

STUDI DI OTTIMIZZAZIONE DEI TRATTAMENTI TERMICI SU UNA LEGA AL-SI PER USO AUTOMOBILISTICO

L. Balloni, M. Cabibbo, E. Evangelista, C. Scalabroni, S. Spigarelli

Oggetto di questo lavoro è lo studio di trattamenti termici sulla lega 87S1 (nome commerciale), derivata dalla A357, appositamente modificata per migliorare la sua formabilità allo stato semi-solido. Tale lega è particolarmente idonea ad essere formata attraverso il processo Rheocast per la produzione di componenti soprattutto automobilistici. Per la lega presa in esame le caratteristiche meccaniche migliori sono state ad oggi ottenute con il trattamento brevettato dal produttore, un trattamento T6 con solubilizzazione multistadio seguito da un invecchiamento. La finalità del presente studio è quella di valutare la possibilità di effettuare un trattamento termico più economico di quello proposto senza gravose conseguenze per le proprietà meccaniche. La lega è stata sottoposta a trattamenti termici, prove meccaniche ed indagini microstrutturali di microscopia ottica ed elettronica in scansione. Sono stati studiati diversi trattamenti termici, T5 e T6 non multistadio di durata inferiore rispetto a quello brevettato, ottenendo, in alcuni casi, risultati promettenti in termini di proprietà di interesse ingegneristico. In particolare si è osservato come un semplice trattamento termico di solubilizzazione a 500°C per 4 ore fosse in grado di garantire un buon compromesso fra resistenza meccanica e duttilità a temperatura ambiente.

PAROLE CHIAVE: alluminio e leghe, precipitazione, trattamenti termici, trattamenti termomeccanici, metallografia metallurgia fisica, microscopia elettronica

INTRODUZIONE

Le leghe alluminio-silicio sono ampiamente usate per la produzione di pezzi da fusione poiché possiedono una eccellente colabilità e, dopo un trattamento termico adeguato, un'eccellente resistenza in rapporto al peso. La formatura allo stato semisolido è stata usata con successo per la produzione di un certo numero di componenti differenti nell'industria automobilistica, in particolare utilizzando le leghe A356 e A357 [1-3]. Anche le proprietà meccaniche dei componenti thixoformati o prodotti tramite rheocast possono essere aumentate sostanzialmente da un adeguato trattamento di solubilizzazione ed invecchiamento, che permette la precipitazione delle fasi avente effetto di rinforzo, principalmente Mg₂Si [3-5]. La resistenza totale (YST) nel caso di leghe Al-Mg-Si potrebbe essere infatti separata nei seguenti contributi differenti [4]:

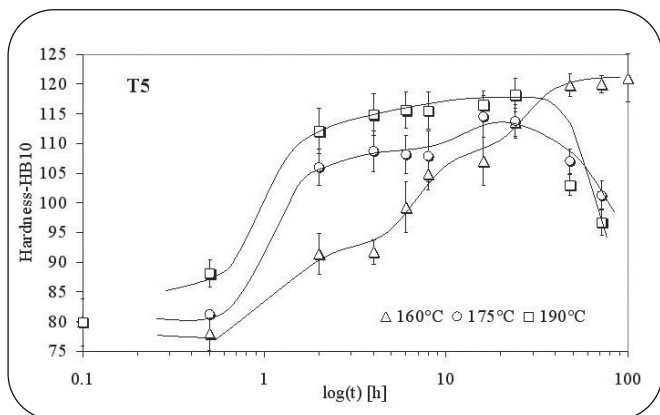
$$Y_{ST} = Y_{S0} + \Delta Y_{Si} + \Delta Y_{Fe} + \Delta Y_{ss,Si} + \Delta Y_{ss,Mg} + \Delta Y_{p,Si} + \Delta Y_{p,MgSi} \quad (1)$$

