

**VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA,
MARIBOR**

DIPLOMSKO DELO

**LEGIRANJE TALINE ALUMINIJA - SKOZI LONEC
TALILNE PEČI Z ELEKTROMAGNETNO ČRPALKO**

Kandidat: Matej Pernat

Študent študija ob delu

Številka indeksa: 11190040007

Program: Strojništvo

Mentor: dr. Marija Kisin

Mentor v podjetju: Sandra Robič, dipl. ing. met.

Maribor, junij 2011

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Matej Pernat, št. indeksa: 11190040007, sem avtor diplomske naloge z naslovom: Legiranje taline aluminija - skozi lonec talilne peči z elektromagnetno črpalko, ki sem jo napisal pod mentorstvom dr. Marije Kisin.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo diplomsko delo izključno rezultat mojega dela,
- poskrbel sem, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oziroma citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia,
- zavedam se, da je plagiatstvo - predstavljanje tujih del oziroma misli, kot moje lastne, kaznivo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah; UL št. 16/2007, (v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom VSŠ Academia, skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32. členom ZASP dovoljujem VSŠ Academia objavo diplomske naloge na spletnem portalu šole.

Maribor, junij 2011

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici dr. Mariji Kisin, za pomoč in strokovno vodenje pri pripravi diplomskega dela.

Hvala tudi družbi Impol d.d., Slovenska Bistrica za omogočen študij na višješolskem študijskem programu strojništvo, ter mentorici v podjetju Aleksandri Robič, univ. dipl. inž. met.

Posebno zahvalo namenjam moji družini za razumevanje in podporo v času študija.

POVZETEK

V diplomskem delu bom opisal razvoj legiranja železa v talino aluminija, pri litju kontinuiranega traku. Za legiranje taline aluminija se uporabljajo predzlitine v obliki tablet ali briketov. Pri litju kontinuiranega traku nismo smeli uporabljati tablet ali briketov zaradi neraztopljenega železa, ki je povzročilo trganje folije in veliko izmeta. Zato smo razvili postopek legiranja s polnjeno železno žico skozi lonec talilne peči elektromagnetne črpalke. Uvedba postopka legiranja taline s polnjeno železno žico zagotavlja številne prednosti, kot so: avtomatsko doziranje in večja natančnost legiranja, nižji stroški legiranja, večja varnost delavca pri opraviu legiranja, višji izkoristek legiranih elementov ter popolno raztapljanje delcev železa, kar v primeru legiranih tablet in briketov pogosto ni bil primer.

Ključne besede: legiranje s polnjeno železno žico skozi lonec talilne peči elektromagnetne črpalke, večja varnost operaterjev, manjše izgube energije, možnost legiranja skozi lonec elektromagnetne črpalke.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Mittelpunkt meiner Diplomarbeit steht die Beschreibung von der Eisenlegierung in die Aluminiumschmelze beim kontinuierlichen Bandgießen. Zum Legieren der Aluminiumschmelze werden Vorschmelzen in einer Form von Tabletten bzw. Briketten verwendet. Beim kontinuierlichen Bandgießen durften wir keine Tabletten bzw. Briketten wegen des umgeschmolzenen Eisens, welches das Zerreißen von der Folie und eine große Menge von Auswurf verursachte - benutzen. Deshalb entwickelten wir das Legierungsverfahren mit dem gefüllten Eisendraht durch den Schmelztiegelofen der elektromagnetischen Pumpe. Die Einführung vom Schmelze-Legierungsverfahren mit dem gefüllten Eisendraht bietet viele Vorteile, wie zum Beispiel:

Automatische Dosierung und höhere Legierungspräzision, niedrigere Legierungskosten, besserer Schutz für die Arbeiter bei der Durchführung vom Legieren, höherer Nutzeffekt von Legierungselementen sowie vollständiger Lösungsvorgang von Eisenteilchen, was zum Beispiel bei den legierten Tabletten bzw. Briketten sehr oft nicht der Fall war.

Schlüsselbegriffe: Legierung mit dem gefüllten Eisendraht durch den Schmelztiegelofen der elektromagnetischen Pumpe, besserer Schutz für die Arbeiter, niedrige Energieverlust, Möglichkeit der Legierung durch den Schmelztiegelofen der elektromagnetischen Pumpe.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	12
1.1 Opredelitev obravnavane zadeve	13
1.2 Namen in cilji diplomskega dela	13
1.3 Predpostavke in omejitve	14
1.4 Predvidene metode raziskovanja	14
2 TEHNOLOŠKI POSTOPEK LITJA ALUMINIJA	15
2.1 Predstavitev linije za kontinuirano litje	15
2.1.1 Kontrola nivoja taline v žlebu	19
2.1.2 Podajalec žice	19
2.1.3 Alpur	19
2.1.4 Keramični filter	19
2.1.5 Livni stroj	19
2.1.6 Merilec debeline traku	21
2.1.7 Naprava za stranski obrez	21
2.1.8 Žaga	21
2.1.9 Miza za vpetje litega traku	21
2.1.10 Navijalec	21
2.2 Postopek litja (peči, livni stroj in dodatne naprave v livarni)	22
2.2.1 Priprava vložka	22
2.2.2 Taljenje	22
2.2.3 Čiščenje in modifikacija taline	23
2.2.4 Ulivanje litega traku	23
2.2.5 Definiranje livnih parametrov	24
2.2.6 Kvaliteta robov	25
2.2.7 Profil litega traku	25
2.2.8 Klin	26

4.3.2 Legiranje	48
4.3.3 Litje	50
4.4 Izdelava folije	51
4.5 Rezultat prvega testa legiranja taline z železovo žico	52
4.6 Vpliv legiranja na delovanje elektromagnetne črpalke	52
5 REZULTATI PRIMERJAVE POSTOPKOV LEGIRANJA GLEDE NA POMEMBNE KRITERIJE.....	53
5.1 Primerjava postopkov legiranja glede na kakovost taline	53
5.2 Primerjava postopkov legiranja glede na porabo energije	54
5.3 Primerjava postopkov legiranja glede na stroške	55
5.4 Primerjava postopkov legiranja glede na varnost pri delu	56
5.5 Primerjava postopkov legiranja glede na zastoje proizvodnje	57
6 ZAKLJUČEK.....	58
7 LITERATURA IN VIRI.....	60

KAZALO SLIK

Slika 1: Šaržirna naprava	16
Slika 2: Talilna peč z elektromagnetno črpalko	17
Slika 3: Dvižna livna peč	18
Slika 4: Livni stroj	20
Slika 5: Miza za vpetje litega traku z navijalcem	22
Slika 6: Profil traku	25
Slika 7: Klin traku.....	26
Slika 8: Dimenzijske tolerance traku.....	26
Slika 9: Mikrostruktura predzlitine aluminija in železa	30
Slika 10: Martenzitno zrno aluminija in železa.....	30
Slika 11: Feritno zrno aluminija in železa	31
Slika 12: Mikrostruktura predzlitine AlFe80 proizvajalca KBM	32
Slika 13: Morfologija aluminijevih zrn v hladno stisnjenih tabletah AlFe80	32
Slika 14: Morfologija in mikroanaliza železove faze v zlitini aluminijevih zrn	33

Slika 15: Mikrostrukture v briketu dimenzije Ø 90 x 45 mm predzlitine AlFe80	34
Slika 16: Mikroanaliza faz v področju aluminijevih trakov v briketu AlFe80	35
Slika 17: Mikroanaliza mikrostrukturnih konstituentov v predzlitini AlFe80	36
Slika 18: Mikrostruktura predzlitine AlFe85	37
Slika 19: Aluminij-železove faze v zrnih aluminija – detajl A	38
Slika 20: Aluminij-železovi oksidi na mejnih površinah aluminijevih in železovih zrn...	39
Slika 21: Mikroanaliza tujkov v feritnih zrnih železovega praška	40
Slika 22: Kolut polnjene žice.....	44
Slika 23: Stroj za dodajanje polnjene žice.....	47
Slika 24: Cev za vodenje polnjene žice in talina v EMP črpalki	47
Slika 25: Tabela s kemično sestavo pred legiranjem.	48
Slika 26: Tabela s kemično sestavo po legiranju.	49
Slika 27: Debelina 9 um; poroznost v liniji	54
Slika 28: Poraba plina na tono taline	55
Slika 29: Legiranje taline Al z briketi.....	56

Slika 30: Legiranje taline aluminija s polnjeno Fe žico	56
---	----

KAZALO TABEL

Tabela 1: Geometrijske lastnosti litega traku	25
Tabela 2: Primerjava dobaviteljev legiranega elementa železa	42
Tabela 3: Kvaliteta prahu	45
Tabela 4: Kvaliteta prahu	45
Tabela 5: Kvaliteta prahu	45
Tabela 6: Kvaliteta prahu	46
Tabela 7: Analize vzorcev	50
Tabela 8: Izdelava folije	51

1 UVOD

Brez aluminija danes ne moremo več. Srečujemo ga pravzaprav na vsakem koraku. Ko sedemo v avtomobil ali letalo, ko pijemo pivo, ko pečemo piščanca, ko pogledamo skozi okno ali stopimo skozi vrata. Eni najlepših izdelkov sodobnega industrijskega oblikovanja so izdelani iz aluminija. Zaradi svojih dobrih mehanskih lastnosti, korozijske odpornosti, lahкости, odličnih oblikovalskih sposobnosti in prevodnosti dosega aluminij največjo rast porabe med vsemi kovinami.(www.talum.si, dne 6.3.2011)

Proizvodnja toplo in hladno valjanih polizdelkov iz aluminija in njegovih zlitin pozna dva tehnološka postopka, ki se med seboj razlikujeta v obliki izbire vhodne surovine, brama ali liti traku, in tehnoloških fazah proizvodnje. Oba sta dobro poznana in sta tudi nosilca proizvodnje valjanih polizdelkov v vsej svetovni aluminijski industriji.

Obe obliki omogočata izdelavo hladno valjanih polizdelkov, medtem ko je proizvodnja toplo valjanih možna le po postopku predelave iz bram. Izbor litega traku prav tako ne omogoča proizvodnje celotne palete hladno valjanih izdelkov iz aluminija in njegovih zlitin, ker obstoječa stopnja razvoja, kljub velikemu napredku in nenehnim izboljšavam na tem področju, še vedno ne omogoča ustrezne površine traku in dovolj visoke kakovosti litja traku iz trdih zlitin.

Osnovna razlika med kontinuiranim ulivanjem trakov in nekontinuiranim ulivanjem bram je v hitrosti strjevanja; ta znaša pri nekontinuiranem ulivanju bram največ 50 °C/s, pri kontinuiranim ulivanjem trakov do 1000 °C/s. Zaradi izjemno velike hitrosti strjevanja se v litem traku ustvarjajo fina zrna s povprečno velikostjo zrn ~5 um in vključki na osnovi metalnih spojin. Tudi koncentracija legiranih elementov v trdni raztopini je večja, kar odpira možnosti uporabe zlitin z večjo vsebnostjo železa in povečuje kakovost litega traku. Naslednja prednost je možnost uporabe cenejšega odpadnega aluminija. Vendar je v vsakem primeru nujno zagotoviti ustrezne lastnosti taline, ki so predpogoj za doseganje ustrezne kakovosti, zlasti pri proizvodnji trakov za tanke folije.(Yeremenko, 1976, 29)

1.1 Opredelitev obravnavane zadeve

Pri sodobnih postopkih taljenja aluminijevega vložka s pečmi z elektromagnetno črpalko, je s stališča ekonomičnosti procesa zaželeno legirati železo skozi lonec elektromagnetne črpalke. Na ta način se občutno izboljša homogenost taline, kar v veliki meri vpliva na kakovost končnega izdelka ter ustvari precejšnje prihranke pri porabi energije.

V nalogi opisujem razvoj polnjene legirane žice za legiranje aluminijevih zlitin skozi lonec talilne peči z elektromagnetno črpalko in razvoj postopka legiranja, ki omogoča avtomatsko legiranje taline, brez odpiranja vrat na talilni peči, česar na linijah za kontinuirano litje aluminija do zdaj niso uporabljali.

1.2 Namen in cilji diplomskega dela

Namen diplomskega dela je predstaviti ugotovitve, da je kakovost legiranja taline s polnjeno legirano žico popolnoma primerljiva in učinkovitejša v primerjavi s kakovostjo legiranja s komercialnimi aluminij železovimi tabletami oziroma briketi.

Cilji pri legiranju s polnjeno legirano žico v lonec EMP so naslednji:

- avtomatsko doziranje s podajalcem,
- večja natančnost legiranja, meje za legiranje Fe so zelo ozke, pri določenih zlitinah samo pol % (npr. 0,95-1,00 %),
- nižji stroški legiranja,
- večji izkoristek legiranih elementov (Fe polnjena žica se dodaja pod talino aluminija v lonec EMP črpalke),
- popolno raztapljanje delcev železa, ker se dodaja železo počasi (hitrost dodajanja je omejena na podajalni napravi) in enakomerno.

V primeru uporabe legiranih tablet in briketov je v mikrostrukturi končnega izdelka (Al. foliji), železo ostalo neraztopljeno. Posledica prisotnosti neraztopljenega železa, je bilo trganje folije pri valjanju in veliko izmeta.

1.3 Predpostavke in omejitve

Predpostavke:

- razpoložljivost tuje in domače strokovne literature,
- razpoložljivost in točnost podatkov v podjetju.

