

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

Relazione per la prova finale
Acciai superduplex: proprietà e applicazioni

Tutor universitario: Prof. Katya Brunelli

Laureando: *Jacopo Riva*

Padova, 17/11/2023

Acciai superduplex: proprietà e applicazioni

- Capitolo 1: Gli acciai inossidabili
- Capitolo 2: Acciai superduplex: creazione e proprietà
- Capitolo 3: Principali applicazioni degli acciai superduplex

Obiettivi:

- Analizzare le proprietà degli acciai inossidabili superduplex
- Studiare la formazione della doppia microstruttura
- Studiare la saldabilità degli acciai superduplex
- Riportare i principali ambiti di applicazione

Gli acciai inossidabili

Classificazione acciai inossidabili

Gli acciai inossidabili si classificano a seconda della microstruttura:

- Acciai inossidabili ferritici
- Acciai inossidabili austenitici
- Acciai inossidabili duplex
- Acciai inossidabili martensitici

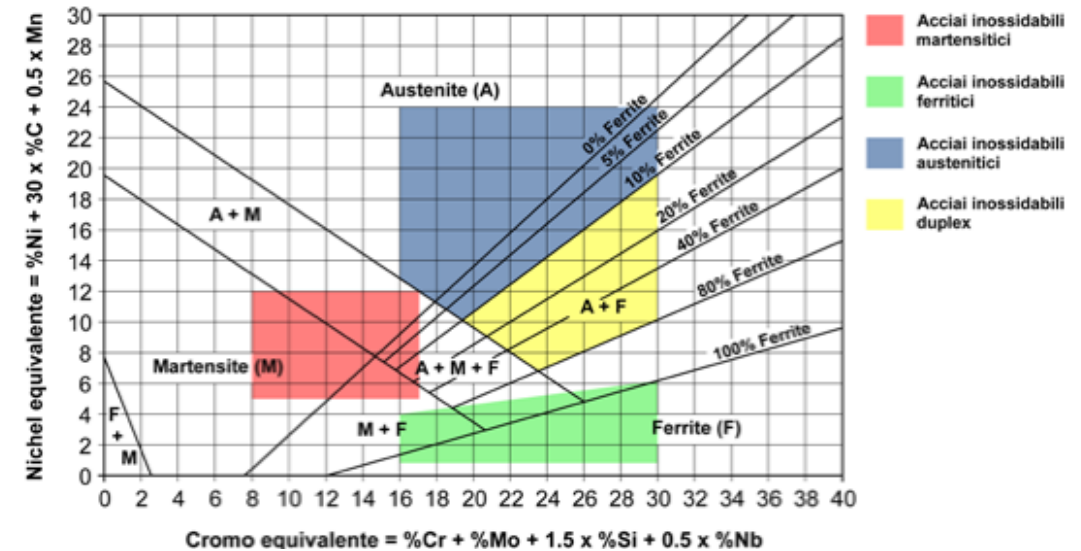


Diagramma di Shaeffler

Diagramma di Shaeffler

Per valutare l'azione gammagena e alfagena si è pensato di riferirsi a dei valori di **Nickel equivalente** (Ni_{eq}), per i contributi gammageni, e **Cromo equivalente** (Cr_{eq}) per i contributi alfageni.

Acciai superduplex: creazione e proprietà

Classificazione acciai duplex

Gli acciai duplex vengono in genere classificati in base alla composizione chimica, a questa classificazione, molto spesso, se ne affianca un'altra, quella basata sul PREN. Il PREN (Pitting Resistance Equivalent Number) è un valore numerico che viene associato alla resistenza alla corrosione per vaiolatura degli acciai inossidabili.

$$PREN = Cr(\%) + 3,3 \cdot Mo(\%) + k \cdot N(\%)$$

Gli acciai duplex vengono classificati come segue:

- **Duplex “economici”** (PREN = 25)
- **Duplex “comuni”** (PREN = 35)
- **Duplex “alto legati”** (35 < PREN < 40)
- **Superduplex** (PREN > 40)

Trasformazione da ferrite δ a austenite

L'austenite inizia a formarsi durante il raffreddamento al di sotto della temperatura di δ -solvus, dove si verifica una reazione in fase solida nella quale si passa dalla ferrite δ all'austenite, con la formazione di una struttura bifasica austeno-ferritica. La quantità di austenite che si forma dalla ferrite è inversamente proporzionale alla velocità di raffreddamento nella zona che va dai 1200° agli 800°C. Sotto gli 800°C si è notato che la composizione non cambia significativamente.

