

# RESISTENZA AD USURA DI ACCIAI INOSSIDABILI AUSTENITICI NITRURATI IN SCARICA IONICA

A. Fossati, F. Borgioli, E. Galvanetto, T. Bacci

*Il trattamento di nitrurazione in scarica ionica può modificare la durezza, la resistenza a usura e a corrosione degli acciai inossidabili austenitici. Le caratteristiche degli strati superficiali modificati dipendono dai parametri di processo, in particolare dalla temperatura di trattamento. Nel presente lavoro viene studiata la variazione della resistenza ad usura dell'acciaio inossidabile austenitico AISI 316L in funzione della temperatura di nitrurazione quando questa è variata nell'intervallo da 400 a 500 °C. I test di usura sono stati effettuati per mezzo di un tribometro in configurazione block-on-ring. I campioni nitrurati alle temperature più elevate mostrano un notevole incremento della resistenza all'usura rispetto al materiale tal quale grazie alla formazione di strati modificati contenenti nitruri dotati di elevata durezza. Tali campioni sono tuttavia notoriamente poco resistenti alla corrosione a causa dei fenomeni di sensibilizzazione causati dal trattamento. I campioni nitrurati a temperature più basse mostrano strati modificati composti essenzialmente da fase S, che presenta un'elevata resistenza alla corrosione. Tali campioni, fino a che lo strato modificato è integro, presentano una resistenza ad usura comparabile a quella dei campioni nitrurati a temperature più elevate. La nitrurazione in scarica ionica a bassa temperatura consente di incrementare la durezza superficiale, la resistenza a usura ed a corrosione degli acciai inossidabili austenitici.*

PAROLE CHIAVE: tribologia, acciaio inossidabile, trattamenti superficiali, corrosione

## INTRODUZIONE

Gli acciai inossidabili austenitici sono largamente impiegati in molti campi dell'industria a causa della loro buona resistenza alla corrosione generalizzata. Tuttavia questi materiali possono essere soggetti a pitting o crevice qualora si trovino in soluzioni contenenti ioni cloruro. Inoltre la loro scarsa durezza e resistenza ad usura può precludere la loro applicazione per diversi impieghi.

I tradizionali trattamenti di nitrurazione gassosa, effettuati a temperature in genere superiori ai 500 °C, sono in grado di incrementare in modo sensibile la durezza e la resistenza all'usura, ma diminuiscono considerevolmente la resistenza alla corrosione [1]. A temperature di trattamento superiori a circa 450 °C il coefficiente di diffusione del cromo è sufficientemente alto da consentire la formazione di nitruri di

cromo estremamente stabili e duri [2-3]. Le zone austenitiche impoverite di cromo non sono più in grado di passivarsi efficacemente e divengono soggette a corrosione [4].

Il trattamento di nitrurazione in scarica ionica può modificare la durezza e la resistenza alla corrosione degli acciai inossidabili austenitici in tempi più ridotti rispetto a quelli necessari per le nitrurazioni gassose tradizionali. Inoltre, a differenza di quanto accade nel caso dei trattamenti di nitrurazione gassosa, i trattamenti in scarica ionica possono essere effettuati a temperature più basse. In tal caso è possibile incrementare non solo la durezza superficiale, ma anche la resistenza alla corrosione. Quest'ultima viene incrementata grazie al fatto che a bassa temperatura si evitano i fenomeni di sensibilizzazione dell'acciaio e si produce uno strato superficiale modificato costituito essenzialmente da una fase metastabile, detta fase S, che ha elevata resistenza al pitting ed al crevice. Tale fase è supposta essere una soluzione solida interstiziale sovrassatura di azoto in austenite ed ha durezza e parametri reticolari variabili in funzione del tenore di azoto [5]. In questo lavoro è stata valutata la resistenza all'usura di acciai inossidabili austenitici nitrurati in scarica ionica a temperature comprese nell'intervallo tra 400 a 500 °C.

