

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**ODPRAVA PLINSKE POROZNOSTI PRI
GRAVITACIJSKEM LITJU**

Kandidat: Andrej Stavbar

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Marija Kisin

Mentor v podjetju: Dragan Gogić, mag. inž. metal. in mater.

Lektor: Ana Koritnik, prof. slov.

Maribor, 2016

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKE NALOGE

Podpisani Andrej Stavbar sem avtor diplomskega dela z naslovom »Odprava plinske poroznosti pri gravitacijskem litju«, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Marije Kisin.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predložena delo izključno rezultat mojega dela;
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oziroma citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor;
- se zavedam, da je plagiatstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot moje lastne – kaznivo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah (Ur. l. RS 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/2013 in 56/2015); (v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili;
- skladno z 32.a-členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, april 2016

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici dr. Mariji Kisin, pri usmerjanju, svetovanju in načrtovanju diplomskega dela.

Velika zahvala gre mentorju v podjetju Draganu Gogiću, mag. inž. metal. in mater., za nesebično pomoč, strokovna svetovanja, razpoložljivost literature in spoznavanje metalurškega procesa.

Zahvala gre podjetju Cimos, d. d., Tovarna Maribor, Livarna aluminija, ki mi je s pomočjo interne literature omogočilo izvedbo diplomske naloge.

Zahvaljujem se staršema, ki sta mi ves čas študija stala ob strani, kakor tudi ostalim članom družine.

Zahvaljujem se partnerki Severini za potrpežljivost ob študiju in pisanju diplome.

POVZETEK

Diplomska naloga predstavlja pregled aktivnosti pri reševanju tehnološkega problema odprave plinske poroznosti pri gravitacijskem litju ulitkov ohišja turbokompresorja. Opisana so zaporedja aktivnosti, ki vsebujejo prikaz problema, eventualne vzroke, raziskavo in definicijo ugotovljenih napak v primerjavi z zahtevami kupca. S čim manjšim oviranjem proizvodnega procesa definirati aktivnosti za odpravo nastalega problema, kar bo zagotovilo za izdelavo kakovostno ustreznih ulitkov skladno z zahtevami kupca. Metoda se bo lahko transversalno uporabila za primerljive izdelke iz procesa. Plinska poroznost predstavlja eno izmed najpogostejših napak pri gravitacijskem litju aluminija. Z reševanjem te problematike se neposredno vpliva na zmanjševanje izmeta, ki predstavlja velik strošek vsake livarne. Livarne, ki lijejo dele za avtomobilsko industrijo, težijo izmet v proizvodnjah zmanjšati pod 5 odstotkov.

Na osnovi pregleda in študija strokovne literature je v teoretičnem delu diplomske naloge predstavljena tehnologija gravitacijskega litja, vključno z izdelavo jeder in pregledom aluminijevih zlitin skupine Al-Si, ki se uporabljajo za litje.

V praktičnem delu diplomske naloge so podane kakovostne zahteve ulitka, ki so opredeljene s kontrolnim planom (QM) proizvodnega procesa. Opravljena rentgenska in mikroskopska analiza ter mehanska obdelava ulitka so potrdile prisotnost plinske poroznosti. V nalogi so podani morebitni vzroki plinske poroznosti v ulitkih. Le-ta je lahko posledica v talini ujetih plinov, ki med kristalizacijo ulitka izhajajo iz peščenega jedra, delno pa tudi zaradi morebitne dimenzijske in geometrijske neustreznosti zračnih kanalov (odušnikov) livarskega orodja. Le ulitek, ki je brez napak in v popolnosti odgovarja kupčevim zahtevam, je plačan ulitek in le tak ulitek prinaša dohodek za livarno. S kvalitetnimi ulitki pridobivamo zaupanje kupca in posledično nove projekte, kar pa pogojuje nadaljnji tehnološki razvoj livarne in strokovnjakov, ki so zaposleni v njej.

Rezultati preizkusnih serij ulitkov so potrdili, da je pojav plinske poroznosti v ulitkih posledica neustrezne izdelave peščenih jeder oziroma prenizka temperatura ogrevanja jedrovnika, v katerem se izdelujejo jedra. Za odpravo plinske poroznosti so bili podani ukrepi, kot so sanacija plinskih gorilnikov, ki ogrevajo jedrovnik, in preventivno redno čiščenje zračnih kanalov.

Ključne besede: plinska poroznost v ulitkih, gravitacijsko litje, aluminijeve zlitine za litje, izdelava jeder, jedrovnik, zahteve kupca.

ABSTRACT

ELIMINATION OF GAS POROSITY IN GRAVITY DIE CASTINGS

The diploma paper presents a review of activities in solving the technological problem of elimination of gas porosity in gravity die casting of turbocharger housing. The paper describes the series of activities that include the presentation of the problem, eventual causes, the study and definition of determined defect in comparison to customer's requirements. With as little interference in the production process, we attempt to define the activities to eliminate the present problem, thus ensuring manufacture of castings of appropriate quality and in accordance with customer's requirements. The method can be transversally applied to comparable products of this process. Gas porosity represents one of the most common defects in gravity die casting of aluminium. By solving this problem, we can directly reduce the number of rejected products, which represent a high cost for every foundry. Foundries that manufacture parts for the automotive industry want to reduce the proportion of rejected products in production under 5%.

Based on the review and study of technical literature, the theoretical section of the paper presents the technology of gravity die casting, including core manufacture, and a review of aluminium alloys of Al-Si group, which is used for casting.

In the practical section of the diploma paper, we present the quality requirements of the castings, which are defined by a control plan (Quality Management) of the production process. The conducted X-ray and microscopic analyses and mechanical treatment of the castings confirmed the presence of gas porosity. The paper presents potential causes for gas porosity in castings. It can be the result of gases captured in the melt, which during the crystallisation of the casting penetrate from the sand core, and partially because of dimensional and geometric unsuitability of air ducts (vents) of the casting tool. Only a perfect casting that is without defects and congruent with customer's requirements is a paid casting, and only such a casting represent income for the foundry. With quality castings, we can earn customer trust and thus new projects, and that is the requirement for further technological development of the foundry and the experts it employs.

The results of trial series of castings confirmed that the occurrence of gas porosity in castings is caused by unsuitable manufacture of sand cores as well insufficient temperature of the core box in which the cores are manufactured. To eliminate gas porosity, we implemented measures

such as rehabilitation of gas burners that heat the core box and preventive regular cleaning of air ducts.

Keywords: gas porosity, gravity die casting, aluminium alloy casting, production of cores, core box, customer's requirements.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	10
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	10
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	10
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	10
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	11
2	OPIS PODJETJA CIMOS	12
2.1	ZGODOVINA	12
2.2	PREDSTAVITEV PODJETJA CIMOS, D. D., TOVARNA MARIBOR LIVARNA	13
2.2.1	<i>Livarna aluminija</i>	14
2.2.2	<i>Livarna sive litine</i>	16
3	PROBLEMATIKA	18
4	TEHNOLOGIJA GRAVITACIJSKEGA LITJA	19
4.1	ALUMINIJEVE ZLITINE	19
4.2	ZLITINE AL-Si	19
4.3	POSTOPEK GRAVITACIJSKEGA LITJA TURBOKOMPRESORJA	21
5	IZDELAVA JEDER	24
5.1	IZDELAVA JEDER PO CRONING POSTOPKU	24
5.2	IZDELAVA JEDRA ZA OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA	26
6	PLINSKA POROZNOST	31
6.1	VZROKI ZA NASTANEK	31
6.2	ZAHTEVE NAROČNIKA KONČNEGA IZDELKA	32
6.3	UGOTOVLJENA ODSTOPANJA	37
6.4	UKREPI ZA PREPREČEVANJE	40
7	SKLEP	43
8	VIRI, LITERATURA	45

KAZALO SLIK

SLIKA 1: VGRAJEVANJE SESTAVNIH DELOV	12
SLIKA 2: SKUPINA CIMOS	14
SLIKA 3: DELI PROIZVODNEGA PROGRAMA ALUMINIJEVIH ZLITIN ((A) NOSILEC MOTORJA BMW, (B) NOSILEC MOTORJA DV6 PEUGEOT, CITRÖEN, (C) OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA AUDI W37, (D) OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA, (E) OHIŠJE VIJAČNEGA KOMPRESORJA JAGUAR V6, (F) POKROV VIJAČNEGA KOMPRESORJA JAGUAR V6 TER (G) OHIŠJE KOMPRESORJA GM LT4.)	16
SLIKA 4: DELI PROIZVODNEGA PROGRAMA SIVE LITINE ((A) VALJ MOTORJA, (B) CENTRALNO OHIŠJE	16
SLIKA 5: 3D-GEOMETRIJA ZGORNJEGA DELA KOKILE S STRANSKIMI GRELCI (A) IN SPODNJEGA DELA KOKILE Z IZMETALNIM SISTEMOM (B)	21
SLIKA 6: ULIVNI STROJ ZA GRAVITACIJSKO LITJE ULITKOV IZ AL-ZLITIN	22
SLIKA 7: PRIKAZ ULITKA OHIŠJA TURBOKOMPRESORJA: POGLED Z ZGORNJE (A) IN SPODNJE STRANI (B)	23
SLIKA 8: TEMPERATURNI GRADIENTI IN POTEK UTRJEVANJA PRI UTRJEVANJU MASKE ALI JEDRA, 1 – PLAST, V KATERI SE FENOLNA SMOLA NATALJUJE, 2 – PLAST UTRJEVANJA, 3 – POPOLNOMA UTRJENA PLAST, 4 – JEDROVNIK	24
SLIKA 9: ORODNO JEKLO UTOP MO 1 PO PROCESU NITRIRANJA (NITAL 500X)	27
SLIKA 10: STROJ ZA IZDELAVO JEDER PRIMAFOND SMEC25	28
SLIKA 11: 3D-GEOMETRIJA DVOGNEZDNEGA JEDROVNIKA, LEVA (A) IN DESNA (B) POLOVICA ORODJA	28
SLIKA 12: DVOGNEZDNI JEDROVNIK, LEVA (A), DESNA (B) POLOVICA ORODJA IN JEDRO OHIŠJA TURBOKOMPRESORJA (C)	29
SLIKA 13: QM-PLAN IZDELKA OHIŠJA TURBOKOMPRESORJA	36
SLIKA 14: RENTGENSKI POSNETEK OHIŠJA TURBOKOMPRESORJA Z OZNAČENIM MESTOM NAPAKE	37
SLIKA 15: MEHANSKO OBDELANO OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA Z VIDNO NPAKO	38
SLIKA 16: MIKROSKOPSKI POSNETEK PLINSKE POROZNOSTI (A, B)	38
SLIKA 17: MIKROSKOPSKI POSNETEK PLINSKE POROZNOSTI (A, B)	39
SLIKA 18: MIKROSKOPSKI POSNETEK STRJEVALNE POROZNOSTI (A, B)	40
SLIKA 19: NE DOVOLJ PEČENA JEDRA SVETLE POVRŠINE (A) IN USTREZNO IZDELANA JEDRA TEMNEJŠE POVRŠINE (B)	41

KAZALO TABEL

TABELA 1: PRIKAZ PREDPISANE KEMIČNE SESTAVE ZLITINE	20
TABELA 2: KEMIJSKA SESTAVA ORODNEGA JEKLA ZA IZDELAVO JEDROVNIKOV IN KOKIL	26

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Postopki litja se razlikujejo glede na število naročenih izdelkov, zahtevano obliko, maso, dimenzijo in glede na vrsto materiala ulitka. Pri procesu litja lahko prihaja do številnih nepravilnosti oziroma napak. Ena izmed napak je plinska poroznost, ki izvira iz tega, da je topnost plinov v talini večja kot v trdnini. Pri strjevanju se plini izločajo, pri čemer nastanejo plinski mehurčki. Za plinsko poroznost so značilne gladke stene por, medtem ko so pri strjevalni poroznosti le-te hrapave (Fakulteta za strojništvo, 2015).

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Odprava livarskih napak, lunkerjev ali plinske poroznosti. Plin prehaja v ulitek skozi jedro forme ali zaradi neustreznih pogojev litja, kot je na primer prenizka ali previsoka temperatura taline, neogreto orodje za vlivanje ipd.

Namen diplomske naloge je predstaviti napako, ko med procesom strjevanja skozi jedro forme prehaja plin, in podati določene ukrepe, ki zagotavljajo kakovost ulitka.

1.3 Predpostavke in omejitve

Strokovna usposobljenost za definicijo problema in raziskavo vzrokov za nastanek le-teh. Pristop zahteva veliko znanja, izkušenj in sodelovanja v okviru strokovnega tima, zato je odzivnost članov glede na časovne omejitve, ki so povezane na eni strani z zahtevami in naročili kupca ter stanjem nekakovosti na drugi, zelo pomembna. Usposobljenost kadra in ustreznost opreme na delovnih mestih predstavljata poseben segment pri zagotavljanju kakovosti izdelkov v proizvodnem procesu.

