

FRAGILITA' INDOTTA DA CARBURAZIONE E DA IDROGENAZIONE NELLA BULLONERIA A.R.

Giorgio Scavino "Politecnico di Torino".

Fabio D' Aiuto "Politecnico di Torino".

Elio Gianotti "Trattamenti Termici Ferioli e Gianotti S.p.A." Rivoli –Torino.

Introduzione

Uno dei più frequenti motivi di scarto nel campo della bulloneria o tiranteria è la fragilità che si manifesta sul pezzo finito, trattato termicamente, dopo il rivestimento galvanico.

È comune cultura metallurgica eseguire subito dopo il rivestimento galvanico un trattamento di distensione intorno ai 200°C per una durata di almeno 4 ore, al fine di permettere all'idrogeno inglobato nel reticolo cristallino, durante il trattamento elettrolitico, di uscire e detensionare la struttura cristallina dell'acciaio.

Quando per risparmiare o semplicemente per disorganizzazione aziendale la deidrogenazione non viene fatta, l'idrogeno intrappolato crea tensioni che vengono ad aggiungersi a quelle esistenti.

Nel caso di materiale ricotto o bonificato a durezza contenute, come ad esempio la bulloneria 10.9 ($R > 1000 \text{ N/mm}^2$) il reticolo cristallino può assorbire queste tensioni senza creare problemi di fragilità.

Nel caso di durezza oltre 50 HRc, quando il bullone o il tirante viene avvitato, la somma delle tensioni create dalla tempra, dall'idrogeno e dal serraggio possono superare il limite di rottura ed il bullone o il tirante si schianta.

La situazione è ancora più critica nel caso di viti carbonitrate perché in questo caso la durezza superficiale supera i 60 HRc.

Non è sempre detto che stesse condizioni di durezza e di idrogenazione creino uguali sintomi di fragilità; entrano in gioco anche le caratteristiche meccaniche dell'acciaio, soprattutto l'allungamento che migliora con elementi leganti quali il Ni, o con la diminuzione del tenore di C.

A parità di acciaio, o addirittura nella stessa colata, entrano in gioco impurezze, micro disomogeneità superficiali, microcricche di laminazione ecc.

Esiste infine una ulteriore variabile che viene introdotta durante il trattamento termico di bonifica della tiranteria ed è la carburazione superficiale.

Scopo di questo lavoro è accertare nel caso di fragilità dei bulloni o tiranti ad alta resistenza in 40CrMo4 quale può essere l'influenza della carburazione superficiale di qualche decimo di mm. dovuta ad una atmosfera del forno di tempra non ben controllata, e quella della presenza di idrogeno dovuta alla mancata deidrogenazione.

Parte sperimentale

È stata scelta una colata di 40CrMo4 con composizione chimica esposta in tab.1

%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Cu	%Al	%Sn
0.44	0.17	0.77	0.010	0.024	0.98	0.21	0.22	0.19	0.024	0.021

Tab.1 Composizione chimica della colata di 40CrMo4.

Tale colata era stata utilizzata per costruire un lotto di forcelle a tiranti tipo 10.9 che prevede una resistenza a cuore di 304-357 HB pari a 32-38 HRc.

Questo lotto aveva dato problemi perché 5 forcelle si erano rotte poche ore dopo il montaggio eseguito con chiave dinamometrica. Le rotture si erano verificate nella parte cilindrica dei tiranti