A. Fossati, F. Borgioli, E. Galvanetto, T. Bacci  
Dipartimento di Ingegneria Civile  
dell'Università di Firenze

## PARTE SPERIMENTALE

I campioni da nitrurare sono stati portati ad una forma prismatica (40x18x4 mm) per mezzo di operazioni di taglio a partire da una barra di acciaio AISI 316L del diametro di 60

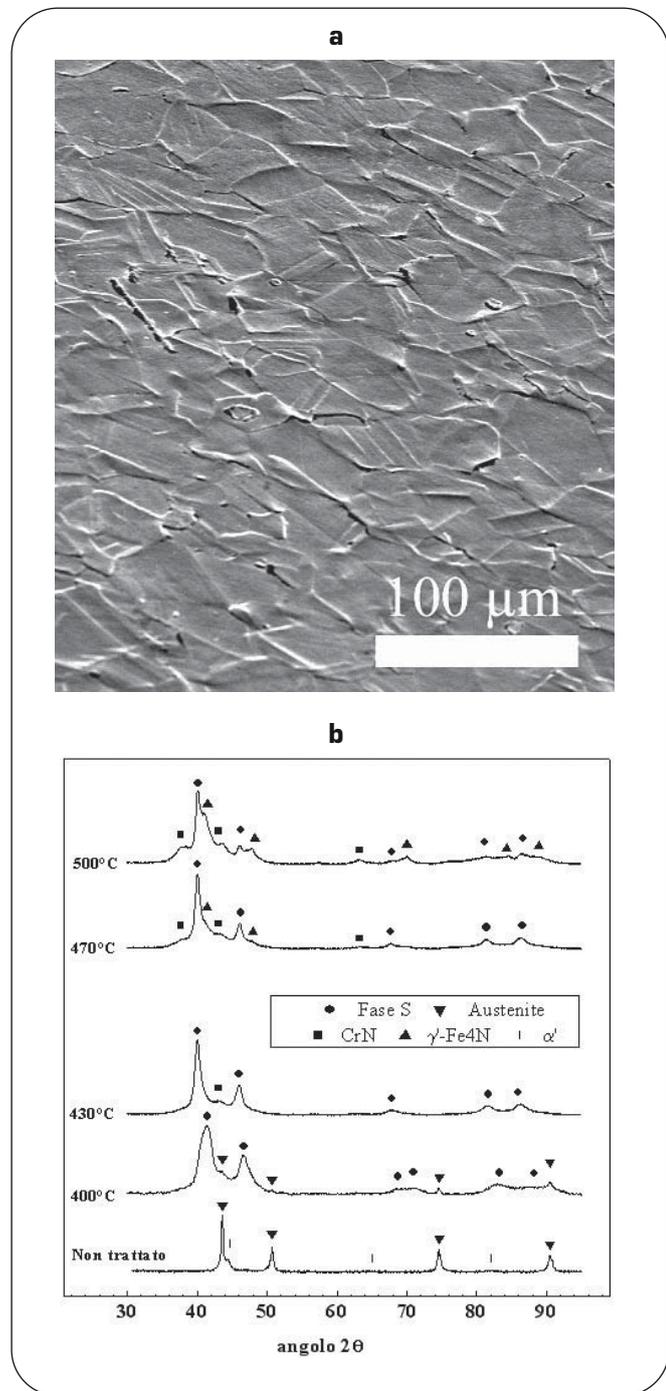


Fig. 1

a) Morfologia della superficie di un campione di acciaio AISI 316L nitrurato a 430 °C; b) Spettri di diffrazione dei campioni di acciaio AISI 316L tal quale e nitrurato a varie temperature.

a) Surface morphology of an AISI 316L stainless steel sample nitrated at 430°C; b) Diffraction patterns of AISI 316L stainless steel samples untreated and nitrated at different temperatures.

mm. Sono stati in seguito levigati per mezzo di carte abrasive (SiC) e lappati con panni diamantati sino alla granulometria di 6  $\mu\text{m}$ . Prima della nitrurazione i campioni sono stati puliti in acetone in un bagno ad ultrasuoni per 10 minuti. La nitrurazione è stata effettuata in un impianto da laboratorio impiegando un generatore di corrente continua. La camera di trattamento possedeva simmetria circolare. I campioni sono stati mantenuti in posizione centrale rispetto alla camera per mezzo di un opportuno portacampioni e di viti realizzati in AISI 316L. La distanza tra anodo e catodo era di circa 60mm. La temperatura è stata misurata per mezzo di una termocoppia posta nel portacampioni. La composizione dell'atmosfera di trattamento è stata fissata a 80% $_{\text{vol}}$   $\text{N}_2$  e 20% $_{\text{vol}}$   $\text{H}_2$ , mentre la pressione di trattamento è stata fissata a 10 mbar. I trattamenti di nitrurazione sono stati effettuati a temperature di 400, 430, 470 e 500 °C. La durata di tutti i trattamenti è stata fissata a 5 ore. Prima dell'inizio del trattamento di nitrurazione alle condizioni di pressione e temperatura nominali, la superficie di tutti i tipi di campioni è stata sottoposta ad un trattamento di sputtering catodico fino alla temperatura di 380 °C in modo da rimuovere il naturale strato di passività e consentire un trattamento di nitrurazione uniforme.