Nekatera področja postopka litja bodo omejeno predstavljena, zaradi obsežnega področja tematike, zaupnosti notranjih podatkov podjetij in omejene razpoložljive literature.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomski nalogi smo uporabili naslednje metode:

- metodo deskripcije (opisovanje določenih pojmov, dejstev in pojavov),
- metodo kompilacije (metoda uporabe izpiskov, navedb, citatov drugih avtorjev),
- metodo klasifikacije (postopek definiranja določenega pojma),
- eksperimentalno metodo (laboratorijska analiza ulitka, rentgenska metoda za kontrolo vključkov).

2 OPIS PODJETJA CIMOS

2.1 Zgodovina

Leta 1958 je podjetje Cimos pričelo z aktivnostmi v avtomobilski industriji (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja). Povod za to je bila sklenjena pogodba med francoskim gigantom Citroen in slovenskim podjetjem Tomos. V tem času so v podjetju izdelovali izvenkrmne motorje in mope. Z letom 1972 so se podjetja Citroen, Iskra in Tomos dogovorila o skupnem projektu Cimos. Glavne naloge podjetja so bile izdelovanje, sestavljanje, vgradnja in prodaja avtomobilov, njihovih sklopov in podsklopov. Le del omenjenega programa je prikazan na sliki 1. Za vgrajevanje določenih sklopov in podsklopov je Citroen svoje specifikacije in načrte pošiljal v Cimos.



Slika 1: Vgrajevanje sestavnih delov

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Med leti 1984 in 1989 se je ustanovila razvojno-raziskovalna dejavnost. Najpomembnejši mejnik za to obdobje je bil preboj na avtomobilski trg, saj se ni sodelovalo le s Citroenom, temveč tudi z drugimi avtomobilskimi proizvajalci. Leta 1996 sta sledila preoblikovanje in sprememba lastništva. Obdobje med letoma 2001 in 2003 je bilo zelo pozitivno, saj je podjetje Cimos, d. d., kupilo lastniške deleže podjetji Litostroj E.I. in Labinprogres TPS, d. o. o. Z letom 2004 se je povečal lastniški delež v Livnici Kikinda, že naslednje leto pa se je proizvodnja razširila v nove proizvodne prostore v Srebrenici (BIH) in Kikindi (Srbija). V letu 2008 je Skupina Cimos pridobila novega partnerja ČKB Blansko Engineering in posledično vstopila na češki trg.

Danes Skupina Cimos deluje v šestnajstih proizvodnih obratih, v Sloveniji le v petih –Mariboru, Vuzenici, Kopru, Ljubljani in Senožečah. Skupina Cimos v Republiki Hrvaški obratuje v Buzetu, Labinu in Roču. V Bosni in Hercegovini najdemo štiri obrate – v Sarajevu, Novem Travniku, Zenici in Gradačcu, na območju Srbije pa so štiri tovarne – dve v Kikindi, po ena v Sečnju in v Krušiku.

2.2 Predstavitev podjetja CIMOS, D. D., Tovarna Maribor Livarna

CIMOS TAM Avtomobilska industrija Maribor (v nadaljevanju CIMOS TAM A. i.) se nahaja v Mariboru in je sestavljena iz dveh ločenih obratov: obrat livarna in obrat mehanska obdelava. V livarni se s postopkom gravitacijskega litja izvaja litje aluminijevih zlitin in sive litine za potrebe avtomobilske industrije in tudi izven. Vsi izdelani ulitki, ki prihajajo iz livarne, se obdelajo v obratu mehanske obdelave. Največja potreba je po ohišjih kompresorja, nosilcih motorja, nosilcih črpalk, nosilcih alternatorjev, nosilnih ploščah in ohišjih turbokompresorja. Omenjeni izdelki se lijejo iz aluminijevih zlitin.

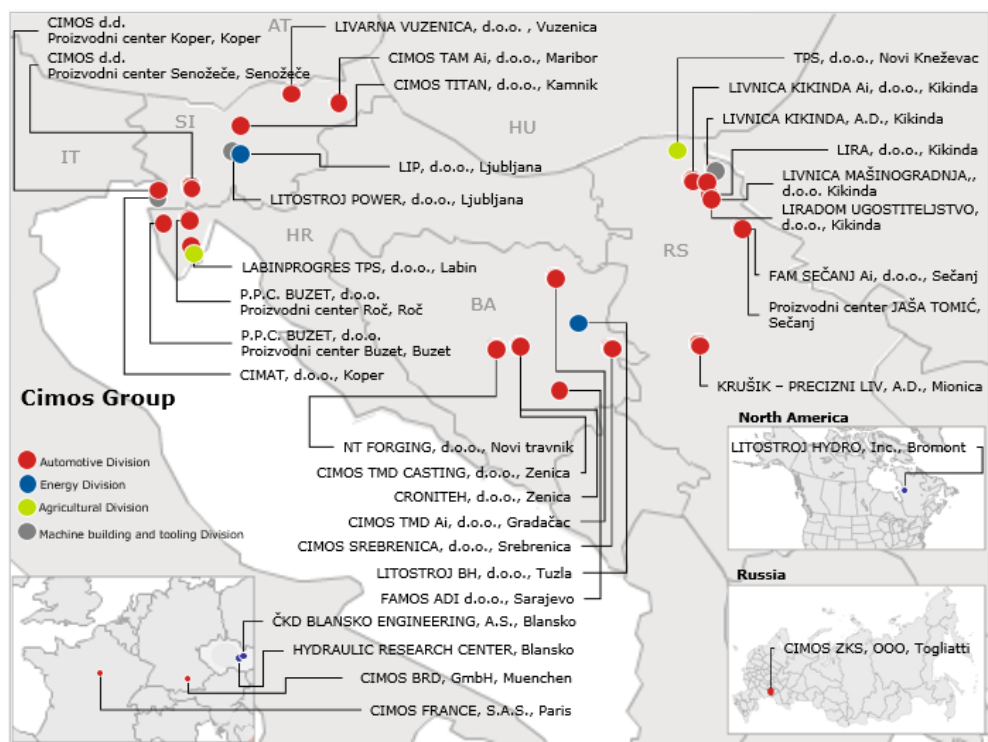
Osebna izkaznica podjetja

Pravna oblika podjetja:družba z omejeno odgovornostjo

Število zaposlenih:628 (februar 2010)

Realizacija (2010): 60 MIO EUR

Del skupine CIMOS (slika 2):od leta 2001



Slika 2: Skupina CIMOS

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

2.2.1 Livarna aluminija

Tehnologija: gravitacijsko litje v kokile s toplotno obdelavo.

Proizvodni program:

- ohišja turbokompresorjev,
- glave motornih valjev,
- nosilci motorjev,
- nosilci črpalk,
- nosilci alternatorjev,
- ohišja in pokrovi vijačnega kompresorja.

Kapacitete odlitkov: 35 000 kg/dan.

Nekatere dele proizvodnega programa aluminijevih zlitin prikazujejo slike od 3a do 3g.



(a)



(b)



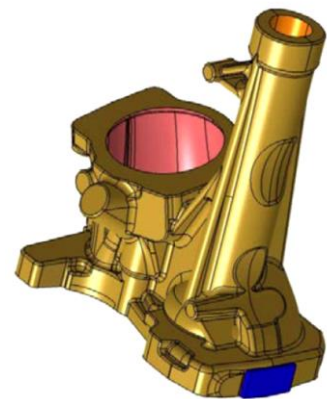
(c)



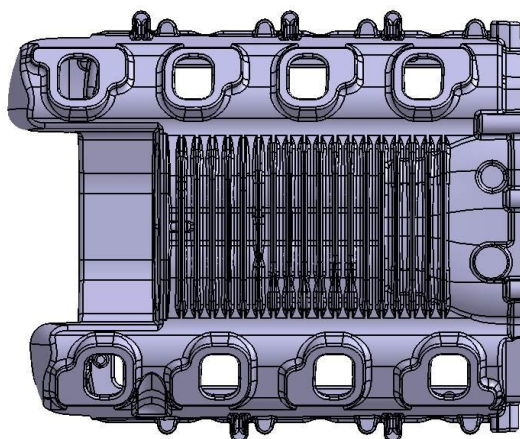
(d)



(e)



(f)



(g)

Slika 3: Deli proizvodnega programa aluminijevih zlitin ((a) nosilec motorja BMW, (b) nosilec motorja DV6 Peugeot, Citr  en, (c) ohišje turbokompresorja Audi W37, (d) Ohišje turbokompresorja, (e) ohišje vijaa  nega kompresorja Jaguar V6, (f) pokrov vijaa  nega kompresorja Jaguar V6 ter (g) ohišje kompresorja GM LT4.)

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

2.2.2 *Livarna sive litine*

Tehnologija: gravitacijsko litje v maske (Cronning postopek).

Proizvodni program:

- vodno hlajena centralna ohišja,
- motorni valji.

Kapacitete odlitkov: 27 000 kg/dan.

Nekatere dele proizvodnega programa sive litine prikazujejo slike od 4a do 4b.



(a)



(b)

Slika 4: Deli proizvodnega programa sive litine ((a) valj motorja, (b) centralno ohišje

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

V obratu mehanska obdelava se ulitki iz aluminija in sive litine, ki jih izdelujejo v Livarni Vuzenica ali v Mariboru, obdelajo s CNC-obdelavo. Program CNC-obdelave aluminija obsega ohišja kompresorjev, posamezne dele turbokompresorjev, nosilce motorja ter sprednje in zadnje plošče. CNC-obdelava sive litine zajema mehansko obdelavo vztrajnikov, zavornih bobnov in motornih cilindrov.

Zaradi prodora na domačem in mednarodnem trgu kakor tudi zaradi sodelovanja z domačimi in tujimi partnerji Cimos, d. d., uporablja številne standarde, ki jih podjetje za rast na trgu enostavno potrebuje, ISO 14001, ISO/ TS 36949: 2009, ISO 9001: 2008 in OHSAS 18001.

3 PROBLEMATIKA

V diplomski nalogi je predstavljena problematika, ki je zelo pogost pojav v sodobnih livarskih procesih. Dejansko sama po sebi ne predstavlja posebnih raziskovanih pristopov, predstavlja pa tehnološki pristop k reševanju specifičnih problemov. Na takšen način se hkrati pridobi veliko znanja in izkušenj ob sodelovanju s strokovnjaki s področja metalurgije, kajti obravnava teme se lahko transversalno uporabi tudi za kakršen koli podoben izdelek, ki se izdeluje po podobnem tehnološkem postopku. Glede na to, da so kakovostne zahteve izdelka definirane s strani kupca že v začetni razvojni fazi s priloženo dokumentacijo v obliki risb in drugih specifičnih zahtev, je zelo pomembno, kako kupčeve zahteve kakovostno dosegati in tudi obvladovati. Obstaja veliko metod v začetni fazi razvoja procesa, pri katerih lahko napake vnaprej predvidimo in jih z ustreznim dimenzioniranjem orodij tudi poskušamo že na začetku odpraviti. Najbolj pride do izraza simulacija litja, pri kateri dejansko z ustreznim računalniškim programom ob vnosu določenih parametrov spremljamo dogajanja v ulivni votlini ter sam proces strjevanja ulitka. Vendar se zadeve v praksi dostikrat sprevržejo v obratno smer, posebej če proces ni ustrezno voden in nadzorovan oziroma če je prisotna tehnološka nedisciplina in še veliko drugih faktorjev, ki jih je običajno težko obvladovati. Da bi lahko ugotovili čim več napak, ki se dogajajo pri procesu, se pristopi k litju poskusne serije. Pri tem litju se morajo natančno upoštevati vsi tehnološki predpisi. Da se zagotovi vse potrebno, je pogoj popoln nadzor litja s strani tehnologije in vodij procesa. Pri izvajanju operacije litja se beležijo vsi parametri, vključno s problemi, ki bi morebiti nastali, in se skušajo sproti odpravljati. Po končanem litju se iz poskusne serije vzame večje število ulitkov, ki se podvržejo 100 % kontroli:

- rentgena
- trdote
- dimenzij
- kemične sestave

V primeru, da več ulitkov pri zapisanih kontrolnih točkah prekomerno odstopa, se poskusna serija ponovi z opombo povečanega nadzora pri operacijah, kjer so napake nastale, in se jih po potrebi tehnološko odpravi. Šele ko je odlitek poskusne serije dal želene rezultate, lahko ulitek damo v serijsko proizvodnjo. Kljub vsemu navedenemu se pri serijski proizvodnji pojavijo napake, ena od teh je plinska poroznost, ki je botrovala izdelavi diplomske naloge.

