

# Influenza dei parametri del processo di nitrurazione ionica sulla resistenza a corrosione di acciai inox

F. Lanzoni, L. Cislighi, V. Sisti, S. Trasatti

*Gli acciai inossidabili esibiscono una elevata resistenza alla corrosione in ambienti neutri aerati, ma per alcune specifiche applicazioni spesso sono richieste anche buone proprietà tribologiche, in particolare in termini di durezza superficiale. Al fine di ottenere uno strato superficiale con durezza migliorata, particolari in acciaio inossidabile sono sottoposti al trattamento termochimico di nitrurazione ionica che comporta la formazione di una fase superficiale indurita chiamata "S-phase". A seguito di questi trattamenti si osserva però un indebolimento della resistenza a corrosione del prodotto finale associata a fenomeni di sensibilizzazione, cioè alla precipitazione di fasi secondarie indesiderate che fungono da celle galvaniche locali a bordograno a seguito di una prolungata permanenza dell'acciaio ad alte temperature. I parametri operativi utilizzati nel processo di nitrurazione ionica rientrano negli intervalli di temperature / tempo che comportano la formazione di tali fasi responsabili della diminuzione della resistenza a corrosione. Le famiglie di acciai inossidabili scelti per questo lavoro comprendono acciai inossidabili austenitici, martensitici, duplex e 17-4 pH. La resistenza a corrosione degli acciai inossidabili è stata valutata caratterizzando i substrati prima e dopo il trattamento mediante prove di polarizzazione potenziodinamica ciclica. L'efficacia del trattamento termochimico è stata valutata mediante esame metallografico e microdurezze Vickers. La profondità di nitrurazione è stata valutata tramite analisi GDOES mentre la natura delle fasi presenti con l'ausilio della diffrazione dei raggi X. Dalle caratterizzazioni effettuate emerge che la qualità finale della nitrurazione ionica è strettamente dipendente sia dal tipo di acciaio, sia dai parametri del processo. Difatti non si è ottenuta una condizione comune a tutti i tipi di materiali. Emerge quindi la necessità di determinare le condizioni ottimali effettuando trattamenti specifici per tipo di materiale. L'analisi XRD ha consentito di attribuire la diminuzione della resistenza a corrosione alla formazione di nitruri di cromo nello spessore di nitrurazione, in particolare nei cicli caratterizzati da temperature più elevate o tempi di processo più lunghi. Il metodo scelto per il Test H e Test H2 con tecnologia al plasma differente, permette di eseguire un processo di nitrurazione valido che comporta, per alcuni acciai inossidabili, a temperature relativamente basse, un comportamento a corrosione migliore rispetto all'acciaio talquale per via dell'assenza di precipitati di nitruri di cromo.*

**Parole chiave:** Acciaio inox - Corrosione - Trattamenti superficiali - Difrattometria - Prove non distruttive - Tribologia

## INTRODUZIONE

La nitrurazione è un trattamento termochimico di indurimento superficiale sviluppato allo scopo di migliorare la resistenza ad usura e a fatica delle leghe ferrose.

Il processo di nitrurazione oggetto di questo studio è di tipo ionico e prevede l'utilizzo di un plasma per favorire la

diffusione di azoto nel reticolo della lega metallica.

I substrati metallici più soggetti a questo trattamento sono gli acciai al carbonio che, una volta trattati, garantiscono elevata resistenza all'usura, ma mostrano generalmente un comportamento a corrosione non ottimale.

Le applicazioni della nitrurazione sono molteplici; si spazia infatti dall'edilizia all'automotive, dalle tecnologie per l'energia ai macchinari industriali, spesso in ambienti potenzialmente aggressivi che quindi possono far insorgere fenomeni di tipo corrosivo. Ne consegue che, sebbene la nitrurazione sia nota da decenni, c'è comunque un crescente interesse per lo sviluppo di questo trattamento termochimico al fine di ottenere simultaneamente buone proprietà meccaniche, tribologiche e di resistenza a corrosione.

In questo contesto, negli ultimi anni si è assistito ad un au-

**Federico Lanzoni, Stefano Trasatti**

Università degli Studi di Milano,  
Dipartimento di Chimica, Via C. Golgi 19, 20133 Milano

**Luigi Cislighi, Valentina Sisti**

T.T.N. S.p.A.  
Via Primo Maggio 30, Nerviano (Mi)

mento dell'utilizzo della nitrurazione su acciai inossidabili, per la loro superiore resistenza a corrosione rispetto agli acciai al carbonio convenzionali.

