

Ottimizzazione del ciclo di produzione di alette clad in lega EN AW 3003 brasate su piastre: l'effetto della dimensione dei grani

F. Bravaccino, A.W. Ipock, C. Sinagra, A. Acquesta, T. Monetta, A. Ferrarese, S. Legnani

Nella produzione di laminati di alluminio e sue leghe si definiscono cicli di lavorazione tali da assicurare una struttura con grani di dimensione fine ed omogenea che determina le proprietà meccaniche necessarie per la realizzazione di numerose tipologie di manufatti. In alcuni casi, però, l'esigenza può essere completamente diversa. La lega ENAW3003 può essere impiegata per la produzione di alette di raffreddamento che devono essere brasate sulle piastre dello scambiatore di calore utilizzati per la produzione di impianti di condizionamento. Esse sono costituite da laminati di alluminio clad composti da un tri-layer 4XXX/3000/4XXX. In questi casi, al fine di ottenere una corretta brasatura, è necessario aumentare la dimensione dei grani, ed allo stesso tempo, garantire il persistere di buone proprietà meccaniche al manufatto. Lo scopo del lavoro è stato quello di determinare quali variazioni di composizione della lega 3003 e/o di processo bisogna attuare per ottenere una buona brasatura. I test effettuati riducendo la quantità di affinanti nella lega 3003, che sembrava la soluzione più logica, non ha determinato risultati soddisfacenti. Un nuovo approccio al problema è stato valutato variando la concentrazione del ferro, silicio e manganese nella lega. Questa soluzione, unita alla riduzione del rapporto di incrudimento del materiale dal 40% al 30%, ha permesso di ottenere dimensioni dei grani adeguate al fine di ottenere una efficace brasatura.

PAROLE CHIAVE: SCAMBIATORI DI CALORE, BRASATURA, DIMENSIONE DEI GRANI, EN AW 3003

INTRODUZIONE

Nella produzione di scambiatori di calore del tipo tube/fins è necessario brasare gli elementi costituenti la piastra (tube), prodotta con materiale cladd (tri-layer 4XXX/3000/4XXX), con le alette corrugate un-clad prodotta, normalmente, con la lega EN AW 3003 come da immagine in figura 1.

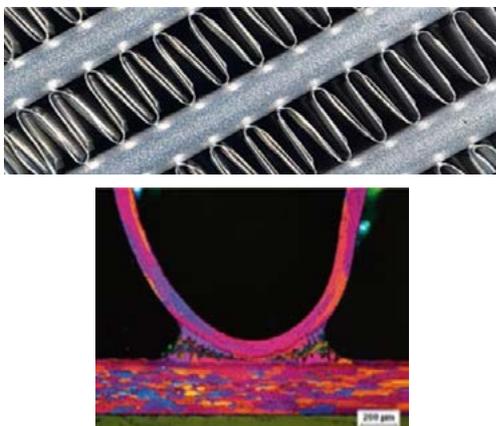


Fig.1 - Tipica sezione di uno scambiatore tube/fins ottenuto per saldobrasatura e particolare dell'aletta brasata.

Francesco Bravaccino,
Anthony W. Ipock, Ciro Sinagra
Laminazione Sottile, Caserta

Annalisa Acquesta, Tullio Monetta
Università degli studi di Napoli Federico II, Napoli

A. Ferrarese, S. Legnani
IBS Technology S.p.A. - R&D Dpt Tradate, Varese

Tenere sotto controllo la struttura del laminato in lega AW EN 3003 e la dimensione del grano è importantissimo per ottenere una buona saldatura tra tube (piastra) e fins (aletta corrugata). In particolare, contrariamente a tante applicazioni (ove al fine di ottenere delle buone caratteristiche meccaniche del laminato si tende ad una struttura metallurgica a grani di piccole dimensioni) per questo processo non bisogna avere una struttura troppo fine. La realizzazione degli scambiatori di calore prevede una serie di fasi di processo che partono dalla lavorazione della materia prima fino al collaudo dell'elemento finito. Lo scambia-

tore di calore è realizzato interamente in alluminio ed è costituito da diverse componenti interconnesse tra loro attraverso processi di formazione di giunti di brasatura e saldatura. Un esempio della struttura di uno scambiatore di calore prodotto da IBS Technology è riportato nella Fig. 1.

