



F. Capelli - Centro Inox, Milano
V. Boneschi - Centro Inox, Milano

I FENOMENI CORROSIVI
PIÙ COMUNI
NEI GIUNTI SALDATI

Memoria presentata al Convegno:
“La saldatura degli acciai inossidabili”

Organizzato da Cermet e Centro Inox

Bologna, 18 novembre 1999

LA CORROSIONE: ASPETTI GENERALI

Gli acciai inossidabili sono oramai ampiamente utilizzati in moltissimi settori industriali: dall'industria alimentare, alla chimica e petrolchimica, in edilizia, nei trasporti, ecc.. In molti casi stanno sostituendo, in maniera massiccia, altri materiali tradizionalmente impiegati, come ad esempio gli acciai al carbonio.

In diversi casi, tuttavia, si sceglie, si lavora e si mette in servizio un determinato componente Inox, confidando esclusivamente nella magica parola "Inossidabile"; pretendendo che tale materiale debba sempre e comunque resistere ai più svariati tipi di ambienti e di condizioni di esercizio.

E' necessario invece considerare che non esiste "l'acciaio inossidabile", ma ne esistono molte versioni e, a seconda della condizione in cui si troverà a lavorare, è possibile scegliere la lega appropriata, per non incorrere in spiacevoli quanto inaspettati inconvenienti.

E' opportuno inoltre, una volta operata la scelta, seguire determinati accorgimenti nella lavorazione, nella saldatura e nella installazione, per garantire la tenuta ottimale nel tempo.

Vediamo quindi, in linea di massima, come si può estrinsecare un'azione corrosiva e le principali cause.

I parametri in gioco

E' sempre molto aleatorio poter prevedere, in generale, il comportamento nel tempo di un determinato materiale metallico se messo in contatto con un certo ambiente.

Gli acciai inossidabili, grazie alla loro composizione chimica, hanno la possibilità di autopassivarsi e di poter far fronte alle più disparate condizioni di aggressione.

Sono molti i parametri che giocano a favore dell'innesco di un fenomeno corrosivo:

1. la concentrazione dell'agente aggressivo;
2. la temperatura dell'agente aggressivo;
3. la velocità del fluido sulle pareti del materiale;
4. la finitura superficiale del metallo.

Normalmente però i due valori più determinanti da tenere presente sono la concentrazione e la temperatura della sostanza corrosiva; ecco perché nella scelta di un certo inox in funzione dell'ambiente nel quale dovrà lavorare, è necessario conoscere, se possibile, almeno questi due parametri.

In generale, il miglior comportamento nei confronti dei fenomeni corrosivi, è offerto dagli acciai austenitici, in particolare da quelli legati al cromo-nichel-molibdeno, che presentano un film passivo particolarmente resistente.

Nell'ordine poi vengono i ferritici ed i martensitici che sono quelli a più basso tenore di cromo.

I fenomeni corrosivi più ricorrenti

Nello schema di figura 1 è stato riportato l'insieme dei fenomeni corrosivi a cui più spesso sono soggetti gli acciai inossidabili.

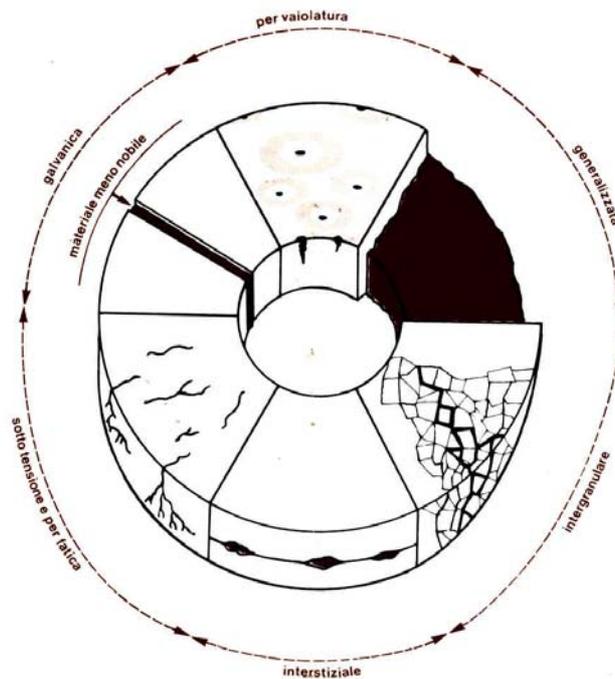


Figura 1: rappresentazione schematica delle possibili forme di corrosione per gli acciai inossidabili.

