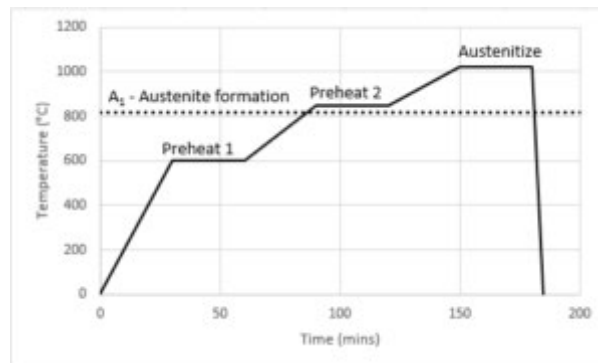


Austenitizzazione Parte 3 – Austenitizzazione a più step

Ci sono varie alternative ad un riscaldamento a temperatura di austenitizzazione diretto e mantenuto per un certo periodo di tempo seguito da uno spegnimento.

PRERISCALDO

Il preriscaldamento viene effettuato per minimizzare il cambiamento dimensionale, la distorsione e il rischio di frattura durante il riscaldamento. Spesso un singolo preriscaldamento è raccomandato ma per alcuni tipi di acciaio 2 preriscaldamenti sono consigliati. Ad esempio il datasheet del Vanadis 4 Extra raccomanda un preriscaldamento a 600-650°C e un secondo a 850-900°C, come riportato dal grafico seguente



Durante il riscaldamento l'acciaio cresce seguendo il coefficiente di espansione termica. Quindi le sezioni che sono ad una più alta temperatura (come la superficie) crescono maggiormente rispetto al cuore. Inoltre, l'austenite è più densa della ferrite pertanto le sezioni di acciaio che sono state trasformate in austenite si riducono.

A causa di questi due fattori, il pezzo è soggetto a stress complessi. Un riscaldamento rapido peggiora questi problemi come ad esempio il riscaldamento in Sali. Acciai con un'alta temperatura di austenitizzazione sono tipicamente i più soggetti a causa della più estrema differenza di temperatura. Qualche alligante ha effetto sulla conducibilità termica, come il cromo, pertanto preriscaldare è più necessario per acciai inossidabili o quelli ad alto contenuto di cromo (come il D2).

PRETEMPRA

È stato scoperto che negli acciai rapiti la doppia austenitizzazione comporta una crescita discontinua nel grano per una combinazione di grani molto grossi assieme a grani molto fini. Questi grani così grossi sono deleteri per la tenacità. I grani più fini comportano invece un incremento sia in durezza che in tenacità.

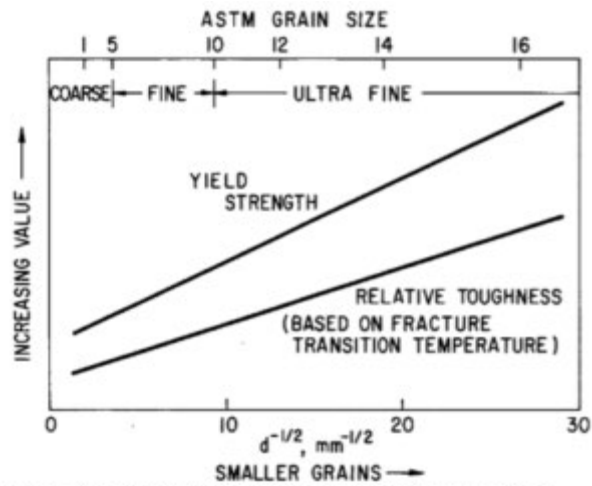


Fig. 2—Schematic representation of the effect of austenite grain size on strength and toughness.

Tipicamente un aumento della durezza comporta una diminuzione della tenacità, pertanto l'affinamento del grano è altamente desiderabile in quanto porta ad un aumento di entrambe le proprietà.

Molti studi sono stati portati avanti per tentare di risolvere il mistero del perché una austenitizzazione multipla comporta una crescita discontinua dei grani se non si procede con un trattamento di normalizzazione intermedio. Parte delle ricerche hanno scoperto che se la prima austenitizzazione viene fatta ad una temperatura sufficientemente bassa, in realtà la dimensione del grano si affina.

