



GUIDA TECNICA SULLA BRASATURA DELL'ALLUMINIO

SOMMARIO

1. Introduzione (principi base della brasatura)

- 1.1 Bagnabilità
- 1.2 Capillarità
- 1.3 Definizioni

2. L'Alluminio

3. Materiale base

- 3.1 Denominazione
- 3.2 Leghe per lavorazioni plastiche
- 3.3 Leghe per fonderia
- 3.4 Corrosione e protezione

4. Geometria dei giunti

5. Lega brasante

- 5.1 Scelta della lega
- 5.2 Considerazioni metallurgiche
- 5.3 Leghe AlSi maggiormente utilizzate

6. Il disossidante

- 6.1 Scelta del disossidante
- 6.2 Caratteristiche dei disossidanti
- 6.3 Corrosione e rimozione dei residui di flux

7. Scelta del processo e dei parametri di brasatura

- 7.1 Brasatura a fiamma
- 7.2 Brasatura in forno ad atmosfera controllata
 - 7.2.1 Assemblaggio del giunto
 - 7.2.2 Pulizia del giunto
 - 7.2.3 Applicazione del flux
 - 7.2.4 CAB
 - 7.2.5 Effetto del magnesio
- 7.3 Brasatura in forno in vuoto

8. Leghe brasanti per alluminio a base ZnAl

- 8.1 Giunto: Alluminio-Rame

1. Introduzione (principi base della brasatura)

La brasatura è un processo di unione di materiali metallici, realizzato per fusione del solo metallo d'apporto detto lega il cui punto di fusione è più basso di quello del metallo base. La brasatura si suddivide in *brasatura forte* in cui il materiale d'apporto ha una temperatura di fusione superiore ai 450 °C, *brasatura dolce* nella quale la temperatura di fusione è inferiore ai 450 °C e *saldobrasatura*. La brasatura forte e dolce sono in grado di assicurare un legame metallurgico tra i materiali in virtù del fenomeno della bagnabilità e della capillarità, nella saldobrasatura è presente solo il fenomeno della bagnabilità.

1.1 Bagnabilità

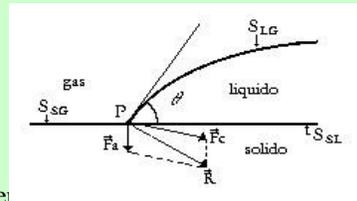
Un metallo si definisce bagnabile da una lega, quando ad una determinata temperatura, la lega è in grado di penetrare a livello intermolecolare nel metallo stesso, creando quindi uno strato superficiale intermedio tra lega e metallo che genera la giunzione degli stessi.

Di solito tale fenomeno avviene sempre alla temperatura di fusione della lega brasante, quindi la bagnabilità avviene quando il metallo di base è ancora allo stato solido, mentre la lega brasante è allo stato liquido. A questa determinata temperatura, la lega è in grado di penetrare a livello intermolecolare nel metallo di base e, viceversa, il metallo di base penetra nella lega fusa. In questo modo si forma uno strato intermedio superficiale tra metallo di base e lega che, al momento del raffreddamento, rappresenta la giunzione stessa. Ovviamente non tutte le leghe sono in grado di bagnare i metalli, devono essere scelte leghe e metalli compatibili, inoltre la superficie di base, per essere bagnata dalla lega, deve essere libera da ossidi e pulita da qualsiasi residuo di olio o sporcizia. Generalmente, per eliminare gli ossidi dalla superficie dei metalli si usano i disossidanti.

La teoria: La bagnabilità è regolata dalle tensioni superficiali agenti secondo piccoli angoli di contatto solido-liquido; le forze di coesione tra le molecole della lega liquida fanno sì che lo strato superficiale sia soggetto ad una forza attrattiva verso l'interno facendone assumere l'estensione minima ovvero quella sferica.

Le molecole sulla superficie della lega liquida possiedono una energia potenziale superiore a quelle dell'interno pertanto per aumentare l'estensione della superficie libera di un liquido occorre spendere un'energia proporzionale all'aumento di superficie. La tensione superficiale di un liquido rappresenta la quantità di energia richiesta per aumentare l'estensione della superficie di una unità mantenendo costante la temperatura del sistema. In presenza del metallo base, esso ha influenza sui valori della tensione superficiale ovvero le sue molecole svolgono attraverso le forze di adesione delle azioni sulle molecole dello strato superficiale del liquido. Quando solido e liquido vengono a contatto a causa delle interazioni tra diverse fasi (solido-liquido) si stabilisce una tensione interfacciale; il profilo di una parte della lega liquida posta sulla superficie del metallo base solido, formerà con essa un angolo θ , che sarà maggiore o minore di 90 ° a seconda che nel punto di contatto P prevalga la risultante delle forze di adesione F_a o quella delle forze di coesione F_c . In definitiva si avranno le seguenti condizioni:

- $F_a > F_c \Rightarrow \theta < 90^\circ$ la superficie è bagnabile
- $F_a < F_c \Rightarrow \theta > 90^\circ$ la superficie è difficilmente bagnabile
- Casi limite: $\theta = 180^\circ$ assenza totale di bagnabilità
 $\theta = 0^\circ$ bagnabilità completa.



La bagnabilità è quindi favorita da: basse tensioni interfacciali, elevate energie superficiali, basse tensioni superficiali, stato di levigatezza e presenza di impurità sulla superficie del materiale stesso.

1.2 Capillarità

La forza di capillarità rappresenta la capacità della lega fusa di penetrare all'interno di tutte le intercapedini presenti nei giunti che si vogliono unire. In questo modo la lega è in grado di riempire tutti gli interstizi realizzando una giunzione completa senza lasciare fori o porosità. La lega, infatti, alla temperatura di brasatura (stessa della bagnabilità) viene attratta all'interno dei giunti che si vogliono unire e può vincere anche la forza di gravità. E' evidente che le tolleranze del giunto che si vuole unire devono essere corrette (né troppo strette, né troppo larghe), e che, quello che fa fede, sono le tolleranze alla temperatura di brasatura e non quelle a temperatura ambiente.

Si è dimostrato che anche la forma del giunto può influire sulla forza di capillarità, infatti forme di giunti triangolari o angolari hanno una forza maggiore rispetto a giunti rotondi o quadrati. In questo caso, per forma geometrica si intende la forma della luce all'interno della quale deve infilarsi la lega brasante al momento della brasatura.

1.3. Definizioni

L'anodizzazione: (detta anche ossidazione anodica) è un processo elettrochimico irreversibile mediante il quale uno strato protettivo di ossido di alluminio si forma sulla superficie del particolare trattato e lo protegge dalla corrosione. Nel materiale avviene una vera e propria trasformazione superficiale: il metallo nudo reagisce con l'ossigeno che si sviluppa all'anodo durante il processo di elettrodeposizione e forma ossido di alluminio o allumina.

La pressofusione: è una tecnica relativamente giovane (le prime presse sono state costruite in questo secolo), ma ha avuto una evoluzione molto rapida. In certe condizioni essa è il mezzo più rapido ed economico per trasformare metalli in manufatti aventi un elevato grado di finitura. Il termine pressofusione è l'abbreviazione di fusione sotto pressione e sinonimo di pressocolata; esso definisce il processo secondo il quale la lega fusa viene colata in una forma metallica (stampo) e soggetta a pressione. I quattro principali metodi di pressofusione sono: la fusione in terra, in conchiglia e per colata a bassa o alta pressione.

L'estrusione: è un processo termomeccanico di deformazione plastica a caldo, in cui la massa metallica costituente la billetta viene portata allo stato pastoso mediante riscaldamento a temperature dell'ordine dei 500°C, e successivamente sospinta al passaggio forzato attraverso un'apertura sagomata, che imprime la voluta forma geometrica.

2. L'Alluminio

L'alluminio ha poco più di cento anni, ciò nonostante è da considerarsi un metallo "recente" se paragonato al ferro e all'acciaio che hanno segnato le tappe fondamentali della civilizzazione dell'uomo e della rivoluzione industriale. L'alluminio, infatti, inizia il suo sviluppo come materiale multiuso, solo in questo secolo. In poco tempo è però riuscito ad imporsi nella società industriale portandosi al secondo posto dopo l'acciaio sia come produzione che come impieghi. L'alluminio, dopo l'ossigeno e il silicio è il terzo elemento più presente sulla terra; eppure, è il più giovane tra i metalli in uso, essendo stato prodotto per la prima volta su scala industriale, solo poco più di cento anni fa.



Fig.: Alluminio

L'alluminio esiste in natura solo sotto forma di composto. Sir Humphry Davy, nel 1807, fu il primo a separarlo dal suo ossido, l'allumina, sebbene solo nella forma di una lega alluminio-ferro, e a dare il nome al metallo. Nel 1825 il fisico danese Oersted riuscì a produrre per primo l'alluminio puro. Dopo una serie di tentativi da parte di vari scienziati, nel 1885 un francese, Henri St. Claire Deville, utilizzò un nuovo metodo termo-chimico che permetteva una limitata produzione industriale di alluminio metallico. Il nuovo strano metallo ebbe un breve successo in gioielleria e nella posateria, e sebbene il suo prezzo si riducesse considerevolmente nei trent'anni successivi, risultava ancora troppo caro per un uso commerciale e il suo impiego restava dominio esclusivo dei facoltosi.

