

Effetto di NaCl, KCl e Na_3AlF_6 nel processo di refining delle leghe di alluminio

V. Milani, S. Capuzzi, G. Timelli

Per massimizzare l'efficienza nell'utilizzo dei flussi salini durante la fusione del rottame di alluminio è necessario un corretto bilanciamento dei sali impiegati. Questo studio indaga preliminarmente l'influenza di diverse concentrazioni di NaCl, KCl e Na_3AlF_6 sulle caratteristiche chimico-fisiche dei flussi utilizzati nel processo di refining delle leghe di alluminio. Sono state analizzate la temperatura di fusione e la viscosità del flusso salino, nonché la capacità di dissolvere l'ossido di alluminio, a diverse concentrazioni di NaCl, KCl e Na_3AlF_6 . Si è, inoltre, analizzato il tempo di dissoluzione del flusso salino in acqua dolce. I risultati hanno evidenziato come la temperatura di fusione dei sali diminuisca, mentre la viscosità aumenti al crescere del tenore di criolite nel flusso salino. La capacità di dissoluzione dell'ossido è favorita dall'aggiunta di Na_3AlF_6 , anche a basse concentrazioni e ridotti tempi di trattamento. La dissoluzione dell'ossido consente all'alluminio liquido intrappolato nel rottame di essere liberato venendo così inglobato nel bagno fuso e aumentando la resa del processo. Di contro, la dissoluzione del flusso salino in acqua è ridotta dall'aggiunta di criolite.

PAROLE CHIAVE: FLUSSO SALINO, REFINING, ALLUMINIO SECONDARIO, VISCOSITÀ, DISSOLUZIONE DELL'OSSIDO, SOSTENIBILITÀ

INTRODUZIONE

Le operazioni di riciclo costituiscono un aspetto fondamentale nell'industria globale dell'alluminio poiché offrono grandi vantaggi rispetto alla produzione di Al primario in termini di costi di produzione [1], consumi energetici [2] ed emissioni di gas serra [3]. Si riduce, inoltre, l'esaurimento di materie prime dal sottosuolo, e questo è un fattore chiave considerando come l'alluminio sia un materiale competitivo in diversi settori e il suo consumo e utilizzo sia ancora in aumento [4].

Le rifusioni del rottame tramite forni rotativi e a riverbero risultano le tecnologie maggiormente utilizzate nella produzione dell'alluminio secondario; queste tecniche risultano utili laddove nella carica sia presente un elevato contenuto di rottame non-metallico [5]. Tali forni consentono un'elevata produttività [6], mentre i forni a crogiolo ed elettrici sono più adatti a volumi produttivi inferiori e a un livello di qualità del rottame superiore [5,7].

La scelta di un adeguato design del forno non è sufficiente per fondere rottami di bassa qualità. Nella carica di rottame si rende necessaria l'aggiunta di composti

V. Milani, S. Capuzzi, G. Timelli

Università di Padova – DTG, Vicenza

chimici chiamati flussi salini, o più comunemente sali. Questi composti sono generalmente cloruri di sodio e potassio. Possono essere utilizzate diverse miscele di questi sali. Tuttavia, una miscela equimolare di NaCl-KCl consente un punto di fusione più basso perché si sviluppa una reazione eutettica a circa 665 °C [8]. Lo scopo del flusso è di proteggere il bagno dall'ossidazione perché il bagno di Al fuso forma rapidamente uno strato di ossido sulla superficie esposta ad un'atmosfera contenente ossigeno [9]; quindi, il flusso salino deve essere allo stato liquido durante la fusione del rottame. Inoltre, una diminuzione della temperatura di fusione significherebbe una riduzione dei consumi energetici e del tempo di trattamento del rottame.

