

昭和59年度

千葉県非破壊検査研究会 研究発表会

日時 昭和60年3月12日(火)

会場 千葉県機械金属試験場

鋼溶接部の超音波探傷試験に関する 日本工業規格の主なる改正点

岸 上 守 孝*

Main Revision of Japanese Industrial Standards for Method of Ultrasonic Testing for Ferritic Steel Welds

by Moritaka KISHIGAMI

はじめに

JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法及び試験結果の等級分類方法」は、昭和50年に制定されて以来、各業界で広く適用されてきている。この間、超音波探傷技術及び装置は一段と進歩し、それに合わせた改正が必要になっていた。

当協会は、昭和56年度に通産省・工技院から JIS Z 3060の工業標準改正原案調査作成、及び「曲面状の鋼溶接部の超音波探傷試験方法」の工業標準新規原案調査作成の委託を受けて、JIS Z 3060改正原案作成委員会(委員長 木村勝美)及び「曲面状の鋼溶接部の超音波探傷試験方法」新規原案作成委員会(委員長 木村勝美)を発足させた。各々の委員会で、数回の審議を重ねた後、昭和57年3月に改正原案及び新規原案を完成させた。なお、これらは昭和58年に、ほぼ原案どおり、それぞれ JIS Z 3060—1983及び JIS Z 3061—1983として測定された。

ここでは JIS Z 3060—1975、同一—1983及び JIS Z 3061—1983をそれぞれ旧 JIS、改正 JIS 及び新 JIS と呼ぶことにする。

以下に、改正 JIS の主な改正点及び新 JIS の内容について紹介する。

1. 改正 JIS の特徴

改正 JIS は、次のような点が特徴になっている。

- (1) 曲面状の鋼溶接部を探傷する場合は、新 JIS を適用することになるので、旧 JIS の附属書3(曲率をもつ試験材の溶接部の斜角探傷)は削除されている(これに伴う適用範囲の変更は後述する)。
- (2) 旧 JIS もそうであったが、JIS Z 3060は、対象物や継手形状によって探傷方法を区別した規格ではなく、あくまでも探傷技術の規格である。したがって、特殊な継手形状の場合、どんな技術、探傷方法を適用するかは探傷に先だって、あらかじめ決めておく必要がある。
- (3) 「特別に指定する探傷方法」、「標準試験片または対比試験片」、「検出レベル」は、JIS Z 3060で探傷試験することを決めたとときに、あらかじめ指定しなくてはならない項目として、一般事項の項に明記されている。
- (4) 一探触子による斜角探傷法以外の「垂直探傷法」、「斜め平行走査」、「溶接線上走査」、「またぎ走査」及び「タンデム探傷法」は、とくに指定された場合にのみ適用される。
- (5) 旧 JIS は制定当時、鋼溶接部の超音波探傷試験方法として、国内で初めての日本工業規格であったため、探傷手順のおよび精神規定的な内容も多分に含まれていた。新 JIS は、そのような項目が整理または削除されている。削除された項目は2.(5)に示す。
- (6) 超音波探傷技術の進歩に伴う技術的内容の改正

* 石川島播磨重工業㈱技術研究所(東京都江東区豊州3—1—15)
Ishikawajima-Harima Heavy Industries, Co., Ltd.
第2標準化委員会, 202小委員会小委員長
Chairman, 202Technical Sub Committee

にあたっては、202小委員会でも過去に検討し、その成果となっている202小委員会指針または勧告が採用されている。

2. 変更された主な点

(1) 適用範囲

新 JIS の制定によって改正 JIS の適用範囲は、円周継手の場合は曲率半径1000mm 以上に、長手継手の場合は曲率半径1500mm 以上に改められた。

(2) 用語

用語の一部が変更になった。すなわち、「粗探傷」は「予備探傷」に、「精密探傷」は「規定探傷」に、「修正操作」は「感度補正」に、「試験材」は「試験体」にそれぞれ改められた。

また、用語の中で、定義がなくても意味をとり違えるおそれのないものは削除され、附属書のみで使用される用語は附属書で各々定義され、本文中に“用語の意味”が多くなり過ぎないように配慮されている。

(3) 接触媒質

旧 JIS は、接触媒質は斜角探傷と垂直探傷の別、探傷面の粗さに無関係にグリセリンを使用することを規定していたが、斜角探傷の場合、探傷面粗さ(R_z)が $30\mu\text{m}$ 以下のとき、面粗さによる感度低下はほとんど無視できるので、改正 JIS では、接触媒質はとくに規定しないことにした。一方、 $80\mu\text{m}$ 以上では接触媒質にグリセリンを使用しても感度低下を補えないので、面を $80\mu\text{m}$ 以下に仕上げるか、または感度補正することになった。

なお、 $30\mu\text{m}\sim 80\mu\text{m}$ の場合、 5MHz のときは濃度75%以上のグリセリン水溶液または同等のものを使用するが、 2MHz のときは何を使用してもよいことになった。

(4) 点検

旧 JIS の「探傷装置及び附属品」は、「標準試験片及び対比試験片」と「探傷装置の性能」とに分けられている。また、旧 JIS の附属書1「探傷装置に必要な性能及び点検」のうち「性能の点検」は探傷試験にとって非常に重要な事項であるので、「日常点検」と「使用開始時の点検」とに分けて本文に規定されている。すなわち、探傷器は12か月以内ごと、斜角探触子の「接近限界長さ」、「ビーム中心軸の偏り」は作業開始時及び作業時間8時間ごと、「A1感度」、「A2感度」、「遠距離分解能」、「不感帯」は使用開始時及び補修を行ったときに点検することになった。垂直探触子は、使用開始時及び少なくとも1か月に1度点検するように規定されている。また、「測定範囲」及び「探傷感度」は、作業開始時及び作業時間4時間ごとに点検し、調整するように規定されている。

(5) その他

「探傷の準備」と「装置の準備」の項のうち、精神規定

的な項目であった「予備調査」と「電源投入時期」は削除されている。

「エコー高さ区分線の作成方法」は、手順書的内容であるので、改正 JIS では附属書5に移されている。

タンデム探傷法及び、またぎ走査に使用する RB—A5 は実際的ではなく、NDIS2410—79でも使用されていないので、改正 JIS では RB—A5 は削除されている。

削除された項目は、次のとおりである。

2.4.3. RB—A5

2.6 その他

3. 探傷の準備

3.1 予備調査

4. 装置の準備

4.1 電源投入時期

5.8.2 またぎ走査を使用する場合の探傷感度

6.10 走査方法

6.11.1 探傷位置、範囲及び方向

3. 新しく追加された内容

(1) 202小委員会勧告

202小委員会勧告または指針のうち、改正 JIS に採用されたものは次のとおりである。(表1参照)

- 溶接部のタンデム探傷方法および等級分類方法についての202小委員会勧告(昭和52年)、同日本非破壊検査協会規格(NDIS2410—79)は、等級分類方法を除いた部分が附属書3に採用されている。
- DAC回路の性能、機構及びその使用方法についての202小委員会勧告(昭和52年)は附属書6に規定されている。
- 溶接部の超音波探傷試験において探傷装置の違いにより欠陥エコー高さ領域の判定に差異が生じた場合の処置に関する202小委員会勧告(昭和54年)は、附属書5の解説に採用されている。
- 溶接部の斜角探傷における欠陥指示長さの測定方法に関する202小委員会勧告は、解説に採用されている。

