

## **Sommario**

L'alluminio sta progressivamente acquisendo sempre maggiore importanza nelle applicazioni industriali di ogni genere. L'alluminio e le sue leghe possono essere unite tramite il processo di brasatura in un modo efficace ed economico. Il seguente articolo descrive i principali metodi di brasatura delle leghe di alluminio, prestando particolare attenzione alla brasatura in forno in atmosfera protettiva: questo metodo, infatti, è sicuramente quello sviluppato più di recente ed offre maggiori spunti per eventuali sviluppi. Ad esempio, il basso costo di brasatura e l'ottima qualità della giunzione ottenuta offrono l'opportunità di utilizzare e sviluppare particolari paste brasanti per l'alluminio per ogni tipo diverso di metodologia di brasatura.

## **Introduzione**

Lo sviluppo dell'alluminio come metallo utilizzato in applicazioni industriali è avvenuto negli ultimi 100 anni. Nel 1980 la produzione di alluminio superò quella di rame, zinco e piombo messi insieme. L'aumento di interesse nei confronti dell'alluminio è senza dubbio da attribuire alle caratteristiche del metallo stesso, in particolare la possibilità di produrre differenti leghe di alluminio con differenti caratteristiche tra loro. In tabella 1 è riportata una breve selezione delle principali leghe di alluminio. Oltre alla saldatura, anche la brasatura sta continuamente aumentando di importanza tra le tecniche di unione delle leghe di alluminio. Questo perché per molti prodotti il metodo più economico di produzione risulta essere l'utilizzo dell'alluminio ed è quindi sempre maggiore la richiesta di poter fare delle brasature tra alluminio e altri metalli. Di seguito verranno descritte le principali tecniche di brasatura e verranno messe in evidenza le loro principali caratteristiche

<b>Materiali di base</b>	<b>Resistenza N/mm<sup>2</sup> Valore minimo</b>	<b>Durezza HB N/mm<sup>2</sup> Valore minimo</b>
Al 99,5	Da 70 a 130	da 180 a 330
AlMn	Da 100 a 160	da 250 a 400
AlMg3	Da 180 a 260	da 40 a 750
AlMgSi	Da 110 a 320	da 350 a 950
AlCuMg2	Da 180 a 440	da 550 a 1100
AlZnMg3	440	1200
AlZnMgCu1,5	520	1400

Tabella 1: differenti caratteristiche delle leghe di alluminio

## **Proprietà**

A causa della sua bassa densità, l'alluminio è definito come un metallo leggero, questo lo distingue da altri elementi come il rame, il ferro, l'argento, denominati di solito metalli pesanti. Nella tabella 2 sono elencate le caratteristiche dell'alluminio in confronto con quelle dei metalli pesanti.

L'alluminio puro ha una bassissima resistenza alla trazione,  $70 \text{ N/mm}^2$ , decisamente inferiore rispetto ai  $360\text{-}550 \text{ N/mm}^2$  tipici di una lega come il St 37.

Anche la durezza è decisamente inferiore (Hb 2,5 contro HB 30 del St 70).

Facendo riferimento alla tabella 1, si nota come si può aumentare la durezza passando alle leghe di alluminio, ma anche in questo caso siamo molto distanti dall'acciaio.

Se l'alluminio viene ricoperto da un sottile strato di ossidi, aumenta la durezza stessa, inoltre la superficie è molto resistente ad attacchi chimici. Tuttavia questo strato di ossidi impedisce un corretto processo di brasatura, infatti l'alluminio fonde  $660^\circ\text{C}$  (le leghe di alluminio tra i  $550$  e  $660$ ), mentre gli ossidi di alluminio resistono almeno fino a  $2000^\circ\text{C}$ .