Sebbene una miscela NaCl-KCl prevenga i fenomeni ossidativi, l'aggiunta di altri sali potrebbe aumentare il recupero di metallo. Il flusso raccoglie gli ossidi presenti nel rottame formando così una scoria dove vengono intrappolate gocce di Al metallico [10]. La capacità del sale di favorire la coalescenza di queste gocce diventa una caratteristica importante per determinare il recupero di alluminio. Una goccia di diametro maggiore, risultante dalla coalescenza di goccioline più piccole, aumenta la probabilità di passare dalla scoria nel metallo fuso. In primo luogo, il flusso salino deve rimuovere lo strato di ossido che ricopre le gocce di Al per consentire la coalescenza tra loro. Wang e Brochu [11] hanno dimostrato che il metallo all'interno dello strato di ossido tende ad assumere una forma sferica quando fonde. La differente espansione volumetrica tra il metallo fuso e l'ossido crea piccole crepe nello strato di ossido, ma ciò non è sufficiente per rilasciare l'alluminio liquido contenuto all'interno dell'ossido. Si è pensato che vari sali aggiunti alla miscela NaCl-KCl aumentino lo stripping dell'ossido e di conseguenza la coalescenza delle gocce. Tutti i risultati disponibili in letteratura concordano sul fatto che i fluoruri possono portare a questo specifico obiettivo [12-15]; in particolare, il fluoruro di sodio (NaF), il fluoruro di potassio (KF) e la criolite (Na_3AlF_6) offrono ottimi risultati secondo Roy e Sahai [16] e Friesen et al. [17].

Il modo in cui agiscono i fluoruri non è noto completamente e vengono proposti vari meccanismi. Peterson [18] ha considerato la solubilità dell'allumina nel sale fuso; Jordan et al. [19] e Storchai et al. [20] hanno

proposto un comportamento elettrochimico in base al quale l'alluminio agirebbe come un anodo, l'ossido fungerebbe da catodo e il flusso salino da elettrolita. La tensione all'interfaccia tra il metallo e il flusso salino viene spesso proposta come principale criticità. Ridurre al minimo tale tensione aumenta l'affinità tra il metallo e il sale, e facilita la rimozione dello strato di ossido [21]. Tenorio ed Espinosa [22] hanno suggerito che lo stripping dello strato di ossido di Al per mezzo del flusso salino avvenga secondo un meccanismo simile a un processo di corrosione a caldo.

Una volta che il metallo fuso viene rilasciato dallo strato di ossido, le gocce di Al devono poi potersi muovere per coalescere. La viscosità è la proprietà della scoria che controlla principalmente tali movimenti. Aumentandone la viscosità, il movimento delle gocce risulterebbe più difficoltoso. Sia il sale che l'ossido influiscono sulle proprietà finali della scoria. È stato dimostrato da Tenorio et al. [23] che l'aggiunta di NaF e KF diminuisce la viscosità della miscela equimolare di NaCl e KCl da $1.2 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (1.2 cP) a $0.4 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (0.4 cP). Un incremento della viscosità della scoria è stato osservato da Xiao et al. [24] durante l'aggiunta di componenti non-metalliche nel sale. La viscosità è maggiore di 1000 cP se il contenuto di componenti non-metalliche è superiore al 10%.

Infine, le scorie solide ottenute dal processo di recycling dell'alluminio sono un rifiuto pericoloso e prendono il nome di massi salini o "salt cakes". Due sono le possibilità di gestione dei massi salini: la separazione dei componenti presenti nelle scorie per un eventuale recupero, o lo stoccaggio in discariche speciali. A causa delle limitazioni legislative e in un'ottica di sostenibilità ed economia circolare, lo smaltimento dei massi salini sarà sempre più limitato o vietato nel prossimo futuro [25]. Il recupero dei massi salini prevede la separazione dei sali dalla massa non-metallica tramite la dissoluzione dei sali stessi in acqua. Perciò, la capacità dei flussi di dissolversi è un fattore chiave per ridurre il consumo di acqua e di tempo. In questo lavoro sono state studiate alcune proprietà chimico-fisiche di miscele formate da NaCl-KCl- Na_3AlF_6 . In particolare, sono state studiate la temperatura di fusione, la viscosità, la capacità di dissoluzione dell'ossido di Al e la tendenza alla lisciviazione nel tempo dei flussi salini. Sono stati, inoltre, considerati gli effetti della temperatura e del tempo di mantenimento sulla viscosità

e sulla dissoluzione dell'ossido.

