

UNIVERZA V LJUBLJANI
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA

DIPLOMSKO DELO

BOJAN TOPOLČNIK

LJUBLJANA 2016

UNIVERZA V LJUBLJANI
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA MATERIALE IN METALURGIJO

**VPLIV HLAJENJA ORODJA NA
IZTISKAVANJE ZLITINE AA 6082**

DIPLOMSKO DELO

BOJAN TOPOLČNIK

LJUBLJANA, september 2016

UNIVERSITY OF LJUBLJANA
FACULTY OF NATURAL SCIENCES AND ENGINEERING
DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGY

**INFLUENCE OF DIE COOLING ON EXTRUSION OF
ALLOY AA 6082**

DIPLOMA WORK

BOJAN TOPOLČNIK

LJUBLJANA, September 2016

PODATKI O DIPLOMSKEM DELU

Število listov: 51

Število strani: 39

Število slik: 36

Število preglednic: 9

Število literarnih virov: 10

Število prilog: 0

Študijski program: Metalurške tehnologije VSŠ

Komisija za zagovor diplomskega dela:

Predsednik: *prof. dr. Milan Bizjak*

Mentor: *prof. dr. Peter Fajfar*

Član: *prof. dr. Milan Terčelj*

Delovni somentor: *dr. Peter Cvahte*

Ljubljana,:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Petru Fajfarju ter delovnemu somentorju dr. Petru Cvahteju za pomoč, strokovne nasvete in usmerjanje. Zahvaljujem se tudi podjetju Impol PCP d.o.o., ki mi je omogočil študij in izdelavo diplomskega dela. Hvala tudi vsem sodelavcem in prijateljem, ki so mi kakorkoli pomagali pri študiju in diplomskem delu.

Posebno zahvalo namenjam svoji družini in staršem za pomoč in podporo pri študiju.

IZVLEČEK

V diplomski nalogi smo raziskovali vpliv spremembe načina hlajenja orodja s tekočim dušikom pri iztiskavanju profilov z zlitino AA 6082 na povečanje produktivnosti in kvalitete površine iztiskavanja. Preiskava se je izvajala neposredno v industrijski proizvodnji pri izdelavi cevi na 28 MN stiskalnici znotraj obrata PCP podjetja Impol d.d., z meritvami tehnoloških parametrov. Ustrezno hlajenje orodja je za iztiskavanje eden pomembnejših proizvodnih parametrov, saj neposredno vpliva na višje hitrosti in posledično na produktivnost iztiskavanja, prav tako pa podaljšuje življenjsko dobo orodja. Preiskava je obsegala primerjavo dveh različnih načinov hlajenja, in sicer hlajenje na obstoječem orodju, ter na orodju s spremenjeno obliko hladilnih kanalov. Pri obstoječem načinu je tekoč dušik dovajan skozi nosilec orodja v (vmesno klado), kjer se v injektorskih kanalih, nameščenih na meji med vmesno klado in ojačevalcem, uplini. Za potrebe preiskave smo modificirali hlajenje na način, da je tekoč dušik dovajan skozi namenski nosilec orodja s prirejenim vertikalnim hladilnim kanalom neposredno v ojačevalnik, od koder se dovede po horizontalnem kanalu na mejo med ojačevalnikom in matrico, ter nadaljuje pot skozi dovodne in hladilne kanale do injektorjev, kjer se uplini. Pri spremenjenem načinu je hlajenje pomaknjeno za 40 mm bližje matrici, ter je tako posledično hlajen ojačevalnik matrice, s čimer smo se približali izstopni coni profila. Pri obstoječem načinu pa je hlajen vložek orodja. Rezultati preiskave so pokazali, da spremenjen način hlajenja orodja omogoča iztiskavanje pri večjih hitrosti (odvisno od šarže), kar vodi do večje produktivnosti dela. Te ugotovitve bodo osnova za optimizacijo tehnološkega procesa iztiskavanja zlitine AA 6082 s ciljem povečanja produktivnosti iztiskavanja ob doseganju zahtevane kvalitete površine.

Ključne besede: iztiskavanje, aluminij, zlitina AA 6082, hlajenje orodja, tekoči dušik.

ABSTRACT

In this thesis, we researched the influence of changes of the method of die cooling with liquid nitrogen at profile extrusion with the AA 6082 alloy on the increased productivity and quality of the extrusion surface. The research was carried out directly in the industrial production in the manufacture of tubes in the 28 MN press inside the PCP plant of Impol d.d. company, by measuring the technological parameters. A proper die cooling is one of the most important production parameters for it directly results in higher speed and therefore in higher productivity of extrusion, while it also extends the life of the tool. The research comprised a comparison of two different cooling methods: cooling on the existing tool and cooling on the tool with a modified form of cooling channels. In the existing mode, the liquid nitrogen is injected through the tool holder (into the intermediate block), where it is vaporized in the injector channels installed at the boundary line between the intermediate block and the amplifier. For research purposes, we modified the cooling system in such a way that the liquid nitrogen is supplied through a purpose-made tool holder with modified vertical cooling channel directly into the receiver, from where it is fed through the horizontal channel to the boundary line between the amplifier and the matrix, and continues its way through the conduit- and the cooling channels to the injectors, where it vaporizes. In the modified method, the cooling system is moved 40 mm closer to the matrix; subsequently, the matrix amplifier is cooled, which brings us closer to the profile exit zone. Meanwhile, in the case of the existing method, the tool insert is cooled. Research results showed that the modified die cooling method enables higher extrusion speed (depending on the batch) that results in higher productivity. These findings will serve as a basis for optimization of the technological process of extrusion of AA 6082 alloy with the aim to increase the extrusion productivity while achieving the required quality of the surface.

Key words: extrusion, aluminum, AA6082 alloy, die cooling, liquid nitrogen.

KAZALO

1	UVOD.....	1
2	IZTISKAVANJE.....	2
2.1	Istosmerno iztiskavanje.....	2
2.2	Protismerno iztiskavanje.....	3
2.3	Aluminij in aluminijeve zlitine.....	3
2.3.1	Gnetene aluminijeve zlitine.....	7
2.3.2	Livne zlitine.....	8
3	Eksperimentalni del.....	9
3.1	Redna proizvodnja na 28 MN stiskalnici.....	9
3.2	Stiskalnica 28 MN.....	9
3.3	Sistem za dovod tekočega dušika.....	11
3.4	Orodja za iztiskavanje.....	15
3.4.1	Orodje B1.....	16
3.4.2	Orodje A13.....	17
3.4.3	Dovoda tekočega dušika na orodji B1 in A13.....	18
3.5	Merjenje hrapavosti površine cevi.....	21
4	REZULTATI IN DISKUSIJA.....	24
4.1	Zlitina AA 6082.....	24
4.2	Površina iztiskanih profilov in cevi.....	25
4.3	Primerjava parametrov iztiskavanja.....	30
5	SKLEPI.....	38
6	VIRI.....	39

SEZNAM SLIK

Slika 1: Prikaz istosmernega iztiskavanja [3].	2
Slika 2: Prikaz protismernega iztiskavanja [3].	3
Slika 3: Delitev Al zlitin glede na legirne elemente in vrsto utrjevanja [6].	5
Slika 4: 28 MN stiskalnica.	10
Slika 5: Postavitev zunanje postaje tekočega dušika.	11
Slika 6: Shema sistema dovoda tekočega dušika [8].	12
Slika 7: Dušikov podhlajevalnik na stiskalnici.	13
Slika 8: Dovod tekočega dušika do orodja.	14
Slika 9: Priklop tekočega dušika v orodje.	14
Slika 10: Kaseta za orodje.	15
Slika 11: Cev Ø50,3/28,5 mm	16
Slika 12: Komponente orodja B1: a) trn, b) matrica, c) ojačevalnik matrice.	16
Slika 13: Prikaz dovoda hladilnega medija.	17
Slika 14: Komponente orodja A13: a) trn, b) matrica, c) ojačevalnik matrice z injektorskimi kanali.	18
Slika 15: Prikaz dovoda hladilnega medija na orodje: a) B1 in b) A13 [9].	19
Slika 16: Dovodi tekočega dušika na nosilec orodja.	19
Slika 17: Vmesna klada z vložkom fī 90.	20
Slika 18: Razlika dovoda tekočega dušika za orodje A13.	20
Slika 19: Dovod tekočega dušika za orodje A13.	21
Slika 20: Prikaz vzorcev pripravljenih za merjenje površinske hrapavosti.	22
Slika 21: Prikaz merjenja hrapavosti vzorcev.	23
Slika 22: Čistilna plošča za čiščenje recipienta.	26
Slika 23: Čistilna plošča po čiščenju recipienta.	26
Slika 24: Aritmetična srednja hrapavost R_a za orodji A13 in B1.	28
Slika 25: Srednja globina hrapavosti R_z za orodji A13 in B1.	28
Slika 26: Največja globinska hrapavosti R_{max} za obe orodji.	29
Slika 27: Razlika spremembe hrapavosti med 30. in 2. blokom za obe orodji.	29

Slika 28: Število iztisnjenih okroglic za posamezno orodje v odvisnosti od količine hladilnega medija oziroma odprtosti ventila v %.....	32
Slika 29: Povprečna hitrost iztiskavanja v odvisnosti od količine hladilnega medija oziroma odprtosti ventila.	32
Slika 30: Povprečna temperatura profila v odvisnosti od količine hladilnega medija.....	33
Slika 31: Število okroglic za orodji A13 in B1 pri različnih šaržah.	34
Slika 32: Primerjava povprečne temperature v peči pri različnih šaržah.....	35
Slika 33: Primerjava povprečne hitrosti iztiskavanja pri različnih šaržah.	35
Slika 34: Primerjava povprečnega odstotka odprtosti hladilnega medija pri različnih šaržah.	36
Slika 35: Primerjava povprečne temperature profila pri različnih šaržah.....	36
Slika 36: Primerjava povprečne količine dušika (%) za obe orodji pri primerljivih pogojih. .	37

SEZNAM TABEL

Tabela 1: Nekatere lastnosti aluminija	4
Tabela 2: Karakteristike 28 MN stiskalnice.	10
Tabela 3: Kemijska sestava zlitine AA 6082 po standardu EN v masnih deležih, w (%).....	24
Tabela 4: Meritve hrapavosti za orodje A13.	27
Tabela 5: Meritve hrapavosti za orodje B1.	27
Tabela 6: Parametri iztiskavanja za orodje A13.....	30
Tabela 7: Parametri iztiskavanja za orodje B1.....	31
Tabela 8: Tabelarična primerjava podatkov med obema orodjema za vse šarže.	31
Tabela 9: Primerjava podatkov za orodji A13 in B1 pri primerljivih pogojih.	37

SEZNAM OKRAJŠAV IN POSEBNIH SIMBOLOV

A13 – novo orodje

B1 – staro orodje

R_a – aritmetična srednja hrapavost

R_z – srednja globina hrapavosti

$R_{\max}$ – največja globina hrapavosti

T1 – stanje Al zlitine

w – masni delež

1 UVOD

Za ohranjanje poslovnih partnerjev in dvigovanje konkurenčnosti na trgu sta napredek tehnologije in optimizacija postopkov v proizvodnji nujno potrebna. Tega se v skupini Impol zelo dobro zavedamo, zato usmerjamo veliko truda in energije v področje raziskav in optimizacije procesov.

Skupina Impol je fleksibilno, inovativno in v razvoj usmerjeno podjetje, kjer se ukvarjamo s predelavo aluminija v vrhunske polizdelke.

Inženirji in člani raziskovalne naloge v podjetju Impol so skonstruirali orodje s spremembo hlajenja s tekočim dušikom z namenom povečanja produktivnosti in izboljšanja kvalitete površine iztiskanih cevi zunanjega premera 50,3 mm in notranjega premera 28,5 mm. Z intenzivnim hlajenjem matrice s pomočjo tekočega dušika je mogoče odvajati toploto, ki nastane pri preoblikovanju, posebej tisto v stiskalnem kanalu. Povišano toploto trenja, ki nastane s povišanjem hitrosti stiskanja, je moč s pomočjo pravilno odmerjenega odvajanja toplote v matrici toliko kompenzirati, da ostane temperatura iztiskanja skoraj konstantna.

V diplomski nalogi smo izvedli testiranje na dveh različnih orodjih. S temi orodji izdelujemo cevi zunanjega premera 50,3 mm in notranjega premera 28,5 mm. Te cevi izdelujemo iz zlitine AA6082. V ta namen smo naredili novo orodje z dovodnimi in injektorskimi kanali po novem sistemu. Z novo izvedbo smo hlajenje približali matrici za 40 mm glede na staro orodje. S tem smo dovedli tekoči dušik na neposredno območje izstopne cone cevi na matrici orodja.

Cilj diplomske naloge je, da ugotovimo vpliv sprememb hlajenja na dane faktorje (produktivnost in kvaliteta površine). V raziskavi smo se soočali z veliko težavami. Najpogosteje so nas ovirale razpršenost šarž in majhne količine naročil. Najpogosteje smo imeli na voljo 5 ton materiala za eno serijo iztiskavanja. Za optimalno izvajanje testiranj bi bilo najbolje, če bi imeli na razpolago neomejene količine naročil za iztiskavanje cevi iste šarže.