A quel tempo, infatti, l'Imperatore Francese Napoleone III usava coltelli, forchette e cucchiari in alluminio con gli ospiti di riguardo, mentre re Cristiano X di Danimarca indossava una corona fatta in alluminio. La svolta avvenne nel 1886 quando, lavorando in modo indipendente, Paul-Toussant Héroult, in Francia, e Charles Martin Hall, negli Stati Uniti, depositarono separatamente i loro brevetti sul processo di fusione elettrolitica per la produzione di alluminio metallico ottenuto dall'allumina. Furono così poste le basi dei metodi industriali per la produzione di alluminio, usati ancora oggi in tutto il mondo e conosciuti sotto il nome di processo Bayer-Hall-Héroult. La storia dell'alluminio non è comunque conclusa in quanto sono tuttora in corso nuove scoperte volte ad identificare nuovi usi per questo metallo unico nel suo genere. L'alluminio reperibile in natura viene estratto dalla bauxite, minerale molto comune (costituisce circa l'8% della crosta terrestre), che si presenta sotto forma di argilla granulosa o rocciosa di vario colore (rosa, rossa, bruna, grigia). Il nome deriva da Les Baux, località francese sui Pirenei dove fu identificata per la prima volta. Si trova principalmente nelle aree tropicali e subtropicali, è di facile estrazione e i giacimenti sono di solito a cielo aperto.

Il processo di isolamento dell'alluminio, invece, è alquanto complesso e si svolge in due fasi:

1- Fase chimica: la bauxite viene frantumata e ridotta in polvere. Attraverso una serie di processi si ottiene una polvere bianca simile nell'aspetto al sale (ossido anidro di alluminio Al_2O_3) detta comunemente allumina.

2- Fase elettrolitica: l'allumina, mediante l'apporto di energia elettrica viene separata dall'ossigeno riducendosi a metallo fuso che viene successivamente colato in lingotti o addirittura solidificato in prodotti semifiniti. L'alluminio così prodotto è detto alluminio primario, che si differenzia da quello secondario prodotto dal riciclaggio dei rottami di alluminio. Generalmente l'alluminio richiede l'aggiunta di piccole quantità di altri metalli che ne esaltino determinate proprietà. Qualunque sia la lega, il contenuto di alluminio è comunque superiore al 90%. Le riciclabilissime lattine per le bibite, ad esempio, sono fatte con leghe contenenti basse percentuali di magnesio e manganese che migliorano la rigidità e la malleabilità.

Per produrre 1 kg di alluminio si utilizzano 2 kg di allumina e 4 kg di bauxite. Ad oggi le riserve di bauxite garantiscono alluminio per oltre 1000 anni.

L'alluminio ha buone proprietà, ovvero è:

- leggero ma resistente agli urti;
- durevole;
- resistente alla corrosione, quindi atossico e capace di non alterare il gusto e il colore degli alimenti;
- igienicamente sicuro (protegge dalla luce, dall'aria, dall'umidità, dagli odori e dai microrganismi);
- accoppiabile;
- a-magnetico: non è attratto dalle calamite, utilizzato nella realizzazione di apparecchi come radio e radar;
- ottimo conduttore termico;
- eccellente conduttore elettrico;
- riciclabile al 100%.

Il suo impiego va dall'edilizia all'ingegneria aeronautica, dal microchip al veicolo spaziale, dalle tende alla veneziana all'automobile, dalle pannellature agli arredi, dalle linee elettriche esterne o interrate alla base filettata della lampadina, dalle protezioni alle linee telefoniche agli imballaggi, dal foglio di protezione ai tubetti per uso medico ed alimentare, dalle bombolette spray alle pentole.

L'alluminio si presta a molteplici processi di lavorazione grazie alle particolari proprietà tecnologiche che lo rendono particolarmente duttile e malleabile. L'alluminio può essere infatti lavorato a caldo o a freddo, può essere estruso o pressofuso in una grande quantità di forme, può essere trasformato in lamine sottilissime fino a 0,005 mm. Può inoltre essere brasato, saldato o unito con tutti i normali sistemi meccanici. Le lavorazioni più comuni dell'alluminio sono:

- Estrusione
- Laminazione
- Pressofusione

Nei processi di laminazione si producono laminati, nastri, piastre, sbozzati in alluminio e sue leghe, attraverso i cicli produttivi di fresatura e preriscaldamento placche, laminazione a caldo e a freddo, finitura delle piastre e lavorazioni finali delle lamiere e dei nastri di alluminio. E' utilizzato solitamente in pani o sotto forma di estrusi e profilati di varie dimensioni che possono essere impiegati nei più svariati campi di applicazione.

Gli estrusi, infatti, rappresentano la maggior parte dei semilavorati ottenibili dalla lavorazione dell'alluminio poiché il processo di estrusione garantisce una grande libertà progettuale e soprattutto una notevole rapidità ed economicità di produzione. La realizzazione dei profilati avviene attraverso il processo di estrusione.

I profilati, che presentano un profilo costante lungo tutta la lunghezza, devono avere una superficie omogenea che consenta di operare i trattamenti di verniciatura e ossidazione. Il materiale di partenza per il processo di estrusione sono le billette. Le billette vengono riscaldate, pressate contro una matrice d'acciaio forata secondo la sezione che si vuol dare al profilato. Il profilato viene tirato e tagliato ad intervalli regolari per favorirne lavorazioni successive e poi temprato per aumentarne la resistenza. Viene poi stirato e tagliato.

I profili e gli estrusi di alluminio hanno caratteristiche meccaniche migliori rispetto al pressofuso e consentono, grazie alla possibilità di ottenere facilmente elementi e prodotti di lunghezza variabile, il massimo grado di componibilità modulare oltre ad un assemblaggio rapido e semplice conservando grande flessibilità e robustezza. Per questo sono utilizzati soprattutto nella produzione dei serramenti.

La lavorazione dell'alluminio comprende anche il processo di riciclo. E' riciclabile al 100% senza che diminuiscano le sue proprietà e oltretutto è a basso costo. I prodotti in alluminio smantellati, generalmente porte, auto, contenitori, pentole, stampi per dolci e lattine, possono essere rifusi e trasformati nelle billette e nei lingotti per i nuovi prodotti estrusi. Il riciclo ha non soltanto implicazioni economiche importanti, ma contribuisce alla protezione dell'ambiente. Il 60% dell'alluminio usato in Italia proviene dal riciclo.

3. Materiale base

Pochi elementi in natura si prestano a formare un numero così elevato di leghe come l'alluminio. Per migliorare le caratteristiche meccaniche si aggiungono determinati quantitativi di elementi alliganti. Quando si combina con altri elementi, le caratteristiche di questo metallo, che allo stato puro è tenero e duttile, cambiano radicalmente. Ad esempio l'ossido di alluminio o corindone è la sostanza naturale più dura dopo il diamante, con durezza relativa pari a 9 nella scala di Mohs. Per quanto riguarda le leghe metalliche formate dall'alluminio, le peculiarità in comune per tutte sono:

- Bassa temperatura di fusione compresa tra i 510 ed i 650 ° C: il basso punto di fusione limita le applicazioni strutturali dell'alluminio a temperature di esercizio massime di 200-300 °C;
- Basso peso specifico, compreso tra 2,66 e 2,85 g/cm³ contro i 7,9 g/cm³ dell'acciaio;
- Elevatissima conducibilità elettrica e termica;
- Contenuto di alluminio maggiore del 95%;
- Elevata duttilità anche alle basse temperature: grazie alla struttura cristallina cubica a facce centrate è possibile realizzare fogli sottilissimi;
- Resistenza alla corrosione: in ambiente atmosferico le leghe leggere resistono bene alla corrosione generalizzata, ma soffrono di alcuni tipi di corrosione, e per questo vengono trattate con procedimenti come l'anodizzazione o l'applicazione di vernice protettiva.

