

Influenza dei rinvenimenti sulle caratteristiche dell'acciaio AISI H13

C. Cibaldi, A. Ghidini

Esistono due scuole di pensiero sul rinvenimento dopo tempra dell'acciaio AISI H13, destinato alla costruzione di utensili per lavorazioni a caldo. Entrambe consigliano di ripetere tre volte il rinvenimento, ma a temperatura diversa. La prima consiglia di rinvenire: la prima volta alla temperatura del picco di durezza secondaria; la seconda alla temperatura che impartisce la durezza desiderata; la terza a temperatura di 20±50 °C inferiore del secondo rinvenimento. La seconda consiglia di rinvenire: la prima volta alla temperatura di 30±50 °C superiore a quella del picco di durezza secondaria; la seconda alla temperatura che impartisce la durezza desiderata; la terza a temperatura di 250 ± 20 °C. Gli autori hanno osservato più volte un decadimento della tenacità, a parità di durezza finale, in utensili d'acciaio AISI H13 sottoposti al terzo rinvenimento, perciò hanno ritenuto necessario indagare sull'efficacia del rinvenimento condotto una, due o tre volte dopo tempra da due temperature diverse. I risultati ottenuti sembrano indicare l'inutilità del rinvenimento multiplo ed hanno evidenziato alcune curiose caratteristiche di quest'acciaio rinvenuto a temperature non usuali.

Parole chiave: acciaio, lavorazione a caldo, rinvenimento

PREMESSA

Abbiamo osservato più volte un decadimento della tenacità, a parità di durezza finale, in utensili d'acciaio AISI H13 sottoposti al terzo rinvenimento, perciò abbiamo indagato sull'effettiva necessità ed efficacia dei rinvenimenti multipli. La ricerca intrapresa da Lucchini Spa, Stabilimento di Lovere, in collaborazione con AQM Srl, si prefiggeva di verificare se:

1. la prova di resilienza KVW (su provette 7x10x55 mm, non intagliate) sia sensibile allo stato di trattamento termico dell'acciaio AISI H13;
2. il terzo rinvenimento dopo tempra, eseguito secondo i consigli delle due scuole più accreditate, sia effettivamente efficace ai fini del miglioramento della tenacità dell'acciaio;
3. sia effettivamente necessario un secondo ed un terzo rinvenimento dopo tempra, per migliorare la tenacità dell'acciaio a parità di durezza ottenuta.

Pertanto abbiamo:

- a) tracciato le curve di rinvenimento dopo uno, due e tre rinvenimenti, di provette temprate da due temperature d'austenizzazione (1020 e 1040 °C). Le curve ottenute sono servite per individuare il picco di durezza secondaria e per la scelta della temperatura del secondo rinvenimento, mirato ad ottenere la durezza finale desiderata;
- b) misurato la resilienza KVW e KV, dopo il primo, secondo e terzo rinvenimento, su provette trattate singolarmente, per comprendere se la prova KVW sia sensibile allo stato di trattamento termico, come la KV, e quale ciclo conferisca i migliori risultati;
- c) ripetuto prove di verifica su colate diverse e prove aggiuntive, per confermare gli andamenti e meglio definire le correlazioni;
- d) misurato l'austenite residua in provette temprate e rinvenute una sola volta, per verificare se la cospicua tenacità

fosse attribuibile alla sua parziale trasformazione.

Il piano della ricerca prevede inoltre la misura della resilienza KVW e KV dopo il primo, secondo e terzo rinvenimento, su provette ricavate da saggi di barra Ø 260 x 100 mm, temprati e rinvenuti per lo stesso fine di cui ai punti a) e b), ma orientati a simulare quanto più possibile una situazione di trattamento termico reale. I dati di quest'ultima fase non sono ancora disponibili, sebbene gran parte delle prove siano già state eseguite.

Caratteristiche dell'acciaio usato per la ricerca

Per la preparazione delle provette destinate alla ricerca, sono state usate barre fucinate, d'acciaio LOS 2344 (AISI H13), degasato sotto vuoto e colato tradizionalmente in lingotti ottagonali L6, con corpo di peso e dimensioni: 6406 kg, chiave di testa 916 mm, chiave di piede 772 mm, lunghezza 1396 mm, appartenenti a colate la cui composizione è indicata nella tabella a pie' di pagina.

I lingotti furono fucinati in barre grezze Ø 285 mm, con rapporto di stiratura di circa 9. Le barre grezze furono ricotte con l'usuale ciclo di ricottura, mirato a conferire la struttura perlitica globulare, accettata dai comuni capitolati ed in particolare dalla norma SEP 1614/96, come indicato in figura 1. Infine furono tornite a Ø 260 mm.

Anche la microsegregazione dell'acciaio di entrambe le colate è risultata ampiamente nei limiti prescritti dalla norma SEP 1614/96 di riferimento.

Preparazione delle provette

Le provette, da sottoporre a trattamento termico di tempra e rinvenimenti, sono state ricavate nelle posizioni a 1/2 raggio ed orientate come indicato nello schema di figura 2, con sovrmetalto di 1 mm su tutte le facce laterali e lunghezza standard di 55 mm, secondo quanto suggerito nel capitolato d'accettazione AQM 001 (rev. 6 del 07/1999), per l'accettazione dell'acciaio AISI H13 allo stato ricotto.