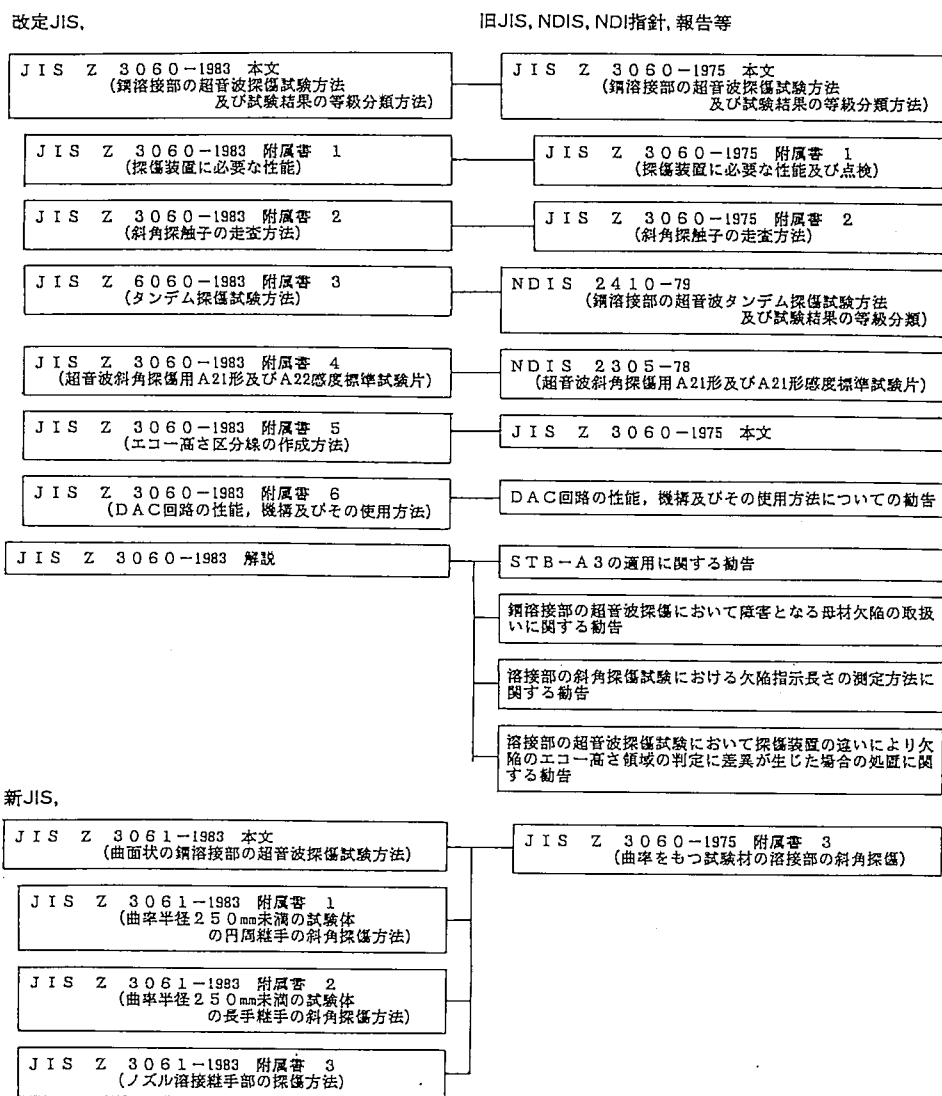
(2) NDIS (当協会規格)

STB—A2は探傷感度調整用 $\phi 4\text{mm} \times 4\text{mm}$ 以外の標準穴もあるため、大型で、かつ、重量もある。このSTB—A2を細分化したSTB—A21、STB—A22は、NDIS 2305—78「超音波探傷用A21形及びA22形感度標準試験片」として、NDIS化されているので、附属書4として規定され、STB—A2の代りに使用できるようになった。(表1)

(3) 周波数の規定

周波数の許容範囲を新たに規定する必要性が認識されてきているが、現状では、周波数の定義そのものが整理

表 1 鋼溶接部の超音波探傷試験方法に関する新 JIS と旧 JIS, NDIS, 指針等との関係



されていないこと、また、測定方法の規定がないことから、厳密な規定は設けられない。しかし、無制限であることは問題が多いので、改正 JIS の附属書に、やや精神的ではあるが、「周波数は公称周波数のおよそ 90—110% の範囲内でなければならない」という規定が新しく追加されている。

4. 改正原案作成委員会で話題になった点

(1) 等級分類

等級分類の欠陥寸法区分は、鋼種や試験対象物によって異なり、一律に決めることはできない。一方、破壊様式によっても異なった欠陥寸法になるので、等級分類は削除して試験方法だけの規格にしてはどうか、という意

見が出されたが、JIS Z 3060 を呼んでいる他規格や規定も現存するので、すぐに削除することはできない。一方、対象物や破壊様式によって、それぞれ異なった等級分類を決めるのは不可能であるので、今回は改正されていない。しかし、将来、対象物ごとの合否基準が、各々の規格で明記されるようになれば、JIS Z 3060 から等級分類が削除されることもあり得るであろう。

(2) 検出レベル

現在の検出レベルでは、欠陥の見落としがあるとのデータもあり、検出レベルを低くするとの意見もあったが、検出レベルの高さ及び見落とす欠陥寸法に定量的な結論が得られていないため、今回は改正せず、十分なデータの蓄積と解析を待って、必要があれば次回以降に改正する

ことになった。

(3) 探触子の基準線

探触子に幅方向の中心を示す線を入れる規定を新たに設ける希望が多かったが、従来から使用している探触子には、その線が入っていないものが多く、規定を設けると、それらの探触子が使用できなくなる弊害もあるので、解説に記述することで留められている。

(4) 感度調整用試験片

感度調整用としてのSTB-A2とRB-4は、実質的感度が異なるから、試験対象物によって使い分けるようにすべきであるとの意見があったが、あらゆる対象物を2分して列挙することは不可能であり、今回は改正を行わないことにした。

5. 新 JIS の内容

新しい JIS Z 3061—1983は、曲面状の鋼溶接部を超音波探傷する場合の規格である。一般に、曲面状の試験対象物を探傷する場合に大切なことは、探触子の面が線接触になることによる感度低下の補正と、長手継手の探傷では超音波ビームが試験対象領域を十分カバーするように、肉厚対外径比によって適切な屈折角を選定することである。

(1) 感度補正の必要な範囲

旧 JIS Z 3060においては、曲率半径が250mm 以上の場合には平板とみなすことになっていたが、規格の制定以後における研究発表によって、曲率半径が250mm 以上でも平板とみなすことは、妥当でないことが判明した。当協会は探傷面の曲率半径が探傷感度に及ぼす影響を明らかにするため、種々の曲率半径の試験片（ドリル横穴つき）を製作し、4種類の探傷器を使用して、接触媒質を変えて実験を行い、その結果に基づいて、新 JIS の感度補正量を決定している。すなわち、円周継手の斜角探傷の場合、曲率半径が1000mm 未満の試験体、長手継手の斜角探傷の場合は、曲率半径が1500mm 未満の試験体では感度補正の必要のあることを示した。

(2) 感度補正量の線図

曲率半径が250mm 以上の場合には、感度補正量はあまり大きくなく、したがって、いちいち対比試験片を使用することは実際的でないという理由から、接触媒質に応じた補正量を線図で与えている。ただし、凹面からの探傷の場合には探触子の構造によっても影響されるため、RB-4および試験体を使用して、探傷感度補正量を求めることになった。

(3) 屈折角35度の使用

長手継手の探傷において、肉厚対外径比が5.8%を越え13%以下の場合には、35度の屈折角も使用する必要があり、新 JIS で採用されている。

(4) RB-A8の新しい規定

JIS Z 3060との適合性をよくするために、横穴形の対比試験片が新たに規定されている。

(5) ノズル継手部の探傷

ノズル継手部の探傷方法が、附属書に規定されている。

(6) その他

鋼管分岐継手の探傷については、海洋構造物で多用されているため、附属書の原案が作成されたが、探傷感度、欠陥指示長さの測定及び等級分類についての見解が一致せず、時期尚早として今回の新 JIS には含まれないことになった。しかし、次回の改正には含められるように検討が必要である。

6. 検討をしておく必要のある項目

JIS は、5年以内に見直しをすることになっている。以下に示す項目については、次の改正までに検討しておく必要がある。このなかには「欠陥の検出レベルの是非」、「欠陥等級の必要性」のように、結論が得られるには相当の時間がかかる項目と比較的簡単に結論が得られる項目とがある。

6.1 探傷装置と STB

6.1.1 探傷器と STB

- (1) 周波数（定義及び測定方法）
- (2) 点検間隔（測定範囲）
- (3) 探触子（薄板用、極厚板用の大きさ・形状）
- (4) 探触子の屈折角（角度許容範囲、温度依存性）

