a menší rychlost mezi pozicemi P2/P3. Experimentálně se odlil jeden kus pro ověření úpravy rychlostí a zjištění případného vlivu rychlostí na problém č. 3.

Následující lití prokázalo vyřešení problematiky 1 a 2. Odvzdušnění formy se ukázalo jako nedostatečné. Naplynění se nijak výrazně nezměnilo, proto byly zvažovány 2 možnosti řešení:

1. Zvýšit teplotu kovu
2. Výfukový kanál pro odvod plynů v dělicí rovině

Slévárna KOVOLIT rozhodla vybrousit výfukový kanál na spodní polovině kokily v dělicí rovině, neboť s řešením uvedeného problému mají bohaté a osvědčené zkušenosti.



Obr. 20 Návrh umístění výfukového kanálu

Další lití probíhalo za stejných podmínek. Díky výfukovému kanálu byly plyny odvedeny mimo dutinu formy a zde nevznikalo žádné naplynění. Odlitky byly vizuálně v pořádku bez vnějších vad. Odlilo se 10 zkušebních kusů, které se měřily a podrobovaly dalším zkouškám. Zkušební odlitky byly označeny číselníkem na nálitku pro rozlišení při měření rozměrů a teplot.

Rentgenová zkouška prokázala výbornou vnitřní jakost odlitku bez vzniku oxidů či vzniku staženin.



Obr. 21 Výfukový kanál na spodní polovině kokily

Odlévání odlitku K-251

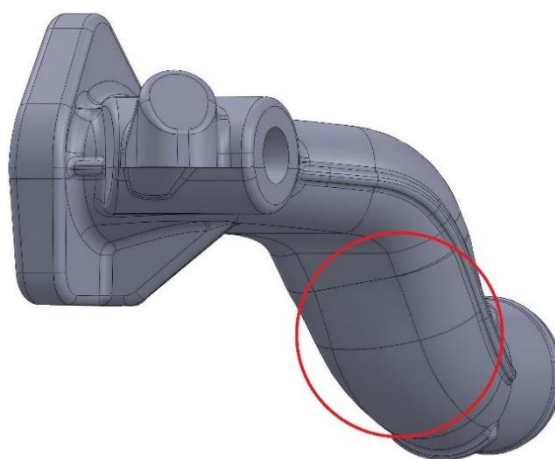
Zaměstnanec společnosti MOOD nastavil zkušební sklápěcí rychlosti podle simulace lití a tuhnutí a využití zkušeností u zkoušky odlitku K-252 (Tab. 6). Obsluha stroje – Pracovník slévárny KOVOLIT po nahlázení formy na 330 °C provedl zkušební lití o množství 5 odlitků, pro odzkoušení sklápěcích rychlostí, dobu tuhnutí. Jádru bylo použito Coldboxové, protože jich slévárna měla dostatek.

Tab. 6 Experimentální sklápěcí rychlosti

Pozice	P1/P2	P2/P3	P3/P4	P4/P5	P5/P6
Stupně	0°- 20°	20°- 40°			
Čas mezi pozicemi	3,0 s	2,3 s	3,9 s	2,3 s	5,1 s

Při sklápění stroje bylo zřetelné rychlé naplnění formy mezi pozicemi P2 a P3. Ve sklopené poloze na počátku tuhnutí dokonce zhruba 5 vteřin unikaly plyny z dutiny formy již zaplněným nálitkem. Nálitkem probublávaly velké plynové (vzduchové) bubliny, které mají nepříznivý vliv na pohyb taveniny ve formě.

Po ztuhnutí se odlitek vizuálně zkontroloval a přešlo se k dalšímu lití. Při vyjmutí třetího odlitku se zjistilo velké nezaběhnutí, viz Obr. 22, způsobené neodvedenými plyny z dutiny formy.



Obr. 22 Model odlitku K-251 s naznačeným nezaběhnutím

Tab. 7 Upravené sklápěcí rychlosti

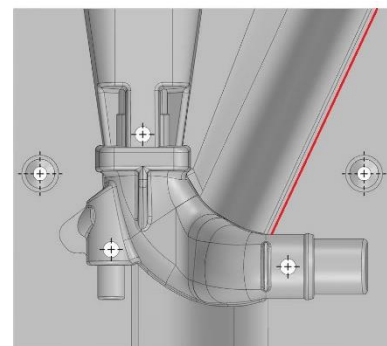
Pozice	P1/P2	P2/P3	P3/P4	P4/P5	P5/P6
Stupně	0°- 20°	20°- 40°			
Čas mezi pozicemi	3,1 s	3,2 s	4,3 s	2,2 s	5,3 s

Po zpomalení sklápěcí rychlosti mezi pozicemi P2 a P3 se forma pozvolna plnila taveninou, avšak opět přítomné plynové (vzduchové) bubliny probublávaly nálitkem. Na odlitku bylo přítomné nezaběhnutí jako u předchozího lití. Odvzdušnění formy se ukázalo opět nedostatečné.

Návrhy:

1. Zvýšení teploty kovu
2. Výfukový kanál pro odvod plynů v dělicí rovině

Slévárna KOVOLIT se opět rozhodla brusným kotoučem vybrousit výfukový kanál na spodní polovině kokily v dělicí rovině, protože dle zkušeností slévárny zvýšení teploty taveniny nevyřešený problém s naplyněním v tomto konkrétním případě.



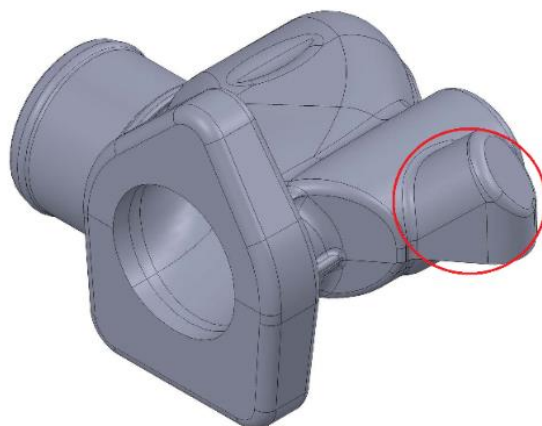
Obr. 23 Návrh umístění výfukového kanálu

Sklápěcí rychlosti zůstaly nezměněné, viz Tabulka 7. Odlévání probíhalo stejně jako u předchozího pokusu. Předpokladem bylo úplné odzdušnění formy výfukovým kanálem, přesto ve sklopené poloze vybublávaly plynové bubliny nálitkem. Odlitky po vyjmutí byly bez vnějších vad.

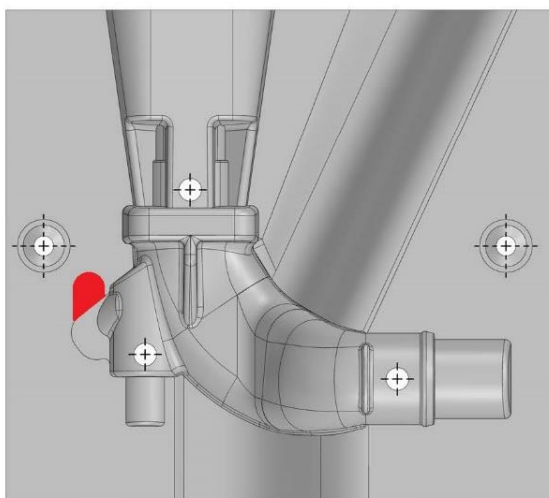
Rentgenová zkouška prokázala výskyt bílých teček v oblasti zaznačené na Obrázku 24. Oxidy na rentgenovém snímku se zobrazují černými útvary, které se v našem případě na odlitku vůbec nevyskytovaly. Bílé tečky značily prázdná místa v odlitku tedy mikrostaženiny. Vnitřní vady jako mikrostaženiny vznikají při smrštění tuhneícího kovu. V dané oblasti odlitku se měl po dalším opracování vrtat otvor, proto přítomnost zjištěných mikrostaženin byla nepřijatelná.