4 TEHNOLOGIJA GRAVITACIJSKEGA LITJA

4.1 *Aluminijeve zlitine*

Aluminijeve livne zlitine se vse bolj uporabljajo v avtomobilski ter letalski industriji, zaradi svoje odlične livnosti, odpornosti proti koroziji ter predvsem zaradi svojega visokega razmerja med trdnostjo in težo. Silicij, cink, baker in magnezij so elementi, ki vsebujejo aluminijeve zlitine, ki jih imenujemo tudi večkomponentne zlitine. Njihova vloga v livnih komponentah je podvržena dinamičnim obremenitvam, zaradi česar narašča precejšnje zanimanje za obnašanje strukturnih poškodb. Poleg mikrostrukturnih značilnosti je strukturna poškodba litih aluminijastih komponent (od ponavljajoče obremenitve) močno odvisna tudi od napak litja (ulivanja), nastalih med strjevanjem, saj dajejo prednost strukturnim poškodbam razpok, ki nastanejo zaradi visoke lokalne koncentracijske napetosti (Kisin, 2010) (Schumann, 1969).

4.2 *Zlitine Al-Si*

Zlitine Al-Si imajo dobre livne lastnosti, majhno verjetnost nastanka razpok in nekompaktnosti med procesom strjevanja. Poznamo tri skupine zlitin: hipoevtektске, evtektске in hiperevtektске zlitine. Hipoevtektске zlitine vsebujejo med 4–7 % silicija, evtektске med 10–13 % silicija ter hiperevtektске med 18–24 % silicija. Zlitinam Al-Si se za izboljšanje njihovih lastnosti ali drugih pogojev dodajajo drugi legirni elementi. Zlitinam Al-Si rečemo drugače tudi komercialne zlitine, poznane so z drugim imenom silumin, v Evropi, ali alpax v Veliki Britaniji. Najbolj primerne so za gravitacijsko litje, tlačno litje in litje v peščene forme. Velika verjetnost obstaja, da se bodo v omenjeni zlitini nahajale tudi kovinske in nekovinske primesi. Kisik, ki spada med nekovinske primesi, se nahaja v obliki aluminijevega oksida. Z njegovo prisotnostjo se poslabšajo mehanske in fizikalne lastnosti, zato poskrbimo za odstranjevanje slednjega že iz taline. S prisotnostjo železa kot kovinske primesi se poslabšajo korozijske in mehanske lastnosti. Izogniti se primesem železa v zlitini je skoraj nemogoče, z dodajanjem mangana nastane bolj zaželen in manj škodljiva spojina, ki zmanjšuje vpliv železa. Zlitine Al-Si imajo dobre livne lastnosti, s postopkom toplotne obdelave jim dodatno izboljšamo trdnost in trdoto (Spaić, 2000) (Schumann, 1969).

Za izvedbo litja ohišja turbokompresorja se uporablja aluminijeva zlitina $AlSi7Mg$, katere sestava je prikazana v tabeli 1 in je predpisana z risbo izdelka.

Tabela 1: Prikaz predpisane kemične sestave zlitine

Sestava [%]											
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ni	Pb	Posamezni element	Ostali elem. Skupno	Al
6,50 - 7,50	max. 0,60	max. 0,25	max. 0,60	0,20 - 0,65	max. 0,35	max. 0,25	max. 0,15	max. 0,15	0,05	0,15	ostanek

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Za udrobnjevanje primarnih kristalnih zrn in modificiranje evtekske faze se uporabljajo modificirna sredstva v obliki predzlitin:

- AlTi5B1 in
- AlSr10.

Delež AlTi5B1 znaša 0,10–0,20 mas. % in AlSr10 do 0,025 mas. % (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja). Na zmanjšanje velikosti primarnega zrna α_{Al} se vpliva z dodajanjem predzlitine AlTi5B1. Ta predzlitina se v talini stali in nastanejo delci TiB₂, ki delujejo kot katalizatorji, ki povzročijo nastanek drobnozrnate mikrostrukture. Aktivni čas delovanja kristalnih katalizatorjev je običajno 2–3 ure, po tem času pa prične aktivnost upadati. To pomeni, da se efekt nastajanja drobnozrnate mikrostrukture zmanjša, kar ima za posledico povečanje možnosti prisotnosti napak v obliki poroznosti.

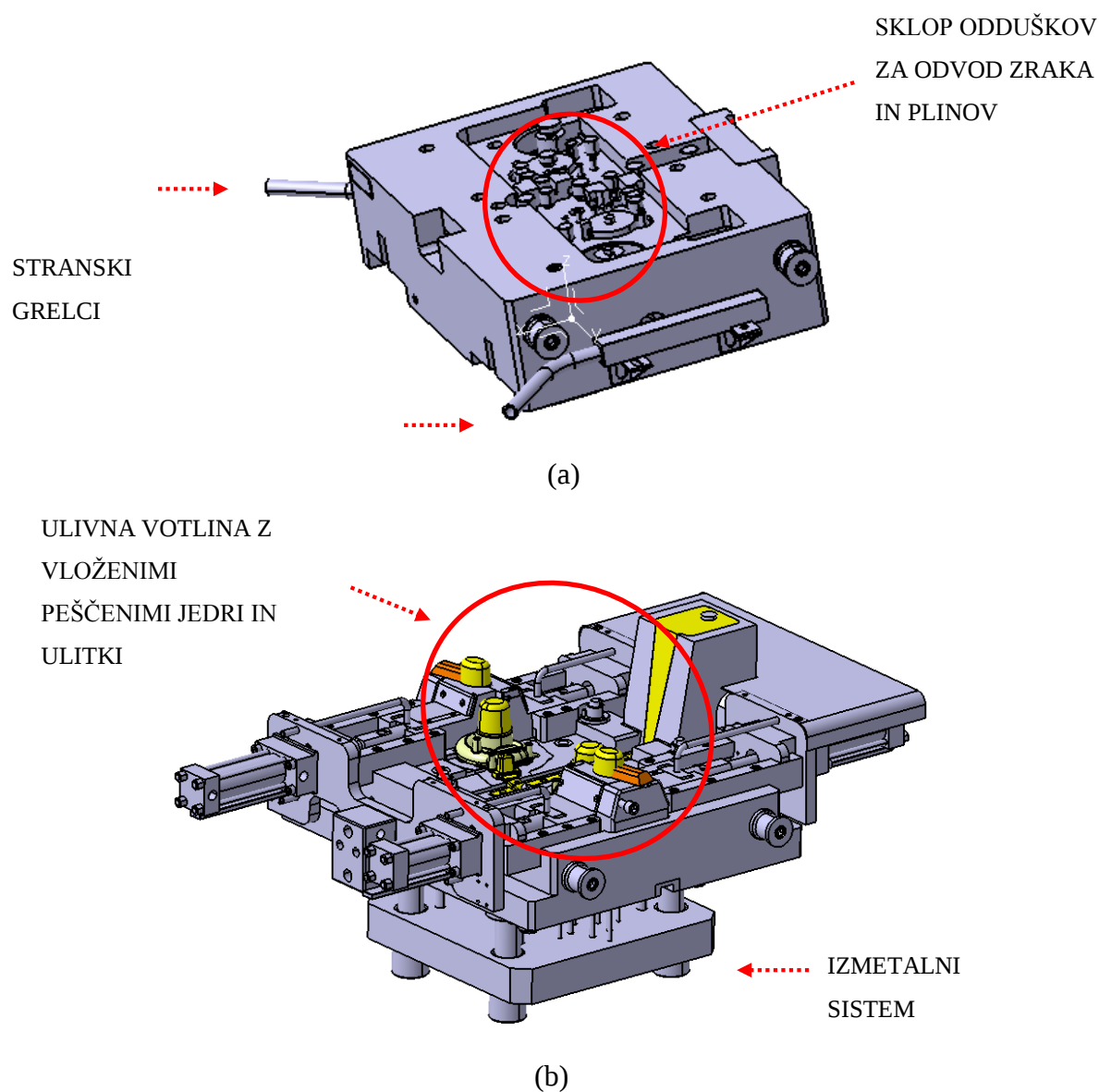
Na zmanjšanje velikosti delcev evtekskega Si se vpliva z dodajanjem predzlitine AlSr10, ki povzroči spremembo njegove morfologije iz igličaste v vlaknato. V mikrostrukturi zlitin vrste Al-Si je ta sprememba izražena z drobno izoblikovanim evtektikom sestave ($\alpha_{Al} + \beta_{Si}$). S tem se vpliva na izboljšanje mehanskih lastnosti.

Zlitina se v livarno pripelje v blokih (ingotih) kategorizirane dimenzije dolžine 500–700 mm, širine 80–130 mm ter višine 60–100 mm. Odliti so kot enodelni (konti liv) ali dvodelni (gravitacijski v kalupu) s posamično težo med 6–12 kg, odstopanja od predpisane teže niso dovoljena. Ingoti enakih dimenzij so zloženi na aluminijastih paletah, povezani z aluminijastim ali PVC-trakom (Potočnik, 2006).

Ingoti so označeni z modro-belo barvo kakor tudi z etiketo, na kateri so vidni podatki o proizvajalcu, kakovosti, številki šarže in teži veza.

4.3 Postopek gravitacijskega litja turbokompresorja

Za litje »ohišij turbokompresorjev« se uporablja livarska tehnologija gravitacijskega litja v kokile, ki ima dve gravuri. Kokile so kovinske forme, ki so izdelane iz orodnega jekla Utop Mo 1, katerega sestava je prikazana v tabeli 2. Konstrukcijska zasnova kokile je prikazana na slikah 5a in b, slika 6 pa prikazuje ulivni stroj.



Slika 5: 3D-geometrija zgornjega dela kokile s stranskimi grelci (a) in spodnjega dela kokile z izmetalnim sistemom (b)

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)



Slika 6: Ulivni stroj za gravitacijsko litje ulitkov iz Al-zlitin

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Kokila je sestavljena običajno iz dveh polovic, s horizontalno ali vertikalno delilno ravnino, odvisno od geometrije ulitka, spodnjega nepomičnega in zgornjega pomičnega dela orodja. Glede na geometrijo ulitka in delilno ravnino so na spodnji polovici orodja vgrajeni pomični kovinski vložki, ki oblikujejo območje tlačne cevi ulitka. Za vsak ulitek sta izvedena po dva pomična kovinska vložka. Za premikanje vseh sestavnih delov skrbi hidravlični sistem. Obe polovici imata tudi centrirne čepe, ki imajo pomembno vlogo pri medsebojni pritrditvi pomičnih delov. Na ta način je zagotovljena natančnost pri zapiranju pomičnih delov kokile, saj bi v nasprotnem primeru talina penetrirala iz forme na delilnih ravninah. Izmetavanje ulitkov je izvedeno z izmetalnim sistemom, ki je pozicioniran v spodnji polovici orodja. Upravljanje kokile je polavtomatsko in poteka po naslednjem zaporedju.

Z vklopom hidravlične črpalke in z ukazom se odpre orodje v osnovni položaj, za katerega so predpisani naslednji parametri: orodje odprto, izmetala spodaj in stranski cilindri v spodnjem položaju. Minimalna predpisana temperatura zgornjega orodja je 320 °C in maksimalna 400 °C. Za spodnje orodje je predpisana temperatura nekoliko nižja, kljub vsemu se giblje med 220 °C in 300 °C.

Pred zapiranjem orodja in vlaganjem jedra se mora orodje izpihati s pištolo na zrak. Pregledati se morajo izmetala – ali so višinsko poravnana, v primeru nepravilnosti se morajo le-ta poravnati. Sledi operacija vstavljanja jedra in ponovnega izpihovanja notranjosti orodja s komprimiranim zrakom. Po vlaganju filtra taline 50 x 50 x 22 mm propustnosti 20 ppi za vsak ulitek posebej, v enem procesu se vložita dva filtra, sledi ponovno preverjanje in popravljanje

jedra ter izpihovanja orodja. S pritiskom na gumb za zapiranje zgornjega dela orodja sprožimo postopek avtomatskega zajemanja taline z ulivnim manipulatorjem.

Temperatura taline je določena z operacijskim listom in se giblje med 710 °C in 720 °C. Proces litja in strjevanja traja 190 sekund, v razmerju 5 sekund traja litje in 185 sekund strjevanje. Hitrost litja je nastavljena programske. Ker je cikel avtomatski, se po poteku časa strjevanja orodje avtomatsko odpre. Odlit komplet po koncu strjevanja, ki ga sestavljata dva ulitka z ulivnim in napajalnim sistemom, ročno s pomočjo livarskih klešč za prijemanje aluminijastih ulitkov vzamemo iz livarskega orodja. Slika 7 prikazuje komplet ulitkov ohišja turbokompresorja po izvzetju iz kokile.