6.1.2 STB

- (1) STB-A2とRB-4（使い分け方）
- (2) 性能測定用試験片（ビーム中心軸の偏り）

6.2 探傷試験方法

6.2.1 粗さと接触媒質

- (1) 粗さの単位（s, μm , μmRz ）
- (2) 粗さの測定方法

6.2.2 接触媒質

- (1) 接触媒質（垂直探傷）
- (2) 接触媒質の性能（音響インピーダンス、安定性）

6.2.3 探傷方法

- (1) 薄板の探傷方法
- (2) エコー高さ区分線の作成

6.3 欠陥の評価

6.3.1 欠陥の検出レベルの適否

6.3.2 欠陥指示長さ

- (1) 「同一欠陥」、「同一と見なされる深さ」の判断基準
- (2) 欠陥端部の決め方（両側から探傷したとき）

6.3.3 欠陥等級

- (1) 欠陥等級の必要性
- (2) 欠陥等級と強度との関係

おわりに

今回の改定に当たっては多くの202小委員会勧告・指

表 2 202小委員会WGの活動成果

WG No	名 称	ク ル ー プ リ ー ダ	期 間	成 果
WG 1	自動探傷の規格化	磯野 英二	50. 9. 9 - 51. 7. 16	NDIS 2407-76 鋼溶接部の超音波自動探傷方法
WG 2	屈折角の温度依存性	福原 照明	50. 9. 9 - 51. 2. 1	論文；斜角探触子の屈折角の温度依存性 会誌27-2
WG 3	DACの実用化	寺田 邦男	50. 9. 9 - 52. 1. 27	DAC回路の性能、機構およびその使用方法 についての202小委員会勧告 会誌26-4
WG 4	STB-A3の検討	松井 一彦 加藤 功	50. 9. 9 - 54. 1. 27	「STB-A3の適用」に関する202小委 員会勧告、会誌26-3 「STB-A3の適用」に関する202小委 員会勧告の補足、会誌28-5
WG 5	アニュラプレートのUT	木村 勝美	50. 9. 9 - 51. 4. 2	NDIS 2406-76 屋外縦円筒形タン ク側板と底板との隅肉溶接止端 部き裂の超音波探傷試験方法
WG 6	コーナーエコー現象の検討	守井 隆史	50. 9. 9 - 51. 11. 19	NDI資料2610 斜角探傷におけるコー ナーエコーの問題について
WG 7	ステンレス溶接部のUT	木村 勝美 米山 弘志	51. 1. 26 - 59. 5. 18	論文；オーステナイト系ステンレス鋼溶接部 の超音波探傷、会誌29-4 NDI資料21024 オーステナイト系ス テンレス鋼溶接部の超音波探傷試験方法に関 する勧告
WG 8	タンデム探傷法の検討	宇田川建志	51. 3. 4 - 52. 1. 28	NDIS 2410-79 鋼溶接部の超音波 タンデム探傷試験方法及び 試験結果の等級分類方法
WG 9	パイプ溶接部のUT	加藤 功	51. 3. 4 - 54. 5. 18	NDI資料2743 曲率をもつ試験材の溶 接部探傷について
WG10	溶接部の垂直探傷	竹谷 護	51. 3. 4 - 休止	
WG11	欠陥高さの測定方法	藤盛 紀明 小倉 幸夫	51. 5. 4 - 52. 3. 25	論文；超音波探傷による欠陥高さの測定につ いて、会誌26-5
WG12	欠陥指示長さの測定方法	松井 一彦	51. 11. 8 - 52. 7. 28	溶接部の斜角探傷試験における欠陥指示長さ の測定方法に関する202小委員会勧告 会誌26-11
WG13	溶接部探傷における母材欠 陥エコーの処置	伊庭 敬二	52. 5. 12 - 53. 5. 13	鋼溶接部の超音波において探傷の障害となる 母材欠陥の取扱いに関する202小委員会勧 告、会誌28-1
WG14	欠陥エコーの判別方法	小倉 幸夫	53. 3. 9 - 55. 1. 25	NDI資料2778~2785 超音波斜角 探傷試験における溶接欠陥 種類の判別方法について他
WG15	周波数の測定方法	神保 純一	53. 5. 26 - 55. 11. 28	NDI資料2773 試験周波数測定法に関 する202小委員会WG15中間報告 NDI資料2827 超音波探傷における試 験周波数測定の実験的検討
WG16	エコー高さ領域に差異が生 じた場合	岸上 守孝	53. 6. 23 - 54. 1. 27	溶接部の超音波探傷試験において探傷装置の 違いにより欠陥エコー高さ領域の判定に差異 が生じた場合の処置に関する202小委員会 勧告、会誌28-4
WG17	裏当て金つきT継手のたれ 込みエコーの判別方法	寺田 邦男	54. 4. 24 - 56. 9. 4	裏当て金付完全溶込T継手のルート部からの エコーは判別方法に関する指針 会誌31-7
WG18	集束探触子の性能測定方法 と使用方法	福原 照明	55. 2. 15 - 56. 9. 4	集束斜角探触子の性能測定方法と使用方法に 関する指針、会誌30-1 鋼溶接部探傷用二振動子探触子の初期性能測 定方法と使用方法に関する指針 会誌31-10
PVT WG	圧力容器溶接部のUT	清友 滋弘	56. 2. 25 - 57. 12. 7	PVT-WG報告 202小委員会資料741, 742
SUT WG	鉄骨UT実施マニュアル	倉持 貢	56. 2. 25 - 58. 12. 9	鉄骨溶接部の超音波探傷試験実施マニュアル
TIP WG	端部エコー法の検討	小倉 幸夫	57. 9. 22 - 59. 5. 18	NDI資料21019 鋼溶接部の端部エ コー法による欠陥高さ測定法に関する指針

針および当協会規格が採用されている。また次回の改定
のとき、検討すべきたたき台として、一部ですでに検討
を終えている指針、協会規格等が多数出されていること
が望ましい。すなわち、202小委員会にとって、現在検討
を進めている技術を、今後いかに標準化していくかが大
きなテーマである。202小委員会で検討した技術は表 2
に示したように、すでに標準化されたもの、あるいは標
準化されつつあるものが多いが、時期尚早あるいはまだ
合意が得られていない技術もある。

一方、現在、工業規格はインターナショナルに共通で
あるように、新規作成および改正のときには、ISO が提
案している技術に整合するように考慮されている。

したがって、すでに国外で標準化されているか、ある
いは標準化案の検討が行なわれている技術に対して、日
本でも標準化の動きが必要であり、整合性を検討でき
るだけのポテンシャルを向上させておくことも必要であ

る。さらに、諸外国に先がけて日本が ISO に提案できる
ポテンシャルを持ちたい。

202小委員会としては、検討を終えた技術を指針とい
う形で公表することによって、技術の進歩に拍車をかけ
ることを意図した指針もあるが、一部で合意が得られな
いために公表できない場合もある。

過去に202小委員会の検討結果は勧告という形で発表
してきたが、「勧告」では受ける印象が厳しすぎるという
ことで、「指針」という名称が現在使われている。しかし、
いずれにしても、まだ、協会規格でもないし、ましてや
日本工業規格でもない。たんなるガイドラインであり、
標準化のための素案であるので、あまり神経質になりす
ぎないようにするべきである。

できるだけ多くの標準化の種を作っておくことが必要
であると考えるので、今後も202小委員会は標準化の種
作りを進めていきたい。

傾斜した欠陥による漏洩磁束

金属材料技術研究所

植竹 一蔵, 伊藤 秀之

概要

鋼材表面から内部へ斜めに進展する欠陥による漏洩磁束の変化を調べた。傾斜した欠陥と漏洩磁束の関係は次のようになることがわかった。

- 1) 欠陥進展方向の長さを一定とした欠陥による漏洩磁束は、角度の増加とともに大きくなる。
- 2) 材表面から欠陥先端までの距離を一定とした欠陥による漏洩磁束は、角度の増加とともに小さくなる。
- 3) 垂直成分波形の正負ピーク比は、欠陥進展方向の長さ、欠陥先端までの距離及び傾斜角度により変化する。

