

# Austenitizzazione Parte 2 – Effetti e proprietà

## Volume dei carburi

Come discusso nella prima parte, il volume dei carburi diminuisce con l'aumentare della temperatura. Come esempio, si riportano le micrografie che mostrano i carburi nella versione spray-form del Vanadis 4 (non-Extra) [1]:

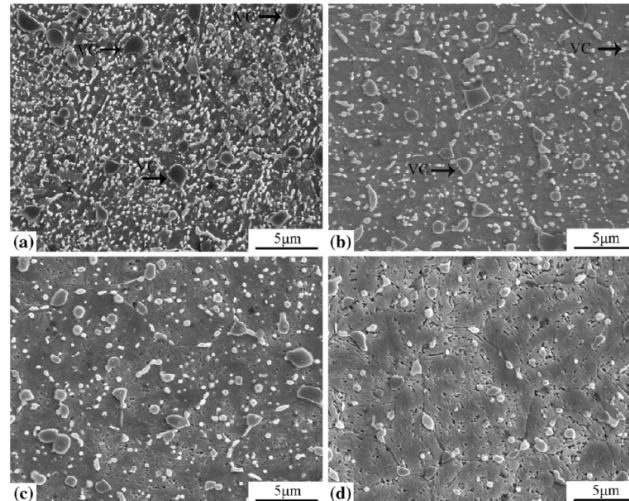


Fig. 3 - SEM micrographs of the as-sprayed steels quenched at: (a) 850 °C; (b) 950 °C; (c) 1050 °C and (d) 1150 °C.

Questo acciaio è una buona rappresentazione di cosa accade con acciai più complicati (complessi) rispetto ai semplici basso legati discussi nella prima parte. In questo caso abbiamo due principali tipi di carburi: i carburi di vanadio e i carburi di cromo. I carburi MC sono più grandi, in parte perché essi si formano a temperature più alte durante la solidificazione. Termodinamicamente i carburi di vanadio sono più stabili, essi si formano a più alte temperature e si dissolvono anche ad alte temperature durante l'Austenitizzazione. Così alla più bassa temperatura di 850°C, molti piccoli carburi di cromo sono presenti dopo lo spegnimento assieme a pochi più grandi carburi di vanadio. Con una temperatura di Austenitizzazione di 1150°C, questi carburi di vanadio sono pressoché invariati ma veramente pochi carburi di cromo sono rimasti. Questo è confermato dal calcolo termodinamico della loro composizione:

Austenitizzazione	Carburi di cromo	Carburi di vanadio
850°C	8.5%	8.3%
950°C	5.2%	8.3%
1050°C	2.7%	8.2%
1150°C	0.0%	7.8%

Tutto ciò è molto importante perché sappiamo che il volume dei carburi e la loro dimensione influisce in modo importante sulla tenacità dell'acciaio.

## Dimensione del grano

Un altro fattore importante discusso nella prima parte è la dimensione del grano. Qui avviamo delle immagini della dimensione del grano austenitico all'aumentare della temperatura in un campione di Uddeholm Caldrie [3]:

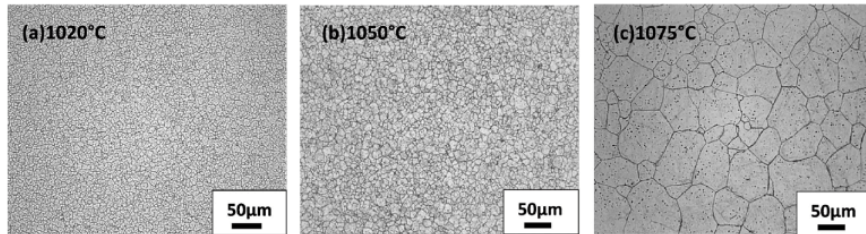


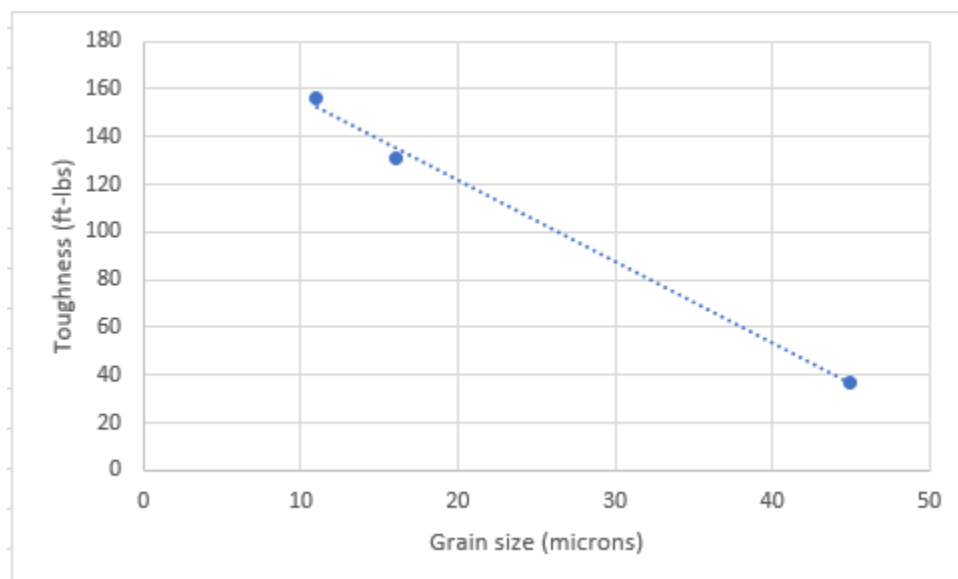
Figure 3. Light optical micrographs showing the effect of austenitization temperatures on prior austenite grains. Coarsening of prior austenite grains with increasing temperature can be seen after austenitization at a) 1020 °C, b) 1050 °C, and c) 1075 °C.

La differenza nella dimensione del grano all'aumentare della temperatura di Austenitizzazione è drammatica. La temperatura di 1075°C è superiore a quella raccomandata dal datasheet del Caldrie [4].

Questa differenza ha un ovvio impatto nella tenacità. Dopo il rinvenimento a 200°C, la durezza tra i tre campioni è simile ma la tenacità è molto differente.

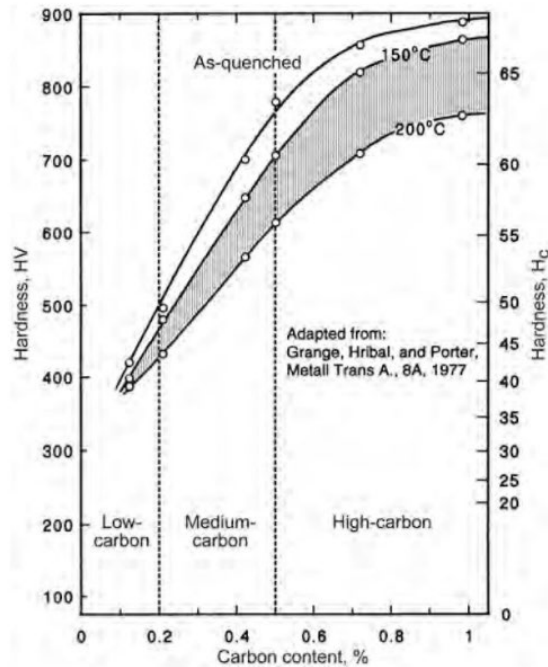
Austenitizzazione	Austenite residua	Dimensione grano (micron)	Durezza (Rc)	Tenacità (ft-lbs)
1020°C	19	11	60.3	156
1050°C	23	16	60	131
1075°C	28	45	59.7	37

Un grafico che mette assieme l'effetto della dimensione del grano più chiaramente.