Gli acciai inossidabili, però, durante il processo di nitrurazione possono andare incontro al fenomeno della sensibilizzazione, ossia alla precipitazione di fasi secondarie a seguito della permanenza prolungata in uno specifico intervallo di temperatura.

Per questo motivo è fondamentale una corretta scelta dei parametri di nitrurazione al fine di non compromettere la buona resistenza a corrosione propria degli acciai inossidabili.

In letteratura sono riportati numerosi studi sulla resistenza a corrosione di acciai inossidabili dopo il processo di nitrurazione ionica. Corengia et al. [2] hanno valutato la resistenza a corrosione di un acciaio austenitico tipo AISI 304 dopo nitrurazione a 400 °C e 500 °C per tempi brevi. In entrambi i casi gli autori hanno osservato una sensibile riduzione della resistenza a corrosione.

Sun et al. [3] hanno studiato la resistenza a corrosione di due acciai austenitici nitrurati (400 °C per tempi brevi) in soluzioni acquose di Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e NaCl, concludendo che la resistenza a corrosione era superiore alle temperature di processo più basse, per la probabile formazione di fase austenitica espansa in assenza della precipitazione di nitruri di cromo.

Samandi et al. [4] hanno osservato che l'acciaio inossidabile austenitico tipo AISI 316L nitrurato a temperature inferiori a 450 °C mostra un comportamento di resistenza a corrosione paragonabile al talquale. A temperature di processo superiori, la resistenza a corrosione diminuisce per via della formazione di nitruri di cromo.

Mandl et al. [5] hanno evidenziato che la diminuzione della resistenza a corrosione di acciai inossidabili nitrurati ionicamente è imputabile alla precipitazione di consistenti quantità di nitruri di cromo, mentre piccole quantità di tali precipitati all'interno della fase espansa non hanno alcun effetto. Tale conclusione è emersa anche dallo studio condotto da Luiz Carlos Casteletti et al. [6] su acciai inossidabili duplex, nel quale il miglior compromesso tra incremento della durezza superficiale e diminuzione della resistenza a corrosione è stato ottenuto con trattamenti a bassa temperatura (400 °C).

Lo studio oggetto della presente tesi trae spunto da un contesto prettamente produttivo, nonché da un attento esame della letteratura tecnico-scientifica.

Gli acciai inossidabili studiati appartengono a diverse "famiglie" e comprendono un acciaio austenitico a basso tenore di carbonio (AISI 316L), due acciai martensitici (AISI 410 e AISI 420), un acciaio bifasico austeno-ferritico (AISI 329), un maraging ed un martensitico indurito per precipitazione (17-4 PH).

Lo scopo del presente lavoro è stato quello di investigare come i parametri di nitrurazione ionica quali temperatura, tempo e atmosfera nitrurante, influiscano sulla resistenza a corrosione degli acciai trattati, cercando di ottenere il miglior compromesso tra resistenza a corrosione e miglioramento delle proprietà tribologiche. A tal proposito sono

stati eseguiti diversi cicli di nitrurazione ionica agendo sui differenti parametri operativi, più un ciclo in atmosfera non nitrurante allo scopo di isolare e studiare il fenomeno di sensibilizzazione.

Studi di polarizzazione potenziodinamica ciclica in soluzione 0,01M NaCl hanno evidenziato che il comportamento di resistenza a corrosione degli acciai trattati è correlato alla variazione dei parametri del processo di nitrurazione ionica eseguito.

In seguito, i campioni trattati sono stati sottoposti a prove di microdurezza Vickers al fine di monitorare l'effettivo incremento della durezza superficiale degli acciai, anch'essa correlata ai parametri utilizzati per il processo termochimico.

Sono state eseguite caratterizzazioni mediante microscopia ottica per l'osservazione della microstruttura degli acciai tramite attacco metallografico e per valutare la profondità dello strato superficiale di diffusione di azoto. Infine, per determinare le fasi che costituiscono la superficie degli acciai inossidabili trattati, è stata eseguita un'analisi XRD sui campioni più significativi.

