



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI
ȘI PROTECȚIEI SOCIALE
AMPOSORU



Fondul Social European
POSORU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI,
CERCETĂRII
ȘI SPORTULUI

OPOSORU



UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
din BUCUREȘTI

UNIVERSITATEA POLITEHNICA din BUCUREȘTI

Școala Doctorală de Știința și Ingineria Materialelor

TEZĂ DE DOCTORAT

REZUMAT

CERCETĂRI EXPERIMENTALE INDUSTRIALE PRIVIND EVOLUȚIA NIVELULUI DE INCLUZIUNI DIN ALUMINIU ȘI ALIAJELE SALE ÎN FUNCȚIE DE CONDIȚIILE DE ELABORARE ȘI TURNARE

INDUSTRIAL EXPERIMENTAL RESEARCHES ON THE EVOLUTION OF THE LEVEL OF INCLUSIONS IN ALUMINUM AND ITS ALLOYS DEPENDING ON THE ELABORATION AND CASTING CONDITIONS

Autor: Drd. Ing. Viorel Sebastian ȘERBAN-TĂNASE
Conducător de doctorat: Prof. Dr. Ing. Nicolae CONSTANTIN

COMISIA DE DOCTORAT			
Președinte	Prof.dr. ing. Radu ȘTEFĂNOIU	de la	Universitatea POLITEHNICA din București
Conducător de doctorat	Prof. dr. ing. Nicolae CONSTANTIN	de la	Universitatea POLITEHNICA din București
Referent	Prof.dr. ing. Teodor HEPUȚ	de la	Universitatea POLITEHNICA din Timișoara
Referent	Conf. dr. ing. Erika Diana ARDELEAN	de la	Universitatea POLITEHNICA din Timișoara
Referent	Prof.dr. ing. Valeriu Gabriel GHICA	de la	Universitatea POLITEHNICA din București

BUCUREȘTI
2023

CUPRINS

LISTA CU TABELE	3
LISTA CU FIGURI	4
PREZENTAREA PLANULUI DE CERCETARE	7
MULȚUMIRI	9
PARTEA I a	
ANALIZA DOCUMENTARĂ A STADIULUI ACTUAL AL CERCETĂRILOR PRIVIND TIPURILE DE INCLUZIUNI PREZENTE IN ALIAJELE DE ALUMINIU	10
CAPITOLUL 1	
TIPURI DE INCLUZIUNI ÎN ALIAJELE DE ALUMINIU.	
MECANISMELE DE FORMARE A INCLUZIUNILOR	11
1.1. Introducere	11
1.2. Tipuri de incluziuni prezente in aluminiu si aliajele de aluminiu	15
1.2.1. Incluziuni solide metalice și nemetalice din topitură	18
1.2.2. Incluziuni nemetalice	19
1.2.3. Incluziuni metalice și intermetalice	21
1.3. Mecanismul de formare al incluziunilor nemetalice	23
1.3.1. Oxid de aluminiu - Al ₂ O ₃	23
1.3.2. Oxidul de magneziu – MgO și spinelul – Al ₂ O ₃ .MgO	25
1.3.3. Filmul de oxizi - bifilmul	27
1.3.4. Carburi (Carbura de aluminiu - Al ₄ C ₃ , cel mai frecvent)	28
1.3.5. Silicați - SiO ₂	29
1.3.6. Săruri (cloruri) - NaCl, KCl, MgCl ₂	29
1.3.7. Material refractor	30
1.3.8. Incluziuni metalice (intermetalice)	31
1.4 Dimensiunile, concentrația, distribuția și comportamentul incluziunilor în aluminiu topit	32
CAPITOLUL 2	
METODE DE REDUCERE A INCLUZIUNILOR DIN BAIA METALICĂ ...	34
2.1. Eliminarea incluziunilor din topitura metalică utilizând săruri	34
2.2. Sedimentarea/ flotația incluziunilor din baia metalică	36
2.3. Filtrarea	38

PARTEA a II-a	
CERCETĂRI EXPERIMENTALE INDUSTRIALE PROPRII PRIVIND EVOLUȚIA NIVELULUI DE INCLUZIUNI DIN ALUMINIU ȘI ALIAJELE SALE ÎN FUNCȚIE DE CONDIȚIILE DE ELABORARE ȘI TURNARE	42
CAPITOLUL 3	
DESCRIEREA FLUXULUI DE PRODUCȚIE SLEBURI, A UTILAJELOR ȘI APARATURII UTILIZATE ÎN CERCETĂRILE EXPERIMENTALE	43
3.1. Descrierea instalației de turnat sleburi și a aparaturii utilizate	43
3.2. Descrierea fluxului de fabricație	47
CAPITOLUL 4	
CERCETĂRI EXPERIMENTALE INDUSTRIALE PE FLUXUL DE PRODUCȚIE	52
4.1. Evoluția nivelului de incluziuni în urma tratamentului băii metalice în cuptor cu tipuri și cantități diferite de flux	52
4.2. Influența timpului de sedimentare / flotație asupra nivelului de incluziuni din topitura metalică	68
4.3. Influența filtrării asupra nivelului de incluziuni din aluminiu și aliajele de aluminiu	82
CAPITOLUL 5	
CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	91
5.1. Concluzii finale rezumative	91
5.2. Contribuții personale, originale	95
5.3. Direcții viitoare de dezvoltare a cercetărilor din teza de doctorat	97
DISEMINAREA REZULTATELOR DIN TEZA DE DOCTORAT	99
BIBLIOGRAFIE	100

ABSTRACT

Obiectivul principal al tezei de doctorat, îl reprezintă îmbunătățirea calității produselor turnate din aluminiu și aliajele acestuia, precum și creșterea performanței operațiilor procesului tehnologic de turnare, prin dezvoltarea de sisteme cu eficiență ridicată, reducerea nivelului de incluziuni din produsul final fiind una dintre metodele care pot duce la atingerea acestui scop.

Reducerea conținutului de incluziuni din baia metalică din cuptor, se realizează utilizând fluxuri – săruri solide sau amestecuri de săruri solide cu ajutorul cărora incluziunile sunt transportate la suprafața băii metalice pentru a fi îndepărtate. Totodată pe fluxul de producție, în reducerea nivelului de incluziuni, un rol foarte important îl au sedimentarea și flotatia, degazarea, rafinarea (prin adădire de rafinator) și filtrarea metalului. Toate aceste metode combinate și realizate corespunzător pot duce la creșterea calității interne a produselor turnate. Principala sursă de rebutare a produselor turnate de aluminiu și de prelucrare ulterioară neconformă, o reprezintă incluziunile din topitura de aluminiu.

Cercetările experimentale industriale au fost efectuate cu ajutorul și acordul colectivului de la Alro S.A. Slatina

CUVINTE CHEIE: incluziuni, flux, săruri, sedimentare, flotație, filtrare

PARTEA I**ANALIZA DOCUMENTARĂ A STADIULUI ACTUAL AL
CERCETĂRILOR PRIVIND TIPURILE DE INCLUZIUNI PREZENTE
ÎN ALIAJELE DE ALUMINIU****CAPITOLUL 1. TIPURI DE INCLUZIUNI ÎN ALIAJELE DE
ALUMINIU. MECANISMELE DE FORMARE A INCLUZIUNILOR****1.1. Introducere**

Aliajele ușoare, din care fac parte și aliajele de aluminiu, joacă un rol important în comunitatea industrială actuală. Chiar odată cu apariția noilor materiale nanocompozite și ceramice inovative, aluminiu ocupă al doilea loc ca utilizare, după oțel.

Greutatea sa ușoară este cel mai mare avantaj, pe lângă avantajele speciale ale aliajelor de aluminiu pentru turnare, care sunt temperatura de topire relativ scăzută, solubilitate neglijabilă pentru toate gazele, cu excepția hidrogenului, și finisarea bună a suprafeței care se obține de obicei în produsele finale. [1]

Cercetările experimentale din cadrul acestei teze de doctorat au fost realizate în secția turnatorie a companiei **ALRO S.A.**

În prezent, producția Alro este orientată către fabricarea de produse cu valoare adăugată mare și foarte mare, utilizate în diverse aplicații, inclusiv în domenii de vârf ca industria aero, auto, militară, industria electrică, construcții civile, etc.

Toate aceste domenii au ca cerință intrinsecă garantarea calității interne a produsului, ceea ce înseamnă condiții stricte impuse semifabricatului turnat referitor la compoziția chimică, nivel de incluziuni, nivel de hidrogen sau elemente alcaline, structură internă, condiții de formă și suprafață, etc., în vederea obținerii proprietăților și parametrilor impuși de clienți pentru produsul laminat finit.

Calitatea internă a produselor turnate nu depinde doar de compoziția chimică și condițiile de solidificare, ci și de conținutul de incluziuni sau de H_2 , caracteristici care au o influență importantă asupra structurii interne a acestora.

Conform literaturii de specialitate[4-6], majoritatea metalelor aflate în stare lichidă conțin diferite tipuri de incluziuni de tip oxid, carburi și boruri, iar formarea defectelor de turnare este o consecință inevitabilă a prezenței acestora. Incluziunile pot proveni din materiile prime utilizate, din refractare, din mediul de lucru, din procesul de formare al zgurii și chiar din procese sau materiale utilizate pentru rafinarea topiturilor. Pentru a se evita rebutarea produsului turnat este important să fie bine înțeles mecanismul de formare a fiecărui tip de incluziune și de a aplica cea mai eficientă metodă de tratament a topiturii.

1.2. Tipuri de incluziuni prezente în aluminiu și aliajele de aluminiu.

Există trei caracteristici importante care definesc calitatea metalului: controlul compoziției chimice, reducerea gazelor dizolvate și îndepărtarea incluziunilor nemetalice. Incluziunile în aliajele de aluminiu acționează ca factor de creștere a tensiunii și pot cauza fisurarea în timpul sau la finalul turnării, și de asemenea prelucrabilitatea și obținerea caracteristicilor fizico-mecanice dorite. [1] [4-6]

Incluziunea este definită ca fiind particula sau aglomeratul, cu compoziție chimică, formă și morfologie variate dar diferită de a metalului sau a aliajului de bază. Aceste particule sau aglomerate pot fi constituenți metalici și nemetalici, aflați în stare solidă sau lichidă. Dimensiunea lor poate varia de la $1\mu\text{m}$ la $100\mu\text{m}$, iar în cazul aglomerărilor se poate ajunge la zecimi de milimetri. Incluziunile reprezintă faze separate de particule sau aglomerări (clustere), care nu sunt legate compact de restul topiturii și care apar în microstructura aluminiului și a aliajelor de aluminiu turnate.

