

Effetto dell'atmosfera di post-ossidazione e della finitura superficiale sull'acciaio 41CrAlMo7 nitrurato

R. Sola, G. Poli, P. Veronesi, R. Giovanardi, S. Mamei, A. Zanotti

Notoriamente la nitrurazione è un trattamento termochimico di indurimento superficiale sviluppato allo scopo di migliorare le resistenze a usura e a fatica di leghe ferrose. I componenti così trattati soffrono solitamente di una carenza nella resistenza a corrosione. Un obiettivo tecnologicamente importante è lo sviluppo di nuovi trattamenti post-nitrurazione per ottenere simultaneamente buone proprietà estetiche, meccaniche, tribologiche e di resistenza a corrosione.

Mediante una analisi sistematica basata sull'uso di numerose tecniche sperimentali in questo lavoro di ricerca sono state approfondite le conoscenze sullo stato superficiale indotto dalla nitrurazione dalla successiva post-ossidazione eseguita in tre diverse atmosfere (protossido di azoto, anidride carbonica e aria) sull'acciaio 41CrAlMo7 fornito in quattro differenti finiture superficiali (lappata, rettificata, tornita e pallinata) al fine di quantificarne gli effetti sui parametri tribologici e sulla resistenza a corrosione.

Parole chiave:

nitrurazione, post-ossidazione, usura, corrosione, rugosità superficiale

INTRODUZIONE

Nitrurazione e nitrocarburazione sono trattamenti termochimici di indurimento superficiale da molti anni sviluppati allo scopo di migliorare le resistenze a usura e a fatica delle leghe ferrose. La nitrurazione è un trattamento che induce la formazione: (a) di uno strato esterno, spesso denominato coltre bianca, costituito prevalentemente dai nitruri $\epsilon\text{-Fe}_{23}\text{N}$ e $\gamma'\text{-Fe}_4\text{N}$; (b) di un sottostante strato di diffusione, in cui si ha precipitazione di nitruri a bordo grano. Analogamente, grazie alla diffusione contemporanea di carbonio e azoto nel materiale, la nitrocarburazione forma sui componenti trattati uno strato esterno composto dai carbonitruri $\epsilon\text{-Fe}_{23}(\text{N,C})$ e $\gamma'\text{-Fe}_4(\text{N,C})$, e lo strato di diffusione. I componenti così trattati garantiscono elevata resistenza all'usura, ma soffrono di una carenza nella resistenza a corrosione [1-4]. Un obiettivo tecnologicamente

importante è lo sviluppo di nuovi trattamenti post-nitrurazione per ottenere simultaneamente buone proprietà estetiche, meccaniche, tribologiche e di resistenza a corrosione. Le soluzioni proposte in recenti studi [5-10] sono: post-ossidazione e post-ossidazione seguita da impregnazione. Precedenti studi hanno evidenziato [5-10]

	C	Si	P	Mn	Cr	Mo	V	Al	Fe
41CrAlMo7	0.43	0.218	0.013	0.573	1.588	0.300	0.006	0.9515	resto

TAB. I **Composizione chimica dell'acciaio 41CrAlMo7.**

Chemical composition of 41CrMo7 steels.

Acronimo	Trattamento	Condizioni di trattamento
N	nitrurazione	1. Preossidazione a 400°C 2. Riscaldamento a 510°C per 10h in NH_3 3. Riscaldamento a 530°C per 12 ore in NH_3 4. Raffreddamento fino a 300°C in N_2 5. Raffreddamento fino a 180°C
N+NO _x	nitrurazione + ossidazione in NO _x	Fino al punto 3 come N. a. stasi 530°C per 4h in NH_3 e NO _x b. raffreddamento fino 300°C in N_2 c. raffreddamento fino a 180°C
N+CO ₂	nitrurazione + ossidazione in CO ₂	Fino al punto 3 come N. a. stasi 530°C per 4h in NH_3 e CO ₂ b. raffreddamento fino 300°C in N_2 c. raffreddamento fino a 180°C
N+Aria	nitrurazione + ossidazione in aria	Fino al punto 3 come N. a. stasi 530°C per 4h in NH_3 e aria b. raffreddamento fino 300°C in N_2 c. raffreddamento fino a 180°C

TAB. II **Condizioni di trattamento.**

Heat treatment conditions.

