

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav strojírenské technologie

**Technologie odlitek smykadel pro obráběcí stroje z
litiny s kuličkovým grafitem**

Bakalářská práce

Studijní program: Výroba a ekonomika ve strojírenství
Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství
Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Němec

Bredl Jan

Praha 2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Jan Bredl**

Program: Výroba a ekonomika ve strojírenství

Obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Název: Technologie odlitků smykadel pro obráběcí stroje z litiny s kuličkovým grafitem

Název anglicky: Technology of castings of slides for machine tools made of GJS

Zásady pro vypracování:

1. Odlitky smykadel pro obráběcí stroje
2. Materiál odlitků
3. Technologie odlitků smykadel
4. Úpravy technologie: chladitka, vtoková soustava
5. Závěr

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Milan Němec, CSc.

Konzultant: doc. Ing. Antonín Mores, CSc.

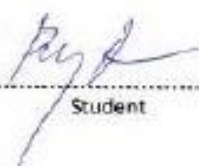
Datum zadání bakalářské práce: 25. 4. 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 12. 8. 2016

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou nebo bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové nebo bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 12. 8. 2016



Student



Vedoucí ústavu

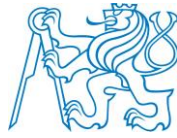




Děkan

V Praze

dne 24. 4. 2016

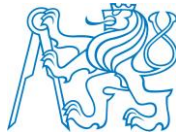


Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Technologie odlitků smykadel pro obráběcí stroje z litiny s kuličkovým grafitem“ vypracoval samostatně, pod vedením pana doc. Ing. Milana Němce a pana doc. Ing. Antonína Morese a s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce - viz seznam použité literatury.

V Rumburku dne 25 .7. 2016

Bredl Jan



Poděkování

Mé největší poděkování patří vedoucímu této práce - panu doc. Ing. Milanu Němcovi a konzultantovi - panu doc. Ing. Antonínu Moresovi za odborný dohled, velice cenné rady a včasné připomínky při tvorbě této práce.

Dále bych rád poděkoval celému pracovnímu kolektivu v METALURGII Rumburk s.r.o., zejména panu Jiřímu Drobečkovi a panu Ing. Jiřímu Votočkovi za trpělivost, vstřícnost a za předání spousty užitečných zkušeností.



Anotační list

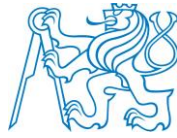
Jméno autora:	Bredl Jan
Název BP:	Technologie odlitků smykadel pro obráběcí stroje z litiny s kuličkovým grafitem
Anglický název:	Technology of castings of slides for machine tools made of GJS
Rok:	2016
Program:	Výroba a ekonomika ve strojírenství
Obor studia:	Technologie, materiály a ekonomika strojírenství
Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Vedoucí BP:	doc. Ing. Milan Němec
Bibliografické údaje:	počet stran: 57 počet obrázků: 23 počet tabulek: 4 počet příloh: 15

Klíčová slova: kuličkový grafit, LKG, smykadlo, staženina, chladítko

Key words: spheroidal graphite, GJS, slipper, shrinkage, chill part

Anotace:

Bakalářská práce se zabývá technologií odlitků smykadel pro obráběcí stroje z litiny s kuličkovým grafitem, konkrétně úpravou stávající technologie na odlitku smykadlo WHR 13 (Q). Cílem práce je upravit původní technologii tak, aby se odstranily vnitřní vady (staženiny a řediny), které se na tomto odlitku často vyskytovaly.



Abstract:

The bachelor thesis relevant to the technology of casting of slippers for machine tools made of spheroidal graphite cast iron. It specifically deals with adjusting the current technology of the slipper WHR 13 (Q). The main goal of the thesis is to adjust the revised technology in order to eliminate internal defects (contraction cavities and shrinkage porosity) which have frequently occurred in the past.



Obsah

Úvod	10
1 Teoretická část	11
1.1 Historie výroby litiny s kuličkovým grafitem	11
1.2 Princip výroby litiny s kuličkovým grafitem.....	13
1.2.1 Struktura a vlastnosti litiny s kuličkovým grafitem	15
1.2.2 Grafit	15
1.2.3 Základní kovová hmota	16
1.3 Modifikace LKG.....	17
1.3.1 Metody modifikace.....	19
1.3.2 Metoda SANDWICH	20
1.3.3 Metoda TUNDISH	21
1.3.4 Modifikace ve SFEROKLÁVU (AUTOKLÁVU).....	22
1.3.5 Modifikace v KONVERTORU +GF+	23
1.3.6 Modifikace plněným profilem.....	24
1.3.7 Metoda INMOLD	27
1.4 Funkce modifikátoru – teorie vzniku kuličkového grafitu	28
1.4.1 Druh zárodku	28
1.4.2 Fyzikální vlastnosti taveniny.....	28
1.4.3 Podmínky rychlosti růstu grafitu na jednotlivých krystalografických plochách	29
1.5 Chemické složení litiny s kuličkovým grafitem	29
1.5.1 Obsah manganu	29
1.5.2 Obsah fosforu	30
1.5.3 Obsah síry.....	30
1.5.4 Karbidotvorné prvky a nečistoty	30
1.6 Tavení litiny v rotačních bubnových pecích.....	31
1.6.1 Konstrukce pece	31
1.6.2 Průběh tavení.....	36
1.6.3 Metalurgie	36
1.7 Tavení LKG v ostatních tavících agregátech.....	37



1.8	Formovací směsi pro formy a jádra	38
1.8.1	Vlastnosti formovací směsi	38
1.8.2	I. generace	39
1.8.3	II. generace	39
1.8.4	III. generace	40
2	Praktická část	41
2.1	Poloha odlitku ve formě.....	43
2.1.1	Zásady pro stanovení dělicí roviny	43
2.2	Vtoková soustava pro smykadlo WHR 13 (Q).....	44
2.3	Výpočet vtokové soustavy odlitku smykadla WHR 13 (Q)	46
2.3.1	Optimální doba plnění formy [7].....	46
2.3.2	Střední ferostatický tlak $h_{stř}$ [7].....	47
2.3.3	Výpočet plochy průřezu zářezů [7].....	47
2.3.4	Výpočet plochy průřezu struskováku a vtokového kůlu [7].....	48
2.4	Nálitkování odlitků, zásady pro odlitky smykadel	50
2.4.1	Místo pro umístění nálitků	51
2.4.2	Charakteristiky nejpoužívanějších typů nálitků	52
2.4.3	Nálitky u odlitku smykadlo WHR 13 (Q)	54
2.5	Chladítka, zásady pro použití smykadel	54
2.5.1	Vnější chladítka použitá pro smykadlo WHR 13 (Q)	55
2.5.2	Typizovaná chladítka v METALURGII Rumburk s.r.o.....	56
2.6	Současná technologie odlitku smykadla WHR 13 (Q).....	56
	Závěr.....	60
	Seznam obrázků	61
	Použitá literatura.....	62
	Seznam příloh.....	63



Úvod

Teoretická část práce se zabývá materiálem (odlitku) a jeho historií, formovací směsí forem a jader a tavíciemi agregáty. Podrobněji je pak popsána modifikace plněným profilem a bubnová rotační pec, neboť tento způsob modifikace spolu s tímto tavícím agregátem je používán v METALURGII Rumburk s.r.o.

V úvodu praktické části je krátké představení odlitku smykadla včetně jeho historie. Ve zbytku mé práce se zabývám polohou odlitku ve formě, vtokovou soustavou, nálitky a především chladítky a jejich typizací a stanovením několika univerzálních chladítek tak, aby byly použitelné i na dalších smykadlech. Největší pozornost věnuji právě chladítkům a vtokové soustavě, neboť právě zde proběhlo nejvíce úprav ve srovnání s původní technologií. V počátcích výroby tohoto odlitku se na smykadlech objevovaly vady typu staženin a ředin. Požadavky na kvalitu u tohoto odlitku jsou velké, neboť odlitek je obráběn ze všech stran a opravy vad jsou zákazníkem zamítnuty. Úkolem této práce je tedy stanovit takovou technologii, která všem těmto vadám předejde.

Přílohy bakalářské práce obsahují strojní výkres odlitku smykadla, schéma původní a změněné technologie a fotografie vad odlitku, které byly na odlitcích před změnou technologie.



1 Teoretická část

1.1 Historie výroby litiny s kuličkovým grafitem

K první průmyslové výrobě litiny s kuličkovým grafitem (LKG) došlo v roce 1948, avšak zkušební tavby byly uskutečněny o pár let dříve, na konci 2. světové války a krátce po jejím skončení. Tehdejší výzkumné práce spočívaly především v prověřování nodulačních účinků ceru a hořčíku na vylučování grafitu. Jako nejvhodnější se po mnoha zkouškách osvědčil hořčík, který byl poměrně spolehlivý a cenově dostupný. Avšak reakce hořčíku s taveninou je velice prudká. Prudkost reakce bylo možno snížit dvěma způsoby, jednak použitím zvláštních zařízení (krytých pánví, kabin, přetlakových pánví a přetlakovými komorami nazývanými autoklávy, později sferoklávy). Druhý způsob jak snížit prudkost reakce hořčíku s taveninou byl založen na snížení jeho obsahu v modifikační přísadě pomocí dalších prvků jako je např. Ni, Cu, Si. Největšího rozšíření tohoto způsobu bylo dosaženo pomocí přidáním Si, tak vznikly známé předslitiny typu FeSiMg, které se používají i dnes. Použití předslitiny FeSiMg je v dnešní době na území České republiky při výrobě LKG nejpoužívanější.

Litina s kuličkovým grafitem byla v počátcích výroby v Československu nazývána tvárnou litinou. Tento název se u nás velmi rozšířil a dokonce je často používán i dnes, avšak překlad tohoto názvu do jiných jazyků je problematický, neboť se často překládal jako „kovaná litina, poloocel“, nebo docházelo k záměně za litinu temperovanou. Právě z tohoto důvodu je nejvhodnějším názvem litina s kuličkovým grafitem. Označení tvárná litina bylo definitivně zrušeno až vydáním normy ČSN EN 1563. Zkratkou se litina s kuličkovým grafitem označuje LKG, v cizích zemích pak jako GJS. Podobná nedorozumění vznikala při zpracování výchozího kovu předslitinou FeSiMg a následujícím grafitizačním očkovaním. Všeobecně se



pod názvem očkované litiny mínilo klasické očkování litiny, převážná část očkovaadel byla na bázi FeSi a obsahem 60-75% FeSi, případně s přidavky menšího množství dalších prvků. Při výrobě LKG je vždy nutné provádět grafitizační očkování očkovaadly na bázi FeSi. Hořčík, jehož působením vznikne kulovitý tvar grafitu, je současně prvkem karbidotvorným, po ztuhnutí LKG bychom většinou získali litinu s karbidy, případně i litinu bílou. Proto je nutnou podmínkou výroby použití grafitizačních očkovaadel, zpravidla v množství až 1% na tekutý kov. Podle druhu očkovaadla, složení výchozího kovu, teploty kovu, rychlosti ochlazování atd. je možno používat grafitizační očkovaadla v různých slévárnách v rozmezí od 0,5 do 1,2%.

Při výrobě LKG používáme výrazy modifikace a grafitizační očkování, oba tyto výrazy zavedl V. Vondrák z VŠB Ostrava. Tím byly jasně stanoveny potřebné výrazy pro výrobu LKG používané v současnosti v České republice. Toto řešení můžeme považovat za výhodné oproti názvům z jiných států, neboť v jiných průmyslových zemích se často používá pro modifikaci název první očkování a pro grafitizační očkování název druhé očkování. Někdy je zase modifikace překládána jako očkování hořčíkem, případně zpracování hořčíkem. Modifikace je totiž opravdu v překladu výraz pro očkování; řešení v češtině a slovenštině v podstatě používá pro vznik kuličkového grafitu cizí slovo, které je doplněno všem srozumitelným výrazem „grafitizační očkování“. V Československu začala výroba LKG brzy po průmyslovém zavedení v západních zemích. První provozní zkoušky a i výroba samotná spočívaly v použití ponorného zvonu, kde byl čistý hořčík ponořován do taveniny vhodného chemického složení. Tato metoda se používala např. ve slévárnách VŽKG až do roku 1970, kdy byla nahrazena metodami polévacími. Dalším rozšířeným způsobem bylo použití tlakových pánví, kde modifikace Mg probíhala za zvýšeného tlaku. Tímto způsobem se LKG vyráběla např. v TOS Kuřim, ČKD Praha, ČSD Plzeň, MŽ Olomouc. Použití autoklávu, kde se umístila pánev s tekutým kovem určitého chemického složení se stalo významným vývojovým stupněm. Od roku 1962 pracovali již mechanizované autoklávy na 1000 kg tekutého kovu ve slévárnách ČSD Plzeň, TŽ Třinec a MŽ Olomouc. V roce 1989 byl v MŽ Olomouc v provozu krátce použit



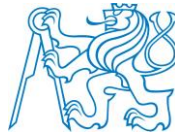
autokláv na 2000 kg tekutého kovu pro modifikaci. Tento autokláv měl název sferokláv. Metoda výroby LKG modifikací v autoklávu skončila v České republice v roce 2012.[1]

1.2 Princip výroby litiny s kuličkovým grafitem

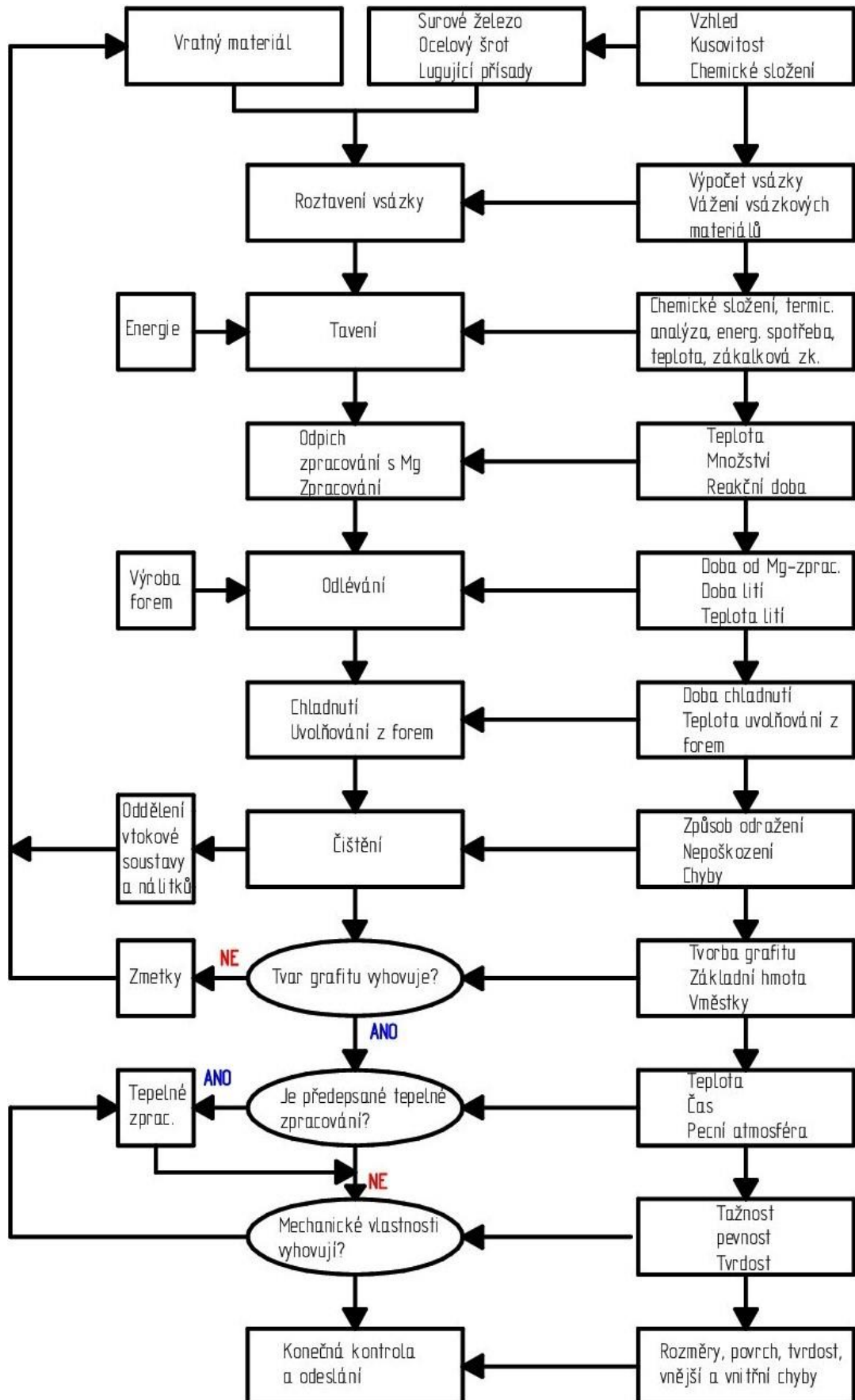
Výroba litiny s kuličkovým grafitem začínající u roztavení kovové vsázky a končící odesláním hotového odlitku je znázorněna na **obr. 1** - výroba odlitků z litiny s kuličkovým grafitem [2], kde při jednotlivých pracovních krocích jsou uvedené i příslušné zkoušky kontroly procesu a výstupné kvality.

Principem metalurgie výroby litiny s kuličkovým grafitem je mimopecní zpracování vhodně připravené výchozí taveniny dvěma druhy přísad. První přísadou je tzv. modifikátor na bázi Mg, a Ce, pomocí kterých se sníží obsah S a O₂ a vytvoří se tak předpoklad pro tvorbu grafitu v globulární formě. Druhou přísadou je grafitizační očkovadlo na bázi Si pro zajištění přítomnosti dostatečného počtu aktivních zárodků grafitu a eliminování přechlazujícího účinku Mg. Vlivem modifikační přísady dochází k výraznému podchlazení taveniny. Kdybychom použili pouze tuto přísadu vzniklo by nebezpečí krystalizace v nežádoucí metastabilní soustavě. K zabránění krystalizace ledeburitu se tavenina následně a nebo souběžně očkuje grafitizačními přísadami. Účinek modifikačního zpracování taveniny, stejně tak účinek grafitizačního očkování je krátkodobý, projevuje se zde doznívací efekt.

Takovýmto zpracováním se podstatně mění užité vlastnosti litiny. Litina s kuličkovým grafitem má dobré hodnoty tažnosti současně s vysokými hodnotami pevnosti a stává se tak vynikajícím konstrukčním materiálem. Velmi důležité je, že tyto vlastnosti LKG se dosahují v litém stavu s možností dalšího tepelného zpracování. [2]



obr. 1 - výroba odlitků z litiny s kuličkovým grafitem [2]





1.2.1 Struktura a vlastnosti litiny s kuličkovým grafitem

Grafit vyloučený v LKG má tvar kuliček. Tohoto tvaru je dosaženo pomocí modifikace litiny za použití hořčíku. Aby bylo dosaženo kuličkového tvaru grafitu musí litina obsahovat nejméně 0,025% Mg (obvyklý obsah hořčíku bývá mezi 0,030-0,060 % Mg). Místo hořčíku by bylo možné aplikovat i jiné prvky se sferoidizačním účinkem, např. kovy vzácných zemin. Avšak jejich aplikace je velmi náročná a účinek nedostatečný. Z tohoto důvodu je hořčík jediným technicky vhodným modifikačním prvkem.[2]

1.2.2 Grafit

Grafit vyloučený v LKG má být dokonale kuličkový, jemný a rovnoměrně rozložený. Avšak ve struktuře se do jisté míry může vyskytovat i nedokonale kuličkový grafit, jeho přípustné množství až do 30%. Disperzita neboli hrubost grafitu se hodnotí počtem kuliček na mm^2 . U běžných odlitků se dosahuje 100-150 kuliček/ mm^2 . Se zvyšující se jemností vyloučeného grafitu se zhoršují technologické vlastnosti, zvětšuje se rozsah mikrostaženin a pórovitost odlitků. U silnostěnných odlitků se disperzita grafitu zmenšuje, klesá až k 50 kuličkám/ mm^2 . K nedokonale kulovitému tvaru grafitu jsou náchylnější velké částice grafitu. Mezi jednotlivými kuličkami grafitu dochází k velké segregaci prvků a na hranicích zrn mohou vznikat karbidy. Získání dokonale kuličkového grafitu, pravidelně rozloženého s optimální disperzitou patří mezi nejobtížnější metalurgické problémy u tohoto typu litiny.

