ITALBRAS

GUIDA TECNICA SULLA BRASATURA DEGLI UTENSILI

BrazeTec

SOMMARIO

1. Introduzione (principi base della brasatura)

1.1 Bagnabilità

1.2 Capillarità

2. Definizioni

3. Gli utensili

3.1 Il tagliente

3.2 Il supporto

4. Scelta della lega brasante

4.1 Bagnabilità dei metalli duri

4.2 Tensioni di ritiro

4.3 Geometria

4.4 Leghe brasanti

5. L'utilizzo del disossidante

6. Scelta del processo e dei parametri di brasatura

6.1 Brasatura ad induzione

6.2 Apparecchiatura

6.3 Tecnica esecutiva

6.4 Brasatura al cannello

7. Metodi di controllo

8. Difetti

8.1 Cricche

8.2 Scolorimento

8.3 Distorsioni

8.4 Inclusioni

8.5 Unione intermittente

8.6 Mancanza di riempimento

1. Introduzione (principi base della brasatura)

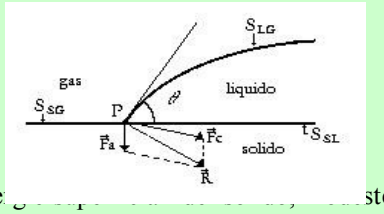
La brasatura è un processo di unione di materiali metallici, realizzato per fusione del solo metallo d'apporto, detto lega, il cui punto di fusione è più basso di quello del metallo base. La brasatura si suddivide in *brasatura forte* in cui il materiale d'apporto ha una temperatura di fusione superiore 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 si 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:

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



La bagnabilità è quindi favorita da: basse tensioni interfacciali, elevate ene[illegible]ste 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.

2. Definizioni

Coefficiente di dilatazione termica: esprime la variazione dimensionale subita da un'asta di un determinato materiale di lunghezza unitaria (1 m) al variare della temperatura di 1 C°.

Durezza: può essere definita come la resistenza alla deformazione elasto-plastica, alla scalfittura o la resistenza che un materiale oppone alla sua penetrazione. La misura della durezza si basa sulle dimensioni dell'impronta che un penetratore adeguatamente caricato lascia sulla superficie del saggio o provetta; le prove statiche di misura denominate Brinell, Vickers, Rockwell e Knoop si distinguono per tipo di penetratore, carico applicato e tecnica di rilevamento dell'impronta.

Isteresi magnetica: Il fenomeno dell'isteresi è ben noto nei materiali ferromagnetici. Quando un campo magnetico inducente (H) viene applicato ad un materiale di questo tipo, si ha una sorta di memorizzazione. Se si aumenta il campo inducente fino ad un valore di saturazione della densità del flusso magnetico (B) e poi lo si porta a zero, si ottiene che il materiale presenta una densità di flusso permanente in assenza di induzione, ovvero rimane magnetizzato. Invertendo la direzione del campo, il campo indotto residuo contrasta il campo inducente e per un preciso valore di H, detto campo coercitivo, la densità di flusso è nulla. Superato questo punto il flusso inizia a salire nella direzione del campo inducente fino a giungere a saturazione. Ripercorrendo il ciclo in senso opposto il fenomeno si manifesta specularmente.
La magnetizzazione residua o rimanenza può essere un problema; è possibile comunque eliminare questa magnetizzazione residua, portando il materiale magnetizzato alla temperatura di Curie, alla quale si distrugge l'ordine ferromagnetico negli spin elettronici.

Liquazione: fenomeno per il quale i componenti metallici di una lega fusa si separano da quelli a più basso punto di fusione che si concentrano nella massa fusa raffreddandosi a velocità diverse.

Modulo elastico: o modulo di Young è il rapporto tra lo sforzo applicato ad un materiale e la deformazione risultante, valori "piccoli" indicano che il materiale è particolarmente flessibile viceversa valori "grandi" indicano rigidità. Il modulo elastico si misura in P_a.

Tenacità: è la resistenza di un materiale alla frattura fragile; applicando una sollecitazione in un tempo molto breve ad un materiale metallico, la sua capacità di assorbire energia spendendola nella sua deformazione può essere totalmente diversa. Si può verificare una frattura fragile con il distacco pressoché istantaneo di piani particolari (piani di decoesione) del reticolo cristallino senza che si evidenzi alcuna strizione e la superficie che ne risulterà sarà di aspetto lucente. La prova di Charpy misura l'energia richiesta per rompere ad urto un determinato campione.

U.S. Mesh: o detta anche maglia di Mesh è unità di misura statunitense utilizzata di solito per determinare la dimensione di particelle come polveri o materiali granulari. Ad ogni valore di Mesh corrisponde una griglia con un certo numero di aperture tutte di una determinata grandezza.

3. Gli utensili

3.1 Il tagliente

I taglienti per utensili sono costruiti con materiali la cui evoluzione è stata continua e complessa nel tempo; l'esigenza di incrementare i rendimenti produttivi delle macchine utensili e la necessità di lavorare materiali con caratteristiche diverse e di difficile lavorabilità hanno spinto la ricerca alla progettazione di nuovi materiali per gli utensili da taglio (fig.1).
Il tagliente deve avere caratteristiche particolari per sopportare le velocità di taglio e ridurre i tempi di produzione aumentando così la produttività:

1. Coefficiente d'attrito basso per evitare eccessivi riscaldamenti nella zona di taglio.
2. Conducibilità termica buona per scambiare velocemente il calore prodotto nella zona di taglio e mantenere la temperatura del tagliente a valori accettabili.
3. Costo contenuto, comprensivo sia del costo del materiale che del costo di riaffilatura del tagliente.
4. Durezza a caldo di almeno 20 HRC superiore a quella del materiale da lavorare; la durezza dovuta all'attrito tra tagliente e pezzo deve essere mantenuta alle alte temperature.
5. Durezza a freddo del tagliente, grazie all'aggiunta di elementi in lega e ai trattamenti termici che garantiscono una buona durezza a temperatura ambiente.
6. Resistenza all'usura per strisciamento nel tempo dovuta al materiale da lavorare e al truciolo delle superfici e spigoli di taglio.
7. Tenacità ovvero resistenza agli urti per evitare la rottura del tagliente.

