

EFFETTO DEL TRATTAMENTO AD ULTRASUONI DI LEGHE ALLO STATO LIQUIDO SULLA RESISTENZA A CORROSIONE

M. Gelfi, A. Pola, A. Arrighini, R. Roberti

L'introduzione nel bagno di vibrazioni indotte da ultrasuoni di potenza permette di attuare sia il degasaggio sia l'affinazione della lega in un unico step e senza l'uso di nucleanti, con una conseguente riduzione dei costi di produzione ed una discreta semplificazione del processo produttivo. In aggiunta, recenti studi hanno dimostrato l'applicabilità di questa tecnologia per l'ottenimento di leghe allo stato semi-solido, ovvero di leghe che presentano una struttura costituita da globuli di fase primaria immersa in una matrice di eutettico. Lo scopo del presente lavoro è di valutare l'effetto del trattamento ad ultrasuoni sulla resistenza a corrosione di leghe da fonderia, quali leghe di alluminio della famiglia Al-Si e leghe di zinco della famiglia Zn-Al. Le varie leghe sono state trattate ad ultrasuoni allo stato liquido e di seguito colate in uno stampo da laboratorio. La resistenza a corrosione dei campioni così ottenuti è stata valutata mediante prove potenziostatiche e potenziodinamiche in cloruro di sodio 0,5M, svolte in parallelo a prove in nebbia salina acetica e misure della perdita di massa. I risultati ottenuti sono stati poi confrontati con quelli di analoghi provini non sonicati. Osservazioni al microscopio ottico (OM) e al microscopio elettronico a scansione (SEM) hanno permesso di documentare i meccanismi di corrosione attivi sulla superficie dei campioni. E' stato così possibile correlare i risultati delle prove di corrosione alla differente morfologia della microstruttura e delle seconde fasi presenti nei campioni.

PAROLE CHIAVE: alluminio e leghe, met. non ferrosi, corrosione, fonderia, microscopia elettronica

INTRODUZIONE

Una microstruttura omogenea e a grano fine in pezzi ottenuti per fonderia comporta un incremento delle proprietà meccaniche del getto [1]. Come noto, la dimensione del grano è inversamente proporzionale al numero di nuclei presenti nel metallo liquido durante la solidificazione; in particolare, maggiore è il numero di nuclei attivi, maggiore è il numero di grani, i.e. minore è la loro dimensione [2-3]. Per aumentare il numero di nuclei presenti nel bagno, al fine di incrementare le prestazioni del getto, si possono sfruttare metodologie di affinamento del grano quali la tempra di affinazione o l'aggiunta di inoculanti [4]. La prima tipologia di intervento prevede un repentino raffreddamento (ampiamente al di sotto della temperatura di liquidus) con conseguente riduzione dello spazio fra le

ramificazioni dendritiche, che comporta un marcato aumento delle proprietà meccaniche del pezzo. Tale metodo è tuttavia scarsamente utilizzato poiché si adatta solo al trattamento di getti con spessori sottili, al fine di garantire una rapida ed uniforme solidificazione, e induce sempre tensioni residue, conseguenti il brusco raffreddamento.

La tecnica più utilizzata è invece l'affinamento chimico tramite l'aggiunta di particelle già solide, dette inoculanti (quali per esempio il TiB₂ per le leghe di alluminio), che fungono da nuclei attivi nel metallo liquido; in questo secondo caso, le ridotte dimensioni dei grani sono garantite da un elevato numero di nuclei eterogenei appositamente introdotti nel bagno.

L'utilizzo di elementi affinanti comporta tuttavia onerose spese aggiuntive, che, nel caso di leghe di alluminio, vanno sommate ai costi di pre-trattamento necessario per l'eliminazione dell'idrogeno in soluzione nella lega liquida, la cui presenza determina porosità nel pezzo finito. Tipicamente l'idrogeno è rimosso attraverso il degasaggio, trattamento che consiste nell'insufflare nel metallo liquido bolle di gas inerte, quale Ar o N, nelle quali gli atomi di idrogeno tendono a diffondere e quindi ad allontanarsi per flottazio-

Marcello Gelfi, Annalisa Pola,
Alberto Arrighini, Roberto Roberti
Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale,
Università degli Studi di Brescia

ne verso la superficie del bagno [4]. Tale tecnologia, ormai consolidata, richiede la predisposizione e la gestione, tecnica ed economica, di bombole per il gas inerte, che comportano un incremento nel costo di produzione.

Una potenziale alternativa a tali metodologie è rappresentata dall'impiego di ultrasuoni (US) di potenza applicati al bagno metallico, che sembrano garantire contemporaneamente sia nucleazione sia degasaggio della lega [5].

L'introduzione nel bagno di vibrazioni indotte da ultrasuoni determina flussi acustici e cavitativi. La cavitazione comporta la formazione, crescita e successivo collasso di piccole bolle, con conseguente generazione di onde d'urto idrauliche che frammentano i cristalli primari in fase di accrescimento, producendo così nuovi nuclei di solidificazione, mentre i flussi acustici determinano un vigoroso mescolamento e quindi un'omogeneizzazione del bagno [6].

Le leghe liquide contengono sempre inclusioni non-metalliche fini e disperse nel bagno che, in genere, non sono bagnabili dalla lega fusa e quindi non partecipano al processo di solidificazione. Il trattamento ad ultrasuoni (UST - Ultra Sound Treatment) del bagno crea condizioni tali da aumentare la bagnabilità delle suddette inclusioni, rendendole nuclei attivi per la solidificazione, senza bisogno dell'aggiunta d'inoculanti.

Inoltre, l'applicazione degli ultrasuoni comporta la rapida nucleazione e diffusione di bolle di gas che alternativamente si espandono e comprimono per effetto del campo di pressioni imposto [7]. La quantità di gas che entra nella bolla durante l'espansione è maggiore di quella che fuoriesce in fase di compressione e pertanto, a seguito di più cicli, la bolla risulta fortemente ingrossata. Le bolle di grossa dimensione possono quindi facilmente flottare verso la superficie a seguito di forze idrodinamiche, allontanando l'idrogeno dal bagno [8-9].

