

Analisi dell'effetto degli elementi di lega sulla temprabilità e sul comportamento al rinvenimento di acciai per back-up rolls a ridotto tenore di molibdeno

F. Curbis, S. Mengaroni, M. Calderini, S. Neri, E. Evangelista, A. Di Schino, M. Paura

Per soddisfare la richiesta industriale di cilindri d'appoggio con superiori prestazioni in esercizio e costi ridotti, sono state svolte ricerche sulla composizione chimica di acciai al 3% e 5% Cr con lo scopo di ottimizzare la combinazione tra microstrutture e prestazioni meccaniche. E' stato valutato l'effetto degli elementi di lega sulla durezza variando il contenuto di Mo. La temprabilità è valutata sia con prove sperimentali di laboratorio che tramite simulazioni con modelli metallurgici, consentendo un confronto diretto dei materiali.

L'effetto delle condizioni del trattamento di bonifica (tempi e temperature) è stato analizzato e finalizzato definire il processo favorevole a conseguire le proprietà meccaniche desiderate e raggiungere prestazioni in esercizio confrontabili a quelle dei prodotti standard. Infine il contenuto dell'austenite residua, valutato con analisi EBSD, è risultato inferiore alla soglia critica per l'affidabilità del cilindro d'appoggio.

Parole chiave: Acciaio-Precipitazione-Trattamenti Termici- Caratterizzazione Materiali - Metallurgia Fisica

INTRODUZIONE

I cilindri di appoggio alla laminazione (Figura 1) vengono impiegati negli impianti per la produzione di laminati metallici. Essi trovano applicazione nelle gabbie dei laminatoi di tipo "a quarto", sia nelle sezioni a caldo che in quelle a freddo, dove contribuiscono ad irrigidire la gabbia e ad evitare un'inflessione eccessiva dei cilindri di lavoro. I cilindri d'appoggio vengono prodotti mediante forgiatura di lingotti di acciaio seguita da un trattamento di bonifica. Questo è in grado di conferire loro la durezza richiesta dal cliente, solitamente compresa tra 60 e 70 HSc (450-540 HV) sullo strato di lavoro (tavola). Questo valore, che non deve diminuire oltre 5 HSc nei primi 100mm di profondità, rappresenta lo spessore di "vita utile" del cilindro.



Fig. 1 - Cilindro di appoggio alla laminazione.

Fig. 1 - Back Up Roll.

Tale tipologia di prodotto deve rispondere a determinati requisiti in merito al comportamento a fatica ed all'usura della tavola, mentre sulla parte di appoggio (colli) deve presentare una durezza compresa tra 30 e 40 HSc (215-285 HV). Infine, il cilindro deve essere caratterizzato da una buona tenacità per evitare rotture fragili durante il periodo di servizio nell'impianto. I valori richiesti di resistenza e tenacità di questi acciai sono ottenuti producendo sulla tavola, mediante processo di bonifica, una struttura adeguatamente fine

F. Curbis, S. Mengaroni

Università degli Studi di Perugia

M. Calderini, S. Neri, E. Evangelista

Società delle Fucine S.r.l.

A. Di Schino, M. Paura

Centro Sviluppo Materiali S.p.A.

e con tenore di austenite residua inferiore al 3%. Perché ciò sia possibile, gli acciai devono essere caratterizzati da una idonea temprabilità intrinseca, storicamente ottenuta, su quelli al 3% ed al 5% Cr [1, 2], tramite aggiunta di 0,8-1,0% di Mo [3, 4].

Causa l'elevato costo del Mo, ed essendo il mercato di questa tipologia di prodotto caratterizzato da una forte concorrenza, è stata intrapresa una attività di ricerca volta alla riduzione del contenuto di Mo.

MATERIALI E DETTAGLI SPERIMENTALI

La composizione chimica degli acciai esaminati è riportata nella Tabella 1:

	C	Cr	Ni	Mo	Mn	V
Acciaio 3-A	0,40	2,80	-	0,85	0,70	0,10
Acciaio 3-B	0,40	3,30	0,15	0,65	0,70	0,10
Acciaio 5-A	0,40	5,00	1,00	0,90	0,70	0,30
Acciaio 5-B	0,40	4,50	0,10	0,40	0,70	0,10
Acciaio 5-C	0,40	5,50	0,60	0,50	0,70	0,15

Tab. 1 - Analisi chimica degli acciai in esame [% in massa].