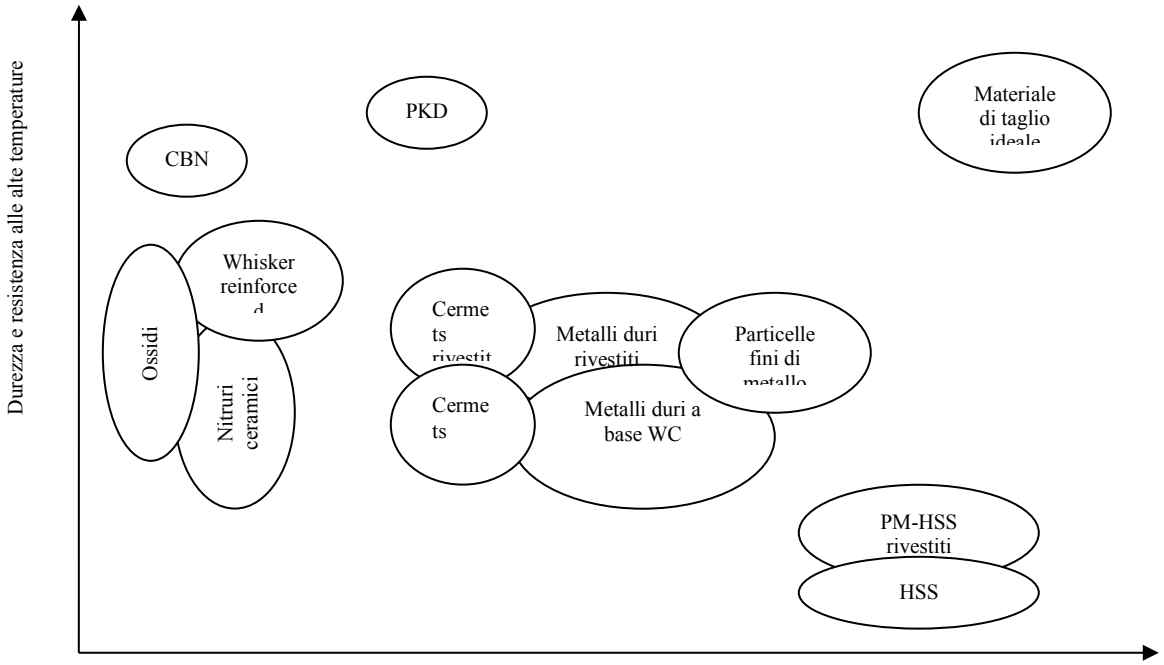


Fig.1

PKD o PCB: polycrystaline diamond, sono singoli cristalli fini di diamante industriale di altissima qualità sinterizzati e integralmente cementati ad un substrato di carburo di tungsteno mediante un processo ad alta temperatura e pressione, il lato negativo di questo materiale è la limitazione della temperatura a 600 °C nella zona di taglio, non è adatto a lavorare materiali ferrosi e tenaci ad alta resistenza, viene impiegato su materiali abrasivi non ferrosi e non metallici che richiedano precisione e finiture superficiali elevate.

CBN: cubic boron nitride, composto chimico formato da boro e azoto sottoposto ad alta pressione e temperatura usato come abrasivo, è simile al diamante ma con elevata resistenza e durezza (90-95 HRC) alle alte temperature (2000 °C), ha una buona conduttività termica, possiede una limitata reattività chimica con i metalli fino a 1200 °C e una resistenza all'ossidazione a caldo fino a 1200 °C. E' un materiale relativamente fragile e molto costoso.

Ossidi ceramici: Al_2O_3, MgO, ZrO_2, sono fabbricati mediante la pressatura e sinterizzazione ad alta temperatura di polveri, godono di elevata durezza alle alte temperature ed alto livello di stabilità chimica, di contro hanno scarsa resistenza agli shock termici e ridotta tenacità. Sono particolarmente adatti per finiture di pezzi in acciaio temprato con durezze non molto elevate e ghisa. Aggiungendo il carburo di Titanio all'ossido di alluminio si ottiene Al_2TiO_5 con un notevole miglioramento delle proprietà meccaniche in particolare la durezza a caldo e la conducibilità termica.

Nitruri ceramici: Si_3N_4 usati nella lavorazione delle superleghe a base di nichel e della ghisa in condizioni di taglio particolarmente gravose o di taglio interrotto; hanno un basso coefficiente di espansione termica, una bassa tenacità e bassa densità. Queste ceramiche al nitruro di silicio hanno un' elevata resistenza all'usura ad alte temperatura (1700 °C), una elevata durezza, una discreta tenacità e una buona resistenza allo shock termico e agli agenti chimici. Hanno costi di fabbricazione elevati e non sono consigliabili nelle lavorazioni degli acciai a causa della forte reattività chimica con i materiali ferrosi il cui truciolo provoca un fenomeno di usura per diffusione e la conseguente craterizzazione dell'utensile.

*Cerm*ets: materiale composito ceramico+metallo, è un sinterizzato in cui le particelle ceramiche sono a base di carburi di titanio TiC, carbonitruri di titanio TiCN, nitruri di titanio TiN aventi particelle metalliche (Co e Ni) come leganti. Gli inserti sono caratterizzati da elevata resistenza all'usura sul fianco e per craterizzazione, elevata stabilità chimica e durezza a caldo, bassa tendenza alla formazione di tagliente di riporto, bassa tendenza all'usura per ossidazione. I Cermets sono vantaggiosi nell'impiego ad elevate velocità di taglio in combinazione con bassi avanzamenti e piccole profondità di passata con esigenze di massima precisione e finitura speculare. Ottimi risultati sono stati riscontrati nella lavorazione degli acciai, acciai inox, acciai altolegati e ghisa sferoidale.

Cermets rivestiti: materiale composito ceramico+metallo ricoperto con TiZrN o TiN attraverso la tecnica PVD (physical vapor deposition)

HSS: high speed steel= acciaio super rapido, la presenza di elementi leganti quali W, Cr, V, Mo, Co garantisce una buona durezza (62 HRC) e resistenza all'usura fino a temperature di 500-600 °C

PM-HSS rivestiti: polveri di acciaio super rapido rivestito tramite il processo PVD con TiAlN caratteristico per l'elevata resistenza all'usura e all'ossidazione alle alte temperature (oltre i 700 °C)

Whisker reinforced ceramic: monocristalli di SiC di forma allungata a rinforzo delle matrici di ossidi ceramici Al_2O_3-SiC(w) e nitruro ceramici Si_3N_4-SiC(w) sopportano il taglio interrotto e condizioni di taglio gravose (adatti per lavorare superleghe di nichel e di tungsteno), sono utilizzati nella lavorazione di materiali refrattari e ferrosi, hanno un'elevata durezza a caldo ed elevata resistenza alla rottura trasversale. Presentano basso coefficiente di espansione termica e una buona conducibilità termica migliorando così la resistenza agli shock termici rispetto agli ossidi ceramici non rinforzati e migliorando la tenacità.

Metallo Duro o Carbide o Hart Metall o Widia: sono tutti nomi per identificare i carburi metallici sinterizzati in forma di placchette, inserti e blocchetti. I metalli duri hanno una notevole durezza (74-78 HRC) e resistenza ad usura fino alla temperatura di 1000 °C quindi possono essere utilizzati come utensili per il taglio ad altissime velocità; di contro hanno un costo molto elevato e una scarsa tenacità ecco perché sono brasati ad uno stelo in acciaio. Tali leghe dure possono essere costituite da sinterizzati di carburo di tungsteno WC, titanio TiC, tantalio TaC, niobio NbC e l'aggiunta di un metallo legante solitamente cobalto e più raramente nichel.

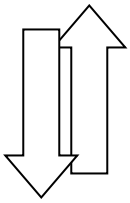
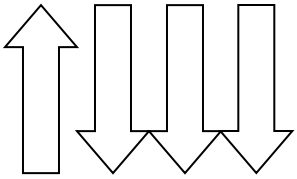
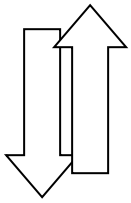
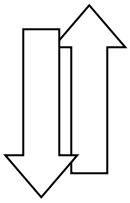
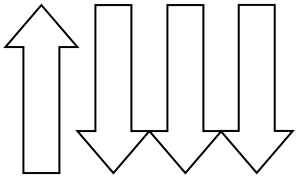
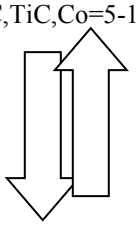
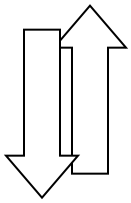
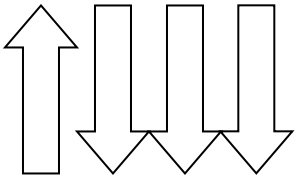
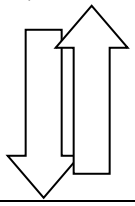
Carburo di Tungsteno	WC	Conferisce elevata durezza e resistenza all'azione abrasiva del truciolo
Carburo di Titanio	TiC	Capace di incrementare la resistenza ad usura del tagliente
Carburo di Tantalio	TaC	Aumenta la durezza e la resistenza alla craterizzazione ma infragilisce il materiale
Carburo di Niobio	NbC	Compensa in parte la fragilità del TaC, aumenta la durezza a caldo, la resistenza ad usura e all'ossidazione