Mezi hlavní vady tvaru grafitu patří:

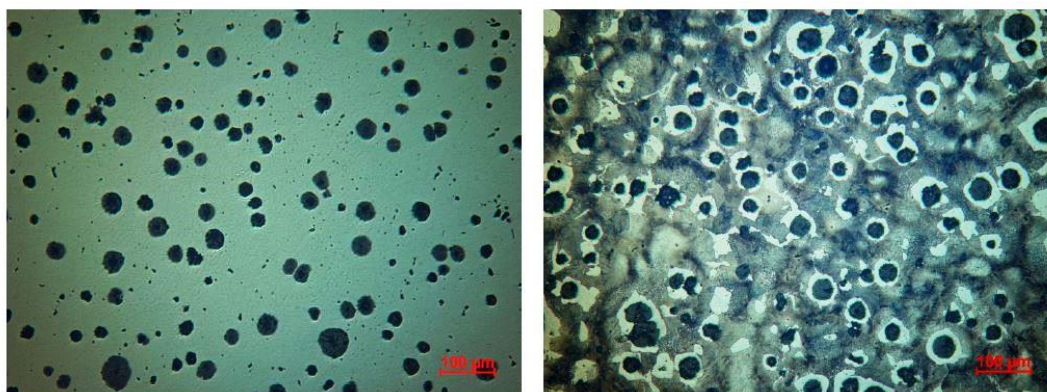
- nedokonale zrnitý grafit
 - příčinou může být nízký obsah hořčíku nebo přítomnost titanu
- mezizrnový grafit
 - vylučuje se především na hranicích eutektických zrn a vzniká působením prvků jako je Al, As, Bi, Cd, Pb, Sb a částečně i Cu
- chunky grafit a explodovaný grafit
 - grafit, který netvoří kompaktní kuličky ale „rozsypané“ částice. Tento

typ grafítu vzniká především u silnostěnných odlitků, jeho vznik též podporuje vyšší obsah prvků jako je Si, Ni, Ca nebo kovy vzácných zemin.[2]

1.2.3 Základní kovová hmota

Kovová matrice nelegované LKG může obsahovat různé podíly feritické a perlitické fáze. Především obsah perlitu a feritu ve struktuře rozhoduje o mechanických vlastnostech litiny. Díky feritu LKG získává houževnatost a plastické vlastnosti, kdežto perlit LKG zajistí pevnost a tvrdost. Legováním či tepelným zpracováním lze ve struktuře též získat sorbit, feriticko-austenitickou strukturu, martenzit či austenit. Ve struktuře nelegovaných LKG se ale mohou též vyskytovat ledeburity nebo jiné karbidy, což je velmi nežádoucí. Ledeburit může vzniknout při rychlém ochlazení, nevhodném chemickém složení nebo při nedostatečném očkování, karbidy na hranicích zrn vznikají v důsledku segregace Mn, především u silnostěnných odlitků.[2]

Na **obr. 2**–struktura LKG (vlevo neleptáno, vpravo leptáno Nitalem), vzorky pořízeny v METALURGII Rumburk s.r.o.



obr. 2–struktura LKG (vlevo neleptáno, vpravo leptáno Nitalem), vzorky pořízeny v METALURGII Rumburk s.r.o



1.3 Modifikace LKG

Modifikace LKG se provádí přímo hořčíkem nebo slitinami, které hořčík obsahují.

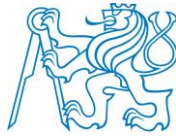
Vlastnosti hořčíku:

- $\rho = 1740 \text{ kg/m}^3$ – je lehký, má tendenci plavat na hladině
- $t_{\text{tavení}} = 650^\circ\text{C}$
- $t_{\text{vypařování}} = 1107^\circ\text{C}$ – při teplotě litiny se bouřlivě vypařuje a způsobuje rozstříkávání kovu
- silná afinita hořčíku ke kyslíku a síře
- Mg podporuje vznik zákalky – čím vyšší obsah Mg, tím větší sklon k zákalce

Obvykle se modifikuje předslitinami FeSiMg (jen výjimečně předslitinou NiMg). Čistý Mg se k modifikaci používá málo z důvodu jeho bouřlivé reakce. Modifikace kovovým hořčíkem se používá jen u metod, kde je možné regulovat či omezit bouřlivost modifikační reakce, např. ve sferoklávu nebo +GF+konvertoru.

Předslitiny FeSiMg obsahují přibližně 45% Si a 3-15% Mg. S rostoucím obsahem hořčíku roste i bouřlivost modifikační reakce. Nejčastěji používaná předslitina obsahuje 5-8% hořčíku. Tyto předslitiny jsou lehčí než modifikovaný kov a proto musí být v pánvi zajištěny proti vyplavání. Slitiny obsahující nikl jsou naopak těžší než modifikovaný kov, samy se tedy ponoří ke dnu. Modifikační předslitiny mohou též obsahovat kovy vzácných zemin, zejména cér. Jejich účelem je podpoření modifikačního účinku hořčíku a kompenzace vlivu škodlivých prvků.

Samotná modifikace probíhá probubláváním par hořčíku ode dna taveniny k hladině. Během probublávání se tvoří vměstky nazývané také jako sekundární struska, ta vzniká při reakci hořčíku se sírou a kyslíkem rozpuštěným v litině. Část hořčíkových par z taveniny unikne a na hladině shoří. Pouze ta část par, která se při cestě k hladině rozpustí v kovu způsobí vznik kuličkového grafitu. Tento obsah hořčíku se nazývá jako zbytkový hořčík – Mg_{zbyt} . Obsah Mg_{zbyt} by měl být větší než 0,03%, ale neměl by být



zbytečně vysoký, neboť jeho vyšší obsah by způsobil vznik více vměstků a litina by měla větší sklon k zákalce. Záleží také na síle stěn odlitku, u slabostěnných odlitků postačí obsah Mg lehce nad hranicí 0,03%, avšak u silnostěnných odlitků je zapotřebí vyšší obsah Mg_{zbyt} (0,045-0,06%). Dávkování hořčíku se provádí podle několika faktorů:

- podle požadovaného obsahu Mg_{zbyt}
- podle množství síry ve výchozí tavenině
- podle předpokládaného využití Mg

Využití hořčíku se odvíjí od zvolené modifikační metody a od teploty kovu, čím vyšší je teplota taveniny, tím menší bude využití Mg. Dávkování je individuální pro každou slévárnu, každá slévárna si musí dávkování prakticky ověřit a dodržovat stejné podmínky modifikace.[3]

Hořčík reaguje se sírou podle rovnice $Mg + S \longrightarrow MgS$. S rostoucím obsahem síry bude stoupat spotřeba Mg (pro odstranění 1% S se spotřebuje 0,75% Mg). Konečný obsah síry po modifikaci by měl být 0,01% S. Ve výchozí tavenině by mělo být co nejnižší zastoupení síry, aby se před samotnou modifikací nemuselo provádět odsiřování kovu. Ne všechny agregáty jsou schopny tavit kov s nízkým obsahem síry, např. kuplovna.

Teoretické množství modifikátoru lze spočítat podle vztahu:

$$m_{mod} = \frac{Mg_{zbyt} + S}{\eta \cdot Mg_{pred}} \cdot 100 \cdot 100 [\%]$$

- m_{mod} – množství modifikačního prostředku – [%] z hmotnosti kovu
- Mg_{zbyt} – zbytkový obsah hořčíku v litině [%]
- S – obsah síry v modifikovaném kovu [%]
- Mg_{pred} – obsah hořčíku v předslitině [%]
- η – využití hořčíku%

Při modifikaci pomocí předslitiny FeSiMg se do litiny též dostává velké množství křemíku, který se do taveniny vnaší i očkovadlem. O množství Si, který je navíc, se musí snížit jeho obsah ve vsázce. LKG je nezbytné dobře očkovat, neboť hořčík potlačuje vylučování grafitu. Očkování lze provádět



současně s modifikací a nebo může následovat až po ní. Očkuje se pomocí předslitin FeSi. Namodifikovanou a naočkovanou litinu je nutno odlít nejpozději do 20 minut (do 30 minut v ideálních podmínkách), neboť v důsledku vypařování hořčíku dochází k jeho ztrátám a tím pádem i ke slábnutí modifikačního účinku. Tento děj je označován jako „odeznívání“ modifikace. Pokud by se odlévalo po delší době, tvar grafitu by pak byl nedokonale zrnitý a z litiny s kuličkovým grafitem by se pak stala vermikulární litina.[3]

1.3.1 Metody modifikace

Existuje mnoho způsobů provedení modifikace, které se od sebe odlišují způsobem zavedení hořčíku do taveniny, druhem modifikačních prostředků, využitím hořčíku, objemem modifikované taveniny a v neposlední řadě též investičními nároky. Záleží pak na jednotlivých slévárnách a množství jejich produkce.

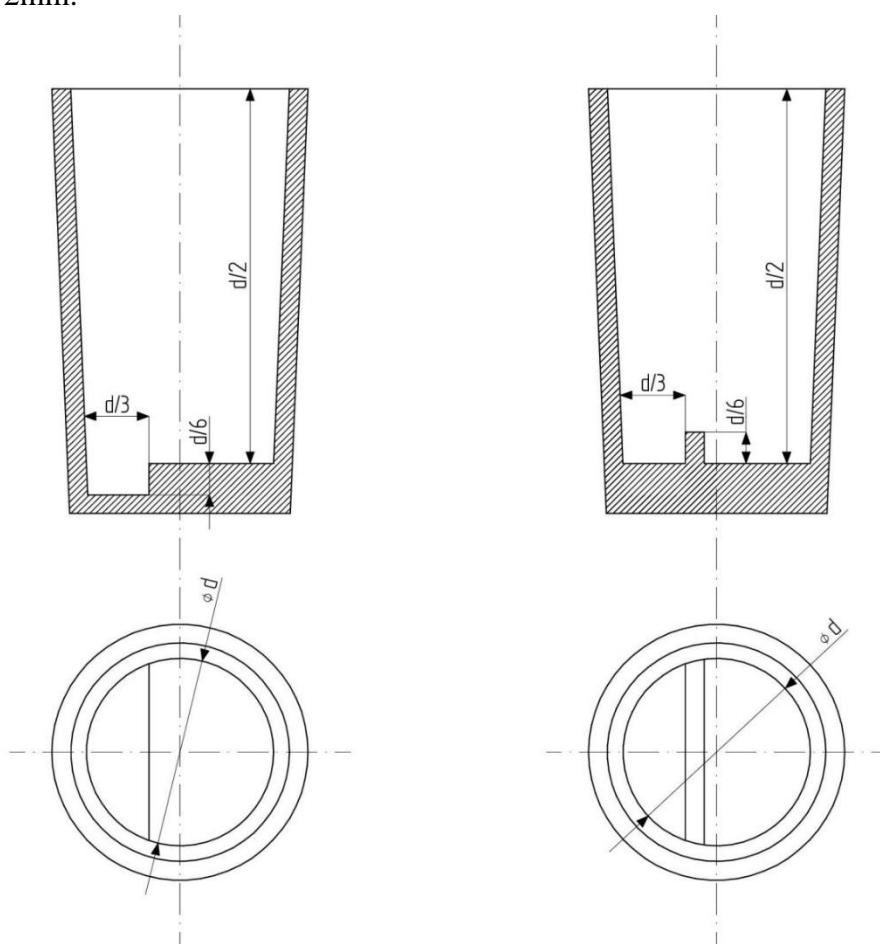
Velice zjednodušeně lze metody rozdělit do dvou kategorií a to na polévací a ponořovací. Bohužel některé z metod nelze zcela jednoznačně zařadit ani do jedné z těchto kategorií.

U polévacích metod je modifikační prostředek umístěn na dně modifikační pánve ve speciální modifikační komůrce, následně se do této pánve přejeje kov, který má být modifikován. Po skončení reakce se namodifikovaná litina přejeje do lící pánve. Mezi polévací metody lze jistě zařadit metody Tundish, Sandwich a modifikaci v konvertoru. Tyto způsoby modifikace se řadí mezi technicky jednodušší, neboť se zde pracuje pouze za atmosférického tlaku.

Ponořovací metody, jak už sám název prozrazuje, spočívají v ponoření modifikačního prostředku do taveniny. U ponořovacích metod se často používá zvýšený tlak okolní atmosféry, díky kterému lze snížit bouřlivost reakce a použít tak modifikační prostředky o vyšší koncentraci hořčíku. Mezi ponořovací metody patří modifikace ve sferoklávu, v tlakové pánvi a modifikace plněným profilem. Všechny tyto zmíněné metody jsou investičně náročnější.[3]

1.3.2 Metoda SANDWICH

Tato metoda se provádí v otevřené pánvi v jejímž dně je speciální modifikační komůrka, která může být provedena jako prohlubeň, nebo může být od zbytku dna oddělena keramickou příčkou viz **obr. 3**. Při metodě Sandwich je modifikace většinou jednostupňová, na dně komůrky je uložena dávka předslitiny Mg, přes ní jí je uložena dávka očkovačla FeSi a to vše je zakryto ocelovým plechem či plechovými odstřížky. Obě předslitiny jsou lehčí než litina, proto je vrstva oceli důležitá, brání vyplavání předslutin na hladinu a oddaluje tak start modifikace. Při této metodě se většinou používají předslitiny FeSiMg s obsahem 5-6% Mg, množství předslitiny bývá 1,2-2,0%. Hmotnost krycí oceli je závislá na množství modifikované litiny, bývá kolem 1% hmotnosti zpracovávané litiny. Tloušťka krycí oceli by neměla být menší než 2mm.

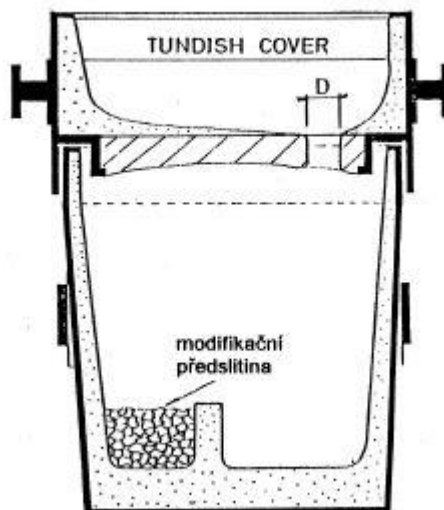


obr. 3- modifikační pánev pro metodu Sandwich [3]

Principem modifikace je, že nalitý kov musí nejprve protavit plech, čímž se oddálí modifikační reakce a zabrání se vyplavání předslitin k hladině. Je výhodnější používat speciální šihle vysoké pánve, neboť se stihnou rychle naplnit a metalostatický tlak litiny pomáhá tlumit bouřlivost reakce. Kov se do pánve nalévá tak, aby „nepadal“ přímo na komůrku s předslitinami. Modifikace je velice bouřlivá, obzvlášť při vyšších teplotách litiny. Dochází i k rozstříkávání kovu a částečným tepelným ztrátám, využití Mg 40-50%. Při metodě Sandwich není nutné používat speciální pánev, lze použít i pánev klasickou. Veškeré potřebné komponenty se umístí na dně pánve do rohu a vše překryje ocelovými odstřížky, je zde ale nutné počítat s nižším využitím Mg. [3]

1.3.3 Metoda TUNDISH

Metoda Tundish je zdokonalený způsob modifikace Sandwich. Součástí speciální pánve je víko, které obsahuje nalévací otvor viz **obr. 4**.



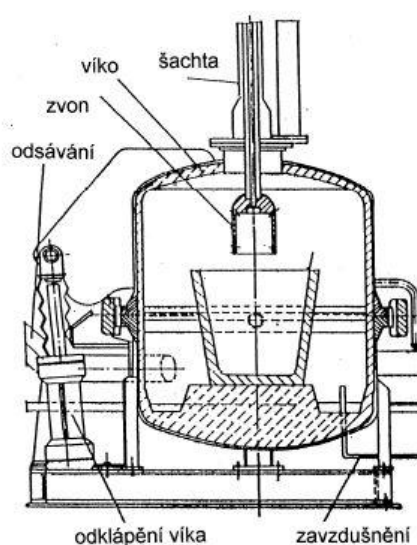
obr. 4 - pánev pro metodu Tundish [3]

Na víku je lící jamka, dostatečně velká, aby při lití bylo možné udržet hladinu kovu. Víko lze odklopit či přenést jeřábem. Před zahájením modifikace se musí víko zajistit k pánvi, aby ho tlak plynů během modifikace nenadzvedl. Předslitiny jsou podobně jako u metody Sandwich uloženy ve speciální

komůrce na dně pánve, která je od zbytku pánve oddělena příčkou. Díky zajištění víka k pánvi je lící otvor vždy umístěn tak, že přitékající kov padá mimo komůrku. Využití hořčíku je 60-70%. Díky víku se zvýší využití hořčíku na 60-70%, sníží se teplotní ztráty, ztráty rozstříkem kovu a omezí se i množství plynných exhalací. Metoda Tundish je velmi oblíbená díky své ekonomické nenáročnosti.[3]

1.3.4 Modifikace ve SFEROKLÁVU (AUTOKLÁVU)

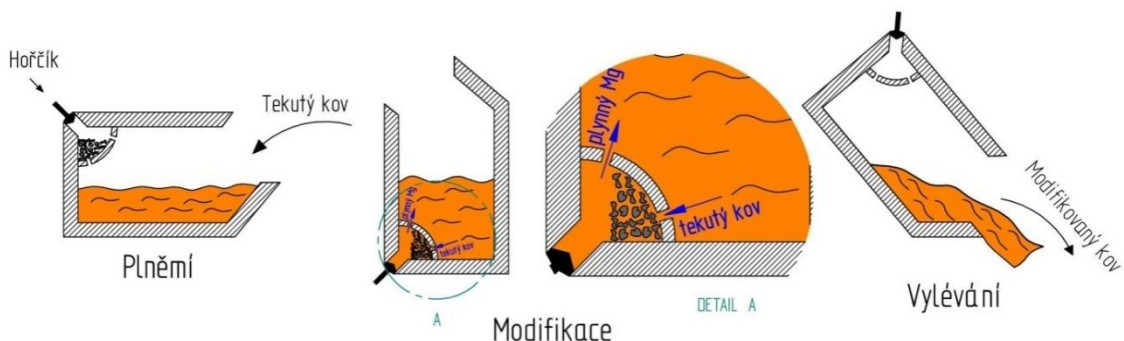
Tento způsob je od ostatních metod odlišný, neboť probíhá za zvýšeného tlaku. Díky tomu probíhá modifikační reakce pomaleji než za atmosférického tlaku, navíc zvýšením tlaku lze pak i regulovat bouřlivost celé reakce. Díky tomu se mohou použít předslitiny s vyšším obsahem Mg (okolo 15-25%) nebo dokonce i čistý Mg. Využití hořčíku se pohybuje okolo 60-80%. Výhodou tedy je menší nebo dokonce žádné množství křemíku, vnášeného modifikací. Lze pak přetavovat i vratný materiál s vysokým obsahem křemíku. Nevýhodou však je technologická a ekonomická náročnost celého zařízení. Modifikační pánve s kovem se umístí do spodní části sferoklávu. Spodní část se uzavře vrchní částí (odklopným víkem), kterou prochází ponořovací tyč se zvonem, který nese předslitinu případně i očkovadlo. Po uzavření víka se zvedne tlak v nádobě na 0,4-1 MPa a zvon se ponoří až ke dnu. Schéma sferoklávu je znázorněno na **obr. 5**. [3]



obr. 5 - schéma sferoklávu[3]

1.3.5 Modifikace v KONVERTORU +GF+

Jako konvertor je označovaná samotná nádoba, ve které je prováděna modifikace. Nádoba konvertoru je sklopná podle příčné osy. Nalévací otvor nádoby se nachází na horní straně, na boční straně dna se nachází speciální modifikační komůrka z grafitové desky, v níž je několik otvorů, jejichž počet a umístění je pro modifikaci velmi důležitý. Do této komůrky, která je opatřena samostatným uzávěrem, se vkládá čistý hořčík. Schéma pozice konvertoru při modifikaci lze vidět na **obr. 6**. Konvertor je plněn tekutým kovem ve vodorovné poloze, při této fázi není reakční komůrka s hořčíkem ve styku s kovem. Po naplnění konvertoru dojde k jeho otočení do svislé polohy, kov se skrz otvory reakční komůrky dostane do styku s Mg a začíná modifikační reakce. Namodifikovaná litina se pak přeleeje do připravené pánve. Po vylití litiny se jen otevře víko od reakční komůrky, vyčistí se od případných zbytků, nasype se další dávka hořčíku a konvertor je tak znovu připraven pro další modifikaci. Samotná modifikační reakce je klidná především díky samoregulačnímu mechanismu, který je daný konstrukcí otvorů ve stěně reakční komůrky. Princip mechanismu je založen na poměru tlaku Mg par v reakční komůrce a metalostatického tlaku v otvorech. Využití Mg je 50-70%. Tento způsob modifikace je výhodný především pro kuplovný, neboť díky používání kovového Mg pro modifikaci lze zpracovávat litinu s téměř libovolným obsahem síry – tím pádem je možné modifikovat litinu z běžné kyselé kuplovný.[3]



obr. 6 - pozice konvertoru při modifikaci [vlastní obrázek]



1.3.6 Modifikace plněným profilem

Modifikace plněným profilem se provádí pomocí modifikačního drátu, který má průměr \varnothing 5-13mm a jeho chemické složení se liší dle výrobce či podle požadavků konkrétních sléváren.