PROCEDURA SPERIMENTALE

Le indagini sono state svolte su flussi salini composti da una miscela di NaCl-KCl-Na₃AlF₆ a diverse concentrazioni, come illustrato in Tabella 1. La concentrazione di Na₃AlF₆ è stata variata nel range 0÷20 %pond., mentre il rapporto

NaCl / KCl è rimasto costante. Sono state utilizzate diverse tecniche per studiare le principali proprietà chimico-fisiche del sale. Nel dettaglio, l'analisi termica è stata eseguita per indagare la cristallizzazione dei sali, mentre è stato scelto il metodo del body falling per misurarne la viscosità. È stata, inoltre, studiata la dissoluzione dell'allumina nei sali e di questi poi in acqua.

Tab.1 - Composizione chimica dei diversi flussi salini analizzati (%pond) /
Chemical composition of the salt fluxes investigated (wt.%)

	NaCl	KCl	Na ₃ AlF ₆
Flusso 1	95.00	5.00	-
Flusso 2	90.25	4.75	5
Flusso 3	85.50	4.50	10
Flusso 4	74.00	4.00	20

ANALISI TERMICA

L'analisi termica è stata eseguita per valutare le temperature di fusione dei diversi flussi salini. Il sale è stato fuso in un forno a muffola a 900 ± 3 °C e versato in una tazza cilindrica di acciaio, il cui diametro e altezza erano rispettivamente di 30 e 50 mm. Prima di colare il sale, la tazza è stata preriscaldata a 800 ± 3 °C per raggiungere una velocità di raffreddamento inferiore a 1 °C/s.

Durante la cristallizzazione del sale, sono state misurate le curve di raffreddamento tramite l'ausilio di una termocoppia di tipo K (Chromel-Alumel) posta al centro della tazza, e i dati sono stati raccolti utilizzando un sistema di acquisizione, con una frequenza di campionamento di 0.5 s⁻¹. Durante gli esperimenti, la termocoppia è stata protetta tramite un tubetto in acciaio AISI 304 in modo

da consentirne l'utilizzo in tutte le prove. La derivata prima è stata, quindi, calcolata per ciascuna coppia di valori di temperatura e tempo. L'analisi delle curve di raffreddamento e delle rispettive derivate hanno permesso di determinare le temperature di nucleazione (T_{nuc}), minima (T_{min}) e di crescita (T_G) per i diversi flussi salini. Sono state, inoltre, determinate la temperatura di nucleazione eutettica (T_{eut}) e la temperatura di solidus (T_{solidus}) dei diversi sali.

ANALISI DI VISCOSITÀ

I test di viscosità sono stati eseguiti mediante il metodo del body falling [26] basato sulla legge di Stokes. La viscosità di un fluido è correlata alla velocità di una sfera lasciata cadere all'interno del fluido stesso tramite l'equazione:

$$\eta = \frac{2 \cdot r_s^2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_f)}{9 \cdot v_s} \quad (1)$$

dove η è la viscosità, r_s e ρ_s sono rispettivamente il raggio e la densità della sfera, ρ_f è la densità del fluido, g è l'accelerazione di gravità e v_s è la velocità di caduta. Si è assunto che durante la prova agisca solamente la forza di gravità, mentre l'espansione termica del sale è stata considerata tramite l'ausilio dell'equazione [27]:

$$\eta = \frac{2 \cdot r_s^2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_f)}{9 \cdot (1 + 2.1 \frac{d_s}{D}) v_s} \quad (2)$$

dove d_s è il diametro della sfera e D è il diametro del tubo. Bacon [27] ha affermato che l'eq. (2) è valida solo quando il rapporto tra i diametri d_s/D è inferiore o uguale a 0.1.

In questo lavoro, sono state utilizzate sfere di nitruro di silicio con un diametro pari a 3 mm, mentre il flusso salino ha agito come fluido contenuto all'interno di un tubo al quarzo con diametro interno di 30 mm e posto all'interno di un forno a muffola. Le prove sono state eseguite a 790 ± 3 °C e 810 ± 3 °C. Il sistema è stato calibrato rispetto ai dati presenti in letteratura e riferiti al flusso salino 95NaCl–5KCl testato a 810 °C [28], ed è stato trovato un fattore di correzione pari a 0.102.

DISSOLUZIONE DELL'OSSIDO DI ALLUMINIO

Una sfera di allumina del diametro di 6 mm è stata posta

$$Dissoluzione(\%) = \frac{w_{is} - w_{fs}}{w_{is}} \% \quad (3)$$

dove w_{is} e w_{fs} sono il peso iniziale e finale della sfera di allumina. Ciascun esperimento è stato ripetuto almeno cinque volte utilizzando ogni volta una nuova sfera.