(a)



(b)

Slika 7: Prikaz ulitka ohišja turbokompresorja: pogled z zgornje (a) in spodnje strani (b)

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Ulitka odložimo na pripravo za ločevanje ulitkov od ulivnega kanala. Vsi ulitki se vizualno pregledajo, medtem časom poteka operacija ponovnega izpihovanja kokile, vlaganje jeder in filtrov taline ter ponovno zapiranje orodja. Po vnaprej določenem postopku se izvaja ločevanje ulitkov. Ulitki, ki ne izpolnjujejo kakovostnih zahtev, se odlagajo v namensko embalažo za izmetne kose. Po predvidenem opisu operacije je potrebno premazovanje stranskih gibljivih delov po dveh urah litja. Premazovanje gravurnih delov livarskega orodja z zaščitnimi premazi je treba opraviti po štirih urah litja, kot to predpisuje tehnološki postopek.

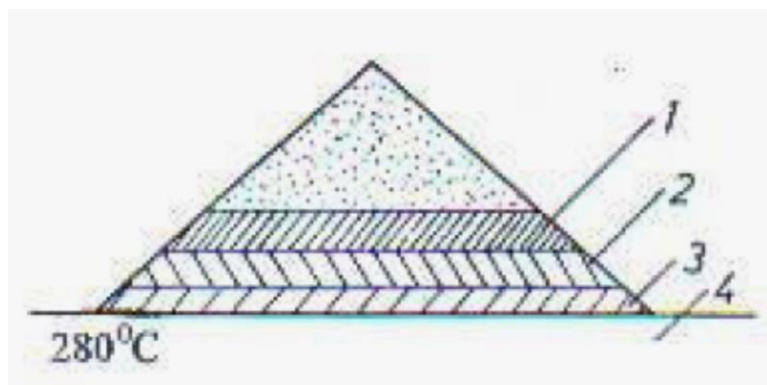
5 IZDELAVA JEDER

5.1 Izdelava jeder po Croning postopku

Izdelava votlih jeder in tankih mask je bila kot patent leta 1942 prijavljena v nemškem Hamburgu s strani J. Croninga. Znat kremenov pesek se v prvi fazi oplasti z utrjevalcem heksametilentetraminom in novolačno fenolno smolo, kar zagotavlja izvedbo postopka brez, da bi mešanica razpadla. Z dodajanjem kalcijevega stearata pripomoremo k boljšemu ločevanju mask in jeder od modela. V livarni predhodno ogreti modeli, ki dosegaajo temperaturo 280 °C, omogočajo, da se v oplaščenem pesku, ki smo ga nasipali na model, sproži reakcija strjevanja. Rezultat opisanega postopka je nastanek naslednjih plasti (Trbižan, 1999) (Ljevački priručnik, 1985):

- plast nataljevanja,
- plast utrjevanja ter
- dokončno utrjena plast.

Shematski prikaz plasti prikazuje slika 8.



Slika 8: Temperaturni gradienti in potek utrjevanja pri utrjevanju maske ali jedra, 1 – plast, v kateri se fenolna smola nataljuje, 2 – plast utrjevanja, 3 – popolnoma utrjena plast, 4 – jedrovnik

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Začetek mehčanja in taljenja smole se nahaja v temperaturnem območju med 60 in 105 °C. Pri prehodu temperature nad 117 °C se prične reakcija utrjevalca, slednji razpade in se posledično utrjuje. Vendar so višje temperature pogoj, da je utrjevanje optimalno. Plast, ki je najbližje modelu oziroma se z jedrovnikom stika, je popolnoma utrjena.

Širina utrjene plasti je odvisna od časa pečenja, podaljšani čas pečenja posledično debeli utrjeno plast; plasti utrjevanja in plasti nataljevanja smole, ki nista v neposrednem stiku z modelom, pa prodirata v plast nasutega kremenovega peska. Da se vezi utrdijo, se mora v prvi vrsti fenolna smola nataliti. Nataljena fenolna smola omogoča povezovanje delcev oplaščenega peska v vezi, ki se utrdijo.

Prednost croning postopka je, da lahko uporabljamo oplaščene peske zelo nizke granulacije, kar nam omogoča izdelavo tehnično zelo zapletenih oblik. Oplaščeni pesek, ki se ob reakciji ne sprime, enostavno odstranimo ter ga ponovno uporabimo. Rezultat tega je poleg dobre površine ulitkov tudi velikoserijska izdelava mask in jeder. Slaba stran tega postopka je velika poraba veziva kot pri nekaterih drugih postopkih, posledično pa se s porabo povečuje strošek izdelave mask in jeder. Rešitev tega je izdelava votlih jeder in mask s tankim plaščem.

Pri reakciji strjevanja oplaščenega peska in končnem delovnem procesu litja izdelka iz mask in jeder uhajajo hlapi fenola. Poleg teh se v odpadnem pesku nahajajo ostale škodljive snovi (benoli in ksiloli).

Proces izdelave votlih jeder deluje mehanizirano. Na segret jedrovnik nanese silikonsko prevleko, ki nam omogoča ločevanje jedra od jedrovnika. Nato s postopkom vpihovanja ali nasipavanja oplaščeni pesek nanese na model. V času med 6 in 12 sekundami (odvisno od same geometrije in velikosti jeder) nastane utrjena plast, debeline približno 5 mm. Po tem času se odvečni nevezan oplaščeni pesek odstrani. S prehodom v drugo fazo se jedro utrjuje in po maksimalno 50 sekundah dokončno utrdi. Z odstranjevanjem jedra je proces končan. S pomočjo mehanskih naprav je mogoče nezgorele dele mask in jeder regenerirati v posebnih obratih in podjetjih, ki se s tem ukvarjajo.

5.2 Izdelava jedra za ohišje turbokompresorja

Uporabljena tehnologija za izdelavo jeder ohišja turbokompresorja je Croning postopek. Pri slednjem se z vpihovanjem oplaščenega peska v segret jedrovnik izdeluje jedro oziroma spirala turbokompresorja. Orodno jeklo Utop Mo 1, ki je v kombinaciji z žilavostjo, trdoto in odpornostjo na obrabo v vročem, najprimernejši material za izdelavo jedrovnika.

V fazi načrtovanja orodja moramo upoštevati njegovo življenjsko dobo, kaj se bo z njim dogajalo in po kolikšnem času bo prišel trenutek, ko orodje napram vsem možnostim popravljanja več ne bo uporabno (Gogić, IRT 3000, 2011). Delo pri povišani temperaturi, kamor spada litje v kokilo, je z vidika metalurgije zelo raznoliko in široko. Ne glede na nove materiale, kot so martenzitne zlitine, visoko temperaturne zlitine, super zlitine in zlitine z ločevalnim utrjevanjem, se tehnologija litja aluminijevih zlitin v kokile, kar se orodij tiče, ni preveč spremenila. Še vedno prednjačijo izdelana orodja iz jekel Cr-Mo-V, iz katerih poznamo še kar nekaj izbir. Najbolj uporabljeni sta slednji, ki sta predstavljeni v tabeli 2.

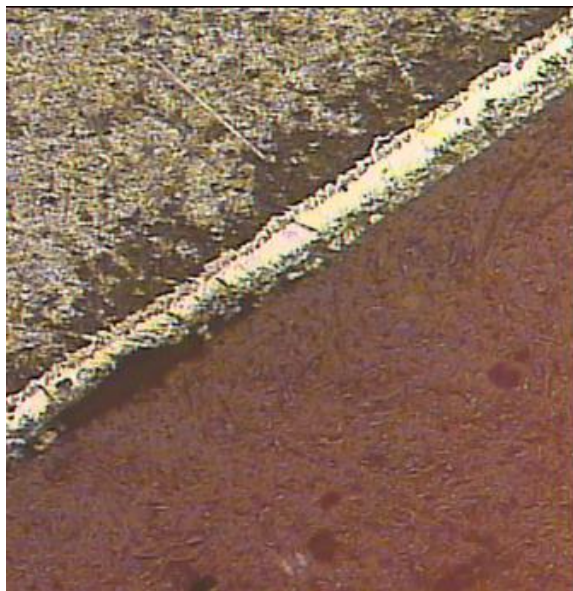
Tabela 2: Kemijska sestava orodnega jekla za izdelavo jedrovnikov in kokil

Oznaka jekla po DIN 17006	SLO oznaka jekla	Trdota HRc	Sestava (%)						
			C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W
X38CrMoV51 WNo 1.2343	Č.4751 Utop Mo 1	42–46	0,38	1,00	0,40	5,00	1,30	0,30	-
X40CrMoV51 WNr 1.2344	Č.4753 Utop Mo 2	42–46	0,40	1,00	0,40	5,00	1,30	1,00	-

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Kombinacija žilavosti, odpornosti prosti obrabi v vročem stanju, trdote in obstojnosti proti popušcanju so prednosti, ki zlitini pomagajo k prepoznavnosti in uporabnosti, saj se jo uporablja že več kot stoletje. Ob omembi sekundarne trdote slednja nastopi med 450–500 °C, z minimalno deformacijo pri procesu kaljenja na zraku, kar daje prednost pri uporabi za kompleksne tipe orodij. Pri načrtovanju orodja moramo upoštevati medsebojne odvisnosti med mehanskimi, tehnološkimi, fizikalnimi in mikrostrukturnimi lastnostmi, ki so vnaprej poznane. Vendar so odvisne od toplotne obdelave (temperatura avstenizacije, čas zadrževanja na temperaturi avstenizacije, hitrost ohlajanja pri kaljenju, temperatura in čas popušcanja, število

popuščanj ter ohlajevanje po popuščanju), v primeru predpisane tehnologije se ta ne sme pod nobenim pogojem enostransko spreminjati. Običajne trdote se gibljejo med 42–46 HRc za kokile in med 39–42 HRc za jedrovnike (Gogić, IRT 3000, 2011). Postopek nitriranja se priporoča za izboljšanje kakovosti površine orodja. V primeru, da postopek nitriranja orodja ni izvedljiv iz takšnih ali drugačnih razlogov, se priporoča nitriranje vsaj delov orodja – tistih, ki so najbolj izpostavljeni obrabi in vročim delom (Kraut, Puhar, & Stropnik, 2002). S tem postopkom povečamo obstojnost proti obrabi, trdoto same površine in preprečimo, da bi se vroča talina lepila na stene kokile. Mikroskopski posnetek nitrirane plasti prikazuje slika 9.



Slika 9: Orodno jeklo Utop Mo 1 po procesu nitriranja (Nital 500x)

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

S stroji za izdelavo jeder Primafond SMEC25, ki jih prikazuje slika 10, poteka izdelava jeder ohišja turbokompresorja. Ti imajo delilno ravnino na vertikalni osi. Oplaščeni pesek se vpihuje vertikalno po smeri odspodaj navzgor iz posode za oplaščen pesek. Za izdelavo jeder se uporablja oplaščeni kremenčev pesek Plastsil 17 A/2 (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja). Jedrovniki sestavljata dve polovici, od katerih je desna stran mirujoča – fiksna, in leva stran, ki je gibajoča – pomična. Leva stran je med drugim opremljena z izmetalnimi čepi, ki po opravljeni operaciji utrjevanja in odpiranja orodja odstranijo izdelano jeklo. Zraven izmetalnih čepov imata obe polovici jedrovnika tudi centrirne čepe, ki omogočajo izredno natančno

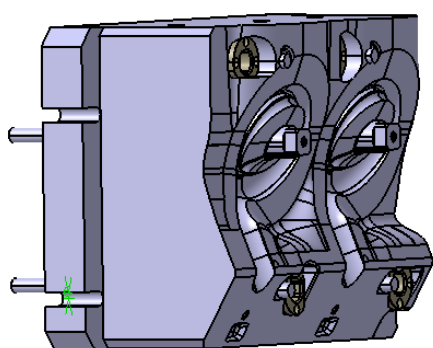
zapiranje orodja – jedrovnika in s tem preprečujejo izdelavo zamaknjene oblike na jedru. Vse skupaj je povezano s hidravličnim sistemom, ki skrbi za premikanje vseh potrebnih delov.



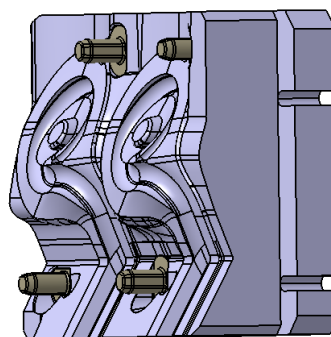
Slika 10: Stroj za izdelavo jeder Primafond SMEC25

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Jedrovnik se segreje na temperaturo nekje med 220–260 °C. Najprimernejši ter s tem najhitrejši in najlažji način segrevanja nam omogoča plinski gorilnik, ki deluje na mešanico zemeljskega plina in zraka. Konstrukcijska zasnova jedrovnika je prikazana na sliki 11a in 11b, sliki 12a in 12b prikazujeta izdelan jedrovnik in slika 12c jedro (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja).