Cesare Cibaldi, Consulente Metallurgico e Direttore Tecnico di AQM Srl

Andrea Ghidini, Responsabile Qualità dello Stabilimento Lucchini Spa - Lovere

cast n°	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Al	Sn
9-1472	0,42	0,38	0,93	0,004	0,012	5,28	0,24	1,24	0,21	0,96	0,035	0,016
9-1606	0,39	0,37	0,94	0,002	0,014	5,11	0,21	1,24	0,23	0,97	0,019	0,016



Figura 1: microstruttura delle barre Ø 285, d'acciaio LOS 2344, allo stato ricotto. Perlite globulare omogenea. Zona 1/2 raggio. Attacco nital 2% - 500 x.

Picture 1: microstructure of LOS 2344 steel bars Ø 285 mm, to the annealed state. 1/2 radius zone. Nital 2 % attached - 500 x.

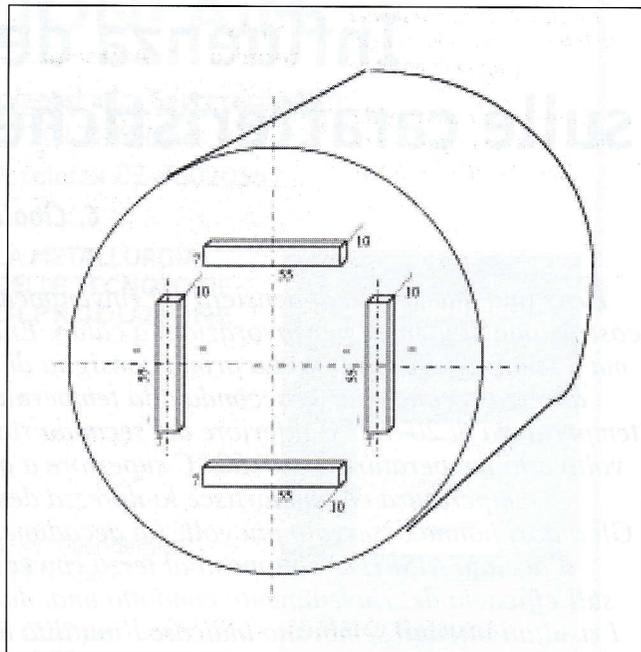


Figura 2: schema della posizione ed orientamento delle provette, ricavate da barra fucinata, d'acciaio LOS 2344 allo stato ricotto

Picture 2: position and orientation scheme of the samples, preleved by forged bar of LOS 2344 steel, to the annealed state.

PARTE SPERIMENTALE

Curve di rinvenimento

Sono state sottoposte a trattamento termico 168 provette, secondo i seguenti cicli termici:

1°÷3° Ciclo: Austenitizzazione a 1020 ± 5 °C per 30 minuti; tempra in olio Houghton Martemp 1 a temperatura 20÷60 °C; seguita da uno, due o tre rinvenimenti, per 4 ore alla temperatura indicata nella tabella 1 e raffreddamento in aria fino a temperatura ambiente.

4°÷6° Ciclo: come cicli 1°÷3°, ma con temperatura d'austenitizzazione di 1040 ± 5 °C.

Ogni provetta è stata rettificata a misura, con asportazione di 1 mm di sovrmetalto da ogni faccia perimetrale, esaminata al magnaflux per verificare l'assenza di cricche e sottoposta a tre misure di durezza ed alla prova di resilienza KVW, con valutazione del valor medio e della deviazione standard. Tutto quanto sopra è stato ripetuto su altrettante provette ri-

cavate dalla seconda colata. Inoltre è stata estesa l'indagine alla temperatura di rinvenimento di 100, 150 e 200 °C.

Note: il solo rinvenimento od il secondo rinvenimento era mirato a conferire la durezza finale di 45 ± 2 HRC; dopo ogni rinvenimento le provette sono state raffreddate in aria calma fino a temperatura ambiente; la temperatura del primo rinvenimento a 500 °C è vicina al picco di durezza secondaria; la temperatura del primo rinvenimento a 550 °C è 50÷70 °C maggiore del picco di durezza secondaria.

Misura della resilienza KVW

Trentadue gruppi di 9 provette (tempra + rinvenimento) più quattro gruppi di tre provette (piena tempra), per un totale di 300 provette, sono stati sottoposti ai seguenti cicli termici (tabella 2).

Su ogni provetta sono state eseguite tre misure di durezza e la prova di resilienza KVW, con valutazione del valor medio e della deviazione standard.

Stato	n° provette	Stato	n° provette	Stato	n° provette	Totale provette
Piena tempra+ 1° rinv a	3	Tempra+ 1° rinvenim.+ 2° rinv a	0	Tempra+ 1°+2° rinv.+ 3° rinv a	0	3
250 °C	3	250 °C	3	250 °C	3	9
300 °C	3	300 °C	3	300 °C	3	9
350 °C	3	350 °C	3	350 °C	3	9
400 °C	3	400 °C	3	400 °C	3	9
450 °C	3	450 °C	3	450 °C	3	9
500 °C	3	500 °C	3	500 °C	3	9
550 °C	3	550 °C	3	550 °C	3	9
600 °C	3	600 °C	3	600 °C	3	9
650 °C	3	650 °C	3	650 °C	3	9
Totale provette	30		27		27	84

Tabella n° 1: riassunto dei cicli termici eseguiti su ogni terna di provette alle due temperature d'austenitizzazione di 1020 e 1040 °C

Table n° 1: synthesis of the thermal cycle performed on each three samples at the tow 1020 e 1040 °C antenitizing temperature.

Tabella n° 2: riassunto dei cicli termici eseguiti su ogni gruppo di provette

Table n° 2: resume of the thermal cycle performed on each group of samples.