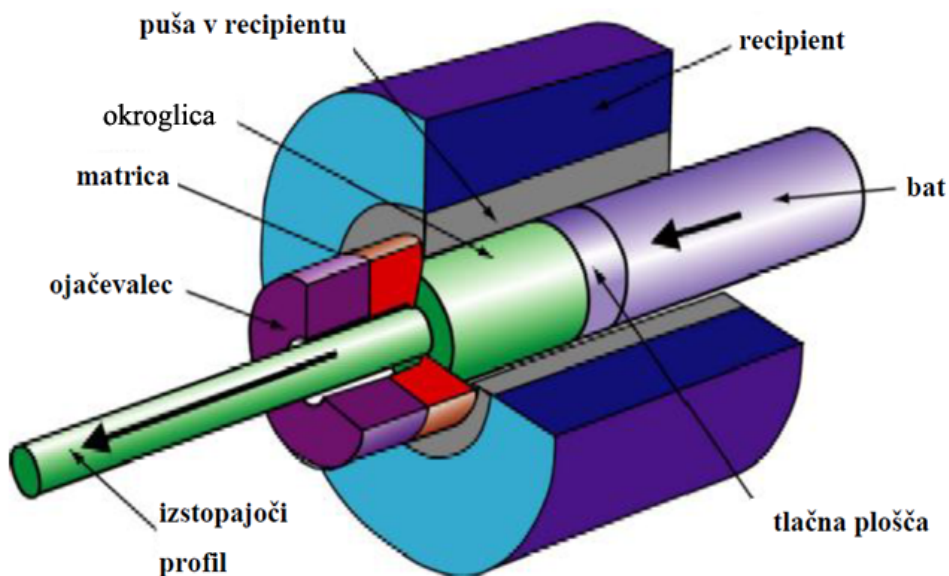
Glede na dane razmere smo zbrane podatke prikazali v grafih in tabelah ter jih analizirali. Pri izdelavi cevi nismo bili omejeni s toleranco kvalitete površine. To nam je dalo večji manevrski prostor pri izvajanju testiranj.

2 IZTISKAVANJE

Ekstruzija – iztiskavanje v vročem je procesni postopek masivnega preoblikovanja, s katerim surovec potiskamo skozi oblikovno matrico. Ta postopek uporabljamo pri izdelavi dolgih, ravnih, votlih in polnih profilov iz aluminija, jekla, svinca in kositrovih zlitin. V eni operaciji dosežemo končno obliko izdelka. Omenjen postopek zaradi velikega hidrostaticnega tlaka v preoblikovalnem območju omogoča velike stopnje deformacije. Preoblikovalno območje je območje v samem recipientu in v orodju [1].

2.1 Istosmerno iztiskavanje

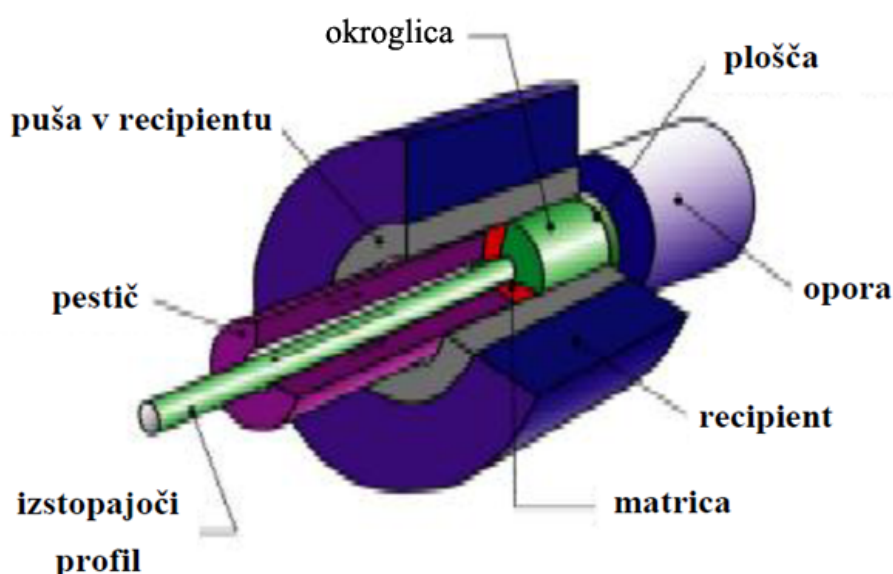
Predhodno ogret surovec (okroglica) se vstavi v ogrevan recipient. Končna oblika polizdelka nastane pri potiskanju surovca z batnico skozi matrico. Smer toka materiala, ki se iztiskava, je enaka smeri gibanja batnice stiskalnice. Med procesom bat stiskalnice drsi po steni recipienta. Sile trenja, ki nastajajo v samem procesu so na stičnih ploskvah med recipientom in batom, potisno ploščo in surovcem, odprtino matrice in surovcem ter trnom in matrico orodja. Zaradi omenjenih pogojev se zahteva povečanje pritiska stiskalnice. Zaradi omenjenih trenj se zvišuje pritisk v stiskalnici za 30 do 40 %. Zaradi trenja se poveča tudi temperatura recipienta in iztiskanega materiala. To se lahko kompenzira s hlajenjem orodij. Samo povečanje temperature lahko negativno vpliva na proces iztiskavanja [1]. Proces direktnega iztiskavanja je prikazan na sliki 1.



Slika 1: Prikaz istosmerne iztiskavanja [3].

2.2 Protismerno iztiskavanje

Pri protismernem iztiskavanju materiala obdelovanec v recipientu miruje, zato med tem procesom ne nastopi trenje na stičnih ploskvah materiala in recipienta, kar je ena glavnih prednosti tega postopka. Tok materiala je veliko bolj enakomeren kot pri direktnem iztiskavanju in zato je profil polizdelka po dolžini bolj kvaliteten in enakomeren. Tok materiala je v nasprotnem gibanju orodja. Matrica je pritrjena na votlem pestiču. Prav tako poznamo postopek protismernega iztiskavanja z nastankom plašča ali brez njega. Pri tem procesu je v primerjavi z direktnim iztiskavanjem sila stiskanja manjša za 30 % [1]. Princip indirektnega iztiskavanja je prikazan na sliki 2.



Slika 2: Prikaz protismernega iztiskavanja [3].

2.3 Aluminij in aluminijeve zlitine

Aluminij je tretji najpogostejši element v zemeljski skorji. Hkrati je najpogostejša kovina, ki se ne nahaja v elementarni obliki. V naravi ga najdemo v obliki oksida, ki je bistveni sestavni del mnogih hribin, ki sestavljajo zemeljsko skorjo. Aluminij je lahka in mehka kovina. V prisotnosti kisika hitro oksidira in ustvari tanko oksidno plast sivega videza. Aluminij je korozijsko zelo odporen. Zaradi lastnosti, kot so še nizka gostota, majhna teža, dobra preoblikovalnost ter dobra toplotna in električna prevodnost, je zelo uporaben na raznih področjih.

Osnovne kemijske in fizikalne lastnosti aluminija so podane v tabeli 1.

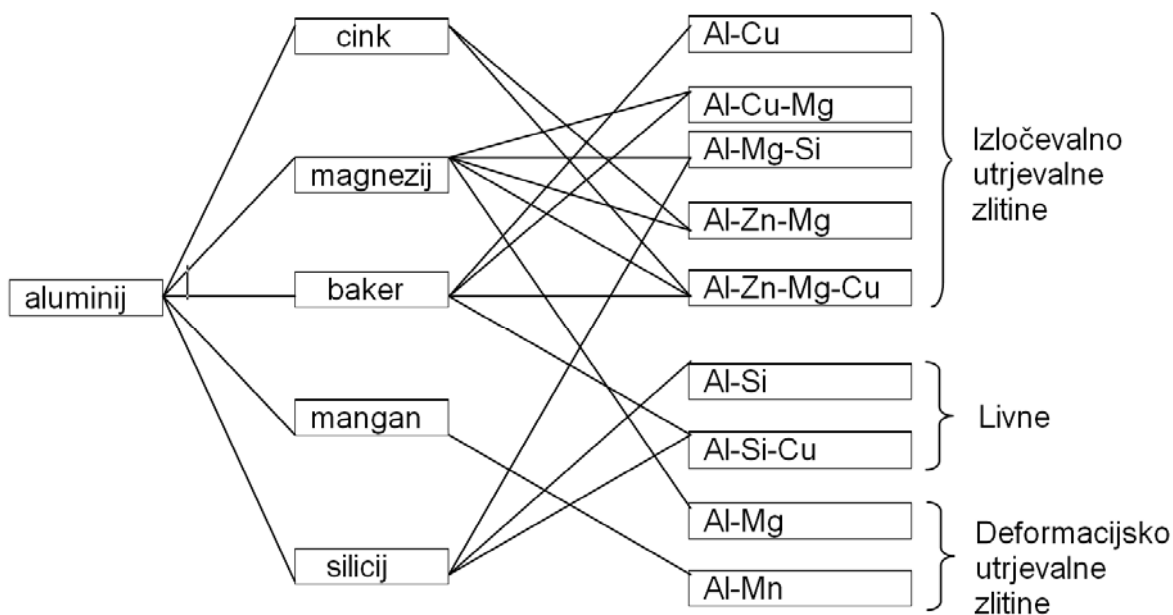
Tabela 1: Nekatere lastnosti aluminija

Lastnosti	Vrednosti
Vrstno število	13
Kemijska vrsta	kovina
Atomska masa	26,982 g/mol
Skupina, perioda	13 (IIIA), 3, p
Gostota	2700 kg/m ³
Trdota Brinell	15 HB [10]
Tališče	660 °C
Vrelišče	2467 °C
Natezna trdnost	55 – 91 MPa
Modul elastičnosti	66,6 GPa

Značilnost aluminija je vsestranska uporabnost. Aluminij in njegove zlitine uporabljamo v različnih panogah:

- gradbeništvo (kritine, okna, vrata, gradbene konstrukcije),
- transport (letalska, avtomobilska, železniška, ladjedelniška industrija),
- embalaža (folije, pločevinke, razne tube),
- strojništvo (razna orodja, strojogradnja),
- elektroindustrija (kondenzatorji, električni vodi, izmenjevalniki toplote),
- farmacija (embalaža za zdravila).

Čist aluminij je mehak in dobro preoblikovalen. Pri uporabi aluminija za razne namene se zahtevajo boljše mehanske lastnosti, ki je sam aluminij ne dosega. Z legiranjem (dodajanjem zlitinskih elementov) dobimo zlitine z izboljšanimi lastnostmi. Kombinacije legirnih elementov, ki tvorijo znane zlitine in vrste njihovega utrjevanja, prikazuje slika 3.



Slika 3: Delitev Al zlitin glede na legirne elemente in vrsto utrjevanja [6].

Najpogosteje uporabljeni legirni elementi in njihov vpliv na lastnosti v Al zlitinah so naslednji:

- **baker:** izboljša obdelovalnost in poveča trdnost zlitine, zmanjša pa varljivost in odpornost proti koroziji;
- **silicij:** zmanjša viskoznost, znižuje tališče, nekoliko zmanjša korozijsko odpornost, in povečuje odpornost proti obrabi;
- **svinec:** izboljša preoblikovalnost;
- **mangan:** poveča žilavost;
- **magnezij + silicij:** povečata korozijsko odpornost in trdnost ter izboljšata preoblikovalne lastnosti;
- **magnezij:** poveča varljivost, trdnost in korozijsko odpornost.

Glede na kemijsko sestavo delimo aluminijeve zlitine po standardu SIST EN in po združenju AA (Aluminum Association) na več skupin [5]. Po mednarodnem sistemu označevanja jih določa sistem štirih števil. Prva številka označuje družino zlitin, druga označuje možno različico prvotne zlitine, za katero je rezervirana številka 0, zadnji dve številki, pri skupini 1xxx predstavljata čistost aluminija, pri ostalih skupinah pa kombinacijo legirnih elementov.

1xxx – Aluminij (99 %)

Aluminij serije 1xxx je tehnično čist in vsebuje najmanj 99 % masnega deleža aluminija. Značilnosti: dobre preoblikovalne lastnosti, odlična korozijska odpornost, se dobro vari, velika toplotna in električna prevodnost, primeren za eloksiranje, nizka trdnost. Glavni primesi za to skupino sta silicij in železo.

2xxx – Durali (zlitine Al-Cu)

Značilnosti za to skupino: velika trdnost, dobre preoblikovalne lastnosti, dinamična trdnost. Da dosežemo te lastnosti, moramo zlitino raztopno žariti. Stabilizacija teh lastnosti nastane z naravnim staranjem (T1). Glavna primes te zlitine je baker.

3xxx – Alumini (zlitine Al-Mn)

Značilnosti za to skupino: dobro tlačno preoblikovanje in valjanje, dobra korozijska odpornost, dobra varivost in dobre mehanske lastnosti. Te zlitine niso toplotno obdelovalne. Uporabne so v gradbeništvu, v kemični in živilski industriji, za strešne kritine, za cevi, za prenosnike toplote, opaže, rezervoarje za motorna vozila, obloge zamrzovalnikov, radiatorje. Glavni element primesi je mangan z masnim deležem do 1,5 %.

4xxx – Silumini (zlitine Al-Si)

Značilnosti: zaradi velikega masnega deleža (do 12 %) dodanega elementa se tej zlitini močno zmanjša tališče (likvidus temperaturo). Te zlitine uporabljamo predvsem za varilne žice, in kot sredstvo za lotanje.