I carburi sono ottenuti attraverso diversi metodi, il più comune consiste nella riduzione dei metalli ad alto punto di fusione dai loro ossidi e successiva carburazione con un mezzo carburante solido al di sotto del punto di fusione del carburo. Le principali fasi di fabbricazione sono:

- Produzione di tungsteno puro: il triossido di tungsteno ottenuto dal minerale grezzo è ridotto in forno elettrico con idrogeno.
- Miscelazione: il carbonio sotto forma di grafite o nero fumo è mescolato al carburo di tungsteno in rapporto stechiometrico, si passa poi al riscaldamento in forno elettrico a resistenza con atmosfera protetta a temperatura variabile tra i 1200-1900 °C a seconda per tipo di carburo per uno o più tempi di carburazione.
- Macinazione: i carburi e ed il legante sono macinati ad umido in polveri (0,5-2 μm) fino ad ottenere grani di carburo uniformemente avvolti di metallo legante .
- Essiccazione: la miscela umida viene essiccata in un forno a 600-700 °C con atmosfera di idrogeno provocando la riduzione dell'ossido di cobalto.
- Pressatura: applicando una pressione a freddo dell'ordine di 50-100 N/mm^2 si conferisce alla miscela una certa consistenza riducendo la porosità intergranulare.
- Pre-sinterizzazione: in questa fase si riscaldano i pezzi in forno elettrico con atmosfera di idrogeno alla temperatura di 800-1000 °C per liberare i gas meccanicamente racchiusi durante la pressatura e fornire una consistenza tale da permettere la successiva formatura meccanica.
- Formatura: per quei pezzi che richiedono di effettuare la formatura meccanica secondo la sagoma desiderata, le dimensioni sono maggiorate del 10-25 % per tener conto del ritiro nella fase di sinterizzazione.
- Sinterizzazione: riscaldando secondo un determinato ciclo in un forno elettrico in atmosfera controllata di idrogeno o vuoto spinto a 1400-1600 °C, il pressato formato da particelle singole si trasforma tramite ricristallizzazione ed accrescimento dei grani in una massa di particelle omogeneizzate per diffusione.

Metalli duri rivestiti: le placchette possono essere "rivestite" per aumentare ulteriormente la resistenza all'usura senza danneggiare la tenacità, sottilissimi strati superficiali di carburi di titanio TiC o di ossidi di alluminio Al_2O_3 o di nitruri di titanio TiN o carbonitruri di titanio TiCN ricoprono per diffusione in fase gassosa (CVD:chemical vapor deposition) le placchette aumentando di 3-4 volte la durata del tagliente e quasi raddoppiando la velocità di taglio.

CLASSIFICAZIONE DEI METALLI DURI

Sigla Iso	Composizione chimica	Materiali lavorabili	Proprietà	Parametri di taglio	Condizioni di lavoro
P01	WC,TiC,TaC, NdC,Co=4-12%	Materiali ferrosi che producono truciolo lungo come acciai, acciai al cromo-nichel e ghise malleabili			Alta velocità, piccola sezione, assenza di vibrazioni
P10					Tornitura ad alta velocità, piccola o media sezione
P20					Tornitura e fresatura con velocità di taglio e sezioni medie
P30					Velocità media o bassa, media o grande sezione
P40					Bassa velocità di taglio, grande sezione di truciolo
P50					Condizioni sfavorevoli con forti vibrazioni
M10	WC,TiC,Co=5-11%	Ogni tipo di materiale, acciai inossidabili			Velocità media o alta, piccola o media sezione
M20					Velocità di taglio e sezioni di truciolo medie
M30					Velocità di taglio media, sezione media o grande
M40					Bassa velocità, grande sezione in condizioni sfavorevoli
K01	WC,Co=3-12%	Materiali ferrosi a truciolo corto, materiali non ferrosi come ceramica, ottone, legno, pietra, ebanite, materie plastiche, ghisa grigia			Finitura di tornitura e fresatura, alesatura
K10					Tornitura, fresatura, foratura, alesatura, brocciatura
K20					Tornitura, fresatura, foratura, alesatura, brocciatura con alta velocità
K30					Tornitura, fresatura, foratura, alesatura, brocciatura in condizioni sfavorevoli
K40					

3.2 Il supporto

Gli utensili da taglio (fig. 2, 3 e 4) non sono interamente costituiti da lega dura poiché sarebbero troppo costosi sia per la difficoltà di lavorazione in fase di sinterizzazione (si cerca il più possibile di avvicinarsi alle forme finite) sia per l'elevato costo in fase di finitura (si utilizzano per la loro lavorazione solo mole in carburo di silicio o diamantate). Nasce quindi la necessità di utilizzare come supporto un materiale meno pregiato ma avente buona resistenza all'usura e durezza solitamente acciai con alto limite di snervamento ed alta resistenza a trazione in particolare acciai non legati o poco legati con percentuali di carbonio (0,5-0,7% C) e resistenze alla trazione 700-1000 N/mm^2 oppure in caso di fortissime sollecitazioni acciai temprabili in aria il cui trattamento di bonifica può avvenire mediante il calore della brasatura.

Fig. 2: punte per utensili

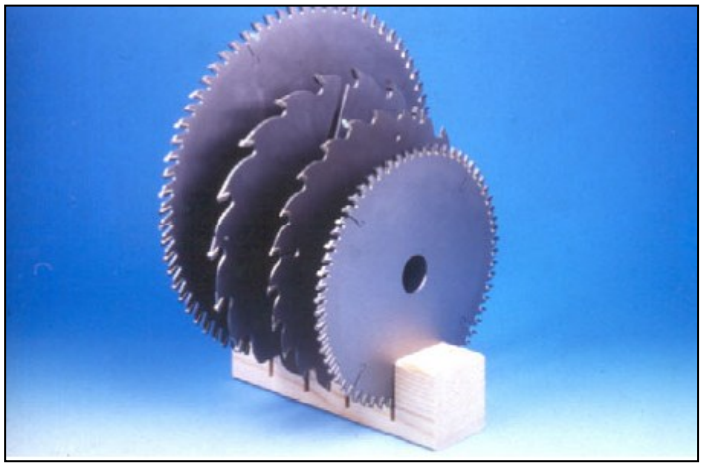


Fig. 3: seghe circolari

Fig. 4: punta da trapano

4. Scelta della lega brasante

Nella scelta della lega più adatta per la brasatura tra tagliente-supporto si devono prendere in considerazioni alcuni parametri:le proprietà e le caratteristiche fisiche dei materiali da unire, la geometria, il processo di brasatura adottato, le condizioni/sollecitazioni dell'applicazione finale, i mezzi di contatto e le lavorazioni successive la brasatura.

4.1 Bagnabilità dei metalli duri

In generale maggiore è la percentuale di cobalto presente nella lega dura (es. P50, M40, K40) e più grande è l'attitudine ad unirsi saldamente tramite brasatura al supporto, mentre maggiore è la quantità di carburi che compongono il metallo duro (P01, M10) e maggiori sono le difficoltà di bagnatura della lega brasante: ad esempio sinterizzati incorporati in polvere di ossido di alluminio o carburi di titanio si possono formare superfici difficilmente bagnabili, nel caso in cui il processo di sinterizzazione è realizzato sotto vuoto a causa dall'evaporazione di cobalto dalla superficie si può avere una cattiva bagnatura oppure lo stesso effetto avviene con l'assorbimento di carbonio dai piatti di sinterizzazione in grafite posti all'interno dei forni sotto vuoto.
Per ovviare alle difficoltà di bagnatura si può ricorrere: alla nichelatura, alla ricottura in atmosfera di idrogeno a 700-900 °C, alla ramatura (per metallo duro sottile e sensibile alla rottura da flessione), al rivestimento con lega brasante forte per poi renderli bagnabili alle leghe dolci, all'aggiunta di additivi reattivi nella lega brasante come il manganese, nichel o cobalto.