## PARTE SPERIMENTALE

### Materiali

I campioni sono stati ottenuti a partire da un'unica barra per ogni acciaio, di sezione geometrica e dimensioni differenti (Fig. 1).



**Fig. 1 - Geometria dei campioni**

*Fig. 1 - Geometry of steels samples*

Gli acciai inossidabili studiati sono di seguito elencati:

- AISI 420 e AISI 410 martensitici
- AISI 316L austenitico
- AISI 329 austeno-ferritico
- Maraging martensitico indurito per invecchiamento
- 17-4 PH martensitico indurito per precipitazione

In tabella 1 si riporta la composizione chimica degli acciai e dei principali elementi in lega (% in peso).

In Figura 2 è mostrato il sistema di posizionamento dei campioni all'interno del forno di nitrurazione.

I campioni venivano sottoposti ad opportuno trattamento di sgrassaggio prima di essere inseriti nel forno

Acciaio	C	S	P	Si	Mn	Cr	Ni	MO	Cu	W	N	Nb	Ti	Co
Aisi 329	0,02	<0,005	0,025	0,5	0,6	25	7	3,6	0,6	0,6	0,25			
Aisi 410	0,12	0,005	0,025	0,4	0,6	12	0,3							
Aisi 420	0,45	0,003	0,03	0,4	0,5	13								
Aisi 3161	0,02	0,03	0,4	0,75	2	17	12,5	2,5						
17-4 pH	0,02	0,025		0,35	0,7	15,5	4,5	0,2	3,2			0,31		
Maraging	<0,01						14	4,5					0,25	10,5

**Tab. 1 - Percentuale in peso degli elementi di lega**

Tab. 1 - % w/w of elements in steels



**Fig. 2 - Interno del forno di nitrurazione**

Fig. 2 - inside overview of nitriding oven

## TRATTAMENTI TERMOCHIMICI

I processi di nitrurazione sono stati condotti presso la T.T.N S.p.A. di Nerviano: cinque in un forno usato con metodi classici di nitrurazione ionica e due cicli condotti in un forno - definito come H - progettato per rivestimenti di tipo PVD/PACVD e con tecnologia di generazione del plasma differente. I parametri a cui sono stati eseguiti i cicli di nitrurazione sono mostrati in tabella 2.

Acciai trattati	Sputtering			Nitrurazione				Nome identificativo
	T (C°)	t (h)	atmosfera	T (C°)	P (mBar)	t (h)	Frazionamento atmosfera	
Tutti	350	2	100% H	430	4	40	1	Test 1
Tutti	350	2	100% H	430	4	40	2	Test 2
Tutti	no	no	no	430	-	40	Senza plasma	T
tutti tranne Maraging	350	2	100% H	400	4	22	4	Test 4
tutti tranne Maraging	350	2	100% H	350	4	50	5	Test 5
Tutti	350	2	100% H	400	4	50	6	Test 6

**Tab. 2 - Parametri dei cicli di nitrurazione**

Tab. 2 - Nitriding process parameters

Per il ciclo, suddiviso in tre steps, condotto nel forno H con tecnologia di plasma variata (Test H, Test H2) i parametri utilizzati sono riportati in tabella 3 e 4.

Step 1: durata 12h			Step 2: durata 6h, T=380°C			Step 3: durata 22h T=380°C		
Frazionamento Atm	Bias (V)	P (mbar)	Frazionamento Atm	Bias (V)	p	Frazionamento Atm	Bias (V)	P
H1	0	5 e-3	H2	50	1 e-2	H3	50	1 e-2

**Tab. 3 - Parametri del ciclo H**

Tab. 3 - Test H parameters

Step 1: durata 40 min T=420°/440 °C			Step 2: durata 20h, T=440 °C			Step 3: durata 22h T=380 °C		
Frazionamento Atm	Bias (V)	P (mbar)	Frazionamento Atm	Bias (V)	p	Frazionamento Atm	Bias (V)	P
H21	0	5 e-3	H22	0	1 e-2	H23	50	5 e-3

**Tab. 4 - Parametri del ciclo H2**

Tab. 4 - Test H2 parameters

## METODI DI CARATTERIZZAZIONE

### Prove microdurezza Vickers

Le prove di microdurezza superficiale Vickers sono state eseguite presso i laboratori della T.T.N. S.p.A. di Nerviano. Lo strumento utilizzato è un durometro Vickers con un carico applicato di 0,1kg.