La microstruttura dei campioni trattati è tal quale è stata analizzata per mezzo di microscopia ottica ed elettronica (SEM). È stata effettuata un'analisi diffrattometrica di raggi X in modo da identificare le fasi formatesi sulla superficie prima e dopo il trattamento di nitrurazione. Gli spettri di diffrazione sono stati raccolti con un diffrattometro in configurazione Bragg-Brentano utilizzando la radiazione Cu-K $\alpha$ . Misure di microdurezza superficiale sono state eseguite impiegando un penetratore di tipo Knoop con carico di 100 gf.

I test tribologici sono stati effettuati mediante un tribometro in configurazione block-on-ring impiegando come lubrificante e agente corrosivo una soluzione 5 % NaCl. I blocchi per le prove ad usura erano ricavati dai campioni, mentre la controparte era costituita da un disco di acciaio AISI 316L di diametro 50 mm ricavata dalla stessa barra da cui provenivano i campioni. La velocità periferica del disco è stata fissata a 0.38 m/s, mentre il carico è stato fissato a 15 N. Sono state eseguite prove con distanze di strisciamento comprese tra i 500 ed i 20000 m in funzione del tipo di campioni e della loro resistenza all'usura. Durante i test è stato registrato l'andamento del coefficiente di attrito dei vari tipi di campioni. La resistenza ad usura è stata valutata in funzione del volume di materiale perso durante i test. Il volume perso è stato valutato per mezzo della misura delle dimensioni della traccia di usura al termine di ogni test. I test tribologici sono stati eseguiti sia sui campioni nitrurati che su quelli tal quale per consentire un confronto.

## RISULTATI E DISCUSSIONE

## Morfologia e microstruttura

La superficie dei campioni in seguito al trattamento presenta una peculiare morfologia, osservata anche da altri autori [2,6-7], in cui sono messi in evidenza i bordi di grano ed i geminati della fase austenitica madre. Tale morfologia è tanto più pronunciata quanto più la temperatura di trattamento aumenta (Fig.1a)

Gli spettri di diffrazione (Fig. 1b) effettuati sui campioni non trattati evidenziano la presenza di picchi riconducibili a due fasi: Fe- $\gamma$  (austenite) e martensite  $\alpha'$ . Quest'ultima fase si forma in seguito alle operazioni di levigatura e lappatura [8]

Temperatura di trattamento	Spessore
400 °C	4 ± 1 µm
430 °C	10 ± 1 µm
470 °C	18 ± 2 µm
500 °C	47 ± 3 µm

Tab. 1

**Spessore degli strati modificati dopo il trattamento di nitrurazione in scarica ionica eseguito su campioni di acciaio AISI 316L a differenti temperature.**

*Thickness values of the modified layers obtained by means of glow-discharge nitriding treatments performed at different temperatures on AISI 316L stainless steel samples.*

e viene completamente rimossa in seguito al riscaldamento che si realizza nella fase di sputtering [9].

I campioni trattati a temperature inferiori o uguali a 430 °C presentano strati modificati composti essenzialmente da fase S. Nel caso dei campioni trattati a 400 °C i picchi della fase S appaiono più spostati verso angoli maggiori ad indicare un minore tenore di azoto solubilizzato che distorce in modo più blando la cella austenitica originaria [5]. A temperature superiori o uguali a 470 °C insieme ai picchi della fase S appaiono in modo evidente i picchi relativi al nitruro di cromo CrN e al nitruro  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N [10].

Le analisi metallografiche sono in accordo con quelle diffrattometriche. In seguito all'attacco metallografico mediante glicerina è stato possibile verificare quanto segue. Nel caso dei trattamenti di nitrurazione effettuati a temperature inferiori o uguali a 430 °C lo strato modificato risulta omogeneo e costituito essenzialmente da un'unica fase: la fase S. Quando il trattamento di nitrurazione è eseguito a temperature superiori o uguali a 470 °C, oltre alla fase S, è possibile osservare la presenza di nitruri sia al bordo grano della fase

