



Nuovi metodi di saldatura dell'alluminio

Vista d'insieme dell'impianto di saldatura con due teste in tandem per le fiancate di vetture ferroviarie (foto: Cloos, Haiger).

L'esigenza di avere materiali sempre più resistenti e leggeri fa di questo metallo un vero protagonista, in particolare nell'automotive. Ma il suo utilizzo crea anche alcuni problemi, in particolare nelle saldature, che vengono affrontate con tecniche sempre più produttive e tecnologicamente avanzate

Il sempre maggiore impiego dell'alluminio pone nuovi problemi e nuovi compiti alle tecniche di giunzione e quindi di saldatura. Una volta trovata la soluzione, procedimenti migliorati di lavorazione possono portare a nuovi impieghi: un processo dal quale traggono vantaggi tanto l'industria dell'alluminio quanto la tecnica delle saldature. Se ne riferisce continuamente negli incontri di tecnici e nelle pubblicazioni specializzate; i lettori troveranno qui un quadro sommario dello stato attuale della tecnica di saldatura.

L'ALLUMINIO NELL'INDUSTRIA AUTOMOBILISTICA

Nell'industria dell'auto si richiede di ridurre il peso del veicolo e contemporaneamente di migliorare la sicurezza dei passeggeri: un dilemma risolvibile soltanto ricorrendo a nuovi materiali più resistenti e con un migliore comportamento all'urto. Comunque, si pongono così nuove esigenze alle tecniche di giunzione.

Un' alternativa consiste nell'uso di acciai speciali quali gli acciai bifasici (Dual-Phase-Steels, DPS) o a plasticità

indotta (Transformation-Induced Plasticity, TRIP steels) e martensitici. L'altra alternativa prevede invece l'impiego sempre maggiore dell'alluminio nel telaio e nella carrozzeria. Per esempio. Già nel 1994 per la berlina di lusso A8 e nel 2000 per la compatta A2, Audi utilizzava, al posto della carrozzeria portante in acciaio, uno 'space frame' in alluminio. In Italia, la Ferrari decise già nel 2000 di utilizzare alluminio per il modello successore della F355. La 360 Modena e la 360 Spider avevano una struttura a 'space frame' di estrusi in alluminio e di punti nodali in alluminio colato. La struttura imbastita e saldata si componeva di 56 estrusi, 6 getti e 70 componenti in lamiera. Come riportato a suo tempo nella rivista internazionale Aluminium, il peso della vettura fu così ridotto del 28% circa (100 kg) e la rigidità della scocca aumentata del 40% circa. Che l'alluminio sia sempre di più impiegato in serie, anche se soprattutto nel segmento più caro, risulta dagli sviluppi seguenti.

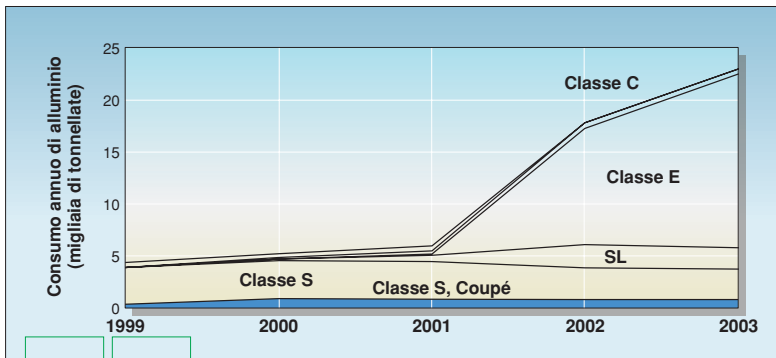


Figura 1. Consumo annuo di alluminio per produrre le serie di auto del gruppo Mercedes (da M. Ruther, DaimlerChrysler AG).

Nel 2003, la BMW adottò per la nuova berlina della serie 5 una struttura mista alluminio/ acciaio per la carrozzeria e un telaio tutto in alluminio. Sono in alluminio la struttura anteriore davanti ai montanti, i pannelli laterali anteriori e il cofano anteriore. In tal modo, il peso del veicolo si è ridotto di 75 kg rispetto al modello precedente.