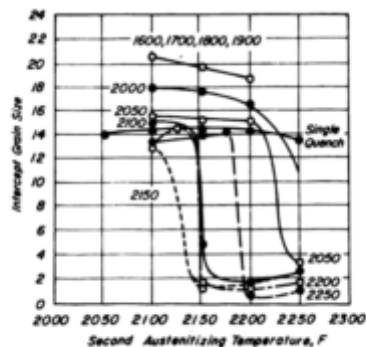


Fig. 12-42. Grain coarsening curves for type 650 (M2) steel after the second austenitizing treatment. The quench temperatures are given near each curve. (Grobe, Roberts and Chambers¹⁴)

Notate che quando la prima austenitizzazione avviene tra 1600-1900F la dimensione del grano diminuisce da 14 a circa 19-20. Effetti simili sono stati riscontrati anche da altri ricercatori [5-6] ed anche su altri acciai, come ad esempio il D2 [7]

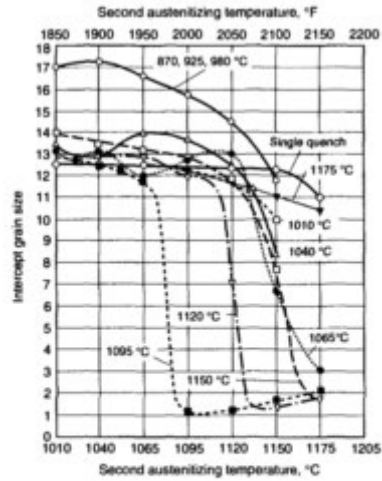
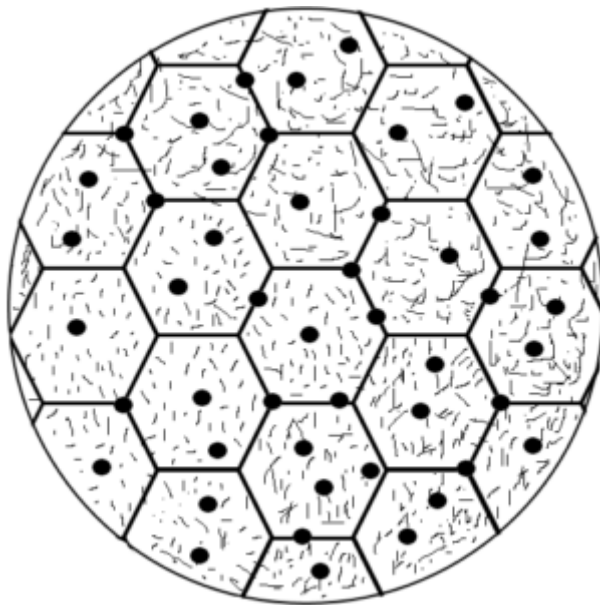
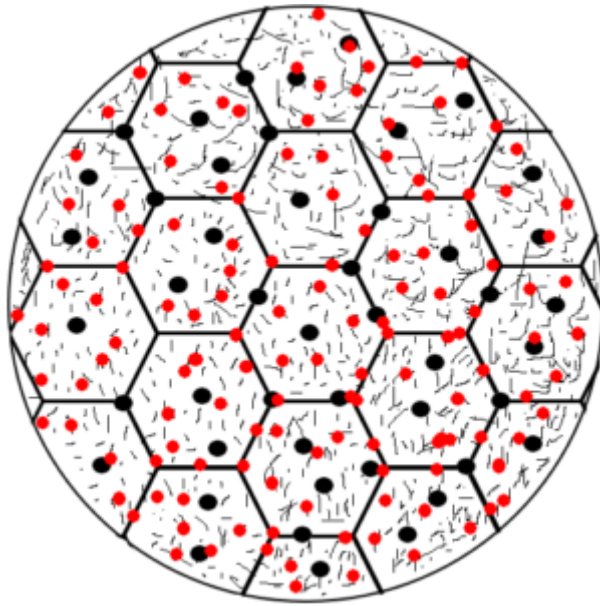


Fig. 12-8 Austenitic grain size as a function of second austenizing temperature of D2 steel after quenching from first austenizing temperatures as indicated. The austenite grain size as a function of austenizing temperature for specimens "single quenched" from a single austenizing treatment are also shown. Data from Teledyne VASCO

E' stato verificato che i carburi precipitati dalla precedente struttura martensitica sviluppata dalla pretempra sono molto più fini rispetto a quelli trovati nella struttura allo stato ricotto. Pertanto, c'è un'alta densità di carburi fini dai quali enucleare austenite avendo come risultato la formazione di austenite più fina.





