

## 1 Brasatura

Quando la giunzione viene realizzata senza fondere il metallo base, la principale fonte di resistenza meccanica è l'adesione tra materiale d'apporto e metallo base, sviluppata in assenza di film superficiali contaminanti. La resistenza del giunto è superiore alla resistenza del materiale d'apporto.

Materiali dissimili possono essere uniti, così come si possono unire parti con spessori molto diversi.

Un grande vantaggio è che non è necessaria l'accessibilità a tutte le parti del giunto, quindi assemblaggi complicati, compresi quelli costituiti da molte parti, possono essere uniti simultaneamente.

Le tecniche sono applicate alla produzione di milioni di radiatori per autoveicoli, scambiatori di calore a fascio tubiero, giranti, ventilatori e parti di elettrodomestici, nonché a tubi e fili.

2 Il metallo d'apporto viene attirato nel giunto per azione capillare. Il legame liquido-solido ha, sotto molti punti di vista, proprietà uniche che possono essere sviluppate solo se sono soddisfatte numerose condizioni.

Spesso il metallo d'apporto è sostanzialmente più debole del metallo base e il giunto trae la sua forza dal supporto che riceve dal metallo base.

Per questo, devono essere soddisfatti due criteri:

### 3 1. Spessore del giunto

In uno strato spesso le proprietà del materiale d'apporto sarebbero dominanti. Per una maggiore resistenza, lo strato deve essere così sottile che il vincolo dato dal metallo base previene la strizione in trazione.

A taglio il giunto è più debole, ma è comunque più resistente del materiale d'apporto perché lo strato sottile può sopportare sforzi di taglio molto elevati.

### 4 2. Legame

La massima resistenza si sviluppa solo se esiste un perfetto legame interatomico tra il materiale base e il metallo d'apporto.

Le superfici sono normalmente coperte da ossidi e strati assorbiti dall'atmosfera, e residui di lubrificante possono anche essere presenti da precedenti fasi di lavorazione. Per assicurare il legame, le superfici devono essere bagnate dal materiale d'apporto; in caso contrario, la giunzione diventa una cricca che porterebbe alla frattura per carichi molto bassi. Queste due condizioni dettano l'esecuzione della brasatura.

## 5 Luce

Lo spazio tra le superfici da accoppiare è fondamentale.

Se troppo piccolo, il materiale non può penetrare e si formano giunzioni imperfette; se troppo grande, il supporto ricevuto dal metallo base viene gradualmente perso. Solo all'interno di una gamma ristretta di spazi si sviluppano le proprietà ottimali. Il grafico a sinistra mostra appunto che la luce deve essere di circa 8 micron per avere la massima resistenza a

trazione. Se ci si allontana da tale valore la resistenza cala rapidamente. Il grafico a destra invece fa vedere che la resistenza a taglio ha andamento decrescente all'aumentare della luce.

**6** Questa luce deve esistere alla temperatura di processo, pertanto l'espansione differenziale deve essere presa in considerazione quando si uniscono metalli dissimili. Con la luce ottimale, il materiale penetra lo spazio per azione capillare.

Anche la rugosità della superficie deve essere controllata; una leggera rugosità crea dei passaggi per il materiale fuso ma su una superficie molto ruvida si uniscono solo le asperità.

## **7** Materiale d'apporto

L'azione capillare è possibile solo se il materiale bagna il metallo base (in genere l'angolo di contatto dovrebbe essere compreso tra  $15^\circ$  e  $45^\circ$ ).

Il metallo d'apporto deve avere un'alta fluidità per penetrare nella fessura (ma non così alta da farlo fuoriuscire dal giunto) e dovrebbe preferibilmente avere un intervallo di fusione stretto (metallo puro o eutettico).

In leghe con un grande intervallo di fusione, la fase bassofondente può fondere prematuramente e può separarsi dal costituente altofondente.

In generale, le leghe con intervallo di fusione maggiore richiedono una luce maggiore.

**8** Il materiale d'apporto viene applicato sotto forma di filo, strisce, preforme, polvere o pasta, nell'area del giunto, che viene quindi riscaldata localmente oppure si riscalda tutto l'assieme. Può essere collocato al di fuori del giunto o pre-applicato all'interno.

In alternativa, il metallo di apporto è pre-applicato sulla superficie di una delle parti a contatto come rivestimento, spesso mediante rullatura, deposizione elettrolitica o immersione a caldo.