Anche Daimler ha aumentato il contenuto in alluminio della nuova classe E nel 2002. Cofano motore, coperchio del vano bagagli, parafranghi e altri componenti la carrozzeria sono adesso in alluminio. Il modulo anteriore consiste in una traversa portante in alluminio, con due 'crashbox' anch'essi in alluminio che fanno da collegamento con i longheroni anteriori. La Figura 1 mostra l'effetto complessivo di questi svi-

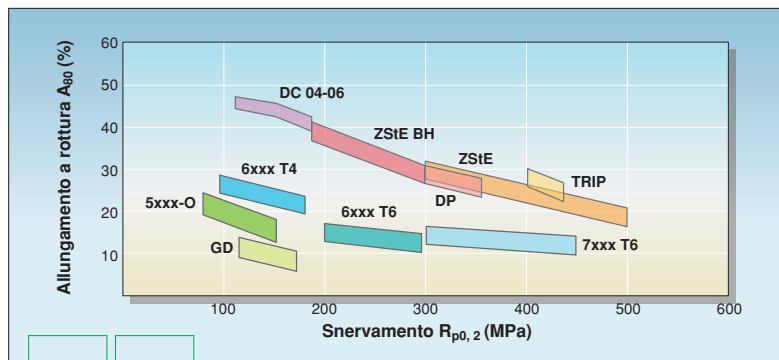


Figura 2. Diagramma carico di rottura - snervamento delle leghe di alluminio (da M. Ruther, DaimlerChrysler AG).

luppi dei veicoli della divisione Mercedes di DaimlerChrysler.

Le leghe non indurenti dei gruppi AlMg e AlMgMn sono utilizzate principalmente per parti strutturali, ma non sulla pelle esterna perché la deformazione fa apparire in superficie linee di Lüder. Per tale uso sono indicate le leghe indurenti del gruppo AlMgSi. Le lamiere

della carrozzeria sono per lo più allo stato solubilizzato, temprato e indurito fino a stabilità, mentre gli estrusi sono invecchiati artificialmente. Qui troviamo anche le leghe da invecchiamento del gruppo AlZnMg. La resistenza meccanica dei vari gruppi è illustrata in Figura 2.

L'impiego di diversi materiali fa aumentare il rischio della corrosione da contatto. Si può invece ricorrere al principio della lega unica AlMgSi in vari stati di

invecchiamento, che consente inoltre un miglior riciclo del materiale del veicolo. Con l'aumento di resistenza dei materiali, si restringe il campo di applicazione delle tecniche di giunzione. Accanto alle giunzioni a caldo per materiali eguali, le giunzioni meccaniche per aggraffatura o chiodatura si contraddistinguono per il basso apporto di calore e l'impiegabilità con materiali di diversa natura.

Per quanto l'industria dell'auto con la sua produzione in gran serie esiga sicuramente il massimo dalle tecniche di giunzione, non vanno trascurati altri settori, come il materiale rotabile ferro-



Figura 3. Treno per traffico locale delle Ferrovie di Stato Danesi realizzato in alluminio.

viario (Figura 3) e le costruzioni navali (Figura 4).

