VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

IZBOLJŠAVE KAKOVOSTI LITJA Z ZAMENJAVO NAPAJALNIH SISTEMOV PRI POSTOPKU GRAVITACIJSKEGA LITJA

Kandidat: Tomaž Štumberger

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor predavatelj: dr. Darko Friščić

Mentor v podjetju: Boštjan Kovše, inž. stroj.

Lektor: Marjeta Vozlič, prof. slov.

Maribor, 2018

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Tomaž Štumberger, sem avtor diplomskega dela z naslovom Izboljšave kakovosti litja z zamenjavo napajalnih sistemov pri postopku gravitacijskega litja, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Darko Friščić.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorski 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, september, 2018 Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Darku Friščiću za vse nasvete, pomoč in za usmerjanje pri izdelavi mojega diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi predvsem podjetju Cimos Maribor in vsem ožjim sodelavcem, ter mentorju v podjetju, da so mi omogočili vse pogoje izdelave raziskovalnega in diplomskega dela.

Hvala tudi vsem predavateljem Academie za vso prejeto znanje, ki sem ga pridobil v času študija in prav tako za zelo zanimiva predavanja.

POVZETEK

V diplomskem delu je predstavljeno raziskovalno delo z naslovom "Izboljšave kakovosti litja z zamenjavo napajalnih sistemov pri postopku gravitacijskega litja«. Z raziskovalnim delom se želi prikazati primerjava kakovosti ulitka pri enakih procesnih pogojih v fazi gravitacijskega litja z uporabo zlitine AlSi10Mg, med kovinskim napajalnim sistemom tipa jeklo H13 z uporabo izolativnega livarskega laka v primerjavi uporabe keramike tipa Insural C140 za napajalni sistem. Kot enaki procesni pogoji se razumeva sledeče: kvaliteta taline, temperature (taline in orodij), priprave livarskega orodja z livarskimi laki, časi kristalizacije – strjevanje ulitka, prehod taline iz tekočega stanja v trdo stanje.

Osnovni namen raziskave je spoznati natančne primerjave med zamenjavo kovinskega napajalnega sistema s keramičnim napajalnim sistemom, ter zagotoviti visoke standarde skladnosti in kakovosti odlitka.

S programsko opremo ProCAST se izvedejo natančne primerjave simulacije litja med kovinskim in keramičnim napajalnim sistemom z uporabo enakih pogojev procesnih parametrov in geometrije ulitka. Razlika, ki se odraža v simulaciji litja je v prevodnosti toplote (keramika – kovina), ta se odraža v simulaciji preko kontakta z ulitkom in preko prevodnosti segrevajo livarsko orodje. Livarsko orodje pa se na zunanjih površinah ohlaja zaradi temperature zraka oz. delovnega prostor.

Na livarskem orodju se izvede oblikovna konstrukcijska sprememba v zgornji polovici livarskega orodja z vstavitvijo posebne zaščitne kovinske puše, ki preprečuje mehanske poškodbe keramike Insural.C140 v fazi odpiranja livarskega orodja oz. ločevanja ulitka v strjenem stanju od zgornje polovice livarskega orodja. V zgornji polovici livarskega orodja je potrebno zagotoviti ustrezno fiksiranje zaščitne kovinske puše z učinkovitim sistemom odzračevanja plinov, ki se akumulirajo v napajalnem sistemu v fazi strjevanja oz. prehoda tekoče zlitine v trdo stanje.

Da se potrdijo kakovostne zahteve, se v raziskovalnem delu uporabljajo metode preizkušanja, kontrole in analiz (RTG, spectro analiza – kemična sestava zlitin, Ideco – indeks naplinjenosti taline, termo analiza – zlitine AlSi10Mg s krivuljo ohlajevanja, beleženje procesnih parametrov temperatur taline in orodij, časov, priprava livarskega orodja – premazovanje z livarskimi laki)

Ključne besede: simulacija, konstrukcija, kakovost, analize in preizkušanje

ABSTRACT

QUALITY IMPROVEMENT OF CASTING WITH THE REPLACEMENT OF FEEDERS SYSTEMS IN THE GRAVITY DOE CASTING

In bachelor` s thesis is presents research work on »Quality Improvement of casting with the replacement of feeders systems in the gravity die casting process«. With research work want to show a comparison in the same conditions for all process parameters in the gravitational casting phase by using of alloy AlSi10Mg between the metal feeder systems of the type steel H13 with the use insulating casting painting in comparison between the ceramic type Insural C140. For the feeders system. As the same procedural conditions it understood the following: the quality of the melt , the temperature (melt and tools / of die), the preparation of the foundry tools with foundry coating, cycle time of crystallization – the solidification of the cast, the transition of the melt from the liquid state into a solid state.

The primary purpose of the research is to know the exact comparisons between the replacement metal feeder with the ceramic feeder systems, and ensure high standards of conformity and quality cast.

The ProCAST software performs accurate compositions of the simulation casting between the metal and ceramic feeders systems, under same conditions of process parameters and cast geometry. The difference, which is reflected in the simulation of the casting is in the conductivity of heat (ceramic – metal), this is reflected in the simulation through the contact with the casting and through conductivity heated Foundry tool. The Foundry tool are cooled on external surfaces due to air temperature or working space.

Design structural change is performed on the Foundry tool in the upper half tool by inserting special protective metal bushings, which preventing mechanical damage of ceramic Insural C140. In phase of opening of the Foundry tool or. separating the castings in a solidified state from the upper half of the Foundry tool. In the upper half of the Foundry tool, it is necessary to ensure adequate fixation of proactive metal bushing with an efficient ventilating gas system accumulated in the supply system during the solidification phase or transition of the liquid alloy into a solid state.

To confirm the quality requirements used in the research work methods of testing, control and analysis (X- ray, Spectro analysis – chemical composition of alloys, Ideco – density index melt,

thermos analysis – alloys AlSi10Mg with curve cooling, recording of process parameters of temperature melt and tool, time, preparation of foundry tools - coating with foundry coats.

Keywords: Simulation, Construction, Quality Analysis, Testing

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 11

1.4 UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE 11

2 OSNOVE GRAVITACIJSKEGA LITJA IN KAKOVOST 12

2.1 KONTROLA IN PREIZKUSI V PROIZVODNEM PROCESU 12

2.1.1 Nivoji kontrole: 12

2.1.2 Vrste kontrol in preizkusov glede na namen 13

2.1.3 Priprava postopkov kontrol in preizkusov v proizvodnem procesu 13

2.1.4 Zapisi kontrole in preizkusov v proizvodnem procesu 13

2.2 METODE ZA ANALIZO VZROKOV IN REŠEVANJE PROBLEMOV – IZBOLJŠAVE V PROCESU 15

2.2.1 Proces reševanja problema 16

2.2.2 Metode za analizo vzrokov 17

2.2.3 Presoja sistema vodenja kakovosti 22

2.3 ALUMINIJEVE ZLITINE V GRAVITACIJSKEM LITJU 24

2.3.1 Aluminijeve zlitine 24

2.3.2 Gravitacijsko litje 27

3 RAZISKOVALNO DELO 36

3.1 KONSTRUKCIJA LIVARSKEGA ORODJA ZA GRAVITACIJSKO LITJE 36

3.1.1 Konstrukcija napajalnega sistema 39

3.2 SIMULACIJA LITJA S PROGRAMSKIM ORODJEM PROCAST 43

3.2.2 Simulacija litja za ulitek Continental 43

3.3 PRIPRAVA PROCESA 50

3.3.1 Priprava taline 50

3.3.2 Priprava livarskega orodja 52

3.3.3 Priprava linije litja 54

3.3.4 Izvajanje litja 55

3.4 KAZALNIKI KAKOVOSTI ULITKA 56

3.4.1 Pregled kvalitete po posameznem procesu 56

4 SKLEP 63

5 VIRI, LITERATURA 66

KAZALO SLIK

SLIKA 1: KARTA ZA STATISTIČNO KONTROLO PROCESA 15
SLIKA 2: DIAGRAM ISHIKAWA (RIBJA KOST) 19
SLIKA 3: POROČILO 8D 21
SLIKA 4: 5 ZAKAJ 21
SLIKA 5: PREVERJANJE UČINKOVITOSTI 22
SLIKA 6: VPRAŠALNIK IATF – POGLAVJE 7.5, PROIZVODNJA 23
SLIKA 7:ALUMINIJEVE ZLITINE DELITEV PO SKUPINAH – TALAT 25
SLIKA 8: MEHANSKE LASTNOSTI ALSI ZLITIN 26
SLIKA 9: PRIMERJAVA KARAKTERISTIK MEHANSKIH IN DRUGIH LASTNOSTI 27
SLIKA 10: ULIVANJE TEKOČE ZLITINE V LIVARSKO ORODJE Z MANIPULATORJEM 28
SLIKA 11: PEŠČENA JEDRA POZICIONIRANA V LIVARSKO ORODJE 29
SLIKA 12: PRIKAZ DVEH RAZLIČNIH PREMAZOV (GLADKI DYCOTE 32 – GROBI DYCOTE 34), NA UČINEK LIVNOSTI ZLITINE 31
SLIKA 13: LIVARSKO ORODJE ZA GRAVITACIJSKO LITJE CONTINENTAL 38
SLIKA 14: MASA NAPAJALNIKA 40
SLIKA 15: MASA ULITKA 40
SLIKA 16: PRIMERJAVA KERAMIČNI – KOVINSKI NAPAJALNI SISTEM 42
SLIKA 17: KERAMIČNI NAPAJALNI SISTEM 42
SLIKA 18: KOVINSKI NAPAJALNI SISTEMI 43
SLIKA 19: PARAMETRI ZA SIMULACIJO ULITKA CONTINENTAL – KOVINSKI NAPAJALNI SISTEM 45
SLIKA 20: PARAMETRI ZA SIMULACIJO ULITKA CONTINENTAL – KERAMIČNI NAPAJALNI SISTEM 48
SLIKA 21: REZULTATI SIMULACIJE – KOVINSKI 49
SLIKA 22: REZULTATI SIMULACIJE – KERAMIČNI 49
SLIKA 23: TALILNA PLINSKA PEČ BOTTA 51
SLIKA 24: PRELIVNI LONEC ZA TRANSPORT TALINE, KI SE IZVAJA Z VILIČARJEM 51
SLIKA 25: MTS DEGAZATOR – NAPRAVA ZA ČIŠČENJE TALINE Z INERTNIM PLINOM ARGON 52
SLIKA 26: ROČNO PESKANJE LIVARSKEGA ORODJA – INJEKTORSKA PIŠTOLA NA KOMPRIMIRAN ZRAK Z STEKLENIMI GRANULAMI 53

SLIKA 27: PREMAZOVANJE LIVARSKEGA ORODJA Z LIVARSKIMI PREMAZI 53
SLIKA 28: AVTOMATSKI MANIPULATOR ZA TRANSPORT TALINE V KERAMIČNI ZAJEMALKI. ODJEM TALINE IZ VZDRŽEVALNE PEČI DO LIVARSKEGA ORODJA Z IZLIVANJEM TALINE V LIVNI KALUP LIVARSKEGA ORODJA. 54
SLIKA 29: LIVARSKO ORODJE Z ULITKOV V STRJENEM STANJU V SPODNJI POLOVICI ORODJA V FAZI IZMETAVANJA ULITKA IZ GRAVURE 55
SLIKA 30: KEMIČNA ANALIZA 56
SLIKA 31: TERMO ANALIZA – IZPIS IZ NAPRAVE IDECO – KRIVULJA OHLAJANJA Z STOPNJO OPLEMENITENJA ZRNA IN STOPNJO MODIFIKACIJE TALINE 58
SLIKA 31: RTG_ X–CUBE COMPACT_ VELIKOST PRISOTNE POROZNOSTI NA ULITKIH, KI SO BILI NAPAJANI Z KOVINSKIM NAPAJALNIM SISTEMOM 62

KAZALO TABEL

TABELA 1: DAYCOTE PREMAZI 30
TABELA 2: KOSOVNICA LIVARSKEGA ORODJA CONTINENTAL 37
TABELA 3: VOLUMSKI PARAMETRI ZA SIMULACIJO ULITKA CONTINENTAL – KOVINSKI NAPAJALNI SISTEM 44
TABELA 4: PARAMETRI PRENOS TOPLOTE ZA SIMULACIJO ULITKA CONTINENTAL – KOVINSKI NAPAJALNI SISTEM 44
TABELA 5: PROCESNI PARAMETRI ZA SIMULACIJO ULITKA CONTINENTAL – KOVINSKI NAPAJALNI SISTEM 45
TABELA 6: VOLUMSKI PARAMETRI ZA SIMULACIJO ULITKA CONTINENTAL – KERAMIČEN NAPAJALNI SISTEM 46
TABELA 7: PARAMETRI PRENOS TOPLOTE ZA SIMULACIJO ULITKA CONTINENTAL – KERAMIČEN NAPAJALEN SISTEM 46
TABELA 8: PROCESNI PARAMETRI ZA SIMULACIJO ULITKA CONTINETAL – KERAMIČEN NAPAJALNI SISTEM 47
TABELA 9: INDEKS NAPLINJENOSTI TALINE 57
TABELA 10: TEMPERATURE LITJA 59
TABELA 11: TEMPERATURE ORODJA ŠT. 6 – KOVINSKI NAPAJALNIK 59
TABELA 12: TEMPERATURE ORODJA ŠT. 5 – KERAMIČNI NAPAJALNIK 60
TABELA 13: ULITA KOLIČINA IN KLASIFIKACIJA IZMETA 61
TABELA 14: PREGLED IZMETA RTG 61

KAZALO GRAFIKONOV

GRAF 1: IZMET PO NAPAKI OPERACIJE LITJA 60

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Osnovni namen raziskave je spoznati natančne primerjave med zamenjavo kovinskega napajalnega sistema s keramičnim napajalnim sistemom, ter zagotoviti visoke standarde skladnosti in kakovosti odlitka.

V razvojni fazi izdelka z izvedenimi simulacijami in izdelano konstrukcijo livarskega orodja, ki je kot prvotno predvidevala uporabo kovinskih napajalnih sistemov, je bilo v fazi prvih litij po tehnologiji gravitacijskega litja ugotovljeno, da z uporabo kovinskih napajalnih sistemov ne bo izvedljivo doseči predpisane ustreznosti kakovosti izdelka.

Pojavljale so se napake v ulitku po mehanski obdelavi s krčilno poroznostjo. Zaradi visokega izmeta ulitkov je bilo nujno potrebno poiskati nove ustrezne rešitve, da bi se dosegla ustrezna kakovost ulitkov, ki jo predpisuje standard.

Zaradi določenih omejitev pri že postavljenem dizajnu in konstrukciji livarskega orodja se je porodila rešitev, da se doseže ustrezna kakovost ulitka z zamenjavo kovinskega napajalnega sistema s keramičnim napajalnim sistemom.

V prvi fazi so se izvedle ponovne simulacije litja s programsko opremo ProCast z uporabo napajalnega sistema s keramiko, tip. keramike INSURAL 140, z vsemi vstavljenimi dejansko potrebnimi procesnimi parametri, ki bodo vplivali na kakovost ulitka v dejanskem stanju.

Konstrukcija zgornje polovice livarskega orodja je še omogočala poseg oz. spremembo z vstavitvijo dodatnih zaščitnih kovinskih oblikovnih puš, ki bodo preprečevale mehanske poškodbe keramike – keramični napajalni sistem

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen v mojem diplomskem delu je prikazati izboljšave kakovosti litja z zamenjavo napajalnega sistema, kovinskega napajalnega sistema s keramičnim napajalnim sistemom.

Cilji diplomskega dela, ki jih želim doseči s svojim delom so:

- Konstrukcija livarskega orodja za gravitacijsko litje.
- Konstrukcija, dizajn in funkcionalnost keramičnih napajalnih sistemov.
- Simulacija litja s programskim orodjem ProCAST (primerjava napajalnih sistemov kovina – keramika).
- Priprava ustrezne kvalitete zlitine AlSi10Mg.
- Priprava vseh pogojev za izvedbo gravitacijskega litja (priprava livarskega orodja – premazovanje in priprava vseh procesnih parametrov v fazi litja – temperature in časi).
- Pregled kakovosti ulitka (vizualno, pregled mikro poroznosti z RTG napravo).

Osnovne trditve oz. hipoteze, ki bom v raziskovalnem delu poskušal dokazati so:

- Želena skladnost izdelka in kasnejša konstrukcija orodja.
- Nekakovost izdelkov se kaže skozi neustrezne parametre proizvodnega procesa.
- Kakovost izdelka je pogojena s pravilno konstrukcijo in izdelavo orodja.
- Pri izdelovanju livarskih orodij in razvoju novega izdelka so danes nepogrešljive simulacije, s katerimi testiramo.

1.3 Predpostavke in omejitve

- razpoložljivost domače in tuje strokovne literature,
- razpoložljivost podatkov v podjetju,
- predpostavljam, da bodo izdelane simulacije in pravilen dizajn keramičnih napajalnikov dali ustrezen rezultat,
- omejenost na razpoložljivo literaturo,
- zaupnost podatkov v podjetju,
- zaradi obsežnega področja tematike so nekatera področja omejeno predstavljena.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

- metoda deskripcije (opisovanje posameznih pojmov),
- metoda kompilacije (metoda uporabe izpisov, citatov, navedb drugih avtorjev),
- statistične metode (zbiranje podatkov, interpretacije podatkov in obdelava podatkov).

2 OSNOVE GRAVITACIJSKEGA LITJA IN KAKOVOST

2.1 Kontrola in preizkusi v proizvodnem procesu

V proizvodnih procesih se izvajajo različne vrste nivojske kontrole. V podjetju Cimos, d. d., ki je v grozdu avtomobilske industrije, ima preko poslovnika kakovosti sistem kakovosti, s katerim zagotavlja, da proizvod podjetja ustreza predpisanim zahtevam, in uporablja različne nivoje kontrole.

2.1.1 Nivoji kontrole:

2.1.1.1 NIVO 1

Zagotavlja ustreznost vseh v QM planu predpisanih karakteristik. To ustreznost zagotavlja delavec ali nameščeno avtomatsko sredstvo – poka yoka. V primerih, ko nadzor izdelka oz. procesa izvaja avtomatsko sredstvo, je odgovornost delavca, da ustrezno nadzira in potrjuje pravilnost delovanje avtomatskega sredstva po predpisanem postopku.

2.1.1.2 NIVO 2

Jamči za pravilno izvajanje nadzora na nivoju 1, za pravilno uporabo in delovanje avtomatskih kontrolnih sredstev ter za pravilno sproščanje izdelanih količin na naslednje operacije. Zagotovljena mora biti njegova (izmenovodja) prisotnost v vseh izmenah. Vsako odstopanje pri izvajanju predpisanih postopkov, ki so bili potrjeni s strani kupca in/ali odstopanje rezultatov kakovosti od predpisanih zahtev, pomeni prepoved sprostitve izdelanih količin brez dovoljenja kupca.

2.1.1.3 NIVO 3

Izvaja presoje izdelka in z njimi potrjuje skladnost izdelkov ter pravilnost nadzora kakovosti v vseh fazah procesa. Za izvajanje tega je odgovoren predstavnik iz službe Q.