### Spettroscopia XRD

La natura delle fasi presenti nello strato di nitrurazione è stata studiata utilizzando la diffrazione a raggi X (Philips PW 3020, Cu K $\alpha$ ) su campioni nitrurati di acciaio inossidabile AISI 329 allo scopo di rilevare eventuali connessioni tra diminuzione di resistenza a corrosione e formazione di specifiche fasi.

### Polarizzazioni cicliche potenziodinamiche in NaCl 0,01M

I campioni non trattati sono stati sottoposti a prove di polarizzazione ciclica in 0,01M NaCl per studiare la resistenza a corrosione degli acciai in assenza del trattamento. La concentrazione è stata scelta sulla base di una preliminare sperimentazione volta all'individuazione delle condizioni ottimali per la valutazione del comportamento a corrosione di tutti gli acciai inossidabili testati.

Successivamente sono state effettuate prove sugli acciai nitrurati nei diversi cicli. Un particolare della cella elettrochimica è mostrato in Figura 3, mentre i parametri utilizzati per la registrazione delle curve di polarizzazione sono riportati in tabella 5.

Lo strumento utilizzato è un potenziostato EG&G Model 273 e nella tabella che segue sono elencati i parametri operativi utilizzati nella registrazione delle curve elettrochimiche.

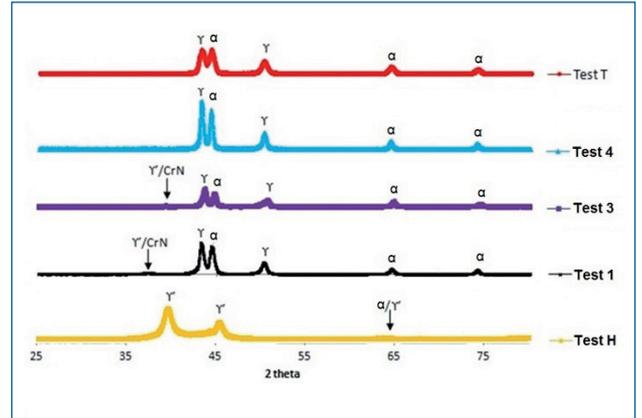
Scan rate	0,166 mV/s
Sample area	1,00 cm <sup>2</sup>
Initial pot.	-30 x e-3 V vs. OCP
Vertex pot.	0,100 V vs. OCP
Initial delay	600 s
Final pot.	0,000 V vs OCP
Ref. Electrode	SCE 0,241 V
Aux. Electrode	Pt electrode

**Tab. 5 - Parametri utilizzati per prove potenziodinamiche**

Tab. 5 - Potentiodynamic parameters

**Fig. 3 - Struttura della cella potenziodinamica**

*Fig. 3 - Structure of potentiodynamic cell*



**Fig. 4 - Spettri XRD AISI 329**

*Fig. 4 - AISI 329 XRD patterns*

**RISULTATI**

Prove microdurezza Vickers

In tabella 6 sono riassunti i risultati delle misurazioni della durezza.

	Grezzo (HV 0,1)	Test 1 (HV 0,1)	Test 2 (HV 0,1)	Test 4 (HV 0,1)	Test 5 (HV 0,1)	Test 6 (HV 0,1)	Test H (HV 0,1)	Test H2 (HV 0,1)
AISI 316L	175	680	395	228	invariata	319	1090	1236
AISI 329	331	668	700	392	invariata	370	920	1425
AISI 410	266	982	572	339	invariata	1031	1200	1318
AISI 420	184	930	708	470	invariata	1067	1100	1372
Maraging	500	1023	831	813	invariata	1029	1026	762
17-4 PH	410	1283	418	490	invariata	692	988	1289

**Tab. 6 - Durezze vs. acciaio/ciclo di nitrurazione**

*Tab. 6 - Hardness vs. steel/nitriding process*

Le durezze superficiali mostrano un generale incremento, il cui valore è strettamente correlato ai parametri operativi utilizzati e alla natura del substrato. È possibile osservare che l'incremento più marcato di durezze superficiali corrisponde ai cicli di nitrurazione condotti a temperature più elevate e per tempi più lunghi. Come vedremo più avanti, a questi trattamenti corrispondono però i più intensi peggioramenti della resistenza a corrosione.