METODI DI SALDATURA PER FUSIONE DELL'ALLUMINIO

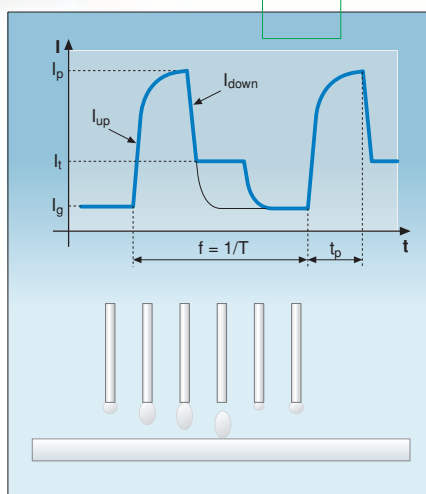
Anche dopo l'introduzione della saldatura laser, la saldatura per fusione sotto gas protettivo non è scomparsa. Per esempio, nella carrozzeria della Audi A2 ci sono circa 30 m di cordone di saldatura laser ma anche circa 20 m saldati MIG. Alla tendenza a ridurre lo spessore del pezzo, che comporta maggiori difficoltà nel saldare alluminio rispetto a strutture simili in acciaio, sono seguite nuove varianti del processo MIG. Nel processo MIG a corrente alternata, il rapporto tra polarità negative e polarità positive dell'arco pulsato può essere selezionato dosando così l'apporto di calore al pezzo o all'elettrodo. Si possono saldare bene anche lamiere spesse da 0,8 a 2 mm. L'alternarsi della polarità positiva dell'elettrodo assicura la rottura dello strato ossidato superficiale dell'alluminio.

Un'altra variante è il processo detto DCO. A differenza del normale arco pulsato, la fase di corrente base viene ridotta a 0. Questa variante è più semplice da realizzare e consente la regolazione fine dell'apporto di calore al pezzo. Altre varianti sono l'impulso a gradini (Figura 5) e l'arco corto a impulsi sovrapposti (Figura 6). Una nuova variante di soluzione mista viene proposta dal produttore Fronius con il nome 'Saldatura CMT (Cold Metal Transfer)'. Si tratta di un metodo di saldatura ad arco corto con trasferimento controllato di materiale d'apporto regolato senza corrente. Esso consente di ridurre notevolmente la formazione di intermetallici nel saldare alluminio ad acciaio. La giunzione ha un doppio carattere: sul lato acciaio è una brasatura, sul lato alluminio una saldatura.

Il problema opposto è come saldare lamiere più grosse ad alta velocità. A tale

Figura 4. Nave-traghetto veloce in alluminio (foto Lürssen-Werft, Brema).

Figura 5. Andamento della corrente e trasferimento a spruzzo in saldatura MIG con impulso a gradini.



scopo si ricorre alla saldatura MIG in tandem: due fili elettrodo poco distanti tra loro entrano nel bagno di saldatura. Ogni elettrodo ha la sua sorgente di energia. È così possibile regolare i due elettrodi in modo che il primo penetri alla radice e sui fianchi, mentre il secondo riempie il cordone (Figura 7, Figura 8).

IL RAGGIO LASER COME MEZZO DI GIUNZIONE DELL'ALLUMINIO

La saldatura al laser è in uso attualmente in quasi tutti i settori dell'industria dei mezzi di trasporto. Già nel 1981 era entrato in servizio il primo laser presso la Daimler di Untertürkheim; due anni dopo, si saldavano in serie le prime punterie nello stabilimento di Bad Homburg. Con il laser si può saldare con sicurezza l'alluminio in grandi serie. Sistemi di monitoraggio del processo e sensori garantiscono qualità uniforme dei pezzi. La vittoria nella concorrenza tra laser a CO₂ e laser a stato solido, con il vantaggio per quest'ultimo che il raggio è condotto da cavi flessibili, dipende an-

che dal pezzo da saldare. Il conduttore flessibile è comodo per saldare dentro l'abitacolo, nel vano bagagli, su porte, cerniere e tetto, mentre il laser a CO₂ trova impiego per lavori bidimensionali o tridimensionali leggeri all'esterno, quando il raggio laser può essere guidato da bracci rigidi. Per ambedue, sta aumentando la concorrenza del laser a diodi, compatto e di grande efficienza, già utilizzabile per la brasatura.

