

## Scelte ottimizzate di trattamento termico nel rispetto di Sicurezza ed Ambiente

D. Petta, F. Trombini, L. Toffanin, I. Micheletti, A. Ghidini

*Il processo di fabbricazione di un componente forgiato, fuso o laminato in acciaio speciale vede come fase determinante, nel suo percorso tecnologico, necessario per l'ottenimento delle caratteristiche di impiego richieste, il trattamento termico: infatti, per fare estrinsecare ad un acciaio le caratteristiche ottimali richieste, è necessario effettuare un mirato trattamento termico, nel rispetto di parametri principali molto selettivi, definiti dal progettista e produttore del componente stesso. Gli aspetti per il miglioramento continuo del prodotto e del processo di trattamento termico devono essere affrontate in sicurezza e nel rispetto dell'ambiente: è questo un aspetto culturale ed etico, che non deve restare un fatto teorico, ma deve trasformarsi in competenza e prevenzione sui rischi e sulle misure, da attuare sugli impianti e da comunicare e monitorare con continuità. La memoria propone una comparazione dei vantaggi e svantaggi nella gestione del processo di tempra, con utilizzo di differenti mezzi di spegnimento quali acqua, fluidi interi base olio e soluzioni sintetiche polimeriche, in termini qualitativi, ambientali e di sicurezza. Segue poi una sintesi delle esperienze condotte da Lucchini RS nell'applicazione di tecnologie di trattamento termico con soluzioni polimeriche Houghton (Aqua-Quench), "spray cooling" e "rim chilling", affrontate in sicurezza e nel rispetto dell'ambiente.*

### PAROLE CHIAVE:

acciaio, forgiatura, trattamenti termici, tempra, ambiente

### INTRODUZIONE

La sicurezza dei processi industriali, associata ad un miglioramento continuo dell'ambiente, è sicuramente una delle più grandi sfide in campo industriale del nostro secolo.

La missione aziendale dovrebbe perseguire i seguenti punti chiave:

- sicurezza e rispetto dell'ambiente
- riduzione dei consumi energetici
- aumento dell'efficienza dei processi, con associata riduzione delle emissioni, in accordo alle leggi vigenti e necessità future
- riduzione degli esauti e miglioramento continuo dell'ambiente di lavoro.

Risulta fondamentale l'attività di ricerca e sviluppo di processi produttivi e/o di trasformazione, con soluzioni atte a garantire un "Profilo Chimico di Processo" ottimizzato, che assicuri la migliore coabitazione possibile tra Chimica di Processo, Uomo e Ambiente. In questa memoria si vuole descrivere un processo complesso, quale quello di trattamento termico di prodotti diversificati (forgiati, getti, assili e ruote ferroviarie).

Data la vastità dell'argomento, si è deciso di focalizzare l'attenzione solo sulle fasi di spegnimento di tempra mediante fluidi. Partendo dal mezzo maggiormente utilizzato in passato, cioè l'olio, con tutte le intrinseche criticità ambientali (fumi) e di sicurezza (rischi di incendio), si passa alla descrizione di soluzioni polimeriche a matrice acquosa, con tutti i vantaggi derivanti, soffermandosi poi sul fluido ecologico per eccellenza e sicuro per definizione, l'acqua, utilizzata come mezzo di spe-

gnimento totale o differenziale in vasca o combinato con aria (Spray Cooling).

Come ben noto, la nuova tendenza dei trattamenti termici è quella di impiegare soluzioni polimeriche, in molti casi con matrice acquosa contenuta in quantità maggiore dell'85%, in sostituzione degli oli da tempra, in quanto presentano una grande versatilità d'impiego, oltre agli aspetti di miglioramento in termini ambientali e di sicurezza.

Un parametro fondamentale per il successo del trattamento in tali soluzioni polimeriche è la concentrazione di utilizzo, da tararsi in funzione del tipo di materiale, dello stato della superficie e della geometria del particolare, oltre alla gestione delle temperature e del grado di agitazione del bagno.

Le soluzioni polimeriche consentono di operare in un ambiente più sicuro e salubre per gli addetti, in quanto le loro caratteristiche chimico-fisiche le rendono più semplici da gestire, rispetto agli oli che si impiegavano normalmente per queste attività.

Ovviamente la gestione dell'acqua è ancor più sicura e salubre e va pertanto adottata ogni qualvolta sia possibile.

Previa verifica della fattibilità metallurgica, è doveroso utilizzare direttamente l'acqua o acqua ed aria combinate, in modo da meglio rispettare l'ambiente e garantire livelli di sicurezza elevati agli operatori dei trattamenti termici.

L'utilizzo diretto dell'acqua non è sempre possibile, ma può essere facilitato dalle seguenti tecniche o accorgimenti:

- "temprabilità adeguata", ottenuta attraverso una opportuna calibrazione dell'analisi chimica (grade ottimizzato), lavorando, a parità di steel grade, sugli elementi maggiormente incisivi in termini di C equivalente e sui residuals: ne consegue un miglioramento indiretto anche dei costi della carica di rottame e la possibilità di utilizzo di categorie di rottame meno pregiate o di difficile impiego;
- "tempra ritardata" definita sulla base delle curve CCT effettive di quel grade ottimizzato, cioè permanenza in aria per un

Danilo Petta

Houghton Italia S.p.a via P.Pastorino 38 16162 Genova (GE)

Ferruccio Trombini, Andrea Ghidini,  
Laura Toffanin, Ida Micheletti

Lucchini RS via G. Paglia 45 24065 Lovere (BG)

tempo adeguato, all'uscita dal forno di austenitizzazione, del manufatto, prima dell'immersione in acqua, in modo da evitare la formazione di fasi fragili e di eccessive deformazioni e tensionamenti;

- "tempra interrotta", in modo da beneficiare, dove possibile, del fenomeno di auto-rinvenimento, evitando tensionamenti eccessivi, deformazioni e rotture;
- "termostatazione della temperatura" dell'acqua e possibilità di tenerla in un range ristretto ed adeguato, in funzione della tipologia di acciaio e delle dimensioni e forma del manufatto;
- "controllo dell'agitazione del bagno", in funzione della tipologia di acciaio e delle dimensioni e forma del manufatto;
- utilizzo di tecniche alternativa all'immersione totale, basate, per esempio, sul concetto di: tempra differenziale (Rim Chilling) o di utilizzo calibrato di acqua ed aria (Spray Cooling);
- grado di finitura superficiale e di raccordo ad ampio raggio delle zone con variazione di sezione adeguato al tipo di acciaio, in modo da ridurre gli inviti a rottura.

Una volta stabilito che, per ragioni di rispetto ambientale, la priorità di utilizzo del fluido di spegnimento di tempra si deve orientare su acqua e derivati, la sicurezza del trattamento termico dipenderà direttamente dal grado di automazione delle operazioni eseguite.

In altri termini, i trattamenti termici eseguiti su impianti automatizzati, impianti dedicati in genere ad una tipologia di prodotto ben definita (assili, ruote monoblocco, cerchioni ferroviari), sono più sicuri, dato il livello di automazione e di standardizzazione. Nel caso di impianti di trattamento termico con movimentazione manuale, tipici dei forgiati a disegno e delle fusioni, ogni caso è diverso e grande importanza va riposta nel layout e nella definizione delle procedure di movimentazione dei manufatti da forni di austenitizzazione alle vasche e dalle vasche ai forni di rinvenimento.