Obvyklé chem. složení: - 13-25% Mg

- 20-40% Si

- 10-20% Ca

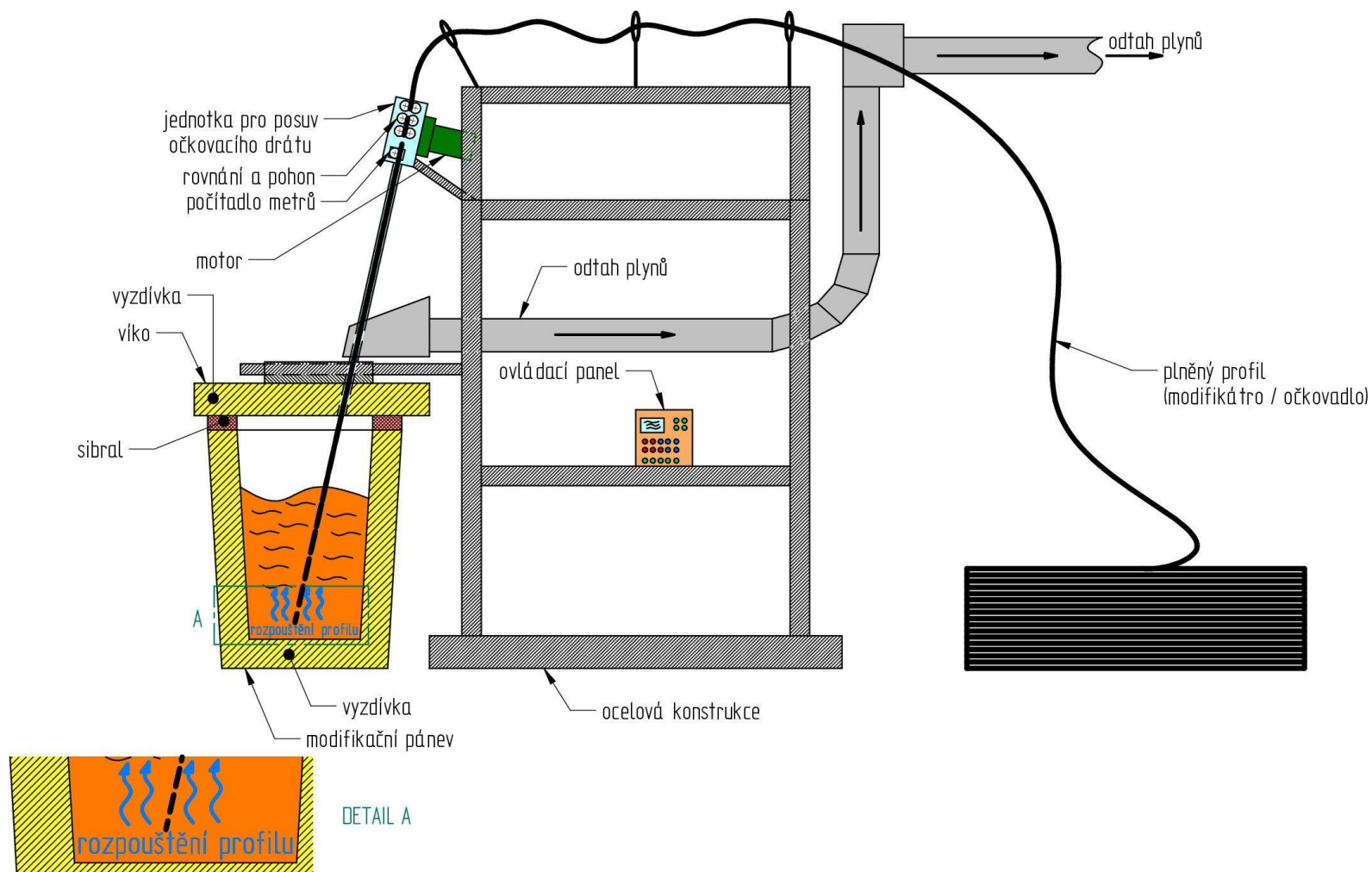
- 1% KVZ

- zbytek Fe

Způsob zavedení plněného profilu je stejný jako při očkování plněným profilem. Množství modifikovadla je dáno délkou profilu, která se nastaví na podavači. Rychlost podávání musí být optimální, taková aby k reakci docházelo u dna pánve, ale ne příliš rychlá, aby nedošlo k „zapichování“ profilu do dna pánve. Podmínky je nutno nastavit a ověřit v každé slévárně individuálně. Modifikace probíhá ve dvou fázích, nejprve se použije modifikátor a následně na to očkovadlo. Schéma modifikační stanice je zobrazeno na **obr. 8** a řez plněným profilem na **obr. 7**. [3]



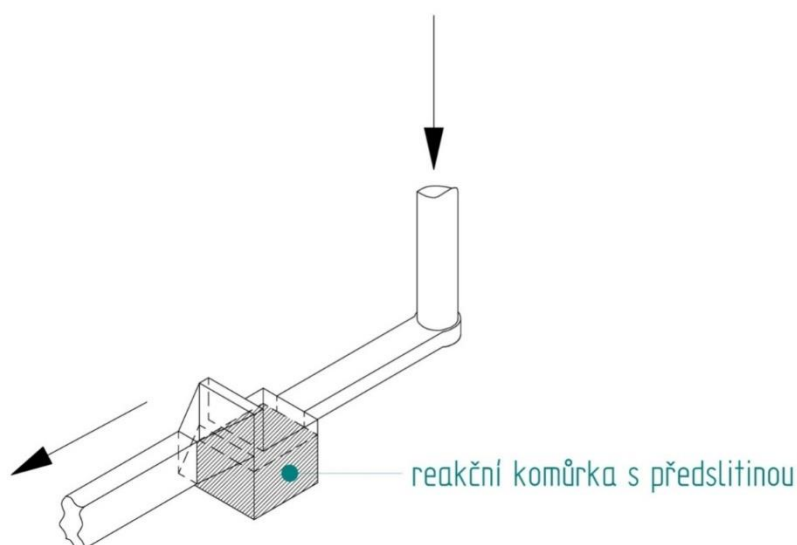
obr. 7 - řez plněným profilem (*nahoře modifikátor, dole očkovadlo*), jiný odstín snímku očkovadla je způsoben použitím jiného nasvícení než při fotografování modifikátoru, snímky byly pořízeny v METALURGII Rumburk s.r.o



obr. 8 - schéma modifikační stanice v METALURGII Rumburk s.r.o

1.3.7 Metoda INMOLD

Všechny jmenované modifikační metody mají jeden společný nedostatek a tím je odeznívání modifikačního účinku, tím pádem doba mezi modifikací a odlitím je omezená. Právě toto omezení dokáže metoda Inmold odstranit, neboť zde probíhá modifikace jednotlivě v každé formě. Součástí vtokové soustavy je modifikační komůrka a právě zde dochází k modifikaci litiny. Schéma metody Inmold je zobrazen na **obr. 9**. Modifikační komůrka obsahuje přesně odměřenou dávku předslitiny FeSiMg s obsahem hořčíku 3-5%. Modifikace je jednostupňová, neočkuje se. V průběhu lití dochází k modifikování kovu. Při této metodě je nutné aby součástí vtokové soustavy byly i filtry, které zachytí strusku vzniklou při modifikaci. Aby strusky bylo co nejméně je nutné, aby výchozí kov obsahoval max 0,01% S. Využití hořčíku je 60-80%. Nevýhodou metody Inmold je její technologická náročnost, pro každý druh formy bude provedení a uspořádání komůrky jiné a je jej nutné odzkoušet prakticky. Další nevýhodou je snížení využití tekutého kovu a nižší využitelnost plochy dělicí roviny formy. Metoda Inmold je vhodná především pro slévárny s hromadnou výrobou, vysokým stupněm automatizace a kontroly výroby (např. automobilky) – každý odlitek musí být kontrolován ultrazvukem. [3]



obr. 9 - vtoková soustav s metodou inmold [3]



1.4 Funkce modifikátoru – teorie vzniku kuličkového grafitu

Ani v dnešní době není zcela jasný mechanismus vlivu Mg popřípadě Ca, Ce, KVZ na změnu podmínek růstu grafitu v eutektické buňce, tj. na globularizaci grafitu. Podle jednotlivých hypotéz činitele ovlivňující tvar grafitu jsou:

- a) druh zárodku
- b) fyzikální vlastnosti taveniny (prostředí)
- c) podmínky rychlosti růstu grafitu na jednotlivých krystalografických plochách

1.4.1 Druh zárodku

Vzniklé sloučeniny hořčíku v tavenině vytvářejí vhodné zárodky. Podle této hypotézy se tvar grafitu odvíjí od druhu zárodku. Zárodky s hexagonální mřížkou jako je (SiO_2 , FeS , SiC a pod.) způsobují růst lupínkového grafitu, kdežto zárodky s kubickou mřížkou (MgO , MgS , Mg_2Si) způsobují vznik kuličkového grafitu. Základem těchto hypotéz byly výsledky z metalografické studie a rtg spektrální mikroanalýzy, které potvrdily nutnost síry ve středu kuličky grafitu. Nejnovější výzkumy skutečně potvrdily nutnost vhodného zárodku, ale nikoliv jako jedinou podmínku.[2]

1.4.2 Fyzikální vlastnosti taveniny

Další skupinou hypotéz, jako příčinu vzniku růstu kuličkového grafitu uvádí změnu fyzikálně-chemických vlastností taveniny, především zvýšené povrchové napětí po zpracování hořčíkem. Bylo zjištěno, že při povrchovém napětí taveniny

$\sigma = 1,4 - 1,3 \text{ N.m}^{-1}$ vzniká kuličkový grafit

$\sigma = 1,3 - 1,1 \text{ N.m}^{-1}$ vzniká podchlazený grafit

$\sigma = 1,1 - 0,8 \text{ N.m}^{-1}$ vzniká hrubý lupínkový grafit.



Změna povrchového napětí je však jen doprovodným jevem při sferoidizaci grafitu.[2]

1.4.3 Podmínky rychlosti růstu grafitu na jednotlivých krystalografických plochách

Další velmi silná skupina hypotéz vychází ze značné anizotropické stavby a vlastností krystalu grafitu. Předpokládá, že tvorba daného tvaru grafitu je vyvolaná různou rychlostí růstu na jednotlivých krystalografických plochách grafitu a fyzikálně-chemickými vlastnostmi prostředí, které se při modifikačním zpracování změní. [2]

1.5 Chemické složení litiny s kuličkovým grafitem

Litina s kuličkovým grafitem má eutektické až nadeutektické složení. Uhlíkový ekvivalent je volen podle tloušťky stěn odlitku. Poměr feritu ku perlitu ve struktuře je závislý na obsahu kyslíku a křemíku. Vyšší podíl C/Si vede (při stejném uhlík. ekvivalentu), k vyššímu podílu perlitu a naopak menší poměr C/Si vede k vyššímu podílu feritické struktury. Typický obsah uhlíku v LKG je 3,4-3,9% a obsah křemíku 2,2-2,8%. Doporučený uhlíkový ekvivalent podle tloušťky stěn je zaznamenán v **tab. 1**. [3]

tab. 1- doporučený obsah uhlíku a křemíku v LKG v závislosti na tloušťce stěn [3]

Tloušťka stěny (mm)	Struktura v litém stavu					
	Převážně perlitická			Převážně feritická		
	C (%)	Si (%)	C _E	C (%)	Si (%)	C _E
6	3,85	2,65	4,7	3,85	2,85	4,8
12	3,70	2,45	4,5	3,70	2,60	4,55
25	3,60	2,35	4,4	3,55	2,50	4,4
50	3,45	2,20	4,2	3,40	2,35	4,2
75	3,40	2,20	4,15	3,35	2,35	4,15
100 a více	3,40	2,15	4,1	3,35	2,25	4,1

1.5.1 Obsah manganu

Mangan je silný perlitotvorný prvek, jestliže chceme dosáhnout



feritické struktury již v litém stavu, je nutné dosáhnout co nejnižšího obsahu manganu, cca do 0,15% Mn. Pro dosažení perlitické struktury u slabostěnných odlitků se volí obsah manganu max. do 0,6-0,7% Mn. U silnostěnných odlitků musí být obsah Mn max. do 0,3-0,4% Mn, neboť zde dochází k vylučování manganu na hranicích zrn a v místech s velkým obsahem Mn i ke tvorbě karbidů. Zaručeným způsobem jak dosáhnout perlitické struktury u LKG je legováním 0,5-1,5% Cu. [3]

1.5.2 Obsah fosforu

Fosfor je nežádoucím prvkem, neboť snižuje tažnost a lomovou houževnatost. Fosfor se segreguje na hranicích zrn, kde tvoří steadit, což vede ke zhoršení jmenovaných mechanických vlastností. Obsah fosforu v LKG by měl být nižší než 0,08% a u silnostěnných odlitků 0,02%. [3]

1.5.3 Obsah síry

Hořčík se sírou během modifikace reaguje podle rovnice: $Mg + S \longrightarrow MgS$

Jelikož síra ochotně reaguje s hořčíkem, je její konečný obsah v LKG velmi nízký (cca 0,01%). Pokud se ovšem modifikuje pomocí předslitiny FeSiMg je větší obsah síry nežádoucí, neboť se hořčík váže na síru za vzniku MgS a zvyšuje se tak spotřeba modifikačního prostředku a zvyšuje se obsah křemíku v litině. Právě z těchto důvodů je vyžadován co nejnižší výchozí obsah síry a to do 0,02-0,03% S. Toto omezení však neplatí pokud se modifikace provádí čistého z Mg, pak lze vycházet i z litiny s obsahem síry až 0,1%. [3]

1.5.4 Karbidotvorné prvky a nečistoty

Obsah karbidotvorných prvků jako je Cr, Pb, Cd, Bi a další, které se do litiny dostávají ze vsázkových surovin, musí být velmi nízký (pro feritickou LKG $Cr < 0,04\%$, pro perlitickou LKG $Cr < 0,1\%$), neboť mají velmi nepříznivý vliv na tvar grafitu – způsobují degradaci grafitu. Účinnek těchto karbidotvorných prvků je u LKG silnější než u LLG. Proto je maximální



přípustné množství těchto prvků jen několik setin nebo tisícín procenta. Právě proto je lepší pro tavení litiny s kuličkovým grafitem používat vsázku vyšší čistoty, nejlépe bez litinového šrotu.[3]

1.6 Tavení litiny v rotačních bubnových pecích

Následující kapitola popisuje tavení v rotačních bubnových pecích a pece samotné. Pro podrobnější popis rotační bubnové pece jsem se rozhodl, neboť právě tento tavící agregát se nachází v METALURGII Rumburk s.r.o. Rotační bubnová pec zde nahradila staré kuplovny. Pro rotační bubnovou pec bylo rozhodnuto z ekologických a ekonomických důvodů.

Rotační bubnové pece patří mezi moderní tavící agregáty, které jsou dobře použitelné pro tavení všech druhů litin. Mezi jejich přednosti patří především nízké investiční náklady, vysoká operativnost, která následně umožňuje tavit rozdílné jakosti litin a volit teploty přehřátí a v neposlední řadě nízké provozní náklady. Díky použití kyslíkových hořáků vzniká poměrně malé množství spalin a je možné účinné odprášení. Rotační bubnové pece velice dobře splňují stanovené ekologické předpisy. [4]

1.6.1 Konstrukce pece

Rotační bubnová pec (RBP) se skládá z válcové části, která má na obou koncích kuželové čelo. V ose předního čela je otvor pro usazení hořáku a navíc se zde nacházejí dva odpichové otvory, které jsou během tavení uzavřeny žáruvzdornou hmotou, v zadním čele je též otvor používaný pro zavážení vsázky a také slouží pro odvod spalin. Odpichové otvory se střídají kvůli rovnoměrnému opotřebení vnitřní žáruvzdorné vyzdívky, která se nachází po celém profilu pece (kuželová čela + válcová část), žáruvzdorná vyzdívka je zobrazena na **obr. 12**. Velikost pece je určena maximální hmotností vsázky, obvyklé rozmezí bývá 2-10 t.

Pec je uložena na podpěrných válcích, poháněných elektromotory, které zajišťují otáčení pece kolem podélné osy. Naklápění pece až o 45° nahoru či dolů je zajištěno pomocí hydraulických válců.



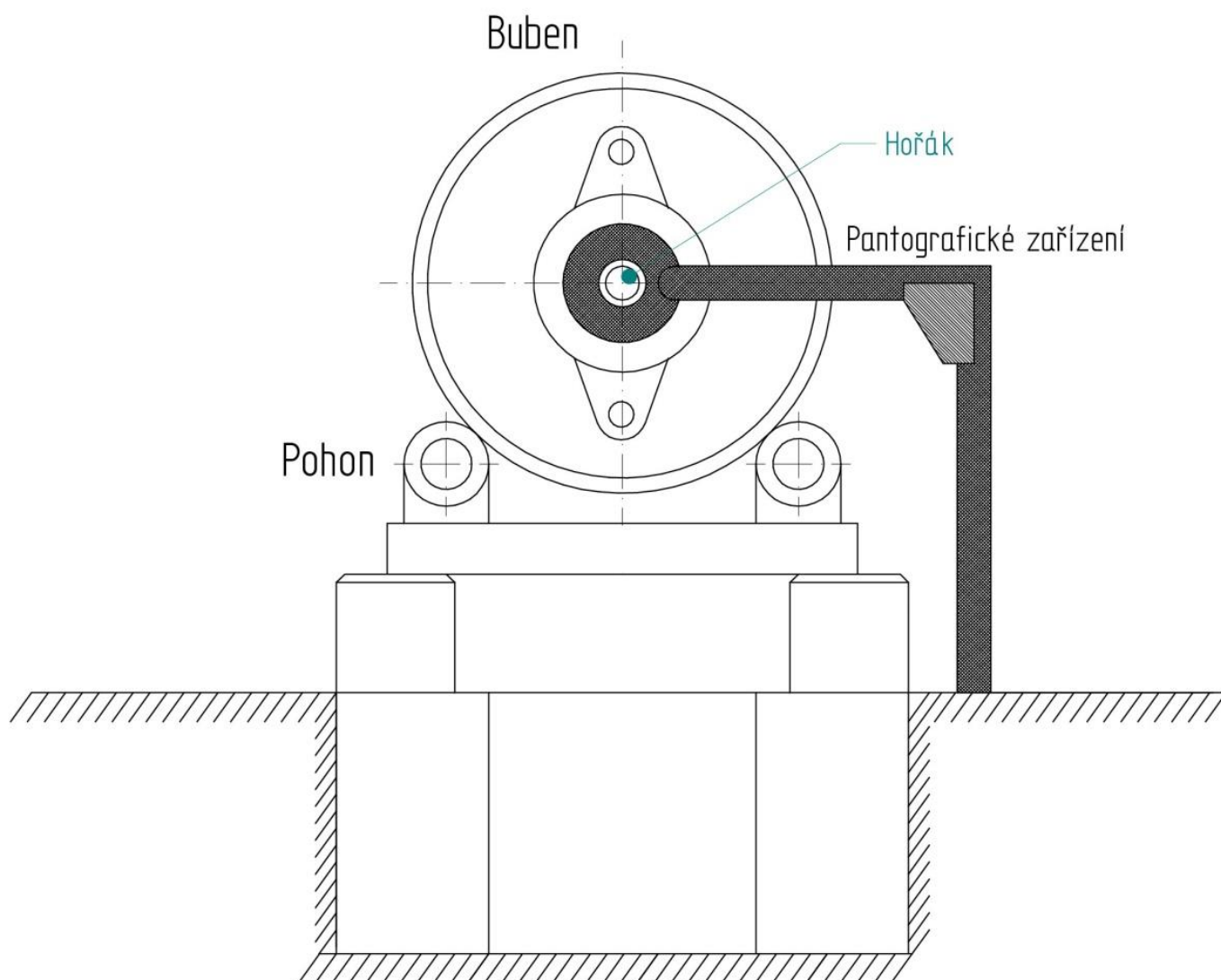
Při zavážení se pec naklopí směrem nahoru a pomocí zavážecího zařízení se veškerá vsázka přemístí do pece. Při této operaci je nutno z přední části pece vyjmout hořák a zaměnit jej za vložku, aby při vsázkování nedošlo k jeho poškození. Po nasázení se pec vrátí do horizontální polohy a následně může začít vlastní tavení. Schéma pece je zobrazeno na **obr. 10** a **obr. 11**.