In aggiunta agli effetti su degasaggio ed affinazione, gli ultrasuoni di potenza potrebbero trovare un vasto impiego anche nella pressocolata in semisolido, tecnologia con la quale la lega è iniettata nello stampo in uno stato di parziale solidificazione, con conseguenti vantaggi in termini sia di qualità del componente ottenuto [10] sia di vita utile delle attrezzature.

Alcuni studi sono già stati condotti dagli autori per valutare gli effetti del UST, applicato a leghe di alluminio e di zinco [11], sul degasaggio e sull'affinamento del grano; parallelamente è stato studiato anche l'effetto indotto dagli ultrasuoni sulla microstruttura di leghe per applicazioni in semisolido [12].

Obiettivo del presente lavoro è quello di completare la caratterizzazione delle leghe trattate ad ultrasuoni per valutare se le variazioni microstrutturali indotte hanno un effetto sulla resistenza alla corrosione. E' infatti noto che il comportamento a corrosione di una lega da fonderia è influenzato principalmente dalle dimensioni e dalla morfologia della microstruttura, dalla natura anodica o catodica di tutte le fasi presenti e da come si ridistribuisce il soluto al suo interno [13-14].

PROCEDURE SPERIMENTALI

Le leghe oggetto d'indagine sono una lega d'alluminio e una lega di zinco da fonderia, in particolare:

- AlSi5, base di una lega "sperimentale" [15], adatta anche per applicazioni in semisolido, che nell'ambito del presente lavoro è stata depurata dagli elementi indurenti per va-

	AlSi5	ZA27
Al	resto	26.5
Si	4.52	\
Fe	0.17	\
Cu	0.001	2.6
Mn	0.006	\
Mg	0.001	0.02
Cr	0.002	\
Ti	0.009	\
Zn	0.001	resto
altri	< 0.02	<0.08

▲
Tab. 1

Composizione chimica percentuale delle leghe studiate.

Chemical composition (wt%) of the investigated alloys .

lutare il solo effetto degli ultrasuoni sull'affinamento del grano, sul silicio eutettico e su eventuali intermetallici;

- ZA27, tipicamente utilizzata nella colata in gravità.

Per ciascun esperimento è stata prodotta in laboratorio circa 1 kg di lega (partendo dagli elementi puri), mantenuta in un crogiolo refrattario ad una temperatura di circa 30-40°C sopra la temperatura di liquidus, quindi trattata ad ultrasuoni ed infine colata in gravità in uno stampo per la produzione di piccoli dischi ($\Phi=40$ mm, H=15 mm).

A causa della natura sperimentale della ricerca, non sono attualmente disponibili in commercio attrezzature di serie che rispondono alle esigenze di utilizzo degli ultrasuoni per il trattamento di leghe fuse. I pochi esperimenti di UST di leghe allo stato liquido effettuati in passato sono stati condotti con strumentazioni costruite "indoor" dai ricercatori. Per tale ragione è stato necessario mettere a punto un sistema per la trasmissione degli ultrasuoni di potenza al bagno metallico, che è risultato composto da due parti principali:

- un generatore di potenza, in grado di produrre onde ultrasonore a bassa frequenza (25kHz) ad una potenza di 0.3 kW;

- un trasduttore magnetostriativo, costituito da un cristallo piezoelettrico.

Le onde sono trasmesse al bagno metallico mediante una punta (detta sonotrodo o sonicator) di forma appropriata, al fine di trasmettere correttamente al bagno le onde, e di un materiale tale da garantire la propagazione degli ultrasuoni (in funzione della sua densità e delle sue proprietà elastiche) e di resistere all'attacco chimico ad alta temperatura da parte del metallo fuso, quale l'acciaio austenitico tipo 214 N.

I campioni così prodotti sono stati sottoposti a prove di nebbia salina acetica (ASS) per 72 ore, in una soluzione contenente 5% di cloruro di sodio, alla temperatura di $35\pm 2^\circ\text{C}$ e con pH compreso tra 3,1 e 3,3, in accordo con la normativa ASTM B117.

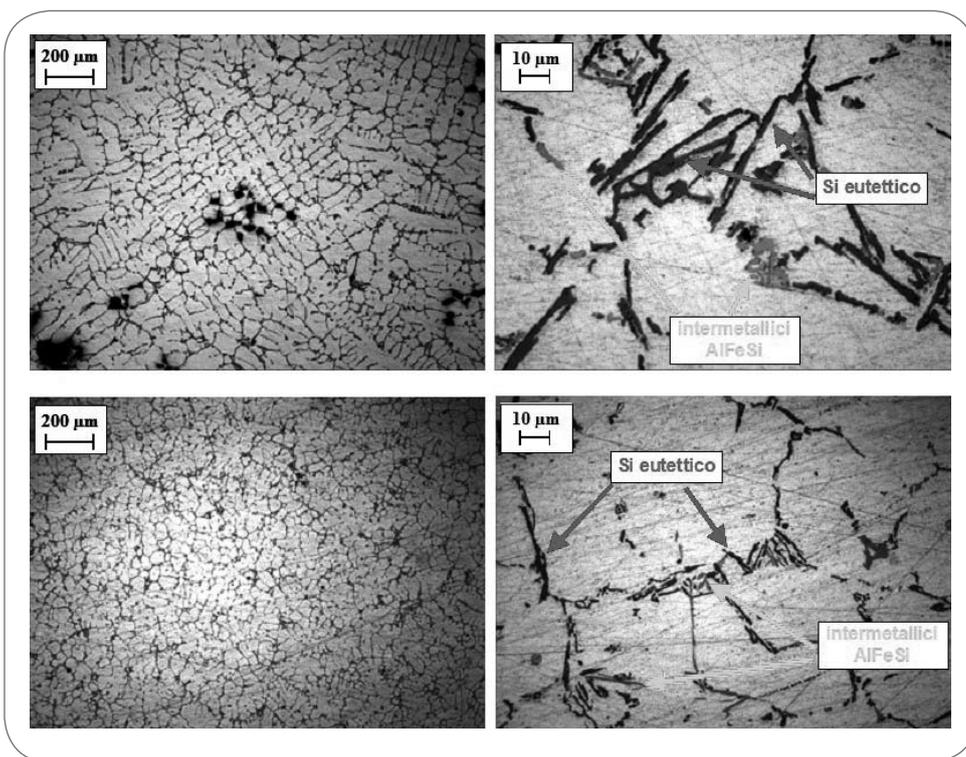


Fig. 1 *Microstruttura a basso ed alto ingrandimento della lega AISi5 NS (in alto) e S (in basso).*
Optical images at low and high magnification of AISi5 alloy NS (up) and S (down).