Omejitve:

Pri pripravi diplomskega dela sem naletel na določene omejitve, ki so predvsem omejenost na razpoložljivo literaturo in interne vire v podjetju, ter zaupnost podatkov v podjetju. Zaradi obsežnega področja tematike, bodo nekatera področja omejeno predstavljena.

1.4 Predvidene metode raziskovanja

Uporabljene metode:

- metoda opisovanja,
- metoda spraševanja,
- metoda pridobivanje spoznanj in stališč iz strokovne literature in prakse,
- metoda primerjanja.

2 TEHNOLOŠKI POSTOPEK LITJA ALUMINIJA

V svetu so zadnjih nekaj let sledile raziskave in razvoj k optimizaciji naprav za kontinuirano ulivanje trakov za proizvodnjo visoko kvalitetnih izdelkov neposredno iz tekočega aluminija. Običajne debeline litega traku so med 5 in 12 mm, ki so odvisne od tipa naprave, zahtev hladnega valjanja in zahtev končnega proizvoda. Za večino izdelkov je debelina med 6 in 7 mm primerna za znižanje stroškov hladnega valjanja, večje debeline litega traku se uporabljajo, ko so zahteve za končni proizvod z večjimi debelinami, drobno zrnate strukture in minimalnim zavijanjem. Tanjše debeline traku imajo prednost za zmanjšanje obremenitve livnega stroja in povečanje življenjske dobe valjev.

2.1 Predstavitev linije za kontinuirano litje

Razporeditev delovnih mest:

- vodja izmene
- livar
- talilec.

Vodja izmene: vodi in kontrolira proces litja po predpisani tehnologiji, v skladu z zahtevami sistema kakovosti, sistema ravnanja z okoljem in sistema PZ&V. Pripravlja talino za litje (pregleduje delovne naloge, kontrolira temperature taline, jemlje vzorce za kemijske analize, izvaja korekcijo kemijske sestave taline, posnema talino). V informacijski sistem vnaša podatke o vsadi, preliva talino. Pripravlja livne naprave za litje, izvaja litje – izvede nastavitve litja, nadzira litje, odvzame končni vzorec, zaključi litje). Označi izdelke, jih stehta in vse evidentira v informacijski sistem. Izvaja aktivnosti za vzdrževanje čistega in urejenega delovnega okolja. Izobražuje in usposablja se v skladu s planom in potrebami proizvodnega procesa. Izvaja dela, ki so potrebna za nemoteno uresničevanje planskih obveznosti PP Livarna, upoštevajoč znanja in sposobnosti operaterja litja in opravlja druga dela po navodilih nadrejenega vodje.

Livar: izvaja odvoz kolobarjev, pripravlja livne naprave za litje, v informacijski sistem vnaša podatke o vsadi, izvaja litje, izvaja pripravo talin za litje, izobražuje in usposablja se v skladu s planom in potrebami proizvodnega procesa, izvaja dela, ki so potrebna za nemoteno uresničevanje planskih obveznosti PP Livarna in opravlja še razna druga dela po navodilih vodje izmene.

Talilčeve naloge so: pregled delovnih nalogov in vsade, zalaganje peči, priprava taline za prelitje (posnemanje žlindre, kontrola temperature taline, jemanje vzorcev za kemijske analize, korigiranje Al-taline). Prelitje (priprava žleba za prelitje, odpiranje odprtine za prelitje, nadzor pri prelivanju, čiščenje talilne peči, priprava orodja), izobraževanje in usposabljanje v okviru podjetja in v skladu s planom in potrebami proizvodnega procesa.



Slika 1: Šaržirna naprava

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

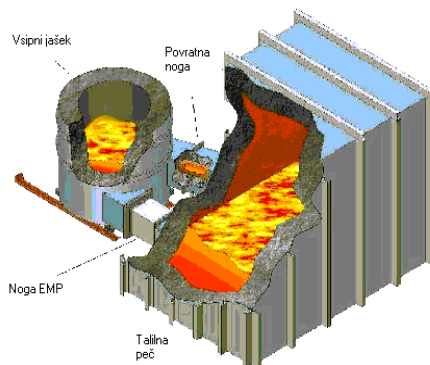
Šaržirna naprava je sestavljena iz šaržirnega kontejnerja s kapaciteto zalaganja 6000 kg, potisnim batom in operaterjeve kabine. Z napravo je možno zalaganje ali v stransko ali v glavno komoro talilne peči, ker se premika po tračnicah vzdolž peči.

Šaržirni kontejner se lahko odstrani z naprave, oziroma napolni z viličarjem ali z mostnim žerjavom.

Prednosti takšnega postopka šaržiranja so sledeče:

- krajši čas šaržiranja vpliva na povečanje zmogljivosti peči,
- zmanjša se izguba toplote zaradi krajšega časa šaržiranja in dejstva, da naprava pokrije dober del odprtine vrat peči,

- poraba energije se zmanjša zaradi manjše ohladike stene peči,
- operater je dobro zaščiten pred morebitnimi brizganji taline, ker je kabina zaprta s treh strani z zaščitno mrežo.



Slika 2: Talilna peč z elektromagnetno črpalko

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

Dvokomorna talilna peč je sestavljena iz naslednjih enot:

Glavne komore: na rampo komore v dolžini 1000 mm se šaržira čisti, težki material ali primarni aluminij.

EMP črpalka: v šaržirni jašek črpalke se šaržira s pomočjo transportnega elevatorja lahek in čisti material, kot so drobni odrezki, briketi itd.

Stranska komora: je namenjena za šaržiranje paketov, kolobarjev in ostalih večjih odpadkov.

EMP črpalka premešava talino od glavne komore skozi njo v stransko komoro in se vrača skozi odprtino med obema komorama nazaj v glavno. Višina odprtine je tolikšna, da ne dopušča, da žlindra in nečistoče uidejo v glavno komoro, ampak se zadržujejo v stranski, od koder se posnamejo skozi vrata v korita za žlindro.

Peč je opremljena z enim kompletom modernih regenerativnih gorilnikov, ki se kontrolirajo tako, da v enem času, ko sta gorilnika v obratovanju, samo en gorilnik gori, medtem ko drugi vsrkava dimne pline.

Vroči dimni plini prehajajo skozi negoreč gorilnik in skozi hranik napolnjen s keramični kroglicami, kjer se toplotna energija dimnih plinov absorbira na kroglice in shrani za kasnejšo uporabo.

Po preteku 120 sekund delovanja gorilnika je obraten proces in hladni zrak za izgorevanje se vodi skozi segret hranik s kroglicami. Nakopičena toplota se sprosti tako, da segreje zrak za izgorevanje, da doseže večjo izgorevno razmerje. Zaradi uporabe keramičnih kroglic se izvede prenos energije pri mnogo večjih temperaturah kot pri klasičnih rekuperatorjih, tako, da se več energije prenese na zrak za izgorevanje.



Slika 3: Dvižna livna peč

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

Livna peč ima vstopno odprtino v obliki sifona za prelitje iz talilne peči s pnevmatskim odpiralom in izstopno odprtino na sprednji strani, za prenos taline s pomočjo dvižnih cilindrov iz peči do livnega stroja skozi alpur in keramični filter. Spoj med pečjo in žlebom je točno v dvižni osi, da talina mirno izteka iz peči.

Obzidava peči je v spodnjem delu iz opeke in zunanje izolacije ter v zgornjem delu iz izolacijskih betonskih modelov.

Za vzdrževanje temperature v peči se uporabljata gorilnika na zrak s kapaciteto 600 kW za vzdrževanje temperature in 1900 kW za hitro segrevanje temperature taline v livni peči.

2.1.1 Kontrola nivoja taline v žlebu

Za kontrolo nivoja taline se uporablja brez kontaktni laserski sistem, ki kontrolira in uravnava dvigovanje peči. Če zazna nivo taline izven nastavitvenih vrednosti, avtomatsko aktivira dvigovanje/spuščanje peči. To delovanje zagotavlja stalen dotok taline do livnega stroja v tolerančnem območju ± 3 mm.

2.1.2 Podajalec žice

Naprava za dodajanje žice Al-Ti-B se uporablja v območju dodajanja od 3 do 60 cm/min in je nameščena med livno pečjo in napravo za čiščenje taline.

2.1.3 Alpur

Alpur je namenjen za čiščenje taline med kontinuiranim litjem s pretokom taline od 1 do 5 t/h. Korito je stabilno in pregrajeno v komoro za čiščenje, v katero je vstavljen grafitni rotor in 14 kW grelec s sialonskim ohišjem, ter komoro za izhod taline. Za čiščenje se uporablja inertni plin argon.

2.1.4 Keramični filter

Keramični filter se uporablja v procesih kontinuiranega ulivanja za odstranjevanje vključkov iz taline. Odvisno od velikosti filtra, poroznosti in čistosti taline se lahko uporablja isti filter za 150 do 400 t taline, nato se filter zamenja. Uporabljamo keramični filter dimenzije 12"x12"x50" in poroznosti med 40 in 60 ppi s pokrovom nad ohišjem, ki ima vgrajen sistem segrevanja z regulacijo temperature.

2.1.5 Livni stroj

Livni stroj je sestavljen iz naslednjih enot:

- sistema za oskrbo taline z nastavitveno mizo,
- sistema za kontrolo in regulacijo nivoja taline,

- sistema za mazanje valjev,
- šobe za porazdelitev taline,
- ohišja livnega stroja z valji in motornim pogonom.

Pravilen pretok taline se enakomerno razporedi med valje s sistemom za oskrbo taline z nastavitveno mizo in šobe, ki je pritrjena na mizo.

Sistem kontrole in regulacije nivoja taline deluje z natančnostjo $\pm 0,3$ mm na referenčni nivo taline.

Šoba je izdelana iz izolacijskega keramičnega materiala, ter je sestavljena iz več delov za hitrejšo sestavljanje in montažo. Izolacijski material mora imeti dobro trdnost pri visokih temperaturah, nizko toplotno prevodnost, dobro korozijsko obstojnost.

Valja sta montirana in pritrjena na jekleno ohišje ter sta sestavljena iz jedra in vodno hlajenega plašča izdelanega iz kovanega jekla. Sistem valjev je montiran na vozičku za hitro in lažjo menjavo.

Tehnična specifikacija litega traku:

- Širina traku (maksimalna/minimalna)	1800/900 mm
- Debelina traku (maksimalna/minimalna)	10/5 mm
- Hitrost litja (maksimalna)	6 m/min
- Premer kolobarjev (zunanji/notranji)	1900/500 mm
- Teža kolobarja	12800 kg (7,11 kg/mm)



Slika 4: Livni stroj

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

2.1.6 Merilec debeline traku

Kontinuirano merjenje debeline prečnega in vzdolžnega profila za vrednotenje geometrije litega traku med ulivanjem se izvaja z napravo z brez kontaktnim merilcem na osnovi sevanja X-žarkov.

2.1.7 Naprava za stranski obrez

Naprava za stranski obrez je nameščena med livnim strojem in žago in je namenjena za obrez traku na določeno širino. Obrez je postopek za odstranjevanje stranskih razpok litega traku, ter za zmanjšanje številnih stranskih obrezovanj med kasnejšim postopkom hladnega valjanja.

Po tej operaciji ni potrebno obrezovanje do 0,5 mm debeline traku. Z uporabo tega postopka se poveča kapaciteta hladne valjarne, istočasno pa se zmanjša hrup, ki se pojavi pri obrezovanju pri prvem prehodu na hladni valjarni.

2.1.8 Žaga

Žaga oziroma škarje so namenjene odrezovanju traku, ko le-ta doseže zahtevano težo

2.1.9 Miza za vpetje litega traku

Miza je nameščena tik pred navijalcem. Ko se trak vpne, je v zgornji poziciji, da podpre in vodi kolobar v prijemalni utor. Pred mizo je nameščen valj, ki se prosto vrti na dveh drsnih ležajih, s pogonom preko traku.

2.1.10 Navijalec

Premer ekspanzijskega trna je 600 mm in maksimalen premer litega traku je 1950 mm širine 1800 mm. Maksimalna teža navitega traku je 12700 kg



Slika 5: Miza za vpetje litega traku z navijalcem

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

2.2 Postopek litja (peči, livni stroj in dodatne naprave v livarni)

Za kontinuirano litje traku je potrebno izvesti naslednje tehnološke procese:

2.2.1 Priprava vložka

Priprava vložka je predhodna tehnološka faza, pri kateri stehtamo vložek, ki je skladiščen v skladišču surovin in je namenjen pretaljevanju v talilnih pečeh. Vložek je za posamezno šaržo sestavljen iz:

- 70 % primarnega aluminijskega v obliki ingotov, T-ingotov ali bram
- 30 % povratnega materiala, ki nastane pri proizvodnji folij od tehnoloških odpadkov pri ulivanju trakov do končnega hladnega valjanja in obreza folij v obliki kolobarjev, odrezkov ter briketov,
- legirnih elementov.

2.2.2 Taljenje

Taljenje je tehnološka faza, kjer pripravljen vložek šaržiramo v talilno peč. Šaržiranje vložka se izvaja s pomočjo viličarja ali šaržirne naprave v dvokomorno talilno peč v glavno, stransko komoro ali v EMP črpalko, kar je odvisno od vrste in oblike materiala. Raztaljen vložek segrevamo do maksimalne temperature taljenja, ki je odvisna od sestave

in kvalitete zlitin. Nastale nečistoče posnamemo s površine taline in na podlagi kemijske analize izvedemo korekcijo kemijske sestave z dodajanjem legirnih elementov v EMP črpalko.