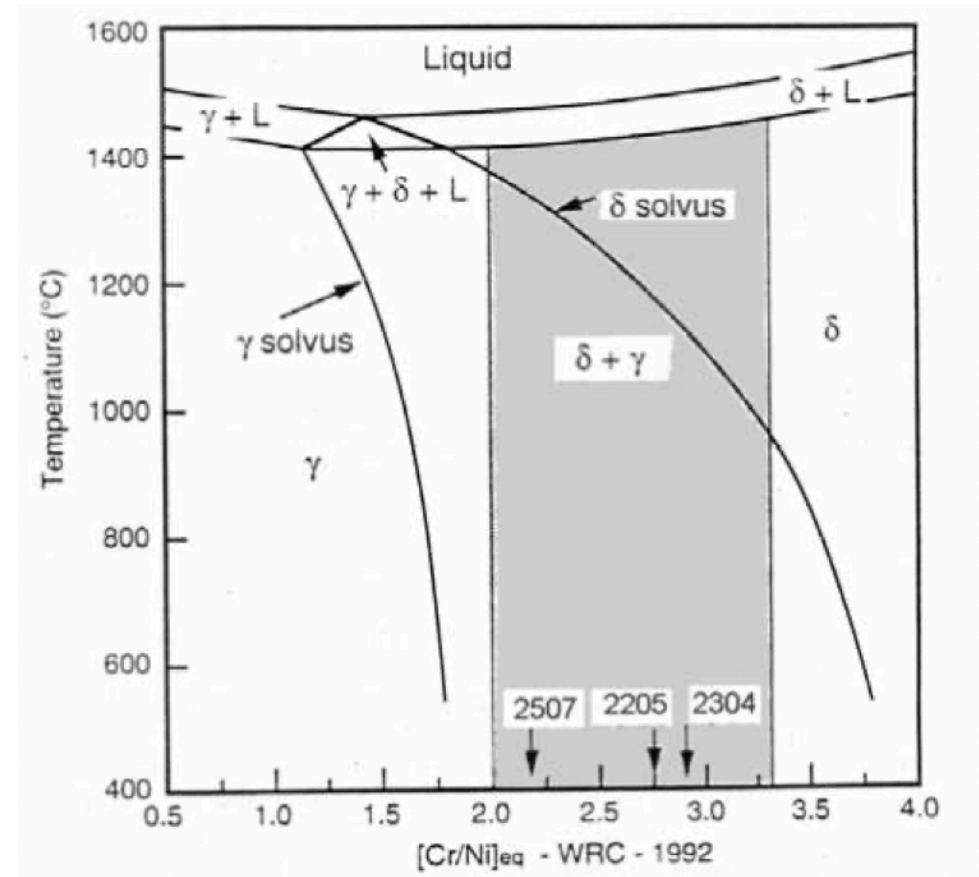


Diagramma Fe-Cr-Ni relativo a acciai duplex e superduplex.

Le fasi secondarie

Le fasi secondarie indesiderate che hanno effetti negativi sulle proprietà dell'acciaio sono:

- Fase σ
- Fase χ
- Fase R
- Fase π
- Nitruri (Cr_2N)
- Austenite secondaria
- Carburi
- Fase τ