Ciclo termico	Tempra		Rinvenimento		
	Austenitizz.	Spegnimento	1°	2°	3°
1	1020 x 30'	Olio Houghton Martemp I a temperatura 20+60 °C	600 x 4 h		
2				595 x 4 h	
3			500 x 4 h	595 x 4 h	575 x 4 h
4					250 x 4 h
5					595 x 4 h
6					595 x 4 h
7					575 x 4 h
8	1040 x 30'	Olio Houghton Martemp I a temperatura 20+60 °C	610 x 4 h		
9				605 x 4 h	
10			500 x 4 h	605 x 4 h	585 x 4 h
11					250 x 4 h
12					610 x 4 h
13					590 x 4 h
14					250 x 4 h

RISULTATI OTTENUTI E COMMENTO

Curve di rinvenimento

I risultati delle prove di durezza e di resilienza KVW delle 168 provette preparate e sottoposte a prova, secondo la prima fase del programma di ricerca, con relativa elaborazione, occupano 6 pagine, dove sono indicati: il n° della singola provetta; il ciclo termico cui è stata sottoposta; i valori delle tre misurazioni della durezza HRC; la media e la deviazione standard delle tre misure di durezza su ciascuna provetta; la media delle medie e la deviazione standard delle medie sui gruppi di tre provette con ugual trattamento termico; i valori della resilienza KVW; la media e la deviazione standard dei valori della resilienza KVW sui gruppi di tre provette con ugual trattamento termico.

Sono inoltre stati tracciati 18 grafici di correlazione, con linee di regressione polinomiali di quarto ordine o lineari, che ci sono sembrate le migliori per esprimere la correlazione dei dati e precisamente: durezza contro temperatura di rinvenimento (sei grafici); resilienza KVW contro temperatura di rinvenimento (sei grafici); resilienza contro durezza (sei grafici).

Per ragioni di spazio daremo soltanto alcuni esempi dei grafici ottenuti.

In figura 3 sono rappresentate le curve di rinvenimento ottenute dopo tempra da 1020 e 1040 °C e tre rinvenimenti di 4 ore alle temperature indicate in ascissa.

Dall'analisi dei dati si è notato che:

- l'acciaio usato rivela un picco di durezza secondaria tra i 450 e 500 °C, che tende a spostarsi leggermente verso destra e ad accentuarsi con l'aumento della temperatura d'austenitizzazione;
- i valori di durezza sono maggiori di circa 2 punti HRC e leggermente meno dispersi per tutte le provette temprate da 1040°C (s = 0,65 HRC), rispetto a quelle temprate da 1020 °C (s = 1,92);
- con l'aumentare del numero dei rinvenimenti (ore totali di rinvenimento), s'assiste ad un leggero calo della durezza (2÷3 punti HRC, dopo tre rinvenimenti), soltanto a temperatura superiore ai 500 °C.

Tutto questo è in perfetta armonia con i dati di letteratura.

Resilienza KVW dopo rinvenimento a temperatura da 100 a 650°C

Le provette della prima colata, usate per misurare la durezza e tracciare le curve di rinvenimento, sono state rotte al pendolo Charpy, ottenendo grafici che indicavano un probabile incremento della resilienza nell'intorno dei 150 ÷ 200 °C. Per questa ragione sono state ripetute le prove dopo tempra da 1020 °C, su provette della seconda colata estendendo l'intervallo di temperatura di rinvenimento indagato da 100 a 650 °C.

L'andamento tipico della resilienza KVW in funzione della temperatura di rinvenimento è rappresentato nei grafici di figura 4.

Va subito rilevata l'estrema variabilità dei risultati della resi-

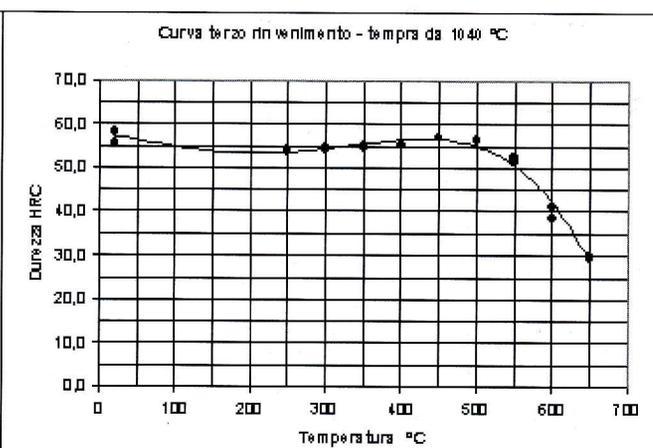
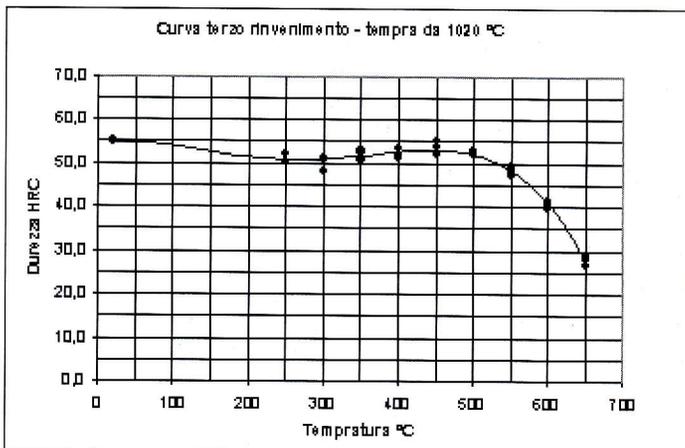


Figura 3: curve di rinvenimento dopo tempra da 1020 e 1040 °C e tre rinvenimenti di 4 ore alla temperatura indicata in ascissa.