Table 1 - Analyzed steels chemical analysis [weight %]

Gli acciai 3-A e 5-A sono i riferimenti delle due classi al 3% e 5% Cr rispettivamente [5]. La temprabilità relativa degli acciai in esame è stata valutata tramite modelli metallurgici [3, 4] e successivamente validata tramite una attività sperimentale volta ad evidenziare l'effetto della velocità di raffreddamento e della grandezza del grano austenitico (quindi della temperatura di austenitizzazione). È stato valutato infine l'effetto della temperatura e del tempo di rinvenimento, finalizzati alla definizione del trattamento termico (su scala di laboratorio) per gli acciai considerati. I trattamenti termici di laboratorio sono stati eseguiti usando un forno a muffola. La velocità di raffreddamento è stata rilevata tramite termocoppia *k* inserita a cuore del campione. Campioni così trattati sono stati analizzati mediante microscopia ottica (MO) per la valutazione della dimensione del grano austenitico (AGS) e della microstruttura. Il grano austenitico è stato evidenziato tramite attacco con acido picrico e la microstruttura con Nital al 4%. La eventuale presenza di austenite residua è stata misurata tramite microscopia elettronica in modalità Electron Back Scattering Diffraction (EBSD).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Effetto della velocità di raffreddamento

I risultati ottenuti tramite modello metallurgico sviluppato dal CSM, basato sui riferimenti [3, 4], mostrano come gli acciai 5%Cr abbiano temprabilità più elevata rispetto a

quelli 3% Cr (Figura 2). La maggior temprabilità dell'acciaio 3-B rispetto al 3-A, nonostante la riduzione di Mo, è dovuta all'aumento di Cr. Nell'acciaio 5-B invece, la riduzione simultanea del tenore di Mo e Cr implica un calo di temprabilità. L'acciaio 5-C non è considerato nelle simulazioni in quanto la sua composizione chimica relativa non è inclusa nell'intervallo di applicabilità del modello utilizzato.

Per validare il modello metallurgico utilizzato sono state effettuate delle prove di tempra simulando le seguenti tre velocità di raffreddamento:

- 0,860 °C/s,
- 0,140 °C/s,
- 0,012 °C/s.

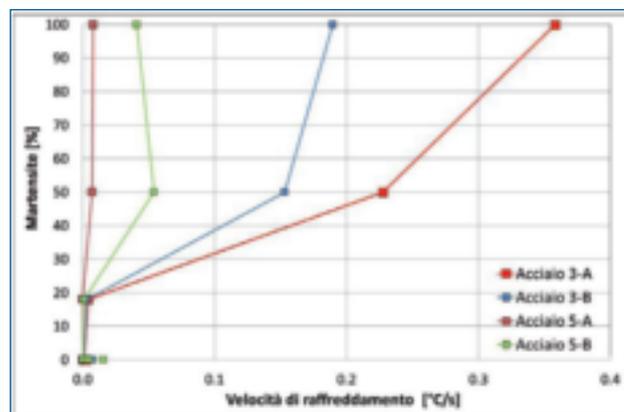


Fig. 2 - Valutazione della temprabilità relativa (calcolata).

Fig. 2 - Relative hardenability evaluation (from numerical simulations).

A titolo di esempio, nelle Figure 3 e 4 sono riportate rispettivamente le curve di raffreddamento e le microstrutture ottenute per l'acciaio 3-A (il meno temprabile tra quelli considerati in accordo con la Figura 2). Si nota che l'effetto della velocità di raffreddamento è tale da consentire il passaggio da una microstruttura completamente martensitica ad una ferritico-perlitica nell'intervallo di velocità di raffreddamento considerato.

