

Gli acciai inossidabili ferritici

FERRITIC STAINLESS STEELS

Typologies, characteristics and new application prospects of a group of materials that is attracting increasing attention.

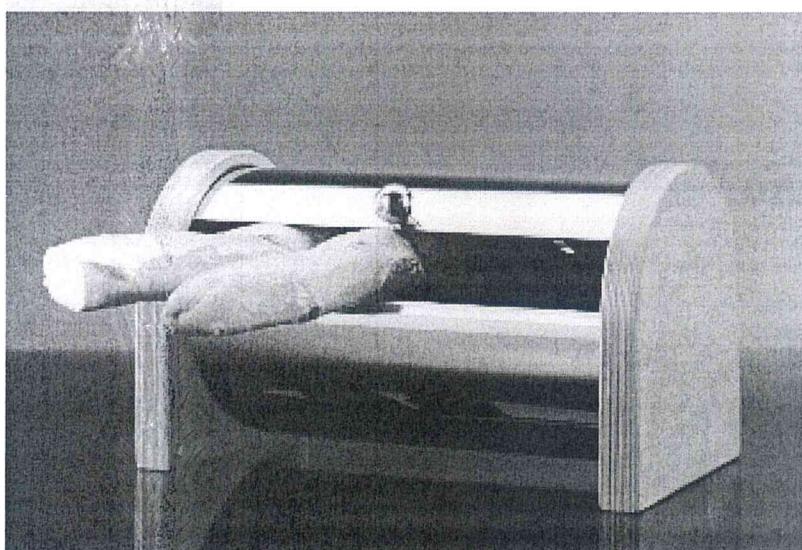
Nell'80% circa delle applicazioni in cui storicamente si è fatto uso di acciai inossidabili, la scelta finale del tipo di lega cade su quelle austenitiche al Cr-Ni o al Cr-Ni-Mo. In particolare i ben noti AISI 304 (EN 1.4301) e AISI 316 (EN 1.4401), con le relative varianti a basso carbonio o stabilizzate, sono quelli più impiegati per le caratteristiche di resistenza alla corro-

sione, resistenza meccanica, igienicità, saldabilità e lavorabilità.

Certamente è soprattutto a queste affermate tipologie che è dovuto il continuo sviluppo del mercato degli inox, le cui particolari condizioni attuali stanno però spingendo l'utilizzatore finale a ricercare, sempre nell'ambito della famiglia degli inossidabili, acciai con similari prestazioni ma che costituiscano una conveniente alternativa in termini economici. In particolare, data l'elevata incidenza del costo del nichel e del molibdeno sul prezzo finale degli inox, la ricerca di valide alternative si rivolge a materiali che ne contengano minori percentuali o non ne contengano affatto.

È pure doveroso annotare che lo stato contingente del mercato ha spinto i tecnici del settore a una valutazione più accurata e critica delle caratteristiche di quelle leghe inossidabili che fino a oggi venivano dedicate a usi specifici, ma che in taluni casi possono validamente sostituire i più noti 304 e 316 che, per retaggio storico-scientifico, in alcune applicazioni sono, per così dire, "sovradimensionati" rispetto alle reali necessità prestazionali, che l'uso finale effettivamente richiede.

In questo contesto è sembrato opportuno proporre una panoramica sugli **acciai inossidabili ferritici** per presentarne



FIG|01| Inox AISI 430 per la produzione di porta-pane e altri complementi di arredo.



FIG|02| AISI 409 o 439 o type 441 vengono impiegati per i sistemi di scarico.

le diverse tipologie e proprietà, così da delineare le possibilità di utilizzo in taluni settori che, fino ad oggi, sono stati regno incontrastato dei tipi austenitici sopra menzionati.

COMPOSIZIONE CHIMICA E ASPETTI METALLURGICI

Da un punto di vista dell'analisi chimica, gli acciai inossidabili ferritici sono caratterizzati essenzialmente dal tenore di cromo quale elemento fondamentale che ne garantisce la resistenza alla corrosione, mentre è, nei più, assente il nichel. In particolare, l'AISI 430 (EN 1.4016) capostipite di questa famiglia di leghe, ne contiene circa il 17%.