Dissoluzione del flusso salino

La dissoluzione del sale in acqua è stata studiata in funzione del tempo di permanenza in acqua a temperatura ambiente. Un crogiolo di porcellana riempito con 10 g di flusso salino è stato mantenuto all'interno di un forno a muffola impostato a 810 ± 3 °C per 10 minuti e quindi rimosso per raffreddare in aria calma. Il sale così cristallizzato è stato immerso in un contenitore contenente 0.9 dm³ di acqua distillata e ivi mantenuto per diversi tempi: 10, 30, 60 e 120

all'interno di un crogiolo ceramico insieme a 30 g di flusso salino variato in base alle condizioni sperimentali. Gli esperimenti sono stati eseguiti in un forno a muffola impostato a 810 ± 3 °C. Per ciascun sale sono stati considerati vari tempi di mantenimento, i.e. 10, 30, 40 e 60 minuti. La sfera di allumina è stata estratta dal sale, una volta cristallizzato, sciogliendo il sale stesso in acqua. Ciascuna sfera è stata pesata prima e dopo l'esperimento e la dissoluzione dell'ossido è stata stimata come riduzione di peso della sfera di allumina secondo:

minuti. Il materiale è stato quindi riscaldato a 100 ± 1 °C per rimuovere l'acqua in eccesso. La dissoluzione salina è stata valutata come variazione di peso prima e dopo trattamento in acqua.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Analisi termica

L'aggiunta di criolite influisce sulla cristallizzazione del flusso salino, come mostrato in Figura 1. Il tempo necessario per raffreddare il campione da 830 °C a 660 °C aumenta da 470 s per il Flusso 1 (95NaCl–5KCl) fino a 700 s se alla miscela viene aggiunto il 20% in peso di criolite (Flusso 4).

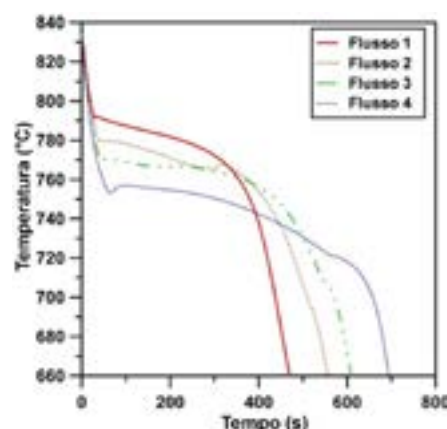


Fig.1 - Curve di raffreddamento dei diversi flussi salini analizzati / Cooling curves of the different salt fluxes analysed

La Tabella 2 riassume le temperature caratteristiche di cristallizzazione dei diversi sali. La temperatura di nucleazione della miscela 95NaCl-5KCl è in accordo con quanto presente in letteratura [29]. Le temperature caratteristiche del sistema ternario NaCl-KCl- Na_3AlF_6 differiscono marcatamente da quanto si può evincere

dall'analisi del diagramma di fase del sistema binario NaCl- Na_3AlF_6 [30].

La temperatura di liquidus è un fattore chiave dal punto di vista industriale; una riduzione di questa temperatura implica una riduzione dei consumi energetici e dei relativi costi.

Tab.2 - Temperature caratteristiche di cristallizzazione dei diversi flussi salini analizzati /
Chemical composition of the salt fluxes investigated (wt.%)

	T_{nuc}	T_{min}	T_{G}	T_{eut}	T_{solidus}
Flusso 1	795	792	793	-	728
Flusso 2	783	780	781	714	692
Flusso 3	772	769	770	716	694
Flusso 4	760	754	756	720	692

VISCOSITÀ

In letteratura, la determinazione della viscosità dei sali per alcuni sistemi binari è stata eseguita utilizzando codici di calcolo basati sulla dinamica molecolare [31]. Applicare tale metodo nei sistemi ternari è dispendioso a causa della complessità computazionale. Perciò, misurare sperimentalmente la viscosità dei flussi salini ternari risulta più conveniente.

