

FORNI PER TRATTAMENTI TERMICI DEI SINTERIZZATI. TIPOLOGIE E CAPABILITY

Elio Gianotti. Trattamenti Termici Ferioli & Gianotti SpA. Rivoli-Torino.

INTRODUZIONE

L'espansione della tecnologia dei sinterizzati in acciaio, dovuta alle notevoli economie che permette di realizzare, ha coinvolto sempre di più l'uso di trattamenti termici sia massivi che superficiali di indurimento che ne ampliano ancora il campo di utilizzo. Si è assistito in questi ultimi anni all'utilizzo di tutti i processi tradizionali: la tempra, la carburazione, la carbonitrurazione, la nitrurazione nelle fasi liquida, gassosa e plasma e la tempra ad induzione.

Essendo il sinterizzato un pezzo a dimensione finita il trattamento termico andrà sempre in forni ad atmosfera controllata, con potenzialità di C controllabile, od in bagni di sali, ed inoltre tale trattamento non dovrà indurre deformazioni oltre la tolleranza ammissibile per il pezzo finito.

Queste due condizioni valgono anche per i pezzi non da polvere, ma per i sinterizzati sono più difficili da controllare per la natura porosa del sinterizzato. Alcune cause di deformazione possono essere legate alla morfologia del pezzo, per es., diversità di porosità nello stesso pezzo dovuto a sottosquadri o a masse molto diverse, oppure diversità fra un pezzo e l'altro dovute alla variazione di temperatura di sinterizzazione. Altre cause possono essere legate al trattamento termico di indurimento per es., riscaldamento o raffreddamento non uniforme nei forni a lotti, in questo caso i pezzi al centro della carica subiscono cicli termici diversi da quelli posti all'esterno. Oppure se i pezzi non vengono caricati in strati unici, ma sovrapposti, i pezzi caricati sotto gli altri possono subire deformazioni plastiche dovute al carico che devono sopportare.

Nel caso dei trattamenti di indurimento superficiale, come carburazione o nitrurazione, la diversità di porosità porta anche ad una penetrazione diversa degli elementi arricchenti con aumenti di volumi disuniformi.

Da queste considerazioni si possono già trarre alcune indicazioni su come operare con il trattamento termico dei sinterizzati.

Innanzitutto è necessario lavorare per lotti, intendendo per lotto, la quantità di produzione fatta dal sinterizzatore, senza interruzione, utilizzando gli stessi lotti di polveri, la stessa pressa, stampo, lo stesso forno di sinterizzazione e la stessa pressa di coniatura. Se per un motivo qualsiasi una macchina dovesse fermarsi o avere delle anomalie, quando riprende a lavorare, si dovrà segnalare un lotto diverso.

Operando in queste condizioni si ha una elevata probabilità di omogeneità morfologica del lotto ed eventuali deformazioni dopo trattamento termico, fra un pezzo e l'altro, sono con buona probabilità attribuibili a disuniformità del trattamento termico stesso. Naturalmente la disuniformità di porosità nello stesso pezzo porta a delle deformazioni asimmetriche, nello stesso pezzo, non imputabili al trattamento termico.

Diventa quindi molto complicato capire cause ed effetti quando le anomalie si sommano perché un tipo di deformazione può compensare oppure aumentare l'altro tipo e portare quindi a risultati non più statisticamente catalogabili.

Una condizione irrinunciabile da pretendere quindi, prima di iniziare il trattamento termico, è la lavorazione del sinterizzato per lotti omogenei.

FORNI CONTINUI

Sono generalmente utilizzati forni a tappeto ad atmosfera con potenziale di C controllato e, naturalmente, con la temperatura di riscaldamento del forno e dell'olio di tempra controllate e costanti. (vedi fig.1).

Il forno continuo ha il grosso vantaggio di ricevere i pezzi distribuiti su di un unico strato sul tappeto e fa subire quindi, in modo rigorosamente uniforme, lo stesso ciclo termico a tutti i pezzi.

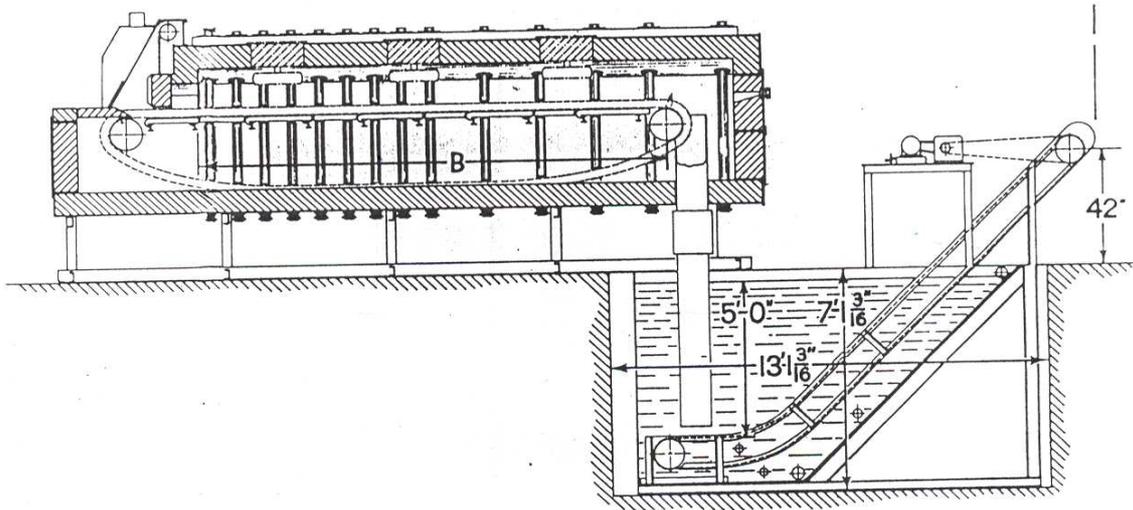


FIG.1 Forno continuo a tappeto, in atmosfera controllata

La disuniformità di deformazione o di durezza, ottenuta con un trattamento in un forno continuo rigorosamente controllato, fanno dedurre che non sia omogeneo il lotto dei pezzi consegnato dal sinterizzatore.

È già stato affermato che le deformazioni del sinterizzato devono essere uniformi, sottintendendo con ciò che comunque le deformazioni avvengono.

Si tratta quindi di cercare i parametri del trattamento termico che riducono al minimo tali deformazioni.

In questa ricerca bisogna operare su:

- temperatura di riscaldamento;
- tempo di permanenza in temperatura;
- temperatura dell'olio;
- potenziale di C e di Azoto dell'atmosfera.

Tenendo conto che, tendenzialmente, la temperatura del forno e la permanenza devono essere le più basse possibili e la temperatura dell'olio la più alta possibile, compatibilmente con le durezza finali richieste sul sinterizzato.

Una volta trovati i parametri ottimali sarà necessario utilizzarli per tutto il lotto. Tali parametri saranno presi come base di partenza per la messa a punto del lotto successivo.

Come già detto il forno a tappeto è quello che dà le maggiori garanzie di uniformità del trattamento termico ma come è facilmente intuibile, è competitivo economicamente solo se i lotti hanno la consistenza di almeno qualche centinaio di Kg. Altrimenti la produzione persa per cercare i parametri ottimali sulle campionature incide troppo pesantemente sul costo finale.

FORNI a LOTTI

Normalmente vengono utilizzati forni “sealed quench” nei quali la carica viene temprata senza dover passare attraverso l’aria (vedi fig.2).

Mentre nel forno a tappeto esiste una ottima probabilità di omogeneità di trattamento termico, nel forno a lotti tale caratteristica è da verificare con il calcolo della capacità del forno (capability).

Prima di procedere alla ricerca dei parametri di trattamento termico più idonei a ridurre al minimo le deformazioni come per il forno a tappeto, è necessario procedere alla valutazione della uniformità di comportamento dei pezzi all’interno della carica del forno.

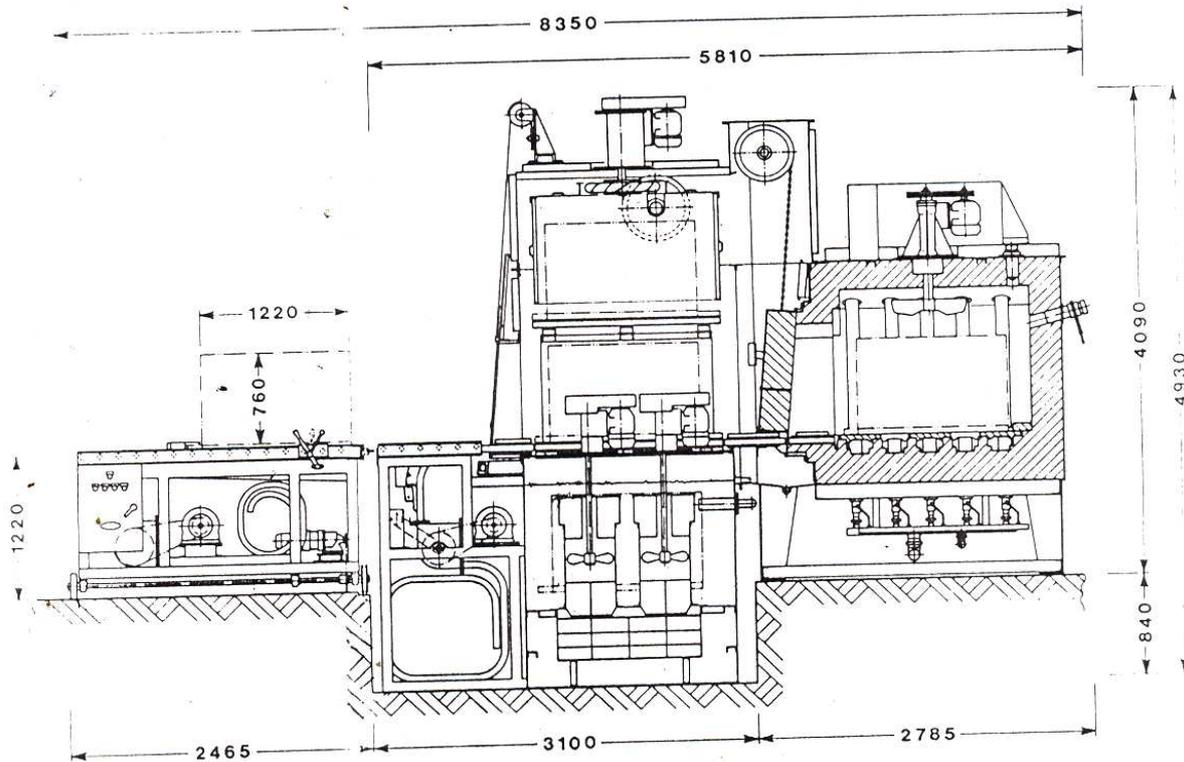


FIG.2 Forno a lotti, tipo sealed quench, ad atmosfera controllata

Qui di seguito riassumiamo una metodologia per tale ricerca, che è stata messa a punto presso una nostra Azienda che lavora da parecchi anni nel campo dei sinterizzati, utilizzando forni Pacemaker della Lindberg.

Caratteristica discriminante del forno a lotti è la capacità di produrre contemporaneamente una quantità notevole di pezzi, la cosiddetta “informata”. Dando per scontato che con i moderni mezzi di regolazione elettronica possa essere considerata uniforme la regolazione della temperatura, e nel caso dei forni ad atmosfera controllata, la regolazione dei potenziali carburanti o nitruranti, si devono prendere in considerazione agli effetti del livello di uniformità delle caratteristiche da ottenere, la dislocazione dei vari pezzi nell’informata.

Agli effetti della classificazione delle varie zone del forno si possono considerare “critiche” le zone difficili da tenere sotto controllo e “secondarie” le altre.

Si deve ancora considerare che il lotto o l’informata viene quasi sempre estratto dal forno e temprato senza che venga scomposto e l’uniformità di tempra sarà a sua volta condizionata dalla distribuzione dei pezzi nel lotto costituente l’informata.

Si può allora tentare di dare una classificazione puramente intuitiva delle criticità delle zone come risulta dalla fig.3.

A questa fase di impostazione è necessario far seguire una serie di controlli mirati, trattando una sequenza di lotti omogenei in un forno da esaminare.

Nell'esempio della fig.4 è stata presa come caratteristica da controllare la profondità di cementazione di perni diametro 40 mm aventi lunghezza 80 mm in acciaio 16MnCr5. La profondità di cementazione richiesta è di 8.5 : 11.5 decimi di mm. Come forno da controllare è stato scelto un forno a camera con vasca di spegnimento incorporata, con capacità di carica di 1000 Kg e dimensioni di mm 1200 x 750 x 700.

ZONE	FASE CEMENTAZIONE		FASE TEMPRA	
		Ordine d'importanza		Ordine d'importanza
PORTA	C	2	-	2
SUOLA	C	1	-	2
CIELO	-	7	-	2
FONDO	-	6	-	2
LATI DX E SIN.	-	5	-	2
CENTRO CARICA	C	3	C	1
SPIGOLI	-	4	-	2

Fig.3 Identificazione intuitiva della criticità del lotto
 Simboli C = Critica
 - = Secondaria

ZONE	PROFONDITA' CEMENTAZIONE	CRITICITA'
SUOLA	9,1 – 11,2	4
PORTA	8,5 – 11,0	2
CENTRO CARICA	8,5 – 11,2	1
FONDO	9,0 – 11,2	3
CIELO	9,2 – 11,0	5

Fig.4 Identificazione pratica della criticità del lotto

In una serie di 5 infornate sono stati eseguiti controlli di profondità di cementazione nelle varie zone del forno e le escursioni sono state riportate nella tabella di fig.4. Dal loro esame risulta che la zona più critica è il centro della carica e non la suola come si era previsto nella classificazione intuitiva. È possibile quindi stabilire, in base alle prove pratiche, una tabella di criticità delle varie zone del forno preso in esame (fig.5).

ZONE	CRITICITA'
CENTRO CARICA	1
PORTA	2
FONDO	3
SUOLA	4
CIELO	5

Fig.5 Classificazione della criticità delle zone

Classificate le zone del forno è necessario calcolare la tolleranza naturale di ogni zona per verificare se esistono zone del forno che non danno garanzie di lavorare nei limiti statisticamente prescritti.

Per questo controllo sarà bene fare prelievi più numerosi nelle zone di maggiore criticità. Se si riscontrano zone nelle quali il forno non è in grado di garantire la richiesta tolleranza si dovrà intervenire per tentare di farle rientrare nei limiti accettabili. Gli interventi possono essere di varia natura:

- a) Evitare il caricamento dei pezzi nelle zone critiche;
- b) Modificare il forno aumentando l'agitazione dell'atmosfera e la tenuta delle porte;
- c) Classificare il forno "non capace" e non adottarlo per il trattamento termico dei particolari in questione.

Quando il forno ha tutte le zone che rientrano nei limiti di tolleranza si può procedere al controllo della tolleranza naturale dell'intera infornata.

In questo caso si dovrà ricalcolare lo scarto tipo assumendo come campionatura i dati di tutti i pezzi prelevati nelle varie zone, o adottare la formula dello scarto tipo medio:

$$\frac{S_1 + S_2 + S_3}{n}$$

dove S_1, S_2, S_n sono gli scarti tipo di ogni zona esaminata del forno.

Con lo scarto tipo dell'intera infornata si calcola la tolleranza naturale dell'intero lotto e se tale tolleranza dà una "capacità" del forno accettabile (> 1.33) l'impianto si può considerare adatto alla produzione e le infornate possono essere considerate alla stregua di un lotto unico.

FORNI a VUOTO a SCARICA IONICA e BAGNI di SALI

I forni a scarica ionica o plasma sono gli ultimi arrivati nel campo della tecnologia del trattamento termico (vedi fig.6).

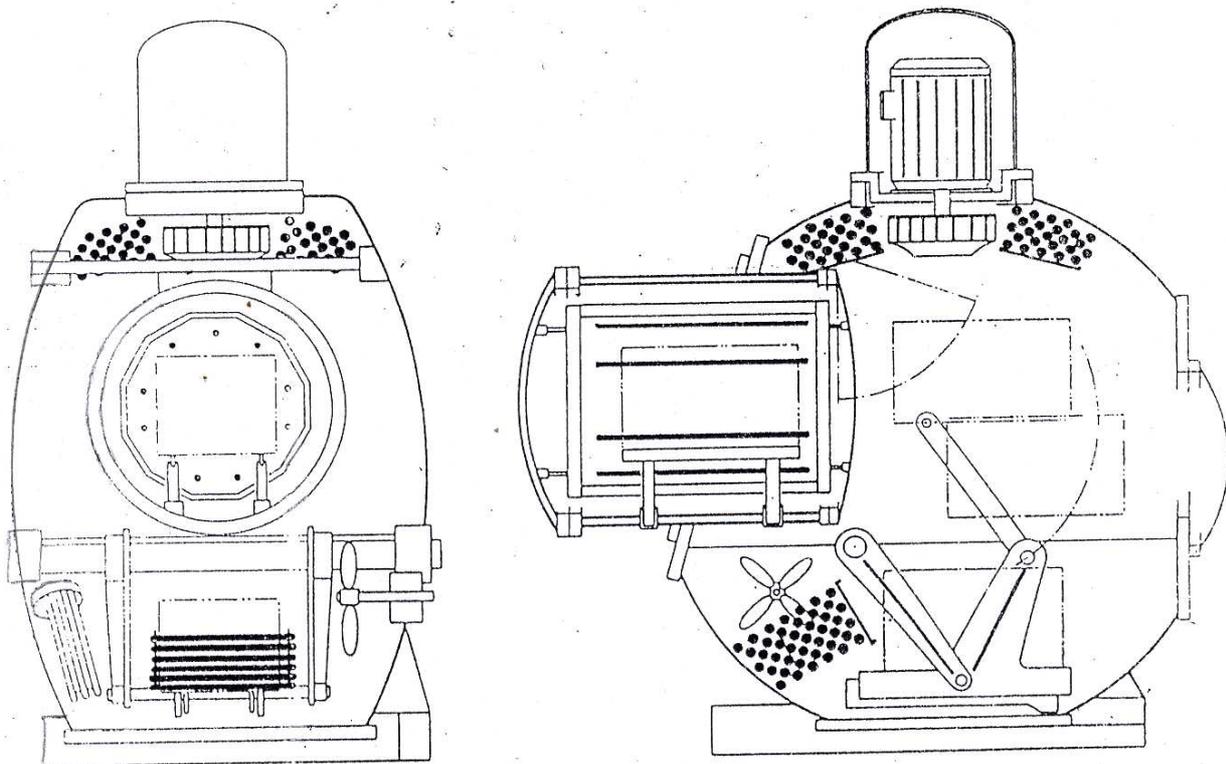


FIG.6 Forno a vuoto a scarica ionica, con vasca di olio incorporata.

Hanno il grosso svantaggio di costare almeno il triplo degli impianti tradizionale con la stessa potenzialità, ma hanno d'altro canto dei grossi vantaggi: estrema ripetibilità e costanza dei risultati, in quanto sono totalmente computerizzati, impatto ambientale quasi nullo e, nel caso di sinterizzati, risolvono il grosso problema delle difficoltà create dalla presenza dei pori.

La scarica ionica, quando avviene in opportune condizioni di pressione parziale dei gas e di valori di corrente, non penetra nelle cavità con dimensioni al di sotto di determinati valori, che possono essere orientativamente quantificati in 0.2 mm.

Con i trattamenti tradizionali in atmosfera controllata, sia che si operi a temperature di circa 500°-600°C, in presenza di NH₃ e gas vari contenenti carbonio, per nitrurare o nitrocarburare i pezzi; sia che si operi a temperature di 800°-900°C per cementare o carbonitrurare, i pezzi sinterizzati diventano molto fragili; tanto fragili che a volte basta lasciare cadere un pezzo perché si frantumi come vetro. Tale comportamento è legato alla capacità dei gas di processo di penetrare attraverso i pori dei prodotti sinterizzati fino al cuore degli stessi.

Il problema è stato superato utilizzando i bagni di sale. La penetrazione del sale è limitata alla superficie del pezzo ed il fenomeno di fragilità è evitato. Nasce però un altro inconveniente dovuto al trasudamento del sale sulla superficie del pezzo anche a distanza di alcuni mesi dal trattamento termico. Per evitarlo occorrono costosi cicli di decapaggio e lavaggio che non sempre offrono una buona affidabilità.

La cementazione in plasma ha tutti i presupposti per ovviare sia all'inconveniente del trattamento in gas che infragilizza il pezzo, sia al trasudamento con relativo arrugginimento, dovuto al trattamento in sale.

Parecchi studi sono stati condotti a livello di ricerca ed alcune applicazioni sono state realizzate a livello industriale, sul trattamento di nitrurazione o nitrocarburazione ionica dei prodotti sinterizzati. Il trattamento avviene normalmente a temperature di 500°-600°C seguito da un raffreddamento in azoto nello stesso forno in cui è avvenuto il processo.

I buoni risultati dichiarati sono però dovuti all'utilizzo di polveri di acciai prelegati; generalmente contenenti Cr e Mo. Nel caso di sinterizzati ottenuti da polveri di ferro, con aggiunte di piccole quantità di polveri di Cu-Mo e C, che sono la stragrande maggioranza di sinterizzati commerciali, le durezza ottenibili sono normalmente di soli 250-350 HV, contro i 600-700 HV ottenuti con polveri prelegate, e quindi, non sufficienti.

Purtroppo però il sinterizzato si è sviluppato sul mercato in quanto prodotto competitivo e cioè a basso prezzo per cui è necessario ottenere buone caratteristiche di durezza senza dover passare attraverso le costose polveri prelegate. La soluzione è rappresentata dal forno di cementazione ionica. Si tratta di carburare o nitrocarburare i pezzi in plasma previo opportuno decapaggio a temperatura più bassa di quella di esercizio, operando a temperature di 800-850°C e facendo seguire alla cementazione la tempra in olio, naturalmente in un forno dotato di vasca. Fra i vantaggi già elencati di questo sistema vanno aggiunti i seguenti: immergendo il pezzo in olio proveniente dalla camera del vuoto, si ha una totale impregnazione del pezzo, inoltre la scarica ionica non risente delle eventuali differenze di porosità, diminuendo le deformazioni durante la tempra.

Per pezzi particolarmente delicati, con necessità di contenimento delle deformazioni, si può adottare la tecnica collaudata della carbonitrurazione intorno al punto A1 (700°-720°C).

Tale tecnica, già applicata nei trattamenti in sale ed in gas di particolari di micromeccanica, è particolarmente adatta all'esecuzione nei forni a plasma.

In questo caso le trasformazioni allotropiche non riguardano il cuore del pezzo ma solo la superficie che, essendo arricchita in C e N, ha il punto A1 a temperatura notevolmente più bassa del cuore.

Essendo il fenomeno di tempra limitato ai pochi decimi di mm. della superficie, le deformazioni saranno molto contenute.

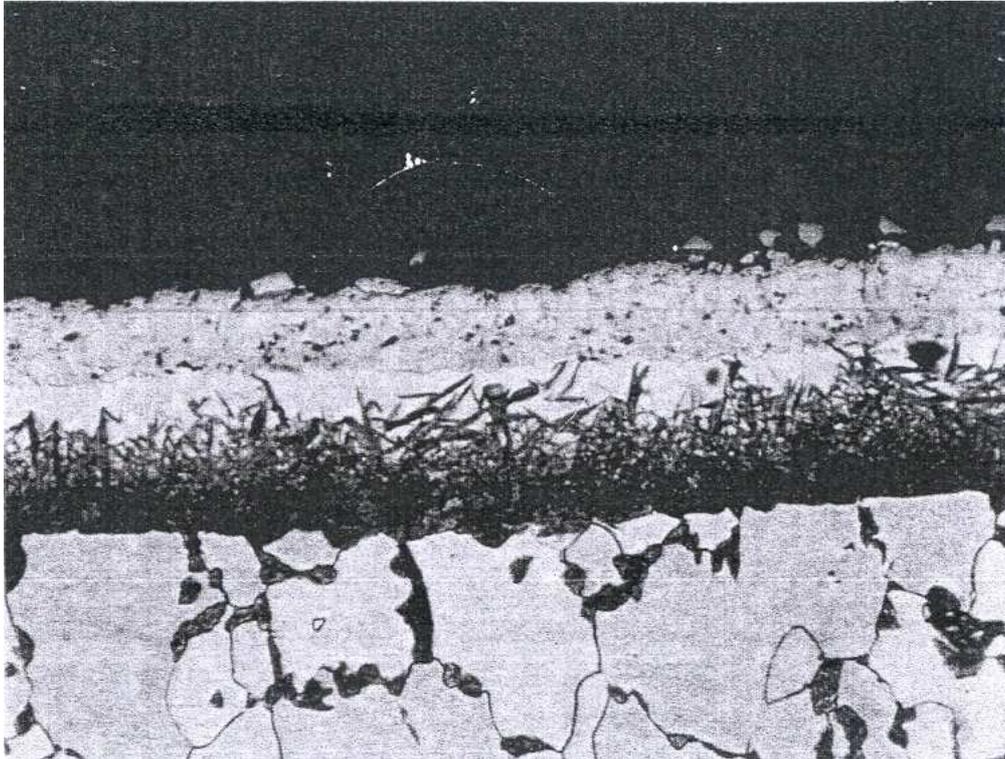


Fig.7 Esempio di microstruttura 500x che si ottiene su di un acciaio C10 carbonitrurato a temperatura intorno A1 (700° - 720° C) e temprato. Si può notare la coltre bianca con la zona di diffusione martensitica, ed al di sotto ferrite e perlite non modificate dalla tempra.