Tenori più bassi, dell'ordine del 12% sono presenti in tipologie cosiddette "povere" (EN 1.4003) le quali infatti, allorquando vengono utilizzate in applicazioni che devono soddisfare particolari garanzie (ad esempio telai autobus), possono prevedere ulteriore verniciatura o altra protezione superficiale. Così come nei tipi austenitici, sono state messe a punto tipologie contenenti elementi stabilizzanti quali titanio e niobio, al fine di prevenire fenomeni di corrosione intergranulare. In realtà la stabilizzazione nei ferritici conferisce anche una minore suscettibilità all'ingrossamento del grano durante la saldatura e contemporaneamente migliora la formabilità a freddo (es. imbutibilità). Di qui l'AISI 409 (1.4512), il type 439 (1.4510), il type 441 (1.4509).

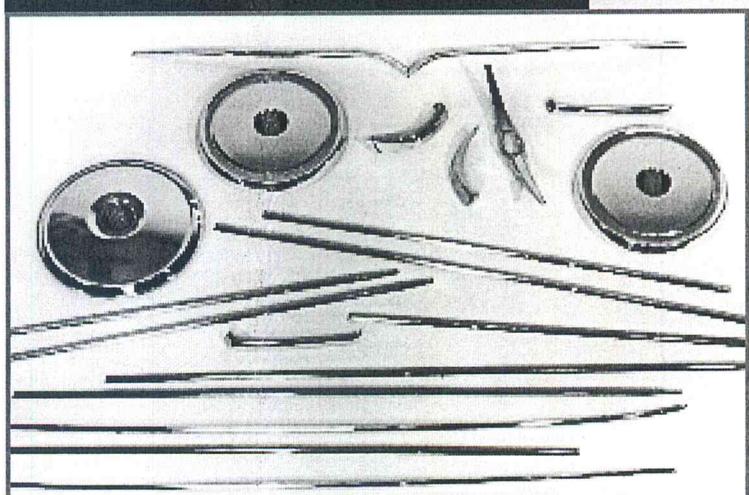
La presenza di molibdeno incrementa invece la resistenza alla corrosione: l'AISI 434 (EN 1.4113) e il type 436 (1.4513), ne contengono circa l'1,2% mentre il type 444 (1.4521) con addirittura il 2% di media si pone su livelli di resistenza a corrosione analoghi a quelli del 316.

Proprio la necessità di incrementare la resistenza alla corrosione ha condotto negli anni alla messa a punto dei cosiddetti superferritici, caratterizzati da sempre più elevati tenori di cromo e/o molibdeno mantenendo al contempo basso il valore di elementi interstiziali quali carbonio e azoto, di qui i cosiddetti tipi ELI, Extra Low Interstitials; la riduzione degli interstiziali migliora resistenza a corrosione soprattutto intergranulare, saldabilità e lavorabilità in modo da ridurre il gap, per quanto riguarda quest'ultima, con i tradizionali austenitici. Il tenore di cromo è poi spinto a livelli dell'ordine del 26% per conferire la massima resistenza all'ossidazione a caldo, come nel type 446 (EN 1.4749), e per lo stesso motivo possono essere aggiunti silicio e alluminio come nel tipo EN 1.4762. In tal modo si ottimizzano le caratteristiche di resistenza alla corrosione, di formabilità e tenacità delle zone saldate.

Nella tab. 1 sono riportate le composizioni chimiche degli acciai inossidabili ferritici menzionati e, per confronto, quella dell'AISI 304 (1.4301) e dell'AISI 316 (1.4401).

Da un punto di vista metallogрафico, a temperatura ambiente sono caratterizzati dalla tipica fase α cubica a corpo centrale (C.C.C.). La presenza di elementi interstiziali influenza molto la struttura; in particolare in fase di raffreddamento può verificarsi la formazione di martensite oltre che l'ingrossamento del grano, con conseguente aumento della durezza superficiale.

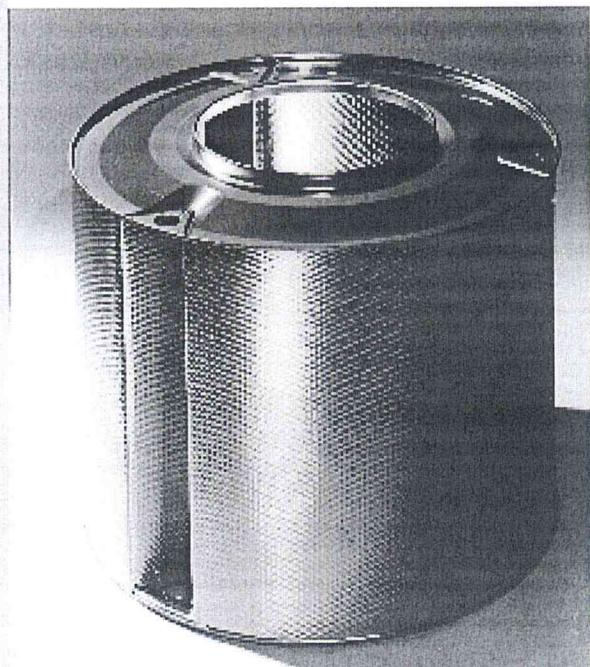
FIG|03| Il ferritico AISI 434 è stato in passato utilizzato per le finizioni di molti modelli di auto.



