

Analisi sperimentale per la validazione del metodo non distruttivo “liquidi penetranti per superfici calde”

A. Tonti, G. Augugliaro, F. Brini
I.S.P.E.S.L.

M. Cevenini
N.D.T. Italiana

Abstract

L'affidabilità della prova con liquidi penetranti è fortemente influenzata dalla temperatura delle superfici in esame la quale, essendo in grado di alterare le caratteristiche fisico-chimiche dei prodotti, limita l'applicabilità del metodo al controllo dei materiali con temperatura superficiale inferiore a 50°C.

L'analisi descrive le prove effettuate per la caratterizzazione dei prodotti da utilizzare nella prova con liquidi penetranti di materiali non porosi la cui temperatura superficiale risulti superiore a 50°C.

Questa analisi viene condotta in supporto all'elaborazione della norma specifica: UNI U45000540 “Caratterizzazione dei prodotti utilizzati nel controllo con liquidi penetranti di superfici calde”.

Le prove effettuate in quest'analisi sono quelle previste dal progetto di norma. Tali prove consentono di comparare le reali caratteristiche dei prodotti in esame, e dovrebbero essere eseguite dall'utilizzatore per garantire l'affidabilità della prova alla temperatura di esercizio.

La norma risulterà applicabile in tutti quei casi in cui la prova con liquidi penetranti debba essere eseguita a temperatura superiore a 50°C e può essere utilizzata per la definizione di eventuali norme di prodotto, per l'elaborazione di specifiche tecniche interne dell'azienda e per la qualificazione dei procedimenti di controllo.

Le prove sono state effettuate presso il laboratorio “controlli non distruttivi” dell'ISPESL – Monteporzio (RM).

Descrizione della norma

Il progetto di norma UNI 45000540 è stato elaborato in seno alla commissione UNI “Prove non Distruttive”, nell'ambito dei lavori del GL4 “Liquidi Penetranti”. La procedura è composta da una parte principale e da due appendici: le appendici riguardano la descrizione delle prove da eseguire per la caratterizzazione dei prodotti (appendice A) ed il verbale da compilare a conclusione delle prove (appendice B). L'appendice A riporta anche una descrizione delle apparecchiature necessarie per l'esecuzione della prova: particolarmente importante è la scelta del forno per il raggiungimento della temperatura di prova. Può accadere, difatti, che il test panel immerso nel forno, specie se si utilizza un pezzo non conforme alla normativa europea (EN 3452-3) come, ad esempio i test panel previsti dalla norma AMS, non sia possibile raggiungere sul pezzo la temperatura desiderata. Sulla base dei test effettuati, si è visto che impostando la temperatura del forno a 250°C si raggiunge al massimo la temperatura di 205°C sul test panel in alluminio. Per ottenere questi valori è necessario settare il termostato a riarmo manuale per un valore di scarto di almeno 5°C, rispetto alla temperatura impostata.

Le prove non distruttive eseguite su talloni di produzione possono riguardare materiali aventi coefficienti di scambio termico particolarmente bassi e quindi, per la qualifica delle procedure di prova, possono essere necessari test panel di materiali aventi caratteristiche termiche similari. In tal caso appare nettamente giustificata la scelta operata nella stesura della norma in questione: occorre una cella termostatica con temperatura massima d'impiego almeno pari a 300°C.

Tornando alla descrizione del progetto di norma 45000540, si precisa che la stessa è composta da una parte riguardante gli aspetti generali come la “premessa”, il “campo di applicazione”, i “riferimenti

normativi” (che tengono conto di tutte le norme pubblicate al 31/12/2002), le definizioni; segue il corpo principale della norma riguardanti gli aspetti specifici nell’utilizzo di prodotti per temperature superiori a quelle definite per il metodo principale (50°C).

Condizioni generali di utilizzazione

Il processo di caratterizzazione dei materiali utilizzati per la prova prevede una fase preliminare riguardante le caratteristiche generali dei prodotti, le condizioni visive (con riferimento alla norma EN/ISO 3059), la nocività e compatibilità con l’ambiente, la qualifica degli operatori, i metodi per la qualifica del procedimento di prova, i limiti di applicabilità.