2.1.2 Vrste kontrol in preizkusov glede na namen

2.1.2.1 Potrditev prvega kosa

Prva kontrola v procesu. Postopek, ki se uporablja ob vsaki nastavitvi delovnih sredstev, spremembi procesov, ali ponovnem zagonu izdelovanja, z namenom, da bi se prepričali, da proizvod/proces izpolnjuje vse predpisane zahteve.

2.1.2.2 Operacijska kontrola in preizkušanje

Postopek vseh kontrol in preizkušanj – QM plan – s katerimi preverjamo skladnost proizvoda/procesa na vsaki stopnji – operaciji proizvodnega procesa.

2.1.2.3 Sproščanje izdelanih količin

Postopek, s katerim drugi nivo nadzira na predpisan način, preverja skladnost karakteristik parametrov ali izdelkov, ter pravilnost izvajanja nadzora na prvem nivoju in na osnovi ugotovljene skladnosti sprosti količino na naslednjo operacijo po predpisanem postopku.

2.1.3 Priprava postopkov kontrol in preizkusov v proizvodnem procesu

Vsak proizvod mora imeti svoj postopek kontrole in preizkušanj v proizvodnem procesu – QM – plan. Dokument predpisuje nadzor nad vsemi karakteristikami izdelka/procesa in parametri procesa, ki so pomembni za izpolnjevanje zahtev kakovosti. Pri izdelavi je zelo pomembno uporabljati metode vizualizacije – slike, skice, diagrame, da se omogoči delavcu/operaterju čim bolj razumljivo branje in razumevanje vsebine predpisanih zahtev.

2.1.4 Zapisi kontrole in preizkusov v proizvodnem procesu

Vsi izvajalci postopka kontrole in preizkušanja na vseh nivojih odgovornosti vodijo zapise o opravljenem nadzoru.

Uporabljeni zapisi o kontroli in preizkusih v proizvodnem procesu so:

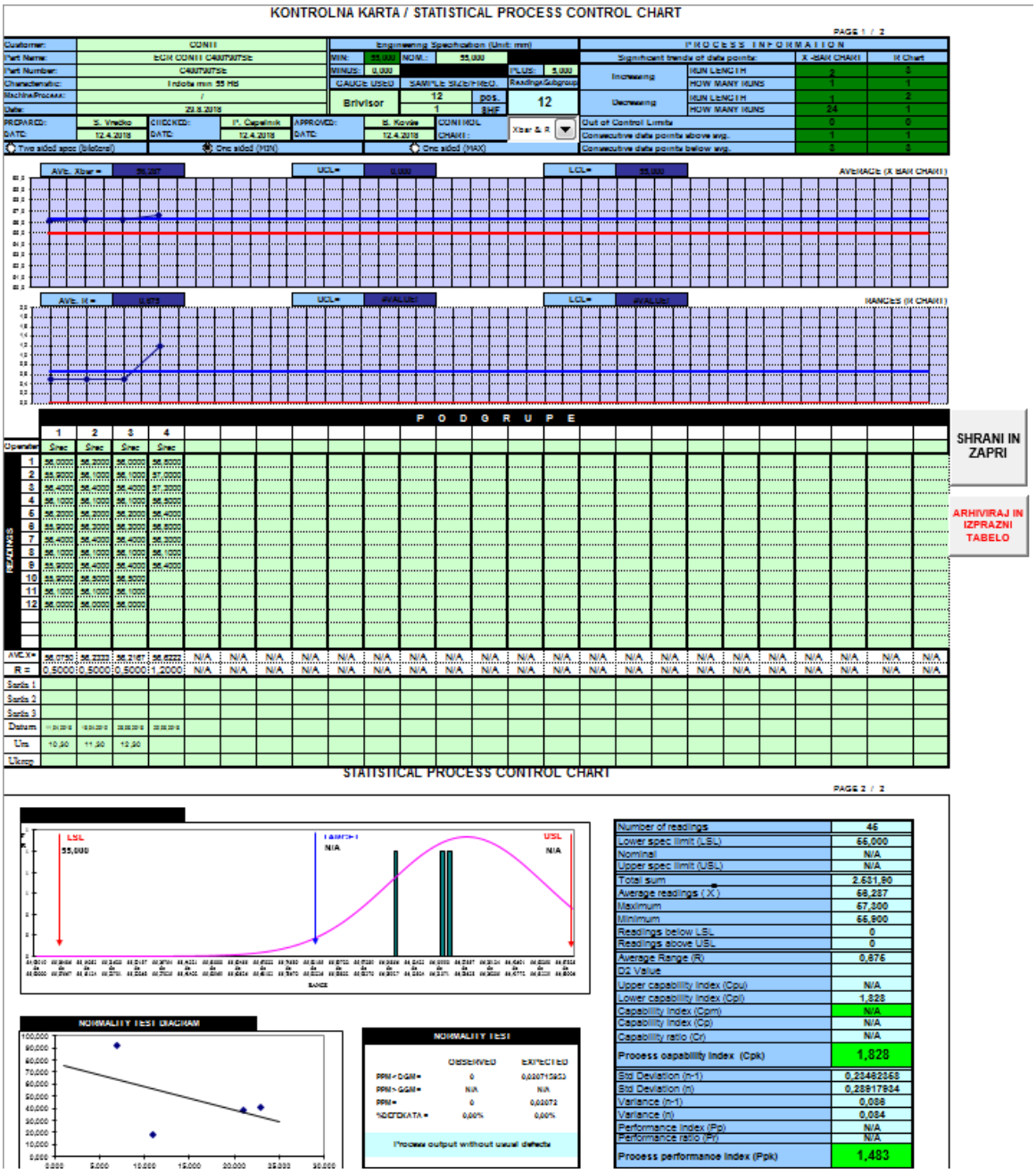
- Kontrolne karte (za namene statistične kontrole Spc uporabljamo naslednji dve vrsti nadzornih kart: 1. nadzorne karte za merljive spremenljivke ali individualne vrednosti,

kot so: dimenzije, tlaki, sile, temperature, časi itd. Uporabljamo X-R in x-MR karte. 2. nadzorne karte za opisne spremenljivke ali atribute se uporabljajo za spremljanje nemerljivih karakteristik izdelka oz. kronološko spremljanje rezultatov, razvrščanje proizvodov na »dobre« in »slabe«, kakor tudi za beleženje pomembnih dogodkov v procesu, npr. lom orodja).

- Obrazec potrditve prvega/zadnjega kosa (Potrditev prvega kosa – to je postopek, ki ga uporabljamo ob vsaki nastavitvi delovnih sredstev, spremembi procesov, ali ponovnem zagonu izdelovanja. Z namenom, da bi se prepričali, da proizvod ali proces izpolnjujejo vse predpisane zahteve. Potrditev zadnjega kosa – to je postopek, ki ga uporabljamo, ko zaključimo izdelovanje in preverimo izdelek ali proces, če smo do zaključka izpolnjevali vse predpisane zahteve).
- Merska in metalurška poročila (individualne vrednosti).
- Poročilo o presoji izdelka.
- Spremeni list izdelka/materiala.
- Zapisi o sposobnosti procesa

Sposobnost procesa se zapisuje skozi kontrolne karte. Bistvena lastnost kontrolne karte je, da ima, definirano srednjo kontrolno črto (CL – center line) in zgornja ter spodnja kontrolna meja (UCL – upper control limit, LCL – lower control limit).

Spodaj je primer karte, v katero se vnašajo numerični podatki izvedenih meritev na ulitkih, trdote v HB. Iz karte se nato spremlja sposobnost procesa z indeksom Cpk. V našem primeru imamo indeks Cpk z 1,828, kar pomeni, da imamo stabilen proces.



Slika 1: Karta za statistično kontrolo procesa

Vir: (Cimos d.d., 2018)

2.2 *Metode za analizo vzrokov in reševanje problemov – izboljšave v procesu*

Zaradi vse hitrejših sprememb proizvodnih procesov, ki jih narekuje trg, da so učinkovitejša in uspešnejša, je nujno potrebno uporabljati različna orodja za stalno izboljševanje procesov.

Sistemski pristop nas vodi k stalnim izboljšavam izdelka/procesa, ki se kaže skozi boljšo kakovost, nižje stroške in zadovoljnejšega odjemalca. (Cimos, http://kpnts74.cimos.net/, 2018)

2.2.1 Proces reševanja problema

Standardni postopek reševanja problemov ima načeloma štiri osnovne korake:

2.2.1.1 Razumevanje problema

- Identificirati problem

Pri tem že obstajajo določene informacije o problemu, vendar vsa dejstva niso detajlno poznana. Potrebno se je vprašati: Kaj vemo o problemu?

- Razjasniti problem

Vprašati se je potrebno: Kaj se v bistvu dogaja? Kaj bi se moralo dogajati? Cilj je razumeti problem.

- Razčleniti problem

Večji/splošno poznan problem je treba razbiti v manjše, posamezne elemente s pomočjo vprašanj: Kaj že vemo o problemu? Ali obstajajo tudi podproblemi?

- Locirati točko vzroka problema

Osredotočiti se na lociranje točke vzroka problema – vračati se nazaj, sprašujoč se: Kam moramo iti? Kaj moramo videti? Kdo še lahko ima kakšno informacijo o problemu?

- Razumeti potek problema

Potek problema se razjasni s pomočjo naslednjih vprašanj: Kdo? Kateri? Kdaj? Kako pogosto? Koliko?

2.2.1.2 Raziskava vzroka problema z metodo 5 zakaj – tri veje 5 zakaj

- Za specifičen problem.
- Zakaj problem ni bil odkrit?
- Zakaj je sistem dovolil, da se je problem pojavil?

2.2.1.3 *Reševanje problema*

Definirajo in izvedejo se posamezne aktivnosti za reševanje problema. Kot minimum je potrebno takoj sprožiti kratkoročne ukrepe za zaščito odjemalca/kupca, dokler ni poznan osnovni vzrok problema. Ko so aktivnosti sprožene, jih je potrebno preveriti in se tudi prepričati o njihovi učinkovitosti s pomočjo vprašanj:

- Ali rešitev deluje?
- Kako je to dokazljivo?

2.2.1.4 Preventivne aktivnosti

Preverjanje napak (errorprofing) in analizo glavnih vzrokov problemov – so aktivnosti, s katerimi se zagotovi, da se odkriti problem ne bo več ponovil.

2.2.2 Metode za analizo vzrokov

2.2.2.1 5 zakaj

Je orodje za analizo vzrokov. Izhod iz analize vzrokov je lahko eden ali z več vzroki, ki pojasnjuje razlog, zakaj je prišlo do napake. Z analizo 5 zakaj se definira vzorčno – posledična zveza, ki vodi do izvora problema. Potrebno se je vprašati petkrat zakaj.

- Zakaj se je problem pojavil?
- Zakaj je problem prišel do odjemalca oziroma ni bil odkrit?
- Zakaj je sistem dovolil, da se napaka pojavi?

»Zakaj« se je potrebno spraševati, dokler ni odkrit vzrok, odprava katerega bo preprečila ponavljanje problema, oziroma dokler na spodnja vprašanja ne dobimo ustreznega odgovora.

- Ali je odkrit osnovni vzrok problema? DA
- Ali bo odprava tega vzroka preprečila ponavljanje problema? DA
- Ali sta vzrok in problem v dejanski vzorčno-posledični zvezi? DA
- Ali ponovna analiza »zakaj« pripelje do novega vzroka? NE

2.2.2.2 Ishikawa

Je orodje za analizo vzrokov – diagram z navedbo problema na desni strani in kategorijami nad in pod horizontalo. Priporoča se navedba šestih standardnih kategorij 6M. Spraševati se je potrebno: »zakaj se to dogaja«, dokler se ne dobi več uporabnega odgovora. Ponavljati je potrebno postopek za vsak vzrok, da se identificirajo pod-vzroki.

- Prvi korak

Ishikawa je natančna opredelitev problema in izvedba Brainstorminga, s katerim od vseh udeležencev pridobimo nabor potencialnih vzrokov problema.

- Drugi korak

Je zapisovanje predlogov potencialnih vzrokov v diagram po posameznih kategorijah.

- Tretji korak

V tretjem koraku za vsak potencialni vzrok začnemo postavljati vprašanje »Zakaj«, dokler ne izčrpamo idej za potencialne vzroke.

- Četrti korak

V četrtem koraku, ko se ta proces ponovi za vse kategorije, se formira razvejano drevo in na koncu vsake veje so potencialni vzroki problema. Glavni vzroki problema, podvzroki in pomožni vzroki se s skupinsko diskusijo ocenijo glede na domnevni doprinos k izvoru problema in jih tangira po prioritetah.

- Peti in šesti korak

Zaključek tega procesa je analiza podatkov o prioritetah potencialnih vzrokov problema. Sledi preverba »na terenu« in glede na ugotovitve analize se vzroke ponovno preverja.



Slika 2: Diagram Ishikawa (ribja kost)

Vir: (Cimos d.d., 2018)

2.2.2.3 Metoda 8D

Je reševanje problemov v osmih sistematičnih korakih. Uporablja se za timsko in individualno reševanje problemov. Uporaba metode 8D zagotavlja, da odpravimo dejanske vzroke problema (npr. neskladnosti izdelka ali neskladnosti delovanja procesa) in se izognemo njegovi ponovitvi. Metoda 8D je vodena skozi zbirni list o poročanju, ki se vsebinsko naslanja na posamezne korake v procesu izvajanja. Metoda nudi sistematično zasnovo, za učinkovito reševanje problemov in stalno izboljševanje po postopku PDCA (planiraj, izvedi, kontroliraj, ukrepaj) in SDCA (standardiziraj, izvedi, kontroliraj, ukrepaj). Je sistematičen pristop k reševanju problemov, ki motivira vse udeležence, dosežemo osvetlitev problematike iz različnih zornih kotov ter aktivno iskanje rešitev. Nudi skupno načrtovanje kurativnih in preventivnih ukrepov in odgovornost za zadolžitve. Ker je rešitev problema celovita, zagotavlja tudi manjšo verjetnost ponovitve.

2.2.2.4 Koraki 8D so:

- 1D

Določitev skupine 8D – potrebno je dobro poznavanje procesa/proizvodnje/procesa storitve in potrebna je visoka pripravljenost sodelovanja med sodelujočimi v timu in dobro poznavanje tehnik za reševanje problemov.

- 2D

Opis problema/ov – natančno se definirajo problemi, analizirajo se obstoječi podatki in potrebno je določiti obseg vsakega posameznega problema.

- 3D

Takojšnji ukrepi – vpeljejo se začasni ukrepi za omejitev škode, vpeljejo se ukrepi, ki preprečujejo vpliv posledic procesa na stranke (odjemalce), dokler ni najdena trajna rešitev.

- 4D

Vzroki – analiza problema – identificirajo se možni vzroki z vzorčno-posledično analizo, izberemo verjetne vzroke in izberemo možne korektivne aktivnosti.

- 5D

Korektivni ukrepi – določijo se optimalni ukrepi za odstranitev problemov. Ukrep mora resnično rešiti problem odjemalca in ne sme imeti nezaželenih stranskih učinkov. Izdela se plan aktivnosti za vpeljavo izbranega ukrepa z določitvijo, s katerimi kontrolni točkami naj bi bilo zagotovljeno, da je vzrok problema resnično odpravljen. Kontrolirata se tudi delovanje in učinkovitost ukrepov pri odjemalcu.

- 6D

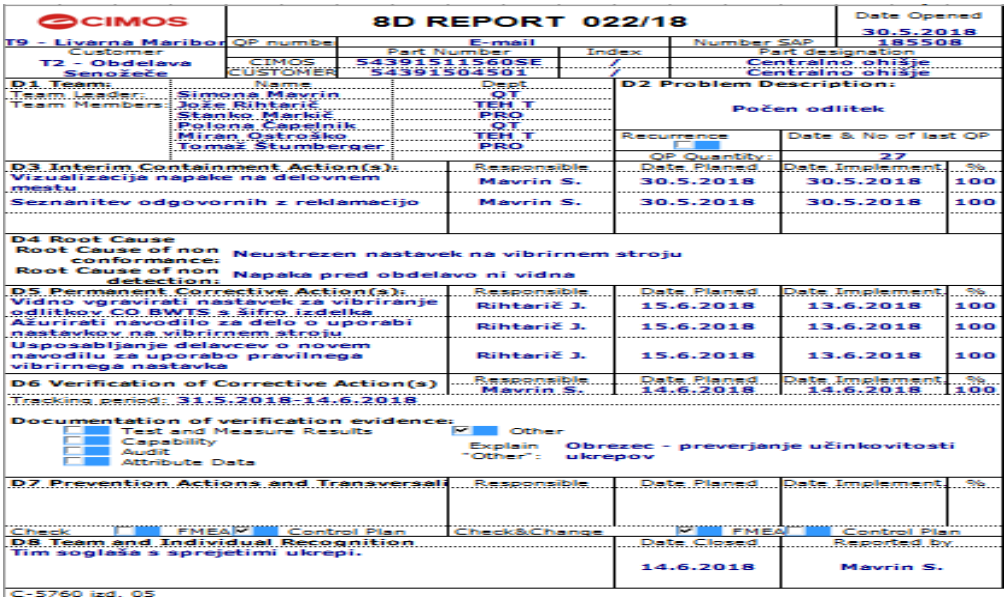
Verifikacija korektivnih ukrepov – določi se ukrep, ki prepreči, da se napaka ne ponovi. Ukrep pa mora preprečiti ponovitev napake.

- 7D

Preventivni ukrepi in transverzalnost – vizualizacija delovnih mest in transverzalni pregled nad sorodnimi izdelki.

- 8D

Potrditev/zaključitev 8D – merimo učinkovitost aktivnosti. Od odjemalca je potrebno pridobiti informacije o učinkovitosti uvedbe ukrepov in priznati skupne napore tima ter se veseliti skupnega uspeha.



