

LIMITI DELLA PROVA JOMINY PER LA VALUTAZIONE DELLA TEMPRABILITA'

Elio Gianotti . Trattamenti Termici Ferioli e Gianotti SpA Rivoli – Torino.

Abstract

È sempre più frequente imbattersi in colate di acciai chimicamente uguali, che hanno caratteristiche di temprabilità fortemente diverse.

Questa anomalia era già presente da tempo negli acciai da bonifica al Carbonio, ora si è estesa agli acciai legati al Cr Mo che sono la stragrande maggioranza degli acciai legati da bonifica oggi utilizzati.

Le caratteristiche meccaniche sono le più penalizzate in questi casi, perché diventa difficile, a chi fa il trattamento termico, garantire le richieste progettuali. È necessario ad ogni cambio di colata trattare alcuni pezzi secondo parametri di tempra normali e verificare la risposta in termini di durezza dopo tempra. In base a questi risultati si dovrà aumentare o diminuire la drasticità del liquido di tempra per portare la durezza superficiale a valori di circa 500 HB, che è un limite oltre al quale si corre il rischio di avere delle rotture dei pezzi e al disotto di non ottenere microstrutture e caratteristiche meccaniche conformi e sufficienti.

Se non si riesce ad ottenere con i liquidi e le tecniche di tempra a disposizione questo risultato i pezzi corrono il rischio di dover essere rottamati. Purtroppo né l'analisi chimica né la prova Jominy danno indicazioni attendibili a questo riguardo, per cui i dati che fornisce l'acciaieria non sono probanti della temprabilità del materiale ed il cliente può trovarsi di fronte ad un prodotto già formato a caldo od a freddo, a volte con notevole valore aggiunto, che non corrisponde alle caratteristiche meccaniche progettuali richieste.

In questo lavoro si approfondisce dapprima il comportamento di due colate in acciaio da bonifica al Cr Mo, simili per composizione chimica e prova Jominy ma con temprabilità molto diversa, per arrivare ad adottare delle modifiche alla esecuzione della prova Jominy che possano evidenziare in modo netto le diverse temprabilità di due colate apparentemente uguali.

Key word: Jominy, temprabilità, profondità di tempra, acciai Cr Mo.

Introduzione

Le caratteristiche meccaniche degli acciai sono essenzialmente determinate dalle trasformazioni allotropiche del ferro e le trasformazioni allotropiche sono influenzate dagli elementi leganti.

Un acciaio al carbonio correttamente bonificato possiede sicuramente caratteristiche meccaniche superiori a quelle di un acciaio legato grezzo di fusione o di stampaggio a caldo.

La capacità di un acciaio di indurirsi in seguito a variazioni termiche più o meno veloci viene definita temprabilità.

La temprabilità è legata alla quantità di elementi leganti e misura quanto questi siano in grado di influenzarla.

Si è normalmente portati a considerare leganti solo gli elementi volutamente aggiunti nell'acciaio, ma agli effetti della temprabilità influiscono sicuramente anche quelle che possono essere chiamate impurezze perché arrivano dal minerale di partenza per la produzione della ghisa quali P, S, V, W, Sn, Nb ecc. oppure dalla rifusione del rottame, soprattutto Cu e Pb.

Assieme alle impurezze sono presenti delle inclusioni, normalmente ossidi, solfuri, silicati, che interagiscono anch'esse con le caratteristiche meccaniche.

Mentre le impurezze, se agiscono come elementi leganti, non creano con la loro presenza fasi disomogenee, le inclusioni creano fasi diverse che interrompono la continuità della struttura cristallina e possono influenzare più o meno negativamente, a seconda della loro forma e dimensione, le caratteristiche meccaniche.

Sia le impurezze che le inclusioni sono legate essenzialmente a due cause, la loro presenza nel minerale di partenza e l'accuratezza dell'elaborazione dell'acciaio, per cui statisticamente l'abbondanza delle prime fa prevedere una presenza notevole anche delle altre; come diretta conseguenza la loro abbondanza può provocare un grano cristallino grossolano.

Gli acciai più "sporchi" sono naturalmente quelli che provengono dalla rifusione dei rottami e sono quelli più temprabili, gli acciai che provengono dall'alto forno sono più "puliti" ma meno temprabili a parità di elementi leganti.

L'esecutore del trattamento termico ed in modo particolare il trattamentista termico conto terzi si trova continuamente nella difficoltà di decidere quale mezzo temprante utilizzare per ottenere dopo tempra dei valori di durezza intorno a 500 HB. Durezze maggiori sono pericolose per i rischi di rottura dei pezzi, durezze inferiori sono indice di drasticità di tempra insufficiente e quindi di microstrutture non accettabili.

La composizione chimica e la prova Jominy sono i due parametri normalmente disponibili, che l'acciaieria offre a garanzia della temprabilità delle colate, ma la pratica quotidiana dimostra come a volte questi valori siano addirittura fuorvianti.

In questo lavoro vengono prese in considerazione due colate in acciaio da bonifica al Cr Mo che hanno composizione chimica e prova Jominy molto simili, ma che, a livello industriale, nella tempra in olio hanno un comportamento completamente diverso. Dopo trattamento termico una colata presenta una durezza superficiale di 320 HB mentre l'altra di 600 HB pur avendo i pezzi spessori uguali, pari a circa 40 mm.