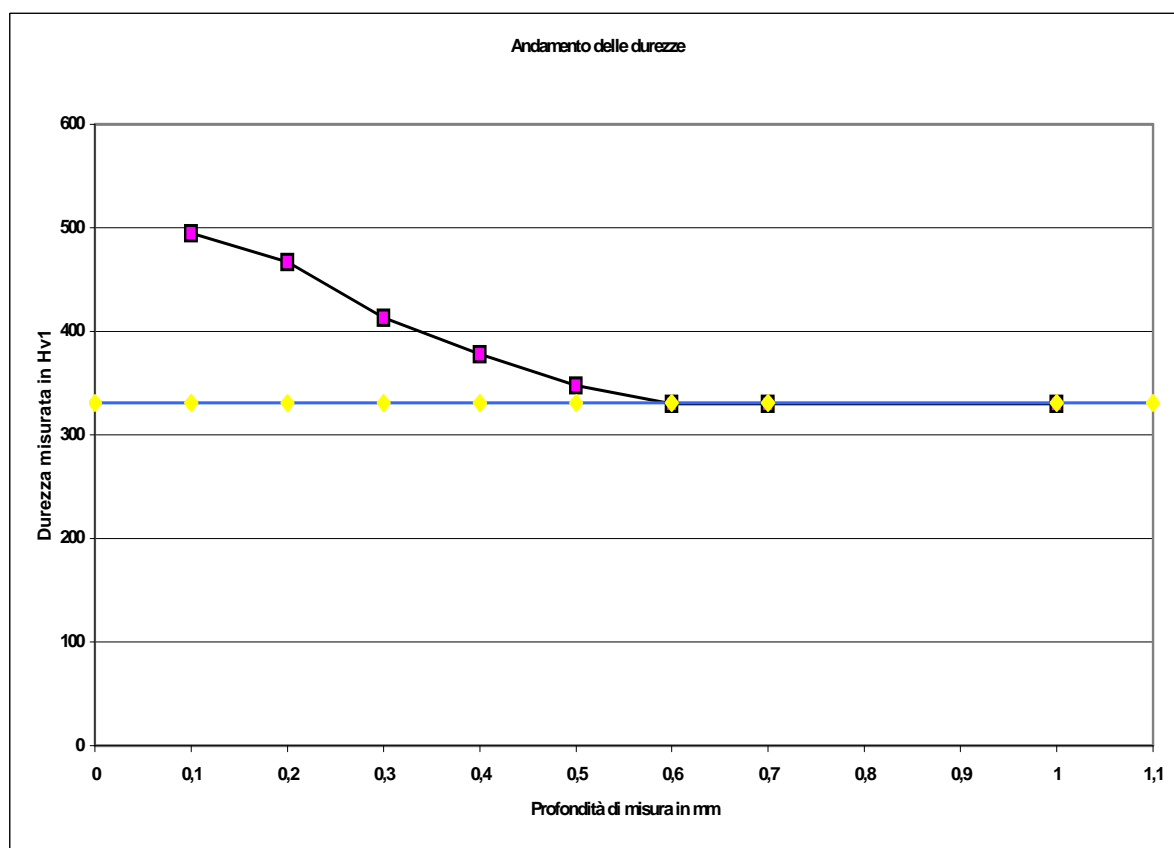
anziché nel filetto e questo costituiva un comportamento strano che poteva far pensare a qualche difetto preesistente nel punto di rottura.

A seguito di esami di laboratorio per accertare le cause delle rotture si era evidenziato che i tiranti si erano carburati per una profondità totale di circa 0.6 mm durante la fase di riscaldamento per la tempra (vedi diagramma 1).

Il carbonio superficiale è risultato pari a 0.87 %.

Era stata inoltre rilevata presenza di H₂ evidenziata con il metodo della paraffina liquida.

Prof. mm	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1	1,1
HV1 trovato		495	467	413	378	348	330	330	330	
HV1 a cuore	331	331	331	331	331	331	331	331	331	331



Diagr.1 Andamento della durezza corticale sui bulloni carburati durante il riscaldamento di austenitizzazione a 850°C per due ore, con successiva tempra in olio e rinvenimento a 580°C per quattro ore.

L'esame macro-microscopico non aveva rilevato alcunché di anomalo nella zona di rottura, così pure l'analisi al SEM aveva rilevato semplicemente una frattura fragile di tipo misto, di clivaggio ed intercristallino, che poteva anche essere provocata dalla presenza di H₂ nel reticolo cristallino (vedi fig.1) ma non ha fornito cause certe circa la rottura.

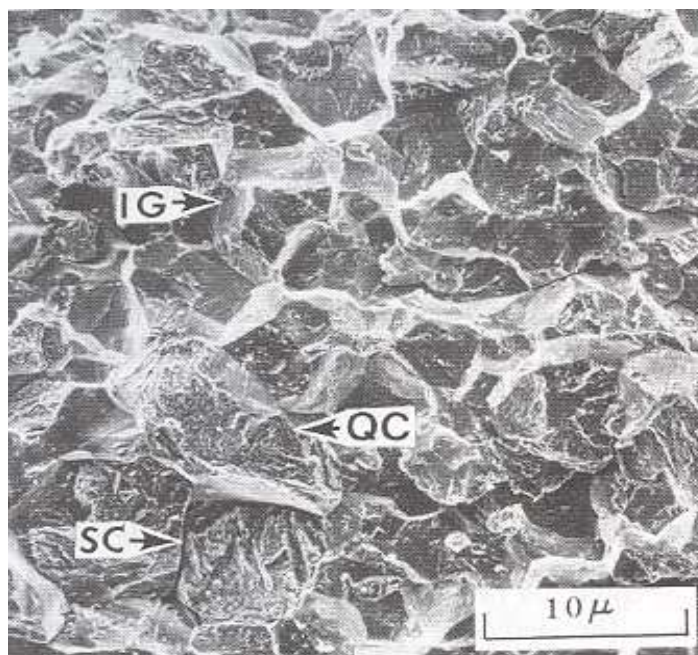


Fig.1 Micrografia al SEM della rottura fragile del tirante. Si può notare nella zona indicata con SC un distacco intergranulare, le altre due frecce indicano delle zone di separazione per clivaggio.
Il tipo di frattura potrebbe essere attribuita alla presenza di idrogeno