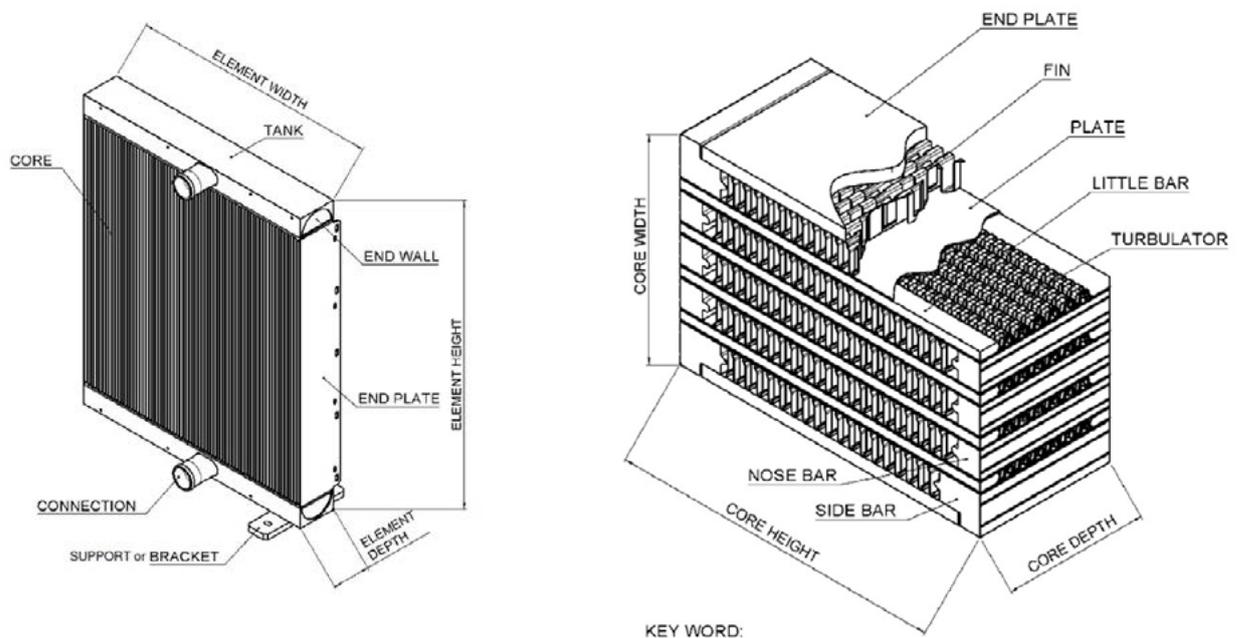


Fig.2 - Struttura di uno scambiatore che calore / The structure of a heat exchanger.

La realizzazione dei singoli componenti prevede l'uso di materia prima in formato di nastri, lamiere o barre che prevedono una serie di fasi di lavoro per raggiungere il formato finale. Le masse radianti, in particolare, sono realizzate manualmente assemblando, un componente dopo l'altro, l'intero elemento centrale dello scambiatore. La giunzione tra le varie parti viene effettuata attraverso un processo di brasatura. Il sistema è poi contenuto all'interno di due telai in acciaio, per garantire un peso costante nel processo di brasatura e stabilità all'insieme, vincolandolo con delle fascette in acciaio per tenere i compo-

nenti in posizione fino al successivo trasporto al forno. La massa radiante viene brasata per consentire che le diverse placche brasanti, collocate tra un canale e il successivo, permettano la formazione dei giunti di brasatura sull'intero elemento, collegando tra loro i singoli componenti in un blocco unico di materiale.