Gran parte degli elementi metallici sono solubili nell'alluminio, tuttavia rame, silicio, magnesio, zinco e manganese sono i leganti più utilizzati per l'alluminio per costruire le leghe madri; accanto ad essi si possono impiegare elementi che migliorano alcuni aspetti prestazionali delle leghe, conosciuti come correttivi. Si trovano aggiunte, per scopi particolari, piccole percentuali di nichel, titanio, zirconio, cromo, bismuto, piombo, cadmio, scandio ed anche stagno e ferro, quest'ultimo peraltro sempre presente come impurezza. Quando gli elementi sopra menzionati sono aggiunti all'alluminio di base da soli si hanno leghe binarie, quanto aggiunti a due a due o a tre a tre si hanno rispettivamente leghe ternarie o leghe quaternarie. Ogni elemento possiede il suo particolare effetto, per esempio:

Elemento	Caratteristica
Si (silicio)	migliora la colabilità e riduce il coefficiente di dilatazione
Mg (magnesio)	aumenta la resistenza alla corrosione in ambiente alcalino e in mare
Mn (manganese)	aumenta la resistenza meccanica e alla corrosione
Cu (rame)	accresce la resistenza meccanica, soprattutto a caldo
Zn (zinco)	soprattutto se associato al magnesio, conferisce un'elevata resistenza meccanica

3.1 Denominazione

Le leghe di alluminio sono designate in base a due metodi differenti a seconda che esse siano da utilizzare per lavorazione plastica oppure per fonderia. Le prime sono identificate con un numero a quattro cifre seguito da un trattino, una lettera che identifica il tipo di trattamento termico e un numero composto da una fino a quattro cifre che identifica la specifica tempra e invecchiamento. Esempi:

- F : grezzo di laminazione;
- H : incrudito per deformazione a freddo;
- O : ricotto;
- T3 : solubilizzato a caldo, lavorato e freddo ed invecchiato naturalmente;
- T6 : solubilizzato, temprato ed invecchiato artificialmente;
- W : temprato e invecchiato naturalmente.

Le leghe di alluminio per fonderia invece, sono designate con un numero a 4 o 5 cifre con un punto decimale. La prima cifra indica il gruppo di appartenenza, la seconda indica eventuali varianti alla composizione di base, la terza e la quarta contraddistinguono la composizione delle leghe originali mentre la cifra dopo il punto decimale indica il formato (profilati o lingotti).

3.2 Leghe per lavorazioni plastiche

Come già evidenziato, la designazione delle leghe per lavorazione plastica prevede un numero di 4 cifre; tale numero identifica il gruppo al quale la lega appartiene secondo la casistica riportata in elenco:

- Gruppo 1000 (Alluminio): individua l'alluminio puro con un minimo del 99% di contenuto in peso. Sono possibili trattamenti per incrudimento per migliorare le caratteristiche di resistenza a scapito della duttilità e ottenendo un aumento della durezza;
- Gruppo 2000 (leghe Al-Cu): possono essere sottoposte al trattamento termico di indurimento per precipitazione in grado di migliorare le proprietà meccaniche di resistenza. In precedenza venivano chiamate duralluminio. Sono tra le più comuni leghe per uso aerospaziale, soprattutto ove è richiesta buona o ottima resistenza a fatica;
- Gruppo 3000 (leghe Al-Mn): possono essere lavorate per incrudimento. Usate per utensileria da cucina, recipienti e tubi in pressione;
- Gruppo 4000 (leghe Al-Si): leghe da fonderia;
- Gruppo 5000 (leghe Al-Mg): trattabili con lavorazioni di deformazione a freddo per aumentare la durezza unitamente ad una buona resistenza alla corrosione, mostrano doti di buona lavorabilità;
- Gruppo 6000 (leghe Al-Si-Mg): hanno un'ottima lavorabilità con le macchine utensili e possono essere sottoposte al trattamento termico di indurimento per precipitazione, ma non si possono ottenere le caratteristiche che le leghe dei gruppi 2000 e 7000 possono raggiungere. Sono leghe con buona saldabilità, e dunque sono usate nel campo navale, ferroviario, o per la costruzione di telai per biciclette;
- Gruppo 7000 (leghe Al-Zn-Mg): sono leghe molto utilizzate in campo aerospaziale, nelle applicazioni strutturali di forza e sono in grado di raggiungere le migliori caratteristiche meccaniche tra tutte le leghe di alluminio;
- Gruppo 8000 (leghe miste): tra queste importanti sono le leghe Al-Li di minor densità, molto resistenti a fatica, mantengono una buona resistenza statica anche dopo danneggiamento da impatto e rimangono molto tenaci anche a bassa temperatura.

3.3 Leghe per fonderia

La designazione delle leghe di alluminio destinate all'uso in fonderia è riportata nella norma EN1706. La norma prevede diversi gruppi di leghe a seconda che l'elemento di lega principale dopo l'alluminio sia il rame (gruppo 2), il silicio (gruppo 4), il magnesio (gruppo 5) o lo zinco (gruppo 7).

Il gruppo 1 è relativo alle leghe di alluminio puro al 99,5%.

Gruppo	Composizione
21XXX	Al Cu
41XXX	Al Si Mg Ti
42XXX	Al Si7 Mg
43XXX	Al Si10 Mg
44XXX	Al Si
45XXX	Al Si5 Cu
46XXX	Al Si9 Cu
47XXX	Al Si (Cu)
48XXX	Al Si Cu Ni Mg
51XXX	Al Mg
71XXX	Al Zn Mg

3.4 Corrosione e protezione

Per il magnesio il potenziale all'elettrodo e' di -2,3 V ma in soluzione acida diluita scende a -1,7 V perchè si forma uno strato protettivo di MgO. Le leghe di AlMg vengono facilmente attaccate da acidi (eccetto acido cromico e HF che forma uno stato di MgF₂). La resistenza e' invece elevata per gli alcali (se pH>10,5) che e' il valore di saturazione per la soluzione Mg/H₂O/Mg(OH)₂. La presenza di ioni Cl⁻, SO₃⁻⁻ e NO₃⁻ aumentano la corrosione.

Nelle leghe AlMg con impurezze di metalli come Fe, Ni e Cu è maggiormente presente l'innesco alla corrosione perché questi elementi agiscono come catodi in microcelle galvaniche.

La presenza di Ni e Cu in generale non e' pericolosa in quanto nelle leghe la loro percentuale viene mantenuta molto bassa ma il Fe puo' entrare come impurezza da crogioli, tubi etc. bisogna quindi aggiungere Mn che si combina con il Fe e precipita sul fondo della colata. Le leghe del Mg comunque possono venir protette mediante:

- 1) ANODIZZAZIONE FLUORITICA si usa una corrente alternata fino a 120 V in bagni di NH₄F si crea così uno strato di MgF₂;
- 2) TRATTAMENTI CHIMICI si usano soluzioni di cromati che formano lo strato passivante Mg(OH)₂. Lo strato non è molto protettivo ma funziona come base per successivi strati organici;
- 3) ANODIZZAZIONE ELETTROLITICA si deposita uno strato ceramico che e' molto poroso ma che può venir "sigillato" o con trattamenti chimici (punto 2) o con strati organici (resine epossidiche);
- 4) RESINE EPOSSIDICHE lo strato si forma immergendo in un bagno a circa 60° C e polimerizzando poi a 200° C (spessore circa 0,025 mm);
- 5) Dopo i trattamenti dei punti 1) e 4) si usano delle vernici;
- 6) SMALTI VETROSI si applica un mix di polvere e poi si riscalda;
- 7) ELETTRODEPOSIZIONE si possono depositare strati di Cr₂O₃, NiO, etc.

4. Geometria dei giunti

La brasatura è spesso descritta come un processo in cui il materiale d'apporto fuso grazie ad un certo grado di fluidità può riempire sfruttando la forza di capillarità il gap tra due superfici vicine sostanzialmente parallele. In generale nel processo di saldatura è consigliata la cianfrinatura dei bordi dei giunti da unire mentre nella brasatura tale lavorazione è da evitare in quanto è fonte di diminuzione della forza di capillarità; nella brasatura dell'alluminio la geometria dei giunti necessita di essere un compromesso tra saldatura e brasatura.

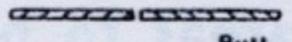
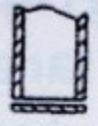
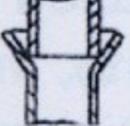
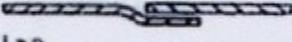
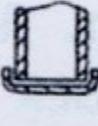
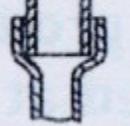
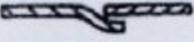
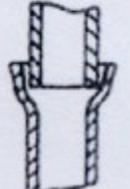
Joining Process	Recommended joint design		
(a) Welding	 Butt		
(b) Brazing	 Lap		
(c) Brazing aluminium			

Fig.: Geometrie consigliate per alcuni giunti.

Per brasare l'alluminio si utilizzano leghe d'apporto (AlSi) la cui composizione e intervallo di temperatura sono molto vicine a quelle del materiale base del giunto. La lega brasante fusa ha un alto grado di affinità con il materiale base, ciò comporta inevitabilmente che una moderata quantità si dissolva nel giunto diminuendo così il contenuto di silicio nella lega brasante. In molti casi quanto descritto si concretizza con la temperatura di liquidus della lega brasante che raggiunge la temperatura di lavoro causando come conseguenza inevitabile una perdita di fluidità della lega e una mancanza di riempimento del giunto. Altro effetto che si verifica è una progressiva diminuzione della fluidità della lega quindi si ha un parziale riempimento del giunto e la parziale espulsione dei residui di flux nel giunto.