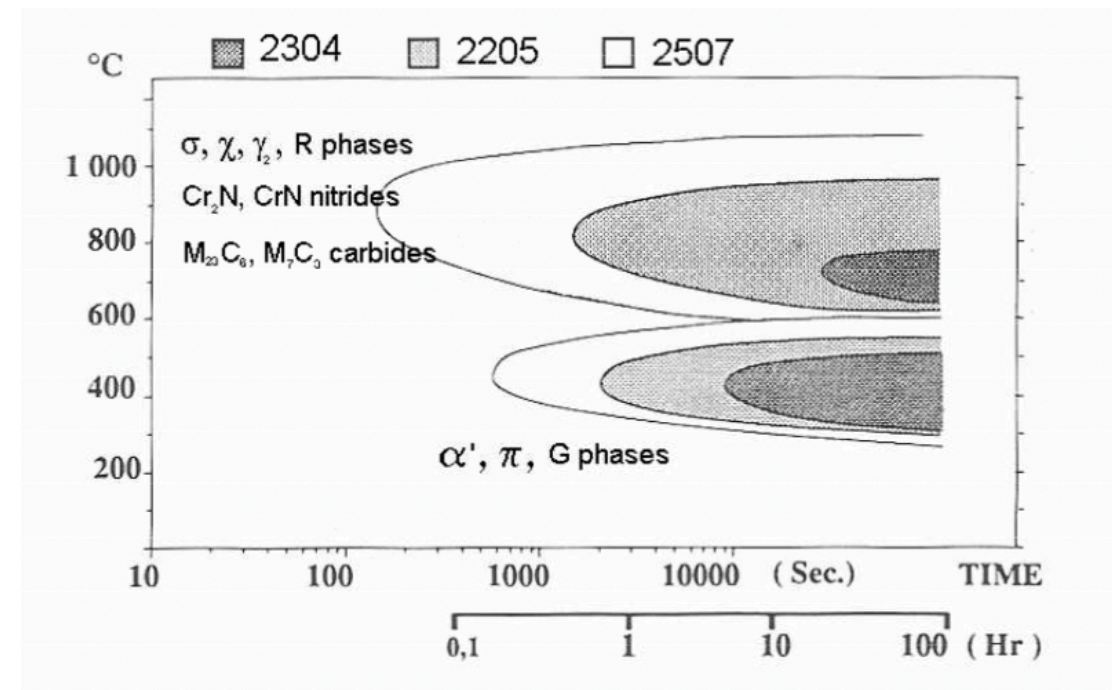
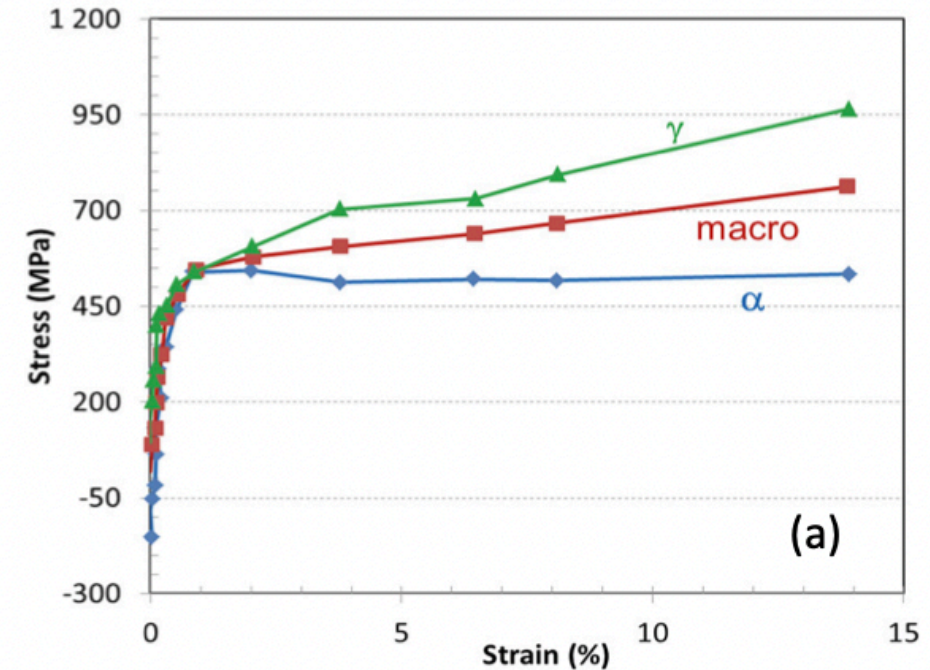


Diagramma TTT relativo a acciai duplex e superduplex.

Le proprietà

Le proprietà dell'acciaio derivano dalla struttura bifasica, quasi tutte le sue caratteristiche, infatti, sono un mix tra le proprietà delle microstrutture che lo compongono, l'austenite e la ferrite.

Gli acciai superduplex possiedono buonissime proprietà meccaniche e ottima resistenza alla corrosione.



Risultati del test di trazione di un acciaio superduplex.