Návrhy pro odstranění staženin:

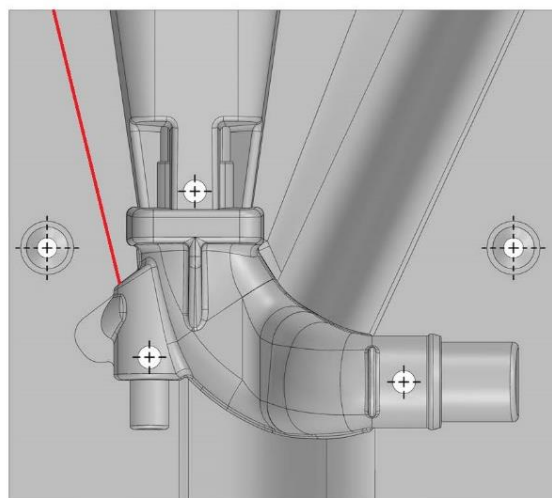
1. Zvýšení teploty kovu
2. Umístění přídavného nálitku (Obr. 25)
3. Vytvořit další výfukový kanál (Obr. 26)



Obr. 24 Vnitřní vady zaznačené na modelu odlitku K-251



Obr. 25 Návrh umístění přídavného nálitku

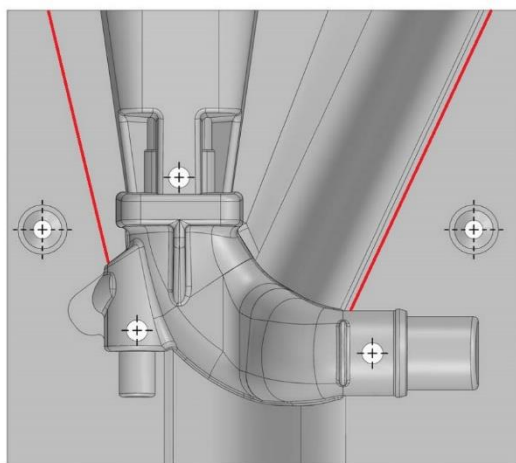


Obr. 26 Návrh umístění výfukového kanálu

Při výběru z uvedených návrhů slévárnou KOVOLIT byl zvolen nejekonomičtější návrh a to návrh č. 3, vybroušení výfukového kanálu v dělicí rovině (Obr. 26).

Zkušební lití po vybroušení druhého výfuku mělo za následek snížení vyublávání plynu z dutiny nálitkem na přijatelnou míru.

Výfuk neměl vliv na výskyt mikrostaženin, jak ukázala další rentgenová zkouška. Přítomnost mikrostaženin v problémové oblasti byla nezměněna. Slévárna KOVOLIT proto přešla na návrh č. 1 a natavila kov na teplotu o 20 °C vyšší, tedy 770 °C



Obr. 27 Návrh umístění výfuků ve spodní polovině kokily



Obr. 28 Vybroušené výfukové kanály v dělicí rovině kokily K-251

7 MĚŘENÍ

Experiment probíhal ve slévárně KOVOLIT, kde byly zkoumány 2 odlitky z hliníkových slitin s názvy K-252 a K-251, které byly odlévány do kovové formy na sklopném licím stroji. Účelem je shromáždění dat vlivu technologie sklopného lití na konečnou rozměrovou přesnost odlitku, jejich smrštění a vliv teplotního režimu formy na rozměry odlitku a vliv na jeho vnitřní jakost. První se odléval odlitek K-252.

Na začátku se provedlo stanovení zkoumaných bodů pro měření teplot. Naměřená data byly shromážděna do předem vytvořených tabulek, které se upravovaly na pracovišti dle potřeby. Data byla později přepsána do programu Microsoft Excel, ve kterém jsem zpracoval výsledky pro mou práci. Následovalo otestování zvolené metodiky v průběhu orientačního lití prvního kusu, zdali je postup měření správně uspořádaný, aby nedocházelo k chybám.

7.1 Měření teplot

- Teplota taveniny – Pracovník slévárny provedl měření teplotu taveniny, následně provedl i kontrolní měření teplot
- Teplota formy – Změřila se teplota před odlitím a po odlití
- Teplota odlitku – Odlitek se měřil po vyjmutí z kokily

Teploty formy a odlitku jsem měřil pomocí dotykového termometru CIE model 307P s rozsahem měření $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Časový průběh lití byl zajištěn digitálním měřičem, aby obsluha stroje otevřela formu vždy ve stejný čas po ztuhnutí odlitku.



Obr. 29 Předehřev formy K-252



Obr. 30 Předehřátá sevřená forma K-252

7.1.1 Měření teplot kokily a odlitku K-252 [15]

Obr. 31 znázorňuje měřené body na kokile. Měření probíhalo u celkem 10 odlitků. Vybrané body pro měření byly voleny tak, aby charakterizovaly teplotní průběh teplot formy z vnější i vnitřní části a dále teploty odlitku po vyjmutí z formy.

Měření bodů probíhalo:

1. Před založením jádra a očištění formy stlačeným vzduchem – čas 0
2. Po 60 vteřinách sklopení stroje

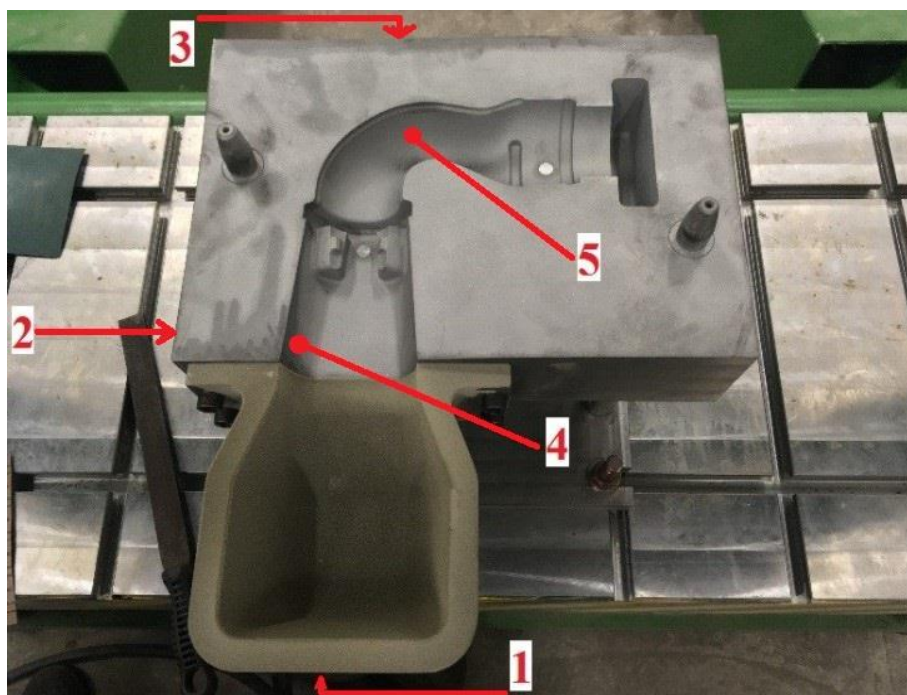
Vnější strana formy:

- Bod 1 – vnější strana licí jamky
- Bod 2 – z boku nejbližší místo nálitku
- Bod 3 – zezadu kokily nejbliže odlitku

Vnitřní strana formy:

- Bod 4 – naproti bodu 2 v nejvyšším místě nálitku
- Bod 5 – naproti bodu 3 v nejnižším místě odlitku