**Spettroscopia XRD**

L'analisi XRD (figura 4), eseguita sui provini trattati dell'acciaio AISI 329, conferma la presenza discontinua dello strato di nitrurazione superficiale determinato dalla comparsa di precisi picchi, corrispondenti alla fase costituita da azoto diffuso nel reticolo ferroso.

In particolare si osserva che a temperature di processo basse (test 5) non si apprezza il picco caratteristico della fase  $\gamma'$ : lo spettro è paragonabile a quello del test T, ossia acciaio non nitrurato.

All'aumentare della temperatura di processo e tempo del trattamento si ha la comparsa della fase  $\gamma'$  accompagnata dalla presenza di CrN.

La nitrurazione condotta in forno H non mostra, oltre ai picchi della desiderata  $\gamma'$ , la formazione di fasi secondarie quali CrN.

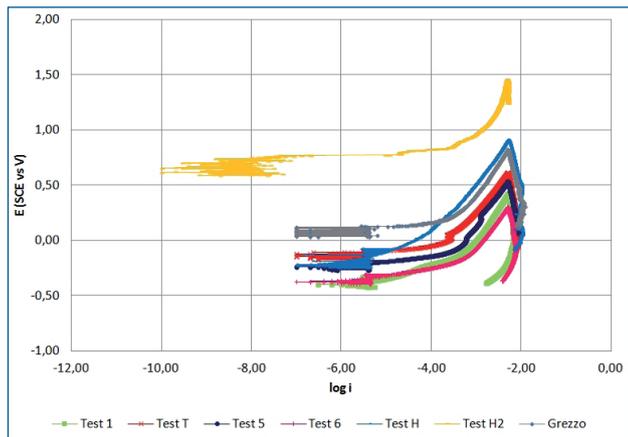
**Polarizzazioni potenziodinamiche cicliche in 0,01M NaCl**

Le polarizzazioni cicliche evidenziano un generale peggioramento della resistenza a corrosione dei campioni nitrurati in forno 1 rispetto a quella degli acciai non trattati. L'intensità di questo peggioramento risulta essere strettamente correlata alla differente microstruttura degli acciai e alle condizioni operative di processo attuate. In particolare, ad esempio, l'AISI329 evidenzia significativi peggioramenti di resistenza a corrosione per i cicli caratterizzati da temperature più elevate (figura 5). L'AISI316L evidenzia una sensibile riduzione del campo di potenziali passivi (figura 6). Per gli acciai inossidabili martensitici AISI 410 e AISI 420, indipendentemente dal ciclo di nitrurazione impiegato, si osserva un marcato comportamento attivo (figura 7 e figura 8).

Per quanto riguarda la nitrurazione "test H" e "test H2" effettuata in forno H si osserva invece un miglioramento del comportamento elettrochimico per gli acciai inossidabili AISI 316L, AISI 420, AISI 410 e Maraging (figura 10). Si noti, per quest'ultimo, come il potenziale di rottura del rivestimento sia decisamente spostato verso valori tipici della scarica di ossigeno in soluzioni neutre (circa 800 mV vs. SCE) e molto più alto di quello rilevato con gli altri cicli di nitrurazione. Per quanto concerne il Test H2 si osserva un peggioramento della resistenza a corrosione per l'acciaio AISI 329 e 17-4 PH, un carattere attivo ma a potenziali elevati per gli acciai AISI 420 e AISI 410 con un comportamento paragonabile con il trattamento effettuato nel Test H.

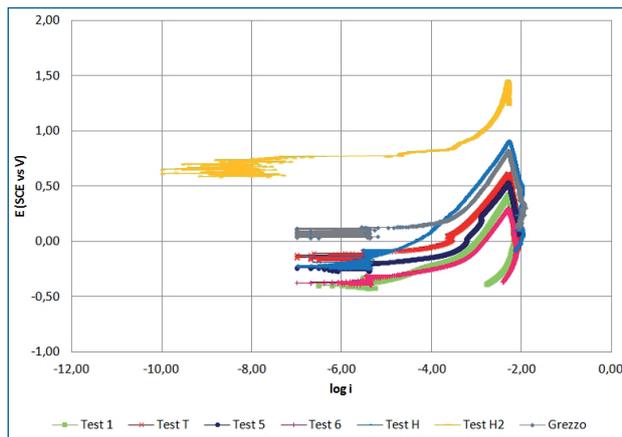
**CONCLUSIONI**

Sulla base dei risultati ottenuti, si può quindi affermare che il processo di nitrurazione può essere accompagnato da una sensibilizzazione della microstruttura del substrato in acciaio inossidabile, con conseguente ripercussione sulle caratteristiche di resistenza a corrosione.



