

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Chimica e dei Materiali

*Effetto della deformazione plastica a freddo sulle
caratteristiche microstrutturali e sulla resistenza a
corrosione di un acciaio inossidabile lean duplex*

Tutor universitario: Ing. Luca Pezzato

Laureando: *Marco Ragogna, 1191375*

Padova, 09/03/2022

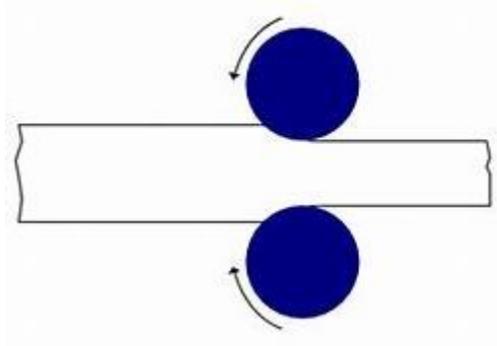
Gli acciai inossidabili duplex (DSS) sono una particolare classe di acciai inossidabili caratterizzati dall'aver a temperatura ambiente una struttura mista di austenite e ferrite.

L'austenite a temperatura ambiente si trova in una condizione metastabile e il verificarsi di opportuni meccanismi di deformazione potrebbe provocare la comparsa della cosiddetta martensite indotta da deformazione (SIM) la quale porterebbe a sua volta una diminuzione della resistenza alla corrosione del materiale.

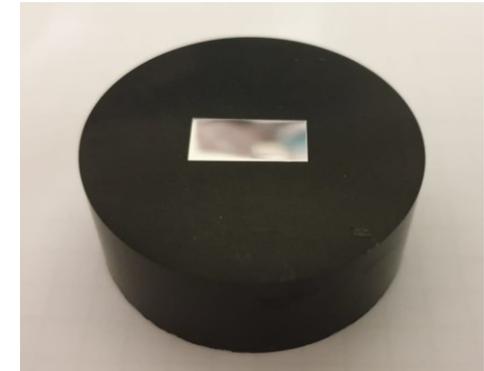


Figura 1: microstruttura al microscopio ottico della superficie del campione di DSS deformato al 24% attaccata con la soluzione di Beraha

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di studiare come variano le caratteristiche microstrutturali e la resistenza a corrosione di un campione di acciaio inossidabile lean duplex in relazione all'applicazione di diversi gradi di deformazione plastica introdotti dalla laminazione a freddo multi-pass.



Il materiale che è stato oggetto di studio è un acciaio inossidabile bifasico 2101. Tale materiale è stato studiato a diversi valori di deformazione plastica (riduzione dello spessore rispettivamente del 9%, 24%, 45% e 61%), introdotti dalla laminazione a freddo multi-pass.