Dove Y_{S0} è la resistenza dell'Al, e ΔY_{Si} , ΔY_{Fe} , $\Delta Y_{ss,Si}$, $\Delta Y_{ss,Mg}$, $\Delta Y_{p,Si}$, $\Delta Y_{p,MgSi}$ sono termini addizionali dovuti alla presenza di particelle ricche in Si e Fe, alla soluzione solida di Si e Mg, ed ai fini precipitati di Si in Mg₂Si. In questo contesto il trattamento T5 (che invecchia direttamente dopo formatura, senza trattamento precedente di solubilizzazione) è in linea di principio particolarmente attraente per i componenti formati in semisolido [6-7], poiché l'alta velocità di solidificazione produce una microstruttura fine e con un'alta frazione di elementi in lega in soluzione solida. Anche se il guadagno economico ottenuto sopprimendo il trattamento costoso della solubilizzazione è evidente, per trasformarsi in un'alternativa all'itinerario convenzionale di produzione, il trattamento T5 dovrebbe garantire un compromesso accettabile fra resistenza e duttilità [8]. Lo scopo della ricerca attuale è studiare l'effetto di un trattamento T5 e di un T6 sulle proprietà meccaniche e la microstruttura di una lega modificata A357 che contiene 0.5% Cu e confrontare gli effetti meccanici di questi diversi trattamenti.

PROCEDURE SPERIMENTALI

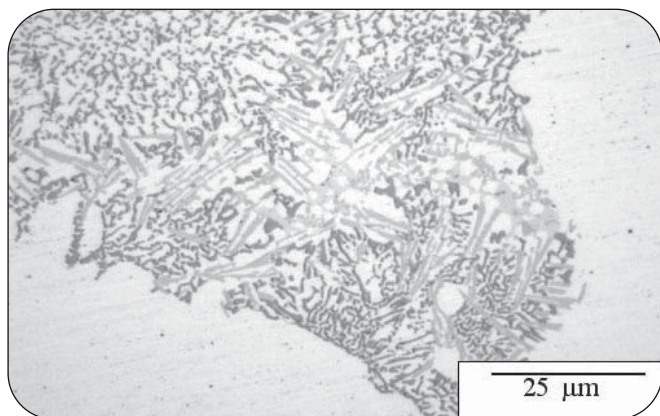
La lega analizzata nel presente lavoro è a base di alluminio e ha la seguente composizione chimica (% in peso): Si=6.71,

L. Balloni, M. Cabibbo, E. Evangelista,
C. Scalabroni, S. Spigarelli
CNSM / Dipartimento di Meccanica,
Università Politecnica delle Marche, Ancona



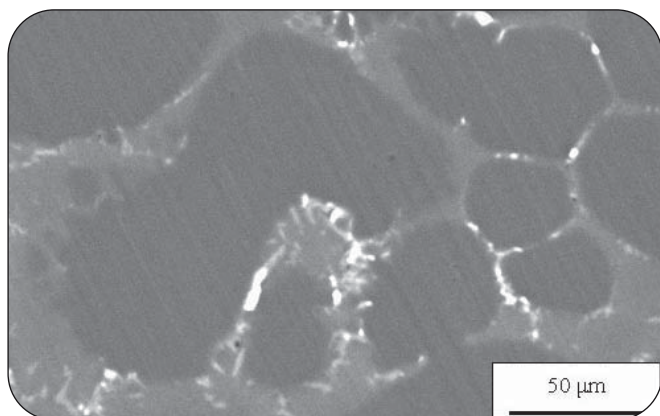
▲
Fig. 1

Variazione della durezza in funzione dei tempi di invecchiamento a temperature: 160, 175 and 190°C (T5).
Hardness vs. T5 ageing temperatures (160°C, 175°C, 190°C) and duration.



▲
Fig. 2

Microstruttura della 87S1 dopo trattamento T5 a 190°C per 16h.
Typical microstructure of 87S1 after T5 treatment at 190°C/16h.



▲
Fig. 3

Micrografia al SEM rappresentante il campione invecchiato a 190°C per 30 min.
SEM after T5 at 190°C/30min.