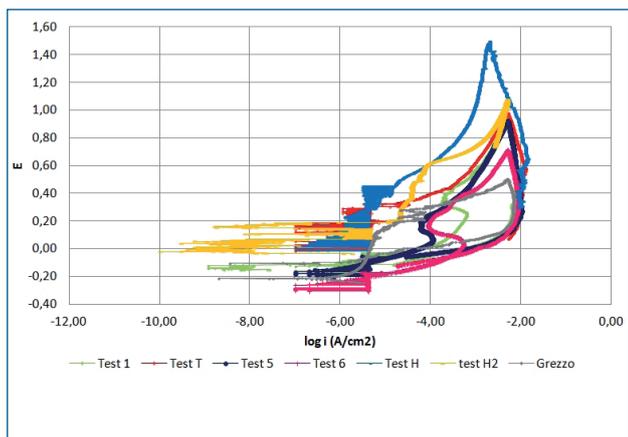
**Fig. 5 - Polarizzazioni potenziodinamiche in NaCl 0,01M AISI 329**

*Fig. 5 - AISI 329 potentiodynamic polarizations in NaCl 0,01M*



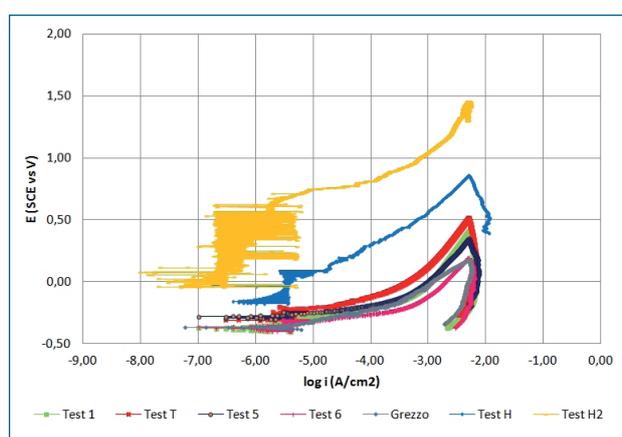
**Fig. 7 - Polarizzazioni potenziodinamiche in NaCl 0,01M AISI 410**

*Fig. 7 - AISI 410 potentiodynamic polarizations in NaCl 0,01M*



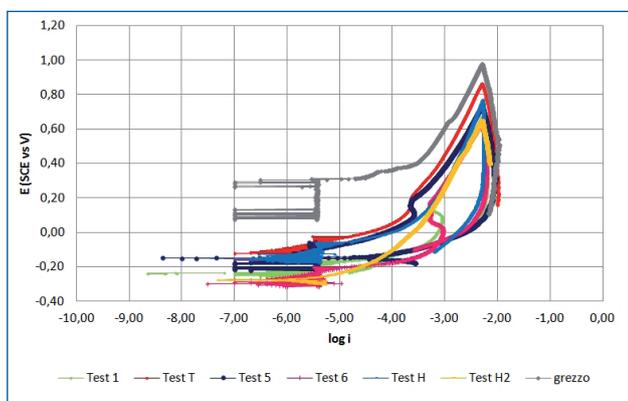
**Fig. 6 - Polarizzazioni potenziodinamiche in NaCl 0,01M AISI 316L**