2.2.3 Čiščenje in modifikacija taline

Čiščenje taline je naslednji tehnološki proces, ki se izvaja med samim procesom ulivanja. Naprava za čiščenje taline je postavljena med livno pečjo in livnim strojem. Za čiščenje taline se uporablja inertni plin ali plinska mešanica (inertni in aktivni plin). Talina priteče iz livne peči v korito, v katero je vstavljen grafitni rotor, skozi katerega izhajajo mehurčki plina ali plinske mešanice, ki kemično ali mehansko odstranjuje nečistoče tako, da z mehurčki splavajo na površino taline, od koder se odstranijo skozi odprtino naprave. Pretok plina oz. plinske mešanice je:

- argon ali dušik maksimalno 4 m³/h.

S postopkom čiščenja taline se zmanjšajo raztopljen vodik ter kovinske in nekovinske nečistoče (npr. oksidi, karbidi in ostale primesi), ki so v talini kot posledica onesnaženega ali vlažnega vložka, procesa taljenja, obzidave peči itd.

2.2.4 Ulivanje litega traku

Kontinuirani proces ulivanja zahteva neprekinjeno oskrbo s tekočo kovino pri kontrolirani temperaturi in konstantnem nivoju taline v zbirnem koritu. Kontinuirano ulivanje širokih trakov združuje v eni proizvodni operaciji strjevanje taline in valjanje strjenega materiala v trak. Talina se v prostor med valjema dovaja s pomočjo posebno izoblikovane šobe. Valja obratujeta kot toplotna izmenjevalca in valjalni stroj. Sestavljena sta iz jedra in plašča nasajenega na jedro. Med jedrom in plaščem kroži hladilna voda in ohlaja plašč, ki je v stiku s talino oziroma strjenim trakom. V stiku z vodno hlajenima valjema se talina, ki prihaja iz šobe, strdi in oblikuje v trak, ki ga valja še deformacijsko predelovalno utrdita. Valja se med obratovanjem premazujeta z vodno suspenzijo grafitnih delcev, ki preprečuje lepljenje kovine na valja. Omenjena suspenzija deluje kot mazivo in obenem kot toplotna pregrada, ki regulira prenos toplote med kovino in valjema.

2.2.5 Definiranje livnih parametrov

V tabeli so podani glavni livni parametri za doseg ustreznih geometrijskih lastnosti in kvalitete litega traku.

Bombaž	0,60 mm (novi valji)
Širina korita	1330 mm
Širina šobe	1370 mm
Debelina podpornikov v šobi	21.4 mm
Širina podpornikov v šobi	120 mm
Temperatura v žlebu livne peči	740–780 °C
Način alpurja	Obdelava
Temperatura v alpurju	740-760°C
Hitrost rotorja v alpurju	150-200 vrt/min
Pretok argona v alpurju	3,8-4,2 Nm ³ /h
Pretok klora v alpurju	0-40 Nl/h
Vsebnost klora v alpurju	0-1 %
Želena vrednost hitrosti dodajanja žice	30-40 cm/min
Količina dodanega ofinjevalca	3–3,5 kg/t
Način filtra CFF	Litje
Želena temperatura v filtru CFF	740-760 °C
Nivo taline	11-15 mm
Temperatura v koritu	710-730 °C
Temperatura v sredini šobe	695-705 °C
Temperatura v šobi na operaterjevi strani	700-715 °C
Temperatura v šobi na pogonski strani	700-715 °C
Začetni setback	68 mm
Setback med litjem	65-75 mm
Način litja	S tlakom
Hitrost valjev	1,15-1,25 m/min
Zdrs	12-15 %

Hitrost traku	1,20-1,40 m/min
Produktivnost	1,11-1,30 t/h/m
Skupna produktivnost	1,6-1,9 t/h
Sila OS	600-650 t
Sila PS	600-650 t
Navor zgornji valj	18000-24000 daN.m
Navor spodnji valj	18000-24000 daN.m
Koncentracija grafita	1,7 %
Hitrost črpalke za grafit zgornji valj	18-24 %
Hitrost črpalke za grafit spodnji valj	18-24 %

Tabela 1: Geometrijske lastnosti litega traku

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

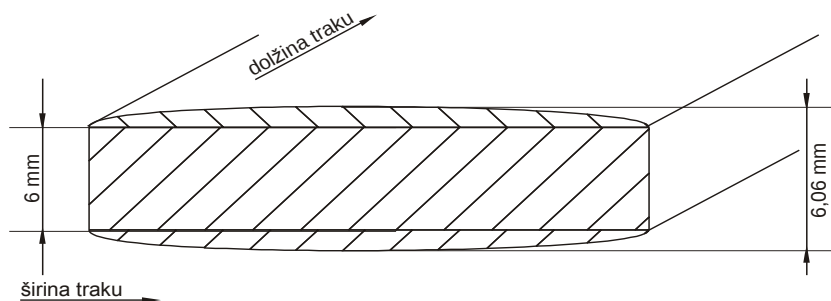
2.2.6 Kvaliteta robov

Robovi morajo biti stransko rezkani, gladki in brez razpok.

2.2.7 Profil litega traku

Profil je število izraženo v odstotkih, ki pove največji odklon po debelini čez celoten profil.

V vsakem primeru mora biti maksimalni profil vedno manj kot 2 %.

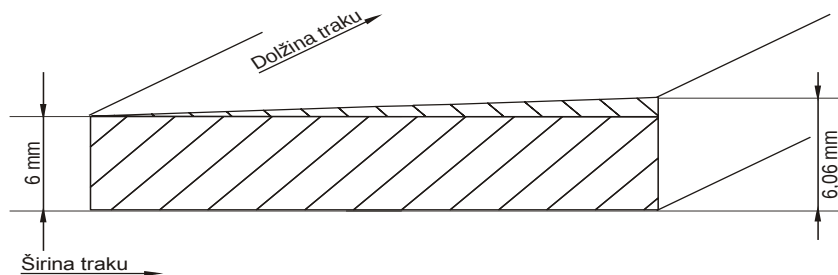


Slika 6: Profil traku

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

2.2.8 Klin

Klin je število izraženo v odstotkih, ki meri relativne odklone v debelini od enega roba do drugega. V vsakem primeru mora biti maksimalni klin vedno manj kot 2 %.

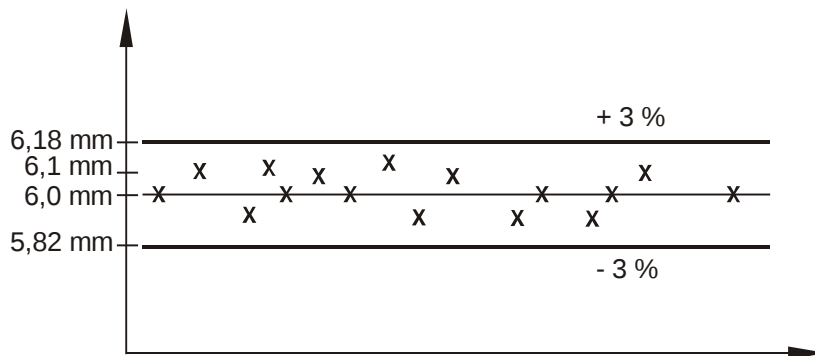


Slika 7: Klin traku

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

2.2.9 Dimenzijske tolerance

Debelina traku znaša 6,0 mm s toleranco $\pm 3\%$ (6,00 mm $\pm$ 0,18 mm)



Slika 8: Dimenzijske tolerance traku

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

2.2.10 Zunanji premer

Zunanji premer kolobarja je: 1800 mm, notranji premer je: 500 mm.

2.2.11 Definiranje metalurške kvalitete traku

Pri traku 6 mm površina ne sme biti oksidirana in ne sme imeti strukturnih napak, biti mora enakomerno gladka, brez prahu ali drugih površinskih napak, ki bi lahko vplivale na končni zgled folije.

Maksimalna količina oksidov na površini znaša 300 mg/dm^2 , končni cilj je pod 250 mg/dm^2 .

2.2.12 Skladiščenje

Po končanih tehnoloških operacijah v livarni se liti trakovi delno skladiščijo v proizvodnih prostorih za obdobje do 24 ur, od koder se odpeljejo v PE valjarno na nadaljnjo predelavo. (Interni dokumenti podjetja Impol d.d.)

3 POSTOPEK LEGIRANJA TALINE ALUMINIJA Z ŽELEZOVIMI BRIKETI

Proizvajalci kontinuiranih litih trakov iz aluminijevih zlitin legirajo železo večinoma v obliki hladno stisnjenih briketov oziroma tablet različnih komercialnih dobaviteljev, iz mešanice 75-80% železovega prahu ter 15-25 % aluminijevega prahu z ali brez dodatka talil. Vloga talila je predvsem odstranjevanje oksidov s površine delcev železa in aluminija, ki zavirajo raztapljanje železa v talini.

Tablete oziroma briketi so dokaj kakovosten vir železa za legiranje aluminija v konvencionalnih talilnih pečeh, brez homogenizacije taline z elektromagnetno črpalko. Ker pa predstavljajo lahko tudi izvor nečistoč, ki se odraža na kvaliteti izdelanih kontinuirano litih trakov in hladno valjanih folij, je nujno poznavanje njihovih kemijskih, morfoloških in mikrostrukturnih značilnosti. (Shafyei, Guthrie, 1995, 831)

3.1 Potek dela

Železo dodajamo skozi vrata talilne peči v obliki tablet AlFe_{80} v glavno komoro pri temperaturi nad $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ po naslednjih korakih:

- tablete se vzame iz paketa in se jih posamično meče v peč,
- izklop EMP črpalke,
- dodajanje AlFe_{80} tablet v glavno komoro peči,
- 15 minutni postanek taline se ne sme mešati,
- vklop EMP črpalke.

Pri dodajanju legiranih elementov je potrebna previdnost, zato se mora zagotoviti varnost z uporabo zaščitne obleke in vseh zaščitnih sredstev, saj dodajanje elementov povzroča brizganje taline. (Interni dokumenti podjetja Impol d.d.)

3.2 Analiza vseh dobaviteljev železovih tablet in briketov

Za poznavanje mikrostrukturnih karakteristik hladno stisnjenih briketov predzlitin tipa AlFe_{80} za legiranje železa v aluminijeve zlitine smo analizirali vzorce različnih

proizvajalcev. Imeli smo možnost analize legirnih tablet sledečih proizvajalcev: LSM dimenzije Ø 90 x 45 mm, Hoescha Ø 42 x 42 mm, KBM Ø 35 x 18 mm, Hoescha Ø 90 x 45 mm ter manjše tablete istega proizvajalca dimenzij Ø 40 x 45 mm. S kemijsko analizo smo določili povprečno vsebnost aluminija in železa v briketih. V nekaterih vzorcih smo ugotovili prisotnost talila, vendar nismo določili njegove sestave.

Cilj preiskav je bil predvsem ugotoviti morfologijo in porazdelitev mikrostrukturnih kovinskih ali nekovinskih tujkov v mikrostrukturi ter njihovo identifikacijo z mikrokemijsko analizo. (Fischer, 1992, 1027)

3.3 Mikrostrukturne analize vzorcev predzlitin AlFe80

Mikrostrukturna analiza vzorca pred zlitine AlFe80 – Hoescha dimenzije Ø 42 x 42 mm:

z mikrostrukturno in kemijsko analizo smo preiskali vzorec predzlitine aluminija in železa tujega proizvajalca Hoescha.

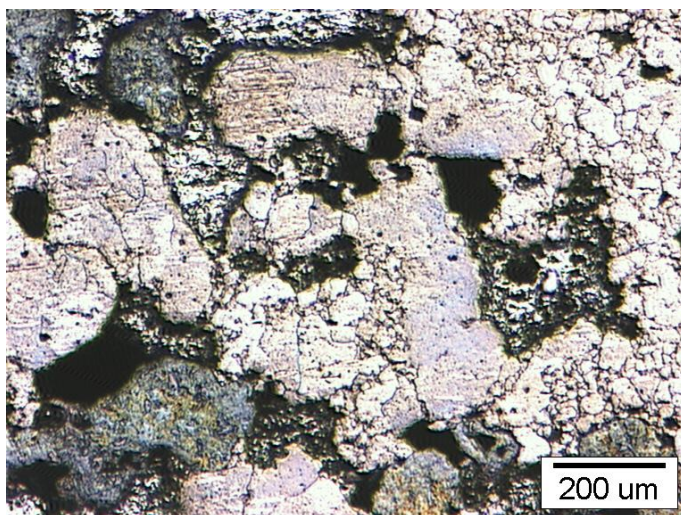
Mikrostrukturno hladno stisnjenih prahov, v tableto valjaste oblike, sestavljajo zrna aluminija ter dve vrsti, različne kemijske sestave, zrn železovih prahov. Vizualna ocena deleža prahov posameznih konstituentov v mikrostrukturi predzlitine aluminija in železa je: 25-35 vol. % aluminijevih prahov (bela faza), 20 vol. % železovih prahov martenzitnega tipa (temna zrna, slika 9) in 50 vol. % feritnega železovega prahu.