1. まえがき

鋼材の製造過程で生じる表面欠陥、特に圧延過程では、表面から内部へ斜めに進展しているものが非常に多い。このように、傾斜した欠陥の寸法を漏洩磁束探傷により、精度よく測定するためには、これらの欠陥の傾きと漏洩磁束との関係を調べ、その特性を知る必要がある。欠陥の傾きと漏洩磁束の関係については、これまでに白岩、広島¹⁾によって報告されているが詳細については明らかでない。そこで傾斜した人工欠陥による漏洩磁束の特性を明らかにし、欠陥の傾斜角度と漏洩磁束の関係について検討したので報告する。

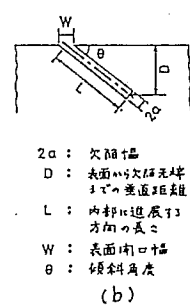
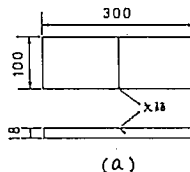
2. 試験片及び測定法

試験片にはSM50B鋼を用い、図1(a)にその形状寸法を示す。また人工欠陥の形状及び各部の名称を図1(b)に示し、欠陥寸法を表1に示す。試験片H1~H7はDが一定でθを変化させ、J1~J7はLが一定でθを変化させたものである。

測定のプロック図を図2に示す。磁気センサには2×1×0.2(厚)のホール素子を用い、欠陥漏洩磁束の垂直成分を測定した。

励磁電流DC 1(A)で測定した垂直成分波形を図3に示す。欠陥の傾斜角度の変化とともに波形が変わる様子が示される。

欠陥位置は磁極の中心位置。



- 2a: 欠陥寸法
- D: 表面から欠陥先端までの垂直距離
- L: 内部に進展した方向の長さ
- W: 表面開口幅
- θ: 傾斜角度

表1. 欠陥寸法

TRNo.	θ deg.	D mm	L mm	2a mm	W mm
H 1	9.0	3.12	19.96	0.41	1.92
H 2	17.4	3.08	10.28	0.41	1.04
H 3	28.7	3.03	6.30	0.41	0.68
H 5	38.0	3.04	4.94	0.45	0.49
H 7	64.8	3.03	3.35	0.42	0.40
J 1	11.2	0.63	3.25	0.32	1.84
J 2	19.2	1.15	3.49	0.34	0.94
J 3	27.5	1.53	3.31	0.29	0.70
J 5	46.3	2.27	3.14	0.37	0.46
J 7	66.2	2.79	3.05	0.33	0.34
HJ9	90.0	3.00	3.00	0.33	0.33

図1. 試験片及び欠陥各部の名称

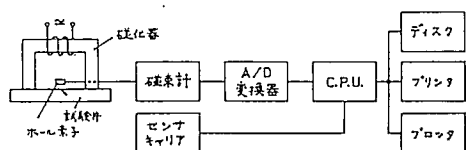
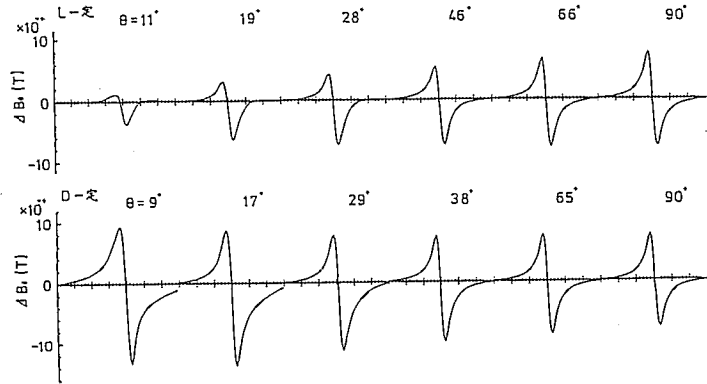


図2. 測定ブロック図

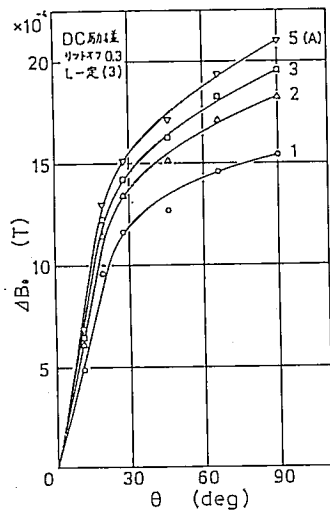
図3. 欠陥の傾斜角度と欠陥漏洩磁束の垂直成分波形



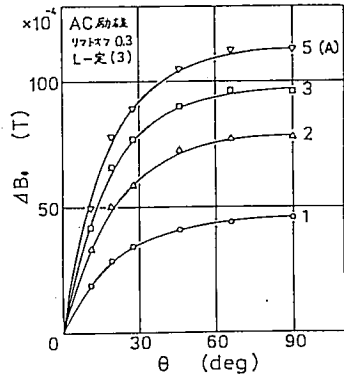
3. 測定結果及び考察

3.1 欠陥の傾斜角度と漏洩磁束

図4(a)~(d)は、欠陥の傾斜角度 θ と欠陥漏洩磁束 ΔB_θ の関係を示す。図4(a),(b)はLが一定の欠陥についての結果で、それぞれDC及びAC励磁の場合を示す。 ΔB_θ は θ の増加とともに増加し、 $\theta=90^\circ$ がピークとなる。図4(c),(d)はDが一定な欠陥の場合を示す。この場合の ΔB_θ は θ の増加とともに減少する。 θ が $0^\circ \sim 40^\circ$ あたりまでの ΔB_θ は急激に減少するが、 $\theta > 40^\circ$ での減少傾向は緩慢となる。また $\theta < 20^\circ$ では ΔB_θ のピークを示す θ が存在する。DC励磁では電流値が小さくなるに従って、またAC励磁では電流値が大きくなるに従って、 ΔB_θ のピークが明瞭となる。

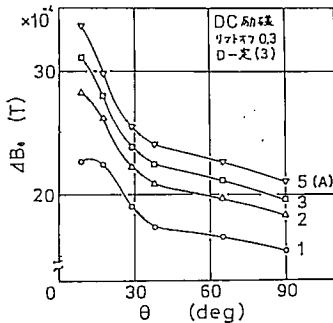


(a)

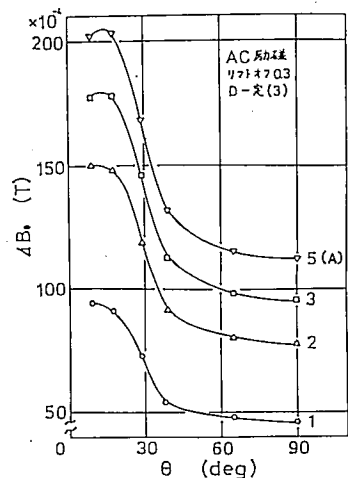


(b)

図4. 欠陥の傾斜角度 θ と欠陥漏洩磁束 ΔB_θ



(c)



(d)

図5(a),(b)は $\theta = 90^\circ$ における $\Delta B_\theta (= \Delta B_{90})$ を用いて、上記の結果を規準化し、 θ との関係で示したものである($\Delta B_n = \Delta B_\theta / \Delta B_{90}$)。図5(a)はL一定の場合であり、図中の実線はDC励磁、破線はAC励磁の場合を示す。 θ の増加に伴う ΔB_n の増加傾向は、DCよりもACの方が大きい。図5(b)はDを一定とした場合の θ と ΔB_n の関係であり、 ΔB_n は θ の増加とともに減少する。その減少割合はDCよりもACの方が大きく、いずれも $\theta \approx 40^\circ$ を境にして減少傾向が異なる。またDCでは $\theta < 20^\circ$ で、ACでは $\theta < 30^\circ$ で電流値ごとに ΔB_n の変化が異なる。