È chiaro che la prima ha una microstruttura non accettabile mentre con la seconda si sono avute parecchie rotture di tempra.

Parte sperimentale

Si è proceduto ad eseguire una serie di esami chimici e microstrutturali per ciascuna colata al fine di verificare se esistono delle diversità tali da giustificare l'enorme diversità della temprabilità riscontrata a livello industriale nella tempra in olio.

La colata più temprabile è stata identificata con la lettera A l'altra con B.

1) Analisi chimica

Comparazione delle composizioni chimiche				
	Colata A		Colata B	
	<i>F & G</i>	<i>Cogne</i>	<i>F & G</i>	<i>Cogne</i>
C	0,40	0,37	0,37	0,35
Si	0,23	0,26	0,17	0,21
Mn	0,80	0,74	0,79	0,73
Cr	1,18	1,10	1,10	1,02
Ni	0,170	0,18	0,086	0,11
Mo	0,21	0,22	0,16	0,19
Cu	0,38	0,28	0,27	0,19
Al	0,027	0,022	0,013	0,008
S	0,014	0,014	0,0033	0,002
P	0,0078	0,013	0,0030	0,007
Sn	0,014	0,014	0,011	0,010
V	0,016	0,02	0,016	0,02
W	0,01	0,02	0,01	0,02
Co	0,01	0,02	0,01	0,02
B	N p	N d	N p	N d

Tab.1 Composizione chimica delle due colate eseguite nei laboratori Cogne e Ferioli & Gianotti.
La colata A dopo tempra in olio dà una durezza HB 600, la B dà HB 320.

Nell'analisi chimica la leggera diversità del contenuto di C e di alcuni altri elementi ed impurezze non è tale da giustificare la forte diversità nella temprabilità delle due colate.

2) Micropurezza. Secondo ASTM metodo a campi peggiori riscontrati

Colata A

2.5-SA e 0.5-GA: solfuri corti e spessi (spessore prevalente $1.5 \div 2 \mu\text{m}$; lunghezza $7 \div 10 \mu\text{m}$).
 $S=0.014$

1-SD: spessore prevalente ossidi inferiore a $2 \mu\text{m}$. $Al=0.022$

Colata B

solfuri assenti $S=0.002$

1.5-SD e 0.5-GD: spessore prevalente ossidi $3 \div 4 \mu\text{m}$. $Al=0.008$

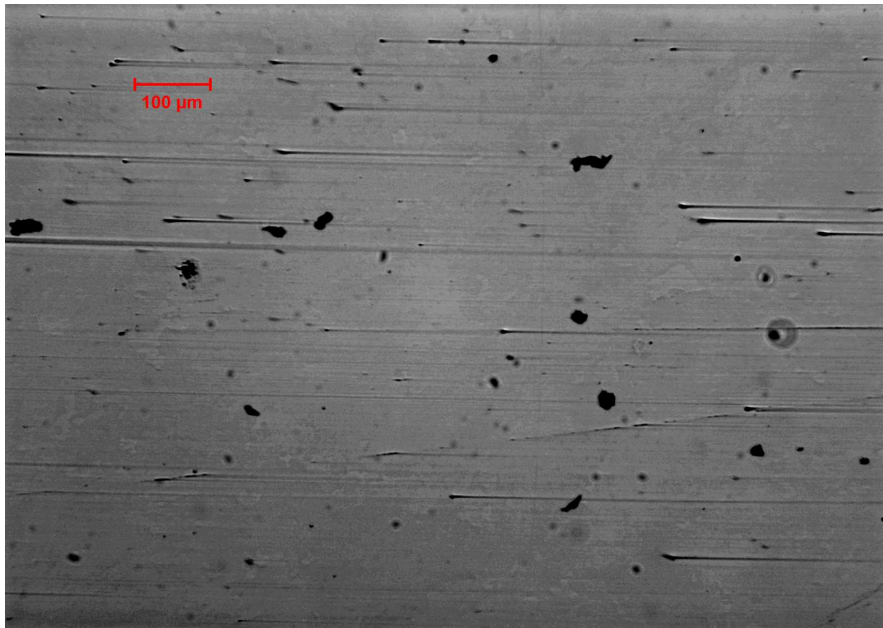


Fig.1 Colata A inclusioni.