K vytápění RBP se používá:

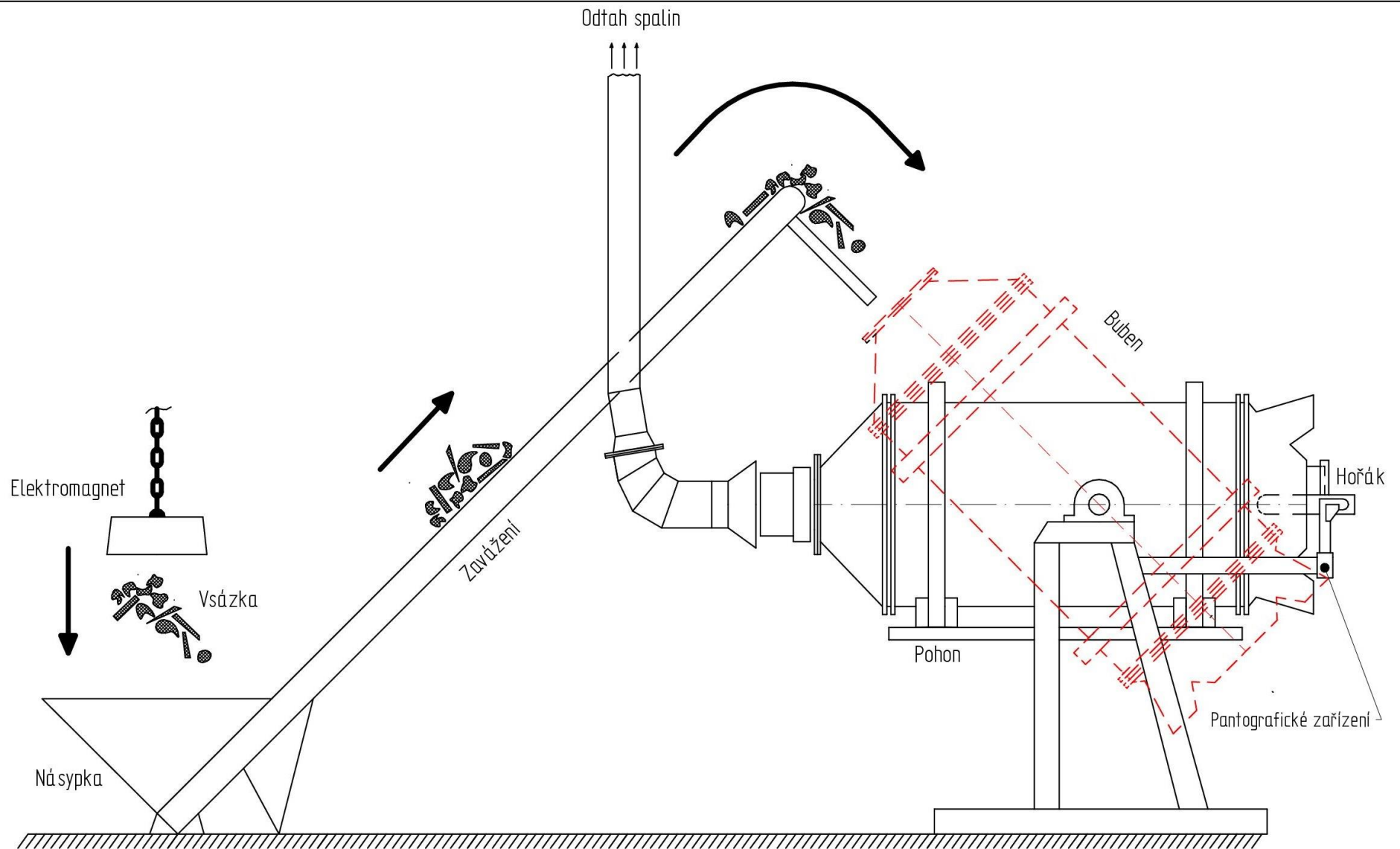
- vodou chlazené hořáky na lehký topný olej
- kapalný plyn
- zemní plyn (nejčastější)

Spalování se však provádí vždy pomocí kyslíku. Pomocí automaticky nastaveného programu se reguluje výkon, délka plamene i spalovací poměr pro jednotlivé fáze tavicího procesu. Hořák je připevněn k pantografickému zařízení, pomocí kterého je možné hořák vysunout např. při zavážení vsázky, odebírání vzorků a při opravách vyzdívky. Při použití kyslíku se dosahuje vysoké teploty plamene až kolem 2700°C a v důsledku absence dusíku vzniká pouze malé množství spalin. Než se spaliny zachytí na filtrech, tak se musí nejprve ochladit v odtahu připouštěním studeného vzduchu. Tímto způsobem klesne teplota spalin z 1500°C pod 180°C. Spaliny vystupující z pece obsahují 100-300 mg/Nm⁻³ prachových částic. Prach může pocházet ze vsázky, nahličovadla, oxidů železa a dalších oxidačních produktů. Prachové částice se nejprve zachytí v cyklonu a následně ve filtrech.

Při odpichu se nejprve probourá žáruvzdorná vyzdívka v odpichovém otvoru a následně se pootočením bubnu vypustí obsah pece. Po odpichu se pec nakloní odtahovým otvorem (nebo hořákovým otvorem, záleží na uspořádání slévárny) směrem dolů a pomocí otáčení a střásání se vysype zbytek strusky.[4]

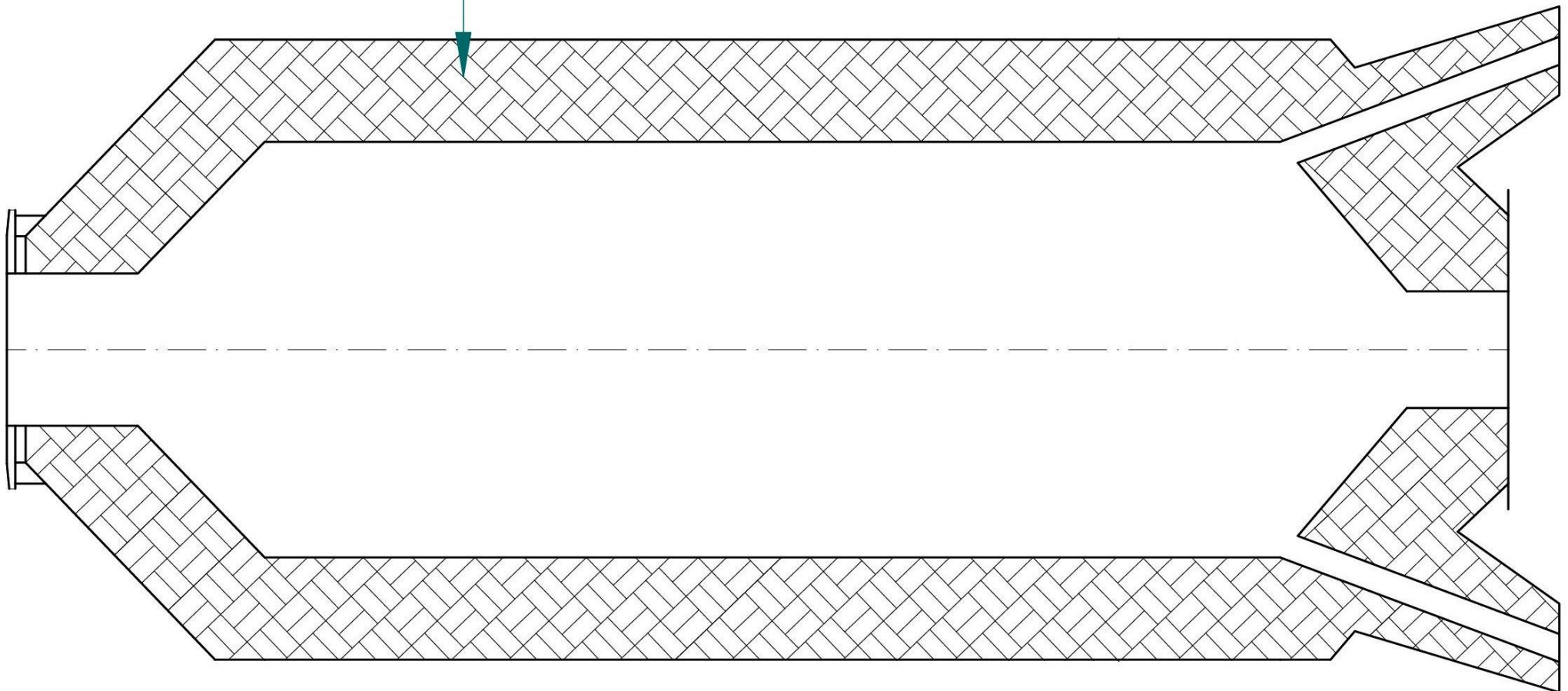


obr. 10 - schéma rotační bubnové pece v METALURGII Rumburk s.r.o



obr. 11 - schéma rotační bubnové pece v METALURGII Rumburk s.r.o

Žárovzdorná vyzdívka



obr. 12 - řez rotační bubnovou pecí v METALURGII Rumburk s.r.o



1.6.2 Průběh tavení

Z důvodu ochrany vyzdívky pece před tvrdými kusy vsázky se na počátku tavby nezapíná rotace bubnu. Ohřev vsázky je v této fázi zajištěn přímým sáláním plamene a horní částí vyzdívky. Po dosažení dostatečných teplot, kdy se vsázka stává již částečně plastickou se zapne otáčení bubnu rychlostí cca 1 otáčka za minutu. Ohřev vsázky pak probíhá přímým sáláním plamene a též ze spodu z nahřáté vyzdívky, která se otáčením dostala na dno kovu.

Pro kontrolu chemického složení, teploty kovu a pro odběr vzorků se musí nejprve vypnout a vysunout hořák z čelního otvoru bubnu, následně operace se pak provádí skrz čelní otvor bubnu. Přes čelní otvor bubnu je též možné do pece vpravit materiály pro úpravu chemického složení jako jsou např. feroslity nebo nauhličovadla. Po takových operacích se hořák opět nainstaluje a tavba pokračuje do dosažení požadované teploty. [3]

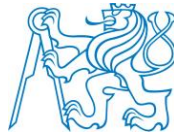
1.6.3 Metalurgie

Metalurgické pochody jsou silně ovlivněny hořením nad hladinou kovu, kde následně dochází k intenzivní reakci spalin s kovem. Velikost propalu je ovlivněn charakterem pecní atmosféry, proto se při natavování volí mírně oxidační plamen, kdežto při přehřívání se volí plamen redukční.

Velikost propalu základních prvků obvykle bývá:

- 10-15% C
- 15-25% Si
- 25-32% Mn

Vsázka do bubnových pecí se většinou skládá z 30-50% surového železa (u LLG méně, u LKG více), zbytek vsázky je tvořen vratným materiálem, litinovým a ocelovým odpadem. Do vsázky se též přidávají struskotvorné přísady – cca 0,5-1% vápence. Obsah uhlíku je regulován nauhličovadly, která jsou přidávána pokud možno již do vsázky. Využití nauhličovadel je nízké 40-60%. Doporučuje se antracit ve větší kusovosti, aby nedošlo k jeho příliš velkému shoření již v průběhu natavování. Délka tavby



bývá 1,5-3 hodiny a je závislá především na velikosti pece a požadované odpichové teploty. V RBP je možné dosáhnout teploty až 1550°C, ale z hlediska životnost vyzdívky by neměla být překročena teplota 1480°C. [3]

1.7 Tavení LKG v ostatních tavících agregátech

Tavicí zařízení musí pro výrobu LKG splňovat hned několik požadavků:

- velmi nízký obsah síry ve výchozí natavené litině (do 0,02%)
- v případech kdy je použita k modifikaci předslitina, musí natavená litina obsahovat jen 1,0 – 1,5% Si
- vysoký obsah uhlíku (3,6 – 4,0%)
- vysoká odpichová teplota - 1480 – 1540°C, v závislosti na na metodě modifikace a velikosti odlitků
- stabilita vlastností litiny a možnost kontroly její kvality

Ve své podstatě lze pro tavení LKG použít stejné zařízení jako pro tavení LLG či LVG, ale ne všechny agregáty jsou schopny dosáhnout výše uvedených požadavků.

I. Kuplovny

- nevýhodou kyselých nebo neutrálních kuploven (zásadité se používají výjimečně) je vyšší obsah síry. Litinu pak lze modifikovat jen metodami, které využívají čistý hořčík, nebo je nutné před modifikací aplikovat odsíření. Studenovětrnné kuplovny navíc nevyhoví ani požadavku licí teploty.

II. Indukční pece

- jsou nejčastěji používaným agregátem při výrobě LKG, neboť splňují všechny výše uvedené požadavky, krom obsahu uhlíku, proto je nutno aplikovat nauhličení. Převažuje používání středofrekvenčních kelímkových pecí nad kelímkovými na síťovou frekvenci.



III. Obloukové pece

- pro výrobu LKG se používají výjimečně, jejich jedinou výhodou je, že umožňují provést rafinaci, při níž se sníží obsah nečistot a plynů, díky tomu lze použít méně kvalitní vsázku.[3]

1.8 Formovací směsi pro formy a jádra

Kvalita odlitků je přímo závislá na kvalitě formovací směsi, proto musí formovací směs splňovat celou řadu požadavků, neboť její kvalita se neodráží jen na kvalitě odlitků, ale i na celkové hospodárnosti výroby. Tyto požadavky lze rozdělit na několik skupin.

1.8.1 Vlastnosti formovací směsi

I. Vlastnosti upravených směsí

- *homogenita směsi* – rovnoměrné promísení všech složek směsi
- *životnost směsi* – doba, po kterou si směs zachová požadované vlastnosti

II. Vlastnosti při formování

- *spěchovatelnost*
- *tekutost*
- *formovatelnost* – schopnost směsi vyplňovat celou formu a pěchovat se rovnoměrně v celém objemu
- *lepivost* – lepivost směsi na modelové zařízení
- *rychlost vytvrzení* – určuje dobu, za kterou je možno s formou či jádrem manipulovat a provést odlití
- *hygiena práce* – prašnost, zápach, dráždivost...

III. Vlastnosti před litím

- *pevnost*
- *náchylnost k navlhnutí* – zhoršuje vlastnosti jader a forem před litím
- *otěr a drobivost*

IV. Vlastnosti při lití



- *pevnost* – pro udržení malostatického tlaku
- *prodyšnost* – pro odvod plynů uvolněných při lití
- *plynatost* – množství plynů vyvinutých při ohřevu směsi
- *teplotní roztažnost*
- *odolnost vůči erozi*
- *obsah škodlivých prvků*, které mohou přejít do kovu
- *zrnitost a porezita* – určují výsledný povrch odlitku

V. Vlastnosti po odlití

- *rozpadavost* – pro snadné oddělení při vytloukání a čištění
- *prašnost*
- *možnost regenerace*
- *nezávadnost odpadu*

Díky rozvoji chemického průmyslu a různorodým požadavkům na vlastnosti formovacích směsí vzniklo v posledních desetiletích více nových metod výroby forem a jader. Jednotlivé metody vznikaly v určitých časových obdobích a proto jsou řazeny do skupin označovaných „generace“.[5]

1.8.2 I. generace

Mezi formovací směsi I. generace patří bentonity a illitické jíly – formovací směsi s jílovými pojivy. Jejich zpevňování probíhá pomocí: pčehování, střásání, lisování, metání nebo explozí. Při výrobě velkých forem či jader se přidávají kvůli zvýšení pevnosti ještě další přísady jako vodní sklo, cukernaté látky nebo škroby a po zaformování je nutné částečné nebo úplné vysoušení.

1.8.3 II. generace

Do druhé generace patří formovací směsi, kde vytvrzení směsi zajistí chemická reakce, která způsobí ztvrdnutí pojiva. Přesto ale musí být formovací



směs kvalitně upěchována, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností. II. generace form. směsí se dá rozdělit na tři hlavní skupiny.

I. Samovolně tuhnoucí směsi

- k jejich vytvrzování dojde samovolnou reakcí jednotlivých složek pojiva
- např. cement + voda, vodní sklo + ester, fenolická pryskyřice + kyselina, furanová pryskyřice + kyselina, atd...

II. Směsi vytvrzované teplem

- k jejich vytvrzení dojde díky chemické reakci složek pojiva
- reakci odstartuje teplo, předem ohřátého jaderníku, či modelu
- nejpoužívanější je metoda C (fenolformaldehydová pryskyřice + hexametylentetramin) a metoda HB: fenolresolová pryskyřice + kyselina

III. Směsi vytvrzené profukováním plynem

- profukovaný plyn reaguje s pojivem a díky tomu dojde k vytvrzení směsi
- nejužívanější metodou je metoda CO₂: vodní sklo + CO₂ a metoda CB: fenolická pryskyřice + polyizokyanát + terciální amin

1.8.4 III. generace

Do III. generace jsou řazeny formovací směsi, které jsou spojeny fyzikálně. Zaformování je zde provedeno pomocí vibrací a zpevnění pomocí odpaření těkavé složky pojiva či účinkem magnetického pole, vakua nebo zmrazením.[5]

2 Praktická část

Praktická část mé bakalářské práce se zabývá typizací technologie odlitků smykadel pro obráběcí stroje z litiny s kuličkovým grafitem. Konkrétně se týká smykadla ze stroje WHR 13 (Q) viz **obr. 13** a **tab.2**, který je vyráběn ve firmě TOS Varnsdorf. WHR 13 (Q) viz **obr. 14** a **obr. 15** je nejnovější představitel vodorovných stolových vyvrtávaček, který byl vyvinut z neúspěšnější generace stolových strojů WHN 13 CNC, které se v posledních desetiletích dostaly k zákazníkům po celém světě. Stroje WHN13 CNC se se svými jedinečnými vlastnostmi, spolehlivostí a výkonnostními parametry staly doslova měřítkem a etalonem pro všechny stroje této kategorie.

V praktické části mé práce se zabývám polohou odlitku ve formě, vtokovou soustavou, nálitky a především chladítka a jejich typizací a stanovením několika univerzálních chladítek tak, aby byly použitelné i na dalších smykadlech.

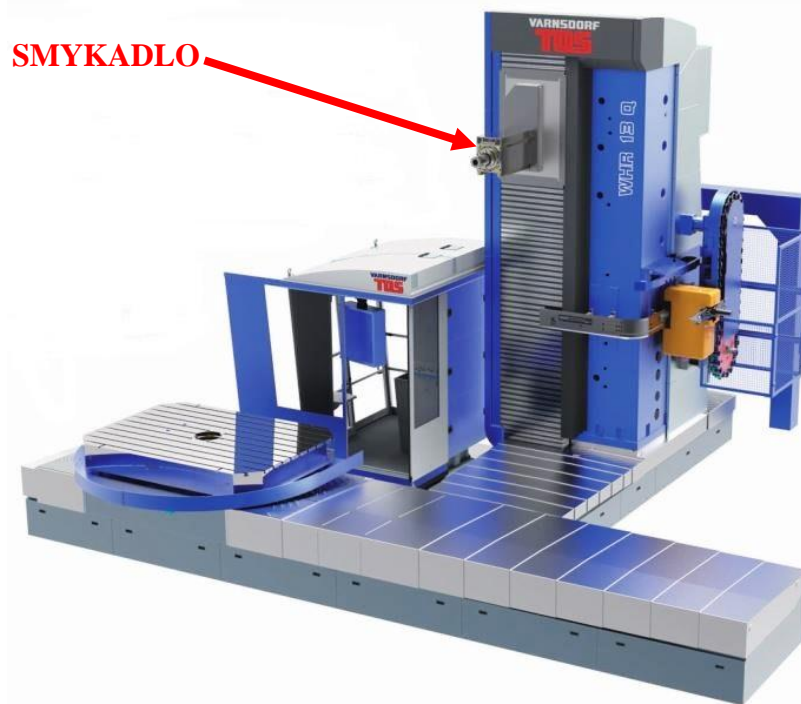
V počátcích výroby tohoto odlitku se na smykadlech objevovaly vady typu staženin a ředin. Požadavky na kvalitu u tohoto odlitku jsou velké, neboť odlitek je obráběn ze všech stran a opravy vad jsou zákazníkem zamítnuty. Úkolem této práce je tedy stanovit takovou technologii, která všem těmto vadám předejde.