Nel caso di "Spray Cooling", va particolarmente studiato ed attrezzato ad hoc il layout in cui posizionare il manufatto, in riferimento alla posizione degli ugelli acqua-aria ed in funzione degli spazi di movimentazione e rilievo funzionali ed in sicurezza.

## PROCESSI DI TEMPRA: CONSIDERAZIONI GENERALI

La scelta di un sistema di tempra integrato in un processo di trasformazione deve prevedere sempre più una ampia prospettiva, al fine di conseguire la migliore integrazione nel sistema produttivo aziendale in termini prestazionali tecnici, ambientali, di sicurezza e gestionali.

L'omologazione del processo di spegnimento deve tenere conto non solo della gestione di aspetti inerenti al profilo tecnico produttivo, relativamente alla conformità metallurgica, ma anche onorare, a fronte di una piena consapevolezza, quella che sarà una delle gestioni più delicate nel flusso di trasformazione, ovvero il governare termodinamicamente un processo per mezzo di un fluido di contatto.

Questo aspetto, insieme alle altre gestioni di ausiliari chimici di processo all'interno del flusso produttivo, contribuirà in maniera concreta a caratterizzare quello che possiamo definire il "Profilo Chimico di processo Aziendale", che assumerà peculiarità decisamente differenti a seconda della scelta della tecnologia chimica, che si andrà ad utilizzare.

A questo punto approfondiamo quello che abbiamo già definito un aspetto assolutamente critico nel ciclo di attraversamento del particolare all'interno del flusso produttivo dell'azienda, ovvero il processo di tempra, dove in poche manciate di minuti si impartisce al particolare le caratteristiche necessarie per onorare il proprio profilo di missione per cui sarà impiegato.

La fase di tempra durante un trattamento termico di un particolare può essere definita come l'asportazione controllata di ca-

lore, dopo adeguato riscaldamento, con lo scopo di ottenere determinate caratteristiche e proprietà.

Proprio riguardo al controllo e alla gestione della sottrazione del calore, si utilizzano differenti mezzi, che hanno comunque tutti l'obiettivo primario di ottenere la trasformazione della microstruttura ideale, per la missione, avendo il minore sovra-tensionamento possibile.

Questa la possiamo definire in termini di cinetica di raffreddamento come velocità critica.

Più precisamente, è necessario un raffreddamento sufficientemente veloce, ad alta temperatura, in modo da evitare l'incontro con il ginocchio perlitico nei diagrammi CCT e una diminuzione della velocità di raffreddamento nel range di temperature di trasformazione, Ms-Mf, tale da ridurre i sovratensionamenti creati dall'inevitabile gradiente nei differenti tempi di trasformazione per le differenti sezioni del particolare.

Questo, ovviamente, diventa tanto più critico a seconda della temprabilità dell'acciaio e della geometria che può naturalmente sbilanciare le tensioni nelle sezioni a geometria variabile.

Velocità e temperature di transizione nei tracciati di asportazione calore della fase vapore, di ebollizione e di convezione, che vedremo caratterizzare le dinamiche di asportazione calore, caratterizzano i punti chiave che regolamentano lo sforzo di previsione, circa le aspettative della trasformazione microstrutturale desiderata e la sua penetrazione nelle sezioni del particolare stesso.

La conoscenza dei meccanismi di sottrazione calore, che ricordiamo avvenire con tre fenomeni principali prevalenti a diverse temperature, e dei fattori che possono modificarne l'intensità, deve portare il gestore del processo a ridurre i rischi, a tutto tondo, correlati al processo di spegnimento.

La nascita di mezzi, soluzioni sintetiche polimeriche, alternativi alla semplice acqua è una esigenza nata a fronte di una netta differenza fra la dinamica di asportazione calore dell'acqua e quella dell'olio minerale che, pertanto, non poteva abbracciare tutta la gamma di intensità di tempra che potesse ottimizzare le produzioni.

Sotto viene riportato schematicamente una banda di sensibilità che tiene conto dei differenti mezzi di spegnimento, correlandola alla severità di tempra ottenibile.

Ovviamente, nel caso delle tecnologie a base acquosa, il coefficiente indicativo dell'intensità di tempra sarà influenzato ampiamente da parametri, quali:

- concentrazione,
- temperatura,
- agitazione.

Di seguito viene evidenziata la caratteristica di asportazione calore del prodotto utilizzato presso Lucchini RS a differenti concentrazioni, che ha sostituito il precedente fluido a base olio minerale.

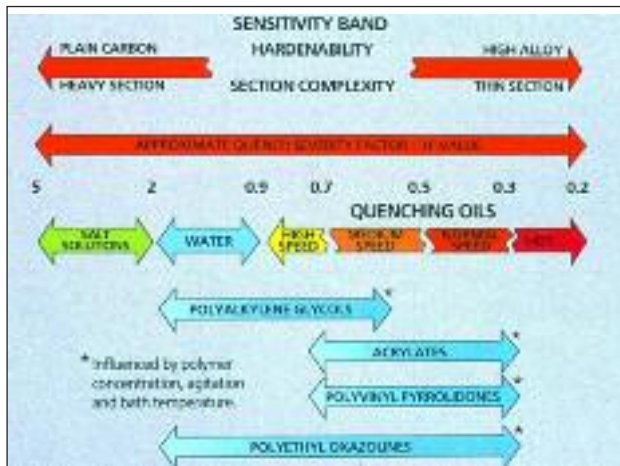
Quanto appena esposto è sicuramente un aspetto estremamente importante per arrivare alla scelta dell'intensità di tempra che il sistema dovrà garantire.

Ciò ha permesso di arrivare a selezionare la migliore intensità di tempra per le specifiche missioni degli impianti.

Inoltre, è stato necessario prendere in considerazione ulteriori parametri per avere al meglio una previsione circa la capacità produttiva dell'impianto, le risorse di gestione, la sua versatilità (in caso di produzioni miste), la sua economicità, l'ottenimento di particolari caratteristiche metallurgiche, il rispetto massimo dell'ambiente di lavoro, sicurezza, ecc.

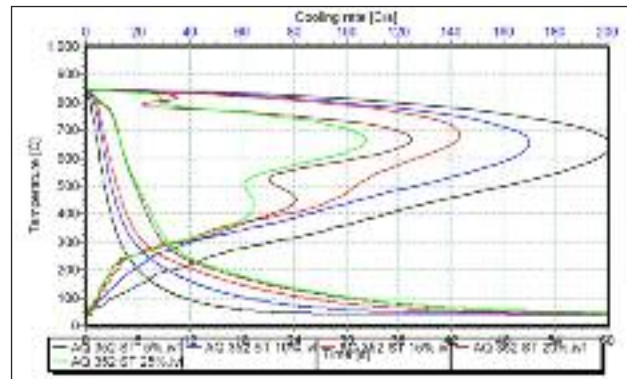
Elenchiamo alcuni punti che, se presi in considerazione, possono aiutare nella omologazione del sistema:

- sicurezza, impatto ambientale e capacità di gestione;
- varietà dei particolari e caratteristiche del profilo produttivo;



**FIG. 1** Banda di sensibilità per le differenti tecnologie di mezzi di spegnimento.

A sensitivity band is shown for the different technologies of quench media.