Incluziunile apar din procesul de obținere a aluminiului primar și din elaborarea topiturii metalice, astfel:

- formarea incluziunilor nemetalice depinde numai de prezența oxigenului sau a unui agent purtător de oxigen (ex: umiditatea ambientală);
- formarea incluziunilor metalice sau intermetalice este puternic dependentă de compoziția chimică a topiturii și de temperatura de proces.

Din practica metalurgică s-a observat că orice incluziune cu dimensiunea mai mare de $10\mu\text{m}$ este dăunătoare pentru produsul turnat, iar incluziunile cu dimensiuni mai mici de $10\mu\text{m}$, dacă sunt prezente în cantități mari, pot provoca defecte majore în produsele turnate din aluminiu, mai ales în cazul în care prezintă capacitatea de aglomerare (ex: oxizii, borurile).

Aluminiul electrolitic obținut prin procesul Héroult-Hall are un număr mare de incluziuni nemetalice, cu dimensiuni mai mici de $50\mu\text{m}$ și cca. 0,5 ppm conținut de H_2 . Incluziunile se prezintă sub formă de particule de oxizi (Al_2O_3), spineli ($MgAl_2O_4$) și carburi (SiC , Al_4C_3), cu un punct de topire mai mare decât aluminiu. [9]

CAPITOLUL 2. METODE DE REDUCERE A INCLUZIUNILOR DIN BAZA METALICĂ

De-a lungul timpului, au fost dezvoltate variate metode de reducere a nivelului de incluziuni din topitura metalică, astfel:

- fluxare cu săruri, manual sau cu injectare;
- injectare de gaze reactive;
- sedimentarea gravitațională, care are efect maxim asupra particulelor cu dimensiuni $d > 40\mu\text{m}$;
- flotația, care are efect maxim asupra particulelor cu dimensiuni $d > 20 - 40\mu\text{m}$;

- filtrarea, care reține incluziunile cu dimensiuni $<20 \mu\text{m}$, funcție de finețea filtrului utilizat sau complexitatea bateriei de filtrare.

2.1 Eliminarea incluziunilor din topitura metalică utilizând săruri

Eliminarea incluziunilor din baia metalică utilizând fluxuri pe bază de săruri este obișnuită în turnătoriile de aluminiu. Fluxurile sunt săruri solide sau amestecuri de săruri utilizate în industria metalurgică în procesul de topire, rafinare, modificare sau protejare împotriva oxidării. Fluxurile utilizate la topirea și tratarea în stare lichidă a aliajelor de aluminiu trebuie să aibă o serie de proprietăți chimice, fizice și electrice care să le permită exercitarea unui rol determinant asupra calității produsului finit.

Fluxul pe bază de sare se poate adăuga în topitura metalică manual și amestecat cu racla, prin injecție cu lancea sau prin injecție cu roți specializați, utilizând ca agent de transport un gaz inert. [1]

Este de menționat însă că, în cazul tratamentului cu săruri, deoarece acestea sunt lichide la temperatura de proces, este necesară o atenție deosebită la curățarea cuptorului, care trebuie făcută cu mișcări lente, pentru a ne asigura că nu rămân resturi de săruri în topitură. [7]

Este recomandat ca fluxul de producție la elaborare – turnare să includă cât mai multe metode de eliminare a incluziunilor, adică: fluxare - flotație – sedimentare – clorurare – filtrare care, deși nici acesta nu garantează eliminarea 100% a incluziunilor, asigură un randament maxim posibil.

2.2 Sedimentarea/ flotația incluziunilor din baia metalică

În privința procesului de sedimentare – flotație a incluziunilor din topitura metalică, trebuie evidențiate următoarele aspecte:

- segregarea specifică unora dintre incluziuni nu este strict rezultatul forței gravitaționale, ci și rezultatul direcției fluxului de metal în timpul basculării și golirii cuptorului;
- funcție de densitatea față de baia metalică și de dimensiunile incluziunilor, segregarea este progresivă; incluziunile cu densitate mai mare decât a băii metalice se sedimentează către vatra cuptorului, în timp ce incluziunile cu densitate mai mică decât a băii metalice flotează/ migrează către suprafață;
- sedimentarea/ flotația scade către zero în cazul în care diferența de greutate specifică dintre baia metalică și particule de incluziuni este mică;
- în cazul incluziunilor cu densitățile cele mai mici ($700 - 1800 \text{ kg} / \text{m}^3$), dimensiunea acestora nu joacă un rol semnificativ referitor la direcția lor de mișcare, dar, de regulă, ele rămân prinse în baia metalică;
- dimensiunea incluziunilor este foarte importantă pentru incluziunile cu densitate mai mare decât a topiturii. Aceste incluziuni mari ($d \geq 20 \mu\text{m}$) sedimentează puternic pe vatra cuptorului în timpul de sedimentare, dar la golirea cuptorului, datorită mișcării fronturilor de metal lichid, concentrația lor devine mai mare în zona de golire a cuptorului, și mai mult, concentrația lor crește către sfârșitul turnării. [7]

Cu ajutorul testelor [20], s-a calculat timpul necesar sedimentării/ flotației și s-a evidențiat că:

- pentru particulele cu dimensiuni $d > 20 \mu\text{m}$, timpul necesar sedimentării este aproximativ 30 de minute;
- particulele cu dimensiuni $10 < d < 20 \mu\text{m}$ au nevoie de un timp suplimentar pentru sedimentare, dar, indiferent de timp, nu sedimentează în cantități mari;
- particulele cu dimensiuni $d < 10 \mu\text{m}$ rămân în suspensie în baia metalică indiferent de timpul de așteptare;
- creșterea timpului de așteptare, de la 30 de minute la 60 de minute, nu are efect semnificativ asupra sedimentării particulelor cu dimensiuni $d \leq 20 \mu\text{m}$.

Prin urmare, în practica obișnuită de elaborare, în cuptor se urmărește sedimentarea particulelor cu dimensiuni $d > 20 \mu\text{m}$, pentru care este necesar un timp de așteptare de aproximativ 30 de minute, iar particulele cu dimensiuni $d < 20 \mu\text{m}$ se vor reduce/ elimina prin alte operații specifice (ex: filtrare).

2.3 Filtrarea

Filtrarea, ca și randament, este cel mai eficient pas în eliminarea incluziunilor, chiar și a celor dizolvate în topitura de aluminiu. Eliminarea incluziunilor prin filtrare îmbunătățește puternic proprietățile mecanice ale produselor, dar filtrarea, ca operație singulară, nu asigură calitatea internă cerută de produsele turnate.

Eficiența filtrării [22], este definită astfel:

$$E = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \quad \{14\}$$

unde: c_{in} = nivel de incluziuni înainte de intrarea în filtru,

c_{out} = nivel de incluziuni după ieșirea din filtru

Eficiența filtrării depinde în mod direct de:

- nivelul inițial de incluziuni din topitură;
- dimensiunea particulelor de incluziuni: cu cât particulele de incluziuni au dimensiuni mai mari cu atât filtrarea este mai eficientă, dar dacă sunt prea mari și prea multe pot bloca filtru iar acesta, se poate deteriora sub propria greutate lăsând, pe mai departe în procesul de turnare, ca incluziunile să treacă liber și să ajungă în produsul turnat.
- finețea porilor filtrului: cu cât filtrul este mai fin cu atât dimensiunea particulelor de incluziuni capturate este mai mică.

Pe o scară largă, în turnătoriile de aluminiu, sunt utilizate "Ceramic Foam Filter" (CFF), filtre cu pori deschiși, care sunt fabricate prin impregnarea, la nivel granular și în condiții de temperatură înaltă, a spumei poliuretanică cu suspensie ceramică, proces care asigură o coeziune între cele două materiale, rezultând un corp poros cu structură de pori deschiși. Filtrele ceramice se pot așeza în cutii de filtrare, în poziție verticală sau orizontală și sunt disponibile în diferite forme dimensionale și diferite dimensiuni ale porilor: între (20 – 550) pori/inch, ceea ce înseamnă o dimensiune de por de 0,3 – 0,6 mm. CFF este un filtru rigid și ușor de manipulat, avansat din punct de vedere tehnologic.

Se observa că eficiența filtrării, [E] – relația 14, crește direct proporțional cu mărimea particulelor de incluziuni. Prin urmare:

- $E > 1$, există un număr mic de particule cu dimensiuni $> 60 \mu\text{m}$, particule care sunt capturate prin filtrare;
- $E = 0.4 - 0.5$ există cel mai mare număr de particule care sunt capturate de filtru, cu dimensiuni (60-20) μm , pentru aceste particule filtru având eficiența cea mai mare. Din această dimensiune, sunt capturate cca. 85% din particulele care lovesc filtru;
- $E < 0.3$, pentru particule cu dimensiuni $< 20 \mu\text{m}$, eficiența filtrării nu este remarcabilă.

Din motivele expuse mai sus, cantitatea, dimensiunea și tipul incluziunilor care ajung în sistemul de filtrare sunt foarte importante. Aceste incluziuni care ajung în sistemul de filtrare provin, evident în mare măsură, din baia metalică din cuptorul de topire/elaborare, prin urmare tratamentul băii metalice în cuptor și timpul de sedimentare/ flotație al băii metalice sunt vitale pentru a evita blocarea filtrului, a asigura eficiența filtrării și a îmbunătăți calitatea internă a produsului turnat.

PARTEA a-II-a

CERCETĂRI EXPERIMENTALE INDUSTRIALE PROPRII PRIVIND EVOLUȚIA NIVELULUI DE INCLUZIUNI DIN ALUMINIU ȘI ALIAJELE SALE ÎN FUNCȚIE DE CONDIȚIILE DE ELABORARE ȘI TURNARE

CAPITOLUL 4. CERCETĂRI EXPERIMENTALE INDUSTRIALE PE FLUXUL DE PRODUCȚIE

4.1. Evoluția nivelului de incluziuni în urma tratamentului băii metalice în cuptor cu tipuri și cantități diferite de flux

Au fost realizate o serie de teste pe aliaje 5754 și 5083 (compoziția chimică conform SR-EN este redată în tabelul 1), variind metodele de fluxare, tipul și cantitățile de flux utilizate în tratamentul băii metalice.