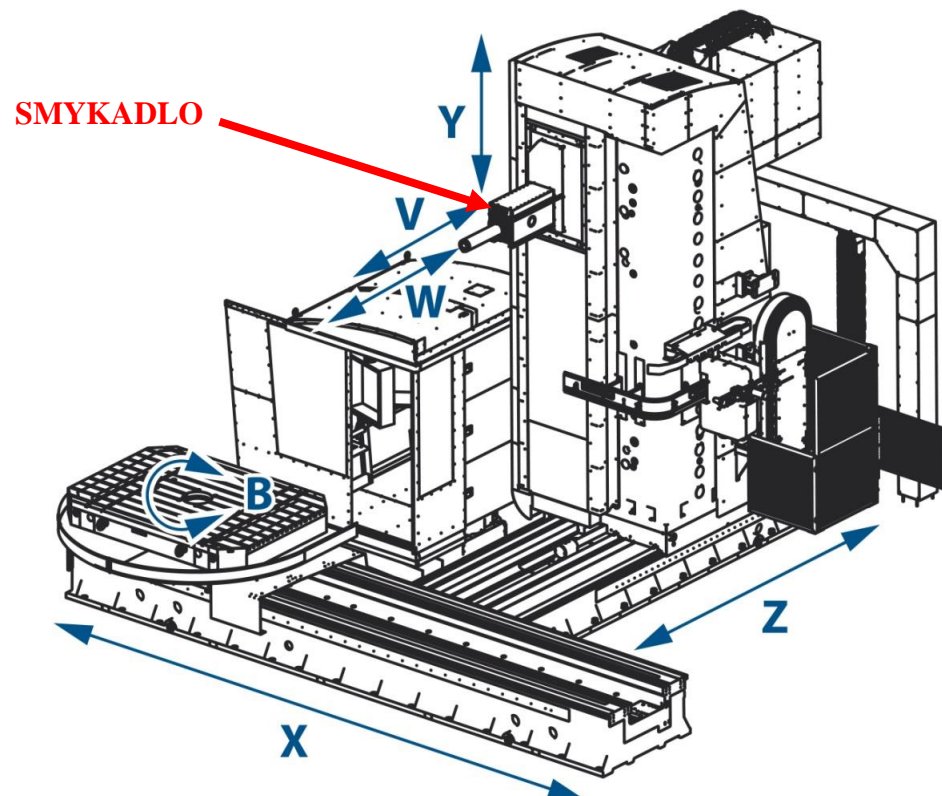
obr. 13 - 3D model smykadla ze stroje WHR 13 (Q)

tab. 2 - parametry smykadla WHR 13 (Q)

rozměry (délka x šířka x výška [mm])	2420 x 340 x 340
střední tloušťka stěn [mm]	30
hrubá hmotnost odlitku [kg]	830



obr. 14 – WHR 13 (Q) – vodorovná stolová vyvrtávačka



obr. 15 - WHR 13 (Q) – vodorovná stolová vyvrtávačka

2.1 Poloha odlitku ve formě

Volba polohy odlitku ve formě při odlévání je důležité rozhodnutí, neboť se od něj pak bude odvíjet technologie výroby daného odlitku.

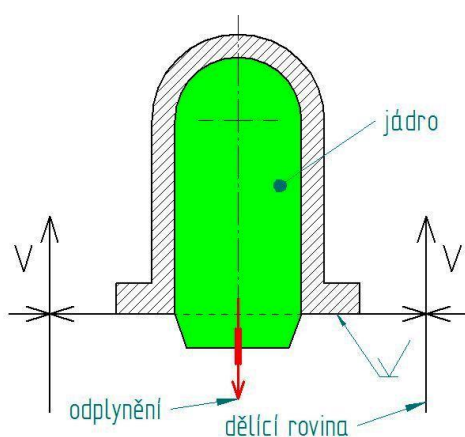
Poloha odlitku se volí podle určitých zásad, mezi které patří např. usměrněné tuhnutí, umístění důležitých nebo opracovávaných ploch do té části formy, kde je nejčistší kov (u litinových odlitků to je dolní část formy) a spolehlivé uložení jader a možnosti kontroly síly stěn odlitků. [6]

2.1.1 Zásady pro stanovení dělicí roviny

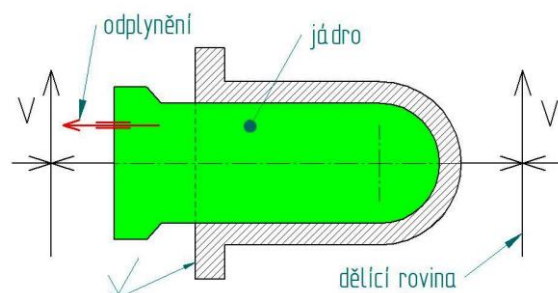
- dosažení co nejmenšího počtu jader
- dosažení minimální výšky formy
- umístění nejdůležitějších ploch odlitku do spodní poloviny formy
- uložení hlavních jader v dolní polovině formy
- dosažení rovné dělicí roviny

Použití jednotlivých zásad pro volbu polohy odlitku a umístění dělicí roviny je zobrazeno na obrázku jednoduchého odlitku viz **obr. 16** a **obr. 17**. [6]

Zvolená technologie pro smykadlo WHR 13 (Q) odpovídá převážně zásadám uvedeným na **obr.17**.



obr. 16- zaformování odlitku ve svislém směru [6]



obr. 17 - zaformování odlitku ve vodorovném směru [6]



Výhody formování dle obr.16

- možnost použití spodního vtoku (klidné plnění formy)
- snadné založení jádra
- rovná dělicí rovina
- obráběná plocha je ve spodní části formy[6]

Nevýhody formování dle obr. 16

- možnost nedodržení tloušťky stěn při přesazení jádra
- použití vyšší formy
- velké slévárenské úkosy na vnější straně kvůli vytažení modelu z formy
- odplynění jádra spodem[6]

Výhody formování dle obr. 17

- nižší forma = nižší spotřeba formovací směsi
- malé slévárenské úkosy, úkosy pouze na obráběné ploše
- klidný průběh plnění formy
- možnost kontroly síly stěn při založení jádra ve spodní půlce formy[6]

Nevýhody formování dle obr. 17

- pro zajištění správné polohy jádra ve formě nutno použít podpěrky
- obtížnější odstranění nálitků (možnost „odštípnutí“ nálitku spolu s přírubou odlitku)[6]

2.2 Vtoková soustava pro smykadlo WHR 13 (Q)

Hlavním úkolem vtokové soustavy je:

- klidně, rovnoměrně a plynule přivádět natavený kov do vybraných míst odlitku
- zachytit strusku a veškeré nečistoty, které by se mohly do odlitku dostat spolu s kovem
- napájet odlitek roztaveným kovem při jeho tuhnutí
- usměrňovat tepelné jevy při tuhnutí a chladnutí odlitku

Vtoková soustava by měla být zkonstruována podle určitých zásad tak, aby výroba odlitku byla co nejehospodárnější a s co nejmenším procentem zmetkovitosti.[7]



Mezi tyto zásady patří:

- co nejmenší možná hmotnost vtokové soustavy vzhledem k úspoře a využitelnosti nataveného kovu
- co nejmenší prostorová nenáročnost s ohledem na využití prostoru form. rámu
- volba správného typu a rozměrů vtokové soustavy a určení místa pro nejvhodnější zaústění přívodu kovu

Při konstrukci vtokové soustavy se u každého nového odlitku ke všem těmto okolnostem musí přihlídnout, neboť právě vtoková soustava má velký vliv na jakost i nákladnost výroby odlitku.[7]

Vtoková soustava se skládá z licí jamky, vtokového kůlu, struskováku (odlučovače strusky), rozváděcích vtokových kanálků a zářezů. Není však nutné aby výše jmenované součásti byly všechny obsaženy v každé vtokové soustavě, v některých případech mohou některé součásti scházet. Při odlévání důležitých odlitků může být vtoková soustava navíc doplněna o písková nebo kovová cedítka pro zachycení strusky. Cedítka mohou být umístěna přímo v licí jamce nebo v jiných místech vtokové soustavy.

Licí jamka je odformována přímo ve formě, nebo může být zhotovena ve zvláštním rámečku nebo jaderníku. Kov z pánve se nalije přímo do jamky, ve které se zadržuje struska a dál pak vtéká do vtokového kůlu.

Vtokový kůl, který je nejčastěji ve svislé poloze, pak dopraví tekutý kov z licí jamky do struskováku, zářezu či přímo do odlitku. Tvar vtokového kůlu bývá zpravidla kuželový zužující se směrem dolů. Pokud je vtokový kůl tvořen např. pomocí šamotových trubek, tak se směrem dolů nezuzuje a jeho průřez je po celé délce stejný.

Struskovák je zpravidla vodorovný kanálek lichoběžníkového průřezu a jeho úkolem, jak už napovídá jeho samotný název, je zadržovat strusku a jiné nekovové vměstky. Struskovák má ve své spodní části umístěny zářezy a struska samotná “plave” v jeho vrchní části. Účinnost struskováku je však limitována rychlostí přitékajícího kovu. Když bude rychlost kovu nad kritickou



hodnotou, nastanou ve struskováku značné turbulence proudu kovu, které veškeré nečistoty strhnou sebou.

Zářezy jsou tedy posledním článkem vtokové soustavy. Vyústíjí do formy a přivádí tak tekutý kov do odlitku.

Pro každý druh odlitku se tedy navrhuje jiná vtoková soustava v závislosti na jeho konstrukčním provedení a také místa přívodu kovu do odlitku. Záleží jen na technologovi jak celkové uspořádání formy navrhne. Existují 4 možnosti zaústění zářezů do formy:

- a) z boku odlitku
- b) v jeho horní části
- c) ve spodní části
- d) v několika rovinách [7]

2.3 Výpočet vtokové soustavy odlitku smykadla WHR 13 (Q)

Metod výpočtu vtokových soustav je mnoho, já jsem si zvolil způsob výpočtu z literatury. [7]

Abych mohl stanovit všechny parametry vtokové soustavy musím nejdříve spočítat optimální dobu plnění formy, následně pak mohu spočítat průřez všech jednotlivých prvků vtokové soustavy. [7]

2.3.1 Optimální doba plnění formy [7]

$$t = s \times \sqrt[3]{tl \times G}$$

Kde:

t – doba plnění formy [s]

s – součinitel času, pro drobné odlitky ($< 1 t$) činí 1,2 až 1,6, volím 1,4

tl. – střední tloušťka stěn odlitku [mm], tl. = 30mm

G – váha odlitku se ztuhlou vtokovou soustavou a nálitky [kg], G = 830 kg

Dosazení:

$$t = 1,4 \times \sqrt[3]{30 \times 830} = 40,8 \cong 41 \text{ s}$$



2.3.2 Střední ferostatický tlak $h_{stř}$ [7]

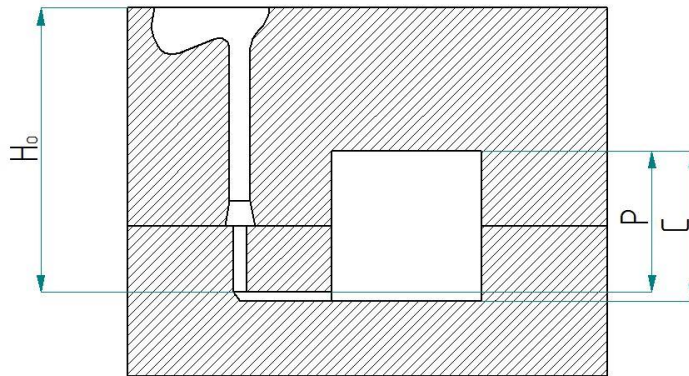
$$h_{stř} = H_0 - \frac{P^2}{2 \times C}$$

Kde:

H_0 – počáteční maximální ferostatický tlak [cm]

P – výška odlitku nad rovinou zářezu [cm]

C – celková výška odlitku v poloze při lití [cm]



obr. 18- střední ferostatický tlak [7]

Dosazení:

$$h_{stř} = 45 - \frac{32^2}{2 \times 34} = 29,94 \cong \mathbf{30 \text{ cm}}$$

2.3.3 Výpočet plochy průřezu zářezů [7]

$$F_z = \frac{G}{0,31 \times \mu \times \sqrt{h_{stř}} \times t}$$

Kde:

F_z – plocha všech zářezů [cm²]

G – váh odlitku se ztuhou vtokovou soustavou a nálitky [kg]

$h_{stř}$ – střední ferostatický tlak [cm]

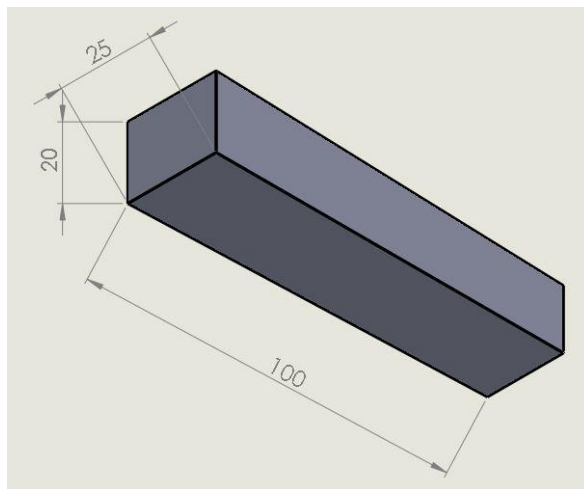
μ - obecný součinitel odporu formy



Dosazení:

$$F_z = \frac{830}{0,31 \times 0,5 \times \sqrt{29,94} \times 41} = 23,86 \text{ cm}^2 = 2386 \text{ mm}^2 \\ \cong 2500 \text{ mm}^2$$

- profilu zářezů
 - volím 5 zářezů, plocha jednoho zářezu bude 500 mm^2
 - rozměr zářezu: $20 \times 25 \text{ mm}$, délka zářezu: 100 mm
 - úkos zářezu 1° (nutný pro vyjmutí zářezu z formy)



obr. 19 - zářez smykadla WHR 13 (Q)

2.3.4 Výpočet plochy průřezu struskováku a vtokového kůlu [7]

Jakmile známe celkovou plochu průřezu všech zářezů, můžeme podle ní spočítat plochu průřezu struskováku i vtokového (licího) kůlu podle předpokladu, který platí pro litinové odlitky do 10 t.

$$F_z : F_o : F_h = 1 : 1,2 : 1,4$$

Kde:

F_z - plocha průřezu všech zářezů [mm^2]

F_o - plocha průřezu odlučovače strusky (struskováku) [mm^2]

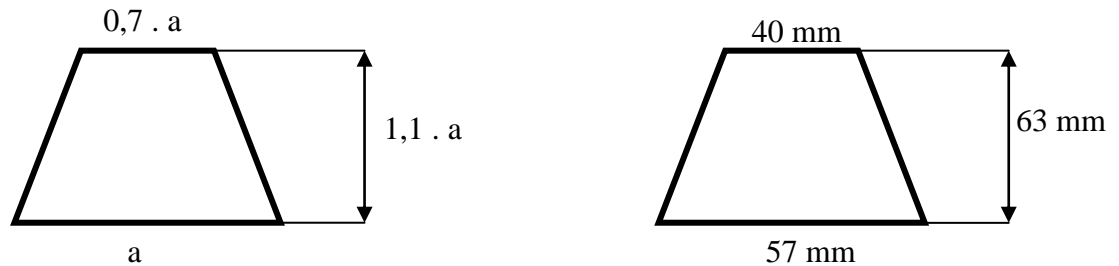
F_h - plocha průřezu vtokového kůlu [mm^2]



- plocha průřezu odlučovače strusky

$$F_o = F_z \times 1,2 = 2500 \times 1,2 = \mathbf{3000 \text{ mm}^2}$$

$$F_o = \frac{(0,7a+a) \cdot 1,1a}{2} \quad a = \sqrt{\frac{2 \cdot F_o}{1,87}} \quad \mathbf{a_{s1} = 57 \text{ mm}}$$



obr. 20 - profil odlučovače strusky

- plocha průřezu vtokového kůlu

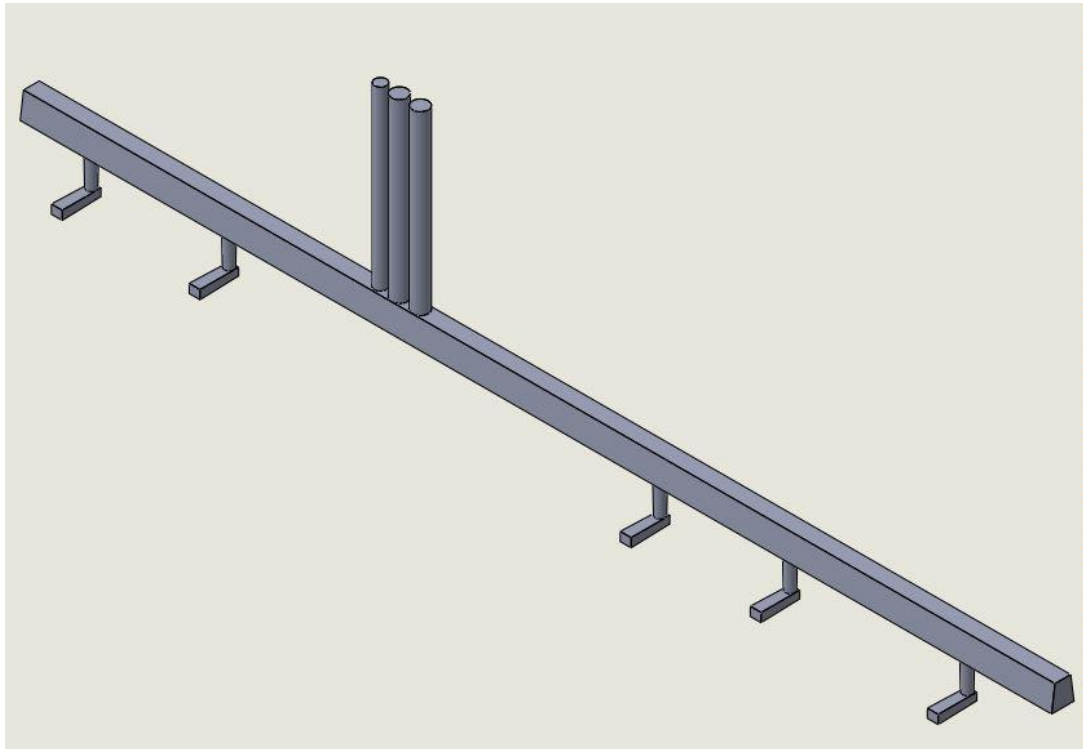
$$F_h = F_z \times 1,4 = 2500 \times 1,4 = \mathbf{3500 \text{ mm}^2}$$

$$F_h = 3500 \text{ mm}^2$$

$$F_h = \pi \cdot r^2 \dots \dots r = \sqrt{\frac{3500}{3,14}} = \mathbf{33,4 \text{ mm}}$$

$$d = 66,77 \cong \mathbf{67 \text{ mm}}$$

Podle výpočtů by měl být průměr vtokového kůlu roven 67 mm. Jeden velký vtokový kůl není pro slévače příliš dobrý, neboť tekutý kov by skrz vtokovou jamku proudil do zbytku vtokové soustavy příliš rychle a slévač by měl potíže udržet hladinu kovu v jamce tak, aby do vtokové soustavy nevnikla struska. Právě z tohoto důvodu jsem zvolil 2 vtokové kůly o průměru 40 mm a jeden vtokový kůl o průměru 30 mm. Průřezově tyto 3 licí kůly přibližně odpovídají jednomu licímu kůlu o průměru 67 mm. Licí kanály budou zhotoveny pomocí šamotových trubek. Celá vtoková soustava je vidět na **obr. 21**.



obr. 21 - vtoková soustava smykadla WHR 13 (Q)

2.4 Nálitkování odlitků, zásady pro odlitky smykadel

V ideálním případě probíhá tuhnutí odlitků tak, že soustředěná či rozptýlená staženina vznikne mimo odlitek v tzv. nálitku. Odlitky jsou odlévány v uzavřených formách, takže tuhnou v izolovaném prostředí pískové formy. Za těchto podmínek proběhne smrštění v celém odlitku nepravidelně. Při samotném tuhnutí pak vznikají staženiny, neboť dochází k přeměně skupenství menší hustoty ve skupenství větší hustoty, v tomto omezeném prostoru pak vznikne dutina neboli staženina. [6]

Tyto vzniklé dutiny označované jako řediny či staženiny jsou nežádoucí, proto musí být tento úbytek materiálu nahrazen dodáním takového množství kovu, aby v tuhoucím odlitku nevznikaly nežádoucí vady (řediny, staženiny), které by zhoršovaly vnitřní jakost odlitku. Náhradu objemového úbytku kovu zajišťují nálitky. Nálitek musí doplňovat tekutý kov po celou dobu tuhnutí odlitku, proto je nutné, aby nálitek fungoval podle určitých zásad: [9]



- 1) doba tuhnutí nálitku musí být delší než doba tuhnutí odlitku
- 2) v nálitku musí být až do skončení tuhnutí odlitku určitá zásoba tekutého kovu, která by postupně vyplňovala dutiny vzniklé objemovým úbytkem tuhnoucího odlitku
- 3) tlakové podmínky v soustavě odlitek-náliek musí umožňovat proudění kovu z nálitku do odlitku

Aby byl možný postup tekutého kovu v tuhoucím odlitku směrem od nálitku až do nejbližších míst působení nálitku, musí být tuhnutí usměrněno. To znamená, že úplné ztuhnutí odlitku probíhá nejprve v místě nejbližším od nálitku a postupně tuhnou další průřezy směrem k nálitku. Při jiném průběhu tuhnutí je nebezpečí vzniku staženin. [5,9]

Nálieky lze rozdělit z mnoha hledisek, základní rozdělení nálieků je na otevřené a uzavřené, ale můžeme je též rozdělit podle:

- tvaru: koule, válec, hranol, ostatní
- umístění: čelní, boční, spodní
- tepelného režimu: normální, izolovaný, exotermický
- tlaku: podtlakový, atmosférický, přetlakový
- způsobu oddělení: řezání, urážení
- uspořádání: samostatný, společný