**Fig. 2** Traccianti di asportazione calore (prova eseguita con condizione di agitazione 1000rpm e alla  $T=40^{\circ}\text{C}$ ) di soluzione polimerica alla concentrazione di 5-10-15-20-25%.

Heat cooling plotting curves (test carried out with a agitation condition of 1000rpm at  $T=40^{\circ}\text{C}$ ) of a polymer solution with a concentration of 5-10-15-20-25%.

Property	Unit	AQ 352 ST 5%.iv	AQ 352 ST 10%.iv	AQ 352 ST 15%.iv	AQ 352 ST 20%.iv	AQ 352 ST 25%.iv
Maximum Cooling Rate	C/s	201,34	170,16	143,69	125,14	107,46
Temp. at Max Cooling Rate	C	653,17	647,1	687,44	664,29	661,21
Temp. at Start of Boiling	C	844,11	846,9	845,66	788,99	803,29
Temp. at Start of Convection	C	104,19	92,48	235,7	523,6	504,77
Cooling Rate at 300 C	C/s	71,78	40,98	34,7	37,58	35,41
Time to 600 C	s	1,63	2,26	2,74	4,52	4,57
Time to 400 C	s	2,91	3,91	4,7	7,06	7,56
Time to 200 C	s	6,04	9,39	12,5	14,86	15,58
Theta 1	C	843,47	846,88	845,39	788,44	798,87
Theta 2	C	303,06	339,19	343,27	302,07	305,02
HP-IVF (oils)		2804,55	2478,79	1548,24	-40,22	-18,45
HP-IVF (polymers)		1517,06	992,18	765,4	698,16	629,18

**TAB. 1** Valori significativi durante l'asportazione calore di soluzione polimerica a differente concentrazione.

Significant values during heat cooling of a polymer solution at different concentrations.

- tipologia impiantistica a disposizione o di prossimo investimento;
- target costo di processo;
- composizione dell'acciaio;
- dimensioni del pezzo, complessità del disegno e grado di deformazione ammesso;
- proprietà meccaniche richieste;
- caratteristiche ambiente di lavoro.

Inoltre, relativamente alle caratteristiche del prodotto di impiego quale mezzo di spegnimento, elenchiamo alcuni punti utili:

- stabilità termochimica necessaria per l'utilizzo richiesto, per ridurre l'oscillazione dei parametri qualitativi;
- basso inquinamento potenziale;
- sicurezza;
- rischio incendio;
- eco-compatibilità;
- smaltimenti;
- drasticità sufficientemente costante, tale da rendere riproducibili i risultati ottenuti durante la produzione;
- bassa asportazione per trascinamento sui particolari;
- buon asporto durante la fase di grassaggio, se presente, oppure termo degradazione compatibile alla fase di rinvenimento,

dopo suo abbattimento. Sempre per evidenziare come la valutazione del sistema debba essere globale, si riporta l'effetto di alcune variabili che possono, in misura differente a seconda del mezzo di spegnimento utilizzato, modificare l'intensità di asportazione calore. Per intuire quanto sia fondamentale gestire la variabile agitazione in un sistema tempra, riportiamo i valori dell'indice di drasticità, Grossman [In-1].

Agitazione	Olio	Acqua	Soluz.saline
Assente	0,25-0,30	0,90-1,10	2,0
Lieve	0,30-0,35	1,0-1,1	2,0-2,2
Moderata	0,35-0,40	1,2-1,3	
Buona	0,40-0,45	1,4-1,5	
Forte	0,50-0,80	1,60-2,0	
Violenta	0,80-1,10	4,0	

**TAB. 2** Fattore di drasticità di Grossman per vari mezzi tempranti in funzione dell'agitazione.

Grossman's severity factor for various hardening media according to the agitation.

Tecnologia mezzo di tempra	Variabili che possono influenzare la drasticità della tempra
Acqua	Temperatura vasca Grado di agitazione
Soluzioni polimeriche	Concentrazione polimero e scelta della tecnologia Temperatura vasca Grado di agitazione
Oli	Scelta della tecnologia Temperatura vasca Grado di agitazione
Sali termali	Temperatura vasca Grado di agitazione Addizione di percentuali controllate di acqua
Gas	Pressione del gas Quantità del flusso del gas
Spray-quenching	Pressione del fluido Concentrazione (se sol.polimeriche) Temperatura
Spray-cooling	Per ogni postazione : Temperatura Portata aria Portata acqua

**TAB. 3**  
*Variabili di maggiore efficacia nella variazione dell'intensità della tempra per differenti mezzi.*

*Variables having greater influence in the variation of the hardening intensity for different media.*

E' evidente che i valori sopra riportati sono solo di tipo indicativo (lo stesso grado di agitazione viene definito ma non quantificato).

Per avere valori gravati di maggiore precisione, bisogna procedere con la determinazione dell'indice per via sperimentale, come Grossman evidenzia nel dettaglio in vari lavori.

La tabella 3 rappresenta come differenti mezzi di spegnimento possano variare l'intensità della tempra in processo, agendo su variabili significative.

## AMBIENTE, SICUREZZA E PROCESSO: CONSIDERAZIONI

### Ambiente

Gli impatti ambientali dei mezzi di tempra basati su olio o soluzioni polimeriche in matrice acquosa sono decisamente differenti. In linea generale, entrambi i prodotti non sono classificati come pericolosi per l'ambiente. L'olio, in caso di combustione, può avere maggiori effetti negativi in termini di odori e di una mistura complessa di solidi volatili, particolato liquido e gas, compresi monossido di carbonio CO, composti organici e inorganici non identificati. In caso di sversamento del materiale, in entrambi i casi, è necessario contenere le perdite con terra o sabbia; il materiale utilizzato per raccogliere il liquido deve essere correttamente etichettato ed avviato allo smaltimento, secondo la normativa vigente in materia di rifiuti. Nel caso dell'olio, la formazione di nebbie di olio o vapore richiede l'installazione di adeguati impianti di ventilazione, per ridurre l'esposizione personale, qualora tali livelli superino i limiti di esposizione professionale. Nel caso di soluzioni polimeriche con matrice acquosa, durante la manipolazione, è necessario evitare il contatto e l'inalazione di vapori. L'olio richiede, per l'immagazzinamento, di essere tenuto in luogo asciutto e ben ventilato, evitando la luce diretta del sole, fonti di calore e forti agenti ossidanti; le temperature per l'immagazzinamento devono essere tra un minimo di 0°C e un massimo di 50°C. Per quanto riguarda l'ecotossicità, non si prevede che l'olio minerale possa causare effetti cronici agli organismi acquatici a concentrazioni inferiori a 1 mg/l. Si tratta, comunque, di una miscela scarsamente solubile che può provocare problemi agli organismi acquatici. Inoltre,

l'olio, nelle più comuni condizioni ambientali, galleggia sull'acqua; se penetra nel suolo, viene fortemente assorbito dalle particelle di terreno, che deve subire un'opportuna bonifica. I principali componenti sono intrinsecamente biodegradabili, ma il prodotto contiene componenti che potrebbero persistere nell'ambiente. Le soluzioni acquose richiedono una adeguata gestione, per evitare una possibile proliferazione micro-biologica, con conseguente formazione di odori sgradevoli.