R. Sola, G. Poli, P. Veronesi,
R. Giovanardi, S. Mamei
Università degli Studi
di Modena e Reggio Emilia

A. Zanotti
Proterm trattamenti termici

*Memoria vincitrice
del Premio Gianotti 2011*

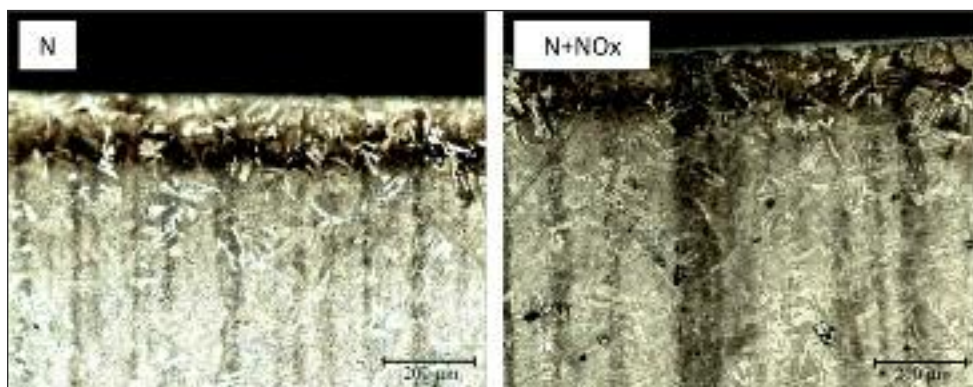


FIG. 1
Micrografia ottica in sezione dei provini N e N+NO_x. Nital2. 100x.

Optical micrographs of N and N+NO_x. Nital2. 100x.

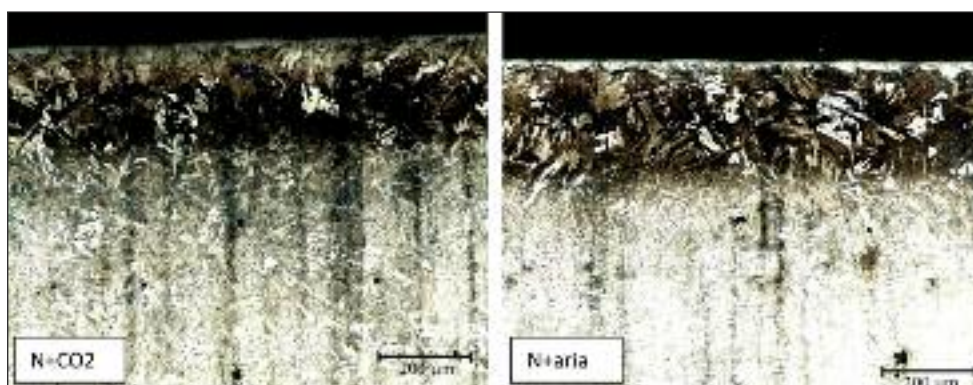


FIG. 2
Micrografia ottica in sezione dei provini N+CO₂ e N+aria. Nital2. 100x.

Optical micrographs of N+CO₂ and N+aria. Nital2. 100x.

hanno mostrato che la morfologia finale dello strato di ossido è fortemente influenzata dallo stato chimico e microgeometrico iniziale del sostrato su cui si accresce con conseguenti ripercussioni anche su attrito, resistenza a usura e resistenza a corrosione.

Mediante una analisi sistematica basata sull'uso di numerose tecniche sperimentali, questo lavoro si pone lo scopo di approfondire le conoscenze sullo stato superficiale indotto dalla nitrurazione e dalla post-ossidazione eseguita in tre diverse atmosfere di ossidazione (protossido di azoto, anidride carbonica e aria) sull'acciaio 41CrAlMo7 fornito in quattro differenti finiture superficiali (lappata, rettificata, tornita e pallinata) al fine di quantificarne gli effetti sui parametri tribologici e di resistenza a corrosione.

TECNICHE SPERIMENTALI

La composizione chimica del 41CrAlMo7 usato per le prove sperimentali, rilevata con quantometro ARL 3580 e un analizzatore a emissione ottica LECO GDS-750, è riportata nella Tab. I.

Su provini in forma di dischi ($\phi = 40$ mm e $s = 8$ mm) aventi un foro centrale di $\phi = 10$ mm sono stati eseguiti i trattamenti di Tab. II.

Per la caratterizzazione sono state utilizzate le seguenti tecniche sperimentali:

1. microscopia ottica (microscopio ottico Leica CTR 4000) ed elettronica (microscopio elettronico a scansione ESEM Quanta-200 - Oxford Instrument) in sezione e superficiale, prima e dopo

l'attacco chimico dei provini con Nital 2, previa preparazione metallografica di sezioni normali alle superfici trattate;

2. rugosimetria superficiale con profilometro ottico tipo Consan - CSM Instrument, probe 0-20 μ m. È stata scansionata un'area 250 μ m x 250 μ m con una velocità di scansione di 50 m/s, acquisendo 250 punti in x e 250 linee in y. Questa tecnica ha consentito la determinazione della rugosità media Ra.
3. microdurezza HV₁ (microduremetro Vickers Wolpert) per la determinazione della durezza superficiale post-trattamento;
4. scratch test per la valutazione dell'adesione dell'ossido alla coltre bianca nelle seguenti condizioni di prova: carico iniziale 50mN, carico finale 30000 mN, lunghezza del graffio 4mm, velocità 1mm/min, induttore punta Rockwell B 0.1mm
5. prove di usura per strisciamento a secco con un tribometro in configurazione ball-on-disk (High Temperature Tribometer - CSM Instrument). Le condizioni di prove sono riassunte in Tab. III. Questa configurazione sperimentale permette di valutare fenomeni di usura adesiva e tribo-ossidativa in termini di perdita di volume; durante la prova, inoltre, è possibile determinare l'andamento del coefficiente di attrito in funzione della distanza di strisciamento. Questo test, attraverso la scansione della traccia di usura con profilometro ottico, ha permesso il calcolo del volume di materiale asportato durante lo strisciamento. Al termine del test tribologico, gli aspetti morfologici delle tracce di usura sono state osservate al SEM, al fine di individuare i meccanismi di usura attivati