CICLI RAPIDI PER AFFINAMENTO DEL GRANO

Grange riporta di affinamento del grano mediante cicli inferiori e superiori alla temperatura di formazione austenitica fin dai primi anni 60 [3, 8-9], e metodi simili sono diventati popolari tra i coltellinai.

Questi metodi hanno assunto vari nomi, doppia austenitizzazione, tripla tempra, tempra multipla, cicli rapiti, ecc. Grange studiò diversi acciai da quelli a basso tenore di carbonio, medio tenore di carbonio, alto tenore di carbonio incluso il 52100 [3-5]. Grange scoprì che in generale, brevi periodi di permanenza a temperatura leggermente superiore a quella di austenitizzazione erano migliori per il mantenimento del grano fine e che l'utilizzo di bagni in piombo fuso per velocizzare il raggiungimento della temperatura limitava ulteriormente la crescita del grano. Determinò inoltre che la martensite era una miglior struttura di partenza rispetto alla ferrite/perlite per raggiungere un grano molto fine. Di seguito alcuni esempi di affinamento del grano ottenuti con il 52100

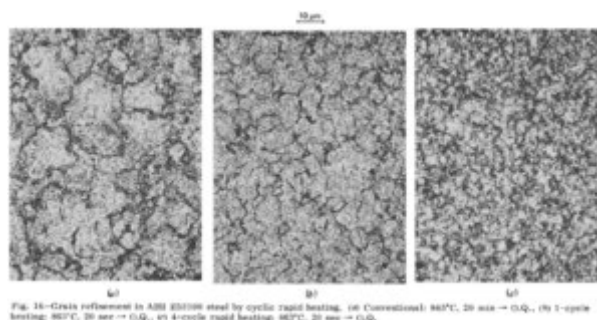


Fig. 16—Grain refinement in AISI 52100 steel by cyclic rapid heating. (a) Conventional: 845°C, 20 min → O.A., (b) 3-cycle heating: 845°C, 20 sec → O.A., (c) 4-cycle rapid heating: 845°C, 20 sec → O.A.

Grange concluse che una struttura martensitica (di partenza) porta ad un grano più fine perché il rinvenimento della martensite durante il processo di riscaldamento porta ad una migliore distribuzione dei carburi e un conseguente aumento dei siti di nucleazione che a loro volta portano ad una più densa ed omogenea struttura austenitica che essenzialmente è lo stesso risultato della pretempra. Grange non parla mai di pretempra nei suoi studi per cui non ci è dato sapere se fosse a conoscenza di questi articoli.

Dal momento che una più fine austenite si è formata e spenta a formare nuova martensite, il ciclo può continuare. Il nuovo grano ancor più fine e con una maggiore densità di siti di nucleazione fornirà nuovamente la base per una nuova formazione di austenite ancora più fine. Continuando con il numero di

cicli si otterranno sempre grani più sottili finché non si arriverà al punto in cui l'energia necessaria per generare ancora grani non sarà così tanta da impedire di fatto un ulteriore affinamento del grano.

Grange riportò anche che cicli rapidi negli acciai ad alto tenore di carbonio come il 52100 comporta anche omogeneità nella distribuzione dei carburi, che comporta anche un incremento delle prestazioni.

Grande riporta [9] che la tenacità del 1045 aumenta drasticamente tramite cicli rapidi.

