

1 Saldabilità

Il termine saldabilità denota una serie estremamente complessa di proprietà tecnologiche ed è anche funzione dello specifico processo.

Difetti di saldatura

Se non vengono soddisfatti i requisiti per la realizzazione di un giunto di qualità, possono verificarsi vari difetti. Possono esistere in saldature di qualsiasi geometria e origine, ma a scopo illustrativo può essere utilizzata una saldatura per fusione con metallo d'apporto.

1. La saldatura per fusione è un processo di fusione e come tale deve essere controllato. La temperatura di fusione determina, insieme al calore specifico e al calore latente di fusione, l'input di calore richiesto.

L'elevata conducibilità termica dei metalli consente al calore di diffondersi e pertanto richiede una maggiore velocità di apporto del calore e determina un raffreddamento più rapido.

2 Per ogni dato materiale del pezzo, la velocità di apporto del calore (normalmente espressa come input di calore per unità di lunghezza) deve essere adattata allo spessore dei pezzi, alla velocità di deposizione del metallo d'apporto e alla velocità di spostamento lungo il cordone di saldatura.

L'insufficiente apporto di calore causa la mancanza di fusione e, nelle sezioni trasversali più spesse, la penetrazione incompleta; il vuoto rimanente diventa quindi una cricca incipiente (figura b, lack of fusion).

Una insufficiente velocità di deposizione del metallo d'apporto causa un incompleto riempimento (figura b, incomplete penetration).

Un eccessivo apporto di calore può portare a fusione una quantità eccessiva di materiale, e le alte velocità di deposizione si traducono in sovrapposizioni (figura c, overlap), i cui bordi danno un effetto di intaglio che riduce la resistenza a fatica.

3 La figura a mostra un altro caso di insufficiente materiale d'apporto, nella figura b sono presenti sovrapposizione a sinistra, incomplete riempimento a destra, porosità all'interno e incomplete penetrazione in basso

4 le figure mostrano vari esempi di fusione incomplete. Nella figura b è evidenziato anche intrappolamento di ossidi e scoria.

5 2. I contaminanti superficiali, inclusi ossidi, oli, sporco, vernice, rivestimenti metallici e rivestimenti incompatibili con il materiale del pezzo, provocano mancanza di legame o porosità da gas e devono essere rimossi con una preparazione meccanica e/o chimica delle superfici.

3. Le reazioni indesiderate con agenti contaminanti superficiali e con l'atmosfera sono evitate isolando la zona del fuso col vuoto, con un'atmosfera protettiva (inerte) o con scoria. Come in fonderia, la scoria è formata dissolvendo gli ossidi con un fondente. Bisogna fare attenzione a ridurre al minimo l'intrappolamento della scoria che ridurrebbe la duttilità della saldatura.

6 4. I gas rilasciati o formati durante la saldatura (ad es., CO) possono portare a una porosità che indebolisce il giunto e aumenta le tensioni. Particolarmente pericoloso è l'idrogeno che ha origine dall'umidità atmosferica o da fondente umido. Quando è combinato in forma molecolare, provoca porosità nelle leghe di alluminio. Nella forma atomica si diffonde alle estremità delle cricche e causa l'infragilimento da idrogeno degli acciai nei quali, al raffreddamento, si forma martensite.

L'elevata fluidità del fuso è utile per consentire alle scorie e ai gas di raggiungere la superficie.

7 5. Le cricche da solidificazione si formano a causa delle tensioni nella saldatura quando un liquido bassofondente viene respinto durante la solidificazione dendritica.

Le cricche da liquidi lungo i bordi dei grani sono dovute alla segregazione allo stato solido di elementi bassofondenti.

8 6. La contrazione durante la solidificazione accoppiata a un ritiro in fase solida impone tensioni di trazione interne alla struttura e può portare a distorsioni e cricature.

Il problema si amplifica quando la struttura non è libera di contrarsi, in altre parole, quando vengono imposti vincoli meccanici.

Le proprietà dei materiali di base e di apporto sono importanti. L'elevata dilatazione termica determina maggiore distorsione e tensioni residue. Nella figura centrale viene evidenziato che la zona riscaldata si dilata e poi, nella figura a destra, si contrae provocando distorsioni.

9 Il pericolo di formazione di cricche è maggiore nelle leghe con una composizione caratterizzata da grande intervallo di solidificazione. Il problema può essere alleviato con un materiale d'apporto meno legato e più duttile che riduca la fragilità a caldo (oppure uno più legato che riduca l'intervallo di solidificazione).

Il progetto è spesso basato sulla meccanica della frattura e la dimensione consentita del difetto è determinata in via sperimentale o teorica. Le tensioni residue possono anche portare a fenomeni di tensocorrosione.

10 7. Le trasformazioni metallurgiche, discusse in precedenza, sono di grande importanza, specialmente quando portano alla formazione di fasi fragili come la martensite. In questo caso è essenziale preriscaldare il metallo base per rallentare il raffreddamento. Il materiale d'apporto è soggetto ad un ulteriore trattamento termico se depositato in più di una passata.