CIMOS — 8D REPORT 022/18 — Date Opened: 30.5.2018

T9 - Livarna Maribor	QP numbe:
Customer:	E-mail
T2 - Obdelava Senožeče	CIMOS CUSTOMER
Part Number:	5439151156OSE / 543915045O1
Index	/ /
Number SAP	185508
Part designation:	Centralno ohišje / Centralno ohišje

D1 Team:

Name	Dept
Team Leader: Simona Mavrin	QT
Team Members: Jože Rihtarič	TEH. T.
Stanko Markič	PRO
Polona Capelnik	QT
Miran Ostrožlič	TEH. T.
Tomaž Štumberger	PRO

D2 Problem Description: Počen odlitek

Recurrence: ☐ — Date & No of last QP

QP Quantity: 27

D3 Interim Containment Action(s):	Responsible	Date Planed	Date Implement.	%
Vizualizacija napake na delovnem mestu	Mavrin S.	30.5.2018	30.5.2018	100
Seznanitev odgovornih z reklamacijo	Mavrin S.	30.5.2018	30.5.2018	100

D4 Root Cause

Root Cause of non conformance: Neustrezen nastavek na vibrirnem stroju

Root Cause of non detection: Napaka pred obdelavo ni vidna

D5 Permanent Corrective Action(s):	Responsible	Date Planed	Date Implement.	%
Vidno vgravirati nastavek za vibriranje odlitkov CO BWTS s šifro izdelka	Rihtarič J.	15.6.2018	13.6.2018	100
Ažurirati navodilo za delo o uporabi nastavkov na vibrirnem stroju	Rihtarič J.	15.6.2018	13.6.2018	100
Usposabljanje delavcev o novem navodilu za uporabo pravilnega vibrirnega nastavka	Rihtarič J.	15.6.2018	13.6.2018	100
D6 Verification of Corrective Action(s)	Responsible	Date Planed	Date Implement.	%
Tracking period: 31.5.2018-14.6.2018	Mavrin S.	14.6.2018	14.6.2018	100

Documentation of verification evidence:
☐ Test and Measure Results ☐ Capability ☐ Audit ☐ Attribute Data
☑ Other — Explain "Other": Obrezec - preverjanje učinkovitosti ukrepov

D7 Prevention Actions and Transversali	Responsible	Date Planed	Date Implement.	%

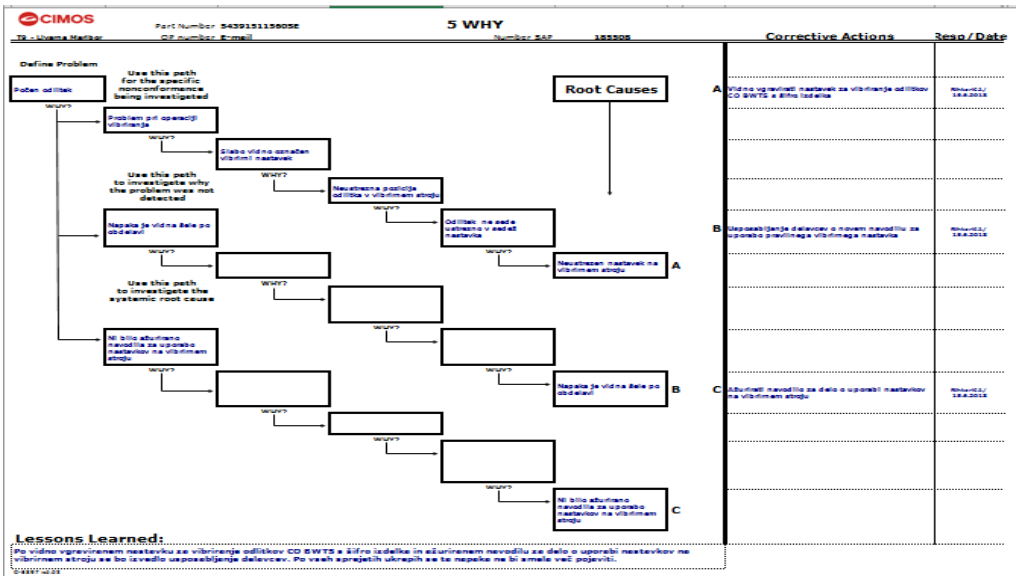
Check: ☐ FMEA ☑ Control Plan — Check&Change: ☑ FMEA ☐ Control Plan

D8 Team and Individual Recognition	Date Closed	Recorded by:
Tim soglaša s sprejetimi ukrepi.	14.6.2018	Mavrin S.

C-5760 izd. 05

Slika 3: Poročilo 8D

Vir: (Cimos d.d., 2018)



CIMOS — 5 WHY — Part Number: 5439151156OSE — Number SAP: 185508

Define Problem: Počen odlitek

Use this path for the specific nonconformance being investigated: Problem pri operaciji vibriranja → Slabo vidno označen vibrirni nastavek → Neustrezna pozicija odlitka v vibrirnem stroju → Odlitek ni sede ustrezno v sedež nastavka → Neustrezen nastavek na vibrirnem stroju (A)

Use this path to investigate why the problem was not detected: Napaka je vidna šele po obdelavi → [ ] → [ ] → [ ] → Napaka je vidna šele po obdelavi (B)

Use this path to investigate the systemic root cause: Ni bilo aburirano navodila za uporabo nastavkov na vibrirnem stroju → [ ] → [ ] → [ ] → [ ] → Ni bilo aburirano navodila za uporabo nastavkov na vibrirnem stroju (C)

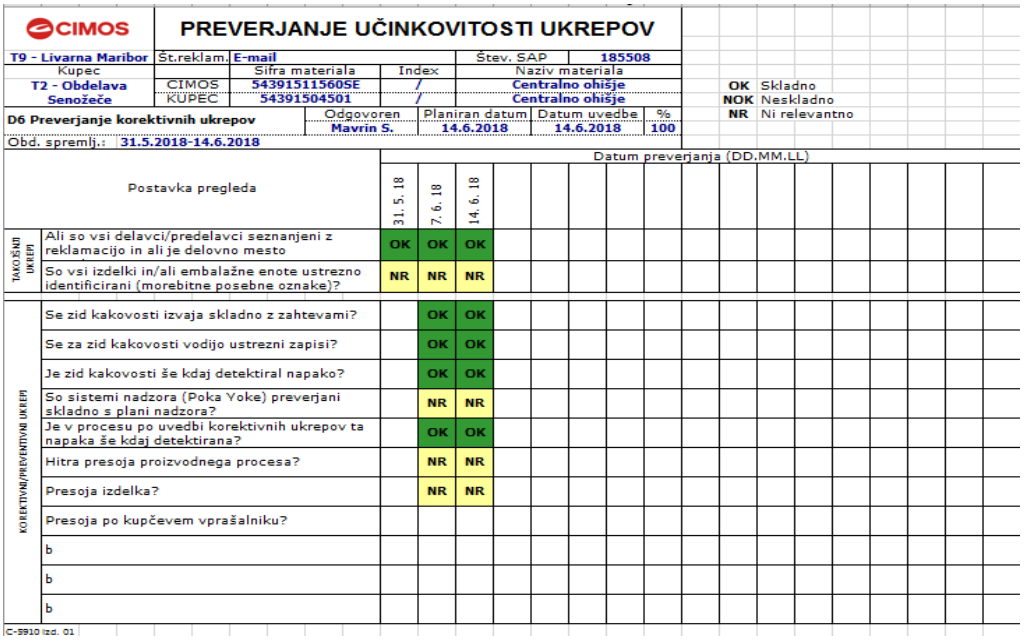
Root Causes

	Corrective Actions	Resp / Date
A	Vidno vgravirati nastavek za vibriranje odlitkov CO BWTS s šifro izdelka	Rihtarič J. 14.6.2018
B	Usposabljanje delavcev o novem navodilu za uporabo pravilnega vibrirnega nastavka	Rihtarič J. 14.6.2018
C	Ažurirati navodilo za delo o uporabi nastavkov na vibrirnem stroju	Rihtarič J. 14.6.2018

Lessons Learned:
Po vidno vgraviranem nastavku za vibriranje odlitkov CO BWTS s šifro izdelka in ažuriranem navodilu za delo o uporabi nastavkov na vibrirnem stroju se bo izvedlo usposabljanje delavcev. Po vseh sprejetih ukrepih se te napake ne bi smele več pojaviti.

Slika 4: 5 zakaj

Vir: (Cimos d.d., 2018)



CIMOS — PREVERJANJE UČINKOVITOSTI UKREPOV

T9 - Livarna Maribor	Št.reklam.	E-mail		Štev. SAP	185508
Kupec		Šifra materiala	Index	Naziv materiala	
T2 - Obdelava Senožeče	CIMOS	543915115605E	/	Centralno ohišje	
	KUPEC	54391504501	/	Centralno ohišje	

OK Skladno
NOK Neskladno
NR Ni relevantno

D6 Preverjanje korektivnih ukrepov	Odgovoren	Planiran datum	Datum uvedbe	%
	Mavrin S.	14.6.2018	14.6.2018	100

Obd. spremlj.: 31.5.2018-14.6.2018

	Postavka pregleda	Datum preverjanja (DD.MM.LL) 31. 5. 18	7. 6. 18	14. 6. 18
TAKOJŠNJI UKREPI	Ali so vsi delavci/predelavci seznanjeni z reklamacijo in ali je delovno mesto	OK	OK	OK
	So vsi izdelki in/ali embalažne enote ustrezno identificirani (morebitne posebne oznake)?	NR	NR	NR
KOREKTIVNI/PREVENTIVNI UKREPI	Se zid kakovosti izvaja skladno z zahtevami?		OK	OK
	Se za zid kakovosti vodijo ustrezni zapisi?		OK	OK
	Je zid kakovosti še kdaj detektiral napako?		OK	OK
	So sistemi nadzora (Poka Yoke) preverjani skladno s plani nadzora?		NR	NR
	Je v procesu po uvedbi korektivnih ukrepov ta napaka še kdaj detektirana?		OK	OK
	Hitra presoja proizvodnega procesa?		NR	NR
	Presoja izdelka?		NR	NR
	Presoja po kupčevem vprašalniku?			
	b			
	b			
	b			

C-9910 Izd. 01

Slika 5: Preverjanje učinkovitosti

Vir: (Cimos d.d., 2018)

2.2.3 Presoja sistema vodenja kakovosti

Kot pogoj za dobavljanje v organizaciji Cimos je uporaba standarda ISO 9001:2015 oz. že pridobljen novi standard IATF 16969:2016. Da se zadrži ta certifikat, se mora vsako leto obnavljati z izvedeno presojo, ki jo izvaja certificirana hiša po vprašalniku iz standarda.

V priročniku standarda ISO 9001:2015 je pod zaporedno številko 8.5.1 Obvladovanje proizvodnje in izvedbe storitev (v novem standardu IATF 16969:2016 so te zahteve pod točko 7.5).

To poglavje opisuje zahteve glede obvladovanja proizvodnje in izvedbe storitev ter pojasnjuje, kako take pogoje, če je primerno, vzpostavimo. Cilj je vzpostaviti obvladovane razmere.

Za izpolnjevanje kriterijev sprejemljivosti izdelkov se zahtevajo aktivnosti:

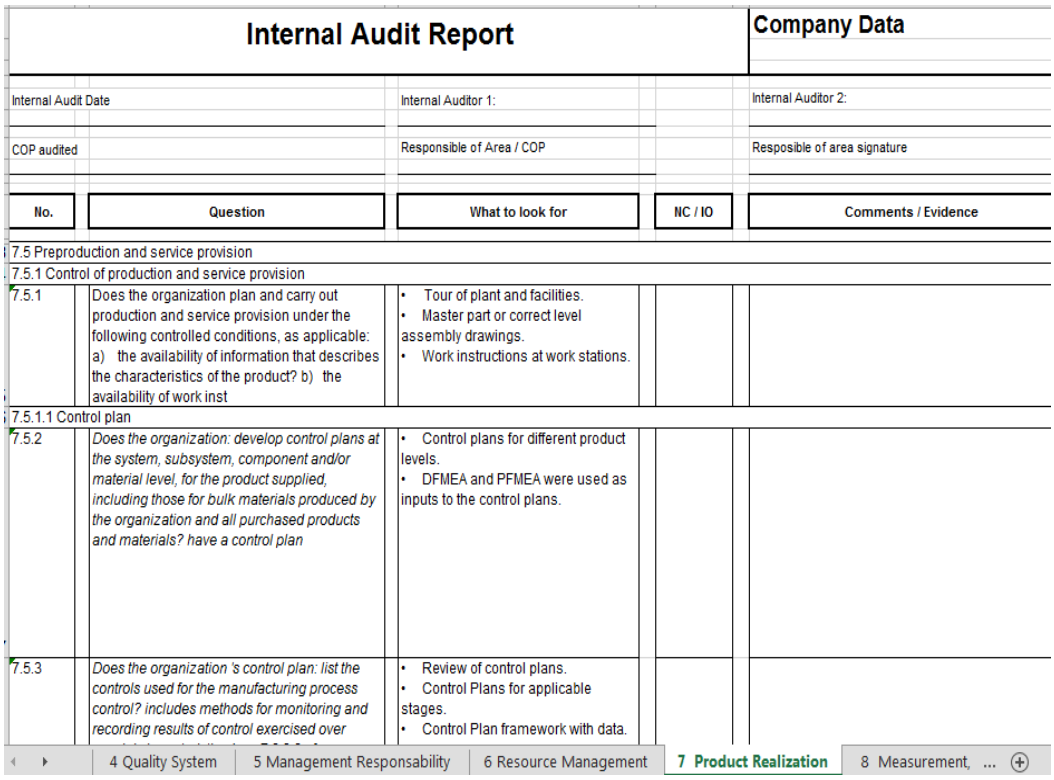
- uporaba primerne infrastrukture,
- imenovanje kompetentnega osebja,
- validacija procesov za proizvodnjo,
- dokumentiranje informacij o rezultatih, ki se dosegajo v posameznem procesu,

- vpliv človeških napak in
- razpoložljivost in uporaba virov za nadzorovanje in merjenje.

Za zagotavljanje stabilnosti procesa je zelo pomembna zadnja alineja »razpoložljivost in uporaba virov za nadzorovanje in merjenje«. V priročniku standarda ISO 9001:2015 v poglavju pod točko 7.1.5 je njegov natančen opis (v novem standardu IATF 16969:2016 so te zahteve pod točko 7.6). Merilna orodja imajo v proizvodnih procesih ključen vpliv za dosego želenih rezultatov. Zato je potrebno, da se na merilni opremi izvaja:

- kalibracija merilne opreme,
- ustrezno čiščenje in vzdrževanje merilne opreme,
- za izvajalce meritev zagotoviti usposabljanja rokovanja z merilno opremo, senzorična usposabljanja, pregledi vidov in izvajati druga usposabljanja.

(Koubek, 2015)



Internal Audit Report				Company Data
Internal Audit Date		Internal Auditor 1:		Internal Auditor 2:
COP audited		Responsible of Area / COP		Resposible of area signature
No.	**Question**	**What to look for**	**NC / IO**	**Comments / Evidence**
7.5 Preproduction and service provision				
7.5.1 Control of production and service provision				
7.5.1	Does the organization plan and carry out production and service provision under the following controlled conditions, as applicable: a) the availability of information that describes the characteristics of the product? b) the availability of work inst	• Tour of plant and facilities. • Master part or correct level assembly drawings. • Work instructions at work stations.		
7.5.1.1 Control plan				
7.5.2	*Does the organization: develop control plans at the system, subsystem, component and/or material level, for the product supplied, including those for bulk materials produced by the organization and all purchased products and materials? have a control plan*	• Control plans for different product levels. • DFMEA and PFMEA were used as inputs to the control plans.		
7.5.3	*Does the organization 's control plan: list the controls used for the manufacturing process control? includes methods for monitoring and recording results of control exercised over*	• Review of control plans. • Control Plans for applicable stages. • Control Plan framework with data.		

4 Quality System | 5 Management Responsability | 6 Resource Management | 7 Product Realization | 8 Measurement, ...

Slika 6: Vprašalnik IATF – poglavje 7.5, Proizvodnja

Vir: (Cimos d.d., 2018)

2.3 Aluminijeve zlitine v gravitacijskem litju

2.3.1 Aluminijeve zlitine

2.3.1.1 Zlitine iz aluminija delimo na dve vrsti:

- zlitine aluminija za gnetenje (kovanje, valjanje, vlečenje, ekstrudiranje)
- zlitine aluminija za ulivanje

2.3.1.2 Aluminij 99 %

Čisti aluminij 99 % se uporablja v zelo omejenih namenih (primer: za električne vodnike), kajti ima zelo nizko trdnost od 40 N/mm^2 do 100 N/mm^2 in ima zelo slabe livne sposobnosti. Zato se k samemu aluminiju dodajajo določeni legirni elementi, s katerimi izboljšujemo fizikalne in mehanske lastnosti.

2.3.1.3 Standard za aluminijeve zlitine

V današnjem času hitrega tehnološkega razvoja in napredka ter vse ostrejših kakovostnih zahtev je v veliki meri vse povezano z različnimi standardi, ki nam predpisujejo in narekujejo posamezne zahteve, kakor tudi razumevanje same terminologije v standardu.

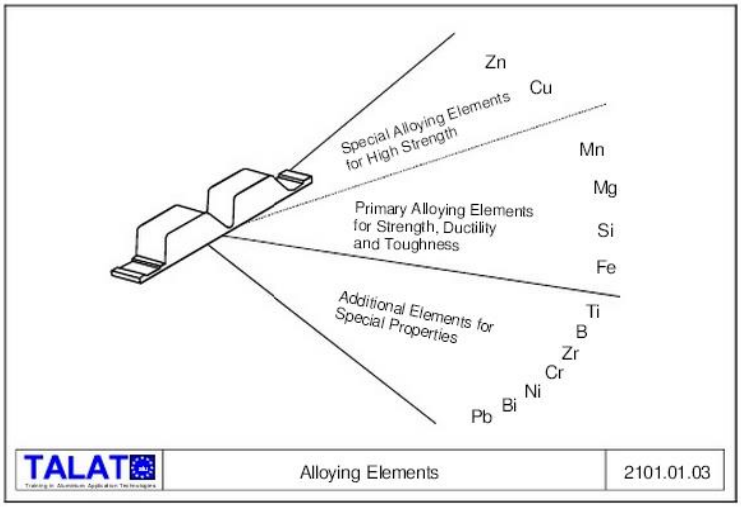
Za aluminijeve komercialne zlitine je pri nas predvsem uporabljen evropski standard DIN EN 1706 ali ameriški standard ASTM B179, ki sta med seboj ekvivalenta.

2.3.1.4 Opis standarda DIN EN 1706 Aluminij in aluminijeve zlitine

V standardu DIN EN 1706 Aluminum and aluminum alloys – Castings (chemical composition and mechanical properties) so navedene vse kakovostne zahteve, ki jih mora imeti vsaka posamezna zlitina, kakor tudi priporočila, za katere vrste litja je posamezna zlitina tehnološko in kakovostno najbolj primerna:

2.3.1.5 Aluminijeve zlitine se po standardu delijo na/po:

- Alloys Groups (Različne skupine) – skupina aluminijevih zlitin se deli glede na dodan legirni element. Deli se na tri skupine: posebni legirni elementi za visoko trdnost, primarni legirni elementi za žilavost in duktilno trdnost ter dodatni elementi za posebne lastnosti.



Slika 7:Aluminijeve zlitine delitev po skupinah – TALAT

Vir: (TALAT lecture 2101.01, 1994)

- Alloy Designation (Oznake zlitin) – numerično (vsak glavni dodan legirni element ima svojo številčno oznako. Primer: 2xx.x, aluminij – baker zlitina, 4xx.x, aluminij – silicij zlitina) in na kemični simbole (vsaka posamezna zlitina ima svojo kemično oznako, iz katere je razpoznavna specifikacija vsebovanih vseh kemičnih elementov, ki so prisotni v zlitini. Primer: AlCu4MgTi – aluminij bakrova zlitina z vsebnostjo glavnega legirnega elementa bakra, ki ima vsebnost 4 %. Vsebuje pa tudi legirna elementa Mg in Ti, vsebnost predpisuje specifikacija, zraven še preostalih legirnih elementov, ki so prav tako definirani po specifikaciji za to zlitino. AlSi10Mg(Cu). – aluminij silicijeva zlitina z vsebnostjo glavnega legirnega elementa, ki ima vsebnost 10 %. Vsebuje pa tudi element Cu, vsebnost legirnega elementa predpisuje specifikacija, zraven še preostalih legirnih elementov, ki so prav tako definirani po specifikaciji za to zlitino
- Casting Method (Metoda litja) – označuje postopke litja, ki se najpogosteje uporabljajo pri vsaki posamezni zlitini. Postopki litja so: litje v pesek – izdela se peščena forma, ki je samo za enkratno uporabo, gravitacijsko litje – trajna jeklena forma, tlačno litje (nizko

tlačno litje – uporablja se maksimalno 1 bar tlaka za izpodrivanje taline in visoko tlačno litje – bat potisne talino v zadnji fazi s 500 do 1000 bari tlaka v livno formo), in investmen litje, ki je litje z izgubljenim voščenim jedrom, vosek iz kalupa izteče.