Tabel 1 Compoziție chimică SR-EN aliaj 5754 și 5083

Aliaj	%Si	%Fe	%Cu	%Mn	%Mg	%Cr	%Zn	%Ti	Altele		Obs.	%Al
									Fiecare	Total		
5083	0.4	0.4	0.10	0.4- 1.0	4.0- 4.9	0.05- 0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	-	Rest
5754	0.4	0.4	0.10	0.50	2.6- 3.6	0.30	0.20	0.15	0.05	0.15	Mn+Cr = 0.10- 0.6	Rest

Aliajele au fost elaborate în cuptoare pe gaz cu o capacitate de 60t, iar turnarea s-a efectuat pe o instalație ce utilizează tehnologie Wagstaff.

În funcție de tipul aliajului și domeniul de utilizare al produsului turnat, pe fluxul de producție al sleburilor din turnătoria Alro eliminarea incluziunilor din topitura metalică, se realizează prin trarare cu saruri, în una sau doua etape de tratament, astfel:

- o etapa: manual, tratare cu flux de zgurificare;
- doua etape: manual, cu flux zgurificare + manual, cu flux de reducere Na/ Ca;
- doua etape: manual, cu flux zgurificare + injecție cu lancea (gaz inert = Ar), cu flux de reducere Na/ Ca.

Pentru teste, a fost utilizat:

- fluxul de reducere Na/ Ca furnizor A
- flux de zgurificare, furnizor B,
- fluxul de reducere Na/ Ca, furnizor C.

Conform fișelor tehnice transmise de furnizori, datele tehnice ale fluxurilor utilizate sunt prezentate în *tabelul 2*:

Tabel 2 Caracteristici fluxuri utilizate, recomandari furnizor

Flux	Cantitate [Kg/ t topitură]	Temperatura [°C]
Flux A	1 – 1.5	min. 700
Flux B	1 – 1.5	min. 700
Flux C	min. 0,5 kg/t	min. 480

După tratarea cu săruri, zgura rezultată în urma procesului de flotație, este extrasă de la suprafața băii metalice. Dacă baia metalică are compoziția chimică conform specificației clientului, pentru decantarea incluziunilor mari și grele și pentru flotația incluziunilor cu greutate specifică mai mică decât topitura, aceasta este lăsată cel puțin 30 de minute fără a se interveni asupra ei.

Trebuie subliniat că:

- probele PoDFA pentru măsurarea nivelului de incluziuni au fost prelevate la o lungime a șarjei cuprinsă între 2000 – 2500 mm. Deoarece metoda de analiză PoDFA este o metodă punctuală iar mișcarea incluziunilor în timpul basculării cuptorului, în funcție de densitatea și mărimea lor, este aleatorie, nivelul de incluziuni este variabil în funcție de lungimea de turnare (gradul de basculare al cuptorului). Conform literaturii de specialitate, în cazul incluziunilor de dimensiuni mari ($\geq 20 \mu\text{m}$) care sedimentează pe vatra cuptorului, în timpul basculării acestuia, incluziunile migrează către gura de golire, fapt care duce la creșterea semnificativă a nivelului lor către sfârșitul turnării;

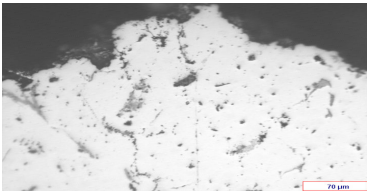
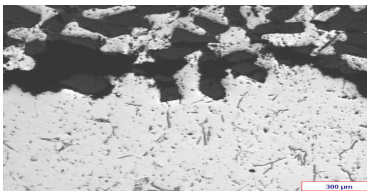
- în toate cazurile timpul de sedimentare a fost de 30 de minute, pentru a asigura sedimentarea incluziunilor de dimensiuni mari ($d \geq 20 \mu\text{m}$);

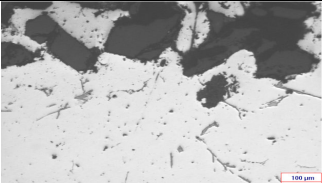

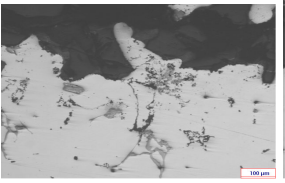
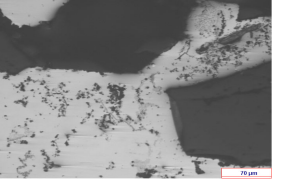
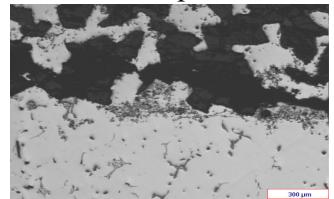

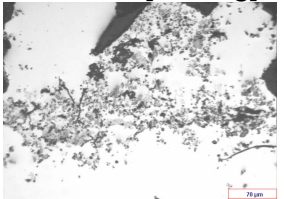
- în toate cazurile temperatura la care s-a realizat tratamentul băii metalice a fost $718^\circ\text{C} \leq T \leq 735^\circ\text{C}$, deci peste temperatura recomandată de furnizorii de fluxuri (Tabel 2), fiind astfel îndeplinită recomandarea din literatura de specialitate referitoare la asigurarea reactivității baie metalică – flux.

În urma analizei metalografice pe probele PoDFA recoltate s-a evidențiat existența ca tip de incluziuni, în special a oxizilor – filme de oxizi, spineli, MgO, carburi și boruri, dar și particule de flux - în cazul câtorva șarje (aliaj 5083).

Rezultatele obținute în urma analizei metalografice a probelor PoDFA sunt prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3. Rezultatele analizei metalografice a probei PoDFA, prelevată din cuptor după tratamentul cu flux

Aliaj	Sarja	Rezultate analiza metalografica Podfa
5754	1.1 1.2 1.3	Principalele incluziuni identificate sunt: oxizi (film), spineli, MgO, carburi, boruri.  

			
5083	2.1 2.2 2.3	Principalele incluziuni identificate sunt: oxizi (film), spineli, MgO, carburi, boruri.	   <p>Pentru sarja 2.2 au fost identificate, in plus, particule aglomerate de flux, evidentiate si prin valoarea mare a nivelului de incluziuni= 1,792[mm²/kg]</p>   

Aliaj 5754

Au fost prelevate și analizate probe Podfa din 3 sarje turnate din aliaj 5754, conform tabelului 4.

Tabelul 4 Nivel de incluziuni în cuptor după tratarea topiturii, variind cantitățile, metodele și tipurile de flux

Nr. crt	Aliaj	Șarja	Flux						Q deseu [t]				Al liq [t]	Q total [t]	Nivel incluziuni [mm ² /kg]
			Metoda 1	Q [kg/t]	Metoda 2	Q [kg/t]	Tot flux [kg]	Tip flux	solid	Eco	G14	total			
1	5754	1.1	manual	1	-	-	1	Flux A El Na/Ca	17	21	0	38	16	54	0,325
2		1.2	manual	1.5	-	-	1.5	Flux A El Na/Ca	10	25	0	35	11	46	0.143
3		1.3	manual	2	-	-	2	Flux A El Na/Ca	23	0	18	41	7	48	0.455

Referitor la aliaj 5754, se observă următoarele, (figura 1):

- pentru toate cele trei șarje studiate s-a utilizat deșeu, atât topit direct în cuptorul de elaborare cât și topit anterior într-un cuptor separat;
- s-a utilizat același tip de flux tip A El Na/Ca, aceeași metodă de fluxare a băii metalice - fluxare manuală – și s-a variat cantitatea de flux;
- creșterea cantității de flux de zgurificare peste 1,5 kg/ t baie metalică pare că nu ajută la reducerea nivelului de incluziuni. Se poate observa că prin creșterea cantității de flux la q=2 kg/t lichid, s-a măsurat cea mai mare cantitate de incluziuni (sarja 573, nivel de incluziuni =0.455 [mm²/kg]);

Cercetări experimentale industriale privind evoluția nivelului de incluziuni din aluminiu și aliajele sale în funcție de condițiile de elaborare și turnare

- cantitatea de metal electrolitic pare să aibă o influență aleatorie asupra nivelului de incluziuni, șarje în care cantitatea de metal electrolitic a fost mai mare au nivel de incluziuni ridicat, comparativ cu șarje în care cantitatea de metal electrolitic a fost mai mică;

- nivelul de incluziuni pare să fie semnificativ influențat de cantitatea de deșeu solid șarjat direct în cuptorul de elaborare. Se poate presupune că tratarea cu flux și extragerea zgurii din metalul lichid provenit din topirea deșeurilor în prealabil în alt cuptor înainte de a fi șarjat în cuptorul de elaborare reduce influența acestui tip de metal asupra nivelului final de incluziuni;

- în cazul aliajului 5754, tratamentul cu flux al bari metalice, în cantitate de 1,5 kg/ t utilizând metoda manuală (flux A El Na/Ca), a dat rezultatele cele mai bune, în condițiile în care a fost șarjat deșeu solid inclusiv în cuptorul de elaborare.

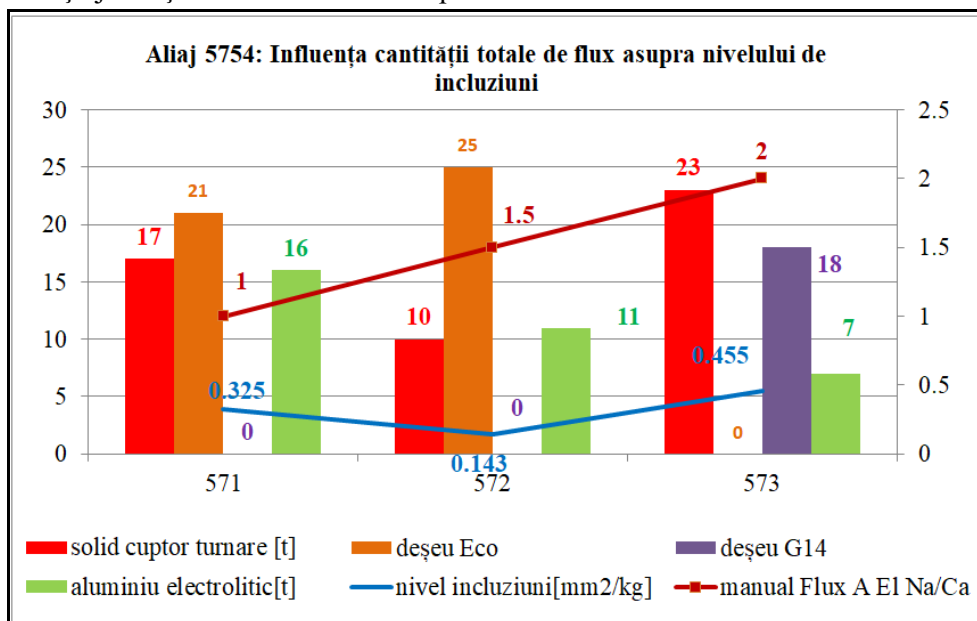


Figura 1 – Aliaj 5754: Nivelul de incluziuni funcție de cantitatea de flux utilizată

Aliaj 5083

Au fost prelevate și analizate probe PoDFA din trei șarje turnate din aliaj 5083, conform tabelului 5.