Nella figura 5 è mostrato il confronto delle durezza ottenute dopo aver temprato i campioni a diverse velocità. Considerando una velocità di raffreddamento pari a 0,140

°C/s, i risultati sperimentali confermano la scala di temprabilità ottenuta dal modello. È interessante notare il crollo della durezza nell'acciaio 5-B a velocità di raffreddamento estremamente lente (0,012°C/s). A velocità di raffreddamento superiori (0,860°C/s) i materiali mostrano durezza confrontabili, dovute all'ottenimento di una struttura completamente martensitica in ognuno di essi (in Figura 6 è riportata la microstruttura dell'acciaio 3-B, a titolo di esempio). Tale velocità di raffreddamento può essere considerata tipica della tempra della tavola di un cilindro in un processo industriale. Perché la tenacità della tavola sia garantita, è richiesto inoltre che il contenuto di austenite residua sulla tavola sia inferiore al 3%. La presenza di austenite residua sui campioni martensitici raffreddati con velocità tipiche della tempra industriale è stata verifi-

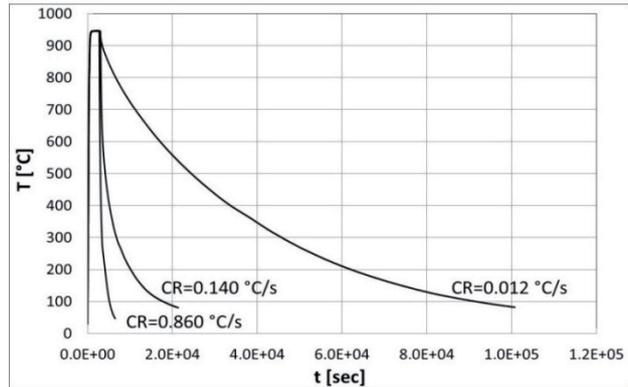


Fig. 3 - Curve di raffreddamento dell'acciaio 3-A a diverse velocità.

Fig. 3 - Cooling rates for 3-A type steel

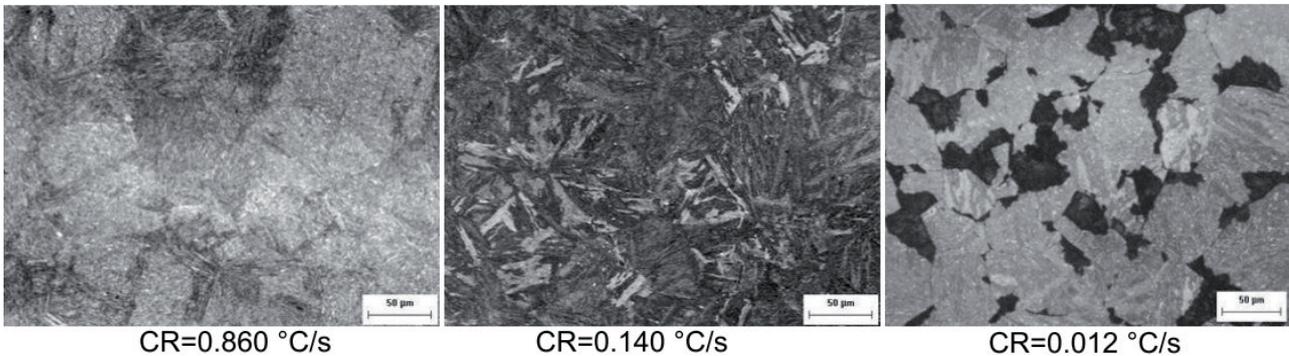


Fig. 4 - Effetto della velocità di raffreddamento (CR) sulla microstruttura dell'acciaio 3-A.

Fig. 4 - Cooling rate effect on 3-A type steel microstructure.

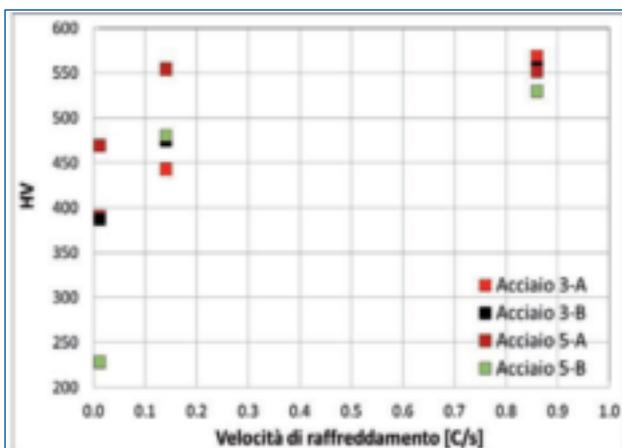


Fig. 5 - Valutazione della temprabilità relativa (sperimentale).