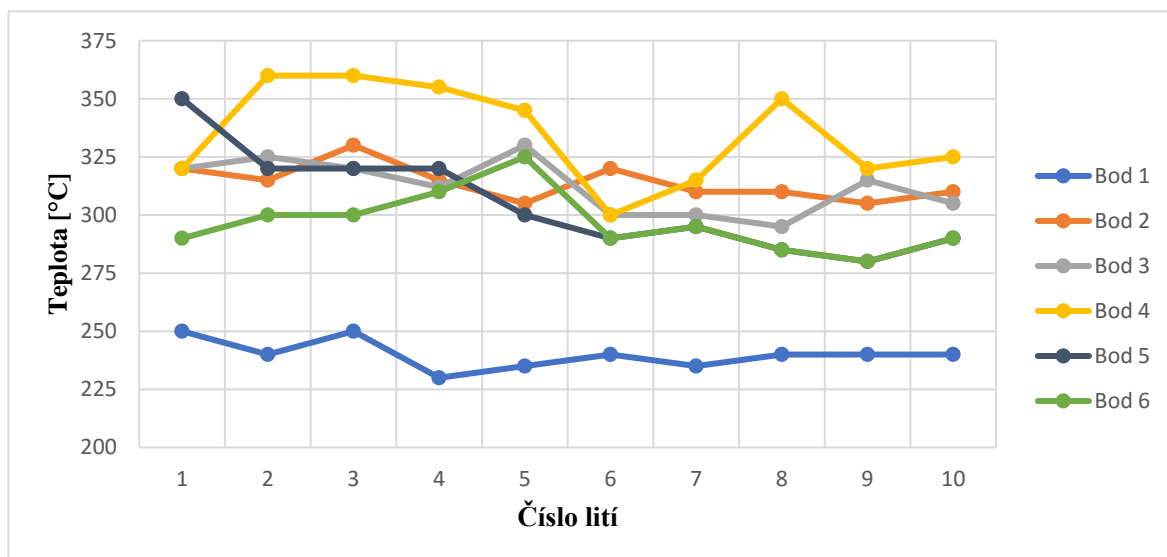
Bod 6 byl měřen na ztuhlém odlitku v místě jako Bod 5. Termometr měří správně při měření rovné plochy. Body 4, 5 a 6 byly měřeny na tvarových částech odlitku, což mohlo ovlivnit výsledky měření.



Obr. 31 Spodek kokily K-252 s měřenými body

7.1.2 Zhodnocení teplotního režimu kokily K-252

Graf 1 znázorňuje průběh teplot všech měřených bodů na kokile. Měření proběhlo pro 10 odlitků (osa x). Body jsou pro názornost propojeny úsečkami, které nezobrazují reálný průběh teplot.



Graf 1 Průběh teplot všech bodů na měřené spodní polovině kokily K-252

- Na první pohled je zřetelná nižší teplota licí jamky (Bod 1) přibližně o 120 °C. Při lití kovu do licí jamky nastává pokles teploty taveniny. Je nutné řešit zvýšení teploty licí jamky.
- Teploty vnitřku kokily (Bod 4 a Bod 5) znázorňují usměrněné tuhnutí odlitku, kdy nejvyšší teplota se nachází v nálitku. Výrazné rozdíly teplot u Bodu 4 jsou způsobeny lidskou chybou při měření a tvarového zakřivení v místě měření.
- Teploty vnějšku kokily (Bod 2 a Bod 3) dokazují, že docházelo k usměrněnému tuhnutí. Na spodní části formy (Bod 3) byla naměřena nižší teplota než v horní části (Bod 2).
- Prokázal se pokles teplot mezi prvním (1) a posledním (10) odlitkem, a to jak v dutině formy, tak i na vnější straně formy – z teplot na povrchu formy lze odvodit i teplotu v dutině formy.
- Kokila K-252 má vyšší ochlazování okolím, než je předání tepla formě taveninou. Pro udržení optimální teploty formy je nutné po určitém počtu odlití zařadit ohřev formy.

Pro řešení problematiky nízké teploty jamky se zvažovaly následující návrhy

1. Přidat plynový hořák pro ohřev jamky.
2. Zesílení vrstvy nátěru ze všech stran jamky
3. Izolace licí jamky například skelnou vatou.

Slévárna KOVOLIT se rozhodla pro přidání plynového hořáku k licí jamce s čímž mají dobré zkušenosti. U řešení podle bodu 2 je malá účinnost návrhu a výroba izolace dle bodu 3 by byla časově i ekonomicky náročná.

Všechny naměřené hodnoty v grafu naleznete v Příloha 6

Znalost teplotního režimu formy je důležitá pro objasnění a následného řešení vad odlitku. Z průběhu teplot lze posoudit, vznik teplotních uzlů a následných vad. Znalost teplotního režimu formy je důležitá pro stanovení okrajových podmínek při simulaci lití a tuhnutí. Průběh teplot formy nám umožňuje i řešit přehřívání kokily anebo naopak chlazení formy tak, aby výroba mohla probíhat v požadovaném teplotním rozsahu. Teplota formy je jednou z podstatných parametrů pro dosažení kvalitního odlitku. Současně lze z teploty formy a jejího kolísání stanovit energetickou potřebu při přehřátí formy a případným přehříváním formy po určitých cyklech výroby.

Teplotní režim – přehřev formy má vliv i na rychlost tuhnutí odlitku ve formě. Dodržení teplotního režimu formy má tedy vliv na čas výroby, a tedy produktivitu práce.

Níže teplota formy může způsobit celou řadu vad odlitků, a tím i vysoké ztráty.

7.1.3 Měření teplot kokily a odlitku K-251 [15]

Obrázek 32 znázorňuje měřené body na kokile. Pro zkušební měření bylo odlito 5 odlitků s Coldboxovými jádry a 5 odlitků s jádry Resol-CO₂. Vybrané body pro měření byly voleny tak, aby charakterizovaly teplotní průběh teplot formy z vnější i vnitřní části včetně teploty odlitku po vyjmutí z formy.

Měření bodů:

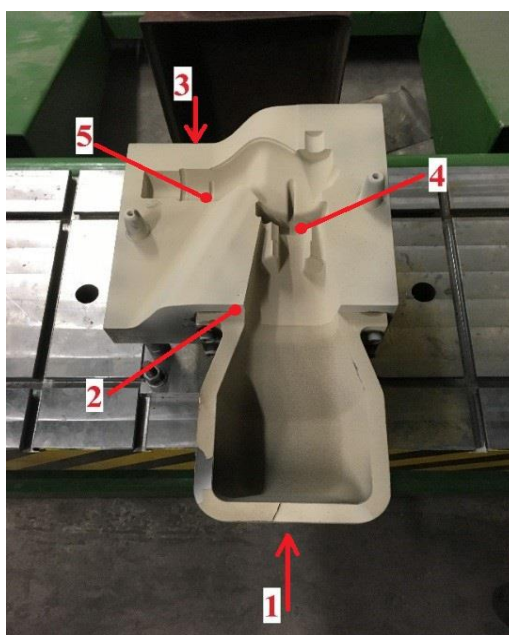
Vnější strana formy:

- Bod 1 – vnější strana licí jamky
- Bod 2 – zepředu kokily u nálitku
- Bod 3 – zezadu kokily v nejnižším místě

Vnitřní strana formy:

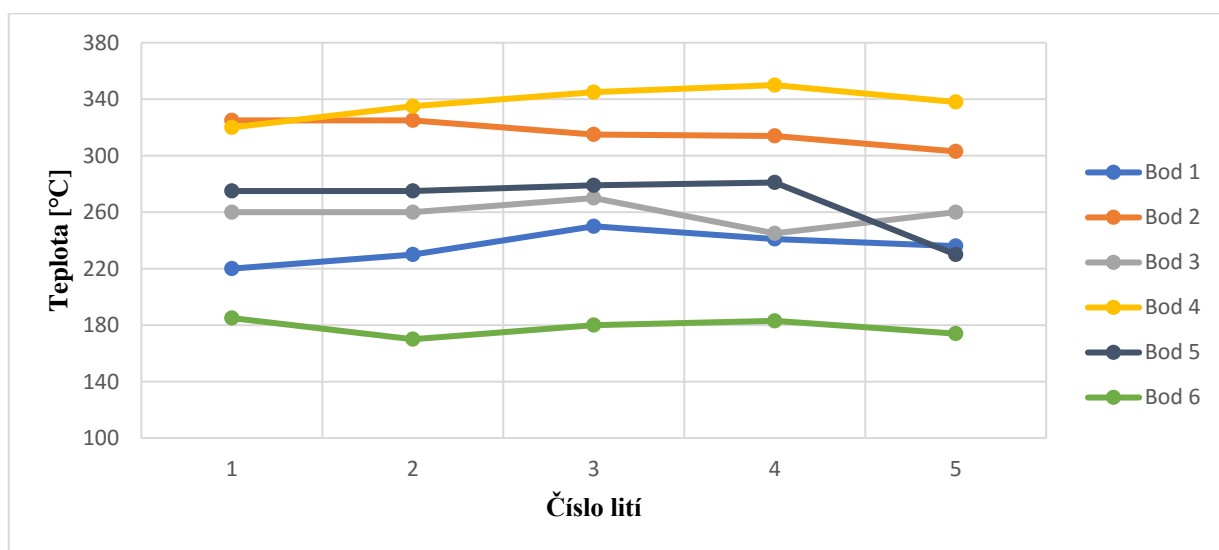
- Bod 4 – na spodní straně příruby – začátek odlitku
- Bod 5 – na konci odlitku

Bod 6 byl měřen na ztuhlém odlitku uprostřed odlitku. Termometr měří správně při měření rovné plochy. Body 5 a 6 byly měřeny na tvarových částech odlitku, což mohlo ovlivnit výsledky měření.