Pitting: lo strato passivo si lacera localmente a causa di sostanze fortemente attivanti, come per esempio i cloruri.

Intersiziale o crevice corrosion: in zone scarsamente “ossigenate” e con presenza di sostanze aggressive si innesca il fenomeno di corrosione.

Tensocorrosione: si sviluppano cricche dovute alla contemporanea azione di tensione meccanica e di aggressione chimica.

Intergranulare: l’alterazione termica (ad esempio in fase di saldatura); provoca un impoverimento in cromo ai bordi dei grani che, in presenza di una sostanza corrosiva, può dare inizio all’attacco.

Galvanica: nell’accoppiamento tra l’acciaio inossidabile e altri materiali meno nobili, si possono creare le premesse, perché, in un certo ambiente, questi ultimi subiscano corrosione.

Statisticamente i fenomeni corrosivi più frequenti sono, nell’ordine:

- tensocorrosione
- pitting
- interstiziale o crevice

LA CORROSIONE NEI GIUNTI SALDATI

Nella giunzione saldata su materiale inossidabile, è necessario valutare alcuni parametri essenziali, per non incorrere in spiacevoli inconvenienti in fase di esercizio, che si manifestano, il più delle volte, con fenomeni di ossidazione sia sul cordone, sia nelle immediate adiacenze.

I giunti saldati presentano caratteristiche particolari, che vanno prese in considerazione per poterne valutare l’effettiva tenuta.

Non è difficile trovare esempi in cui, mentre il metallo di base ha resistito egregiamente all'aggressione dell'ambiente di lavoro, il giunto saldato è andato incontro a problemi corrosivi innescati dalle modificazioni conseguenti al processo di saldatura. Può anche succedere l'esatto contrario, per cui il giunto realizzato con l'apporto di un materiale estremamente nobile denota una maggiore resistenza alla corrosione rispetto al metallo base.

Determinare i motivi per cui un cordone di saldatura presenti fenomeni di corrosione non è facile; in ogni caso si può dire che gli elementi che vanno considerati per capire le possibili cause sono:

- scelta del materiale di base;
- procedimento;
- disegno del giunto;
- pulizia del giunto;
- scelta del materiale d'apporto;
- difettosità del cordone di saldatura;
- sequenza di saldatura;
- presenza di cricature;
- sforzi residui;
- operazioni di finitura superficiale finale.

L'analisi più approfondita di questi aspetti ci permetterà di chiarire alcuni punti salienti delle forme di corrosione che possono insorgere in corrispondenza delle saldature.

Scelta del materiale di base

Per ottenere componenti saldati inox che garantiscano buone caratteristiche di tenuta nel tempo, è necessario scegliere opportunamente il materiale di base, in funzione dell'ambiente nel quale questi dovranno lavorare. Relativamente ai giunti saldati, il fenomeno che si riscontra più sovente, inseguito ad una scelta non corretta, è quello della corrosione intergranulare.

Si è già accennato a questa forma di corrosione derivante dalla così detta sensibilizzazione dell'acciaio inossidabile. Si tratta di quel fenomeno metallurgico che porta alla precipitazione di carburi di cromo ai bordi dei grani, in conseguenza di un'esposizione a temperature che vanno dai 450 agli 800 °C per gli austenitici e oltre 950 °C per i ferritici. La formazione dei carburi di cromo avrà come conseguenza un impoverimento nella percentuale di cromo (chromium depletion) nelle zone prossime ai bordi dei grani, dove il materiale perderà per questo la sua "inossidabilità"; infatti il tenore di cromo sarà al di sotto di quel 10,5-13% che garantisce la formazione spontanea del film di passività (figura 2).