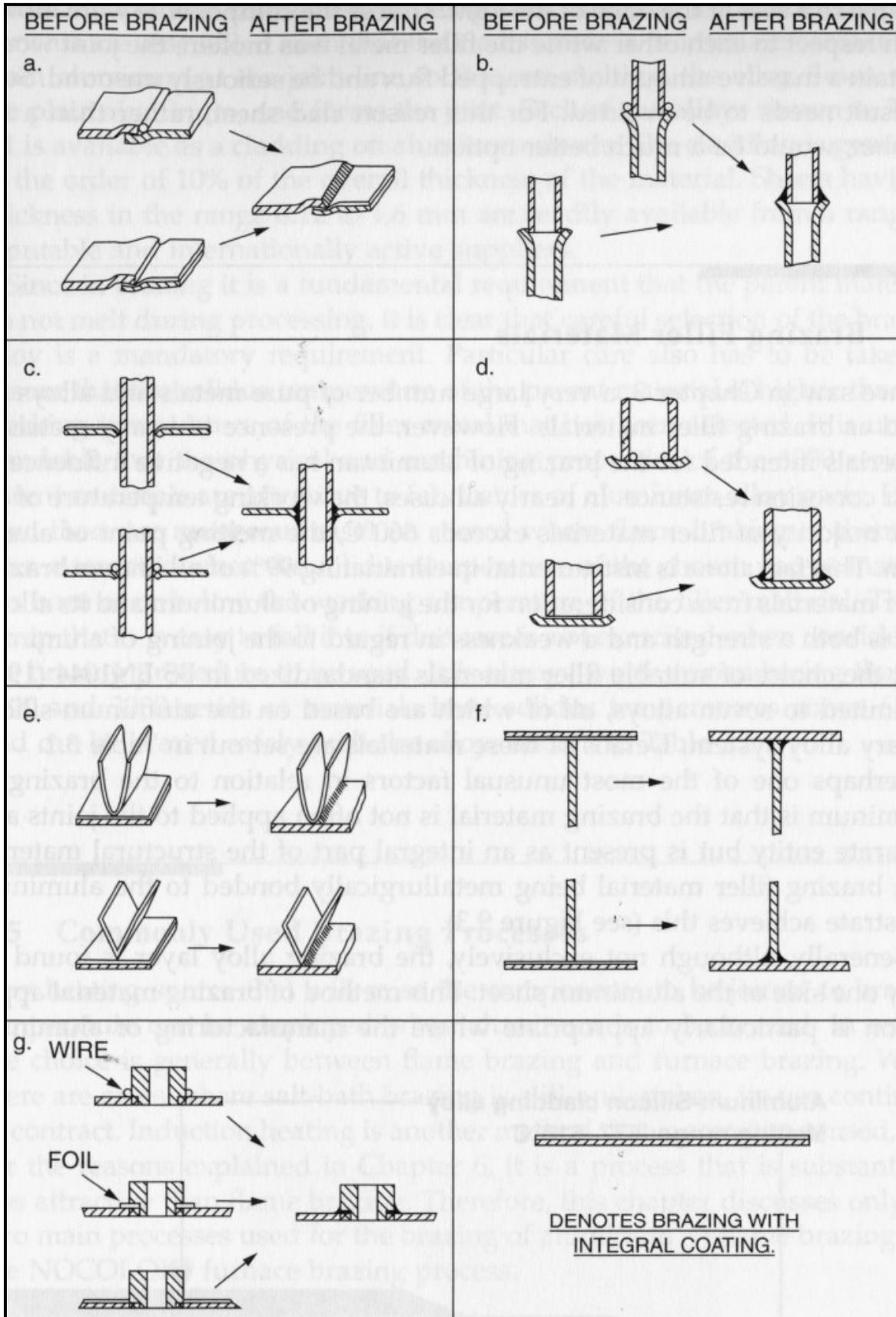
Come principio base è necessario assicurare che il gap del giunto sia un po' più grande di quello generalmente consigliato nel processo di brasatura capillare: l'intervallo ideale per la brasatura dell'alluminio dovrebbe essere 0,075 – 0,175 mm.

La resistenza meccanica della lega brasante è superiore rispetto a quella del materiale base, infatti in caso di carichi eccessivi l'innesco della rottura avverrà nel materiale base il quale ha un modulo di elasticità superiore a quello della lega.

Consigli e soluzioni

- ⇒ Evitare le lunghe sovrapposizioni dei giunti;
- ⇒ Favorire la forma a cuneo nell'area di giunzione;
- ⇒ Utilizzare lega brasante in forma di preformato o nastro che ricalchi la geometria del giunto;
- ⇒ Utilizzare materiale base in fogli rivestiti di lega brasante.

Nella figura sottostante sono riportati alcuni esempi di geometrie che soddisfano i principali casi costruttivi.



5. Lega brasante

5.1 Scelta della lega

La temperatura di fusione dell'alluminio puro è 660 °C, questo valore rappresenta un limite da tener presente nella scelta della lega brasante infatti il 99% di tutte le leghe per brasatura hanno una temperatura di lavoro al di sopra di 660 °C. La scelta della lega brasante ricade quindi in poche composizioni a base Alluminio-Silicio, tra esse si deve individuare quella la cui temperatura liquidus sia inferiore alla temperatura di solidus del materiale base. Le principale leghe brasanti secondo la norma ISO 17672: 2010 sono:

Cod.	% Al min/max	% Si min/max	% Fe max	% Cu min/max	% Mn max	% Mg min/max	% Zn max	% Cd max	% Pb max	% Altro min/max	% Impurezza singola max	% Impurezze totali max	Intervallo di temperatura °C
Leghe base Al-Si													
Al 105	resto	4,5/6,0	0,6	0/0,30	0,15	0/0,20	0,10	0,010	0,025	0/0,15Ti	0,05	0,15	575-630
Al 107	resto	6,8/8,2	0,8	0/0,25	0,10	0/0	0,20	0,010	0,025	0/0	0,05	0,15	575-615
Al 110	resto	9,0/11,0	0,8	0/0,30	0,05	0/0,05	0,10	0,010	0,025	0/0,20Ti	0,05	0,15	575-590
Al 112	resto	11,0/13,0	0,8	0/0,30	0,15	0/0,10	0,20	0,010	0,025	0/0	0,05	0,15	575-585
Leghe base Al-Si-Cu													
Al 210	resto	9,3/10,7	0,8	3,3/4,7	0,15	0/0,15	0,20	0,010	0,025	0/0,15Cr	0,05	0,15	520-585
Leghe base Al-Si-Mg													
Al 310	resto	9,0/10,5	0,8	0/0,25	0,10	1,0/2,0	0,20	0,010	0,025	0/0	0,05	0,15	555-590
Al 311	resto	9,0/10,5	0,8	0/0,25	0,10	1,0/2,0	0,20	0,010	0,025	0,02/0,20Bi	0,05	0,15	555-590
Al 315	resto	9,5/11,0	0,8	0/0,25	0,10	0,20/1,0	0,20	0,010	0,025	0/0	0,05	0,15	559-591
Al 317	resto	11,0/13,0	0,8	0/0,25	0,10	0,10/0,50	0,20	0,010	0,025	0/0	0,05	0,15	562-582
Al 319	resto	10,5/13,0	0,8	0/0,25	0,10	1,0/2,0	0,20	0,010	0,025	0/0	0,05	0,15	559-579
Leghe base Al-Si-Zn													
Al 410	resto	9,0/11,0	0,8	0/0,30	0,05	0/0,05	0,50/3,0	0,010	0,025	0/0	0,05	0,15	576-588
Al 415	resto	10,5/13,0	0,8	0/0,25	0,10	0/0	0,50/3,0	0,010	0,025	0/0	0,05	0,15	576-609
Leghe base Mg													
Mg001	8,3/9,7	0,05	0,005	0,05	0,15/1,5	resto	1,7/2,3	0,010	0,025	0,0002/0,0008Be 0/0,0005Ni	0,05	0,30	443-599

5.2 Considerazioni metallurgiche

Gli aspetti tecnici del processo di “bagnatura” sono abbastanza complessi, comunque è facile capire che il concetto di “bagnatura” è influenzato dalla grande affinità tra lega e materiale base e dalla vicinanza tra la temperatura di liquidus della lega e solidus del materiale base. Durante il processo di brasatura la lega fusa, a contatto con il materiale base, dissolve una piccola parte del materiale base stesso che fondendosi e mescolandosi con essa fa cambiare la composizione della lega in continuazione fino alla sua solidificazione. Fortunatamente gli effetti negativi sono rari ma nei casi in cui la lega (AlSi) dissolva una piccola parte del materiale base durante il processo di brasatura avviene una progressiva riduzione del contenuto di silicio nella lega causando: 1) una diminuzione di fluidità attraverso il giunto e 2) un aumento della temperatura di liquidus.