Tabelul 5

Nivel de incluziuni în cuptor după tratarea topiturii, variind cantitățile, metodele și tipurile de flux

Aliaj	Șarja	Flux						Q deșeu [t]				Al liq [t]	Q total [t]	Nivel incluziuni [mm ² /kg]
		Metoda 1	Q [kg/t]	Metoda 2	Q [kg/t]	Total flux [kg]	Tip flux	solid	Eco	G14	total			
5083	2.3	manual	1	manual	0.5	1.5	Flux B + Flux C	15	0	25	40	7.4	47.4	0.372
	2.1	manual	1	lance	0.5	1.5	Flux B +	13	14.1	0	27.1	21	48.1	0.300

Cercetări experimentale industriale privind evoluția nivelului de incluziuni din aluminiu și aliajele sale în funcție de condițiile de elaborare și turnare

							Flux C							
	2.2	manual	1	manual	1	2	Flux C	10	14	8	32	14.5	46.5	1,792

Referitor la aliaj 5083 se observa urmatoarele, (figura 2):

- pentru șarjele analizate s-a șarjat metal lichid provenit din topitoria Eco, din cuptorul de topire deșeuri și din electroliză;
- pentru toate șarjele studiate s-a utilizat deșeu topit direct în cuptorul de elaborare - turnare;
- ca și în celelalte cazuri studiate, cea mai mare influență asupra nivelului de incluziuni pare a o avea deșeul solid șarjat direct în cuptorul de elaborare. Se poate presupune că, deoarece metalul lichid provenit din topirea deșeurilor în cuptorul G14 este tratat cu flux și extrasă zgura înainte de a fi șarjat în cuptorul de elaborare se reduce nivelul final de incluziuni;
- pentru șarjele studiate s-au utilizat două tipuri de flux (flux de zgurificare B și flux C – de reducere Na/Ca), ambele metode de fluxare (manual și lance) și s-a variat cantitatea de flux utilizată, atât totală cât și pe etapa de fluxare;

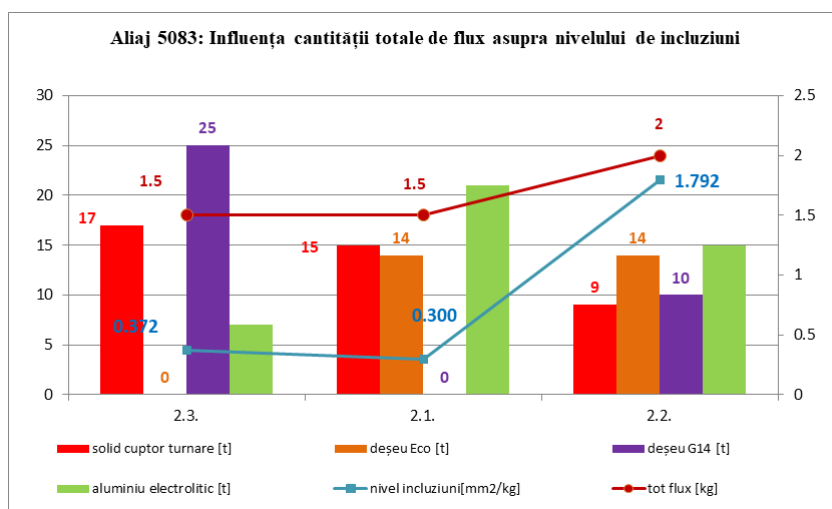


Figura. 2 – Aliaj 5083: Nivelul de incluziuni funcție de cantitatea totala de flux utilizata

Referitor la tipul de flux, cantitatea și metoda utilizată, în figura 3 se pot observa urmatoarele aspecte:

- pentru cazurile studiate, creșterea cantitatii totale de flux are influență aleatorie. Se poate observa că:
 - la aceeași cantitate de flux de 1,5 kg/t, utilizând două tipuri de flux rezultatele sunt similare;
 - utilizând aceeași cantitate de flux și două metode diferite rezultatele sunt similare;
- în cazul în care s-a crescut cantitatea de flux a crescut și nivelul total de incluziuni și au fost identificate particule de flux rămase în suspensie în baia metalică. Însă, nu se poate corela creșterea nivelului de incluziuni cu cantitatea de flux utilizată, deci nu se poate stabili că

Cercetări experimentale industriale privind evoluția nivelului de incluziuni din aluminiiu și aliajele sale în funcție de condițiile de elaborare și turnare

prin reducerea sau creșterea cantității de flux se va obține o reducere sau o creștere a nivelului de incluziuni.

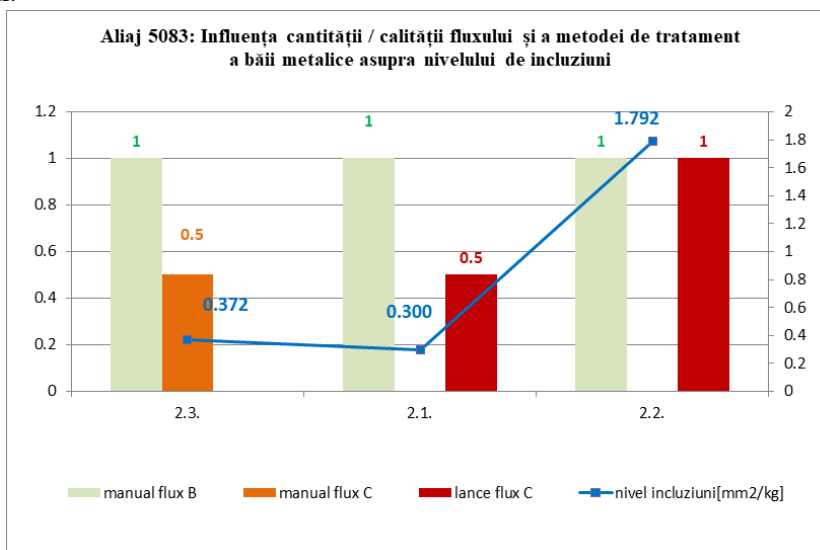


Figura. 3 – Aliaj 5083: Nivelul de incluziuni funcție de cantitatea de flux și de metoda de fluxare

Încă o dată, este de menționat atenția care trebuie acordată eliminării complete a sarurilor de flux din baia metalică – influența factorului uman.

Nivelul de incluziuni din baia metalică de aluminiu este substanțial, dimensiunea și tipul acestora fiind variate. Reducerea nivelului de incluziuni reprezintă o provocare pentru turnătoriile de aluminiu, rezultatul fiind direct dependent de mai mulți factori și parametri care intervin în proces, cei mai importanți fiind:

- calitatea materiilor prime și materialelor auxiliare;
- parametri de proces, în special temperatura;
- metoda de lucru;
- factorul uman.

Conform literaturii de specialitate, pentru produsele turnate deformabile destinate laminării pentru uz general, nivelul de incluziuni recomandat este 0,01 mm²/kg, în condițiile în care nivelul de H₂ este mai mic de 0,1 ml/100 g metal lichid. În cazul produselor turnate cu destinații speciale atât nivelul de incluziuni cât și nivelul de H₂ se recomandă să fie cât mai mici.

Fluxarea băii metalice, sedimentarea și extragerea zgurii sunt operații critice, rezultatele obținute depinzând de multe variabile. Testele au arătat că dacă se menține o cantitate similară de flux și o metodă similară de fluxare, rezultatele obținute evoluează aleatoriu, într-o plajă mare de valori.

Testele realizate în turnatoria ALRO referitor la influența cantității și a tipului (marca comercială) de flux de sare utilizat asupra reducerii nivelului de incluziuni din baia metalică nu au dat rezultate concludente. Mai mult, analizele de laborator au arătat că șarje cu nivel mic de incluziuni au dezvoltat, în produsul turnat, oxid în rețea de mărimi considerabile și porozitate de dimensiuni comparabile cu șarje cu nivel mult mai ridicat de incluziuni.

Nu s-a putut stabili cu certitudine că tipul de flux utilizat a influențat creșterea sau reducerea nivelului de incluziuni, rezultatele fiind aleatorii.

Pentru cazurile studiate, creșterea sau reducerea cantității totale de flux arată o influență aleatorie asupra nivelului de incluziuni. Studiarea rezultatelor analizei PoDFA arată că nivelul de incluziuni după tratamentul cu flux nu este direct dependent de cantitatea și tipul de flux utilizat ci, conform literaturii de specialitate, de nivelul de reactivitate și dimensiunile componentelor sau incluziunilor din baia metalică la temperatura procesului, în special, de densitatea sau tipul particulelor care formează incluziunile și de modul de lucru. Dacă densitatea particulelor este apropiată de densitatea băii metalice sau dacă nu se respectă parametri de lucru la fluxare și extragerea de zgură (temperatura), fluxul are capacitate redusă de a le transporta astfel încât, mare parte dintre acestea rămân în suspensie în baia metalică, mai mult, rămân în suspensie și particule de flux umectat.

Testele par a demonstra că tratamentul băii metalice cu ajutorul lancei nu este cea mai potrivită alegere. Tratamentul de insuflare a fluxului cu lancea, provoacă turbulențe puternice în topitură, acestea putând duce la formarea de bifilme de oxizi mult mai greu de eliminat din baia metalică, și care se vor regăsi ca și incluziuni în produsul solidificat.

Nivelul mare de incluziuni măsurat pentru anumite șarje testate, este posibil să aibă o legătură consistentă cu particulele de flux rămase în suspensie în baia metalică și evidențiate de analiza metalografică. În cazul acestor șarje, tratamentul a fost cel uzual (1,5 kg/ t flux, metoda: manual+ lance). Deoarece în timpul tratamentului cu lancea temperatura băii scade și având în vedere că temperatura scăzută de proces este factorul cu cea mai mare influență în cazul menținerii acestor particule în suspensie în baia metalică (plus factorul uman), se poate afirma că tratamentul cu lancea adaugă o problemă în plus în proces.