- Cast ability (Sposobnost litja) – vplivi na livnost, odpornost na vroče razpoke, tlačna tesnost
- Other properties (Druge lastnosti) – obdelovalnost, odpornost na korozijo, dekorativno eloksiranje, sposobnost poliranja, linearne toplotne ekspanzije, električna prevodnost v MS/m in toplotna prevodnost v W/(mK).
- Mechanical properties (Mehanske lastnosti) – trdnost pri sobni temperaturi, trdnost pri povišani temperaturi 200 °C, duktilnost, odpornost proti udarcem, utrujenost trdnost v Mpa.

Z izbiro vrste tehnologije litja se dosegajo želeni oz. predpisani rezultati po specifikaciji standarda. Zahteve pa so po klasifikaciji na:

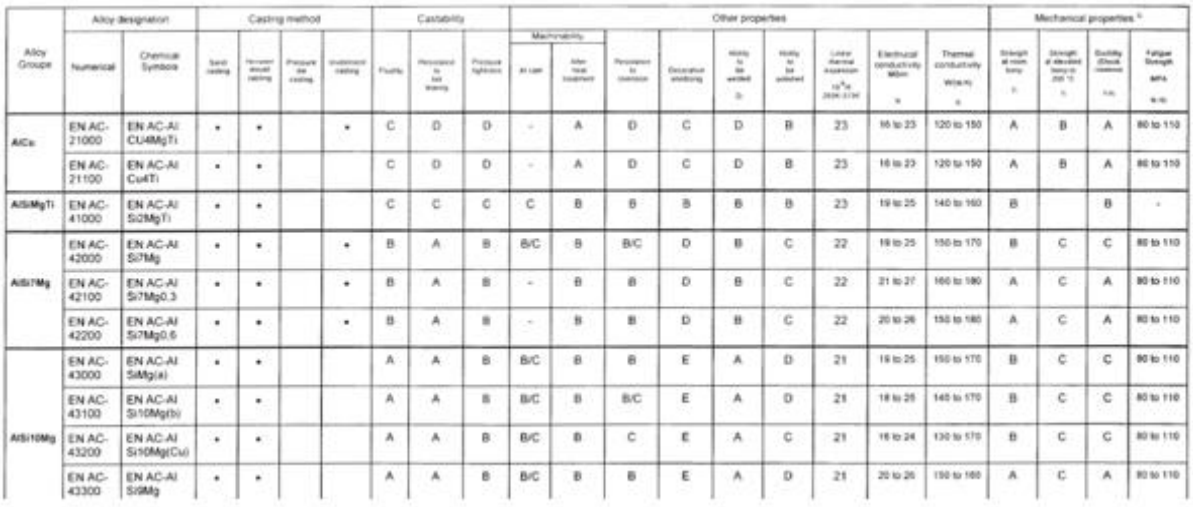
- trdote v Brinelih (HB)
- raztezek (A %)
- natezna trdnost (Rm)
- napetost tečenja (Rp)
- postopek toplotne obdelave (T4, T6 ...) (DIN EN 1706, 1998)

V spodnji tabeli je prikaz specifikacije za posamezno zlitino glede na mehanske lastnosti v »chill cast alloys«, kar pomeni za gravitacijsko litje pod atmosferskim tlakom.

Alloy group	Alloy designation		Temper	Tensile strength R_m MPa	Proof stress $R_{p0,2}$ MPa	Elongation A_{50mm} %	Brinell hardness HBS
	Numerical	Chemical symbols	Desi-gnation	min.	min.	min.	min.
AlCu	EN AC-21000	EN AC-Al Cu4MgTi	T4	320	200	8	95
	EN AC-21100	EN AC-Al Cu4Ti	T6	330	220	7	95
			T64	320	180	8	90
AlSiMgTi	EN AC-41000	EN AC-Al Si2MgTi	F	170	70	5	50
			T6	260	180	5	85
AlSi7Mg	EN AC-42000	EN AC-Al Si7Mg	F	170	90	2,5	55
			T6	260	220	1	90
			T64	240	200	2	80
AlSi10Mg	EN AC-42100	EN AC-Al Si7Mg0,3	T6	290	210	4	90
			T64	250	180	8	80
	EN AC-42200	EN AC-Al Si7Mg0,6	T6	320	240	3	100
			T64	290	210	6	90
	EN AC-43000	EN AC-Al Si10Mg(a)	F	180	90	2,5	55
			T6	260	220	1	90
			T64	240	200	2	80

Slika 8: Mehanske lastnosti AlSI zlitin

Vir: (DIN EN 1706, 1998)



Alloy Groups	Alloy designation		Casting method				Castability			Other properties									Mechanical properties [1]			
	numerical	Chemical Symbols								Machinability												
										As cast	After heat treatment											
AlCu	EN AC-21000	EN AC-Al CU4MgTi	•	•		•	C	D	D	-	A	D	C	D	B	23	16 to 23	120 to 150	A	B	A	80 to 110
	EN AC-21100	EN AC-Al Cu4Ti	•	•			C	D	D	-	A	D	C	D	B	23	16 to 23	120 to 150	A	B	A	80 to 110
AlSiMgTi	EN AC-41000	EN AC-Al Si2MgTi	•	•			C	C	C	C	B	B	B	B	B	23	19 to 25	140 to 160	B		B	-
AlSi7Mg	EN AC-42000	EN AC-Al Si7Mg	•	•		•	B	A	B	B/C	B	B/C	D	B	C	22	19 to 25	150 to 170	B	C	C	80 to 110
	EN AC-42100	EN AC-Al Si7Mg0.3	•	•		•	B	A	B	-	B	B	D	B	C	22	21 to 27	160 to 180	A	C	A	80 to 110
	EN AC-42200	EN AC-Al Si7Mg0.6	•	•		•	B	A	B	-	B	B	D	B	C	22	20 to 26	150 to 180	A	C	A	80 to 110
AlSi10Mg	EN AC-43000	EN AC-Al SiMg(a)	•	•			A	A	B	B/C	B	B	E	A	D	21	19 to 25	150 to 170	B	C	C	80 to 110
	EN AC-43100	EN AC-Al Si10Mg(b)	•	•			A	A	B	B/C	B	B/C	E	A	D	21	18 to 25	140 to 170	B	C	C	80 to 110
	EN AC-43200	EN AC-Al Si10Mg(Cu)	•	•			A	A	B	B/C	B	C	E	A	C	21	16 to 24	130 to 170	B	C	C	80 to 110
	EN AC-43300	EN AC-Al Si9Mg	•	•			A	A	B	B/C	B	B	E	A	D	21	20 to 26	150 to 180	A	C	A	80 to 110

Legenda v tabeli – pomen črkovnih oznak v tabeli: A: odlično, B: dobro, C: ustrezno, D: slabo, E: se ne priporoča, F: neprimerno

Slika 9: Primerjava karakteristik mehanskih in drugih lastnosti

Vir: (DIN EN 1706, 1998)

2.3.2 Gravitacijsko litje

2.3.2.1 Osnove gravitacijskega litja

Gravitacijsko kokilno litje poznamo tudi pod imenom trajnostno kokilno litje, ki se predvsem uporablja za produkcijo ulitkov z litjem tekoče zlitine v kovinske kalupe z gravitacijsko silo oz. atmosferskim tlakom, ki pomaga napolniti notranjo geometrijo kovinskega kalupa in napajalne sisteme v fazi strjevanja zlitine.

Gravitacijsko litje se uporablja predvsem za odlitke:

- ki imajo debelino sten nad 4 mm,
- ki imajo dimenzijske karakteristike tolerance do +/- 0,8 mm,
- uporaba dodatnih peščenih jeder, ki se pozicionirajo v samo livarsko orodje in dajo ulitku zahtevane notranje oblike,
- uporaba dodatnih kovinskih jeder, ki dajo ulitku zahtevane oblike in ki so fiksirana na samo livarsko orodje s premikanjem sile in moči hidravličnega sistema,

- mehanske lastnosti (natezna trdnost, raztezek in trdota), ki se dosegajo v fazi ohlajevanja oz. času kristalizacije – od časa litja do izvzema ulitka iz livarskega orodja,
- skozi življenjsko dobo produkcije ulitka se mora povrniti relativno velik strošek izdelave livarskega orodja. (Technology, 2001)

2.3.2.2 Proces gravitacijskega litja



Slika 10: Ulivanje tekoče zlitine v livarsko orodje z manipulatorjem

Vir: (Cimos d.d., 2018)



Slika 11: Peščena jedra pozicionirana v livarsko orodje

Vir: (Cimos d.d., 2018)

- Livarsko orodje

je izdelano v večini primerov iz spodnje in zgornje polovice, če je livni stroj vertikalno zasnovan, če pa je zasnova stroja horizontalna, se spremeni samo za kot 90° oz. postavitev orodja se nastavi na stransko odpiranje. Pri zasnovi orodja je najpomembnejša izbira ustreznih materialov, ki bodo vzdržali delo v vročem stanju in prenesla visoke abrazijske odpornosti ter preprečevali termično utrujenost materiala. Običajno je delovna trdota matric v livarskem orodju med 52 in 56 HRC s kemično sestavo C – 0,40 %, Si – 1,05 %, Mn – 0,40 %, Cr – 5,15 %, Mo, 1,35 % in V – 1,00 %. Pomembno je, da se dajo matrice, ki so temperaturno in mehansko najbolj izpostavljene, v livarskem orodju tudi nitrirati. Predvidena življenjska doba bolj zahtevnega orodja za gravitacijsko litje je pribl. 150.000 litij in je v neodvisnosti glede na število gnezd oz. ulitkov v samem orodju. (Ravne, 2018)

- Premazovanje livarskih orodij

Premazovanje livarskih orodij z livarskimi premazi je eden izmed ključnih procesov za dosego želenih kakovostnih zahtev ulitka.

Premazi so ognjeodporni delci, ki so vezani na površini kokile. Ti delci morajo ustvariti zaščito med kokilo in strjujočo se kovino. Vsak tip premaza ima različne velikosti delcev z različno toplotno prevodnostjo in z različno funkcijsko namembnostjo.

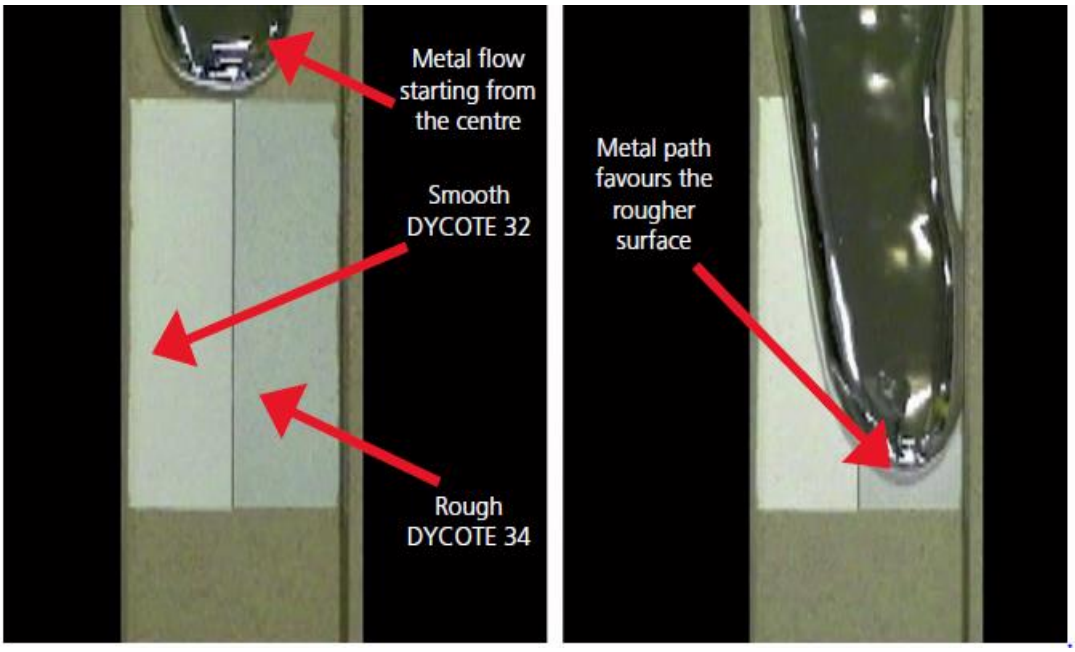
Tabela 1: Daycote premazi

Tip premaza	Velikost zrn	Razredčevanje (ionizirana voda)	Toplotna prevodnost ($Wm^{-2}K^{-1}$)	Namen uporabe
Dycote R 87	18µm	1:1 - 1:3	1303	Osnovni zaščitni premaz livarskih orodij
Dycote 36	35µm	1:3 - 1:5	2017	Grafitni premaz za drsne površine - prevodni premaz
Dycote 34 ESS	80µm	1:3 - 1:5	955	Izolacijski premaz
Dycote R39 ESS	15µm	1:3 - 1:5	996	Izolacijski premaz

Vir: (Cimos d.d., 2018)

Funkcije premazov so: podaljševanje življenjske dobe livarskega orodja, kontrolira polnjenje kovinske forme/kokile, kontrolira toplotni tok s tekoče taline na kokilo, omogoča dobro ločevanje ulitka od kokile, daje enakomerno hrapavost površinam ulitka in podmazuje vse gibajoče se dele kokile.

Debelino premaza je potrebno določiti in nadzorovati na podlagi izolacijske zahteve. Debelina nanosa premaza je 200 µm–300 µm in debelina premaza je glavni dejavnik pri izmenjavi toplote med ulitkom in livarskim orodjem v času kristalizacije oz. v času, ko talina prehaja iz tekočega v trdo stanje. (Foseco, https://www.scribd.com/, 2007)



Slika 12: Prikaz dveh različnih premazov (gladki Dycote 32 – grobi Dycote 34), na učinek livnosti zlitine

Vir: (Foseco, Coating for non ferrous metal die-casting , Edition 11/08)

Življenjska doba premaza oz. obstojnost je v veliki meri odvisna od ustrezne predhodne priprave orodja in ustreznega rokovanja s premazi. Glavni koraki so: peskanje livarskega orodja v peskalni komori (parametri: tlak 6 bar, steklene granulat/kroglice velikosti 150–250 µm); gretje livarskega orodja v grelni peči na temperaturo 220 °C, uporaba ročne lakirne pištole na komprimiran zrak (parametri: tlak 2,5 bar, priporočena razdalja med orodjem in snopom laka je 0,3 m, nanos laka se izvaja pod kotom 90°).

Metoda nadzora kakovosti nad ustreznostjo gostote premaza se izvaja z aerometrom. Merilec iz steklenega valja, ki je na eni strani obtežen z živosrebrno utežjo, da plava pokonci. Na sredini aerometra pa je skala in glede na globino potopitve se iz skale odčita numerična vrednost gostote premaza. Povprečna želena vrednost gostote premazov je 1150 g/ml. (Foseco, Coating for non ferrous metal die-casting , Edition 11/08)

- Litje pri gravitacijskem postopku

Litje pri gravitacijskem postopku se lahko izvaja z različnimi tehnologijami in to so: nagibno litje do kota 90°, karuselna litja in linearna litja. Način litja se izbira glede na predhodno

izvedene simulacije litja s programskimi orodji in izdelanimi stroškovniki, ki nato dajo odločitev za izbiro tehnologije litja.

Maloserijska produkcija se v večini primerov izvaja ročno, kar pomeni, da livar z zajemalko iz vzdrževalne peči zajema material s temperaturo pribl. 730 °C in nato polno zajemalko odnaša do livarskega stroja/orodja, kjer izliva tekočo talino v livni kanal. Ta način dela je z vidika varnosti delavca zelo nevaren, kajti livar mora z livarsko zajemalko zajemati material iz vzdrževalne peči in polno zajemalko tekoče kovine odnašati do livnega stroja oz. livarskega orodja, kjer nato tekoči material izliva v ulivne kanale kovinskega modela/kokile.

Velikoserijska produkcija ulitkov se izvaja s postavljeno avtomatizacijo, kar pomeni z livnimi avtomati ali roboti, ki sami poslužujejo livne stroje/orodja s tekočo kovino in na koncu cikla tudi izvzemajo ulitke po končani kristalizaciji iz livarskega orodja. V avtomatiziranih procesih operaterju/livarju v teh primerih ostaja samo nadzor nad delovanjem postavljene avtomatizacije in opravljanje del, kot so: vizualna kontrola kakovosti ulitka, spremljanje procesnih parametrov, izpihovanje livarskega orodja s komprimiranim zrakom, vstavljanje peščenih jeder v livarsko orodje – v primerih, ko ima ulitek dodatna peščena jedra, vstavljanje grafitnih filtrov v livarsko orodje/livni kanal, s katerim se preprečuje vnos nečistoč, oksidov in se zagotavlja lamilaren tok taline.

Za dosego dobrih rezultatov kakovosti ulitka je nujno potrebno vzpostaviti dober nadzor nad procesnimi parametri v fazi litja in ključnimi koraki:

- Temperatura livarskih orodij

Orodja so v večini primerov segreta na temperaturo 250 °C do 350 °C. Nivo temperature se lahko spremlja s prenosnimi pirometri na dotik/kontakt, ali v večini primerov s termoelementi s konicami tipal iz CrNi in z merilnim območjem od -50 °C do +600 °C, ki so vstavljeni/fiksirani v določene dele livarskega orodja in povezani preko krmilne regulacije na prikazovalnike temperaturnih regulatorjev tipa Shinko. Regulator omogoča nastavljanje želene temperature z vzporednim prikazom dejanske temperature. V primeru temperaturnega odstopanja se mora sprožiti svetlobno-zvočni signal in zaustaviti stroj/orodje, dokler se ponovno ne doseže želena delovna temperatura livarskega orodja.

- Temperatura taline v vzdrževalni peči

Temperatura taline v vzdrževalni peči ima v večini primerov 710 °C–730 °C. V uporabi je veliko različnih vrst oz. tipov vzdrževalnih talilnih peči, ki so po konstrukciji zelo različne.

Najpogosteje so v uporabi stacionarne in v določenih primerih tudi mobilne vzdrževalne peči. Nalivanje taline se v stacionarne peči izvaja z viličarjem (lahko tudi z mostnim dvigalom), kar pomeni, da se talina iz talilne peči transportira s prelivnim loncem na viličarju do vzdrževalne peči in z obračalno mizo, ki je nameščena na viličarja, preliva v vzdrževalno peč. Slabost pri tej tehnologiji prelivanja je to, da je med časom transporta možen padec temperature taline v prelivnem loncu, absorbiranje vlage iz okolice in pri večkratnih prelivanjih se ustvarjajo dodatni oksidi v talini.