*Fig. 6 - AISI 316L potentiodynamic polarizations in NaCl 0,01M*



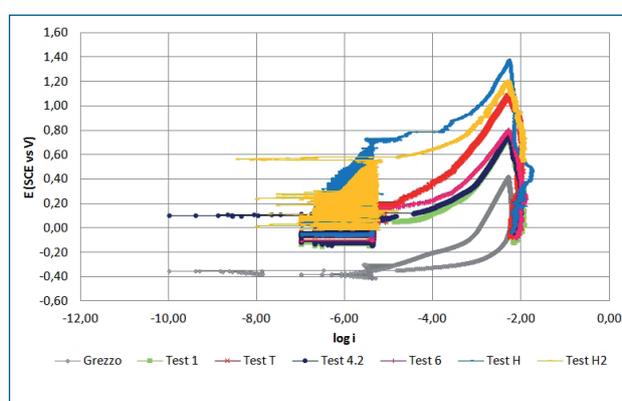
**Fig. 8 - Polarizzazioni potenziodinamiche in NaCl 0,01M AISI 420**

*Fig. 8 - AISI 420 potentiodynamic polarizations in NaCl 0,01M*



**Fig. 9 - Polarizzazioni potenziodinamiche in NaCl 0,01M 17-4 PH**

*Fig. 9 - 17-4 PH potentiodynamic polarizations in NaCl 0,01M*



**Fig. 10 - Polarizzazioni potenziodinamiche in NaCl 0,01M Maraging**

*Fig. 10 - Maraging potentiodynamic polarizations in NaCl 0,01M*

La qualità finale della nitrurazione ionica è strettamente dipendente sia dal tipo di acciaio, sia dai parametri del processo, temperatura in primis, seguita da tempo di trattamento e atmosfera nitrurante. Gli intervalli di trattamento dei campioni oggetto di questa tesi sono stati i più ampi possibili. Non è stata comunque ottenuta una condizione comune a tutti i tipi di materiali. Emerge quindi la necessità di determinare le condizioni ottimali effettuando trattamenti specifici per tipo di materiale.

L'analisi XRD ha consentito di attribuire la diminuzione della resistenza a corrosione alla formazione di nitruri di cromo nello spessore di nitrurazione, in particolare nei cicli caratterizzati da temperature più elevate o tempi di processo più lunghi.

Il metodo scelto per il Test H e Test H2 con tecnologia al plasma differente, in cui il plasma non viene generato direttamente sul pezzo, permette di eseguire un processo di nitrurazione valido che comporta, per alcuni acciai inossidabili, a temperature relativamente basse, un compor-

tamento a corrosione migliore rispetto all'acciaio talquale per via della ridotta presenza o assenza di precipitati di nitruri di cromo.

## BIBLIOGRAFIA:

1. D. Pye, Practical NITRIDING and Ferritic Nitrocarburizing. 2003 ASM International. All Rights Reserved.
2. D.A. Corengia, D.A. Egidi, M.O. Quinteiro, G.O. Ybarra, C.A. Moina, A. Cabo, Matéria (Trio J.) 8 (2) (2003) 98.
3. Sun, T. Bell, Z. Kolosvary, J. Flis, Heat Treat. Met. 1 (1999) 9.
4. M. Samandi, B.A. Shedden, D.I. Smith, Surf. Coat. Technol. 59 (1993) 261.
5. S. Mändl, R. Günzel, E. Richter, W. Möller, Surf. Coat. Technol. 100-101 (1998) 372.
6. Carlos Casteletti, Amadeu Lombardi Neto, G.E. Totten. Plasma Nitriding of Stainless Steels

## INFLUENCE OF PROCESS PARAMETERS OF PLASMA NITRIDING ON CORROSION RESISTANCE OF STAINLESS STEELS

Keywords: Stainless Steel - Corrosion - Surface treatments - Diffraction - Non-destructive testing - Tribology

Nitriding is a thermochemical treatment of surface hardening developed to improve the resistance of ferrous alloys to wear and fatigue. The nitriding process object of this work is of ionic type, which involves the use of a plasma generated on the substrate, or in proximity to it, to facilitate the atomization of the gaseous nitrogen present in the chamber and its diffusion into the metallic lattice<sup>1</sup>.

Aim of this study is the evaluation of the influence of process parameters, such as temperature<sup>2-3</sup>, time<sup>4</sup>, composition, and atmosphere, of the nature of the nitrided layer, and the consequent resistance to corrosion of stainless steels of six different microstructures.

The composition of the stainless steels is shown in Table 1. These are two martensitic stainless steels AISI 410 and AISI 420, an austenitic AISI 316L, a duplex AISI 329, a maraging steel and an austenitic precipitation-hardening 17-4 PH.