(a)



(b)

Slika 11: 3D-geometrija dvognezdnega jedrovnika, leva (a) in desna (b) polovica orodja

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)



(a)



(b)

LUKNJE ZA
VPIHOVANJE
PESKA
IN PODROČJE
VPIHA PESKA V
JEDROVNIK



(c)

Slika 12: Dvognezdni jedrovnik, leva (a), desna (b) polovica orodja in jedro ohišja turbokompresorja (c)

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Termosonde, ki so vgrajene v orodje, zbrane podatke pošiljajo v krmilni sistem stroja za izdelavo jeder. Termosonde so od gravure odmaknjene 15 mm in v povezavi s krmilnim sistemom omogočajo odčitavanje trenutne temperature orodja, prav tako tudi spreminjanje le-te.

Postopek izdelave jedra je polavtomatski in poteka pod nadzorom za to usposobljene osebe.

- Operacija se začne, ko sta obe polovici jedrovnika popolnoma odprti, izmetalni čepi višinsko poravnani in je orodje segreto na delovno temperaturo. Za boljše odstopanje jeder od gravure se na gravuro nanese ločilno sredstvo.
- Delavec s pritiskom na stikalo sproži cikel izdelave jeder. Sam cikel izdelave jeder na stroju je popolnoma avtomatski in poteka v naslednjem zaporedju: zapiranje leve, pomične strani orodja, vpihovanje oplaščenega kremenčevega peska, delno pečenje

jedra v trenutku vpihovanja oplášenega kremenčevega peska, čas pečenja jedra, odmikanje leve polovice jedrovnika, premik izmetalnih čepov in izmetavanje jedra na transportni trak. Čiščenje notranjosti orodja z zrakom (izpihovanje).

- Spečena jedra, ki se nahajajo na transportnem traku stroja za izdelavo jeder, delavec fizično pregleda, odstrani preostanek oplášenega kremenovega peska na delilni ravnini. Ob morebitni napaki na jedru znotraj tolerance se porozna mesta popravi s kitom za popravilo jeder.
- Jedro, ki zadostuje kriterijem, se odloži v zabojnik, ki je predviden za nadaljnjo proizvodnjo.
- Med časom pregleda spečenega jedra se orodje ponovno segreje na predpostavljeno temperaturo, izmetalni čepi se vrnejo v začetni položaj in orodje se pripravlja za naslednji cikel.

6 PLINSKA POROZNOST

6.1 Vzroki za nastanek

Pojav plinske poroznosti v aluminijevih zlitinah pri postopku gravitacijskega litja v kokile lahko pripišemo več vzrokom, in sicer:

- ujetim plinom, ki so prisotni v tekoči talini;
- neustrezno dimenzioniranemu ulivnemu sistemu in pojavu turbulence v ulivni votlini;
- neustrezni konstrukciji livarskega orodja (kokile) s stališča odvajanja nastalih plinov v ulivni votlini in
- plinom, ki se sprostijo v ulivni votlini iz peščenih jeder.

Zaradi kompleksnosti pojava in dejstva, da so vzroki o nastanku plinske poroznosti pri litju ohišja kompresorja bili izključeni pri prvih treh alinejah, kar je pokazala detajlna analiza pri raziskavi vzrokov, smo se na podlagi ugotovitev omejili na četrto alinejo oziroma raziskavo vzroka pojava plinske poroznosti, ki je nastal v ulitkih zaradi neustrezne kakovosti peščenih jeder.

Serijska proizvodnja postavlja pogoje dela in realizacije proizvodnega plana, ki velikokrat ne upošteva navodil, opredeljenih v tehnološkem postopku. Kot je že bilo uvodoma omenjeno, pri izdelavi peščenih jeder dobimo utrjeno plast kremenčevega peska in fenolne smole, pri čemer sama struktura utrjene plasti ni povsem utrjena, kar je odvisno od geometrije in velikosti posameznega jedra. Pomeni, da velikokrat uporabimo za litje peščeno jedro, ki ima v notranjosti nestrjeno plast kremenčevega peska in fenolne smole, kar pri stiku s talino v ulivni votlini povzroči prisotnost veliko večje množine plinov, ki jih ob neustrezni dimenzioniranosti orodja ni možno odvesti iz orodja navzven, preden talina obda jedro. Dejansko je skoraj nemogoče dimenzionirati takšno orodje, ki bi lahko povsem odvedlo veliko množino novo nastalih plinov iz jeder. Ob uporabi ne dovolj pečenih jeder je prisotnost problema čedalje večja in s tem tudi večja verjetnost prisotnosti plinske poroznosti v ulitkih zaradi ne dovolj pečenih jeder.

6.2 Zahteve naročnika končnega izdelka

Kakovost izdelka je predpisana z risbo surovca, iz katere se vse zahteve implementirajo v dokument kontrolni plan (QM-plan), ki je poleg tehnološkega postopka eden pomembnejših dokumentov proizvodnega procesa. Kakovost izdelka se spremlja in nadzoruje ter po potrebi ukrepa skozi vse operacije procesa, frekvenčni pregled se izvaja na rentgenu, končni pregled pa v oddelku končne kontrole livarne. Dejansko po mehanski obdelavi pridobimo popolno povratno informacijo, ki nam potrdi ustreznost izdelka, kajti šele na tej stopnji lahko pridobimo dokončne podatke o kakovosti, saj se določene napake v oddelku končne kontrole livarne ne morejo niti odkriti. Bistvene kakovostne zahteve ohišja turbokompresorja, opredeljene s kontrolnim planom, so prikazane na slikah od 13a do 13i (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja).

		QM-PLAN		Status: ☐ Prototip ☒ Predserija ☐ Serija													
STRAN : 1 STRANI : 9	SLEDLJIVOST: Z žigosanjem ☐ Dokumentacijsko ☒		PC: 8 METALURGIJA Livarna														
OPIS IZDELKA																	
SLIKA IZDELKA 		NAZIV IZDELKA: OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA - ulitek ŠIFRA IZDELKA: 799178-0001 INDEKS: A ŠIFRA RISBE: 799178 INDEKS: A MATERIAL: AlSi7Mg tip1 (IDM 4234) IZDELEK PODVRŽEN PREDPISOM IN/ALI VARNOSTI: ☒ /D DA NE ☐ ☒															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">STRAN ŠT.</th> <th style="width: 35%;">SPREMEMBE</th> <th style="width: 15%;">DATUM</th> <th style="width: 10%;">INDEKS</th> <th style="width: 20%;">IZDELAL</th> <th style="width: 5%;">ODOBRIL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">12.11.2009</td> <td style="text-align: center;">01</td> <td style="text-align: center;">Saša Vrečko</td> <td style="text-align: center;">Stojan PEČOVNIK</td> </tr> </tbody> </table>						STRAN ŠT.	SPREMEMBE	DATUM	INDEKS	IZDELAL	ODOBRIL			12.11.2009	01	Saša Vrečko	Stojan PEČOVNIK
STRAN ŠT.	SPREMEMBE	DATUM	INDEKS	IZDELAL	ODOBRIL												
		12.11.2009	01	Saša Vrečko	Stojan PEČOVNIK												

C-5767-H izd. 03

(a)

		QM-PLAN				Status: ☐ Prototip ☒ Predserija ☐ Serija						
NAZIV IZDELKA: OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA -ulitek		OZNAKA KUPCA: Honeywell		STRAN: 2		STRANI: 9						
ŠIFRA IZDELKA: 799178-0001		OZNAKA DOBAVITELJA:		PROIZVODNI CENTER: PC 8 Livarna		INDEKS DOKUMENTA: 01						
INDEKS IZDELKA: A		OPERACIJA: 005, 010		DATUM PRVE IZDAJE: 12.11.2009		DATUM SPREMEMBE:						
KOS	OPERACIJA	ŠT. KAR.	STATUS KARAKT.	PARAMETRI PROCESA IN KARAKTER. IZDELKA	STROJ, NAPRAVA, ORODJE	VREDNOSTI PARAMETROV IN KARAKTERISTIK	REFERENČNI DOKUMENT	SPREMLJANJE IN ZAPISI KARAK. PROCESA IN IZDELKA	FREKVENCA KONTROLE PO NIVOJIH			
									1. NIVO		2. NIVO	
									vzorec	frekv.	vzorec	frekv.
	005 TALJENJE	1		SESTAVA VLOŽKA ZA TALJENJE	Vizualno+tehtanje	Vložek za peč vsebuje ingote AlSi7Mg tip1 (IDM 4234) in povratni material	Tehnološki postopek	KK INV 50-AL	1/0	1/šaržo	2/0	2/leto
		2		TEMPERATURA TALINE V TALILNI PEČI	Potopni pirometer	Max. 780 °C	Tehnološki postopek	KK INV 50-AL	1/0	1/šaržo		
	010 PRIPRAVA TALINE	3		KEMIČNA SESTAVA TALINE	Spektrometer SPECTROLAB ID: 10995/99	Vrednosti na izpisu spektrometra po CIS C309	Tehnološki postopek	KK INV 50-AL	1/0	1/šaržo		
		4		NAPLINJENOST TALINE	VAC - TEST ID: 3501443 - 76.677	Maks. 8	Tehnološki postopek	KK INV 50-AL	1/0	1/šaržo		
* Neustrezni izdelki / plan reakcij SN 072; Zapisi SN 002; Kontrola in preizkusi SN 050, SN 064												
Izdelal: Saša Vrečko		Dne: 12.11.2009		Podpis:		Odobril: Stojan PEČOVNIK		Dne: 12.11.2009		Podpis:		

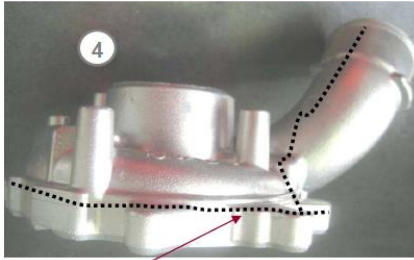
		QM-PLAN				Status: ☐ Prototip ☒ Predserija ☐ Serija							
NAZIV IZDELKA: OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA - ulitek		OZNAKA KUPCA: Honeywell		STRAN: 3		STRANI: 9							
ŠIFRA IZDELKA: 799178-0001		OZNAKA DOBAVITELJA:		PROIZVODNI CENTER: PC 8 Livarna		INDEKS DOKUMENTA: 01							
INDEKS IZDELKA: A		OPERACIJA: 015		DATUM PRVE IZDAJE: 12.11.2009		DATUM SPREMEMBE:							
KOS	OPERACIJA	ŠT. KAR.	STATUS KARAKT.	PARAMETRI PROCESA IN KARAKTER. IZDELKA	STROJ, NAPRAVA, ORODJE	VREDNOSTI PARAMETROV IN KARAKTERISTIK	REFERENČNI DOKUMENT	SPREMLJANJE IN ZAPISI KARAK. PROCESA IN IZDELKA	FREKVENCA KONTROLE PO NIVOJIH				
									1. NIVO		2. NIVO		
									vzorec	frekv.	vzorec	frekv.	
	015 LITJE V KOKILO	1		TEMPERATURA TALINE	Potopni pirometer	710 – 730 °C	Tehnološki postopek	KK 453	4/0	4 na 8 ur			
		2		TEMPERATURA ORODJA-ZGORAJ	Termo sonda	370 – 400 °C	Tehnološki postopek	KK 453	4/0	4 na 8 ur			
				TEMPERATURA ORODJA-SPODAJ		330 – 360 °C							
		3		OZNAKE NA ULITKU	Logotip livarne, kupca	Vizualno	GARRETT M 12 .56 dan, leto / mesec 1 ali 2	Tehnološki postopek Dwg: 799178 Rev. A	KK 453	1/0	100%		
					Oznaka materiala	Vizualno							
					Oznaka jedra na steni spirale	Vizualno							
					Datum litja	Vizualno							
				Številka gravure	Vizualno								
	4		POVRŠINA ULITKA	Vizualno	» brez razpok in deformacij » poroznost: premera 2 mm, globine 1 mm, max. 5 napak » sledi izmetal do ± 0,5 mm	Tehnološki postopek QCI-9310-023 S-Draft	KK 453	1/0	100%				
	5		NASLONSKE TOČKE	Vizualno	» čista površina » brez poškodb » brez srhov	Tehnološki postopek	KK 453	1/0	100%				
6		ZDRAVOST MATERIALA	RTG aparat	» brez poroznosti » brez razpok » brez neizlitosti	QCI-9310-023 S-Draft	KK 10	2/0	2 na 8 ur					
7		POTRDITEV PRVEGA KOSA	Vizualno	Upoštevati vse točke OP 15	SN 065-02	KK 453	1/0	1 na 8 ur					
* Neustrezni izdelki / plan reakcij SN 072; Zapisi SN 002; Kontrola in preizkusi SN 050, SN 064													
Izdelal: Saša Vrečko		Dne: 12.11.2009		Podpis:		Odobril: Stojan PEČOVNIK		Dne: 12.11.2009		Podpis:			

