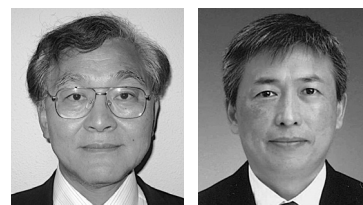


実験指南

溶接部の浸透探傷試験方法*

津村 俊二**，谷 峰**



津村 俊二 谷 峰

Penetrant Testing Method for Welds*

by TSUMURA Shunji** and Gu Feng**

キーワード 非破壊試験，浸透探傷試験，検査，評価，欠陥，傷，割れ，ブローホール

1. はじめに

溶接部の検査等に非常に広く使用されている浸透探傷試験 (penetrant testing) について，実際の手順，最近の動向を含めながら，分かりやすく解説する。

2. 浸透探傷試験の特徴

- ① 金属 (軟鋼，ステンレス鋼，銅合金，アルミニウム等)，非金属でも適用可能である。
* 磁粉探傷試験は磁石にくっ付く強磁性体材料にしか適用できない。
* 最近は産業界の高度化するなか，軽量化，材料の複合化などで，浸透探傷試験も増加傾向である。
- ② 表面開口きずであれば，割れ，線状，円形傷も高感度で検出できる。
- ③ あらゆる方向の探傷が同時に可能である。
(磁粉探傷試験は磁束を遮る方向のきずに限定される為，全方向の場合の磁化は2方向以上となる)
- ④ 特別な装置等が不要で，表面きずを容易に検出できる。

3. 浸透探傷試験の時期

溶接関連では，次のような時期に実施使用されている。

- ① 溶接材料の基となるスラブ材，鋼塊製造時
* 溶接母材，溶接材料に欠陥がないか材料製造時に検査。
- ② 溶接前の開先部
溶接開先にラミネーションなどのきずがあると，溶接時に成長し，大きな割れなどになる可能性がある。

- ③ 溶接中間時
多層盛などで溶接の1層目や中間層などを検査する。
- ④ 溶接終了時
溶接終了後に検査する。
- ⑤ 熱処理後
溶体化処理，応力除去処理などの熱処理後に検査する。
- ⑥ 溶接品使用中 (定期検査等)
溶接部品等の使用中に疲労割れ，応力腐食割れ等が発生していないかを検査する。

4. 探傷範囲

溶接部の探傷では，一般的には図1のように溶接ビード及びその周囲の熱影響部が探傷範囲となる。

5. 浸透探傷試験の種類

浸透探傷試験の種類としては観察方法で2種類 (染色，蛍光)，浸透液の除去方法で3種類 (溶剤除去性，水洗性，後乳化性)，現像方法で4種類 (速乾式，湿式，乾式，無現像) があり，それらの組合せで実際の試験方法を決定する。一部の大型部品に水洗性染色浸透探傷試験，量産部品や微細傷の探傷には水洗性蛍光探傷試験が使用されているが，

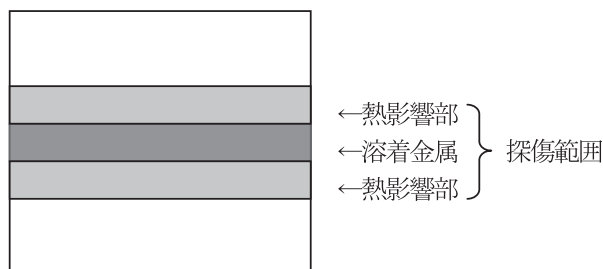


図1 溶接部と試験対象範囲

*原稿受付 平成23年8月23日

** 株式会社 Taseto Co.,Ltd.

プラントの現地検査などを含め、国内では大半が溶剤除去性染色浸透探傷試験である。

6. 探傷剤の種類

一般に市販されている染色浸透探傷剤の種類、特徴について例を表1に示す。

- *「低ハロゲン，低イオウ」型：オーステナイトステンレス鋼，チタン合金，ニッケル合金などで，応力腐食が懸念される場合に使用される。検出感度は標準型と同じであるが，応力腐食に関連するハロゲンやイオウが少なく，各Lotで分析表が添付されている。
- *水洗型浸透液：浸透液が水で洗浄できるように界面活性剤が添加されている。効率的に水シャワーで洗浄できるが，水洗後の赤い廃水はそのまま流せないで廃液処理するか，産業廃棄物業者に引き取ってもらう必要がある。
- *不燃型：フロンや塩素系溶剤で設計されており，火災などの危険性が少ないが，環境破壊等に留意する必要がある。
- *高温型：高温で稼働中のプラントや冷却しにくい厚板，杭や予熱材料などに使用される。ただし，常温では現像剤が乾燥しないので注意が必要。

7. 浸透探傷試験の原理と手順

一般的な浸透探傷試験の探傷原理，手順を表2に示す。

8. 各手順の作業ポイント，注意事項

8.1 前処理

試験体表面のスラグ，スケール，錆等をワイヤブラシや

表1 染色浸透探傷剤の種類と特徴

(例：カラーチェック)

種類	記号	特徴
標準型	浸透液：FP-S 除去液：FR-Q (遅乾型：FR-S) 現像剤：FD-S	最も一般的な溶剤除去性染色浸透探傷試験—速乾式現像法に使用。
水洗型	浸透液：FPW-6 (粗材用：PM-6)	浸透液を水シャワーで洗浄。
不燃型	浸透液：FP-NE3 除去液：FR-NE3 現像液：FD-NE3	不燃性溶剤がベースで，火災の危険性が少ない。
高温型	浸透液：P-HE 除去液：R-HE 現像剤：D-HE	試験体が100～200℃の高温域での検査に使用。
クリア	浸透液：P-C 除去剤：FR-Q 現像剤：D-C	浸透液は無色で，現像剤と反応して赤く発色。
「低ハロゲン・低イオウ」	浸透液：FP-U 除去剤：FR-U 現像剤：FD-U	Cl, F, S 元素<200ppm 主に原子力関連で使用される。

タワシ等で除去する。

- *アルミや銅合金などの場合は，ブラスト処理や硬質のワイヤブラシ等での強くこすると開口傷が塞がるので傷は出なくなる。特にブラスト処理などではこの傾向が強く，開口きずを塞ぐ可能性が高いので十分注意する。油などが付着している場合は，有機溶剤の洗浄剤を吹きつけてウエスで拭取るなどの操作を数回繰り返し，きずの中の油などを十分に除去し，乾燥した状態にする。
- *エアゾール洗浄液などで吹付け洗浄した場合は，表面が急冷されて結露し，濡れた状態になる場合があるので，時間を置かず，必要に応じてはドライヤーなどできず内部を十分乾燥させる。

8.2 浸透処理

浸透液をスプレーや刷毛で検査対象部に塗布し，浸透させる。浸透時間は，通常では5～10分であるが，低温ではやや長めにする。浸透液は，溶着金属及びその周辺の熱影響部にも塗布する。






8.3 除去/洗浄処理

除去処理：溶剤を使用して試験体表面の余剰浸透液を除去することを除去処理という。

乾いたウエスで試験体表面の浸透液を拭取った後，除去液をウエスに含ませて拭取る。(きずの中の浸透液を残したまま，表面の余剰浸透液を除去する。)

- *除去液を試験体表面に直接塗布すると，きずの中の浸透

表2 浸透探傷試験の探傷手順と概要

	手順図	処理内容
前処理		洗浄液等を用いて，表面の油，汚れ等を除去し，傷内部を開口させた後，乾燥させる。
浸透処理		浸透液を塗布し，傷の中に浸透液を浸透させる。浸透時間は5～60分程度とする。低温の場合は，長めにする。
除去処理		洗浄液を含ませたウエスで表面の余剰浸透液を除去する。水洗型の場合は，シャワー水で洗浄除去する。
現像処理		現像剤を十分に振って攪拌した後，薄く均一に塗布する。白色の現像剤は傷の中の浸透液を吸い出し，拡大した浸透指示模様を形成する。現像時間は10～30分とする。
観察		明るいところで浸透指示模様を観察する。蛍光探傷の場合は，暗所でブラックライトを照射して観察する。

液も除去されるので絶対行わないこと。

*溶接ビードなどは凹凸があるため、疑似模様が出ないよう形状に合わせて丁寧にしっかり除去する。

*溶接の端部などにも浸透液が残っていると、表面に上がってくるので、忘れずに拭取ること。

洗浄処理：試験体表面の浸透液を水シャワーで除去することを洗浄処理という。水圧、水洗時間を決めて、洗浄不足、過洗浄にならないよう注意する。

8.4 現像処理

除去処理が終了したら、速やかに現像処理を行う。現像剤は使用前によく振ってから均一に塗布する。現像剤により傷中の浸透液が吸い出され、傷は白地に赤色の欠陥指示模様として現れる。現像時間は10～30分が望ましい。

水洗型を使用した場合は、水洗後、乾燥機、ドライヤーなどで表面を乾燥させてから現像剤を塗布する。

8.5 観察

観察は現像処理後、直ちに開始し、決められた現像時間後に、最終観察する。割れ、ブローホールなどは白地に赤色の拡大指示模様で検出することができる。

染色浸透探傷試験の場合は、明るいところ（試験面で500ルクス以上）で浸透指示模様を観察する。

蛍光浸透探傷試験の場合は暗所でブラックライトを照射しながら観察する（検査面での紫外線強度は $1000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 以上とする。）

*現像時間ともに、指示模様が拡大するため、経時変化には注意が必要である。

8.6 後処理

必要に応じ、現像剤を除去したり、防錆処理を施したりする。

9. 検出限界

浸透探傷試験の割れ等の検出限界であるが、人工的に作成した試験片（メッキ割れ試験片）では、染色浸透探傷では深さ約 $30\mu\text{m}$ （巾：約 $1.5\mu\text{m}$ ）、蛍光浸透探傷試験では $10\mu\text{m}$ （巾：約 $0.5\mu\text{m}$ ）も検出可能となっている。