Condizioni di prova	
Lubrificazione	assente
Velocità di strisciamento	0.2 m/s
Antagonista	Al ₂ O ₃ , $\Phi = 6$ mm
Carico normale	5 N
Distanza di strisciamento (condizione di terminazione)	1000 m

TAB. III *Condizioni delle prove tribologiche.*

Wear test conditions.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Nelle Figg. 1-2 sono riportati alcuni aspetti microstrutturali dei provini dopo i trattamenti di Tab. II. A seguito del trattamento di nitrurazione si forma uno strato superficiale di coltre bianca sottile, di spessore 4.88 ± 1.70 μ m, sovrastante uno strato di diffusione di spessore 170.01 ± 11.31 μ m.

L'ossidazione in protossido di azoto forma superficialmente, sopra la coltre bianca (spessore 14.51 ± 0.92 μ m) e lo strato di diffusione (spessore 157.93 ± 11.22 μ m), uno strato di ossido di 4.92 ± 0.5

FIG. 3
Micrografia SEM-BSE A)
provino N, B) provino
N+NO_x

SEM-BSE micrograph A) N
sample B) N+NO_x sample.

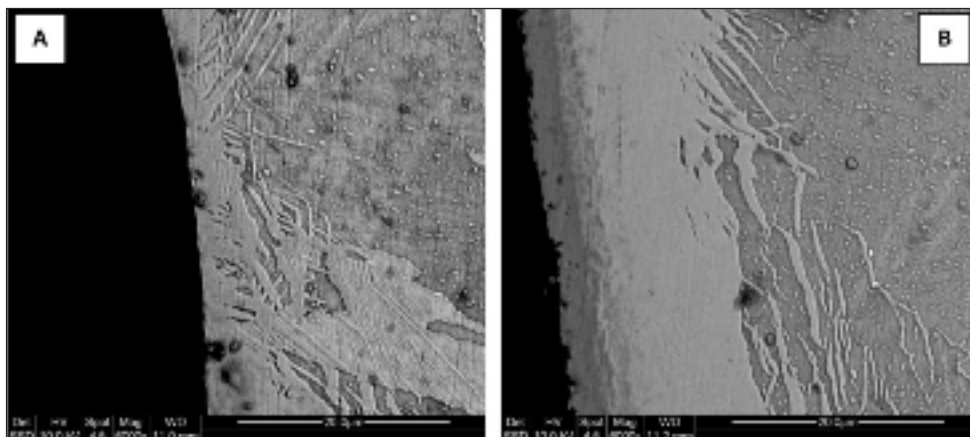
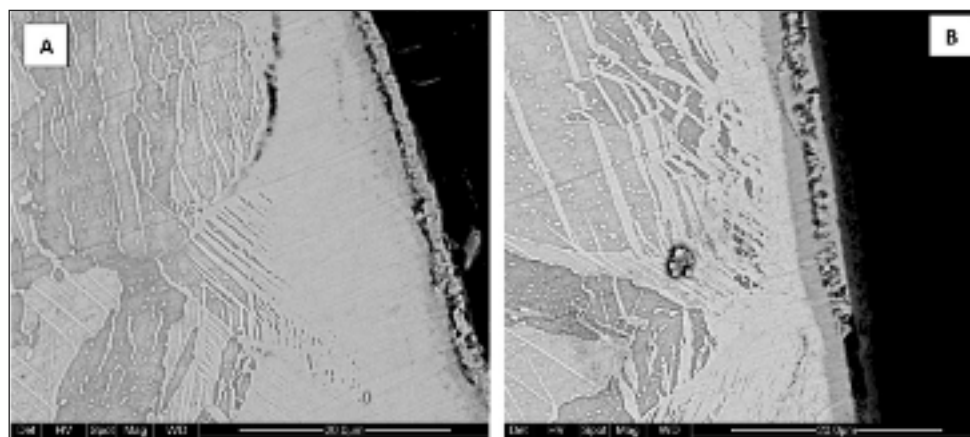


FIG. 4
Micrografie SEM-BSE dei
provini A) N+CO₂, B)
N+Aria.

SEM-BSE micrograph A)
N+CO₂ sample B) N+aria
sample.



μm di spessore. Il provino N+CO₂ presenta uno strato di ossido di spessore 3.94 ± 0.70 μm sovrastante una coltre bianca e uno strato di diffusione di 16.02 ± 1.77 μm e 230.56 ± 9.23 μm di spessore rispettivamente. Nel provino N+Aria sono stati rilevati: strato di ossido di spessore 5.54 ± 0.90 μm, coltre bianca di spessore 13.59 ± 1.88 μm e strato di diffusione 240.59 ± 8.78 μm.