(c)

CIMOS		QM-PLAN		☐ Prototip ☒ Predserija ☐ Serija	
NAZIV IZDELKA: OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA - ulitek		OZNAKA KUPCA: Honeywell		STRAN: 4	
ŠIFRA IZDELKA: 799178-0001		OZNAKA DOBAVITELJA: 		PROIZVODNI CENTER: PC 8 Livarna	
INDEKS IZDELKA: A		OPERACIJA: 15		DATUM PRVE IZDAJE: 12.11.2009	
				INDEKS DOKUMENTA: 01	
				DATUM SPREMEMBE:	

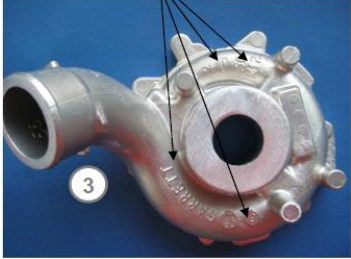
BREZ POROZNOSTI, RAZPOK IN DEFORMACIJ NA POVRŠINI ULITKA

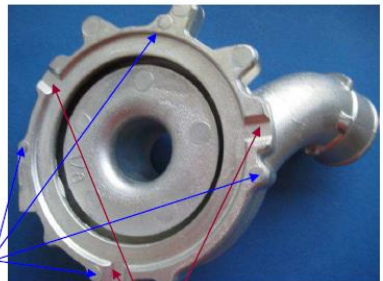
BREZ KRAST IN SRHOV, BREZ POŠKODB IN NEIZLITOSTI NA POVRŠINI ULITKA
 Odprtina med konturo in prirobnico ne sme biti zalita



ČISTE IN IZLITE OZNAKE NA ULITKU

BREZ POŠKODB NA DELILNI RAVNINI ULITKA





VIŠINA IZMETAL IN ZRAČNIKOVI MAX. 0.5 mm

ČISTE IN IZLITE NASLONKE TOČKE, BREZ POŠKODB

DOVOLJENE NAPAKE NA POVRŠINI
 VELIKOST: Ø 2 mm MAKS.
 GLOBINA: 1 mm MAKS.
 ŠTEVILO: 5 napak MAKS.

(d)

CIMOS		QM-PLAN		Status: ☐ Prototip ☒ Predserija ☐ Serija	
NAZIV IZDELKA: OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA - ulitek		OZNAKA KUPCA: Honeywell		STRAN: 5	
ŠIFRA IZDELKA: 799178-0001		OZNAKA DOBAVITELJA: 		INDEKS DOKUMENTA: 01	
INDEKS IZDELKA: A		OPERACIJA: 20,25,30,35		DATUM PRVE IZDAJE: 12.11.2009	
				DATUM SPREMEMBE:	

KOS	OPERACIJA	ŠT. KAR.	STATUS KARAKT.	PARAMETRI PROCESA IN KARAKTERISTIK IZDELKA	STROJ, NAPRAVA, ORODJE	VREDNOSTI PARAMETROV IN KARAKTERISTIK	REFERENČNI DOKUMENT	SPREMLJANJE IN ZAPISI KARAK. PROCESA IZDELKA	FREKVENCA KONTROLE PO NIVOJIH			
									1. NIVO		2. NIVO	
									vzorec	frekv.	vzorec	frekv.
020	RAZPAD PESKA	1		TEMPERATURA ŽARJENJA (za razpad peska)	Termo sonda	470 - 490 °C	Tehnološki postopek	KK 362	2/0	2 / 8ur		
		2		ČAS ŽARJENJA	Timer na nadzorni plošči	8 ur	Tehnološki postopek	KK 362	2/0	2/ 8ur		
		3		POVRŠINA ULITKA - SPIRALE	Vizualno	• brez POŠKODB • brez PESKA V SPIRALI	QC1 9310-023 S-Draft	KK 362	1/0	100 %		
025	ŽAGANJE	4		POVRŠINA ULITKA	Vizualno	• brez RAZPOK • brez POŠKODB	Tehnološki postopek	KK 363	1/0	100 %		
		5	CIC 1	KONTROLA VIŠINE ŽAGANJA IN DOLŽINE IZSTOPNE CEVI	Kontrolna priprava št. 3609709	• brez ZAŽAGANOSTI • ravna in gladka POVRŠINA, MAKSIMALNA VIŠINA NAPAJALNIKA DO 2,0 mm	Tehnološki postopek, Dwg: 792806	KK 363	2/0	1/8 ur po grauri		
030	BRUŠENJE	6		POVRŠINA ULITKA	Vizualno	• brez SRHOV na delilni ravnini • brez NEIZLITOSTI – HLADNI VAR • brez POROZNOSTI • brez RAZPOK • SLEDI IZMETAL MAKS. 1 mm GLOBINE • brez POŠKODB • brez ZABRUŠENOSTI	Tehnološki Postopek	KK 365	1/0	100 %		
035	PESKANJE	7		ROČNO PESKANJE VOLUTE	PESKAL NI STROJ	• Brez RAZPOK IN POŠKODB • Brez SRHOV V VOLUTI	Tehnološki Postopek	KK OTK I-peskanje	1/0	100 %		
		8		POTRDITEV PRVEGA KOSA	Vizualno	Upoštevatı točke od 3 do 7	SN 065-02	KK 362 KK 363 KK 364 KK 365 KK peskanje	1/0	1/8 ur		

* Neustrezni izdelki / plan reakcij SN 072; Zapisi SN 002; Kontrola in preizkusi SN 050, SN 064

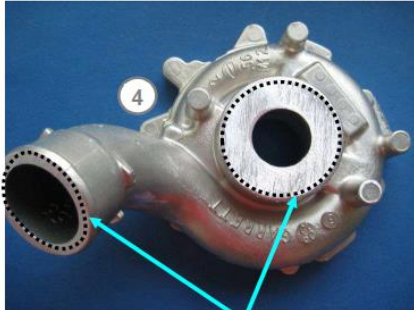
Izdelal: Saša Vrečko	Dne: 12.11.2009	Podpis:	Odobril: Stojan PEČOVNIK	Dne: 12.11.2009	Podpis:
----------------------	-----------------	---------	--------------------------	-----------------	---------

(e)

CIMOS		QM-PLAN		☐ Prototip ☒ Predserija ☐ Serija	
NAZIV IZDELKA: OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA - ulitek		OZNAKA KUPCA: Honeywell		STRAN: 6	
ŠIFRA IZDELKA: 799178-0001		OZNAKA DOBAVITELJA:		PROIZVODNI CENTER: PC 8 Livarna	
INDEKS IZDELKA: A		OPERACIJA: 20,25,30,35		INDEKS DOKUMENTA: 01	
				DATUM PRVE IZDAJE: 12.11.2009	
				DATUM SPREMEMBE:	

OPERACIJA: ŽAGANJE

OPERACIJA: RAZPAD PESKA



BREZ POŠKODB IN ZAŽAGANOSTI
Dovoljena višina žaganja +2,0 mm



BREZ POROZNOSTI, KRAST, PESKA IN VIŠKA MATERIALA V VOLUTI

BREZ NEIZLITOSTI, POROZNOSTI IN POŠKODB NA POVRŠINI ULITKA
MAKSIMALNA ZABRUŠENOST:
 3 mm v širino, 0,15 mm v globino
DOVOLJENA VIŠINA ROBA DELILNE RAVNINE max. 0,5 mm

DOVOLJEN VIŠEK MATERIALA – KRASTA V VOLUTI:
 VIŠINA: 1 mm MAKS.
 POVRŠINA: 1 cm² MAKS.

Izdelal: Saša Vrečko	Dne: 12.11.2009	Podpis:	Odobril: Stojan PEČOVNIK	Dne: 12.11.2009	Podpis:
----------------------	-----------------	---------	--------------------------	-----------------	---------

(f)

CIMOS		QM-PLAN		☐ Prototip ☒ Predserija ☐ Serija	
NAZIV IZDELKA: OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA - ulitek		OZNAKA KUPCA: Honeywell		STRAN: 7	
ŠIFRA IZDELKA: 799178-0001		OZNAKA DOBAVITELJA:		PROIZVODNI CENTER: PC 8 Livarna	
INDEKS IZDELKA: A		OPERACIJA: 040		INDEKS DOKUMENTA: 01	
				DATUM PRVE IZDAJE: 12.11.2009	
				DATUM SPREMEMBE:	

K O S	OPERACIJA	ŠT. KAR.	STATUS KARAKT.	PARAMETRI PROCESA IN KARAKTERISTIK	STROJ, NAPRAVA, ORODJE	VREDNOSTI PARAMETROV IN KARAKTERISTIK	REFERENČNI DOKUMENT	SPREMLJANJE IN ZAPISI KARAK. PROCESA IN	FREKVENCA KONTROLE PO NIVOU			
									1. NIVO		2. NIVO	
									vzorec	frekv.	vzorec	frekv.
040	KONČNA KONTROLA IN PAKIRANJE	1		POVRŠINA ULITKA	Vizualno	+ brez SRHOV na delilni ravnini + brez POROZNOSTI + brez RAZPOK + SLEDI IZMETAL MAKS. ±1 mm + brez POŠKODB + brez ZAŽAGANOSTI, ZABRUŠENOSTI	Tehnološki postopek QCI 9310-023 S-Draft	KK 454	1/0	100 %		
		2	CIC 2, 4,5,6,7,8, 9,10,11,1 2,13,14,1 5,16,19,2 0,21,22	KONTROLA KROŽNOSTI, ZUN. NOTRANJEGA PREMEJA IZSTOPNE CEVI IN TOČK NA KROŽNEM OBODU IZSTOPNE CEVI	Kaliber št. 3609710 (višina roba izstopne cevi 1,5 mm) Kaliber št. 3609711 (zunanj premer 53,0 mm)	Ustrezna oblika izstopne cevi - BREZ ZAŽAGANOSTI IN ZVITOSTI - VIZUALNA KONTROLA + KONTROLNA PRIPRAVA (GRENE GRE)	Dwg: 799178	KK 454	2/0	3 / uro		
		3	CIC 16,17	DEBELINA STENE	Zunanje tipalo- merski protokol	3,0-4,0 mm	Dwg: 799178	KK 454	2/0	1/gravuro /zaboj		
		4	CIC 3	KONTROLA POLOŽAJNOSTI JEDRA IN SOOSNOSTI NEOBDELANE IZSTOPNE CEVI	Kontrolna priprava št. 3609712 Pomožno merilo	Pravilna položajnost jedra Razlika v soosnosti dovoljena max. 0,8 mm	Dwg: 799178	KK 454	2/0	3 / uro + 1/30 kom. po gravuri		
		5		MERJENJE TRDOTE ULITKA	Merilnik trdote Brivisor	Glej protokol spodaj, meritve: 45-70 HBR (če meritev NOK, uporabiti T5 toplotno obdelavo-205°C/8 ur, hlajenje na zraku)	Dwg: 799178 Tehnol. postopek, IDM 4234	KK 454	2/0	1 / zaboj		
		6		MERJENJE POMEMBNIH KARAKTERISTIK	Metalo grafski lab. Natezna trdnost, 3D merilni stroj	Pomembne dimenzijske in materialne karakteristike z risbe	ISO TS 16949 Dwg: 799178 Rev. A	KK 454	1/0	1 / leto		
045	STABILIZACIJSKO ŽARJENJE	7		STABILIZACIJSKO ŽARJENJE T5 -Temperatura in čas žarjenja (če je potrebno Trdota-45 HBR)	Termometer in timer na displayu	205 °C / 8 ur Hlajenje na zraku	Tehnološki postopek	KK 351	1/0	1 / 8 ur		





RAZLIKA MED LEVO IN DESNO STRANJO ROBA STENE- RAZLIKA SOOSNOSTI IZSTOPNE CEVI DOVOLJENA MAX. 0,8 mm

(g)

CIMOS		QM-PLAN		☐ Prototip ☒ Predserija ☐ Serija	
NAZIV IZDELKA: OHIŠJE TURBOKOMPRESORJA - ulitek		OZNAKA KUPCA: Honeywell		STRAN: 8	STRANI: 9
ŠIFRA IZDELKA: 799178-0001		OZNAKA DOBAVITELJA:		PROIZVODNI CENTER: PC 8 Livarna	INDEKS DOKUMENTA: 01
INDEKS IZDELKA: A		OPERACIJA: 040		DATUM PRVE IZDAJE: 12.11.2009	DATUM SPREMEMBE:

ČISTE IN IZLITE OZNAKE NA ULITKU

DOVOLJEN VIŠEK MATERIALA – KRASTA V VOLUTI:
VIŠINA: 1 mm MAKS.
POVRŠINA: 1 cm² MAKS.