V zrnih železovih prahov ni zaslediti tujkov. Zrna so čista in enakomernejše velikosti. Velikost zrn je pod 300 µm. Nakazuje se mešanje dveh granulacij feritnih železovih prahov (svetla zrna), medtem ko je železov prah martenzitne strukture (po jedkanju z nitalom temna zrna) le ene granulacije (slika 9).

V obeh vrstah železovih prahov smo izmerili tudi mikro trdote. Izmerjena mikro trdota, po Vickersu, feritnega prahu HV0,05 je 71,6 MPa ter HV0,2 je 209 MPa za martenzitni prah (slika 10 in 11).

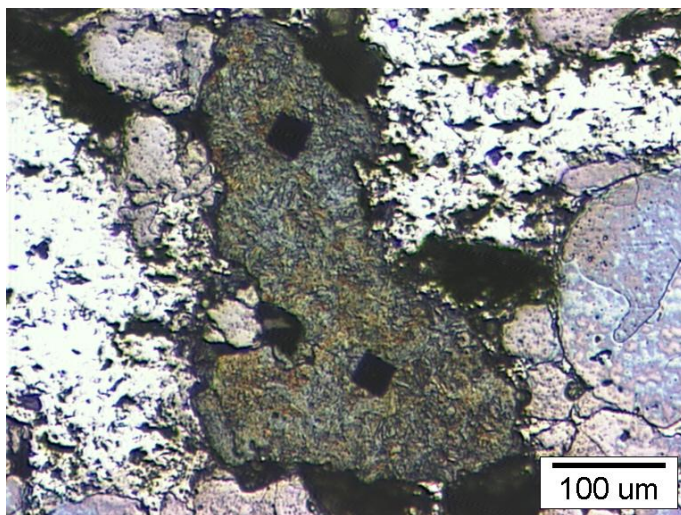
Mikro kemijska analiza temnih in svetlih zrn železovega prahu je potrdila različne vsebnosti ogljika. Ugotovili smo relativno višjo vsebnost ogljika v martenzitivnih zrnih. Zato lahko ocenjujemo iz mikro kemijske analize, da je vsebnost ogljika v martenzitivnem jeklu 0,8-1,1 m %.

Na osnovi mikrostrukturnih preiskav predzlitin aluminija in železa različnih proizvajalcev se ocenjuje, da je predzlitina proizvajalca Hoescha primernejša za legiranje železa v zlitine aluminija, ki se uporabljajo za proizvodnjo folij. Predzlitina je čistejša (nekovinski vključki, V, Cr, Ti...), velikost zrn prahov je enakomernejša in manjša. Prisotnost zrn prahov ogljikovega jekla pa krajša čas raztapljanja predzlitine v talini aluminija.



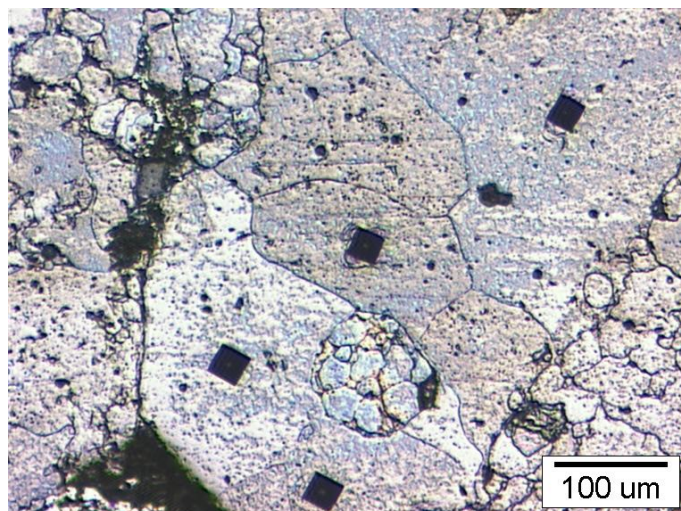
Slika 9: Mikrostruktura predzlitine aluminija in železa

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



Slika 10: Martenzitno zрно aluminija in železa

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



Slika 11: Feritno zrno aluminija in železa

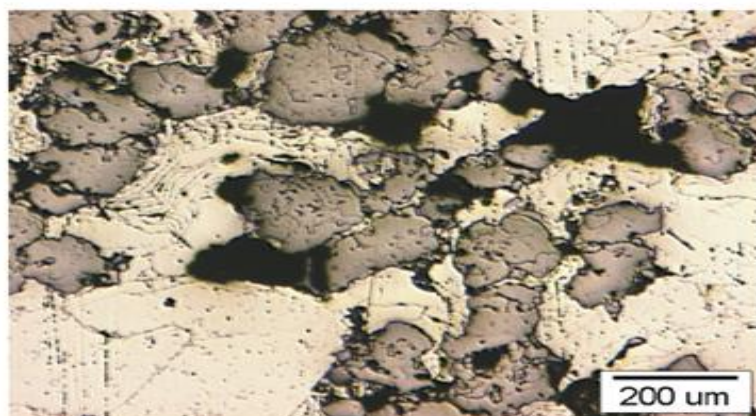
Vir: Interni dokument podjetja Impol d.d.

3.3.1 Mikrostruktura in mikrokemijska analiza predzlitine AlFe80 - KBM briketov

Vzorcem hladno stisnjenih briketov predzlitine AlFe80 za legiranje aluminijevih zlitin z železom smo določili povprečno kemijsko vsebnost aluminija in železa v tableti ter preiskali njihovo mikrostrukturo po celotnem preseku. Vzorci proizvajalca KBM so bili dimenzije Ø 35 x 18 mm.

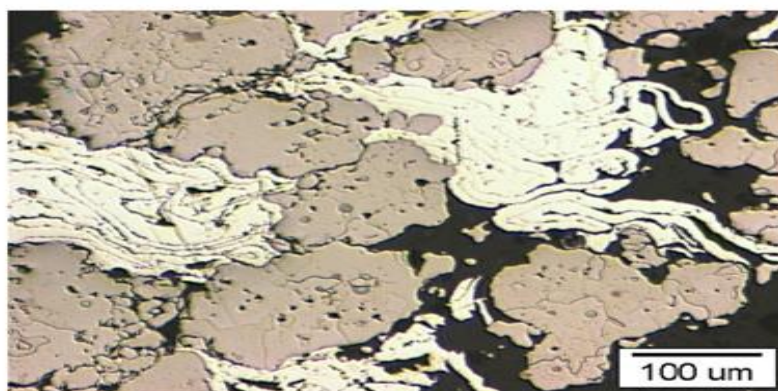
Vsebnost železa in aluminija se je v našem laboratoriju določila s kemično analizo. Vsebnosti so 78,1 m% železa in 18,8 m% aluminija, kar je v skladu z deklarirano vsebnostjo teh elementov od proizvajalca.

Z mikrostrukturno analizo se je ugotovila prisotnost zrn jekla pretežno feritnega tipa ter aluminijeva zrna (slika 12). Velikost zrn prahu jekla je pod 200 μm, so pa mesta, kjer so ta zrna velika le nekaj 10 μm. Zanimiva je morfologija aluminijevih delcev v tabletah, saj nakazujejo dva izvora aluminija (slika 13): tanke trakove debeline 10 μm, ki so lahko ostanki folij ter kompaktnih zrn aluminija. V obeh kvalitetah aluminija se pojavljajo intermetalne železove faze. Faze so identificirane kot binarne faze tipa aluminija in železa z raztopljenim silicijem (slika 14).



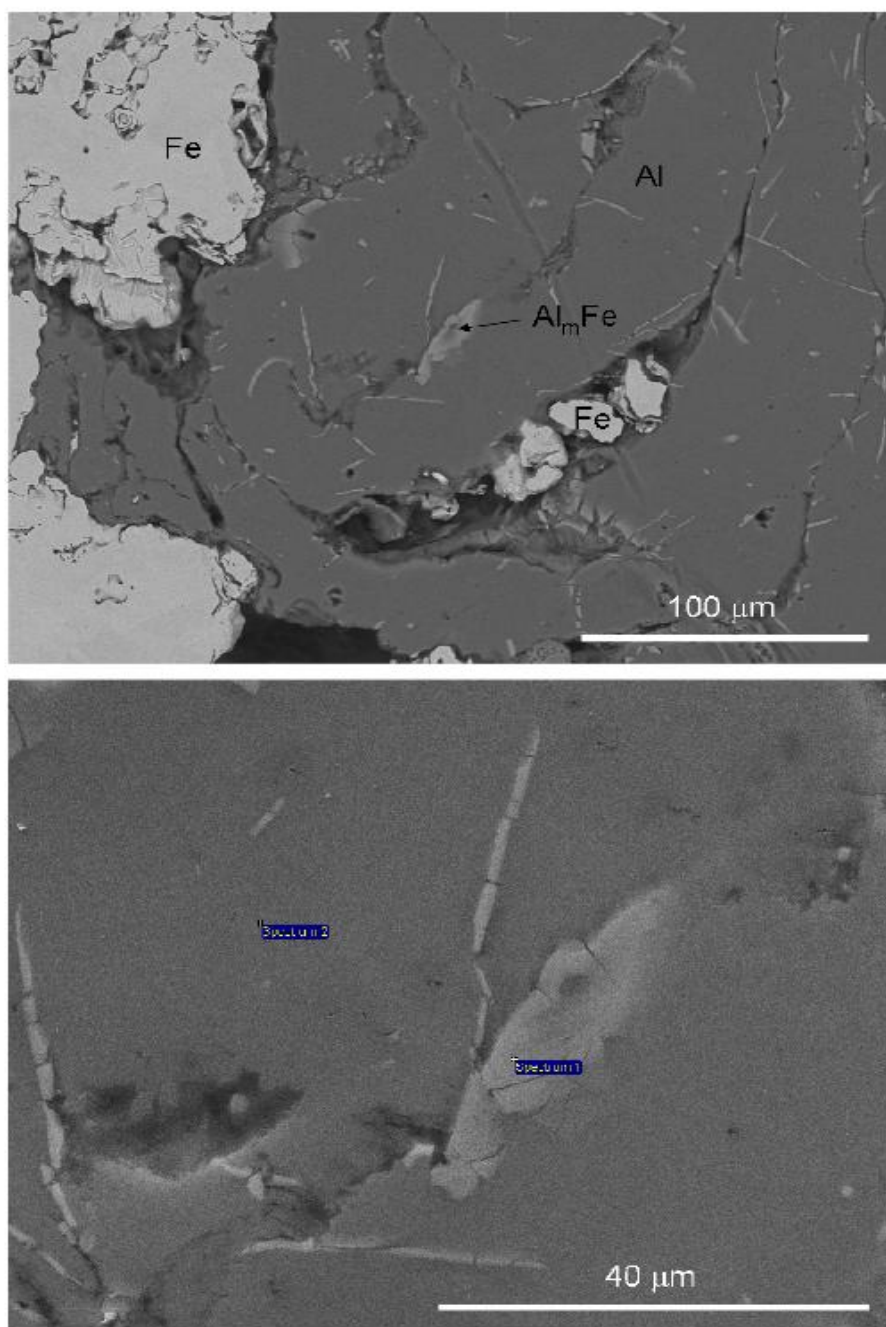
Slika 12: Mikrostruktura predzlitine AlFe80 proizvajalca KBM

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



Slika 13: Morfologija aluminijevih zrn v hladno stisnjenih tabletah AlFe80

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



	O	Al	Si	Fe
Spectrum 1	1,96	72,80	0,26	24,98
Spectrum 2	0,71	98,61		0,68

Slika 14: Morfologija in mikroanaliza železove faze v zlitini aluminijevih zrn

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

3.3.2 Mikrostruktura in mikrokemijska analiza predzlitine AlFe80 - Hoesch - tablete

Izvedena je bila kemijska in mikrostrukturalna analiza vzorcev valjaste oblike dimenzije Ø 90 x 45 mm proizvajalca Hoesch.

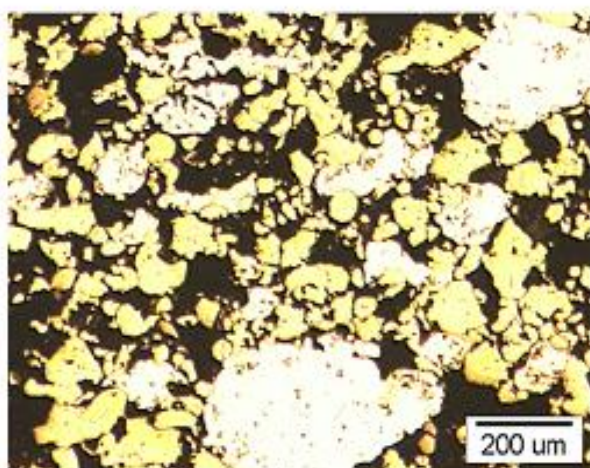
S kemijsko analizo se je določila povprečna vsebnost železa in aluminija v briketih. Izmerjene vrednosti so 85,1 m% Fe in 11,0 m% Al. Iz analize je razvidna povečana vsebnost železa v primerjavi z dosedaj analiziranimi predzlitinami tipa AlFe80.

Z mikrostrukturno analizo se je ugotovila prisotnost zrn jekla feritnega tipa ter dveh oblik aluminijevih zrn (kompaktna zrna in tankih trakov aluminija slika 15.) Velikost zrn jekla je pod 150 µm, precejšen pa je delež zrn, ki imajo velikost pod 50 µm.