Il trattamento di nitrurazione di Tab. II forma in superficie una coltre bianca (Fig. 3-A) di piccolo spessore, ma priva di porosità e ben agganciata allo strato di diffusione sottostante. Analogamente, l'ossido che si forma a seguito del trattamento di nitrurazione e ossidazione in NO_x (Fig. 3-B) risulta ben adeso al sostrato e compatto. Le ossidazioni in CO₂ e Aria (Fig. 4 A e B) inducono la formazione di strati ossidati porosi, scarsamente adesi alla coltre bianca e facilmente criccabili e scalfibili. Tra i provini ossidati è il provino N+Aria che presenta lo spessore maggiore di ossido in superficie. Sono state eseguite prove di microdurezza Vickers in superficie e in Fig. 5 sono riassunti i risultati. Il provino NT, fornito allo stato bonificato, presenta 289 ± 14 HV0.5 di durezza in superficie. La nitrurazione induce un notevole incremento della durezza superficiale che supera abbondantemente 1200 HV. Come è noto [11], l'ossidazione in ogni ambiente ossidante successiva alla nitrurazione determina una sensibile diminuzione della durezza superficiale che resta, tuttavia, sempre superiore a 1000 HV. Tra i provini ossidati la maggiore durezza superficiale si osserva nel provino N+CO₂.

In Fig. 6 sono riportate micrografie SEM che mostrano gli aspetti morfologici delle superfici dei provini rilevate dopo ogni trattamento termochimico e dopo il trattamento di ossidazione per le diverse finiture superficiali. Risulta evidente che la morfologia superficiale è influenzata dal tipo di trattamento e dalla finitura superficiale. La superficie nitrurata presenta la tipica crescita globulare dei nitruri [12-17] e i globuli sono allungati o tondeggianti e la superfici-

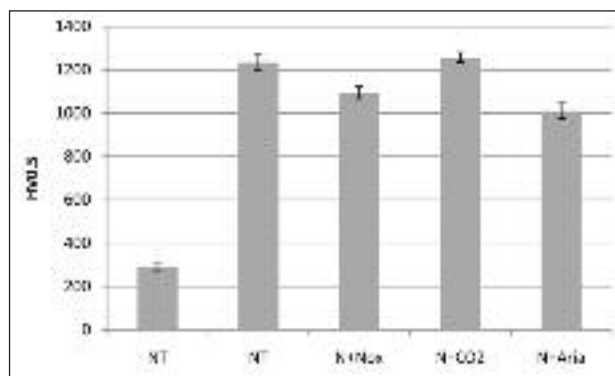


FIG. 5 **Microdurezza Vickers in superficie.**
Surface microhardness values.

cie compatta o porosa secondo la finitura iniziale. La superficie N lappata presenta nitruri di forma allungata e molto vicini tra loro, il provino N pallinato mostra, invece, una superficie con nitruri globulari e separati. La superficie dei provini N+NO_x risulta notevolmente influenzata dalla finitura superficiale: il provino lappato evidenzia una superficie con ossidi globulari, nel rettificato scompare la morfologia globulare degli ossidi e la superficie appare più compatta, il tornito presenta un ossido con una particolare morfologia a "ragnatela", analoga è la morfologia del pallinato ma rispetto al tornito le maglie appaiono più strette. Dopo il trattamento N+CO₂ la superficie presenta ossidi globulari con globuli di differenti dimensioni e più o meno agglomerati secondo la finitura superficiale. Il provino N+Aria presenta ossidi globulari allungati separati nel lappato e più o meno agglomerati nei provini con le altre finiture. Come precedentemente riportato, i trattamenti generano morfologie

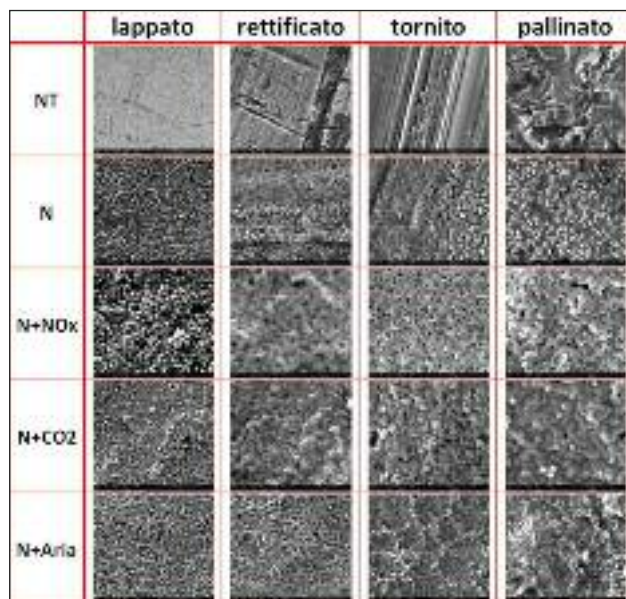


Fig. 6 Micrografia SEM-SE delle superficie dei provini dopo i trattamenti di Tab. II.

SEM-SE micrographs of treated (as Table II) samples.

superficiali notevolmente differenti sui vari campioni, le quali saranno oggetto delle valutazioni che seguono.