Reducerea sau creșterea cantității de flux utilizate față de cantitatea recomandată de producător sau tipul de flux utilizat nu garantează reducerea nivelului de incluziuni. Din acest motiv nu există un standard internațional care să reglementeze această operație, recomandarea Aluminium Association fiind de a testa, pe fluxul de producție, atât tipul cât și cantitatea necesară de flux, pornind de la recomandările furnizorului și adaptându-le la nevoile de producție.

4.2 Influența filtrării asupra nivelului de incluziuni din aluminiu și aliajele de aluminiu

În cadrul experimentelor, pe traseul de jgheaburi de transfer metal de la instalația de turnat seburi, după oala de degazare, s-a instalat o cutie suplimentară de filtru care, împreună cu cea deja existentă, să asigure un sistem de filtrare în două etape.

Compoziția chimică standard conform SR-EN 573-3, pentru cele trei aliaje este prezentată în tabelul 6.

Table 6.

Compoziția chimică standard pentru aliajele experimentale

Aliaj	Si, %	Fe, %	Cu, %	Mn, %	Mg, %	Cr, %	Zn, %	Ti, %	Toate		Al
									Fieca re	Tot al	
5083	0.40	0.40	0,10	0.40- 1.0	4.0- 4.9	0.05- 0.25	0,25	0,15	0,05	0,15	rest
6061	0.40- 0.8	0.70	0.15- 0.40	0,15	0.8- 1.2	0.04- 0.35	0,25	0,15	0,05	0,15	rest
7075	0.40	0.50	1.2- 2.0	0,30	2.1- 2.9	0.18- 0.28	5.1- 6.1	0,20	0,05	0,15	rest

Schema fluxului tehnologic este prezentată în figura 4 a) și b).

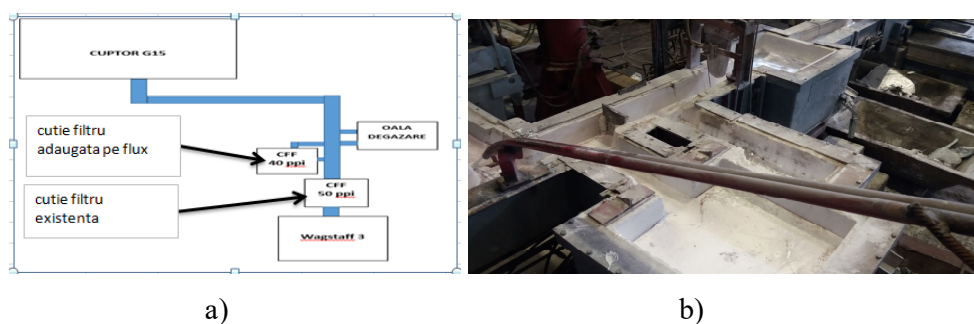
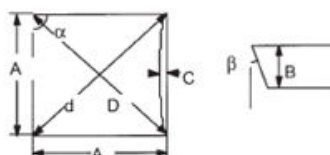
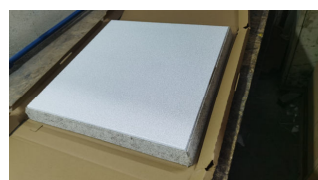


Figura 4 –a) Schema fluxului tehnologic cu filtrare în două etape la instalatie de turnat sleburi b) Imaginea sistemului de filtrare în două etape la instalatia de turnat sleburi

Pentru testele realizate au fost utilizate filtre CFF (figura 5) astfel:

- **etapa 1** (cutia de filtru nou instalată) – filtru CFF 40 ppi, în toate cazurile.
- **etapa 2** (cutia de filtru existentă) - filtru CFF 50 ppi respectiv 60 ppi.



FILTER SIZE	DIMENSION A (MM)
7 inch	178 x 178 ± 2
9 inch	229 x 229 ± 2
12 inch	305 x 305 ± 2
15 inch	381 x 381 ± 2
17 inch	432 x 432 ± 3
20 inch	508 x 508 ± 3
23 inch	584 x 584 ± 3
26 inch	660 x 660 ± 4

PROPERTY	SPECIFICATION
angle α	90° ± 1/2°
angle β	17 1/2° ± 1/2°
B	50 mm ± 2 mm
bend C	± 1 1/2 mm on each edge
D-d	≤ 0.6% x A

Figura 5. Filtru CFF

Filtrele din spumă ceramică sunt folosite în întreaga lume pentru a filtra aluminiul topit.

Deoarece s-a utilizat rețeta uzuală folosită în turnarea acestor aliaje, fără să i se aducă modificări, demararea șarjelor s-a realizat în modul “manual”, basculând cuptorul atât cât a permis capacitatea jgheabului de transfer, pentru a asigura cele cca. 800 kg în plus pentru filtrul adăugat suplimentar în traseul de turnare.

Sistemul de filtrare în două etape “Dual Stage”, a fost instalat la linia de turnare sleburi și a fost testat la turnarea sleburilor din aliaje 5083, 6061, 7075, format 1650x500mm, configurația CFF utilizată fiind redată în tabelul 7.

Tabelul 7 Configurație CFF sistem filtrare în două trepte și aliajele turnate

Sistem filtrare în două etape		Tip aliaj	Număr de turnari	Observații
Etapa 1	Etapa 2			

CFF 40 ppi	CFF 50 ppi	5083	2	La demararea turnării este necesară o cantitate mai mare de metal pentru amorsarea filtrului suplimentar (cca. 800 kg). Jgheabul de transfer are capacitatea să preia această cantitate suplimentară, operatorul fiind nevoit să demareze în mod de operare "manual". După demarare, nivelul de metal pe jgheab se echilibrează, turnarea decurge normal, fără probleme.
		6061	2	
		7075	1	

Compoziția chimică standard, conform SR-EN 573-3, a celor trei aliaje este redată în tabelul nr.7

Tabelul 7. Compoziție chimică standard aliaje de aluminiu

Aliaj	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Altele		Aluminiu
												Fiecare	Total	
5083	0.40	0.40	0.10	0.40-1.0	4.0-4.9	0.05-0.25		0.25	0.15			0.05	0.15	Rest
6061	0.40-0.8	0.70	0.15-0.40	0.15	0.8-1.2	0.04-0.35		0.25	0.15			0.05	0.15	Rest
7075	0.40	0.50	1.2-2.0	0.30	2.1-2.9	0.18-0.28		5.1-6.1	0.20			0.05	0.15	Rest

Nivelul de incluziuni înainte de filtrare reprezintă nivelul de incluziuni din baia metalică din cuptorul de elaborare, iar nivelul de incluziuni după filtrare reprezintă nivelul de incluziuni din produsul turnat.

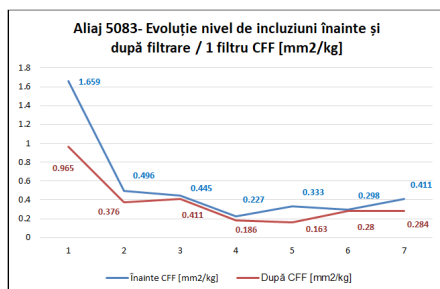


Figura 6 a) Nivel incluziuni înainte și după filtrare, filtru CFF 40 ppi, aliaj 5083

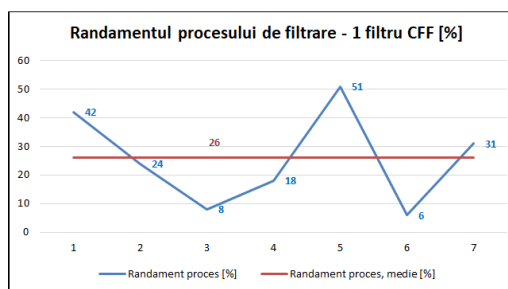


Figura 6 b) Randamentul procesului de filtrare, aliaj 5083

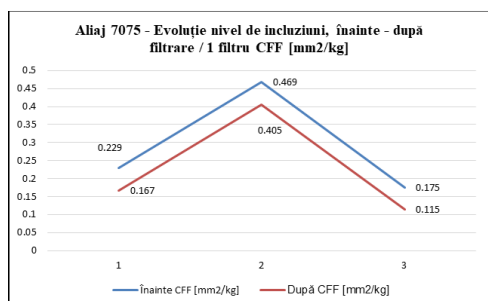


Figura 7 a) Nivel incluziuni înainte și după filtrare, filtru CFF 40 ppi, aliaj 7075

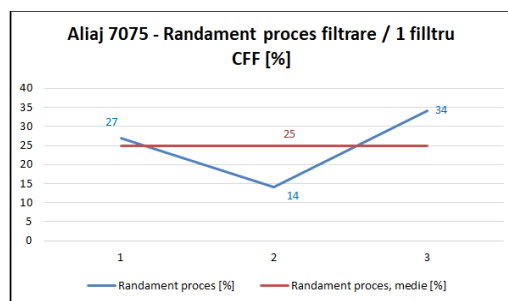


Figura 7 b) – Randamentul procesului de filtrare, aliaj 7075

Se observă că atât nivelul de incluziuni, cât și randamentul procesului de filtrare au un comportament aleatoriu, iar rezultatul final depinde, direct proporțional, de nivelul de incluziuni din baia metalică din cuptor, după ce aceasta a fost tratată cu flux și extrasă zgura.

În partea experimentală a sistemului cu dublă filtrare au fost prelevate câte 3 probe pentru fiecare șarjă astfel:

- o probă la ieșirea metalului din cuptor, înainte de oala de degazare;
- o probă după prima etapă de filtrare (filtru CFF 40 ppi)
- o probă după cea de-a doua etapă de filtrare (filtru CFF 50/ 60 ppi)

Tabel 8 Rezultatele analizelor pe probele experimentale

Aliaj	Șarjă	Probă		Comentarii
		Loc prelevare	Nivel de incluziuni [mm ² /kg]	
5083	1	După cuptor	0,931	Evoluția nivelului de incluziuni indică o filtrare bună a metalului, randamentul total al filtrării fiind 88% (56% după etapa întâi de filtrare și 73% după etapa a doua de filtrare).
		După filtru de 40 ppi	0,406	
		După filtru de 60 ppi	0,107	
	2	După cuptor	1,999	Evoluția nivelului de incluziuni de la o etapă de filtrare la alta indică un randament total al filtrării de 93% (87% după etapa întâi de filtrare și 49% după etapa a doua de filtrare)
		După filtru de 40 ppi	0,263	
		După filtru de 60 ppi	0,135	
6061	3	După cuptor	0,122	Evoluția nivelului de incluziuni indică o filtrare bună a metalului, randamentul total al filtrării fiind 68% (13% după etapa întâi de filtrare și 64% după etapa a doua de filtrare).
		După filtru de 40 ppi	0,106	
		După filtru de 50 ppi	0,038	
	4	După cuptor	0,179	Evoluția nivelului de incluziuni indică o filtrare bună a metalului, randamentul total al filtrării fiind 64% (42% după etapa întâi de filtrare și 38% după etapa a doua de filtrare).
		După filtru de 40 ppi	0,104	
		După filtru de 50 ppi	0,065	
7075	5	După cuptor	0,846	Evoluția nivelului de incluziuni indică o filtrare bună a metalului, randamentul total al filtrării fiind 89% (84% după etapa întâi de filtrare și 34% după etapa a doua de filtrare).
		După filtru de 40 ppi	0,135	
		După filtru de 60 ppi	0,089	

Randamentul filtrării în două etape este redat grafic în figura 8.

