

1 Caratteristiche del giunto nelle saldature con fusione

Nella grande maggioranza delle applicazioni, il legame interatomico è stabilito mediante fusione.

Quando i materiali del pezzo da lavorare e del materiale di apporto (se utilizzato) presentano composizione e punti di fusione simili ma non necessariamente identici, il processo viene definito saldatura per fusione o semplicemente saldatura. La saldatura è strettamente correlata ai processi di colata.

E' fornito calore per fondere il metallo di base e il materiale d'apporto.

Il fuso, grazie al contatto con il metallo di base circostante, caratterizzato da alta conducibilità termica, viene rapidamente raffreddato (in genere, a decine o centinaia di gradi al secondo).

Come si vede dalla figura, varie categorie di saldatura rientrano in quest'ambito, le saldature a resistenza, ad arco, a fascio energetico e quelle di tipo chimico.

2 Le velocità di raffreddamento sono comprese tra quelle prevalenti nella colata in stampi permanenti e l'atomizzazione, e un adeguato controllo dei processi richiede una profonda conoscenza della metallurgia in assenza di equilibrio.

Un giunto ottenuto da fusione è tutt'altro che omogeneo. Il grado di disomogeneità e complessità aumenta dai metalli puri alle leghe multifase ed è anche una funzione dell'input di calore per unità di lunghezza del cordone.

3 Una maggiore intensità di calore fornisce una penetrazione più profonda, una zona riscaldata più concentrata, minori cambiamenti nella struttura metallurgica e minori sollecitazioni nella saldatura. La situazione è mostrata nella figura a. Se l'intensità di calore è bassa, il cordone di saldatura è largo e poco profondo, come nella figura b.

4 Materiali monofase

Una sezione attraverso il giunto in un metallo puro, come alluminio o rame, saldato con una barra di composizione identica, mostra che, per formare il cordone di saldatura, il calore applicato ha fuso non solo il materiale d'apporto ma anche parte del materiale base.

Il materiale base adiacente al limite del fuso è stato esposto a temperature elevate e le proprietà e la struttura sono cambiate all'interno di questa zona che è stata riscaldata (zona termicamente alterata, ZTA). Nella figura, la parte di materiale che è stata fusa è racchiusa nella zona bianca, mentre la ZTA si estende fino alle linee tratteggiate.

5 Se il materiale del pezzo è stato precedentemente lavorato a freddo e quindi con grani molto allungati (original cold-worked grains), la ZTA mostrerà ricristallizzazione (recrystallized grains).

Per una determinata quantità di lavoro a freddo, la dimensione dei grani aumenta al crescere del tempo ad alta temperatura; pertanto, i grani molto grossolani trovati al limite del fuso diventano gradualmente più piccoli fino a quando, sul bordo della ZTA è evidente solo la

ricristallizzazione parziale. Il materiale nel cordone ha maggiore duttilità rispetto al materiale base, ma resistenza meccanica inferiore (grafico sotto la figura).

Se il pezzo da lavorare era di materiale ricotto, l'ulteriore apporto di calore durante la saldatura ha solo l'effetto di ingrandire i grani.

6 In entrambi i casi, esiste una struttura a grana grossa al limite del fuso, caratterizzata da minore resistenza. La solidificazione inizia da questa zona. Ciò porta allo sviluppo di grani colonnari grossolani nel materiale del cordone.

7 Guardando il cordone dall'alto, c'è una pozza di materiale fuso nel punto di massima immissione di calore. Da questa si dipartono, circa ortogonalmente, i grani cristallini, parallelamente al flusso di calore.

Quando si effettua una linea di saldatura, la fonte di calore viene spostata ad una velocità ben precisa.

Con un metallo puro o poco legato, a bassa velocità di spostamento, la pozza è quasi circolare e i grani di solidificazione ruotano per seguire la fonte di calore, e il centro del cordone di saldatura ha spesso grani distinti, specialmente in presenza di agenti nucleanti. A velocità elevate, la pozza di saldatura si allunga e si assottiglia progressivamente; la solidificazione procede quasi perpendicolare al bordo del fuso verso il centro.

Se ci sono costituenti bassofondenti, segregano ai limiti dei grani e si possono verificare fratture a caldo.

8 Con materiali più altamente legati le cose si complicano.

Nel cordone si formano le dendriti, proprio come avviene in un getto, ma, a causa del raffreddamento più veloce, la spaziatura tra le ramificazioni è minore. Inoltre, la nucleazione di nuovi grani porta spesso a una transizione a equiassiaco nel centro del cordone.

Poiché la fusione si verifica nell'intervallo di temperatura $T_L - T_S$, ci sarà una zona pastosa e parzialmente fusa al limite del fuso.

Piccole concentrazioni di elementi in lega o contaminanti a basso punto di fusione possono migrare verso questo bordo per causare fragilità a caldo e fratture durante il raffreddamento.