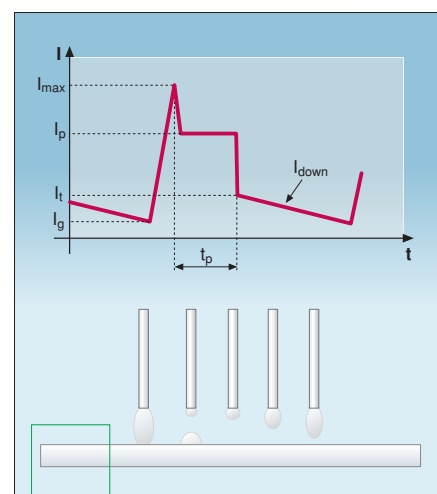
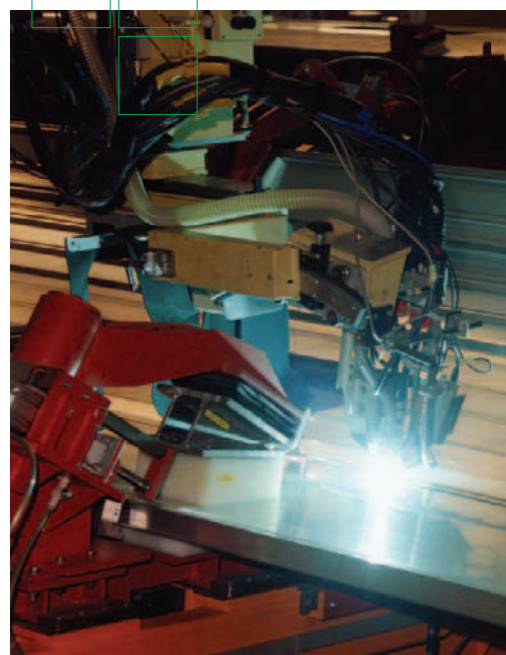


Figura 6. Andamento della corrente e sgocciolamento saldando ad arco corto con impulsi sovrapposti.

Figura 7. Unione simultanea di tre estrusi con due teste saldanti MIG in tandem (foto: Cloos, Haiger).



LA SALDATURA IBRIDA LASER-MIG

Per ottenere strutture leggere nella costruzione automobilistica, lamiere di forte spessore possono essere unite mediante la cosiddetta 'saldatura ibrida laser-MIG'. Si sfruttano la forte penetrazione e la ridotta zona termicamente alterata del raggio laser e la buona capacità di riempimento dell'arco MIG (Figura 9).

Comunque, ciò non vuol dire che il processo ibrido rimpiazzerà del tutto i due processi che lo compongono. Ne è un esempio la portiera della Volkswagen Phaeton, con 7 saldature MIG (380 mm di lunghezza totale), 11 saldature laser

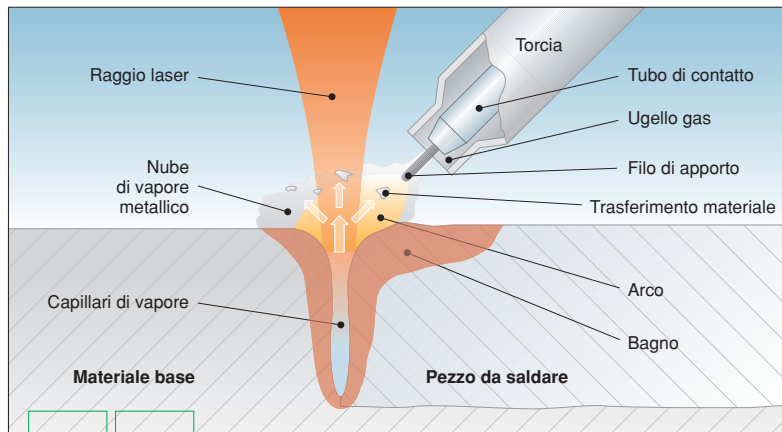


Figura 9. Principio del metodo ibrido laser a CO₂ e MIG.



Figura 8. Cordone di precisione senza incisioni marginali e con buona penetrazione su un elemento di finestra finito, prima dello spianamento del cordone (foto: Cloos, Haiger).

(1030 mm) e 48 saldature ibride (3570 mm). Il processo ibrido laser-MIG è usato qui per unire estrusi, getti e lamiere di alluminio. Senza questa possibilità, la rigidità specificata per le portiere si sarebbe ottenuta soltanto con pesanti strutture di fusione.