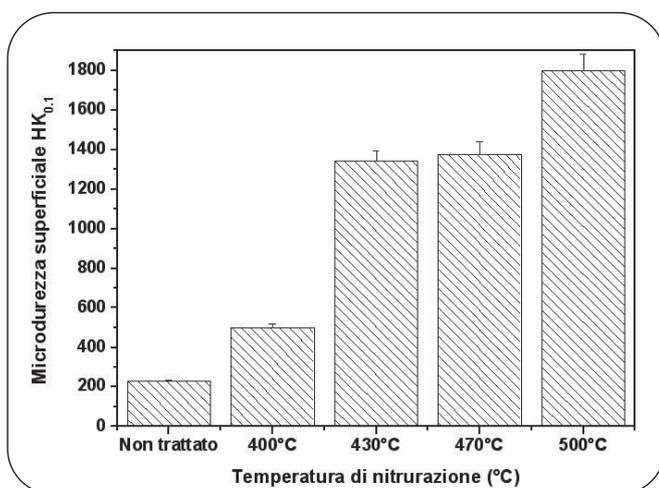


Fig. 2

**Misure di microdurezza Knoop effettuate sulla superficie di campioni di acciaio AISI 316L non trattato e nitrurato in scarica ionica a diverse temperature.**

*Surface microhardness values of AISI 316L stainless steel samples untreated and nitrided at different temperatures.*

S che all'interno degli stessi grani.

Lo spessore degli strati modificati cresce all'aumentare della temperatura di trattamento. I valori degli spessori degli strati modificati ottenuti alle diverse temperature di trattamento sono riportati in Tab. 1.

### Microdurezza superficiale

Le misure di microdurezza superficiale hanno mostrato che al crescere della temperatura di nitrurazione nell'intervallo da 400 °C a 500 °C, fermi restando gli altri parametri di processo, la durezza superficiale cresce. L'incremento di durezza osservato passando da temperature di nitrurazione di 400 a 430 °C è imputabile sia al diverso spessore dello strato di fase S, che riduce l'influenza del substrato sulla misura di microdurezza, sia all'incremento del tenore di azoto nella fase S che, distorcendo maggiormente la cella cristallina, determina un incremento di durezza. L'incremento di durezza osservato innalzando ulteriormente la temperatura di nitrurazione è principalmente imputabile all'aumento della frazione volumetrica di nitruri, in quanto gli spessori sono ormai sufficientemente elevati da non far risentire più dell'influenza del substrato. In Fig. 2 sono riportati i valori di microdurezza.

### Comportamento tribologico

In Fig. 3 è riportato l'andamento della perdita in volume dei campioni di acciaio AISI 316L non trattati e nitrurati a differenti temperature nel caso di prove con distanza di strisciamento fissata a 500 m. Appare subito evidente come i campioni nitrurati presentino volumi di usura sensibilmente inferiori a quelli del materiale trattato a parità di distanza di strisciamento e condizioni di prova. In particolare nel caso dei campioni nitrurati a 400 °C si osserva una riduzione dei volumi di usura di circa 3 volte, mentre per gli altri tipi di campioni la riduzione dei volumi di usura varia dalle 40 alle 60 volte circa.

I campioni di acciaio AISI 316L non trattati mostrano volumi di usura elevati. I coefficienti di attrito registrati durante i

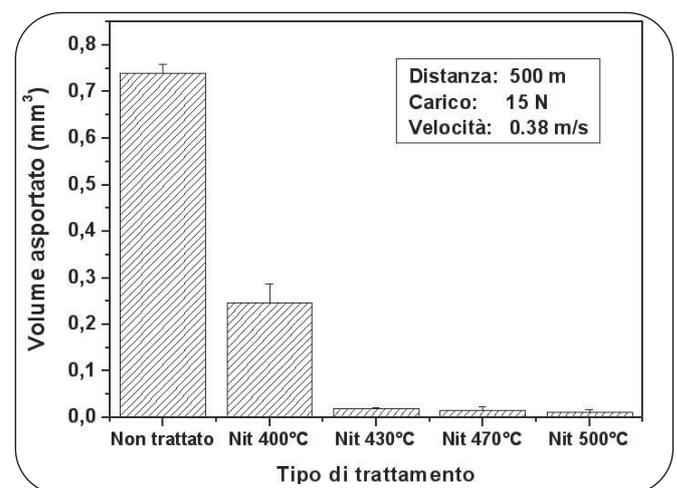


Fig. 3

**Volumi di usura dei campioni non trattati e nitrurati a varie temperature dopo una distanza di strisciamento di 500 m alla velocità di 0.38 m/s sotto l'azione un carico di 15 N.**

*Wear volumes of samples untreated and nitrided at different temperatures (sliding distance: 500 m, sliding velocity: 0.38m/s, coupling load: 15N).*

test hanno mostrato valori intorno a 0.55. Dall'analisi della traccia di usura (Fig. 4a) e dall'analisi delle sezioni metallografiche dei campioni usurati risulta evidente una notevole deformazione plastica degli strati superficiali, nonché la presenza di scaglie di materiale spalmate sulla superficie in seguito ad un distacco. La morfologia del danneggiamento e la severità dell'usura di questo tipo di campioni sono compatibili con un meccanismo di usura di tipo adesivo-delaminativo.