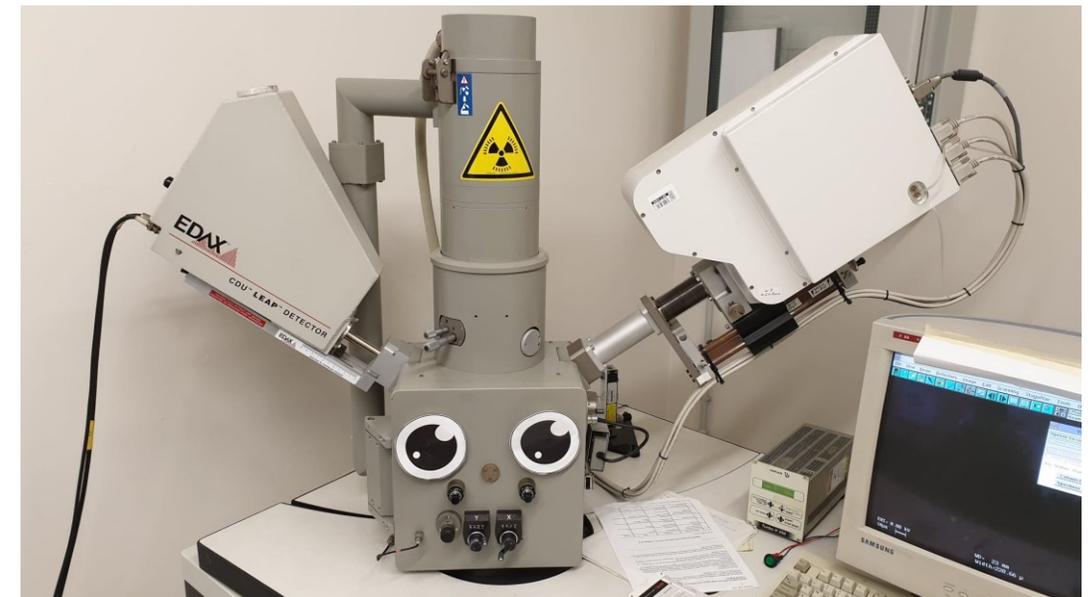
campione lucidato



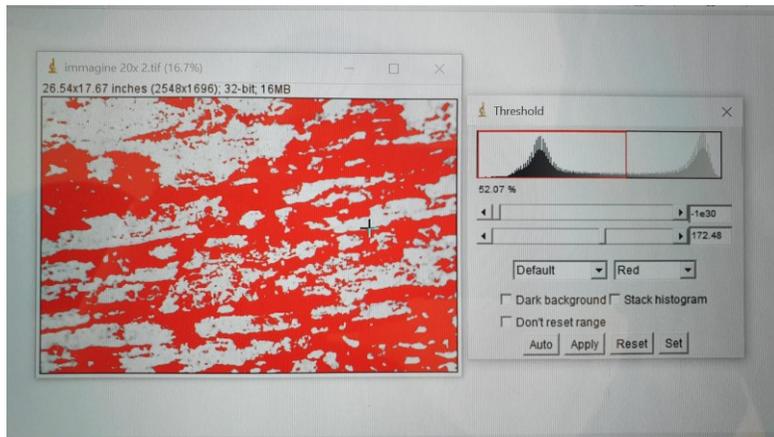
microscopio ottico



microdurometro



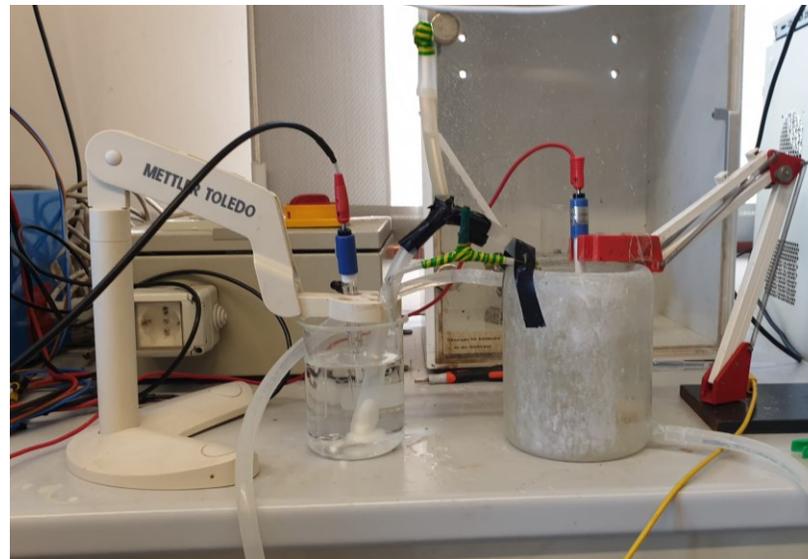
microscopio elettronico a scansione (SEM)



analisi d'immagine con il software ImageJ



Diffrattometro a raggi X



setup prove CPT

Dall'osservazione al microscopio ottico, i grani cristallini nei campioni analizzati risultano allungati lungo la direzione di laminazione dei campioni stessi, ma tale allungamento non varia di molto al variare del grado di deformazione. Ciò che si nota, invece, è che all'aumentare della deformazione la grana cristallina risulta leggermente più frammentata.