Picture 3: tempering curve after quench from 1020 °C, plus three temperings for 4 hours at the suitable temperature.

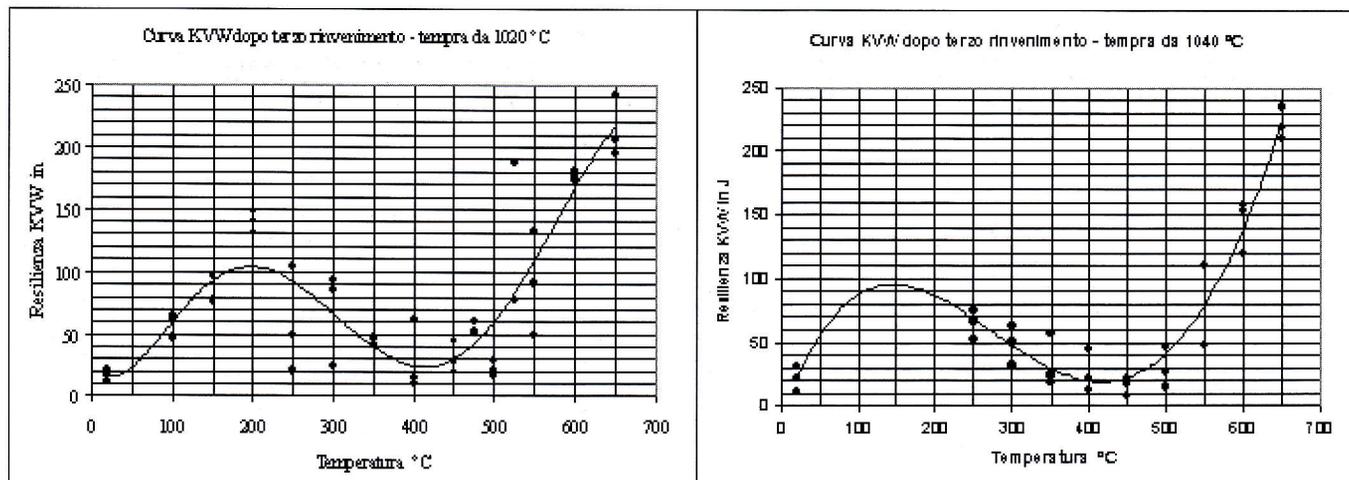


Figura 4: andamento della resilienza KJW in funzione della temperatura di rinvenimento di provette temprate da 1020 e 1040 °C e rinvenute tre volte per 4 ore alla temperatura indicata in ascissa.

Picture 4: flow of the KJW impact strength versus the tempering temperature of samples quenched by 1020 and 1040 °C and tempered three times for 4 hours at the suitable temperature.

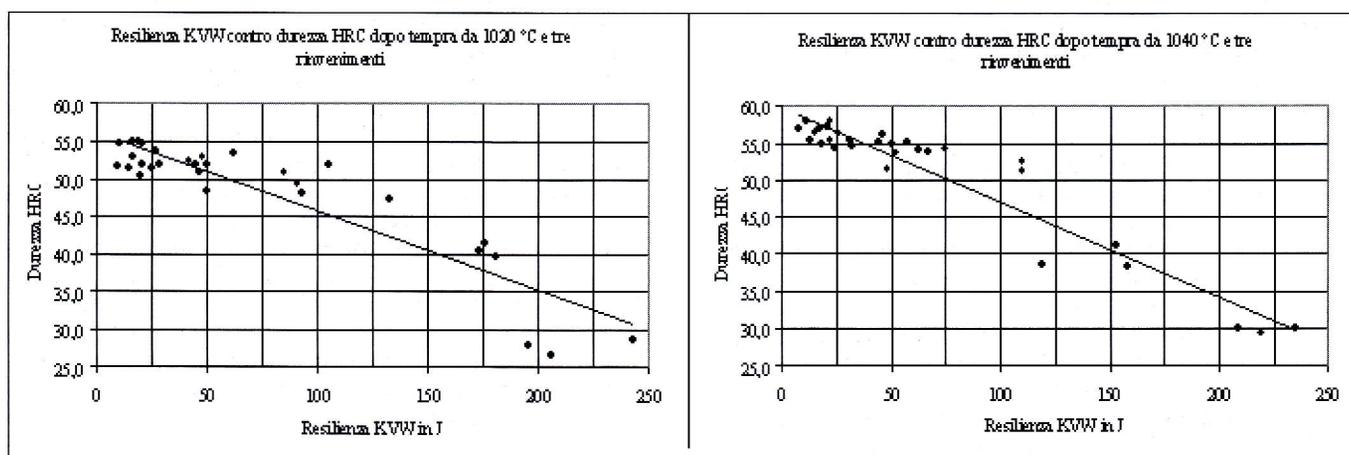


Figura 5: correlazione tra resilienza KJW e durezza HRC di provette temprate da 1020 o 1040 °C e rinvenute tre volte per 4 ore a temperatura tra 100 e 650 °C

Picture 5: KJW Impact strength versus HRC hardness in samples quenched by 1020 or 1040 °C and tempered three times for 4 hours at temperature between 100 and 650 °C.

lienza KJW, essendo la deviazione standard media $\sigma = 19,24$ J, per le provette temprate da 1020 °C, e $\sigma = 17,25$ J, per le provette temprate da 1040 °C. L'elevata dispersione dei risultati è tipica delle prove di resilienza ed in particolare della prova KJW su provetta non intagliata, che risente enormemente delle variazioni microstrutturali dell'acciaio. Tutte le curve KJW / Temperatura di rinvenimento mostrano sempre un picco di resilienza col rinvenimento a 200 °C circa ed una caduta significativa tra 350 e 500 °C, con un minimo tra i 400 e 450 °C, cioè a temperatura di circa 50 °C inferiore a quella del picco di durezza secondaria.