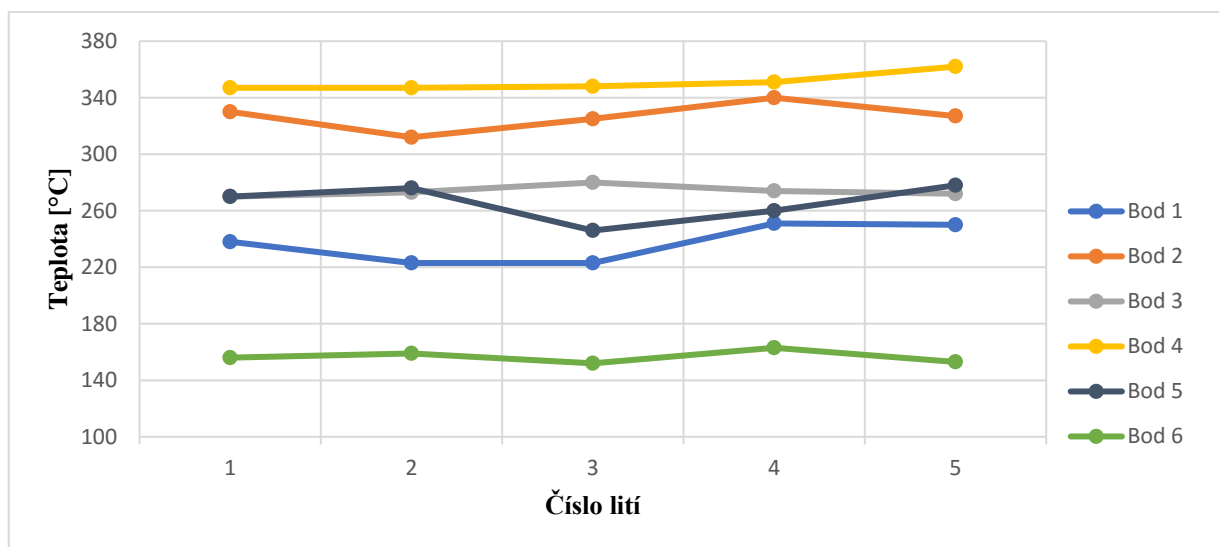


Obr. 32 Spodek kokily K-251 s měřícími body

7.1.4 Zhodnocení teplotního režimu kokily K-251



Graf 2 Průběh teplot všech bodů na měřené spodní polovině kokily K-251 s jádrem Coldbox



Graf 3 Průběh teplot všech bodů na měřené spodní polovině kokily K-251 s jádrem Resol CO2

Teplotní průběh u kokily K-251 je obdobný jako u kokily K-252. Vliv jiné jádrové směsi neměl vliv na teplotní režim formy.

Všechny naměřené hodnoty v grafu naleznete v Příloha 7.

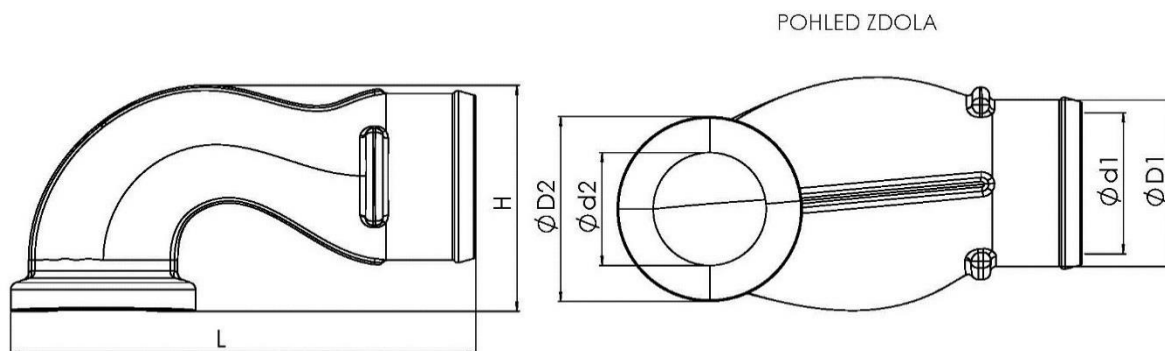
7.2 Měření rozměrů

Pro měření rozměrů odlitků mi bylo přiděleno digitální posuvné měřidlo Mitutoyo s rozsahem 0–300 mm a přesností 0,01 mm. Dále jsem použil digitální posuvné měřítka značky Mitutoyo s rozsahem 0–150 mm a přesností 0,05 mm.

7.2.1 Měření rozměrů odlitku K-252

Z 10 měřených odlitků byla odstraněna jádra a nálitky. Pomocí již uvedených měřidel jsem změřil hodnoty, které jsou zakótovány na Obrázku 33. U odlitku byly měřeny vnitřní průměry (d_1 a d_2) a vnější průměry odlitku (D_1 a D_2) pomocí posuvného měřítka. Výška (H) a délka (L) byly měřeny na měřicím stole pomocí výškoměru. Jádro muselo být vytryskáno z dutiny formy pro měření vnitřních rozměrů odlitku.

Při měření celkové výšky odlitku (H) vznikaly velké chyby měření, kvůli nerovnému povrchu součásti a zbytcích po odstranění nálitku, a proto tyto naměřené hodnoty jsou uváděny pouze pro orientaci.



Obr. 33 Měřené rozměry na odlitku K-252

7.2.2 Zhodnocení smrštění odlitku K-252

Vedle druhu odlévané taveniny má podstatný vliv na velikost smrštění i možnost volného smršťování při tuhnutí anebo naopak brzděné smršťování tvarem dutiny formy a jader. Dalším faktorem je i použití materiálu jader. Jádra mohou být kovová, u nichž dochází k brzděnému smršťování anebo písková, kde záleží na druhu jádrové směsi. U rozpadových směsí je vliv jádra prakticky nulový. U jader z pevných směsí, jako jsou například jádra CT se projevuje brzděné smršťování.

Smrštění bylo spočítáno podle vzorce:

$$\mu = \frac{D_{formy} - D_{odlitku}}{D_{formy}} * 100 [\%]$$

kde: D_{formy} je rozměr ve formě [mm]

$D_{odlitku}$ je rozměr na odlitku [mm]