2.4.1 Místo pro umístění nálieků

Při určování polohy nálieků je nutné jako první vyznačit na výkrese odlitku veškeré tepelné uzly, místa s největším množstvím kovu, která jsou od sebe oddělena tenčími stěnami, které by zchladly rychleji. Po určení všech tepelných uzlů je třeba je rozdělit na ty které mají být napájeny nálieky a na ty, které by se mohly ochlazovat vnějšími či vnitřními chladítky. Dle principu usměrněného tuhnutí se nejtlustší části odlitku při lití umísťují tak, aby mohly být napájeny pomocí nálieků, tzn. většinou nahoře. [7]



Zásady umístění nálitků:

- umisťovat nálitky nad nejtlustší části odlitku
- nálitek nesmí bránit volnému smršťování odlitku
- nálitky se nesmí umisťovat příliš blízko vedle sebe, neboť působením klínu rozehráté formovací směsi, který by mezi nálitky vznikl, by mohly vznikat staženiny
- nálitky je třeba umisťovat s ohledem na jejich následné odstranění (uražení či odříznutí) a očištění zbytků po odstranění nálitků
- nálitek je praktické umisťovat nahoru nad odlitek, neboť v této poloze pak může nálitek plnit i funkci vývodu (výfuku) plynů a nečistot [7]

2.4.2 Charakteristiky nejpoužívanějších typů nálitků

Nejpoužívanějším typem jsou horní otevřené nálitky, které jsou umístěny přímo nad tepelným uzlem. Tyto nálitky mají dvojí funkci, doplňují tekutý kov do odlitku a zároveň plní i funkci výfuku. [7]

Výhody horního otevřeného nálitku:

- intenzivnější doplňování kovu než u bočních nálitků díky vytvoření většího ferostatického tlaku
- snadné skládání forem
- možnost kontroly formy před odlitím

Nevýhody horního otevřeného nálitku:

- závislost výšky nálitku na výšce použitého formovacího rámu a tím pádem možná velká spotřeba kovu na nálitky
- snadné znečištění formy, skrz otevřený nálitek se mohou do formy dostat nečistoty

Mohou však nastat případy kdy jsou tepelné uzly ve spodku formy nebo kdy tvar odlitku nedovoluje použít horní nálitek. V takových případech musíme použít boční nálitek. [7]



Výhody bočního nálitku:

- menší pracnost při odstraňování nálitku a vyhlazení stop po něm, než u horního nálitku

Nevýhody bočního nálitku:

- menší účinnost než u horního nálitku
- zvětšení obrysových rozměrů formy
- působením proudu kovu možnost vydrolení tenkých míst formy, která vzniknou mezi nálitkem a stěnou formy [7]

Všeobecně platí, že oddělování nálitků je nákladné a pracné. U litinových odlitků se nálitky odřezávají pomocí ručních rozbrušovaček, což je pracné a zdlouhavé. Existují však i snadno oddělitelné nálitky – nálitky s podnálitkovou vložkou, které lze z odlitku urazit úderem kladiva. Mezi odlitek a nálitek se přidá tenká vložka z formovací směsi. Vložky pro malé a střední odlitky se zhotovují z olejového písku, vložka se pak při teplotě 1100°C vypálí. Ve středu vložky se nachází kulový otvor, přes který nálitek doplňuje kov do odlitku. Tento typ nálitků se používá většinou u malých, středních a méně důležitých odlitků, neboť jeho doplňování do odlitku je méně efektivní než u obyčejného nálitku. [7]

Pro určení tvaru a rozměru podnálitkové vložky se technolog musí držet těchto zásad:

- otvor ve vložce musí být co nejmenší, ale musí zajistit doplnění tekutého kovu
- vložka musí být co nejtenčí, ale musí si zároveň udržet svou pevnost, aby při formování či odlévání nedošlo k jejímu poškození
- rozměr vložky závisí na způsobu jejího umístění ve formě a na tom zda se forma bude odlévat spodem či horem



- hrany otvoru ve vložce musí být ostré, aby se dal nálietek pak snadno urazit od odlitku [7]

2.4.3 Nálitky u odlitku smykadlo WHR 13 (Q)

Pro smykadlo WHR 13 (Q) byly použity nálitky viz příloha č. 11-12. Otevřené boční (\varnothing 50/80 mm, $v = 300$ mm), počet: 8. Napojení náliček k odlitku je 15x40 mm. Nálitky jsou napojeny na boční pracovní plochu. Usměrnění tuhnutí je nutné zajistit pomocí vnějších chladítek ve formě i v jádrech. Horní otevřené nálitky nejsou použity.

2.5 Chladítka, zásady pro použití smykadel

Díky stále přísnějším požadavkům na kvalitu výrobku jsou dnes slévárny pod tlakem vyrábět odlitky bez vnitřních vad. Expanze je jednou z fází tuhnutí při výrobě litiny s kuličkovým grafitem. Při použití uzavřených pískových forem a za pomalého tuhnutí lze za pomoci chladítek (kokilek) vytvořit odlitky bez vnitřních vad jako jsou staženiny. Litina s kuličkovým grafitem je eutektická slitina, tzn. že během tuhnutí zůstává dlouhou dobu tekutá a nevytváří tak pevnou slupku. Většina sléváren používá chladítka (kokily) s lamelovým uhlíkem. Tato chladítka by měla být alespoň tak silná, jako část odlitku, který ovlivňují. Jednostranně ložená chladítka mohou až o 50% zmenšit/zeslabit modul nebo dokonce odstranit potřebu vtoku v dělicí rovině. Chladítka z litiny s lupínkovým grafitem mohou být používána až do doby, kdy se v nich objeví trhliny a různé nerovnosti. V těchto trhlínkách a nerovnostech se pak může zachytávat vlhkost a to je nežádoucí. Aby se těmto problémům předešlo, používají mnohé slévárny chladítka z SiC nebo uhlíku. Ty mají sice menší schopnost chlazení, než chladítka z šedé litiny, ale nemají sklon k nasávání vlhkosti. Použití chladítek snižuje počet použitých vtoků a zpravidla i počet zmetků. Tím se usnadňuje vyndávání odlitku a snižují náklady na jeho dočištění. [10]

Chladítka se tedy používají k rychlejšímu ochlazení míst (tepelných uzlů) na odlitku, kde by mohlo být nebezpečí vzniku staženiny a nešlo na tomto



místě použít nálitku. Toto nebezpečí hrozí především v místech většího hromadění materiálu nebo v místech styku dvou či více stěn. U vnitřních rohů odlitku, kde vyhřátý písek způsobuje pomalé chladnutí je též riziko vzniku staženiny. Podle způsobu použití rozeznáváme dva typy chladítek – vnější a vnitřní. [10]

2.5.1 Vnější chladítka použitá pro smykadlo WHR 13 (Q)

Vnější chladítka zpravidla tvoří část formy. Jejich velikost je přímo závislá na velikosti hmoty, kterou musí ochladit. Velikost chladítek by neměla být poddimenzována, neboť by pak hrozilo, nejen že chladítka nedokáží ochladit danou plochu, ale dokonce by se mohla k odlitku přitavit. Chladítka mohou být zhotovena z litiny s lupínkovým nebo i kuličkovým grafitem. Jakost kovových chladítek by se měla v ideálním případě po každém použití zkontrolovat, neboť pracovní plocha chladítka musí být čistá bez rzi či nečistot, otryskaná a bez jakýchkoli vad nerovnosti povrchu nebo trhlinek, ve kterých by se mohla případně zadržovat nežádoucí vlhkost.

Povrch chladítka ve formě se ošetří stejným nátěrem jako zbytek formy. Je to nutné, aby nedošlo k „přípečení“ chladítka k odlitku. Důležité také je dodržovat správné uspořádání chladítek ve formě. Je-li chlazená větší plocha odlitku, je místo jednoho většího chladítka výhodnější použít větší počet menších chladítek šachovnicového uspořádání. Mezi chladítka musí zůstat určitý odstup, nesmí být umístěna hned vedle sebe. Příliš malé vzdálenosti by znemožňovaly řádné upěchování formovací směsi mezi chladítka. Navíc by příliš malý odstup mezi chladítka znemožnil jejich roztahování po zahřátí kovem a mohlo by tak dojít k jejich vytlačení a tím pak k poškození povrchu odlitku. [7]

Šířka chladítka by měla být cca o 5-10 mm menší než šířka ochlazovaného povrchu. Účinek chladítka nelze předem přesně stanovit. Chladicí účinek je závislý na mnoha faktorech např. na množství kovu, který přes chladítka proteče během lití, nebo jak dlouho je chladítka ve formě než k odlití dojde. Proto by se formy s chladítka měly odlévat co nejdříve, aby se na chladítka nestihla přichytit vlhkost. Nelze ani stanovit přesná životnost



chladítek, kus od kusu je to individuální, záleží jen na posouzení technologa, zda je pracovní plocha nezdegradovaná a stále použitelná. [7]

Vnější chladítka byla použita k zchlazení všech stěn odlitku viz příloha č. 11 a 12. Důvodem jsou vysoké nároky na zdravotnost všech stěn. Stěny jsou u odlitků kontrolovány pomocí ultrazvuku pro prověření vnitřní jakosti.

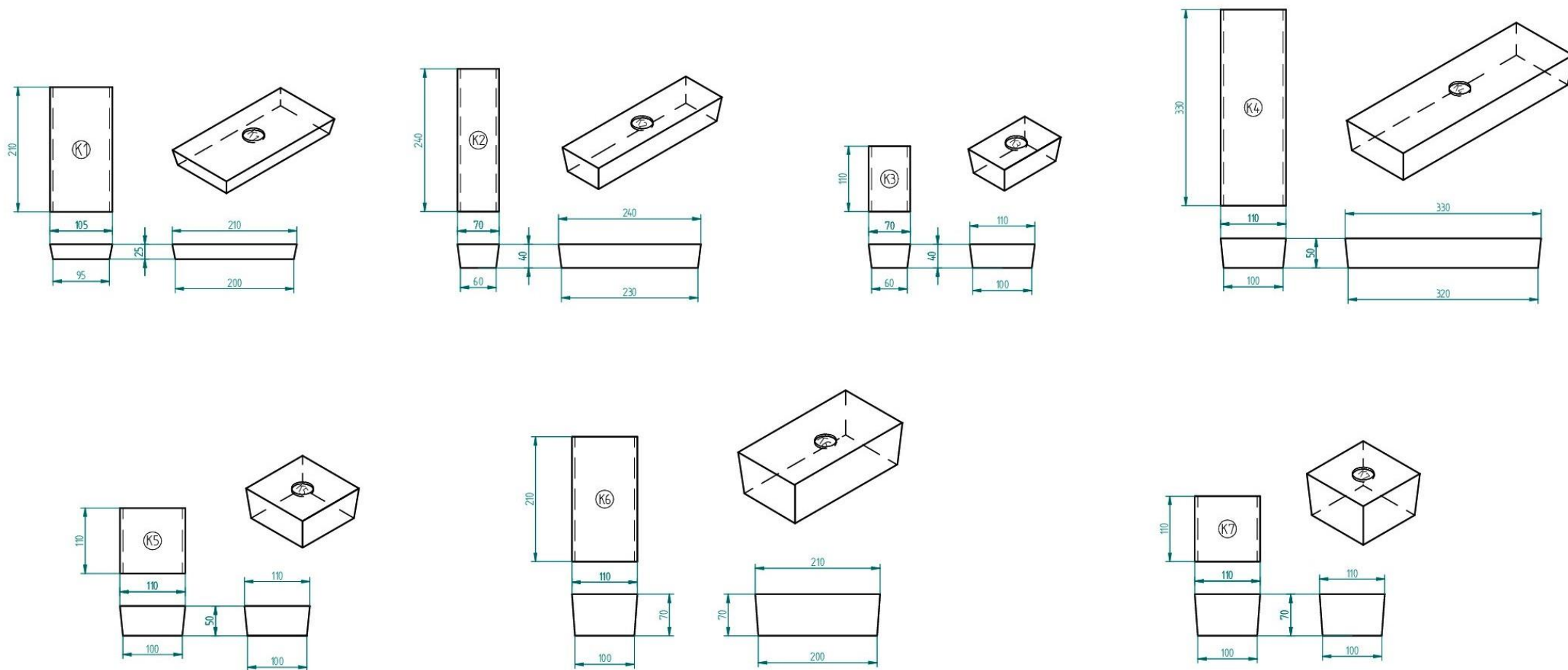
2.5.2 Typizovaná chladítka v METALURGII Rumburk s.r.o

Pro častý výskyt vnitřních vad (staženin a ředin) u smykadla WHR 13 (Q) byla ve spolupráci s ČVUT fakultou Strojní v Praze vytvořena sada typizovaných chladítek, která byla následně použita při výrobě odlitku smykadla WHR 13 (Q). Schéma a rozměry typizovaných chladítek lze vidět na **obr. 22 - typizovaná chladítka tvaru desky v METALURGII Rumburk s.r.o** a **obr. 23** a v **tab. 3** a **tab. 4**.

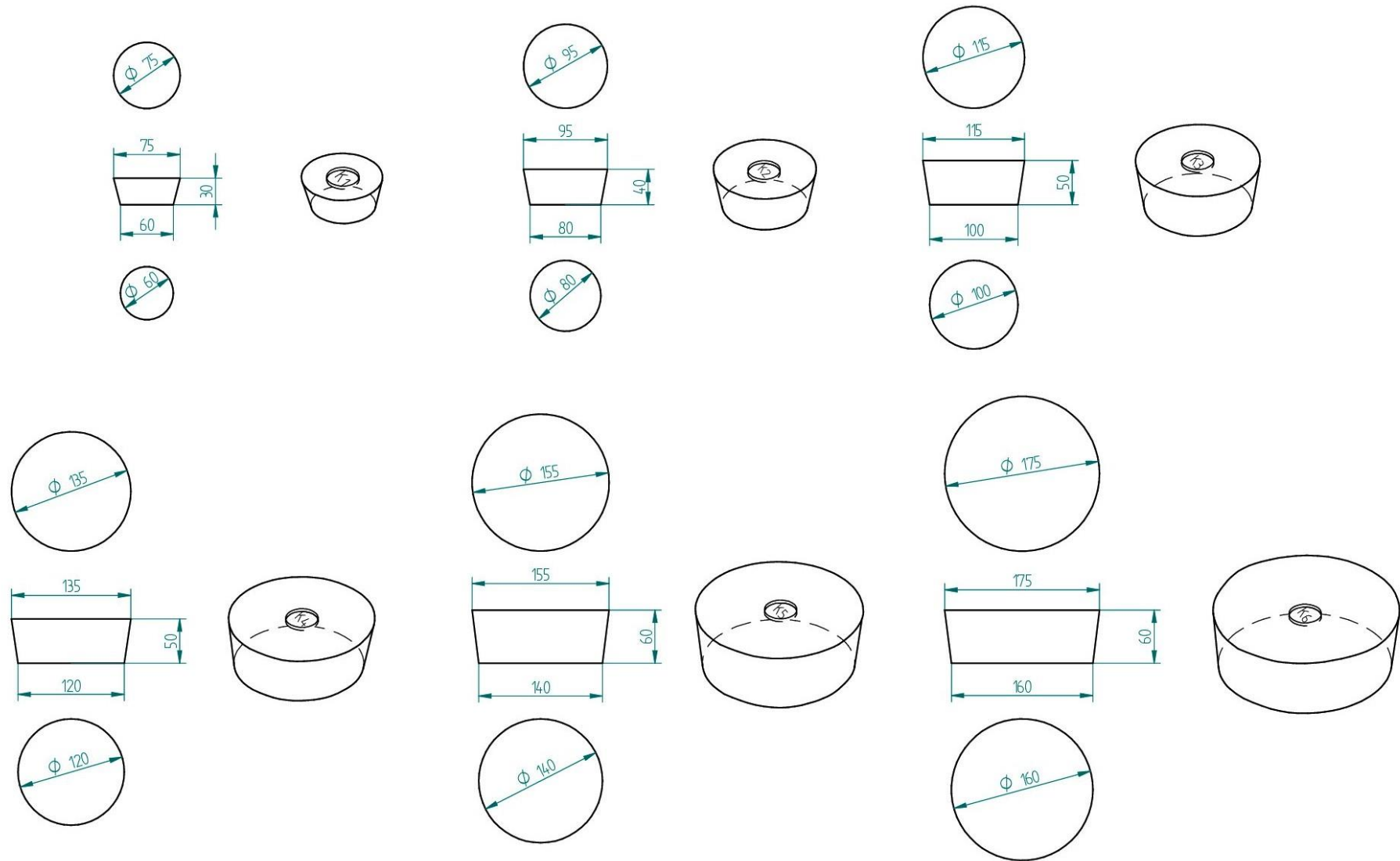
2.6 Současná technologie odlitku smykadla WHR 13 (Q)

V průběhu roku 2015 a 2016 došlo k úpravě technologie v oblasti nálitkování a použití vnějších chladítek. Technologický předpis, kde jsou znázorněny použité otevřené boční nálitky a vnější chladítka je uveden na přílohách č. 11 a č. 12. Řez vtokovou soustavou je znázorněn na příloze č. 13.

Touto technologií byly v červnu 2016 úspěšně odlity 2 odlitky, opracovány a použity jako součást obráběcích strojů.



obr. 22 - typizovaná chladítka tvaru desky v METALURGII Rumburk s.r.o

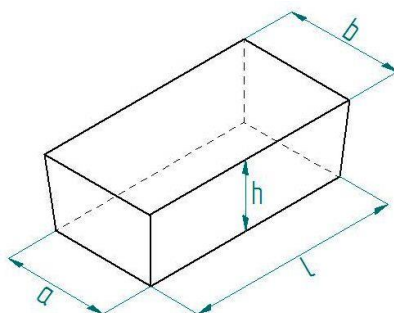


obr. 23 - typizovaná chladítka kulatého tvaru v METALURGII Rumburk s.r.o



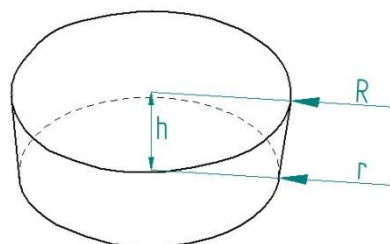
tab. 3 - parametry chladítek tvaru desky
materiál ČSN 422425

	rozměr: a x b / h [mm]	hmotnost [kg]
chladítko č.1	95 x 105 / 25 , l= 210 mm	3,78
chladítko č.2	60 x 70 / 40 , l= 240 mm	4,5
chladítko č.3	60 x 70 / 40 , l= 110 mm	2
chladítko č.4	100 x 110 / 50 , l= 330 mm	12,5
chladítko č.5	100 x 110 / 50 , l= 110 mm	4,2
chladítko č.6	100 x 110 / 70 , l= 210 mm	11,1
chladítko č.7	100 x 110 / 70 , l= 110 mm	5,8



tab. 4 - parametry chladítek kulatého tvaru
materiál ČSN 422425

	rozměr: R, r, h [mm]	hmotnost [kg]
chladítko č.1	R= 37,5; r = 30, h = 30	0,8
chladítko č.2	R= 47,5; r = 40, h = 40	1,74
chladítko č.3	R= 57,5; r = 50, h = 50	3,3
chladítko č.4	R= 67,5; r = 60, h = 50	4,6
chladítko č.5	R= 77,5; r = 70, h = 60	7,4
chladítko č.6	R= 87,5; r = 80, h = 60	9,5





Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo upravit stávající technologii smykadla ze stroje WHR 13 (Q), tak aby se odstranily vnitřní vady odlitku (staženiny a řediny). V úvodu bakalářské práce jsem se zabýval materiálem, ze kterého je smykadlo vyrobeno, tavícím agregátem a modifikační stanicí, která se používá v METALURGII Rumburk s.r.o.

V praktické části bakalářské práce jsem se zabýval již technologií na odlitku smykadla. Odlitek je náročný na výrobu, neboť je obráběn ze všech stran a vady se nesmí vyskytovat nikde. Zmínil jsem se o poloze odlitku ve formě, vtokové soustavě, nálitcích a o chladítkách. Úprava technologie na odlitku smykadla se dotkla vtokové soustavy, která se změnila zcela radikálně. Původně byly použity dva zářezy z čela odlitku. Podle nové technologie je odlitek navtokován z boku pěti zářezy. Další změna se dotkla chladítek, byly vytvořeny dvě skupiny typizovaných chladítek ve spolupráci s ČVUT Praha fakultou Strojní. Cílem práce bylo upravit stávající technologii tak, aby se co nejvíce snížila zmetkovitost tohoto odlitku a to se podařilo. Zmetkovitost se podařilo snížit na minimum.

Tato upravená technologie pak byla použita na jiný odlitek typu smykadlo od jiného zákazníka. Bohužel informace o opracovaném odlitku zatím od zákazníka není známa. Ale tento a další odlitky tohoto typu by mohly sloužit jako materiál pro další práci.

V přílohách je pak strojní výkres odlitku smykadlo WHR 13 (Q), nákres původní i upravené technologie a fotografie vad, kvůli kterým musela být původní technologie upravena.