Mg=0.48, Cu=0.5, Ti=0.13, Sr=0.016, Fe=0.12. La natura complessa di questa lega ha fatto sì che sia stato messo a punto un trattamento comprendente solubilizzazioni a temperature crescenti, brevettato da Pechiney, che è poi stato considerato come termine di riferimento. Il trattamento di invecchiamento senza (T5) o dopo (T6) una solubilizzazione ad una singola temperatura per una durata limitata, è stato applicato ai campioni ottenuti da componenti prodotti per rheocast. Le temperature usate per l'invecchiamento T5 sono: 160, 175 e 190°C. Il trattamento T6 è costituito da solubilizzazione a 500°C e successivi invecchiamenti alle stesse temperature utilizzate per il T5. Tecniche di Microscopia ottica (MO) ed elettronica in scansione e trasmissione (SEM, TEM) sono state utilizzate al fine di analizzare la microstruttura di campioni selezionati. Le prove di trazione sono state eseguite a temperatura ambiente su campioni estratti dai componenti e trattati termicamente.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Trattamento T5.

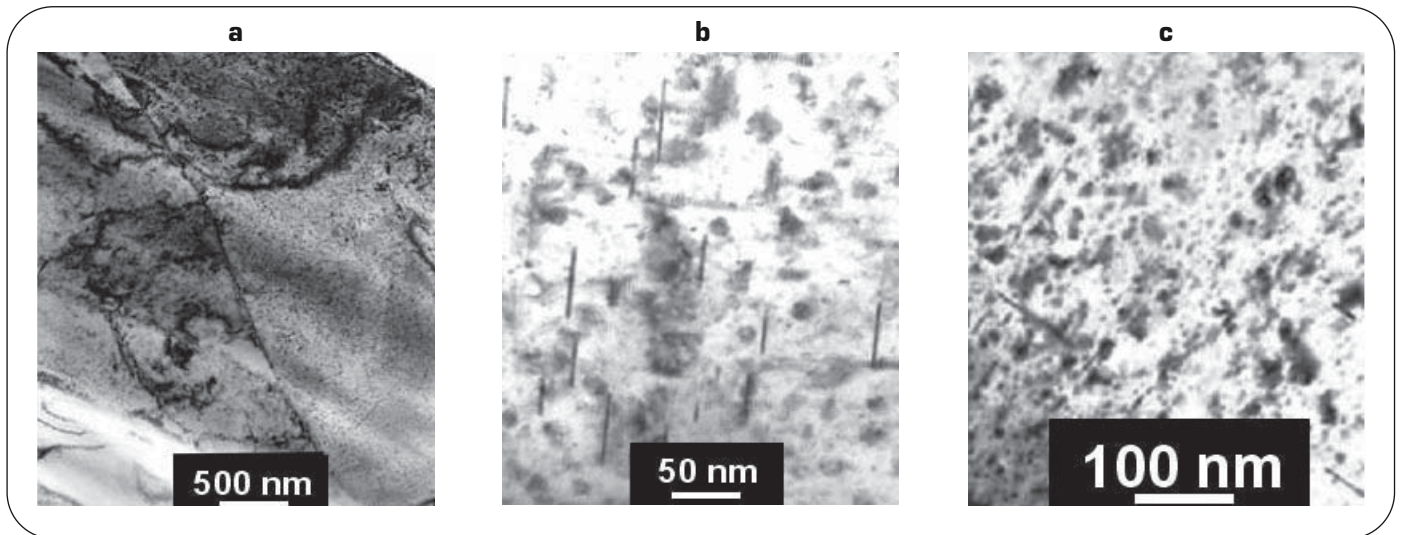
La Fig. 1 mostra le curve di invecchiamento ottenute per la lega rheo-cast dopo il trattamento T5. Invecchiando a 160°C si produce un aumento graduale nella durezza, che raggiunge valori elevati solo per tempi di trattamento molto lunghi. Invecchiando a 175 e a 190°C si provoca invece un aumento più veloce della durezza; su questa base, una temperatura di invecchiamento di 190°C è stata considerata come adatta per ridurre la durata di trattamento.