Inoltre quando le leghe ferritiche sono esposte a elevate temperature, tre sono i fenomeni indesiderati che si possono innescare: formazione di fase sigma (σ), infragilimento a 475 °C, infragilimento ad alta temperatura.

La *fase sigma* in generale appare più difficilmente in leghe con tenori di cromo inferiori al 20%, ma in quelle con tenori tra il 25 e il 30% si genera più facilmente per prolungate esposizioni a temperature tra i 500 e gli 800 °C e in particolare a 600 °C. Si tratta di una fase fragile, che provoca quindi una diminuzione della duttilità e un aumento della durezza. Invece, il riscaldamento a temperature tra i 400 e 540 °C provoca nei ferritici con tenori di cromo tra il 15 e il 30% un aumento della resistenza a trazione e della durezza, ma una conseguente drastica diminuzione della duttilità e della tenacità. Questo fenomeno, noto come *infragilimento a 450 °C*, è imputabile alla formazione di una fase di transizione nel passaggio dalla fase α a quella σ . Il rimedio consiste in un riscaldamento sufficientemente prolungato ad una temperatura di circa 550 °C.

Infine quando gli acciai inossidabili ferritici con tenori medi o elevati di elementi interstiziali sono esposti a temperature superiori a 950 °C e quindi portati a temperatura ambiente, tendono a divenire fragili (es. saldature e getti). Per porre rimedio occorre un trattamento termico a 750-850 °C che consente di recuperare la necessaria duttilità.



FIG|04 Cestelli delle lavatrici e parti di lavastoviglie sono realizzati con AISI 430 o varianti di questo stabilizzate con titanio o niobio.



FIG|05 Per il Japan Convention Center, in riva al mare, per la copertura è stato impiegato acciaio inossidabile ferritico contenente molibdeno.

Gli effetti sopra descritti, oggi ben noti e controllabili, hanno sempre costituito un ostacolo all'uso questi materiali; le tecnologie moderne di affinazione (AOD e VOD), unitamente alla conoscenza degli effetti benefici di elementi come titanio e niobio, hanno sicuramente contribuito a dare un maggiore impulso alla diffusione.

LE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

Dal punto di vista delle caratteristiche fisiche e meccaniche sono da sottolineare alcuni aspetti importanti, primo fra tutti che **gli acciai inossidabili ferritici sono ferromagnetici**, ovvero sono attirati dalla calamita. Tale comportamento li rende immediatamente riconoscibili dagli austenitici che, è bene ricordarlo, sono amagnetici (o meglio, paramagnetici) allo stato ricott e possono manifestare un leggero magnetismo che cresce con il grado di incrudimento.

La **conduttività termica** è ben superiore a quella degli austenitici, mentre il **coefficiente di dilatazione termica** nettamente inferiore, con valori più vicini a quelli degli acciai al carbonio più comuni.

Per ciò che concerne le **caratteristiche meccaniche**, i ferritici risultano meno performanti rispetto agli austenitici in termini di allungamento percentuale, pur mantenendo prestazioni ragguardevoli specialmente nelle versioni stabilizzate. Il carico di snervamento dei ferritici è in generale un po' superiore, mentre risultano penalizzati nel carico di rottura. Come per le strutture austenitiche, l'unico modo per incrementare le caratteristiche meccaniche è ricorrere all'incrudimento, che è comunque meno marcato. Da sottolineare che, contrariamente alla struttura austenitica, quella ferritica è sensibile al fenomeno della transizione del comportamento da tenace a fragile mano a mano che la temperatura si abbassa fino a valori inferiori a quella ambiente.

LE LAVORAZIONI

Variando opportunamente i parametri di saldatura e potendo contare sui benefici effetti della stabilizzazione, anche la saldatura degli acciai inox ferritici risulta agevole come quella dei tipi austenitici.