Nadzor temperature v vzdrževalni peči se izvaja s termoelementi na konicah tipal iz materiala NiCr-Ni z merilnim območjem od -40 °C do +1600 °C in delovno temperaturo max. 800 °C. Tipala so preoblečena z zunanjim keramičnim plaščem tipa C799, da se zagotovi daljša obstojnost termoelementa. Pritrditev termoelementa se izvaja ob steni vzdrževalne peči. Potopljen je do najnižje točke v bazenu vzdrževalne peči in to v območju odprtine, kjer je mesto za izvzem taline z manipulatorjem in kasnejšim premikom manipulatorja tekoče litine do livarskega orodja. Prikaz temperature se izvaja preko regulatorja tip Shinko, ki je povezan s kompezacijskimi kabli s termoelementom. Regulator omogoča nastavljanje želene/predpisane temparature z vzporednim prikazom dejanske temperature. V primeru temperaturnega odstopanja na prikazovalniku se mora sprožiti svetlobno/zvočni signal in zaustaviti livni manipulator obot, dokler se ponovno ne doseže želena temperatura taline.

- Grafitni filtri

Grafitni filtri pri postopku gravitacijskega litja so postali že skoraj nepogrešljivi, pri izdelkih s kompleksnejšimi geometrijskimi oblikami. Zaradi vse večjih kakovostnih zahtev ulitkov je neizvedljivo dosegati vse kakovostne norme in zahteve brez filtrov.

Filtri so izdelani oz. so iz glavnih komponent: Al_2O_3 – aluminijev oksid, SiO_2 – silicijev oksid in grafit. V uporabi so v kvadratnih, pravokotnih in okroglih oblikah z dimenzijami glede na preseke livnih kanalov v livarskem orodju in ta je z najpogostejšo dimenzijo 50 mm x 50 mm x 25 mm. Glavni namen filtrov je preprečevanje in zadrževanje različnih nečistoč in oksidov iz taline, ki potuje po livnem kanalu v livarskem orodju v sam ulitek. Zato imajo filtri različno prepustnost z dimenzijami 10, 20, 30 PPI. Vzporedno filtri tudi uravnavajo tok taline, da je čim bolj laminaren oz. umirjen tok taline in preprečujejo nastanek turbulentnosti oz. vrtinčenja taline, ko talina potuje iz livne čaše po livnem kanalu.

Filtri so zelo krhki, zato je potrebno posebno pozornost posvečati manipulaciji in rokovanju z njimi. Veliko vlogo pri tem odigrajo operaterji v samem procesu litja, ko pred vstavitvijo izpihujejo in vstavljajo filtre v ležišče livnega kanala livarskega orodja.

- Časi kristalizacije

Časi kristalizacije so časi strjevanja ulitka v livarskem orodju, ko talina prehaja iz tekočega stanja v trdno stanje. Da se zagotavlja kakovostna ponovljivost, je nujno potrebno, da imajo vsi livarski stroji omogočen krmilni sistem, na katerem je možno izvajati avtomatsko krmiljenje zaporednih korakov delovanja stroja/orodja in kakor tudi vzporedno, da so ti koraki povezani z nastavljenimi časi odpiranja in zapiranja. Zelo pogosto se uporabljajo operacijski paneli Siemens tipa OP7, ki omogočajo vse zgoraj navedeno. Po implementaciji procesne tehnologije litja je zelo pomembno, da so parametri dostopni samo pooblaščenim osebam, ki jih imajo možnost spreminjati.

- Priprava taline

Priprava taline aluminijevih zlitin se izvaja v talilnih pečeh. Pretaljevanje trdega materiala/ingotov – nov material in povratnega materiala, ki prihaja iz samega proizvodnega procesa in se izvaja s plinskimi gorilniki, ki so vgrajeni v talilno peč. Talilne peči imajo dodan še dodaten plinski gorilnik, ki vzdržuje pretaljen tekoč material na želeni/predpisani temperaturi in ta plinski gorilnik je krmilno povezan s termoelementom, ki konstantno nadzoruje temperaturo taline v peči. Najpogosteje se za pripravo taline uporablja 50 % novega materiala – ingoti in 50 % povratnega materiala iz procesa (napajalniki in ulivni sistemi).

Naslednja faza v procesu priprave taline je degazacija taline, kar pomeni, da se izvaja v transportnem loncu s količino 400–600 kg taline mehansko in kemično čiščenje tekoče kovine – odstranjevanje iz taline nečistoč in vodika, ter modifikacija taline za dosego ugodne mikrostrukture.

Proces poteka s strojno napravo tipa MTS 1500. Na mehanizem strojne naprave je pritrjena grafitna cev, ki ima na dnu cevi pritrjen rotor – XSR 190 in ta je potopljen v talino ter se vrti s hitrostjo 460 do 720 vrt/min. Skozi palico v talino potuje inertni plin argon s pretokom 22 l/min. Mehurčki inertnega plina argona se v loncu fino razporedijo in na sebe vežejo nečistoče in vodik ter splavajo na površje, kjer jih na koncu talilec s posebnim pripomočkom/ročnim orodjem posnemalom odstrani iz taline. Čas cikla trajanja čiščenja oz. prepihovanje taline je

med 4 in 9 min. Med postopkom degazacije se dodajajo čistilne soli tipa Coveral MTS 1565 s pribl. 150 g. (Brown, 1999)

Med procesom degazacije se izvede modifikacija taline, kar pomeni, da se dodajajo kemični elementi, in to so:

- AlTi5B1 – modifikacija taline (ima vpliv na: zmanjševanje poroznosti v strukturi, povečuje mehanske lastnosti, izboljša pogoje napajanja, zmanjšuje nastanek vročih razpok in izboljša tudi zunanji vizualni izgled); (Cimos d.d., 2018)
- AlSr10 – rafinacija taline (ima vpliv na: boljšo livnost in zapolnjevanje v fazi litja, izboljša napajanje, zmanjšuje možnost nastanka poroznosti in izboljšuje lastnosti obdelovalnosti) (Cimos d.d., 2018)

3 RAZISKOVALNO DELO

3.1 Konstrukcija livarskega orodja za gravitacijsko litje

V podjetju Cimos se uporablja programsko orodje Catia za izdelavo konstrukcij livarskih orodij. Osnova za začetek izdelave konstrukcije livarskega orodja je pridobitev 3D-modela s strani kupca. Ta mora biti pred začetkom izdelave konstrukcije livarskega orodja obvezno tehnično usklajen in imeti vzporedno tudi končane rezultate simulacij litja. S simulacijami litja si predhodno nastavimo proces metalurške zdravosti ulitka s samo postavitvijo napajalnih in livnih sistemov, ki so nato osnova za metalurško zdravost ulitka. Metalurška zdravost ulitka pomeni, prehod taline / zlitine v kovinskem kalupu iz tekočega stanja v trdo stanje. V fazi ohlajanja dobi strukturo materiala po predpisani specifikaciji za posamezno litino z ustrezno natezno trdnostjo (Rm), raztezkom (A%), napetost tečenja (Rp) in trdoto (HB).

Naslednje je izbira principa delovanja livarskega orodja (vertikalno–horizontalno) z določitvijo stranskih segmentov, kar je pogojeno z delilnimi ravninami in livarskimi nakloni na 3D-modelu.

Naslednji korak pred izdelavo livarskega orodja je izbira livarskega stroja, na katerega se bo izvedlo vpenjanje orodja, kar pomeni, da je potrebno izvesti izbiro načina vpetja, način pritrditve, način menjave orodja, način nastavitve orodja in način vzdrževanja orodja na livnem stroju.

Nato se preko kataloga nomalij še izberejo standardizirani elementi orodja, kot so vodila, puše, izmetala, centrirni čepi itd. (NADCA, 2006)

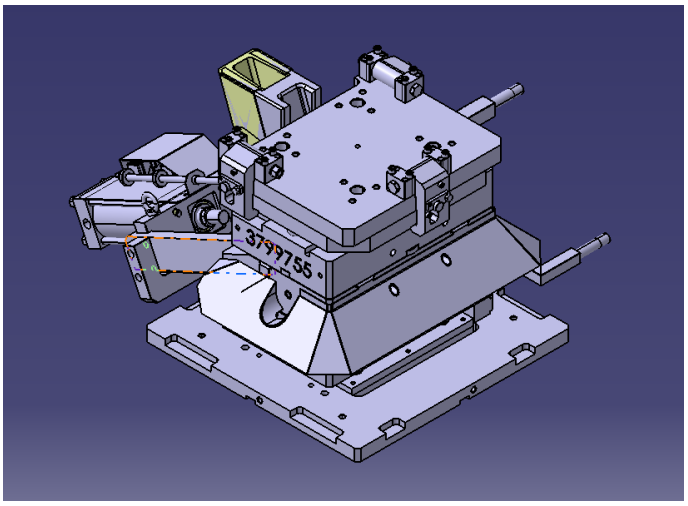
V našem primeru imamo orodno kosovnico z 52 različnimi sestavnimi elementi.

Tabela 2: Kosovnica livarskega orodja Continental

	Orodna kosovnica				
	LAMA ORODJARNA	Erjavec Albert		tel.:056690145	
	KOKILA EGR CONTINENTAL	**0 1 3 3 2 2**			
	CIMOS - MARIBOR				

POZ	NAZIV:	DIMENZIJE	MATERIAL	Št.d	Št. RISBE	DOBAVITELJ
1	OBLIKOVNI IZMETALNI VLOŽEK	180 X 193,55 X 400	1,2343	1	013322_001	MERKUR
2	OBLIKOVNI DOLIVNI VLOŽEK	180 X 107,7 X 400	1,2343	1	013322_002	MERKUR
3	NOSILEC STRANSKEGA VLOŽKA	125,1 X 145,65 X 160	1,2343	2	013322_003	MERKUR
4	OBLIKOVNO STRANSKO JEDRO	50,64 X 67,37 X 95,2	1,2343	2	013322_004	MERKUR
5	VLOŽEK OKROGLI	Ø 34,05 X 68,64	1,2343	2	013322_005	MERKUR
6	VLOŽEK ZRAK	9,87 X 13 X 15	1,2343	2	013322_006	MERKUR
7	POKROV DOLIVA 1	110 X 145,4 X 219,54	1,2343	1	013322_007	MERKUR
8	DNO DOLIVA	80 X 160 X 192,55	1,2343	1	013322_008	MERKUR
9	POKROV DOLIVA 2	116 X 130 X 250	1,2343	1	013322_009	MERKUR
10	ULIVNA ČAŠA	125 X 130 X 343	1,2312	1	013322_010	MERKUR
11	DRSNA NOSILNA PLOŠČA	70 X 192,77 X 330	1,2343	1	013322_011	MERKUR
12	VPENJALNA PODPORA	155 X 160 X 136	1,2312	1	013322_012	MERKUR
13	VPENJALNA KOSKA.	75 X 90 X 100	1,2312	1	013322_013	MERKUR
14	LETEV VODILNA DESNA	35 X 90 X 543	1,7131	1	013322_014	MERKUR
15	LETEV VODILNAL LEVA	35 X 90 X 543	1,7131	1	013322_015	MERKUR
16	VODILO	30 X 36 X 200	1,7131	2	013322_016	MERKUR
17	NOSILEC CILINDRA	40 X 115 X 354	1,2312	1	013322_017	MERKUR
18	LETEV POVEZOVALNA	40 X 150 X 500	1,2312	1	013322_018	MERKUR
19	PODPORA	30 X 30 X 327	1,2312	1	013322_019	MERKUR
20	CILINDER	CB 080036 DOGHAN	200	1		VEGA
21	MASELOT 1	Ø 68 X 143,44	1,2343	2	013322_021	MERKUR
22	OBLIKOVNI TRN	Ø 38 X 196	1,2343	2	013322_022	MERKUR
23	NOSILEC DATUMOV	18 X 34 X 134,8	1,2312	2	013322_023	MERKUR
24	PLOŠČICA	10 X 16 X 32	1,2312	2	013322_024	MERKUR
25	IGLA MESEC	Ø12 X 34	1,2343		013322_025	KERN
26	IGLA DAN	Ø 10,4 X 32	1,2343		013322_026	KERN
27	PLOŠČICA PRITRDILNA DAT	6 X 10 X 17,5	12.312	2	013322_027	MERKUR
28	VILICE	12 X 75 X 135	1,2312	1	013322_028	MERKUR
29	DROG IZMETALNI	Ø 80 X 130	1,2312	1	01322_029	MERKUR
30	PLOŠČA OKVIRNA IZMETALNA	249 X 360 X 545	1,2312	1	01322_030	MERKUR
31	PLOŠČA DOLIVNA	106 X 330 X 545	1,2312	1	013322_031	MERKUR
32	PLOŠČA VMESNA	42 X 395 X 520	11730	1	013322_032	MERKUR
33	PLOŠČA STEZNA DOLIVNA	48 X 430 X 520	1,1730	1	013322_033	MERKUR
34	PLOŠČA STEZHA IZMETALNA	38 X 700 X 700	1,1730	1	013322_034	MERKUR
35	DISTANČNIK 1	50 X 70 X 330	1,1730	2	013322_035	MERKUR
36	PLOŠČA IZMETALAN	28 X 330 X 400	1,2312	1	013322_036	MERKUR
37	PLOŠČA VPENJALNA	20 X 330 X 400	1,1730	1	013322_037	MERKUR
38	STREME	80 X 84 X 162	1,2312	3	013322_038	MERKUR
39	NOSILEC STREMENA	35 X 50 X 60	1,1730	3	013322_039	MERKUR
40	VIJAK STREMENA	Ø 30 X 182	1,2312	3	013322_040	MERKUR
41	ZAKLEP	8 X25 X 72	1,2312	3	013322_041	MERKUR
42	NOSILEC ZAKLEPA	Ø 25 X 69	1,2312	3	013322_042	MERKUR
43	VIJAK DODELAN	S 17 X 32	1,2312	3	013322_043	MERKUR
44	DISTANČNA PLOŠČICA	Ø 40 X 15	1,1191	6	013322_044	MERKUR
45	VODILO ORODJA	DUBEL Gr.4	7224_0000	3	013322_045	SONNENBERG
46	VODILNA PUŠA ORODJA	BUCHSE Gr. 4	7124_0000	3	013322_046	SONNENBERG
47	VODILO IZMETALNIH PLOŠČ	Ø24 X 120	1,7131	4	013322_047	MERKUR
48	PUŠA VODILNA IZMETALNIH PLOŠČ	Ø35 X 44	1,7131	4	013322_048	MERKUR
49	DISTANČNA PLOŠČICA	Ø18 X 3	1,1191	6	2258 H-18	KERN
50	OBLIKOVNA IGLA 1	Ø30 X 76	1,2343	2	013322_050	MERKUR
51	OBLIKOVNA IGLA 2	Ø30 X 96	1,2343	2	013322_051	MERKUR
52	IGLA ZRAČNIK 1	Ø5 X 176,8	1,2343	2	2300-5X200	KERN

Vir: (Cimos d.d., 2018)



Slika 13: Livarsko orodje za gravitacijsko litje Continental

Vir: (Cimos d.d., 2018)

Konstrukcija livarskega orodja Continental je bila izvedena za vertikalno gravitacijsko litje s stranskim gibljivim segmentom, ki ga premika hidravlični cilinder. Orodje je dvognezdno in razdeljeno na dve osnovni polovici, ki jih imenujemo zgornja polovica in spodnja polovica livarskega orodja.

Spodnja polovica livarskega orodja je pritrjena na spodnji del livarskega stroja in ima izmetalni sistem, ki je povezan s hidravličnim sistemom, ki omogoča, da s silo hidravlike izmetava ulitke iz livarskega orodja. V okvirju osnovne spodnje polovice orodja so vstavljene matrice, ki dajo ulitku geometrijsko obliko. Zraven matric je v okvirju livni kanal s priklopi oz. dolivki, po katerih potuje tekoča talina v matrico.

Zgornja polovica livarskega orodja je pritrjena na zgornjo polovico livarskega stroja s posebno vpenjalno ploščo in kovinskimi zaklepi. V zgornji polovici orodja ni izmetalnega sistema, ampak so odzračevalni sistemi, ki preprečujejo zadrževanje škodljivih plinov v livarskem orodju v času ulivanja oz. kristalizacije. S tem se zmanjšuje nastanek raznih vrst poroznosti, ki se akumulirajo v času polnjenja kovinskega kalupa. Okvir zgornje polovice orodja ima zraven matric še napajalni sistem, ki v času kristalizacije hrani ulitek in ulivni sistem s priklopi oz. dolivki, po katerih potuje tekoča talina v matrico.

Pri konstrukciji livarskega orodja je zelo pomembno upoštevati naslednje geometrijske tolerance, ki imajo zelo velik vpliv na kakovost izdelka.

- upoštevati predviden skrček aluminija pri strjevanju 0,7 %,

- širjenje orodja za delo v vročem, ki je pribl. 0,12 %,
- premazovanje livarskih orodij v gravitacijskem litju z izolativnimi in ločilnimi laki, ki dosegajo debelino 0,2 mm,
- izločilni koti v gravuri orodja min. 1,5° – 3°,
- trdota vseh površin livarskega orodja, ki so neposredno v stiku s tekočo talino, mora imeti do 56 HRc z možnostjo nitriranja. Uporabljajo se materiali za delo v vročem tipa H13.

Pri zasnovi orodja je najpomembnejša izbira ustreznih materialov, ki bodo vzdržali delo v vročem stanju in prenesla visoke abrazijske odpornosti ter preprečevale termično utrujenost materiala. Običajno je delovna trdota matric v livarskem orodju max. 56 HRc s kemično sestavo C – 0,40 %, Si – 1,05 %, Mn – 0,40 %, Cr – 5,15 %, Mo, 1,35 % in V – 1,00 %. Pomembno je, da se dajo matrice, ki so temperaturno in mehansko najbolj izpostavljene, v livarskem orodju tudi nitrirati. Predvidena življenjska doba bolj zahtevnega orodja za gravitacijsko litje je pribl. 150.000 litij in je v neodvisnosti glede na število gnezd oz. ulitkov v samem orodju. (Ravne, 2018)

3.1.1 Konstrukcija napajalnega sistema

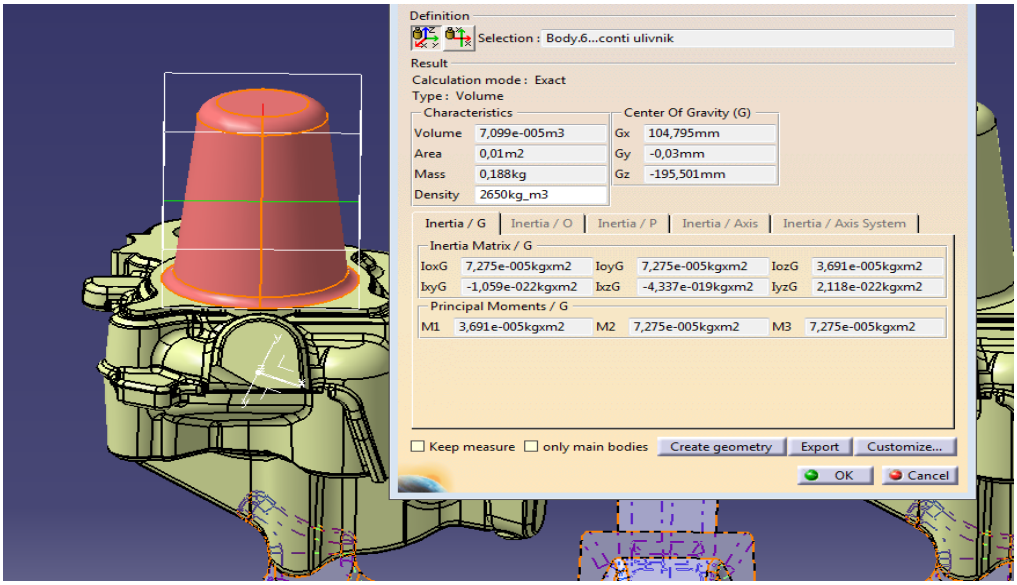
Glavni namen napajalnega sistema je, da zagotovi »hranjenje« ulitka v fazi, ko ta prehaja iz tekočega stanja v trdo stanje in v tem prehodu prihaja do krčenja oz. skrčka v trdem stanju. Krčenje aluminijevih zlitin znaša 6 do 8 % glede na volumen ulitka in je povezano s temperaturo in gostoto posamezne zlitine. Naloga napajalnega sistema je, da tekočo talino zadržuje čim dalj časa v tekočem stanju, med zadrževanjem tekoče taline v napajalnem sistemu se mora ulitek v kalupu strditi po njegovi celotni geometriji. Zraven pa še absorbira pline, ki nastajajo v fazi litja. V najvišjo točko ulitka (v napajalnik) splavajo vsi oksidi in žlindra. S tem dosežemo dobro kakovost ulitka, brez napak v sami strukturi materiala (poroznosti, toplotne razpoke).