Quanto sopra suggerisce di evitare ogni rinvenimento nell'intervallo di temperatura tra 350 e 500 °C e di sottoporre al rinvenimento di distensione a 200 °C per almeno 12 ore, anziché 250 °C, come consigliato per gli utensili per stampaggio dei metalli, costruiti con acciaio AISI H13 e sottoposti a trattamento di tempra e distensione mirato alla durezza finale di 50 ÷ 54 HRC.

Resilienza KJW contro durezza

Tutti i risultati, ottenuti su provette temprate e rinvenute fino a tre volte a temperatura tra 100 e 650 °C, confermano che la durezza e la resilienza sono legate, nel senso che al diminuire della durezza tende ad aumentare la resilienza; tuttavia

il fattore di correlazione è modesto (dispersione grandissima), come si nota in figura 5.

Effetto dei rinvenimenti d'addolcimento sulla resilienza KJW

Anche in questo caso i risultati delle prove di durezza HRC e di resilienza KJW delle 300 provette, preparate secondo il piano di ricerca, sono riassunti in sei pagine di tabulati, dove sono indicati: il n° della singola provetta; il ciclo termico cui è stata sottoposta; i valori delle tre misurazioni della durezza HRC su ogni provetta; la media e la deviazione standard delle tre misure di durezza su ciascuna provetta; la media delle medie e la deviazione standard delle medie sui gruppi di tre provette con ugual trattamento termico; i valori della resilienza KJW d'ogni provetta; la media e la deviazione standard dei valori della resilienza KJW sui gruppi di tre provette con ugual trattamento termico.

Sono inoltre stati tracciati 15 grafici di correlazione, con linee di regressione polinomiali di secondo e terzo ordine o logaritmiche, che ci sono sembrate le migliori per esprimere la correlazione dei dati: durezza HRC, ottenuta col secondo rinvenimento a temperatura tra 590 e 610 °C (tre grafici); resilienza KJW contro ciclo di rinvenimento (otto grafici); resilienza contro durezza (quattro grafici).

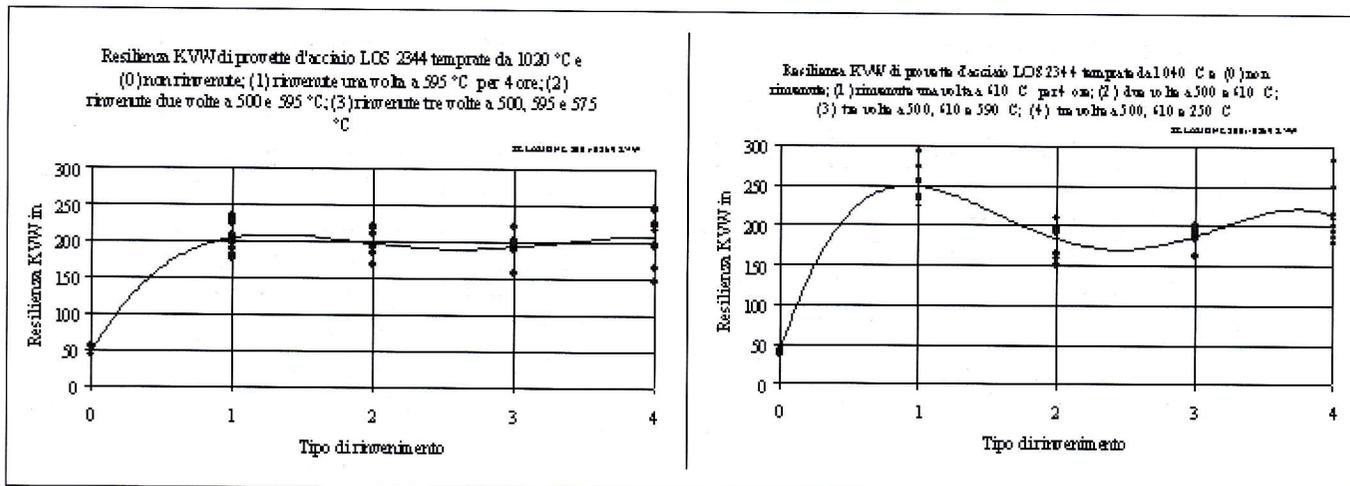


Figura 6: esempi dell'andamento della resilienza KJ/m² in funzione del numero e tipo di rinvenimenti dopo tempra da 1020 e 1040 °C.

Picture 6: examples of tendency of the KJ/m² impact strength in function of the number and type of temperings, after quenching from 1020 and 1040 °C.

L'andamento tipico dei valori della resilienza KJ/m² in funzione del ciclo termico è schematizzato nei grafici di figura 6.

I risultati sono assai dispersi, come peraltro ci si doveva attendere da una prova aleatoria come la resilienza KJ/m². Tuttavia si può notare che:

- a piena tempra l'acciaio è molto fragile;
- dopo il primo rinvenimento non esiste alcun sensibile miglioramento della resilienza KJ/m² ripetendo due o tre volte il rinvenimento a qualsivoglia temperatura;
- nel caso della tempra da 1040 °C, un solo rinvenimento conferisce la miglior resilienza, che non dipende dall'austenite residua, essendo i valori misurati con diffrattometria RX sempre minori dell'1 %.