Come già accennato, la saldabilità di questi tipi di acciai può essere migliorata riducendo il tenore degli elementi interstiziali, carbonio (C) e azoto (N), garantendo così duttilità, tenacità e resistenza alla corrosione (pitting e stress corrosion cracking) anche nelle zone saldate. La presenza di elementi stabilizzanti, titanio (Ti), niobio (Nb) e così via, oltre che prevenire la precipitazione di carburi di cromo, arresta l'ingrossamento del grano e la conseguente perdita di tenacità. Un benefico effetto sulla duttilità del giunto hanno anche rame (Cu), nichel (Ni), alluminio (Al) e vanadio (V).

Per ciò che concerne le tecniche di saldatura, TIG e MIG danno buoni risultati su tutti i ferritici, mentre le tecnologie plasma ed electron-beam meglio si prestano per i tipi ad alto tenore di cromo con struttura completamente ferritica.

In particolare la saldatura a resistenza ben si adatta a questa tipologia di leghe.

Val la pena sottolineare alcuni aspetti importanti inerenti la saldatura di questi materiali:

- è bene evitare apporti eccessivi di calore per limitare fenomeni di ingrossamento del grano e la relativa diminuzione della tenacità, nonché l'innalzamento della temperatura di transizione;
- un apporto di calore troppo basso può comportare una limitazione della trasformazione $\delta \rightarrow \gamma$. La quantità di austenite presente a temperatura ambiente sarebbe quindi molto ridotta, fatto non sempre positivo;

– la temperatura di sensibilizzazione di questi materiali è al di sopra dei 900 °C circa, quindi l'eventuale zona interessata da tale fenomeno è quella adiacente alla zona fusa.

In generale, poiché la diffusività del carbonio (C) è maggiore nelle strutture ferritiche (cubiche a corpo centrale – c.c.) un basso tenore di questo elemento non garantisce l'assenza di fenomeni di sensibilizzazione; – per quanto riguarda gli elettrodi, in generale dovrebbero essere della stessa natura del materiale di base, ovvero a struttura ferritica. A volte però è consigliabile l'uso di elettrodi a struttura

austenitica per privilegiare la tenacità o per limitare gli effetti della martensite. Allo stesso tempo, l'austenite minimizza la sensibilità all'infragilimento da idrogeno, poiché questo ha una minore diffusività nelle strutture cubiche a facce centrali (c.f.c.). L'uso di elettrodi austenitici può creare problemi per effetto dei diversi coefficienti di dilatazione (es. fatica in caso di riscaldamenti ciclici) o se si prevede una ricottura dopo saldatura, che per le strutture ferritiche cade proprio nel range di temperature di sensibilizzazione di quelle austenitiche. Anche la resistenza alla stress-corrosion-cracking risulta minore. Buoni risultati in termini di tenacità e di duttilità si ottengono utilizzando elettrodi a struttura semi-ferritica;

- in merito al tipo di tecnica di saldatura, si ricorda che anche da questa possono dipendere i risultati finali. In particolare sono da evitare quelle che per intrinseca natura comportano un eccessivo apporto termico;
- circa i trattamenti termici post-saldatura, in generale il controllo dei parametri operativi e la scelta del giusto elettrodo permettono di evitarne l'esecuzione. Peraltro è da considerarne l'eventualità, in caso di spessori molto consistenti o dove sia necessario garantire la massima resistenza alla corrosione. Un trattamento a circa 600°C, seguito da un rapido raffreddamento elimina l'infragilimento a 450°C, mentre una trattamento acirca 870°C permette di eliminare la fase sigma. Una ricottura attenua invece gli effetti deleteri della martensite presente.

La deformabilità a freddo (imbutitura, presso piegatura, ecc..) è ridotta rispetto ai comuni acciai a struttura austenitica (e.g. AISI 304 e 316) sebbene l'aggiunta di elementi stabilizzanti (Ti e Nb) contribuisca a migliorarne le prestazioni in tal senso. La minor tendenza all'incrudimento rispetto agli austenitici permette, in generale, imbutiture anche piuttosto importanti senza dover ricorrere a trattamenti termici intermedi. Ancora una volta, il basso valore di elementi interstiziali consente i migliori risultati. Nella lavorazione per asportazione di truciolo il comportamento è buono, soprattutto nelle versioni a lavorabilità migliorata.

LE APPLICAZIONI TRADIZIONALI

Al fine di capire quali siano state fino a oggi le più tradizionali applicazioni degli acciai inossidabili ferritici, di seguito riportiamo alcuni tipici esempi.



FIG|06| Un esempio di barbecue prodotto con AISI 430 (EN 1.4016).