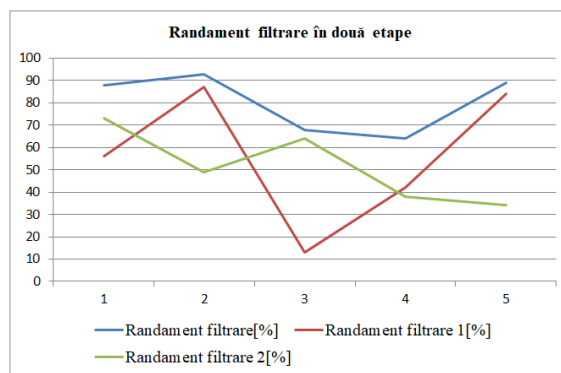


Figura 8. Randamentul filtrării în două etape

Astfel, comparând rezultatul total al filtrării în cazul șarjei 5083 se observă că, utilizând o singură etapă de filtrare CFF 40 ppi (fig. 6 a, b) randamentul maxim obținut este de 51% mai mic decât rezultatul obținut în cazul utilizării a două etape de filtrare (CFF 40 ppi+ 60 ppi) unde randamentul total al procesului este 93%.

De asemenea, comparând rezultatele obținute în timpul testelor după fiecare din cele două etape de turnare, se observă că randamentul de filtrare obținut după etapa a doua a filtrării este de obicei mai mare decât randamentul obținut după prima etapă a filtrării.

Conform teoriei, filtrul CFF 40 ppi reține incluziunile de dimensiuni mai mari de $20\mu\text{m}$ iar filtrul CFF (50/60 ppi) reține incluziunile de dimensiune mai mici de $20\mu\text{m}$

Este evident că randamentul mare obținut pe cea de-a doua etapă de filtrare se datorează atât reținerii incluziunilor cu dimensiuni mai mici de $20\mu\text{m}$ dar și reținerii incluziunilor cu dimensiuni mai mari de $20\mu\text{m}$, care au trecut de filtru de 40 ppi (etapa 1)

Adăugarea celei de-a doua etape de filtrare pe fluxul de producție dintr-o secție de turnătorie implică costuri suplimentare, atât referitor la cel de-al doilea filtru CFF cât și referitor la achiziționarea unei cutii de filtru performante pentru etapa a doua de filtrare, pentru a evita scăderi drastice de temperatură la demarare și pentru a reduce riscul rebutării șarjei.

Sistem de filtrare a metalului lichid poate fi îmbunătățit prin adăugarea unei cutii suplimentare de filtrare și testare a eficienței instalației de filtrare în două etape, utilizând filtre CFF 40 ppi, în etapa 1 și filtru CFF 50/60 ppi (sau altă finețe, în funcție de destinația produsului finit), în etapa a doua.

Pe probele test ale căror rezultate pot fi luate în considerare, comparând rezultatul obținut după două etape de filtrare (CFF 40+50/60) cu rezultatele obținute utilizând o etapă de filtrare (CFF 40) ppi se observă că:

- în cazul aliajului 5083, utilizând o etapă de filtrare (CCF 40 ppi), randamentul este de 56%, mai mic decât rezultatul obținut în cazul utilizării a două etape de filtrare (CFF 40 ppi+ 60 ppi), unde randamentul total al procesului este de 93%.

- în cazul aliajului 6061, utilizând o etapă de filtrare (CCF 40 ppi), randamentul de 13% este mai mic decât randamentul total al procesului de 68%, obținut în cazul utilizării a două etape de filtrare (CFF 40 ppi+ 50 ppi).

Valorile randamentelor prezentate mai sus arată că, utilizând un sistem de filtrare în două etape, se poate obține o creștere a randamentului de eliminare a incluziunilor din metalul lichid.

CAPITOLUL 5. CONCLUZII FINALE, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

5.1. Concluzii finale rezumative

5.1.1. Nivelul de incluziuni din baia metalică de aluminiu este substanțial, dimensiunea și tipul acestora fiind variat. Reducerea nivelului de incluziuni reprezintă o provocare pentru turnatoriile de aluminiu, rezultatul fiind direct dependent de mai mulți factori și parametri care intervin în proces, cei mai importanți fiind:

- calitatea materiilor prime și a materialelor auxiliare;
- parametri de proces, în special temperatura;
- metoda de lucru;
- factorul uman.

5.1.2. Conform literaturii de specialitate [21], pentru produsele turnate deformabile destinate laminării pentru uz general, nivelul de incluziuni recomandat este de $0,01 \text{ mm}^2/\text{kg}$, în condițiile în care conținutul de H_2 este sub $0,1 \text{ ml}/100 \text{ g Al liq}$. În cazul produselor turnate cu destinații speciale atât nivelul de incluziuni cât și conținutul de H_2 se recomanda sa fie cât mai mici.

5.1.3. Fluxarea băii metalice, sedimentarea și extragerea zgurii sunt operații critice, rezultatele obținute depinzând de multe variabile.

5.1.4. Pentru cazurile studiate, creșterea/reducerea cantității totale de flux arată o influență aleatorie asupra nivelului de incluziuni. Analizarea rezultatelor PoDFA arată că nivelul de incluziuni după tratamentul cu flux nu este direct dependent de cantitatea și tipul de flux utilizat ci, de nivelul de reactivitate și dimensiunile componentelor/incluziunilor din baia metalică la temperatura procesului, în special, de densitatea, de tipul particulelor care formează incluziunile și de modul de lucru. Dacă densitatea particulelor este apropiată de densitatea băii metalice sau dacă nu se respectă parametrii de lucru la fluxarea și extragerea de zgură (în special temperatura de lucru), fluxul are capacitate redusă de a le transporta incluziunile, astfel încât, mare parte dintre acestea rămân în suspensie în baia metalică, mai mult, rămânând în suspensie și particule de flux umectat.

5.1.5. Testele au demonstrat ca tratamentul băii metalice cu ajutorul lancei nu este cea mai potrivită alegere. În cazul testelor pentru aliajul 7075, cel mai redus nivel de incluziuni a fost obținut în condițiile tratării băii metalice cu $1 \text{ kg}/\text{t}$ utilizând doar metoda manuală (fără lance). Nivelul mare de incluziuni măsurat pentru anumite șarje testate are o legătură consistentă cu particulele de flux rămase în suspensie în baia metalică și evidențiate de analiza metalografică. În cazul acestor șarje, tratamentul a fost de $1,5 \text{ kg flux}/\text{t}$, metoda folosită fiind metoda combinată: manual+ lance. Deoarece în timpul tratamentului cu lancea temperatura băii scade, și având în vedere că temperatura scăzută de proces este factorul cu cea mai mare influență în cazul menținerii acestor particule în suspensie în baia metalică, se poate afirma că tratamentul cu lancea adaugă o problemă în plus în proces. În plus, datorită modului de tratament cu lancea (insuflarea fluxului cu ajutorul unui gaz inert), la suprafața topiturii metalice din cuptor, au loc turbulențe puternice, care antrenează pelicula de oxid formată, în interiorul topiturii ducând la introducerea în baia metalică a incluziunilor de tip bifilm, foarte greu de eliminat în etapele ulterioare ale procesului.

5.1.6. Reducerea sau creșterea cantității de flux utilizate față de cantitatea recomandată de producător sau tipul de flux utilizat nu garantează reducerea nivelului de incluziuni. Din acest motiv nu există un standard internațional care sa reglementeze această operație,

recomandarea Aluminium Association fiind de a testa, pe fluxul de producție, atât tipul cât și cantitatea necesară de flux, pornind de la recomandările furnizorului și adaptându-le la nevoile din practică.

5.1.7. Eliminarea incluziunilor din topitură este considerată o operație critică a procesului de turnare, și nici una dintre metodele existente nu asigură eliminarea 100% a incluziunilor. Din acest motiv, este recomandat ca fluxul de producție la turnare să includă cât mai multe metode de eliminare a incluziunilor, adică: fluxare - flotație – sedimentare – clorurare – filtrare care, deși nu asigură eliminarea în întregime a incluziunilor, asigură un randament maxim posibil.

5.1.8. Sedimentarea/flotația sunt operații tehnologice esențiale pentru reducerea nivelului de incluziuni din baia metalică cu următoarele observații:

- segregarea incluziunilor nu este strict rezultatul forței gravitaționale, ci și rezultatul direcției fluxului de metal în timpul basculării și golirii cuptorului;
- funcție de densitatea față de baia metalică și de dimensiunea incluziunilor, segregarea este progresivă;
- incluziunile cu densitate mai mare decât a băii metalice se sedimentează către vatra cuptorului, în timp ce incluziunile cu densitate mai mică decât a băii metalice migrează către suprafață;
- sedimentarea/flotația scade către zero în cazul în care diferența de greutate specifică este mică;
- în cazul incluziunilor cu densitățile cele mai mici (700kg/m^3 și 1800kg/m^3), dimensiunea acestora nu este un factor semnificativ referitor la direcția lor de mișcare, în mare parte acestea rămânând prinse în baia metalică;

5.1.9. Timpul de sedimentare acoperitor în cazul aliajelor din aluminiu este de minim 30 de minute, deoarece:

- pentru particulele cu dimensiuni mai mari de $20\mu\text{m}$, timpul necesar sedimentării este aproximativ 30 de minute. Creșterea timpului de așteptare de la 30 de minute la 60 de minute, nu are efect semnificativ asupra sedimentării acestor particule;
- pentru particulele cu dimensiuni între $10\mu\text{m}$ și $20\mu\text{m}$ este nevoie de timp suplimentar pentru sedimentare, dar și în aceste condiții, eficiența procesului nu este suficientă pentru a justifica reducerea productivității. Aceste incluziuni sunt reținute, cu o eficiență mai mare, în sistemul de filtrare;
- particulele cu dimensiuni mai mici de $10\mu\text{m}$ rămân în suspensie în baia metalică indiferent de timpul de așteptare.