La parte successiva riguarda la qualifica vera e propria del procedimento: a tal fine i prodotti sono classificati (rispettando quanto previsto dalla normativa europea) in prodotti di Tipo I (fluorescenti) e prodotti di Tipo II (a contrasto di colore, nella maggior parte dei casi i “rossi”). Sono definite anche le temperature di prova: tale aspetto è stato fissato tenendo conto che per temperature superiori a 200°C non si utilizzano, in genere, penetranti liquidi, ma prodotti solidi/pastosi forniti sotto forma di “stick”. Pertanto non sono state fissate temperature di prova superiori a tale limite: 50 e 100°C per i prodotti intermedi (certificati dal fabbricante per temperature inferiori a 100°C), 100 e 200°C per i prodotti superiori (fino a 200°C). I fabbricanti assicurano margini di almeno 50°C rispetto a tali limiti, ma nell’effettuazione delle prove non se ne è tenuto conto.

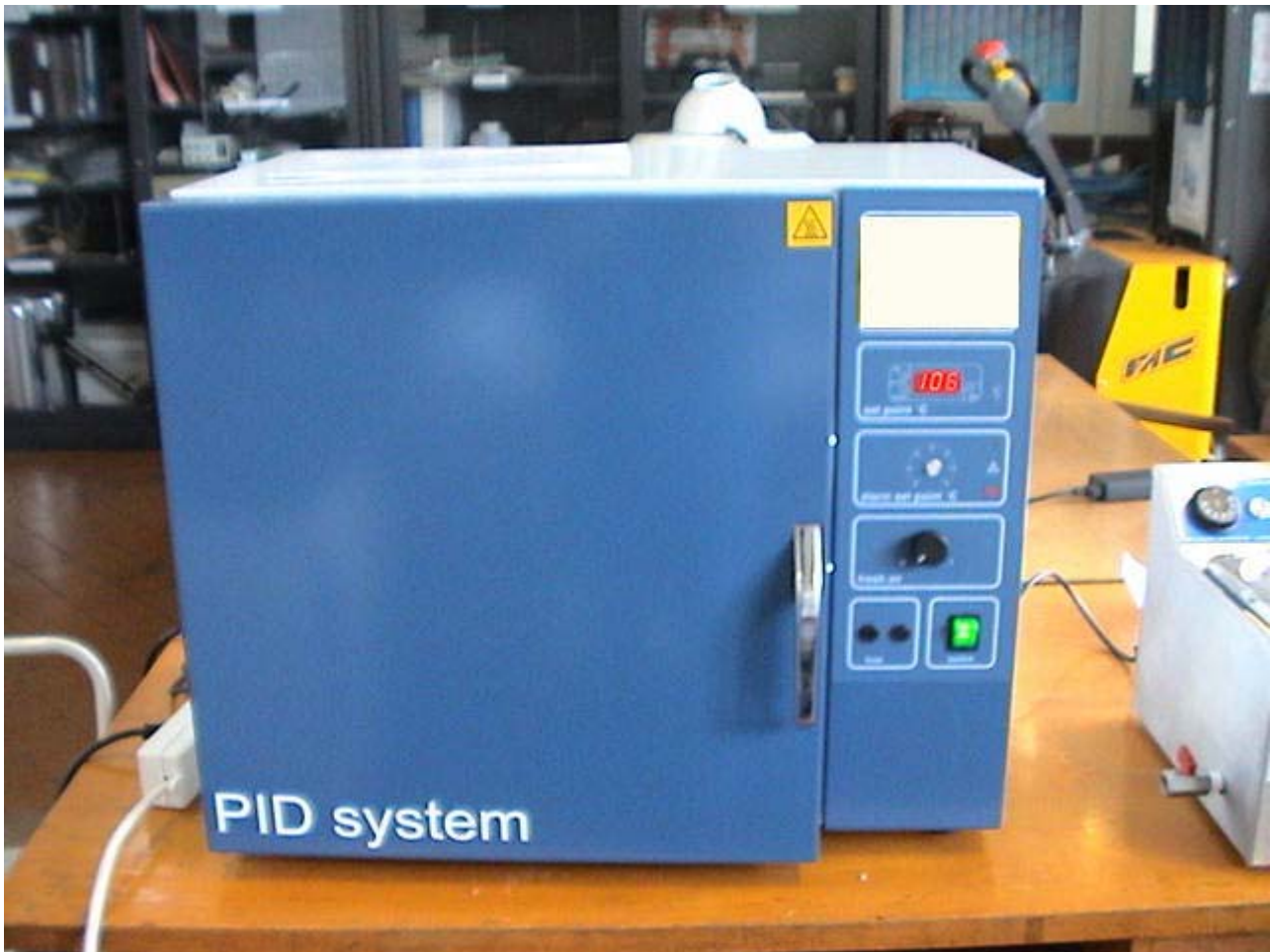
Si passa quindi alla qualificazione del procedimento di caratterizzazione: i prodotti sono suddivisi secondo livelli di sensibilità riportati nel prospetto 1.