Nella saldatura ibrida, speciale attenzione va prestata alla testa saldante, che deve essere la più piccola possibile e consentire l'aggiustamento e la riproducibilità del percorso del filo rispetto al raggio laser. Per evitare dannosi spruzzi sul vetro di protezione, è stato realizzato il dispositivo cross-jet che con una corrente ultrasonica fa deviare gli spruzzi aspirandoli insieme al getto d'aria trasversale.

L'impiego del laser Nd:YAG per le costruzioni navali è attualmente oggetto di diversi progetti di ricerca in Europa, dato che con le sorgenti laser di potenza maggiore di 4 kW disponibili da qualche anno si sono gettate le basi per questa utilizzazione. La possibilità di trasferire il raggio mediante cavi flessibili a fibre ottiche per facilitare il maneggio della testa saldante fa apparire possibile riattrezzare per l'ibrido anche i portali dei cantieri, originariamente non previsti per questo processo. Buoni risultati sono stati ottenuti con gas protettivo formato da 70% elio e 30% argo. Il termine 'ibrido' va comunque definito con maggior precisione. È già nota infatti la saldatura ibrida laser-TIG, mentre nell'industria dell'auto le giunzioni ibride sono una combinazione di incollaggi e processi meccanici o saldature a punti, che consentono di ottenere buon comportamento all'urto e grande resistenza a fatica.

FILI DI APPORTO PER ALLUMINIO E MAGNESIO

Da anni e anni, la qualità dei fili di apporto per la saldatura MIG dell'alluminio è fonte di discussioni, poiché differenti qualità superficiali e perfino differenti cariche possono dar luogo a differenti livelli di porosità nel cordone di saldatura.

Ottimizzando le condizioni di trafilatura (per esempio, con filiere in diamante, spellando il filo in una successiva operazione, con compattamento controllato della superficie del filo e con più passaggi di pulizia, anche mediante ultrasuoni) si ottengono fili con le migliori caratteristiche di porosità, tendenza agli spruzzi, comportamento allo scoccare dell'arco, consumo uniforme, capacità di avanzamento del filo e scarsa fumosità, che consentono la saldatura MIG robotizzata senza inconvenienti.

Con questi fili ottimizzati si determina un livello di porosità significativamente basso, soprattutto dopo la fase iniziale di deposito del cordone. Molto importante è anche il gas protettivo: se il tenore di elio va dal 15% al 50%, la porosità iniziale cala a metà.

L'aggiunta di magnesio nelle strutture saldate era dovuta in passato principalmente alla bassa qualità dei materiali di apporto. Un'impresa è però riuscita a produrre su scala industriale un eccellente filo di magnesio trafilato. La sua qualità uniforme ne permette l'impiego incondizionato anche su impianti robotizzati. Vantaggi principali: struttura omogenea, ottima superficie, minime tolleranze sul diametro. Occorre però curare anche la tecnica del processo: per evitare la formazione di

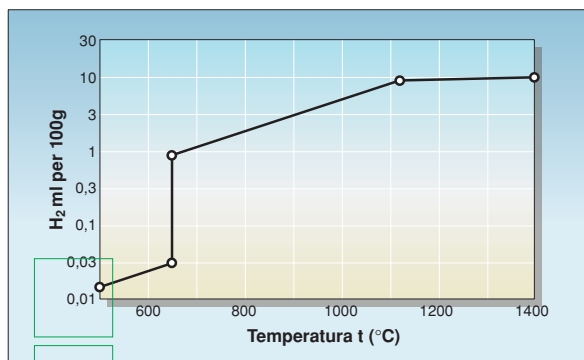


Figura 10. Idrogeno disciolto nell'alluminio.

