

TEMPRA DI INGRANAGGI AD INDUZIONE CON DOPPIA FREQUENZA

Elio Gianotti. Trattamenti Termici Ferioli e Gianotti. Rivoli - Torino

INTRODUZIONE

La tecnologia della tempra ad induzione di particolari meccanici ha lo scopo di indurire la superficie dei pezzi a spessori più o meno profondi e con una buona uniformità di penetrazione dello strato temprato.

Le due frequenze industrialmente più usate a questo scopo sono la media frequenza che va da 3 a 15 KHz e l'alta frequenza che oscilla da 200 a 900 KHz.

La alta frequenza viene usata per profondità di indurimento di 1 millimetro o meno, mentre la media frequenza può indurire a profondità di 2 millimetri o più.

È relativamente facile indurire superfici cilindriche o piane con profondità di tempra uniformi usando la frequenza appropriata.

Risulta più difficile ed a volte impossibile indurire superfici non uniformi quali contorni dentati di ingranaggi o alberi a camme, con profili costanti di indurimento. In questo caso la diversa distanza delle superfici dall'induttore crea variazioni di penetrazione e poiché un induttore standard, quali quelli solitamente usati nel trattamento termico ad induzione, non può per ragioni economiche e tecniche essere sempre accoppiato al profilo del dente, si ricorre abitualmente a basse frequenze per cercare di ottenere la durezza sia sul diametro primitivo che sul fondo dente, conferendo però quasi sempre una tempra totale della dentatura, che spesso non viene accettata per una conseguente fragilità del prodotto.

Nel caso specifico degli ingranaggi se si usa l'alta frequenza per scaldare il contorno della dentatura la corrente si concentrerà nelle punte dei denti, tendendo peraltro a surriscaldarle, senza arrivare alla radice o fondo dente, come schematizzato in figura 1.

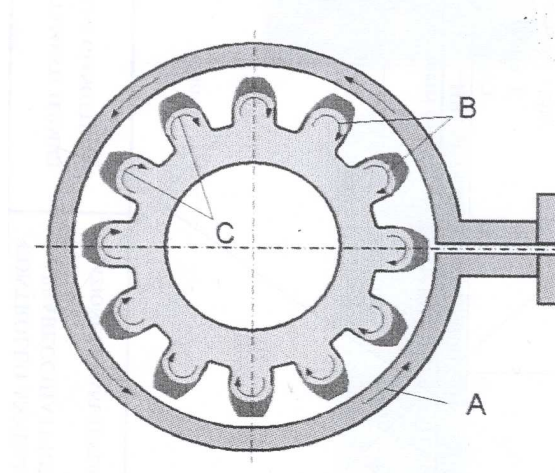


Fig.1 Comportamento della dentatura di una corona dentata se riscaldata in pieno in alta frequenza. Il riscaldamento comincia dalle punte dei denti

Comportamento opposto si ottiene con la bassa frequenza. In questo caso le correnti indotte tenderanno a scaldare solo il fondo dei denti perché sui fianchi, se le correnti hanno una profondità di penetrazione maggiore dello spessore del dente, si annulleranno a vicenda.

La punta arriverà a scaldarsi solo dopo che la base del dente avrà trasmesso per conduzione il calore a tutto il dente. Vedi fig.2.

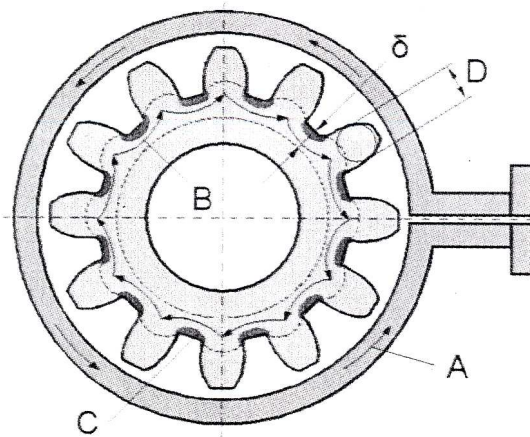


Fig.2 Comportamento della dentatura di una corona dentata se riscaldata in pieno in bassa frequenza. Il riscaldamento comincia alla base dei denti.