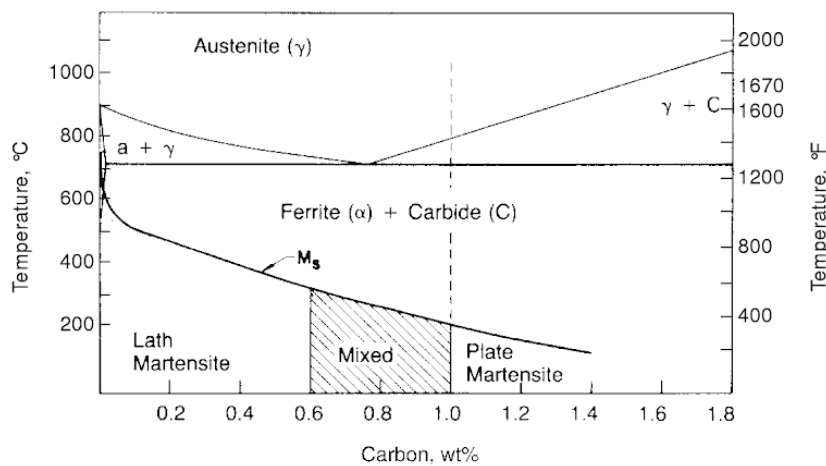


## Contenuto di carbonio nella martensite

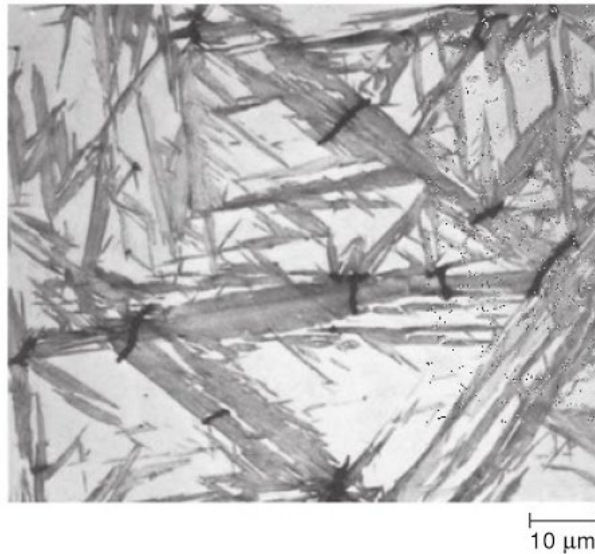
Così come il contenuto di carbonio aumenta all'aumentare della temperatura di Austenitizzazione, anche il contenuto di carbonio nella martensite finale aumenta. Ecco perché alte temperature di Austenitizzazione portano di norma a maggiori durezza [5]:



L'aumento di carbonio nella martensite cambia anche il tipo di martensite che andrà a formarsi: martensite aciculare e martensite a placchette.



Questa transizione è importante perché la martensite a placchette ha una più bassa duttilità, in parte dovuta alla formazione di micro-rottture durante la sua trasformazione.