Saldabilità

Quando si parla di saldatura, un argomento molto delicato per gli acciai inossidabili duplex a causa della formazione di possibili fasi indesiderate, è importante distinguere due tipi di saldatura:

- **processi di saldatura convenzionali ad arco**, caratterizzati da un apporto termico piuttosto elevato ma distribuito su una superficie abbastanza ampia (la potenza apportata è dell'ordine di $1 \cdot 10^2 \text{ W}/(\text{cm})^2$);
- **processi di saldatura innovativi al plasma**, al laser e al fascio elettronico, caratterizzati dalla capacità di fornire al materiale una potenza molto localizzata (si giunge a $1 \cdot 10^6 \text{ W}/(\text{cm})^2$ nel caso di EBW (saldatura a fascio elettronico) e LBW (saldatura a fascio laser)).

Queste due categorie differenziano principalmente per velocità di raffreddamento. La prima categoria è, infatti, caratterizzata da velocità di raffreddamento lente per aree abbastanza grandi.

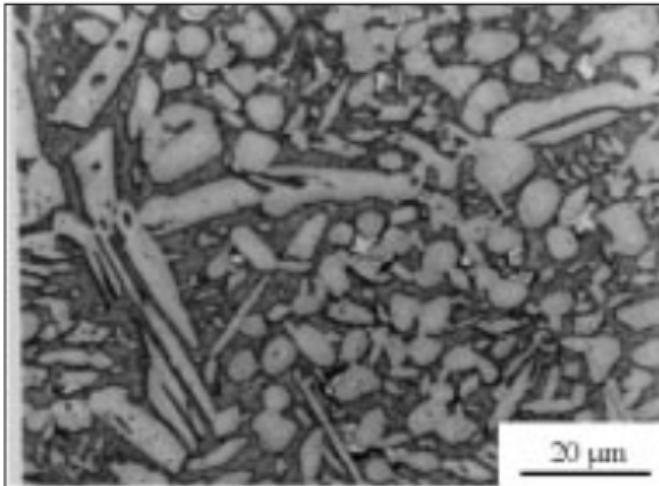
La seconda categoria invece è caratterizzata da processi dove l'input termico, alto e molto concentrato, induce velocità di raffreddamento molto elevate.

Processi di saldatura

Quando si sottopone un acciai superduplex a trattamenti termici, bisogna prestare molta attenzione alla velocità di raffreddamento. Da essa dipende, infatti, sia la quantità di austenite che si forma, sia la presenza di fasi secondarie dannose per il materiale.

Nei processi di **saldatura ad arco** la velocità di raffreddamento è moderata. Questo comporta ad avere una percentuale di austenite dopo il processo ottimale (quasi 50/50), ma si la formazione di fasi secondarie indesiderate.

Nei processi di **saldatura al plasma** accade il contrario. Si hanno percentuali di austenite pessime, causa dell'alta velocità di raffreddamento, ma non si ha quasi mai il problema della formazione delle fasi secondarie. Un'altra importante considerazione va rivolta alla ZTA, la quale grazie alla velocità di raffreddamento elevata è di piccola entità.



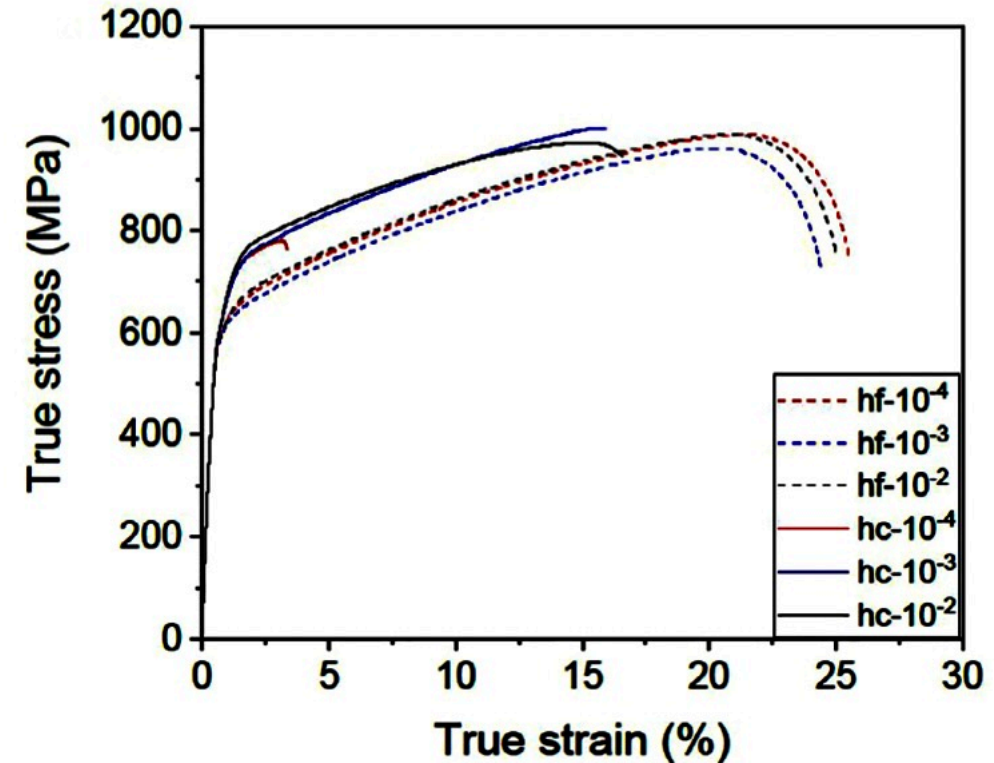
L'immagine rappresenta l'inizio della precipitazione di fase σ (fase bianca) in un cordone di saldatura laser di acciaio SDSS SAF 2507, mantenuto per 7 min a 850°C.