5.1.10. Există o dependență între nivelul de incluziuni din baia metalică din cuptor și cantitatea de aluminiu electrolitic utilizat: indiferent de durata mare a timpului de sedimentare, dacă, cantitatea de aluminiu electrolitic crește, nivelul de incluziuni crește și el. Probabil aluminiu electrolitic conține incluziuni de dimensiuni mici și/sau greutate specifică aproximativ egală cu baia metalică din cuptor, incluziuni care nu sedimentează/flotează, ci rămân prinse în topitură.

5.1.11. O analiza asupra randamentului filtrării poate da indicații asupra dimensiunilor și naturii/greutății specifice a incluziunilor rămase în proces. În cazul testelor realizate:

- indiferent câte etape de filtrare sau ce tip/fineie de filtru se alege, există limitări ale procesului de filtrare, randamentul filtrării neputând asigura o reducere de 100% a incluziunilor. În cazul testelor analizate, cel mai mare randament obținut, după două etape filtrare ($40+60$ ppi), este de 93%;
- conform rezultatelor obținute, incluziunile care trec de sistemul de filtrare sunt particule cu dimensiuni cuprinse între $20\mu\text{m}$ și $25\mu\text{m}$;

5.1.12. Sistemul de filtrare a aluminiului lichid în procesul de turnare, poate fi îmbunătățit substanțial prin adăugarea unei cutii suplimentare de filtrare, utilizând filtre CFF

de 40ppi, în etapa întâi de filtrare și filtru CFF de 60ppi (sau altă finețe, funcție de destinația produsului finit), în etapa a doua de filtrare.

Concluzia generală este că, deși nu pot fi eliminate 100% din sistem incluziunile, este imperios necesară limitarea acestora prin efectuarea cu mare atenție (factorul uman fiind determinant în această ecuație) a tuturor operațiilor ce duc la reducerea nivelului acestora: fluxare – curățarea suprafeței metalice din cuptor – sedimentare/flotație – degazare – filtrare.

5.2. Contribuții personale originale

Cercetările întreprinse în cadrul tezei de doctorat au avut drept scop stabilirea unor tehnologii de îmbunătățire a calității produselor turnate din aluminiu și aliaje ale acestuia, precum și creșterea performanței operațiilor fluxului tehnologic de turnare, prin dezvoltarea de sisteme cu eficiență ridicată, reducerea nivelului de incluziuni din produsul final fiind una dintre metodele care pot duce la atingerea acestui scop.

Reducerea conținutului de incluziuni din baia metalică din cuptor, se realizează utilizând fluxuri – săruri solide sau amestecuri de săruri solide cu ajutorul cărora incluziunile sunt transportate la suprafața băii metalice pentru a fi îndepărtate. Totodată pe fluxul de producție, în reducerea nivelului de incluziuni, un rol foarte important îl au degazarea, rafinarea (prin adăugare de rafinator) și filtrarea metalului.

Pentru îndeplinirea obiectivului angajat al tezei de doctorat, pe parcursul stagiului doctoral am efectuat activități de documentare științifică, experimente de laborator și industriale, am colaborat cu cercetători și specialiști din cadrul ALRO S A Slatina, din Universitatea POLITEHNICA din București, prin Centrul de cercetare CEMS, cu specialiștii din sectorul metalurgic, industriei metalelor și aliajelor neferoase.

Contribuțiile originale, proprii aduse în cadrul tezei de doctorat sunt susținute de următoarele activități:

1. În prima parte a tezei de doctorat am efectuat un studiu documentar pe baza literaturii de specialitate privind stadiul actual în țară și în străinătate, a tipurilor de incluziuni prezente în aliajele de aluminiu, mecanismelor de formare a acestora, precum și a metodelor utilizate pentru eliminarea lor din topitură.

2. În partea a doua a tezei de doctorat am efectuat mai întâi o cercetare documentară și experimentală privind procedurile de analiză a materiilor prime, a materialelor și a aparatului și utilajelor folosite la scară industrială pentru obținerea sleburilor de aliaje de aluminiu.

Am efectuat o prezentare a fluxului de producție sleburi în Alro și o descriere a echipamentelor și aparatelor utilizate în cercetările experimentale, și am prezentat concluziile acestor cercetări.

3. Am efectuat cercetări experimentale industriale pe mai multe faze ale procesului tehnologic de obținere a sleburilor de aliaje de aluminiu și am prezentat și interpretat rezultatele obținute, punând în evidență concluziile acestor cercetări.

4. Am efectuat cercetări experimentale privind evoluția nivelului de incluziuni în funcție de condițiile de elaborare / turnare a aliajelor de aluminiu. Am demonstrat în cadrul cercetărilor experimentale, că adăugarea celei de a doua cutii de filtru în fluxul de producție reduce semnificativ nivelul de incluziuni din produsul turnat. În prezent ALRO utilizează sistemul de dublă filtrare în elaborarea și turnarea aliajelor destinate industriilor aero și de apărare.

Luând în considerare activitatea desfășurată și rezultatele obținute, consider că scopul tezei de doctorat a fost îndeplinit.

Obiectivele principale ale tezei au fost reflectate în articole și lucrări prezentate la simpozioane și publicate în reviste de specialitate. Rezultatele cercetărilor au fost prezentate, discutate și aprobate la o serie de forumuri științifice de specialitate

5.3. Direcții viitoare de dezvoltare a cercetărilor din teza de doctorat

Ca urmare a interesului manifestat pe plan mondial referitor la îmbunătățirea eficienței degazării în procesul de turnare a aluminiului și aliajelor sale, și reducerea impactului nociv asupra mediului, în ultimele decenii s-au dezvoltat și testat soluții neconvenționale, soluții care să implice consumuri energetice reduse, impact pozitiv asupra mediului înconjurător (eliminarea utilizării clorului sau compușilor lui ca agenți de degazare) și să îmbunătățească randamentul degazării.

Degazarea cu ultrasunete [43] are la bază utilizarea undelor ultrasonice de frecvență și putere mare, pentru a trata cantități mari de material aflat în stare lichidă. Aceste unde de înaltă frecvență și putere mare sunt distribuite uniform, prin intermediul unui senzor, în suprafața sau în interiorul topiturii, aceasta vibrând și permițând crearea de unde staționare astfel încât întregul sistem să fie vibrat și agitat în totalitate, fapt care duce la eliminarea bulelor de gaz existente în topitură.

Sunt utilizate unde ultrasonice de intensitate mare, deoarece acestea au capacitatea de a induce vibrații capabile să genereze o presiune oscilantă în topitura de aluminiu. În acest fel, în regiunile cu presiune minima din topitura metalică, apar mici cavități în care sunt acumulate mici bule de gaz, bule care reprezintă centre de nucleație ce cresc în timp. Când dimensiunea lor atinge o anumită limită, aceste bule se desprind din cavități și sunt transportate, prin intermediul undelor ultrasonice, la suprafața topiturii.

Reușita utilizării conceptului la nivel industrial aduce după sine câteva aspecte menționate mai jos.

➤ **Avantaje:**

- Este un concept dezvoltat pentru tratarea volumelor/cantităților mari de metal lichid, efectul benefic fiind transmis în toată masa metalică;
- Se poate regla permanent, în timp real (în timpul turnării), funcție de rezultatele obținute la măsurătorile nivelului de H₂, astfel încât se poate asigura calitatea produsului, reducând astfel procentul de rebut și costurile.
- Îmbunătățește omogenitatea topiturii metalice și a afinatorului;
- Are rezultate excelente referitor la reducerea nivelului de H₂, cu acțiune secundară asupra incluziunilor umectabile de mici dimensiuni, care de obicei rămân în suspensie în topitură și se regăsesc deseori în produsul final după solidificare;
- Îmbunătățește structura internă a produsului final;
- Îmbunătățește calitatea suprafeței produselor;
- Nu conține piese care se mișcă/rotesc în sistemul de degazare – nu presupune rotoți din grafit, deci sistemul este robust și cu cheltuieli minime;
- Degazarea are loc rapid – bulele formate sunt mai mici decât cele formate în sistemul de degazare convențional;
- Se utilizează în condiții de debit foarte mic de argon și fără să fie nevoie de clor (decât dacă este necesară reducerea elementelor alcaline);

- Bulele de gaz sunt formate în interiorul înălțimii de metal topit, deci nu va apărea oxidare suplimentară la suprafața metalului, evitându-se astfel apariția incluziunilor de tip film de oxid sau bifilm;
- Cantitatea de zgură formată este minimă – suprafața metalului nu are turbulențe care să ducă la oxidare;
- Consumul de energie este mai mare, dar compensează cu economia rezultată din procesarea unei cantități mult mai mici de zgură, în cazul în care se aplică și la omogenizarea topiturii în cuptorul de elaborare.
- Beneficii mari referitor la mediul ambiant prin reducerea emisiilor de gaze și a cantității de zgură formată.

➤ **Dezavantaj**

Din ceea ce s-a evidențiat până în acest moment în cadrul testelor industriale, pentru a se obține rezultate bune, la nivel industrial, este necesară stabilirea și setarea parametrilor de lucru (frecvență) diferit, funcție de tipul de aliaj și de volumul de topitură supusă degazării US.