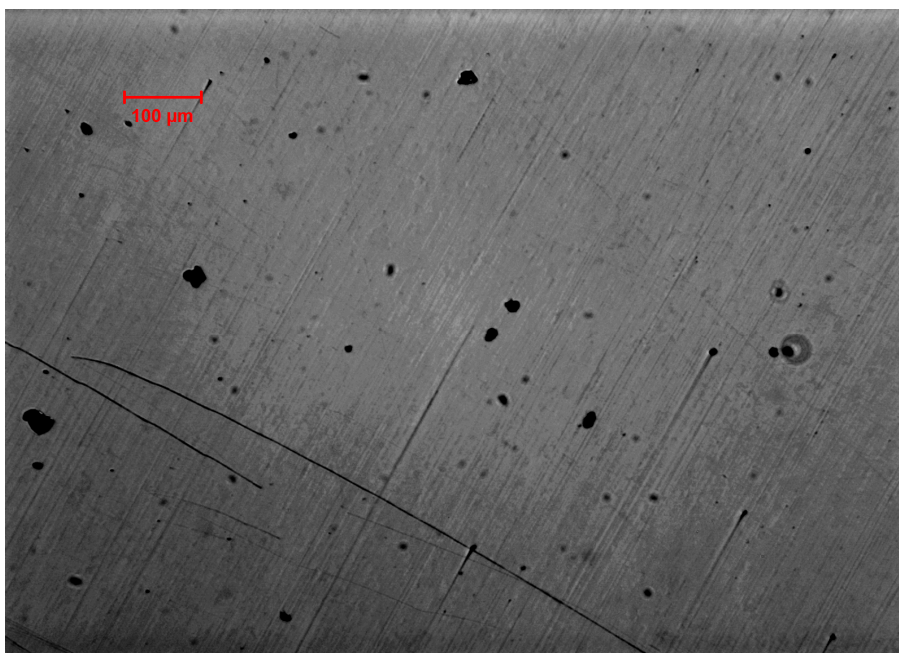


Fig.2 Colata B Inclusioni

3) Microstruttura allo stato ricotto

Sui provini delle due colate è stata eseguita una ricottura completa con austenitizzazione a 920°C e raffreddamento lento in forno al fine di evidenziare eventuali disomogeneità o bandature all'interno dei pezzi.

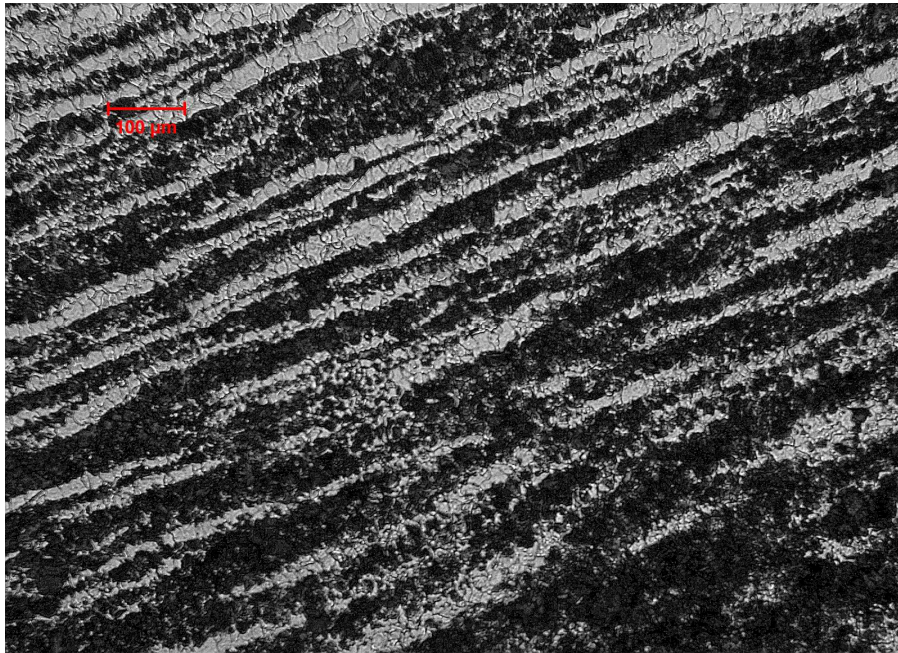


Fig.3 Colata A ricotta. Microstruttura 100X. Zona verso la superficie. Bandatura accentuata, non accettabile (tab.50261 FIAT). Grano 6-7 (UNI 3245).

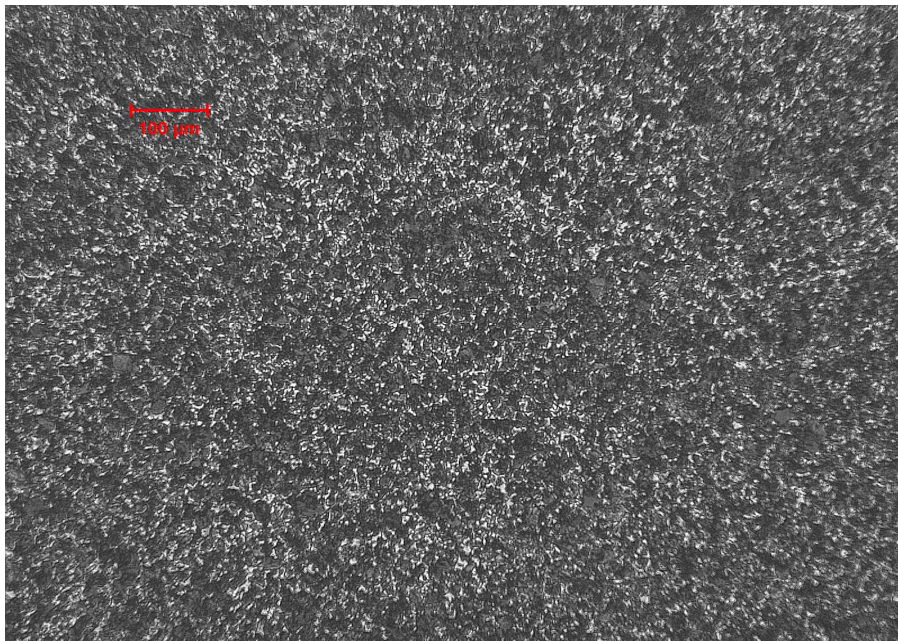


Fig.4 Colata B ricotta. Microstruttura 100X. Grano molto fine, maggiore di 8 (UNI 3245).