Il parametro R_a , rilevato per profilometria ottica, indica il valore medio degli scostamenti del profilo reale della superficie rispetto alla linea media. Pertanto valori di R_a elevati individuano una superficie con rugosità elevata. In Fig. 7 sono riportati i valori di R_a relativi alle superfici dei campioni scansionate mediante profilometria ottica. Osservando la serie dei provini lappati emerge che il provino NT presenta il valori di R_a più bassi e le ossidazioni diminuiscono R_a rispetto al provino N perché l'ossido tende a crescere preferenzialmente nelle valli piuttosto che nei picchi di rugosità. Nei provini con finitura iniziale tornita, rettificata e pallinata, invece, tutti i trattamenti diminuiscono il valore di R_a rispetto all'acciaio NT perché anche in questo caso i nitruri tendono a crescere preferenzialmente nelle valli piuttosto che nei picchi di rugosità. Questo fenomeno non accade con la finitura lappata perché i nitruri crescono su una superficie molto liscia e regolare senza valli da riempire. A parità di stato di trattamento, osservando i provini NT con differente finitura superficiale, si osserva che peggiorando la finitura superficiale, ovviamente, aumentano i valori di R_a ; la superficie pallinata presenta valori di R_a notevolmente superiori rispetto alla superficie lappata. Queste differenze molto meno evidenti dopo il trattamento superficiale poiché, come già precedentemente puntualizzato, nitruri e ossidi, crescendo preferenzialmente nelle valli piuttosto che sui picchi, agiscono la livellanti la superficie.

Le prove tribologiche, eseguite nelle condizioni riportate in Tab. III sui campioni negli stati di trattamento termochimico, senza e con successiva ossidazione, hanno permesso di valutare il tasso di usura W [$\text{mm}^3/(\text{Nm})$] del materiale, previa stima della dimensione dell'area di usura per profilometria ottica. In Fig. 8 si riportano i valori di W calcolati.

Il differente effetto dell'ossidazione è stato spiegato con prove di scratch test. A parità di meccanismo di cedimento è stato possibile determinare il carico critico a cui l'ossido inizia a staccarsi dalla coltre bianca [18]. In Tab. IV sono riportati i valori di carico critico F_n [mN] misurati. Dai dati di Tab. IV risulta evidente che l'ossido del provino $N+\text{NO}_x$ è più adesivo rispetto agli ossidi dei provini $N+\text{CO}_2$ e $N+\text{Aria}$ che presentano valori di F_n notevolmente più

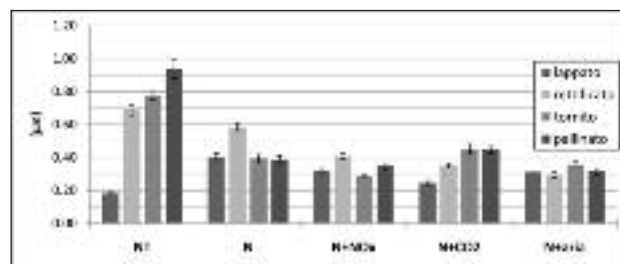


FIG. 7 Valori di R_a per profilometria ottica.

R_a roughness values for samples treated as Table II.

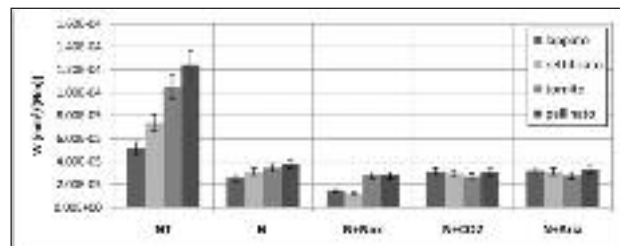


FIG. 8 Tasso di usura W dei provini non trattati e negli stati di trattamento di Tab. II.

Wear rate values at the end of wear test for samples treated as Table II.

Materiale	F_n [mN]
$N+\text{NO}_x$	14430 ± 5300
$N+\text{CO}_2$	4067 ± 1236
$N+\text{Aria}$	3502 ± 476

TAB. IV Carichi critici F_n .

F_n critical load.

bassi.

Nelle Figg. 9 e 10, a titolo esemplificativo, si riportano alcune curve di polarizzazione da cui, con il metodo di Tafel è stato possibile calcolare la corrente di corrosione riportata in Fig. 11. In Fig. 9 si riportano le curve di polarizzazione di tutti i provini lappati in cui è visibile l'influenza del trattamento sulla resistenza a corrosione. Analoghe considerazioni valgono anche per le altre finiture. Tutti i trattamenti di Tab. II, spostando le curve verso correnti più basse e verso potenziali più nobili rispetto, migliorano la resistenza a corrosione rispetto al provino NT. L'atmosfera di ossidazione influenza notevolmente il comportamento a corrosione del materiale, infatti l'ossidazione in NO_x diminuisce la resistenza a corrosione rispetto al provino N, mentre le ossidazioni in CO_2 e aria ne promuovono un ulteriore incremento. Una possibile spiegazione si può trovare nelle morfologie superficiali dopo il trattamento termochimico (Fig. 6): la superficie dei provini $N+\text{NO}_x$ presenta numerose microporosità, più compatta risulta la superficie dell'acciaio $N+\text{CO}_2$, anche la superficie dei provini $N+\text{Aria}$ presenta microporosità, ma lo spessore di ossido è elevato. In Fig. 10 sono riportate le curve di polarizzazione dei provini NT in cui è visibile l'effetto della finitura superficiale. Analoghe considerazioni valgono anche per gli altri stati di trattamento indagati. La finitura superficiale influenza in misura minore la resistenza a corrosione rispetto al tipo trattamento. In ogni caso, peggiorando la finitura superficiale, peggiora anche la resistenza a corrosione, perché aumenta la rugosità (Fig. 7) e l'effettiva area esposta. I provini lappati presentano infatti la migliore la resistenza a corrosione, quelli pallinati la peggiore.