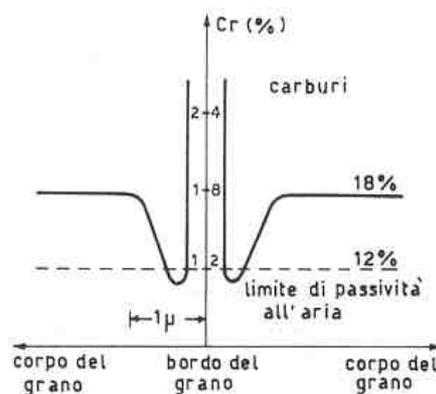


Figura 2: andamento della percentuale di cromo in funzione della distanza dal bordo del grano per un acciaio inossidabile sensibilizzato.

Un agente aggressivo avrà così la possibilità di attaccare queste zone portando ad una disgregazione della matrice metallica come quella che si può osservare in figura 3.

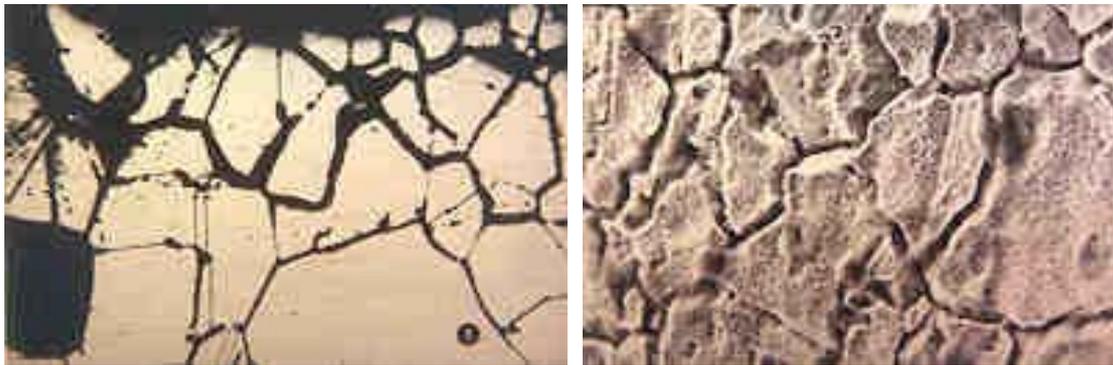


Figura 3: aspetto della corrosione intergranulare: si nota la struttura sensibilizzata e corrosa ai bordi dei grani.

Il fenomeno della precipitazione di carburi di cromo dipende da altri due parametri molto importanti: il tempo e la composizione chimica del materiale. Il primo ovviamente determinerà, a parità di temperatura, la quantità di precipitati. Il secondo influirà invece sul tempo di inizio della precipitazione stessa. Infatti un materiale con alto tenore di carbonio vedrà iniziare prima il fenomeno rispetto ad uno con tenori più bassi. Tutto ciò è riassunto nelle così dette curve “a naso” che ci dicono, in funzione della percentuale di carbonio, i tempi di inizio precipitazione alle diverse temperature (figura 4).

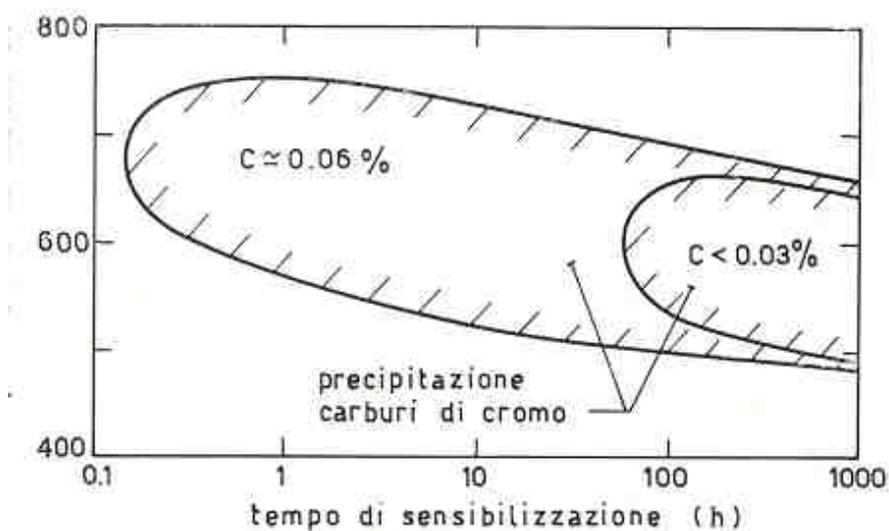


Figura 4: curve di inizio precipitazione per acciai inossidabili con diverso tenore di carbonio.