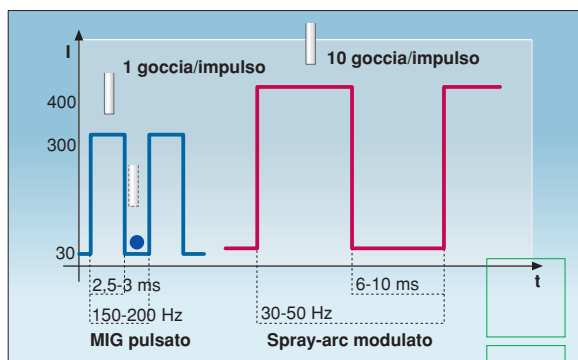


Figura 11. Confronto tra arco pulsato e spray-arc modulato nel processo MIG.

spruzzi dovuta alla vaporizzazione del materiale, conviene lavorare con un arco corto e impulsi di corrente ritardati.

LA LOTTA CONTRO LE POROSITÀ NELLA SALDATURA PER FUSIONE

I saldatori combattono le porosità fin da quando esistono i gas protettivi. Ciò è specialmente vero per la saldatura MIG, in cui la somministrazione di calore e il metallo d'apporto sono collegati tra loro. La causa è il salto di solubilità (Figura 10) dell'alluminio per l'idrogeno durante il raffreddamento del bagno con il conseguente 'congelamento' di bolle di gas in forma di pori.

Una variante brevettata del processo migliora la situazione con l'agitazione del bagno mediante una diversa alimentazione di corrente rispetto alla saldatura ad arco pulsato (Figura 11). Anche la forma dell'onda di impulso è importante: lo 'spray arc' modulato a onda quadra dà i risultati migliori.

La porosità è però soltanto un aspetto dell'affidabilità del processo di saldatura MIG dell'alluminio. Purtroppo si nota sempre più spesso che un'ottima saldatura, non può essere rifatta il giorno dopo anche usando gli stessi parametri: significa che l'alluminio è molto più sensibile dell'acciaio ad ogni variazione delle grandezze che influiscono sul processo di saldatura. Ricerche approfondite presso tre istituti universitari tedeschi hanno portato alle conclusioni seguenti:

- una minor quantità di gas protettivo provoca soltanto un più forte accumulo di fuliggine nelle zone marginali ed un cordone di aspetto irregolare, ma non compromette la qualità della giunzione;
- particolare attenzione va rivolta ai tubi

di contatto, la cui durata varia notevolmente senza segni premonitori del momento del guasto;

- carichi di lamiere diversi e diversi tempi di sosta di lamiere già decapate non hanno influenza sul processo di saldatura;
- il tempo di inattività dell'impianto di saldatura non influenza i risultati;
- fili di differenti produttori non hanno influenza sul processo;
- le variazioni di resistenza del giunto saldato – e quindi la sua riproducibilità – dipendono soprattutto dalle dimensioni e dalla distribuzione di porosità e difetti, che a loro volta dipendono dalla qualità degli strumenti e degli ausiliari usati (condutture non stagne, dispositivi di serraggio inadeguati e conseguenti irregolarità dei bordi).

Indagini eseguite con tre diversi generatori di corrente hanno rivelato buona riproducibilità e buona qualità del giunto. Anche con forti, improvvise variazioni della distanza tra ugello di contatto e pezzo da saldare, tutti e tre i generatori dimostrano una regolazione stabile. Entro 400 e 600 ms, la lunghezza dell'arco tornava al valore originale senza compromettere la qualità del giunto. Senza la regolazione della lunghezza dell'arco si manifestava però instabilità del processo.

SALDATURA MIG AL PLASMA DELL'ALLUMINIO

Questa combinazione di processi è stata studiata allo scopo di raggiungere velocità di saldatura più elevate su lamiere sottili. Il conseguente minor carico di corrente permette di realizzare bruciatori più piccoli con buona accessibilità al giunto. Per innescare il sistema si è ricorsi a una soluzione ingegnosa: l'arco plasma viene innescato da un

arco pilota MIG. È così possibile un buon accordo tra generatore di corrente e avanzamento del filo, che nella fase di innesco deve eseguire arretramenti ben definiti.