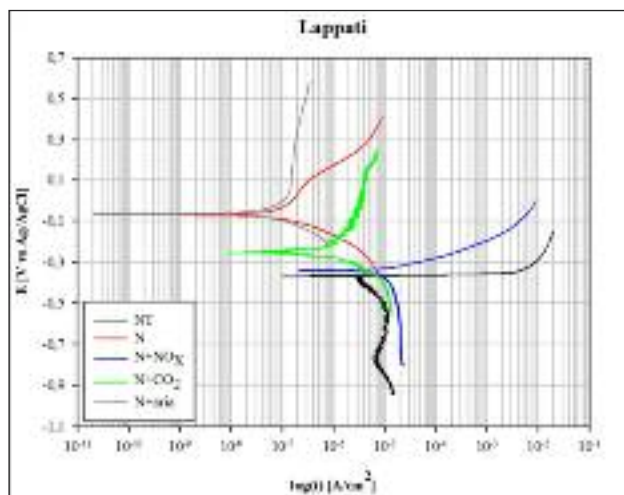


FIG. 9 Curve di polarizzazione in cui è visibile l'effetto del trattamento a parità di finitura.

Polarization curves of sample with different heat treatment.

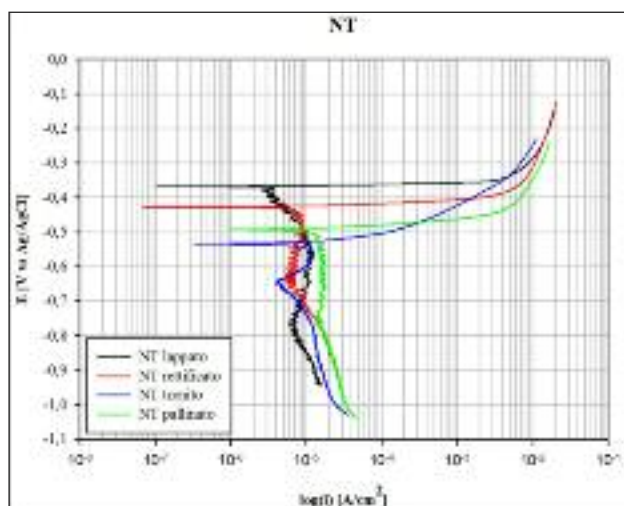


FIG. 10 Curve di polarizzazione in cui è visibile l'effetto della finitura a parità di trattamento.

Polarization curves of sample with different surface finishing.

Mediante il metodo di Tafel è stato possibile stimare la corrente di corrosione (Fig. 11) che fornisce indicazioni sulla velocità del processo corrosivo. A parità di trattamento, se peggiora la finitura superficiale, aumenta la velocità di corrosione, quindi peggiora la resistenza a corrosione; i provini pallinati, infatti, generalmente presentano le correnti di corrosione superiori. La nitrurazione incrementa notevolmente la resistenza a corrosione rispetto all'acciaio NT, per ogni finitura. La successiva ossidazione in NO_x aumenta la corrente di corrosione rispetto al provino N fino a valori confrontabili con il provino NT. I provini $\text{N}+\text{CO}_2$ presentano una resistenza a corrosione superiore rispetto ai provini $\text{N}+\text{NO}_x$ e presentano valori di corrente di corrosione più elevati rispetto all'acciaio N. La migliore resistenza a corrosione si ottiene con il trattamento $\text{N}+\text{Aria}$ con il quale si rilevano le correnti di corrosione più basse. La spiegazione del diverso effetto dell'ossidazione sulla resistenza a corrosione a secondo dell'atmosfera di ossidazione probabilmente risiede nelle diverse morfologie superficiali indotte dal trattamento (Fig. 6) e nello spessore dello strato di ossido: i provini

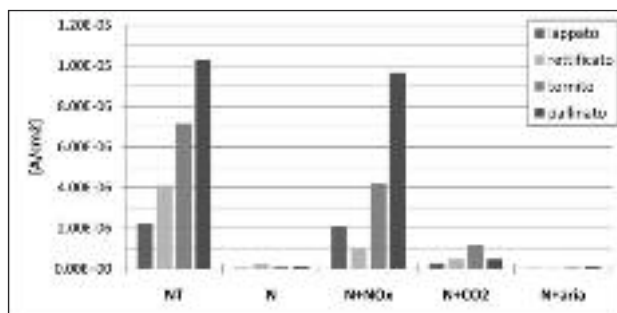


FIG. 11 Corrente di corrosione.