Embrittlement da idrogeno

L'idrogeno rappresenta una risorsa importante. Tuttavia, una sfida significativa per l'energia dell'idrogeno (e lo stoccaggio) è l'embrittlement da idrogeno, un fenomeno dove l'acciaio assorbe l'idrogeno perdendo le sue ottime proprietà meccaniche.

All'inizio dell'assorbimento si è notato che i primi atomi di idrogeno sono intrappolati ai confini di fase, aumentando la durezza della fase ferritica ma riducendo la durezza della fase austenitica. Tuttavia, ad un certo punto l'idrogeno entra ulteriormente e riesce a diffondersi rapidamente.

Quando l'idrogeno viene assorbito dalla microstruttura bifasica porta a conseguenze negative, entrambe le fasi del materiale mostrano una diminuzione della durezza. Ciò porta a una transizione accelerata da comportamento duttile a fragile e un accorciamento dell'esperimento di prova a trazione.



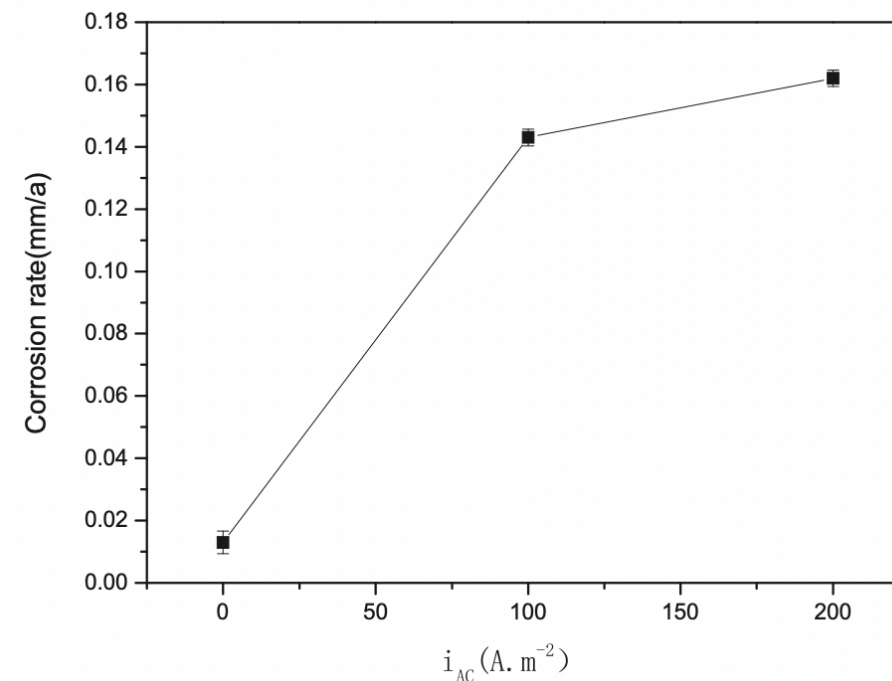
Curve tensioni-deformazioni di acciai duplex con (hc: H-charged) e senza (hf: H-free) idrogeno a diverse velocità di deformazione.