### Sicurezza

La qualità più importante delle soluzioni polimeriche con matrice acquosa è legata al rischio incendio, che non deve essere valutato solo durante l'impiego, ma anche relativamente alla fase di stoccaggio. Gli oli per tempra di normale impiego hanno un punto di infiammabilità che può variare, a seconda della sua natura e viscosità, solitamente tra 170 e 230 °C. Questo crea ovvie criticità, durante la dinamica di immersione del manufatto. Le soluzioni polimeriche con matrice acquosa, invece, non sono infiammabili e questo è il loro primo grande vantaggio; inoltre, possono essere stoccate in depositi di qualunque tipo, senza dover rispettare particolari condizioni: aspirazione, esposizione alla luce solare e ad altre fonti di calore, contatto con agenti ossidanti forti, quantità massima stoccabile. Per l'olio, la situazione è molto diversa, in quanto è molto difficoltosa anche la fase di spegnimento di un eventuale incendio, perché si producono grandi quantità di fumo, composto da solidi volatili, gas, particolato liquido, monossido di carbonio CO e composti organici ed inorganici. I mezzi estinguenti devono essere specifici per fluidi a base olio. Nel caso di trattamenti di grandi forgiati, si rende necessaria la realizzazione di impianti di spegnimento automatici, al fine di tutelare l'incolumità del personale. Non si deve dimenticare, quindi, che grandi vasche di olio comportano un elevato rischio di incendio, mentre grandi vasche di soluzioni polimeriche con matrice acquosa non sono infiammabili, vista la grande quantità di acqua presente. Relativamente alla manipolazione dei due prodotti, ci troviamo in condizioni differenti, in

**TAB. 4** *Cause incendio e possibili azioni suggeribili.*

*Causes of fire and suggested measures.*



CAUSA INCENDIO	POSSIBILI AZIONI SUGGERIBILI
<p>Contaminazione da acqua</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdita degli scambiatori</li> <li>• Infiltrazioni esterne</li> <li>• Stoccaggio dell'olio all'aperto con inquinamento</li> <li>• Condensa</li> <li>• Rottura di tubazioni</li> <li>• Sistemi antincendio</li> <li>• Rabbocco con prodotto errato</li> <li>• ecc</li> </ul>	<p>Identificare la causa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disidratare o sostituire l'olio</li> <li>• Effettuare periodici controlli sul contenuto di acqua</li> <li>• Inserire in impianto solo dopo essersi accertati disidratazione completa</li> </ul>
<p>Errore nell'immersione della carica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carico troppo raggruppato</li> <li>• Blocco del paranco elettrico</li> <li>• Livello dell'olio troppo basso</li> <li>• Assenza di agitazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assicurarsi che la carica e l'attrezzatura siano preparate adeguatamente</li> <li>• Installare un sistema di sicurezza compatibile con sganciamento per gravità</li> <li>• Ripristinare il giusto livello o cercare eventuali perdite</li> <li>• Valutare funzionamento sistema di agitazione</li> </ul>
<p>Velocità di immersione troppo lenta</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Predisporre un'immersione più veloce</li> </ul>
<p>Carenza di manutenzione</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensa di olio sui canali</li> <li>• Olio su pavimento e pareti</li> <li>• Livello olio troppo elevato con introduzione in camera calda</li> </ul>	<p>Migliorare la manutenzione</p>
<p>Surriscaldamento dell'olio</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scambiatori insufficienti</li> <li>• Circolazione non corretta</li> <li>• Cariche eccessive o rapporto peso/volume non corretto</li> <li>• Volume di olio non adeguato</li> </ul>	<p>Verificare l'efficienza degli scambiatori</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ostruzione delle tubazioni di raffreddamento o incrostazioni</li> <li>• Flusso dell'olio troppo lento</li> <li>• Flusso dell'acqua di raffreddamento troppo lento</li> <li>• Ostruzione dei radiatori</li> </ul> <p>Problemi alle pompe</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ostruzione delle tubazioni di ricircolo</li> <li>• Volume d'olio insufficiente</li> </ul> <p>Diminuire le cariche o aumentare il volume del fluido da temprare.</p> <p>Verificare la presenza di contaminanti, scaglie, morchie, ecc.</p> <p>Aumentare la dimensione della vasca</p>
<p>Inquinamento da prodotti a più basso punto di infiammabilità</p>	<p>Verificare se i rabbocchi sono stati eseguiti correttamente o se lo stoccaggio dell'olio ha subito inquinamento.</p>
CAUSA FUMOSITA'	POSSIBILI AZIONI SUGGERIBILI
<p>Surriscaldamento dell'olio</p>	<p>Vedere le tabelle INCENDIO</p>
<p>Inadeguata circolazione del fluido o carenza di agitazione di infiammabilità</p>	<p>Verificare l'efficienza dell'agitazione</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agitazione insufficiente</li> <li>• Presenza di depositi o morchie che la riducono</li> <li>• Ostruzione di filtri e/o tubazioni</li> </ul>
<p>Ambiente di lavoro poco ventilato Tiraggio inefficiente</p>	<p>Migliorare il ricambio esterno Migliorare</p>
<p>Estrazione anticipata delle cariche</p>	<p>Assicurare una maggiore permanenza del pezzo</p>
<p>Scadente pulizia dei pezzi prima dell'austenizzazione o del rinvenimento</p>	<p>Introdurre una fase di sgrassaggio</p>
<p>Insufficiente sgrassaggio prima del rinvenimento</p>	<p>Controllare l'efficienza della lavatrice. Verificare la possibilità di utilizzare un olio lavabile per facilitare la pulizia.</p>

quanto gli oli devono essere maneggiati preferibilmente con guanti in nitrile e occhiali protettivi conformi almeno alla norma EN 166 345 B, mentre le soluzioni polimeriche con matrice acquosa possono essere maneggiate senza occhiali e con guanti per la protezione da oli minerali, ove presenti. In caso di sversamento accidentale, le maggiori precauzioni riguardano sempre gli oli, in quanto, indipendentemente dal materiale utilizzato per raccogliere il prodotto, non si deve dimenticare che il rifiuto ha un punto di infiammabilità preciso; pertanto, vanno mantenute le precauzioni per lo stoccaggio adottate per il prodotto nuovo. La contaminazione dell'olio da acqua ha conseguenze drammatiche in termini di sicurezza: il rischio di incendio durante le operazioni di spegnimento aumenta con il grado di contaminazione di acqua nell'olio.

## Processo

Per assicurare un controllo di processo di tempra ottimale, è necessario caratterizzare e monitorare periodicamente la curva di raffreddamento del fluido di tempra. L'analisi delle curve di raffreddamento rappresenta uno strumento insostituibile di monitoraggio delle caratteristiche del fluido e viene in genere effettuato in accordo alle ISO9950 e ASTM D6200. In ogni caso, va abbinato al monitoraggio delle altre caratteristiche fisiche, le cui variazioni permettono di comprendere le cause di degrado nel comportamento durante il raffreddamento. Il degrado dell'olio nel tempo è spesso accompagnato dalla formazione di prodotti secondari, che causano variazioni della velocità di raffreddamento. Un'altra fonte di trasferimento di calore non uniforme è la contaminazione dell'olio da acqua, con conseguenze drammatiche anche in termini di rischio di incendio durante le operazioni di spegnimento di tempra, oltre alle non conformità metallurgiche. L'acqua può introdursi nell'olio di tempra, per differenti motivi. Particolare attenzione andrebbe riposta sui sistemi e sulle tenute di scambio termico, se utilizzano acqua; non essendo l'acqua compatibile con l'olio e possedendo differenti proprietà fisiche, quali viscosità e punto di ebollizione, la stessa causa formazione di zone irregolari e disuniformi di durezza, tensioni e distorsioni, oltre ad essere una delle cause principali di incendio dell'olio. Di seguito alcune indicazioni e suggerimenti relativi

vamente alla possibile causa incendio e fumosità propri dei mezzi di tempra a base olio (vds. Tabella 4). Una volta selezionato il prodotto più idoneo, sarà necessario determinare la migliore procedura di controllo del sistema durante la produzione. Già percentuali delle 0.1% di acqua nell'olio possono creare problematiche di sicurezza e non conformità metallurgiche.