4) Microstruttura allo stato temprato

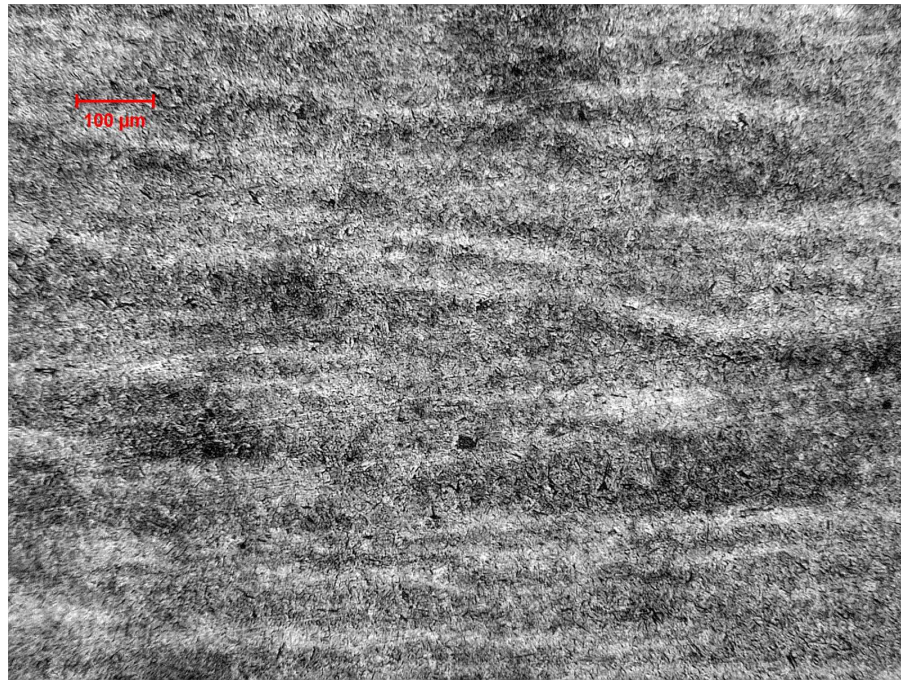


Fig.5 Microstruttura 100X della colata A a tutta tempra. Sono ancora evidenti le bandature notevoli della colata già rilevate con la ricottura. Sia le zone chiare che quelle scure ingrandite a 1000X si rivelano totalmente martensitiche con durezza di 600 - 620 HV per le zone più scure e 640 - 660 HV per le zone più chiare.



Fig.6 Microstruttura 100X della colata B a tutta tempra.

In fig.6 si sono evidenziate delle bandature che non erano apparse nella ricottura. Le zone più scure presentano una durezza di 330 - 350 HV e sono completamente bainitiche, mentre le zone chiare hanno una durezza di 450 - 480 HV e sono costituite da bainite con isole di martensite.

Resta da chiarire perché la disomogeneità a bande non si sia rivelata già fin dalla ricottura.

Le zone più chiare sono sicuramente più ricche di carbonio e di elementi leganti e sono riuscite ad attraversare la curva M_g , mentre la altre no.

E' chiaro che con una tempra più drastica, usando ad esempio olio additivato con drasticizzanti, oppure con tempra in acqua e glicoli o polimeri, o addirittura con tempra interrotta in acqua, la differenza di fasi risulta eliminata, anche se si continua a notare una differenza di colori dovuta ad una diversa concentrazione di carbonio nella martensite. È quanto si può notare in fig.7 dove la durezza misurata dopo tempra sul pezzo della colata B è risultata 640 HV (600HB).