La Fig. 2 mostra la microstruttura della lega trattata termicamente al microscopio ottico. Un ingrandimento basso non ha rivelato alcuna differenza significativa in campioni trattati termicamente a 190°C per 16 o 48h. La loro struttura è tipica delle leghe Al-Si, in cui i grandi globuli primari sono circondati dalla regione eutettica. Il silicio è presente nella forma di piccole particelle scure allineate per formare lamelle spezzettate, mentre i precipitati allungati sono ricchi di Mg e Cu. Le zone eutettiche nella Fig. 3 inoltre hanno rivelato la distribuzione eterogenea degli alliganti in soluzione solida, principalmente concentrati nelle zone intergranulari eutettiche della struttura. La stessa microstruttura è stata anche analizzata al TEM (Fig. 4). Le micrografie di Figura 4 mostrano l'interno della zona eutettica, localmente priva di precipitati grossolani, ma particolarmente ricca di precipitati fini (Mg₂Si, aghetti di Al₃CuMg o relative zone di GP). Dopo 48h di invecchiamento la frazione di Mg₂Si appare sostanzialmente più elevata.

Trattamento T6.

La Fig. 5 mostra l'andamento della durezza dopo solubilizzazione di 500°C per tempi diversi. Si osserva che la durezza decresce gradualmente a causa della (parziale) solubilizzazione dei precipitati formati durante il raffreddamento del pezzo dopo formatura e la seguente permanenza a temperatura ambiente. La durezza raggiunge un valore costante dopo circa 4h, per cui tale durata è stata selezionata per il successivo trattamento T6. La microstruttura dopo trattamento di solubilizzazione è mostrata in Fig. 6.

La Fig. 7 mostra l'andamento della durezza dopo solubilizzazione a 500°C-4h ed invecchiamento a varie temperature. Un confronto diretto con la Fig. 1 mostra chiaramente che anche un breve e semplice trattamento a 500°C, sicuramente non in grado di solubilizzare tutti i precipitati, consente di raggiungere valori di durezza più elevati e con tempi di trattamen-



▲
Fig. 4

Microstruttura al TEM dei campioni invecchiati dopo rheocasting per 16h (a,b) e 48h (c) a 190°C.

TEM micrographs after rheocasting at 190°C for 16h (a,b), 48h (c).

to sostanzialmente più brevi.

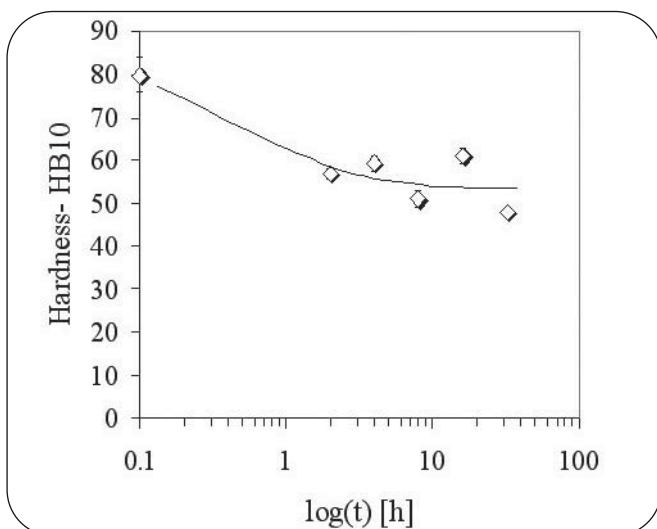
Identificata la temperatura di trattamento più interessante (175°C) sono state condotte prove di trazione per confermare le doti resistenziali del materiale. La Fig. 8 mostra chiaramente come la resistenza meccanica (resistenza e resistenza ultima) e la duttilità risultino sostanzialmente superiori dopo un trattamento T6 per quanto semplificato rispetto a quello di riferimento Pechinay (che produce resistenze massime dell'ordine dei 380 MPa, con allungamenti a rottura fino all'8.5%).

Uno degli aspetti che risalta maggiormente dall'analisi della Fig. 8, è la scadente duttilità riscontrata dopo trattamento T5. L'eutettico divorziato con i frammenti delle particelle di silicio non può essere considerato infatti l'ideale precursore di un successivo trattamento termico atto a fornire un com-

promesso accettabile fra resistenza e duttilità.