## ESPERIENZE NELL'APPLICAZIONE DI TECNOLOGIE DI TRATTAMENTO TERMICO

### La tempra in olio e in soluzione polimerica di assili ferroviari e forgiati

La linea automatica di trattamento termico degli assili ferroviari è dotata, all'uscita dal forno continuo di austenitizzazione, di due vasche di spegnimento:

- una vasca contiene acqua da sempre ed è utilizzata per alcune tipologie di materiali;
- l'altra vasca, un tempo riempita di olio, come visibile in Figura 3, attualmente contiene una concentrazione del 20% di soluzione polimerica in matrice acquosa, tipo AQ352 Houghton.

La sostituzione del fluido di tempra è stata effettuata ai fini di migliorare le condizioni ambientali (vds. Figura 3) e di sicurezza, con l'ottica di miglioramento continuo qualitativo del prodotto. La messa a punto dei parametri di spegnimento in soluzioni polimeriche con matrice acquosa è stata effettuata nei Laboratori dell'Area Metallurgia, che hanno appositamente allestito una vasca pilota, per la simulazione del trattamento di assili ferroviari (Figura 4).

La messa a punto del processo di trattamento termico degli assili è passato attraverso le seguenti fasi sperimentali:

- verifica rispondenza ciclo di trattamento previsto in laboratorio con quello effettivamente effettuato in reparto, mediante controllo registratori di temperatura delle termocoppie forno e pezzo e valutazione tempi di trasferimento forno-vasca (vds. Figura 5);
- monitoraggio termico mediante pirometri ottici, termografie e sistemi di registrazione telemetria DATAPAQ, eseguendo misure in sicurezza, senza contatto e senza interruzione del ciclo produttivo;

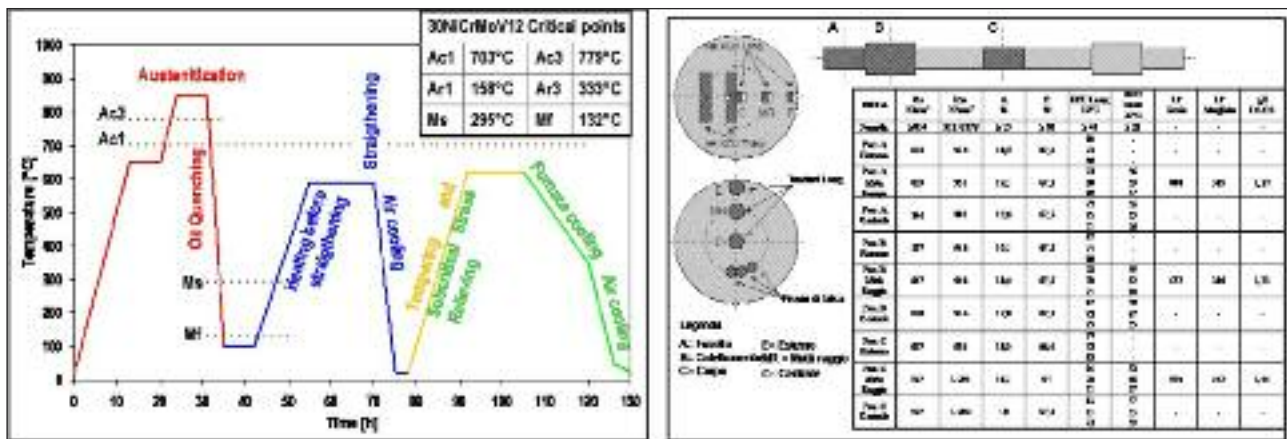


**FIG. 3** Vecchia fase di spegnimento in olio di assili ferroviari.

*Old railway axle quench phase in oil.*



**FIG. 4** Vasche pilota allestite presso i Laboratori dell'Area Metallurgia.  
Pilot tanks set up in the Laboratories of the Metallurgical Area.



**FIG. 5** Ciclo di trattamento termico previsto e proprietà meccaniche rilevate.  
Heat treatment cycle provided for and mechanical properties recorded.



**FIG. 6** Vasche di spegnimento mediante polimero in Area Fucinataura.  
Quench tanks with polymer in the Forging Department.

- verifica variazioni di temperatura delle soluzioni polimeriche durante la tempra, sia nella vasca pilota di laboratorio, che nella vasca dell'impianto automatico di reparto;
  - verifica periodica caratteristiche mezzo temprante;
  - verifica prove meccaniche e microstruttura su assili campione.
- E' in fase di realizzazione l'attività di sostituzione dell'olio con soluzioni polimeriche con matrice acquosa anche per le vasche destinate ai fucinati a disegno, come vda Figura 6.

E' stata avviata la procedura che ha come obiettivo la completa sostituzione dell'olio di tempra nei vari impianti con utilizzo di soluzioni polimeriche.

Il confronto tra olio e soluzioni polimeriche con matrice acquosa ha mostrato come risulti più elevato il livello di sicurezza delle soluzioni polimeriche, rispetto a quello dell'olio nelle fasi di manipolazione del prodotto, impiego del prodotto in condizioni integre, gestione del prodotto in caso di sversamenti, oltre che



nelle fasi di tempra. I risultati qualitativi rilevati sugli impianti di reparto, dopo la necessaria messa a punto su di un impianto pilota di laboratorio, hanno dato risultati soddisfacenti, rispettando a pieno i selettivi capitolati del settore ferroviario (vds. Figura 5).

## Aria soffiata e "Spray Cooling"

Si ricorre alla tempra in aria soffiata o in atmosfera di acqua nebulizzata Spray-Cooling, in modo da eseguire la desiderata traiettoria di raffreddamento post austenitizzazione, quando:

- le dimensioni del getto o del forgiato risultano incompatibili con le vasche di trattamento termico;
- la tempra in olio/soluzioni polimeriche risulta troppo drastica, con conseguenti rischi di eccessive deformazioni o rotture del manufatto;
- la normalizzazione con raffreddamento in aria calma, sulla suola del forno, risulta troppo blanda e non tale da garantire il raggiungimento dei valori minimi richiesti di durezza, proprietà meccaniche e tenacità;
- si vogliono evitare importanti distorsioni, in getti/forgiati con grosse differenze di spessore, mediante una voluta differenziazione locale delle traiettorie di raffreddamento.