ASTM grain size	Tensile strength (ksi)	Charpy V-notch (ft-lbs)	
Conventional hardening	8	102	11
Rapid cycling	12	99	20

Grange usava riscaldamento tramite bagni in piombo fuso per raggiungere un rapido riscaldamento. Verhoeven [10] usava bagni di sale con 3 austenitizzazioni a 1450 °F da 4 minuti per affinare il grano del 1045, 1086 e 52100 da una dimensione ASTM di 8.5-11 fino a 14-15.

Anche sistemi di riscaldamento più lenti possono essere usati. Kim et al [11] ha comparato un doppio ciclo di austenitizzazione con un forno a muffola ed un trattamento di 1 ora di cicli rapidi tramite induzione ed ha constatato un affinamento del grano anche col forno a muffola, nonostante i cicli rapidi avessero avuto risultati migliori. Con tempi di permanenza inferiori e temperature basse si possono ottenere buoni risultati anche con i forni.

CICLI RAPIDI SU ACCIAI A SPEGNIMENTO IN ARIA E INOSSIDABILI

AS volte viene riportato che i cicli rapidi possono essere condotti solo su acciai al carbonio e sui basso legati e non nei più complessi acciai da utensili ed inossidabili. Gli studi sulla pretempra sembrano confermare quanto sopra anche se questi studi si focalizzavano solo su un singolo trattamento di pretempra piuttosto che agli effetti dei cicli rapidi. Non ho trovato studi sui cicli multipli per affinare il grano di acciai con spegnimento in aria ma potrebbe essere un'interessante area per future ricerche.

PRETEMPRA AD ALTE TEMPERATURE

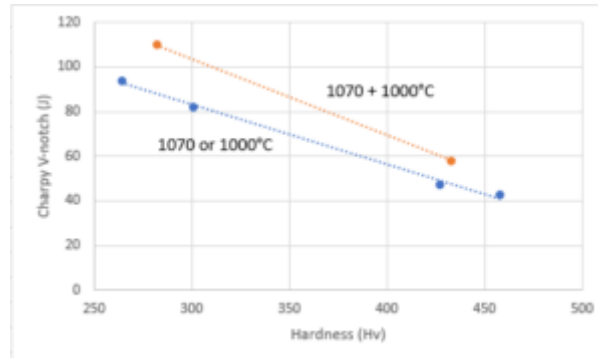
Un altro esempio di pretempra è quella che utilizza intenzionalmente una maggiore temperatura nella prima austenitizzazione, seguita da una con temperatura più bassa.

L'intento di questo tipo di trattamento non è quello di affinare il grano ma è quello di dissolvere più carburi per migliorare la tenacità. Questo trattamento è stato eseguito per la prima volta su un acciaio con 0.4C-4Cr [12], ma successivamente è stato portato avanti su altri acciai [13-16]. In uno studio sul 431 [13] è stato riscontrato che usando un primo step di austenitizzazione a 1070°C seguito da uno a 1000°C si otteneva una dimensione del grano intermedia tra un singolo a 1000°C e uno a 1070°C ma un minor volume di carburi con un conseguente miglioramento della tenacità.

Austenitize 1	Austenitize 2	RA as quenched	RA after 200°C	RA after 650°C	Grain size
1000°C	–	7.9	7.5	<2	15

1070°C	–	12.5	12	<2	30
1070°C	1000°C	14.2	13.9	<2	22

Dal momento che è stato utilizzato anche un rinvenimento più alto che ha trasformato gran parte dell'austenite residua, l'effetto di quest'ultima non ha influenzato il risultato sul più basso volume di carburi. Con le diverse temperature di tempra utilizzate, è stata trovata una tenacità superiore utilizzando il doppio trattamento di austenitizzazione.



In un altro studio condotto sul 420 [14] un affinamento del grano assieme ad un minor volume di carburi sono stati ottenuti utilizzando una pretempra a temperatura più alta. L'effetto è stato imputato alla partenza dalla struttura martensite come nel caso della pretempra discussa precedentemente.