Nel caso dei campioni trattati a 400 °C, al termine del test di usura, si è osservata la completa asportazione dello strato nitrurato. Per questo tipo di campioni lo spessore dello strato modificato non è stato sufficiente a consentire una efficace redistribuzione del carico applicato. Dall'analisi dell'andamento dei coefficienti di attrito è stato possibile rilevare che la frattura dello strato ha cominciato a verificarsi presumibilmente dopo circa 200 m di strisciamento; in effetti dopo tale distanza si è osservato una riduzione improvvisa del coefficiente di attrito dovuta probabilmente alla presenza dei detri-

ti dello strato modificato che, staccandosi dal substrato, potevano agire come terzo corpo tra il campione e l'antagonista facendo abbassare il coefficiente di attrito.

Per questo tipo di campioni le condizioni di carico impiegate sono quindi risultate troppo severe. Presumibilmente questo ha comportato che dopo circa 200m di strisciamento lo strato modificato abbia cominciato a cedere e da quel momento il campione abbia iniziato a usurarsi secondo meccanismi diversi da quelli iniziali. In particolare si può ipotizzare che nelle zone non rivestite si siano realizzati meccanismi di tipo adesivo-delaminativo severo uniti a fenomeni di usura da terzo corpo.

Nel caso dei campioni trattati a temperature maggiori o uguali a 430 °C, per distanze di strisciamento di 500 m, fermi restando tutti gli altri parametri, la velocità di usura si è dimostrata sensibilmente più ridotta rispetto al campione tal quale e sostanzialmente comparabile fra tutti e tre i diversi tipi di trattamento. I valori dei coefficienti di attrito dei diversi tipi di campioni hanno mostrato un andamento medio costante durante la prova con oscillazioni tra 0.35 e 0.45 senza mettere in evidenza particolari transizioni nei fenomeni tribologici. I coefficienti di attrito dei campioni nitrurati a temperature maggiori o uguali a 430 °C presentano un valore inferiore a quello del materiale non trattato e sostanzialmente indipendente dalla temperatura di nitrurazione. Al termine dei test di usura le analisi morfologiche della superficie di usura e le analisi metallografiche delle sezioni mostrano che per tutti i tipi di campioni gli strati modificati sono ancora presenti. In Fig. 4b è riportata a titolo di esempio una micrografia di un campione nitrurato a 500 °C dopo il test di usura; la morfologia del danneggiamento è comparabile a quella osservata per tutti gli altri campioni di cui sopra. Le superfici usurate non mostrano segni evidenti di deformazione plastica, ma appaiono levigate nelle asperità superficiali in cui si è realizzato il contatto. Sulle superfici sono inoltre presenti cavità superficiali presumibilmente dovute a distacchi dei grani del materiale costituente lo strato modificato, senza tuttavia che l'asportazione dello stesso sia risultata completa. La morfologia del danneggiamento e le velocità di usura risultano compatibili con meccanismi di usura prevalentemente di tipo tribossidativo.

Effettuando test di usura con carichi e velocità costanti, ma per distanze di strisciamento superiori è stato possibile valutare meglio le differenze di prestazioni dei campioni nitrurati a temperature maggiori o uguali a 430 °C. In Fig. 5 sono ripostati i risultati relativi alle perdite in volume dei tre differenti tipi di campioni nitrurati per distanze di strisciamento di 500, 5000 e 20000 m. Nel caso dei campioni nitrurati a 430 °C sono state effettuate soltanto prove fino a 5000 m in quanto già dopo una distanza di strisciamento di circa 3000 m si è potuto osservare che, nella zona centrale della traccia di usura, dove il disco asporta materiale a maggiore profondità, lo strato modificato comincia ad essere rimosso. In Fig. 6 è riportata la micrografia SEM di un campione nitrurato a 430 °C dopo 2000 m di strisciamento in cui si evidenzia che lo strato modificato è ancora presente e la morfologia del danneggiamento è comparabile con quella osservata nei test a 500 m. In particolare è evidente come il meccanismo di usura prevalente sia ancora di tipo tribossidativo e la superficie di usura sia sostanzialmente ben levigata, a parte in alcune zone dove si è verificato il distacco di alcuni grani.