Si è così deciso di ricavare dalla stessa colata una serie di 6 provette di trazione da sottoporre a 6 diversi cicli di trattamento per verificare eventuali variazioni nelle caratteristiche meccaniche dovute o alla carburazione o alla idrogenazione.

Il trattamento termico è stato eseguito su tutte le sei provette contemporaneamente in modo da ottenere la stessa carburazione paragonabile al lotto dei tiranti risultati fragili e le stesse caratteristiche meccaniche. Le provette che non dovevano presentare carburazione superficiale erano state tornite con 2 mm di soprametallo, successivamente asportato con macchina utensile.

L'idrogenazione è stata fatta per decapaggio di 30' in una soluzione acquosa di HNO₃ al 5%.

La deidrogenazione è stata fatta per 4 ore a 200°C in un fornetto a muffola di laboratorio.

Le provette ricavate secondo le norme UNI EN 10002 di diametro 10 mm con allungamento da misurare su 5 diametri sono state numerate e trattate secondo la tab.2

N° della provetta	Ciclo termico / idrogenazione	Prove meccaniche N/mm ²			
		Rp _{0.2}	Rm	A% 5 Ø	Z%
1	Bonificato, non carburato	943	1016	17.0	61.6
2	Bonificato, carburato	947	1041	15.5	53.2
3	Bonificato, carburato, idrogenato poi deidrogenato	936	1036	16.9	56.7
4	Bonificato, carburato, idrogenato, non deidrogenato	932	1021	16.8	60.0
5	Bonificato, non carburato, idrogenato, deidrogenato	913	997	16.4	61.6
6	Bonificato, non carburato, idrogenato, non deidrog.	937	1021	16.3	60.7

Tab.2 Comparazione delle caratteristiche meccaniche di trazione su provette che hanno subito cicli diversi di carburazione ed idrogenazione. Prove secondo UNI EN 10002.

Come si può notare dalla tab.2 se la resistenza è di circa 1000 N/mm^2 , nessuna influenza sulle prove meccaniche classiche è risultata dalla presenza di carburazione o di idrogenazione sulle provette testate.

Si è allora deciso di rifare le prove adottando criteri che esaltino la presenza di idrogeno, nel caso in cui sia presente, sottoponendo le provette a test che riproducono le condizioni di utilizzo dei particolari in opera.

Come test di trazione è stato adottato quello descritto nella norma ASTM F519-05 "Standard test method for mechanical hydrogen embrittlement evaluation of plating/coating processes and service environments" che riguarda appunto la determinazione del grado di fragilità provocato dalla presenza di H_2 . La provetta di trazione non è più costruita secondo le norme UNI EN 10002, ma secondo i disegni A1.1 dell'allegato A1 della ASTM F519-05. La provetta presenta un intaglio di concentrazione di sforzo a metà della lunghezza (vedi fig.2).