Fig. 5 - Relative hardenability evaluation (from experimental analysis).

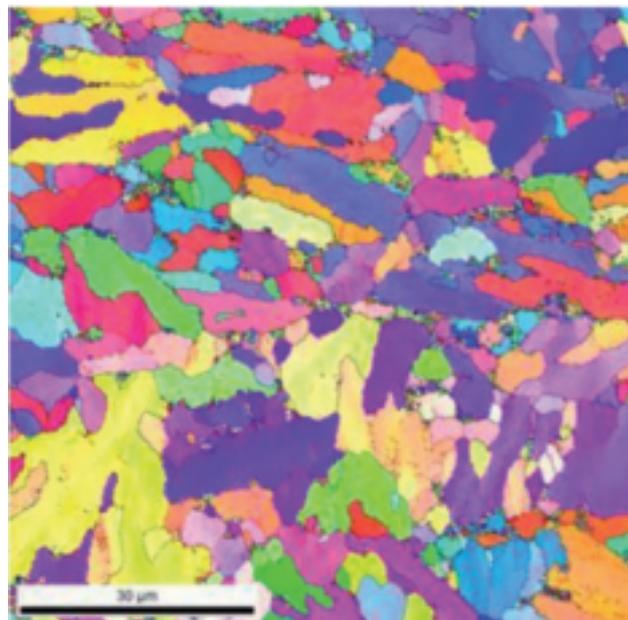


Fig. 6 - Esempio di microstruttura dopo raffreddamento con CR= 0.860 °C/s.

Fig. 6 - Microstructure after quenching with Cooling Rate= 0.860°C/s.