Va tuttavia sottolineato che la differenza dei valori della KJ/m² dopo il primo, secondo e terzo rinvenimento non è probabilmente reale; infatti la differenza delle medie e della varianza non è significativa. Ciò è dimostrabile con il Test di Student (UNI 6806), usato per il confronto tra due serie di dati per valutare la significatività della differenza tra le medie, ed il test della Funzione Calcolata (UNI 6809), per il confronto tra le dispersioni di due serie di dati, mediante il confronto delle varianze.

Test di Student: significatività della differenza tra le medie

Il valore della funzione di Student *t* è calcolato con la seguente formula:

$$t = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{(n_1 + n_2) [\sum (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 + \sum (x_{2i} - \bar{x}_2)^2]}}$$

Nel caso delle provette temperate da 1020 °C, rinvenute la prima volta a 500 °C, la seconda a 595 °C e la terza a 575 o 250 °C valgono i seguenti dati: \bar{x}_1 media = 198,9 J; \bar{x}_2 media = 194,3 J; $n_1 = 8$; $n_2 = 6$; pertanto $t = 0,41$. Confrontando il risultato con il valore tabulare, funzione della numerosità delle due serie di dati e della confidenza assegnata del 95 %, risulta che il valore *t* calcolato è minore del valore tabulare ($t = 2,18$), trovato in corrispondenza al grado di libertà = 12 (il grado di libertà del sistema è $v = n_1 + n_2 - 2 = 12$). Dunque la differenza tra le medie delle due serie di dati non è significativa, con la confidenza del 95 %, ovvero le due medie 198,9 e 194,3 sono praticamente uguali. Ad analogo risultato si giunge in tutti gli altri casi ed anche per le provette temperate da 1040 °C.

Test della funzione calcolata: confronto tra le varianze

(caso di campioni di piccola numerosità, $n < 30$)

Per il calcolo ed il criterio di valutazione ci si avvale della

Funzione Calcolata (F_{calc}) UNI 6809, il cui valore è:

$F_{calc} = \text{varianza maggiore} / \text{varianza minore} = S_1^2 / S_2^2$,
 dove S_1 è la deviazione standard maggiore delle due serie di dati (nel ns. caso $S_1 = 21,00$) e S_2 la minore (nel ns. caso 19,80). Pertanto: $F_{calc} = 1,125$. Poiché il valore calcolato è minore del valore tabulare ($F_{calc} = 4,9$), ottenuto per interpolazione dei dati della tabella della norma UNI di riferimento, che tien conto della numerosità delle due serie di dati e della confidenza assegnata = 95 %, per $v_1 = n_1 - 1 = 7$ e $v_2 = n_2 - 1 = 5$, si deduce che le deviazioni standard delle due serie di misure confrontate non differiscono significativamente, con una confidenza del 95 %. Poiché non esiste significativa differenza tra le medie e le deviazioni standard delle due serie di misurazioni, si conclude che le due serie di dati sono sostanzialmente simili, ovvero appartengono alla stessa popolazione. Quanto sopra vale per tutti i cicli termici considerati nell'attuale ricerca.

Effetto dei rinvenimenti d'addolcimento sulla resilienza KV

Anche in questo caso i risultati delle prove di durezza HRC e di resilienza KV delle provette, preparate secondo il piano di ricerca, sono riassunti in tabulati, dove sono indicati: il n° della singola provetta; il ciclo termico cui è stata sottoposta; i valori delle tre misurazioni della durezza HRC su ogni provetta; la media e la deviazione standard delle tre misure di durezza su ciascuna provetta; la media delle medie e la deviazione standard delle medie sui gruppi di 9 provette con ugual trattamento termico; i valori della resilienza KV d'ogni provetta; la media e la deviazione standard dei valori della resilienza KV sui gruppi di 9 provette con ugual trattamento termico.

Sono inoltre stati tracciati 14 grafici di correlazione, con linee di regressione polinomiali di terzo e quarto ordine o lineari, che ci sono sembrate le migliori per esprimere la correlazione dei dati: resilienza KV contro durezza HRC (sei grafici); resilienza KV contro ciclo termico (quattro grafici); durezza HRC contro ciclo termico (quattro grafici).

Andamento della resilienza KV contro la durezza HRC

Se si valuta l'insieme dei singoli risultati non s'ottiene una correlazione significativa, che invece è molto buona nel caso si correlino i valori medi dei singoli gruppi di 9 provette (figura 7). L'andamento tipico dei valori della resilienza KV in funzione della durezza ottenuta coi vari cicli termici è rappresentata nei grafici di figura 7.

Andamento della durezza HRC in funzione del ciclo termico
 L'andamento tipico dei valori della durezza HRC in funzio-

riveli una maggior resistenza ai successivi rinvenimenti, rispetto a quanto osservato dopo il primo rinvenimento a 500 °C, non è casuale. Ciò può dipendere dai fenomeni che governano la durezza secondaria (trasformazione e riprecipitazione dei carburi), che, per quest'acciaio, sono importanti nell'intervallo 475 ÷ 525 °C, soprattutto quando s'austenitizza l'acciaio a temperatura elevata.

Andamento della resilienza KV in funzione del ciclo termico
L'andamento tipico dei valori della resilienza KV in funzione del ciclo termico è rappresentata nei grafici di figura 9.