Current corrosion calculated using Tafel's method.

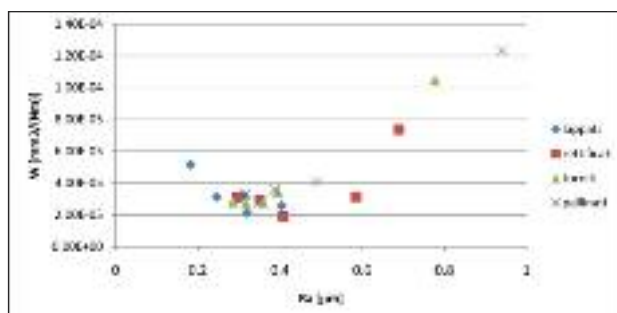


FIG. 12 Variazione di W in funzione di Ra.

W (wear rate) vs Ra (surface roughness).

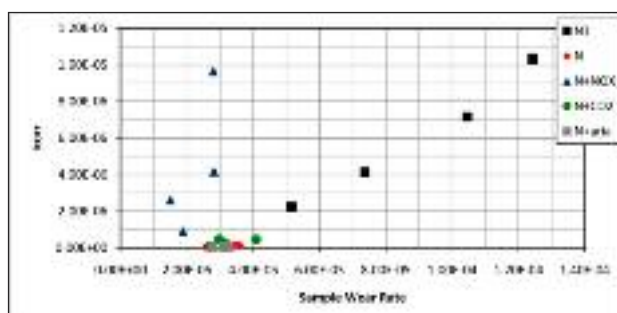


FIG. 13 Corrente di corrosione (i_{corr}) in funzione del sample wear rate (W).

i_{corr} (corrosion current) vs W (wear rate).

$\text{N}+\text{CO}_2$ e soprattutto i provini $\text{N}+\text{NO}_x$ presentano superfici con un elevato tenore di microporosità che incrementa l'effettiva area esposta agli agenti corrosivi, l'acciaio $\text{N}+\text{Aria}$ presenta superfici meno porose ed uno spessore di ossido maggiore rispetto agli altri provini ossidati.

In conclusione è stata valutata l'influenza della rugosità media Ra sul tasso di usura W del materiale (Fig. 12). Mediamente, all'aumentare di Ra aumenta anche il valore di W perché una superficie con Ra elevati presenta numerose asperità che durante l'usura possono generare detriti duri all'interno della traccia. I valori più bassi di W si hanno per valori di Ra compresi tra 0.2 - 0.5 μm . Per valori troppo bassi di Ra la superficie di contatto tra i corpi striscianti è elevata ed elevato risulta quindi il lavoro di adesione [19]. In Fig. 13 si riporta un grafico che riassume l'influenza dei trattamenti oggetto di questo studio sulla resistenza a usura e a corrosione dell'acciaio 41CrAlMo7. Risulta immediatamente visibile che il trattamento che garantisce la migliore resistenza a usura è la nitrurazione seguita a ossidazione in NO_x , infatti i provini $\text{N}+\text{NO}_x$

presentano i valori più bassi di W. I valori più bassi si correnti di corrosione si rilevano nei provini N+aria, i più alti nell'acciaio NT. In generale i provini N, N+aria e N+CO₂ sono caratterizzati simultaneamente da un buon comportamento a usura e a corrosione.

CONCLUSIONI

Dai risultati delle prove sperimentali è emerso che:

1. sulla resistenza a usura e a corrosione del materiale risulta più influente lo stato di trattamento piuttosto che la finitura superficiale;
2. in generale se peggiora la finitura superficiale, peggiorano resistenza a usura e a corrosione;
3. tutti i trattamenti termochimici studiati incrementano resistenza a usura e a corrosione rispetto all'acciaio nello stato di fornitura;
4. finitura superficiale e atmosfera di ossidazione influenzano notevolmente la morfologia superficiale post-trattamento con ripercussioni importanti sulle proprietà a usura e a corrosione;
5. il trattamento di nitrurazione seguito da ossidazione in NO_x garantisce la migliore resistenza a usura, mentre con il trattamento di nitrurazione e ossidazione in aria si raggiunge la migliore resistenza a corrosione;
6. la migliore resistenza a usura si ottiene per rugosità compresa tra 0.2 - 0.4 µm
7. i trattamenti di nitrurazione, nitrurazione e ossidazione in CO₂ e nitrurazione e ossidazione in aria garantiscono simultaneamente buone proprietà a usura e a corrosione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] G. POLI, P. VERONESI, R. GIOVANARDI, R. SOLA, A. ZANOTTI, S. MASINI, *Metal. Ital.*, 9 (2008), pp.11-16
- [2] G. POLI, P. VERONESI, R. GIOVANARDI, R. SOLA, A. ZANOTTI, S. MASINI, *Proc. 32° Convegno Nazionale AIM, Ferrara (2008)*, AIM, Italy
- [3] M. UMA DEVI, T.K. CHAKRABORTY, O.N. MOHANTY, *Surf. Coat. Technol.* 116-119 (1999), pp. 212-221
- [4] E. DE LAS HERAS, D.A. EGIDI, P. CORENGIA, D. GONZÁLEZ-SANTAMARÍA, A. GARCÍA-LUIS, M. BRIZUELA, G.A. LÓPEZ, M. FLORES MARTINEZ, *Surf. Coat. Technol.* 202 (2008), pp. 2945-2954
- [5] R. Sola, *La Metallurgia Italiana*, vol. 5, maggio 2010
- [6] R. Sola, G. Poli, R. Giovanardi, P. Veronesi, C. Calzolari, A. Zanotti, *La Metallurgia Italiana*, vol. 4, aprile 2010
- [7] R. Sola, R. Giovanardi, P. Veronesi, G. Poli, S. Masini, A. Zanotti, *La Metallurgia Italiana*, vol. 9, settembre 2008
- [8] R. Sola, P. Veronesi, R. Giovanardi, G. Poli, C. Calzolari, A. Zanotti, *Udine, Giornate Nazionali sulla Corrosione e Protezione*, giugno 2009
- [9] R. Sola, P. Veronesi, R. Giovanardi, G. Poli, A. Zanotti, S. Masini, *Ferrara, 32 Convegno Nazionale AIM (2008)*
- [10] R. Sola, R. Giovanardi, P. Veronesi, G. Poli, S. Masini, A. Zanotti, *Venona, European Conference Heat Treatment (2008)*
- [11] S. Hoppe, *Surface and Coating Technology*, vol. 98 (1998), pp. 1199-1204
- [12] R. Sola, *La Metallurgia Italiana* N°5 (2010)
- [13] Y.H. Qiang, S.R. Ge, Q.J. Xue, *Journal of Material Processing Technology*, vol. 101 (2000), pp. 180-185
- [14] C. Menapace, L. Cislighi, A. Magistrelli, V. Stoyanova, A. Molinari, *La Metallurgia Italiana*, Vol. aprile 2008
- [15] F. Borgioli, A. Fossati, E. Galvanetto, T. Bacci, *Surface and Coating Technology*, vol. 162 (2002), pp. 61-66
- [16] M. Zlatanovic, N. Popovic, Z. Bogdanov, S. Zlatanovic, *Surface and Coating Technology*, vol. 177-178 (2004), pp. 277-283
- [17] A. Esfahania, M. H. Sohia, J. Rassizadehghania, F. Mahboubi, *Vacuum*, vol. 82 (2008), pp. 346-351
- [18] S. Barella, M. Boniardi, G. Vimercati, M. Bellogini, *33° Convegno Nazionale AIM, Brescia 2010*
- [19] G. Straffellini, *Attrito e usura, Tecniche Nuove*, 2005, p.38

Abstract

Effect of surface finishing and post-oxidation atmosphere on the properties of 41CrAlMo7 nitrided steel

Keywords: wear, corrosion, nitriding, post-oxidation, surface finishing

The use of thermochemical treatments to enhance fatigue and wear resistance performances of highly stressed mechanical components is well known and established [1,2]. The application of treatments like nitriding and nitrocarburizing to construction steels results in a hardened layer with limited distortion and dimensional variation. However, nitriding and nitrocarburizing can alter not only the steels mechanical properties, but also their corrosion resistance. Thus, trade-off solutions are usually required when the project requirements involve both wear and corrosion resistance.

Post-treatments, like oxidation, can help overcome this dichotomy, leading to high-performance engineered surfaces.

Using a lot of experimental techniques, in this work the effect of surface finishing and post-oxidation atmosphere on the wear and corrosion behaviour of 41CrAlMo7 nitrided steel is studied. A 41CrAlMo7 nitrided samples are post-oxidized in three different atmosphere (CO₂, NO_x and air) and in four surface finishing are provided (polished, grinded, turned, and shot peened) and wear tests, using a pin on disk tribometer, and corrosion test (polarization test in NaCl 3.5%) are performed. From the experimental results it can be concluded:

- the post-oxidation treatment, regardless of oxidation atmosphere, forms a superficial layer composed by Fe₃O₄;
- the post-oxidation atmosphere influences the wear resistance on steel more than surface finishing;
- in general, a worsen surface finishing causes a worsen corrosion and wear resistance;
- all the thermochemical treatment studied increment corrosion and wear resistance, respect to untreated material;
- surface morphology, analyzed using scanning electron microscopy and optical profilometry, is greatly influenced by surface finishing and heat treatment influencing corrosion and wear behaviour;
- nitriding followed by oxidation in NO_x guarantees the best wear resistance, for the oxide layer well adherence to the nitrided substrate, while the sample nitrided and post-oxidized in air presents the best corrosion resistance, for its highest thickness;
- the samples with surface roughness close to 0.2 - 0.4 µm presents the best wear resistance;
- the sample nitrided, nitrided and oxidized in CO₂, nitrided and oxidized in air present simultaneously an high corrosion e high wear resistance.