Tab. 8 Smrštění měřených rozměrů na odlitku

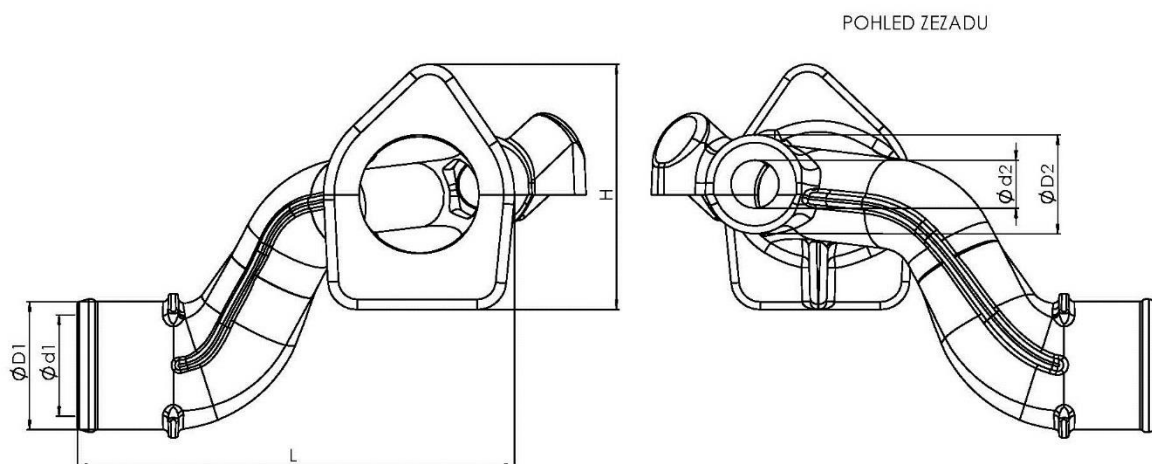
K-252 s jádrem Coldbox	Označení rozměrů	Rozměr výkres	Průměr rozměrů kokily/jádra	Smrštění μ	Směrodatná odchylka	Druh smrštění
		[mm]	[mm]	[%]	[%]	
	$\varnothing D1$	65	65,52	0,71	0,19	Brzděné
	$\varnothing d1$	55	54,69	1,11	0,13	Volné
	$\varnothing D2$	72	72,58	0,49	0,2	Brzděné
	$\varnothing d2$	44	43,61	1,17	0,25	Volné
	H	88,2	88,91	0,39	0,16	Brzděné
	L	181	182,45	0,57	0,06	Brzděné

U kokily K-252 dochází k volnému smrštění anebo naopak brzděnému smršťování podle tvaru odlitku a použitých jader. Tabulka 8. nám udává skutečná smrštění odlitku v různých místech podle charakteru odlitku, to je podle toho, zda tvar odlitku a jádra umožňuje volné smrštění anebo naopak brání volnému smrštění. Z Tab. 8 vyplývá, že pro dosažení požadované přesnosti nelze užívat univerzální smrštění (např. 0,8%), ale že je nutné posuzovat i to, zda smrštění bude probíhat volně nebo brzděně.

Všechny naměřené hodnoty naleznete v Příloha 8.

7.2.3 Měření rozměrů odlitku K-251

Byla použita stejná měřidla jako u přechozího odlitku. Ze všech 10 měřených odlitků byly odstraněny jádra a nálitky. Pomocí měřidel jsem změřil hodnoty, které jsou zakótovány na Obr. 34. U odlitku byly měřeny vnitřní průměry ($d1$ a $d2$) a vnější průměry odlitku ($D1$ a $D2$) pomocí posuvného měřítka. Výška (H) a délka (L) byly měřeny na měřícím stole výškoměrem.



Obr. 34 Měřené rozměry na odlitku K-251

7.2.4 Zhodnocení smrštění odlitku K-251

Měření rozměrů probíhalo po zchladnutí odlitků 24 hodin po odlití, tj. při teplotě cca 20 °C, u odlitku K-251 došlo před měřením k nezbytnému vytryskání pískového jádra, aby bylo možno měřit vnitřní průměry.

Tab. 9 Smrštění měřených rozměrů na odlitku s jádrem Coldbox

	Označení rozměrů	Rozměr výkres	Průměr rozměrů kokily/jádra	Smrštění	Směrodatná odchylka	Druh smrštění
		[mm]	[mm]	[%]	[%]	
K-251 s jádrem Coldbox	øD1	48	48,38	1,27	0,09	Brzděné
	ød1	38	37,18	1,61	0,25	Volné
	øD2	37	37,29	0,9	0,11	Brzděné
	ød2	18	17,86	-0,06	0,31	Volné
	H	92	92,74	0,74	0,06	Brzděné
	L	164	165,35	0,44	0,17	Brzděné

Tab. 10 Smrštění měřených rozměrů na odlitku s jádrem Resol CO2

	Označení rozměrů	Rozměr výkres	Průměr rozměrů kokily/jádra	Smrštění	Směrodatná odchylka	Druh smrštění
		[mm]	[mm]	[%]	[%]	
K-251 s jádrem Resol CO2	øD1	48	48,38	1,27	0,18	Brzděné
	ød1	38	37,18	1,61	0,15	Volné
	øD2	37	37,29	1,08	0,11	Brzděné
	ød2	18	17,86	0,06	0,8	Volné
	H	92	92,74	0,74	0,01	Brzděné
	L	164	165,35	0,21	0,06	Brzděné

Dochází k obdobnému smrštění jako u odlitku K-252. U Coldboxového jádra s vyšší pevností se předpokládala větší rozměrová přesnost než u jádra Resol CO2 s nižší pevností.

Z obou tabulek vyplývá, že pro dosažení požadované přesnosti nelze užívat univerzální smrštění.

Všechny naměřené hodnoty naleznete v Příloha 9.

8 ZÁVĚRY

V první části bakalářské práce byla věnována pozornost teoretickým faktorům odlévání odlitků do kovových forem.

Sklopné lití se ukázalo jako nejvhodnější metodou odlévání tenkostěnných odlitků typu potrubí. Při sklopném lití je možné dosáhnout řízeného plnění formy s potlačenou turbulencí taveniny a dosažení usměrněného tuhnutí odlitku.

Při sklopném lití byla využita i simulace lití a tuhnutí odlitku. Byla prokázána dobrá shoda s výrobou odlitku ve slévárně.

Bylo prokázáno, že pro dosažení kvalitního odlitku je nutné znát a dodržovat optimální teplotní režim formy včetně licí jamky. Při zkoušce bylo zjištěno, že licí jamka má výrazně nižší teplotu než ostatní části kokily, což vedlo k snížení teploty odlévané taveniny a vzniku vad na odlitku. Teplota licí jamky byla vyřešena jejím dodatečným ohřevem.

Znalost teplot formy v různých fázích výroby slouží k stanovení okrajových podmínek při simulaci lití a tuhnutí. Lze vypočítat i tepelnou náročnost při předehřátí formy a případnou nutnost dohřevu formy pro dosažení optimální teploty a tím i vnitřní jakosti.

Dále se ukázalo při zkouškách a měření teplot, že z teploty na povrchu formy lze usuzovat teplotu ve vnitřní dutině formy a tím i podmínek pro tuhnutí odlitku.

V bakalářské práci se dále sledovalo smrštění konkrétního odlitku a vliv jeho tvaru na velikost smrštění podle toho, zda se jednalo o volné smršťování anebo o brzděné smršťování tvarem odlitku a tvarem a materiálem jader. Bylo prokázáno, že pro dosažení požadované přesnosti odlitku je nutné respektovat různá smrštění podle tvaru odlitku.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MICHNA, Š. a kol. Encyklopedie hliníku. Prešov: ADIN, s.r.o, 2005. ISBN 80-89041-88-4
2. PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
3. JECH, J. a A. SILBERNAGEL. *Materiály II pro 2. a 3. ročník učebního oboru slévač*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979. Řada hutnické literatury.
4. Hliník a slitiny hliníku. In: *Odbor povrchového inženýrství* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/download/Slitiny09_10.pdf.
5. KOPLÍK, J. *Řízení kvality odlitků ze slitin hliníku odlévaných gravitačně do kovových forem* [online]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2015 [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/40450>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaromír Roučka.
6. Příklady hliníkových odlitků. In: *Red* [online]. 2018 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.rednewswire.com/automotive-parts-die-casting-market-till-2024-forecast-research-report/>
7. ZALENSAS, Reviewed and rev. by John L. Jorstad ... Ed. by Donna L. *Aluminum casting technology*. 2. ed., reprint. Des Plaines, Ill: American Foundrymen's Society, 2001. ISBN 0874331579.
8. *Aluminum permanent mold handbook*. Des Plaines, Ill.: American Foundry Society, 2001. ISBN 9780874332506.
9. ROUČKA, J. *Metalurgie neželezných slitin*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 148 s. ISBN 8021427906.
10. AZoM. *Aluminium Casting Techniques – Sand Casting and Die Casting Processes* [online]. CRC Press, 2002 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=1392>
11. HAVEL, J. *Hodnocení porozity u tlakově litych odlitků z Al slitin* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2012 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/6575>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaroslav Čech.
12. DOČEKAL, J. *Výroba odlitků ze slitin hliníku odlévaných do kovových forem sklopným litím*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jiří Votava, Ph.D.