Figura 2: micrografia 3D del campione 0% deformazione



Figura 3: micrografia 3D del campione 9% deformazione



Figura 4: micrografia 3D del campione 24% deformazione



Figura 5: micrografia 3D del campione 45% deformazione



Figura 6: micrografia 3D del campione 61% deformazione

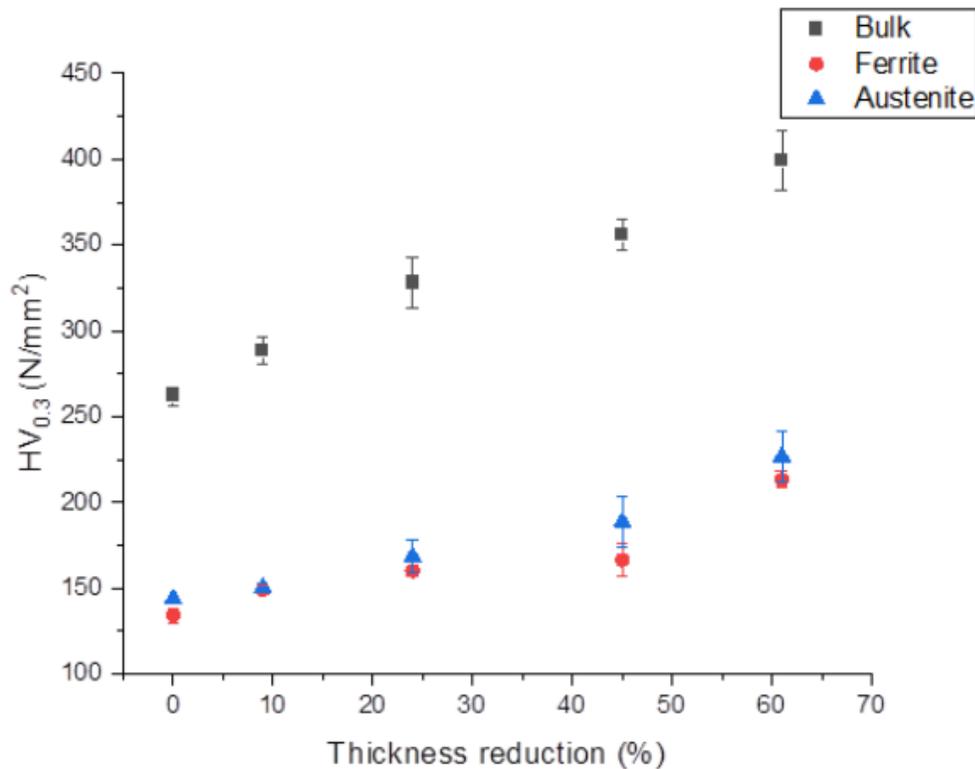


Figura 7: andamento delle microdurezze Vickers del bulk e delle singole fasi (austenite e ferrite) al variare dello spessore dei vari campioni

All'aumentare del grado di deformazione, ovvero al diminuire dello spessore dei vari campioni, tutti i valori di microdurezza aumentano. Questo comportamento è dovuto all'aumento dell'incrudimento del materiale causato dal crescente aumento della deformazione del materiale.

Sulla superficie dei campioni deformati (in particolare in quelli che presentano una deformazione del 24%, 45% e 61%) sono presenti, all'interno della fase austenitica, delle bande di scorrimento.

In particolare si può notare la presenza di zone in cui tali bande si intersecano. Tali punti di intersezioni potrebbero rappresentare i siti di nucleazione della martensite indotta da deformazione, ma ciò non è certo in quanto tale fenomeno dipende:

- dal modo in cui viene effettuata la deformazione plastica a freddo;
- dall'orientazione di tali piani di scorrimento.