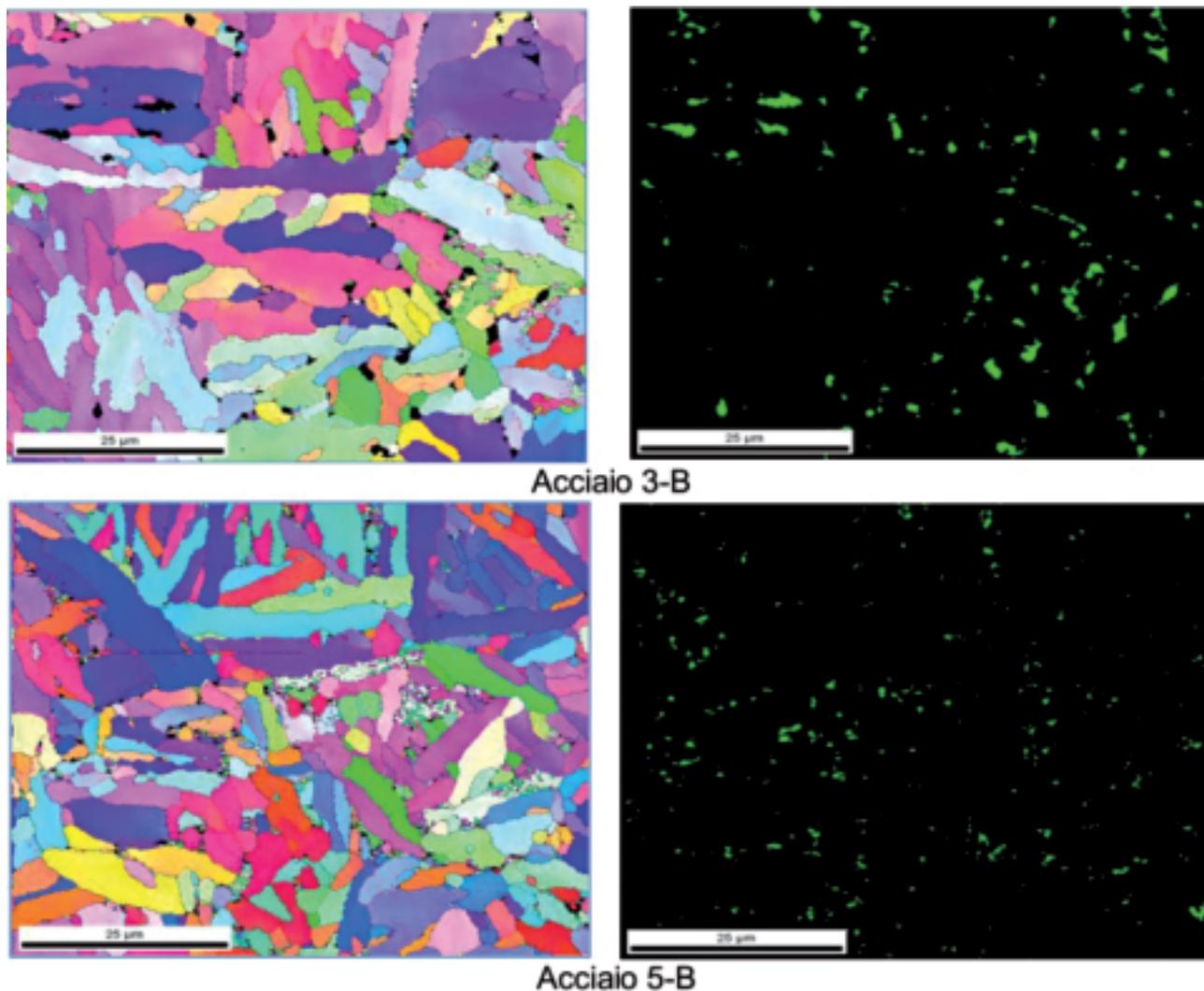


Fig. 7 - Figure polari inverse degli acciai 3-B e 5-B. L'austenite residua è rappresentata come fase nera nella matrice martensitica nelle immagini di sinistra e come fase verde nelle immagini di destra.

Fig. 7 - Inverse Pole Figures of 3-B type and 5-B type steels. Austenite is represented in black in the left picture and in green in the right picture.

cata tramite EBSD. I risultati, riportati in Figura 7 a titolo di esempio per gli acciai 3-B e 5-B, mostrano in entrambi i casi il contenuto di austenite residua inferiore al 3%.

Effetto della grandezza del grano austenitico

L'effetto del grano austenitico sulla temprabilità del materiale è stato valutato tramite trattamenti termici di laboratorio condotti a diverse temperature di austenitizzazione e successiva tempra. I risultati riportati nelle Figure 8a e 8b mostrano che nel caso degli acciai 3%Cr l'effetto della temperatura di austenitizzazione, quindi del grano austenitico, sulla temprabilità del materiale risulta trascurabile. Al contrario gli acciai al 5% Cr sono sensibili a tale effetto. Questo dato risulta importante anche nella definizione delle modalità di trattamento termico a livello industriale, in cui può risultare utile l'utilizzo di temperature di austenitizzazione superiori ai 1000 °C negli acciai 5% Cr.

Comportamento al rinvenimento

Le curve di rinvenimento dopo austenitizzazione a 930 °C (3%Cr) e 1010 °C (5%Cr), scelte in base ai risultati delle Figure 8, sono riportate nelle Figure 9. Da tali figure si evince che nella famiglia degli acciai 3%Cr, contenenti 0,10% di V, la durezza massima ottenibile dopo rinvenimento è di circa 550 HV. Negli acciai 5-A e 5-C (Figura 9b) si possono raggiungere durezza più elevate sfruttando il meccanismo di indurimento secondario dovuto alla presenza di V in contenuto fino a 0,30% che forma carburi. L'effetto del tempo di rinvenimento risulta essere trascurabile (Figura 10) così da permettere di ritenere i risultati ottenuti dopo 1 ora di trattamento (Figura 9) significativi anche da un punto di vista del processo industriale. Inoltre, l'estensione del tempo di rinvenimento da 1 ora a 20 ore (tipiche del trattamento industriale) non consente comunque l'attivazione di processi di precipitazione in acciai con tenore di V pari a 0,10% come ad esempio nell'acciaio 3-A riportato in Figura 10.