Per meglio valutare la resistenza alla corrosione sono state effettuate anche prove elettrochimiche di polarizzazione. A tale scopo si sono ricavati dei campioni a sezione quadrata con lato di circa 1 cm, che sono stati levigati con carte abrasive in SiC fino a 2500-grit e successivamente lappati con panno diamantato da 1 micron. I campioni sono stati lasciati per 24 ore in un essiccatore prima di essere testati con un potenziostato AMEL 7050 nella configurazione standard a tre elettrodi: controelettrodo in platino (CE), elettrodo di riferimento al calomelano (SCE) ed elettrodo di lavoro (WE). Le misure di polarizzazione sono state eseguite dopo almeno 30 minuti di immersione nella soluzione di prova composta da 0,5 M cloruro di sodio a temperatura ambiente. La scansione del potenziale è stata eseguita in un range di ± 200 mV rispetto al potenziale a circuito aperto (OCV), partendo con polarizzazione catodica ad una velocità di 0,16 mV/secondo. Per ogni tipologia di campione sono state effettuate un numero minimo di tre prove.

Le analisi metallografiche sono state eseguite mediante un microscopio ottico, equipaggiato con software QWin per l'analisi d'immagine, e con un microscopio elettronico a scansione (SEM), modello LEO EVO 40, dotato di micro-sonda a

dispersione di energia (EDS) per la determinazione semi-quantitativa della composizione chimica delle leghe e delle fasi intermetalliche.

L'analisi chimica accurata delle leghe è stata ottenuta mediante analisi al quantometro.

Infine, considerate le dimensioni dei campioni prodotti, che non consentono il prelievo di provini di trazione, sono state condotte prove di microdurezza Vickers con carico di 300g al fine di stimare le proprietà meccaniche delle leghe indagate.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Composizione chimica delle leghe

In Tab. 1 sono riportate le composizioni delle leghe considerate nel presente lavoro, ricavate con il quantometro.

Lega AISi5

Il trattamento con ultrasuoni ha effettivamente prodotto dei benefici alla microstruttura della lega AISi5 in termini di affinamento e di globularizzazione dei grani, come ben evidenziato nelle micrografie riportate in Fig. 1. Mentre nella lega tal quale (NS) si osserva una

microstruttura dendritica, in quella sonicata (S) le dendriti scompaiono, lasciando il posto ad una microstruttura globulare molto più fine. Un miglioramento si è avuto anche per quanto riguarda le porosità che risultano notevolmente inferiori nel campione trattato.

Resta invece invariata la natura chimica delle fasi interdendritiche, che in entrambi i casi appaiono costituite da silicio eutettico e da particelle intermetalliche (Al Fe Si), con morfologia sia aghiforme sia ad ideogramma cinese.

Per valutare l'affinamento della microstruttura conseguente al trattamento con ultrasuoni, non potendo misurare lo

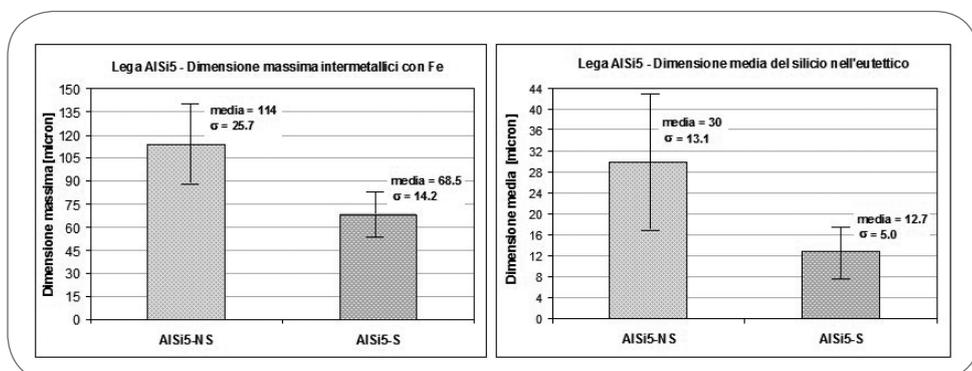
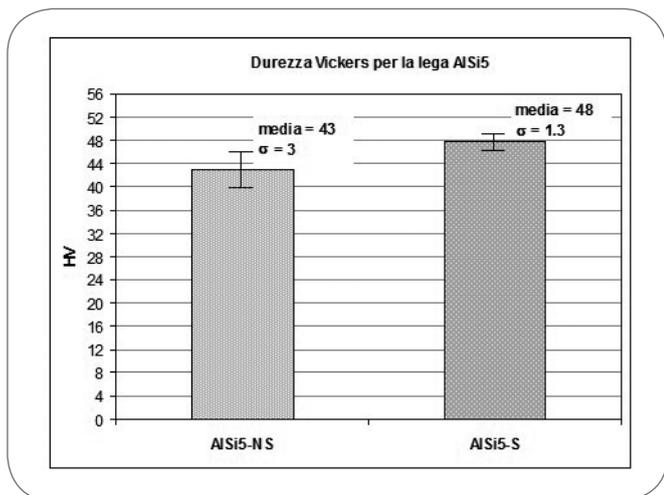
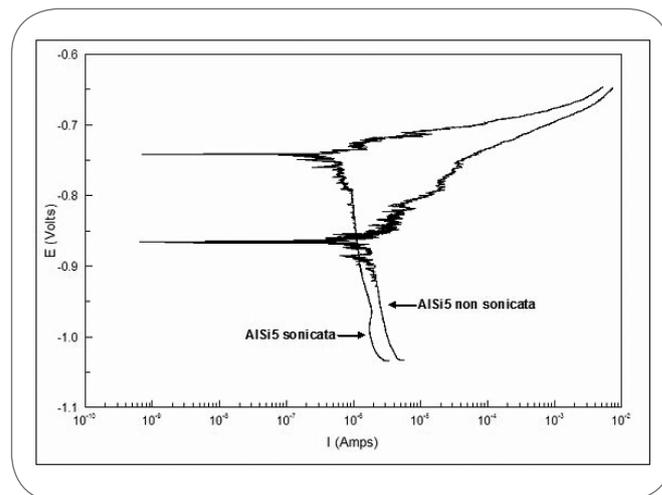