Anche la presenza di elementi così detti stabilizzanti (titanio e niobio) è un parametro fondamentale nella dinamica della precipitazione. Questi elementi, in virtù della loro maggiore affinità chimica per il carbonio, favoriscono la precipitazione di carburi di titanio o di niobio; si evita così la precipitazione dei carburi di cromo e quindi la perdita di inossidabilità ai bordi dei grani. È comunque bene ricordare che anche per gli acciai inossidabili stabilizzati, in conseguenza di un errato ciclo termico, è possibile che si verifichi una particolare forma di corrosione detta “a lama di coltello”, localizzata all’interfaccia tra zona fusa e zona termicamente alterata (ZTA).

Appare evidente come la scelta di un materiale di base a basso tenore di carbonio (tipo 304L, 316L, 309S, 310S) o stabilizzato (tipo 321, 316Ti, 409, 439, 430Ti) possa in molti casi prevenire l'insorgere di problemi corrosivi.

Nel caso dei giunti saldati si può avere sensibilizzazione nella zona termicamente alterata (ZTA); in tale area, prospiciente la zona fusa, si trovano proprio le condizioni di temperatura sopraccitate, così come è schematicamente riportato nella figura 5.

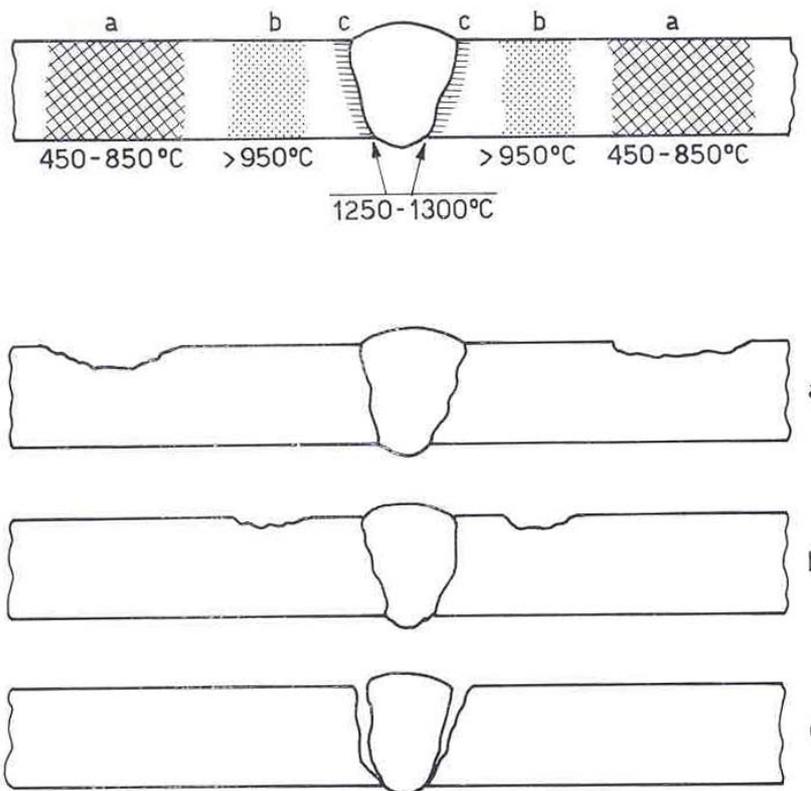


Figura 5: localizzazione delle zone sensibilizzate e conseguentemente soggette a corrosione intergranulare, qualora l'aggressione sia tale da determinarla, in giunzioni di testa saldate di un certo spessore, realizzate con diversi tipi di acciai inossidabili: a) acciai inossidabili austenitici (intervallo di sensibilizzazione 450÷850 °C; b) acciai inossidabili ferritici (temperature di sensibilizzazione superiori a 950 °C); c) acciai inossidabili stabilizzati (intervallo di sensibilizzazione 1250÷1300 °C).