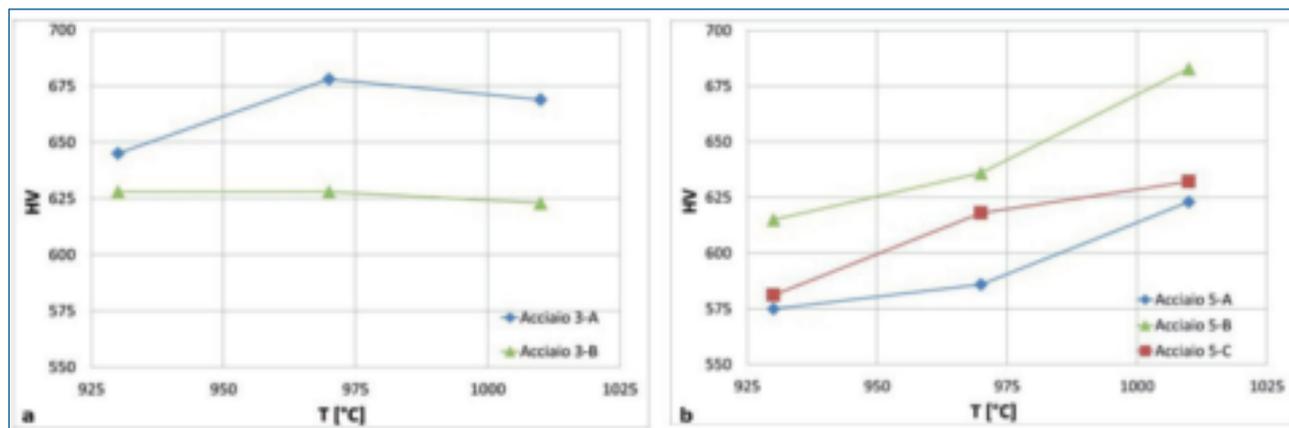


Fig. 8 - a) Effetto della temperatura di austenitizzazione sulla temprabilità degli acciai 3%Cr; b) Effetto della temperatura di austenitizzazione sulla temprabilità degli acciai 5% Cr.

Fig. 8 - a) Austenitizing temperature effect on 3%Cr type steels hardenability; b) Austenitizing temperature effect on 5%Cr type steels hardenability.

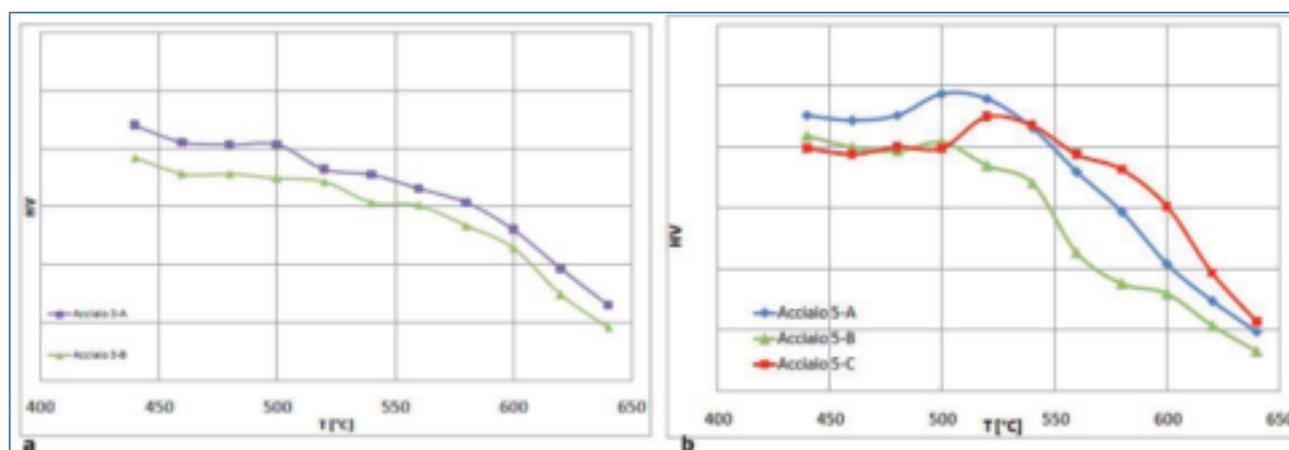


Fig. 9 - a) Comportamento al rinvenimento degli acciai 3% Cr (tempo di rinvenimento: 1 ora); b) Comportamento al rinvenimento degli acciai 5% Cr (tempo di rinvenimento: 1 ora).

Fig. 9 - a) Tempering temperature effect on hardness of 3%Cr steels (tempering time: 1h); b) Tempering temperature effect on hardness of 5%Cr steels (tempering time: 1h).