4.2 Tensioni di ritiro

Il metallo duro che costituisce il tagliente e l'acciaio che forma il supporto hanno coefficienti di dilatazione termica e moduli elastici molto differenti in particolare:

Materiale base	Modulo elastico	Coeff. di dilatazione termica
Metallo duro	5-7 $*10^{-6}$ MP_a	50-60$*10^4$ $°C^{-1}$
Acciaio di supporto	11-14 $*10^{-6}$ MP_a	19,5-21$*10^4$ $°C^{-1}$

Valori così diversi generano, una volta completamente solidificata la lega brasante quindi sotto la temperatura di solidus, tensioni di ritiro in fase di raffreddamento. In particolare l'acciaio è impedito nel ritiro quindi in prossimità del giunto resta allungato provocando tensioni di trazione sulla parte a contatto con il metallo duro il quale nella stessa zona a causa del suo basso coefficiente di dilatazione termica manifesta un ritiro ridotto risultando soggetto a tensioni di compressione. Le alte tensioni di trazione generano momenti flettenti che nella zona marginale esterna del metallo duro causano incrinature sulla superficie fino alla rottura senza precedente compensazione delle tensioni per deformazione plastica del metallo duro. Stima della tensione di trazione nello strato marginale del metallo duro:

$$\sigma = E_H * \frac{\{[1+(\alpha_S * T)]/[1+(\alpha_H * T)]\}-1}{[(E_H * d_H)/(E_S * d_S)]+1}$$ dove:

E_H, E_S sono rispettivamente modulo elastico del metallo duro e dell'acciaio di supporto;
α_H, α_S sono rispettivamente coeff. di dilatazione termica del metallo duro e dell'acciaio di supporto;
d_H, d_S sono rispettivamente spessore del metallo duro e dell'acciaio di supporto;
T temperatura di solidificazione della lega brasante.

Consigli e soluzioni

- ⇒ $d_S/d_H = 3$ la tensione di trazione σ si riduce rapidamente fino ad annullarsi quando il rapporto tra lo spessore del supporto e del tagliente è prossimo a 3;
- ⇒ utilizzare acciai per il supporto con alto limite di snervamento elastico ($R_{p0,2\%}$) ed alta resistenza alla trazione;
- ⇒ usare una lega brasante a bassa temperatura di solidificazione;
- ⇒ usare una lega brasante con bassa resistenza al taglio, in quanto in presenza di tensioni di ritiro superiori a tale valore la lega si deformerà offrendo una maggiore superficie per assorbire le sollecitazioni;
- ⇒ giunto particolarmente "largo" per permettere l'assorbimento delle sollecitazioni impiegando una lega brasante ben deformabile (ad esempio con strato di rame intermedio: leghe trimetalliche); con placchette molto sottili provvedere ad un raffreddamento lento dalla temperatura di brasatura a quella ambiente.

4.3 Geometria

Un utensile può essere paragonato ad un cuneo che si addentra nel materiale comprimendolo con una faccia e sollevandone i trucioli con l'altra. L'avanzamento dell'utensile nel pezzo provoca la formazione di un'incrinatura che precede l'utensile e di un vano nella frattura che è spesso riempito da un piccolo ammasso di materiale incrudito aderente allo spigolo. La faccia superiore provoca il sollevamento del truciolo che si incurva e si spezza oppure si avvolge a elica. Per quanto un utensile possa essere complesso può essere sempre ricondotto ad utensile elementare (fig. 5) costituito da un cuneo; in esso si distinguono il petto o faccia che solleva il truciolo e il fianco che e' la superficie che sta dalla parte del materiale lavorato. Le caratteristiche e le grandezze geometriche che definiscono un utensile influenzano sia la formazione del truciolo, sia le forze che utensile e pezzo si scambiano, sia infine, il grado di finitura del pezzo. Esistono diverse tipologie di utensili che possiamo suddividere in tre categorie: utensili a punta (o a testa) singola, utensili a più denti, utensili con geometria indefinita.

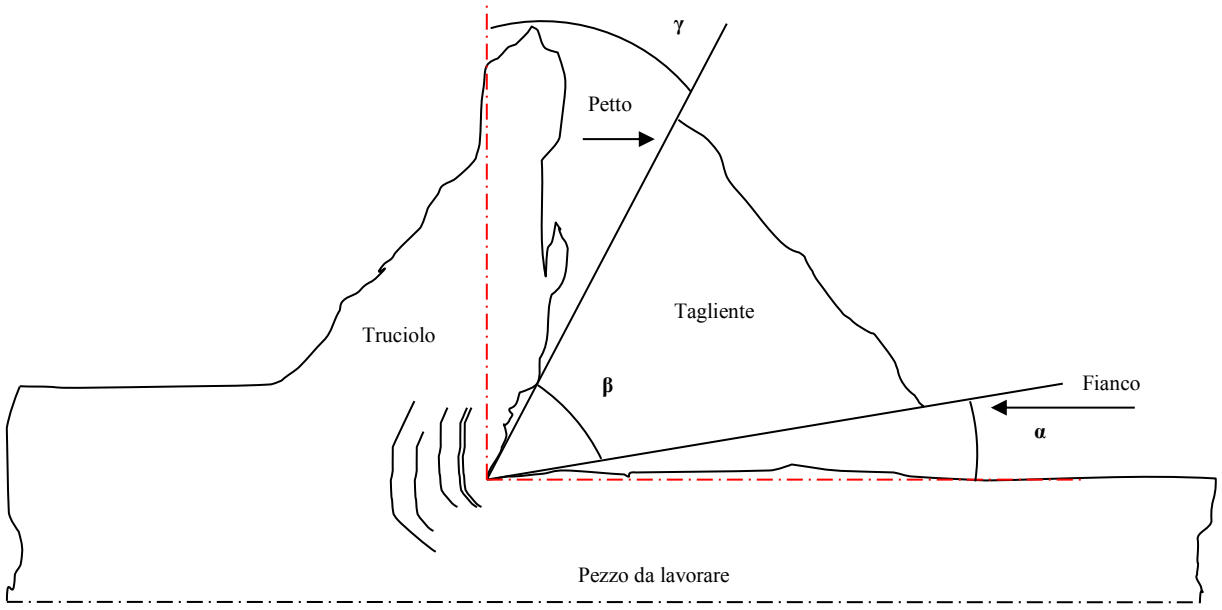
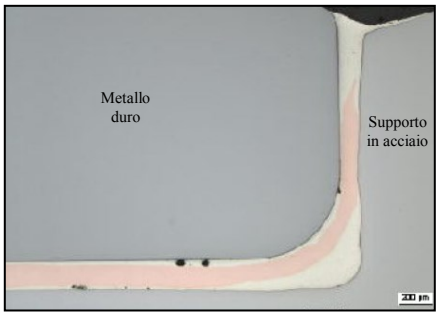


Fig. 5: utensile elementare e formazione del truciolo (α: angolo di spoglia inferiore; β: angolo di taglio; γ: angolo di spoglia superiore)

Il primo elemento che influenza le caratteristiche della brasatura è la forma del supporto la sua corretta progettazione ovvero la possibilità di deformarsi in relazione al metallo duro riduce la possibilità di fessurazioni. Lo spessore dello stelo deve essere dimensionato in maniera tale da resistere agli sforzi di taglio; in caso di utensili comuni si impiegano acciai al carbonio, se invece si è vincolati ad uno spessore esiguo si utilizzeranno acciai ad alta resistenza o acciai legati. Per brasare lunghe placchette su supporti soggetti alla deformazione in fase di ritiro si possono adottare acciai "invar" o "convar" che hanno un alto tenore di nichel (36-50%) e un coefficiente di dilatazione termica simile a quello del metallo duro fino ai 450 °C: è quindi possibile ottenere una buona brasatura con leghe brasanti con temperatura di lavoro inferiore ai 600 °C. Risultati negativi nella brasatura si riscontrano con acciai ad alto tenore di cromo e manganese o acciai temprati.