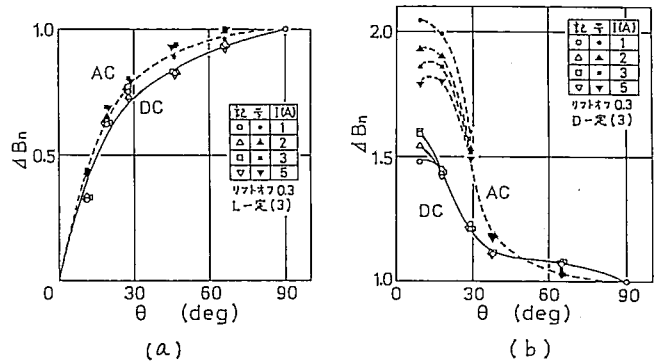


図5. 欠陥の傾斜角度と漏洩磁束

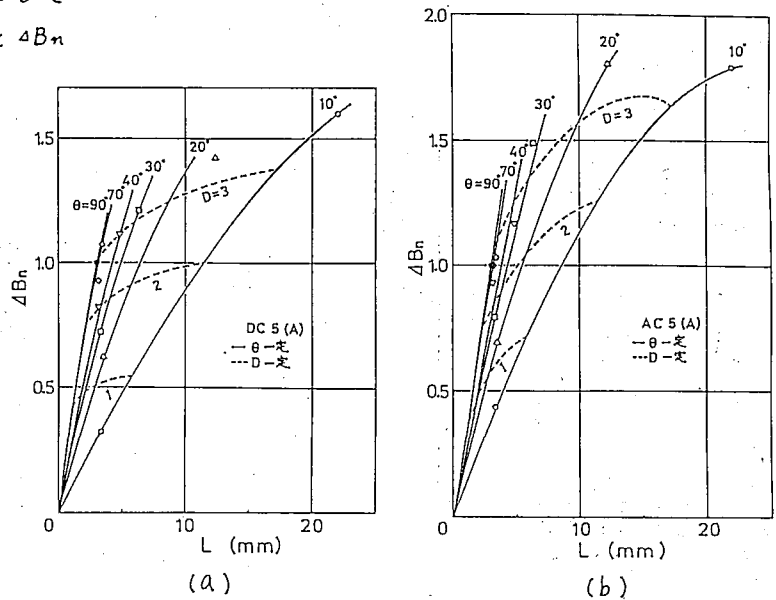


図6. 欠陥進展方向の長さ と漏洩磁束

図6(a),(b)は欠陥進展方向の長さLと ΔB_n の関係を示し、それぞれDC及びAC励磁の場合である。

ΔB_n の値は、 $\theta = 90^\circ$ ($L = 3$)を基準値(1)としている。 θ が一定でLのみが変化した場合の ΔB_n は、Lの増加とともに大きくなる。これは、また ΔB_n がDの増加に比例することをも示している。またこれらの曲線の勾配は θ が大であるほど大きく、Lの変化に対する ΔB_n の変化量は欠陥の傾斜角度が垂直に近くなるほど大となる。

3.2 欠陥漏洩磁束波形の正負ピーク比

図7(a),(b)は欠陥漏洩磁束波形の正負ピーク比 R_p と θ との関係で、それぞれDCとAC励磁の場合を示す。図7(a)の実線はL一定(3mm)、破線はD一定(3mm)の欠陥の場合である。 R_p は θ の増加とともに減少するが、D一定の欠陥においては、 $\theta \approx 20^\circ$ で R_p のピークを示す。 θ による R_p の値は、 $\theta < 60^\circ$ においてD一定の欠陥よりもL一定の欠陥の方が大きい。図7(b)はAC励磁の場合の R_p を示し、DC

励磁の場合と殆んど同様な傾向を示すが、D一定の欠陥に示された R_p のピークはここでは示されない。

図8(a),(b)はピーク比 R_p と ΔB_n との関係を示す。Lを一定とした欠陥による ΔB_n は、 θ の減少とともに小さくなり、ピーク比 R_p が増大する。Dを一定とすると、 ΔB_n は θ の減少とともに増加し、 R_p も大となる。また θ を一定とすると、LまたはDの増加とともに ΔB_n は増え、 R_p が減少する。

4. まとめ

傾斜した欠陥と漏洩磁束の関係調べた結果、次のことが明らかとなった。

1) 欠陥の傾斜角度

θ と漏洩磁束 ΔB_θ との関係は、欠陥進展方向の長さL

を一定とした場合、 θ の増加とともに ΔB_θ が大きくなる。また欠陥先端までの垂直距離Dを一定とした場合の ΔB_θ は、 θ の増加とともに小さくなる。

2) θ が一定の欠陥による ΔB_θ は、DまたはLが大きいほど大である。

3) ΔB_θ の正負ピーク比 R_p は、 θ が小であるほど大である。またD一定の欠陥よりもL一定の欠陥における R_p の方が大きい。

今後、さらにリフトオフ等を変えて測定し、傾斜した欠陥の形状寸法を推定する方法について検討して行く予定である。

5. 参考文献

- 1) 白岩, 広島; 非破壊検査, Vol. 21, No. 3 (1972), 166~176
- 2) W. Lord and J.H. Hwang; Brit. J. NDT, Vol. 19, No. 1 (1977), 14~18

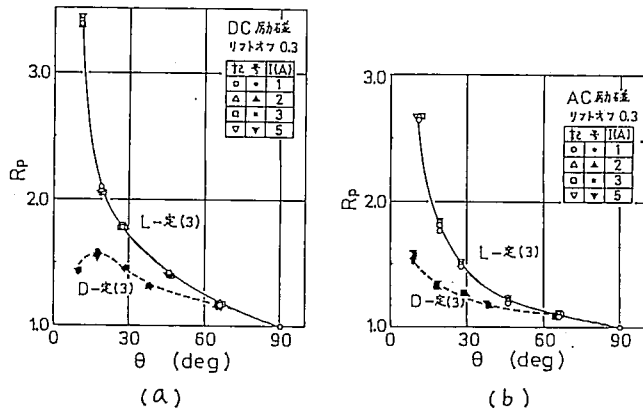


図7. 欠陥の傾斜角度とピーク比

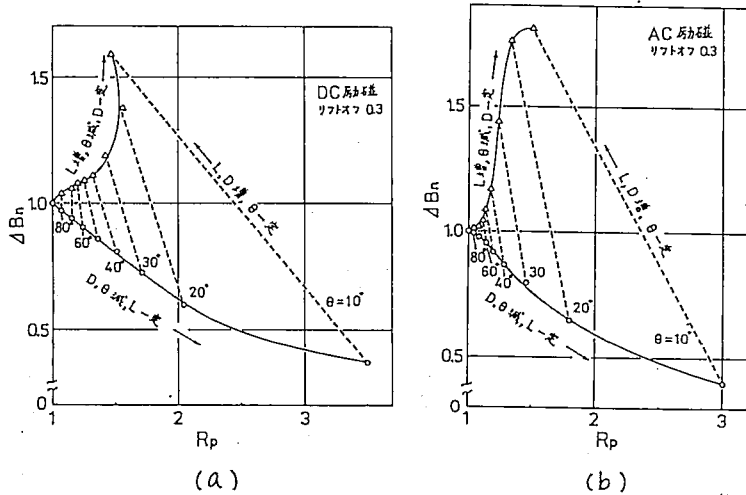


図8. ピーク比と漏洩磁束

粉体処理による染色浸透探傷試験

中国エックス線 部

○遠藤 智明，藤原 茂

石見 茂 ，金原 了二

稲垣 俊三，山根 一治

概 要

溶剤除去性染色浸透探傷試験における余剰浸透液の除去方法について基本的な検討を行った。その結果，浸透液塗布後表面に粉体を散布し粉体に余剰浸透液を吸収させブラシ等により除去する方法が，溶剤を濡めらせた布により除去する通常の方法と比べても指示模様の観察に十分なバックグラウンドが得られること，過洗浄がなく欠陥検出能を損わないことが確認された。

1 まえがき

浸透探傷試験は非破壊検査法の中でも最も広汎に利用されているが，マニュアル作業が多く試験技術者の個人的技量に影響されやすい方法である。そのため自動化についても原子力分野等において研究されているが，作業内容の特殊性，自動化の利点等の問題から十分な成果が得られていないのが現状である。

以上をふまえ，弊社では浸透探傷試験の合理化を目的とし，次の基本的考え方にたって研究を行ってきた。

- (1) 探傷法は現状の溶剤除去性染色浸透探傷試験法に限定する。
- (2) 半自動化とする。（前処理，浸透処理，観察は除外）

その結果，現在第1段階として次の成果を得た。

- (1) 粉体利用による余剰浸透液除去方法の開発
- (2) 平板突合せ溶接（下向）部に対する半自動探傷装置の試作

溶剤除去性染色浸透探傷試験では，余剰浸透液の除去がその処理工程の中でも人為的要因を受けやすく欠陥検出能への影響の大きいプロセスである。またふき取りによる除去では布による1回の処理量に限界があり，度々布等を交換する必要があるため自動化が困難である。