Nel caso dei campioni nitrurati a più elevate temperature i volumi di usura dopo 5000 m di strisciamento sono risultati inferiori rispetto ai campioni nitrurati a 430 °C. Le differenze

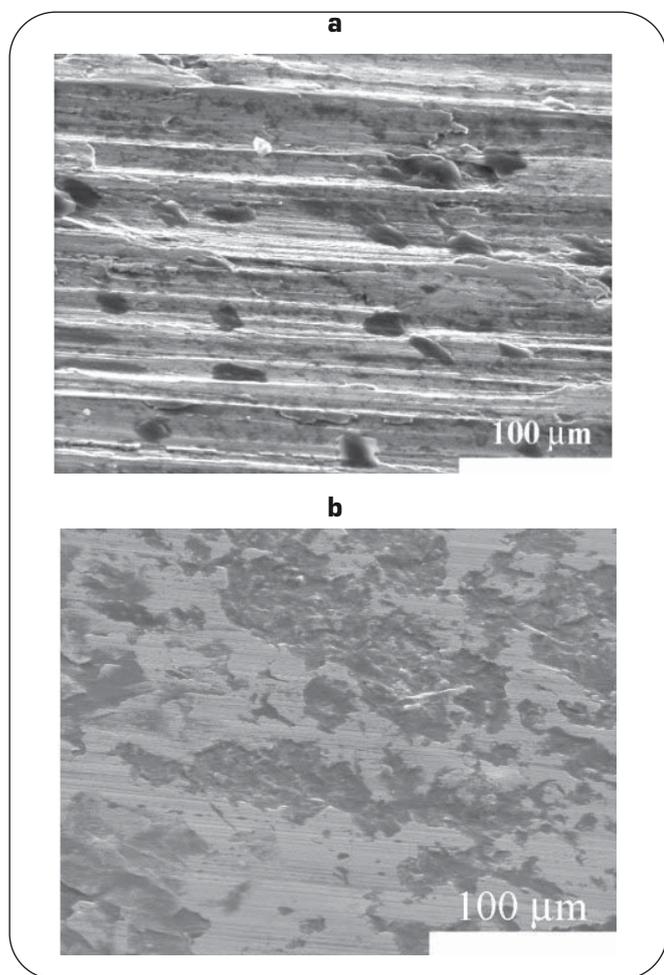


Fig. 4

**Micrografia SEM della superficie di usura di campioni di AISI 316L non trattato (a) e nitrurato a 500 °C (b) al termine di un test di usura della durata di 500 m di strisciamento con carico 15N e velocità 0.38 m/s.**  
SEM micrographs showing the worn surface of AISI 316L stainless steel samples untreated (a) and nitrided at 500°C (b), (sliding distance: 500m, sliding velocity: 0.38m/s, coupling load: 15N).

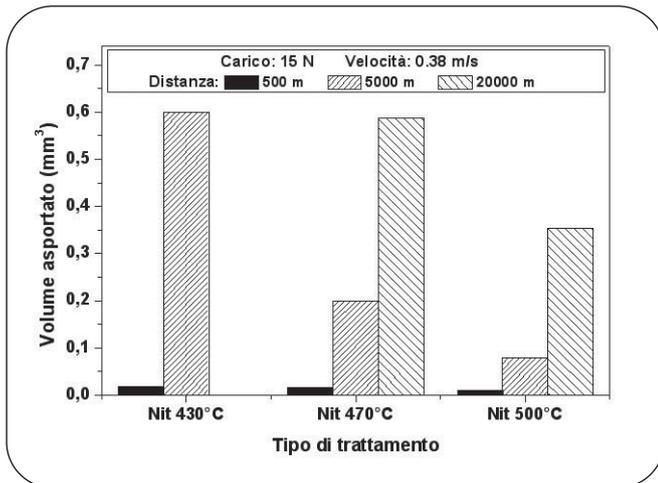


Fig. 5

**Volumi di usura dei campioni nitrurati a 430, 470 e 500 °C dopo test effettuati con diverse distanze di strisciamento alla velocità di 0.38 m/s sotto l'azione un carico di 15 N.**

*Wear volumes of samples nitrated at 430, 470 and 500 °C after wear tests performed for different sliding distances (sliding velocity: 0.38 m/s, coupling load: 15N).*

nei volumi di usura dopo 5000 m di strisciamento tra i campioni nitrurati a 430°C e quelli nitrurati a temperature maggiori è principalmente imputabile alla parziale rimozione degli strati modificati dei primi tipi di campioni e alla transizione da un meccanismo di usura essenzialmente tribossidativo, con modeste velocità di usura, ad un meccanismo misto. Come già osservato per i campioni trattati a 400 °C, nel momento in cui lo strato modificato comincia ad essere rimosso, il substrato comincia ad essere usurato secondo meccanismi adesivo-delaminativi uniti a meccanismi di usura da terzo corpo con velocità di usura sensibilmente maggiori.