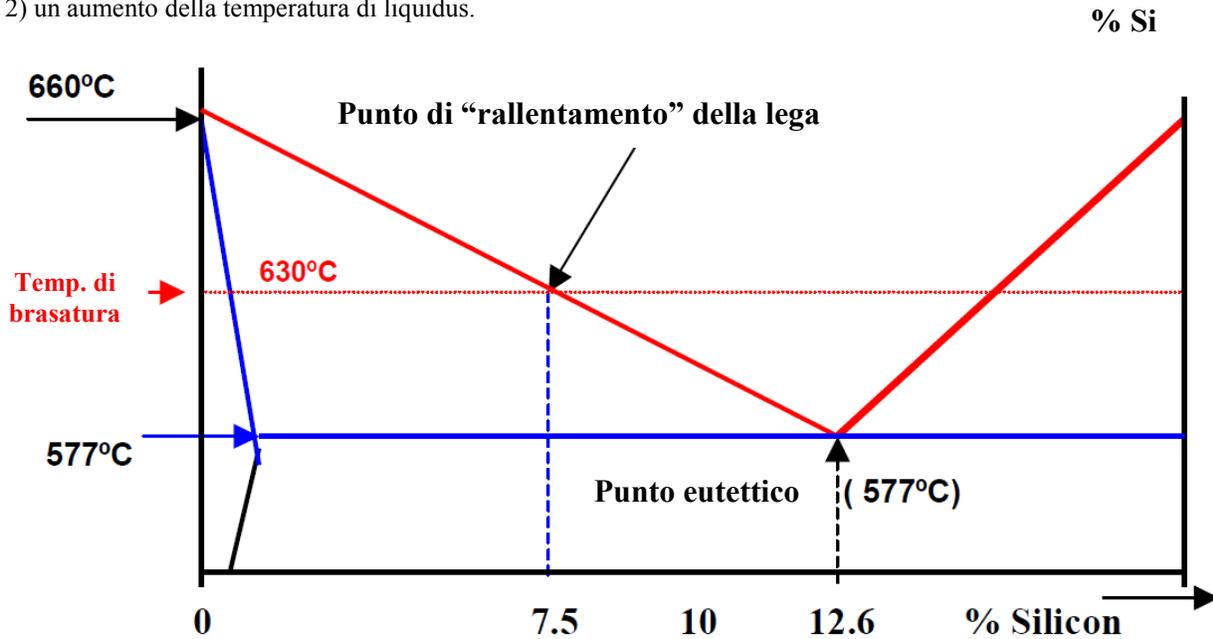


Fig.: Diagramma di stato Al-Si

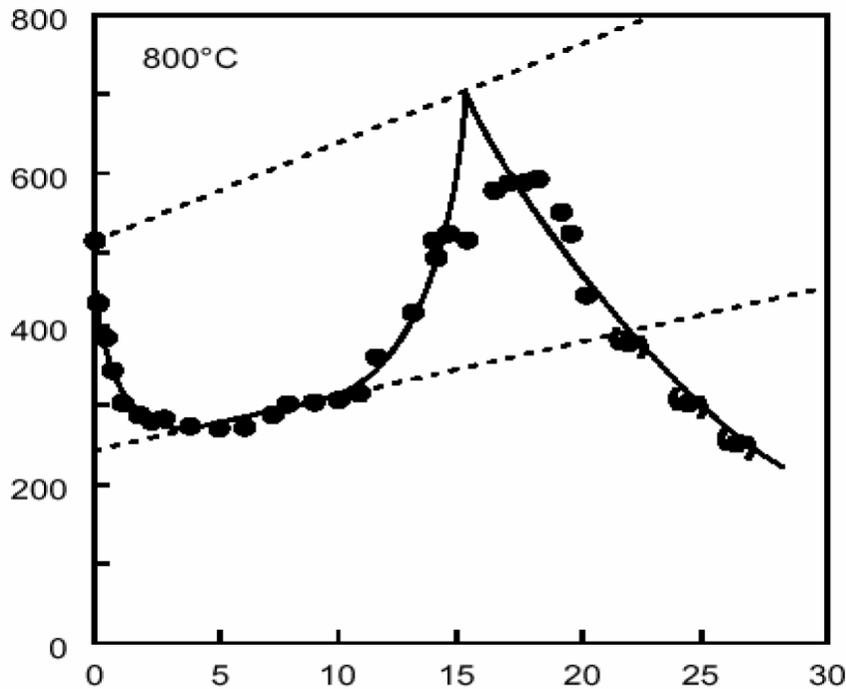
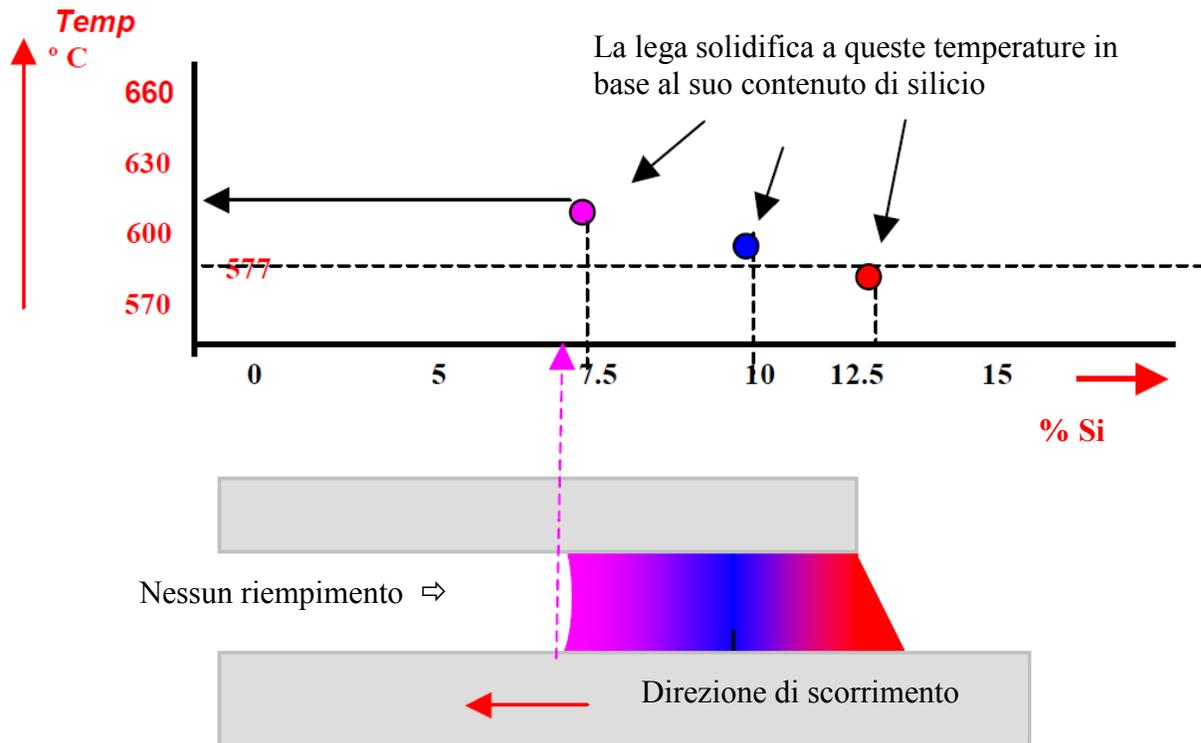


Fig.: Fluidità (asse Y in mm) al variare della % di Si (asse X) in leghe Al-Si.

A seconda della lunghezza del giunto, del tempo impiegato per la brasatura e della temperatura alla quale si svolge il processo questi elementi possono portare al fenomeno del “rallentamento” (freezing) con il conseguente riempimento parziale del giunto.



Consigli e soluzioni

- ⇒ Controllare accuratamente la regolazione della temperatura e del tempo nel processo di brasatura;
- ⇒ Ridurre il gap tra i giunti in fase di assorbimento di parte del materiale base nella lega fusa;
- ⇒ Aumentare il gap tra i giunti al presentarsi del fenomeno del “rallentamento” della fluidità della lega.

5.3 Leghe AlSi maggiormente utilizzate

Lega	Composizione in peso %		Intervallo di fusione in °C	Temp. di lavoro in °C	Densità in g/cm ³	DIN EN 1044	ISO 17672
	Al	Si					
Alubraze L88/12	88	12	575-585	590	2,65	AL 104	Al 112

6. Il disossidante

6.1 Scelta del disossidante

I disossidanti sono necessari durante il processo di brasatura in aria. Il loro utilizzo assicura che le superfici del giunto siano ripulite dagli ossidi e quindi “bagnate” successivamente dalla lega brasante. Se il gap del giunto è troppo piccolo non c’è abbastanza spazio affinché il disossidante possa dissolvere lo strato di ossido presente oppure può accadere che le proprietà del flux (intervallo di fusione e viscosità) e la tensione superficiale possano modificare l’avanzamento della lega brasante fusa a tal punto che quest’ultima non è in grado di espellere i residui stessi di disossidante. In caso si utilizzino leghe brasanti (AlSi) a causa dell’affinità con il materiale base, come visto in precedenza, la lega brasante assorbe una piccola parte dal materiale base con un progressivo degradamento della sua fluidità attraverso il giunto; questo fenomeno è accentuato in caso di lega brasante in forma di preformato unitamente ad un gap troppo stretto. I nostri disossidanti sono:

Disossidante	Intervallo effettivo di fusione in °C	DIN EN 1045	Indicazioni generali
30/70	520-660	FL 10	Disossidante in polvere per alluminio e leghe di alluminio con max 2% di altri elementi. I residui di disossidante sono corrosivi.
32/80	570-660	FL 20	Disossidante in polvere per alluminio e leghe di alluminio con max 2% di altri elementi. I residui di disossidante non sono corrosivi.