La resilienza KV a piena tempra è sempre molto bassa. Dopo tempra da 1020 °C e rinvenimento singolo o multiplo, la resilienza aumenta sensibilmente, ma non si modifica significativamente aumentando il numero e tipo di rinvenimenti.

I grafici KV contro tipo di rinvenimento, tracciati con linee spezzate che congiungono i valori medi, rivelano una scarsa influenza del tipo di rinvenimento sul valore medio, sebbene si possa intravedere una debole tendenza al miglioramento col terzo rinvenimento ad alta temperatura, peraltro dovuto alla modesta durezza media delle provette.

Dopo tempra da 1040 °C, il rinvenimento singolo o multiplo sembra modificare sensibilmente il valore medio della resilienza, che aumenta progressivamente da uno a tre rinvenimenti, soprattutto se il primo è condotto a 500 °C.

Il terzo rinvenimento a 250 °C non modifica il valore della

resilienza rispetto a quella ottenuta dopo due rinvenimenti, indipendentemente dalla temperatura del primo (500 o 550 °C).

Anche con la tempra da 1040 °C la dispersione dei dati è tale che ogni gruppo di risultati corrispondenti ai vari cicli di rinvenimento si può ritenere non significativamente diverso per media e varianza, sebbene esista una marcata tendenza al miglioramento col terzo rinvenimento, se condotto a temperatura di 20 °C inferiore a quella del secondo. Ciò potrebbe dipendere dalla minor durezza di tutte le provette che hanno subito tre rinvenimenti, col terzo ad alta temperatura.

CONCLUSIONI

I rinvenimenti multipli dopo tempra dell'acciaio AISI H13 sono veramente efficaci?

La risposta pare negativa alla luce dell'attuale ricerca, che tuttavia è stata condotta solo su provette trattate termicamente con cicli insoliti per la realtà industriale.

Soltanto la conclusione delle prove con trattamenti termici eseguiti su masselli nelle condizioni più rappresentative della pratica industriale ci darà o no conferma di quanto per ora osservato.

Dunque si consiglia ai trattamentisti la massima prudenza nel modificare i propri cicli termici consolidati, alla luce degli attuali risultati, prima che la ricerca sia completata.

ABSTRACT

TEMPERINGS INFLUENCE ON AISI H13 STEEL CHARACTERISTICS

There are two thought schools about AISI H13 steel tempering after quench, to be employed for hot working tools and dies. Both schools recommend repeating the tempering three times, but the suggested temperature is different. The first school recommends to temper: the first time at the secondary hardness temperature peak; the second time at the desired hardness temperature; the third time at 20±50 °C lower than the temperature of second tempering. The second school recommends to temper: the first time at temperature

30±50 °C higher than the secondary hardness temperature peak; the second time at the desired hardness temperature; the third time at 250 ± 20 °C.

The authors have severally observed a decadence of the toughness, considering the same final hardness, in AISI H13 dies steel submitted to the third tempering.

Therefore they have thought necessary to investigate on the real effectiveness of the tempering, performed one, two or three times.

It seems that the results show the uselessness of the multiple tempering and have showed some curious characteristics of this steel tempered to unusual temperatures.

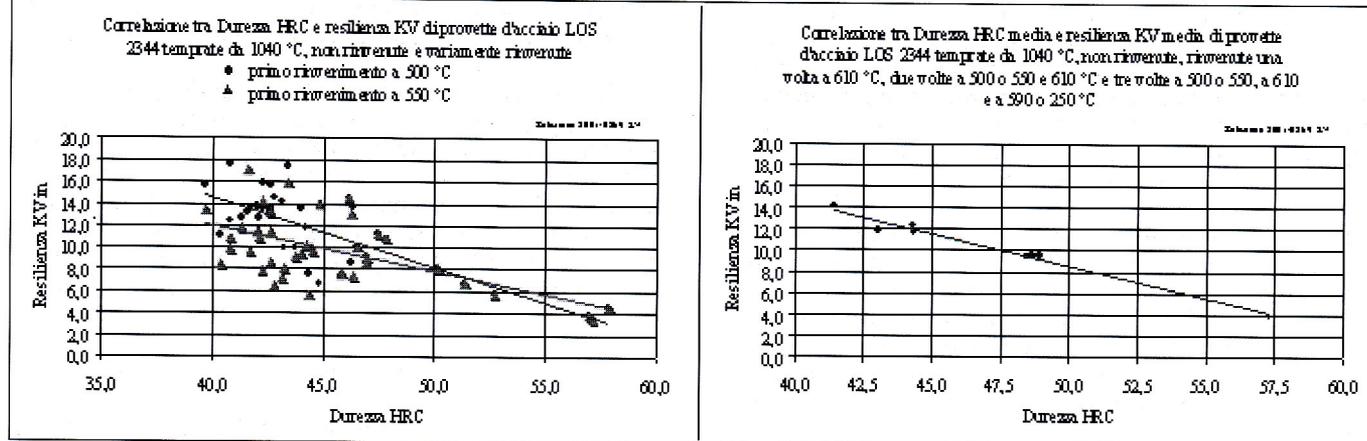


Figura 7: esempi di correlazione dei valori singoli e medi della resilienza KV contro i valori singoli o medi della durezza HRC di provette temprate da 1040 °C, non rinvenute e variamente rinvenute.

Picture 7: examples of correlation of single and average values of KV impact strength versus single and average values HRC hardness of samples quenched by 1040 °C, as quenched and differently tempered.