Lo schema di flusso del processo di lavoro per la realizzazione dello scambiatore è così costituito dagli step riportati nel seguito:

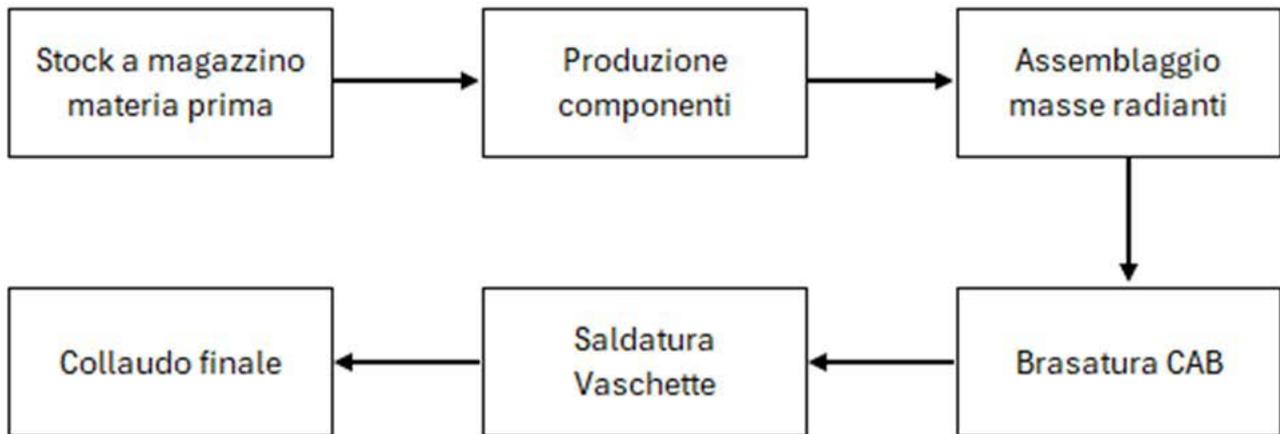


Fig.3 - Schema di flusso del processo di lavoro per la realizzazione dello scambiatore / Flow diagram of the work process for the construction of the exchanger.

Le masse radianti sono realizzate manualmente assemblando un componente dopo l'altro l'intero elemento centrale dello scambiatore di calore. Il sistema è poi contenuto all'interno di due telai in acciaio, per garantire un peso costante nel processo di brasatura e stabilità all'insieme, vincolandolo con delle fascette in acciaio per tenere i componenti in posizione fino al successivo trasporto al forno.

Al forno CAB, le masse radianti sono collocate su delle gabbie (rack) verticali per essere trasportate all'interno del processo di brasatura. Qui, attraversando le diverse camere di processo del forno – 2 Dryer, Vacuum Loading Chamber, Pre-Heat, Brazing, Vacuum Cooling Chamber, Air Cooling Chamber – la massa radiante viene brasata permettendo che le diverse placche brasanti collocate tra un canale e il successivo permettano la formazione dei giunti di brasatura sull'intero elemento, collegando tra loro i singoli componenti in un blocco unico di materiale. Successivamente si effettua una lavorazione meccanica di fresatura meccanica sui bordi per realizzare le sedi di

contatto tra le vaschette e le masse che dovranno essere saldate. Effettuata un'operazione di puntatura manuale per tenere in posizione le parti da saldare, attraverso l'uso di robot di saldatura vengono unite le vaschette di raccolta del fluido alla massa radiante.

Lo scambiatore così completato è poi sottoposto ad un controllo ad una fase di collaudo finale. L'elemento è messo in pressione con aria compressa alla pressione richiesta dal cliente finale (in funzione del sistema su cui sarà installato e delle condizioni di esercizio a cui dovrà essere sottoposto) e immerso in vasche d'acqua per assicurarci che non ci siano perdite nel circuito. Il controllo è eseguito tramite ispezione visiva da parte di operatori qualificati.

PARTE SPERIMENTALE

Le specifiche richieste al laminato di alluminio in lega EN AW3003 e le specifiche meccaniche richieste sono qui di seguito riportate (tabella 1):

Tab.1 - Limiti di specifica per la lega EN AW 3003 secondo la UNI EN 573 / Specification limits for alloy EN AW 3003 according to UNI EN 573.

Fe	Si	Mn	Mg	Cu	Zn	Al	Alloy
0.7 Max	0.6 Max	1.0 ÷ 1.5	0.05 Max	0.05÷ 0.20	0.10 Max	Rest	3003 or AlMnCu

PROPRIETÀ MECCANICHE RICHIESTE:

Tab.2 - Limiti di specifica delle caratteristiche meccaniche su materiale finito di laminazione in stato fisico H14 e dopo ciclo di brasatura a 600°C per 1h. / Specification limits of mechanical properties on finished sheets in temper H14 and after brazing simulation cycle at 600°C for 1h in oven.

ID	spessore (mm)	UTS (N/mm ²)	YS (N/mm ²)	A50 (%)	Direzione ripetto al senso di laminazione	Note
Spec.	0,200 -0 / +0,024	140 ÷ 178	120 min.	2 min.	90°	Stato fisico H14
		96 ÷ 132	34 min.	18 min.	90°	Dopo simulazione brasatura a 600°C -1 h

Sono stati quindi progettati due cicli di lavoro per due diversi master coil:

MASTER COIL A

- Laminato a caldo a spessore 6mm
- Laminato a freddo fino a spessore 0.35mm
- Ricottura di ricristallizzazione completa (400°C per 5 ore) a spessore 0.35 mm
- Laminazione a freddo a spessore 0.21mm

MASTER COIL B

- Laminato a caldo a spessore 6mm
- Laminato a freddo fino a spessore 0.50mm
- Ricottura di ricristallizzazione completa (400°C per 5 ore) a spessore 0.50 mm
- Laminato a freddo fino a spessore 0.30mm
- Ricottura di ricristallizzazione completa (400°C per 5 ore) a spessore 0.30 mm
- Laminazione a freddo a spessore 0.21mm

ANALISI CHIMICA

Tab.3 - Composizione chimica dei due master coil adoperati per i cicli di lavoro A e B / Alloy chemical composition of the two master coils used for the metalworking cycles A and B.

Id.	Fe	Si	Mn	Mg	Cu	Zn	Ti	Al
Campione A	0.58	0.12	1.11	0.02	0.06	0.03	0.005	98.04%
Campione B	0.54	0.23	1.12	0.004	0.07	0.001	0.004	97.98%

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Tab.4 - Caratteristiche meccaniche a trazione dei due master coil A e B nelle due direzioni parallela e ortogonale alla direzione di laminazione e dopo test di brasatura / Tensile strength mechanical testing of the two master coils A and B in the two directions (parallel and orthogonal to Rolling direction) and after brazing test.

ID	spessore (mm)	UTS (N/mm ²)	YS (N/mm ²)	A50 (%)	Direzione ripetto al senso di laminazione	Note
CAMPIONE A	0.220	160.4	155.1	4.01	0°	H14
	0.220	152.9	137.6	2.51	90°	H14
	0.220	117.6	64.1	29.64	0°	Dopo simulazione brasatura a 600°C -1 h
CAMPIONE B	0.216	156.5	153.5	5.34	0°	H14
	0.216	155.3	154.2	4.42	90°	H14
	0.216	104.5	64.23	23.50	0°	Dopo simulazione brasatura a 600°C -1 h

Analisi metallografica a spessore 0.21mm

CAMPIONE A

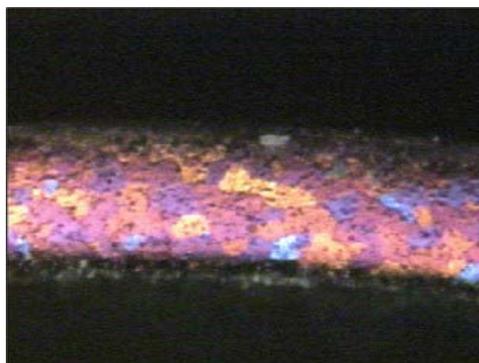


Fig.4 - Metallografia in cross section del campione A in stato H14 dopo attacco barker sotto luce polarizzata / Metallographic picture in cross section of sample A in temper H14 after barker etching under polarising light.

STRUTTURA A SPESSORE 0.21mm prima della brasatura – attacco fluoborico luce polarizzata – x100



Fig.5 - Dopo simulazione brasatura 600 °C x 1h - 100x / After brazing sim cycle at 600°C x 1 h – 100x

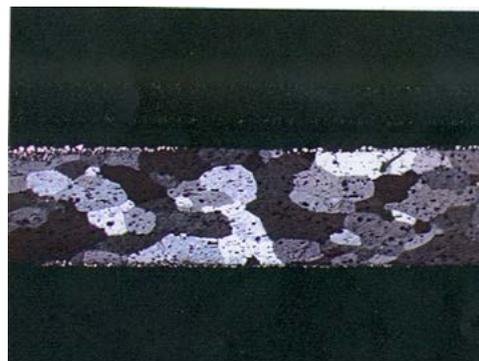


Fig.6 - Dopo brasatura 100 x / After brazing cycle 100x

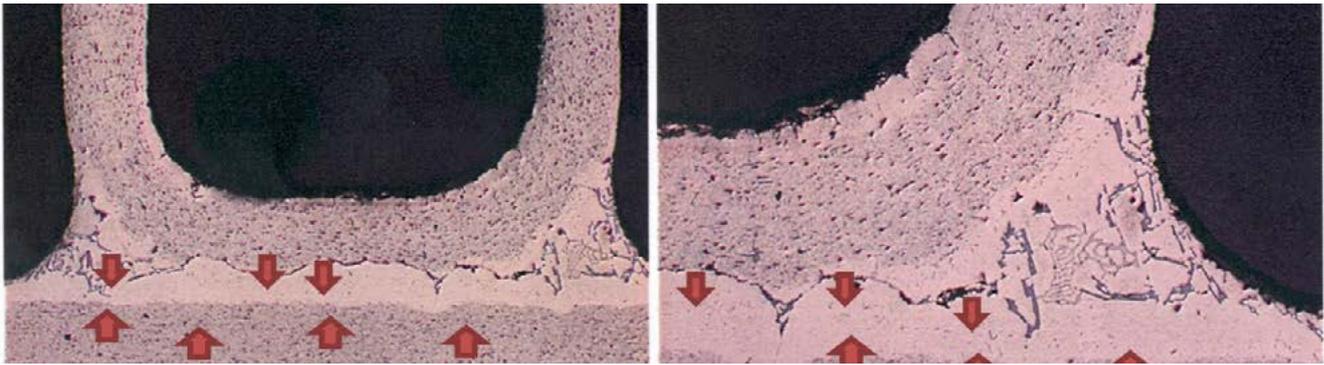


Fig.7 - Brasatura aletta prodotta con campione A – non idonea /
Brazed fin made with sample A – not suitable for heat exchangers.

CAMPIONE B



Fig.8 - STRUTTURA A SPESSORE 0.21mm prima della brasatura – attacco fluoborico luce polarizzata – x100 /
Metallographic picture in cross section of sample B in temper H14 after barker etching under polarised light –
100x

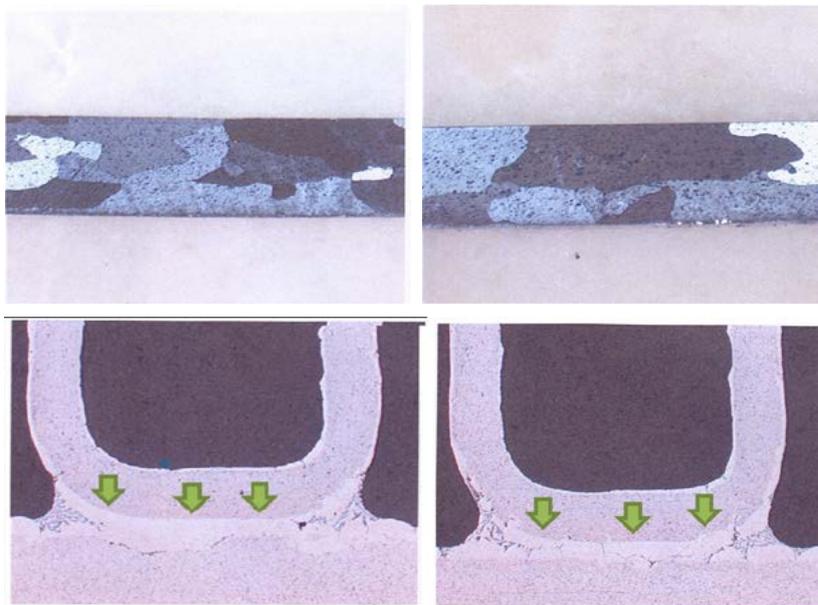


Fig.9 - Brasatura dell'aletta fatta con campione B – idonea / Brazed fin made with sample B – suitable for heat exchangers.

CONCLUSIONI

Le prove condotte con presenza di titanio consentivano una dimensione dei grani che è apparsa insufficiente per garantire una brasatura con caratteristiche qualitative

adeguate. Le prove eseguite con la lega modificata conducono ad una dimensione granulare con un esito positivo in brasatura.

RIFERIMENTI

- [1] ASM Specialty Handbook – Alluminium and Aluminum Alloys
- [2] Manuale dei materiali per l'ingegneria Aimat - McGraw-Hill
- [3] Alluminium Alloy Structures M. Mazzolani - E & FN SPON
- [4] Manuale di fonderia d'alluminio C.Panseri - Ulrico Hoepli
- [5] I processi di raffinazione per la produzione di leghe per getti di qualità A.Alti – Alcan - Alluminio
- [6] Il controllo di qualità nella produzione di laminati sottili di lega di alluminio: un fattore fondamentale per il loro sviluppo tecnologico e applicativo C.Sinagra – XII International Metallurgy Congress
- [7] Fenomeni di attrito ed usura durante la laminazione dell'alluminio C.Sinagra – Lamiera n. 10/90
- [8] Uno sguardo all'interno dell'alluminio D. Altenpohl – Tecnomedia

Optimising the production cycle of fins made of clad EN AW 3003 alloy brazed on plates: grain size effect

Processing cycles to produce rolled aluminium and its alloys are identified in such a way as to ensure a alloy structure showing fine and homogenous grain size that determines the mechanical properties required to produce numerous types of manufactured products. In some cases, however, the requirement may be completely different. Alloy ENAW3003 can be used to produce cooling fins that must be brazed onto heat exchanger plates used in the production of air conditioning systems. They consist of aluminium clad laminates composed of a 4XXX/3000/4XXX tri-layer. In these cases, to achieve a correct brazing, it is necessary to increase the grain size, and at the same time, ensure that good mechanical properties persist in the part. The aim of the work was to determine what changes in 3003 alloy composition and/or process must be implemented to achieve good brazing. Tests carried out by reducing the amount of refiners in the 3003 alloy, which seemed the most logical solution, did not lead to satisfactory results. A new approach to the problem was evaluated by varying the concentration of iron, silicon and manganese in the alloy. This solution, combined with a reduction in the work hardening ratio of the material from 40% to 30%, resulted in adequate grain sizes for effective brazing.

KEYWORDS: HEAT EXCHANGERS, BRAZING, GRAIN SIZE, EN AW 3003

[TORNA ALL'INDICE >](#)