The nitriding treatment is used in different applications like building, automotive, energy technologies and industrial machinery, often in potentially aggressive environments, which can give rise to corrosion phenomena. Although the process of nitriding has been known for decades, there has been a growing interest in the development of this thermochemical treatment in recent years since, in addition to good mechanical and tribological properties, adequate characteristics of corrosion resistance are increasingly required.

Stainless steels are subject to the phenomenon of sensitization<sup>5</sup>, namely the precipitation of secondary phases as a result of permanence for long time in a specific range of temperatures (450-900 °C). The typical nitriding temperatures fall in this range and the thermochemical treatment can cause an important decrease of corrosion resistance.

With the aim to identify the best operating conditions, several cycles of ion nitriding were performed, in a traditional ion nitriding oven and in an oven with a different technology, called "H oven"

The specimens were obtained from bars with different geometric sections and polished to the papers up to 600 grit.

Vickers surface hardness measures were performed to determine the nitriding depth.

Metallographic analysis allowed to study the microstructure and to evaluate the thickness of the nitriding layer, where present. The electrochemical behavior (corrosion) was investigated by recording cyclic potentiodynamic

polarization tests in 0.01 M NaCl solution. The concentration was chosen on the basis of preliminary tests. Finally, X-ray diffraction conducted on some of the most significant samples allowed to obtain information on the nature of the phases in the nitrided layer.

Stainless steels were subjected to nitriding conditions but in the absence of nitriding atmosphere (test T) to evaluate only the effect of the sensitization. Table 2 shows the operating conditions chosen for the different tests of nitriding. Each cycle of nitriding is preceded by hydrogen sputtering at 350 °C for 2 hours, except Test T, Test H, and the Test H2, for which was performed argon sputtering.

Cyclic polarizations show in general worsening of corrosion resistance of nitrided steel samples compared to untreated samples. The intensity of worsening appears to be in accordance with the different microstructure of steels and the operating conditions of the processes. Active behavior for the martensitic steels AISI 410, AISI 420, and 17-4 PH is observed in different cycles of nitriding.

About austenitic stainless steel AISI 316L, and maraging steel tendency is observed to assume active corrosion behavior for nitriding cycles in traditional oven, with better corrosion resistance than untreated samples as regards the cycle in H oven.

Bi-phase steel AISI 329 shows significant worsening of corrosion resistance for cycles at higher temperatures and longer process times.

It is however necessary to observe together the corrosion resistance of steels that the main objective of the ion nitriding is the increase of the surface hardness.

Results of hardness measurements are reported in Table 3. Surface hardness shows a general increase, according to the operating parameters used, and the nature of the substrate.

The highest increase of surface hardness corresponds to nitriding cycles conducted at higher temperatures and longer times. However, the most intense worsening of corrosion resistance is observed at this operating conditions.

Metallographic analysis showed that the diffusion layer is not always present for all cycles of nitriding. Furthermore, the presence of the edge effect is noticed on most of the treated samples namely a very deep thickness of nitriding caused by non-uniform distribution of temperature and plasma geometry in that point.

XRD analysis, performed on nitrided AISI 329 SS, confirms the presence of the discontinuous layer of nitriding on the surface as determined by the appearance of specific peaks. These peaks correspond to a phase consisting of nitrogen diffused in the iron lattice. This discontinuity is in accord with process parameters. In particular, it is observed the presence of typical phases of nitriding is observed for treated steel in test 6, in test H, and test H2.

Based on the obtained results, it can be stated that prolonged exposure to nitriding temperatures and times allows surface hardness to increase significantly although it can lead to sensitization of the stainless steel substrate.

The quality of ion nitriding changes with the type of steel and process parameters, first of all temperature, followed by exposure time and nitriding atmosphere. The range of sample treatment were the broadest possible in this work.

Common condition for all types of steels was however not obtained. It would be necessary to determine the best conditions, and, to perform a single treatment for each material. That would be however impracticable, so few possibilities of intervention are left.

XRD analysis allows to attribute the decreasing of corrosion resistance to the presence of chromium nitride, appearing in the cycles using higher temperatures and longer process times.

The oven H technology, where plasma is not generated directly onto the piece, and the pressure is lower and more controllable, allows to perform a nitriding process with the best compromise between increase of surface hardness and decrease in corrosion resistance.