6.2 Caratteristiche dei disossidanti

Esistono due tipologie di disossidanti utilizzabili nel processo di brasatura dell’alluminio in aria. Entrambi sono codificati secondo la norma EN 1045: FL 10 flux corrosivo e FL 20 flux non corrosivo. Le caratteristiche delle due tipologie sono:

EN 1045: FL 10 flux corrosivo	
<i>Vantaggi</i>	<i>Svantaggi</i>
Intervallo effettivo di fusione 500-660 °C	I residui di flux assorbono l’umidità atmosferica formando un composto molto corrosivo
Eccellente azione disossidante	I residui di flux dopo la brasatura devono essere rimossi
I giunti in AlMg ₃ possono essere brasati in aria con questo flux	Risulta difficoltoso il processo di rimozione tramite lavaggio dei residui di flux
Dopo la rimozione dei residui di flux le brasature hanno un aspetto lucido	I fumi di flux sprigionati durante la brasatura sono corrosivi e potenzialmente dannosi per l’ambiente
L’asportazione tramite operazioni meccaniche e acqua dei residui, migliorano l’aspetto generale della brasatura	L’operazione di rimozione meccanica dei residui di flux per migliorare la qualità superficiale del giunto è costosa

EN 1045: FL 20 flux non corrosivo	
<i>Vantaggi</i>	<i>Svantaggi</i>
I residui di flux non sono corrosivi e possono non essere rimossi	Il flux diventa attivo a 570 °C. Tale temperatura è molto vicina alla temperatura di solidus della maggior parte delle leghe brasanti utilizzabili
Il lavaggio con acqua dei residui di brasatura non è necessario	I residui di flux dopo la brasatura potrebbero essere antiestetici quindi inaccettabili
Il disossidante fuso ha eccellenti proprietà di riempimento del gap	I residui di flux fungono da isolante elettrico quindi possono interferire con necessarie lavorazioni successive di saldatura ad arco elettrico o saldatura puntuale
I fumi sprigionati sono minimali quindi relativamente rispettosi dell'ambiente	Il livello di attività del flux risulta inferiore rispetto al flux corrosivo
Con brasatura in forno ad atmosfera controllata la sua applicazione è più costosa se comparata al flux corrosivo	Con brasatura a fiamma il flux ha effetto su materiale base serie 6XXX solo se il contenuto totale di Mg è < 0,9%

6.3 Corrosione e rimozione dei residui di flux

La resistenza alla corrosione di giunti brasati con disossidante non corrosivo dipende unicamente dalla differenza di potenziale tra i materiali base e la lega brasante; fortunatamente le differenze sono piccole quindi la resistenza alla corrosione per questi giunti è molto buona.

In caso di utilizzo di un disossidante corrosivo (a base di cloridri), i residui, se non rimossi, assorbiranno l'umidità presente nell'atmosfera innescando la corrosione del giunto. Solitamente dopo la fase di brasatura si procede con l'immersione del giunto in acqua bollente; i cloridri sono altamente solubili a maggior ragione in acqua bollente. L'acqua nella vasca di lavaggio dei residui deve però essere cambiata costantemente ed è preferibile creare un moto forzato per facilitare la rimozione anche nelle parti del giunto più anguste.

In alternativa è possibile rimuovere i residui corrosivi immergendo il giunto in una specifica soluzione chimica e poi essere risciacquato in acqua fredda o calda per essere ripulito dalla soluzione stessa. Esistono diversi tipi di soluzioni chimiche per la rimozione dei cloridri, alcune di esse possono essere:

1. Miscela al 50% di acido nitrico e 50% di acqua, rappresenta un'ottima soluzione per rimuovere i residui di flux in 10-20 secondi. Le parti possono essere in seguito risciacquate in acqua calda o fredda. Molta attenzione deve essere posta sui fumi sprigionati dalla reazione della soluzione con i residui di flux perché sono pericolosi quindi deve essere previsto un sistema di captazione e aspirazione. L'acido nitrico è reattivo con il disossidante per questa ragione è utilizzato per giunti piccoli e con pochi residui di flux;
2. Miscela di 3,8 litri di acido nitrico, 0,24 litri di acido idrofluoridrico e 34 litri di acqua a temperatura ambiente rimuovono i residui di flux in una sola immersione di 10-15 minuti. Le parti devono essere risciacquate prima in acqua fredda e poi in quella calda a 76 °C per massimo 3 minuti onde evitare problemi di macchie superficiali;
3. Miscela di 1,2 litri di acido idrofluoridrico e 37,8 litri di acqua a temperatura ambiente, i residui sono rimossi velocemente. Evitare di mantenere il giunto immerso oltre 10 minuti al fine di non dissolvere il materiale base. L'idrogeno rilasciato dalla reazione con i residui deve essere eliminato tramite aspirazione;
4. Miscela di 4,26 litri di acido nitrico, 0,363 Kg di dicromato di sodio e 34 litri di acqua alla temperatura di 66 °C per 5-10 minuti seguito da un risciacquo con acqua calda. Questa soluzione rimuove velocemente i residui e garantisce la massima resistenza della superficie del giunto alla corrosione;
5. Miscela con il 2% di triossido di cromo, 5% acido fosforico e acqua a 82 °C utilizzata per materiali base di piccolo spessore;
6. Soluzione di fluoro dicromato fosfato alcalino utilizzata per rimuovere i residui sui giunti di piccolo spessore.

7. Scelta del processo e dei parametri di brasatura

7.1 Brasatura a fiamma

Qualsiasi sorgente di calore che riscalda i giunti fino alla temperatura di lavoro della lega può essere impiegata per realizzare la brasatura; nella realtà generalmente la scelta ricade su due processi di riscaldamento: a fiamma o in forno. Alle volte anche l'induzione è un processo utilizzabile, ma il riscaldamento a fiamma è preferibile perché con l'induzione il calore generato in un giunto è direttamente proporzionale alla resistenza elettrica del materiale che lo compone. Poiché l'alluminio è un eccellente conduttore di elettricità il suo grado di riscaldamento tramite induzione è relativamente lento quindi il processo ad induzione, che solitamente è molto rapido, in questo caso è raramente impiegato.



Nel riscaldamento a fiamma si deve tener presente che la “finestra del processo” è molto stretta ovvero la temperatura di lavoro della lega brasante, in particolare nelle leghe AlSi, è prossima alla temperatura di solidus del materiale base. L'alta affinità tra il materiale base e la lega brasante AlSi può causare problemi di scorrimento della lega e quindi di riempimento del giunto come spiegato nel capitolo n.4. Infine ci possono essere potenziali difficoltà metallurgiche dovute alla composizione del materiale base, in particolare per il contenuto di magnesio.

Esistono diversi materiali base che contengono un apprezzabile quantitativo di magnesio, il quale li rende impossibili da brasare con un processo a forno; con fiamma il grado di riscaldamento è più elevato rispetto del forno quindi il processo risulta più veloce e risente meno degli effetti negativi del magnesio. Esiste comunque un limite massimo di circa 1% di contenuto di magnesio nel materiale base oltre il quale gli effetti negativi non permettono di realizzare la brasatura.

Materiale base	Temperatura di solidus °C	Temperatura di liquidus °C	Commenti
AA 1070	640	655	Nessun problema di brasatura
AA 1145	640	655	Nessun problema di brasatura
AA 3003	643	654	Nessun problema di brasatura
AA 3005	640	655	Attenzione: questo materiale può contenere più di 0,6 % di Mg
AA 3102	645	655	Nessun problema di brasatura
AA 3105	635	655	Attenzione: questo materiale può contenere più di 0,8 % di Mg e potrebbe essere difficile da “bagnare”
AA 6061	616	652	Attenzione: questo materiale può contenere tra 0,8 e 1,2 % di Mg e potrebbe essere difficile, ma non impossibile, da “bagnare”
AA 6063	616	652	Attenzione: questo materiale può contenere più di 0,9 % di Mg e potrebbe essere difficile da “bagnare”
AA 6951	616	654	Attenzione: questo materiale può contenere più di 0,8 % di Mg e potrebbe essere difficile da “bagnare”

Tabella: Alcuni esempi di materiali base che possono essere brasati a fiamma nonostante contengano magnesio.

Materiali base serie	Brasabilità	Elemento principale	Commenti
AA 1XXX	Buona	99% Al	Nessun problema
AA 2XXX	Non raccomandata	Cu	Deterioramento metallurgico irreversibile nel materiale base
AA 3XXX	Buona	Mn	Nessuno problema
AA 4XXX	Non applicabile	Si	/
AA 5XXX	Limitata	Mg	Le difficoltà di brasatura aumentano con un contenuto di Mg > 0,6-0,7%
AA 6XXX	Abbastanza buona	Mg e Si	Attenzione: possibile perdita della resistenza meccanica. Controllare sempre la temperatura di solidus del materiale base. Dopo la brasatura è possibile effettuare una tempra di invecchiamento
AA 7XXX	Non raccomandata	Zn	Deterioramento metallurgico irreversibile nel materiale base
AA 8XXX	Nessuna informazione	Li e altri elementi	/
Leghe speciali	Molto difficile	Altri	Utilizzando la lega ISO 17672 Al 112 la brasatura è possibile. Si potrebbe utilizzare la lega ISO 17672 Al 210 ma il risultato potrebbe essere insoddisfacente

Tabella: Brasabilità delle varie famiglie di materiali base di alluminio.