DISEMINAREA REZULTATELOR DIN TEZA DE DOCTORAT

Articole publicate

1.V. Șerban-Tănase, M. Ciurdaș, D. A. Necșulescu *Reducing the level of inclusions from the metallic aluminium melting, using a double filter system*, University Politehnica Of Bucharest Scientific Bulletin Series B-Chemistry And Materials Science, acceptată pentru publicare în luna mai 2023, va apare in Volume 85 Issue 3 Page Published 2023 , Indexed, Accession Number WOS:....., ISSN1454-2331, Journal Impact Factor TM (2022) 0,5

2.V. Șerban-Tănase, M. Ciurdaș, D. A. Necșulescu *The influence of the flux treatment on metallic bath concerning the level of inclusions in aluminum alloys*, University Politehnica Of Bucharest Scientific Bulletin Series B-Chemistry And Materials Science, acceptată pentru publicare în luna iunie 2023, va apare in Volume 85 Issue 3 Page Published 2023 , Indexed, Accession Number WOS:....., ISSN1454-2331, Journal Impact Factor TM (2022) 0,5

Activitate tehnico-științifică

1. Asigurare asistență tehnică în procesul de elaborare – turnare a aliajelor de aluminiu speciale în Secția Turnatorie a ALRO S.A. (decizie)
2. Lector curs de calificare în meseria “*Metalurgist neferoase*” cod NC 7211.2.4., nivel II de calificare (240 ore teorie + 480 ore practică), organizat de ALRO S.A. în perioada 13.11.2020 – 13.04.2021. (decizie)
3. Participant în grupul țintă ca bursier student doctorand finanțat prin proiectul „Pregătirea doctoranzilor și cercetătorilor poStdoctorat în vederea dobândirii de competențe de cercetare aplicativă - SMART”, finanțat prin POCU în baza Contractului nr. 13530/16.06.2022- cod SMIS: 153734 în perioada 10.08.2022 - 16.12.2023.
4. Prezentarea procesului tehnologic și a secțiilor de producție din ALRO S.A. în calitate de însoțitor de grupuri de vizitatori, cu ocazia organizării evenimentului “Ziua Porților Deschise ALRO” în perioada 29-30.06.2023

BIBLIOGRAFIE

- [1] Alexander James Gerrard, School of Metallurgy and Materials College of Engineering and Physical Sciences, University of Birmingham September 2014 *Inclusions and Hydrogen and Their Effects on the Quality of Direct Chill Cast and Flat Rolled Aluminium Alloys for Aerospace Applications*
- [2] Kammer, C. Aluminium-Verlag, 1999. ISBN 3870172614. *Aluminium Handbook Volume 1: Fundamentals and Materials*.
- [3] By D. G. Eskin, John Grandfield, Ian Bainbridge *Direct-Chill Casting of Light Alloys: Science and Technology*
- [4] S. Makarov, D. Apelian, R. Ludwig, *Inclusion removal and detection in molten aluminum: mechanical, electromagnetic, and acoustic techniques*. AFS Transactions, 1999. **107**.
- [5.] S. Makarov, R. Ludwig, D. Apelian, *Electromagnetic visualization technique for nonmetallic inclusions in a melt*. Meas. Sci. Technol., 1999. **10**: p. 1-8.
- [6.] Seniw, Mark E., James G. Conley and Morris E. Fine, *The effect of microscopic inclusion locations and silicon segregation on fatigue lifetimes of aluminum alloy A356 castings*. Materials Science and Engineering A, 2000. **285**(1-2): p. 43-48.
- [7] Bernd Friedrich/ RWTH AACHEN University - *Understanding of Inclusions - Characterization, Interactions and Boundaries of Removability with Special Focus on Aluminium melts*
- [8] F. Weinberg/ D. Apelian Philadelphia University Aluminum Casting Research Laboratory - *International Symposium on Solidification Processing, Processing microstructure relationships in advanced cast of aluminium alloys*
- [9] Behzad Mirzaei/ Norwegian University of Science and Technology Department of Materials Science and Engineering - *Oxide Hydrogen Interaction and Porosity Development in Al-Si Foundry Alloys*
- [10] Campbell, John, *Castings. 2nd ed. 2003: Butterworth Heinemann, Oxford, UK*.
- [11] Moldovan, P., et al., *Treatment of Molten Metals*, Edited by V.I.S PRINT, Bucharest, 2001
- [12] Stephen Instone, Andreas Buchholz, Gerd-Ulrich Gruen, Hydro Aluminium Deutschland GmbH - *Inclusion Transport Phenomena in Casting Furnaces*
- [13] C. Nyahumwa, N.R. Green, J. Campbell, *Effect of mold filling turbulence on fatigue properties of cast aluminum alloys*. AFS Transactions, 1998. 106: p. 215-224.
- [14] M. Rezvani, X. Yang, J. Campbell, *Effect of ingate design on strength and reliability of Al castings*. AFS Transactions, 1999. 107: p. 181-188
- [15] Shahin Akbarnejad, Mark William Kennedy, Robert Fritzsche, Ragnhild Elizabeth Aune *An investigation on permeability of ceramic foam filters (CFF)* Light Metals 2015: p.949-954
- [16] Mark Badowski, Mertol Gokelma, Johannes Morsheiser Thien Dang, Pierre Le Brun, Sebastian Tewes *Study of particle settling and sedimentation in a crucible furnace* Light Metals 2015: p.967-972
- [17] R. Fuoco, E.R. Correa, M. de A Bastos, L.S. Escudero, *Characterization of some types of oxide inclusions in aluminum alloy castings*. AFS Transactions, 1999. 107: p. 287- 294.
- [18] ASM Speciality Handbook – Aluminium and aluminium alloys

- [19] *The Liquid Metal - To provide an introduction to factors affecting the quality of molten aluminium- John Campbell and Richard A. Harding, University of Birmingham*
- [20] Ghadir Razaz Karlstads University, *Casting practices influencing inclusion distribution in Al-billets*
- [21] John Campbell Materials 2021, 14, 1297. <https://doi.org/10.3390/ma14051297> *A Personal View of Microstructure and Properties of Al Alloys*
- [22] V. Serban-Tanase, M. Ciurdas, D. A. Necșulescu *Reducing the level of inclusions from the metallic aluminium melting, using a double filter system*
- [23] Sarina Bao, Trondheim, October 2011 Norwegian University of Science and Technology *Filtration of Aluminium-Experiments, Wetting and Modelling*
- [24]. Besea, Liviu-Marian; Preda, Anda Elena; Constantin, Nicolae , *Creating an analysis model of thermal conductivity for al6061 alloy using artificial neural network, UNIVERSITY POLITEHNICA OF BUCHAREST SCIENTIFIC BULLETIN SERIES B-CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE Volume: 78 Issue: 4 Pages: 247-254 Published: 2016*
- [25]. H. Görner, T. A. Engh, M. Syvertsen, L. Zhang, in *Progress in Light Metals, Aerospace Materials and Superconductors: Proc: 2006 Beijing International Materials Week, June 25–30, 2006, Beijing, China, Vol. 2 (Eds: Y. Han, S. Long, X. Zhang, C. Peng), Trans Tech Publications Ltd. Uetikon-Zuerich, Switzerland 2007, p. 801.*
- [26]. S. Bao, M. Syvertsen, A. Nordmark, A. Kvithyld, T. A. Engh, M. Tangstad, in *Light Metals 2013: Proc of the Symposia Sponsored by the TMS Aluminum Committee at the TMS 2013 Annual Meeting & Exhibition (Ed: B. A. Sadler), John Wiley & Sons Inc. Hoboken, NJ 2013, p. 981*
- [27]. Canullo M., Labaton M.F.J., Laje R.A. *Cleanliness of primary A356 alloy: Interpretation and standardisation of PODFA laboratory measurements; Proceedings of the Aluminum Cast House Technology: 8th Australasian Conference TMS; Brisbane, Australia. 14–17 September 2003; pp. 341–355*
- [28] Steven Ray, Brian Milligan, Neil Keegan, Pyrotek SA, Ile Falcon, Birmingham, UK *Measurement of filtration performance, filtration theory and practical applications of ceramic foam filters*
- [29]. EUROPEAN PATENT SPECIFICATION - Multistage rigid media filter for molten metal - Proprietar: ALUMINUM COMPANY OF AMERICA Pittsburgh, PA 15219 (US)
- [30]. Claudia Voigt, Jana Hubáľková, Tilo Zienert, Beate Fankhänel, Michael Stelter, Alexandros Charitos, and Christos G. Aneziris, *Aluminum Melt Filtration with Carbon Bonded Alumina Filters, Materials (Basel). 2020 Sep; 13(18): 3962. Published online 2020 Sep 7. doi: 10.3390/ma13183962*
- [31]. Olson R.A., Martins L.C.B. *Cellular ceramics in metal filtration. Adv. Eng. Mater. 2005; 7:187–192. doi: 10.1002/adem.200500021*
- [32]. Emmel M., Aneziris C.G. *Development of novel carbon bonded filter compositions for steel melt filtration. Ceram. Int. 2012; 38:5165–5173. doi: 10.1016/j.ceramint.2012.03.022.*
- [33] Voigt C., Jäckel E., Taina F., Zienert T., Salomon A., Wolf G., Aneziris C.G., Le Brun P. *Filtration efficiency of functionalized ceramic foam filters for aluminum melt filtration. Met. Mater. Trans. B. 2017; 48:497–505. doi: 10.1007/s11663-016-0869-5.*

- [34]. Syvertsen M., Kvithyld A., Bao S., Nordmark A., Johansson A. Parallel laboratory and industrial scale aluminium filtration tests with Al₂O₃ and SiC based CFF filters. *Light Metals*. 2014:1041–1046. doi: 10.1002/9781118888438.ch173.
- [35]. Luchini B., Hubálková J., Wetzig T., Grabenhorst J., Fruhstorfer J., Pandolfelli V., Aneziris C. Carbon-bonded alumina foam filters produced by centrifugation: A route towards improved homogeneity. *Ceram. Int.* 2018; 44:13832–13840. doi: 10.1016/j.ceramint.2018.04.228.
- [36]. S. Bao, M. Syvertsen, A. Kvithyld, T. Engh, M. Tangstad, Plant scale investigation of liquid aluminum filtration by Al₂O₃ and SiC ceramic foam filters, *Light Metal* (2013), pp. 981-986
- [37]. S. Bao, K. Tang, A. Kvithyld, M. Tangstad, T.A. Engh, Wettability of aluminum on alumina, *Metall. Mater. Trans. B Process Metall. Mater. Process. Sci.*, 42B (2011), pp. 1358-1366
- [38] Carmen STANICĂ, Petru MOLDOVAN, ALUMINUM MELT CLEANLINESS PERFORMANCE EVALUATION USING PoDFA (POROUS DISK FILTRATION APPARATUS) TECHNOLOGY U.P.B. *Sci. Bull., Series B*, Vol. 71, Iss. 4, 2009 ISSN 1454-2331
- [39] The complete solution for inclusion measurement | PoDFA **ABB Analytical and Advanced Solutions**
- [40] AISCAN Brochure **ABB Analytical and Advanced Solutions**
- [41] V. ȘERBAN-TĂNASE, M. CIURDAȘ, A. NECȘULESCU *The influence of the flux treatment on metallic bath concerning the level of inclusions in aluminum alloys*
- [42] Premium rolling slabs for premium rolled products/ Electro Magnetic Casting-Pit Technology (EMC) at AMAG;
- [43] Degassing of Aluminum Alloys Using Ultrasonic Vibration, 2006/ Thomas T. Meek/ University of Tennessee; Qingyou Han/ Oak Ridge National Laboratory; Hanbing Xu/ University of Tennessee