Seznam obrázků

obr. 1 - výroba odlitků z litiny s kuličkovým grafitem [2].....	14
obr. 2–struktura LKG (vlevo neleptáno, vpravo leptáno Nitalem), vzorky pořízeny v METALURGII Rumburk s.r.o	16
obr. 3- modifikační pánev pro metodu Sandwich [3].....	20
obr. 4 - pánev pro metodu Tundish [3].....	21
obr. 5 - schéma sferoklávu[3].....	22
obr. 6 - pozice konvertoru při modifikaci [vlastní obrázek].....	23
obr. 7 - řez plněným profilem (<i>nahoře modifikátor, dole očkavadlo</i>), jiný odstín snímku očkavadla je způsoben použitím jiného nasvícení než při fotografování modifikátoru, snímky byly pořízeny v METALURGII Rumburk s.r.o	25
obr. 8 - schéma modifikační stanice v METALURGII Rumburk s.r.o	26
obr. 9 - vtoková soustav s metodou in mold [3].....	27
obr. 10 - schéma rotační bubnové pece v METALURGII Rumburk s.r.o	33
obr. 11 - schéma rotační bubnové pece v METALURGII Rumburk s.r.o	34
obr. 12 - řez rotační bubnovou pecí v METALURGII Rumburk s.r.o.....	35
obr. 13 - 3D model smykadla ze stroje WHR 13 (Q).....	41
obr. 14 – WHR 13 (Q) – vodorovná stolová vyvrtávačka.....	42
obr. 15 - WHR 13 (Q) – vodorovná stolová vyvrtávačka	42
obr. 16- zaformování odlitku ve svislém směru [6]	43
obr. 17 - zaformování odlitku ve vodorovném směru [6]	43
obr. 18- střední ferostatický tlak [7].....	47
obr. 19 - zářez smykadla WHR 13 (Q).....	48
obr. 20 - profil odlučovače strusky.....	49
obr. 21 - vtoková soustava smykadla WHR 13 (Q)	50
obr. 22 - typizovaná chladítka tvaru desky v METALURGII Rumburk s.r.o..	57
obr. 23 - typizovaná chladítka kulatého tvaru v METALURGII Rumburk s.r.o	58



Použitá literatura

- [1] Mores A.: Výroba odlitků z litiny s kuličkovým grafitem v České republice, stav v roce 2012, Slévárství č. 3-4/2013
- [2] Gedeonová, Jelč : Metalurgia liatin – vydání HT TU Košice 2000
- [3] Roučka J.: Metalurgielitin, VUT Brno 1998
- [4] Sýkora P.: Metalurgielitin II, Svaz sléváren Brno 2007
- [5] Novotný, Šanovec, Bednář, Kreibich: Technologie I (Slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy), ČVUT Praha 2006
- [6] Čada: POSTUPY ÚDRŽBY 1 Studijníopora, Ostrava 2007
- [7] Skrabinski: NAVRHOVÁNÍ TECHNOLOGICKÝCH POSTUPŮ VE SLÉVÁRNÁCH, Brno 1958
- [8] Mores A.: Odlitky z tvárné litiny, Základní technologické údaje, Předpisy ČKD Slévárny, 1992
- [9] Píšek, Plešinger a kolektiv: Slévárství II Speciální část, Praha 1 1975
- [10] Rio Tinto Iron & Titanium Inc.: GUSSEISEN MIT KUGELGRAPHIT Das Wichtigste über Anschnitt und Speisertechnik, Montreal Kanada 2002

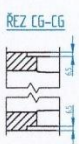
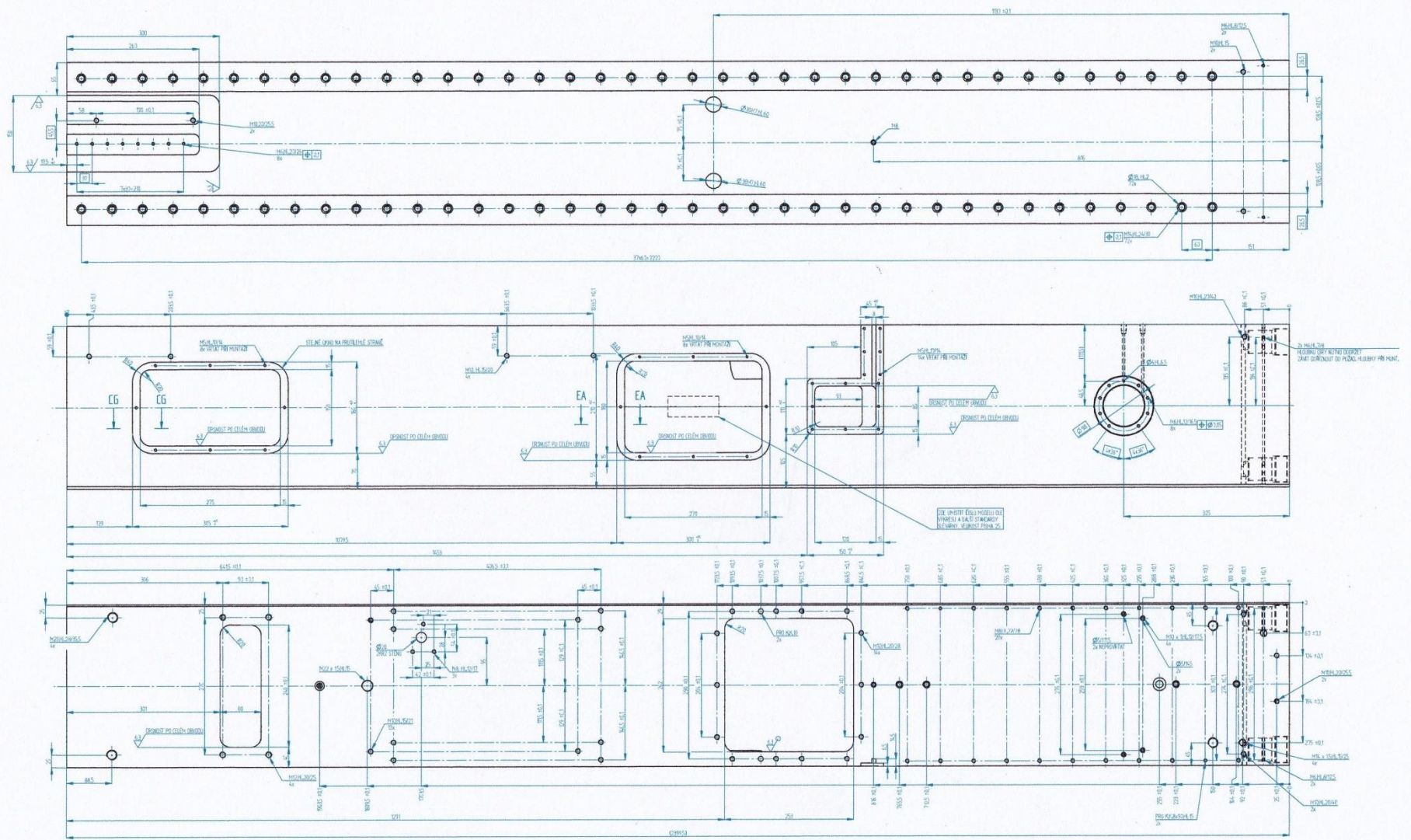


Seznam příloh

- Příloha č. 1-3 – strojní výkres odlitku
- Příloha č. 4-9 – vady odlitku
- Příloha č. 10 – původní technologie
- Příloha č. 11-12 – změněná technologie
- Příloha č. 13 – řez vtokovou soustavou
- Příloha č. 14 – použitá chladítka
- Příloha č. 15 – použitá vnější tvarová chladítka



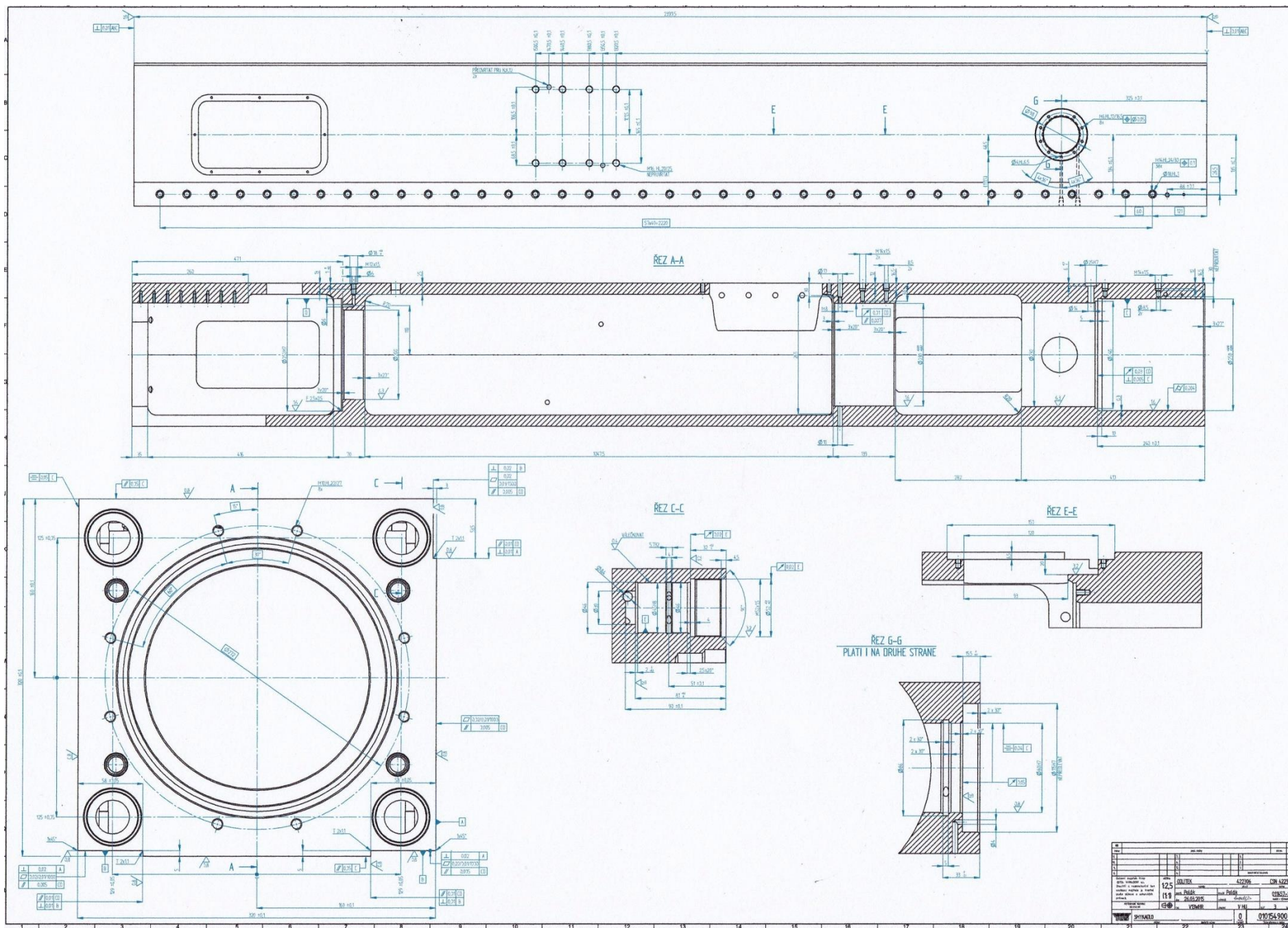
✓(M)

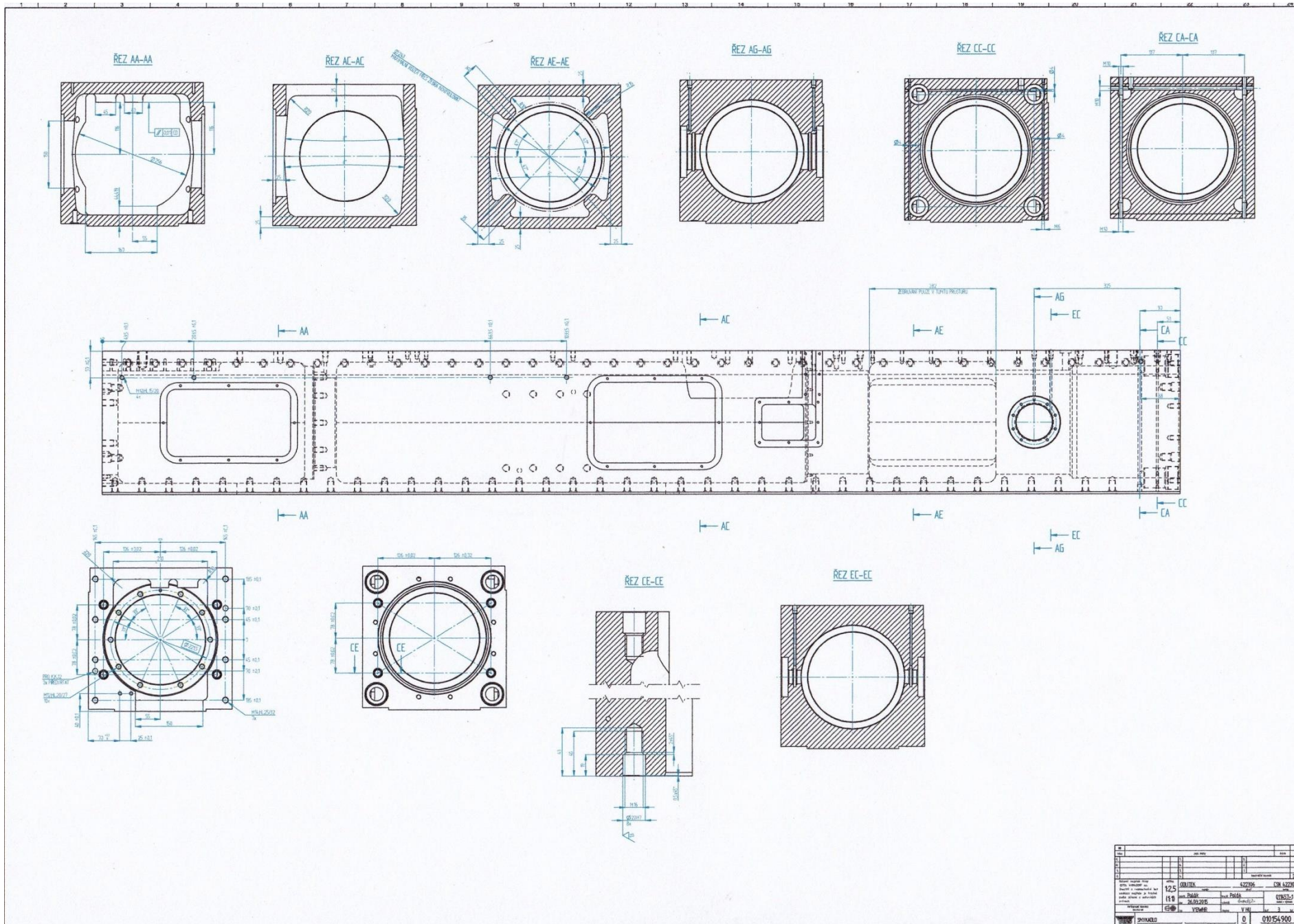


SOUČÁSTI ŠMYKADLA JE
 1x 030086700
 1x 550916100
 1x 550916300
 1x 550916400
 2x 550916200
 2x 240196100
 2x 091286500
 4x 32763610
 10x 32761012
 20x 30460874
 20x 30560630
 38x 31610512
 2x 326100972
 6x 32761006

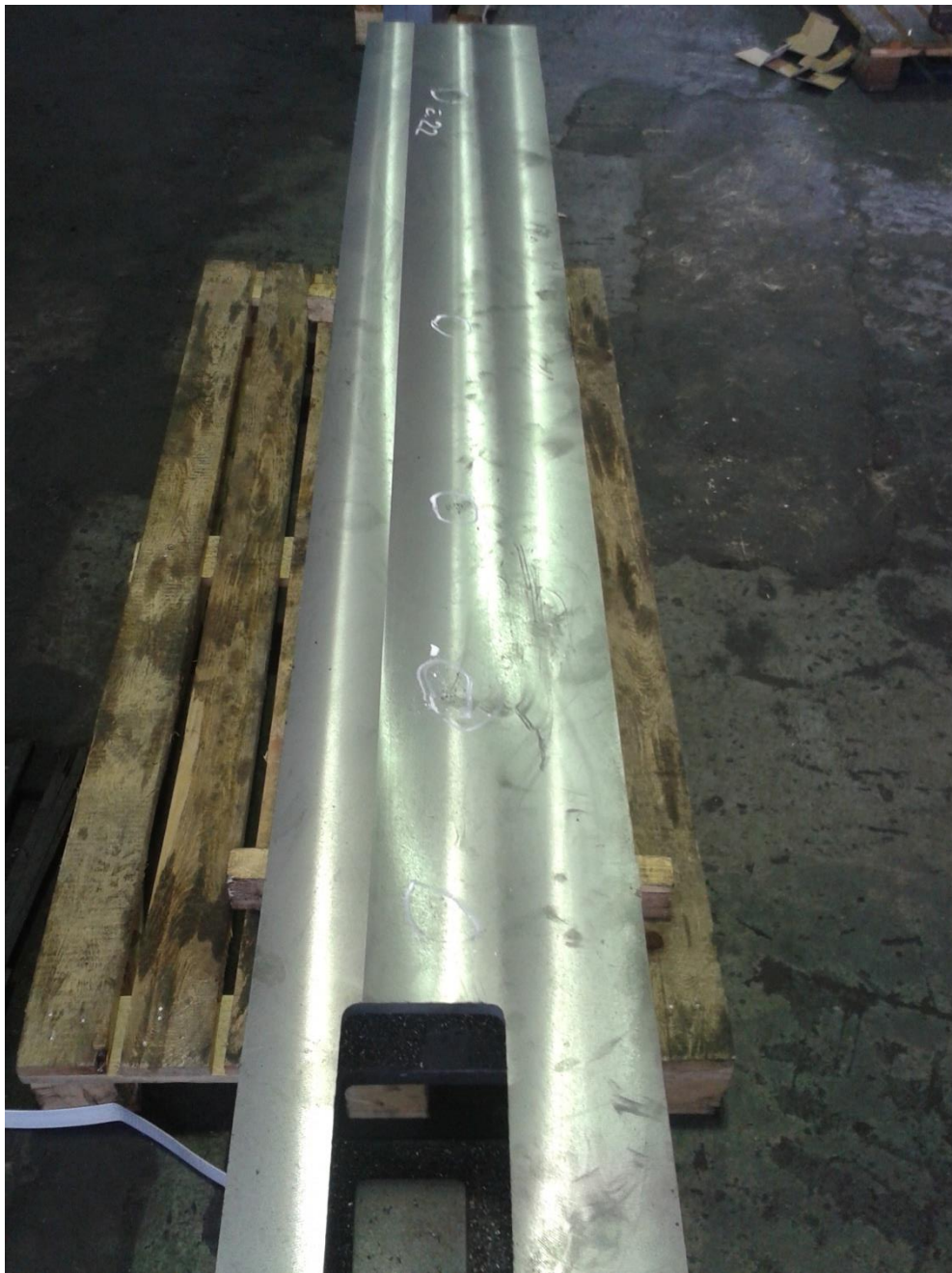
NÁTER NEPRACOVANÝCH PLOCH 400dm2
 U OTVORŮ PRO REZ A OER 525 NEPROPLUSTNOST TLAKOVÉHO OLEJE 9MPa
 NEKOTIVOVANÉ ŠABLONY 910-20
 TECHNOLOGICKY PODOBNÉ 010165703
 ČISTÁ HĚMOTNOST PRO HUSTOTU 7050kg/m3 JE 605kg

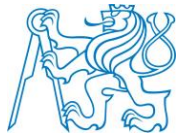
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																																																																																																				
<table border="1"> <tr> <th>Číslo</th> <th>Název</th> <th>Stav</th> <th>Podpis</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>24</td> <td>010165703</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </table>																								Číslo	Název	Stav	Podpis	1	010165703	0		2	010165703	0		3	010165703	0		4	010165703	0		5	010165703	0		6	010165703	0		7	010165703	0		8	010165703	0		9	010165703	0		10	010165703	0		11	010165703	0		12	010165703	0		13	010165703	0		14	010165703	0		15	010165703	0		16	010165703	0		17	010165703	0		18	010165703	0		19	010165703	0		20	010165703	0		21	010165703	0		22	010165703	0		23	010165703	0		24	010165703	0	
Číslo	Název	Stav	Podpis																																																																																																																								
1	010165703	0																																																																																																																									
2	010165703	0																																																																																																																									
3	010165703	0																																																																																																																									
4	010165703	0																																																																																																																									
5	010165703	0																																																																																																																									
6	010165703	0																																																																																																																									
7	010165703	0																																																																																																																									
8	010165703	0																																																																																																																									
9	010165703	0																																																																																																																									
10	010165703	0																																																																																																																									
11	010165703	0																																																																																																																									
12	010165703	0																																																																																																																									
13	010165703	0																																																																																																																									
14	010165703	0																																																																																																																									
15	010165703	0																																																																																																																									
16	010165703	0																																																																																																																									
17	010165703	0																																																																																																																									
18	010165703	0																																																																																																																									
19	010165703	0																																																																																																																									
20	010165703	0																																																																																																																									
21	010165703	0																																																																																																																									
22	010165703	0																																																																																																																									
23	010165703	0																																																																																																																									
24	010165703	0																																																																																																																									