LA RESISTENZA ALLA CORROSIONE: PROSPETTIVE PER FUTURE APPLICAZIONI

Al di là delle differenze in termini di formabilità tra acciai austenitici e ferritici, parzialmente aggirabili mediante l'adozione di geometrie meno complesse o riducibili tramite l'uso dei già citati superferritici ELI, al momento una discriminante per poter decidere una possibile introduzione dei tipi ferritici per talune applicazioni risiede proprio nella resistenza alla corrosione. In particolare si tratta di capire se ai più noti AISI 304 e 316 e similari esistano delle corrispondenti (nel senso di paragonabile comportamento contro la corrosione) alternative tra i ferritici o se, per lo meno, è possibile individuare delle applicazioni in cui le prestazioni offerte dagli austenitici sono in realtà sovrabbondanti rispetto alle reali necessità; in tal caso un'analisi puntuale può evidenziare una serie di impieghi finali piuttosto importanti in cui anche i più comuni acciai inossidabili ferritici potrebbero divenire appetibili candidati. Ricordando che si tratta pur sempre di un parametro indicativo, un valore che consente di inquadrare le prestazioni dei ferritici rispetto agli austenitici è l'indice di resistenza a pitting, ovvero il PREN (Pitting Resistance Equivalent Number, calcolato con le formule sotto riportate, sulla base dei tipi e del tenore% di alcuni elementi presenti nella lega); vedi tab. 3. È altresì importante ricordare che le strutture ferritiche sono molto meno suscettibili ad un tipo di corrosione localizzata molto subdola, ovvero la corrosione sotto tensione (SCC, stress corrosion cracking).

Sulla base di queste semplici considerazioni generali, è abbastanza chiaro che il 444 (1.4521) si delinea come equivalente al 316 in termini di resistenza alla corrosione e quindi valida alternativa più economica in una vastissima gamma



FIG|07| Anche nel settore del pentolame l'AISI 430 ha cominciato a sostituire l'AISI 304.

di applicazioni. Ciò trova conferma nell'esperienza di paesi come il Giappone o la Corea, dove il 444 si è già affermato per impieghi quali coperture, serbatoi per acqua potabile, o come la Francia dove è da registrare la positiva esperienza nel settore delle canne fumarie. Ampi spazi rimangono aperti: componenti per piscine, componenti per l'arredo urbano in zone particolarmente aggressive, componenti dell'industria alimentare (compatibilmente con quanto previsto dalle legislazioni vigenti nei singoli paesi) e così via.

D'altro canto è altrettanto chiaro che diversa è la situazione per l'AISI 304. Infatti, l'AISI 434 (1.4113) o il type 436 (1.4513) potrebbero offrire resistenza alla corrosione comparabile, ma la presenza del molibdeno annulla la convenienza da un punto di vista economico. Per tale motivo nel caso della "sostituzione" dell'AISI 304 è necessario operare una più mirata selezione degli usi finali in cui anche i ferritici potrebbero tranquillamente trovare impiego. In tal senso l'AISI 430, il type 439 e il type 441 sembrano delinearsi quali validi candidati per applicazioni come: vasellame da fuoco, posateria, componenti di arredo per interno, pannellature di porte di ascensori, pannellature di macchinari per l'industria alimentare, componenti di arredo urbano in zone poco inquinate, parti di macchine per bevande, rivestimenti di interni (pareti, colonne...), cappe, piani cottura, frigoriferi.

In tal senso le figg. 6-7 riportano due esempi di componenti in cui già i produttori hanno sostituito con successo l'AISI 304 con AISI430.

CONCLUSIONI

Certamente questo breve articolo non può essere esaustivo per la tematica in questione, ma vuole fornire uno spunto utile in sede di scelta finale del tipo di lega più idoneo.

Basti pensare l'aspetto della reperibilità dei vari materiali nei diversi formati, fatto che può comportare la necessità di "mischiare" le differenti tipologie di inox per compensare la difficile reperibilità dei prodotti finiti. Si pensi ad esempio alla viteria ampiamente disponibile nei tipi austenitici, ma sicuramente non altrettanto per i ferritici. Ancora, si ricordi l'importanza della finitura superficiale dei manufatti, che può divenire basilare per la resistenza alla corrosione di qualsiasi materiale nonché essere profondamente influenzata dalla composizione chimica di questo.

Il supporto dei produttori di acciaio inox, nonché del Centro Inox stesso, rimangono strumenti disponibili e fondamentali per approfondire e chiarire quanto qui descritto, oltre che per essere informati circa gli sviluppi di materiali innovativi, che potrebbero costituire nuove valide alternative ai tradizionali austenitici. ■