5xxx - Perali (zlitine Al-Mg)

Značilnosti: dobra korozijska odpornost, varivost, visoka trdota in natezna trdnost, dobro hladno preoblikovanje, primerne za anodiziranje. To zlitino uporabljamo za razne varjene konstrukcije, za gradnjo ladij zaradi odpornosti na slano vodo, izdelavo avtomobilskih prikolic in izdelavo karoserij in cistern. Te zlitine pa niso primerne za toplotno obdelavo. Uporabljamo jih za izdelovanje plošč velikih debelin, brez notranjih napetosti. Magnezij je glavni legirni element.

6xxx – Antikorodali (zlitine Al-Mg-Si)

Dodatek magnezija in silicija tvori spojino Mg_2Si , kar omogoči zlitini toplotno obdelavo. Zlitine imajo manjšo trdnost kot zlitine skupin 2xxx in 7xxx. Zlitine te skupine se zelo dobro vari, so odporne proti koroziji in imajo dobro preoblikovalnost. Uporabnost te zlitine je za

izdelovanje oken, vrat, ograj, lestev, sten, profilov, razne pisarniške opreme, ohišij elektromotorjev.

7xxx – Perdurali (zlitine Al-Zn)

Zlitine te skupine so toplotno obdelane. Dosegajo najboljše mehanske lastnosti, visoko trdoto in natezno trdnost. To zlitino uporabljamo v letalstvu in za močno obremenjene konstrukcije. Iz te zlitine izdelujemo tudi kovice, vijake, matice, teniške loparje in smučarske palice.

8xxx - (zlitine Al-Li)

To skupino odlikuje zelo nizka teža in je bila razvita za potrebe letalske in vesoljske industrije.

Aluminijeve zlitine delimo na dve glavni skupini in to na gnetene zlitine in livne zlitine.

2.3.1 Gnetene aluminijeve zlitine

Te zlitine so dobro preoblikovalne v vročem in hladnem stanju. S temi postopki dosegamo zelo dobre lastnosti – trdnost lahko v nekaterih primerih primerjamo s trdnostjo konstrukcijskih jekel.

To skupino aluminijevih zlitin delimo še na:

- toplotno obdelovane zlitine in
- toplotno neobdelane zlitine.

Toplotno obdelovalne so zlitine skupin 2xxx, 4xxx, 6xxx, 7xxx, ki jih delimo glede na naravno staranje $AlMgSi_1$, $AlCu_2Si$, $AlCu_4Mg_1$, $AlCu_4MgSi$, $AlZn_5Mg_1$ in umetno staranje $AlMg_1Si_1$, $AlZn_5Mg_3Cu_2$, $AlZn_5Mg_1$, $AlMg_1SiCu$.

Kompleksne zlitine Al-Cu, ki vsebujejo elemente magnezij, silicij, baker, cink in nikelj, tvorijo sisteme delne topnosti v trdnem in skupaj z aluminijem ali same med seboj tvorijo (intermetalne) vmesne spojine. S temi pogoji se izločevalno utrjujejo. Najpomembnejši zlitinski sistemi za toplotno utrjevanje so: $AlCuMg$, $AlMgSi$, $AlZnMg$ in sistem $AlZnMgCu$.

Najpogostejši primeri teh zlitinskih sistemov so:

- $AlCu_4Mg_1$ – ki imajo komercialno ime durali ali duraluminiji;
- $AlMg_1Si_1$ – ki imajo komercialno ime antikorodali in
- $AlZn_5Mg_3Cu$ – ki imajo komercialno ime perdurali ali konstruktali.

Toplotno neobdelovalne so zlitine skupin 3xxx in 5xxx. V zlitinah skupine 3xxx je dodan masni delež mangana do 1,5 %. Karakteristika teh zlitin je, da se dobro variyo, so dobro preoblikovalne in so odporne proti koroziji.

V zlitinah skupine 5xxx prevladuje magnezij z masnim deležem od 2 do 7 % in pogosto tudi mangan z masnim deležem do 0,4 %. Z večanjem masnega deleža magnezija do 7 % narašča trdnost, hkrati pa pada duktilnost. Zlitine te skupine so zelo odporne proti koroziji v morski vodi in koroziji v atmosferi [7].

2.3.2 Livne zlitine

Najpogosteje uporabljeni legirni elementi v aluminijevih zlitinah so: silicij, baker, magnezij, cink in mangan. S kombinacijo teh elementov dosegamo dobro korozijsko obstojnost, čisto in gladko površino, dobro obdelovalnost, majhno specifično težo in nemagnetnost .

Zlitinam Al-Si, ki jih imenujemo silumini, se pogosto dodaja še magnezij in baker. Masni delež silicija je od 8 do 13 %. Magnezij omogoča toplotno obdelavo in posledično povečanje trdnosti. Baker se dodaja zaradi povečanja trdnosti, slabša pa korozijsko obstojnost. Ta zlitina se uporablja za izdelavo močno obremenjenih dinamični strojnih delov (motorji za vozila).

Zlitinam Al-Mg, ki jih imenujemo perali, se dodaja masni delež magnezija od 3 do 8 %. Značilnost teh zlitin je, da imajo slabo livnost, dosegamo pa dobro trdnost in izjemno dobro korozijsko obstojnost. Izdelke iz te zlitine se lahko eloksira, polira in kromira. Najpogosteje se uporabljajo v namene, kjer ne sme nastopiti korozija [7].

3 Eksperimentalni del

3.1 Redna proizvodnja na 28 MN stiskalnici

Na 28 MN stiskalnici lahko iztiskavamo aluminijeve zlitine skupin 1xxx, 5xxx, 6xxx in 7xxx. Vhodna surovina so drogovci okroglega preseka. Postopek zalaganja v plinsko peč je avtomatiziran. V peči se material segreje na željeno temperaturo (od 460 do 510 °C). Sledi postopek rezanja droga na določeno dolžino, katera je preračunana glede na premer recipienta, presek profila in na število žil. Odrezan kos materiala, ki se avtomatsko vstavi v podajalnik, se imenuje blok ali okroglica. Na ustrezno temperaturo ogreto okroglico se s podajalnikom vstavi v območje med orodjem in recipientom. Bat stiskalnice nasloni okroglico na orodje in omogoči, da se podajalnik odmakne, nakar sledi zapiranje recipienta. Nato sledi postopek naraščanja sile s strani bata na material in recipient. Ko material steče skozi orodje, ga vstavimo v izvlečnik (puler). Izvlečnik vleče profil med samim postopkom iztiskavanja. Silo vleka izvlečnika se lahko poljubno nastavi glede na potrebe samega vleka med iztiskavanjem. Po končanem iztiskavanju okroglice, se recipient odmakne od orodja in sledi rezanja stiskalniškega ostanka. Nato sledi ponoven cikel vstavljanja nove okroglice. Ko profil doseže končno dolžino ene okroglice, se v območju izvlečnika izvrši rezanje in odvoz profila na progo, na kateri se vrši končni proces hlajenja profila. Ko je profil ohlajen, se ga na ravnalnem stroju ravna z raztezkom od 1 do 3 %. Večje število zravnanih profilov se zloži na določeno širino. Sledi postopek končnega razreza in jemanja vzorcev za mehanski laboratorij. Razrezane profile se samodejno zлага v palete, ki se nato zalagajo v peč za staranje. Po ciklu umetnega staranja sledi postopek končne kontrole in postopek pakiranja.

3.2 Stiskalnica 28 MN

Stiskalnica 28 MN je največja in najsodobnejša izmed treh stiskalnic v obratu profilarne. Prikazana je na sliki 4. Interna oznaka te stiskalnice je 6010. Opremljena je s programi za nadzor ter zajemanje podatkov v procesu proizvodnje iztiskavanja. Osnovni tehnološki parametri se samodejno prenesejo v sistem za nastavitve parametrov. Pred začetkom delovnega naloga se v program ročno vnesejo naslednji podatki, ki so: številka delovnega naloga, številka in oznaka orodja. Potem pa program samodejno prenese podatke, ki so bili predhodno vneseni v tehnološki predpis za to orodje.



Slika 4: 28 MN stiskalnica.

Velikost orodja je dimenzionirana od Ø220 mm x 150 mm in Ø350 mm x 180 mm do Ø457 mm x 180 mm.

Karakteristike 28 MN stiskalnice so podane v tabeli 2.

Tabela 2: Karakteristike 28 MN stiskalnice.

Lastnost stiskalnice	Vrednost
Potisna sila	28 MN
Tlak v hidravličnem sistemu	305 bar
Premer recipienta	236 mm
Premer okroglice	228 mm
Čas menjave okroglice	15 s
Največja dolžina okroglice	1200 mm
Zmogljivost	1350 kg/h

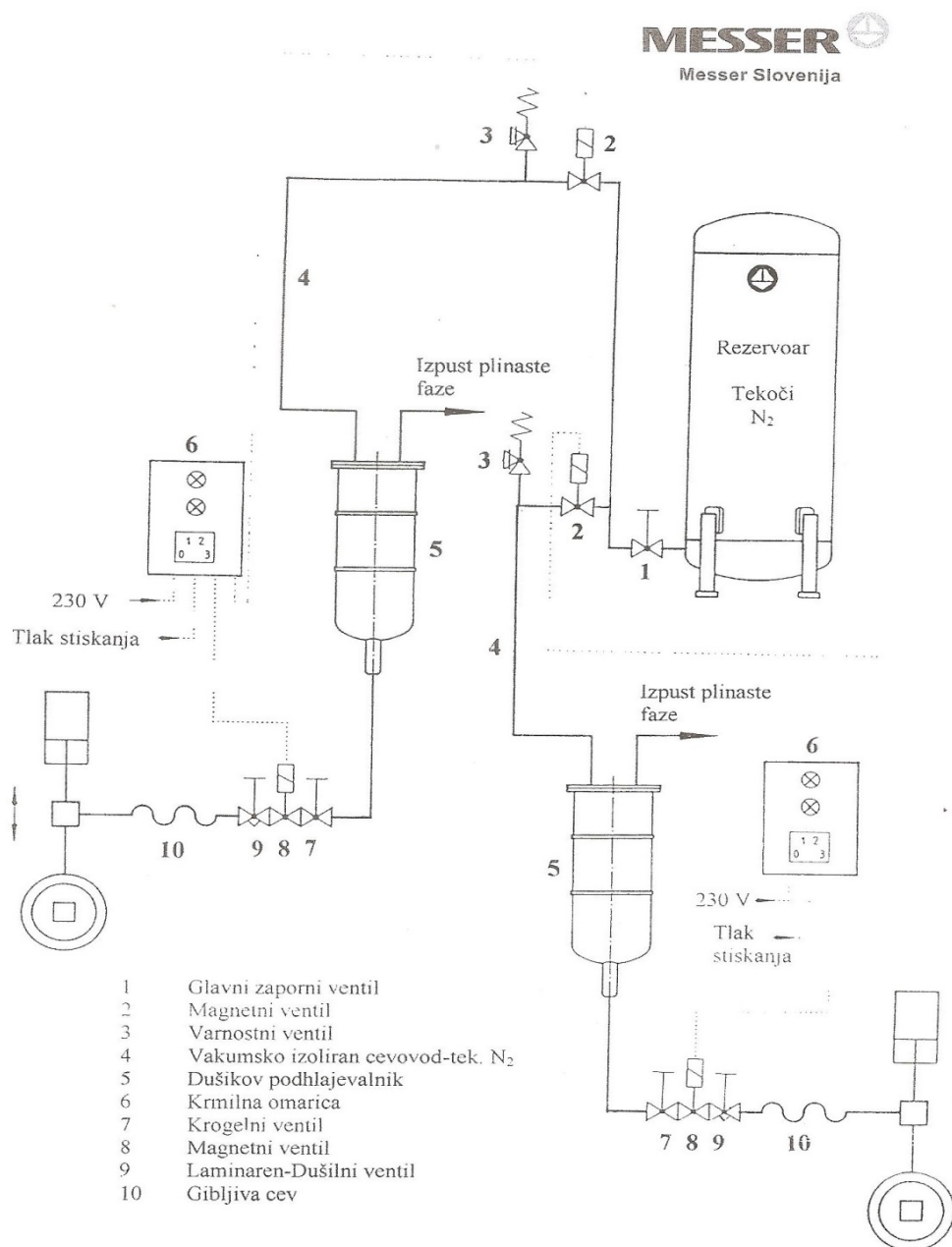
3.3 Sistem za dovod tekočega dušika

V obratu profilarna se uporablja tekoči dušik za hlajenje orodij v procesu iztiskavanja aluminija. Transport tekočega dušika poteka s prevozom v cisternah do polnilne postaje za tekoči dušik, ki se nahaja zunaj proizvodnih prostorov. Polnilna postaja za tekoči dušik je prikazana na sliki 5.



Slika 5: Postavitev zunanje postaje tekočega dušika.

Sam dovod tekočega dušika od zunanje postaje do stiskalnice pa je prikazan na tehnični skici na sliki 6.



Slika 6: Shema sistema dovoda tekočega dušika [8].

Od tod naprej pa potuje utekočinjen dušik do kasete z orodjem in do samega orodja.

V hladilnem sistemu za hlajenje orodja potrebujemo naslednje naprave:

- podhlajevalnik dušika,
- regulirno enoto, sestavljeno iz laminarnega dušilnega ventila in magnetnega ventila in
- krmilno omaro.