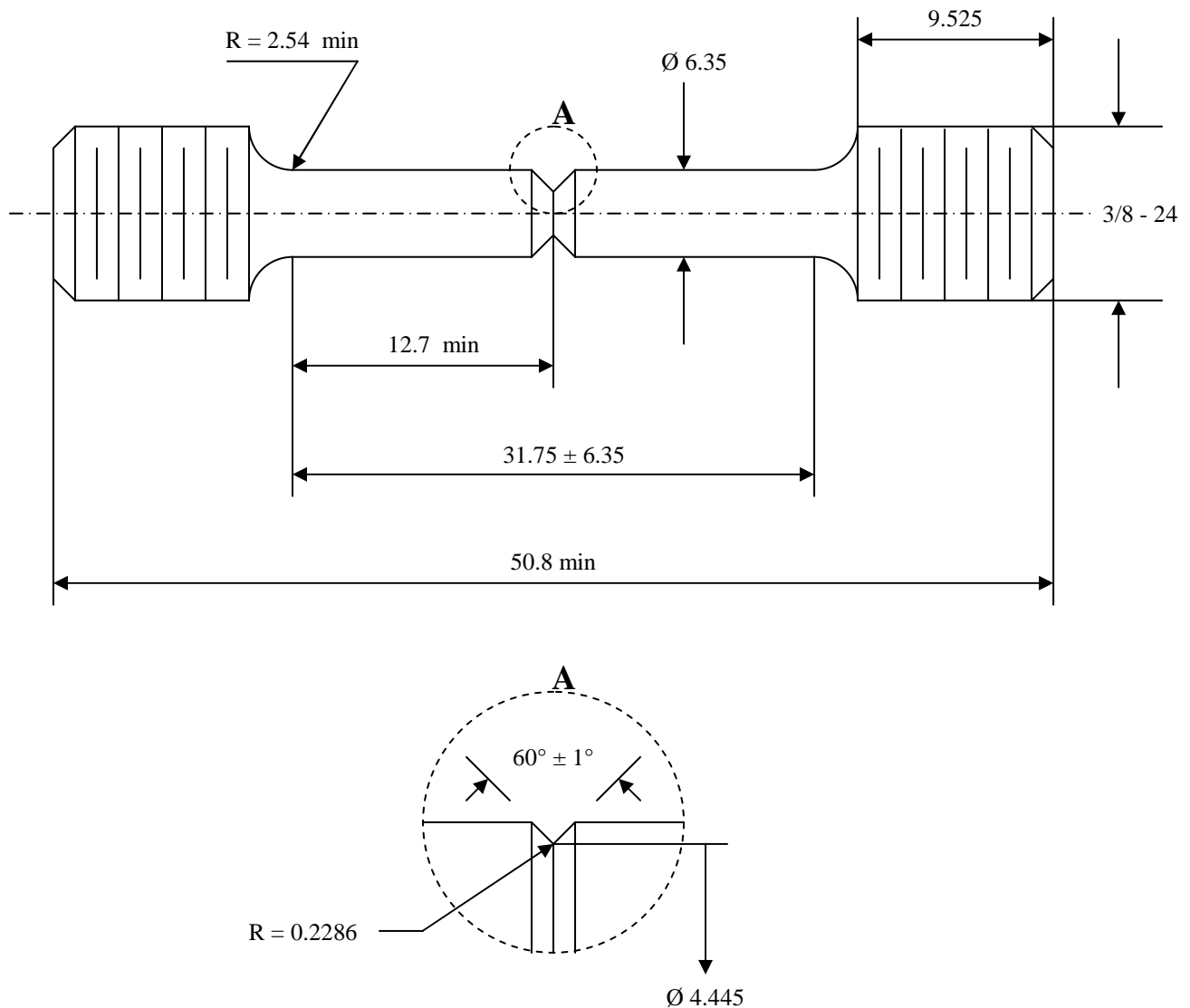


Fig.2 Forma e dimensioni della provetta di trazione per l'esecuzione delle prova di fragilità provocata dalla presenza di idrogeno.

Le modalità previste della prova di trazione per accertare una fragilità da H_2 sono di due tipi: una veloce, che può durare 16 ore ed una più lenta che può durare 200 ore.

Modalità veloce

Si sottopone la provetta a cinque carichi crescenti, per la durata di un'ora ciascuno, corrispondenti ognuno al 10% del carico di rottura previsto, fino al 50% del carico totale. Dopo si procede aumentando il carico solo più del 5% fino alla rottura. Se durante la permanenza di un'ora al carico previsto si hanno cedimenti di carico > del 5% del carico applicato, ad allungamento costante, quel carico e quell'allungamento sono considerati la soglia di fragilità di idrogeno. La tab.3 illustra la sequenza dei passi da effettuare.

% del carico di rottura	Ore di permanenza	Totale delle ore
10	1	1
20	1	2
30	1	3
40	1	4
50	1	5
55	1	6
60	1	7
65	1	8
70	1	9
75	1	10
80	1	11
85	1	12
90	1	13
95	1	14
100	1	15
105	1	16

Tab.3 Richieste minime di applicazione dei carichi per la determinazione del valore di soglia della fragilità da idrogeno.

Modalità lenta

Si devono testare 4 provette.

Si sottopongono le provette ad un carico pari al 75% del carico di rottura, verificato su di una provetta non idrogenata, per un tempo di 200 ore. Se nessuna provetta si rompe si considera non esistente la fragilità da H₂. Nel caso in cui la prima provetta si dovesse rompere le altre tre verranno sottoposte dopo il mantenimento con esito positivo delle 200 ore con carico al 75%, ad un aumento del carico del 5% all'ora fino ad arrivare al 90% del carico di rottura. Se tutte e tre le provette resistono un'ora a questa sollecitazione si considerano conformi tutte le 4 provette.