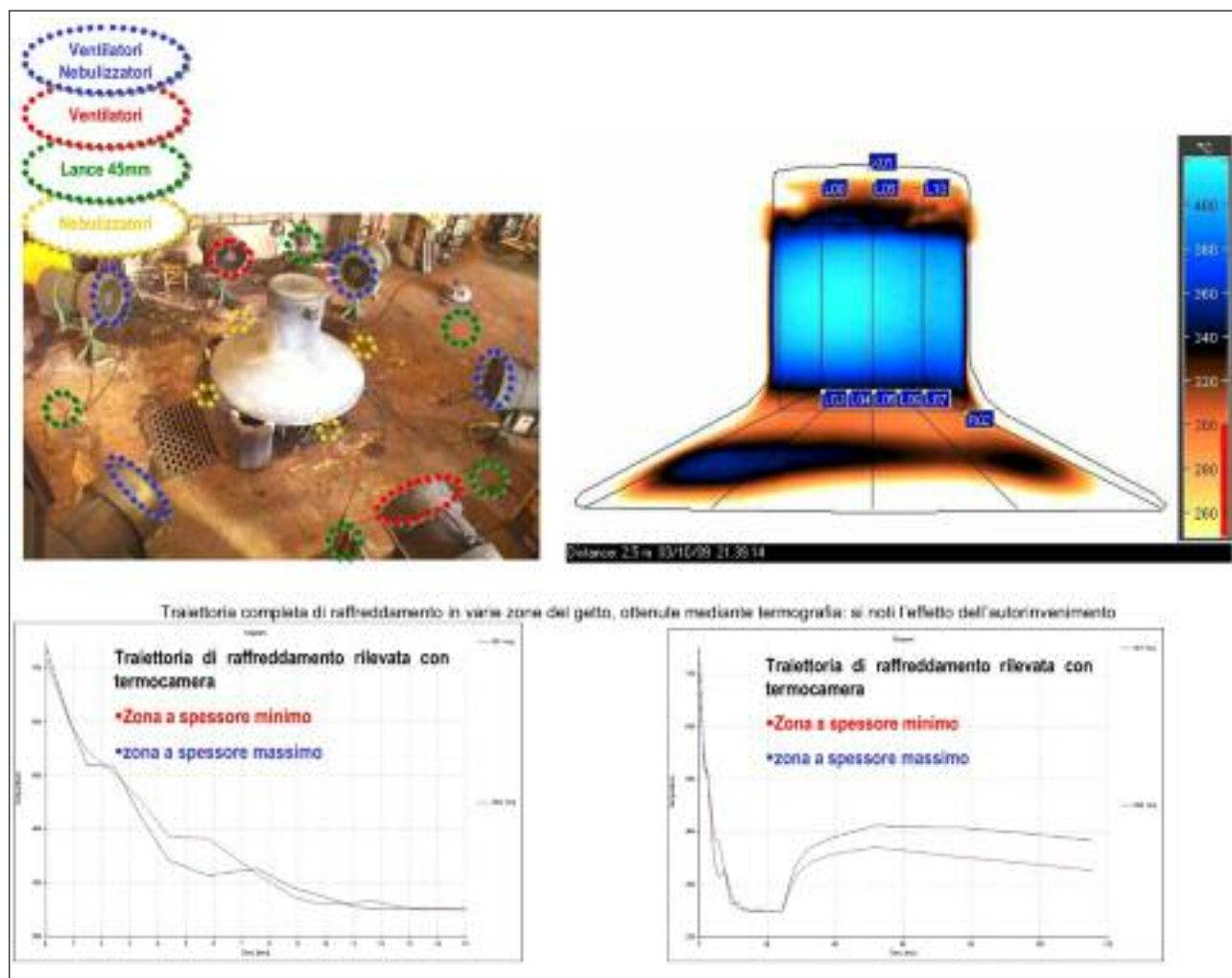
La tecnologia dello "spray-cooling" consiste nel convogliare una quantità nota di acqua nebulizzata su di una determinata zona

della fusione austenitizzata. L'acqua nebulizzata, a contatto col getto a temperatura di austenitizzazione, evapora rapidamente, asportandone il calore. Le turbolenze create dai ventilatori, che convogliano continuamente nuova acqua nebulizzata sul manufatto, evitano il ristagno di vapore, che impedirebbe il contatto fisico tra l'acqua ed il manufatto stesso, controllando, localmente, la drasticità di raffreddamento. Nella Figura 7 è visibile una fusione, del peso di circa 100 t, in acciaio speciale 29NiCrMo12, sottoposta a trattamento di spray-cooling e rilievi termografici. Nel caso specifico, sono stati opportunamente disposti:

- 4 ventilatori/nebulizzatori (in bleu)
- 2 ventilatori normali (in rosso)
- 4 nebulizzatori ad aria compressa, per il raffreddamento della cavità sottostante (in giallo)
- 5 lance regolabili con getto di acqua nebulizzata a 2 ATM (circa 50l/min), (in verde).

Rispetto alla tempra in mezzo liquido, quale acqua o olio, il trattamento "spray-cooling" evidenzia le seguenti caratteristiche :

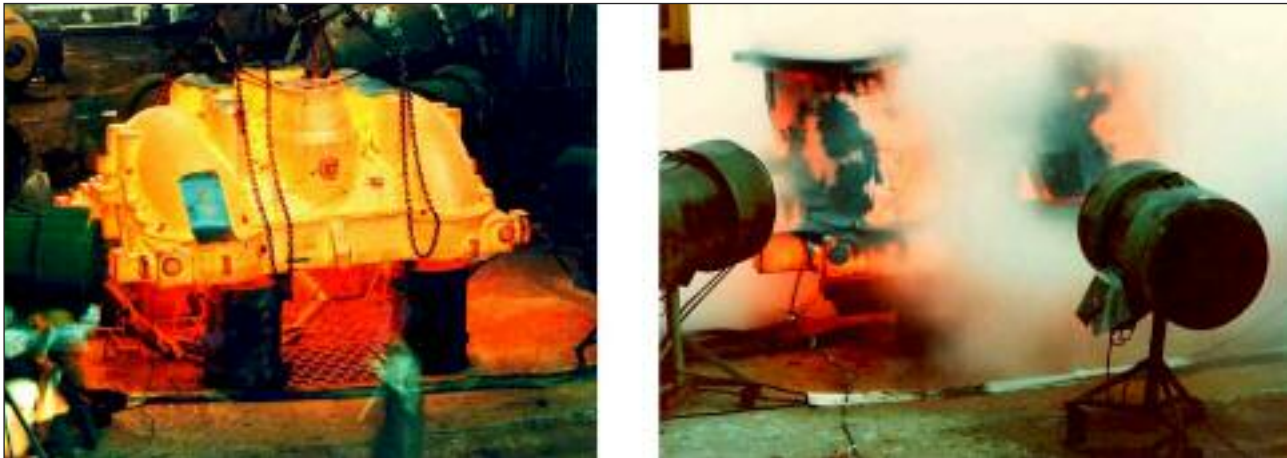
- garantisce la drasticità dell'acqua, grazie al continuo apporto della stessa, eliminando la "fase di vapore", fase in cui un film di vapore del fluido temprante avvolge la fusione, ancora ad altissima temperatura, e l'asportazione di calore avviene solo per irraggiamento e conduzione del film stesso, creando una lenta velocità di raffreddamento;