Fig. 2 *Confronto tra le dimensioni delle particelle interdendritiche nella lega AISi5 NS e S.*
Comparison of interdendritic particles size in AISi5 alloy NS and S.



▲
Fig. 3

Risultati delle prove di microdurezza Vickers per la lega AISi5 NS e S.
Vickers micro-hardness results for AISi5 alloy NS and S.

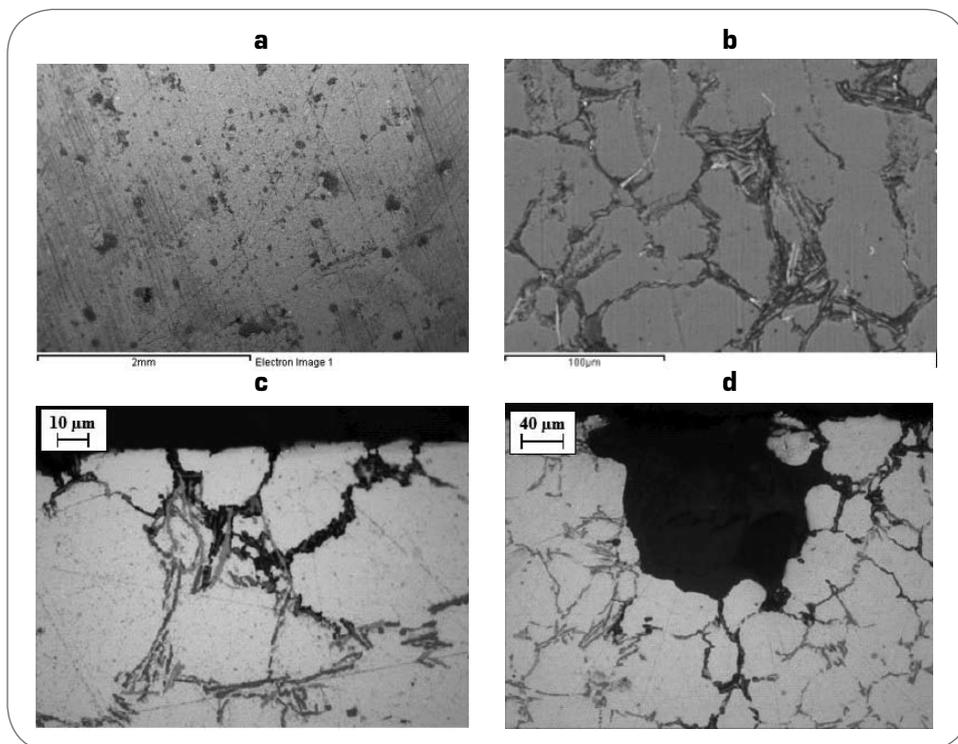


▲
Fig. 4

Esempi di curve di polarizzazione per la lega AISi5 NS e S.
Examples of polarization curves for AISi5 alloy NS and S.

SDAS (Secondary Dendrite Arm Spacing) nel caso della lega sonicata, si è effettuata la misura delle particelle interdendritiche, che risulta comunque correlata ad esso [16]. Le misure hanno riguardato la dimensioni media delle particelle di silicio e la dimensione massima degli intermetallici contenenti ferro, mediata su 10 aree differenti, rilevate con un ingrandimento 1000X. I risultati di tali misure sono

riportati in Fig. 2. L'affinamento ha riguardato soprattutto le particelle di silicio eutettico, che risultano quasi tre volte più piccole nel campione sonicato rispetto a quello non trattato. Si osserva inoltre che nel caso della lega S si è notevolmente ridotta la dispersione dei dati, indice del fatto che il trattamento ad ultrasuoni ha reso più omogenea e uniforme la microstruttura del getto.



▲
Fig. 5

Immagini al microscopio elettronico della superficie del campione S testato in nebbia salina (A-B) e immagini al microscopio ottico della sezione (C-D).
Secondary SEM images of sample S surface after salt spray test (A-B) and optical images of metallographic sections (C-D).

Una struttura più fine si è tradotta in un miglioramento della microdurezza Vickers, come riportato in Fig. 3, dove si osserva un incremento di circa il 10% nel caso della lega S. La deviazione standard dei dati risulta nuovamente inferiore nel caso della lega trattata confermando la migliore omogeneità della lega.

Recenti lavori [13, 17] hanno dimostrato che una microstruttura più fine renderebbe i getti in lega Al-Si maggiormente suscettibili ai fenomeni corrosivi. Ciò è stato imputato all'effetto catodico indotto dal silicio e dai composti intermetallici rispetto alla matrice di alluminio, che porta a localizzare la corrosione in corrispondenza dell'eutettico. Una struttura affinata, presentando un maggior numero di interfacce particella/alluminio, possiede dunque un più alto numero di siti preferenziali di corrosione, con un conseguente peggioramento del suo comportamento in presenza di ambienti aggressivi.