Infine i campioni nitrurati a 500 °C hanno mostrato volumi di usura dopo 5000 e 20000 m di strisciamento sempre inferiori rispetto a quelli relativi ai campioni nitrurati a 470 °C. La maggiore resistenza ad usura dei campioni nitrurati a 500 °C rispetto a quelli nitrurati a 470 °C può essere imputata sia al maggior spessore dello strato modificato, che al maggior contenuto di nitruri CrN dotati di elevata durezza e resistenza all'usura.

## CONCLUSIONI

Campioni di acciaio inossidabile austenitico AISI 316L sono stati nitrurati in scarica ionica a varie temperature nell'intervallo da 400 a 500 °C. Su tali campioni e sul materiale non trattato è stata svolta una caratterizzazione morfologia, microstrutturale, meccanica e test di usura in configurazione block-on-ring che hanno portato alle seguenti conclusioni.

Nel caso in cui i trattamenti siano effettuati a temperatura  $\leq 430^\circ\text{C}$  lo strato risulta formato essenzialmente da fase S.

Nel caso in cui i trattamenti di nitrurazione vengano effettuati a temperature  $\geq 470^\circ\text{C}$  si osserva la formazione di strati modificati costituiti sia da fase S che da nitruri di cromo (CrN) e di ferro  $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$ .

Lo spessore e la durezza degli strati crescono con la temperatura di trattamento.

Tutti i campioni nitrurati presentano maggiore resistenza ad usura rispetto al materiale non trattato.

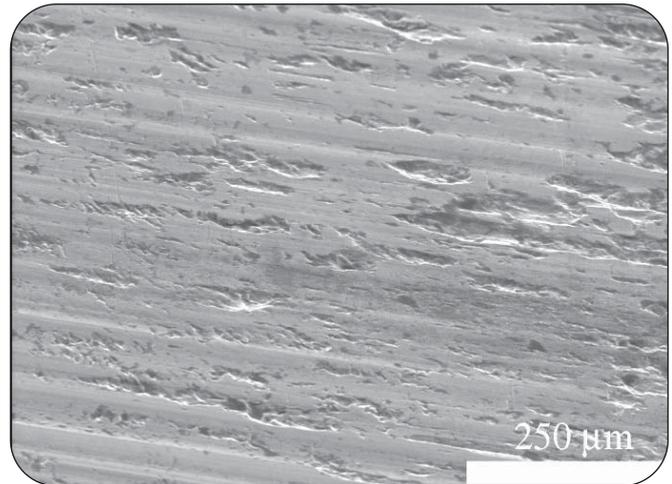


Fig. 6

**Micrografia SEM della superficie di usura di un campione di AISI 316L nitrurato a 430 °C dopo 2000 m di strisciamento (zona centrale della traccia) con carico 15 N e velocità 0.38 m/s.**

*SEM micrograph showing the central region of the worn surface of an AISI 316L stainless steel sample nitrated at 430°C [sliding distance: 2000m, sliding velocity: 0.38m/s, coupling load: 15N].*

Nel caso di test di usura caratterizzati da elevata distanza di strisciamento, i campioni trattati a temperature maggiori presentano una maggiore resistenza all'usura rispetto a quelli trattati a temperature minori.

Nel caso di test di usura caratterizzati da distanza di strisciamento sufficientemente ridotta da non comportare l'asportazione dello strato nitrurato, i campioni nitrurati con strato modificato costituito essenzialmente da fase S mostrano prestazioni comparabili a quelle dei campioni con strati contenenti nitruri.