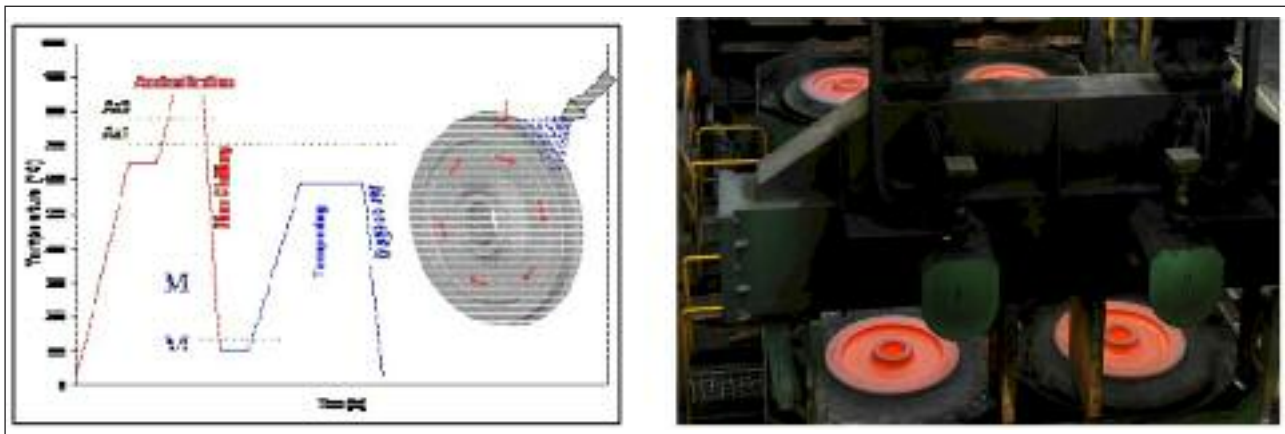
**FIG. 7** Lay out del trattamento termico di "spray-cooling" di un getto del peso di circa 100 t e rilievi di profilo termico mediante termografia, effettuate verso la fine del raffreddamento.

Layout of the "spray-cooling" heat treatment of a casting weighing about 100 t and readings of the thermal profile by means of thermography, taken towards the end of the cooling.





**Fig. 8** Fusioni destinate al settore dell'energia, durante le operazioni di "spray cooling".  
Castings destined for the energy sector, during "spray cooling" operations.



**FIG. 9** Schema di trattamento termico previsto per le ruote monoblocco ferroviarie e tempra differenziale ad immersione (rim chilling).  
Diagram of the heat treatment carried out on railway solid wheels and the differential immersion hardening (rim chilling).

- prolunga la fase di ebollizione, in cui il mezzo temprante, a contatto diretto con la superficie del pezzo, evapora violentemente ed asporta una grande quantità di calore;
- presenta una fase finale più rapida, rispetto all'immersione classica, in quanto, una volta che il manufatto ha raggiunto temperatura inferiore a quella di ebollizione del mezzo temprante, la ventilazione favorisce notevolmente l'evaporazione dell'acqua dalla superficie;
- permette una regolazione in linea delle varie zone, su input delle termocoppie o della termocamera, in modo da variare, nel tempo, da zona a zona, la traiettoria di raffreddamento;
- rispetta l'ambiente ed è sicuro;
- necessita di uno studio attento del layout e delle operazioni di movimentazione dal forno alla postazione di spray cooling;
- necessita di un attento monitoraggio e gestione in linea del profilo di raffreddamento delle varie zone del manufatto, rilevato mediante pirometria, termografia o mediante termocoppie.

In Figura 8 sono riportate alcune fotografie di componenti sottoposti al trattamento di spray cooling.

### Il trattamento termico delle ruote monoblocco e dei cerchioni ferroviari

Le ruote monoblocco ferroviarie vengono, in genere, sottoposte ad un particolare trattamento termico, denominato tempra dif-

ferenziale o rim chilling, a differenza dei cerchioni, che vengono normalizzati o bonificati totalmente. Il trattamento di rim chilling consiste, dopo austenitizzazione completa della ruota, nel sottoporre selettivamente il rotolamento a raffreddamento drastico in acqua, in modo da conferire al rotolamento stesso elevate caratteristiche meccaniche. Contemporaneamente, la cartella della ruota viene sottoposta ad un raffreddamento lento in aria calma, in modo da farle acquisire caratteristiche ottimali di tenacità. Il trattamento viene, ovviamente, eseguito ruota per ruota.

Alla fine di tale raffreddamento differenziato tra corona e cartella, si instaura nella ruota stessa uno stato interno di pre-compressione. Le tensioni residue del trattamento termico differenziale si sono dimostrate assai utili in esercizio, in quanto inibiscono la propagazione di indesiderate cricche di fatica da contatto. L'operazione di rim chilling descritta è sempre seguita da un rinvenimento, a temperatura minima di 500°C, che ha il compito di calibrare le caratteristiche meccaniche e lo stato tensionale interno ai livelli richiesti dai capitolati di accettazione della ruota. In Figura 9 è schematizzato il ciclo di trattamento termico descritto ed è visibile l'impianto di rim chilling.

La tecnologia per il trattamento di rim chilling sviluppata da Lucchini RS e definita "ad immersione", invece di bagnare con getti di acqua il rotolamento della ruota in rotazione, prevede il posizionamento della ruota all'interno di una speciale vasca: essa

isola rotolamento e cartella della ruota stessa, permettendo di differenziare le drasticità di raffreddamento. Sono state progettate e realizzate vasche speciali, in grado di permettere un raffreddamento omogeneo e rapido del rotolamento, garantendo, nel contempo, un raffreddamento all'aria calma della cartella della ruota stessa. Per ottenere un miglioramento dell'uniformità dello scambio termico, si è lavorato sulle portate e sulla costanza della temperatura dell'acqua, adottando, in particolare, ugelli tangenziali, in grado di garantire assenza di vapore all'interfaccia acciaio - acqua. In base alla conoscenza delle curve di trasformazione allotropica con raffreddamento continuo CCT dei materiali utilizzati, è stato espressamente calibrato il tempo di trasferimento della ruota dal forno di austenitizzazione all'arrivo dell'acqua, in modo da effettuare anche tempre ritardate. Le vasche sono state dimensionate in modo da permettere, oltre al trattamento di tempra differenziale delle ruote, anche l'effettuazione della tempra totale dei cerchioni da bonifica, fino ad oggi immersi multipli in catasta. Grazie a questa azione progettuale, si è potuto pensare di utilizzare la nuova linea automatica di trattamento termico delle ruote anche per i cerchioni da bonifica.

La possibilità di trattare singolarmente ogni cerchione in una vasca dedicata garantisce vantaggi notevoli, in termini di omogeneità delle caratteristiche meccaniche ed in termini di automazione dell'operazione, a garanzia della sicurezza.

## CONCLUSIONI

Il processo di fabbricazione di un componente forgiato, fuso o laminato in acciaio speciale vede come fase determinante, nel suo percorso tecnologico, necessario per l'ottenimento delle caratteristiche di impiego richieste, il trattamento termico: infatti, per fare estrinsecare ad un dato acciaio le caratteristiche ottimali richieste, è necessario effettuare un mirato trattamento termico, nel rispetto di parametri principali molto selettivi, definiti dal progettista e produttore dell'acciaio e del componente stesso. Gli aspetti per il miglioramento continuo del prodotto e del processo di trattamento termico devono essere affrontati in sicurezza e nel rispetto dell'ambiente; inoltre, non possono prescindere dalla composizione chimica definita all'origine e dalle dimensioni del manufatto da sottoporre a trattamento termico: è questo un aspetto tecnico, culturale ed etico che deve trasformarsi in competenza e prevenzione sui rischi e sulle misure da attuare in fase di progettazione e monitoraggio di processi e prodotti.