V področju trakov aluminijeve faze smo ugotovili vrsto vključkov - tujkov, ki smo jih identificirali kot kompleksne okside različnih tipov: (Al, Si, Ti, Fe)O_x, (Al, Ti, Fe, Si, Zn)O_x, (Mg, Ca, Fe, Si)O_x ter enostavne Fe-Al okside. Pojavljajo se tudi aluminij-titanove faze, kalcijev sulfid ter karbidi titana in aluminija (slika 16).

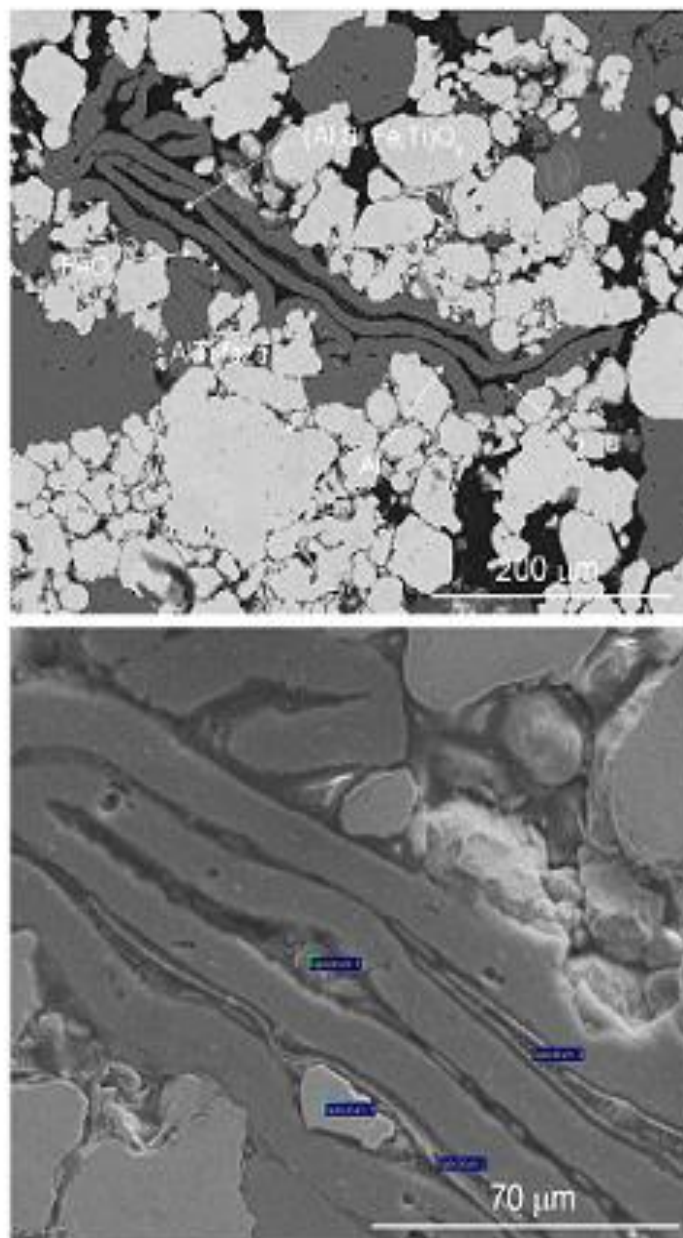
Mikroanaliza v področju železovih zrn pokaže prisotnost oksidov tipa: FeO_x, (Fe, Si)O_x, (Ti, Si)O_x (slika 17).

Mikrostrukturna analiza tablet AlFe80 proizvajalca Hoesch kaže na precejšnjo onesnaženost z oksidi in karbidi, ki jih s kvalitetno pripravo taline (čiščenje površine taline in filtriranjem taline pred ulivanjem) lahko odstranimo, vendar predstavljajo potencialno nevarnost za izdelavo kvalitetnih tankih folij.



Slika 15: Mikrostrukture v briketu dimenzije Ø 90 x 45 mm predzlitine AlFe80

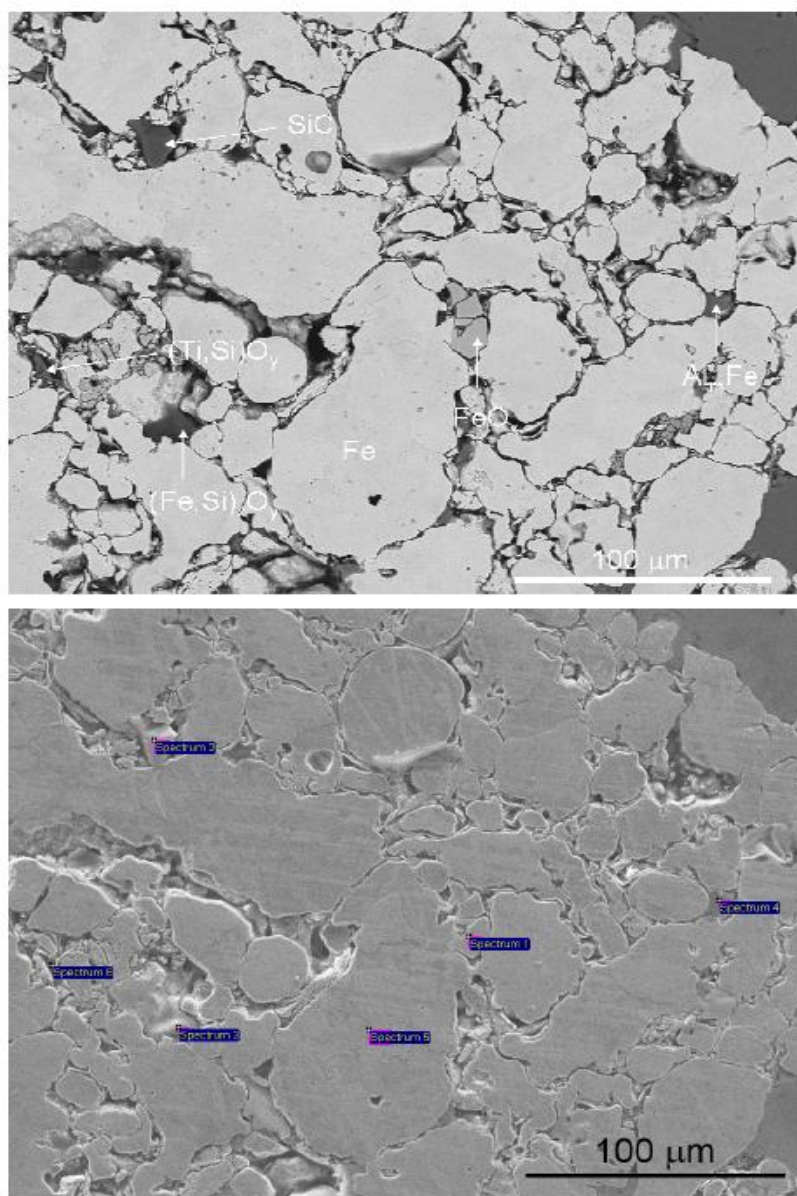
Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



	O	Al	Si	Ti	Fe	Zn
Spectrum 1	34,59	41,66	8,39	7,55	7,81	
Spectrum 2	31,35	32,58	0,51	31,43	4,12	
Spectrum 3	32,30	29,16	3,03	24,59	8,61	2,31
Spectrum 4	22,33	4,32			73,35	

Slika 16: Mikroanaliza faz v področju aluminijevih trakov v briketu AlFe80

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



	C	O	Na	Al	Si	S	Ti	Fe
Spectrum 1		22,27		1,07				76,66
Spectrum 2	29,74			0,21	65,30			4,75
Spectrum 3		45,56	1,47	0,10	42,34	0,22		10,31
Spectrum 4		1,74		92,26	0,36			5,36
Spectrum 5				0,42				99,58
Spectrum 6		2,23		1,01	14,24		7,75	74,77

Slika 17: Mikroanaliza mikrostrukturnih konstituentov v predzlitini AlFe80

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

3.4 Kemijska in mikrostrukturna analiza predzlitine AlFe85

3.4.1 Kemijska in mikrostrukturna analiza predzlitine AlFe85 – Hoesch – briketov (iz vzorčne dobave) Ø 40 x 45:

na manjših vzorcih valjaste oblike proizvajalca Hoesch se je določila kemijska sestava ter analizirala mikrostruktura.

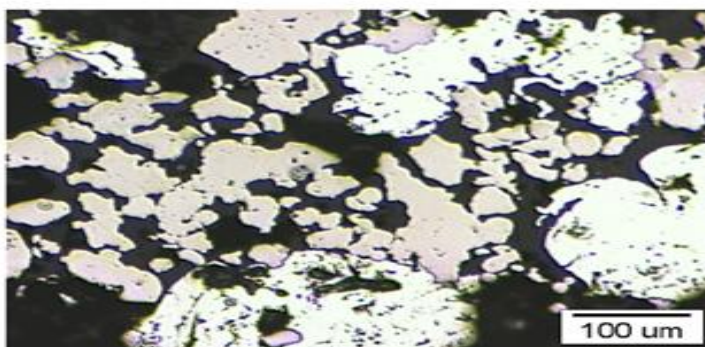
S kemijsko analizo smo določili povprečno vsebnost aluminija in železa v briketih. Ti briketi vsebujejo 86,5 m% Fe ter 9,6 m% Al.

Mikrostrukturna analiza v predzlitini AlFe85 je pokazala, da so aluminijeva zrna v dveh oblikah, in sicer kot čista, kompaktna zrna aluminija ter dobro stisnjeni tanki trakovi aluminijeve zlitine (sliki 18). Delež trakastega aluminija je večji, kot v malih briketih istega proizvajalca. V obeh oblikah aluminija so prisotne intermetalne aluminij-železove faze (slika 19).

Po preseku tablete so sorazmerno enakomerno porazdeljena zrna železa, velikosti pod 200 um. Uporabljeno je običajno feritno jeklo.

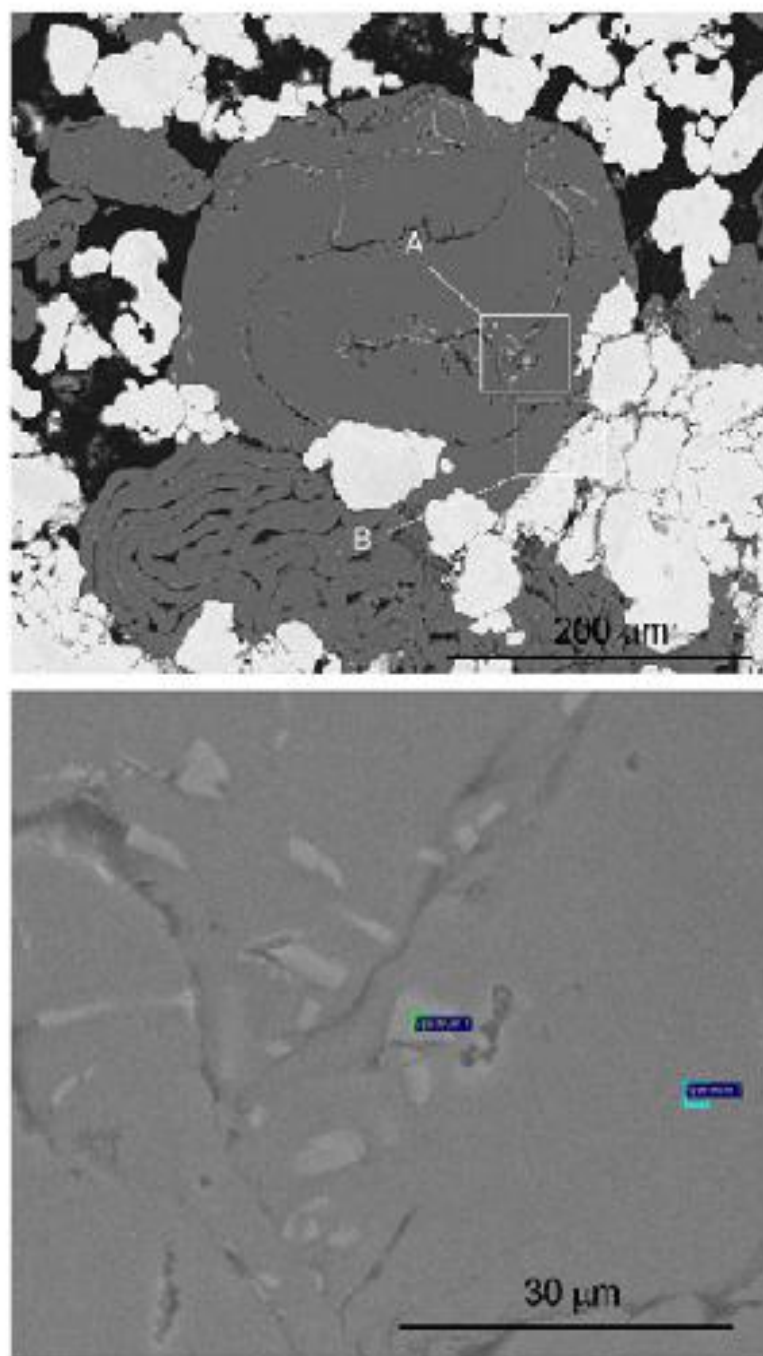
Med zrnji aluminija in železa se je zasledilo aluminij-železove okside (slika 20).