La precipitazione supplementare in questa zona aumenta la durezza locale, ma può ridurre ulteriormente la duttilità. Questa osservazione è illustrata chiaramente nella Figura 8, dove è dimostrato senza ambiguità che anche in presenza di elevate variazioni nella resistenza massima, la duttilità dello stato T5 non è mai superiore al 6%. La sferoidizzazione delle particelle di silicio dopo solubilizzazione è invece ben evidente.

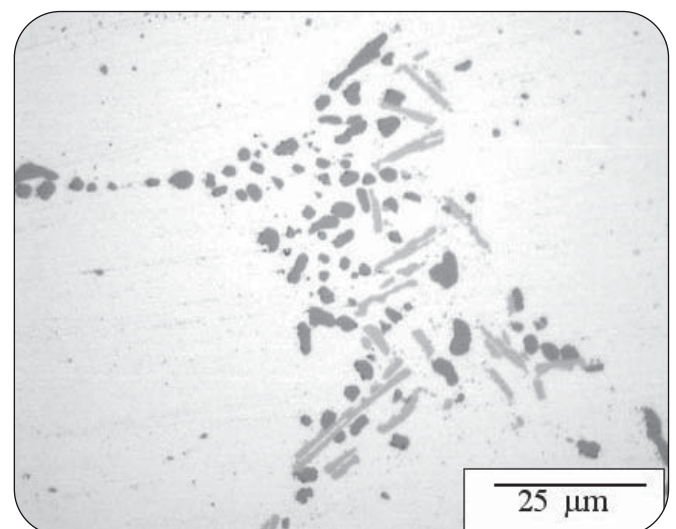
Il trattamento preliminare di solubilizzazione, quindi, oltre a rendere disponibili una frazione rilevante degli elementi alliganti per la successiva fase di invecchiamento, riduce fortemente l'eterogeneità della microstruttura tipica del materiale as cast e dopo T5.



▲
Fig. 5

Andamento della durezza dopo solubilizzazione a 500°C per tempi diversi.

Hardness as a function of time of solutioning at 500°C.



▲
Fig. 6

Microstruttura dopo solubilizzazione a 500°C per 4h.

SEM after solutioning at 500°C/4h.

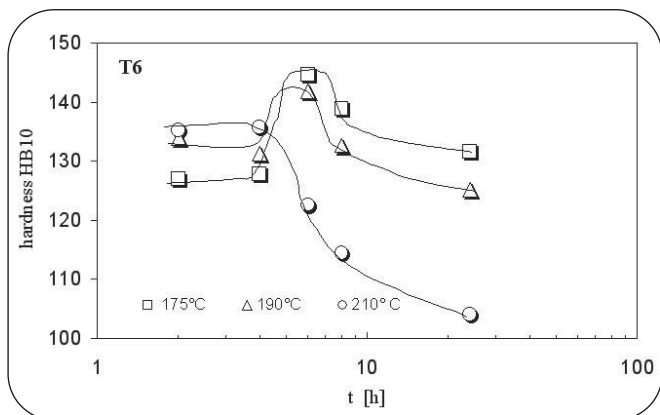


Fig. 7

Andamento delle curve di durezza in funzione del tempo di trattamento dopo solubilizzazione a 500°C-4h.
Hardness vs. duration of ageing after solutioning at 500°C/4h.

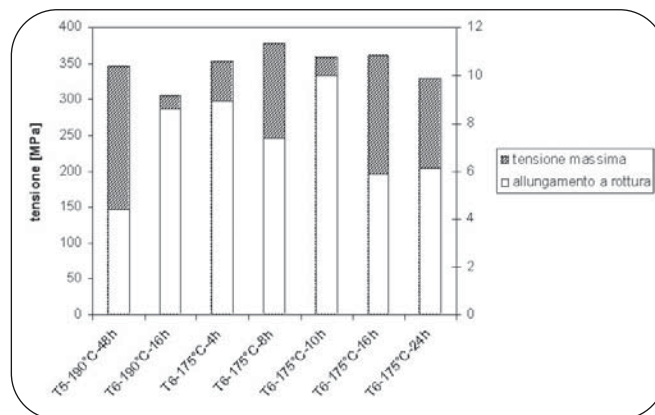


Fig. 8

Caratteristiche meccaniche della lega dopo i diversi trattamenti termici sperimentati in questo studio.
Mechanical properties as a function of the different heat treatments showed in this study.