Nel caso in questione, tuttavia, i risultati delle prove di corrosione elettrochimica, riportati in Fig. 4, mostrano che la lega sonicata ha una resistenza alla corrosione superiore a quella della lega non tratta-

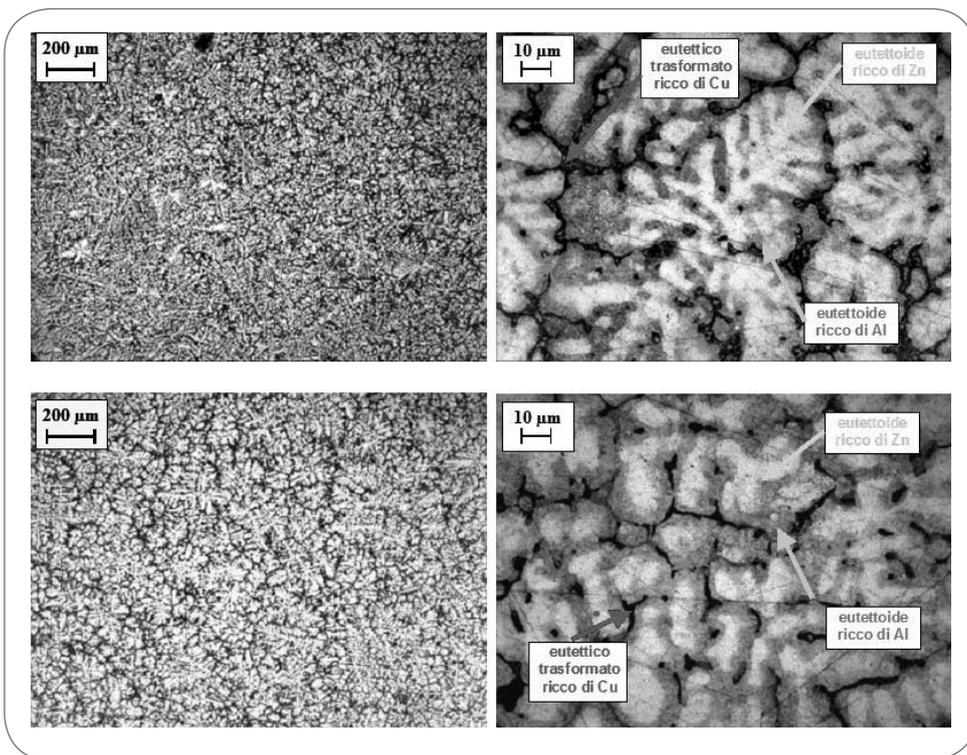


Fig. 6 *Microstruttura a basso ed alto ingrandimento della lega ZA27 NS (in alto) e S (in basso).*
Optical images at low and high magnification of ZA27 alloy NS (up) and S (down).

ta. La differenza tra le velocità di corrosione i_{corr} , calcolate con il metodo di Tafel, appare piuttosto consistente. In particolare, nel caso della lega NS, i_{corr} è pari a $1.50 \pm 0.21 \mu A/cm^2$, valore in accordo con le velocità di corrosione misurate con procedura analoga su getti della medesima composizione e riportate in letteratura [18], mentre, per la lega S, i_{corr} si attesta su valori inferiori pari a 0.30 ± 0.01

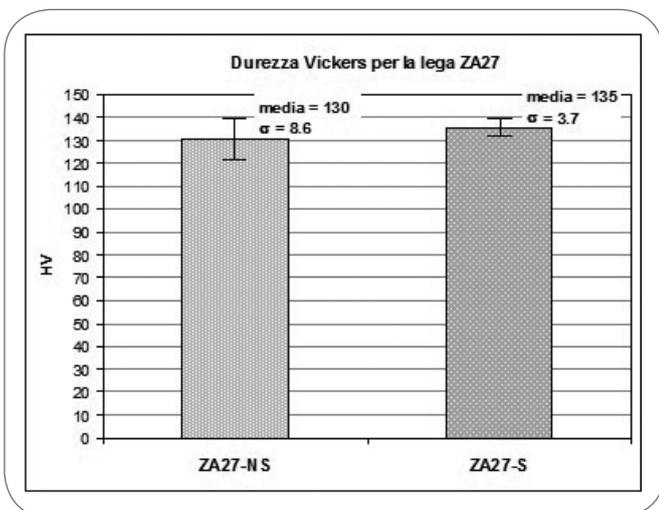


Fig. 7 *Risultati delle prove di microdurezza Vickers per la lega ZA27 NS e S.*
Vickers micro-hardness results for ZA27 alloy NS and S.

$\mu A/cm^2$.

Inoltre la lega trattata con ultrasuoni mostra un potenziale di corrosione maggiore rispetto a quello della lega tal quale. Tale differenza è troppo elevata per essere imputata all'incertezza della misura, considerato anche il numero di prove effettuate e non può essere attribuita alla diversa composizione dei campioni, considerando che provengono dalla stessa colata.

È quindi molto probabile che le differenze di comportamento siano associate al fatto che il trattamento ad ultrasuoni ha comportato, come già detto, una migliore omogeneizzazione della lega e una più uniforme redistribuzione del soluto, incrementando complessivamente la resistenza alla corrosione.

Per confermare questi risultati sono state eseguite delle prove in nebbia salina acetica per 72 ore e si è misurata la variazione di peso dei campioni. Tuttavia, considerato che i campioni hanno subito corrosione localizzata (Fig. 5a), le perdite di peso sono risultate troppo esigue per poter essere misurate in modo affidabile, rendendo poco attendibile qualsiasi confronto.

Le prove in nebbia salina hanno comunque permesso di verificare che anche nella lega sonicata l'innescò e la propagazione della corrosione avvengono nell'eutettico, favoriti dalla presenza di silicio e dei composti intermetallici a comportamento catodico (Fig. 5b-c).

Altri siti favorevoli alla corrosione sono risultati essere le porosità presenti nel campione, come mostrato in Fig. 5d. Pertanto, la maggiore porosità del campione NS rispetto a quello trattato, potrebbe essere un'ulteriore causa del suo peggior comportamento a corrosione.