Un esempio di prove di body falling eseguite a 810 °C

utilizzando i flussi 1 (95NaCl-5KCl) e 3 (85.5NaCl-4.5KCl-10 Na_3AlF_6) è illustrato in Figura 2. La velocità di caduta della sfera diminuisce quando si aggiunge criolite; di conseguenza, il tempo necessario per passare dal limite superiore al limite inferiore, aumenta da 0.34 s a 0.38 s. Una variazione di 0.01 s nel tempo di caduta all'interno delle condizioni sperimentali significa una variazione di viscosità pari a $0.176 \cdot 10^{-3}$ Pa·s (0.176 cP).

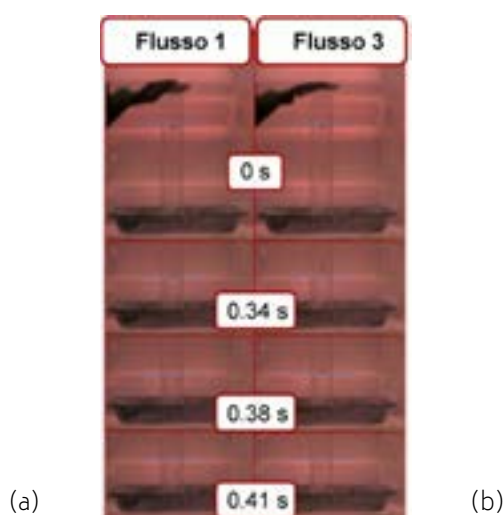


Fig.2 - Prove di viscosità tramite il metodo del body falling eseguite a 810 °C utilizzando i flussi salini (a) 1 e (b) 3 /
Viscosity tests by the body falling method performed at 810 °C using the fluxes (a) 1 and (b) 3.

La Figura 3 mostra la variazione della viscosità del flusso salino in funzione del contenuto di criolite a 790 °C e 810 °C, rispettivamente. Si può concludere che l'incremento del tenore di criolite nel sale fuso ne aumenti la viscosità che, al contrario, diminuisce all'aumentare della temperatura.

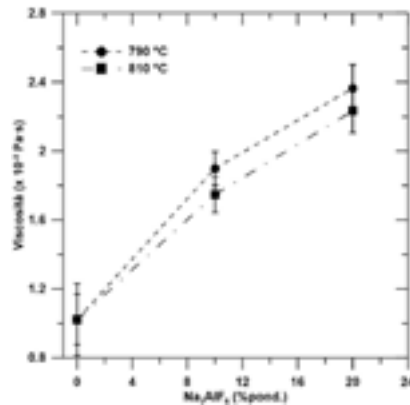


Fig.3 - Variazione della viscosità del sale fuso in funzione del tenore di criolite aggiunto alla miscela NaCl-KCl / Variation in the viscosity of the molten salt as function of the percentage of cryolite added to the mixture of NaCl-KCl

La viscosità del sistema ternario NaCl-KCl-Na₃AlF₆ è stata poco approfondita in letteratura. Al contrario, l'effetto della criolite sulla viscosità del sale NaCl è stato ampiamente studiato e sono stati trovati andamenti simili a quelle presentati in questo lavoro. Janz e Tomkins [32] hanno studiato la viscosità a 1000 °C del sistema NaCl-Na₃AlF₆ con un tenore di criolite nel range 6÷71%pond. La viscosità del flusso salino aumenta progressivamente al crescere del tenore di criolite da valori di $0.74 \cdot 10^{-3}$ Pa·s (0.74 cP) a $2.12 \cdot 10^{-3}$ Pa·s (2.12 cP). La stessa tipologia di sale binario è stata studiata da Votava e Matiasovsky [33] usando un pendolo di torsione nell'intervallo di temperatura compreso tra 850 °C e 1050 °C. In questo intervallo termico, la viscosità aumentava al crescere della concentrazione di criolite.

Roy et al. [34] hanno eseguito degli esperimenti sulla densità e viscosità di una miscela equimolare di NaCl-KCl con aggiunte di criolite comprese tra 0 e 2%. Sia la densità che la viscosità aumentavano al crescere del tenore di crioli-

te. Dai risultati sperimentali di questo lavoro, l'aggiunta di criolite produce, nel peggiore dei casi, un aumento della viscosità di $1.5 \cdot 10^{-3}$ Pa·s (1.5 cP) rispetto alla miscela 95-NaCl-5KCl.