Glede na dizajn in geometrijo ulitka je potrebno določiti oz. izbrati mesto, kjer bo postavljen napajalni sistem. Najpogosteje se uporabljajo centralni napajalni sistemi, ki so postavljeni na vrhu ulitka in hranijo ulitke s silo lastne teže oz. gravitacije.

Dimenzioniranje centralnega napajalnega sistema je predvsem odvisno od tega, koliko dovoljujejo same površine na zgornji ploskvi ulitka z upoštevanimi nagibnimi koti, ki v

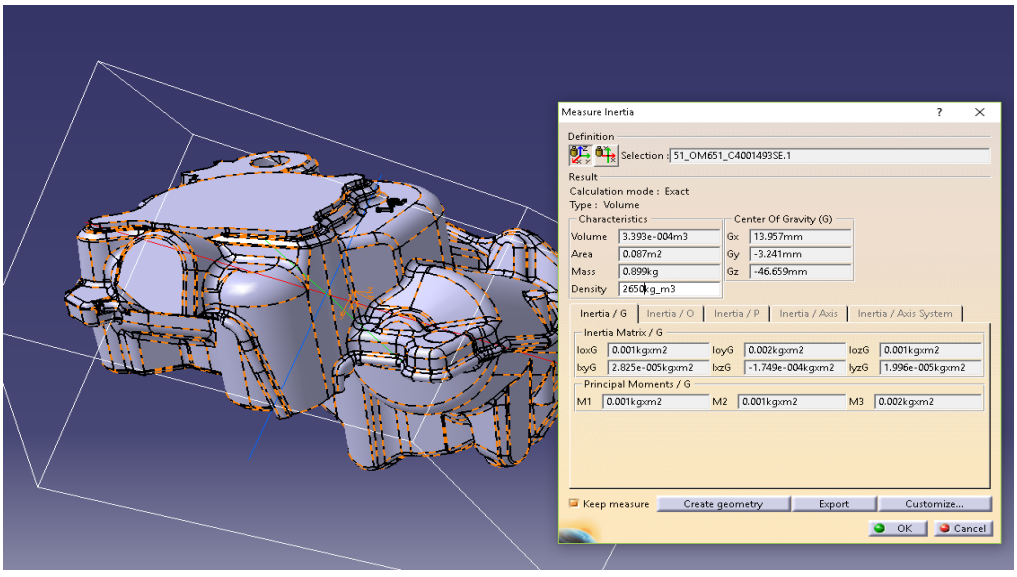
strjenem stanju omogočajo izvlek ulitka iz napajalnega sistema. Predvsem je pomembno, da nagibni koti niso manjši od 3°. V teh primerih lahko pride do mehanskih poškodb keramike ali hitrejše obrabe izolativnih lakov, če so napajalci iz kovine.

V našem primeru je masa napajalnika 0,188 kg in masa ulitka 0,899 kg. Razmerje med maso ulitka in maso napajalnika je 20,91 %.



Slika 14: Masa napajalnika

Vir: (Cimos d.d., 2018)



Slika 15: Masa ulitka

Vir: (Cimos d.d., 2018)

Konstrukcijska sprememba na livarskem orodju iz kovinskega napajalnega sistema v keramičen napajalni sistem je bila izvedena na način, da so se morale uporabiti obstoječe dimenzije in premeri, ki so bili uporabljeni že za kovinski napajalni sistem. Zaradi drugih sestavnih sklopov, ki so del livarskega orodja, je bilo neizvedljivo posegati po konstrukcijski spremembi v samem livarskem orodju.

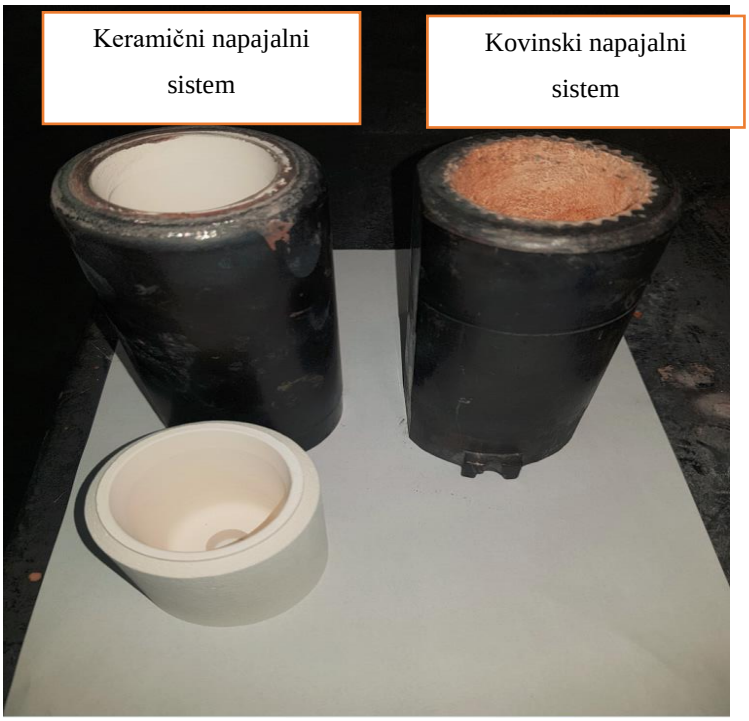
Glavno vprašanje pri dizajniranju keramičnega napajalnega sistema je bilo, kako zavarovati keramiko pred mehanskimi poškodbami in tresljaji, ko se izvaja proces litja in tudi, ko se izvajajo redna čiščenja livarskih orodij. Vzporedno pa je bilo potrebno še poiskati rešitev za fiksiranje in izdelati na vrhu keramičnega napajalnega sistema sistem za odzračiti plinov, ki se v času litja in kristalizacije akumulirajo v napajalniku.

Izdelava oblikovnih keramičnih vložkov je potekala v sodelovanju s podjetjem Foseco – Feal Inženiring. Na podlagi naših dimenzijskih zahtev je podjetje Foseco izbralo vrsto oz. tip keramike ter izpeljalo izdelavo modelnih kalupov za izdelavo namenskih keramičnih napajalnikov.

V našem podjetju smo konstrukcijsko razrešili zunanjo zaščito, ki bo preprečevala mehanske poškodbe keramike, fiksiranje oz. pritrditev v livarsko orodje in postavitev sistema odzračevanja na vrhu napajalnika.

Za zaščito keramike se je izdelala kovinska puša iz materiala Č.4732 z debelino 5 mm. Puša ima na vrhu potrditvena ušesa, na spodnji strani notranje strani, kjer je vstavljena keramika, pa je obojestranska oblikovna povezava, s katero se preprečuje zatekanje tekoče taline med keramiko in kovinsko zaščito. Do polovice kovinske zaščite je vstavljen keramičen vložek v drugi polovici kovinske zaščite, pa je vstavljen kovinski nastavek, ki keramiki preprečuje premik navzgor. V sredino je vstavljen zračnik Ø 12 mm s sprostitvami 1,5 mm 6 x 40°. Vsi deli so bili izdelani v naši orodjarni.

Na spodnji sliki je prikaz primerjave med keramičnim in kovinskim napajalnim sistemom. Slika na levi prikazuje keramičen napajalni sistem z vložkom keramike, ki je vstavljen v kovinsko zaščito. Na levi je kovinski napajalnik, ki je v notranjosti (rjava barva) premazan z livarskim izolativnim lakom, debeline 2 mm.



Slika 16: Primerjava keramični – kovinski napajalni sistem

Vir: (Cimos d.d., 2018)

Na slikah 17 in 18 je prikaz (rdeče obarvano), odzračevalnega sistema. Na vrhu keramičnega in kovinskega napajalnika je v sredino vstavljen zračnik, ki ima stranske sprostitve, kjer potuje plin v fazi strjevanja oz. prehajanja taline iz tekočega v trdo stanje. S tem se prepreči zadrževanje plinov, ki bi povzročali razne mikro poroznosti v samem ulitku.



Slika 17: Keramični napajalni sistem

Vir: (Cimos d.d., 2018)



Slika 18: Kovinski napajalni sistemi

Vir: (Cimos d.d., 2018)

3.2 Simulacija litja s programskim orodjem ProCAST

Za izvajanje pravilne simulacije in dosego čim bolj natančnih izhodnih podatkov, so glavnega pomena podatki, ki jih vstavimo v programsko orodje. Če tehnološki podatki niso ekvivalent dejanskemu procesu, ki ga v praksi izvajamo, potem nam simulacija ne bo pokazala rezultatov dejanskega stanja z morebitnimi območji različnih napak metalurške zdravosti ulitka. Kot so razne makro in mikro poroznosti.

Razlika pri podatkih, ki so bili vstavljeni v programsko orodje za izdelavo simulacij, je bila v našem primeru samo pri uporabi različnih materialov napajalnega sistema (kovina – keramika). Ta razlika se odraža pri vstavljanju v programskem orodju ProCAST – upravljanje procesnih pogojev pri izbiri tipa prevodnosti toplote za ulivnik / kokila, da se ta izračunava oz. se upošteva kot kontakt z ulitkom in preko prevodnosti segrevajo livarsko orodje, ta pa se na zunanjih površinah ohlaja zaradi temperature zraka oz. delovnega prostora, ki se upošteva z 20 °C. (Cimos d.d., 2018)

3.2.2 Simulacija litja za ulitek Continental

3.2.2.1 Kovinski napajalni sistem

- Volumski parametri – vsebujejo podatke vrste uporabljenega materiala oz. zlitine. Ta je v našem primeru zlitina AlSi10Mg z livno temperaturo litja 740 °C in uporabo

grafitnega filtra s prepustnostjo 20PPI in z upoštevano notranjo temperaturo 40 °C. Vsi materiali livarskega orodja so pri tej simulaciji iz jekla tipa H13 z delovno temperaturo 350 °C.

Tabela 3: Volumski parametri za simulacijo ulitka Continental – kovinski napajalni sistem

Volumski parametri			
naziv	**vrsta**	**material**	**notranja temperatura**
Ulivnik	Zlitina	EN AC-43100 AlSI10Mg	740°C
Odlitek	Zlitina	EN AC-43100 AlSI10Mg	740°C
Cedilka	Filter	20PPI	40°C
Kokila	Kalup	Steel H13	350°C

Vir: (Cimos d.d., 2018)

- Prenos toplote – se odraža med ulivnikom, napajalnikom, cedilko, peščenim jedrom, odlitkom in kokilo. Kar pomeni, da temperatura pri litju prehaja iz ulitka v ulivni sistem, napajalni sistem in na kokilo. V simulaciji je upoštevana prevodnost 1000 W/m2*K, kar je v programskih nastavitvah izbor za jeklo.

Tabela 4: Parametri prenos toplote za simulacijo ulitka Continental – kovinski napajalni sistem

Prenos toplote		
naziv	**vrsta**	**stanje vmesnika**
Ulivnik_cedilka	EQUIV	.....
Odlitek_cedilka	EQUIV	.....
Jedro_kokila	COINC	h=300 W/m^2*K
Ulivnik_kokila	COINC	h=1000 W/m^2*K
Odlitek_kokila	COINC	h=1000 W/m^2*K
Cedilka_kokila	COINC	h=1000 W/m^2*K
Napajalnik_kokila	COINC	h=1000 W/m^2*K

Vir: (Cimos d.d., 2018)

- Procesni parametri – pri parametrih toplote se upošteva, kateri deli so v kontaktu z ulitkom in preko prevodnosti segrevajo kokilo, ta pa se na zunanjih površinah ohlaja.

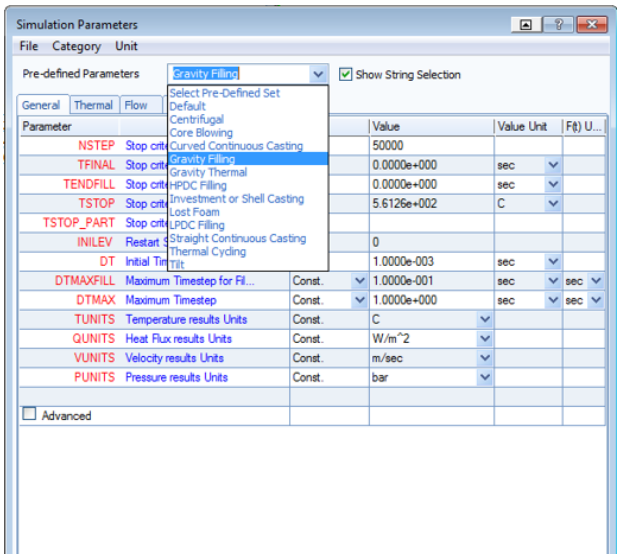
Preko parametra hitrost se definira presek ulivanja v kokilo oz. presek ulivnega kanala. Pri premazih pa so vstavljeni podatki, na katerih površinah se uporablja livarski premaz.

Tabela 5: Procesni parametri za simulacijo ulitka Continental – kovinski napajalni sistem

Procesni parametri			
Vrsta	**Identiteta**	**Mejni pogoji**	**Površina (mm2)**
Toplota	Ulivnik	Hlajenje z zrakom T=20°C	Prosta površina
	Kokila		
	Napajalnik		
Jedro	jedro_kokila	T=40°C	27.000,00
Hitrost	Hitrost 1	Hitrost 46	236,27
Premazi na orodju_1	ulivnik_kokila	Dycote R87	289.316,76
	napajalnik_kokila		
	odlitek_kokila		
	cedilka_kokila		
Premazi na orodju_2	Premaz 2	Hydro Blanc	104.145,19

Vir: (Cimos d.d., 2018)

- Simulacijski parametri – pri teh nastavitvah se izbere tehnologija litja, ki je v našem primeru gravitacijsko litje



Slika 19: Parametri za simulacijo ulitka Continental – kovinski napajalni sistem

Vir: (Cimos d.d., 2018)

3.2.2.2 Keramičen napajalni sistem

- Volumski parametri – vsebujejo podatke vrste uporabljenega materiala oz. zlitine. Ta je v našem primeru zlitina AlSi10Mg z livno temperaturo litja 740 °C in uporabo grafitnega filtra s prepustnostjo 20PPI in z upoštevano notranjo temperaturo 40 °C. Vsi materiali livarskega orodja so pri tej simulaciji iz jekla tipa H13 z delovno temperaturo 350 °C.

Tabela 6: Volumski parametri za simulacijo ulitka Continental – keramičen napajalni sistem

Volumski parametri			
naziv	**vrsta**	**material**	**notranja temperatura**
Ulivnik	Zlitina	EN AC-43100 AlSI10Mg	740°C
Odlitek	Zlitina	EN AC-43100 AlSI10Mg	740°C
Cedilka	Filter	20PPI	40°C
Kokila	Kalup	Steel H13	350°C

Vir: (Cimos d.d., 2018)

- Prenos toplote – se odraža med ulivnikom, napajalnikom, cedilko, odlitkom in kokilo. Kar pomeni, da temperatura pri litju prehaja iz ulitka v ulivni sistem, napajalni sistem in na kokilo. V simulaciji je upoštevana prevodnost 1000 W/m2*K, kar je v programskih nastavitvah izbor za jeklo za površine, ki so iz jekla in upoštevana prevodnost za keramiko z 200 W/m2*K za uporabo, oz. površine napajalnega sistema.

Tabela 7: Parametri prenos toplote za simulacijo ulitka Continental – keramičen napajalen sistem

Prenos toplote		
naziv	**vrsta**	**stanje vmesnika**
Ulivnik_cedilka	EQUIV	.....
Odlitek_cedilka	EQUIV	.....
Jedro_kokila	COINC	h=300 W/m^2*K
Ulivnik_kokila	COINC	h=1000 W/m^2*K
Odlitek_kokila	COINC	h=1000 W/m^2*K
Cedilka_kokila	COINC	h=1000 W/m^2*K
Napajalnik_kokila	COINC	h=200 W/m^2*K

Vir: (Cimos d.d., 2018)

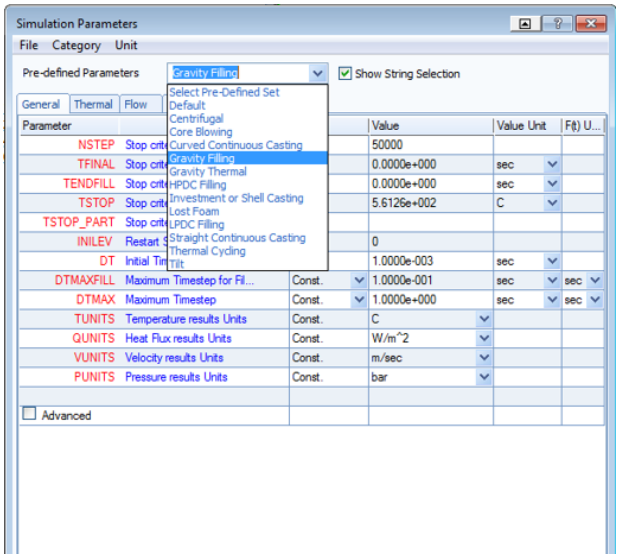
- Procesni parametri – pri parametrih toplote se upošteva, kateri deli so v kontaktu z ulitkom in preko prevodnosti segrevajo kokilo, ta pa se na zunanjih površinah ohlaja. Preko parametra hitrost se definira presek ulivanja v kokilo oz. presek ulivnega kanala. Pri premazih pa so vstavljeni podatki, na katerih površinah se uporablja livarski premaz.

Tabela 8: Procesni parametri za simulacijo ulitka Continetal – keramičen napajalni sistem

Procesni parametri			
Vrsta	**Identiteta**	**Mejni pogoji**	**Površina (mm2)**
Toplota	Ulivnik	Hlajenje z zrakom T=20°C	Prosta površina
	Kokila		
	Napajalnik		
Hitrost	Hitrost 1	Hitrost 46	236,27
Jedro	jedro_kokila	T=40°C	27.000,00
Keramika	napajalnik_kokila	Keramika	50.000,00
Premazi na orodju_1	ulivnik_kokila	Dycote R87	289.316,76
	odlitek_kokila		
	cedilka_kokila		
Premazi na orodju_2	Premaz 2	Hydro Blanc	104.145,19

Vir: (Cimos d.d., 2018)

- Simulacijski parametri – pri teh nastavitvah se izbere tehnologija litja, ki je v našem primeru gravitacijsko litje.