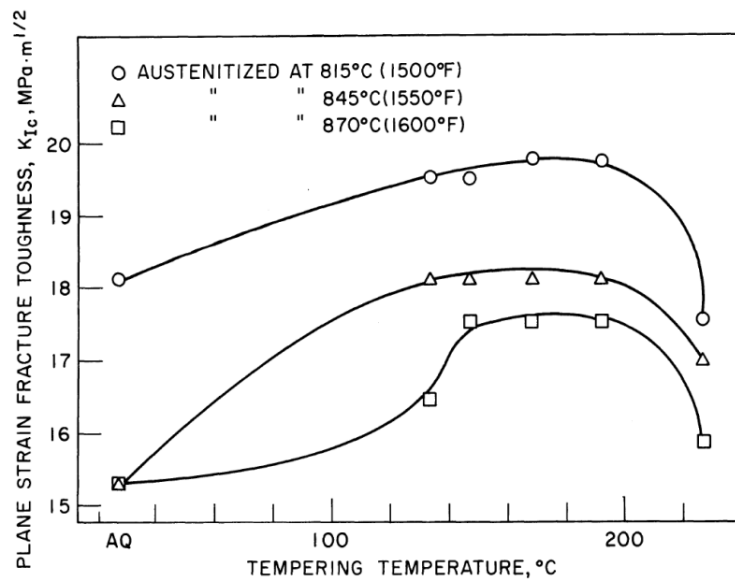


La martensite a più alto tenore di carbonio ha una minore tenacità anche se rinvenuta alla stessa durezza della martensite a basso tenore di carbonio. Di seguito un esempio da uno studio sul 52100, dove un aumento della temperatura di Austenitizzazione a portato ad una riduzione nella tenacità anche se dimensione del grano e durezza sono state riscontrate uguali [8]:

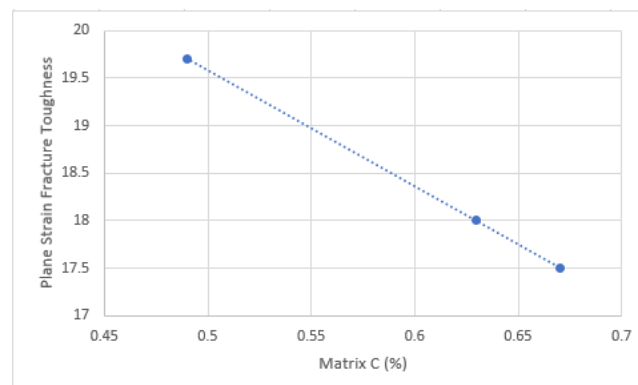
Austenitizzazione	C	Volume dei carburi	Dimensione grano	RA @ 150°C	RA @ 230°C
1500°F	0.49%	8%	16 micron	8	0
1550°F	0.63%	6%	16 micron	15	0
1600°F	0.67%	5%	16 micron	17	0

Austenitizzazione	Dopo spegnimento	135°C	150°C	170°C	195°C	230°C
1500°F	63	63	62	61	60.5	60
1550°F	64.5	64	63	62	61	60
1600°F	65	64	64	62.5	61.5	61



La maggior parte dei fattori tra le tre temperature selezionate sono le stesse ad eccezione del carbonio in soluzione, che è, secondo l'autore del test, la causa della differenza in tenacità. Tracciando un grafico riportando % di carbonio e tenacità alla temperatura di 170°C si riesce a notare un trend abbastanza evidente.



## Austenite residua

Come evidenziato nello studio del 52100 e del Caldie poco sopra, l'austenite residua aumenta all'aumentare della temperatura di Austenitizzazione. In teoria l'austenite residua "stabile" aumenta la tenacità dell'acciaio [3]. Tuttavia, esistono motivi per cui avere alti livelli di austenite residua non sia da considerarsi positivo per una lama. Ma questo è un discorso che verrà trattato a parte. Se si deve minimizzare il livello di austenite residua è necessario minimizzare la temperatura di Austenitizzazione.

## Conclusioni sulla tenacità

La dimensione del grano e il contenuto di carbonio in soluzione vengono ridotti utilizzando basse temperature di Austenitizzazione. Tuttavia, il volume dei carburi è ridotto solo con alte temperature di Austenitizzazione. Come interagiscono tra loro questi fattori? In generale, l'effetto del volume dei carburi è minore rispetto all'effetto della dimensione del grano e del carbonio in soluzione. Forse perché, nonostante le alte temperature di Austenitizzazione, rimangono comunque carburi di grande dimensione, come dimostrato nelle immagini relative al Vanadis 4. Comunque, basse temperature di austenizzazione portano a maggior tenacità come dimostrato dal seguente schema relativo al K390, rinvenuto alla stessa temperatura [9]