これに対して粉体による余剰浸透液の除去では次のような利点がある。

- (1) 余剰浸透液の除去が安定して行える。
- (2) 複雑な形状物（余盛の凹凸，ボルト等）に効果が大きい。
- (3) 粉体の供給，除去が容易であるため自動化に有利である。

ここではこの粉体利用による方法の基本的な性能確認実験，及び半自動装置の試作機についてその概要を報告する。

2 粉体利用による余剰浸透液除去法の概念

現在，余剰浸透液の除去については布，スポンジ等により行われているが，本方法はそれらを粉体に置換したものである。いずれにしても吸着・吸収を利用したものであり基本原理に差は無い。

除去手順を図1に示す。

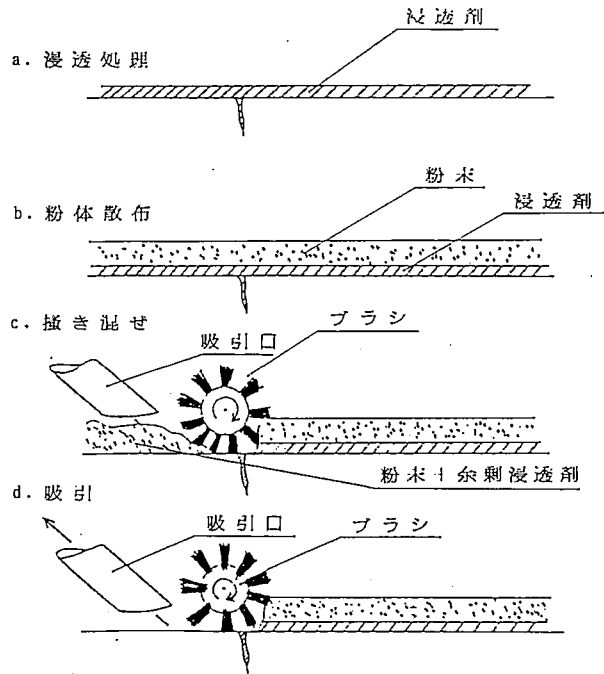
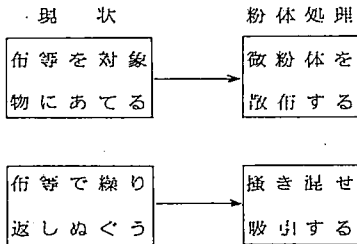


図1 粉体による除去手順。

3 確認実験

余剰浸透液の除去法として、粉体による方法と布による通常の方法との比較実験を行い、基本的な検出能力等を確認した。

3.1 実験条件

(1) 溶剤除去性染色浸透探傷剤：RED-MARK

(2) 粉体

① 有機物質系粉体

② 無機物質系粉体

(3) 試験片

① アルミニウム焼割れ試験片

JIS-A型対比試験片

② メッキ割れ試験片

	B型対比試験片 TP-30型	COARSE CRACK PANEL
深さ(D)	29.3 μ	49.0 μ
幅(W)	1 ~ 2 μ	2 μ MAX

③ アルミニウム溶接試験片 (溶接のまま)

④ 鋼溶接試験片 (溶接のまま)

⑤ 鋼溶接試験片 (グラインダー仕上げ)

(4) 超音波洗浄器：ソリッドステート200型

(5) 粉体除去ブラシ

(6) 前処理

- ① 溶剤洗浄 (トリクレン / 溶剤洗浄剤)
- ② 超音波洗浄 (水溶性洗剤 / トリクレン) 15分

(7) 前処理後乾燥 5分 (温風ドライヤー)

(8) 浸透処理 スプレー / はけ塗り
浸透時間: 10分, 温度: 15 ~ 25℃

(9) 余剰浸透液除去処理

- ① 通常処理 布による洗浄剤除去
- ② 粉体処理 粉体を適用し, 所定の保持時間後ブラシにて機械的除去

(10) 現像処理 スプレー式速乾式現像剤, 現像時間: 7 ~ 15分

(11) 指示線級の記録 現像後写真撮影

3.2 実験検討項目及び結果

粉体の浸透液除去能力, 及び試験結果に影響を与える因子として考慮すべきものに以下のものがある。

(1) 粉体の種類による吸収能力

各粉体を用い, 試験表面での粉体保持時間を30秒, 2分, 5分, 10分と変えて試験表面の余剰浸透液の吸収程度を調べた。尚, 粉体の量は, 表面の浸透液の赤色が保持時間中見えない程度の量とした。

- ① 粉体の保持時間の差は大きく出なかった。このことは, ほとんどの余剰浸透液が適用同時に吸収され, 粉体が表面に密着しなかった部分, あるいは浸透液による粉体の濡れが大きく (飽和状態) 余剰浸透液を完全に吸収していない部分は, ブラシによる除去作業時に再度表面の粉体が攪拌され, 未吸収の粉体により吸収されるものと考えられる。

- ② 粉体の種類により濡れ・吸収状況は幾分差があり, 無機物質系粉体は有機物質系粉体より吸収が悪い。これは, 粉体表面での濡れ現象でのみ余剰浸透液を除去しており, 粉体内部に吸収していないことの差によるものと考えられる。

(2) 欠陥に浸透した浸透液の吸出し度

粉体の種類による過洗浄の有無を調べるために, 試験体表面上での粉体の保持時間を30秒, 2分, 5分, 10

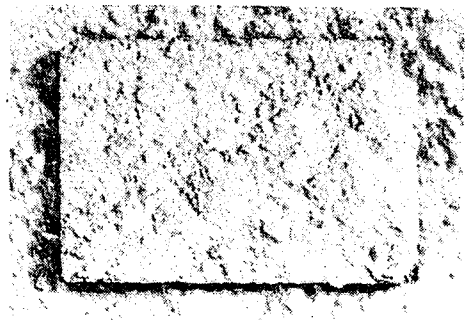


写真1 粉体適用後

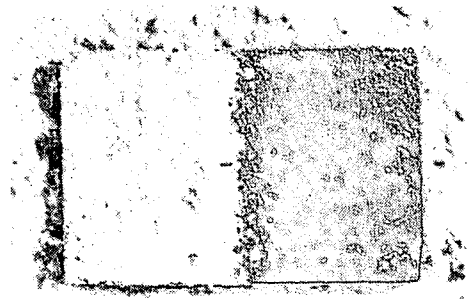


写真2 粉体一部除去

分と変え、また適用回数を1回、2回と変えて指示模様の現われ方の変化を観察し、粉体の保持時間/適用回数の影響を調べた。

欠陥指示模様の観察の結果、粒径10 μ 程度以上の粉体では、微細欠陥の試験片の場合は保持時間の差、適用回数の差による影響は比較的少なかった。

一般に過洗浄による指示模様の形成の低下は少なく、布によるものと同等であった。(写真3, 4 参照)

(3) バックグラウンドの形成度

粉体除去の場合の余剰浸透液の残留が、現像時のバックグラウンドの形成に与える影響の有無を調べた。また、現像時間の違いによる指示模様と形成バックグラウンドとのコントラストの状況を観察した。

粉体の場合、布の場合と比較して全体にバックグラウンドの染色がややみられたが、指示模様の観察には支障の無いバックグラウンドが形成された。またこの程度の染色度では現像時間の違いによるコントラストの低下も特にみられなかった。

染色の程度は、粉体の種類の違いよりも試験体の材質あるいは試験体の表面状態の影響が大きく、滑らかな表面ほど染色度は少なかった。また、浸透液適用後の試験面の余剰浸透液の状態が大きく影響し、排液が行われた表面でやや凝固した(乾いた)状態のものは染色度が大きかった。

- ① アルミニウムと鋼では、母材部、溶接部ともアルミニウムの方が概して滑らかであり、除去性が良くバックグラウンドの染色の度が少ない。
- ② 表面の滑らかなアルミニウム面、メッキ面、グラインダー仕上げ面等は除去しやすく、バックグラウンドの染色の度が少ない。
- ③ 鋼溶接試験片では、圧延状態のままの母材部は布に比べ染色度が大きい、溶接ビード上では比較的少ない。