Austenitize 1	Austenitize 2	Hardness (Hv)	ASTM Grain size	Charpy V-notch (J)
980°C	–	218	6	18
1040°C	–	210	4.5	16
1040°C	980°C	227	7	29

Per parlare di un acciaio molto usato nella coltelleria con questo metodo di una pretempra ad alta temperatura, ho (Larrin) analizzato uno studio sul D2 [15]. I ricercatori hanno eseguito un rinvenimento a 540°C prima di un secondo ciclo di austenitizzazione per ragioni imprecisate. Il tutto concluso con un rinvenimento finale a 200°C. Essi hanno scoperto che con questo metodo si è ottenuto un grano intermedio (come nell'esempio del 431) ma anche un minor volume di carburi. Non hanno condotto test sulla tenacità ma hanno riscontrato una maggior durezza finale.

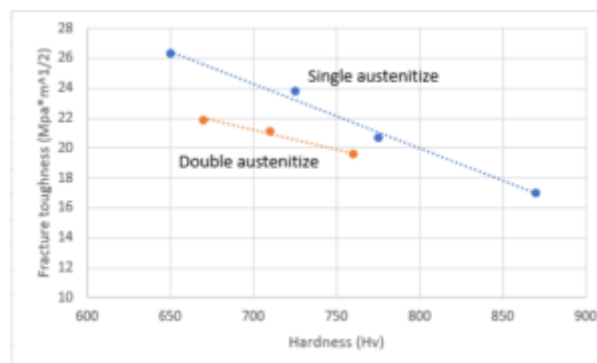
Austenitize 1	Austenitize 2	Grain size (microns)	Hardness (Hv)
950	–	3.7	509
1000	–	6.3	612
1050	–	12.4	702

1050	950	4.9	750
1050	1000	6.2	668
1050	1050	7.9	664

Ci sono alcuni fattori che mettono in discussione questo studio. Partiamo dalla durezza che hanno riscontrato con un solo ciclo di austenitizzazione a 1000°C sembra stranamente bassa: 54-55HRC contro i 60HRC normalmente riscontrati a questa temperatura. Un altro elemento strano è che i ricercatori hanno trovato carburi fini lungo i bordi del grano, cosa che normalmente è deleteria per la tenacità.

Un altro studio importante è stato condotto sull'M2 [16]. Hanno comparato una singola austenitizzazione con una doppia austenitizzazione con 1220° nel primo ciclo. In tutti i casi il tempo di permanenza è stato di 5 minuti e lo spegnimento in aria. Essi non hanno misurato la dimensione del grano ma se il grafico della pretempra dell'M2 mostrato sopra potesse essere usato qui la seconda temperatura di austenitizzazione dovrebbe essere inferiore all'intervallo di crescita discontinua del grano, specialmente per i 1050°C e i 1100°C nonostante la prima temperatura di 1220°C. Hanno scoperto un decremento della tenacità usando la doppia austenitizzazione:

Austenitize 1	Austenitize 2	As quenched carbide (%)	RA (%)	Hardness after 550°C	Toughness after 550°C
1220	–	9.7	11.4	870	17
1150	–	10.2	5.5	775	20.7
1100	–	11.8	3	725	23.8
1050	–	14.8	3.2	650	26.3
1220	1150	11	4.5	760	19.6
1220	1100	12.8	3.5	710	21.1
1220	1050	16	0	670	21.9



Essi hanno analizzato la microstruttura del materiale della singola e della doppia austenizzazione e scoperto che molti carburi sono precipitati nei confini del grano durante la seconda austenizzazione. Questi hanno comportato una riduzione della tenacità. Durante la prima austenizzazione la temperatura era molto alta e per questo una grande quantità di carburi si sono disciolti nella lega. Durante la seconda austenizzazione a una temperatura più bassa, la solubilità del carbonio viene ridotta termodinamicamente e quindi i carburi precipitano riducendo la quantità di carbonio in soluzione. Questi carburi tendono a precipitare nei confini tra i grani diventando zone ad alta energia contribuendo all'aumento della fragilità.

Il volume di carburi precipitati è aumentato con la seconda austenizzazione con 1,5% dopo 1150 ° C, 3,0% dopo 1100 ° C e 6,0% dopo 1050 ° C.