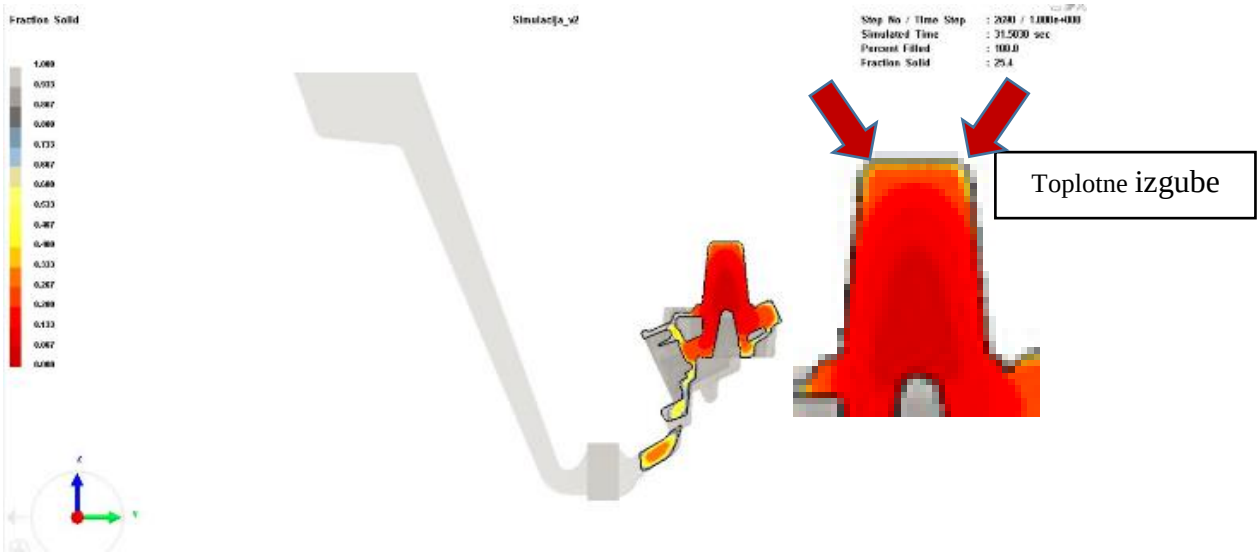


Slika 20: Parametri za simulacijo ulitka Continental – keramični napajalni sistem

Vir: (Cimos d.d., 2018)

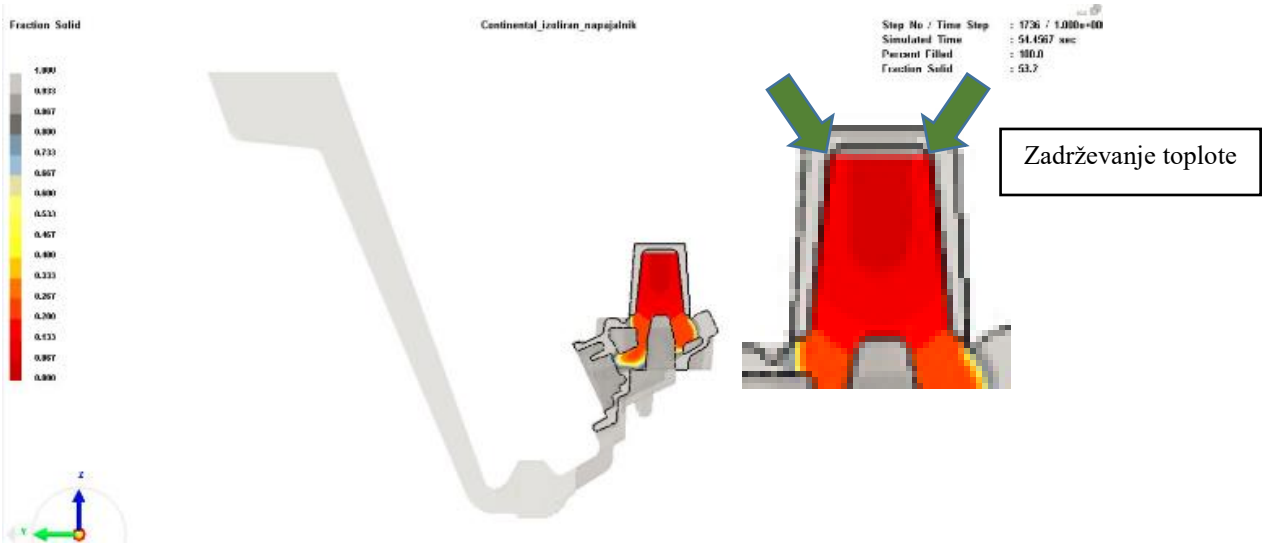
3.2.2.3 Rezultati simulacije litja

Simulacija litja s kovinskim napajalnikom (slika št.21) nam izkazuje fazo strjevanja v časovni enoti 25 sekund, kar pomeni, da po zapolnitvi forme s tekočo talino ta prehaja po preteko 25 sekund v zunanjih območjih napajalnika v trdo stanje. Simulacija litja s keramičnim napajalnikom (slika št. 22) nam izkazuje fazo strjevanja v časovni enoti 53 sekund, kar pomeni, da po zapolnitvi forme s tekočo talino ta prehaja po preteko 53 sekund v notranjih območjih v trdo stanje. Razlika med simulacijama je ta, da pri kovini zaznavamo velike toplotne izgube skozi napajalnik na livarsko orodje, kar na spodnji sliki 21. zaznavamo z rumeno obarvano cono, katera pomeni prehod iz tekočega v trdo stanje. Pri keramičnem napajalniku slika 22. pa zaznavamo, da zunanje površine max. zadržujejo prehod toplote na livarsko orodje in ima usmerjeno strjevanje navznoter ulitka v smeri največje mase ulitka in to je napajalnik. Glavni učinek, ki nam prikazuje simulacija je ta, da se časovna premica strjevanja pri keramiki podaljša za več kot 100% (25 sekund kovina, 53 sekund keramika).



Slika 21: Rezultati simulacije – kovinski

Vir: (Cimos d.d., 2018)



Slika 22: Rezultati simulacije – keramični

Vir: (Cimos d.d., 2018)

3.3 Priprava procesa

3.3.1 Priprava taline

Priprava taline je potekala v naslednjih korakih:

- Za pripravo taline se je uporabila plinska peč Botta s kapaciteto 450 kg pretaljenega materiala na uro.
- Za taljenje se je uporabila zlitina AlSi10 Mg.
- Šaržiranje novega in povratnega materiala je bilo v razmerju 50 % novega - 50 % povratnega (250 kg novega in 250 kg povratnega).
- Temperatura taljenja je bila nastavljena na 770 °C +/- 10 °C.
- Za transport taline se je uporabil prelivni lonec z vložkom Insural, ki preprečuje padec temperature. Lonec je bil predhodno ogret na temp. 460 °C na napravi s plinskim gorilnikom. Iz peči Botta se je izlilo v prelivni lonec 500 kg tekočega materiala s temperaturo 773 °C.
- Degazacija taline je potekala pod impelerjem znamke Foseco tipa MTS 1500. Talina se je prepihovala z inertnim plinom argonom čistosti 5.0, čas prepihovanja je bil 9 min x 22 l/min s hitrostjo vrtenja rotorja 460 obrt/min in v fazi vorteksa 720 obrt/min. Dodana je bila še čistilna sol tipa Coveral 1565 – s količino 150 g. Za modifikacijo taline je bil dodan Ti5B1 s količino 0,6 kg in za rafinacijo taline je bil dodan Sr10 s količino 0,2 kg.

- Transport taline do vzdrževalne peči na liniji litja se je izvajal z viličarjem.



Slika 23: Talilna plinska Peč Botta

Vir: (Cimos d.d., 2018)



Slika 24: Prelivni lonec za transport taline, ki se izvaja z viličarjem

Vir: (Cimos d.d., 2018)



Slika 25: MTS degazator – naprava za čiščenje taline z inertnim plinom argon

Vir: (Cimos d.d., 2018)

3.3.2 Priprava livarskega orodja

- Vzporedno sta se pripravili dve livarski orodji in to je orodje št. 5 in orodje št. 6. V orodje št. 5 smo vstavili keramična napajalca, v orodje št 6 smo vstavili kovinska napajalca.
- Livarski orodji sta bili v peskalni komori speskani s steklenim granulatom, da smo odstranili stare iztrošene livarske lake. Pred začetkom nanosov livarskih lakov je bilo orodje segreto na temperaturo 208 °C.

Nanos lakov na livarsko orodje je bil izveden z naslednjimi livarskimi laki:

- Dycote R87 – osnovni zaščitni premaz z gostoto 1070 g/ml in z debelino nanosa 50 µm, ki se je izvajal z ročno brizgalko;
- Dycote D6ESSB – izolativni lak z gostoto 1150 g/ml in z debelino nanosa 120 µm, ki se je izvajal z ročno brizgalko;

- Daycote 36 – ločilni lak z gostoto 1100 g/ml in z debelino nanosa 30 µm, ki se je izvajal z ročno brizgalko:
- Hydroblanc – izolativni lak (za lakiranje ulivnih in napajalnih sistemov; na orodju št. 5, kjer je keramika, se lakiranje v napajalnih sistemih ni izvajalo) z gostoto 1250 g/ml in z debelino nanosa 1,5 mm, nanos laka se je izvajal s čopičem.



Slika 26: Ročno peskanje livarskega orodja – injektorska pištola na komprimiran zrak z steklenimi granulami

Vir: (Cimos d.d., 2018)



Slika 27: Premazovanje livarskega orodja z livarskimi premazi

Vir: (Cimos d.d., 2018)

3.3.3 Priprava linije litja

- Litje se je izvajalo na avtomatski liniji litja, kjer imamo električno stacionarno pokrovno vzdrževalno peč za talino s kapaciteto 500 kg. Prenos taline iz vzdrževalne peči do livarskega orodja se je izvajal s horizontalnim manipulatorjem, na katerem je pritrjena keramična zajemalka za izvajanje litja. Po vsakem končanem izlivu taline iz keramične zajemalke v livarsko orodje – kalup manipulator odpelje do mesta, kjer se s komprimiranim zrakom avtomatsko izpihuje keramična zajemalka z ostanki prijetih delcev aluminija na zajemalko.

Potek litja se je sočasno izvajal na dveh livarskih orodjih (keramični in kovinski napajalniki) oz. dveh livarskih livnih postajah.

Pred začetkom litja sta se obe livarski orodji segreli z namenskim plinskim gorilcem, na začetno temperaturo zgornja polovica orodja 382–383 °C in spodnja polovica orodja na 381 °C–391 °C. Temperatura taline je bila pred začetkom litja 714 °C.



Slika 28: Avtomatski manipulator za transport taline v keramični zajemalki. Odjem taline iz vzdrževalne peči do livarskega orodja z izlivanjem taline v livni kalup livarskega orodja

Vir: (Cimos d.d., 2018)



Slika 29: Livarsko orodje z ulitkov v strjenem stanju v spodnji polovici orodja v fazi izmetavanja ulitka iz gravure

Vir: (Cimos d.d., 2018)

3.3.4 Izvajanje litja

Potek litja se je izvajal s polivalentno usposobljenim livarjem. Čas litja oz. produkcij ulitkov je bil v I. izmeni 8 ur. Izdelali smo 292 kosov, od tega so bili 4 kosi izmet, kar pomeni 288 dobrih kosov. Med izvedbo litja ni bilo prisotnih nobenih daljših zastojev, ki bi vplivali na deviacijo procesnih parametrov.

Livar je izvajal naslednje zaporedne postopke, po vsakem izvzemu grozda z ulitkoma iz posameznega livarskega orodja.

- Z zračno pištolo na komprimiran zrak s tlakom 6 bari je pribl. 15 sekund izpihoval ostanke trdih delcev iz livarskega orodja (ostanki jeder in aluminija), nato je vstavil peščeno jedro v pozicionirne odprtine oz. marke na orodju. Jedra so bila predhodno premazana z livarskim alkoholnim premazom TENOSIL in določene površine še z namenskim hladilnim premazom MOLDCOTE 13. Na koncu pa še posušena v sušilni elektro peči 20 min na 160 °C. Naslednji korak je bilo vstavljanje grafitnega filtra s prepustnostjo 20PPI v poseben sedež v livnem kanalu. Za tem korakom je ponovil postopek izpihovanja na spodnji polovici orodja in s tem končal vse korake pred vklopom stikala za avtomatski cikel (ki pa zajema delovanje stroja in manipulatorja).

Livar je moral na vsako uro osveževati izolativni lak Hydroblanc v kovinskih napajalnikih. Kar pomeni, da je vsako uro s čopičem nanesel nov lak, z debelino pribl. 1 mm. Razlog dodatnega nanosa laka je, da pri odpiranju orodja, ko ulitek odstopi od izolativnega laka, prihaja do mehanske obrabe oz. se izolativni lak lušči od stene napajalnika. S tem smo zagotovili boljšo in daljšo temperaturno zadrževanje tekoče taline v napajalniku, kar pomeni, da smo s tem zadrževali konstantne pogoje.

Po vsakem izvzemu ulitkov iz livarskega orodja je bil izveden s strani livarja tudi vizualni pregled na vizualne napake zunanjih površin ulitka.

3.4 Kazalniki kakovosti ulitka

3.4.1 Pregled kvalitete po posameznem procesu

3.4.1.1 Priprava taline

- Kemične analize so se naredile na spektrometru tipa TRD. Izdelane so bile 2 x pred preizkusom vzorca kemične analize iz talilne peči in zadnje jemanje vzorca je bilo iz prelivnega lonca pred prelitjem v vzdrževalno peč. Končni rezultati kemične analize za zlitino AlSi10Mg so bili po posameznem kemičnem elementu naslednji, Si – 9,97 %, Fe – 0,127 %, Cu – 0,062 %, Mg – 0,3996 %; Ti – 0,1089 % in Sr – 0,02 %)

Program: AL-20 27.07.2018 06:27:18
Comment: Al/Si-alloys PC.CIMOS , MB SPECTROLAB No. 10995/99
Average (n=1) Elements: Concentration

Sample No: 415_S_VZD_CONTI Quality: CONTINENTAL
Sample Id: KK Project:

	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Zn %	Ni %	Cr %	Pb %	Sn %	Ti %	Be %
⊻	9.00				0.3500							
x	9.97	0.1270	0.0622	0.0423	0.3996	0.0123	<0.0050	0.0016	<0.0010	<0.0010	0.1089	<0.0005
⊼	11.00	0.550	0.1000	0.4500	0.4500	0.1000	0.0500		0.0500	0.0500	0.1500	

	Bi %	Ca %	Na %	P %	Sb %	Sr %	Zr %	Co %	Al %
⊻									
x	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	<0.0010	0.0200	<0.0050	<0.0010	<89.3
⊼									

Slika 30: Kemična analiza

Vir: (Cimos d.d., 2018)

- Analiza naplinjenosti taline se je izvajala na napravi vacum test IDECO. Postopek za izvajanje jemanja vzorcev je naslednji:
    - Z zajemalko smo talino brez oksidnih kožic odlili v lonček za strjevanje, lonček pa je bil predhodno na temperaturi okolice.
    - Lonček 1 smo postavili v ležišče vakumske naprave in takoj pritisnili na gumb za aktiviranje vakumske črpalke (programski čas strjevanja je bil 4 min, in pod pritiskom 80 mbar).
    - Lonček 2 se je naravno strjeval.
    - Tehtanje vzorcev v merilni napravi in odčitavanje numeričnega rezultata iz displeja merilne naprave, razlike med gostoto vakumsko in naravno strjevanim vzorcem.

Formula za izračun naplinjenosti je $DI = \frac{\rho n - \rho v}{\rho n} \times 100\ (\frac{kg}{dm^3})$

kjer je;

ρn – gostota naravno strjevanega vzorca

ρv – gostota vakumsko strjevanega vzorca

DI – diferenca/razlika med gostoto naravno in vakumsko strjevanim vzorcem

Vzorci so se jemali vsake 2 uri iz vzdrževalne peči na liniji litja. Indeks naplinjenosti se je gibal v povprečju z naplinjenostjo 3 z variacijskim razmikom 0,5.

Tabela 9: Indeks naplinjenosti taline

Postavka / čas	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	average	min	max	VR
Indeks naplinjenosti	3.2		3.1		3.4		3.6		3	3.1	3.6	0.5
Zaporedna št. Šarža litja	415		415		415		415					

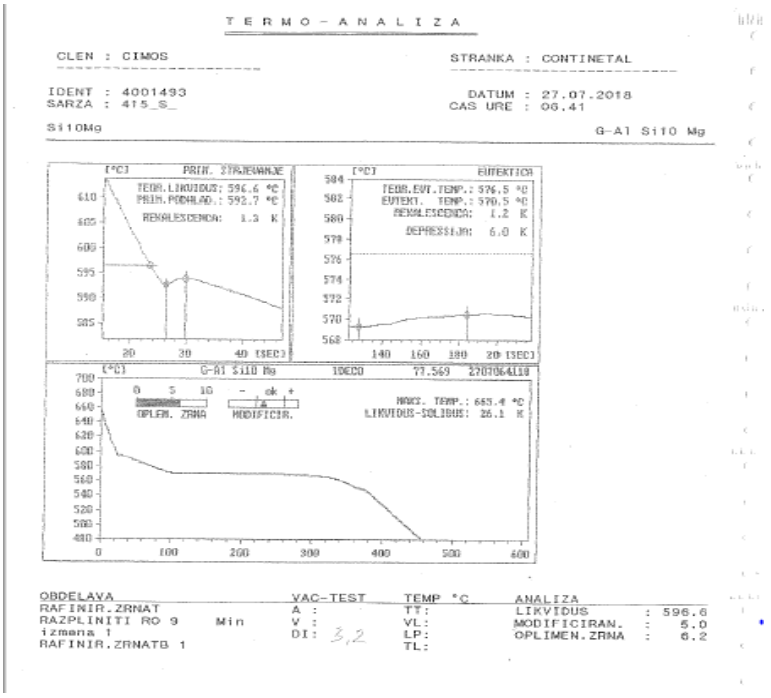
Vir: (Cimos d.d., 2018)

- Termo analiza / mobilni merilni aparat IDECO – meritev stopnje oplemenitenja zrna in stopnje modifikacije taline se je izvedla iz same vzdrževalne peči na liniji litja s

temperaturo 718 °C. Talino smo ulili v jekleni lonček, ki je bil predhodno premazan z izolativnim livarskim premazom. Lonček se je postavil na merilno, kjer se z termoelementom tipa NiCrNi avtomatsko odčitava ohlajevalna krivulja. (IDECO, 2018)

Na spodnji sliki je prikazana ohlajevalna krivulja s časom ohlajenja v odvisnosti od temperature. Rezultati izmerjenih vrednosti pri stopnji oplemenitenja – primarno strjevanje so bili T_L – 596,6 °C, T – primarno ohlajanje 592 °C in rekalescenca 1,3 K. Evtetska reakcija T_{TE} – 576 °C, T_E – 570 °C in rekalescenca 1,2 K. Depresija, zmanjšanje evtektične temperature s 6 °K je prikaz modifikacije.