OPERACIJA: "KONČNA KONTROLA"

BREZ POROZNOSTI, RAZPOK IN DEFORMACIJ NA POVRŠINI ULITKA

BREZ POŠKODB NA DELILNI RAVNINI ULITKA

MAKSIMALNA ZABRUŠENOST NA DELILNI RAVNINI:
3 mm v širino, 0,15 mm v globino
DOVOLJENA VIŠINA ROBA DELILNE RAVNINE max. 0,5 mm

DOVOLJENE NAPAKE NA POVRŠINI
VELIKOST: Ø 2 mm MAKS.
GLOBINA: 1 mm MAKS.
ŠTEVILO: 5 napak MAKS.

Izdelal: Saša Vrečko	Dne: 12.11.2009	Podpis:	Obdelal: Stojan PEČOVNIK	Dne: 12.11.2009	Podpis:
----------------------	-----------------	---------	--------------------------	-----------------	---------

(h)

CIMOS		QM-PLAN		Status: ☐ Prototip ☒ Predserija ☐ Serija	
NAZIV IZDELKA: SPIRALNO JEDRO		OZNAKA KUPCA: Honeywell		STRAN: 9	STRANI: 9
ŠIFRA IZDELKA: MB5703906 (za OTK 799178-0001)		OZNAKA DOBAVITELJA:		PROIZVODNI CENTER: PC-8	INDEKS DOKUMENTA: 01
INDEKS IZDELKA:		Operacija: 010		DATUM PRVE IZDAJE: 16.10.2009	DATUM SPREMEMBE:

KOS	OPERACIJA	ŠT. KAR.	STATUS KARAKT.	PARAMETRI PROCESA	STROJ, NAPRAVA, ORODJE	VREDNOSTI PARAMETROV IN KARAKTERISTIK	REFERENČNI DOKUMENT	SPREMLJANJE IN ZAPISI KARAK. PROCESA IN IZDELKA	FREKVENCA KONTROLE PO NIVOJIH			
									1. NIVO		2. NIVO	
									vzorec	frek.	vzorec	frek.
OP 010 IZDELAVA JEDER	1			TEMPERATURA JEDROVNIKA	Termometer	Levo 220 - 260 °C Desno 220 - 260 °C	Teh. postopek	KK 455	1/0	1/1 h		
	2			KAKOVOST POVRŠINE JEDRA	Vizualno	Brez razpok, brez neizpoljenih mest, brez srhov	Teh. postopek	KK 455	1/0	100%		
	3			TEHTANJE JEDER (1, 2)	Tehtnica	410 – 430 g	Teh. postopek	KK 455	2/0	1/1uro po gravuri		
	4			POTRDITEV PRVEGA KOSA	Vizualno	Potrditev karakteristik od 1-3	Sistemska nav. SN TP3 02 C 5679/04	KK 455	1/0	1/8 h po gravuri		
	5			MERJENJE POMEMBNIH KARAKTERISTIK	3D merilni stroj	Primerjava s 3D modelom-DIGITALIZACIJA	ISO TS 16949 Dwg: 792806	KK 455	1/0	1/leto		

GLADKA POVRŠINA BREZ RAZPOK IN ZRAČNIKOV

Obstoječi srh (posledica delitve na orodju) je potrebno poravnati, da je raven z obliko jedra, brez izboklin in robov

Homogena površina brez srhov na delilni ravnini

Oznaka A/R: ● 56
Št. gravure: 1,2

JEDRA MORAJO BITI VOTLA

TIP PESKA: Plastsil - 17 A/2

Izdelal: Saša Vrečko	Datum: 16.10.2009	Podpis:	Obdelal: Stojan PEČOVNIK	Dne: 16.10.2009	Signature:
----------------------	-------------------	---------	--------------------------	-----------------	------------

(i)

Slika 13: QM-plan izdelka ohišja turbokompresorja

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

6.3 Ugotovljena odstopanja

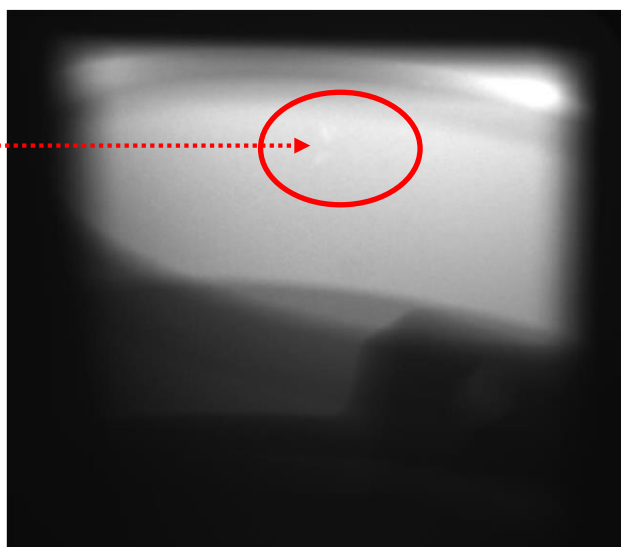
Posledično zaradi prisotne poroznosti, ki je bila ugotovljena pri frekvenčnem pregledu na rentgenu, smo pristopili k sistemskemu reševanju tehnološkega problema. Definicija napake v takšnih primerih zahteva veliko strokovnega znanja in izkušenj ter veliko podporo tehnološkega kadra v sami tovarni. Rentgenski posnetek ulitka turbokompresorja, ki ga prikazuje slika 14, je pokazal prisotno poroznost v zgornjem območju ulitka, ki predstavlja sesalno cev.

IZSTOPAJOČE

OBMOČJE PLINSKE

POROZNOSTI NA

SESALNI CEVI



Slika 14: Rentgenski posnetek ohišja turbokompresorja z označenim mestom napake

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Glede na to, da takšne napake niso dovoljene, saj gre za funkcionalno področje ulitka, smo pristopili podrobni analizi ugotavljanja napake in vzporedno s tem tudi iskanju načina oziroma metode, da jo odpravimo. Ulitek smo tudi mehansko obdelali z namenom ugotoviti, kako se rentgensko ugotovljena napaka odraža na mehansko obdelavo. Slika mehansko obdelanega ulitka je prikazana na sliki 15.

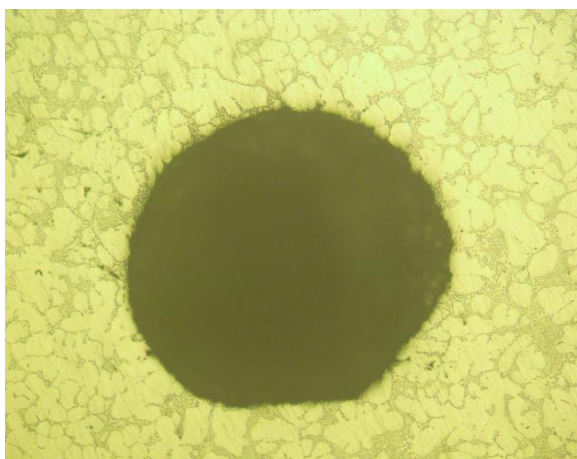
VIDNO PODROČJE
PLINSKE
POROZNOSTI NA
SESALNI CEVI



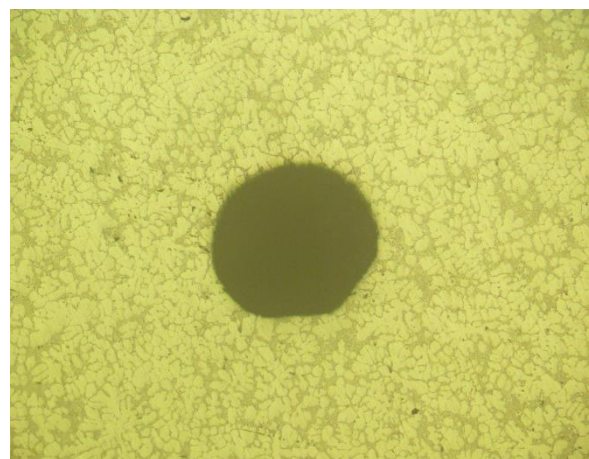
Slika 15: Mehansko obdelano ohišje turbokompresorja z vidno napako

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Površino mehansko obdelanega ulitka smo tudi mikroskopsko pregledali z namenom ugotoviti, za kakšno obliko poroznosti gre. Mikroskopski posnetek prikazujeta sliki 16a in 16b.



(a)



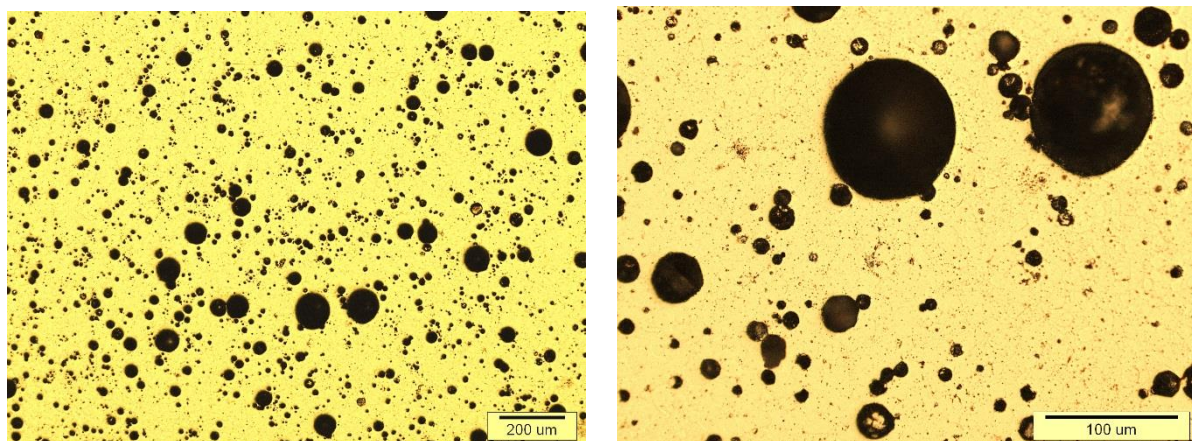
(b)

Slika 16: Mikroskopski posnetek plinske poroznosti (a, b)

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Iz rentgenskega posnetka, izvedene mehanske obdelave in mikroskopskega posnetka smo prišli do zaključka, da gre za napako plinske poroznosti.

Plinska poroznost je najbolj prepoznavna po svoji obliki, ta je največkrat okrogla v obliki plinskih mehurčkov (Gogić, Zapiski predavanj, 2010). Takšna poroznost nastane zaradi temperaturne spremembe taline, in sicer pri višjih temperaturah kovinske taline topijo večjo količino plina. Pri ohlajanju se ta količina manjša in iz taline se izločajo plinske molekule, ki se združujejo v mehurčke, ki splavajo iz taline. Pri nižjih temperaturah pa se zgodi, da se plinski mehurčki ujamejo v kovino in tam tudi ostanejo. Mikroskopski posnetek klasične plinske poroznosti prikazujeta sliki 17a in 17b.



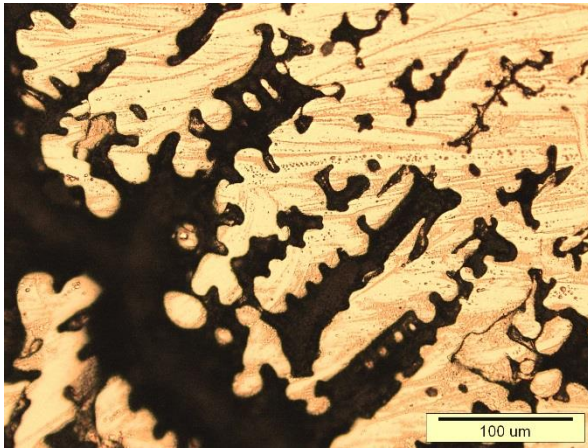
(a)

(b)

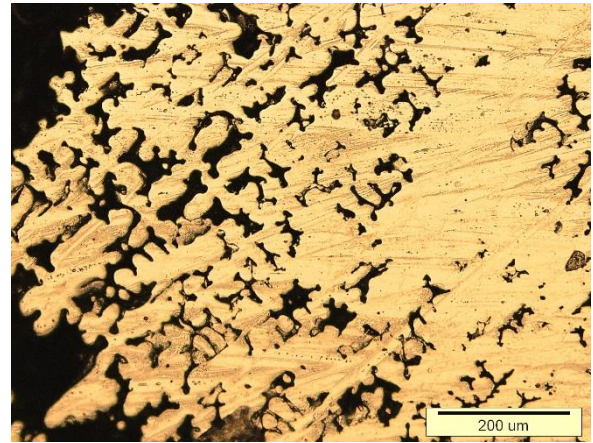
Slika 17: Mikroskopski posnetek plinske poroznosti (a, b)

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Strjevalna poroznost je prepoznavna po nepravilnih oblikah (Gogić, Zapiski predavanj, 2010). Ta pa nastane tako, da se kovinska talina ohlaja z več strani, kar pomeni, da se strjuje z več strani. Dendritni kristali rastejo v nasprotni smeri odvoda toplote, kar pomeni, da se dve strjevalni fronti nekje srečata. Na koncu ostane med dendriti nestrjena talina, ki se z ohlajanjem krči in na koncu tudi strdi. Ker se je skrčila, tam nastane prazen vakuumski prostor, ki predstavlja strjevalno poroznost oziroma mikroporoznost. Ta mikroporoznost ima obliko dendritnih vej oziroma meddendritnih prostorov. Mikroskopski posnetek primera klasične strjevalne poroznosti prikazujeta sliki 18a in 18b.