Legha ZA27

In questo caso, il trattamento con ultrasuoni non ha prodotto una marcata variazione della microstruttura, al contrario di quanto è avvenuto per la lega AlSi5 (Fig. 6), a causa probabilmente della maggiore densità della lega di zinco. Indagini metallografiche ad alti ingrandimenti, hanno permesso di rilevare piccole modifiche microstrutturali in termini di arrotondamento delle dendriti. Come noto, durante il raffreddamento le leghe Zn-Al subiscono una trasformazione eutettoidica con conseguente modifica della microstruttura rispetto a quella ottenibile al termine della solidificazione, rendendo quindi meno diretta l'identificazione degli effetti del trattamento ad ultrasuoni del bagno liquido.

Come mostrato in Fig. 6, a seguito della trasformazione allo stato solido si ottiene a temperatura ambiente una matrice eutettoidica, caratterizzata da una forte segregazione degli elementi di lega, circondata dall'eutettico trasformato ricco in rame (zone nere). Per quanto concerne la matrice, si osserva infatti una netta variazione di composizione

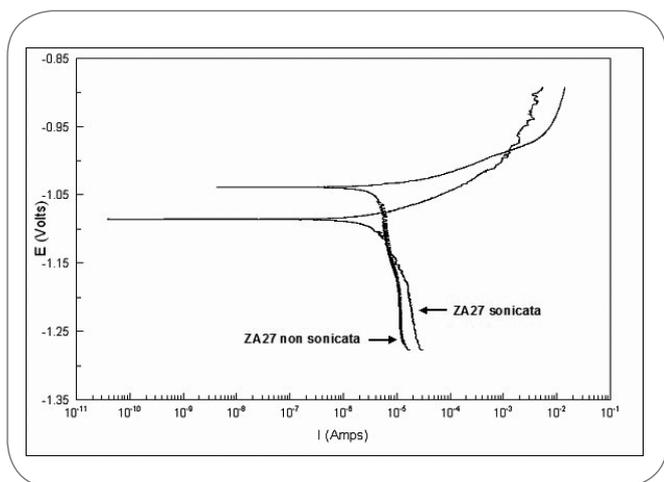


Fig. 8
Esempi di curve di polarizzazione per la lega ZA27 NS e S.
Examples of polarization curves for ZA27 alloy NS and S.

chimica fra il centro e la periferia delle dendriti: eutettoide ricco in zinco in corrispondenza del cuore (zone chiare) ed eutettoide ricco in alluminio sui bordi (zone grigie). Le misure di microdurezza Vickers riportate in Fig. 7 mostrano un lieve miglioramento delle proprietà della lega S e, anche in questo caso, una deviazione standard dei dati inferiore rispetto al caso della lega tal quale, a conferma della migliore omogeneità della lega indotta dal trattamento ad ultrasuoni.

Le prove di polarizzazione elettrochimica, riportate in Fig. 8, indicano che la lega sonicata possiede una velocità di corrosione inferiore a quella della lega non trattata. Per il campione S icorr è infatti pari a $1.80 \pm 0.26 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, contro $6.02 \pm 2.27 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ per NS. Anche in questo caso si osserva una differenza di potenziale tra i due campioni; tuttavia, al contrario della lega AlSi5, il campione più nobile risulta essere quello non trattato.

Questi risultati sono stati confermati dalle prove di nebbia salina, che hanno mostrato una perdita di peso quasi doppia per il campione NS (Fig. 9).

Tali campioni, analizzati in superficie e in sezione, mostrano che la corrosione si è concentrata in pochi punti, formando dei pit visibili anche ad occhio nudo (Fig. 10), che hanno dimensioni e profondità simili nei due casi.

L'analisi ad alti ingrandimenti mostra che il resto della superficie ha subito analoghi fenomeni di corrosione, sebbene su scala microscopica (Fig. 11). Osservando le sezioni

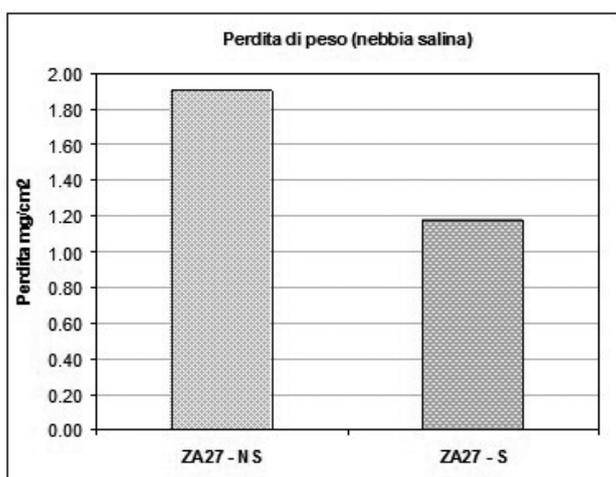


Fig. 9
Perdita di peso dei campioni testati in nebbia salina.
Weight loss of samples after salt spray test.

di queste zone si nota che la propagazione è di tipo intergranulare, come riportato in letteratura [19], per effetto del funzionamento catodico del composto eutettico ricco in Cu rispetto alla matrice. Tuttavia in questo caso la corrosione si estende anche all'interno del grano, nelle zone più ester-