Nella scelta del metallo di apporto, le condizioni di servizio devono essere prese in considerazione. In particolare, il materiale d'apporto non deve causare corrosione galvanica.

## **9** Uso di fondenti

I film superficiali che impediscono la bagnabilità devono essere rimossi con sgrassaggio; gli ossidi pesanti devono essere rimossi con mezzi meccanici o chimici.

Per prevenire l'ossidazione durante l'unione, può essere applicata un'atmosfera protettiva o il vuoto; in alternativa il mantenimento ad alta temperatura deve essere molto breve.

In molti casi tutto ciò è ancora insufficiente per garantire la bagnabilità e vengono quindi utilizzati i fondenti.

Un buon fondente fonde a una temperatura sufficientemente bassa per prevenire l'ossidazione della base e del metallo d'apporto; ha una bassa viscosità, per essere rimosso dal metallo d'apporto fuso; può reagire con le superfici per facilitare la bagnabilità; protegge il giunto mentre l'apporto è ancora liquido; ed è relativamente facile da rimuovere dopo la solidificazione dell'apporto.

**10** I fondenti sono sotto forma di polvere, pasta o sospensione.

In generale, sono necessarie atmosfere fortemente riducenti o fondenti più attivi quando si formano ossidi stabili, ad esempio con alluminio, magnesio, leghe resistenti al calore e acciai inossidabili. In teoria, i residui possono essere lasciati sull'assemblato. Se causano corrosione devono essere rimossi, un compito che può essere difficile se gli spazi sono stretti.

## **11** Riscaldamento

Le parti da unire sono spesso realizzate in lamiera, ma possono anche essere componenti forgiati, estrusi o colati.

Sono assemblati e temporaneamente tenuti insieme nella posizione corretta da dispositivi di fissaggio o operazioni di fissaggio meccanico come espansione, impilaggio, ecc.

Il progetto di alcuni assemblaggi assicura il corretto posizionamento in modo automatico.

È possibile utilizzare una grande varietà di tecniche di riscaldamento, ognuna con alcuni vantaggi peculiari. La maggior parte delle tecniche sono facilmente automatizzabili.

**12** 1. Il riscaldamento in forno è adatto per produzioni in serie, con assiemi inseriti in un forno a cassetta o, in caso di grandi produzioni, convogliati attraverso un forno continuo su cinghie, gruppi di rulli o ganci di sospensione. Può essere applicata un'atmosfera protettiva.

2. Il riscaldamento a torcia consente il riscaldamento selettivo dell'area del giunto mediante una fiamma di acetilene, propano o gas naturale. È adatto per lavorazioni manuali ma è facilmente meccanizzabile.

3. Il riscaldamento a resistenza utilizza la stessa attrezzatura della saldatura a resistenza, ma un riempitivo è inserito nel giunto. Il riscaldamento rapido riduce al minimo l'ossidazione. La figura mostra un assemblaggio prima e dopo brasatura in forno. Il materiale d'apporto è sotto forma di filo e si distribuisce in tutta l'interfaccia nel corso della brasatura grazie alla capillarità.

**13** 4. Il riscaldamento a induzione con un alimentatore avente frequenza da 10 a 460 kHz presenta gli stessi vantaggi del riscaldamento a resistenza.

5. Il riscaldamento a infrarossi con lampade al quarzo ad alta intensità è adatto per il funzionamento con nastro trasportatore ma, se necessario, il calore può essere concentrato sull'area da riscaldare. Questo vale anche per il riscaldamento a microonde.

6. Il riscaldamento a raggio laser e a fascio di elettroni è giustificato principalmente per gli assemblaggi di valore in materiali per temperature abbastanza alte.

In figura è un sistema continuo di brasatura ad induzione, con alimentazione e scarico automatico degli assemblaggi.

**14** In inglese si usano 2 termini per indicare la brasatura, brazing e soldering. La differenza è data dalla temperatura di fusione del metallo d'apporto, che nel caso del soldering è al di sotto dei 450°C, nel brazing è superiore. Partiamo da questa seconda categoria.

In generale, i metalli d'apporto con un punto di fusione più elevato conferiscono maggiore resistenza, ma l'elevata temperatura di brasatura può influire sulla resistenza del metallo base.

