

1 Saldatura a resistenza

La saldatura a resistenza elettrica rappresenta, in qualche modo, una transizione dalla saldatura allo stato solido alla saldatura per fusione. Le due parti da unire vengono premute insieme e una corrente alternata passa attraverso la zona di contatto.

Se viene applicata la pressione corretta, questa zona presenterà la massima resistenza nel circuito elettrico e le perdite di potenza saranno concentrate lì. L'energia viene convertita in calore.

La corrente viene mantenuta fino a quando si verifica la fusione all'interfaccia tra le due parti e la pressione viene mantenuta fino a quando la saldatura solidifica.

In base alla tabella già vista, questo tipo di saldatura è resistente, adatta a unire componenti in un'ampia gamma di dimensioni e costa poco. Per contro, sono richieste ampie tolleranze, non è molto affidabile e crea difficoltà sia dal punto di vista dell'ispezione che della manutenzione.

2 Secondo la legge di Joule, il calore generato (in joule) è

$$J = I^2 R t$$

dove I è la corrente (A), R è la resistenza (ohm) e t è la durata dell'applicazione di corrente in secondi. La tensione può essere bassa, tipicamente da 0,5 a 10 V, ma l'intensità di corrente è molto alta.

Poiché il calore deve essere concentrato nella zona di saldatura, la resistenza negli altri punti del circuito dovrebbe essere bassa, specialmente nei punti in cui la corrente viene fornita ai pezzi dagli elettrodi.

Materiali ad alta conduttività termica e calore specifico (come alluminio o rame) richiedono intensità di corrente molto elevate per ridurre la dissipazione del calore.

3 La pulizia della superficie è importante ma non così tanto come nella giunzione allo stato solido perché alcuni dei contaminanti sono espulsi dalla fusione. Tuttavia, è necessario rimuovere le incrostazioni, i film di olio denso e la vernice, ma è sufficiente una preparazione superficiale relativamente semplice e anche l'acciaio zincato può essere saldato.

Il controllo di qualità è molto importante. Le saldature sono verificate in modo distruttivo per stabilire i parametri di processo ottimali; successivamente, l'ispezione on-line include la misurazione della temperatura superficiale (da cui è possibile estrapolare le temperature della zona di saldatura), gli ultrasuoni e le tecniche di emissione acustica. Sono possibili controlli ad anello chiuso e adattativi.

4 Saldatura a punti

A causa della diffusa applicazione di parti in lamiera, la saldatura a resistenza a punti ha acquisito una posizione di rilievo, per attaccare manici di pentole, per il montaggio di interi telai di automobili (ci sono diverse migliaia di punti di saldatura in ogni auto).

In figura a è una pentola i cui manici sono stati saldati a resistenza, in b un silenziatore, in c una macchina programmabile per saldare a punti.

Due elettrodi, di solito raffreddati ad acqua, premono insieme le 2 lamiere. Gli elettrodi sono fatti di materiali ad alta conduttività e resistenza a caldo, come il rame con alcune aggiunte di Cd, Cr o Be o rame-tungsteno o leghe di molibdeno.

5 La corrente viene quindi applicata per un numero predeterminato di cicli (nell'industria automobilistica, tra 10 e 30 cicli per una corrente con frequenza di 60 Hz), dopo di che l'interfaccia si riscalda e in una frazione di secondo si forma una pozza fusa. La pressione viene rilasciata solo dopo che la corrente è stata tolta e la pozza si è solidificata. La superficie della lamiera mostra una leggera depressione e scolorimento.

Gli elettrodi possono essere incorporati in una macchina fissa o in un saldatore portatile.

Elettrodi multipli (che possono arrivare ad essere centinaia) vengono utilizzati per la saldatura di grandi assiemi, con gruppi di elettrodi portati in contatto in una sequenza programmata.

La sequenza in alto mostra la procedura per saldare a punti, in basso invece è la sezione di un punto di saldatura.

6 Una serie di saldature può essere eseguita con precisione e in rapida successione da robot. La qualità della saldatura è garantita da misurazioni in-process basate, ad esempio, sul cambiamento di resistenza durante la formazione del punto o sull'emissione acustica che si verifica durante l'espulsione del metallo.

Le figure a colori in alto mostrano 2 possibili configurazioni di elettrodi, mentre la foto in basso una linea robotizzata per la saldatura di telai di automobile.

7 Saldatura a rilievi

L'estensione della zona di saldatura è controllata meglio e diverse saldature possono essere eseguite simultaneamente con un singolo elettrodo, quando piccole rientranze o sporgenze sono impresse o coniate su una delle lamiere.

Quando viene applicata la corrente, i rilievi si ammorbidiscono e vengono schiacciati dalla pressione dell'elettrodo mentre si formano i punti di saldatura.