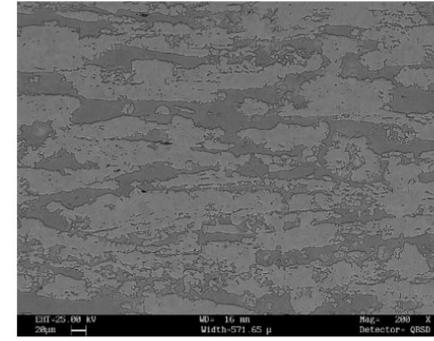


Figura 8: superficie SEM del campione 0% deformazione

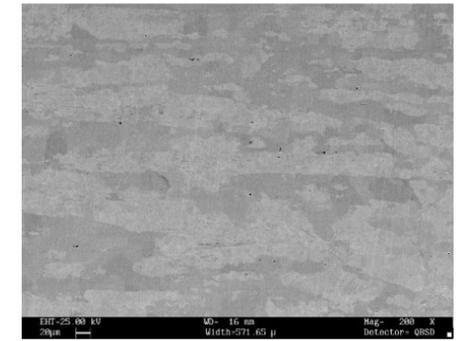


Figura 9 superficie SEM del campione 9% deformazione

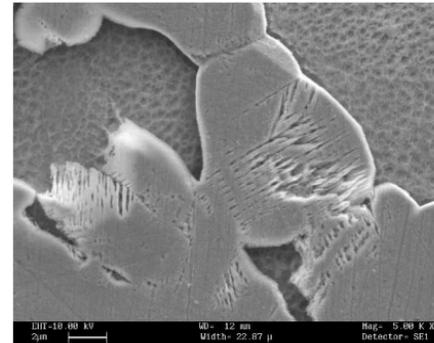


Figura 10: superficie SEM del campione 24% deformazione

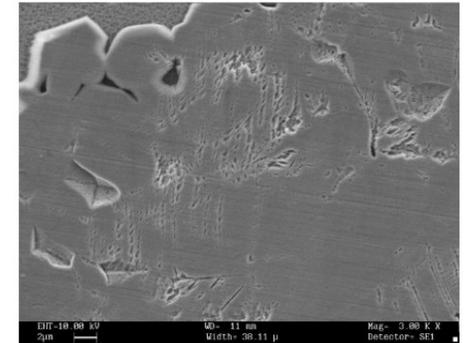


Figura 11: superficie SEM del campione 45% deformazione

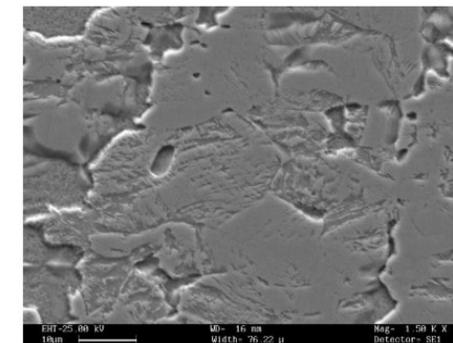
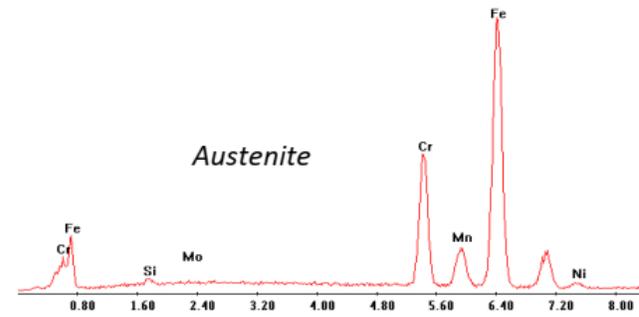
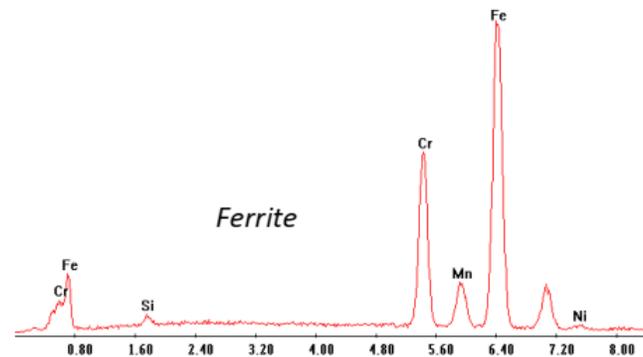