Esiste un rapporto fra il modulo e quindi la profondità del dente e la frequenza da adottare per ottenere il riscaldamento equilibrato del fondo e del fianco dente che è rappresentato dall'equazione seguente.

1)
$$F \approx \frac{300000 \div 460000}{M^2}$$

F = frequenza da utilizzare per il modulo M.

Inoltre i parametri da adottare per la realizzazione del processo sono evidenziati nel diagramma della Fig.3.

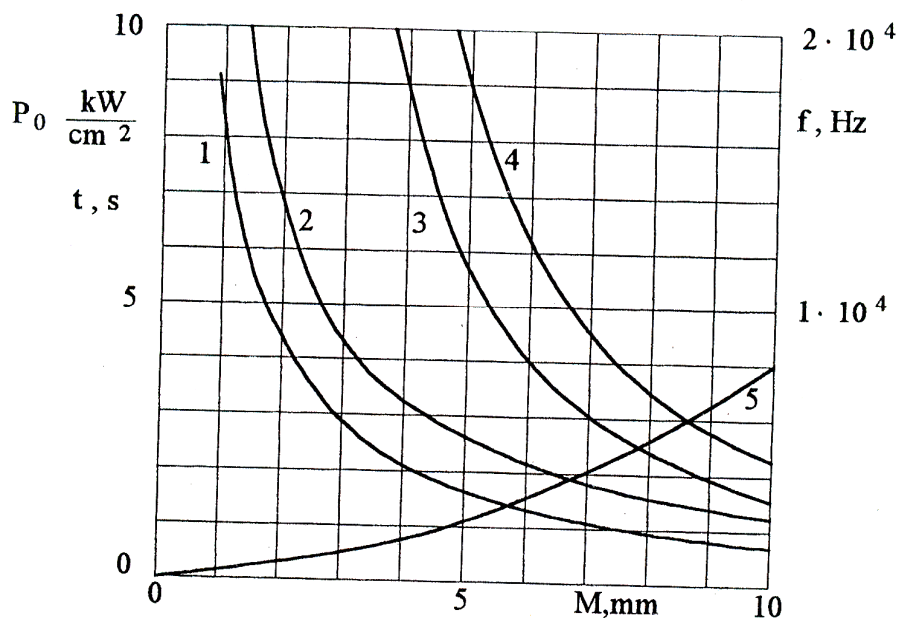


Fig.3 Parametri per la tempra in pieno di corone dentate di modulo M
 1 Potenza specifica nell'ingranaggio.
 2 Potenza specifica del generatore.
 3-4 Frequenza in base all'equazione 1)
 5 Tempo di riscaldamento.

Le curve del diagramma mettono in evidenza la difficoltà di realizzare la tempra simultanea di ruote di modulo inferiore a 4. Infatti già con tale modulo le potenze specifiche richieste in alta frequenza sono superiori a $2-3 \text{ KW/cm}^2$ ed i tempi di riscaldamento sono inferiori al secondo e malgrado questi accorgimenti è molto probabile che le punte dei denti dei moduli più piccoli subiscano un indurimento a cuore. In alcuni casi è possibile comunque utilizzare questo tipo di indurimento delle dentature piccole perché le deformazioni sono molto più contenute che non con il riscaldamento a cuore della cementazione e tempra.

ALTA E MEDIA FREQUENZA IN SEQUENZA

Sono evidenti quindi i limiti e le difficoltà della tempra ad induzione degli ingranaggi agli effetti di ottenere un profilo di indurimento costante sui fianchi e sul fondo dente tale da garantire una buona resistenza all'usura del fianco dente ed una buona resistenza a fatica del fondo dente.

L'unica via trovata fino ad oggi per evitare l'inconveniente dovuto alle complessità delle forme da indurire è quella di sfruttare l'alta e media frequenza usandole in stretta successione nella fase di riscaldamento in modo da compensare i due comportamenti delle diverse frequenze.

È così possibile ottenere una buona resistenza a fatica del fondo dente utilizzando una media frequenza di circa 10 KHz, che come abbiamo visto non è però adatta ad indurire superficialmente i fianchi del dente ed una alta frequenza di circa 400 KHz, che pur non essendo in grado di scaldare la radice del dente, è invece adatta per indurire i fianchi del dente al fine di ottenerne la massima resistenza ad usura.

L'applicazione pratica di questo principio è stata affrontata fin dal 1950 ed è almeno una decina di anni che i costruttori di impianti per riscaldamento ad induzione pubblicizzano questa tecnologia attuata usando due generatori, uno di media e l'altro di alta frequenza, che lavorano in sequenza rapidissima; dapprima viene scaldato per qualche secondo o frazione di secondo, a seconda della dimensione, l'ingranaggio in media frequenza, poi l'ingranaggio viene spostato meccanicamente e molto velocemente nel secondo induttore in alta frequenza per un flash finale di frazioni di secondo e poi temprato. In fig.4 è rappresentato schematicamente il principio di funzionamento di questo metodo.

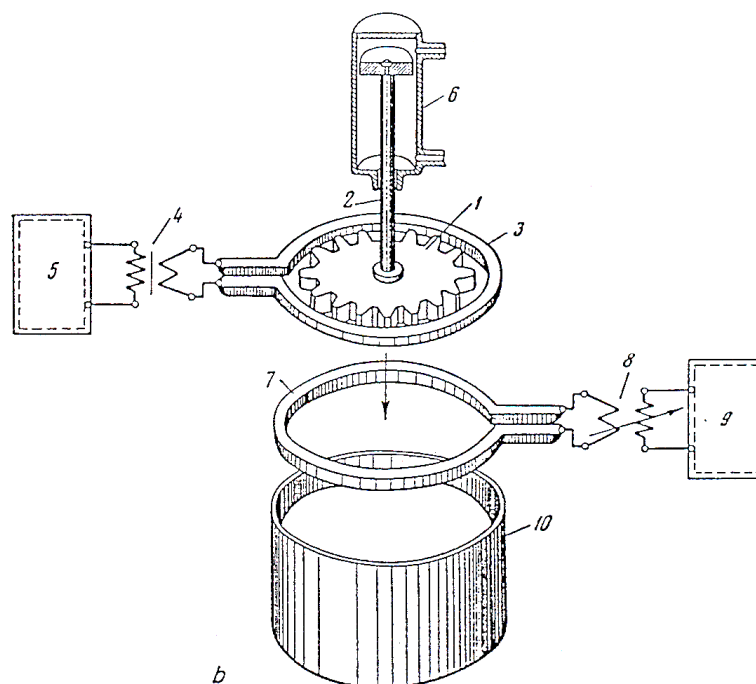


Fig.4 Schema del principio di funzionamento della tempra ad induzione in due fasi con spostamento dell'ingranaggio da una frequenza all'altra.

- 1 ingranaggio da temprare
- 2 sistema di centratura e rotazione dell'ingranaggio
- 3 induttore di MF
- 4 trasformatore di media frequenza
- 5 generatore di media frequenza
- 6 cilindro per lo spostamento rapido dell'ingranaggio
- 7 induttore di AF
- 8 trasformatore di alta frequenza
- 9 oscillatore ad alta frequenza
- 10 vasca di tempra

Una variante del metodo esposto consiste nel tenere fermo l'ingranaggio nello stesso induttore, ma alimentare l'induttore con due generatori di frequenza diversa. Naturalmente prima si farà un riscaldamento in media e poi in alta frequenza. I tempi di attesa fra una frequenza e l'altra non saranno più determinati dalla velocità di spostamento dell'ingranaggio, ma dalle velocità di interruzione dei due circuiti e non vanno comunque sotto i 0.5 secondi. In fig.5 è schematizzata questa variante.

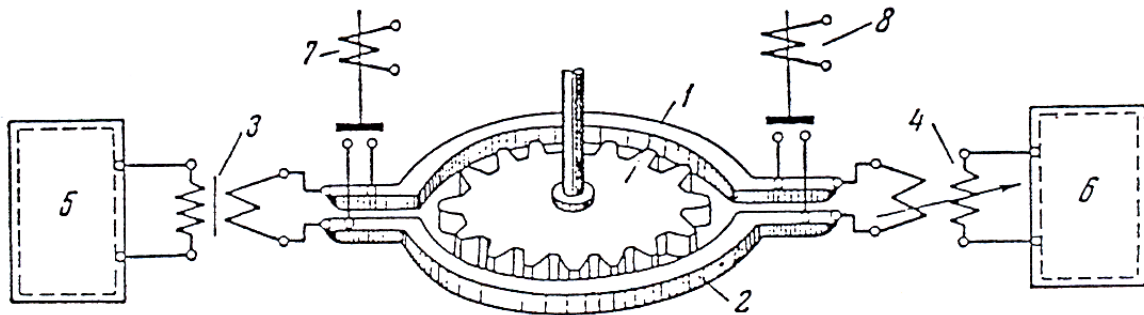


Fig.5 Schema del principio di funzionamento della tempra ad induzione in due fasi con cambio della frequenza nello stesso induttore.

- 1 Induttore a semi anello
- 2 Induttore a semi anello
- 3 Trasformatore di MF
- 4 Trasformatore di AF
- 5 Generatore di MF
- 6 Generatore di AF
- 7 Interruttore di MF
- 8 Interruttore di AF

ALTA E MEDIA FREQUENZA SIMULTANEE

La tecnologia del riscaldamento in due fasi successive è abbastanza complessa e di difficile messa a punto per cui non ha avuto larghe applicazioni industriali in tutti gli anni in cui è stata disponibile. Un nuovo sistema di riscaldamento è stato messo a punto ultimamente che semplifica notevolmente il processo. Si tratta di applicare simultaneamente sia la media che la bassa frequenza nello stesso induttore.

La miscela di frequenze consiste in una oscillazione di media frequenza di fondo alla quale si sovrappone una oscillazione di alta frequenza (vedi fig.6).

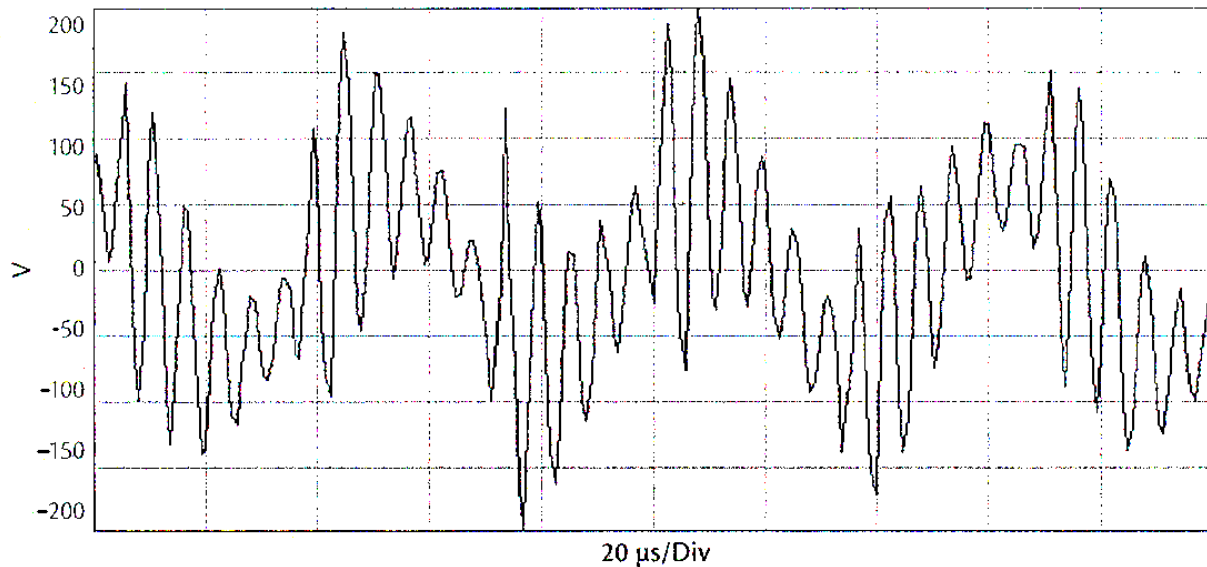


Fig.6 Modello di oscillazione quando la MF e la AF sono prodotte contemporaneamente. Nella figura si può notare chiaramente la sovrapposizione della oscillazione della alta frequenza sulla onda della bassa frequenza. In questo caso le potenze applicate sono il 90% di MF e il 10% di AF.

L'ampiezza di entrambe le frequenze è controllabile indipendentemente una dall'altra e ciò permette una regolazione della miscela delle potenze di ciascuna frequenza al fine di ottimizzare al meglio il profilo di tempra al contorno del dente.

I tempi per ottenere profili di tempra superficiali, senza arrivare alla tempra a cuore dei denti, sono dell'ordine di decimi di secondi, le potenze in gioco sono molto alte, dell'ordine di 200 KW di MF e di 100 KW di AF per temprare una corona dentata di 70 mm di diametro.

Un impianto di tempra ad induzione a due frequenze simultanee ha due circuiti oscillanti di AF e MF. La potenza in uscita di questi due circuiti è inviata ad un comune induttore.

Ad evitare che il circuito di MF venga disturbato da quello di AF è necessario che venga posto un filtro sul circuito di alimentazione dell'induttore. Il circuito di potenza è così completamente suddiviso e la regolazione dei relativi rapporti di AF e MF può essere fatta a piacere in funzione delle necessità di ottenere i profili di indurimento desiderati (vedi fig.7).

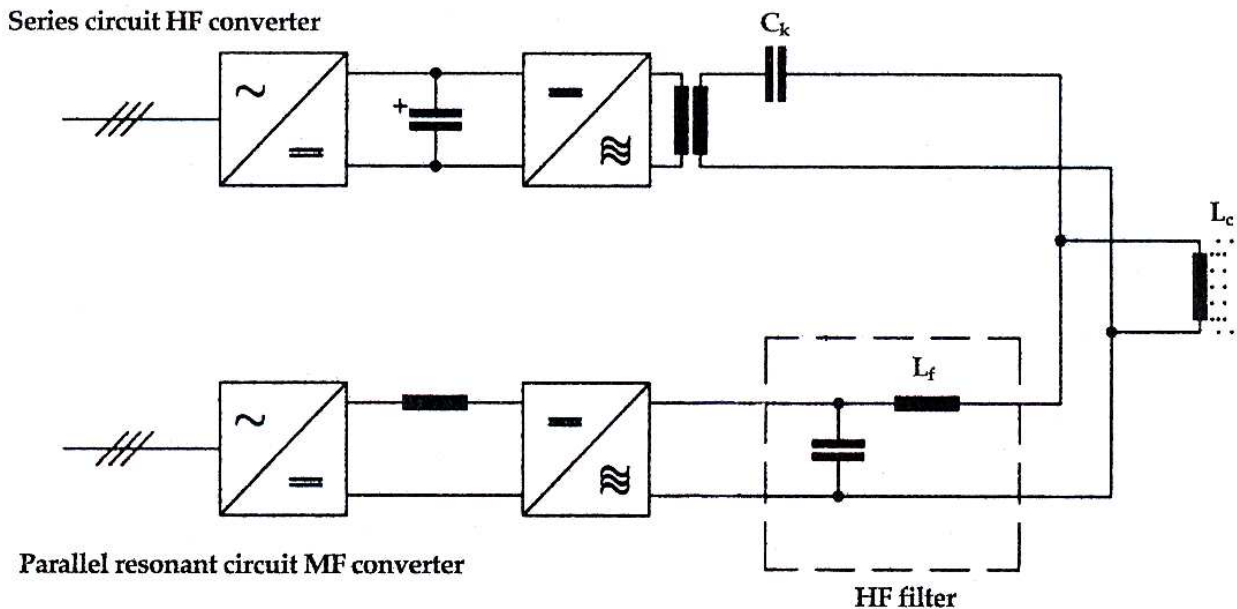


Fig.7 Schema di funzionamento del sistema di riscaldamento a due frequenze simultanee. Le potenze dei due circuiti oscillanti in AF e MF sono convogliate nello stesso induttore contemporaneamente. È necessario un filtro di AF verso il circuito di MF al fine di evitare interferenze col generatore di MF.
 L_f = induttanza del filtro di AF
 L_c = induttanza della bobina di riscaldamento

Usando ad esempio una potenza composta per il 90% di MF e per il 10% di AF si avrà un profilo molto spesso sul fondo del dente, viceversa si avrà un riscaldamento delle punte eccessivo. Facendo dei campioni di prova si può arrivare al giusto bilanciamento delle potenze al fine di avere il profilo desiderato (vedi fig.8).

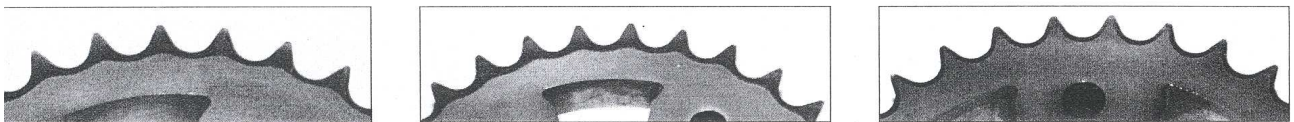


Fig.8 Esempi di diversi profili di tempra ottenuti con rapporti variabili di potenza fra AF e MF.

CONCLUSIONI

Il processo di tempra simultanea a doppia frequenza apre delle nuove prospettive nella tempra ad induzione degli ingranaggi.

Con la possibilità di ottenere dei profili di tempra uniformi alla base ed ai fianchi dei denti è possibile garantire delle prestazioni meccaniche che fino ad oggi erano riservate solo ai processi classici di diffusione quali la cementazione carburante e la nitrurazione.

Nei confronti della cementazione, che è il processo più diffuso, la tempra ad induzione ha degli svantaggi ma anche notevoli vantaggi economici.

Fra gli svantaggi c'è la difficoltà della lavorazione meccanica di dentatura perché normalmente si deve partire da uno sgrossato bonificato, anziché da un ricotto isothermico come nel caso della cementazione. Per il vero bisogna dire che anche nel caso della nitrurazione esiste questo problema. Per contro esistono notevoli vantaggi quali quelli di deformazioni molto contenute, dovute alla mancanza di alterazioni termiche del cuore del materiale, che molto spesso portano alla eliminazione della rettifica finale.

Altro vantaggio è la durata del ciclo estremamente breve, pochi secondi, e la possibilità di inserirlo in linea con le macchine utensili di produzione del particolare. Per contro la messa a punto del ciclo è piuttosto laboriosa e richiede tempi lunghi di preparazione, per cui la sua applicazione diventa economicamente interessante solo per serie di una certa consistenza.

Esiste infine il vantaggio del risparmio energetico molto consistente. È vero che le potenze installate sono grandi, ma i tempi di riscaldamento sono estremamente brevi e si va a scaldare solo i piccoli spessori che sono necessari per l'indurimento. La parte scaldata rispetto alla massa totale del pezzo è a volte così contenuta che non è necessario procedere alla tempra in quanto è sufficiente per la trasformazione martensitica il raffreddamento provocato dal raffreddamento della massa fredda del pezzo.