Esecuzione delle prove di fragilità da carburazione e da idrogenazione

Al fine di verificare con la modalità lenta della norma ASTM F519 –05 il grado di fragilità indotto dalla idrogenazione su dei bulloni carburati per circa 0.5 mm si sono preparate 13 provette secondo fig.2. Cinque di queste provette sono state fabbricate con un sovra metallo di 2 mm sul diametro da sottoporre a trazione. Al fine di essere sicuri dell'uniformità del trattamento termico le provette sono state trattate tutte insieme in un forno ad atmosfera controllata, con riscaldamento a 850°C in atmosfera carburante con potenziale di C = 0,8%, una permanenza in temperatura di circa 2 ore e successiva tempra in olio a 70°C. Dopo tempra le provette sono state rinvenute a 580°C con permanenza in temperatura di 4 ore e successivo raffreddamento in aria calma. Garantita così la medesima microstruttura per tutti le provette si è proceduto ad asportare i due mm di sovra metallo sulle 5 provette predisposte al fine di avere 4 test di comparazione senza carburazione superficiale ed una provetta da utilizzare per verificare il carico di rottura.

Le 12 provette sono state sottoposte a trattamento di idrogenazione mediante attacco con acido nitrico al 5% per 30' a circa 20°C.

Quattro provette carburate sono state sottoposte a deidrogenazione per 4 ore a 200°C, mentre le altre 8 non sono state deidrogenate. Le provette sono state poi tutte sottoposte alla prova di trazione secondo la "modalità lenta" ed i risultati sono esposti nella tab.4.

N°della provetta	Ciclo termico / idrogenazione	Applicazione del 75% del carico di rottura per 200 ore
1	Bonificato, non carburato, idrogenato	Assenza di rotture
2	Bonificato, non carburato, idrogenato	Assenza di rotture
3	Bonificato, non carburato, idrogenato	Assenza di rotture
4	Bonificato, non carburato, idrogenato	Assenza di rotture
5	Bonificato, carburato, idrogenato	Assenza di rotture
6	Bonificato, carburato, idrogenato	ROTTO DOPO 144 ORE
7	Bonificato, carburato, idrogenato	Assenza di rotture
8	Bonificato, carburato, idrogenato	Assenza di rotture
9	Bonificato, carburato, idrogenato poi deidrogenato	Assenza di rotture
10	Bonificato, carburato, idrogenato poi deidrogenato	Assenza di rotture
11	Bonificato, carburato, idrogenato poi deidrogenato	Assenza di rotture
12	Bonificato, carburato, idrogenato poi deidrogenato	Assenza di rotture

Tab.4 Comportamento delle provette testate secondo norma ASTM F519-05

Dall'esame della tabella si può dedurre che la presenza di idrogeno in strati carburati, con durezza intorno a 500 HV (50 HRc) può provocare fragilità e rotture premature.

Conclusioni

Risulta chiarito come la carburazione superficiale, se contenuta in profondità inferiori a 0.5 mm, non crea problemi di carattere meccanico, almeno nel campo dei valori di durezza della bulloneria o tiranteria alta resistenza tipo 10.9 ($R > 1000 \text{ N/mm}^2$; 304-357 HB pari a 32-38 HRc.)

Nel caso dell'idrogeno il discorso è più complesso e deve riannodarsi alle considerazioni fatte all'inizio. L'infragilimento si è avuto solo nel caso in cui l'idrogeno era presente in uno strato con durezza di circa 500HV, mentre a durezza inferiori non si rilevano fragilità indotte.

Resta quindi chiaro che in un bullone carburato la fragilità si verifica solo nel caso in cui al processo galvanico non segua una deidrogenazione accurata.

La rottura dei tiranti in esercizio nella parte cilindrica e non nel filetto, può essere attribuita alla presenza di qualche difetto che semmai l'H₂ ha contribuito ad esaltare.

La caratteristica che distingue la rottura fragile da idrogeno è che avviene con un ritardo, rispetto all'applicazione del carico, che va da qualche ora a qualche giorno.

A volte, se la durezza è molto alta, vicino ai 60 HRc, può anche avvenire senza applicazione di carichi esterni.

A durezza medie, intorno ai 50 HRc, la rottura può avvenire con applicazione di carichi che sono al disotto del limite di rottura dell'acciaio non idrogenato.

Infine per durezza inferiori ai 40 HRc, o meglio ancora negli acciai ricotti dove la struttura cristallina è completamente detensionata e quindi priva di dislocazioni, le deformazioni provocate dall'idrogeno sono completamente assorbite senza determinare aumenti sensibili di fragilità.

Questo comportamento è alla base dell'impostazione data alle prove di fragilizzazione codificate nella norma ASTM F519-05.