Glede na dolžino in kakovost dovoda dušika od rezervoarja do stiskalnice lahko priklopimo še en plinsko fazni ločilnik. Prizadevati si je treba za izvedbo dovoda dušika kot toplotno izolirane napeljave z zelo majhno stopnjo uplinjanja. Varnostni ventili preprečujejo nedopustno povišanje tlaka v dovodu tekočega dušika.

V podhlajevalniku se dušik, ki pride iz rezervoarja, ohladi pod fizikalnim ravnovesjem. To je nujno potrebno, da v dovodu dušika, ki je izpostavljen velikemu toplotnemu segrevanju, ne pride do predčasnega uparjanja in s tem nezaželjene izgube hladnosti. Izvedbo podhlajevalnika dušika na stiskalnici prikazuje slika 7. Na sliki 8 je prikazan dovod tekočega dušika na orodje, na sliki 9 pa priklop tekočega dušika v orodje.

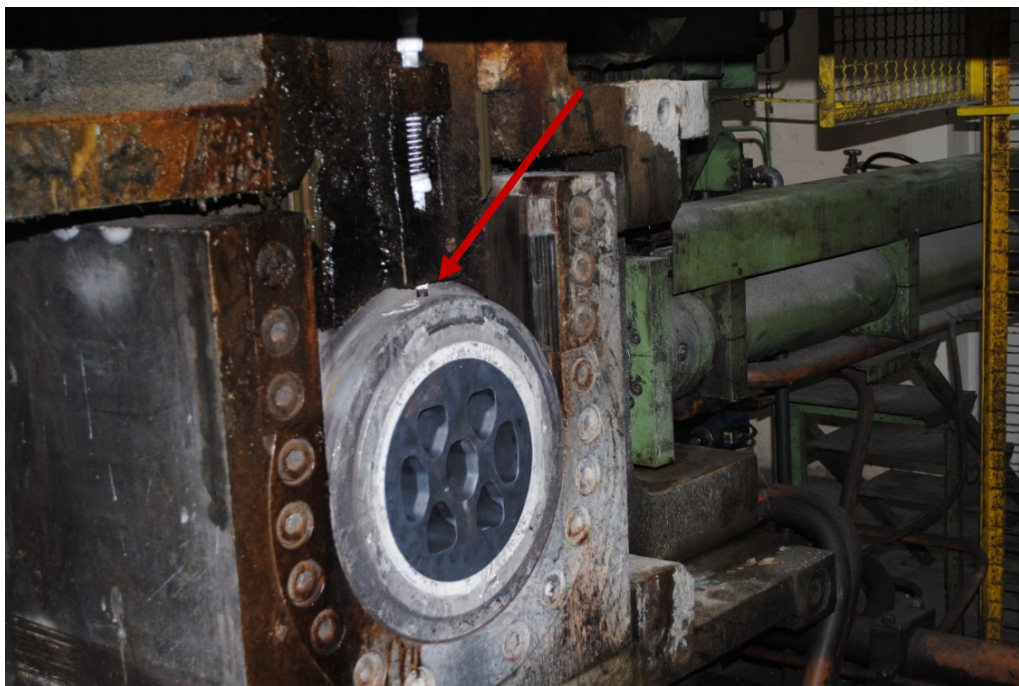


Slika 7: Dušikov podhlajevalnik na stiskalnici.

Preko laminarnega dušilnega ventila lahko količino dušika natančno doziramo, medtem ko magnetni ventil zapira ali odpira dovod dušika. S krmilno omarico, katere prednost je, da je montirana v bližini krmilnega pulta stiskalnice, je moč opraviti predizbiro različnih hladilnih ciklov. Tako lahko stiskalni tlak neposredno ali pa s prosto izbrano zakasnitvijo krmili dovod dušika.



Slika 8: Dovod tekočega dušika do orodja.



Slika 9: Priklop tekočega dušika v orodje.

3.4 Orodja za iztiskavanje

V osnovi se orodja delijo na klasična in komorna. Klasična orodja se uporabljajo za izdelavo polnih profilov in so sestavljena brez mosta, oziroma brez predkomore. Je najosnovnejše orodje pri iztiskavanju aluminijevih zlitin. S temi orodji se izdelujejo profili, ki imajo polne prereze: okrogle palice, ploščate palice in vogalnike različnih dimenzij.

Komorna orodja se uporabljajo za izdelavo votlih profilov zahtevnih oblik. Orodja imajo lahko eno ali več odprtin (žil). Komorna orodja so sestavljena iz matrice, ki oblikuje zunanje mere in trna, ki oblikuje notranje mere profila.

Sestavnica za orodje oziroma kaseta za orodje je v obliki narobe obrnjene podkve, ki jo sestavljajo set klade, klade z vložkom in orodje.

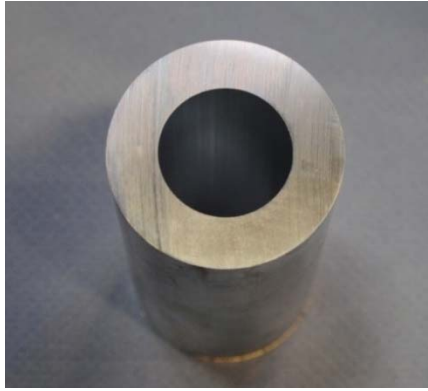
Klado in vmesno klado z vložkom se pripravi pred vstavitvijo orodja, njun namen je prenos sile pri iztiskavanju na prijemalnik orodja.

Nosilec orodja je obroč, v katerega se vstavi orodje. Je univerzalen in se uporablja za različna orodja istega premera in debelin. Ko sta orodje in nosilec orodja kompletirana, ju vstavimo v peč za ogrevanje orodij. Sestava kasete za vroče iztiskavanje je prikazana na sliki 10.



Slika 10: Kaseta za orodje.

V diplomskem delu smo za izdelavo cevi zunanjega premera 50,3 mm in notranjega premera 28,5 mm ($\varnothing 50,3/28,5$) uporabili dve vrsti orodij z internima oznakama A13 in B1. Cev je prikazana na sliki 11.



Slika 11: Cev Ø50,3/28,5 mm

3.4.1 Orodje B1

Orodje Ø50,3/28,5 z oznako B1 je orodje, ki ga uporabljamo za izdelavo brezšivnih cevi omenjenih dimenzij. V uporabi je že kar nekaj časa, imenujemo ga tudi »staro orodje«. Je komorno orodje, sestavljeno iz treh delov, in sicer iz:

- komornega trna,
- matrice,
- ojačevalca matrice.

Deli orodja so grafično prikazani na sliki 12.



Slika 12: Komponente orodja B1: a) trn, b) matrica, c) ojačevalnik matrice.

Ko sestavimo in kompletiramo orodje v kaseto za iztiskavanje, imamo dovod tekočega dušika, speljanega preko vložka premera 90 mm. Kanali za tekoči dušik so speljani okoli odprtine in so dimenzionirani tako, da se ob iztoku tekoči dušik uplini. Potek kanalov za dušik je viden na sliki 13.



Slika 13: Prikaz dovoda hladilnega medija.

3.4.2 Orodje A13

Orodje Ø50,3/28,5 je komorno orodje z oznako A13 in je novejšo modificirano orodje, narejeno posebej za testiranje. Orodje je spremenjeno tako, da je dovod hladilnega medija za 40 mm pomaknjen bližje k matrici (v primerjavi z orodjem B1) in z dovodnimi kanali na ojačevalniku orodja. Posamezni deli orodja A13 so prikazani na sliki 14.

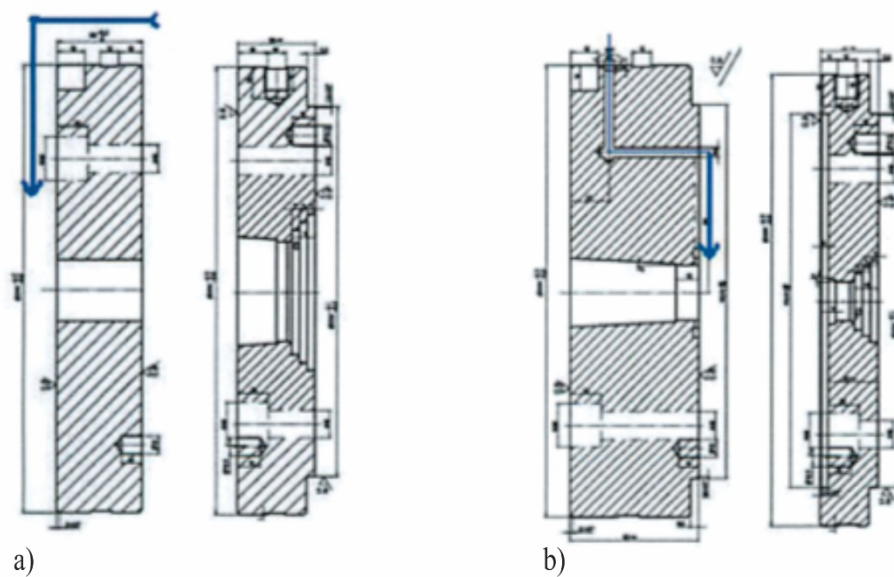


Slika 14: Komponente orodja A13: a) trn, b) matrica, c) ojačevalnik matrice z injektorskimi kanali.

3.4.3 Dovoda tekočega dušika na orodji B1 in A13

Za izboljšanje kvalitete profilov, produktivnosti in obstojnosti orodij se je izdelalo orodje, ki bi tekoči dušik privedlo bližje cilindru orodja. S tem namenom se je dalo izdelati nekaj testnih orodij, ki so imela odpiranje le 5 mm. Tekoči dušik pa je bil skozi nosilec orodja preko izvrtin doveden neposredno na ojačevalnik, kjer se je na izhodu iz injektorskih kanalov uplinil. Izvedbo dovoda tekočega dušika za posamezno orodje prikazuje slika 15.

Za orodje z oznako B1 (slika 15a) se uporablja dovod tekočega dušika preko nosilca orodja. Dušik je doveden preko izvrtin do vmesne klade in preko kanalov na ustrezen vložek. To pomeni, da je bil dovod tekočega dušika na zunanji strani orodja oziroma na izhodu ojačevalca.



Slika 15: Prikaz dovoda hladilnega medija na orodje: a) B1 in b) A13 [9].

Pri orodju A13 pa je tekoči dušik speljan skozi namenski nosilec orodja skozi prirejeno vertikalno luknjo neposredno v ojačevalec, potem pa horizontalno na mejo ojačevalca in matrice. Zatem se tekoča faza dušika dovaja skozi dovodne in hladilne kanale, ter uplini po prehodu iz injektorskih kanalov (slika 16 desno).

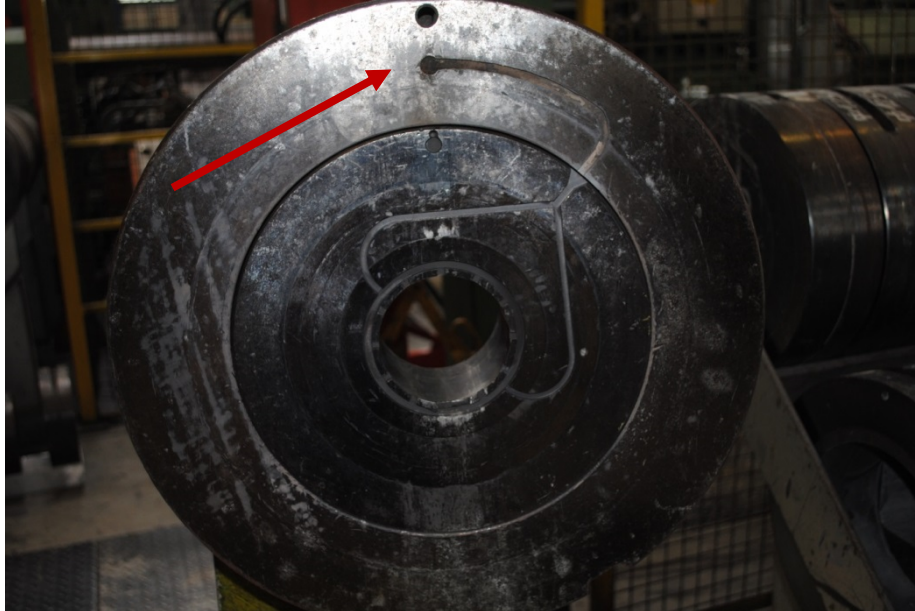
3.4.3.1 Dovod tekočega dušika za orodje B1

Na sliki 16 je prikazano orodje B1 z označenimi dovodi tekočega dušika na nosilec orodja.



Slika 16: Dovodi tekočega dušika na nosilec orodja.

Spodnja puščica prikazuje mesto, kjer se dušik, ki je doveden na stiskalnico, priklapi na prijemalnik orodja. Zgornja puščica pa prikazuje izhod dušika iz prijemalnika orodja, ki je nato speljan na vmesno klado z vložkom. Vmesna klada z vložkom premera 90 mm z dovodnimi kanali in kanali za uplinjanje je prikazana na sliki 17.



Slika 17: Vmesna klada z vložkom $\varnothing 90$.

3.4.3.2 Dovod tekočega dušika za orodje A13

Za orodje A13 je dovod tekočega dušika izveden tako, kot prikazuje slika 18.



Slika 18: Razlika dovoda tekočega dušika za orodje A13.