10. 水洗性の過洗浄防止機構

粗い試験体、複雑な形状の試験体、量産部品などは水洗型の浸透探傷試験が実施されるが、洗浄水で洗いすぎると傷の中の浸透液まで洗い落としきずが出なくなる。これを過洗浄というが、最近の高感度浸透液はきずの中の浸透液が図2に示すように、流失しにくくする機構が付与されている。

11. 試験温度

浸透時間は $10^\circ\text{C}\sim 50^\circ\text{C}$ で5～60分。 5°C 以下、 50°C 以上の場合、使用温度にあった探傷剤をメーカーの指示条件で使用する。 5°C 以下、 50°C を超える温度域での確性試験データなどは、探傷剤メーカーが準備しているので、参考にするるとよい。

なお、 $100\sim 200^\circ\text{C}$ の場合は、一般に専用の高温型探傷剤

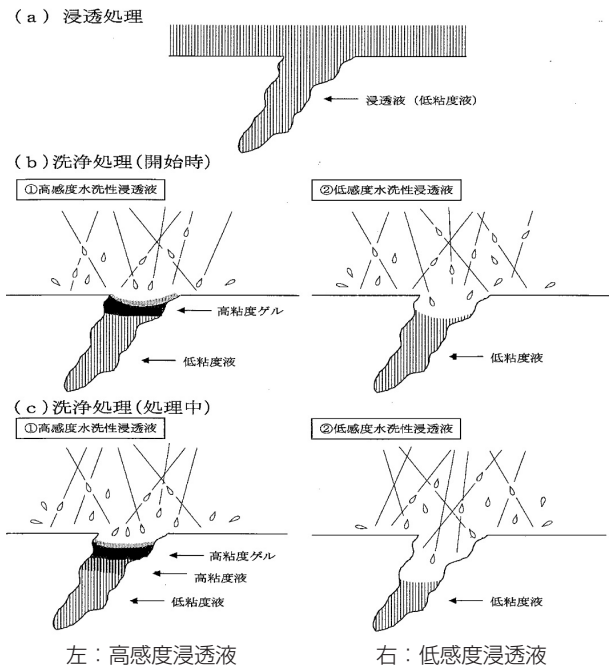


図2 水洗型浸透液の過洗浄防止機構

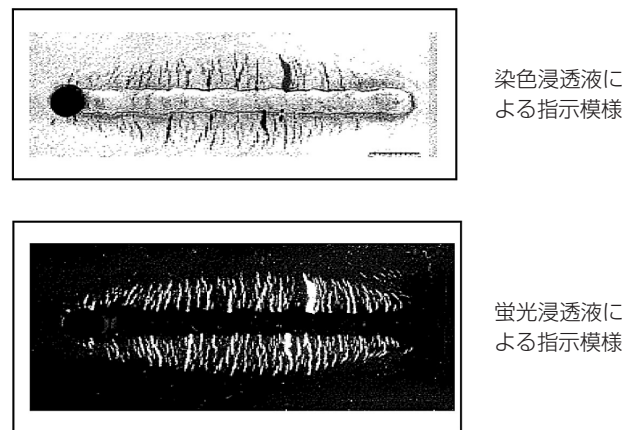


図3 応力腐食割れの指示模様

を使用することになるが、その場合は浸透～現像処理までの間は、試験体は指示された高温域に保つ必要がある。

12. 指示模様と判定

浸透指示模様は形状及び存在の状態から独立、連続、分散指示模様に分類され、判定基準に基づき、大きさ、個数、発生位置、方向などを考慮して判定される。

13. 蛍光浸透探傷試験と染色浸透探傷試験

染色浸透探傷試験は赤色の染料、蛍光探傷試験は蛍光染料を溶解した浸透液を使用している。そのため、前者は明るいところで、また後者は暗所でブラックライトを照射して試験を行う。探傷原理は同じであるが、人間の傷の視覚感度が蛍光のほうが高いため、蛍光浸透探傷試験のほうが高感度となる。微細きずの検出を対象とする航空機分野などでは蛍光探傷が主流である。また、蛍光浸透探傷試験の

場合は、現像剤を使用しなくても大きなきずは検出できるため、アルミダイキャストなどの量産部品の検査に使用されることが多い。

14. 溶接部に現れやすい欠陥

溶接時の欠陥例

割れ（高温割れ，低温割れ），溶け込み不良，
融合不良，スラグ巻き込み

保守検査

疲労割れ，応力腐食割れ

15. 関連規格

JISZ2343 非破壊試験—浸透探傷試験（1部～6部）

- 1部：一般通則—浸透探傷試験方法及び浸透指示模様の分類
- 2部：浸透探傷剤の試験
- 3部：対比試験片

4部：装置

5部：50℃を超える温度での浸透探傷試験方法
（近日制定予定）

6部：5℃より低い温度での浸透探傷試験方法
（近日制定予定）

16. おわりに

浸透探傷試験は原理も簡単で、現場で短時間に割れやブローホールなどの有無を確認できるため、溶接部の評価法としては非常に広く普及している。今後も正しい方法で製品の品質評価に役立ててほしいと考える。

参考文献

- 1) The Japanese Society for Non-Destructive Inspection :
Penetrant Testing III (NDT technology series) (2008)
p.50 (in Japanese)