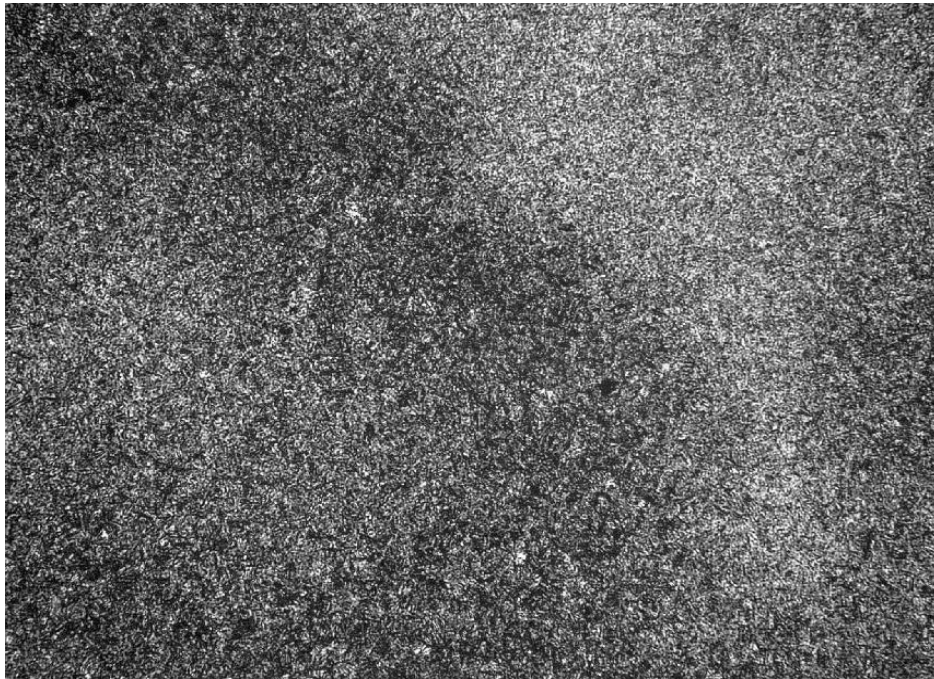


Fig.7 Colata B. Tempra in olio drastico. Durezza 640 HV. Microstruttura totalmente martensitica.

5) Prova Jominy

La prova Jominy, di abbastanza facile esecuzione, viene considerata il test per eccellenza per verificare la temprabilità di una colata o di una categoria di acciai. Le acciaierie forniscono infatti su semplice richiesta la curva Jominy della colata acquistata e addirittura riportano sui loro cataloghi le cosiddette bande Jominy per ogni categoria di acciaio da costruzione che producono. Si arriva addirittura a chiedere, nel caso di ordine di una colata, di avere una temprabilità contenuta nella parte media superiore o inferiore della banda riportata a catalogo, al fine di cautelarsi per ottenere le caratteristiche meccaniche progettuali a seconda degli spessori dei pezzi da temprare. Facendo riferimento a questa prassi ormai universalmente accettata sono stati eseguiti dei saggi Jominy sulle due colate per verificare dall'analisi dell'andamento delle curve relative quale correlazione poteva esistere fra le due durezze anomale dopo tempra delle due colate e le relative curve ottenute dai provini.

L'analisi delle due curve riportate nella fig.8 non mette in evidenza l'enorme diversità delle durezze superficiali ottenute dopo tempra dei pezzi delle relative colate e quindi in questo caso le curve Jominy sono di nessun aiuto al trattamentista, semmai diventano un elemento in più di confusione.

Il confronto del test con i risultati pratici contribuisce però a spiegare il comportamento anomalo. Nella prova Jominy il raffreddamento avviene usando acqua lanciata contro la provetta e quindi “acqua agitata”, mentre la tempra dei pezzi avviene in vasca di olio.

Prova Jominy UNI 3150

mm	A	B
1,5	57	57.5
3	57	56
5	56	55
7	56.5	55
9	55.5	55
11	55	55
13	54	52.5
15	53.5	50
20	51	47
25	48	41
30	44.5	38
35	43.5	37
40	43	36
45	42.5	34.5
50	42	34
55	41.5	34
60	41	34
65	41	34