Prospetto 1: tavola riepilogativa per il livello di sensibilità dei penetranti per superfici calde.

Livello di sensibilità	% discontinuità rilevate	
	30µm	50µm
1	<75	90 to 99
2	>=75	100

Per l’esecuzione delle prove di qualificazione occorre riprodurre le condizioni di funzionamento dei prodotti specifici per alta temperatura: il campione deve essere posto in un forno fino a raggiungere la temperatura di prova. Nel caso si utilizzino prodotti specifici per alta temperatura occorre eseguire prove di qualifica a 100 e 200°C; per i prodotti intermedi le temperature sono pari a 50 e 100°C. Una volta ottenuta la temperatura di prova il campione viene estratto: sulla superficie si applica il penetrante da testare. Successivamente si rimette in forno per il tempo di penetrazione indicato dal fabbricante. Segue la normale procedura per la rimozione dell’eccesso di penetrante, l’applicazione dello sviluppatore e l’osservazione dei risultati.

Figura 1: cella termostatica per il raggiungimento della temperatura di prova.



Materiali utilizzati per le prove

Sono stati impiegati prodotti elencati nella Lista di Prodotti Qualificati, QPL AMS 2644 e quindi già certificati alle temperature standard dai laboratori Air Force.

Prove a temperatura ambiente

- Penetrante rosso DP51 Sherwin Dubl-Chek
- Sviluppatore bianco D100 Sherwin Dubl-Chek
- Solvente DR62 Sherwin Dubl.Chek
- Penetrante fluorescente HM3A Sherwin Dubl-Chek

Prove a 50°C e 100°C

- Penetrante rosso VP30 Met-L-Chek
- Sviluppatore bianco D70 Met-L-Chek
- Solvente E59A Met-L-Chek

Il produttore dichiara che, grazie alla particolare stabilità di formulazione, questi prodotti sono in grado di rilevare difetti in un intervallo di temperature da -10°C a $+100^{\circ}\text{C}$.

Prove a 100°C e 200°C

- Penetrante rosso K017 Sherwin Dubl-Chek
- Penetrante fluorescente K018 Sherwin Dubl-Chek

- Remover speciale K019 Sherwin Dubl-Chek
- Sviluppatore bianco D100 Sherwin Dubl-Chek (per test a 100°C)
- Sviluppatore bianco D350 Sherwin Dubl-Chek

Prodotti realizzati specificamente per l'uso ad alte temperature, al fine di poter esaminare particolari senza attesa per il raffreddamento, come su pezzi appena saldati o pre-riscaldati per placcatura, su impianti petrolchimici a caldo, durante la scricatura, ecc..

I prodotti non vaporizzano e consentono tempi di penetrazione praticamente immediati.

Prove eseguite

Sono state eseguite diverse prove sulla procedura riportata nel progetto di norma UNI 45000540. Con il programma di prove realizzato si è cercato di coprire tutti i casi previsti dal progetto di norma, sintetizzati nel presente prospetto.