Pri preiskanih vzorcih se je izrazito pojavil plašč železovega oksida na zrnih prahov železa. Predzlitina AlFe85 je bolj čista v smislu prisotnosti oksidnih in drugih tujkov v primerjavi z večjimi briketi istega proizvajalca. (Tomsia, 1978, 197)



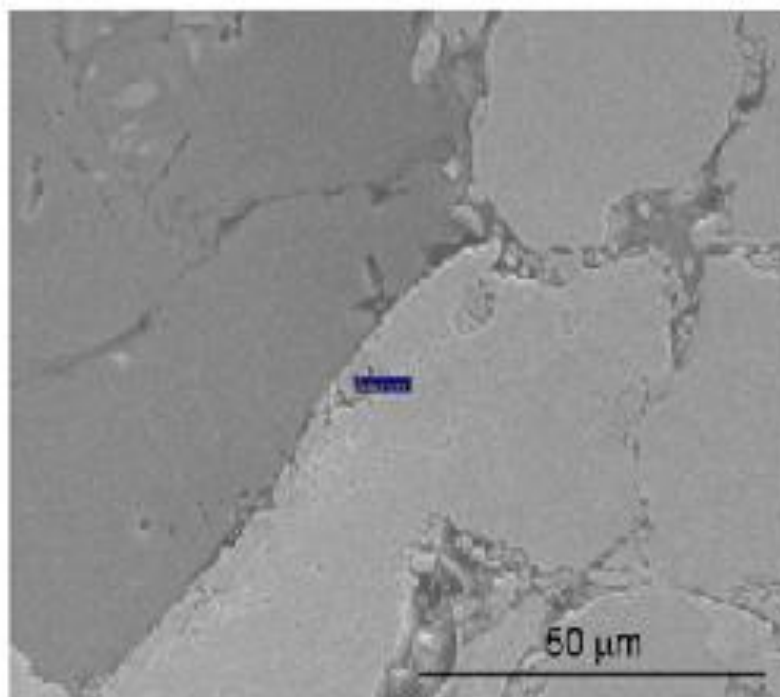
Slika 18: Mikrostruktura predzlitine AlFe85

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



	Al	Fe
Spectrum 1	64,89	35,11
Spectrum 2	97,63	2,37

Slika 19: Aluminij-železove faze v zrnih aluminija – detajl A
Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



	O	Al	Fe
Spectrum 1	23,78	5,90	70,32

Slika 20: Aluminij-železovi oksidi na mejnih površinah aluminijevih in železovih zrn

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

3.4.2 Tablete proizvajalca LSM

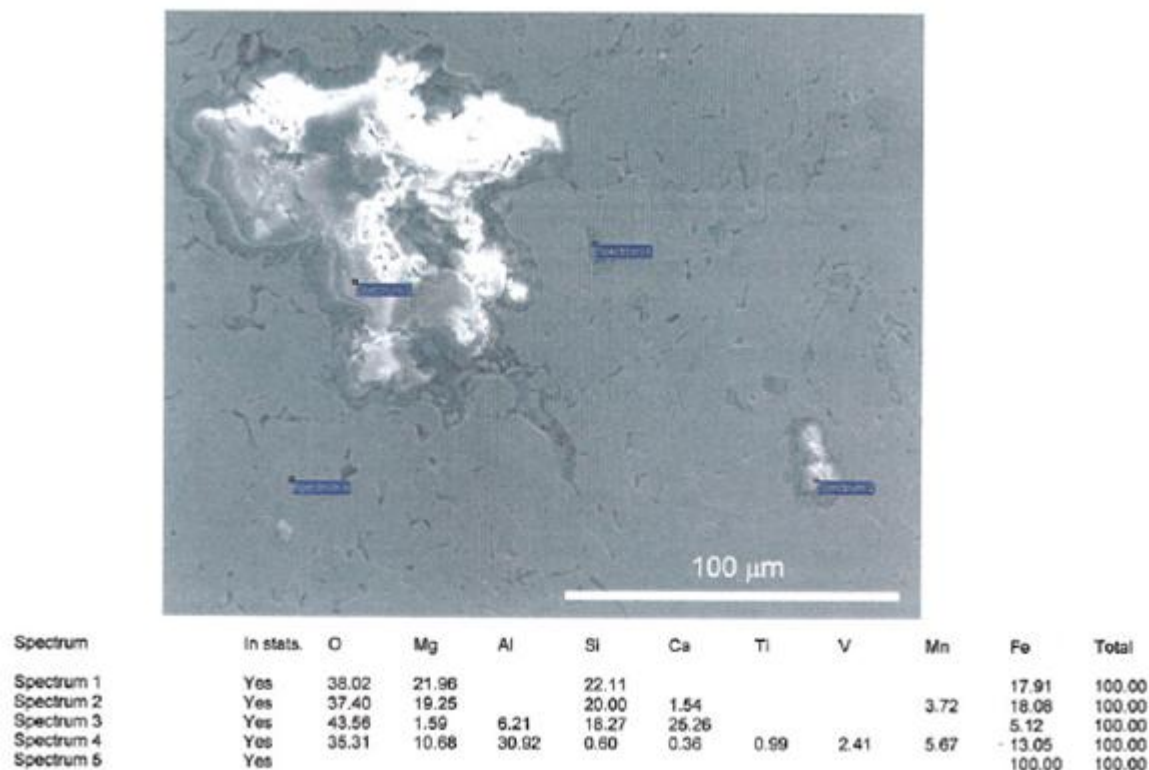
Na manjših vzorcih valjaste oblike proizvajalca LSM se je določila kemijska sestava ter analizirala mikrostruktura.

S kemijsko analizo smo določili povprečno vsebnost aluminija in železa v briketih. Te tablete vsebujejo 79,0 - 81% m Fe ter 9,6-11,1 m% Al.

Mikrostrukturo tablete LSM sestavljajo zrna železovega prahu, ki so obdana z aluminijem. Jedkanje odkrije mikrostrukturo železovega prahu kot feritno jeklo. Velikost zrn železovih prahov je med 150 um in 1200 um. Velika zrna lahko ostanejo neraztopljeni, kar lahko povzroča pretrge ter poroznosti končnih izdelkov. V mikrostrukturi feritnega železovega

prahu so vidni tujki različne oblike in velikosti. Kemijska analiza potrjuje prisotnost oksidov, titana in drugih elementov (slika 21).

Mikrostruktura tablet proizvajalca LSM kaže na nečiste surovine za izdelavo tablet.



Slika 21: Mikroanaliza tujkov v feritnih zrnih železovega praška

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

3.5 Analiza in primerjava železovih tablet/briketov glede na dobavitelje

3.5.1 Primerjava treh dobaviteljev: Hoesch, KBM in LSM:

Analize mikrostrukture briketov predzlitine AlFe80 in AlFe85 za legiranje aluminijevih zlitin z železom kažejo na hladno stiskanje prahov železa ter aluminija. V vzorcu Hoeschovih malih briketov, se je ugotovilo, da uporabljajo zrna železovega prahu dveh različnih kemijskih sestav. Briket je bil tudi najčistejši glede na prisotnost oksidov in drugih tujkov, zato je tudi najprimernejši za izdelavo kontinuirano ulitih trakov za proizvodnjo tankih folij. Čeprav sta druga vzorca deklarirana kot proizvod Hoescha, sta po morfologiji mikrostrukture zelo podobna vzorcu proizvajalca KBM. V mikrostrukturi sta

prisotni dve obliki aluminija, in sicer kompaktna zrna aluminijeve zlitine ter tankih trakov aluminijeve zlitine, ki so verjetno ostanki folij. Na površini teh trakov smo zasledili vrsto nečistoč pretežno oksidnega tipa. V vzorcu malih briketov se je ugotovila prisotnost železovih zrn z oksidom. (Kevorkijan, Krnel, Kosmač, 2005, 32)

Če lahko razvrstim preiskane brikete in tablete aluminija in železa po čistosti in velikosti železovih zrn, kot primerne za proizvodnjo kontinuirano ulitih aluminijevih zlitin, bi bila najprimernejša predzlitina proizvajalca Hoesch dimenzije Ø 42 x 42 mm, sledijo pa: KBM Ø 35 x 18 mm, Hoesch Ø 40 x 45 mm, Hoesch Ø 90 x 45 mm ter kot najslabšo predzlitino proizvajalca LSM.

Hoesch briketi AlFe80 Ø 42 x 42	Hoesch tablete AlFe80 Ø 90 x 45	Hoesch briketi AlFe85 Ø 40 x 45	LSM tablete AlFe80	KBM briketi
Velikost zrn Fe prahu pod 300 um Zrna so čista in enakomerne velikosti Najčistejše glede tujkov Feritno in martenizno jeklo sestavlja Fe prah	Zrna jekla so pod 150 um, precejšen je delež zrn pod 50um V mikrostrukturi so prisotna kompaktna zrna Al ter delež tankih trakov Tableta je močno porozna Feritno jeklo in Al zrna Precej onesnaženo z oksidi in karbidi	Velikost zrn Fe prahu pod 200 um Mikrostruktura kompaktna zrna Al in dobro stisnjeni Al trakovi. Delež trakastega Al je večji kot v tabletah Običajno feritno jeklo Nekatera Fe zrna so obdana z oksidom Najdeni AlFe oksidi in tujki na osnovi Ca silikata Je pa bolj čisto kot velika tableta istega proizvajalca	Velikost delcev Fe od 150-1200um (velika zrna bodo ostala neraztopljena) Prisotne nečistoče tako pri Fe prahu kot pri Al prahu. V glavnem gre za kompleksne okside	Velikost zrn Fe prahu pod 200 um, so mesta, kjer so ta zrna velika le 10um Al delci so iz ostankov Al trakov in zrn Prisotni oksidi AlFe V kompleksnih zrnih Al so vidne intermetalne faze AlFeSi Povečana je količina ogljika na površini Al trakov

Tabela 2: Primerjava dobaviteljev legiranega elementa železa

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

4 POSTOPEK LEGIRANJA ALUMINIJA Z ŽICO NA OSNOVI ŽELEZA

Železo je zelo dobro topno v aluminiju. V svetu se za legiranje železa uporabljajo Al-Fe predzlitine v obliki tablet ali briketov z dodatkom soli ali brez njih. Soli v kombinaciji predzlitine omogočajo hitrejšo raztapljanje legiranega elementa. Tudi prah Fe je poznan za legiranje. V podjetju smo bili omejeni, ker nismo več hoteli uporabljati tablet ali briketov zaradi EMP črpalke, ker se je v mesecu dni zablokirala cev (zastoj proizvodnje je trajal tri dni). Drug problem so gorilniki na talilni peči, ki so regenerativni in imajo kroglice, ki se prav tako zabijejo ob uporabi soli.

Tako so ostali na voljo samo briketi ali tablete brez dodatkov soli za boljše raztapljanje, ki pa smo jih lahko legirali le v glavno komoro talilne peči. Ker je naš končni izdelek folija debeline od 8-100 mikronov mora biti legiranje izvedeno optimalno. V folijah smo v začetku proizvodnje imeli ponavljajočo napako neraztopljeno železo, ki je povzročilo trganje folije in veliko izmeta. Izmet je bil izključno posledica legiranja z briketi ali tabletami. Zato smo razvijali postopek enakomernega, počasnega dodajanja železa v talino aluminija, da se izognemo napakam na končni foliji. (Belov, Ksenov, Eskin, 2002, 768)

4.1 Potek dela, razvoj in izdelava polnjene žice

Izdelava polnjene žice z železovo sredico v aluminijevem plašču iz železovega prahu kvalitete AT 40.29 proizvajalca Hoganes. Naš zunanji dobavitelj je izdelal dva koluta polnjene žice. Železov prah smo ovili v aluminijev trak kvalitete A30, dveh različnih stanj.



Slika 22: Kolut polnjene žice

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

Osnovni podatki o testnih kolutih:

Kolut št. 1:

- teža žice 230 kg,
- teža polnila Fe 194 kg,
- polnjenje 0,388 kg/ meter,
- skupna dolžina 500 m,
- kvaliteta traku Al 99,5,
- kvaliteta polnila Fe prah AT 40.29.

Kolut št. 2:

- teža žice 585 kg,
- teža polnila Fe 488 kg,
- polnjenje 0,398 kg/ meter,
- skupna dolžina 1226 m,
- kvaliteta traku Al 99,5 žarjen mehko,
- kvaliteta polnila Fe prah AT 40.29.

Med odvijanjem kolobarjev pri legiranju ni prišlo do pokanja žice.

4.2. Kakovostne zahteve za polnjeno žico PTP 018 004

4.2.1 Kemijska sestava

Aluminijska žica polnjena s Fe prahom je sestavljena iz železovega prahu čistoče 99,7 %, brez dodatka soli. Prah ustreza kvaliteti AT 40.29 proizvajalca Hogānās.