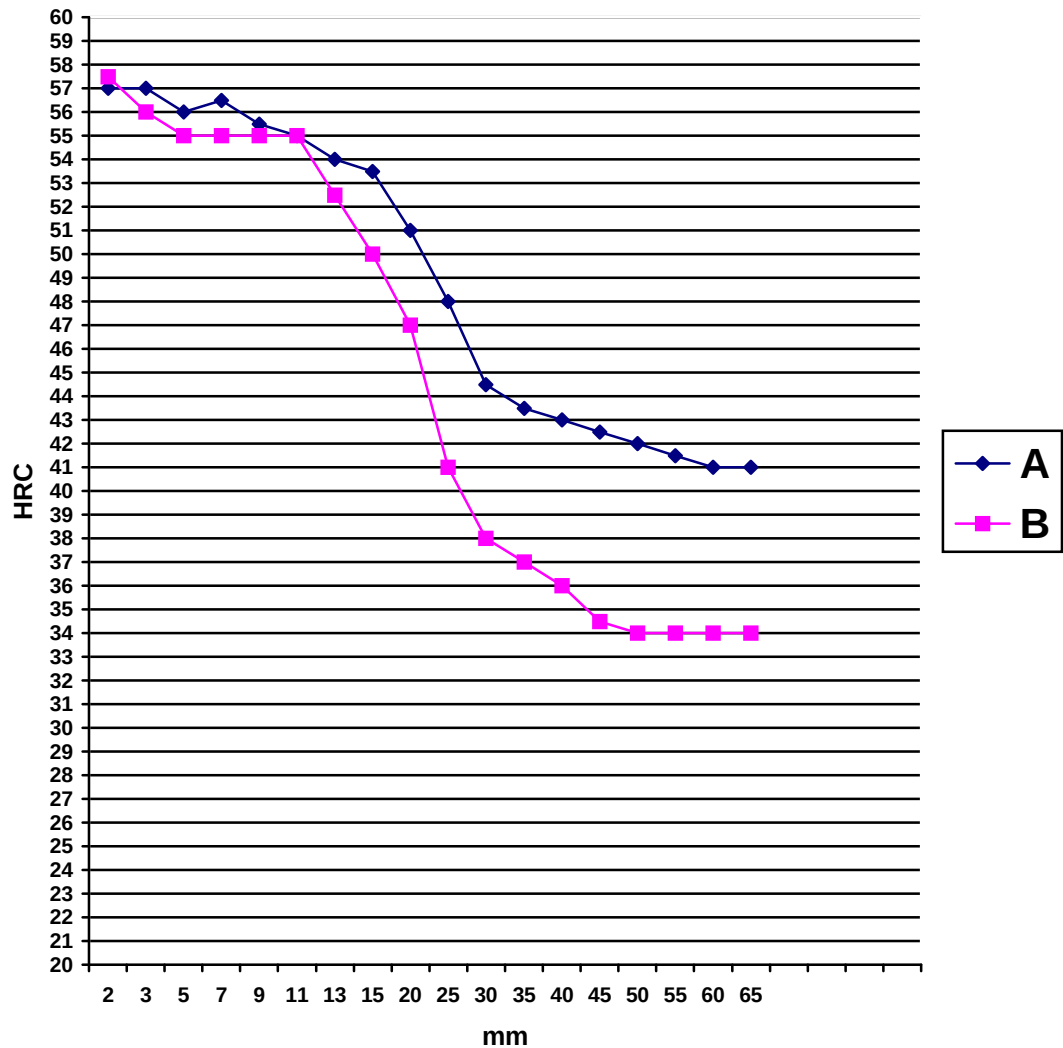


Fig.8 Prova Jominy tradizionale fatta sulla colata A (temprabile) e sulla colata B (poco temprabile).

L’elevata drasticità dell’acqua all’estremità della provetta mette in evidenza soprattutto il tenore di carbonio lasciando in secondo piano l’influenza degli elementi leganti, la quale viene evidenziata solo da una certa distanza in poi da tale estremità.

Per avere dei dati della prova Jominy che siano paragonabili e quindi utilizzabili nell’esecuzione pratica del trattamento termico dei pezzi è necessario usare un liquido uguale, quindi in questo caso l’olio. In fig.9 sono riportate le curve Jominy ricavate usando l’olio al posto dell’acqua dalle quali si può notare come le durezze vicino l’estremità dei provini siano in accordo con i risultati pratici della tempra dei pezzi a livello industriale, perché l’olio, al contrario dell’acqua, non privilegia l’influenza del C rispetto agli elementi leganti ma pone il test nelle stesse condizioni di quelle operative industriali.

Per completezza va ancora detto che prove fatte utilizzando formule che usano la composizione chimica dell'acciaio hanno dato delle curve Jominy con scarti in alcuni punti molto forti dall'andamento delle curve sperimentali che peraltro hanno i limiti testé elencati e quindi tali formule sono doppiamente non valide.

6) Conclusioni

Purtroppo tutti gli esami effettuati con i normali mezzi di analisi metallurgica non sono riusciti a dare una giustificazione alla diversità enorme di durezza dopo tempra di due colate apparentemente uguali e quindi il problema non è stato risolto. E' probabile che la scienza metallurgica debba ancora fare qualche passo avanti nella comprensione dei fenomeni che entrano in gioco quando si parla di temprabilità.

Nel corso delle ricerche si è però evidenziato che la prova Jominy così come è stata concepita non è di aiuto nella pratica dei trattamenti termici perché piccole differenze nelle curve possono corrispondere a grandi differenze nella pratica industriale, tali da creare seri problemi nella conduzione degli impianti e nell'ottenimento di risultati metallurgici corretti.

L'utilizzo dell'acqua come mezzo raffreddante la rende adatta solo per gli acciai ed i particolari che devono essere temprati in acqua. Nel caso di acciai che vanno temprati in altri liquidi, affinché la prova abbia un significato valido ed utilizzabile a livello industriale deve essere utilizzato lo stesso liquido del processo industriale, anche se questo comporta non poche difficoltà operative non sempre superabili come ad esempio nel caso dei sali fusi.

Prova Jominy UNI 3150

	Provetta	
mm	A	B
1,5	52	36
3	51	35
5	49	34
7	48	33
9	48	33
11	47	33
13	46	32
15	44	32
20	44	32
25	43	32
30	42	31
35	42	31
40	42	31
45	41	31
50	41	30
55	40	30
60	40	30
65	40	29
70	40	29
75	40	28
80	39	28
85	39	27