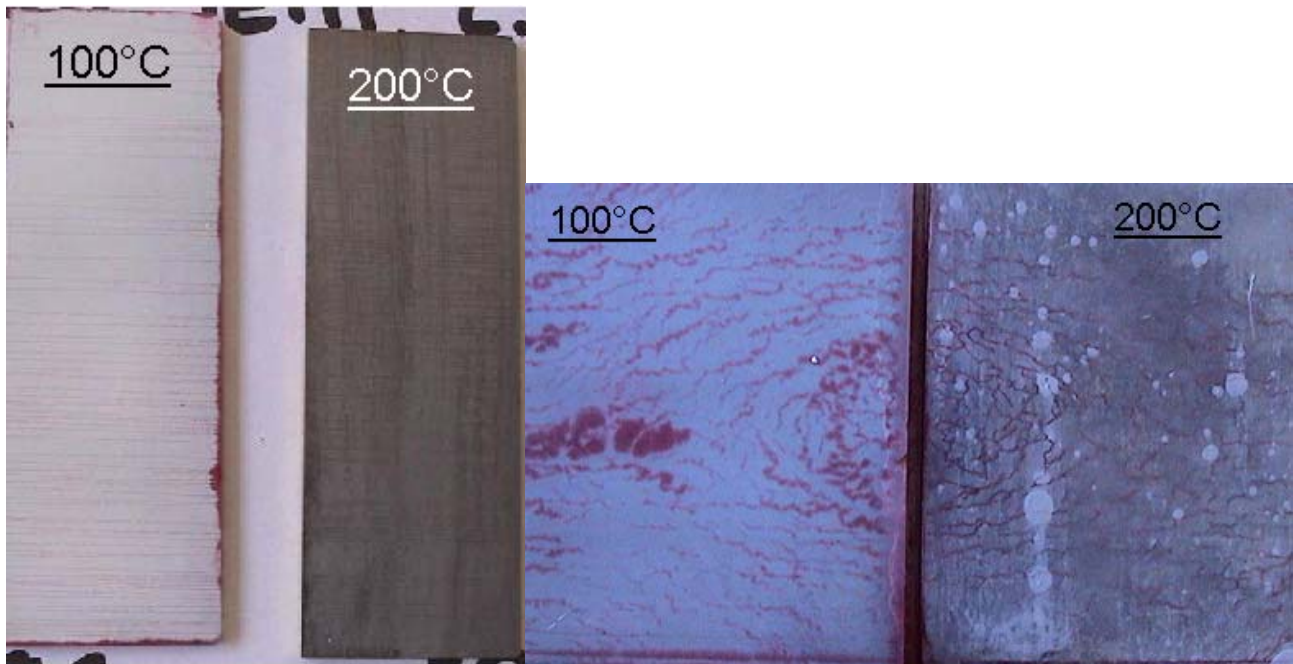
Prospetto 2: riepilogo delle prove eseguite.

Liquidi penetranti colorati					Liquidi penetranti colorati				
test panel EN3452-3					test panel alluminio				
temp. Ambiente	media temperatura		alta temperatura		temp. Ambiente	media temperatura		alta temperatura	
20°C	50°C	100°C	100°C	200°C	20°C	50°C	100°C	100°C	200°C
Liquidi penetranti fluorescenti					Liquidi penetranti fluorescenti				
test panel EN3452-3					test panel alluminio				
temp. Ambiente	media temperatura		alta temperatura		temp. Ambiente	media temperatura		alta temperatura	
20°C	50°C	100°C	100°C	200°C	20°C	50°C	100°C	100°C	200°C

Nel corso del programma di test sono state svolte anche prove supplementari a temperature intermedie come, ad esempio, a 150°C.

