

Analisi della shell zone di placche in leghe di alluminio ottenute mediante colata semi continua

A. Leonelli, C. Sinagra, F. Bravaccino, T. Monetta, A. Acquesta

Come noto la "shell zone" è la parte in prossimità della superficie delle placche da laminazione caratterizzata da disuniformità strutturali e chimiche. In questa zona è elevato il rischio di inclusioni gassose causate dalla solubilizzazione dell'idrogeno. E' di rilevante interesse, quindi, la riduzione dello spessore della "shell zone" per contenerla entro pochi millimetri in modo da poterla asportare totalmente in una successiva operazione di fresatura meccanica. I parametri principali che influenzano la formazione della "shell zone" sono: i) la composizione chimica della lega, ii) la velocità di colata, iii) la quantità di metallo in lingottiera, iv) la temperatura del metallo, v) la portata dell'acqua utilizzata per il raffreddamento della placca. In questo studio, è stato valutato l'effetto della variazione di alcuni dei parametri citati al fine di minimizzare lo spessore della "shell zone" per placche ottenute da colata semicontinua delle leghe AA1200 e AA8006.

PAROLE CHIAVE: SHELL ZONE, LEGHE DI ALLUMINIO, COLATA SEMICONTINUA, SOLIDIFICAZIONE.

INTRODUZIONE

Il principio che presiede allo sviluppo della tecnica della colata semicontinua, ideata negli Anni '30 dalla VAW e dall'Alcoa, è costituito dall'introduzione nel processo di due fasi di raffreddamento: uno primario, che si ottiene a seguito del contatto con la superficie della lingottiera raffreddata ad acqua, e uno secondario effettuato con un getto d'acqua, che investe la superficie della placca nascente. I successivi miglioramenti della tecnica hanno riguardato essenzialmente il raffreddamento primario allo scopo di ridurlo; la sua riduzione si rende necessaria al fine di ottenere placche da laminazione con caratteristiche superficiali e strutturali sempre migliori, minimizzando la profondità della "shell zone" della placca.

La zona superficiale di una placca e gli strati immediatamente sottostanti sono caratterizzati da una microstruttura con un grana fine e dalla segregazione degli elementi chimici di alligazione che determina una grande differenza strutturale e chimica di questo volume di materiale rispetto alle zone interne della placca. Le placche, quindi, devono essere frestate per rimuovere gli strati superficiali che potrebbero causare problemi nelle successive fasi di lavorazione. È eviden-

**Antonio Leonelli, Ciro Sinagra,
Francesco Bravaccino**

Laminazione Sottile SpA – S. Marco Evangelista, Caserta

Tullio Monetta, Annalisa Acquesta

Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale – Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli

te, quindi, la necessità di produrre placche in cui la "shell zone" abbia lo spessore minimo, per permette di ridurre o di eliminare del tutto la quantità di materiale da asportare durante la fase di fresatura.

La colata semicontinua è caratterizzata da tre parametri essenziali per il processo di solidificazione: la velocità di colata, la portata dell'acqua di raffreddamento e la temperatura del metallo. La velocità ottimale di colata dipende dalla composizione chimica e dalla dimensione delle placche, ed è generalmente compresa tra 30 e 200 se misurata in mm/min; la portata dell'acqua di raffreddamento può variare tra 3000 – 4000 litri/min a seconda delle dimensioni della placca e della lega; la temperatura del metallo varia, per le leghe di alluminio, nell'intervallo di 690 °C – 725 °C. Il processo di solidificazione della placca inizia a seguito del raffredda-

mento primario che, determina la solidificazione del guscio esterno della placca. La superficie del guscio (e quindi l'intera placca in formazione), a causa della contrazione termica, si distacca dalla superficie della lingottiera determinando la formazione di una "zona vuota" di dimensioni variabili che dipendono dalla forma e dal tipo della lingottiera. La presenza delle "zone vuote" riduce drasticamente la capacità di scambio termico e può portare ad una parziale rifusione del guscio. Gli strati immediatamente sottostanti il guscio solidificano in una condizione di ridotta capacità di scambio termico dando luogo, insieme al guscio, alla "shell zone". I successivi strati, quelli più interni, solidificano a velocità più elevate per effetto del raffreddamento secondario prodotto da getti d'acqua che colpiscono la superficie della placca (Fig. 1).