Il secondo elemento di influenza sulla brasatura è la forma della sede di inserimento della placchetta, essa dovrebbe essere brasata allo stelo lungo una sola superficie per ridurre le tensioni, le quali in presenza di più superfici di contatto si sovrapporrebbero originando punte di tensione e conseguenti fessurazioni. Nella realtà si deve raggiungere un compromesso in quanto più superfici di contatto sono necessarie per smaltire velocemente il calore durante la lavorazione e per contenere le forze di taglio che potrebbero rompere la placchetta.
Il terzo fattore di influenza sulla brasatura è il profilo e le dimensioni della placchetta, in generale maggiore è l'area della placchetta e maggiori sono le possibilità di fessurazioni in particolare maggiore è il rapporto tra larghezza (o lunghezza) e spessore; il profilo non deve presentare punti rientranti che riducendo la sezione resistente e che ne provocherebbero la rottura.
Il quarto fattore di influenza sulla brasatura riguarda le superfici di contatto tra stelo e placchetta. In particolare per lo stelo in acciaio con una maggiore rugosità (R_{max}=10-15 μm) ottenibile per fresatura o tornitura aumenta la superficie di contatto, ne consegue che aumenterà la resistenza al taglio del giunto brasato. Per la placchetta in lega dura è possibile aumentare la rugosità con carta abrasiva o sabbiatura.
Ultimo e più importante aspetto inerente la geometria riguarda il gap che la lega brasante deve riempire. La distanza tra i lembi da unire alla temperatura di lavoro della lega brasante deve essere compresa tra 0,05 e 0,5 mm.

Meati più grandi sono difficili da riempire e determinano un maggior consumo di materiale d'apporto senza aumento di resistenza, mentre meati più piccoli possono risultare non completamente riempiti per insufficiente azione capillare. Il gap deve avere uno spessore costante lungo tutta l'area di giunzione (fig. 6).



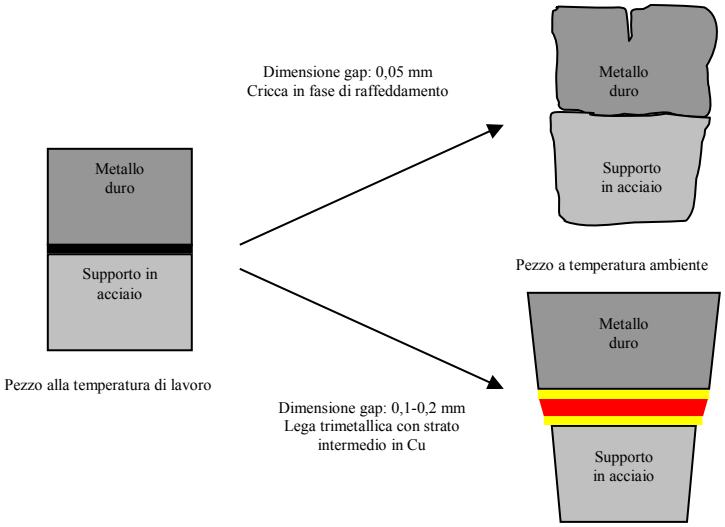


Fig. 6: gap di un giunto correttamente brasato con lega trimetallica

Consigli e soluzioni

Impiegare leghe brasanti composte da uno strato di rame intermedio nei seguenti casi:

- ⇒ placchetta in P10 con larghezza superiore a 13 mm,
- ⇒ placchette in P20 o P30 o K20 con larghezza > 19 mm;
- ⇒ placchetta con spessore > 7 mm;
- ⇒ pacchette in P01 o K01 o K05 con qualsiasi dimensione o forma;
- ⇒ profili complessi della placchetta;
- ⇒ limitato spessore dello stelo.

4.4 Leghe brasanti

Le *leghe trimetalliche* sono leghe a bassa temperatura di fusione formate da uno strato di rame ricoperto in entrambi i lati da lega brasante (fig. 7), lo strato di rame permette di assorbire le tensioni interne deformandosi plasticamente, se l'area di brasatura supera i 100 mm^2 la lega 49Cu rappresenta l'unico modo per evitare le tensioni interne. Leghe trimetalliche sono consigliate anche per superfici più piccole; nella lega 49NiN è presente come strato intermedio di nichel anziché rame garantendo resistenze assai superiori a parità di assorbimento di tensioni interne.

LEGA	% Ag	% Cu	% Zn	% Mn	% Ni	% In	INTERV. DI FUSIONE in °C	TEMP. DI LAVORO in °C
49/Cu	49	27,5	20,5	2,5	0,5	-	670 - 690	690
49/Cu^{plus}	49	27,5	20,5	2,5	0,5	-	670 - 690	690
49/NiN	49	27,5	20,5	2,5	0,5	-	670 - 690	690
49/Cu 17	49	27,5	20,5	2,5	0,5	-	670 - 690	690
49/Cu 13	49	27,5	20,5	2,5	0,5	-	670 - 690	690
49/CuNiFe	49	27,5	20,5	2,5	0,5	-	670 - 690	690
64/Cu	64	26	-	2	2	6	730 - 780	770
Cu/NiN	-	100	-	-	-	-	1085	1100

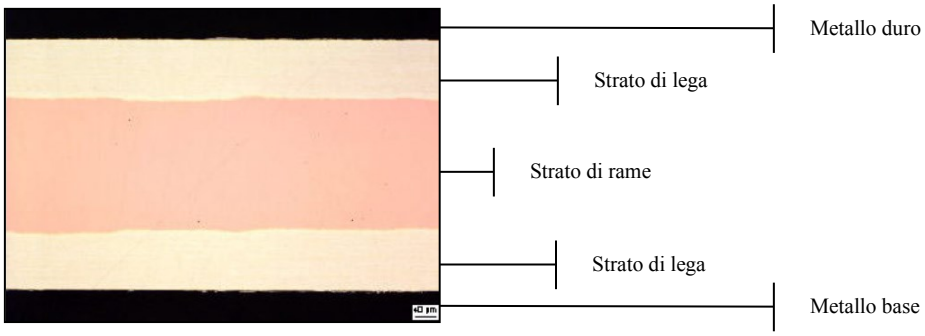


Fig. 7: lega trimetallica

Leghe di rame (con leganti Mn, Ni, Co e Si) o rame puro sono leghe ad alta temperatura di fusione possono essere usate per brasatura in forno o ad induzione con atmosfera protettiva o con disossidanti.

Leghe d'argento senza cadmio permettono di brasare a temperature decisamente inferiori rispetto a quelle usate nel rame, unitamente ad adeguati gaps garantiscono la riduzione delle tensioni interne dissipandole per deformazione plastica, solitamente si impiegano nei processi a fiamma o induzione con l'utilizzo di disossidante. Se gli utensili devono essere rivestiti dopo la brasatura con TiN per aumentarne la resistenza e quindi la durata di vita allora si devono impiegare leghe d'argento senza zinco (es. 6488). A causa della bassa temperatura di vaporizzazione dello zinco e della temperatura superficiale oltre i 500 °C raggiunta con il processo sotto vuoto PVD, lo zinco tende ad evaporare determinando la perdita di resistenza del giunto, la perdita di precisione dimensionale e un danno al forno sotto vuoto.