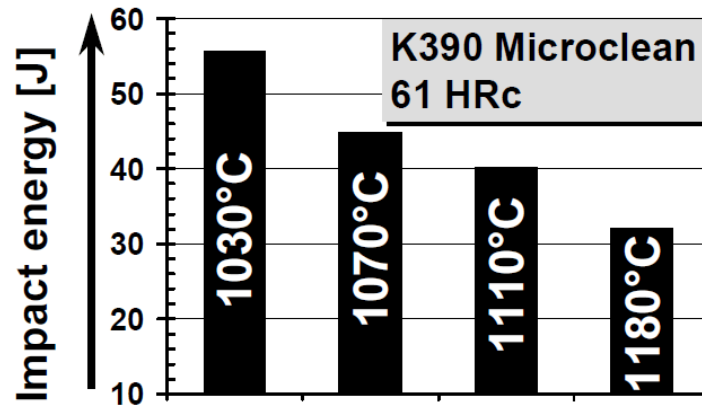


Fig. 5. Influence of different austenitising temperatures on the impact energy of K390 Microclean at 61 HRc

Questo, ovviamente, assumendo che la temperatura di rinvenimento sia sufficiente. Il rinvenimento però non è oggetto di questo articolo. Comunque sia in generale è meglio scegliere la durezza finale tramite l'Austenitizzazione piuttosto che con il rinvenimento.

### Underhardening (sottoindurimento)

Quindi, se una minor temperatura di Austenitizzazione è da considerarsi migliore riguardo alla tenacità dell'acciaio, cosa accade quando questa risulta troppo bassa? Quando un acciaio non è stato sufficientemente austenizzato si dice che è "underhardened" (non indurito, non temprato). Ci sono diversi motivi per cui esso debba essere chiamato così:

1. Scarsa temprabilità. Alte temperature di Austenitizzazione comportano maggior carbonio e altri elementi in soluzione come Mn, Cr, Mo e Ni che contribuiscono all'indurimento che significa una più bassa velocità di raffreddamento per evitare la precipitazione dei carburi e la formazione di perlite durante lo spegnimento.
2. Ferrite rimanente: se esiste ancora ferrite significa che non era stato precedentemente trasformato in austenite. Questo è generalmente un problema per gli acciai bassolegati visto che la temperatura di Austenitizzazione è molto vicina a quella critica.
3. Durezza insufficiente: ovviamente se l'acciaio non raggiunge la durezza prevista è sotto indurito.
4. Resistenza alla corrosione insufficiente: alta temperatura di Austenitizzazione comportano maggiori quantità di Cr, Mo e Ni in soluzione che controllano la resistenza alla corrosione.

Normalmente non ci sono ragioni per austenizzare al di fuori dei range di temperatura e tempi raccomandati dai datasheet dei produttori. Se austenizzato in quel range, verosimilmente l'acciaio sarà buono.