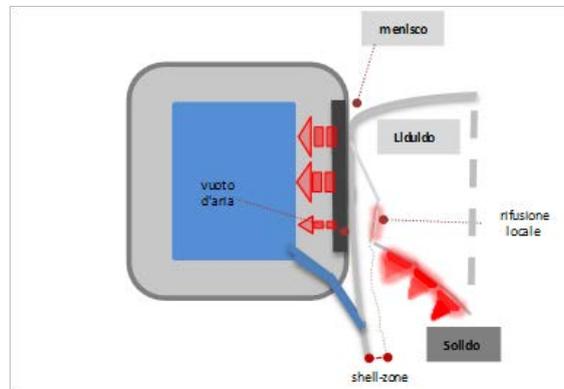


Fig.1 - Schematizzazione della solidificazione in lingottiera. / Schematization of the solidification process in the mould.

Nella "shell zone" tendono a svilupparsi elevati livelli di porosità, blister (dopo l'omogeneizzazione), inclusioni (soprattutto film di ossido), segregazione dei soluti (Fig. 2) [1, 2]. La struttura del materiale ne determina l'insorgere di un serio problema di utilizzo nel caso, ad esempio, di produ-

zione di placche per la realizzazione di prodotti che richiedono particolari caratteristiche superficiali (litografia, AQ, prodotti laminati lucidi). Lo strato superficiale delle placche viene, quindi, fresato prima della laminazione.

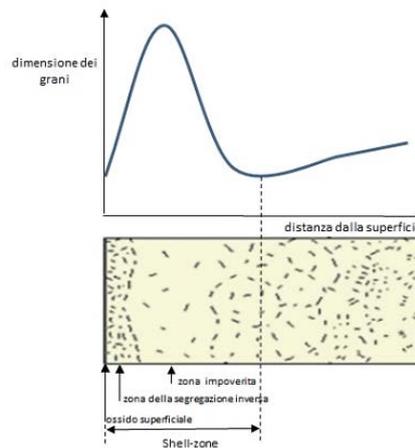


Fig.2 - schematizzazione della "shell-zone" nelle varie sezioni. / Schematization of the "shell zone" in the various sections.

Noto che esiste una relazione lineare tra lo spessore della "shell zone" e l'altezza del metallo nella lingottiera, il controllo dello spessore può essere eseguito, a parità dei pa-

rametri di processo e di composizione chimica della lega, modulando opportunamente il livello del fuso nella lingottiera (Fig. 3).

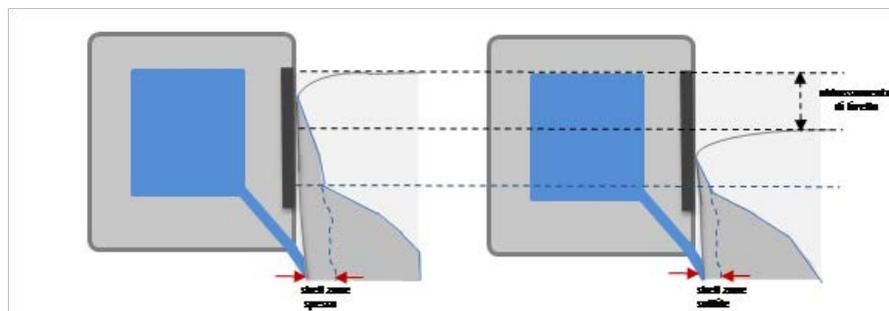


Fig.3 - Schema di riduzione del livello del metallo fuso in lingottiera. / Scheme of the level reduction of the melted metal in the mould.

D'altra parte, utilizzando un livello di metallo troppo basso, il raffreddamento secondario distorce il guscio e il fronte di solidificazione avanza fino al menisco con conseguente

allontanamento del solido dalla parete dello stampo; simultaneamente, il metallo liquido fresco lambisce la superficie formando una piega fredda (Fig. 4-5).