LEGA	%	%	%	%	%	altro	INTERV. DI	TEMP. DI	DIN EN	ISO
	Ag	Cu	Zn	Mn	Ni		FUSIONE in °C	LAVORO in °C	1044	17672
6488	64	26	-	2	2	6 In	730 - 780	770	-	-
5662	56	19	17	-	-	5Sn / 3Ga	608 - 630	630	-	-
5081	50	20	28	-	2	-	660 - 715	710	-	Ag 450
4900A	49	27,5	20,5	2,5	0,5	-	670 - 690	690	-	-
4900	49	16	23	7,5	4,5	-	680 - 705	690	AG 502	Ag 449
4911	39	30	-	-	-	Zn+Mn+Ni 31	670 - 720	710	-	-
4085	40	30	28	-	2	-	660 - 780	-	-	Ag 440
2700	27	38	20	9,5	5,5	-	680 - 830	830	AG 503	Ag 427
21/80	-	86	-	12	2	-	970 - 990	990	-	Cu 595
21/68	-	87	-	10	-	3 Co	990 - 1030	1020	-	-

5. L'utilizzo del disossidante

Fase 1: le superfici del tagliente e dello stelo devono essere pulite da olii o grassi con solventi, agenti alcalini, soluzioni sgrassanti a vapore caldo o bagni elettrolitici, devono essere rimosse anche le bave presenti con carta abrasiva al carburo di silicio 400 U.S. mesh o sabbiatura con sferette di vetro sulla placchetta mentre sullo stelo si deve rimuovere il velo di ossido o sostanze contaminanti superficiali con una sabbiatura.
Fase 2: a temperatura ambiente e ancor più ad alte temperature l'ossigeno nell'aria tende a formare ossidi con i metalli, essi sono causa di mancanza di bagnabilità da parte delle superfici e assenza di scorrevolezza della lega brasante che tende a contrarsi formando delle sferette. Per evitare il problema si utilizza un processo di brasatura ad atmosfera controllata formata da gas inerte (es. idrogeno, ammoniaca dissociata) o sotto vuoto, in alternativa si utilizza del disossidante costituito da acidi che ad una certa temperatura impediscono all'ossigeno di venire in contatto con le superfici riscaldate e nello stesso tempo agisce sciogliendo ed assorbendo tutti gli ossidi presenti sulla superficie. I disossidanti possono essere liquidi, in pasta o polvere (fig. 8° e 8b), agiscono entro un preciso intervallo di temperatura (550-1200 °C) ed hanno una durata efficace dai 30 ai 240 secondi, per temperature oltre i 760 °C si utilizzano disossidanti a base di Borati.
Fase 3: a brasatura avvenuta, una volta raffreddato l'utensile deve essere preparato per la molatura del tagliente. I residui di flusso sono eliminati mediante lavaggio con acqua moderatamente calda, mentre gli ossidi superficiali prodotti dalla brasatura possono essere asportati con l'uso di una spazzola metallica o carta abrasiva per evitare il fenomeno della corrosione.

Consigli e soluzioni

- ⇒ eliminare lo sfrido generato dall'operazione di pulitura nella fase 1 con il risciacquo della placchetta in acqua deionizzata utilizzando un apparecchio ad ultrasuoni;
- ⇒ per pulire completamente l'utensile si consiglia la sabbiatura con sferette di vetro di grana 80 U.S. mesh, procedimento che non danneggia la superficie superabrasiva della placchetta.

Fig. 8a: disossidante in pasta

Fig. 8b: disossidanti vari

Flux	Stato	Range T. work °C	DIN EN 1045	Impieghi	Commenti
H	PT PS	550-800	FH10	Metalli pesanti	Universale, diventa trasparente oltre i 600 °C
H 80	PT	550-800	FH10	Carburi cementati,L acciai, acciai dolci, Cu, L Cu, Ni, L Ni	Brasatura superfici: adatto per processi ad induzione e tempi di brasatura inferiori a 30 sec
SPEZIAL H	PT P	550-800	FH12	Inox, Carburi, Materiali speciali,utensili diamantati per pietra	
H285	PT	550-850	FH12	Acciai,carburi cementati, Cu, L Cu, Ni, L Ni	Adatto per l'applicazione con dosatore e per brasare carburi di tungsteno
S	PT	750-1100	FH20	Acciai,carburi cementati, Ni, L Ni	Usato per le alte temperature
SPEZIAL H 25	PT	>500	FH12	Materiali speciali, carburi, acciai resistenti che non arrugginiscono	
H90	P	520-850	FH12	Metallo duro	Per metalli difficili da bagnare: mescolare con acqua per essere spalmabile
H900	PT	550-800	FH12	Inox e carburi cementati	Adatto per l'applicazione con dosatore, il legante deve evaporare completamente
P= polvere; PT= pasta; PS = polvere spruzzabile					

6. Scelta del processo e dei parametri di brasatura

I principali processi utilizzati per la brasatura degli utensili sono: la brasatura ad induzione e la brasatura con cannello. Nella scelta del processo di brasatura da adottare si devono tener conto di diversi fattori quali: le caratteristiche dei materiali da congiungere, l'interspazio capillare tra loro, il disegno e le condizioni di esercizio del giunto finito. Leghe con un ristretto intervallo di fusione sono adatte a congiungere giunti con interstizi capillari fino a 0,1 mm, per meati più larghi (es. fino a 0,25 mm) è opportuno utilizzare leghe con ampio intervallo di fusione idonee anche, per il breve ciclo di riscaldamento dell'induzione, ad evitare il fenomeno della liquazione tipico delle leghe ad ampio intervallo plastico sottoposte ad un riscaldamento prolungato.

6.1 Brasatura ad induzione

Il processo di induzione è sicuramente quello maggiormente utilizzato nella produzione in serie per l'efficienza tecnica dei i processi automatici e per i tempi di riscaldamento molto brevi e localizzati rispetto ad altri processi. Il riscaldamento avviene attraverso un induttore singolo o multiplo che viene posizionato attorno all'area da brasare; il processo offre il vantaggio di essere facilmente ripetibile nel tempo con risultati uniformi e costanti. L'accostamento delle parti deve essere molto accurato evitando che esse si muovano cambiando posizione perché lo stelo di acciaio si scalda prima, mentre il metallo duro si scalda dopo un po' di tempo e principalmente per conduzione termica da parte dell'acciaio stesso e non per induzione. Una buona brasatura si realizza solo se tutta l'area da brasare raggiunge la temperatura desiderata, quindi alle volte è necessario attendere un po'.

La teoria: la brasatura ad induzione utilizza come metodo di riscaldamento gli effetti dell'induzione elettromagnetica: una corrente alternata a bassa tensione e ad alta frequenza, è fatta passare in una bobina che avvolge il pezzo da riscaldare. La corrente crea un campo magnetico che induce nel metallo correnti indotte (I), le quali per resistenza elettrica (R) riscaldano il metallo base e fondono la lega d'apporto pre-posizionata.