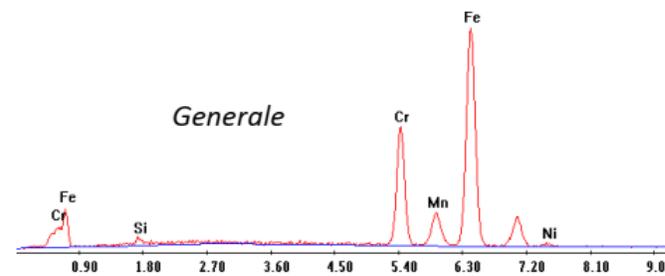
Figura 12: superficie SEM del campione 61% deformazione



Elemento	Wt %
Si	1,08
Cr	20,83
Mn	5,51
Fe	70,38
Ni	2,20
Totale	100,00



Elemento	Wt %
Si	1,38
Cr	23,28
Mn	4,41
Fe	69,71
Ni	1,22
Totale	100,00



Elemento	Wt %
Si	1,53
Cr	22,57
Mn	4,99
Fe	69,33
Ni	1,58
Totale	100,00

Figura 13: analisi qualitativa/quantitativa eseguita sulla fase austenitica (la prima), sulla fase ferritica (la seconda) e sulla superficie generale (la terza)

Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Cu	Ti
70,85	0,028	0,669	4,61	0,026	0,003	21,26	0,20	1,60	0,022	0,316	0,004

V	Nb	W	As	Sn	Co	Pb	B	Sb	Ta	Ca	N
0,071	0,009	0,021	0,001	0,004	0,042	0,0021	0,0014	0,005	0,014	0,0029	0,248

Tabella 1: composizione chimica dell'acciaio duplex in esame

Tale analisi ha permesso di dire anche che il materiale analizzato (DSS 2101) presenta un indice PREN di 25,89.

Dall'analisi d'immagine eseguita sui campioni si è riscontrato che le percentuali di ferrite e austenite presenti all'interno del campione di DSS rimangono costanti al variare del grado di deformazione applicato. Questo è dovuto al fatto che l'analisi delle immagini ottenute al microscopio ottico con il software ImageJ non permette di distinguere con esattezza le due fasi e quindi porta ad ottenere delle percentuali non molto affidabili.

<i>Campione</i>	<i>% Austenite</i>	<i>% Ferrite</i>	<i>Errore sperimentale</i>
0%	46	54	2,11
9%	44	56	1,33
24%	45	55	1,06
45%	56	44	0,39
61%	43	57	2,94

Tabella 2: valori percentuali di ferrite e austenite presenti all'interno dei campioni di DSS analizzati tramite e relativi errori sperimentali (deviazione standard)