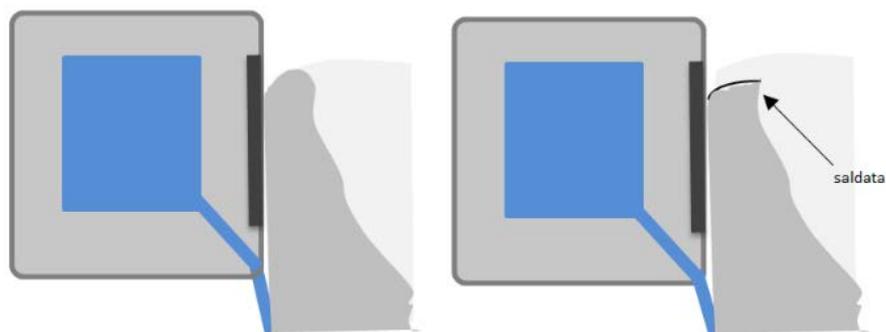


Fig.4 - Schematizzazione di formazione di una piega fredda. / Schematization of a cold shut formation process.



Fig.5 - Immagine di piega fredda sulla superficie di una placca in lega AA8006. / Picture of a cold shut on the surface of AA8006 plate.

Al contrario, con un livello troppo alto, si forma un "volume vuoto", a cui si è accennato in precedenza, molto ampio, che a causa del ridotto scambio termico tra guscio e stampo, può determinare una rifusione locale che, risolidifican-

dosi, potrà arricchirsi degli elementi di alligazione (Fig. 6-7). In questo caso si osserveranno sulla superficie della placca bolle isolate, bande o essudazioni.

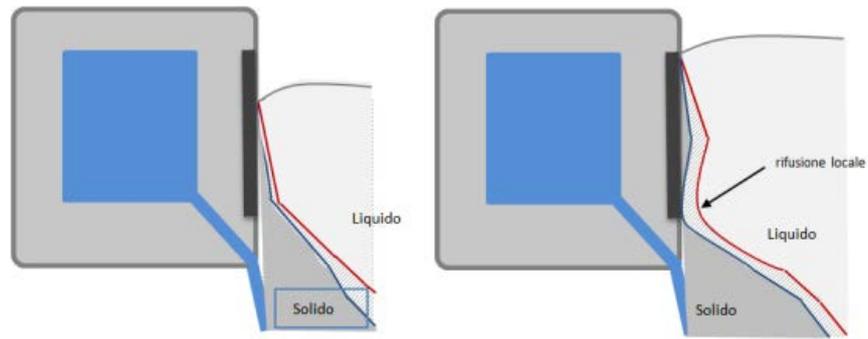


Fig.6 - Schematizzazione della formazione di essudazione. / Schematization of the sweat phenomenon development.



Fig.7 - Immagini di vari tipi di essudazioni su placche. / Picture of different visible sweat phenomena on the plaques.

Si rende necessaria, quindi, la misurazione della variazione del livello del metallo in lingottiera e quindi un suo preciso controllo con sensori laser di livello, collegati a un attuatore che regola il flusso del metallo che arriva in lingottiera.

MATERIALI E METODI

I campioni analizzati sono stati prelevati da placche prodotte da una miscela di rottame in lega e pani da rifusione. Il metallo liquido ottenuto è stato trasferito nel forno di attesa, dove è stato scorificato e purificato dagli elementi alcalini, come Na, Ca e Li. Dopo il processo di alligazione, il bagno è stato trattato mediante rotary gas injection (RGI),

immettendo un flusso di Ar e Cl₂ per purificare il bagno da inclusioni gassose e solide. Concluso il controllo della composizione chimica della specifica lega, il metallo è stato colato con il processo di colata semicontinua, utilizzando una macchina di colata con lingottiera in grafite raffreddata ad acqua e un sistema di controllo del livello del metallo in lingottiera.

Il presente lavoro è relativo all'analisi di due leghe di alluminio: AA1200 e AA8006, la cui composizione chimica è riportata nella Tab. 1.

Tab.1 - Composizione chimica delle leghe AA1200 e AA8006. / Chemical composition of the AA1200 e AA8006.

Lega	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Al
1200	1,0 Si+Fe		0,05	0,05	-	-	-	0,1	0,05	99,0
8006	0,40	1,2-2,0	0,3	0,3-1,0	0,1	-	-	0,1	-	resto

Al fine di ridurre lo spessore della "shell zone", sono state apportate delle modifiche ad alcuni parametri del processo di colata standard, quali la velocità di colata (industrialmente definita velocità di discesa) e il livello del metallo fuso. L'estensione della "shell zone" e la microstruttura generatesi a seguito delle modifiche apportate sono state valutate mediante microscopio ottico Leica Z16APO. Nello specifico, l'analisi metallografica è stata effettuata utilizzando una soluzione acquosa costituita da 20% HNO₃, 20% HCl, 15% HF in peso. Inoltre sono state effettuate delle analisi durante

la fase di colata mediante spettrometro ARL™ Metal Analyzer 720 (Thermo Scientific).