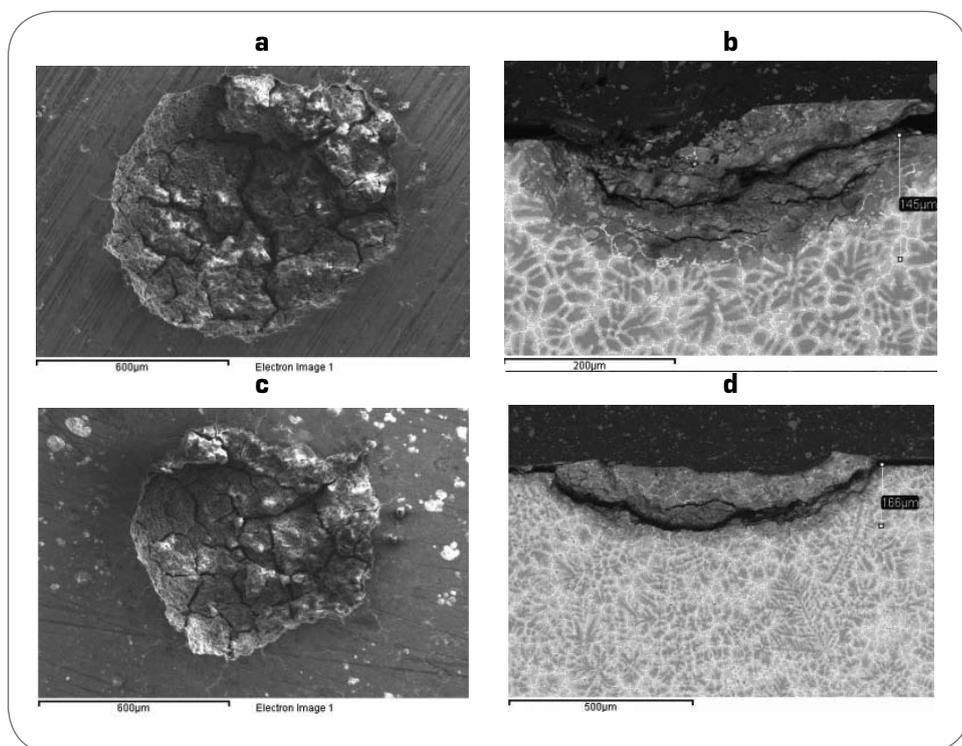


Fig. 10
Immagini al microscopio elettronico delle superfici e delle sezioni dei campioni NS (A-B) e S (C-D) testati in nebbia salina in corrispondenza dei macro-pit.
Secondary SEM images of macro-pits on surfaces and sections of samples NS (A-B) and S (C-D) after salt spray test.

ne, ricche di Al, e quindi modificando la forma della corrosione verso il pitting.

Nel campione NS la profondità di questi micro-pit generalizzati è nettamente superiore di quella dei pit del campione S, confermando la minor resistenza alla corrosione già documentata nelle prove elettrochimiche. Tale differenza potrebbe essere associata, come nel caso della lega AlSi5, ad una migliore omogeneizzazione della lega e una più uniforme redistribuzione del soluto, per quanto non ci sia stata una variazione microstrutturale evidente.

CONCLUSIONI

In questo lavoro è stato studiato l'effetto del trattamento ad ultrasuoni sulla resistenza a corrosione di leghe da fonderia AlSi5 e ZA27. Nel caso della lega d'alluminio AlSi5 si è osservato che:

- il trattamento con ultrasuoni induce una globularizzazione dei grani, un affinamento ed omogeneizzazione della microstruttura;
- le porosità sono notevolmente inferiori nel campione trattato;
- la composizione chimica delle fasi interdendritiche (Al Fe Si) è la medesima in entrambi i casi, sebbene tali precipitati siano di dimensioni inferiori nel caso del campione sonicato;
- la microdurezza risulta superiore nel caso della lega trattata.

Per quanto concerne le prove di corrosione, è risultato che:

- la lega sonicata ha una resistenza alla corrosione superiore a quella della lega non trattata ed un potenziale di corrosione maggiore, probabilmente a seguito della più uniforme redistribuzione del soluto;
- in entrambi i campioni l'innesco e la propagazione della corrosione avvengono nell'eutettico, favoriti dalla presenza di silicio e dei composti intermetallici;
- la maggior presenza di porosità nel campione tal quale ne ha ulteriormente peggiorato il comportamento a corrosione.

Nel caso della lega di zinco ZA27 si è osservato che:

- il trattamento con ultrasuoni non ha prodotto una marcata variazione della microstruttura, sebbene le dendriti appaiano leggermente più arrotondate;
- le misure di microdurezza hanno mostrato un lieve miglioramento delle proprietà della lega trattata, anche in questo caso caratterizzata da una maggiore omogeneità microstrutturale;
- come per la lega AlSi5, la velocità di corrosione del campione trattato risulta inferiore a quella della lega tal quale, sebbene il campione con potenziale più nobile risulta essere quello non trattato;
- la propagazione della corrosione avviene in ambedue i campioni lungo l'eutettico trasformato, ricco in rame, estendendosi anche all'interno del grano nelle zone più

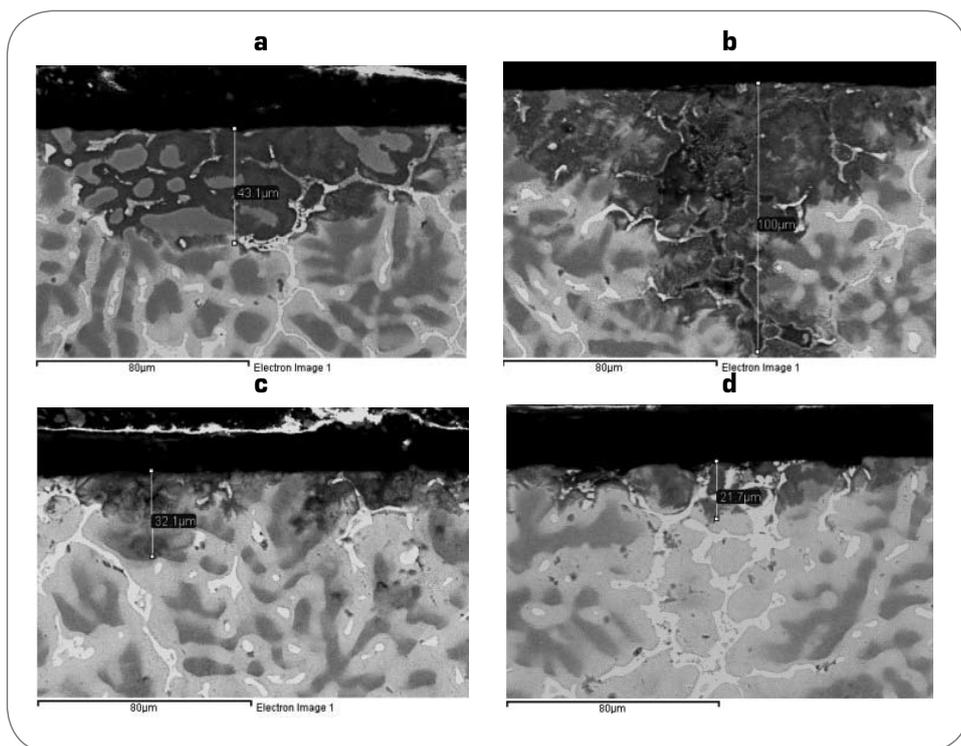


Fig. 11

Immagini al microscopio elettronico ad alto ingrandimento delle sezioni dei campioni NS (A-B) e S (C-D) testati in nebbia salina.
Secondary SEM images of sections of samples NS (A-B) and S (C-D) after salt spray test.

esterne ricche di Al;

- la profondità di questi attacchi corrosivi è notevolmente superiore nel caso della lega tal quale.