(a)



(b)

Slika 18: Mikroskopski posnetek strjevalne poroznosti (a, b)

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

6.4 *Ukrepi za preprečevanje*

Glede na ugotovljeno napako in dejstvo, da gre za prisotnost plinske poroznosti v ulitkih, smo ob raziskavi problema prve tri potencialne vzroke nastanka, ki so opisani v točki 6.1, izključili in pristopili k reševanju problema, ki je definiran kot četrti potencialni vzrok v omenjeni točki.

Raziskavo problema in s tem povezane ukrepe smo razmejili na dve področji, in sicer:

- preverba funkcionalnosti zračnih odduškov na livarskem orodju (kokili) in
- preverba postopka izdelave peščenih jeder.

Zavedali smo se, da je problem kompleksne narave, vendar smo v prvi fazi poskušali priti do vzroka ugotovitve napake na hiter, enostaven in čim bolj poceni način, s tem da čim manj oviramo proizvodni proces.

a) Preverba funkcionalnosti zračnih odduškov na livarskem orodju (kokili)

Poseg preverbe prehodnosti zračnih kanalov oziroma odduškov, ki so postavljeni v zgornjem delu kokile z namenom odvajanja nastalih plinov v livni votlini je pokazal, da so ti bili prehodni in ustrezno očiščeni. To je bil dovolj dober pokazatelj, da odvajanje plinov iz notranjosti kokile funkcioniра, če pa je to bilo dovolj glede na samo množino nastalih plinov ob litju, pa nismo vedeli.

b) Preverba postopka izdelave peččenih jeder

Pri operaciji izdelave peččenih jeder smo prišli do zaključka, da jedra niso dovolj pečena. Že ob samem vpogledu na jedra smo opazili barvno razliko med jedri, kar je podalo določene pomisleke. Jedra, izdelana po predpisanem tehnološkem postopku in zaporedju, morajo imeti enakomerno barvno površino, ki zatrjuje konstantnost postopka izdelave in enakomerno razporeditev temperaturnega polja. Med izdelanimi jedri smo opazili dva različna spektra, ena bolj svetla in druga nekoliko bolj temna jedra. Razliko med ne dovolj pečenimi in ustrezno izdelanimi jedri prikazujeta sliki 19a in 19b.



(a)



(b)

Slika 19: Ne dovolj pečena jedra svetle površine (a) in ustrezno izdelana jedra temnejše površine (b)

Vir: (CIMOS, Interna dokumentacija podjetja)

Kontrola parametrov procesa nam je pokazala, da so parametri procesa v mejah predpisov, razen pri eni polovici jedrovnika, kjer je ugotovljeno odstopanje od predpisanih temperatur. Predpisana temperatura pri izdelavi jeder je po tehnološkem postopku 220–260 °C. Pregled parametrov nam je pokazal, da je temperatura ene polovice orodja v mejah predpisov (230 °C), dokler je na drugi bila 180 °C. Vzrok za odstopanje med temperaturami polovic jedrovnika in s tem posledično prisotnosti različnih barv jeder je bil v neustreznem delovanju plinskega gorilnika, ki se je uporabljal za segrevanje jedrovnika. Pri vpihovanju peska v vroči jedrovník in po samem postopku izdelave je prisotno dejstvo, da se po vpihovanju peska v jedrovníku in po samem pečenju neutrjeni in odvečni pesek pade nazaj v posodo, v katero je pesek nasut za vpihovanje. Glede na to, da ima orodje za izdelavo jeder (jedrovník) dve vpihovalni gravuri, smo opazili, da po vpihu in samem pečenju iz ene gravure vedno pade nazaj v vpihovalno

posodo kar precej nestrjenega peska. To je bil tudi dober pokazatelj, da sam proces izdelave jeder ne poteka, kot je to predpisano, in so tudi prisotni vizualni pokazatelji, ki nam to potrdijo. Skladno odločitvi strokovnega tima, ki je sodeloval pri raziskavi problema, smo se odločili, da odlijemo pod enakimi pogoji 10 ulitkov iz jeder, izdelanih po predpisanih parametrih, in 10 ulitkov z bolj svetlimi oziroma ne dovolj pečenimi jedri. Postopek litja in obdelave ulitkov je potekal po predpisanem tehnološkem zaporedju, sama kontrola pa po navedenem kontrolnem planu. Preizkus je dejansko pokazal, da smo dobili rezultate takšne, kot smo pričakovali:

- na ulitkih, kjer so bila uporabljena jedra izdelana po predpisanih parametrih, ni bilo opaziti pojava plinske poroznosti;
- na ulitkih, kjer so bila uporabljena ne dovolj pečena jedra, pa smo dobili rezultate enake, kot je to bilo opredeljeno v sami predstavitvi prisotne problematike in izvedenih analiz.

Glede na ugotovljeno smo se odločili za:

- takojšnjo sanacijo gorilnikov za segrevanje jedrovnika, ki bodo zagotavljali konstantno zagotovitev enakega temperaturnega polja v jedrovniku in s tem predpisano kakovost jeder, v katerih bo množina plinov pri kontaktu s tekočo talino čim manjša. Zavedali smo se, da edino ustrezno izdelana in pečena jedra bodo zagotavljala izdelavo kakovostno neoporečnih ulitkov;
- preventivno smo, ne glede na prvo alinejo, predpisali dodatno frekvenco čiščenja zračnih kanalov za odvod sproščenih plinov iz livne votline kokile ob samem litju. Za ta ukrep smo se odločili z namenom dodatno zagotoviti ustrezen odvod plinov v predpostavki, če bi slučajno prišlo do manjših odstopanj pri samem procesu izdelave jeder.

7 SKLEP

V redni tehnološki proizvodnji vplivajo na proces litja in kakovost ulitkov številni dejavniki, kot so npr. priprava taline, priprava orodja in jeder, temperatura orodja, temperatura in tlak litja ipd. Za zagotavljanje kakovosti ulitkov glede na zahteve naročnikov je kljub visoki stopnji avtomatizacije proizvodnje pomembno dobro poznavanje procesa in strokovna usklajenost vseh sodelujočih. Ugotovili smo, da že majhna odstopanja od predpisane tehnološke dokumentacije pomenijo veliko tveganje in povečanje nekakovosti v procesu in posledično negativne ekonomske pokazatelje za podjetje.

V diplomski nalogi je predstavljeno celovito tehnološko zaporedje postopka gravitacijskega litja aluminijeve zlitine AlSi7Mg na primeru ulitka ohišja turbokompresorja, z vidika zagotavljanja kakovosti glede na zahteve naročnika. Izpostavljena je problematika plinske poroznosti v ulitkih, ki je najbolj prepoznana po obliki. Na osnovi predhodne rentgenske in mikroskopske analize ter mehanske obdelave ulitkov smo potrdili prisotnost plinske poroznosti. V nadaljevanju je ugotovljeno, da napaka izhaja iz nekakovostno izdelanih jeder, zaradi prenizke temperature ogrevanja jedrovnika. Rezultati serije preizkusnih ulitkov so našo domnevo potrdili, zato so bili podani ukrepi za nadaljnjo preprečevanje plinske poroznosti, in sicer:

- ustrezna sanacija plinskih gorilnikov za ogrevanje jedrovnika, da bo zagotovljena temperatura obeh delov jedrovnika med 220–260 °C, kar zagotavlja minimalno sproščanje plinov iz jedra pri kontaktu s talino;
- preventivno čiščenje zračnih kanalov za odvod sproščenih plinov iz livne votline kokile ob samem litju. Za ta ukrep smo se odločili z namenom dodatno zagotoviti ustrezen odvod plinov v predpostavki, če bi slučajno prišlo do manjših odstopanj pri samem procesu izdelave jeder.

Obravnavani primer ponovno potrjuje, da je livarski proces kompleksno področje, ki zahteva veliko teoretičnega in praktičnega znanja, saj vsak ulitek s prisotno problematiko predstavlja poglavje zase, kljub temu da sloni na enakih teoretičnih osnovah.

Še tako dobro poznavanje metalurgije in vseh metalurških procesov ni dovolj za reševanje vseh problemov, ki se pojavijo pri osvajanju ulitka ali ob pojavljanju kakšne napake na njem. Mišljenja nepoznavalcev nam govorijo, da je za delo v livarni dovolj le specialist s področja

metalurgije, vendar z natančnejšim pregledom livarne, dela, strojev in funkcij v njej kaj hitro ugotovimo, da brez strojnih inženirjev, elektro inženirjev in inženirjev hidravlike tukaj ne gre.

Inženirji strojništva morajo zagotoviti zelo zahtevne detajle. S konstrukcijo orodja zagotovijo minimalne gabarite, s tem posledično prihranijo ogromne količine energije, ki se porabi za gretje na ustrezno temperaturo, kasneje za hlajenje in vzdrževanje optimalne temperature. Z zmanjševanjem teže orodja se zmanjšuje sila zapiranja in odpiranja orodja, obenem pa morajo zagotavljati dovolj veliko togost, da orodja prenesejo vse sile, ki delujejo. Z načinom vpenjanja orodja inženirji zagotavljajo livarju nemoten proces litja zlitine v orodje, obenem orodju omogočajo možnost dilatacije pri temperaturnih spremembah gretja in hlajenja. S pravilno silo zapiranja mora orodje tesniti 100 %, v nasprotnem primeru se pojavijo srhi. S pravilno lego izmetal se določi optimalno dviganje ulitka iz orodja, v nasprotnem primeru pride do deformacije ulitka. Z določitvijo načina ločevanja odlitka od livnega sistema.

Elektro inženirji dodajo svoj del pri izdelavi orodja, natančneje pri gretju orodja. Z natančno določitvijo mest za grelce in močjo slednjih se pri litju porabi manj energije. Naloga elektro inženirjev je tudi določitev moči grelcev in njihovo razporeditev po pečeh za talino, ki mora imeti konstantno temperaturo skozi ves čas odvzemanja.

Doprinos inženirjev hidravlike se opazi pri hlajenju orodja z vodo, saj morajo določiti pretoke ter tlake hladilne tekočine. Njihova naloga obsega tudi postopek določitve hitrosti gibanja orodja iz lege za ročno nalivanje v lego litja.

Iz vsega navedenega vidimo, da dobra livarna potrebuje veliko strokovnjakov z različnih področij, da lahko nemoteno lije najzahtevnejše izdelke, ki jih v sedanjem času potrebuje avtomobilska industrija.

8 VIRI, LITERATURA

- CIMOS. (2015). *Interna dokumentacija podjetja*. Maribor: CIMOS TAM A.i. d.d.
- Fakulteta za strojništvo*. (13. marec 2015). Pridobljeno iz http://fs-server.uni-mb.si/si/inst/itm/lm/GRADIVA_UC/Tehnologija_gradiv/litje.html
- Gogić, D. (2010). *Zapiski predavanj*. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta.
- Gogić, D. (avgust 2011). IRT 3000. *Izdelava in vzdrževanje livarskih orodij za kokilno litje*, str. 38-41.
- Kisin, M. (2010). *Materiali*. Ljubljana: Zavod IRC.
- Kraut, B., Puhar, J., & Stropnik, J. (2002). *Krautov strojniški priročnik: 14. slovenska izdaja-predelana*. Ljubljana: Litterapicta.
- Ljevački priručnik*. (1985). Zagreb: Savez ljevača Hrvatske.
- Potočnik, N. (2006). Skladiščno poslovanje v livarni Trbovlje. *Diplomsko delo* (str. 31-33). Maribor: Univerza v Mariboru, Ekonomsko-poslovna fakulteta .
- Schumann, H. (1969). *Metallographie*. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.
- Spaić, S. (2000). Fizikalna metalurgija: binarni sistemi, metalografija zitin. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta: Oddelek za materiale in metalurgijo.
- Trbižan, M. (1999). *Livarstvo*. Ljubljana.