Ciò accade ad esempio quando il componente saldato presenta spessori considerevoli (si ricordi che l'inossidabile, specie l'austenitico, è un cattivo conduttore di calore), cosicché proprio la ZTA rimane per un lungo periodo esposta alle temperature sopraccitate a causa dell'inerzia termica propria del componente stesso; oppure quando successive passate nel processo di saldatura non consentono il totale smaltimento del calore.

Procedimento di saldatura

La scelta dei corretti parametri di saldatura, nonché della giusta tecnica, sono certamente momenti importanti dell'operazione, non solo per le prestazioni meccaniche, ma anche per la resistenza alla corrosione del giunto.

Basti pensare a quanto influisce l'apporto termico sul fenomeno della sensibilizzazione; quantità di calore elevate contribuiranno a prolungare i tempi di permanenza nel range di temperatura critico per le singole famiglie di acciai inossidabili.

La scelta di una tecnica poco invasiva, dal punto di vista dell'apporto termico, o comunque ben calibrata sarà di sicuro giovamento per la vita del giunto. Infatti, non va dimenticato che l'eccessivo

apporto di calore e la conseguente permanenza alle alte temperature causano un ingrossamento del grano. Oltre che la tenacità del giunto, diminuirà localmente anche la resistenza alla corrosione.

Disegno del giunto

Ove possibile, è bene eseguire una progettazione del giunto in modo tale da favorire lo smaltimento del calore apportato in fase di saldatura; ad esempio cercando di minimizzare gli spessori nella zona saldata, compatibilmente con le esigenze meccaniche.

Sempre legato al disegno del giunto, o meglio alla sua progettazione, è il problema delle tensioni residue; queste possono essere rese meno importanti tenendo in considerazione le diverse dilatazioni dovute all'alterazione termica.

Il corretto disegno del giunto scongiura anche eventuali zone di ristagno o interstizi, che possono essere sede di inneschi corrosivi.

Pulizia del giunto

Le fasi successive al processo di saldatura vero e proprio sono spesso affrontate con troppa leggerezza. L'importanza di una buona pulizia del cordone di saldatura è facilmente intuibile se si osserva la figura 6 che presenta il caso di un attacco corrosivo tipo "crevice". In questo caso l'ossido di saldatura non rimosso ha creato un interstizio in cui l'agente aggressivo ha potuto lavorare efficacemente, sfruttando le condizioni di ristagno e di assenza di ossigenazione.

Sempre a questo proposito, si ricordi quanto sia importante una buona protezione del bagno di saldatura per mezzo di un gas opportunamente scelto e correttamente flussato, anche sul retrogiunto.

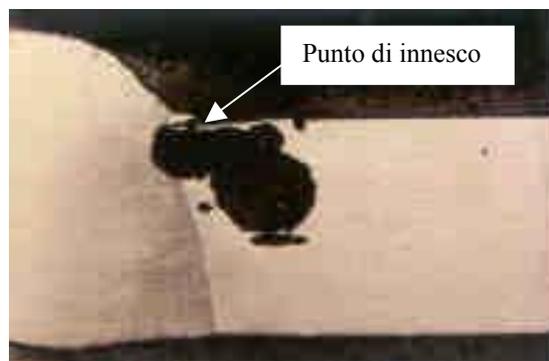


Figura 6: innesco di corrosione nell'interstizio (crevice) creato dall'ossido di saldatura.

Altro fenomeno a volte riscontrabile è quello della contaminazione ferrosa; la pulizia meccanica va infatti eseguita con utensili che in nessun modo possano trasferire sull'inossidabile particelle di ferro. Si potranno usare spazzole in inox o materiali inerti, ovviamente dedicati solo alla lavorazione dell'acciaio inossidabile.