BIBLIOGRAFIA

- 1] W. NICODEMI, Metallurgia, Zanichelli (1986).
- 2] W. KURZ, D.J. FISHER, Fundamentals of solidification, Trans Tech Publications, Switzerland, (1998).
- 3] D.M. STEFANESCU ET AL., Metals handbook, 9th Edition, Vol. 15 Casting, ASM International, USA (1988), pp.101-130.
- 4] J.E.GRUZLESKI, B.M.CLOSSET, The treatment of liquid Al-Si alloys, American Foundry Men's Society, Inc.
- 5] G.I. ESKIN, Adv. Performance Mat. Vol.4, Issue: 2, 1997, pp. 223-232.
- 6] V. ABRAMOV, O. ABRAMOV, V. BULGAKOV, F. SOMMER, Mat. Letters Vol. 37, Issue: 1-2, (1998), pp. 27-34.
- 7] A.R. NAJI MEIDANI, M. HASAN, J. of Mat. Proc. Tech. 147. (2004), pp. 311-320.
- 8] L.A. CRUM, A. PROSPERETTI, J. Acoust., Soc. Am. 73 (1983), pp. 121-127.
- 9] M.M. FYILLAS, A.J. SZERI, J. Fluid Mech. 277 (1994), pp. 381-407.
- 10] A. ZAVALIANGOS, J. of Mat.Proc. Tech., Vol. 40, Issue: 10, (1998), pp. 1029-1041.
- 11] A. POLA, A. ARRIGHINI, R. ROBERTI, Proceeding of 11th ICAA Int. Conf. (2008).
- 12] P. KAPRANOS, T. HAGA, E. BERTOLI, A. POLA, Z. AZPILGAIN, I. Hurtado, Solid State Phenomena Vols. 141-143 (2008) pp. 115-120.

- 13] W.R. OSORIO, L.R. GARCIA, P.R. GOULART, A. GARCIA, *Material Chemistry and Physics*, 106, (2007), pp. 343-349.
 14] A. FORN, E. RUPEREZ, M.T. BAILE, M. CAMPILLO, S. MENARGUES, I. ESPINOSA, 10th ESAFORM Conference on Material Forming (2007).
 15] A. POLA, R. ROBERTI, E. BERTOLI, D. FURLONI, *Solid State Phenomena Vols. 116-117* (2006), pp. 58-63.
 16] ASM Handbook, Aluminum and Aluminum Alloys,

- ASM International, Edited by J.R. Davis, (1993).
 17] W.R. OSORIO, N. CHEUNG, J.E. SPINELLI, P.R. GOULART, A. GARCIA, *J. Solid State Electrochemistry*, 11, (2007), pp. 1421-1427.
 18] W.R. OSÓRIO, P.R. GOULART, A. GARCIA, *Materials Letters* 62, (2008), pp.365-369.
 19] GANG H.R., MA J. J., *Int. J. of Cast Metals Research*, Vol. 11, Issue: 4, (1999), pp. 205-210.

ABSTRACT

EFFECT OF ULTRASOUND TREATMENT OF LIQUID ALLOYS ON CORROSION RESISTANCE

Keywords: corrosion, non ferrous alloys, foundry, ultrasound treatments, scanning electron microscopy

The introduction of ultrasonic waves in the liquid bath, that induce cavitation effects, allows to refine and degas the alloy in a single step without the addition of nucleants agents, with a subsequent reduction of the production costs and the obtainment of an easier process. Moreover, this technology can be applied for the obtainment of semi-solid alloys, characterized by globules of primary phase surrounded by the eutectic, as confirmed by recent studies.

The aim of this work is to evaluate the effect of ultrasound treatment (UST) on the corrosion resistance of Aluminium and Zinc foundry alloys. The different alloys have been treated at the liquid state and then cast in a small laboratory die.

The corrosion resistance of the treated samples was evaluate by means of potentiodynamic tests in NaCl 0,5M solution and acetic salt spray tests. The results were compared with those obtained from not ultrasound treated samples.

Further samples analyses were carried out by means of optical microscope (OM) and scanning electron microscope (SEM), in order to better understand the corrosion phenomena occurred on the samples surfaces during salt spray test.

For the Aluminium alloy AlSi5 it was observed that:

- UST induces a refinement and a homogenization of the microstructure, with the formation of globular grains;
- porosity strongly decreases;
- intermetallics particles have same chemical composition but smaller size in the treated samples respect to the not treated ones;
- higher micro-hardness values are observed in the treated samples.

Concerning the corrosion tests:

- US treated alloys show a better corrosion behaviour and a higher corrosion potential, probably related to a more uniform distribution of the solute;
- in both samples, corrosion begins and propagates through the eutectic, favoured from silicon and intermetallics particles;
- the higher porosity of not treated samples makes worse the corrosion resistance.

For the Zinc alloy ZA27 it was observed that:

- UST does not produce a substantial microstructure variation, even if dendrites appear slightly rounded;
- microhardness tests show a light improvement of mechanical properties of the US treated alloy, characterized by a more homogeneous structure;
- as for AlSi5, the corrosion rate of the treated samples appears lower than that of not treated ones, even if not treated samples have a more noble potential;
- for both samples, the corrosion propagation is through the transformed eutectic, rich in copper, extending inside the grains, where the Al composition is higher;
- the depth of corrosion attack is higher in the case of not treated samples.