8. Lo spessore assoluto e relativo delle parti da unire e il progetto del giunto hanno una forte influenza sulla velocità di riscaldamento e di raffreddamento, e quindi sulla saldabilità.

11 Trattamento del metallo

Alcune delle difficoltà sopra menzionate possono essere alleviate con varie tecniche:

1. Il preriscaldamento della zona di saldatura o dell'intera struttura riduce l'energia necessaria per il completamento della saldatura (importante per materiali ad alta diffusività

come alluminio o rame); riduce la velocità di raffreddamento nella saldatura e l'estensione della ZTA (permettendo la saldatura di acciai induribili e altri materiali in cui il raffreddamento rapido provoca la formazione di fasi fragili); aiuta ad allontanare l'idrogeno; e riduce il ritiro differenziale, la distorsione e le tensioni residue. Per contro, favorisce la formazione di grani cristallini grandi.

12 2. La pallinatura (o martellatura o rullatura) del cordone di saldatura migliora la resistenza delle saldature. Nella saldatura in più passate, la pallinatura tra le passate rimuove le scorie che potrebbero rimanere intrappolate e induce la ricristallizzazione degli strati precedenti (tuttavia, l'ultima passata non viene martellata perché la duttilità andrebbe persa).

13 3. Il trattamento termico post-saldatura dell'intera struttura saldata è spesso essenziale per una serie di motivi:

a. La ricottura di distensione riduce le tensioni residue a livelli accettabili, rendendo la struttura dimensionalmente stabile e non soggetta a criccate da tensocorrosione. Fa rinvenire la martensite ed elimina il rischio di criccate a freddo negli acciai. Quindi tende anche ad aumentare la duttilità e la resistenza a fatica con una minima perdita di resistenza. Può tuttavia portare a un sovrainvecchiamento nei materiali induribili per precipitazione.

14 b. La normalizzazione di un acciaio (cioè raffreddamento + rapido che nella ricottura) cancella gli effetti più indesiderati della saldatura.

La ricristallizzazione della saldatura e del materiale base nell'intervallo di temperatura austenitico è seguita da raffreddamento controllato per dare una struttura costituita da ferrite e perlite.

c. Il trattamento termico completo, cioè la tempra negli acciai o il trattamento di solubilizzazione e invecchiamento nelle leghe induribili per precipitazione, conferisce le proprietà migliori all'intera struttura, ma può causare distorsioni.

15 d. Infine, un trattamento di invecchiamento di un materiale indurente per precipitazione è sufficiente se il cordone di saldatura alla fine è nella condizione di soluzione solida in seguito a velocità di raffreddamento molto elevate (come nella saldatura a fascio di elettroni).

Il controllo di qualità è una parte vitale di tutti i processi di saldatura. Le tecniche distruttive sono utili per stabilire i parametri di processo, ma la qualità della produzione può spesso essere controllata solo con analisi non distruttive.

L'ispezione visiva è sempre obbligatoria ed è completata dall'intero arsenale di tecniche NDT. Le saldature più critiche sono spesso controllate al 100% con la radiografia.

16 Parametri di processo

Il calore richiesto per la fusione può essere fornito da un certo numero di fonti di calore. La forma della zona di saldatura e la larghezza della ZTA dipendono dall'intensità di questa fonte di calore.

Per una data potenza, l'intensità del calore aumenta con una diminuzione della dimensione dello spot portato a fusione dalla fonte di calore e varia su diversi ordini di grandezza. A bassa intensità di calore il tempo necessario per raggiungere la temperatura di fusione è lungo, il calore viene disperso nell'ambiente e gran parte del calore che raggiunge il pezzo viene dissipato nel metallo circostante.

17 Nella saldatura ad ossitaglio (con un'intensità di calore tra 1 e 10 W/mm², solo circa il 10% del calore raggiunge il metallo e solo un quinto di esso provoca effettivamente la fusione. Di conseguenza l'efficienza è bassa, la zona di saldatura è molte volte più ampia che profonda e la ZTA è ampia.

Con intensità di calore comprese tra 10 e 1000 W/mm², tipiche dei processi di saldatura ad arco, circa la metà del calore totale raggiunge il metallo e circa il 40% di questo viene utilizzato per fondere il metallo; la pozza di materiale fuso e la ZTA hanno la forma mostrata nelle figure precedenti.

L'elevata intensità di energia (10³-10⁵ W/mm²) del raggio laser e la saldatura a fascio elettronico garantiscono un'elevata efficienza e la pozza di materiale fuso, cilindrica e profonda, è molto più profonda che ampia.

Poiché le velocità di riscaldamento sono così elevate, i cambiamenti metallurgici si verificano principalmente durante il raffreddamento e la ZTA ha circa la larghezza del fascio.

18 In molti processi, il calore è generato tramite energia elettrica. Il successo dipende dalla corretta scelta di tensione, corrente, polarità e dalla variazione di questi nel tempo.

La scelta della fonte di alimentazione più idonea è una preconditione del successo.

La fonte di alimentazione può essere semplice come un trasformatore, ma le fonti di alimentazione più sofisticate - spesso basate su elettronica allo stato solido - sono sempre più utilizzate.

Diventa quindi possibile il controllo in-process dei parametri a ciclo chiuso.