13. Tilting gravity die casting process. Foundry Lexicon [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.giessereilexikon.com/en/foundry-lexicon/Encyclopedia/show/tilting-gravity-die-casting-process-3176/>
14. ANDRESEN, B. *Die casting engineering: a hydraulic, thermal, and mechanical process*. 2004. New York: Marcel Dekker, c2005. ISBN 978-082-4759-353.
15. DOČEKAL, J. *Analýza výroby odlitků ze slitin hliníku odlévaných do kokil*. Brno, 2017. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Jiří Votava.
16. Casting geometry. *The Metal Casting* [online]. 2018 [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <http://www.themetalcasting.com/casting-geometry.html>
17. HARDING, R.A. The use of tilt filling to improve the quality and reliability of castings. *Foundry trade journal*. 2007, 180(3644), 152. ISSN 0015 9042.
18. THIRUNGNANAM, M. How to solve casting defects in the aluminum tilting gravity die casting in the shop floor. Hangzhou, Čína: World Foundry Congress, 2010.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Název
A _{50mm}	[%]	Tažnost
Al	[-]	Hliník
AlSi8Cu3	[-]	Slitina hliníku
AlSi10Mg(a)	[-]	Slitina hliníku
Cu	[-]	Měď
D _{formy}	[mm]	Rozměr formy
D _{odlitku}	[mm]	Rozměr odlitku
D1	[mm]	Velký průměr 1
D2	[mm]	Velký průměr 2
Fe	[-]	Železo
H	[mm]	Výška
HBS	[-]	Tvrdost dle Brinella
L	[mm]	Délka
Mg	[-]	Hořčík
Mn	[-]	Mangan
Ni	[-]	Nikl
P1	[-]	Pozice 1
P2	[-]	Pozice 2
P3	[-]	Pozice 3
P4	[-]	Pozice 4
P5	[-]	Pozice 5
P6	[-]	Pozice 6
Pb	[-]	Olovo
Rm	[MPa]	Pevnost v tahu
Rp 0,2	[MPa]	Mez kluzu
Si	[-]	Křemík
Sn	[-]	Cín
Ti	[-]	Titan
Zn	[-]	Zinek
d1	[mm]	Malý průměr 1
d2	[mm]	Malý průměr 2
α	[-]	Úhel
μ	[%]	Smrštění
°	[-]	Stupeň

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Chemické složení slitiny AlSi8Cu3
- Příloha 2 Chemické složení slitiny AlSi10Mg
- Příloha 3 Rafinační granulát
- Příloha 4 Modifikační tablety
- Příloha 5 Chemické složení a způsob vytvrzení jader
- Příloha 6 Měření teplotního režimu kokily K-252
- Příloha 7 Měření teplotního režimu kokily K-251
- Příloha 8 Rozměry odlitku K-252 s jádrem Coldbox
- Příloha 9 Rozměry odlitku K-251 s jádrem Coldbox a Resol CO2

SEZNAM VÝKRESŮ

- Odlitek K-252 BP-01-170533-00
- Odlitek K-251 BP-02-170532-00

Program: AL-01
 Pozn.: Al-slitiny
 Prumer (n=0)

AL-114878

28.03.2018 13:56:14

Prvky: Koncentrace

Vzorek: KOK 6-1
 Poznámka: ZKOUSKA K252

Jakost: AlSi8Cu3
 Operator: PAVLIK

	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %	Ni %	Cr %
↓	9.00				0.2000			
x	8.22	0.73	3.14	0.3550	0.2227	0.78	0.0486	0.0316
↑	11.000	0.55	0.1000	0.4500	0.4500	0.1000	0.0500	
	Pb %	Sn %	Ti %	Ag %	B %	Be %	Bi %	Ca %
↓								
x	0.0412	0.0207	0.0414	0.0026	0.0017	0.0002	0.0032	0.0007
↑	0.0500	0.0500	0.1500					0.0150
	Cd %	Na %	P %	Sr %	Li %	Zr %	Co %	V %
↓								
x	0.0057	0.0010	0.0028	<0.0000	0.0001	0.0057	0.0072	0.0072
↑			0.0150					
	Ga %	Al %						
↓								
x	0.0090	86.329						
↑								

Jakost odpovídá

Program: AL-01
 Pozn.: Al-slitiny
 Prumer (n=1)