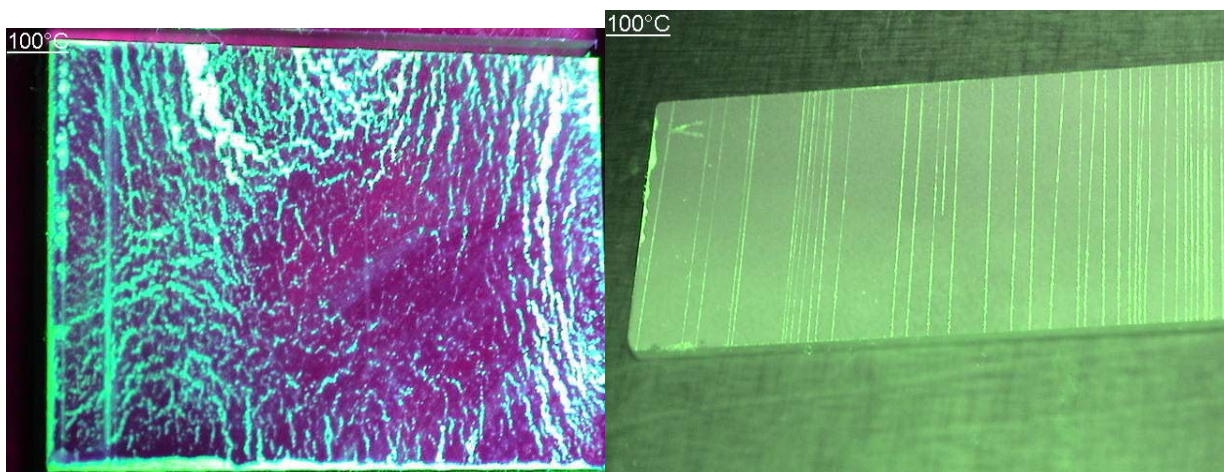
Si riportano, quindi, alcune immagini relative ai test eseguiti a 200°C ed altre relative alle prove eseguite con i prodotti fluorescenti.

Figura 3: prove eseguite a 100 e 200°C, con penetrante a contrasto di colore.



Da quanto esposto risulta evidente la differenza nel contrasto tra la prova eseguita a 100 e quella eseguita a 200°C: nel secondo caso si utilizza uno sviluppatore specifico per elevata temperatura (oltre al penetrante specifico), che, pur mantenendo le caratteristiche di assorbimento nei confronti del penetrante (favorendo il riflusso di questo dalle discontinuità), a contatto con la superficie a temperatura elevata diventa completamente trasparente. Occorre, inoltre, applicare con estrema cura lo sviluppatore per evitare la formazione di bolle: per eliminare il rischio di scoppio in alcuni casi è fornito in contenitori semplici, senza pressurizzazione, e l'applicazione si esegue a pennello.

Figura 4: prove eseguite a 100°C, con penetrante fluorescente.



Considerazioni sul raggiungimento della temperatura di prova

Per la realizzazione delle prove con i liquidi penetranti su superfici calde è stato necessario portare alle temperature previste i campioni standard utilizzati; è stato utilizzato un forno a riscaldamento elettrico, avente temperatura massima di funzionamento pari a 250°C.

La prima riflessione è che la temperatura raggiunta dal campione nel forno deve essere maggiore di quella “di prova”, in quanto bisogna considerare il tempo necessario per estrarre il campione riscaldato dal forno, per posizionarlo sul piano di lavoro ed eseguire il controllo della temperatura, per realizzare la prova, tempo durante il quale lo standard si raffredda.

Inoltre, dal momento che il riscaldamento del campione avviene tramite la convezione naturale, il provino si riscalderà sempre di più con il passare del tempo secondo la legge:

$$dq=h_c dA(T_\infty-T_s)$$

in cui

- dq è la potenza termica scambiata tra superficie e fluido,
- h_c il coefficiente di trasmissione del calore,
- A la superficie del campione,
- T_s la temperatura della superficie e
- T_∞ la temperatura del forno a distanza dal campione.