RISULTATI E DISCUSSIONE

ANALISI LEGA AA1200

In Tab. 2 sono riportati i parametri utilizzati per il processo di colatura semicontinua della lega AA1200, caratterizzata da un rapporto Fe/Si (3:1) e una percentuale di Al min 99,0%, e i difetti emersi.

Tab.2 - Parametri di colata e difetti emersi sulla lega AA 1200. / Casting parameters and visible defects on the AA 1200.

	Velocità di discesa [mm/min]	Livello del metallo [mm]	Estensione shell zone [mm]	Temperatura del metallo [°C]	Portata dell'acqua [l/min]	Difetti superficiali
Condizione iniziale	50	80	12	700-705	3700-3800	Essudazioni trasversali
Prima modifica	60	80	17	700-705	3700-3800	Essudazioni trasversali
Seconda modifica	60	70	7	700-705	3700-3800	-

L'aumento della velocità da 50 a 60 mm/min, a parità del livello del metallo fissato a 80 mm, sposta il fronte di solidificazione primario verso il basso, di conseguenza la quantità del metallo liquido sovrastante aumenta i fenomeni di rifusione e segregazione inversa che accrescono la "shell zone". È necessario quindi diminuire il livello del metallo liquido a 70 mm, fissata la velocità di discesa a 60 mm/min, per ridurre tali effetti e osservare una riduzione della "shell zone" a 7 mm. Per limitare l'innescio di fenomeni come

l'essudazione è importante raffinare i grani. Dall'analisi metallografica è emerso che, affinando il metallo mediante piccole quantità di Ti-B (5:1) utilizzando il processo standard di colata, la dimensione dei grani è piuttosto grande (0,4 – 2 mm), come riportato in Fig. 8a. D'altra parte, adottato il processo modificato e aumentando la quantità di vergella affinante, si è visto che la dimensione dei grani diminuisce fino a 0,1-0,01mm (Fig. 8b).

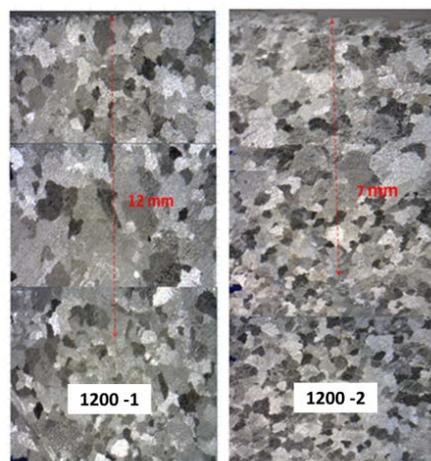


Fig.8 - Microstruttura della lega AA1200 ottenuta: 1200-1) in condizioni standard, ovvero con velocità di discesa di 50 mm/min e livello di metallo di 80mm e 1200-2) in condizioni modificate, ovvero con velocità di discesa di 60 mm/min e livello di metallo di 70 mm. / Microstructure of the AA1200 alloy obtained: 1200-1) in standard conditions, i.e. with a casting rate of 50 mm / min and a metal level of 80mm and 1200-2) in modified conditions, i.e. with a casting rate of 60 mm/min and a metal level of 70 mm.

ANALISI DELLA LEGA AA8006

La struttura della lega AA8008 è influenzata dalla %Si e di %Mn: tanto maggiore è il rapporto Fe/Si tanto più la struttura sarà a grana fine. Come già ricordato, è comunque molto importante affinare il metallo in colata, in quanto si riducono le essudazioni trasversali che soprattutto una lega al Fe

tende ad evidenziare. La lega forma composti intermetallici Al-Fe-Mn-Si che si accrescono quando il tenore di questi elementi aumenta e la temperatura del metallo diminuisce. Per questa lega sono state confrontate placche prodotte variando solo il livello del metallo in lingottiera e mantenendo gli altri parametri di colata costanti.

Tab.3 - Parametri di colata e difetti emersi sulla lega AA 8006. / Casting parameters and visible defects on the AA 8006.