Data la vastità dell'argomento, si è deciso di focalizzare l'attenzione della memoria sui processi di spegnimento di tempra mediante differenti mezzi e sistemi.

Si è partiti dal fluido maggiormente utilizzato in passato, cioè l'olio, con tutte le intrinseche criticità ambientali (fumi) e di sicurezza (rischi di incendio), passando poi alla descrizione delle soluzioni polimeriche, con tutti i vantaggi derivanti, soffermandosi poi sul fluido ecologico e sicuro per definizione: l'acqua, utilizzata come mezzo di spegnimento totale o differenziale in vasca o combinato con aria (Spray Cooling). Il confronto tra olio

e soluzioni polimeriche con matrice acquosa ha mostrato come risulti più elevato il livello di sicurezza delle soluzioni polimeriche, rispetto a quello dell'olio nelle fasi di manipolazione del prodotto, impiego del prodotto in condizioni integre, gestione del prodotto in caso di sversamento, oltre che nelle fasi di tempra. In particolare, in caso di una eventuale emergenza incendio di altri impianti, risulta decisamente più cautelativo l'impiego del nuovo prodotto. I risultati qualitativi rilevati sugli impianti di reparto, dopo la necessaria messa a punto su di un impianto pilota di Laboratorio, hanno dato risultati soddisfacenti. In ogni caso, dove possibile, previa verifica dal punto di vista metallurgico, è doveroso utilizzare direttamente l'acqua o acqua ed aria combinate, in modo da meglio rispettare l'ambiente e garantire livelli di sicurezza elevati agli operatori dei trattamenti termici. L'utilizzo diretto dell'acqua non è sempre possibile, ma può essere facilitato dalle seguenti tecniche o accorgimenti: "temprabilità adeguata", "tempra ritardata", "tempra interrotta", "termostatazione della temperatura", "controllo dell'agitazione del bagno", utilizzo di tecniche alternativa all'immersione totale, basate, per esempio, sul concetto di: tempra differenziale o (Rim Chilling) o di utilizzo calibrato di acqua ed aria (Spray Cooling), grado di finitura superficiale adeguato al tipo di acciaio. E' stato infine sottolineato che i trattamenti termici eseguiti su impianti automatizzati, impianti dedicati in genere ad una tipologia di prodotto ben definita (assili, ruote monoblocco, cerchioni ferroviari), sono sicuri, mentre nel caso di impianti di trattamento termico con movimentazione manuale, tipici dei forgiati a disegno e delle fusioni, ogni caso è diverso e grande importanza va riposta nel lay out e nella definizione delle procedure di movimentazione dei manufatti da forni di austenitizzazione alle vasche e dalle vasche ai forni di rinvenimento.

## RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano tutti coloro che hanno contribuito alla stesura del presente articolo.

## REFERENZE

- D. Petta - Fluidi da tempra gestione e ottimizzazione nel processo - Dispense per Corso Trattamenti Termici 2007 AIM - Milano - Ottobre 2007
- D. Petta - Fluidi da tempra gestione del processo. Variabili significative per la scelta della tecnologia - atti GDS AIM Piacenza 2008
- A. Ghidini, F. Macario, R. Bianchi - Avviamento di una linea innovativa di trattamento termico per componenti ferroviari - Cadriano di Granarolo (Mo) CERMET 2004
- D. Petta, G. Beccati, K. Trevisan - Determinazione ottimizzazione della cinetica di tempra e studio degli effetti delle maggiori variabili di processo in un quenching system che utilizza quale mezzo di spegnimento soluzioni di polimeri - proceeding Convegno Nazionale Metallurgia Milano Novembre 2006
- A. Ghidini, J. Alva, M. Rosso - Manuale Fonderia Tecniche nuove - Capitolo 3: trattamenti termici dei getti
- Pubblicazione Houghton 1994
- A. Ghidini, M. Diener - Reliability and safety in railway product: fracture mechanics on railway solid wheels: a challenge for appliers and producers - Series LRS Techno 2008

## Abstract

### Optimised choices for safe and environmentally-friendly heat treatments

**Keywords:**

steel, forging, heat treatment, quenching, environment

From a technological point of view, the decisive phase during the manufacturing process of a forged, cast or rolled special steel component which is necessary to achieve the required characteristics of use, is the heat treatment: in fact, to reveal the maximum qualities required from a steel, a specific heat treatment must be carried out, in compliance with the main, very selective parameters set by the design engineer and the manufacturer of the component itself.

The aspects relating to the continual improvement of the product and the heat treatment process must be tackled safely and with respect for the environment. These aspects represent a cultural and ethical question that should not be considered just a theory but must become a working knowledge of the hazards and measures to be implemented on the plants to prevent risks. Information should be provided on the measures that must be monitored constantly.

The paper compares the advantages and disadvantages from the point of view of quality, the environment and safety, of managing a hardening process using different quench media such as water, oil based whole fluids and synthetic polymer solutions. A summary then follows of the experiments carried out by Lucchini RS in the application of heat treatment technologies using polymer solutions Houghton (Aqua-Quench), "spray cooling" and "rim chilling", carried out safely and with respect for the environment.

Given the vastness of the matter, a decision has been made to focus the paper only on the hardening quenching phases using different media and systems.

Starting from the medium that was most widely used in the past, i.e., oil, with all the intrinsic risk factors for the environment (fumes) and for safety (fire hazards), the paper proceeds to describe polymer solutions with all their consequent advantages. Consideration is then given to the ecological fluid "par excellence", in other words water used as a total or differential quench media in a tank or combined with air (Spray Cooling).

The comparison between oil and polymer solutions with a water matrix has shown how the level of safety of polymer solutions is higher compared with that of oil during the product handling phase, when using the product in sound conditions, while handling the product in the event of spillage, as well as during the hardening phases. In particular, in the event of an emergency involving a fire on other plants, use of the new product offers a greater safeguard. The results in terms of quality recorded on the department plants, after the setting up of a pilot plant in the laboratory, have been satisfactory. In any case, once the metallurgical feasibility has been ascertained, companies are duty-bound to use water either directly or combined with air in order to show greater respect for the environment and to guarantee higher levels of safety for the workers involved with the heat treatments.

It is not always possible to use water directly, but it can be facilitated by the following techniques or measures: "suitable hardenability", "delayed hardening", "interrupted hardening", "thermostatting the temperature", "controlling the agitation of the bath", use of alternative techniques compared with total immersion based, for example, on the concept of differential quenching or (Rim Chilling) or the calibrated use of water and air (Spray Cooling), the degree of surface finish suitable for the type of steel. Finally, it has been underlined that the heat treatments carried out on automated plants, in other words plants normally dedicated to a well-defined type of product (axles, railway solid wheels and tyres) are safe, whereas in the case of heat treatment plants with manual handling, typical of forged parts made to specifications and of castings, each case is different and great importance must be given to the layout and the definition of the product handling procedures from the austenitization furnaces to the tanks and from the tanks to the tempering furnaces.