Infine ricordiamo che qualora la pulizia avvenga con liquidi o paste decapanti e passivanti, è necessario accertarsi che questi siano rimossi totalmente con abbondanti risciacqui, per evitare che eventuali residui siano causa della corrosione. È bene anche verificare che, su strutture complesse, l'acqua di risciacquo non vada a ricadere e ristagnare su altre parti (inox e non) causandone la corrosione nel tempo.

Scelta del materiale d'apporto

In generale il materiale d'apporto dovrà essere il più possibile simile al materiale di base.

Oltre che ad aspetti metallurgici e meccanici, la scelta del materiale d'apporto è strettamente correlata alla resistenza alla corrosione.

È immediato pensare alla diluizione della zona fusa; l'utilizzo di un materiale d'apporto con caratteristiche di resistenza alla corrosione inferiori a quelle del materiale di base potrà avere come conseguenza un attacco preferenziale del cordone di saldatura.

Inoltre la struttura di solidificazione sarà profondamente influenzata dalla composizione chimica dell'elettrodo, oltre che dall'intero ciclo di saldatura. Non è difficile trovare esempi di corrosione selettiva all'interno di un giunto saldato. Nella figura 7 è riportato un esempio di acciaio inox austenitico in cui in basso a destra sono visibili le isole di ferrite integre, mentre in alto a sinistra si notano le cavità lasciate dalla ferrite corrosa.

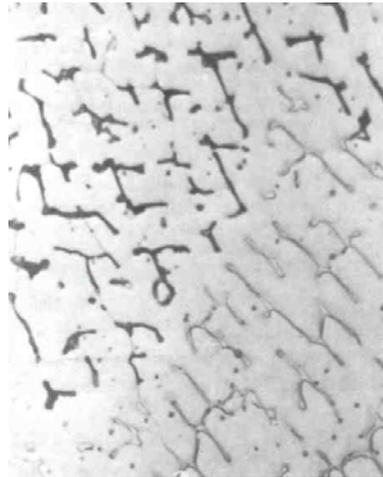


Figura 7: corrosione selettiva delle isole di ferrite nella matrice austenitica. In basso a destra sono visibili le isole di ferrite integre, mentre in alto a sinistra si notano le cavità lasciate dalla ferrite attaccata.

Infine è bene ricordare che la corretta scelta del tipo di materiale d'apporto risulta fondamentale nella saldatura di materiali con differenti coefficienti di dilatazione termica.

Ad esempio saldando inox austenitico con acciaio al carbonio è importante utilizzare un materiale d'apporto che favorisca una solidificazione parzialmente ferritica, minimizzando così l'insorgere di tensioni residue dovute ai differenti ritiri dei due metalli base. Nel caso specifico di saldatura di inox austenitico con acciaio al carbonio è bene impiegare elettrodi del tipo 309 o 309S.

Difettosità del cordone di saldatura

Se si intende per difettosità una cavità o comunque una zona in cui il cordone non è uniforme, ancora una volta il pericolo è quello del ristagno di sostanze aggressive o di fenomeni tipo "crevice corrosion". Si pensi a quegli interstizi generati dal non perfetto allineamento dei lembi, facilmente eliminabili sfruttando maschere in rame che favoriscono anche un più rapido raffreddamento.

Sequenza di saldatura

Nel caso di saldatura effettuata con più passate il pericolo è quello di non consentire il completo smaltimento del calore; si vengono così a creare le premesse per la precipitazione di carburi di cromo e quindi per le problematiche correlate, già esposte in precedenza.

Inoltre, non si dimentichi che, soprattutto per gli acciai inossidabili austenitici, caratterizzati da un coefficiente di dilatazione termica piuttosto elevato, le deformazioni indotte dal processo di saldatura possono essere responsabili di insidiosi stati tensionali residui. Questi, unitamente ad un ambiente aggressivo, generano condizioni favorevoli a fenomeni di corrosione sotto tensione (stress corrosion). Un tipico esempio è la saldatura di grosse flange circolari; in tal caso sarà opportuno

realizzare il cordone non con un'unica passata che percorra l'intera circonferenza, ma con tratti di saldatura su versanti opposti della circonferenza, fino a coprirli completamente.