Rezultati termične analize nam izkazujejo, da smo imeli ustrezno stopnjo oplemenitenja in modifikacije taline. Prikaz na siki: stopnja oplemenitenja zrna, skala nad 5. Modifikacija taline skala v območju OK.



Slika 31: Termo analiza – izpis iz naprave IDECO – krivulja ohlajanja z stopnjo oplemenitenja zrna in stopnjo modifikacije taline

Vir: (Cimos d.d., 2018)

- Spremljanje temperature taline v vzdrževalni peči – v času produkcije smo spremljali temperaturo taline z odčitavanjem temperature s prikazovalnika ter vpisom v kontrolno karto.

Gibanje temperature je bilo v času litja v povprečju na 713 °C. Minimalna temperatura je bila na 710 °C in maksimalna je bila na 718 °C. Variacijski razmik med minimalno in maksimalno temperaturo je bil 8 °C.

Tabela 10: Temperature litja

Vzdr. peč	**6:00**	**7:00**	**8:00**	**9:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**povprečje**	**min**	**max**	**VR**
Temp. Taline	713	718	711	718	712	710	710	713	713	710	718	8

Vir: (Cimos d.d., 2018)

3.4.1.2 Priprava livarskih orodij

- Spremljanje temperatur livarskega orodja – gibanje temperatur posameznega livarskega orodja je bilo naslednje. Orodja št 6 – kovinski napajalnik v povprečju je bila temperatura na spodnji polovici orodja 387 °C in povprečna temperatura na zgornji polovici je bila 399 °C, variacijski razmik med minimum in maksimum temperature je bil na spodnji polovici 24 °C in na zgornji polovici orodja 32 °C.

Orodje št. 5 – keramičen napajalnik, v povprečju je bila temperatura na spodnji polovici orodja 377 °C in povprečna temperatura na zgornji polovici je bila 395 °C, variacijski razmik med minimum in maksimum temperaturo je bil na spodnji polovici 10 °C in na zgornji polovici orodja 21 °C.

Tabela 11: Temperature orodja št. 6 – kovinski napajalnik

Orodje št. 6 (kovina)	**6:00**	**7:00**	**8:00**	**9:00**	**10:00**	**11:00**	**12:00**	**13:00**	**povprečje**	**min**	**max**	**VR**
Temp. orodja zg. polovica	382	387	396	403	404	390	414	413	399	382	414	32
Temp. orodja sp. polovica	391	371	381	386	393	384	392	395	387	371	395	24

Vir: (Cimos d.d., 2018)

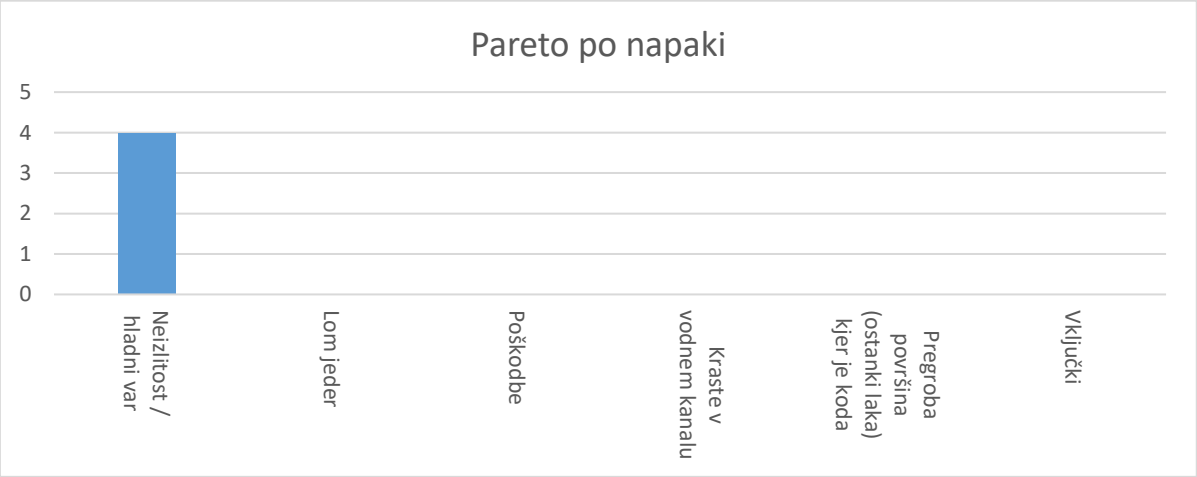
Tabela 12: Temperature orodja št. 5 – keramični napajalnik

Orodje št. 5 (keramika)	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	povprečje	min	max	VR
Temp. orodja zg. polovica	383	387	389	394	404	401	402	400	395	383	404	21
Temp. orodja sp. polovica	381	374	376	382	379	374	372	375	377	372	382	10

Vir: (Cimos d.d., 2018)

3.4.1.3 Poročilo o izmetu na litju

Na litju smo imeli v času produkcije 4 kose izmeta na napako neizlitost in to v času zagonov oz. prvih litij na začetku in takoj po malici.



Graf 1: Izmet po napaki operacije litja

Vir: (Cimos d.d., 2018)

Tabela 13: Ulita količina in klasifikacija izmeta

Datum	Neizlitost / hladni var	Lom jeder	Poškodbe	Kraste v vodnem kanalu	Pregroba površina (ostanki laka) kjer je koda	Vključki	Pregledano	Izmet	% izmeta glede na pregledano količino
27.7.2018	4	0	0	0	0	0	292	4	1,37 %

Vir: (Cimos d.d., 2018)

3.4.1.4 Poročilo pregleda ulitkov na RTG

Pregled ulitkov smo izvajali na RTG aparatu X-CUBE COMPACT (najvišja napetost 225 kV, najvišji tok 7mA, tip rentgenske cevi GE ISOVOLT 225 m^2 2530540)

Rentgen zagotavlja natančnost do 0,6 mm velikosti napake v ulitku oz. prisotnosti različnih makro poroznosti.

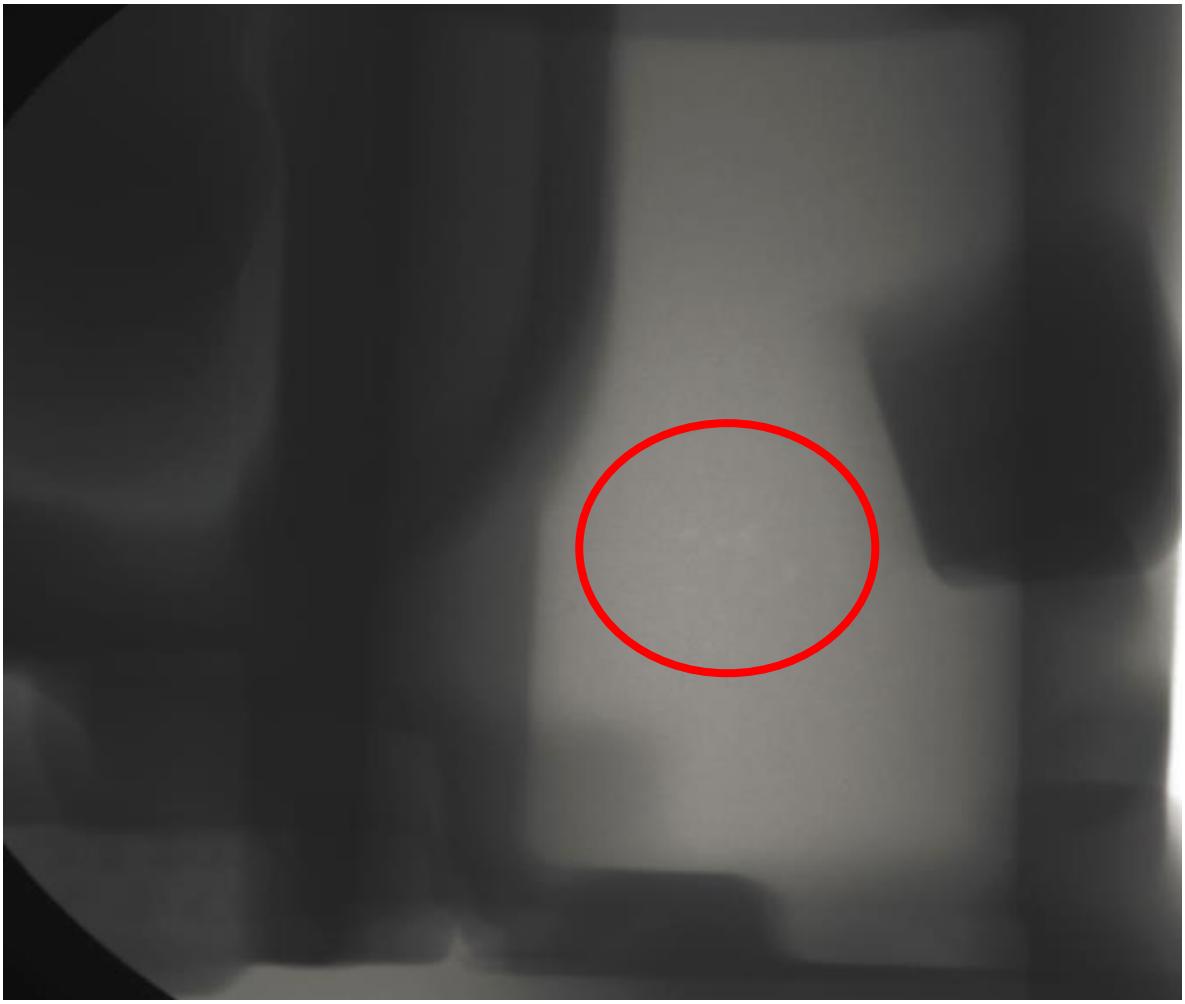
Iz izdelane analize po pregledu vseh ulitkov na RTG aparatu so zaključki naslednji. Iz orodja št. 5 so bili vsi ulitki kakovostno ustrezni. Iz orodja št. 6 smo imeli 52 dobrih ulitkov in 92 slabih, kar pomen 63,89 % kakovostno neustreznost. Po posameznem gnezdu pa je bil delež na orodju št. 6 boljši na gnezdu 6.1 v primerjavi s 6.2.

Tabela 14: Pregled izmeta RTG

	Ulitki OK	Ulitki NOK	% izmeta
Orodje št. 5 s keramiko	144	0	0,0 %
Orodje št. 6 s kovino	52	92	63,89 %
Gnezdo 5.1	72	0	0,00 %
Gnezdo 5.2	72	0	0,00 %
Gnezdo 6.1	30	42	58,33 %
Gnezdo 6.2	22	50	69,44 %

Vir: (Cimos d.d., 2018)

Na spodnji sliki (v krogu – rdeče obarvano) je prikaz lokacije poroznosti na ulitkih iz orodja št. 6, kar je bila posledica neustreznega napajanja kovinskega napajalnika.



Slika 32: RTG_ X–cube compact_ velikost prisotne poroznosti na ulitkih, ki so bili napajani z kovinskim napajalnim sistemom

Vir: (Cimos d.d., 2018)

4 SKLEP

Skozi raziskovalno delo so se dosegli vsi moji predhodno zastavljeni cilji. Konstrukcija kovinske puše za zaščito keramike je bila ustrezno dizajnirana in izdelana, da je mehansko in toplotno preprečevala poškodbe keramike med samo produkcijo. Tudi postavitev ušes za fiksiranje kovinske zaščite v zgornjo polovico orodja je bila ustrezno izdelana. Do popustitve v vijačni zvezi med livarskim orodjem in kovinsko pušo ni prišlo, kajti določene vibracije prihajajo iz hidravličnega sistema pri zapiranju in odpiranju livarskega orodja v povezavi s temperaturnimi skrčki livarskega orodja. Prav tako pa je bil tudi sistem odzračevanja ustrezno izdelan, da je v času kristalizacije odzračeval v prostor vse pline, ki so se ujemali v napajalniku in s tem zmanjševali možnost nastanka plinske poroznosti v ulitku.

Dizajn za keramiko je bil izbran ustrezen, predvsem je bila dobra izbira oblikovnega tesnega ujema z zaščitno kovinsko pušo v najbolj izpostavljenem spodnjem delu, ki je tudi najbolj temperaturno obremenjen zaradi največje mase napajalnika in v tem območju so največje mehanske obremenitve. Izbira vrste in tipa keramike je bila tako ustrezno izbrana, saj je skozi litje vzdržala brez poškodb.

Pri simulaciji litja je predvsem pomembno, da si nastaviš procesne parametre, ki so čim bliže dejanskemu stanju. Potrebno pa je prav tako dobro poznavanje vseh procesov, ki so vključeni in imajo vpliv na kakovost ulitka. Predvsem tukaj mislim na obrabo izolativnih livarskih lakov, ki imajo ključen vpliv za dosego metalurške zdravosti, kakor tudi vizualne kakovosti ulitka. V dejanskem procesu se nam ti laki zaradi mehanske obrabe obrabljajo in izgubljajo ustrezne lastnosti, s katerimi zagotavljajo ustrezni pogoji talini in na koncu zdravosti ulitka. V simulacijo takšnih odstopanj ne moreš vstaviti. Pri izdelani simulaciji so bili končni podatki simulacije zelo primerljivi z dejanskim stanjem.

Pri pripravi taline iz AlSI10 Mg so ugotovitve, da je ključnega pomena za ustrezno kvaliteto taline proces degazacije in modifikacije taline. Z napravo Impeler MTS 1500, ki omogoča hitrost 700 obrt/min, z obračanjem rotorja dosežeš v talini tako imenovani »vortek« oz. na sredini se ustvari lijak. Ta mehanski pojav pa povzroči, da iz celotne količine taline, ki je v prelivnem loncu in s pomočjo inertnega plina argona in čistilnih soli, na površje izpodriva vse nečistoče ter vodik. Da smo dosegli ustrezno kvaliteto strukture materiala, pa imata glavni vpliv

kemična elementa stroncij in titan-bor, pri katerih je potrebno ravnati pazljivo, da ne daš premajhne ali prevelike vsebnosti, ker imata tudi negativne učinke v obe smeri. Vpliv pa imata na velikost kristalnega zrna in fino zrnato strukturo. Iz izdelane termo analize so bili vsi rezultati v mejah kakovostnih zahtev oz. predpisanih standardov. Kemična analiza, ki je bila izdelana za šaržo litja raziskovalnega dela, je bila v skladu s standardom za zlitino AlSI10Mg. Indeks naplinjenosti, vzorci, ki so se jemali iz vzdrževalne peči vsake 2 uri, so bili v mejah postavljenega cilja oz. zahtev po standardu.

Ugotovitve pri pripravi orodja so, da je zelo pomembno konstantno vzdrževati izolativni livarski lak v procesu litja. Ta se sčasoma začne obrabljati. Glavni vzroki za to je strjevanje taline, ko ta prehaja iz tekočega stanja v trdo stanje, in pri ločevanju ulitka od kokile. Procesni parametri so bili računalniško nadzorovani, kar pomeni, da bi se pri temperaturnem odstopanju zunaj tolerančnega območja linija zaustavila ali bi bila za to vzrok temperatura orodja ali taline. V času litja ni bilo nobenih zastojev, zato so bili doseženi zelo dobri pogoji pri izdelavi ulitkov in ni imelo nobenega stranskega negativnega učinka na kasnejšo kakovost ulitka.

Pri pregledu zdravosti ulitkov na napravi RTG so bile ugotovitve, da se je pri keramičnem napajalniku dosegel želen rezultat in to se je potrdilo s 100-odstotnim izplenom kakovostno dobrih ulitkov. Pri kovinskem napajalniku se je dosegel celo boljši rezultat, kot so bila pričakovanja oz. je prikazala izdelana simulacija. Glavni vzrok boljšega rezultata na kovinskih napajalnikih je ta, da ima kovina v povezavi z dodatnimi nanosi izolativnega livarskega laka manjšo temperaturno prevodnost, kot je bila dana v simulacijo. Z dodatnim premazovanjem izolativnega laka v kovinskem napajalniku lahko povzročimo tudi negativen učinek, kajti s predebelo plastjo izolativnega laka zmanjšamo volumen napajalnika in s tem povzročimo negativen učinek. Za ponovljiv stabilen proces in kakovostno dober ulitek je izbira keramičnega napajalnika pravilna rešitev.

Osnovne trditve so se izkazale kot pravilne, kar se tiče skladnosti izdelka in konstrukcije orodja. Procesni parametri so ključni dejavnik za kakovost izdelkov in ti morajo bili 100-odstotno nadzorovani z različnimi nivoji spremljanja in avtomatizirani, da ob odstopanju zaustavijo delovanje naprave, stroja ali orodja. Pri simulacijah pa je predvsem pomembno, da tim, ki sodeluje pri izdelavi simulacije, natančno pozna vse procese, kje so potencialne možne deviacije in ni konstantno ponovljivega procesa. Na ta način se omogoči, da se v simulacijo vstavijo čim bolj natančni dejanski podatki, ki bodo pomembni kasneje v procesu.

Ključne ugotovitve mojega raziskovalnega dela so, da z uporabo keramičnega napajalnika in izbiro ustrezne konstrukcije ter predhodno dobro izdelano simulacijo litja dosežemo v livarstvu pri bolj kompleksnih ulitkih bistveno bolj kakovostne rezultate. To pa nam zmanjšuje velike stroške, skozi izmet in stroške dela.

5 VIRI, LITERATURA

Brown, J. R. (1999). Eleventh edition British Library Cataloguing in Publication Foseco Non-Ferrous Foundryman` s Handbook.

Cimos. (2018). *http://kpnts74.cimos.net/.* Pridobljeno iz http://cshp/app/dsv/Dokumenti%20v%20skupni%20rabi/Forms/AllItems.aspx?RootFolder=%2Fapp%2Fdsv%2FDokumenti%20v%20skupni%20rabi%2F07_TP6%20Proizvodnja%2F01%20SN&.

Cimos d.d. (2018). Interni Cimos. Maribor.

DIN EN 1706. (June 1998). Aluminium and aluminium alloys - Castings. Germany.

Foseco. (2004). *https://www.researchgate.net/.* Pridobljeno iz https://www.researchgate.net/publication/285537333_Heat_transfer_through_die_coatings_in_the_Al_die_casting_process.

Foseco. (2007). *https://www.scribd.com/.* Pridobljeno iz https://www.scribd.com/document/261737222/MANUAL-GENERAL-DYCOTE.

Foseco. (Edition 11/08). *Coating for non ferrous metal die-casting* .

GmbH, H. D. (2016). *VDA 3rd revied edition - Quality Management in Automotive Industry.*

Koubek, A. (2015). *Priročnik ISO 9001:2015.* Ljubljana: Narodna in univerzitetna knjižnica.

NADCA. (2006). Product Specificaton Standrad for die castings.

TALAT lecture 2101.01. (1994). Understanding Aluminium as a Material. Oslo, Norwegian.

TALAT, J. C. (2009). *https://www.scribd.com/.* Pridobljeno iz https://www.scribd.com/document/21294269/TALAT-Lecture-3207-Solidification-Defects-in-Castings.

Technology, P. B. (2001).