Rilievi forgiati o lavorati alla macchina utensile su oggetti pieni consentono la saldatura a una lamiera o altro oggetto pieno.

La figura mostra la sequenza e i parametri di processo nel caso di saldatura di acciaio.

8 Le figure da a a d mostrano alcune applicazioni della saldatura a rilievi. Un tipo particolare di saldatura a rilievi viene praticata quando le griglie formate da fili incrociati (reti elettrosaldate) sono saldate a resistenza; un esempio è mostrato nella figura e

9 Cordone di saldatura a resistenza

Una serie di punti di saldatura può essere fatta lungo una linea più rapidamente se gli elettrodi sono sotto forma di rulli. La corrente viene attivata e disattivata in una successione pianificata, fornendo una spaziatura uniforme tra i punti della saldatura.

Quando viene attivata una corrente alternata, viene eseguito un punto di saldatura ogni volta che la corrente raggiunge il suo valore di picco e i punti sono abbastanza vicini da fornire un giunto a tenuta di gas e liquidi.

10 Tale tecnica di saldatura a resistenza è uno dei metodi per produrre i corpi di lattine e viene utilizzata per la fabbricazione di sezioni scatolate.

Nella saldatura con schiacciamento la sovrapposizione è solo 1-2 volte lo spessore della lamiera e i rulli di saldatura applicano una pressione sufficiente a ridurre la giunzione a solo circa il 10% rispetto allo spessore della lamiera.

La figura a mostra la saldatura di una struttura scatolare; in b invece è la realizzazione di una saldatura continua ottenuta con punti ravvicinati, mentre in c i punti sono più distanziati. Infine, in d un serbatoio è ottenuto saldando tra loro i 2 semigusci.

11 Saldatura a resistenza ad alta frequenza

Un'importante applicazione della saldatura a resistenza è la produzione di tubi, elementi strutturali e cerchi ruota.

I tubi sono formati per rullatura e la giunzione longitudinale viene quindi realizzata con saldatura ad alta frequenza in cui la corrente elettrica viene applicata mediante elettrodi scorrevoli o rotanti (figura a).

Nella saldatura ad induzione ad alta frequenza (figura b) il tubo è circondato da una bobina di induzione e la frequenza operativa viene scelta per fornire una penetrazione ottimale; le frequenze più alte penetrano a profondità minore.

In entrambe le varianti si forma una zona fusa localizzata e poi immediatamente schiacciata per compressione. Il metallo in eccesso viene solitamente rimosso.

12 Saldatura per ricalcatura a scintillio

Il termine è applicato alla saldatura a resistenza in cui, proprio come nella saldatura a punti, la pressione viene applicata prima del passaggio della corrente.

Oggi molto più diffusa è la saldatura di testa a scintillio, in cui la corrente viene attivata durante l'avvicinamento delle due parti; pertanto, si verifica un riscaldamento estremamente rapido quando le irregolarità superficiali entrano in contatto per prime.

Il metallo fuso viene violentemente espulso e brucia nell'aria, e si verificano alcuni archi; da qui il termine scintillio.

13 Una lunghezza considerevole può essere distrutta dal fuoco per garantire una buona saldatura, ma tutto il metallo liquido viene espulso e la saldatura si forma ricalcando le superfici metalliche calde e solide (saldatura per ricalcatura). Pertanto, il processo può essere considerato come una transizione tra processi in fase solida e fase liquida.

Una buona saldatura verrà prodotta solo se la velocità di avvicinamento, corrente e tensione, corsa totale e pressione di ricalcatura sono strettamente controllati. Il controllo manuale è stato sostituito da un controllo automatico e adattativo.

14 Lo spostamento del metallo crea una bava che deve essere rimossa. Le facce da unire sono spesso smussate in modo che la fusione si sposti dal centro verso l'esterno per spremere i contaminanti nella bava.

Il preriscaldamento è possibile attivando la corrente dopo che le superfici di estremità sono state premute insieme, ma le superfici sono di nuovo leggermente separate per indurre le scintille.

Per un riscaldamento uniforme le due parti dovrebbero avere aree di sezione trasversale uguali, ma la loro composizione può essere diversa, ad esempio, nell'unione di un gambo di acciaio a basso tenore di carbonio e un utensile da taglio in HSS.

La saldatura a scintillio è adatta per saldare grandi sezioni. Nella foto è usata per saldare segmenti di rotaia.

15 Barre e profili piegati a forma di anelli, tubi e strutture in lamiera sono spesso saldate alle estremità e il processo è ampiamente utilizzato per unire le estremità di bobine di fili e lamiere per consentire il funzionamento continuo delle linee di produzione. Le figure da a a c mostrano esempi di applicazione di questo tipo di saldatura, mentre in d sono dati suggerimenti per la progettazione corretta del giunto.