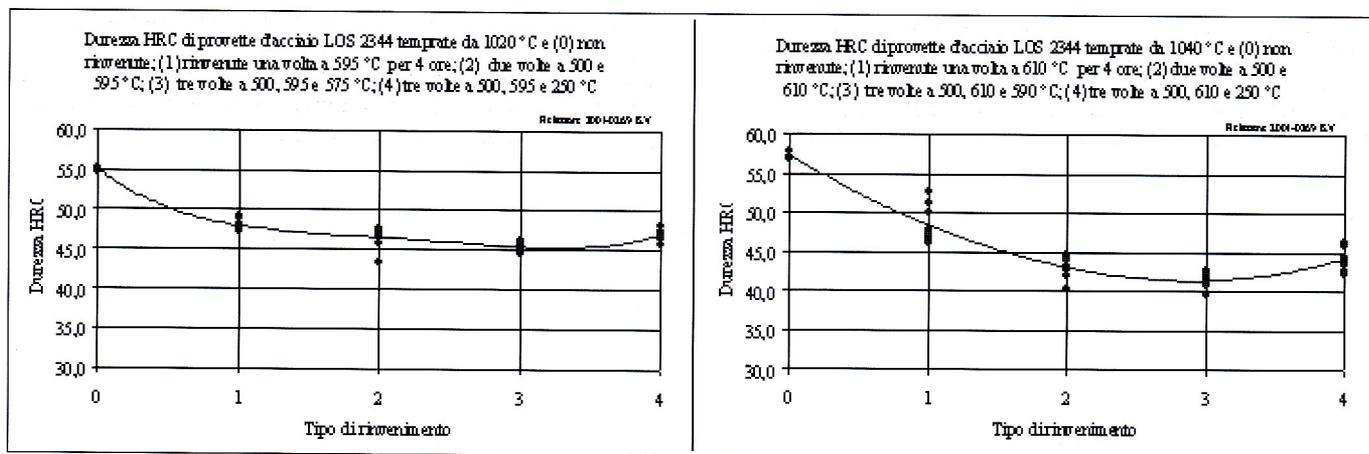


Figura 8: esempi dell'andamento della durezza HRC di provette temprate da 1020 o 1040 °C, in funzione del ciclo termico.

Picture 8: examples of course of HRC hardness quenched by 1020 or 1040 °C, in function of heat treatment cycle.

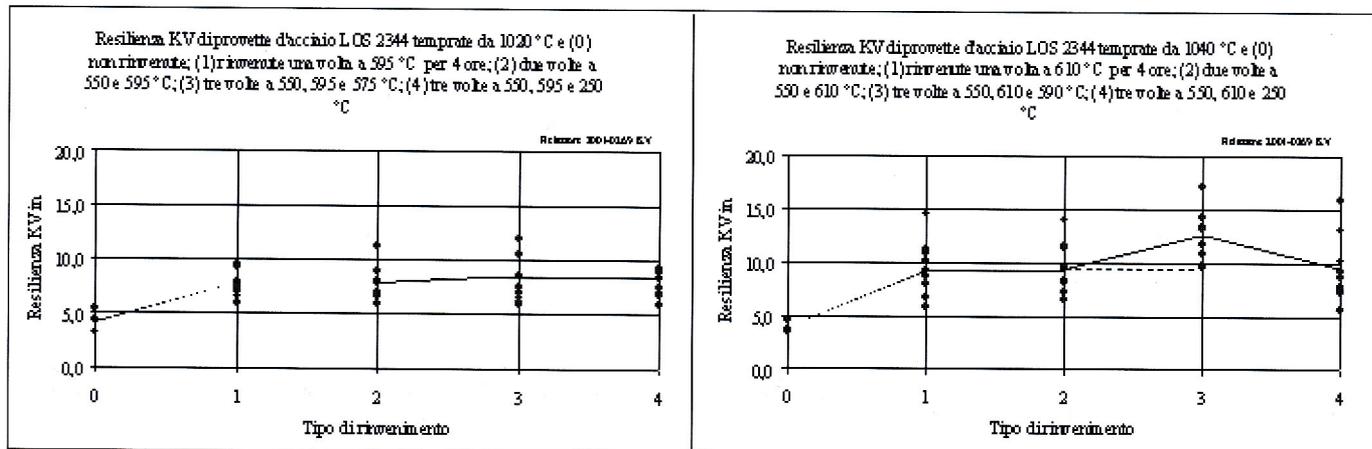


Figura 9: esempi dell'andamento della resilienza KV di provette temprate da 1040 °C, in funzione del ciclo termico.

Picture 9: example of KV impact strength course of quenched samples by 1040 °C, in function of heat treatment cycle.

ne del ciclo termico è rappresentata nei grafici di figura 8. La tempra da 1040 °C, seguita da due o tre rinvenimenti, di cui il primo a 500 °C, il secondo a 610 ed il terzo a 250 °C conferisce una durezza finale di 43 ÷ 44 HRC, mentre dopo due o tre rinvenimenti, di cui il primo a 550 °C, il secondo a 610 ed il terzo a 250 °C conferisce una durezza eccessiva (48 ÷ 49 HRC).

La tempra da 1040 °C seguita da tre rinvenimenti, di cui il primo a 500 °C, il secondo a 610 ed il terzo a 590 °C, conferisce una durezza insufficiente (41 HRC); mentre dopo tre rinvenimenti di cui il primo a 550 °C, il secondo a 610 ed il terzo a 590 °C, conferisce una durezza accettabile di circa 44 HRC.

Il fatto che, dopo il primo rinvenimento a 550 °C, l'acciaio