Secondo Xiao et al. [24], con un tenore di componenti non-metalliche inferiore al 10% in peso, si raggiunge un incremento della viscosità dieci volte superiore. Perciò l'effetto negativo della criolite sulla viscosità è mascherato da un contributo più significativo fornito dalla componente non-metallica, sempre presente nei flussi salini durante la rifusione del rottame.

La Figura 4 mostra il tempo calcolato di caduta di una goccia di alluminio attraverso i flussi salini analizzati in funzione del raggio della goccia stessa. Il tempo è stato calcolato utilizzando l'eq. (1) e considerando un'altezza di caduta di 100 mm alle due diverse temperature. Si nota una differenza significativa solo con raggi della goccia inferiori a 2 mm anche se il tempo di caduta è, in entrambi i casi, inferiore a 3 secondi.

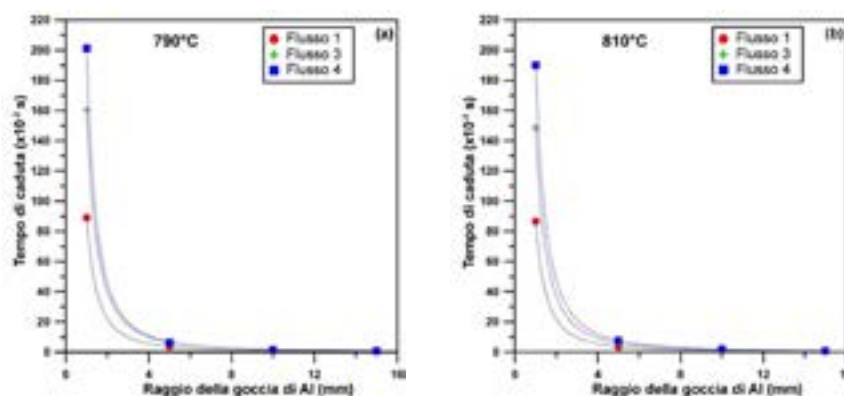


Fig.4 - Evoluzione del tempo di caduta attraverso il sale fuso di una goccia di Al, lasciata cadere da un'altezza di 100 mm, in funzione del raggio e della temperatura di (a) 790 °C e (b) 810 °C / Evolution of the time needed by an Al drop to fall for 10 cm in the tested salts as function on its radius at (a) 790 °C and (b) 810 °C

Dissoluzione dell'ossido di alluminio

La Figura 5 mostra la curva di dissoluzione dell'ossido di alluminio al variare dei flussi salini analizzati. Nell'intervallo temporale studiato, non è stato rilevato alcun effetto di dissoluzione dell'ossido da parte del sale 95NaCl-5KCl, mentre, incrementando progressivamente la concentrazione di criolite, la dissoluzione dell'allumina aumenta ad ogni intervallo temporale analizzato. L'effetto di dissoluzione appare maggiormente evidente nei primi 30 minuti di mantenimento all'interno dei sali, mentre l'andamento sembra stabilizzarsi negli ultimi 30 minuti.

Gli andamenti ottenuti in questo lavoro sono in accordo con quanto trovato nello studio di Tenorio et al. [23] dove è stata studiata la dissoluzione dell'allumina in funzione delle aggiunte di fluoruri, quali NaF, CaF₂ e KF. I fluoruri sono qui citati in ordine di efficacia. La leggera differenza in termini assoluti dei valori ottenuti da Tenorio et al. [23] rispetto a quelli presentati in questo studio è da attribuirsi alle diverse tecniche utilizzate. Rimane, comunque, evidente come la dissoluzione dell'allumina aumenti per aggiunte progressive dei fluoruri analizzati.

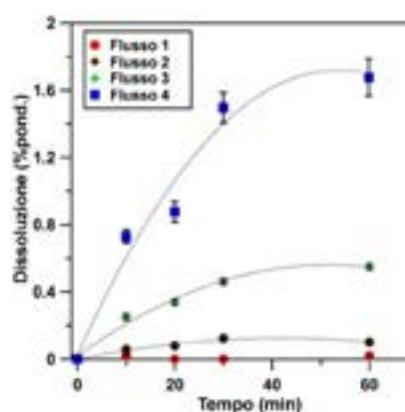


Fig.5 - Frazione di ossido di alluminio dissolta nel sale fuso in funzione del tempo di mantenimento e del flusso salino utilizzato / Fraction of Al oxide dissolved in the molten salt as a function of the holding time and flux.

