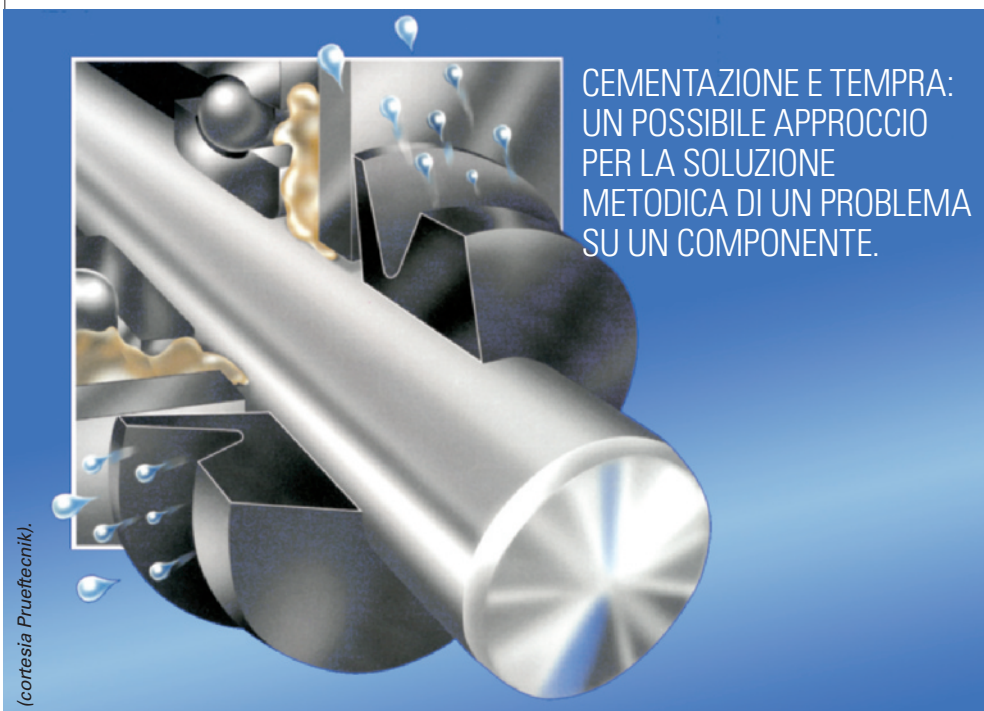


MIGLIORAMENTO DEL CICLO TERMICO/DI LAVORAZIONE SU ALBERI MOTORE INTEGRALI



La cementazione è un trattamento superficiale dell'acciaio e come tale si pone lo scopo di indurire la superficie di un pezzo meccanico, senza alterare le caratteristiche degli strati interni. Viene eseguita su acciai a basso tenore di carbonio, cioè con una percentuale compresa tra lo 0,1% e lo 0,2%, che vengono riscaldati alle temperature corrispondenti al campo austenitico e posti al contatto con mezzi apportatori di carbonio: questo elemento diffonde negli strati superficiali fino ad una profondità dipendente dalla temperatura e dalla durata del tratta-

mento. La concentrazione di carbonio nello strato superficiale dipende invece dal "potenziale di carbonio" del mezzo di cementante, che si ricava con prove sperimentali. Questo parametro rappresenta la concentrazione di carbonio che si avrebbe se il pezzo di acciaio venisse lasciato a contatto con il mezzo carburente per un tempo tale da raggiungere l'equilibrio chimico tra percentuale esterna al pezzo e percentuale del pezzo in fase di cementazione (nella pratica la prova sperimentale del potenziale di carbonio viene effettuata con sottili lamierine di acciaio, in modo che il tempo di prova sia molto breve) [1]. Teoricamente, più è alto il

potenziale di carbonio più alto sarà il tenore di carbonio raggiungibile nello strato esterno del pezzo, ma di fatto il tenore di carbonio viene sempre fatto arrivare al massimo allo 0,8%, che rappresenta la percentuale in cui l'austenite ha il campo più ampio [2]. Il potenziale di carbonio ha quindi importanza in quanto più questo parametro è elevato, minore sarà il tempo necessario a raggiungere la concentrazione dello 0,8% sulla superficie del pezzo.

La tempra

Una volta arricchito di carbonio lo strato superficiale, si procede con una tempra del componente, che avrà dunque effetto solamente sullo strato esterno, dato che all'interno del componente non si ha sufficiente carbonio per avere martensite. Infatti dopo l'arricchimento dello strato superficiale con il carbonio si hanno di fatto due materiali diversi che "coabitano" lo stesso componente e che quindi si comportano in modo diverso sottoposti al trattamento di tempra, come mostrato in figura 1, in quanto hanno una struttura cristallina [3] diversa all'inizio del processo: il cuore ha una struttura mista di austenite e ferrite, mentre la superficie è completamente austenitica. Inoltre le velocità di raffreddamento sono ovviamente minori all'interno del pezzo rispetto alla superficie dello stesso.

La tempra può avvenire in vari modi:

• Tempra diretta: il pezzo ancora caldo dopo la cementazione viene sottoposto a un brusco raffreddamento.

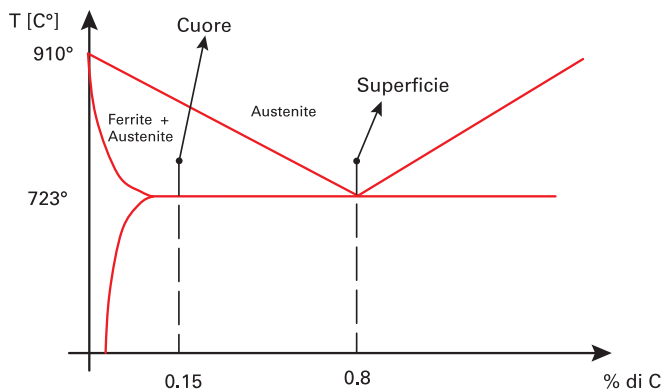


Figura 1 - Condizioni di partenza del cuore e delle superficie di un pezzo sottoposto a cementazione.

• Tempra unica: il pezzo cementato è lasciato raffreddare in aria calma fino alla temperatura ambiente. Successivamente viene riscaldato ad appropriata temperatura (850 – 900 °C) e temprato.

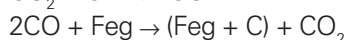
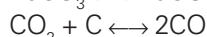
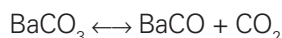
• Doppia tempra: è una tempra diretta seguita da un successivo riscaldamento e da una tempra da temperature più basse (780 – 820 °C), oppure si può fare tramite un processo di tempra unica seguito sempre da una tempra da temperature inferiori.

I tre processi sono raffigurati schematicamente nella figura 2.

Dopo i processi di tempra viene sempre eseguito un rinvenimento del componente della durata di circa tre ore alla temperatura di 180°. Questo è necessario perché la struttura martensitica è spesso troppo fragile perché troppo ricca in carbonio. Durante il rinvenimento la diffusività aumenta (a causa dell'aumento di temperatura) e quindi una parte del carbonio presente nella martensite forma dei carburi con gli altri elementi presenti nell'acciaio, diminuendo la fragilità della martensite, senza però diminuire sensibilmente la durezza perché i carburi hanno comunque un effetto indurente [4].

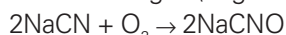
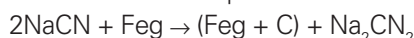
I mezzi di cementazione possono essere divisi in tre tipologie: solidi, liquidi e gassosi.

• Solidi: il componente da cementare è messo a contatto con carbone vegetale e agenti acceleranti che inducono le seguenti reazioni:



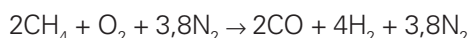
Queste reazioni sono spostate verso destra alle temperature del trattamento

• Liquidi: l'agente cementante è un composto liquido contenente miscele di cianuri di sodio e potassio. Le reazioni che vengono indotte alle alte temperature sono:



Questa tipologia di agenti cementanti è in disuso per le caratteristiche tossiche dei cianuri liquidi.

• Gassosi: il componente viene messo in un'atmosfera saturata di gas metano, che alle alte temperature si ossida, formando le reazioni:



Questo tipo di procedimento è il più usato nell'industria per la facilità di automazione e la relativamente scarsa tossicità degli agenti cementanti.

Secondo le normative ISO [6] si considera come strato cementato quello che ha come durezza almeno 500 HV. In genere per la cementazione lo strato interessato dall'indurimento è di circa 2 mm al massimo, ma può essere anche minore. Lo strato indurito dipende infatti da vari fattori tra cui i più importanti sono la durata del trattamento di cementazione e la temperatura alla quale avviene il processo. L'andamento della durezza presenta dunque un andamento fortemente variabile con la profondità del pezzo. Si possono distinguere 4 zone in base alla profondità che, a partire dalla superficie, sono (figura 3):

• 0 – 0.05 mm: Zona a durezza elevata ma

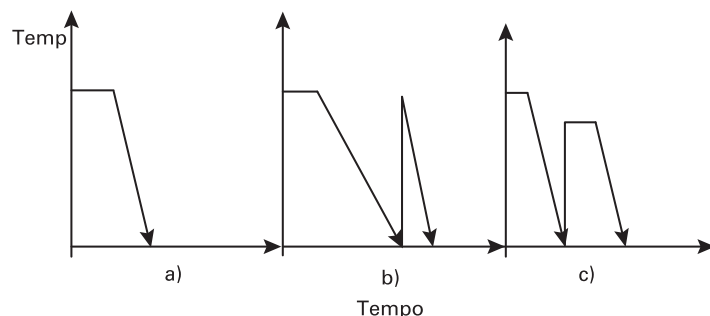


Figura 2 - Tempra diretta (a), tempra unica (b) e doppia tempra (c).

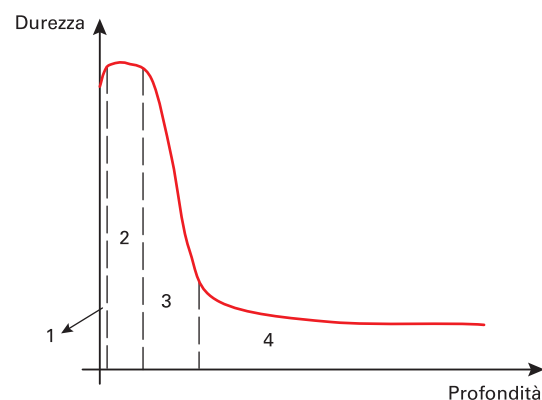


Figura 3 - Relazione tra durezza e profondità in un componente cementato.

non massima a causa di fenomeni ossidativi e di decarburazione dovuti al processo di cementazione stesso.

• 0.05 – 2 mm (max): Zona a durezza massima. Questo è lo strato effettivamente cementato che presenta le caratteristiche migliori.

• 2 – 3 mm: Zona (peraltro molto variabile) dove si ha una brusca caduta della durezza, in quanto il tenore di carbonio non è più elevato come nella zona precedente.

• 3 mm – cuore: Zona in cui la cementazione non ha avuto alcun effetto e quindi il materiale ha le stesse caratteristiche di partenza. Le tensioni residue indotte da un processo di cementazione sono molto scarse in superficie e soprattutto non sono favorevoli alla resistenza all'usura del materiale [7]. Questo è dovuto essenzialmente al fatto che la superficie dei pezzi cementati, se non sottoposta a trattamenti finali di finitura (pallinatura, rettifica, tornitura) presenta bassi livelli di sollecitazioni di compressione a causa

delle pessime caratteristiche microstrutturali del bordo più esterno dei pezzi (ossidazione, decarburazione) dovute al processo di cementazione stesso. Per la misurazione delle tensioni residue il metodo più utilizzato è quello diffrattometrico, che si basa sulla diversa diffrazione dei raggi X da parte di strati più o meno tensionati del materiale [8]. Nello strato sottostante l'immediata superficie le tensioni residue di compressione sono però abbastanza sensibili e sono dovute alla diversa struttura dello strato superficiale di un pezzo cementato rispetto al cuore. Infatti la martensite ha un volume maggiore rispetto all'austenite e perciò durante il cambiamento micro strutturale lo strato esterno entra in compressione in quanto "frenato" dallo strato interno, che non si trasforma in martensite [9]. Lo strato interno a sua volta viene indotto in uno stato di trazione. Le tensioni residue di compressione hanno il grosso vantaggio di aumentare la resistenza a usura del materiale, ma anche la sua resistenza a fatica, dato che queste tensioni ostacolano l'insorgenza e l'avanzamento delle cricche superficiali che spesso danno origine al fenomeno.

In conclusione possiamo dire che la cementazione ha come effetti principali su di un pezzo meccanico quelli di:

- migliorare la durezza superficiale in uno strato di 1 – 2 mm;
- indurre uno strato di tensioni residue di compressione superficiale;
- migliorare la resistenza ad usura e a fatica del componente;
- la "pelle" del materiale (0 – 0.05 mm di spessore) presenta bassa resistenza e scarse tensioni residue ed è quindi buona norma asportarla con lavorazioni meccaniche (es. rettifica o tornitura).

Esempio applicativo

Si ipotizzi il caso di un problema sulla cementazione di un albero motore. Nell'esempio, il problema deriva dal fatto che la finitura superficiale e le dimensioni successive alla cementazione provocano il grippaggio dell'albero motore all'interno della sua sede nella quasi totalità dei prodotti realizza-

ti nella preserie. Dato che i prototipi la cui cementazione era stata eseguita dal laboratorio di ricerca hanno invece avuto buon esito, il problema è quindi da imputarsi alla fase di cementazione realizzata dal reparto produzione, che logicamente non può essere (e non potrebbe essere per problemi economici) così accurata come quella svolta in laboratorio. Esaminiamo le possibilità per migliorare la fase di cementazione e di conseguenza la qualità della lavorazione anche per una produzione di serie.

Approccio proposto

Lo studio del processo di cementazione degli acciai impone di capire le influenze sulle dimensioni e sulla finitura superficiale del pezzo cementato, rispetto ad una analisi dettagliata della geometria e degli effetti del calore su questa utilizzando un modello ad elementi finiti.

In aggiunta o alternativa si propone di agire in due modi distinti:

- analisi sperimentale
- analisi teorica

Per quanto riguarda il primo punto si pone l'attenzione su due aspetti egualmente importanti per la risoluzione del problema:

- l'analisi delle caratteristiche di durezza dopo la cementazione;
- l'analisi delle variazioni di forma e dimensionali del pezzo in esame.

L'analisi delle caratteristiche di durezza e altri esami metallurgici in linea di produzione risulta problematica in quanto il componente in esame ha un costo elevato considerate le numerose lavorazioni subite e le prove classiche di durezza sono di fatto distruttive, quindi per evitare un eccessivo spreco, anche nel caso di un controllo a campione sui pezzi; si propone di creare dei talloni ed esaminare solamente questa appendice del componente, da cui trarre un "provino". In questo modo si possono studiare al meglio sia l'influenza del processo di cementazione sulla durezza del componente sia le variazioni di forma e dimensionali del provino stesso.

I principali parametri del processo di cementazione da controllare per analizzare la loro

influenza sul componente sono la temperatura e il tempo di esposizione all'atmosfera cementificante, nonché la composizione di detta atmosfera.

Per quanto riguarda l'analisi teorica si parte da un'analisi della bibliografia sull'argomento in modo da trovare una relazione tra i parametri del processo di cementazione e le caratteristiche del pezzo in esame. Queste relazioni teoriche trovate (o supposte) dovranno poi essere validate dai risultati trovati durante l'analisi strumentale.

La borsa di studio vinta dall'ing. Francesconi presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della produzione dell'Università di Pisa è stata finanziata dalla Società Piaggio di Pontedera.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

Bibliografia

- [1] *Manuale cremonese di meccanica – Parte specialistica, vol. IV, ed. Cremonese 1999*
- [2] *Sinigaglia D.: "Metallurgia", Ed. Clup, 1976.*
- [3] *Cigada A.: "Struttura e proprietà dei materiali metallici", Ed. Città Studi, 1992.*
- [4] *Valentini R.: dispense del corso di "Scienza e tecnologia dei materiali", Università di Pisa, Facoltà di Ingegneria.*
- [5] *De Varti A.: "Analisi critica dello stato dell'arte delle conoscenze nel settore termotecnico sul fenomeno di tempratura dei materiali ferrosi", ed. Università degli studi di Pisa, 1988*
- [6] *Norme ISO 2639-2002 "Steels – Determination and verification of the depth of carburized and hardened cases"*
- [7] *Bavaro A., Marconi G. P.: "Tornitura (hard-turning) e rettifica di superfici cementate: tensioni residue e parametri di trattamento termico e di lavorazione", Metallurgia italiana, 2001.*
- [8] *P. S. Prévay, "X-ray diffraction residual stress techniques", Metal Handbook, 380-392, 1986.*
- [9] *Boniardi M., D'Errico F., Micari F.: "Caratteristiche richieste agli organi meccanici: la resistenza all'usura, alle pressioni specifiche e alla fatica", Metallurgia italiana, 2004.*