In particolar modo, riuscendo a incrementare lo spessore dello strato di fase S, potrebbe essere possibile ottenere per l'acciaio inossidabile austenitico AISI 316L non solo un'elevata resistenza a corrosione, ma anche con una buona resistenza a usura.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J. TAKADA, Y. OHIZUMI, H. MIYAMURA et al., J. Mater. Sci. 21 (1986) p.2463.
- [2] W. LIANG, X. XIAOLEI, X. JIUJUN and S. YAQIN, Thin Solid Films 391 (2001) p.11.
- [3] J.M. PRIEST, M.J. BALDWIN, et al., Thin Solid Films 345 (1999) p.113.
- [4] Z.L. ZHANG and T. BELL, Surface Eng. 1 (1985) p.131.
- [5] S. PICARD, J.B. MEMET, R. SABOT, J.L. GROSSEAU-POUSSARD, J.P. RI VIERE and R. MEILLAND, Mater. Sci. Eng. A 303 (2001) p.163.
- [6] X. XU, Z. YU, L. WANG, J. QIANG and Z. HEI, Surf. Coat. Technol. 162 (2003) p.242.
- [7] V. SINGH, K. MARCHEV, C. V. COOPER and E. I. MELETIS, Surf. Coat. Technol. 160 (2002) p.249.
- [8] Y. ZHIWEI, X. XIAOLEI, W. LIANG, Q. JIANBING and H. ZUKUN, Surf. Coat. Technol. 153 (2002) p.125.
- [9] A. FOSSATI, F. BORGIOLI, E. GALVANETTO and T. BACCI, Surf. Coat. Technol. 200 (2006) p.3511.
- [10] A. FOSSATI, F. BORGIOLI, E. GALVANETTO and T. BACCI, Corros. Sci. 48 (2006) p.1513.

## ABSTRACT

**WEAR RESISTANCE OF GLOW-DISCHARGE NITRIDED AUSTENITIC STAINLESS STEELS**

Keywords: tribology, stainless steel, surface treatments

Austenitic stainless steels are largely employed in many industrial fields due to their good general corrosion resistance. Nevertheless they can suffer pitting or crevice corrosion in chloride rich solutions. Moreover their low hardness and low wear resistance can limit the possible industrial applications.

Traditional nitriding treatments, usually performed at temperatures higher than 500°C, can improve the surface hardness and wear resistance of stainless steels, but generally decrease their corrosion resistance properties. This effect is due to the very hard CrN chromium nitride formation. At the typical nitriding temperatures the Cr mobility is high enough to enable CrN chromium nitride precipitation in the nitrided layer; the Cr-depleted matrix cannot form a protective passive film and the material is subjected to active corrosion.

Glow-discharge nitriding treatments of austenitic stainless steels can be carried out at relatively low temperatures, not only avoiding a decrease of corrosion resistance, due to chromium nitride formation, but also promoting the formation of the so called S-phase, which shows high hardness and good pitting and crevice corrosion resistance. S-phase is supposed to be a metastable nitrogen super-saturated austenite characterized by variable reticular parameter values depending on the nitrogen content.

In this paper the microstructural, morphological, mechanical and wear resistance characterization of AISI 316L stainless steel samples glow-discharge nitrided at temperatures in the range of 400÷500°C for 5 hours was carried out.

If the nitriding temperature is equal or lower than 430°C, the modified layers are essentially composed by S-phase. If the nitriding temperature are equal or higher than 470°C in the surface layer is present S-phase and sensible amount of CrN and  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N precipitates (Fig. 1).

The surface microhardness values (Fig. 2) and the thickness (Tab. 1) of the hardened layers increase as the nitriding temperature increases.

Wear resistance tests were carried out by means of a block-on-ring tribometer employing as a lubricant and aggressive environment a 5% NaCl aqueous solution. The ring was realized by AISI 316L stainless steel. The sliding speed and the coupling load were respectively fixed at 0.38 m/s and 15 N. The sliding distances, depending on the different wear resistance properties of the various kinds of samples, ranged from 500 to 20000 m. Wear tests were performed on nitrided and untreated samples in order to make a comparison.

Untreated AISI 316L samples show low wear resistance (Fig. 3).

Samples nitrided at the higher temperatures ( $\geq 470^\circ\text{C}$ ) show a very high increase of the wear resistance, in comparison with the untreated ones (Fig. 4), due to the presence of very hard nitrides in the thick modified surface layers. Nevertheless these kinds of samples, as it is well known in literature, are characterized by very low corrosion resistance properties.

Samples nitrided at lower temperatures ( $\leq 430^\circ\text{C}$ ) show higher wear resistance in comparison with untreated samples. Moreover, as long as the modified layers, composed essentially by S-phase, are not completely removed, the wear resistance properties of these kinds of samples are comparable with those of the samples nitrided at higher temperatures (Figs 3, 5 and 6).

The higher wear resistance of samples nitrided at higher temperature seems to be ascribable firstly to their larger thickness and only secondly to their higher hardness values.

Low temperature glow-discharge nitriding process is able to increase the hardness, wear and corrosion resistance properties of AISI 316L stainless steel. Moreover, increasing the nitriding time and consequently the thickness of the S-phase layers, it would seem possible to produce samples showing wear resistance properties comparable with those of samples nitrided at higher temperatures and localized corrosion resistance properties even higher than those of untreated stainless steel.