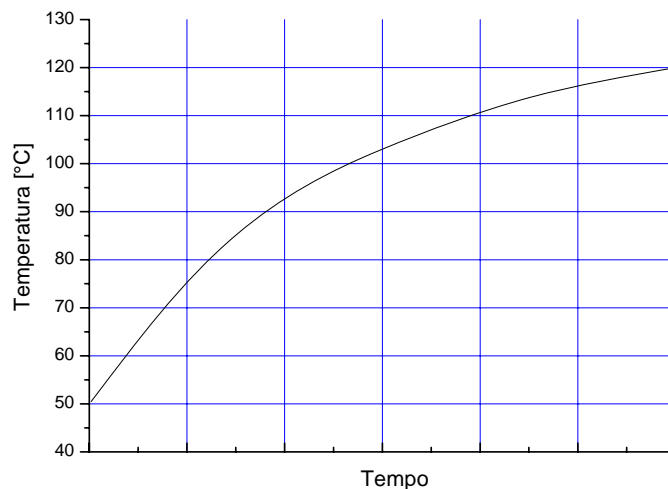
Per risolvere l'equazione si può trattare il campione come mezzo con conducibilità termica infinita ed, in questo caso, dq si può scrivere come $c\rho V(dT/d\theta)$, in cui:

- C è il calore specifico del campione,
- ρ la sua densità,
- V il volume,
- dT la variazione di temperatura nel tempo $d\theta$.

La soluzione del flusso termico in regime non permanente risulta essere

$$\frac{T_\infty - T}{T_\infty - T_0} = e^{-(hA/c\rho V)\theta}$$

La distribuzione di temperatura che ne risulta è del tipo indicato in figura.



Il campione, quindi, si avvicinerebbe in un tempo elevato alla temperatura imposta nel forno; desiderando un tempo di permanenza nel forno non troppo lungo, la temperatura dello stesso forno deve essere impostata per valori ancora più alti.

I risultati sperimentali ottenuti seguendo queste linee di lavoro sono riportati nella tabella seguente:

Tipo di campione	Temperatura di prova (°C)	Temperatura forno (°C)	Tempo di permanenza
EN3452-3	100	120	30'
EN3452-3	200	240	30'
AMS	100	130	30'
AMS	200	250	30'

Conclusioni

È stata effettuata un'analisi delle prove effettuate per la caratterizzazione dei prodotti da utilizzare nella prova con liquidi penetranti di materiali non porosi la cui temperatura superficiale risulti superiore a 50°C.

Questa analisi è stata condotta in supporto all'elaborazione della norma specifica: UNI U45000540 "Caratterizzazione dei prodotti utilizzati nel controllo con liquidi penetranti di superfici calde".

Le prove effettuate in quest'analisi sono conformi a quelle previste dal progetto di norma. Tali prove hanno consentito di comparare le reali caratteristiche dei prodotti in esame; prove analoghe dovrebbero essere eseguite dall'utilizzatore per garantire l'affidabilità della prova alla temperatura di esercizio. Non sono emerse difficoltà che possano precludere l'applicazione della norma: occorre, però, effettuare un attento studio della temperatura del campione e del sistema di riscaldamento dello stesso.

La norma è, quindi, applicabile in tutti quei casi in cui la prova con liquidi penetranti debba essere eseguita a temperatura superiore a 50°C e può essere utilizzata per la definizione di eventuali norme di prodotto, per l'elaborazione di specifiche tecniche interne dell'azienda e per la qualificazione dei procedimenti di controllo.

Bibliografia

1. UNI 4500540 Progetto di norma - Caratterizzazione dei prodotti utilizzati nel controllo con liquidi penetranti di superfici calde - Caratteristiche e prove.
2. UNI EN ISO 3452-2 Prove non distruttive - Esame con liquidi penetranti - Prove dei materiali usati nell'esame con liquidi penetranti.
3. UNI EN ISO 3452-3 Prove non distruttive - Esame con liquidi penetranti - Blocchi di riferimento per le prove
4. EN ISO 3059, Non-destructive testing — Penetrant testing and magnetic particle testing — Viewing conditions.
5. Kreith F.; "Principi di Trasmissione del calore"; Liguori Editore, 1975.
6. AMS 2644A Inspection Material, Penetrant, maggio 2000.