Un particolare vantaggio di questa combinazione è che l'arco plasma si dispone concentricamente intorno all'arco MIG formando così una zona di pulizia esterna alla zona fusa. Si può quindi fare a meno di decapare la lamiera prima di saldare. Anche qui però, tracce di grasso o di olio possono influenzare negativamente la qualità. Per lamiere di spessore compreso tra 2 e 6 mm si sono riscontrati vantaggi rispetto ai processi TIG e MIG: più rapida fusione dell'elettrodo e quindi maggior velocità di saldatura. La possibilità di usare materiale non decapato è considerata un vantaggio accessorio.

SALDATURA ORBITALE PER ATTRITO DI TUBI DI ALLUMINIO

Il processo, sviluppato nel 1991 e brevettato, (definizione internazionale: FSW, 'Friction Stir Welding'), si svolge allo stato solido, cioè al di sotto del punto di fusione delle parti da unire (Figura 12). L'utensile usato è una spina profilata molto resistente all'usura e con spallamento largo, che ruota attorno al suo asse e penetra lentamente nella zona del giunto. Il materiale plastifica per effetto del calore d'attrito; quando si raggiunge un sufficiente livello di plasticità, la spina viene spostata lungo il giunto, in modo che il materiale plastificato venga trasportato e compresso dalla spina rotante formando dopo raffreddamento una solida giunzione.

Il procedimento viene applicato a lamiere piane, ed è stato recentemente provato anche per saldare a spirale tu-

bi di leghe AlMg3 e AlMg4.5, spessore 8,5 e 10 mm, nei diametri 500-600 mm. In confronto alla saldatura MIG finora utilizzata, i tubi in AlMg4,5Mn avevano resistenza più alta e più uniforme su tutta la periferia dei tubi. Anche la resilienza della zona termicamente alterata era migliorata. Con la lega AlMgSi invecchiata a caldo i valori richiesti sono stati raggiunti dopo aver ottimizzato i parametri, mentre i tubi saldati TIG necessitano di un ulteriore trattamento termico. Anche i tempi di saldatura sono a favore del procedimento per attrito

non essendo necessario forare preventivamente la lamiera. Inoltre, non richiedono guarnizioni di tenuta, dato che non attraversano il materiale. Sono possibili modifiche riprogrammando il robot, senza dover cambiare l'utensile.

SALDATURA DI ALLUMINIO PRESSOCOLATO

Negli anni passati, la saldatura di pezzi pressocolati in alluminio è stata oggetto di molta attenzione, dato che componenti pressocolati sono spesso la soluzione ideale per strutture leggere. Ciò

notrodo invia ai pezzi da saldare vibrazioni ad alto rendimento, che generano il calore necessario alla plastificazione. Esempi di applicazioni: la saldatura di cavi in alluminio a componenti in rame; nei nebulizzatori, il collegamento stagno tra contenitore di alluminio imbutito e coperchio di rame.

GIUNZIONE DI ALLUMINIO CON ALTRI MATERIALI

Queste giunzioni sono soprattutto necessarie nelle costruzioni automobilistiche, dove però si usano ancora mol-

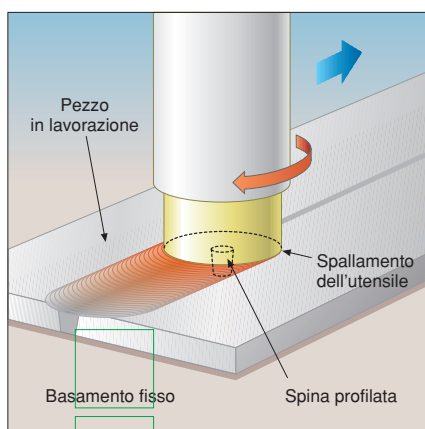


figura 12. Principio della saldatura per attrito (FSW).