AL-114878

22.03.2018 06:26:02

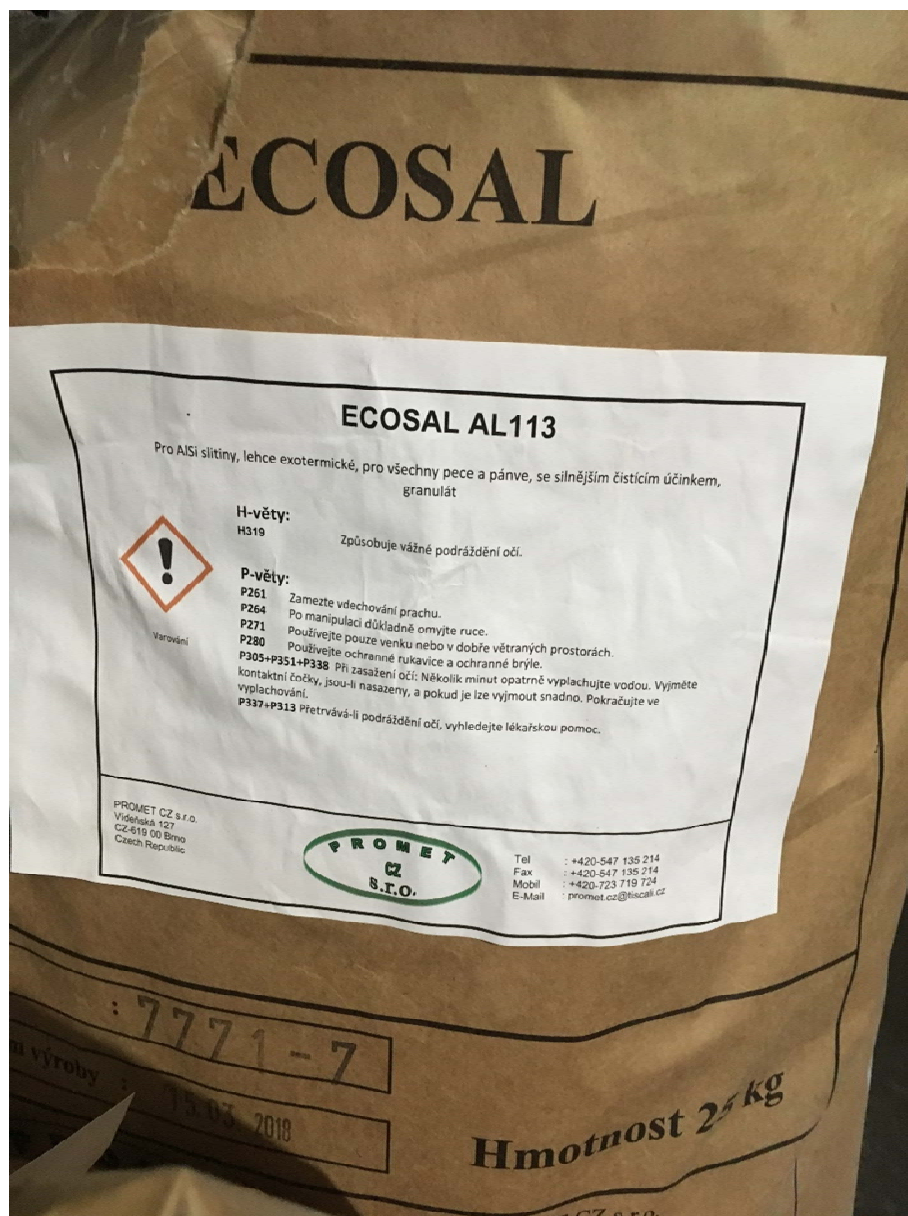
Prvky: Koncentrace

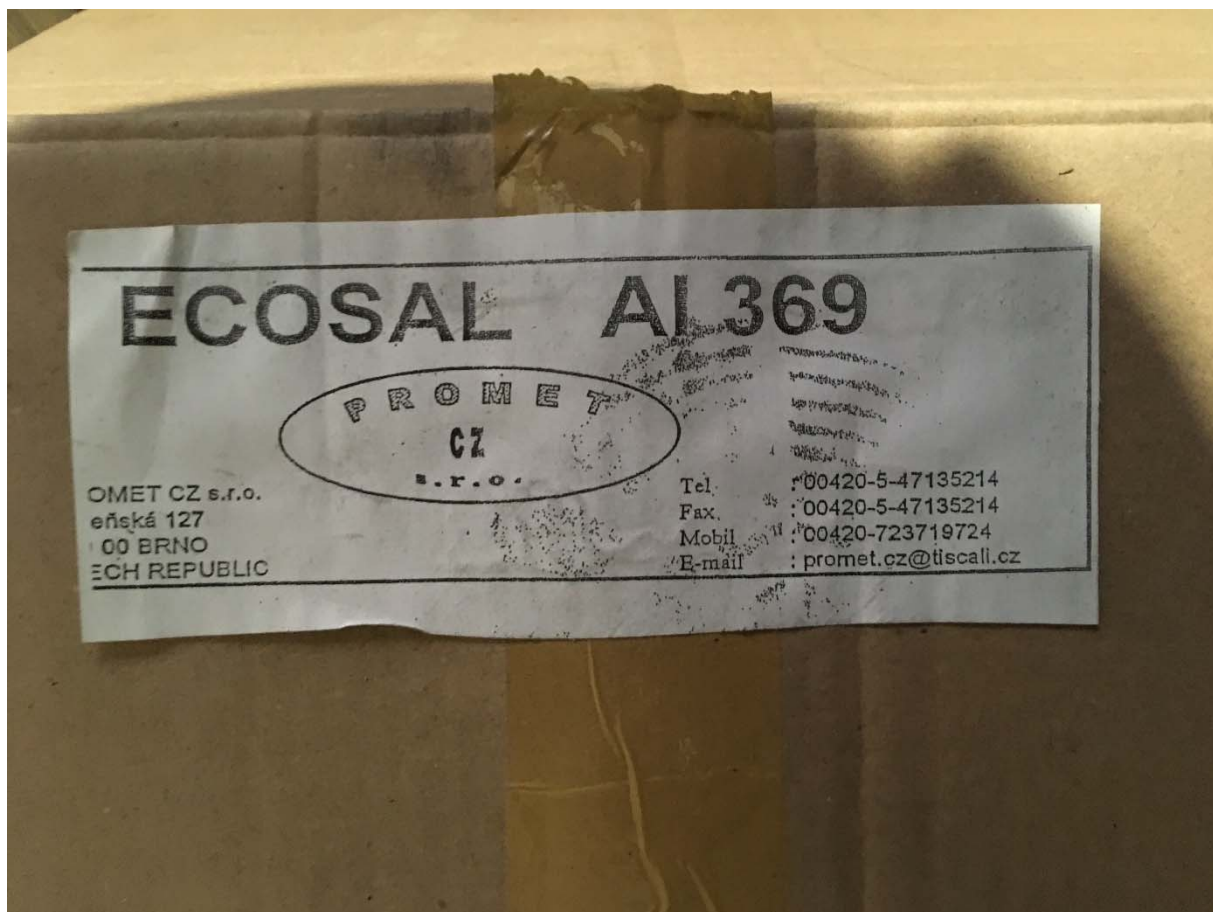
Vzorek: KOK 5-1
 Poznamka: ZK.

Jakost: AlSi10Mg odlitek
 Operator: Auda

	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %	Ni %	Cr %
↓	9.00				0.2000			
x	9.36	0.2156	0.0759	0.0759	0.3678	0.0395	<0.0016	0.0069
↑	11.000	0.55	0.1000	0.4500	0.4500	0.1000	0.0500	
	Pb %	Sn %	Ti %	Ag %	B %	Be %	Bi %	Ca %
↓	<0.0017	<0.0024	0.0870	0.0012	<0.0002	0.0001	<0.0025	0.0014
x	<0.0017	<0.0024	0.0870	0.0012	<0.0002	0.0001	<0.0025	0.0014
↑	0.0500	0.0500	0.1500					0.0150
	Cd %	Na %	P %	Sr %	Li %	Zr %	Co %	V %
↓	<0.0003	0.0010	0.0021	<0.0000	0.0001	0.0015	<0.0011	0.0090
x	<0.0003	0.0010	0.0021	<0.0000	0.0001	0.0015	<0.0011	0.0090
↑			0.0150					
	Ga %	Al %						
↓								
x	0.0117	89.741						
↑								

Jakost odpovídá





COLD-BOX AMIN

Dvousložkové pojivo, fenol-formaldehydová pryskyřice a izokyanát, reakce těchto dvou složek sice probíhá, ale pomalu, proto se používá terciální amin jako katalyzátor. Výsledkem je polyuretanové pojivo udávající směsi pevnost. Použito Leganol HD131.4(složka 1), Leganol NL231(složka 2) a katalyzátor DMIPA od společnosti Mazzon. "

RESOL-CO2

Alkalizované resolové pojivo (fenol-formaldehydová pryskyřice polykondenzující v zásaditém prostředí, poměr 1:1-1:3 fenol: formaldehyd) Vytvrzované plynným CO₂. Obchodní název Permabund CO od společnosti SANDTEAM, spol. s r. o.

MĚŘENÍ TEPLOTNÍHO REŽIMU KOKILY K-252											
Číslo odlitku		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Čas [s]	bod	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
0	1	250	240	250	230	235	240	235	240	240	240
	2	320	315	330	315	305	320	310	310	305	310
	3	320	325	320	312	330	300	300	295	315	305
	4	320	360	360	355	345	300	315	350	320	325
	5	350	320	320	320	300	290	295	285	280	290
60	1	240	243	240	230	245	245	235	240	230	225
	2	330	320	320	300	330	305	310	305	310	305
	3	340	325	315	330	305	310	320	305	320	305
Odlitek	6	290	300	300	310	325	290	295	285	280	290

MĚŘENÍ TEPLTNÍHO REŽIMU KOKILY K-251 S JÁDREM COLDBOX						
Číslo odlitku		1	2	3	4	5
Čas [s]	bod	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
0	1	238	223	223	251	250
	2	330	312	325	340	327
	3	270	273	280	274	272
	4	347	347	348	351	362
	5	270	276	246	260	278
	6	156	159	152	163	153
60	1	261	252	258	260	240
	2	345	340	360	338	345
Odlitek	7	326	331	337	336	333

MĚŘENÍ TEPLTNÍHO REŽIMU KOKILY K-251 S JÁDREM RESOL CO2						
Číslo odlitku		1	2	3	4	5
Čas [s]	bod	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]	T [°C]
0	1	220	230	250	241	236
	2	325	325	315	314	303
	3	260	260	270	245	260
	4	320	335	345	350	338
	5	275	275	279	281	230
	6	185	170	180	183	174
60	1	267	260	260	249	263
	2	330	330	335	321	329
Odlitek	7	312	315	323	340	336