Calore generato: $H = I^2 * R$

Le correnti indotte si concentrano sulla superficie del pezzo generando calore: tale fenomeno è chiamato "effetto pelle". Lo spessore dello strato nel quale le correnti penetrano dalla superficie fino ad un determinato punto è detta "profondità di penetrazione", il flusso di corrente indotta all'interno del materiale è maggiormente concentrato sulla superficie e decresce rapidamente verso l'interno del materiale, circa 85% del calore si genera nello strato superficiale che si scalda molto più velocemente della parte interna.
L'effetto pelle aumenta con l'incremento della frequenza e la permeabilità, mentre la profondità di penetrazione decresce: piccole parti da brasare possono essere scaldate con alte frequenze di induttore, mentre grandi pezzi devono essere brasati con frequenze medio basse perchè il passaggio di calore in profondità avverrà per conduzione.
La frequenza più idonea dipende quindi dalle dimensioni delle parti da congiungere e dalla forma del giunto, normalmente si impiegano frequenze intorno ai 20-50 kHz. Frequenze più elevate espongono il giunto alla possibile bruciatura delle superfici prima che si sia raggiunta la temperatura di brasatura.
I materiali con bassa resistenza elettrica come l'ottone e il rame, si riscaldano più lentamente di quelli che presentano una resistenza elettrica elevata. L'induzione trova impiego principale nella giunzione dei metalli ferro-magnetici quali ferro, nichel e cobalto dove si verifica un riscaldamento supplementare dovuto agli effetti di isteresi magnetica.

Materiale	Temperatura in °C	Profondità di penetrazione			
		50 Hz	500 Hz	10kHz	1MHz
Acciaio μ=1	900	70	23	5	0,5
Acciaio μ=10	620	14	5	1	0,1
Ottone	600	26	8,5	1,8	0,18
Rame	600	17	5,5	1,2	0,12

6.2 Apparecchiatura

Il generatore di corrente alternata ad alta frequenza che può essere del tipo a motore, convertitore, a scintilla o generatore a transistor (il più diffuso) è l'elemento fondamentale del processo di induzione.
Le bobine sono costituite da un tubo di rame ad elevata conducibilità, ricotto, dentro il quale passa l'acqua di raffreddamento o più raramente è formato da bobine di rame massiccio. Le bobine costituite da un tubo di sezione quadrata (fig. 9 e 10) generano un campo magnetico superiore rispetto a quello ottenibile con un tubo tondo, inoltre più vicina è posta la bobina all'oggetto da riscaldare e maggiore è il calore generato.
Nella realtà le bobine sono quasi sempre un tubo di sezione circolare poste a qualche millimetro dal pezzo da brasare, la forma della bobina può essere attorno al giunto oppure a piatto o a forcella in modo tale da poter essere poste parallelamente alle superfici da congiungere anche se il loro rendimento sarà inferiore. L'isolamento è costituito da fibra di vetro o altre sostanze isolanti che servono a mantenere nella giusta posizione le bobine di tipo flessibile oppure fungere da maschera per il bloccaggio delle parti costituenti il giunto; comunque generalmente le bobine sono rigide.
Normalmente le spire sono sostituibili e fissate nella parte anteriore della macchina induttrice ad esse tramite operazione manuale o automatica è portato il giunto per la brasatura. La potenza richiesta dipende dalle dimensioni degli elementi da congiungere e dalla temperatura di brasatura, tanto più piccola è la distanza tra la bobina ed il giunto e maggiore il numero di spire, tanto più grande sarà l'efficienza del riscaldamento. Se la velocità di riscaldamento del giunto dipende alla potenza del generatore, l'efficienza, invece, è determinata principalmente dal numero delle spire e l'accoppiamento (intensità del campo in relazione con la distanza giunto-spire) della bobina.

Fig. 9: brasatura ad induzione di una punta di perforazione

Fig. 10: bobina per la brasatura ad induzione

Vantaggi

- ⇒ ritmo di produzione molto elevato per giunti di forma semplice,
- ⇒ non pone limitazione di temperatura che può essere regolata precisamente;
- ⇒ l'elemento umano influisce in misura trascurabile sui risultati (il lavoro può essere svolto con manodopera inesperta);
- ⇒ riduce al minimo le eventuali alterazioni di caratteristiche dei metalli da congiungere provocate da un riscaldamento prolungato;
- ⇒ si presta particolarmente alla brasatura sotto vuoto.

Svantaggi

- ⇒ elevato costo iniziale dell'impianto;
- ⇒ in fase di progettazione richiede conoscenze ed esperienza per stabilire le migliori condizioni di esercizio;
- ⇒ la manutenzione richiede cognizioni tecniche specifiche;
- ⇒ è assai difficile progettare bobine che consentono il riscaldamento sufficientemente rapido di giunti complessi senza provocare il surriscaldamento di eventuali parti sporgenti;
- ⇒ scarsa versatilità del mezzo dovuta alla necessità di studiare e di mettere a punto per ogni applicazione le condizioni ottimali.

6.3 Tecnica esecutiva

Nel limite del possibile è consigliabile prevedere di posizionare la lega brasante nel giunto preventivamente per avere un risparmio di materiale d'apporto che risulterà sempre lo stesso per giunti uguali, la lega sarà posta in quella parte del giunto che sarà risaldata per ultima affinché, a fusione avvenuta, essa possa scorrere ed occupare i gaps del giunto spingendo al di fuori eventuali tracce di disossidante ed aria, riducendo al minimo la formazione di occlusioni.
La lega brasante è posta sempre all'esterno nel caso di bobine sistemate all'interno del giunto viceversa per bobine esterne la lega è posizionata internamente; in quest'ultimo caso buoni risultati si possono ottenere anche con lega all'esterno poiché l'effetto termico tende a concentrarsi sui metalli che hanno una elevata resistenza elettrica piuttosto che sulla lega brasante la cui resistenza è inferiore.
Quasi tutti i disossidanti per brasatura sono idonei per il riscaldamento ad induzione, solitamente si spalma sul giunto il disossidante in pasta prima del riscaldamento evitandone che eventuali residui ricoprano le bobine. Il processo di induzione si adatta anche alla brasatura sotto vuoto a scapito della rapidità di esecuzione, la medesima considerazione vale anche per il riscaldamento in atmosfera protettiva dove non è consentito l'uso di un disossidante e l'atmosfera protettiva può essere costituita da uno o più gas quali idrogeno, azoto, argon.

6.4 Brasatura al cannello

Il riscaldamento di un giunto con una fiamma attraverso cannello manuale o con bruciatori automatici è il metodo più comune per brasature di riparazione, di pezzi unici o lavori di piccola produzione; di norma si utilizza come combustibile l'ossiacetilene, ma è possibile usare anche altri tipi di gas. La fiamma deve essere regolata leggermente carburante utilizzando beccucci diversi in funzione delle dimensioni degli steli da brasare:

Beccuccio n°	Dimensioni stelo	Sezione di lato dello stelo
0	piccole	< 16 mm
1	grandi	16-20 mm
2	massime	> 20 mm

Lo stelo è bloccato ad una morsa mentre la placchetta è tenuta temporaneamente in posizione con una bacchetta di materiale isolante o ceramico, dopo l'applicazione del disossidante e si procede all'aggiunta della lega brasante e al riscaldamento muovendo la fiamma avanti e indietro sottostante la sede della placchetta per assicurare un'uniforme distribuzione del calore. La fiamma non deve mai essere diretta sulla placchetta per evitare una rapida degradazione. Quando la lega fonde ed inizia a scorrere si arresta la fonte di calore e si lascia solidificare (la lega fino assume un colore superficiale opaco), l'utensile è poi fatto raffreddare in aria calma per evitare l'incrinatura della placchetta risultato di sollecitazione termiche dovute al rapido raffreddamento in bagno d'acqua od olio.

Vantaggi

- ⇒ basso costo iniziale;
- ⇒ spese di manutenzione minime;
- ⇒ costo di esercizio ridotto;
- ⇒ flessibilità d'impiego;
- ⇒ consente di eseguire le operazioni più complesse con l'impiego di manodopera specializzata.

Svantaggi

- ⇒ richiede l'impiego di mano d'opera qualificata o specializzata;
- ⇒ il concorso dell'elemento umano porta a risultati variabili sia per qualità che per ritmo di produzione.