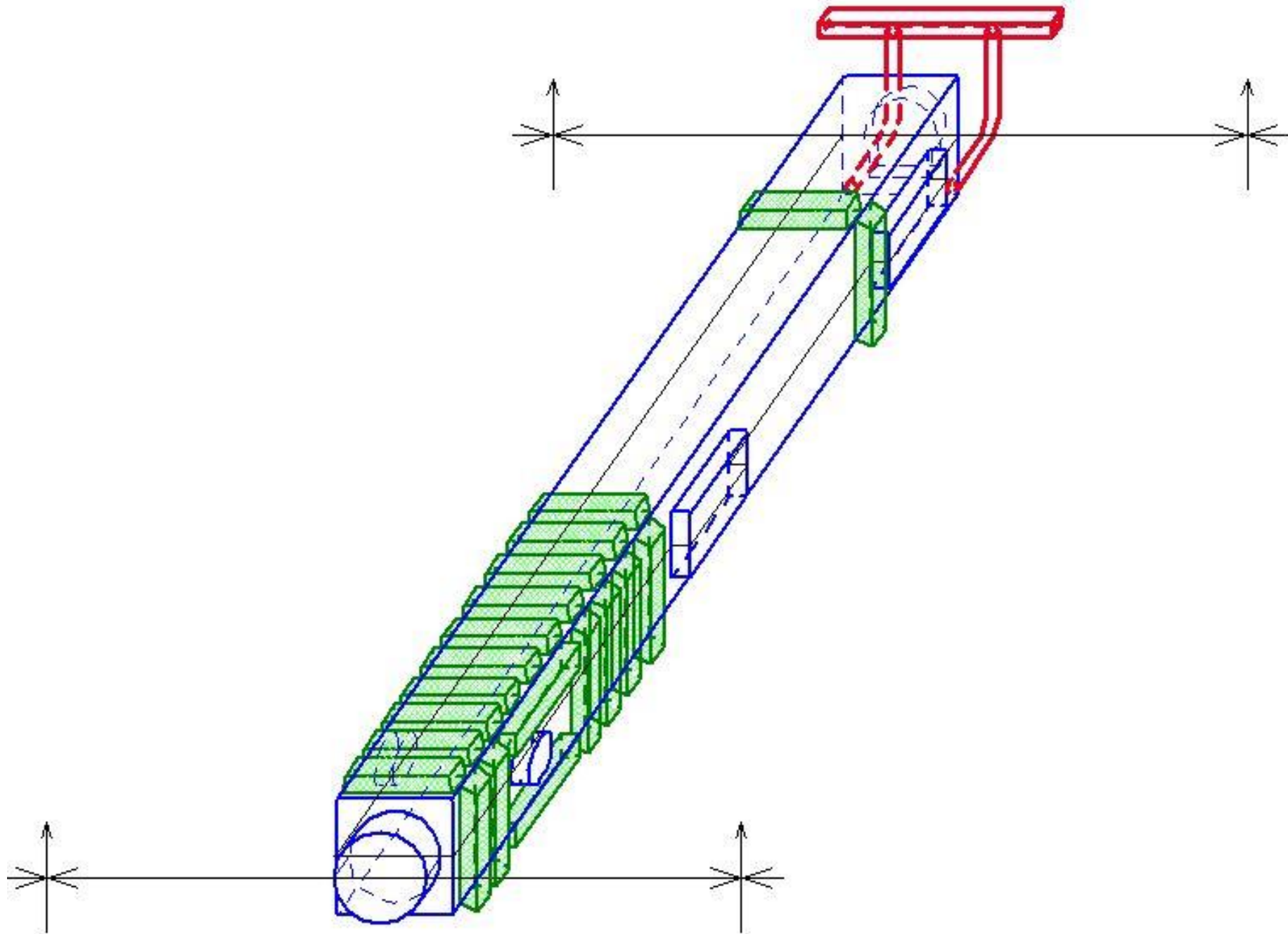


NOVÁ	PROJ.	REV.	SKL.	PROSTRA.	PROSTRA.	PROSTRA.	PROSTRA.	PROSTRA.	PROSTRA.
425			OUTLET		42296		DN 42296		
119			26.03.2022		19037-1				
CHM			VYKAP		1/16				
301430			0		010151900				



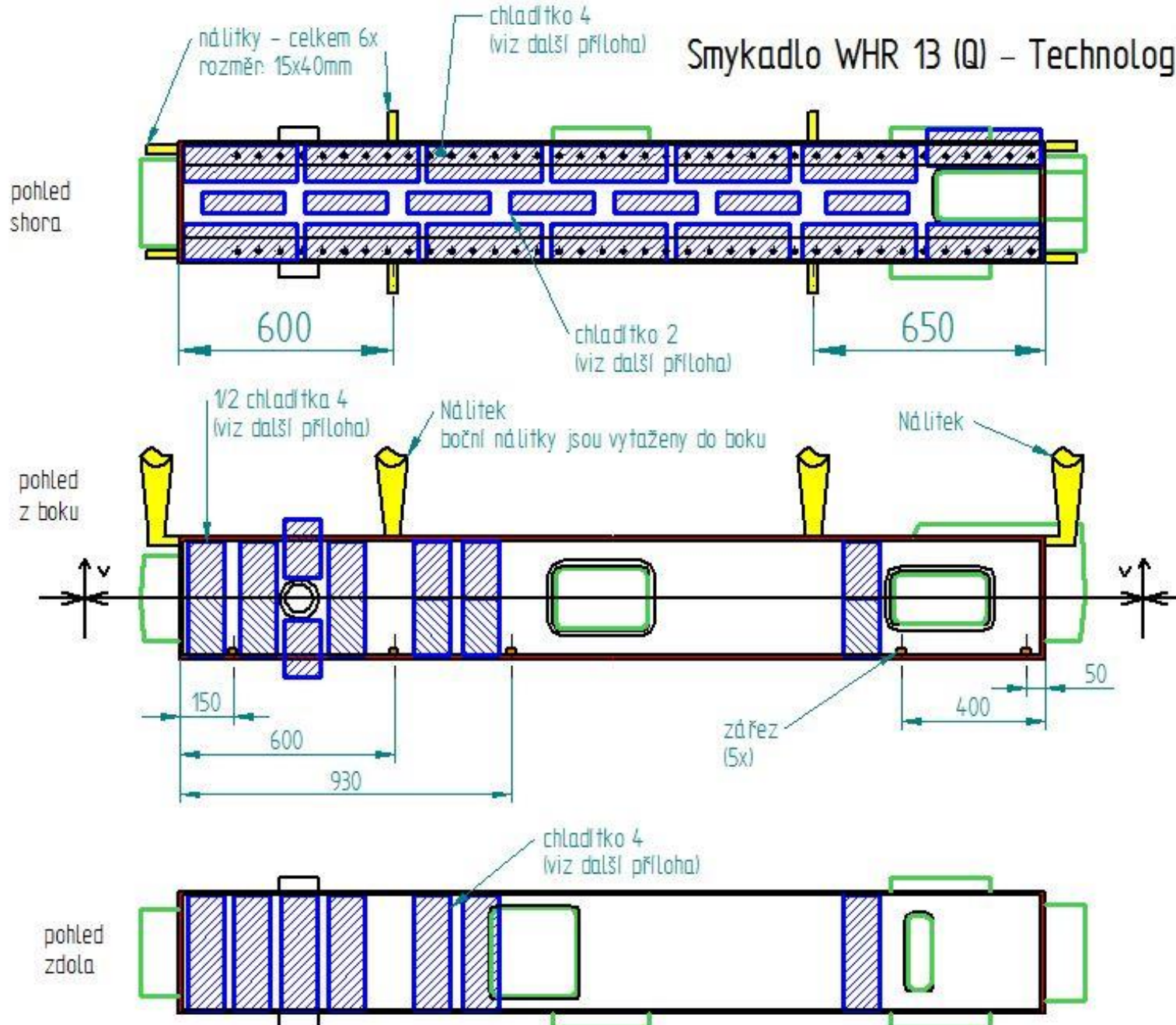






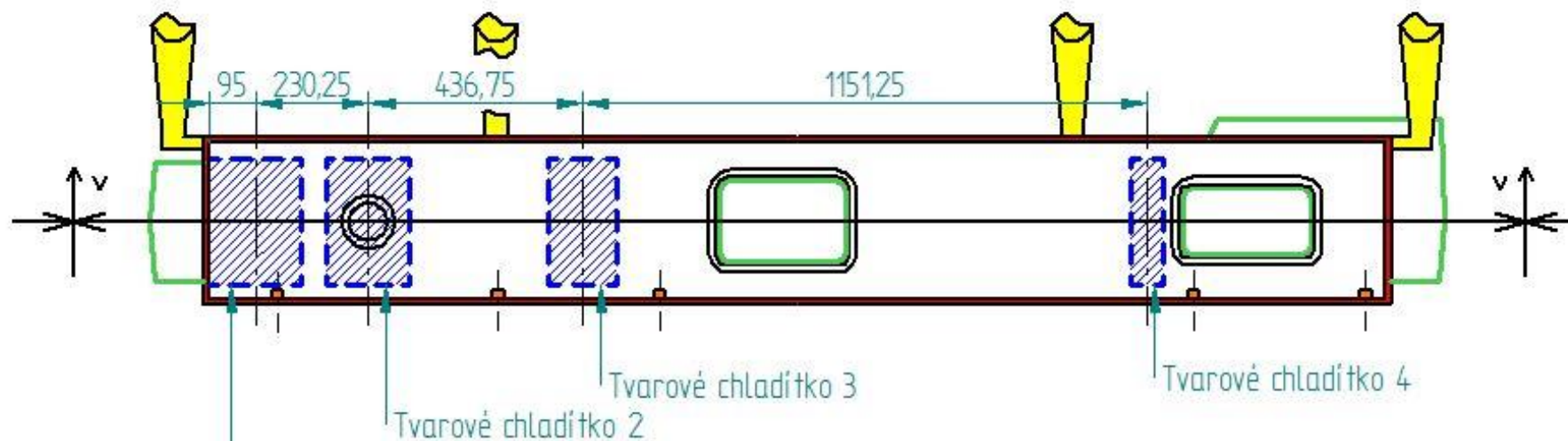


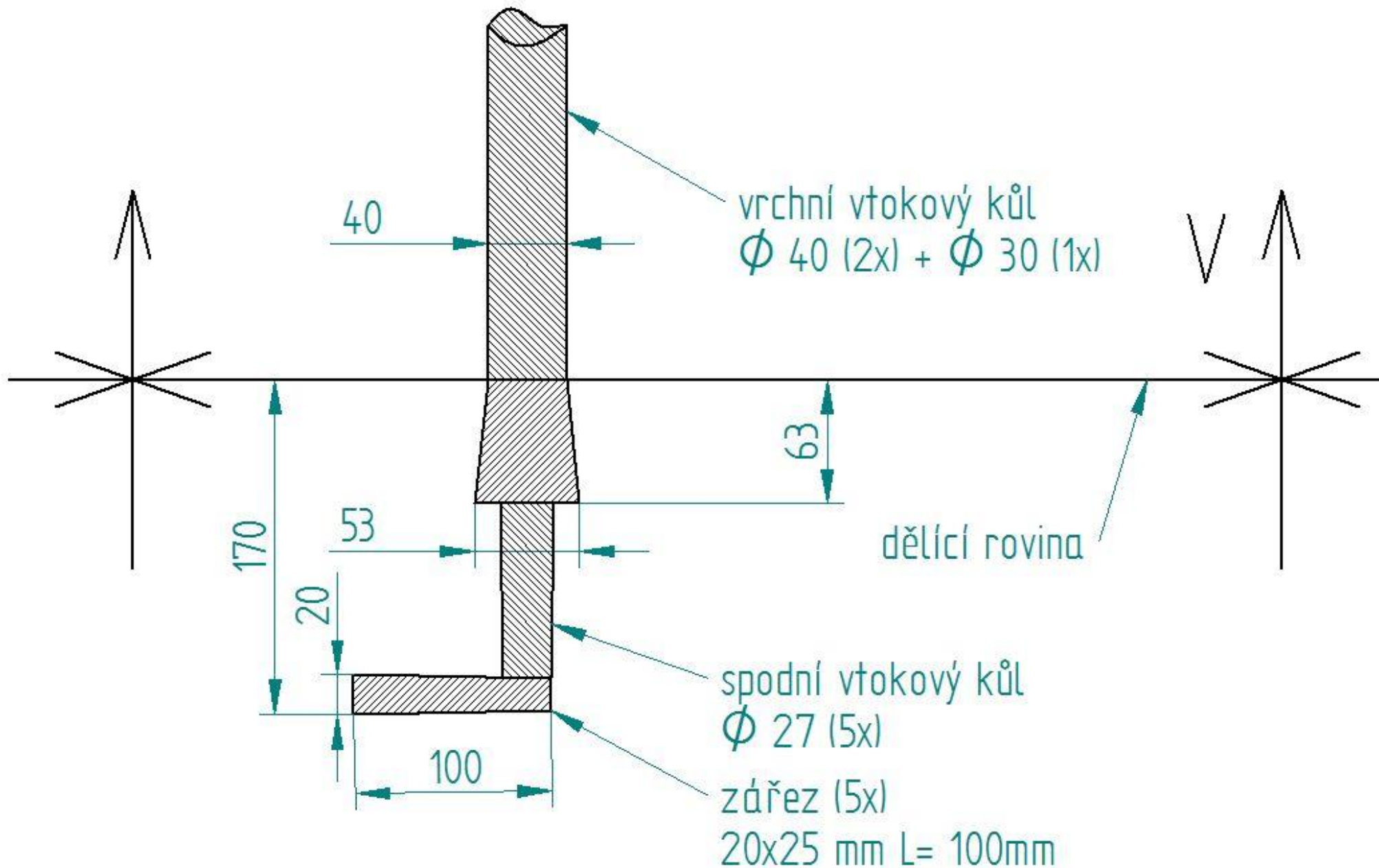
Smykadlo WHR 13 (Q) – Technologie





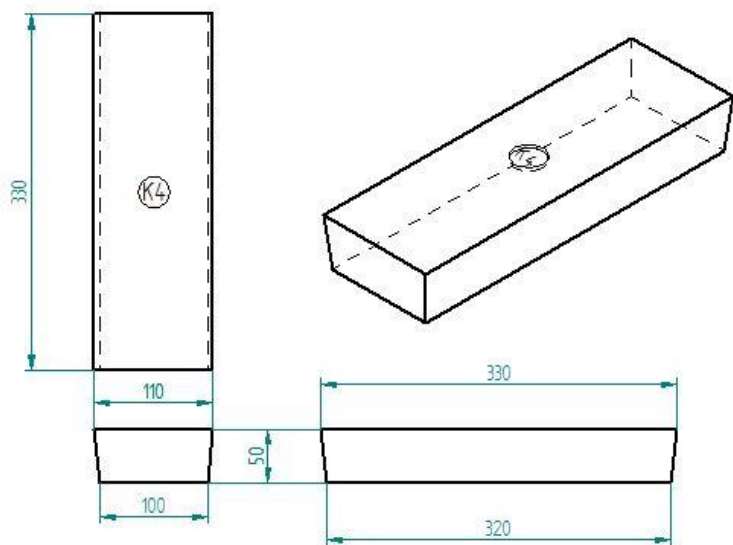
Rozmístění tvarových chladítek (chladítka umístěna v hlavním jádru)



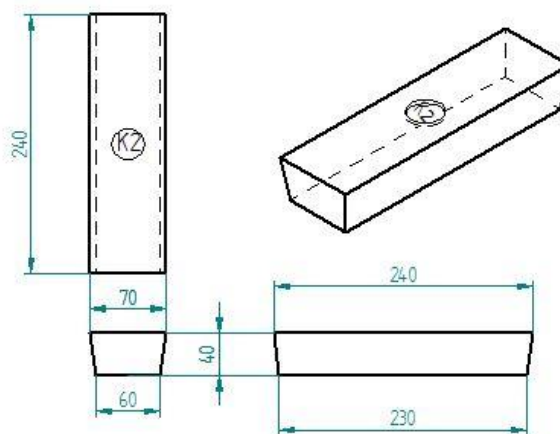




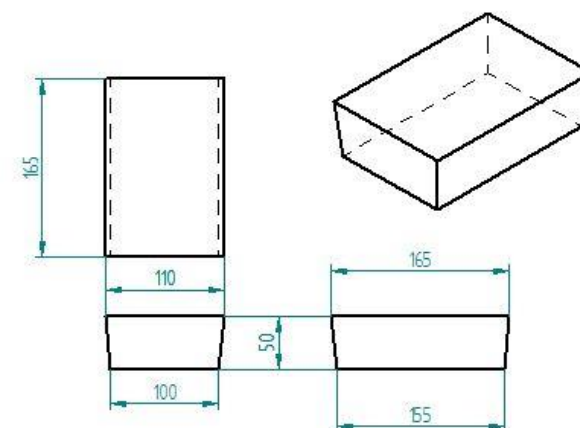
chladičko 4



chladičko 2

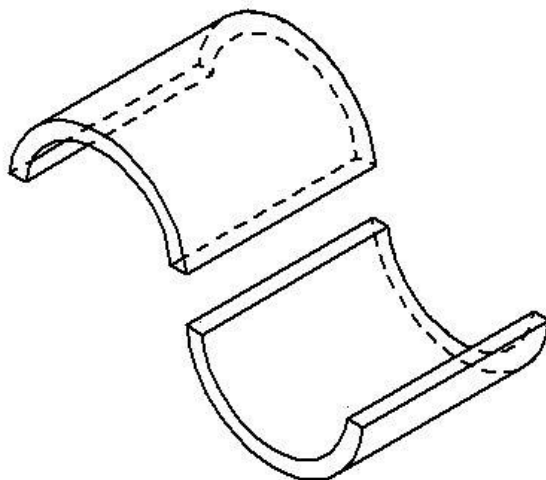
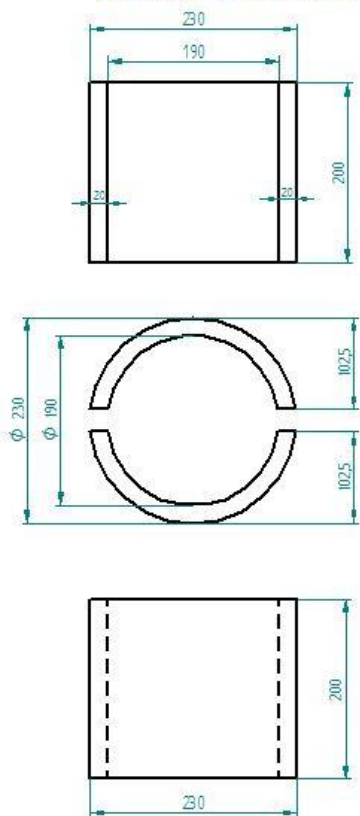


1/2 chladička 4

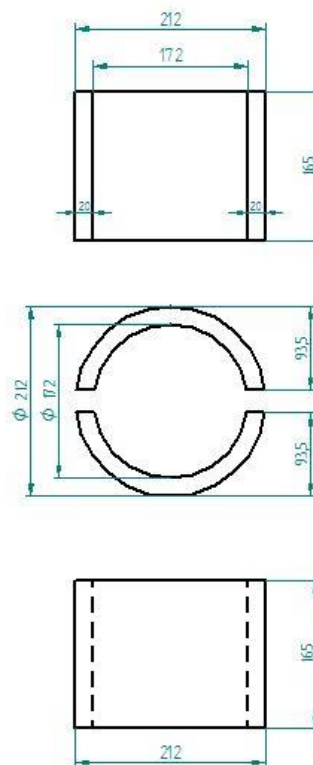




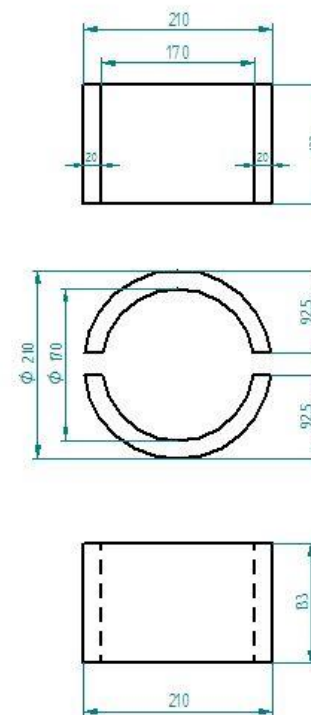
tvárové chladítko 1



tvárové chladítko 2



tvárové chladítko 3



tvárové chladítko 4