9 la microfotografia di un cordone di saldatura mostra grani colonnari nel cordone di saldatura

10 Materiali bifasici

La maggior parte delle leghe tecnicamente importanti ha una struttura bifase o multifase e la loro idoneità alla saldatura è determinata dagli eventi che si verificano sia in fase liquida che in quella solida.

1. I materiali di composizione eutettica presentano pochi problemi a causa della loro favorevole modalità di solidificazione.

11 2. Non vediamo nel dettaglio come si comportino le leghe da invecchiamento quando vengono Saldate. Ricordo solo che le leghe da invecchiamento sono soprattutto leghe a base di alluminio, alcuni acciai inossidabili, l'Inconel (lega a base di nichel) e qualcun'altra. Semplicemente, dal grafico osserviamo che al centro del cordone di saldatura il materiale sia fragile e anche la resistenza meccanica sia limitata. Le leghe che induriscono per precipitazione possono essere facilmente saldate allo stato ricotto; se il loro intervallo di solidificazione è breve, gli effetti della saldatura sono per lo più eliminati con il successivo trattamento di solubilizzazione e invecchiamento dell'intera saldatura.

Se la saldatura è troppo grande, la saldatura per fusione è possibile sia dopo solubilizzazione che dopo l'invecchiamento, ma poi la maggiore resistenza dovuta al trattamento termico nella zona di saldatura si perde.

12 NONONO La saldatura stessa può contenere il costituente intermetallico in forma grossolana, con conseguente bassa resistenza e duttilità.

13 NONONO La ZTA immediatamente adiacente è stata rapidamente riscaldata e raffreddata e sarebbe perciò indurita per solubilizzazione; tuttavia, il calore emesso dalla zona della saldatura durante il raffreddamento può causare il sovrainvecchiamento. Pertanto, la ZTA è completamente trattata termicamente ma con una grana grossolana, con elevata resistenza e moderata duttilità.

Più lontano, la struttura originale diventa sovrainvecchiata e tenera. Oltre alla scarsa resistenza del giunto, la composizione localmente variabile può anche portare a problemi di corrosione, ad esempio in leghe di alluminio e magnesio.

A volte una soluzione di compromesso è quella di utilizzare un materiale d'apporto diverso per evitare problemi di cricatura a caldo o corrosione.

14 3. Le trasformazioni di fase allo stato solido portano a cambiamenti complessi.

Per prendere come esempio un acciaio a medio tenore di carbonio allo stato ricotto, il materiale di partenza ha una microstruttura costituita da colonie di perlite che si alternano a grani di ferrite.

La saldatura ha la solita struttura grossolana vista in fonderia. Accanto ad essa il materiale è stato riscaldato ad alte temperature nella zona austenitica e poi raffreddato, determinando una grana grossa.

Con la diminuzione delle temperature, i grani di austenite diventano anche più fini; quindi, nella struttura trasformata si trovano solitamente ferrite e perlite a grana più fine, anche se alte velocità di raffreddamento possono produrre bainite o martensite.

15 Il bordo della ZTA è stato riscaldato appena sopra la temperatura eutettoidica. Le velocità di raffreddamento rapido convertono qualsiasi austenite in martensite che può provocare un forte calo della duttilità.

Con un contenuto di carbonio superiore (maggiore di circa lo 0,5%), si formerà inevitabilmente martensite, come negli acciai legati.

16 Materiali diversi

La situazione diventa ulteriormente complicata quando il materiale del pezzo e il materiale d'apporto sono diversi. Questo si verifica spesso perché con materiali diversi è più facile ottenere saldature senza cricche.

La sequenza di riscaldamento e raffreddamento è complicata dalla formazione della lega e gli eventi nella zona di saldatura sono determinati dai diagrammi di equilibrio relativi a entrambi i materiali.

La solidificazione in mancanza di equilibrio complica ulteriormente la situazione.

17 Come ci si potrebbe aspettare, le leghe che formano soluzioni solide creano pochi problemi. Gli eutettici tendono ad essere più fragili, sebbene siano visti favorevolmente quando entrambe le fasi dell'eutettico siano duttili.

I composti intermetallici invariabilmente infragiliscono la struttura e la rendono inutilizzabile; quindi, ad esempio, il rame non può essere legato al ferro. È possibile, tuttavia, utilizzare un'interfaccia reciprocamente compatibile, in questo caso il nichel, che forma soluzioni solide sia col rame che col ferro.

In molti casi la differenza tra i punti di fusione è molto grande, quindi il metallo del pezzo non fonde e quindi è consuetudine classificare il processo come brasatura.

18 non ho commenti da fare sulla foto a sinistra, invece è degna di nota la minore durezza del cordone a destra rispetto al materiale base.