Con leghe di alluminio o magnesio, il punto di fusione del metallo d'apporto è vicino a quello del metallo base, quindi non è possibile utilizzare il riscaldamento a induzione. Piccole aggiunte di Mg alle leghe di alluminio sono utili perché Mg agisce come un getter (cattura l'ossigeno) e modifica il film di ossido.

**15** Il materiale d'apporto viene spesso applicato come rivestimento con uno spessore del 5-10% su uno o entrambi i lati di una lamiera (una lega Al-Si su alluminio, Cu su acciaio e acciaio inossidabile).

Il carbonio superficiale impedirebbe la bagnabilità delle ghise e deve essere rimosso con il trattamento elettrolitico o con un bagno di sale fuso.

Temperature più elevate accelerano l'ossidazione, pertanto, i fondenti devono essere più aggressivi. I fondenti sono composti da borati, fluoruri, cloruri e materiali simili in varie proporzioni. Realizzati su misura per applicazioni specifiche, assicurano giunzioni ottima bagnabilità.

**16** Nella brasatura sottovuoto la pressione nel forno viene ridotta per prevenire l'ossidazione e, in alcuni casi, non è necessario alcun fondente.

Forni appositamente costruiti consentono di sgrassare mediante vaporizzazione prima di iniziare il processo di brasatura sottovuoto.

Nella brasatura per immersione il calore deriva dall'immersione del complesso in sale fuso. Le velocità di riscaldamento sono elevate e il sale può svolgere la funzione di fondente.

La saldobrasatura differisce dalla brasatura in quanto una fessura molto più ampia viene riempita con il metallo di brasatura (principalmente ottone) con l'ausilio di una torcia, e quindi viene a mancare l'azione capillare.

**17** Oltre che nell'assemblaggio, è utilizzata anche per riparazioni di getti in acciaio e ghisa. La brasatura per diffusione differisce dalla saldatura per diffusione in quanto si forma uno strato liquido contemporaneamente alla diffusione.

Il raffreddamento controllato dei gruppi brasati è necessario per assicurare una rapida solidificazione cercando di evitare distorsioni dell'assemblaggio o cricche nel giunto.

**18** I giunti brasati sono meno resistenti di quelli saldobrasati, ma le parti possono essere unite senza esporle a calore eccessivo. Le temperature più basse rendono più difficile una buona bagnabilità, pertanto, la preparazione della superficie con mezzi meccanici e chimici e l'uso di fondenti sono essenziali.

Il metallo di apporto può essere scelto facendo riferimento ai relativi diagrammi di stato.

**19** La solubilità in fase solida è indice di buona bagnabilità, anche se la presenza di pellicole superficiali modifica notevolmente il comportamento. Una superficie che appaia uniformemente rivestita dal materiale d'apporto può risultare non bagnabile quando venga riscaldata. Pertanto, la facilità con cui una lega può essere brasata è una proprietà tecnologica che può essere determinata solo sperimentalmente.

**20** Le leghe per brasatura più utilizzate erano quelle a base di stagno e piombo. Un contenuto di stagno basso (<5%) conferisce maggiore resistenza ed è ancora ampiamente utilizzato per radiatori e tubi automobilistici in banda stagnata. L'ampio intervallo di solidificazione della lega con 35% Sn lo rendeva ideale come materiale d'apporto per la giunzione di tubi di rame.

La composizione eutettica (63% Sn) ha, per definizione, il punto di fusione più basso e solidifica a temperatura costante, rendendola più adatta per le connessioni elettriche.

**21** La tossicità del piombo ha provocato la sua completa eliminazione dai giunti di tubazioni dell'acqua domestiche, apparecchiature per la lavorazione degli alimenti e contenitori per prodotti alimentari; I materiali a base di Sn-Ag e Sn-Sb (antimonio) sono utilizzati per applicazioni alimentari e acciaio inossidabile.

A causa del pericolo per gli operatori, le brasature al piombo sono state o vengono sostituite con brasature senza piombo in molte altre applicazioni.

I metalli rivestiti, in particolare la banda stagnata, facilitano la brasatura. Una grande varietà di altri materiali viene utilizzata in applicazioni specifiche.

In particolare, le leghe Sn-Zn e Zn-Al sono state sviluppate per la saldatura di alluminio in combinazione con fondenti speciali.