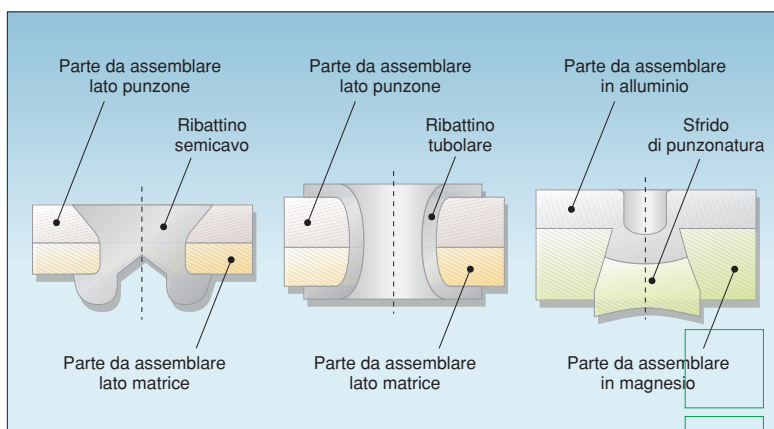


figura 13. Giunzioni meccaniche. Dall'alto in basso: rivettatura bordata; rivettatura tubolare; aggraffatura a punzone.

to. Altri vantaggi: nessun rischio di porosità, niente asportazione preventiva dello strato di ossido, più semplice preparazione dei bordi per giunti di testa.

SALDATURA AD ARCO DI PERNI

Con alluminio, l'innesco può farsi tanto sul lato che in punta, ciò permette di fissare perni o bulloni su lamiere molto sottili. Il procedimento offre la possibilità di creare punti di attacco per cavi in un'autovettura, sui quali possono poi essere infilati o avvitati altri componenti. A differenza dall'acciaio, con l'alluminio la zona della saldatura deve essere protetta dall'atmosfera mediante gas inerte. Nell'industria dell'auto si preferisce usare robot. Dato il rischio di falsi movimenti, la saldatura manuale va impiegata unicamente per riparazioni. Perni e bulloni saldati sono molto meno resistenti di quelli fissati meccanicamente, dato che questi ultimi sono di acciaio e hanno una più grande sezione di contatto. In compenso, i bulloni di alluminio saldati sono più economici,

vale particolarmente per l'industria dell'auto, dove pressocolati in alluminio offrono maggior libertà al progettista. Un esempio: una trave integrale in alluminio pressocolato, che porta la sospensione anteriore e lo sterzo, ha sostituito una struttura saldata di 28 componenti in un noto modello Mercedes.

Con il perfezionamento delle tecniche di colata si possono realizzare oggi getti senza inclusioni gassose, saldabili ad estrusi e lamiere. Sono utilizzabili vari processi di saldatura (entro certi limiti, anche la saldatura a fascio di elettroni), ma specialmente una variante della saldatura ibrida al laser in combinazione con una torcia TIG invece della torcia MIG. Fattori positivi di questa combinazione: grande volume del bagno, raffreddamento lento, sufficiente degassaggio del bagno, buone caratteristiche di riempimento).

SALDATURA ULTRASONICA

Per lamiere molto sottili, l'alluminio ha tratto particolare profitto dalla tecnica di saldatura ultrasonica. L'utensile so-

to giunzioni chiodate o a vite. Viene comunque sempre più richiesto di unire in modo continuo lamiere di alluminio e di acciaio, per esempio lamiere sagomate.

Ciò è oggi possibile con i laser di grande potenza, come combinazione di saldatura a penetrazione sul lato alluminio e brasatura sul lato dell'acciaio zincato. Il calore è fornito da un laser a CO₂ con 10 kW di potenza in uscita o da un laser Nd:YAG a diodi.

I fornitori di giunzioni meccaniche non sono però rimasti a guardare e hanno messo a punto varianti adatte anche per lamiere di magnesio e per vetroresine (Figura 13).

In considerazione dei molteplici nuovi sviluppi delle tecniche di saldatura dell'alluminio, si può soltanto raccomandare agli interessati di tenersi sempre bene informati. Con questo articolo, l'autore ha inteso soltanto dare uno sguardo d'insieme sulle novità degli ultimi anni.

readerservice.it n.12