7.2 Brasatura in forno ad atmosfera controllata

La brasatura in forno in atmosfera controllata comunemente indicata con l'acronimo C.A.B. (Controlled Atmosphere Brazing) si è evoluta grazie alla richiesta di radiatori in alluminio per l'industria automotive e ai vantaggi tecnologici derivanti da questo processo:

- Successo nella rimozione dello strato tenace di ossido di Al sulla superficie dei materiali base;
- Il processo lavora a pressione atmosferica;
- E' possibile impiegare flux non corrosivo;
- Non ci sono reazioni negative tra flux e materiale base;
- I residui di flux non sono solubili in acqua;
- Non è necessario alcun trattamento post-brasatura.

La sequenza standard del processo di preparazione del giunto consiste:



7.2.1 Assemblaggio del giunto

Il buono o cattivo risultato finale nel processo di brasatura dipende da alcuni fattori chiave interdipendenti tra di loro.

Consigli e soluzioni

- ⇒ Il gap tra i giunti dovrebbe essere compreso tra 0,075 e 0,175 mm;
- ⇒ Scegliere una lega brasante di buona qualità adatta al materiale base senza eccedere nella quantità sul giunto per evitare gocciolamenti;
- ⇒ Distribuire uniformemente il disossidante;
- ⇒ Controllare accuratamente l'andamento della temperatura del forno, l'omogeneità del riscaldamento e la qualità e concentrazione dell'atmosfera protettiva.

7.2.2 Pulizia del giunto

Per la pulizia dei giunti esistono due metodi: 1) pulizia con soluzione acquosa e 2) sgrassaggio termico.

In generale la pulizia con soluzione acquosa è preferita perché questo metodo rende le superfici maggiormente bagnabili dal disossidante che sarà applicato successivamente. Il giunto è profondamente immerso nella soluzione acquosa mediamente alcalina contenente detergenti industriali alla temperatura di 60-80 °C oppure spruzzata direttamente sul materiale base. Successivamente si passa ad una fase di risciacquo in acqua calda prima e fredda poi, infine per evitare problemi di adesione del flux il giunto è asciugato con dei ventilatori.

Lo sgrassaggio termico si effettua alla temperatura di 150-200 °C e serve per rimuovere oli e grassi sui giunti dovuti a precedenti lavorazioni meccaniche. La sua efficacia dipende dalla totale volatilizzazione degli oli e grassi ma spesso tale operazione è difficile da realizzare in particolare in presenza di sostanze diverse che hanno temperature di evaporazione differenti.

7.2.3 Applicazione del flux

Il disossidante è applicato uniformemente sulla superficie del giunto, generalmente dai 3 ai 5 g/m² sono sufficienti. L'applicazione può avvenire tramite diversi metodi:

- Spray a bassa pressione;
- Per cascata;
- Per immersione;
- Tramite pennello;
- Spray ad alta pressione;
- Applicazione elettrostatica (solo con flux in polvere).

Nel mercato il 75 % delle applicazioni è eseguito tramite spray mentre il 25 % tramite polvere con il metodo elettrostatico, tutti gli altri metodi sono utilizzati molto raramente. Il flux dopo essere stato depositato sui pezzi tramite spray deve essere fatto asciugare con ventilatori di aria calda a 200 °C poiché se entrasse direttamente nel forno ad atmosfera di azoto a circa 630 °C l'acqua in esso contenuta evaporerebbe modificando il punto di rugiada del forno che deve essere mantenuto a -40 °C.

7.2.4 CAB

Requisito fondamentale per realizzare una brasatura in forno ad atmosfera controllata con azoto è garantire costantemente un punto di rugiada di -40 °C od oltre. Per poter mantenere costante questo parametro è necessario progettare un forno in linea in acciaio ad alta resistenza al calore, per sopperire alle dilatazioni termiche che possono generare perdite di gas tra una camera del forno e l'altra. Si dovranno prevedere delle integrazioni di gas per compensare le perdite all'uscita di ogni camera di riscaldamento.

Alla temperatura di 560 °C il disossidante forma una piccola quantità di fluoruro di potassio-alluminio (KAIF₄) che in presenza di vapore acqueo reagisce formando acido fluoridrico (HF); sebbene la sua concentrazione sia molto bassa può causare corrosione all'interno del forno. I fumi di acido fluoridrico se emessi nell'ambiente sono irritanti per la membrana delle mucose del naso, per poterli quindi rilasciare senza problemi è necessario trattarli.

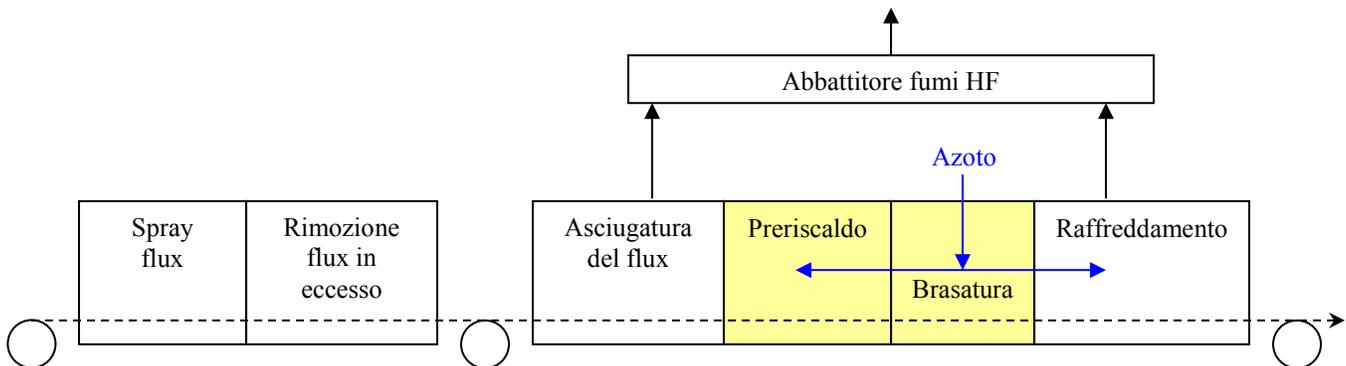


Fig. : Schema di funzionamento di un forno CAB.

7.2.5 Effetto del Magnesio

Per alcuni materiali base utilizzati principalmente per la produzione di scambiatori di calore in alluminio esiste un limite dovuto alla loro composizione ovvero alla percentuale di magnesio in essi contenuto, la quale può dare seri problemi durante il processo di brasatura. Il problema riguarda la percentuale totale di magnesio presente nella giunzione la quale è data dalla somma del contenuto di magnesio di entrambe le parti del giunto e non solamente dal materiale base che ne contiene di più.

Il magnesio è aggiunto nel materiale base per aumentare la resistenza e migliorare la lavorabilità. Alla temperatura di 400 °C il Mg tende a migrare verso la superficie del giunto dove reagisce con lo strato di ossidi di alluminio formando ossido di magnesio (MgO) e un complesso ossido di alluminio-magnesio (Al_2MgO_4). Il magnesio inoltre reagisce con il flux formando una serie di sali fluoro-magnesio (MgF_2 , $KMgF_3$, K_2MgF_4), la composizione del disossidante risulta modificata e di conseguenza la temperatura di lavoro aumenta. Anche la composizione della parte superficiale del giunto a causa della migrazione del Mg risulta avere uno strato di ossidi maggiore e più tenace, unitamente alla degradazione del flux che perde il suo potere disossidante aumenta così la porosità e i vuoti nel giunto dopo la brasatura. E' possibile contenere gli effetti negativi del magnesio se: si impiega un disossidante non corrosivo e se il materiale base presenta un contenuto di Mg massimo ammissibile di 0,4-0,5 % in caso di brasatura in forno (CAB) e max 1,5 % in caso di brasatura a fiamma questo perché con processo a fiamma l'area di brasatura del giunto è maggiormente circoscritta e il processo di riscaldamento è molto più veloce.

Consigli e soluzioni

- ⇒ Aumentare la quantità di disossidante sulle superfici dei giunti da brasare;
- ⇒ Ridurre i tempi del ciclo del processo di brasatura;
- ⇒ Incrementare/velocizzare l'apporto di calore sul giunto.

7.3 Brasatura in forno in vuoto

La brasatura dell'alluminio in forno a vuoto non è un processo molto diffuso come la brasatura in forno CAB, le leghe brasanti maggiormente utilizzate sono leghe AlSiMg con un contenuto di Mg di 1 o 2 %. Questo elemento volatilizza durante il processo di riscaldamento e tende a captare le tracce residue di ossigeno nel forno. Per un buon esito della brasatura è necessario creare un grado di vuoto inferiore a $1 \cdot 10^{-5}$ Torr, ciò significa che il forno deve essere dotato di un sofisticato sistema di pompe a palette e a diffusione e chiaramente le camere del forno devono essere prive di perdite.