Visto l'incremento nella tenacità con una pretempra ad alta temperatura negli acciai a basso contenuto di carbonio, lo studio sul D2 fa riferimento alla precipitazione dei carburi ma non ai risultati sulla tenacità e lo studio sull'M2 mostra una riduzione della tenacità io escluderei che una pretempra ad alta possa in qualche modo migliorare la tenacità degli acciai e la riduzione del volume dei carburi. Forse una pretempra a bassa potrebbe avere risultati migliori in tal senso ma per poterlo affermare sono necessari altri studi.

Sembra anche che la procedura ideale per combinare una prima austenizzazione ad alta temperatura seguita da una a temperatura inferiore sia lungi dall'essere compresa. Sarebbe necessario uno studio più completo per confermare che tale trattamento porterà a un miglioramento della tenacità e che probabilmente fornirebbe solo informazioni sul solo tipo di acciaio testato.

COINCLUSIONI

- Il preriscaldamento aiuta ad evitare distorsioni e cricche da tempra ma non è necessario in tutte le situazioni;
- Grani fini comportano maggiore tenacità
- La pretempra aiuta l'affinamento del grano perché per qualche motivo la martensite è una struttura di partenza migliore per ottenere un'austenite più fine;
- Cicli rapidi possono affinare ulteriormente il grano attraverso la nucleazione di altri grani austenitici;
- Una pretempra con una temperatura maggiore può comportare un incremento della tenacità ma uno studio sull'M2 dimostra il contrario.

1] https://www.uddeholm.com/files/PB_Uddeholm_vanadis_4_extra_english.pdf

[2] Krauss, George. Steels: processing, structure, and performance. ASM International, 2015.

[3] Grange, R. A. "The rapid heat treatment of steel." Metallurgical transactions 2.1 (1971): 65-78.

[4] Grobe, Arthur H., George A. Roberts, and D. S. Chambers. "Discontinuous Grain Growth in High Speed Steel." Trans. ASM 46 (1954): 759.

[5] Kula, Eric, and Morris Cohen. "Grain growth in high speed steel." TRANSACTIONS OF THE AMERICAN SOCIETY FOR METALS 46 (1954): 727-758.

- [6] TUJI, Katsumi, and Kiyoshi ARAO. "Discontinuous Grain Growth Phenomena and Grain Refining Treatments in High Speed Tool Steel." *Tetsu-to-Hagane* 63.1 (1977): 80-89.
- [7] Roberts, George Adam, Richard Kennedy, and George Krauss. *Tool steels*. ASM international, 1998.
- [8] Grange, R. A. "Strengthening steel by austenite grain refinement." *ASM Trans Quart* 59.1 (1966): 26-48.
- [9] Grange, Raymond A., and Edward R. Shackelford. "Method of producing ultrafine grained steel." U.S. Patent No. 3,178,324. 13 Apr. 1965.
- [10] Verhoeven, John D. *Steel metallurgy for the non-metallurgist*. ASM International, 2007.
- [11] YH, Kim. "Thermal mechanisms of grain and packet refinement in a lath martensitic steel." *ISIJ international* 38.11 (1998): 1277-1285.
- [12] Rao, BV Narasimha, and G. Thomas. "Design of Fe/4Cr/0.4 C martensitic steels eliminating quench cracking." *Materials Science and Engineering* 20 (1975): 195-202.
- [13] Balan, K. P., A. Venugopal Reddy, and D. S. Sarma. "Effect of single and double austenitization treatments on the microstructure and mechanical properties of 16Cr-2Ni steel." *Journal of materials engineering and performance* 8.3 (1999): 385-393.
- [14] Srivatsa, Kulkarni, et al. "Improvement of impact toughness by modified hot working and heat treatment in 13% Cr martensitic stainless steel." *Materials Science and Engineering: A* 677 (2016): 240-251.
- [15] Salunkhe, Sa, et al. "Effect of single and double austenitization treatments on the microstructure and hardness of AISI D2 tool steel." *Materials Today: Proceedings* 2.4-5 (2015): 1901-1906.
- [16] Ögel, Bilgehan, and Erdogan Tekin. "The effect of double austenitization on the microstructure and fracture toughness of AISI M2 high speed steel." *steel research international* 69.6 (1998): 247-252.