Spodnja puščica prikazuje dovod tekočega dušika v nosilec orodja. Zgornja puščica pa prikazuje blendiran izhod tekočega dušika, ki pa je speljan vertikalno proti orodju. Puščica levo pa prikazuje dovod tekočega dušika iz nosilca orodja v orodje. V tem primeru pa kanali na vmesni kladi z vložkom za tekoči dušik nimajo pomena, ker je tekoči dušik speljan neposredno v orodje. Razlika med dovodi kanalov za oba tipa orodij je razvidna na sliki 19.



Slika 19: Dovod tekočega dušika za orodje A13.

3.5 Merjenje hrapavosti površine cevi

Pri testiranju obeh orodij smo morali za merilo kvalitete površine iztisnjenih cevi upoštevati hrapavost površine. Zahteve kupca dotičnih cevi so razvidne iz tehnologije izdelave, kjer je navedeno, da mora biti površina svetla, čista in suha ter brez poškodb. Za eksperimentalno delo smo vzeli vzorce obeh orodij pri istih šaržah in pri isti količini iztisnjenih blokov. Parametri iztiskavanja so bili prilagojeni tehnologiji in glede na površino cevi. Za vsako orodje posebej smo vzeli vzorce na začetku, na sredini in na koncu delovnega naloga. Vzorce smo odrezali na dolžino cca 300 mm in jih jasno označili (slika 20).

Oznaka vzorcev za orodje B1:

- B1 2 blok
- B1 14 blok
- B1 30 blok

Oznaka vzorcev za orodje A13:

- A13 2 blok
- A13 14 blok
- A13 30 blok



Slika 20: Prikaz vzorcev pripravljenih za merjenje površinske hrapavosti.

Za ocene hrapavosti smo izvajali meritve hrapavosti z napravo za merjenje hrapavosti TESA Rugosurt 20 švicarskega proizvajalca (slika 21). Zajeli smo meritve, ki nam dajo jasno sliko in oceno hrapavosti površine:

R_a – aritmetična srednja hrapavosti

R_z – srednja globina hrapavosti

R_{max} – največja globina hrapavosti



Slika 21: Prikaz merjenja hrapavosti vzorcev.

4 REZULTATI IN DISKUSIJA

4.1 Zlitina AA 6082

Aluminijeva zlitina AA 6082 (AlSi1Mg) spada v serijo zlitin 6xxx. Prav tako jo uvrščamo v skupino antikorozijskih zlitin. Po standardu ASTM je označena AA 6082, po EN standardu pa jo najdemo pod oznako EN AW AlSi1Mg in tudi pod oznako EN AW 6082. Zlitina je srednje trda, ima odlično korozijsko odpornost, odporna je tudi proti kemičnim vplivom. Z iztiskavanjem te zlitine je zelo težko izdelovati tanke stene profilov in tudi pri zapletenih oblikah smo omejeni. Zaradi svoje sestave, površina profilov ni tako gladka kot pri drugih zlitinah te serije 6xxx. Zaradi omenjenih lastnosti se zlitina uporablja predvsem v:

- v prehrabni industriji: sodi za pivo, razne posode;
- v strojništvu: prirobnice, kovice, razne platforme, hidravlični sistemi;
- za konstrukcijske okvirje šotorov in raznih dvoran, za cevi, gradbene odre in
- za težke konstrukcije: mostove, žerjave, nosilne tramove [6].

Kemijska sestava zlitine AA 6082 po standardu EN je podana v tabeli 3.

Tabela 3: Kemijska sestava zlitine AA 6082 po standardu EN v masnih deležih, w (%)

ELEMENT	w (%)
Si	0,70–1,30
Fe	0,0–0,50
Cu	0,0–0,10
Mn	0,40–1,00
Mg	0,60–1,20
Cr	0,0–0,25
Zn	0,0–0,20
Ti	0,0–0,10
Ostalo	0,0–0,05
Al	Ostalo

4.2 Površina iztiskanih profilov in cevi

Pri iztiskanih profilih je poleg zahtevanih mehanskih lastnosti zelo pomembna tudi kvaliteta površine. Da dosežemo želeno kvaliteto površine, moramo zadovoljiti kar nekaj predpisanim parametrom. Med njimi so najpomembnejši:

- iztiskalno razmerje,
- hitrost bata stiskalnice in izhodna hitrost,
- surovina,
- temperatura vhodne surovine,
- izhodna temperatura profila,
- čistost recipienta ter
- oprema stiskalnice in iztočnih prog.

Vsi ti parametri vplivajo na kvaliteto površine, zato je zelo pomembno, da imamo vse te parametre pod nadzorom in jih obvladujemo. Če nam kateri od naštetih parametrov uide izpod nadzora, se to odraža (vidi) na poslabšani kvaliteti površine. Pri samem postopku iztiskavanja ne moremo vplivati na vse našteje parametre, lahko pa vplivamo na temperaturo in hitrost iztiskavanja, ki morata biti v idealnem razmerju. Ostali parametri se obvladujejo predhodno v tehnologiji in v vzdrževanju stiskalnice.

Za kvaliteto površine je eden izmed glavnih razlogov tudi orodje. Pri orodju lahko prihaja do lepljenja aluminija na matrico in cilindri orodja. Med samim procesom iztiskavanja se delci faz z nizkim tališčem sprijemajo s površino matrice in cilindrom orodja. To povzroča povečanje hrapavosti površine in slabo kvaliteto površine iztiskanih cevi. Po preoblikovanju večjega števila okroglic (blokov) se na matrici in cilindru orodja nabere toliko oksidov, da hrapavost in kvaliteta cevi presežeta dovoljeno mejo. Koncentracija oksidov se nalaga tudi na stene recipienta in da se temu pojavu izognemo, uporabljamo čistilno ploščo (slika 22) za odstranjevanje naloženega materiala s sten recipienta. Čistilno ploščo uporabljamo pri vsaki menjavi surovine in pri večji tonaži iste surovine.



Slika 22: Čistilna plošča za čiščenje recipienta.



Slika 23: Čistilna plošča po čiščenju recipienta.

Zaradi neustrezne kvalitete površine se mora (ko to nastane ali ko to ugotovimo) proces izdelovanja cevi ustaviti, orodje pa se iz procesa izloči. Postopek se nadaljuje z novim orodjem. Iz izločenih orodij se najprej s postopkom luženja odstrani aluminij. Nato sledi

postopek peskanja in postopek utrjevanja površine z nitriranjem. Nadaljnji postopki se vršijo v obratu orodjarne, kjer se orodje spolira in ga, če je to potrebno, ustrezno korigira (glede na neustrezne dimenzije). Nato se orodje sestavi in shrani v skladišče, kjer je pripravljeno na nadaljnjo uporabo. Lepljenje aluminija na orodje zmanjšamo z nanosom keramičnega mazalnega pršila SUGELUB MD 200 na površino orodja. Na trgu so na voljo še različna druga maziva npr. bor nitrid, mešanice grafitu in olja.

Ker mazanje orodja med samim procesom iztiskavanja ni mogoče, se za zagotavljanje kvalitete površine uporablja tekoči dušik. Tekoči dušik se uporablja za hlajenje orodja in za preprečevanje oksidacije v izstopni coni. Hlajenje orodja s tekočim dušikom nam tudi zmanjšuje lepljenje oksidov na zunanji del orodja, predvsem na matrico. Z uporabo tekočega dušika (ki se v injektorskih kanalih uplini) je površina cevi svetla in gladka.

Za oceno kvalitete hrapavosti cevi smo izbrali vzorce ter vizualno ocenili in določili mesta, kjer smo izvajali meritve. Meritve smo izvajali na petih mestih vsakega vzorca, kjer smo ocenili, da je površina najslabša. Zbrane rezultate smo predstavili v tabeli in izračunali povprečne vrednosti. Rezultate prikazujeta tabela 4 za orodje A13 in tabela 5 za orodje B1.

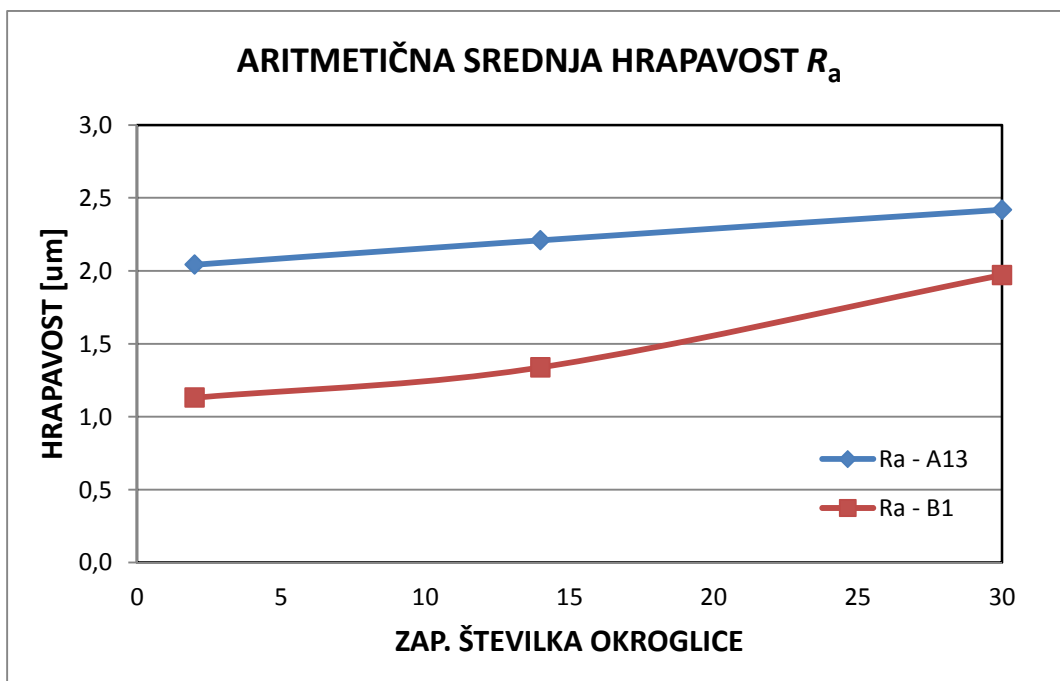
Tabela 4: Meritve hrapavosti za orodje A13.

Blok	R_a	R_z	R_{max}
2	2,04	13,80	17,84
14	2,21	17,39	23,34
30	2,42	18,07	24,77
Razlika	0,38	4,27	6,93

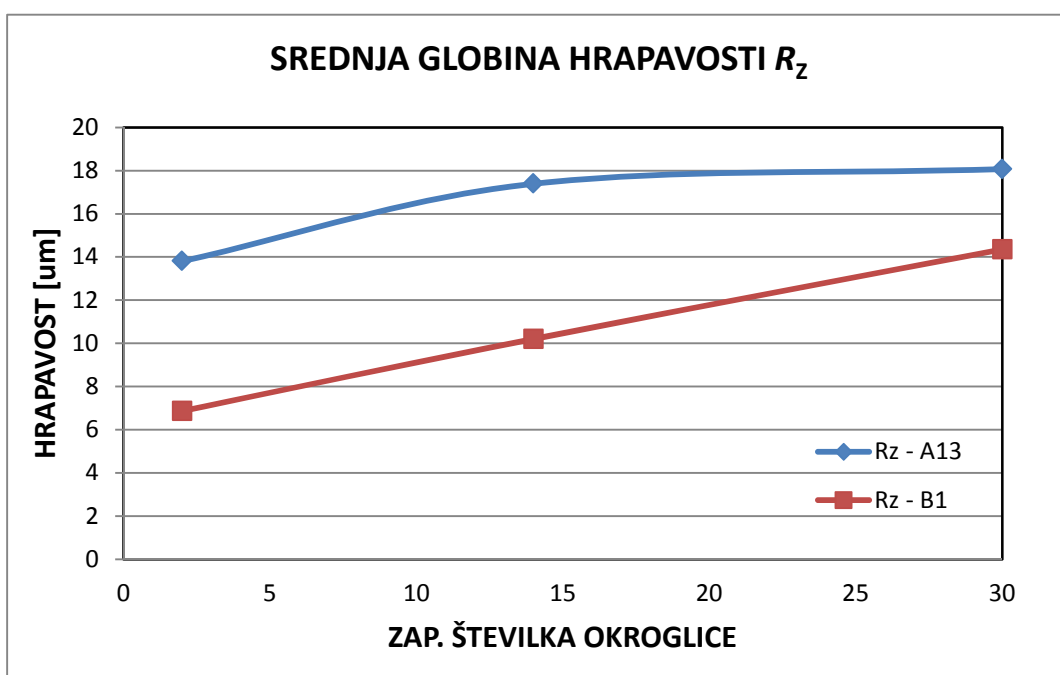
Tabela 5: Meritve hrapavosti za orodje B1.