Kemijska sestava prahu:

O- tot.	C	S	P	Si	Mn
0,20 %	0,010 %	0,010 %	0,015 %	0,05 %	0,20 %

Tabela 3: Kvaliteta prahu

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

Kemijska sestava srajčke:

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Pos.	Al min
0,25 %	0,40 %	0,05 %	0,05 %	0,05 %	0,05 %	0,03 %	0,03 %	99,5 %

Tabela 4: Kvaliteta prahu

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

Sejalne zahteve Fe prahu:

Velikost zrn v μm	Delež (%)
+ 500 μm	0
425–500 μm	1,0
75–425 μm	94,0
-75 μm	5,0

Tabela 5: Kvaliteta prahu

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

Standardne oblike in teže:

Oblika / Format	Premer / Diameter (mm)	Polnjenje / Filling (%)	Masa polnila na meter dolžine / Weight of fill per length (g/m)
Al žica polnjena s Fe prahom čistoče 99,7 % v kolutih	13 mm	84-86 %	380-400

Tabela 6: Kvaliteta prahu

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

4.2.2 Označevanje

Vsak kolut je označen z:

- identifikacijo proizvajalca,
- premerom polnjene žice,
- maso polnjenja,
- maso polnila-Fe prahu,
- dolžino,
- številko koluta.

4.2.3 Pakiranje in kakovost

Vsak kolut mora biti pakiran na paleti in zaščiten pred atmosferskimi vplivi.

Dobavitelj mora zagotoviti kakovost polnjene žice v skladu s standardom. Vsaka sprememba, ki ima za posledico kakovost materiala, mora biti dogovorjena z uporabnikom.

K vsaki pošiljki je priložen atest proizvajalca Fe prahu.

4.3 Taljenje, legiranje in litje

4.3.1 Taljenje

Poskusno legiranje smo opravili pri šarži 84114. V talino smo dodali 140 kg prahu v obliki polnjene žice s strojem za dodajanje polnjene žice, ki je prikazan na sliki. Jeklena cev je vodila polnjeno žico tik nad nivo taline v EMP črpalki.



Slika 23: Stroj za dodajanje polnjene žice

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



Slika 24: Cev za vodenje polnjene žice in talina v EMP črpalki

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

4.3.2 Legiranje

V tabeli je prikazana kemična sestava pred legiranjem.

IZRAČUN DOLEGIRANJA

Postopek Priprava vsade

Pregled rezultatov

Izbor: Sarža : 84114 Zlitina: AF 61

Izbor: Peč: T1 Proba: 1

Peč	Proba	Datum	Čas	Vzorec
T1	1	07.02.2006	09:41:56	1

Vse probe
Pregled
Rezultati

Rezultati meritev - nomenklatura - količine dolegiranja

Rezultati meritev

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Ti
MAX	0,6500	0,9000	0,0500	0,0220	0,0500	0,0020	0,0500		0,0500
Meritev :	0,2265	0,5500	0,0021	0,0077	0,0076	0,0014	0,0125	0,0026	0,0125
MIN	0,5500	0,8000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0250
Dolegiranje:									

	B	Be	Na	Li	Ca	Pb	Sn	Zr	Bi
MAX			0,0005	0,0002		0,0500		0,0020	
Meritev :	0,0006	0,0000	0,0004	0,0000	0,0003	0,0007	0,0003	0,0012	0,0000
MIN			0,0000	0,0000		0,0000		0,0000	
Dolegiranje:									

	Sr	Cd	Sb	Co	Ga	V	Ag	Hg	Al
MAX									
Meritev :	0,0000	0,0002	0,0022	0,0002	0,0130	0,0092	0,0000	0,0019	0,8500
MIN									
Dolegiranje:									

Količine taline

Talina - odgor: 0,00 Teža vložka: 0,00 Izračun dolegiranja Določitev leg. el. Izpis rezultata

Količ. v odst. p: 0,00 Talina + legirni: 0,00 Zadnja sarža: Zadnja proba: IZHOD

Slika 25: Tabela s kemično sestavo pred legiranjem.

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

Izračun: dodatek 140 kg 100 % Fe, polnjena žica ima 0,388 kg Fe prahu na meter. Torej je bilo za to saržo potrebno dodati $140 : 0,388 = 360$ metrov polnjene žice.

Hitrost dodajanja je bila 10 metrov na minuto. Raztapljanje je potekalo enakomerno in brez težav.

IZRAČUN DOLEGIRANJA

Postopek: Priprava vsade

Pregled rezultatov

Izbor: Sarža: 84114 Peč: T1
 Zlitina: AF 61 Proba: 2

Peč	Proba	Datum	Čas	Vzorec
T1	1	07.02.2006	09:41:56	1
T1	2	07.02.2006	15:26:27	1
L1	K1	07.02.2006	23:23:12	1

Vse probe
 Pregled
 Rezultati

Rezultati meritev - nomenklatura - količine dolegiranja

Rezultati meritev

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Ti
MAX	0,6500	0,9000	0,0500	0,0220	0,0500	0,0020	0,0500		0,0500
Meritev :	0,6220	0,8490	0,0022	0,0080	0,0067	0,0015	0,0122	0,0026	0,0127
MIN	0,5500	0,8000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0250
Dolegiranje:									

	B	Be	Na	Li	Ca	Pb	Sn	Zr	Bi
MAX			0,0005	0,0002		0,0500		0,0020	
Meritev :	0,0004	0,0000	0,0004	0,0000	0,0003	0,0007	0,0004	0,0013	0,0001
MIN			0,0000	0,0000		0,0000		0,0000	
Dolegiranje:									

	Sr	Cd	Sb	Co	Ga	V	Ag	Hg	Al
MAX									
Meritev :	0,0000	0,0002	0,0039	0,0002	0,0128	0,0095	0,0000	0,0029	1,5500
MIN									
Dolegiranje:									

Količine taline

Talina - odgor: 0,00 Teža vložka: 0,00 Izračun dolegiranja Določitev leg. el. Izpis rezultata

Količ. v odst. p: 0,00 Talina + legirni: 0,00 Zadnja sarža: Zadnja proba: IZHOD

Slika 26: Tabela s kemično sestavo po legiranju.

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

Odlita sta bila dva kolobarja in sicer 84114/1 in 84114/2.

Poskus z drugim kolutom smo opravili pri šaržah 84118, 84119, 84120, 84121, 84122, 84123.

4.3.3 Litje

V tabeli so prikazani testno odliti kolobarji. Dodana je analiza vzorcev iz vsakega kolobarja.

Širina litja je bila 1700 mm. Od šarže 84121 naprej pa 1620 mm.

Datum litja	Kolobar	Teža (kg)	Oksidi na površini (mg/dm ²)	Tip porazdelitve segregacija	Razred segregacij	Visoko temperaturne ploščate faze (mm)
7.2.2006	84114/1	10760	168	E	1	0,000
7.2.2006	84114/2	10726	143	E	1	0,005
9.2.2006	84118/1	10724	146	E	1	0,000
9.2.2006	84118/3	10839	144	E	1,5	0,004
10.2.2006	84119/1	10746	163	D + H	1	0,005
10.2.2006	84119/2	10710	189	D	1	0,005
10.2.2006	84120/1	10756	128	D	1	0,005
11.2.2006	84120/2	10746	206	D	1	0,005
11.2.2006	84121/3	10238	134	B	1	0,005
11.2.2006	84121/4	10107	201	B + C	1	0,008
12.2.2006	84122/2	10188	178	C + E	1	0,005
12.2.2006	84122/3	10365	203	D	1	0,000
12.2.2006	84123/1	10145	160	D + F	1	0,000
12.2.2006	84123/3	10223	152	D + F	1	0,000

Tabela 7: Analize vzorcev

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

4.4 Izdelava folije

Surovine za proizvodnjo tankih trakov ali folij so hladno valjani trakovi. Vhodni material za proizvodnjo surovih folij je hladno valjani trak debeline 0,3 mm, ki se valja na valjalnih strojih do želene debeline folije. Tako izdelane folije so enojne ali dvojne, kar pomeni, da sta dve foliji valjani istočasno. Zunanji strani, ki sta bili v stiku z delovnimi valji, imata visok sijaj, medtem ko notranji strani, kjer se foliji stikata, ostaneta motni brez sijaja. Postopek valjanja dvojnih folij se uporablja za vse tiste folije, katerih končna debelina je manjša ali enaka 0,050 mm. Večino folij žarimo v pečeh. S procesom žarenja se dosežejo želene končne lastnosti aluminijske folije, prav tako pa s površine odstranijo ostanke valjčnega olja. Tako obdelana folija je razmaščena in sterilna, kar je bistvenega pomena za uporabo v prehrambeni industriji. Kolobarji so bili zvaljani do končnih dimenzij brez posebnosti v proizvodnji, kar je razvidno tudi iz tabele 8.(www. Impol.si, dne 8.3.2011)

Datum	Kolobar	Teža	Kupec	Dimenzije	Pretrgi	Opombe
7.2.2006	84114/1	10760	Alutrade	0.011 x 300	ne	
7.2.2006	84114/2	10726	Alutrade	0.011 x 300	ne	
9.2.2006	84118/1	10724	Semi	0.017 x 300	ne	Risi na površini
9.2.2006	84118/3	10839	Impol Al. corp.	0.011 x 300	ne	
10.2.2006	84119/1	10746	Impol Al. corp.	0.014 x 300	ne	
10.2.2006	84119/2	10710	Modchand	0.014 x 300	ne	
10.2.2006	84120/1	10756	Al. Amer.	0.011 x 300	ne	
11.2.2006	84120/2	10746	Impol Al. corp	0.011 x 300	ne	
11.2.2006	84121/3	10238	Impol Al. corp.	0.014 x 300	ne	
11.2.2006	84121/4	10107	Semi	0.011 x 290	ne	
12.2.2006	84122/2	10188	Metalservis	0.009 x 290	ne	
12.2.2006	84122/3	10365	ETF	0.009 x 290	ne	
12.2.2006	84123/1	10145	Metalservis	0.011 x 290	ne	
12.2.2006	84123/3	10223	Aluking	0.013 x 290	ne	

Tabela 8: Izdelava folije

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

4.5 Rezultat prvega testa legiranja taline z železovo žico

Test, kot način legiranja in vpliv na končni izdelek je uspel, kot prikazujejo tudi delovne tabele 8 za izdelavo folij. Vsi kolobarji so bili zvaljani do končnih debelin, brez trganja ali drugih težav, ki bi jih povzročal nov način legiranja z železovo žico. Dobljeni rezultati pri valjanju folij so dokazali pravilno odločitev glede izbire in razvoja postopka legiranja z železovo žico, kar nakazuje hitro povrnitev stroškov, ki so nastali pri uvedbi novega postopka legiranja.

4.6 Vpliv legiranja na delovanje elektromagnetne črpalke

Za oceno vpliva legiranja na delovaje EMP črpalke smo naročili 6 ton Fe prahu ustrezne kvalitete in dali izdelati polnjeno žico. Za ovoj smo uporabili aluminijev trak kvalitete A30. Izdelanih je bilo 8 kolotov polnjene žice s skupno težo 6716 kg in težo polnila 5793 kg. Dobili smo polnjeno žico z 86 % Fe sredice in 14 % Al plašča (FeAl14).

Med redno proizvodnjo smo v juliju in avgustu legirali Fe za izdelavo AF61 s polnjeno žico skozi EMP lonec. Na podajalcu žice smo blokirali hitrost dodajanja na 10 m/minuto. Z blokiranjem hitrosti smo preprečili dodajanje prekomernih količin legiranega elementa v lonec EMP črpalke. Časa za legiranje je bilo dovolj. Legiranje ni pokazalo negativnih vplivov na delovanje EMP črpalke.

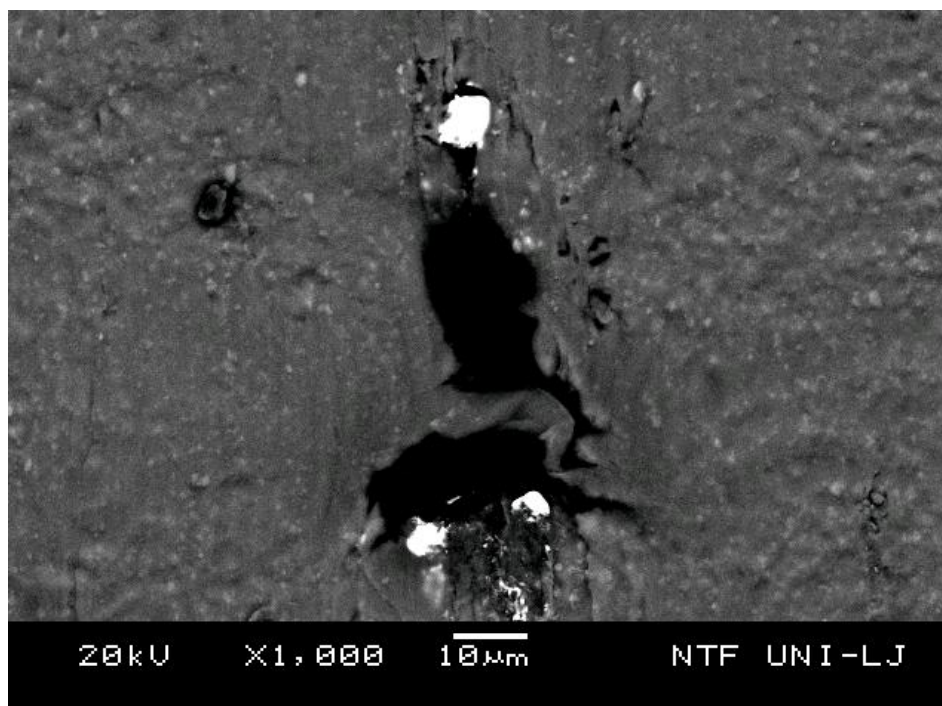
5 REZULTATI PRIMERJAVE POSTOPKOV LEGIRANJA GLEDE NA POMEMBNE KRITERIJE

V proizvodnji kontinuiranih trakov smo talino aluminija legirali s tabletami oziroma briketi. Že v prvem mesecu litja traku so se pokazale prve pomanjkljivosti legiranja s tabletami. Proizvajalci tablet/briketov so garantirali možnost legiranja taline aluminija s pomočjo elektromagnetne črpalke. Črpalka se je zamašila in povzročila zastoj. Nato smo tablete metali v talino skozi vrata na glavni komori talilne peči, ki prav tako ni dalo želenih rezultatov. Pojavljali so se vključki, ki negativno vplivajo na kakovost folije. Zato smo razvili nov način legiranja z železovo žico, pri katerem so se hitro pokazale prednosti pred legiranjem s tabletami/briketi.