CONCLUSIONI

L'analisi condotta attraverso la guida di un modello metal-lurgico e una serie di simulazioni sperimentali mirate è tale da permettere di definire una scala relativa tra gli acciai analizzati che evidenzia la maggiore temprabilità di quelli con 5% Cr rispetto a quelli con 3% Cr. La maggiore temprabilità di acciai al 5%Cr è dovuta alla dimensione del grano austenitico ed alla composizione chimica. L'AGS risulta sensibile alla temperatura di austenitizzazione negli acciai con 5%Cr mentre risulta indipendente (fino a circa 1100 °C) negli acciai con 3% Cr. I trattamenti termici realizzati in laboratorio sono indicativi di quelli a livello industriale, consentendo pertanto l'ottimizzazione di modalità di trattamento sui cilindri.

Sono in corso prove meccaniche per valutare la tenacità degli acciai 3% e 5% Cr in modo tale da avere indicazioni anche relativamente alle caratteristiche meccaniche di ciascun materiale.

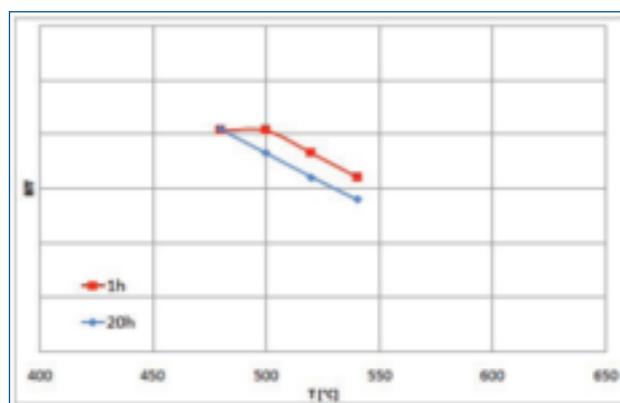


Fig. 10 - Effetto del tempo di rinvenimento sulla durezza (acciaio 3-A).

Fig. 10 - Tempering time effect on hardness (3-A type steel).

BIBLIOGRAFIA

- 1] L.W. Marston, S.Price, J.Mees, M.G.Kearney, Improved In-Service Performances of Large Forged Back Up Rolls through the Development of Steel Chemistry and Process Improvements,13th International Forgemasters Meeting, Pusan, Korea, October,1997.
- 2] G.Perni, A.Finali, A.Berretta, L.Callegari, Metallurgical Properties 5% CrMoV Steel for Back Up Rolls,14th International Forgemasters Meeting, Wiesbaden, Germany, September,2000.
- 3] P. Maynier, J. Dollet, P. Bastien, Rev. de Métall.67, 343-351 (1970).
- 4] P. Maynier, J. Dollet, P. Bastien, "Hardenability concepts with application to steel" D.V. Doane and J.S. Kirkaldy, eds. TMS-AIME, Warrendale, PA, 1978, pp. 163-168.
- 5] M.A.Grossman, E.C.Bain,Principles of Heat Treatment, 5th edition, ASM, USA, 1964.

Si ringrazia Roberto Esposto per il contributo relativo all'analisi di austenite residua.

ALLOYING ELEMENTS EFFECT ON HARDENABILITY AND TEMPERING OF BACK UP ROLLS STEELS WITH REDUCED Mo CONTENT

Keywords: Back up rolls, Hardenability, Alloying elements, Microstructure

To fulfill the industrial demand of differentially hardened back up rolls with increased service performances and reduced costs, research into new chemical compositions of traditional steels, based on 3%Cr and 5%Cr has been carried out, to optimize the combination between micro-structure and mechanical properties. The effect of alloying elements on hardenability and mechanical properties of both 3% and 5% Cr steel with low Mo content has been evaluated. The hardenability of different material variants is determined by both experimental tests and metallurgical models, thereby allowing a direct comparison between the considered materials. The effect of tempering conditions (time and temperatures) is analyzed and aimed at defining the proper process conditions, suitable for achieving the desired mechanical properties and reaching in-service performances comparable to those of standard products. Moreover, the EBSD analysis revealed that the content of residual austenite was lower than the critical value for roll reliability.