Blok	R_a	R_z	R_{max}
2	1,13	6,87	11,66
14	1,34	10,21	15,80
30	1,97	14,35	21,86
Razlika	0,84	7,49	10,21

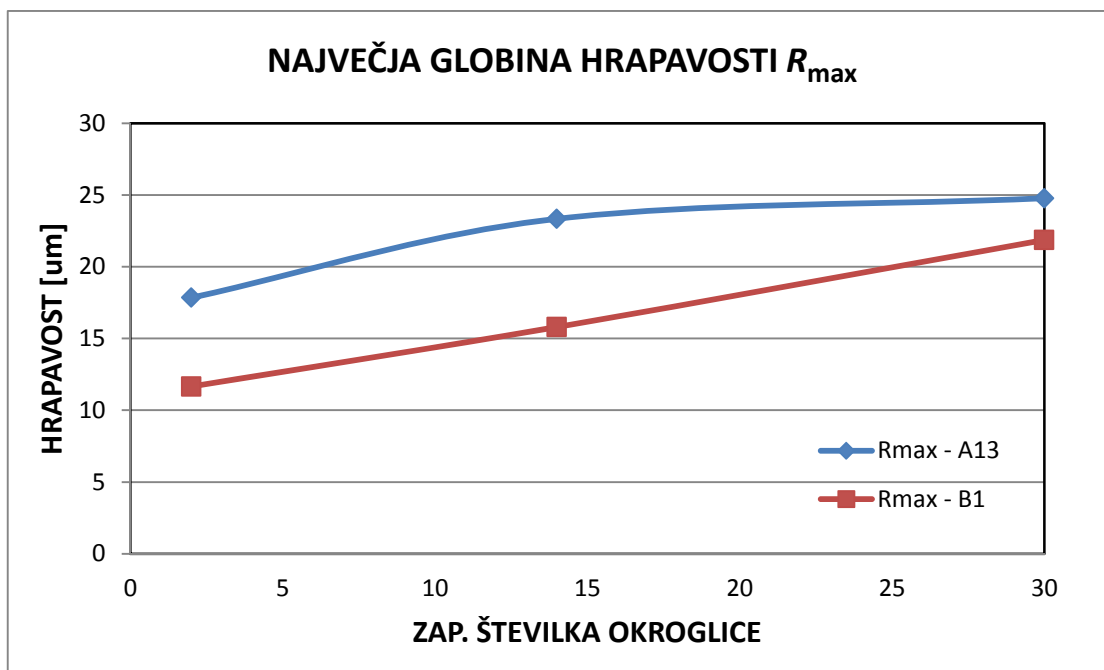
Spodnje slike prikazujejo aritmetično (slika 24), srednjo (slika 25) in maksimalno hrapavost površine profilov (slika 26) za obe orodji. Rezultati hrapavosti so podani v odvisnosti od zaporedne številke okroglice. Iz grafov lahko vidimo, da se hrapavost s številom okroglic povečuje, saj se na orodju nabirajo nečistoče, kar posledično pomeni manj gladko površino iztiskanih profilov.



Slika 24: Aritmetična srednja hrapavost R_a za orodji A13 in B1.

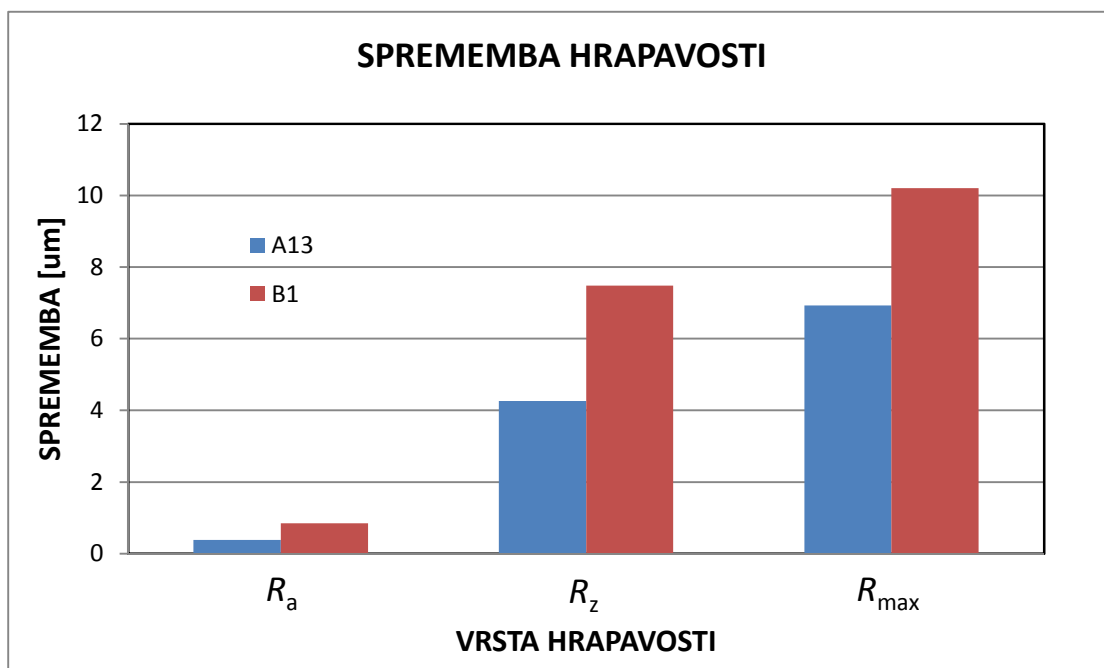


Slika 25: Srednja globina hrapavosti R_z za orodji A13 in B1.



Slika 26: Največja globinska hrapavosti $R_{\max}$ za obe orodji.

Na sliki 27 je prikazana razlika spremembe hrapavosti med tridesetim in drugim blokom za posamezno vrsto hrapavosti in za posamezno orodje. Čeprav je orodje A13 imelo v osnovi višjo hrapavost, graf spremembe hrapavosti nakazuje, da je hrapavost s številom blokov naraščala počasneje. Iz tega bi lahko sklepali, da se orodje A13 zaradi boljšega sistema hlajenja obrablja manj kot orodje B1.



Slika 27: Razlika spremembe hrapavosti med 30. in 2. blokom za obe orodji.

4.3 Primerjava parametrov iztiskavanja

V tabelah 6 in 7 so zbrani podatki testiranja za obe orodji glede na glavne parametre iztiskavanja. Parametri se za vsako orodje spreminjajo v okviru procesa iztiskavanja glede na videz in kvaliteto površine. Prilagoditev nastavitve parametrov se korigirajo med samim iztiskavanjem, in sicer z namenom, da bi dosegli željeno hitrost in kvaliteto izdelka. Vseh podatkov med sabo ne moremo direktno primerjati, saj so bili zbrani ob različnih pogojih in pri različnih šaržah. Iz zbranih podatkov bomo skušali izluščiti tudi primerljive pogoje, pri katerih bomo lahko opravili primerjavo med orodjem B1 in orodjem A13.

V tabelah 6 in 7 smo tako iz množice parametrov, ki jih beležimo v proizvodnji med procesom iztiskavanja, izbrali naslednje: šarža, število orodij pri določeni šarži, število okroglic, ki jih je orodje zdržalo, povprečna temperatura v peči, povprečna temperatura profila, povprečna hitrost iztiskavanja (mm/s) ter povprečna količina oziroma odprtost hladilnega medija (podana v %).

Tabela 6: Parametri iztiskavanja za orodje A13.

Zap. št.	Šarža	Število orodij	Število okroglic	Število okroglic na orod.	Povpr. t. v peči (°C)	Povpr. hitrost (mm/s)	Povpr. N ₂ (%)	Povpr. t. profila (°C)
1	138909	1	24	24	490	4	10	530
2	189445	1	15	15	482	4	10	437
3	174667	1	56	56	482	3	16	516
4	181904	2	64	32	480	3	20	530
5	193052 ¹ 195829	1	62	62	485	3	20	527
6	197003	1	11	11	493	3	20	452
7	189937	1	53	53	482	4	22	533
8	176565	2	80	40	488	3	26	478
9	190503	2	30	15	474	4	30	525
10	170090	2	60	30	489	3	30	519
11	185340	1	14	14	486	4	36	532
12	172229	2	58	29	496	4	41	526

¹ Isto orodje se je uporabljalo pri različnih šaržah.

Tabela 7: Parametri iztiskavanja za orodje B1.

Zap. št.	Šarža	Število orodij	Število okroglic	Število okroglic na orodje	Povpr. t. v peči (°C)	Povpr. hitrost (mm/s)	Povpr. % N ₂	Povpr. t. profila (°C)
1	168464	1	16	16	483	4	20	524
2	168403	1	39	39	487	4	20	424
3	181904	1	17	17	478	3	20	524
4	184479	1	57	57	481	4	25	533
5	190503	1	27	27	479	4	26	495
6	172229	3	109	36	489	4	28	515
7	189445	1	38	38	492	3	29	525
8	167296 ² 174667	1	52	52	485	4	30	525
9	181904 ² 167447	2	40	20	485	3	30	509
10	186405	1	53	53	478	4	30	520
11	194470	1	61	61	489	3	30	532
12	197003	2	41	20	489	4	31	526
13	170090	3	147	49	490	3	35	519
14	176565	1	13	13	487	3	35	504
15	185340	1	41	41	483	4	39	532
16	138909	1	25	25	492	4	40	531

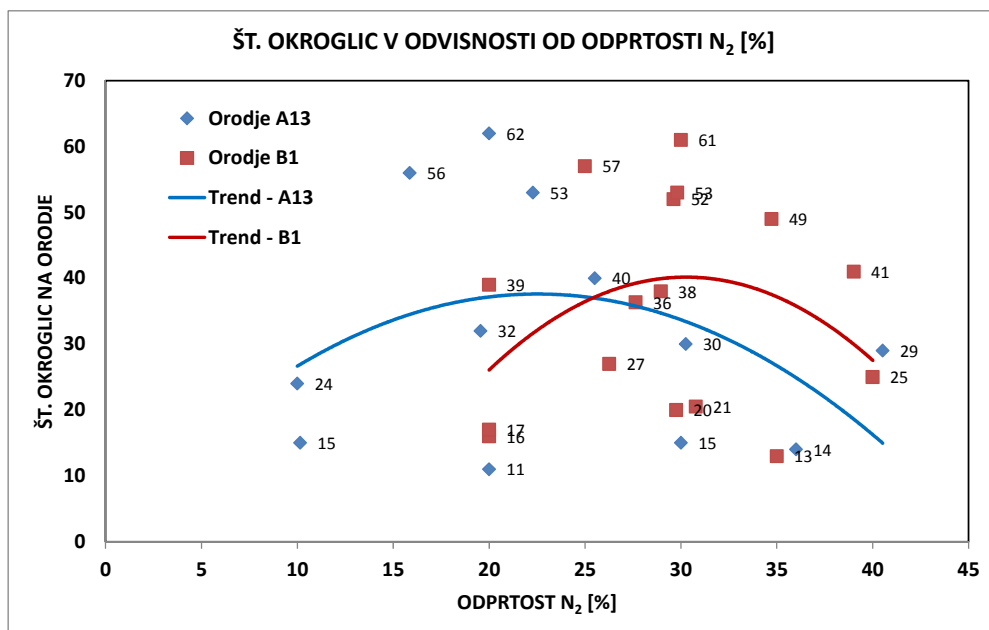
Tabela 8 prikazuje komulativno primerjavo med parametri iztiskavanja za obe orodji. Iz podatkov tako lahko vidimo, da je bilo na orodju A13 iztisnjenih 527 okroglic iz 12 različnih šarž z uporabo 17 orodji, medtem ko je bilo na orodju B1 iztisnjenih 776 okroglic iz 16 različnih šarž z uporabo 22 orodij.

Tabela 8: Tabelarična primerjava podatkov med obema orodjema za vse šarže.

Orodje	Število šarž	Število orodij	Število okroglic	Število okroglic na orodje	Povpr. t. v peči (°C)	Povpr. hitrost (mm/s)	Povpr. % N ₂	Povpr. t. profila (°C)
A13	12	17	527	32	486	4	23	509
B1	16	22	776	35	485	4	29	515

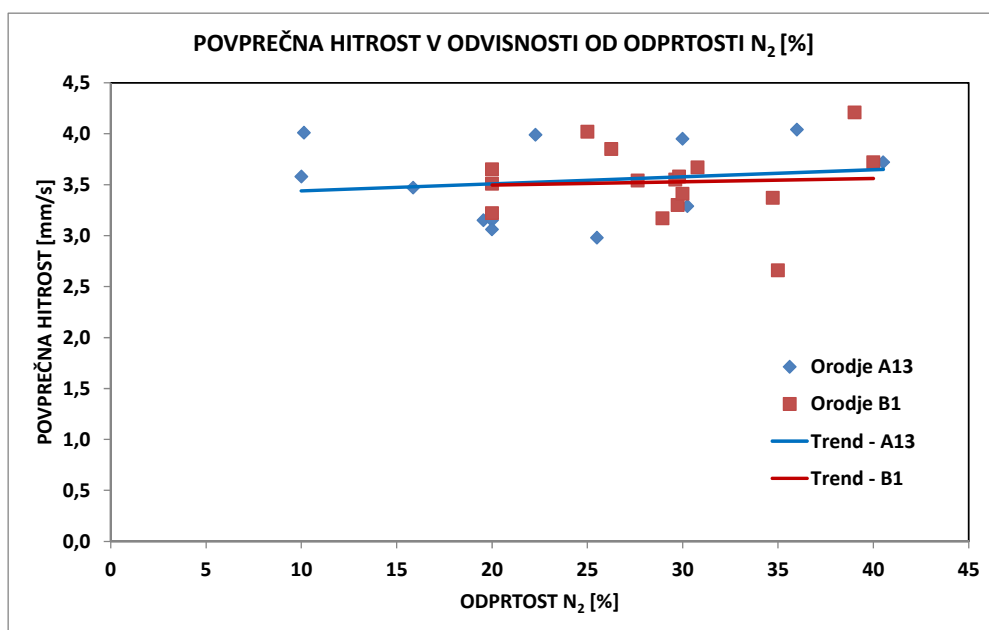
Števila iztisnjenih okroglic na orodje pri različnih količinah (odstotkih odprtosti hladilnega medija) je prikazana na sliki 28. Dovajanje hladilnega medija je možno v količini med 0 in 100 %.