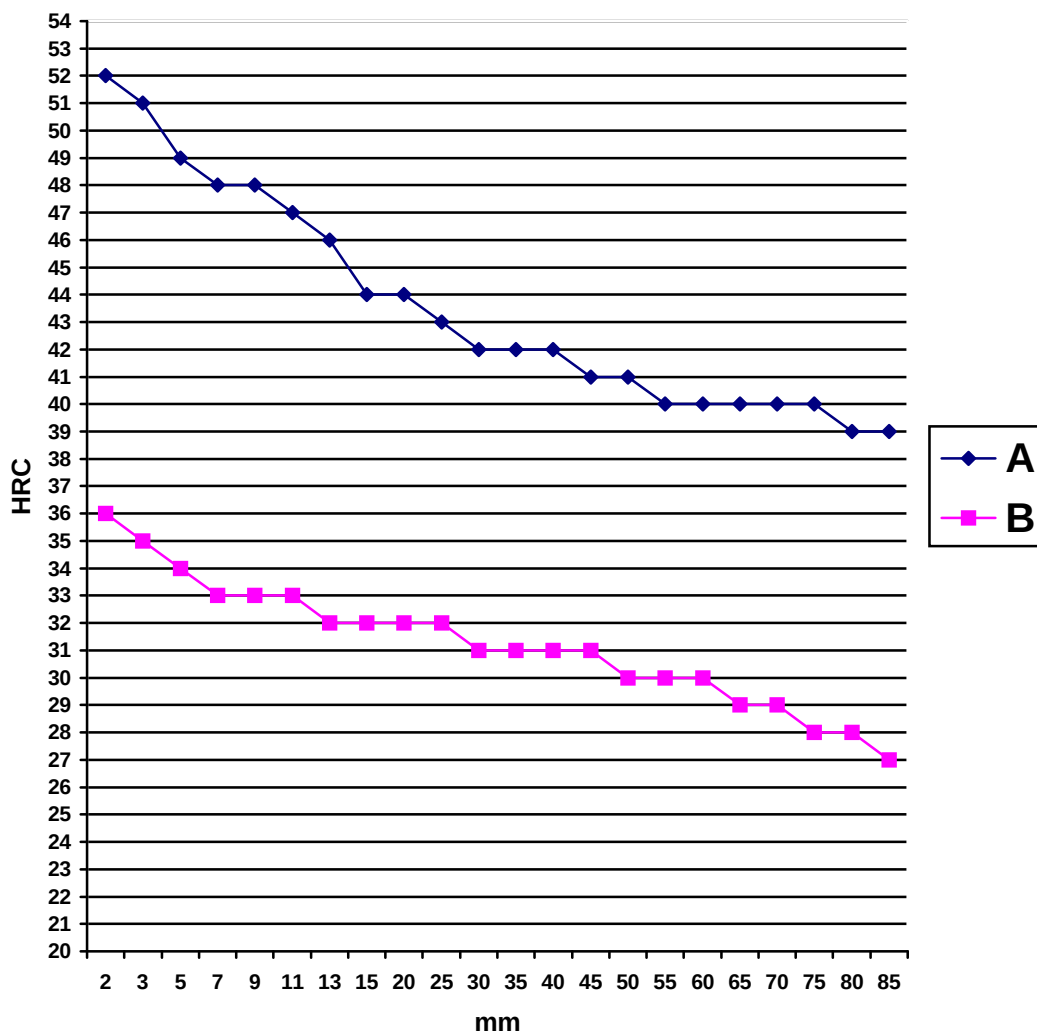


Fig.9 Prova Jominy fatta utilizzando olio al posto dell'acqua come mezzo temprante. Restano chiaramente evidenziate: la colata A temprabile, la colata B poco temprabile.

TABELLA RIASSUNTIVA DELLE CARATTERISTICHE METALLURGICHE CHE POSSONO INFLUIRE SULLA TEMPRABILITA' DELLE DUE COLATE ESAMINATE

Colata	Composizione chimica	Grano cristallino (secondo UNI3245)	Inclusioni (Sec.ASTM) solfuri
A molto temprabile	Leggerm. + ricca di B	6-7 (+grossolano di B)	2.5 - SA ; 0.5 - GA
B poco temprabile	Leggerm.+ scarsa di A	>8 (+ fine di A)	Assenti

Colata	Inclusioni (Sec.ASTM) Ossidi	Bandatura	
		Allo stato ricotto	Allo stato temprato
A molto temprabile	1 - SD	Molto forte	Molto forte
B poco temprabile	1.5 - SD ; 0.5 - GD	Non bandata	Mediamente bandata

CONSIDERAZIONI

Le inclusioni degli ossidi e dei solfuri rispecchiano la composizione chimica delle due colate, infatti lo zolfo è molto più basso nella colata B, mentre la minor quantità di ossidi nella colata A è in accordo con la maggior quantità % di Al.

Le uniche caratteristiche metallurgiche che potrebbero far pensare ad una maggiore temprabilità della colata A sono la composizione chimica leggermente più ricca e la grossezza del grano cristallino leggermente più grande, ma le entità delle variazioni sono così deboli da non giustificare l'entità della variazione di temprabilità.

La bandatura può essere un indice di scarsa omogeneità dovuta ad uno stirring condotto male o, nel caso di colata in lingotto, ad un raffreddamento troppo lento, ma la sua dimensione microscopica non può influire sulla durezza Brinell che ha dimensioni tali da mediare tali disomogeneità. Prove successive su di un'altra colata molto poco temprabile, che dava 320 HB dopo tempra (vedi tabella e microstruttura fig.10), paragonabile come durezza alla colata B, ha rivelato una bandatura fortissima, segno che non esiste correlazione con la temprabilità.