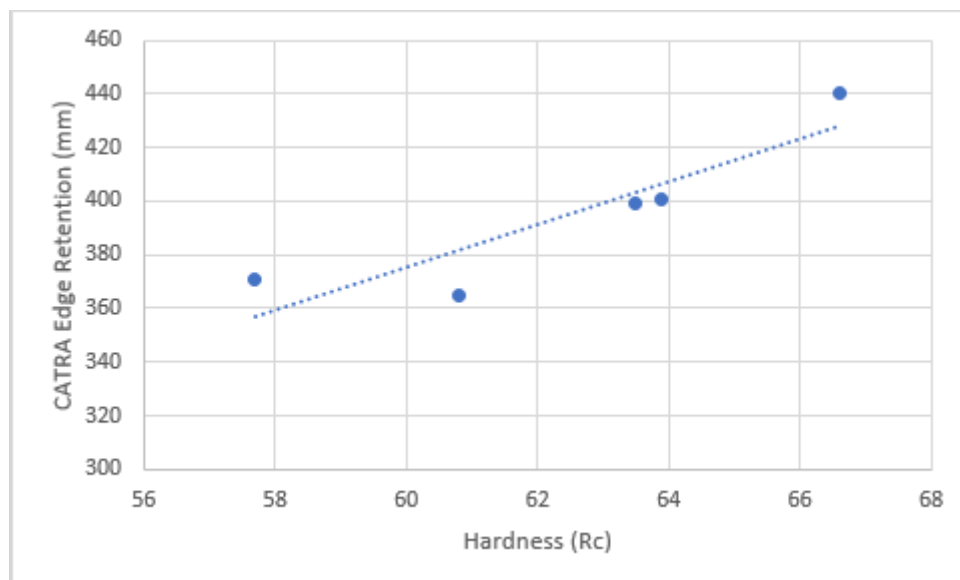
### Tenuta del filo

Come influisce la temperatura di Austenitizzazione nella tenuta del filo? Utilizzare una temperatura di Austenitizzazione più bassa per ottenere carburi più grandi comporta una maggiore resistenza all'usura?

C'è uno studio condotto sul CPM-M4 con il "CATRA edge retention test" dove sono stati confrontati diversi parametri di trattamento termico [10]:

Austenitizzazione	Rinvenimento	Durezza	Volume dei carburi	CATRA
2000	925	63.5	17.4	399
2000	1125	57.7	17.3	371
2100	1025	63.9	19.6	401
2200	925	66.6	14.7	440
2200	1125	60.8	14.2	365

Se tracciamo la durezza contro il risultato CATRA otteniamo una buona correlazione:



Tuttavia, la temperatura di Austenitizzazione o il volume dei carburi non sembra avere correlazione con il CATRA. Perciò, per un dato acciaio, la durezza è il fattore più importante per la tenuta del filo.

## CONCLUSIONE

In generale, basse temperature di Austenitizzazione sono migliori per una data durezza in termine di tenacità. Se si necessitano però di durezza maggiori un incremento della temperatura è essenziale. Come riassunto nella prima parte, alte temperature di Austenitizzazione comportano maggiore resistenza all'ossidazione. La temperatura di Austenitizzazione ha un basso impatto sulla tenuta del filo, a meno che non sia scelta per ottenere quella data durezza. Nella terza parte di discuterà di vari tipi di tempra multipla e dei loro effetti nelle proprietà dell'acciaio.

[1] Yan, Fei, et al. "Microstructure evolution during hot rolling and heat treatment of the spray formed Vanadis 4 cold work steel." *Materials Characterization* 59.8 (2008): 1007-1014.

[2] <https://www.bladeforums.com/threads/predicting-toughness-with-steel-composition.1534942/>

[3] Rehan, Muhammad Arbab, et al. "Effect of Austenitization and Tempering on the Microstructure and Mechanical Properties of a 5 wt% Cr Cold Work Tool Steel." *steel research international* 87.12 (2016): 1609-1618.

[4] [https://www.uddeholm.com/files/PB\\_caldie\\_english.pdf](https://www.uddeholm.com/files/PB_caldie_english.pdf)

[5] Krauss, George. "Heat treated martensitic steels: microstructural systems for advanced manufacture." *ISIJ international* 35.4 (1995): 349-359.

[6] Krauss, G., and A. R. Marder. "The morphology of martensite in iron alloys." *Metallurgical Transactions* 2.9 (1971): 2343.

[7] Krauss, G., and W. Pitsch. "Deformation twins in martensite." *Acta Metallurgica* 12.2 (1964): 278-279.

[8] Santiago, Rescalvo, and Jose Antonio. Fracture and fatigue crack growth in 52100, M-50 and 18-4-1 bearing steels. Diss. Massachusetts Institute of Technology, 1979.

[9] Schemmel, I., et al. "Böhler K390 Microclean—A new powder metallurgy cold work tool steel for highly demanding applications." *Proc PM2004*, Oct: 17-21.

[10] Lian, Sidi. Heat treatment effects on CPM-M4 tool steel performance as edged blade material. Diss. 2014.