² Isto orodje se je uporabljalo pri različnih šaržah.



Slika 28: Število iztisnjenih okroglic za posamezno orodje v odvisnosti od količine hladilnega medija oziroma odprtosti ventila v %.

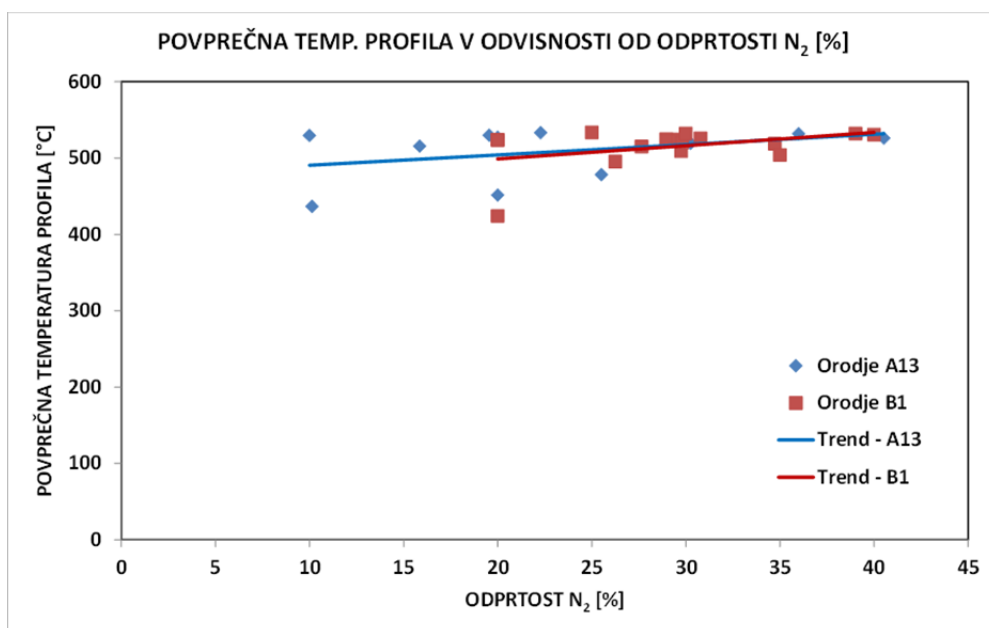
Iz trendnih črt za posamezno orodje je razvidno, pri kateri količini (odprtosti ventila) dušika je doseženo najvišje število iztisnjenih okroglic. Za orodje A13 je najvišje število iztisnjenih okroglic pri odprtosti ventila dušika med 20 in 25 %, medtem ko se podobne vrednosti števila okroglic za orodje B1 dosega pri odprtosti ventila dušika okoli 30 %. Slika 29 prikazuje povprečno hitrost iztiskavanja za posamezno orodje glede na količino hladilnega medija.



Slika 29: Povprečna hitrost iztiskavanja v odvisnosti od količine hladilnega medija oziroma odprtosti ventila.

Iz slike 29 lahko razberemo, da večjih odstopanj pri sami hitrosti iztiskavanja med obema orodjema ni. V splošnem je trend naraščanja povprečne hitrosti iztiskavanja z naraščanjem odprtosti ventila hladilnega medija. Pri obeh orodjih je bila hitrost iztiskavanja v povprečju nekje okoli 3,5 mm/s in se je gibala od 3,0 mm/s do 4,0 mm/s. Najvišja hitrost iztiskavanja, tj. 4,2 mm/s, je bila dosežena z orodjem B1 pri 39-odstotni odprtosti dušika. Iz grafa je razvidno tudi to, da so bile v nekaj primerih za orodje A13 dosežene primerljive hitrosti iztiskavanja pri bistveno nižji odprtosti dušika (10–20 %), kar nakazuje na možen potencial orodja.

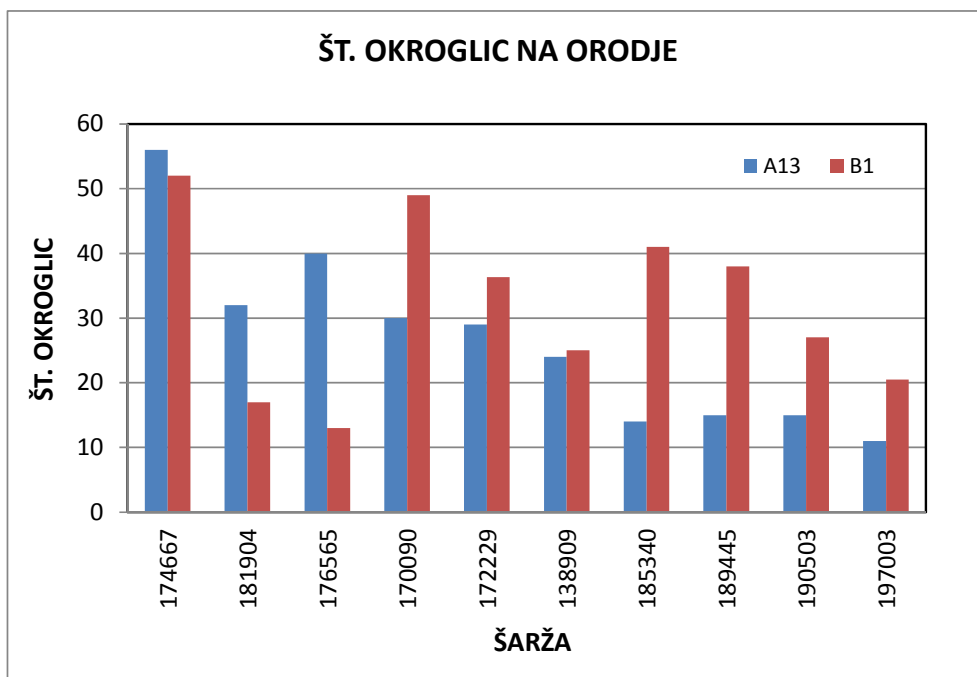
Primerjali smo tudi povprečno temperaturo iztiskanega profila za orodji A13 in B1 v odvisnosti od količine hladilnega medija. Omenjena primerjava je prikazana na sliki 30.



Slika 30: Povprečna temperatura profila v odvisnosti od količine hladilnega medija.

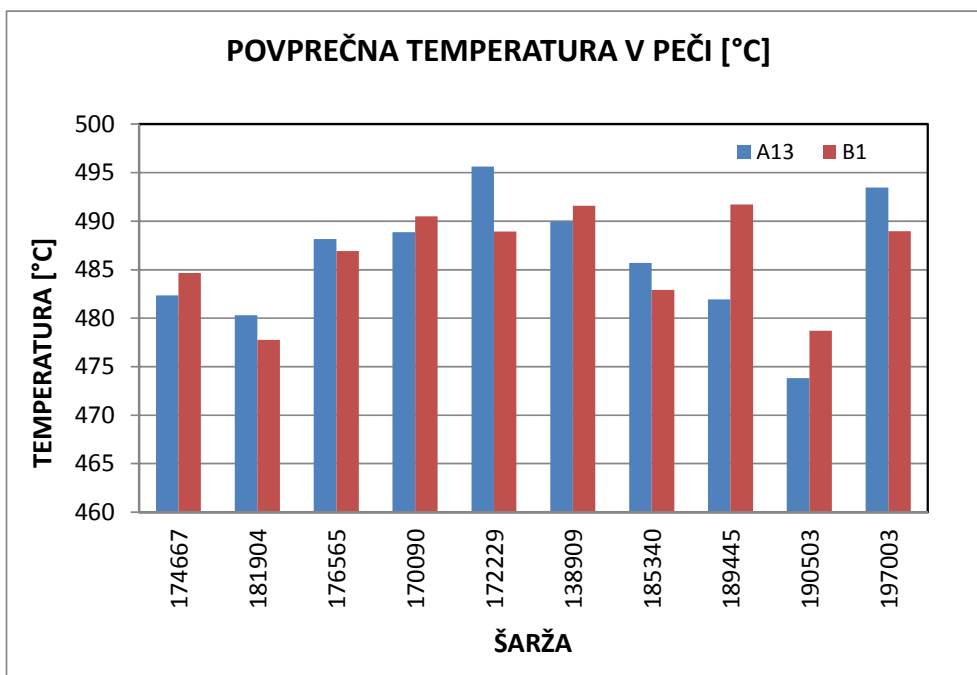
Trendne črte na sliki 30 nakazujejo, da večjih razlik pri povprečni temperaturi iztiskanega profila med orodjema ni. Vidimo lahko tudi, da povprečna temperatura profila narašča z naraščajočim odstotkom odprtosti ventila hladilnega medija. Porast temperature pa je v povezavi s hitrostjo iztiskavanja (slika 29).

Ker so med posameznimi šaržami določene razlike, ki lahko precej vplivajo na samo primerjavo parametrov iztiskavanja, smo se odločili, da bomo naredili primerjavo parametrov tudi pri istih šaržah. Ker je testiranje orodij potekalo v različnih časovnih obdobjih, vseh podatkov ni bilo mogoče primerjati, saj se obe orodji nista testirali vedno pri istih šaržah. Prav tako je zajem podatkov bil vezan na proizvodnjo v podjetju, zato je sama primerjava toliko bolj zahtevna. Primerjava podatkov za obe orodji pri istih šaržah je podana na slikah 31 do 35.



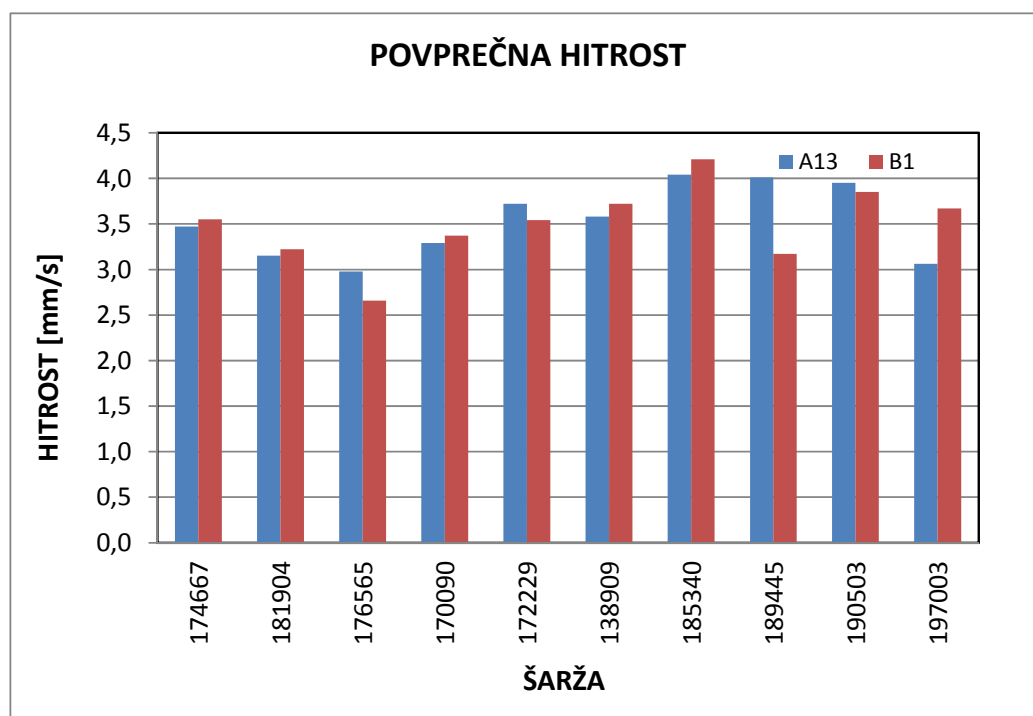
Slika 31: Število okroglic za orodji A13 in B1 pri različnih šaržah.

Slika 31 prikazuje število okroglic, ki se je doseglo za posamezno orodje. Sam podatek, koliko okroglic je vzdržalo posamezno orodje pri določeni šarži nam pove, kako hitro se je orodje obrabilo in je bilo potrebno obnove. Vidimo, da je za obe orodji bilo doseženo največje število okroglic pri isti šarži (šarža št. 174667), kar nakazuje na to, da na doseganje števila okroglic na orodje močno vpliva tudi toleranca deleža legirnih elementov pri posameznih šaržah.



Slika 32: Primerjava povprečne temperature v peči pri različnih šaržah.