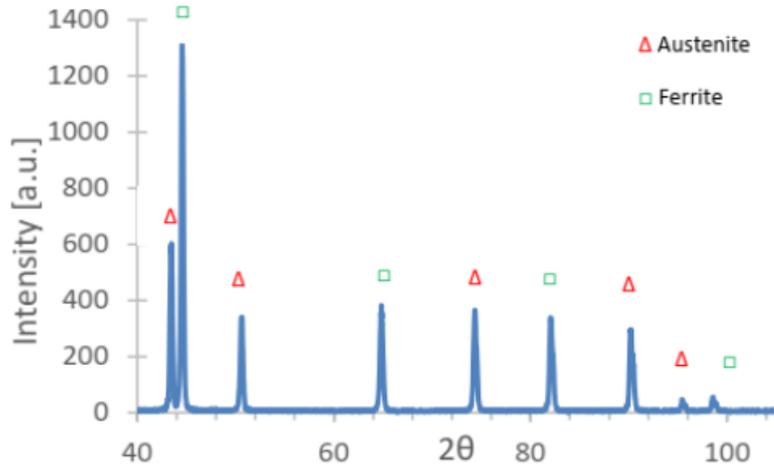


Figura 14: Spettro di diffrazione campione 0% deformazione

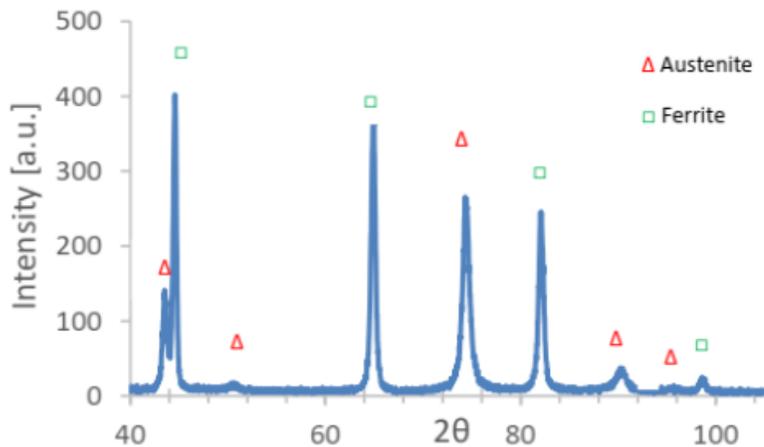


Figura 15: Spettro di diffrazione campione 61% deformazione

Le analisi XRD hanno rivelato che non esiste una precisa relazione tra l'aumento della deformazione e le percentuali di ferrite e austenite presenti nei campioni. Questo comportamento può essere ricondotto alla tessitura che il campione assume dopo essere stato deformato per laminazione a freddo.

Campione	% Austenite	% Ferrite
0%	44	56
9%	50	50
24%	38	62
45%	32	68
61%	42	58

Tabella 3: valori percentuali di ferrite e austenite presenti all'interno dei campioni di DSS analizzati tramite XRD

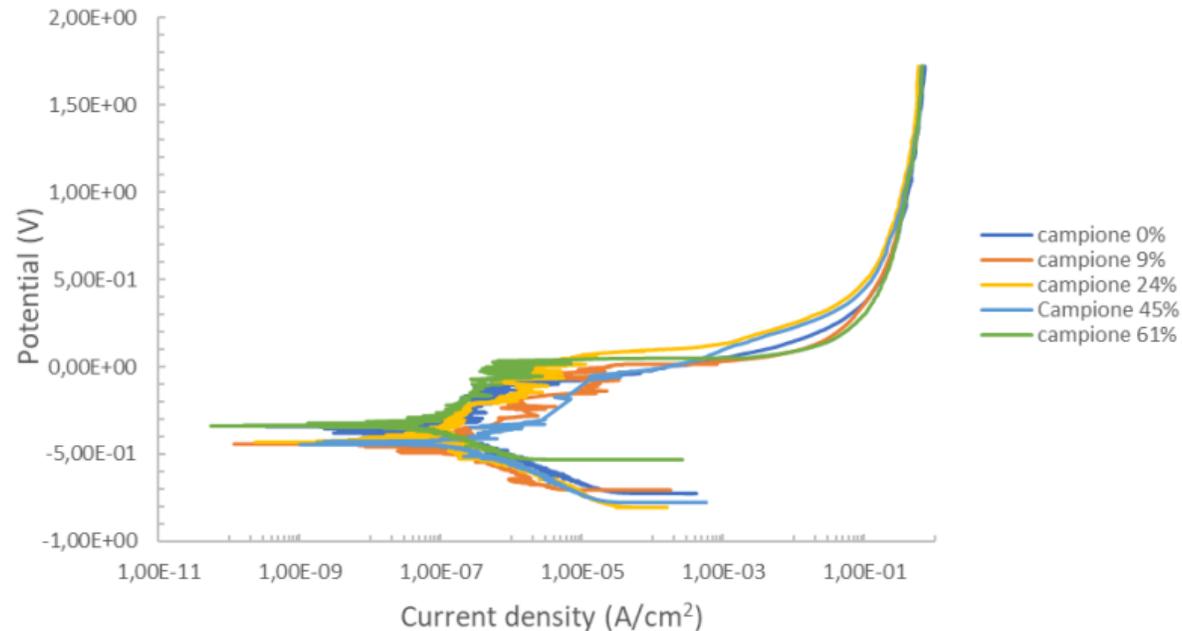


Figura 16: andamento delle curve potenziodinamiche a 35 g/L di NaCl al variare del grado di deformazione del campione di DSS analizzato

Campione	E_{corr} (V)	I_{corr} (A/cm ²)
0%	-3,42E-01	1,90E-07
9%	-4,42E-01	1,50E-07
24%	-4,32E-01	2,50E-07
45%	-4,46E-01	2,20E-07
61%	-3,39E-01	1,50E-07

Tabella 4: valori del potenziale di libera corrosione e della corrente di libera corrosione dei campioni di DSS che presentano un diverso grado di deformazione

Dalle prove potenziodinamiche si nota che i valori delle correnti di scambio e del potenziale di libera corrosione rimangono pressochè costanti al variare del grado di deformazione applicato.