Da un punto di vista elettrochimico, l'alluminio ha un potenziale negativo rispetto ai metalli pesanti. Addirittura lo zinco, l'anodo per eccellenza tra metalli pesanti, ha un potenziale positivo rispetto all'alluminio. Questo implica che la giunzione tra alluminio e metalli pesanti può dare dei problemi da un punto di vista della corrosione. Leghe di alluminio che contengono metalli pesanti hanno una resistenza inferiore alla corrosione rispetto all'alluminio puro.

	<b>Fe</b>	<b>Al</b>	<b>Cu</b>	<b>Unità di misura</b>
Numero e peso atomico	26 / 55,85	13 / 26,97	29 / 63,54	-
Densità	7,86	2,7	8,93	$\text{g/cm}^3$
Conducibilità elettrica	10	37	56	$\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$
Conducibilità termica	0,16	0,5	0,94	$\text{Cal/cm s grd}$
Coef. di espansione termica	12	24	17	$10^{-6}\text{m/m grd}$
Punto di fusione	1536	660	1083	$^\circ\text{C}$
Calore latente di fusione	65	92	41	$\text{Cal/g}$

Tabella 2 : proprietà chimiche dell'alluminio comparate con ferro e rame

## **Leghe brasanti**

Le comuni leghe brasanti utilizzate per la brasatura dei metalli pesanti non possono essere utilizzate per l'alluminio e le sue leghe. Questo per due motivi principali:

- le loro temperature di lavoro/fusione superano quelle del metallo di base
- il giunto finale avrebbe una resistenza alla corrosione inferiore rispetto al metallo base.

Di conseguenza, sono utilizzate leghe brasanti a base di alluminio, contenenti almeno il 70% di Al e con all'interno solo tracce di metalli pesanti. Per questo motivo, queste leghe hanno temperature di fusione molto simili ai metalli di base e questo è causa di una serie di problemi che andremo a discutere successivamente.

La lega maggiormente utilizzata è una combinazione di alluminio e silicio dove il contenuto di Si varia da 7 a 13%. Queste leghe sono soddisfacenti sia da un punto di vista di resistenza alla tensione sia alla corrosione. L'intervallo di temperatura solidus liquidus di queste leghe varia da 575 a 615 °C (per la lega più comune AlSi12 l'intervallo è 575-590 °C). In particolare, la lega AlSi12 (Alubraze L88/12) ha una ottima resistenza alla corrosione e la temperatura del liquidus coincide con la temperatura di lavoro. Dato che nella brasatura è fondamentale che durante il processo non avvenga la fusione del metallo di base, deve essere prestata particolare attenzione alla scelta della lega brasante: essa deve avere una temperatura di liquidus inferiore al solidus del metallo di base. Per questo motivo, solitamente solo l'alluminio puro o il metallo AlMn1 (solidus di 640 °C) vengono brasati con leghe AlSi. In tabella 3 viene rappresentato lo schema per capire se una lega di alluminio può essere sottoposta o meno a brasatura .

<b>Materiali</b>	<b>Idoneo a brasatura</b>	<b>Idoneo a saldatura</b>	<b>Commenti</b>
Alluminio puro	Si	Si	
AlMn	Si	Si	
AlMg	Poco	Si	La difficoltà aumenta con il contenuto di Mg sopra lo 0,6%
AlMgSi	Si	Si	
AlCuMg AlZnMg AlZnMgCu	no	possibile	

Tabella 3 : idoneità alle diverse giunzioni

## **Tecniche di brasatura**

Dopo aver individuato la corretta lega brasante, è necessario capire quale metodo deve essere utilizzato per rimuovere dalla superficie da brasare gli ossidi. Può essere utilizzato del disossidante, una atmosfera protettiva, oppure il vuoto.

Dato che l'alluminio ha una ottima affinità con l'ossigeno, sulla superficie del metallo si deposita sempre uno strato di ossidi non appena il materiale è esposto all'aria. Questo strato di ossidi protegge l'alluminio dalla corrosione.

Al fine di brasare, però, tale strato di ossidi deve essere rimosso, e per far questo abbiamo tre possibilità:

- dissolvere gli ossidi
- ridurre gli ossidi
- rimuovere meccanicamente gli ossidi

Ovviamente, una volta rimossi gli ossidi, bisogna fare in modo che tale ossidi non si riformino prima che il processo di brasatura non sia finito.

## **Brasatura sotto vuoto**

Nella brasatura sotto vuoto, lo strato superficiale di ossidi presente nell'alluminio non viene rimosso dal vuoto stesso, ma attraverso il meccanismo descritto di seguito.

Il coefficiente di espansione lineare dell'alluminio è circa tre volte superiore a quello degli ossidi di alluminio. Perciò, durante il riscaldamento, a causa dei diversi coefficienti di espansione lineare, lo strato superficiale tende a creparsi. Attraverso le micro-fessure che si formano, la lega allo stato liquido è in grado di penetrare all'interno dello strato di ossidi e di bagnare la superficie del metallo libera da ossidi. All'interno del forno, quindi, deve esserci la totale assenza di ossigeno. Per questo il vuoto all'interno deve essere almeno dell'ordine di  $10^{-4}$  mbar, oppure bisogna provvedere ad inserire all'interno del forno un "catalizzatore" di ossigeno come ad esempio il Magnesio. Questo processo è molto costoso e per questo motivo non è così diffuso per la brasatura dell'alluminio.

## **Brasatura usando il Flux**

La norma DIN 8511 distingue due tipi di disossidante (flux) per la brasatura dell'alluminio:

1) Tipo F-LH 1 (Alubraze F30/70):

Flux costituito per lo più da fluoruri e cloruri di litio.

I residui di flux sono corrosivi e devono essere lavati via dopo la brasatura utilizzando acido nitrico diluito in acqua. Attivo già a 500°C ha una ottima proprietà disossidante, funziona anche con il metallo di base AlMg3.

2) Tipo F-LH 2 (Alubraze F30/80):

Flux non idroscopico i cui residui non sono corrosivi e quindi non devono essere lavati via dopo la brasatura.

Attivo dalla temperatura di 570°C può essere utilizzato solo con leghe il cui contenuto di Mg è inferiore allo 0,9%.

Vediamo ora le principali tecniche di brasatura con l'utilizzo del disossidante:

a) Brasatura a fiamma.

In questo caso il riscaldamento avviene tramite un cannello. Qualsiasi gas di uso comune può essere utilizzato. Nel caso di brasatura manuale, le parti sono prima ricoperte di flux, successivamente riscaldate fino alla temperatura di brasatura, e quindi viene aggiunta manualmente la lega brasante. In molti casi la lega viene utilizzata sotto forma di preformato, in questo caso viene posizionata all'inizio del processo prima di mettere il flux. Nel caso di grandi serie, si può utilizzare una forma di riscaldamento automatico in macchine denominate a giostra.

In alcuni casi può essere possibile l'utilizzo della lega brasante in forma di pasta. In questo caso deve essere fatta particolare attenzione al controllo della temperatura di processo e spesso è necessario l'utilizzo di un pirometro ottico per la misura della temperatura.

Le paste brasanti sono una miscela omogenea polvere di lega, disossidante e legante. Il legante serve a rendere la pasta pronta all'uso, ovvero può essere messa direttamente sui pezzi senza colare; inoltre ad una determinata temperatura il legante deve evaporare senza lasciare traccia.

Le paste brasanti possono contenere sia disossidante corrosivo che non corrosivo (Alubraze P20/45). Quelle con flux corrosivo si usano con il cannello e quando la superficie dopo la brasatura deve restare brillante.

b) Brasatura ad induzione.

La brasatura ad induzione per l'alluminio viene specialmente utilizzata per l'applicazione del fondo delle pentole. In questo caso di solito una base di alluminio viene applicata sul fondo di una pentola in acciaio inox. La procedura viene descritta di seguito.

Il flux in pasta viene diluito con acqua o un mix di acqua e alcool. Il composto ottenuto viene spalmato sul fondo della pentola. A questo punto la polvere di lega AlSi12, con dimensione dei grani 100-315 microns, viene cosparsa sopra alla pasta. A questo punto si applica il disco di alluminio sul fondo della pentola ed il tutto viene mantenuto in contatto sotto una forza in pressione. Si avvicina quindi la spirale dell'induzione che inizia a riscaldare. La polvere inizia a fondere e bagna sia l'alluminio che l'acciaio inox. Al termine della brasatura, la pressione viene mantenuta anche durante la fase di raffreddamento. I residui della brasatura devono quindi essere rimossi meccanicamente. Di solito si utilizza un flux non corrosivo, oppure, per velocizzare la fase iniziale di applicazione, si può utilizzare una pasta brasante che contiene già il disossidante. In alcuni casi al posto della polvere di lega AlSi12 con il disossidante in pasta, possono essere utilizzati dei preformati a forma di disco che contengono insieme lega e flux non corrosivo.

c) Brasatura in un bagno di sale.

In questo caso, tutto il pezzo già assemblato viene immerso in un bagno di sale fuso che fa la funzione di disossidante. Nel pezzo sono posizionati dei preformati nei punti di brasatura, oppure si possono utilizzare dei componenti già rivestiti di lega brasante. Questo processo offre i seguenti vantaggi: ottima disossidazione delle parti; ottimo trasferimento di calore in tutte le parti, anche le più complesse; le tolleranze sono mantenute durante la brasatura; possibilità di brasare insieme più punti contemporaneamente. Gli svantaggi sono invece: processo inquinante nei confronti dell'ambiente (produzione di vapori corrosivi, utilizzo di grandi quantità di flux); i pezzi dopo la brasatura devono essere lavati.

d) Brasatura in forno in aria.

L'utilizzo di un flux corrosivo in un forno può avere degli effetti veramente negativi sul forno stesso. Infatti i vapori corrosivi che sviluppano si depositano sulle pareti interni del forno stesso corrodendo i materiali in modo irreversibile. Tali fumi, inoltre, non possono essere liberamente rilasciati in atmosfera ma devono essere prima neutralizzati. I pezzi all'uscita del forno devono essere lavati per togliere i residui e l'acqua di lavaggio deve essere depurata prima di essere rilasciata nell'ambiente. Per tutti questi motivi tale metodo di brasatura è poco utilizzato.

e) Brasatura in atmosfera protettiva.

In atmosfera di idrogeno la riduzione degli ossidi di alluminio è praticamente impossibile, viene quindi utilizzato il flux non corrosivo.

Con il flux non corrosivo, si può utilizzare come atmosfera protettiva azoto o una miscela di azoto e idrogeno (specialmente se si unisce alluminio e acciaio inox). Tale processo non danneggia le pareti interne del forno e non è richiesto il lavaggio del pezzo alla fine del processo di brasatura.

## **Nuovi sviluppi**

In generale, qualsiasi sia il tipo di processo scelto, la più grande criticità è rappresentata dalla estrema vicinanza tra la temperatura di fusione della lega e quella del metallo di base. Ultimamente sono state sviluppate delle nuove leghe a base di zinco-alluminio e silicio (Alubraze L98/02) che fondono alla temperatura di circa 400°C, ovvero 100°C in meno rispetto alle solite leghe. Tale nuova lega supera questa criticità e quindi è di più facile applicazione.

La lega è molto fluida e può essere utilizzata con un flux non corrosivo.

Tutto il contenuto del presente documento è fornito in modo gratuito. Si è cercato di correggere tutti gli eventuali errori, ma ci scusiamo in anticipo nel caso ci fosse sfuggito ancora qualcosa dopo la pubblicazione. L'utilizzo e l'applicazione di quanto scritto nel presente documento è a discrezione dell'utilizzatore e non è di responsabilità di Italbras SpA. Italbras SpA non è responsabile dell'applicazione dei metodi descritti.