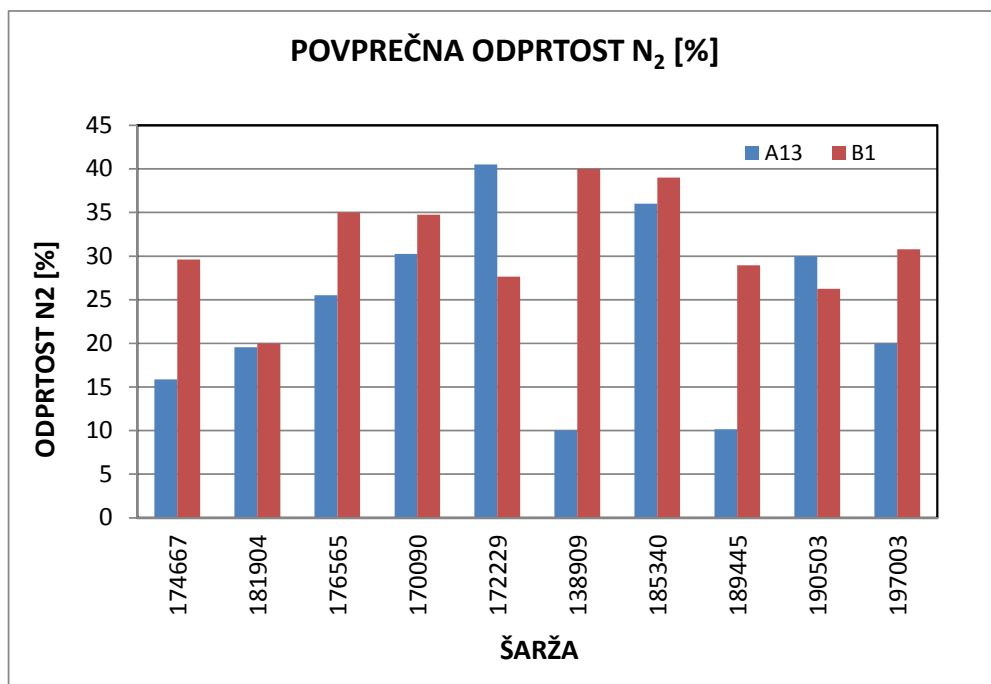
Iz slike 32 lahko razberemo, da se povprečna temperatura v peči giblje med 480 in 490 °C. Razlike temperatur v peči pri različnih šaržah so posledica prilagajanja temperature zaradi različnih sestav posameznih šarž. Temperatura se prilagaja glede na površino iztisnjenih cevi.



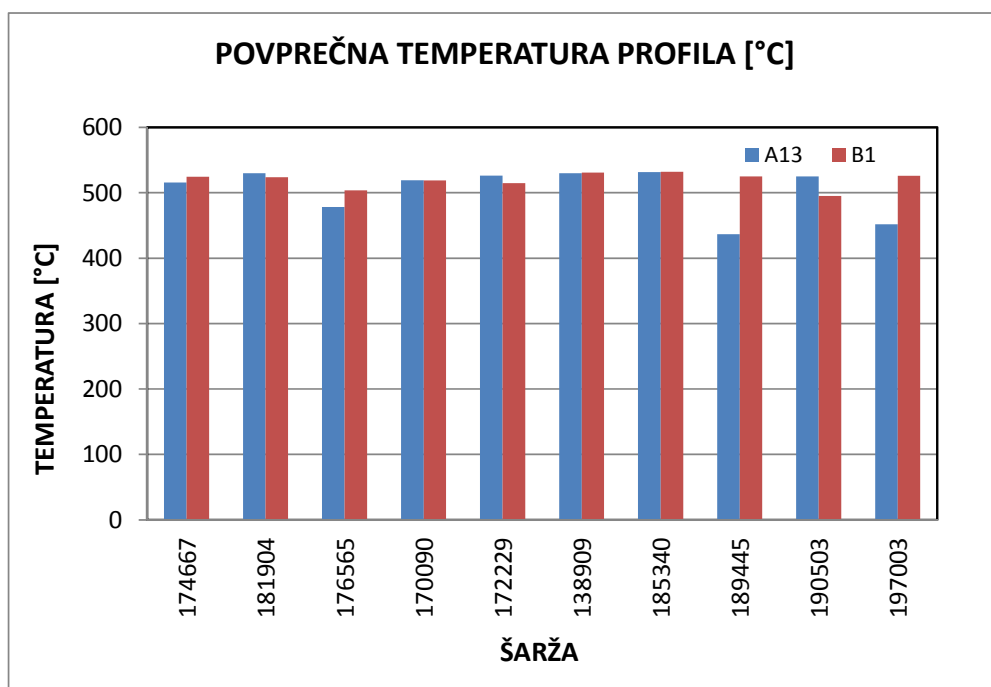
Slika 33: Primerjava povprečne hitrosti iztiskavanja pri različnih šaržah.

Slika 33 prikazuje primerjavo povprečne hitrosti iztiskavanja med posameznimi šaržami. Opaziti je mogoče, da je med posameznimi šaržami razlika v hitrosti lahko tudi 30 % ali več, medtem ko je hitrost iztiskavanja pri isti šarži za obe orodji precej primerljiva. Iz tega lahko sklepamo, da na samo hitrost iztiskavanja precej vpliva tudi sama sestava šarže.

Na sliki 34 je prikazan graf primerjave povprečne količine hladilnega medija N₂ oziroma odprtosti ventila (%) med posameznimi šaržami. V osmih primerih (od desetih) je za orodje A13 bila dosežena nižja povprečna odprtost ventila hladilnega medija (%) pri istih šaržah kot za orodje B1. To nakazuje na boljšo hladilno učinkovitost orodja A13.



Slika 34: Primerjava povprečnega odstotka odprtosti hladilnega medija pri različnih šaržah.



Slika 35: Primerjava povprečne temperature profila pri različnih šaržah.

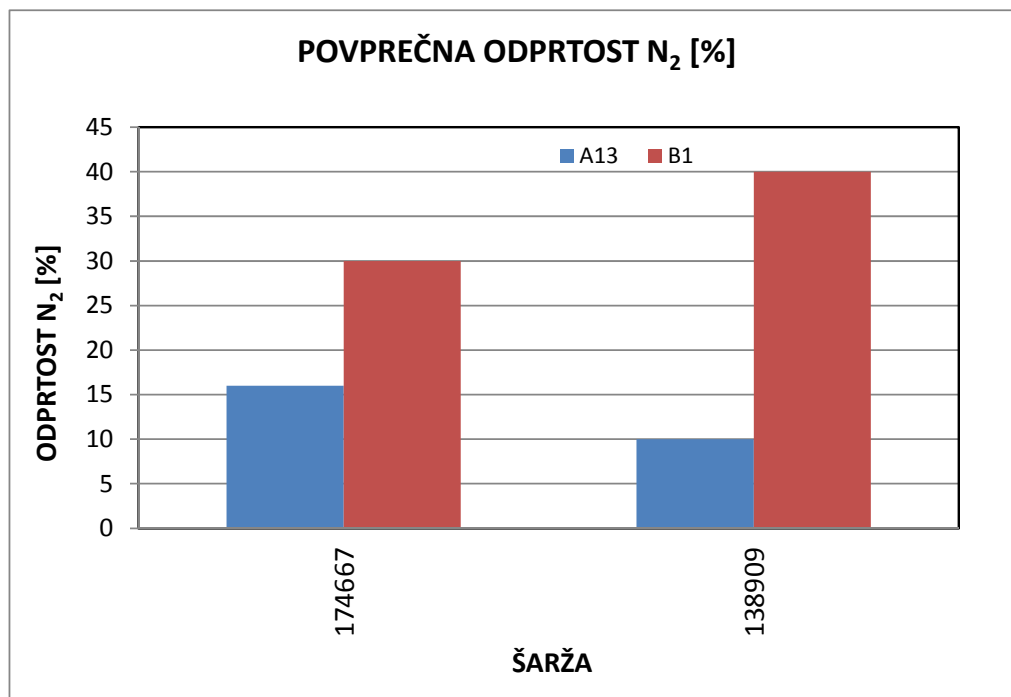
Slika 35 prikazuje povprečno temperaturo iztiskanega profila pri različnih šaržah. Grafi kažejo, da je povprečna temperatura profila relativno konstantna in večjega odstopanja med orodjema pri tem parametru ni bilo zaznati. Zanimivo je, da je temperatura profila kljub različnemu načinu dovajanja hladilnega medija v samo orodje za obe orodji praktično enaka in se giblje med 510 °C in 530 °C.

Primerjava količine (odprtosti ventila) dušika (%) pri istih šaržah in primerljivih pogojih je podana v tabeli 9 in na sliki 36. Primerljivi pogoji so tisti, kjer je bilo doseženo podobno število okroglic na orodje pri isti šarži. Potem je primerjava odprtosti ventila dušika verodostojna.

Tabela 9: Primerjava podatkov za orodji A13 in B1 pri primerljivih pogojih.

	Št. okroglic na orodje		Povpr. temp. v peči (°C)		Povpr. h. (mm/s)		Povpr. odprtost N ₂		Povpr. temp. profila (°C)	
Šarža	A13	B1	A13	B1	A13	B1	A13	B1	A13	B1
174667	56	52	482	485	3	4	16	30	516	525
138909	24	25	490	492	4	4	10	40	530	531

Iz tabele 9 lahko razberemo, da je bilo pri istih šaržah doseženo približno enako število okroglic na orodje za obe orodji. Prav tako ni bilo večjega odstopanja pri povprečni temperaturi v peči (2–3 °C), temperaturi profila in povprečni hitrosti iztiskavanja. Edini parameter, kjer je bilo zaznati opazno razliko pri primerljivih pogojih iz tabele 9, je povprečna odprtost ventila hladilnega medija. Pri tem parametru je bilo opaziti občutnejšo nižjo vrednost pri orodju A13, ki ima izboljšano dovajanje dušika. V praksi to pomeni nižjo potrošnjo dušika v proizvodnji in s tem nižje stroške. Iz grafa na sliki 36 lahko vidimo, da je odprtost ventila dušika pri primerljivih pogojih nižja, lahko tudi za polovico ali več.



Slika 36: Primerjava povprečne količine dušika (%) za obe orodji pri primerljivih pogojih.

5 SKLEPI

V diplomski nalogi smo raziskovali vpliv hlajenja orodja na iztiskavanje zlitine AA 6082. Testirali smo obstoječi način hlajenja orodja in novejši modificirani način dovoda. Pri testiranju smo se osredotočili na dvig produktivnosti glede na kvaliteto površine cevi.

V posameznih primerih smo z orodjem A13 dosegli boljše rezultate. Boljši je bil hladilni učinek, ki se odraža z nižjo izstopno temperaturo cevi. Nižja je bila tudi poraba tekočega dušika in večje število iztisnjenih okroglic na orodje. Pri kvaliteti površine pa je imelo orodje A13 v začetku res slabše rezultate, vendar se je glede na število iztisnjenih okroglic hrapavost profila počasneje slabšala. Je pa res, da se orodje A13 ni vedno dobro obneslo v praksi, kar je razvidno iz grafov (začetna vrednost hrapavosti, raztros stisnjenih količin, hitrost iztiskavanja). Domnevamo, da ostali pogoji v praksi niso dovolj konstantni, da bi dosegali ponovljivost rezultatov pri testiranjih. Še posebno so bila opažena nihanja v kvaliteti vhodnega materiala. Trenutno ima v proizvodnji pri določenih programih vhodni material večji vpliv na produktivnost in kvaliteto površine kot pa samo hlajenje s tekočim dušikom.

Produktivnosti glede hitrosti iztiskavanja nismo izboljšali. Dosegli pa smo jo z zmanjšanim izmetom orodja iz proizvodnega procesa (večje število okroglic na orodje) in zmanjšanja porabe tekočega dušika. Ta dva parametra se pa poznata v ekonomskem in finančnem vidiku. Ker pri kvaliteti površine nismo bili omejeni, smo z rezultati (glede na porabo tekočega dušika) zelo zadovoljni.

Zaključimo lahko, da ima modificirano orodje A13 potencial za izboljšanje produktivnosti in kvalitete površine, ki pa ga je potrebno še razviti in natančno opredeliti. Potrebni bo še veliko testiranj, da se ugotovi še učinek manj legirane surovine AA 6082. Žal pa je za primerjavo potreben izdelek, ki je naročen v večji količini, tj. več kot pet ton na delovni nalog.

6 VIRI

- [1] FAJFAR, P. *Tehnika preoblikovanja*. Ljubljana: Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za materiale in metalurgijo, 2010. 126 str.
- [2] CVAHTE, P. *Vezani termomehanski in metalurški procesi med iztiskavanjem Al zlitin*. Doktorska disertacija. Ljubljana, 2009. 219 str.
- [3] SAJKO, N. *Uporaba tehnoloških simulacij v CAD/CAM procesih..* Diplomsko delo. Maribor, 2010. 45 str.
- [4] PAŠKULIN, M. *Vpliv sestave aluminijevih zlitin 5754, 5083 in 6082 na njihovo ceno in mehanske lastnosti*. Diplomsko delo. Nova Gorica, 2012. 62 str.
- [5] *aluMATTER* [svetovni splet]. Dostopno na WWW: <http://aluminium.matter.org.uk/> [10.5.2016].
- [6] JOSEPH R. D. *ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM International 1993. Str. 3–290.
- [7] MLAKAR, P. *Rekristalizacija zlitine Al 7075*. Specialistično delo. Maribor, 2014. 55 str.
- [8] Interni dokument podjetja MESSER.
- [9] Interni dokument podjetja IMPOL d.o.o.
- [10] *Wikipedija: Trdota po Brinellu* [svetovni splet]. Dostopno na WWW: https://en.wikipedia.org/wiki/Brinell_scale [25.7.2016].