Rozměry odlitku K-252 s jádrem COLD-BOX														
			ČÍSLO ODLITKU											
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	Sm.Odch
D1	65	65,52	64,98	64,99	65,06	64,98	64,87	65,16	65,15	65,08	65,31	64,94	65,05	0,12
%	100	100,80	99,97	99,98	100,09	99,97	99,80	100,25	100,23	100,12	100,48	99,91	100,08	0,19
Smrštění			0,82	0,81	0,70	0,82	0,99	0,55	0,56	0,67	0,32	0,89	0,71	0,19
Korekce			0,02	0,01	-0,10	0,02	0,19	-0,25	-0,24	-0,13	-0,48	0,09	-0,09	0,19
			ČÍSLO ODLITKU											
ROZMĚR	VÝKRES	JÁDRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	Sm.Odch
d1	55	54,69	54,16	54,00	54,05	54,08	53,95	54,06	54,12	54,04	54,19	54,16	54,08	0,07
%	100	97,80	98,47	98,18	98,27	98,33	98,09	98,29	98,40	98,25	98,53	98,47	98,33	0,13
Smrštění			0,97	1,26	1,17	1,12	1,35	1,15	1,04	1,19	0,91	0,97	1,11	0,13
Korekce			0,17	0,46	0,37	0,32	0,55	0,35	0,24	0,39	0,11	0,17	0,31	0,13
			ČÍSLO ODLITKU											
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	Sm.Odch
D2	72	72,58	72,02	72,24	72,11	72,44	72,08	72,19	72,28	72,08	72,46	72,35	72,23	0,15
%	100	100,80	100,03	100,33	100,15	100,61	100,11	100,26	100,39	100,11	100,64	100,49	100,31	0,21
Smrštění			0,77	0,47	0,65	0,19	0,69	0,54	0,41	0,69	0,17	0,32	0,49	0,20
Korekce			-0,03	-0,33	-0,15	-0,61	-0,11	-0,26	-0,39	-0,11	-0,63	-0,48	-0,31	0,20

		ČÍSLO ODLITKU												
ROZMĚR	VÝKRES	JÁDRO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	Sm.Odch
d2	44	43,61	43,12	43,21	43,11	43,17	42,91	43,00	42,95	43,12	43,26	43,16	43,10	0,11
%	100	99,20	98,00	98,20	97,98	98,11	97,52	97,73	97,61	98,00	98,32	98,09	97,96	0,24
Smrštění			1,12	0,92	1,15	1,01	1,61	1,40	1,51	1,12	0,80	1,03	1,17	0,25
Korekce			0,32	0,12	0,35	0,21	0,81	0,60	0,71	0,32	0,00	0,23	0,37	0,25
		ČÍSLO ODLITKU												
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	Sm.Odch
H	88,20	88,91	88,32	88,57	88,74	88,45	88,63	88,36	88,56	88,74	88,63	88,66	88,57	0,14
%	100,00	100,80	100,14	100,42	100,61	100,28	100,49	100,18	100,41	100,61	100,49	100,52	100,41	0,16
Smrštění			0,66	0,38	0,19	0,52	0,31	0,62	0,39	0,19	0,31	0,28	0,39	0,16
Korekce			-0,14	-0,42	-0,61	-0,28	-0,49	-0,18	-0,41	-0,61	-0,49	-0,52	-0,41	0,16
		ČÍSLO ODLITKU												
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Průměr	Sm.Odch
L	181	182,45	181,35	181,46	181,45	181,34	181,35	181,65	181,23	181,35	181,46	181,55	181,42	0,11
%	100	100,80	100,19	100,25	100,25	100,19	100,19	100,36	100,13	100,19	100,25	100,30	100,23	0,06
Smrštění			0,60	0,54	0,55	0,61	0,60	0,44	0,67	0,60	0,54	0,49	0,57	0,06
Korekce			-0,20	-0,26	-0,25	-0,19	-0,20	-0,36	-0,13	-0,20	-0,26	-0,31	-0,23	0,06

Rozměry odlitku K-251 s jádrem COLD-BOX									
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
D1	48,00	48,38	47,79	47,82	47,71	47,71	47,80	47,77	0,04
%	100,00	100,80	99,56	99,63	99,40	99,40	99,58	99,51	0,09
Smrštění			1,22	1,16	1,38	1,38	1,20	1,27	0,09
Korekce			0,42	0,36	0,58	0,58	0,40	0,47	0,09
ČÍSLO ODLITKU									
ROZMĚR	VÝKRES	JÁDRO	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
d1	38,00	37,18	36,65	36,48	36,75	36,54	36,49	36,58	0,09
%	100,00	97,80	96,45	96,00	96,71	96,16	96,03	96,27	0,25
Smrštění			1,43	1,88	1,16	1,72	1,86	1,61	0,25
Korekce			0,63	1,08	0,36	0,92	1,06	0,81	0,25
ČÍSLO ODLITKU									
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
D2	37,00	37,29	37,01	36,88	36,99	36,97	36,93	36,96	0,04
%	100,00	100,80	100,03	99,68	99,97	99,92	99,81	99,88	0,11
Smrštění			0,75	1,10	0,80	0,86	0,97	0,90	0,11
Korekce			-0,05	0,30	0,00	0,06	0,17	0,10	0,11
ČÍSLO ODLITKU									
ROZMĚR	VÝKRES	JÁDRO	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
d2	18,00	17,86	17,84	17,88	17,97	17,78	17,89	17,87	0,06
%	100,00	99,20	99,11	99,33	99,82	98,78	99,39	99,29	0,31
Smrštění			0,11	-0,11	-0,60	0,45	-0,17	-0,06	0,31
Korekce			-0,69	-0,91	-1,40	-0,35	-0,97	-0,86	0,31

Příloha 9

2/4

ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
H	92,00	92,74	92,18	92,04	92,03	92,03	92,03	92,06	0,05
%	100,00	100,80	100,20	100,04	100,03	100,03	100,03	100,07	0,06
Smrštění			0,61	0,76	0,77	0,77	0,77	0,74	0,06
Korekce			-0,19	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03	-0,06	0,06
ČÍSLO ODLITKU									
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
L	164,00	165,35	164,57	164,28	164,98	164,98	164,34	164,63	0,28
%	100,00	100,80	100,35	100,17	100,60	100,60	100,21	100,38	0,17
Smrštění			0,47	0,65	0,22	0,22	0,61	0,44	0,17
Korekce			-0,33	-0,15	-0,58	-0,58	-0,19	-0,36	0,17

Rozměry odlitku K-251 s jádrem RESOL									
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
D1	48,00	48,38	47,75	47,77	47,93	47,74	47,64	47,77	0,09
%	100,00	100,80	99,48	99,52	99,85	99,46	99,25	99,51	0,18
Smrštění			1,30	1,26	0,93	1,32	1,53	1,27	0,18
Korekce			0,50	0,46	0,13	0,52	0,73	0,47	0,18
ČÍSLO ODLITKU									
ROZMĚR	VÝKRES	JÁDRO	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
d1	38,00	37,18	36,50	36,57	36,55	36,69	36,60	36,58	0,06
%	100,00	97,80	96,05	96,24	96,18	96,55	96,32	96,27	0,15
Smrštění			1,83	1,64	1,69	1,32	1,56	1,61	0,15
Korekce			1,03	0,84	0,89	0,52	0,76	0,81	0,15
ČÍSLO ODLITKU									
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
D2	37,00	37,29	36,97	36,99	36,84	36,87	36,77	36,89	0,07
%	100,00	100,80	99,92	99,97	99,57	99,65	99,38	99,70	0,20
Smrštění			0,86	0,80	1,21	1,13	1,39	1,08	0,20
Korekce			0,06	0,00	0,41	0,33	0,59	0,28	0,20
ČÍSLO ODLITKU									
ROZMĚR	VÝKRES	JÁDRO	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
d2	18,00	17,86	17,68	17,66	17,92	17,92	18,07	17,85	0,14
%	100,00	99,20	98,22	98,11	99,56	99,56	100,39	99,17	0,80
Smrštění			1,01	1,12	-0,34	-0,34	-1,18	0,06	0,80
Korekce			0,21	0,32	-1,14	-1,14	-1,98	-0,74	0,80

Příloha 9

4/4

ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
H	92,00	92,74	92,04	92,06	92,08	92,07	92,05	92,06	0,01
%	100,00	100,80	100,04	100,07	100,09	100,08	100,05	100,07	0,01
Smrštění			0,76	0,74	0,72	0,73	0,75	0,74	0,01
Korekce			-0,04	-0,06	-0,08	-0,07	-0,05	-0,06	0,01
ČÍSLO ODLITKU									
ROZMĚR	VÝKRES	KOKILA	1	2	3	4	5	Průměr	Sm.Odch
L	164,00	165,35	164,87	165,05	165,15	165,04	164,91	165,00	0,06
%	100,00	100,80	100,53	100,64	100,70	100,63	100,55	100,61	0,06
Smrštění			0,29	0,18	0,12	0,19	0,27	0,21	0,06
Korekce			-0,51	-0,62	-0,68	-0,61	-0,53	-0,59	0,06