Dissoluzione del flusso salino

La Figura 6 mostra la dissoluzione dei diversi sali analizzati in acqua. L'efficienza della lisciviazione dell'acqua si riduce aumentando progressivamente il contenuto di criolite nel flusso salino. Più del 90% del campione di 95NaCl-5KCl è stato dissolto in acqua dopo due ore di trattamento; men-

tre la massa del campione si è ridotta a meno del 20% quando la concentrazione di criolite è del 20%. Questi risultati sono correlabili alla diversa solubilità in acqua dei sali; ad esempio, la solubilità di NaCl e Na₃AlF₆ è rispettivamente 358 g/l e 0.4 g/l.

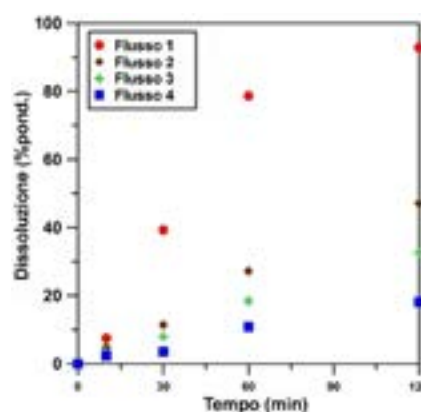


Fig.6 - Frazione di sale dissolta in acqua in funzione del tempo di mantenimento e della tipologia di sale utilizzato / Fraction of flux dissolved in water as a function of the holding time and the flux type

CONCLUSIONI

In questo lavoro sono state studiate alcune proprietà chimico-fisiche di miscele saline formate da NaCl-KCl-Na₃AlF₆. Da questo lavoro, si possono trarre le seguenti conclusioni:

- L'incremento progressivo di criolite nel sistema salino NaCl-KCl-Na₃AlF₆ provoca una diminuzione della temperatura di fusione e un cambiamento significativo della cristallizzazione del sale.
- L'aggiunta di criolite produce un incremento della viscosità del sale fuso, mentre aumentando la temperatura la viscosità diminuisce.
- Un flusso salino di 95NaCl-5KCl non è in grado di dissolvere l'ossido di alluminio nei range temporali studiati in questo lavoro; al contrario, l'aggiunta di criolite facilita la disgregazione dell'ossido.
- La velocità di dissoluzione dell'ossido di alluminio è maggiore nelle fasi iniziali di trattamento, mentre si riduce con il tempo.
- La dissoluzione del flusso salino in acqua è ridotta dall'aggiunta di criolite.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Logoza K, Radonjic G, Bastic M. *Resour Conserv Recycl.* 2006;49:49-67.
- [2] Blomberg J, Söderholm P. *Resour Conserv Recycl.* 2009;53:455-463.
- [3] Sevigné-Itoiza E, Gasola C.M, Rieradevalla J, Gabarrella X. *J Clean Prod.* 2015;105:253-262.
- [4] Capuzzi S, Timelli G. *Metals*, 2018;8:249
- [5] Capuzzi S, Timelli G, Capra L, Romano L. *Int J Sust Eng.* 2019;12:38-46
- [6] Newman P. *Mater Sci Forum.* 2010;630:103-110.
- [7] Whiteley B.E.P. *Mater Sci Forum.* 2011;693:73-79.
- [8] Crepeau P.N, Fenyés M.L, Jeanneret L.J. *Mod Cast.* 1992;82:28-30.
- [9] Wang Y, Li Hu-Tian, Fan Z. *Trans Indian Inst Met.* 2012;65:653-661.
- [10] Tsakiridis P.E. *J Hazard Mater.* 2012;217-218:1-10.
- [11] Wang Z, Brochu L. *Alcan* 1993.
- [12] Besson S, Pichat A, Xolin E, Chartrand P, Friedrich B. In *European Metallurgical Conference 2011.* (Dusseldorf, 2011), 1-16.
- [13] Van Linden J.H.L, Stewart D.L. In *Light Metals 1988*, Ed. Paul G. Campell Tms: The Minerals, Metals & Materials Society. 1988;173-181.
- [14] Capuzzi S, Kvithyld A, Timelli G, Nordmark A, Gumbmann E, Engh T.A. *J Sust Metal.* 2018;4:343-358
- [15] Kim Ye-Si, Yoon Eui-Pak, Kim Ki-Tae, Jung Woon-Jae, Jo Duk-Ho. *J Korea Foundry Soc.* 2000;20:39-45.
- [16] Roy R.R, Sahai Y. *Mater Trans.* 1997;38:995-1003.
- [17] Friesen K.J, Utigard T.A, Dupuis C, Martin L.P. In *Lights Metals 1997*, Ed. Reidar Huglen Tms: The Minerals, Metals & Materials Society. 1997.
- [18] Peterson R.D. In *Second International Symposium-Recycling Of Metals And Engineered Materials*, Ed. Jan H.L. Van Linden, Donald L. Stewart Jr And Sahai Yogeshwar Tms: The Minerals, Metals & Materials Society. 1990;69-84.
- [19] Jordan M.F, Milner D.R. *J Inst Metals.* 1956;85:33-40.
- [20] Storchai E.I, Baranov N.S. *Chem Petrol Eng.* 1976;12:252-255.
- [21] Ye J, Sahai Y. *Mater Trans.* 1996;37:1479-1485.
- [22] Tenorio J.A.S, Espinosa D.C.R. *J Light Met.* 2002;2:89-93.
- [23] Tenorio J.A.S, Espinosa D.C.R, Carboni M.C. *J Light Met.* 2001;1:195-198.
- [24] Xiao Y, Reuter M.A, Boin U. *J Environ Sci Heal A.* 2005;40:1861-1875.
- [25] Gil A, Korili S.A. In *Environmental Management*, Ed. Santosh Sarkar Intech: Rijeka, Croatia, 2010.
- [26] Leblanc G.E, Secco R.A, Kostic M. In *The Measurement, Instrumentation, And Sensors: Handbook*, Ed. John G. Webster Springer Science & Business Media. 1999;30:1-23.
- [27] Bacon L.R. *J Frank Inst.* 1936;221:251-273.
- [28] Janz G.J, Tomkins R.P.T, Allen C.B, Downey J.R. Jr, Gardner J.L, Krebs U, Singer S.K. *J Phys Chem Ref Data.* 1975;4:871-1178.
- [29] Coleman D.S, Lacy P.D.A. *Mat Res Bull.* 1967;2:935-938.
- [30] Madhavan T.P, Matiasovsky K, Danek V. *Chemické Zvesti.* 1970;25.
- [31] Ciccotti G, Jacucci G, Mcdonald I.R. *Phys Rev A.* 1976;13.
- [32] Janz G.J, Tomkins R.P.T. *J Phys Chem Ref Data.* 1983;12:591-813.
- [33] Votava I, Matiasovsky K. *Chem Pap.* 1973;27:582-587.
- [34] Roy R.R, Ye J, Sahai Y. *Mater Trans.* 1997;38:566-570.

Effect of NaCl, KCl e Na_3AlF_6 on the refining process of aluminium alloys

To maximize the efficiency of the fluxes during the refining of the aluminium alloy scrap, a proper balance of the salts is required. This study preliminarily investigates the influence of different concentrations of NaCl, KCl and Na_3AlF_6 on the chemical and physical properties of the fluxes used during the refining process of the aluminium alloys. The melting temperature and the viscosity of the flux at different concentrations of NaCl, KCl and Na_3AlF_6 were analysed, as well as the ability to dissolve the aluminium oxide. Furthermore, the dissolution of the flux in water was investigated. The results showed how the melting temperature of the flux decreases, while the viscosity increases as the cryolite content increases. The attitude of dissolving the Al oxide is favoured by the addition of Na_3AlF_6 , even at low concentrations and reduced time of treatment. The dissolution of the oxide allows the liquid aluminium entrapped in the scrap to be released and to return into the molten bath, thus increasing the yield of the refining process. On the contrary, the dissolution of the flux in water is reduced after the addition of cryolite.

KEYWORDS: FLUX, REFINING, SECONDARY ALUMINIUM, VISCOSITY, OXIDE DISSOLUTION, SUSTAINABILITY

[TORNA ALL'INDICE >](#)