La temperatura di lavoro non può superare i 630 °C, a causa di un valore così basso, la differenza di espansione termica tra materiale base e lo strato di ossido di alluminio che lo ricopre provoca delle piccolissime fratture in cui poi penetrerà la lega fusa. Le fratture sullo strato di ossido sono talmente piccole che in presenza di quantità residue di ossigeno nell'atmosfera del forno tendono a legarsi con il materiale base formando nuovo ossido che ricopre le fratture stesse, risulta quindi necessaria la presenza di Mg volatilizzato per eliminare, formando MgO, l'ossigeno presente.

La brasatura in forno a vuoto sicuramente garantisce risultati accettabili ma dal punto di vista economico sono difficilmente giustificabili.

8. Leghe brasanti per alluminio a base ZnAl

La teoria: Nel diagramma di fase della lega ZnAl si ha il punto di eutettico con Zn = 94,5% e Al = 5,5% al quale corrisponde una temperatura di fusione di 382 °C, questa lega ha un'ottima fluidità (in molte applicazioni l'eccessiva fluidità può però causare difficoltà se fosse necessario brasare solo di una parte precisa del giunto). Tale lega risulta molto fragile per questo è preferibile utilizzare una lega con Zn = 98% e Al = 2% con intervallo di temperatura solidus-liquidus di 382 °C – 400 °C, tale lega rimane liquida per diversi secondi dopo la rimozione della fonte di calore.

La lega con Zn = 78% e Al = 22% ha un intervallo di temperatura 440 °C – 471 °C e tende a solidificarsi quasi immediatamente alla sospensione della fonte di calore, è necessario quindi utilizzare un disossidante speciale che sia attivo a temperature inferiori rispetto a quelli tradizionalmente impiegati con leghe AlSi, ragion per cui si utilizza il flux CsAlF (Cesio Fluoroalluminato) con temperatura di lavoro 420-480 °C.

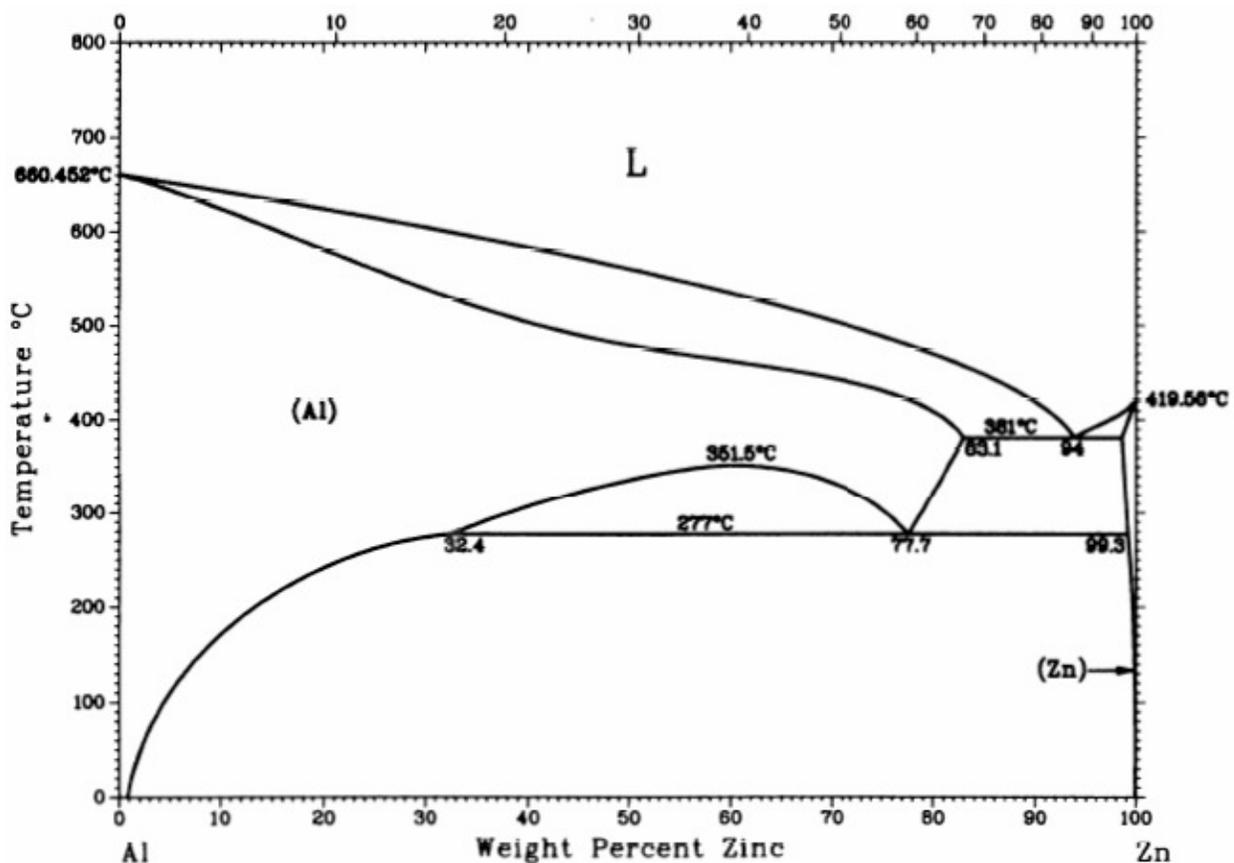


Fig.: Diagramma di stato Al-Zn.

Con le leghe ZnAl ed il disossidante appropriato è possibile realizzare giunzioni Al-Al ma anche giunzioni miste: Al-Cu o Al-Acciaio, collegandosi al link sottostante è possibile visionare un filmato realizzato da Italbras sul corretto uso della lega ZnAl:

<http://www.youtube.com/watch?v=gcfz6ptQr0c>

8.1 Giunto: Alluminio-Rame

Il rame fonde a 1083 °C mentre l'alluminio a 660 °C, per unire questi materiali non è possibile utilizzare una lega d'argento o di rame perché la loro temperatura di lavoro è maggiore della temperatura di fusione dell'alluminio, inoltre il giunto avrebbe una minor resistenza alla corrosione rispetto ai materiali base. Pertanto le leghe utilizzate per questa brasatura hanno (per base lo zinco con aggiunta di Al e/o Si), il loro punto di fusione è poco inferiore a quello del metallo base per cui occorre scaldare uniformemente il pezzo dopo averlo accuratamente pulito. I grossi pezzi di fusione sono riscaldati nei forni, mentre quelli di piccole dimensioni si riscaldano con il cannello passando rapidamente la fiamma sulla loro superficie.



Questa brasatura richiede l'impiego di particolari fondenti che hanno forma tubolare e contengono nel loro interno il disossidante specifico; per la corretta esecuzione di questa brasatura si devono tenere in considerazione alcuni aspetti:

1. La fiamma deve essere mossa intorno, avanti e indietro, lungo tutto il giunto, insistendo sulla parte a maggiore spessore, più pesante (Cu), e che richiede maggiore apporto di calore per raggiungere la temperatura richiesta;
2. La barretta di lega di apporto deve essere portata a contatto del giunto quando questo ha raggiunto la temperatura richiesta alla fusione della lega, che è visualizzata dalla fusione della lega di apporto a contatto del giunto;
3. Per favorire lo scorrimento della lega di apporto è bene muovere la fiamma attorno al giunto, così facendo si favorisce lo scorrimento della lega; questo tipo di lega è soggetta a scarsa capillarità e lavora principalmente per gravità, risulta quindi fondamentale la forma leggermente svasata del tubo contenente rispetto a quello contenuto e la posizione verticale della giunzione;
4. La barretta di lega non deve essere riscaldata direttamente dalla fiamma, ma deve ricevere il calore per conduzione dal pezzo e i giunti da brasare devono essere puliti da grassi o altre sostanze che interferiscono con la brasatura e che non sono eliminati dal disossidante;
5. La barretta deve essere posta a contatto con la giunzione sempre indirizzandone la punta e non la parte laterale questo per far agire il disossidante prima della fusione della lega.

A seconda della forma del giunto è possibile impiegare anche la lega brasante in formato di pasta con già il disossidante all'interno.

Legha	Composizione in peso %			Intervallo di fusione in °C	Temp. di lavoro in °C	Formato
	Al	Si	Zn			
Alubraze L98/02NC Flux	<5	<7,5	Resto	400-480	450	Filo animato Barretta animata Pasta con già il disossidante

Con possibilità di aggiungere ulteriore disossidante specifico.

Disossidante	Intervallo effettivo di fusione in °C	DIN EN 1045	Indicazioni generali
F32/80 CS	400-480	-	Disossidante in pasta per alluminio, lega di alluminio e giunzioni miste.

ITALBRAS S.P.A.
Strada del Balsego,6 - 36100 Vicenza (VI) – Italy
Tel. (+39) 0444 347500 Fax (+39) 0444 347501
E-mail info@italbras.it Web: www.italbras.it