5.1 Primerjava postopkov legiranja glede na kakovost taline

Kvaliteta aluminijevih zlitin je močno odvisna od pravilnega dodajanja legirnih elementov in homogenizacije taline pred vlivanjem. Železo se dodaja v talino aluminija v obliki prahu v polnjeni žici ter tabletah. Pri litju litega traku smo uporabljali oba postopka. Najprej smo talino aluminija legirali s tabletami oziroma briketi. V folijah smo v začetku proizvodnje imeli ponavljajočo napako neraztopljeno železo, ki je povzročilo trganje folije in veliko izmeta. Izvedene mikrostrukturne in mikrokemijske analize nečistoč in vključkov v folijah legiranih z železovimi tabletami oziroma briketi, so pokazale na vzročno zvezo med prisotnimi nečistočami in načinom legiranja z briketi. Pri legiranju taline s polnjeno žico se neraztopljeno železo, ki je povzročilo trganje folije ni več pojavljalo.

Primer trganja folije kot posledica legiranja z briketi.(Brandes , Brook , 1992, 922)



Cu	Mn	Si	Al	Cr	Fe
0,282 %	0,120 %	0,168 %	5,331 %	1,339 %	92,626 %

Slika 27: Debelina 9 µm; poroznost v liniji

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

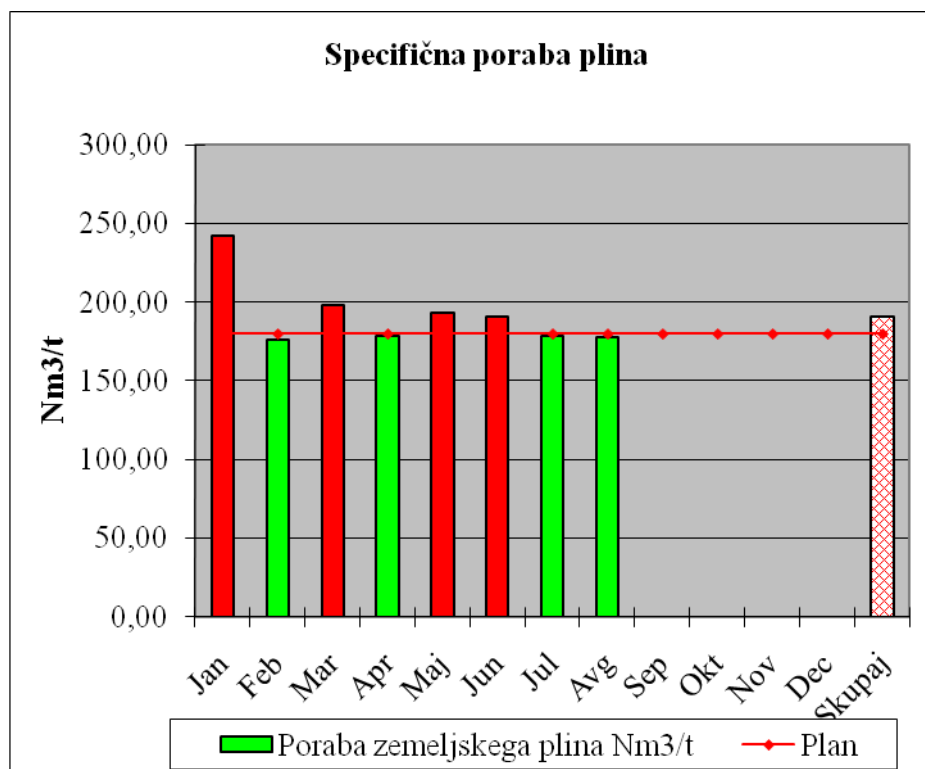
Vzrok poroznosti na zgornji sliki je neraztopljeno železo velikosti 5-6 µm.

5.2 Primerjava postopkov legiranja glede na porabo energije

Pri sodobnih postopkih taljenja vložka se zaradi povečanega deleža odpadnega aluminija za taljenje uporabljajo dvokomorne peči z elektromagnetno črpalko. Pri takih pečeh je legiranje s polnjeno Fe žico skozi šaržirni lonec elektromagnetne črpalke bolj ekonomično, saj lahko odgor zmanjšamo za do 4 %, kar v letnem merilu lahko pomeni celotno vrednost elektromagnetne črpalke. Pri legiranju s tabletami oziroma briketi je potrebno le-te legirati v glavno komoro pri odprtih vratih, kar peč segreje na 1050 stopinj Celzija močno ohladi. Posledica je povečanje porabe zemeljskega plina, kar zopet govori o neustreznosti postopka legiranja taline aluminija s tabletami oziroma briketi. Na sliki specifične porabe

plina je razvidno pomanjšanje porabe v juliju in avgustu, ko smo uvedli nov način legiranja.

Aprila pa smo imeli zastoj proizvodnje, zaradi zamašene EMP črpalke, posledica legiranja s tabletami oziroma briketi.



Slika 28: Poraba plina na tono taline

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

5.3 Primerjava postopkov legiranja glede na stroške

Primerjava postopkov legiranja glede na stroške ni bil glavni kriterij za izbiro postopka pri legiranju taline aluminija s polnjeno Fe žico. Primerjava stroškov pokaže, da je postopek legiranja taline aluminija s polnjeno Fe žico za 80 EUR/t taline cenejši od postopka legiranja z briketi oziroma tabletami.

5.4 Primerjava postopkov legiranja glede na varnost pri delu

Pri legiranju taline aluminija z briketi je potrebno odpreti vrata glavne komore na talilni peči. Brikete je potrebno vreči v talino segreto na 800 °C. Pri tem lahko pride do brizga taline, ki lahko poškoduje delavca. Delavec mora uporabljati pri legiranju negorljiv plašč, čelado z vizirjem in negorljive rokavice. Med izvajanjem legiranja je izpostavljen tudi visoki temperaturi, ker je peč segreta na 1050° C.



Slika 29: Legiranje taline Al z briketi

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.



Slika 30: Legiranje taline aluminija s polnjeno Fe žico

Vir: Interni dokumenti podjetja Impol d.d.

Pri legiranju taline aluminija s polnjeno Fe žico je potrebno vnesti ustrezen odstotek dodatka železa, glede na kemično sestavo taline pred legiranjem, v računalnik podajalnega stroja in vklopiti podajanje. Delavec samo nadzira proces, da ne pride do zastoja.

5.5 Primerjava postopkov legiranja glede na zastoje proizvodnje

Praksa legiranja taline aluminija z železom je pokazala, da je legiranje železa s tabletami oziroma briketi skozi šaržirni lonec elektromagnetne črpalke zahtevna tehnološka operacija. Cev elektromagnetne črpalke je izdelana iz silicijevega karbida in keramike. Oba materiala močno reagirata s talili. Zato se v sistemih z elektromagnetno črpalko uporabljajo za legiranje le briketi brez talil, ki pa se raztapljajo počasneje. Zato pogosto prihaja do mašenja cevi elektromagnetne črpalke ter cevi, ki povezuje šaržirni lonec s stransko komoro talilne peči. Zaradi počasnega raztapljanja oziroma nepopolnega razkroja briketov, nastajajo namreč v talini grude s povišano vsebnostjo Fe, ki so pri temperaturi taline 750 °C trdne oziroma v testastem stanju. Te grude se lepijo na stene keramičnih cevi v sistemu elektromagnetne črpalke, kar pogosto privede do popolne zamašitve in zastoja proizvodnje. Odprava zastoja traja predvidoma tri dni, kar pomeni izpad proizvodnje 120 ton litega traku.

Zato smo brikete legirali le direktno v talino skozi glavno komoro peči, kar pa ni najbolj učinkovito. Tudi kakovost komercialnih tablet in briketov ni vedno najboljša. Zato se je v litih trakovih in posledično tudi folijah pojavljalo neraztopljeno železo ter vključki, kar je povzročalo trganje folije in vnovične zastoje proizvodnje folije. Poiskali smo učinkovitejšo metodo legiranja železa v talino aluminija.

Pri legiranju taline s polnjeno žico smo le-to lahko legirali v lonec elektromagnetne črpalke, zatem ni več prihajalo do zamašitve cevi in s tem povezanih zastojev. Zaradi enakomernejšega dodajanja legiranega železa in večje homogenosti taline smo odpravili pojav neraztopljenega železa v folijah, trganje folije in s tem povezanih izpadov proizvodnje folije.

6 ZAKLJUČEK

Legiranje skozi elektromagnetno črpalko zagotavlja izboljšanje homogenosti taline zaradi mešanja taline iz glavne komore v stransko komoro talilne peči. Zaradi tega v šaržirnem loncu prihaja do vrtinčenja taline, kar pospeši raztapljanje legiranih elementov in omogoči njihovo homogeno porazdelitev v talini.

Pri legiranju aluminijeve taline z železovimi tabletami oziroma briketi skozi šaržirni lonec elektromagnetne črpalke je večkrat prišlo do zamašitve cevi in zastoja proizvodnje. Zato smo brikete legirali le direktno v talino skozi glavno komoro peči, kar pa ni najbolj učinkovito. Tudi kakovost komercialnih tablet in briketov ni vedno najboljša. Zato se v litih trakovih in posledično tudi folijah pojavljajo vključki, ki negativno vplivajo na kakovost folij.

Iskali smo nove učinkovitejše metode legiranja železa v talino aluminija. Raztapljanje železa lahko pospešimo z uporabo finejših delcev in intenzivnim mešanjem taline. Idealno bi bilo, če bi lahko izvajali legiranje skozi elektromagnetno črpalko na nek ustrezen način. Za legiranje taline se v jeklarstvu uporablja tudi kontrolirano dodajanje jeklene žice, polnjene s primernimi sredstvi. Podobno se v livarstvu v proizvodnji aluminijevih zlitin že uveljavlja ta način za legiranje in modifikacijo velikosti zrn. Zato smo prišli na idejo, da bi modificiran način legiranja uporabili tudi v našem primeru. V aluminijeve cevi primerne premera in debeline stene smo dodali ustrezno mešanico železovega prahu. Legirano žico sestavljata šivno zavarjena cev izbranega premera narejena iz aluminijeve pločevine debeline 0,5 mm in jedro iz železovega prahu. Za pripravo legirane žice smo uporabili aluminijevo pločevino zlitine A30 ter železov prah s povprečno velikostjo delcev ca. 200 um, dobavitelja Höganäs iz Švedske. Za dodajanje legirane žice uporabljamo podajalni stroj, ki ima programirano maksimalno hitrost podajanje žice na 10 m/min. S podajanjem maksimalne hitrosti in čistosti železove žice smo dosegli popolno raztapljanje delcev železa preden bi ti prišli v stik s cevjo elektromagnetne črpalke in jo zamašili, kar je povzročalo zelo drage zastoje v proizvodnji.

Uvedba postopka legiranja taline s polnjeno železno žico zagotavlja tudi druge prednosti kot so: avtomatsko doziranje in večja natančnost legiranja, nižji stroški legiranja, večja varnost delavca pri opravi legiranja in višji izkoristek legiranih elementov.

7 LITERATURA IN VIRI

Literatura:

1. Brandes, E. A., Brook, G. B.: *Smithells Metals Reference Book*, 7th Edition, Butterworth Heinemann Ltd., Oxford, UK, 1992.
2. Belov, A., Ksenov, A., Eskin, D. G.: *Iron in Aluminium Alloys*, Taylor and Francis Books, London, 2002.
3. Fischer, P. : *Dissolution mechanisms in aluminium alloy additives*, Light Metals, Seattle, 1994.
4. Shafyei, A., Guthrie R. I. L.: *Dissolution mechanism of compact briquettes of high melting point additives in stirred liquid aluminium*, Liquid Metals, Seattle, 1995.
5. Tomsia A. P. : *Reactive wetting : Ridging, Adsorption and Compound Formation*, Plenum Press. New York, 1998
6. Yeremenko V.N. : *Metal*, National Library of Canada, Toronto, 1976.

Viri:

1. Interni dokumenti podjetja Impol d.d.
2. Kevorkian, V., Krnel, K., Kosmač T.: *Morfološke značilnosti raztapljanja delcev železa v aluminijevi talini*, Predavanje na 13. Slovenski konferenci o materialih in tehnologijah, Portorož, oktober 2005.

Internetni viri:

1. http://www.talum.si/novinarsko_sredisce/uporaba/, dne 6.3.2011
2. <http://www.Impol.si/izdelki/folije/>, dne 8.3.2011