溶接ビードのような複雑な面では、布による方法は過洗浄になりやすいが、粉体の場合はその影響が少ない。(写真5, 6 参照)

(4) 浸透液吸取粉体の除去性

余剰浸透液を吸取した粉体の除去を行うには、ブラシによる搅拌後払い落とし、吸い取り、空気による吹飛ばし等の方法がある。本実験ではこのブラシの硬度、ブラシの汚染等の除去能力に与える影響を調べた。

粉体の濡れ、吸取度により除去性はやや異なる。一般に粒子の細かいものほど試験表面に張りついたような状態となり、ブラシの硬度がやや高いものの方が除去しやすい。ブラシの浸透液による汚染度は、粒子の細かい粉体ほど大きく、また有機物質系粉体よりも無機物質系粉体の方が大きい。ブラシの汚染は試験面の再染色の原因となるので好ましくないが、粉体の適用量を比較的多くすると特にその影響はみられなかった。

4 平板溶接部用半自動液体浸透探傷装置

粉体による余剰浸透液の除去法を用いた半自動探傷装置を試作した。

本装置では、試験手順のうち自動化することにより安定した試験となり、かつ装置駆動時同時に行いうるプロセスである余剰浸透液の除去及び現像に限定した。

装置の基本構成は粉体散布部、回転ブラシによる掻き混ぜ部、吸引部、現像剤スプレー部等を組み込んだ走行部と、拭き取りのクリーナ・コンプレッサボックス部より成っている。

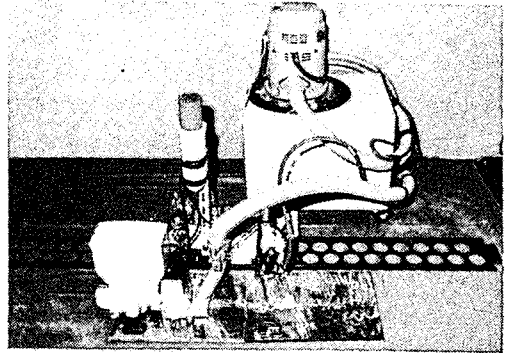


写真7 半自動探傷装置の外観

鋼溶接浸透探傷試験片（榮進化学製）

を用いてテストした結果、布による通常のふき取り法と変わらない検出能が得られた。

粉体を利用しているためフラックス粉末を用いるサブマージーク溶接に対する場合と同様の制限を受けることが多いが、試作機を基に装置の小型軽量化を計り、すみ肉溶接部あるいは立向、上向の試験体に対しても適用可能な携帯型除去装置についても検討していくこととしている。

試作機の主な仕様

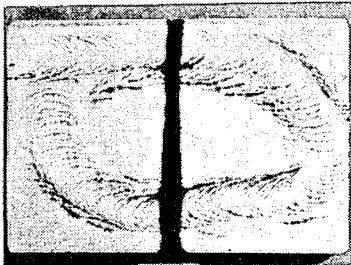
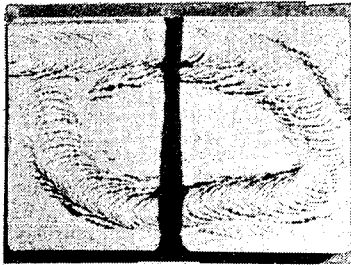
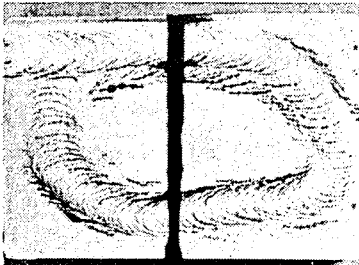
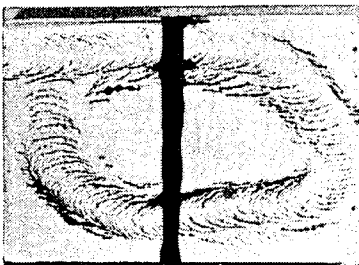
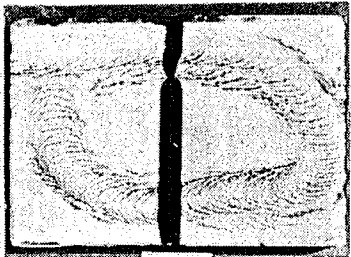
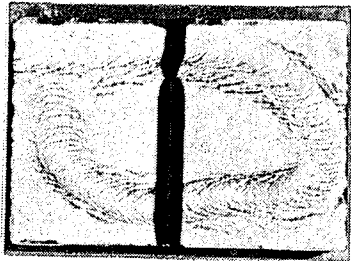
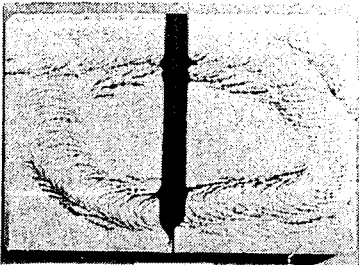
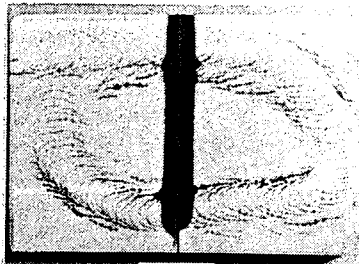
- | | |
|-------------|--|
| (1) 探傷法 | : 粉体処理液体浸透探傷試験方法 |
| (2) 粉体 | : 有機物質系粉体 |
| (3) 駆動 | : 溶接線方向；台車／レール方式（速度1m/min実験時）
粉体供給，ブラシ回転；DCモータ可変速 |
| (4) 現像剤吹き付け | : エアスプレー方式 |
| (5) 粉体除去 | : ブラシ回転／吸引方式 |

5 結言

浸透探傷試験法の処理過程の中で最も人為的要因を受けやすく、欠陥検出能に影響の大きい余剰浸透液の除去過程において、粉体処理による方法が有効であることが明らかとなった。この方法は余盛付溶接部、ボルトネジ部等の複雑な形状の試験体に対しても余剰浸透液の除去が比較的容易である。また粉体の供給・除去等の処理工程が簡単であるため、従来余剰浸透液の除去過程が問題であった溶剤除去染色浸透探傷試験法の自動化が可能となる。粉体処理法を用いた半自動探傷装置を試作し鋼溶接試験片を用いてテストしたところ欠陥検出能及び検査能率は良好であった。

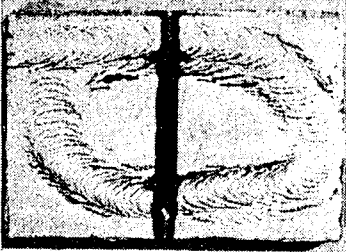
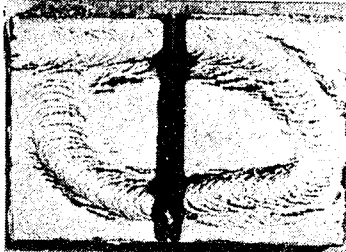
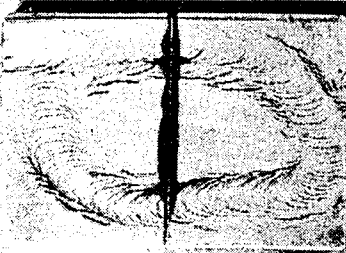
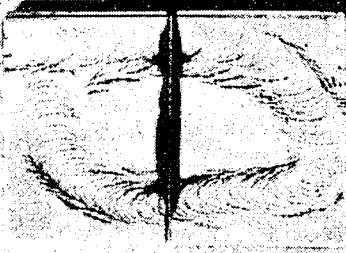


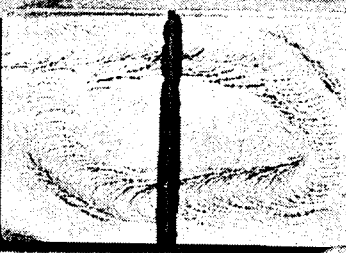
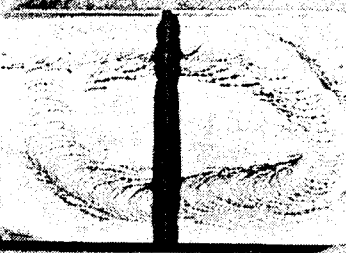
今後の課題として次に示す事項がある。