CONCLUSIONI

La risposta a trattamento termico della lega Al-7%Si-0.6%Mg-0.5%Cu fornita in componenti rheo-cast è stata analizzata effettuando prove di invecchiamento sia senza che con preventiva solubilizzazione. I dati disponibili evidenziano che il trattamento T5 (invecchiamento a 190°C) permette di ottenere un buon livello di resistenza con una bassa duttilità. Nei campioni trattati T6 (prima solubilizzati a 500°C per 4h e poi invecchiati, si ottiene una migliore combinazione di duttilità e resistenza. Le indagini microstrutturali dimostrano che le particelle fini distribuite nei campioni T5 sono distribuite in maniera maggiormente eterogenea; questo fenomeno combinato con la morfologia del silicio eutettico, è il responsabile della bassa duttilità della lega in questa condizione di trattamento.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il MIUR per aver finanziato la ricerca e il tecnico Daniele Ciccarelli per il prezioso aiuto in laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

- 1] M. Rosso, E. Romano, P. Giordano, G.L. Chiarmetta, *Advances Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, Y.Tsutsui et al Eds., Nat.Inst.of Advanced Sci.and Techn.-Japan Soc. for Techn. and Plasticity, (2002), p. 151.
- 2] P. Giordano, F. Boero, G. Chiarmetta, *Proc. 6th Int.Conf. on Semi-solid Processing of Alloys and Composites*, G.L.Chiarmetta, M.Rosso Eds., Turin, (2002), p. 29.
- 3] E. Cerri, E. Evangelista, S. Spigarelli, P. Cavaliere, F.De Riccardi, *Mater.Sci.Eng. A284* (2000), p. 254.
- 4] P.A. Rometsch, G.B. Schaffer, *Mater.Sci.Eng. A325* (2002) p. 424.
- 5] N.D. Alexopolous, Sp.G. Pantelakis, *Mat.Design*, 25 (2004) p. 419.
- 6] S. Nafisi, O. Lashkari, R. Ghomashchi, F. Ajersch, A. Charette; *Acta Materialia*, Volume 54, Issue 13, (2006), pp. 3503-3511.
- 7] S. Nafisi, R. Ghomashchi, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 174, Issues 1-3, (2006), pp. 371-383.
- 8] X. Yang, Y. Jing, J. Liu, *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes 130-131, (2002), pp. 569-573.

ABSTRACT

OPTIMIZATION STUDIES ON THERMAL TREATMENTS OF AN AL-SI ALLOY FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS

Keywords: aluminium and alloys, precipitation, heat treatments, metallography, physical metallurgy, electronic microscopy

This paper presents some results on the thermal treatments studies performed on a 87S1 Al-Si alloys (i.e. a modified A357 alloy), which has been properly modified in order to meet the required formability in the semisolid state. This alloy is actually suitable for being produced by Rheocast for the mass production of auto-

motive components. So far, this type of alloy reaches its best in terms of mechanical properties only under patented heat treatment cycles, which is a dedicated multistage T6 treatment followed by a proper ageing. The study aimed at exploring the possibility of reaching the same level of mechanical properties under the patented heat treatment by performing a different, less expensive one. For this purpose different T5 and T6 treatments have been studied by means of optical and electron microscopy techniques. These T5 and T6 were chosen to have lower durations and limited multistage steps. Some of them showed rather good mechanical properties, quite close to the ones obtained through the patented heat treatment. In particular, a simple solutioning at 500°C for 4h guaranteed a good compromise between mechanical strength and ductility at room temperature.