Campione	T _{PIT} (°C)
0%	14,0
9%	16,0
24%	12,5
45%	15,0
61%	13,0

Tabella 5: valori di CPT relativi ai vari campioni di DSS che presentano un diverso grado di deformazione

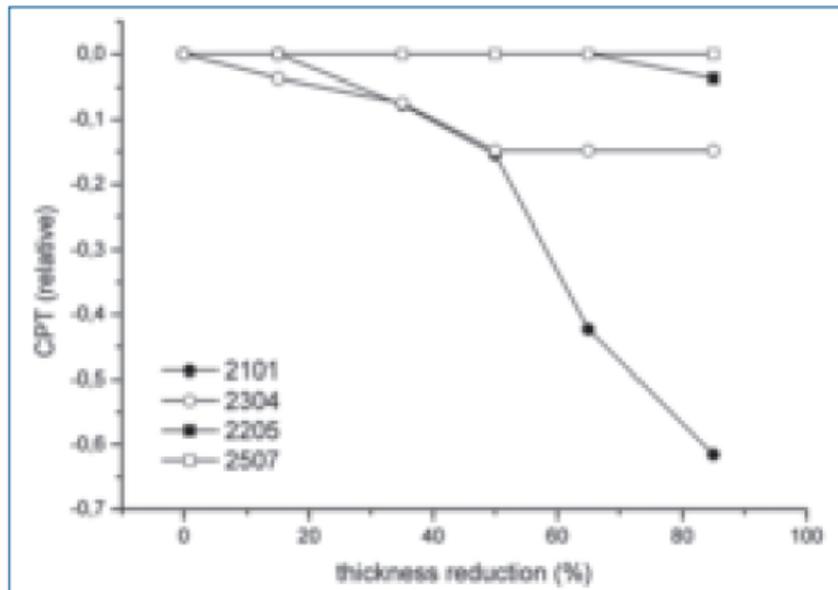


Figura 17: variazione della CPT in funzione del grado di deformazione

I valori di CPT ottenuti si possono considerare sostanzialmente uguali per i vari campioni. Questo vuol dire che all'aumentare della deformazione applicata al campione, non si assiste ad una variazione della sua resistenza alla corrosione, la quale risulta inalterata.

Tale risultato risulta diverso da quello che è stato ottenuto in un precedente lavoro nel quale si è andato a studiare l'effetto della laminazione a freddo a singolo passaggio sulla resistenza a corrosione dello stesso materiale DSS. In questo caso il materiale subisce una significativa diminuzione del CPT con la riduzione dello spessore

- La laminazione a freddo multi-pass, non ha influito sulle proprietà di corrosione del materiale stesso al diminuire del suo spessore a causa della mancata formazione di martensite indotta da deformazione.
- L'analisi microstrutturale, ha dimostrato che durante la deformazione del DSS non si forma martensite indotta da deformazione, ma si osserva soltanto una leggera frammentazione e un allungamento delle fasi lungo la direzione di laminazione.
- Dal confronto con un altro studio condotto sempre su un DSS 2101, nel quale si andava a studiare l'effetto della deformazione per laminazione a singolo passaggio, si è dedotto che è più vantaggioso utilizzare una laminazione a freddo multi-pass anziché il metodo a singola passata per deformare il materiale in esame, in quanto con il primo metodo non si vanno ad alterare negativamente le sue proprietà di corrosione.
- La durezza è aumentata all'aumentare del grado di deformazione a causa dell'aumento dell'incrudimento dovuto alla deformazione plastica stessa.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE