

LA TEMPRA LASER DEGLI ACCIAI

La tempra laser è una tecnica di trattamento superficiale che si è sviluppata in questi ultimi anni per l'alta qualità dei risultati e la semplicità del processo. In particolare nella tempra laser risultano migliorati la resistenza all'usura e alla frattura, mentre le deformazioni sono estremamente ridotte se non del tutto assenti.

Una volta rimossi, grazie all'evoluzione della tecnologia, i vincoli che la rendevano applicabile solo a situazioni particolari anche le ditte di trattamento termico per conto terzi che operano con le tecnologie più avanzate, possono inserire questo nuovo trattamento superficiale nel proprio ciclo produttivo.

La tempra laser si è rivelata uno strumento efficacissimo per la soluzione di molti problemi di trattamento particolarmente quando:

- Il particolare da trattare ha dimensioni tali da rendere i forni convenzionali inadatti e non economici. Rientrano in questo caso ingranaggi di grandi dimensioni, rulli e cilindri di diametro elevato e stampi per la produzione di grossi oggetti tipicamente quelli per uso automobilistico
- Si richiede il trattamento solamente su una zona del particolare come nel caso di camme, leveraggi, punzoni, guide e lame
- Si richiedono deformazioni contenute se non assenti sulle parti trattate
- Si desidera risparmiare sul costo del materiale usando acciai meno costosi ma dai quali è possibile ottenere la stessa resistenza ad usura degli acciai legati

Per queste ragioni e seguendo una politica di continuo sviluppo tecnologico la STAV di Barberino di Mugello (FI) sta allestendo presso il proprio stabilimento un impianto di tempra laser che si può considerare al massimo livello di quanto la tecnologia può offrire in questo campo.

I sistemi laser sono dispositivi che emettono radiazione monocromatica coerente su un fascio quasi parallelo o comunque a divergenza estremamente bassa. Nella tempra laser il fascio viene focalizzato a formare sulla superficie da trattare una zona irradiata nella quale si raggiungono rapidamente, con velocità che possono raggiungere valori di $10^4\text{C}^\circ/\text{sec}$, le temperature di formazione della austenite. Muovendo la zona irradiata sul percorso da temprare, le zone non più irradiate si raffreddano a velocità elevata per conduzione con il materiale circostante, creando una struttura martensitica estremamente fine di elevate caratteristiche meccaniche. Le velocità di raffreddamento dipendono da vari fattori, principalmente la conducibilità e la massa del materiale da trattare, e possono raggiungere valori anche superiori a $10^3\text{C}^\circ/\text{sec}$.

Le prime esperienze di tempra laser furono condotte a partire dagli anni 70 utilizzando sorgenti Laser a CO_2 , che già allora erano disponibili con la necessaria potenza, dimostrando che era possibile temprare praticamente tutti i tipi di acciai e ghise. Le applicazioni di questa nuova tecnologia furono rivolte a situazioni del tutto particolari per una serie di limitazioni delle sorgenti laser a CO_2 . Fra queste la lunghezza d'onda della radiazione a $10,6\ \mu$. A questa lunghezza d'onda il coefficiente di assorbimento delle superfici degli acciai è generalmente basso e fortemente dipendente dal grado di lavorazione come si può notare dal grafico di Figura 1.

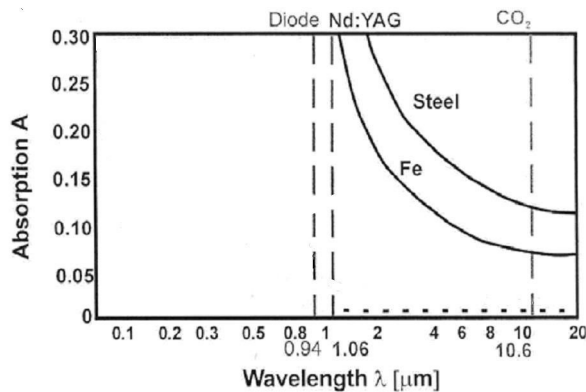


Figura 1: Assorbimento di acciaio e ferro in funzione della lunghezza d'onda

Da qui la necessità, nella tempra con sorgenti laser a CO₂, di aumentare e uniformare il coefficiente di assorbimento con apposite vernici ad elevato assorbimento della radiazione. Anche la movimentazione del fascio, con sorgenti laser a CO₂, è di una certa complessità in quanto il trasporto di una radiazione a 10,6 μ può essere fatto solo con specchi e ottiche rifrattive di materiali sofisticati.

Con gli sviluppi delle tecniche elettro ottiche degli ultimi anni, le sorgenti laser a CO₂ sono state superate prima da quelle al Nd-Yag e quindi più recentemente da quelle a diodi. È stato con l'avvento delle sorgenti laser a diodi che la tecnologia ha fatto un notevole passo avanti consentendo di sviluppare impianti estremamente flessibili, adatti a trattare la più grande varietà di superfici. Già le sorgenti al Nd-Yag avevano innegabili vantaggi quali la lunghezza d'onda di 1,06 μ ed una maggiore compattezza, ma conservavano anche altre limitazioni soprattutto nella complessità, nel rendimento della sorgente e nei costi di manutenzione.

Le sorgenti laser a diodi si caratterizzano per lunghezza d'onda compresa fra 8,08 μ e 940 μ e quindi un coefficiente di assorbimento delle superfici da trattare abbastanza elevato da non richiedere l'uso di trattamenti pre-tempra per aumentare il coefficiente di assorbimento.

Un fattore di notevole importanza agli effetti dell'uniformità del trattamento è la distribuzione della densità di energia nel fascio laser: questa nei laser al neodimio, così come in quelli a CO₂, è di tipo gaussiano e non è pertanto la più adatta ad ottenere uniformità trasversale nella traccia trattata.

Nelle sorgenti laser a diodi la distribuzione dell'intensità irradiata si avvicina ad una forma rettangolare cioè a quella che può assicurare la massima uniformità su tutta la traccia temprata. Le dimensioni delle sorgenti a diodo laser sono compatte e la lunghezza d'onda è trasportabile in fibra ottica con perdite trascurabili.

Per un confronto delle principali caratteristiche tecniche delle sorgenti utilizzabili si può fare riferimento alla tabella di Figura 2.

Caratteristiche del fascio	Laser a CO ₂	Laser a Nd:YAG	Laser a diodi HP
Potenza	20 Kw	4 Kw	6 Kw
Lunghezza d'onda	10,6 μ	1,06 μ	8,08 – 940 μ
Assorbimento	Basso	Alto	Alto
Rendimento	10 – 15%	3 - 5%	25 – 40%
Guida del fascio	A specchi	Fibra ottica	Diretta/fibra ottica

Figura 2: caratteristiche delle principali sorgenti laser

Il controllo e la regolazione della temperatura sono punti determinanti della tempra laser. Difatti le variazioni estremamente rapide della temperatura durante la fase di riscaldamento richiedono dispositivi di misura con alta velocità di risposta per evitare surriscaldamenti e mantenere la temperatura al valore desiderato. Per questo si utilizzano pirometri il cui percorso ottico è integrato con l'asse del fascio laser per mezzo di uno specchio diecrico. Il sensore di temperatura misura quindi la temperatura della superficie irradiata. Nei sistemi più avanzati il sensore di temperatura è una matrice CCD, che attraverso un sistema di regolazione gestito da software controlla la potenza di uscita della sorgente laser modulando la corrente elettrica che dà origine all'effetto laser. Sistemi di controllo di questo tipo hanno una risoluzione spaziale di 0,2 mm e durante il processo possono mantenere la temperatura di trattamento in un intervallo di ± 5 °K.

Nella tempra laser la larghezza della traccia temprata dipende dal sistema ottico che viene montato. Affinché la traccia temprata possa variare con continuità, assumendo la larghezza più opportuna per il particolare da trattare, vengono usati sistemi di scansione che fanno oscillare il fascio laser nella direzione normale al percorso a frequenza di circa 100 Hz. La forma della funzione di scansione viene definita per avere uniformità di temperatura attraverso tutta la traccia e di conseguenza durezza e profondità di tempra uniformi.

L'impianto di tempra laser è dotato di un robot antropomorfo in grado di eseguire automaticamente il percorso da temprare durante il processo.

Nei casi più semplici quando il percorso è definibile con un numero limitato di punti la preparazione del robot prima del trattamento viene eseguita in autoapprendimento.

Per la tempra di particolari complessi, come nel caso dei profili di stampi di grandi dimensioni, il percorso da temprare viene trasferito dal progetto CAD 3D ad un apposito software che costruisce il percorso che il robot antropomorfo percorrerà automaticamente durante il processo.

L'impianto di tempra Laser che viene installato presso la società STAV s.r.l. di Barberino di Mugello è stato configurato seguendo gli sviluppi della tecnologia che abbiamo illustrato.

La sorgente laser è composta da diodi con potenza di 4 Kw, il fascio viene trasportato lungo la zona da temprare da un robot antropomorfo pilotato da software che accetta programmi derivati da progetti CAD 3D. Le dimensioni del fascio possono essere definite sia da ottiche fisse che mediante scanner con il quale viene ottenuta una larghezza della fascia temprata di 60 mm. Nella foto di Figura 3 sono visibili in dettaglio la testa laser ed il robot antropomorfo durante la preparazione del trattamento.



Figura 3: dettaglio della testa laser e del robot antropomorfo presenti nell'impianto

Come tutti i trattamenti superficiali, gli strati temprati laser sono caratterizzati da durezza, profondità di tempra, struttura, deformazioni del particolare a cui si deve aggiungere la larghezza della traccia temprata che è tipica di questo trattamento.

La durezza massima ottenibile dipende essenzialmente dal contenuto in carbonio dell'acciaio come rappresentato nel grafico di Figura 4.

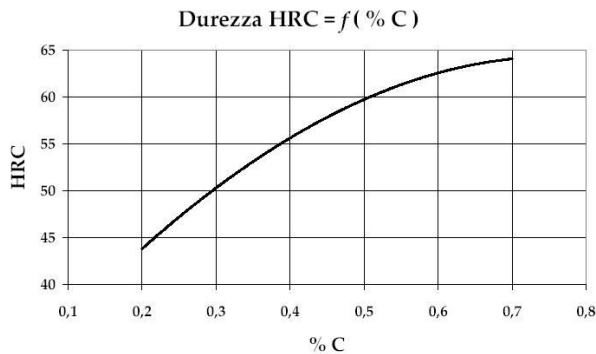


Figura 4: durezza HRC massima ottenibile in funzione del contenuto % di Carbonio (C) presente in un acciaio

Gli spessori massimi ottenibili con la tempra laser sono di 3 mm per gli acciai, di 2 mm per le ghise e dipendono dalla temprabilità dell'acciaio, dalla tolleranza accettabile per le deformazioni e dalla massa del particolare.

Poiché il processo che permette di ottenere la durezza elevata dipende dalla dissipazione del calore fornito alla superficie, è fondamentale che questa possa avvenire alla più alta velocità. Questo avviene senza particolari problemi nel caso di particolari di grandi dimensioni come nel caso di stampi, grossi ingranaggi, camme e similari. Nel caso invece di particolari di spessore ridotto o comunque di massa limitata occorre ridurre la quantità di energia fornita durante il processo aumentando la velocità di spostamento del fascio laser sul percorso da temprare. Chiaramente ad una maggior velocità di spostamento del fascio laser corrisponde una minore penetrazione della temperatura e quindi uno spessore di tempra inferiore rispetto a quello massimo ottenibile con particolari di massa maggiore.

Per quanto riguarda le deformazioni, queste sono del tutto trascurabili nel caso di particolari di grosse dimensioni, mentre nel caso di oggetti come anelli, guide o lame occorre limitare il riscaldamento della superficie e quindi lo spessore dello strato temprato per ottenere i risultati desiderati.

Nel caso di ingranaggi di grosse dimensioni, limitando lo spessore dello strato a 0,2 mm si possono ottenere deformazioni talmente ridotte da non richiedere alcuna lavorazione post-trattamento. In queste situazioni la tempra laser diviene un trattamento competitivo, anche economicamente, rispetto alla tempra a induzione.

Quando si deve procedere alla tempra di superfici la cui estensione non consente l'esecuzione del trattamento con una sola passata, si procede eseguendo una serie di tracce successive. In questo caso però è inevitabile un effetto di rinvenimento sul bordo della traccia effettuata in precedenza con una riduzione della durezza. L'effetto può essere minimizzato sia dalla scelta della distribuzione di energia sul fascio sia dalla ottimizzazione della distanza fra tracce successive.

In conclusione, la tempra laser, dopo gli sviluppi di questi ultimi anni, si presenta come uno strumento estremamente efficace per la soluzione di problemi di trattamento di vario tipo ed ha acquistato quella versatilità che la rende utilizzabile anche da ditte che trattano per

conto terzi. Pur trattandosi di un processo semplice di principio gli impianti che lo realizzano usano tecnologie avanzate che richiedono da parte del personale addetto, oltre alle conoscenze nel trattamento termico degli acciai, capacità specifiche nell'utilizzo dei software di gestione degli impianti e delle tecniche CAD/CAM. La tempra laser quindi può essere praticata da società come la STAV di Barberino di Mugello che ha confidenza con i trattamenti termici più sofisticati dall'alto vuoto alla nitrurazione ionica e alla cementazione in bassa pressione. Inoltre la tempra laser è un nuovo passo in avanti nella trasformazione delle sale di trattamento verso la standardizzazione dei processi, il controllo informatizzato con un ulteriore ridimensionamento delle tecniche di trattamento nelle quali è preponderante la capacità manuale degli operatori.

Dott. Pier Luigi Bernardi
(Staff direzionale Stav)