Va ancora notato che anche in questa colata la composizione chimica non dà indicazioni utili a comprendere la bassissima temprabilità:

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	Ti
0.43	0.26	0.85	0.011	0.003	1.03	0.13	0.20	0.23	0.025	0.005

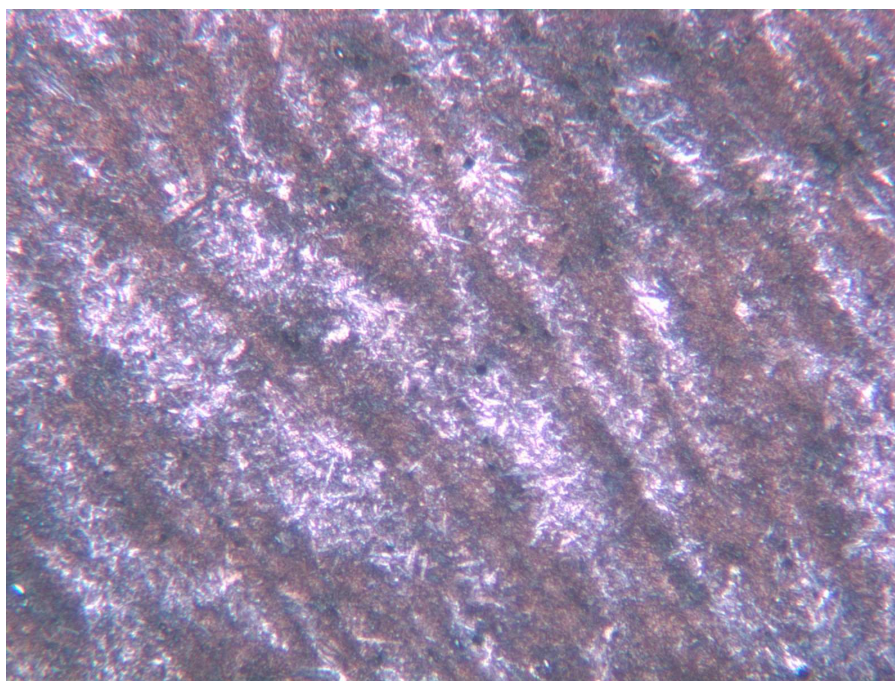


Fig.10 Composizione chimica e bandatura di una colata risultata poco temprabile (HB 320 dopo tempra in olio)

JOMINY TEST FAILURES ON THE STEEL HARDENABILITY EVALUATION

ABSTRACT

It's always more frequent to find heats having the same chemical composition but very different hardenability from each other.

This strange behaviour was well known since years ago in the structural carbon based steels, but now become frequent also in the structural Cr Mo steels that are the most utilized today in the industrial mechanical constructions.

From this anomaly arises the problem that is very difficult for the heat treaters to guaranty the mechanical properties homogeneity of the pieces made by different heats and, same time, also to reach the engineering requests.

It should be necessary, for every change of heat, to quench in oil a sampling made by that heat, with the same dimension of the pieces and verify the surface hardness.

The hardness value after quenching will be an indication to increase or to decrease the drasticity of the quenching media to obtain the optimum 500 HB surface hardness after quenching that is the limit to avoid cracking in the pieces and at the same time to obtain a good microstructure to guaranty conformity in mechanical properties.

Without to obtain this result of hardness after quenching in the appropriate media, the pieces might be classified as scrap material. Unfortunately the chemicals composition and the Jominy test don't give normally reliable indications about this behaviour, the data that give us the steelmaker are not sufficient to indicate the true hardenability of the heat and the customer can arrive to have the pieces forged and finished that don't reach the requested mechanical property with remarkable damage.

In this work we examine first the behaviour of two heats of Cr Mo structural steel that have the same chemical composition and Jominy test, but giving, after quench of the hot stamped pieces, HB hardness very different from one heat to the other. We arrive to the end of the work to propose same modification at the Jominy test to put better in evidence the true difference in the hardenability and to have earlier indications about eventual unacceptable differences of the heats.

Key words: Jominy, hardenability, effective depth of hardening, structural Cr Mo steels.

Tab.1: Chemical composition of the heat A and hat B. The hardness after oil quenching of heat A is HB 600, for the heat B is only HB 320.

Fig.1: Heat A, inclusions, 100x.

Fig.2: Heat B, inclusions, 100x.

Fig.3: Heat A annealed. Surface zone microstructure 100x. Unacceptable banded structure.

Fig.4: Heat B annealed. Surface zone microstructure 100x. Thin grains, better than 8 (UNI 3245).

Fig.5: Microstructure 100x of the heat A after quenching. There are still evidence of the big bandage found on the previous annealed structure (see fig.3). The dark zone are 600-620 HV, the white zone 640-660 HV.

Fig.6: Microstructure 100x of the heat B after quenching. The dark zones are 300-350 HV, the white zones 450-480 HV.

Fig.7: Microstructure 100x of the heat B after quenching in high cooling capacity oil. HV 640 is the uniform hardness of the martensite.

Fig.8: Traditional Jominy test on the heat A (high hardenability) and the heat B (low hardenability).

Fig.9: Jominy test made utilizing oil instead of water as quenching media. It's clearly evidenced the difference between heat A and heat B (high and low hardenability).

Fig.10: Chemical composition and bandage found on a heat with low hardenability (HB 320 after quenching in oil without additives).