La resistenza a corrosione in funzione della corrente AC

La corrosione indotta dall'interferenza a corrente alternata (AC) rappresenta una minaccia per l'operazione sicura di settori come quello dell'energia e dei trasporti.

Si nota che, con l'aumento della corrente, la capacità del film passivo (dal quale derivano le ottime proprietà di resistenza alla corrosione dell'acciaio) di autorigenerarsi diminuisce e la sensibilità alla corrosione localizzata aumenta. Inoltre la corrente promuove la velocità di dissoluzione del film passivo, favorendo i fenomeni di corrosione.

Si è notato inoltre un cambiamento nella distribuzione delle prime zone di corrosione. A una corrente bassa, la vaiolatura si verifica principalmente nella fase austenite e al confine tra la fase austenite e ferrite. Quando la densità di corrente raggiunge i 200 A/m², la zona colpita dalla corrosione cambia: nella fase ferrite, nella fase austenite e al confine delle due fasi si formano zone dove il film non è omogeneo con la conseguente sensibilizzazione alla corrosione localizzata.



Corrosione dell'acciaio SDSS 2507 in relazione alla densità di corrente.

Principali applicazioni degli acciai superduplex

Applicazioni nell'industria energetica e offshore

L'industria offshore svolge un ruolo vitale nell'estrazione di petrolio e gas, ma deve far fronte alle sfide di operare in ambienti marini estremamente impegnativi. La necessità di attrezzature resistenti e durevoli è evidente. In questo contesto, gli acciai inossidabili superduplex emergono come una soluzione chiave grazie alle loro eccezionali proprietà di resistenza alla corrosione.

Gli acciai superduplex trovano impiego non solo nell'industria offshore ma anche in altri contesti dell'industria energetica. Ad esempio, vengono utilizzati nei pozzi geotermici e nelle acque saline per la costruzione di scambiatori di calore. In questi ambienti ad alta temperatura e salinità, gli acciai superduplex offrono una resistenza alla corrosione eccezionale, garantendo una maggiore efficienza termica e una maggiore durata degli scambiatori di calore, riducendo i costi operativi e contribuendo all'efficienza energetica. Inoltre, questi materiali sono comunemente utilizzati in pompe sommerse, sistemi di raffreddamento e valvole di sicurezza nell'industria energetica.

Applicazioni nell'ambito navale

Gli acciai inossidabili superduplex sono essenziali per l'industria navale, contribuendo in modo significativo alla sicurezza, alla durabilità e all'efficienza delle navi e delle attrezzature marine.

Essi vengono utilizzati per produrre:

- scafi delle navi;
- eliche e alberi di trasmissione;
- attrezzature di sollevamento;
- sistemi di desalinizzazione;
- sistemi di ancoraggio.

Applicazioni nell'industria chimica e petrolchimica

Nell'industria chimica e petrolchimica, l'utilizzo di materiali resistenti e affidabili è cruciale per garantire l'integrità degli impianti e la sicurezza delle operazioni.

In questo settore, gli acciai superduplex vengono utilizzati per la produzione di:

- tubi;
- pompe;
- sistemi per il trattamento delle ammine;
- sistemi di raffreddamento;
- valvole di sicurezza.

Conclusioni

Gli acciai superduplex rappresentano una classe di materiali avanzati che hanno dimostrato di essere fondamentali in situazioni in cui la resistenza alla corrosione e la resistenza meccanica sono essenziali. Un aspetto significativo è il ruolo del molibdeno e del tungsteno nella resistenza alla corrosione pitting, misurata attraverso il PREN. La conoscenza di questo parametro è cruciale per la progettazione di componenti resistenti alla corrosione nelle industrie dell'energia, chimiche, petrolchimiche e marine, nelle quali questi materiali trovano largo impiego.

Gli acciai superduplex si sono dimostrati essenziali per affrontare operazioni in ambienti ostili. Tuttavia, nonostante le loro notevoli proprietà, l'uso degli acciai superduplex non è privo di sfide, come la saldabilità.

Nelle prospettive future, l'innovazione nei materiali superduplex rimane un campo promettente. Ulteriori ricerche potrebbero portare a nuovi gradi di acciaio superduplex con prestazioni ancora migliori, aprendo la strada a nuove applicazioni e contribuendo a risolvere le sfide industriali emergenti.