	Velocità di discesa [mm/min]	Livello del metallo [mm]	Estensione shell zone [mm]	Temperatura del metallo [°C]	Portata dell'acqua [m ³ /h]	Difetti superficiali
Condizione iniziale	60	80	10	705-710	3600-3700	Essudazioni trasversali
Prima modifica	60	70	4	705-710	3600-3700	-

Dalla Tab. 3 si nota che abbassando il livello del metallo la struttura della placca ha una "shell zone" meno estesa e una microsegregazione più contenuta, a testimonianza del fatto

che gli effetti di rifusione e segregazione degli elementi di lega sono più blandi, come riportato anche in Fig. 9.

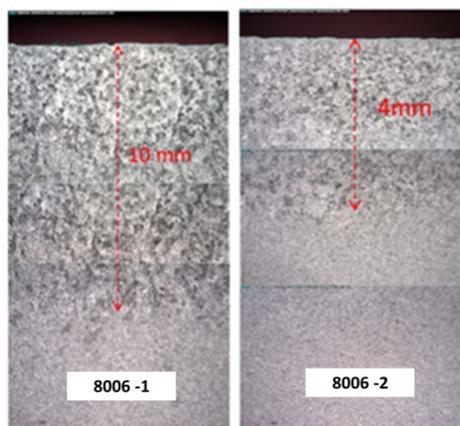


Fig.9 - Microstruttura della lega AA8006 ottenuta: 8006-1) fissando la velocità di discesa a 60 mm/min e livello di metallo di 80 mm e 8006-2) fissando la velocità di discesa a 60 mm/min ma variando il livello di metallo a 70 mm. / Microstructure of the AA8006 alloy obtained: 8006-1) fixing the casting rate at 60 mm/min and the metal level at 80mm and 8006-2) fixing the casting rate at 60 mm/min but changing the metal level at 70mm.

CONCLUSIONI

Come si evince dalle prove condotte, per ridurre lo spessore della shell zone di una placca prodotta in colata semicontinua, è necessario, una volta definita la velocità di discesa e la portata dell'acqua di raffreddamento, regolare il livello del metallo in lingottiera in modo da minimizzare fenomeni di segregazione e rifusione ed evitare che si formino pieghe fredde, indice di un livello del metallo troppo basso. Data una velocità di colata, il livello ottimale si può ottenere o diminuendo progressivamente il livello stesso del metallo

fino alla comparsa di una piega fredda, per poi risalire di pochi millimetri o anche aumentando la velocità alla comparsa della piega fredda. In questo secondo caso, però, si segnala come conseguenza una possibile variazione del profilo della placca, che potrà passare da piano a convesso. Inoltre, nella maggior parte dei casi, risulta importante ottenere strutture a grana fine ed evitare la formazione di macrograni. Tale risultato si raggiunge incrementando la velocità di raffreddamento e tramite l'aggiunta di affinanti.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Eskin and L. Katgerman, "Macrosegregation Mechanisms in Direct-Chill Casting of Aluminium Alloys," Materials Science Forum - MATER SCI FORUM, vol. 630, pp. 193-199, 10/01 2009.
- [2] N. Bayat, "Investigation of Surface Formation in As-Cast and Homogenized 6xxx Aluminium Billets," 259 Doctoral thesis, comprehensive summary, Mid Sweden University doctoral thesis, Mid Sweden

Shell zone analysis of the aluminum alloys produced by means of semicontinuous casting

The "shell zone" is the inner part of the lamination plates close to the surface, it is characterized by a structural and chemical non-uniformity. The risk of gaseous inclusions caused by the solubilisation of hydrogen is significant in this volume. Industrial processes are aimed to reducing the thickness of the "shell zone" to lower it within a few millimetres so that it can be completely removed by the subsequent mechanical milling operation. The parameters that influence the formation of the "shell-zone" are: i) the alloy chemical composition, ii) the casting speed, iii) the amount of the metal in the mould, iv) the temperature, v) the water flow used for the plate cooling. In this study, the effect of the variation of some of the parameters above was evaluated to minimize the thickness of the "shell zone" for plates obtained from a semi-continuous casting of AA1200 e AA8006.

KEYWORDS: SHELL ZONE, ALUMINIUM ALLOYS, SEMI-CONTINUOUS CASTING, SOLIDIFICATION.