Presenza di cricature

Le cricche sono sempre indice di un giunto di cattiva qualità. La loro presenza è ancor più nociva in presenza di un ambiente aggressivo che vi si possa insinuare, portando a situazioni come quella di figura 8 in questo caso la corrosione in fessura non poteva avere migliore esemplificazione.

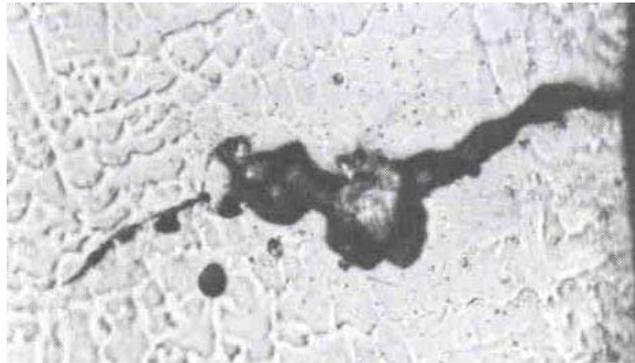


Figura 8: esempio di attacco localizzato sul fondo di una cricca conseguente al processo di saldatura.

Sforzi residui

Si è già accennato al problema della corrosione sotto tensione (stress corrosion cracking), ovvero a quella forma di corrosione che si innesca quando siano presenti contemporaneamente un ambiente aggressivo e uno stato di sollecitazione di trazione.

Per questo le tensioni residue del processo di saldatura possono divenire pericolose quando il componente saldato sarà esposto all'azione di agenti aggressivi quali ioni cloro e ioni fluoro. Gradienti termici inadeguati, cicli di saldatura errati, differenti dilatazioni e molte altre possono essere le cause di tali fenomeni, che si estrinsecano con la classica morfologia della corrosione sotto tensione presentata nelle figure 9 e 10. Si osservino i diversi andamenti delle cricche: transgranulare in figura 9 e intergranulare in figura 10.



Figura 9: stress corrosion cracking in un giunto saldato. L'andamento della cricca è transgranulare.



Figura 10: stress corrosion cracking in un giunto saldato. L'andamento della cricca è intergranulare.

Operazioni di finitura finale

Il discorso è simile a quello della pulizia del giunto, ma un particolare riferimento si deve fare all'eliminazione di quei residui derivanti dagli spruzzi di materiale fuso che possono divenire causa di fenomeni come quello in figura 11. L'interstizio in cui si è poi sviluppata la corrosione è stato proprio creato da uno di questi residui.

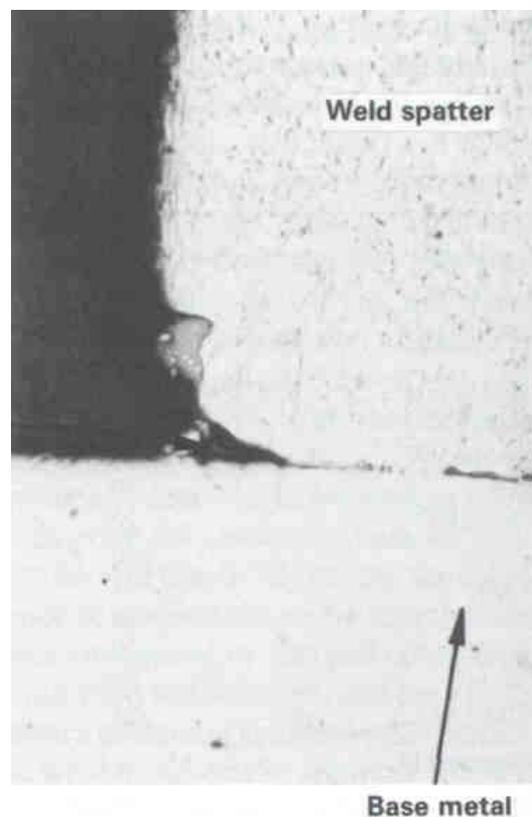


Figura 11: corrosione interstiziale. La corrosione si è sviluppata sotto ad un residuo di materiale di saldatura.