7. Metodi di controllo

Le prove per l'ispezione dei giunti dipendono da: geometria, dimensioni, materiali base e leghe brasanti utilizzate. Le norme Europee EN12797 e EN12799 descrivono tutti i metodi distruttivi e non distruttivi esistenti nella verifica dei giunti brasati. I tests non distruttivi nella maggior parte dei casi danno risultati significativi che possono essere impiegati per una stima della qualità del processo di brasatura in fase di start up, in presenza di problemi qualitativi o quando si desidera migliorare la qualità del processo; tali controlli, in forma ridotta, possono essere utilizzati come controlli statistici per processi qualitativamente consolidati.
I metodi di controllo per la loro corretta applicabilità devono tener conto dei requisiti del cliente, del numero di campioni disponibili e dell'attuabilità economica, quindi il loro utilizzo è stabilito in base ad ogni singolo caso.

EN	Prove e controlli	Risultati sui metalli duri
12797	Resistenza al taglio	Metodi distruttivi per la constatazione assoluta sulla qualità: funzione diretta della qualità di brasatura
12797	Resistenza alla trazione	
12797	Esame metallografico	Risultati molto significativi, molti fattori di influenza possono essere isolati
12797	Durezza	Dipendente dal materiale, può dare informazioni sull'andamento della temperatura durante il processo di brasatura
12797	Peeling test	-
12797	Prova di flessione	-
12799	Controllo visivo	Qualitativo dal significato limitato, dipendente dal modo di apporto della lega brasante
12799	Esame con ultrasuoni	Quantificativi della possibile area di bagnatura, può essere usato solo per aree limitate. Rileva la presenza della lega brasante e dell'avvenuta unione.
12799	Esame radiografia	Alti costi di investimento, risultati sui pori e difetti non sul grado di unione metallurgica
12799	Esame con liquidi penetranti	Limitato ai giunti in cui non è prevista la riparazione per le difficoltà di rimozione del penetrante
12799	Test di tenuta	Per tubi, recipienti, serbatoi
12799	Test in pressione	
12799	Esame termografico	Alti costi di investimento, risultati sul grado di bagnatura

8. Difetti

I difetti che possono essere presenti in un giunto brasato comprendono: cricche, scolorimento, distorsioni, inclusioni (o intrappolamento), raccordo discontinuo, erosione del materiale base. L'ispezione visiva è fonte di suggerimenti, infatti con essa si possono rilevare porosità, cavità, cricche superficiali, erosioni del materiale base, la forma e l'aspetto estetico: un buon aspetto della brasatura non significa che la stessa sia stata fatta correttamente, comunque un cattivo aspetto è sintomo di possibili anomalie.

8.1 Cricche

Le cricche sono causate principalmente dalle tensioni di ritiro. Esse possono portare a fenomeni quali:

- linee di frattura nel metallo duro indicative di un sovraccarico (fig. 11).

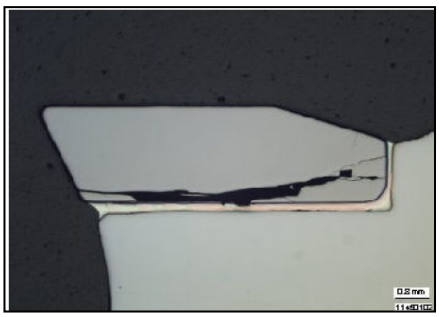


Fig. 11: frattura del metallo duro dovuto a sforzi di sovraccarico

Consigli e soluzioni

⇒ utilizzare un metallo duro con maggiore tenacità;
⇒ modificare la geometria del giunto per evitare sforzi e tensioni sfavorevoli;
⇒ aumentare o riempire con una lega trimetallica il gap della giunzione.

- rottura tra metallo duro-lega o tra lega-supporto indice di bagnatura inadeguata (fig. 12 e 13).

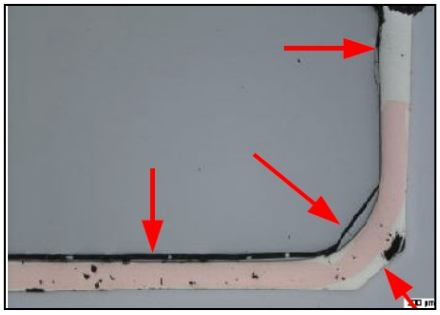


Fig.12: linea di frattura tra metallo duro e lega brasante

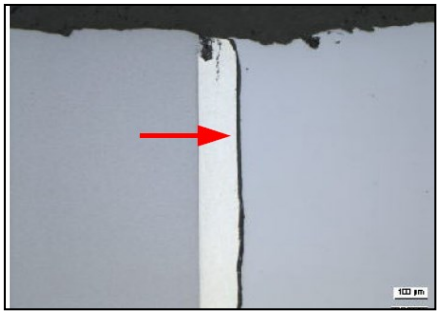


Fig.13: linea di frattura tra lega brasante e acciaio di supporto

Consigli e soluzioni

⇒ riscaldare il giunto fino a raggiungere la temperatura di lavoro della lega brasante;
⇒ utilizzare un disossidante adeguato ed una quantità sufficiente;
⇒ realizzare la brasatura prima che il disossidante perda il suo effetto.

- rottura dello strato intermedio in rame della lega trimetallica.

Consigli e soluzioni

⇒ non sovraccaricare l'utensile;
⇒ evitare gap inferiori a 0,05 mm;
⇒ utilizzare il corretto spessore di rame intermedio;
⇒ evitare di surriscaldare fino a fondere lo strato intermedio di rame durante la brasatura;
⇒ aumentare e favorire l'area di bagnatura.

8.2 Scolorimento

La perdita di colore del giunto può essere un difetto: i criteri e limiti di accettabilità devono tenere in considerazione la forma, l'orientamento, la posizione del difetto nella giunzione e l'eventuale interazione con gli altri difetti. Il fenomeno può essere dovuto a surriscaldamento, flusso insufficiente, atmosfera del forno contaminata, pulizia mal eseguita e componenti volatili nel materiale base o nel flusso.

8.3 Distorsioni

Le distorsioni sono dovute al riscaldamento non uniforme del giunto.

8.4 Inclusioni

Le inclusioni di flusso: di solito avvengono quando non tutto il pezzo ha raggiunto la temperatura di lavoro della lega brasante quindi il metallo d'apporto assume uno stato viscoso che non permette di "spingere fuori" i residui del disossidante (fig. 14).

Le inclusioni di zinco: se la lega brasante è sovra-riscaldata avviene la bollitura. Lo zinco presente nella lega brasante è un metallo assai volatile che alla temperatura di fusione del metallo d'apporto tende a vaporizzare restando intrappolato nella lega solidificata sotto forma di bolle comunemente chiamati pori.

Fig.14: Pori presenti nello strato di lega brasante

Consigli e soluzioni

- ⇒ evitare di surriscaldare la lega durante il processo di brasatura;
- ⇒ evitare di surriscaldare il flusso durante il processo di brasatura;
- ⇒ aumentare la quantità di lega nel gap.

8.5 Unione intermittente

Questo difetto si manifesta quando il riscaldamento dell'elemento più spesso risulta incompleto oppure si verifica una rapida evaporazione del flusso nella brasatura ad immersione.

8.6 Mancanza di riempimento

Tutte le cause della mancanza di riempimento riducono la resistenza meccanica del giunto, esse possono derivare: da un'errata distanza tra i lembi alla temperatura di brasatura, da una insufficiente pulizia dei materiali base, da gas intrappolato, da mancanza di bagnatura del materiale base, da fenomeni di liquazione del metallo d'apporto o da movimento delle parti del giunto con lega allo stato liquido.

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