- (1) 粉体による吸引メカニズムの解明
- (2) 最適粉体の選定と製作コストの低減及び再利用法の検討
- (3) 携帯型除去装置の開発

	現像時間： 7 分	現像時間： 15 分
布 ふき取回数 2 回		
スポンジ ふき取回数 2 回		
無機物質 系粉体 A 保持時間 10 分		
有機物質 系粉体 A 保持時間 5 分		

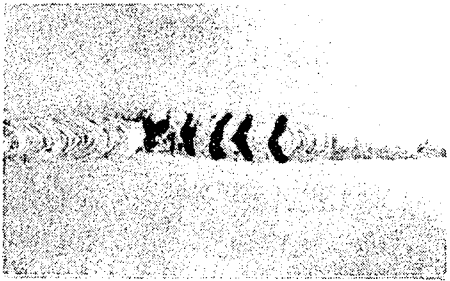
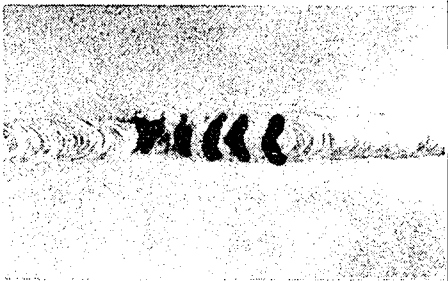
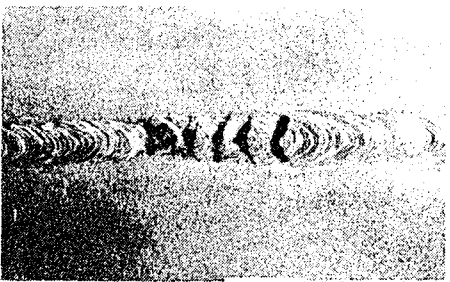
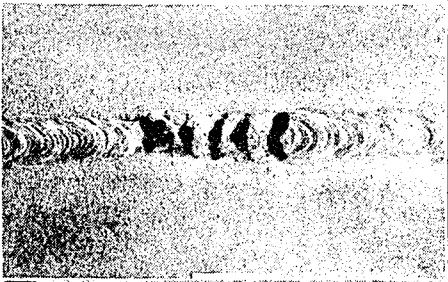
浸透時間： 10 分

写真 3 アルミニウム焼割れ試験片指示模様 1

	現像時間： 7 分	現像時間： 15 分
有機物質 系粉体 B 保持時間 10 分		
有機物質 系粉体 B 保持時間 10分/10分		
有機物質 系粉体 C 保持時間 10 分		
有機物質 系粉体 C 保持時間 10分/10分		

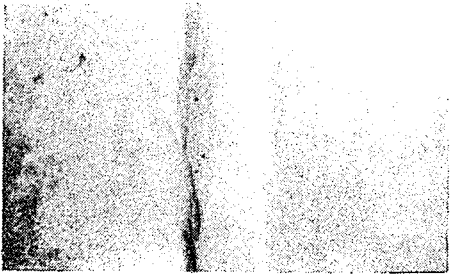
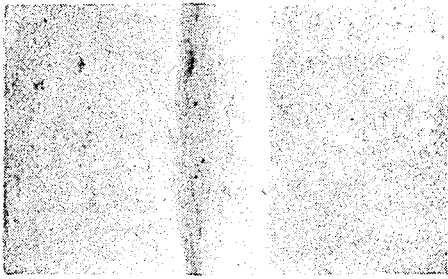
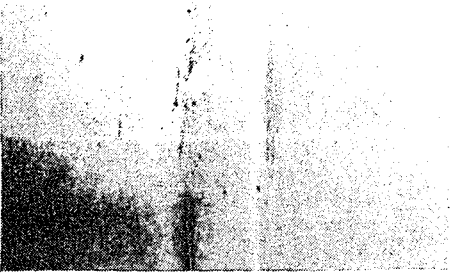
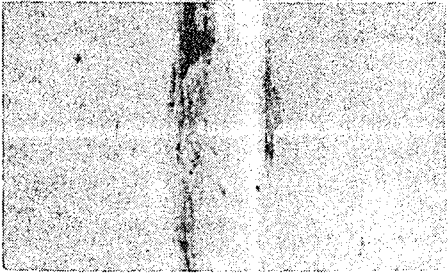
浸透時間： 10 分

写真 4 アルミニウム焼割れ試験片指示模様 II

	現像時間： 3 分	現像時間： 7 分
布 (通常法)		
有機物質 系粉体 B 保持時間 30 秒		

浸透時間： 5 分

写真 5 鋼溶接試験片（溶接のまま）指示模様

	現像時間： 7 分	現像時間： 15 分
布 (通常法)		
有機物質 系粉体 B 保持時間 30 秒		

浸透時間： 10 分

写真 6 鋼溶接試験片（グラインダー仕上げ）指示模様

応力塗料膜を使用したひずみ測定例

4655

千葉県機械金属試験場 ○ 亀田 進也, 林 彰

概 要

すでに周知のとおり応力塗料膜法の原理は、試験物体の表面に非常に脆い塗料膜を作成し、その試験物体の表面ひずみ（応力）の大きな領域にある塗料膜に、き裂を生じさせるという簡単な現象にもとづいております。そのためこの塗料膜の最大の特色は、高応力部分から主応力方向に垂直に順次き裂が発生する点により、目視にて試験物体の危険な場所・高応力領域や主応力方向を見いだせる点にある。さらに静的、動的試験による応力分布測定も可能であるため、この手法による応力の測定例を中心に報告する。

1. まえがき

応力塗料膜法は試験物体の表面ひずみの大きな場所の上にある塗料膜にき裂が発生し、危険な場所を見逃がすことなく全体の試験が行えるため、今回は試作した試験体を選定し、この応力塗料膜法を使用して静的、動的な試験を行った。そしてその結果が得られたので、測定例を中心に紹介をします。

2. 応力塗料膜を使用するための手順

2.1 乾燥条件の予備調査および塗料の選定

上塗り塗料膜を乾燥させる実験室などをあらかじめ2〜3日前より連続して約30時間以上、温度湿度を観測する必要がある。このようにして得られた結果を考慮して、試験条件に適合する塗料を選定する。

2.2 試験体の前処理

試験体の大きなあるいは測定場所が設定されると、塗料膜の厚さが均一になるように、またき裂模様の観測や記録が容易になるように試験体表面を10〜20μmの粗さに前処理をする必要がある。通常グラインダやサンドペーパーを用い、メサや塗装ペイントなども取り除き、母材に対して直接測定が行えるようにする。その後溶剤トリフロエチレンなどで充分に脱脂する。

2.3 下塗り塗料の塗装

この目的は上塗り塗料膜が均一に塗布しやすくなり、き裂観測する際に照明光が充分に反射することを目指す。そのためアルミ顔料を含む塗料を試験体

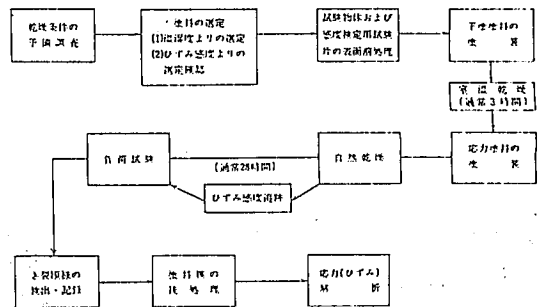


図1 試験手順

と検定用曲げ試験片にスプレーをして、 $0.02 \sim 0.03 \text{ mm}$ になるように重ね塗りを行う。
その後3~4時間または多くの試験室に放置する状態で自然乾燥を行う。

2.4 上塗り塗料の塗装

下塗り塗料の乾燥後に標準膜厚 $0.09 \sim 0.12 \text{ mm}$ の範囲になるように、塗面に垂直にノズルの口を向けて距離を約 $20 \sim 30 \text{ cm}$ に保ち、一定の速度でスプレーをする。このようにして1~2分間隔で7~8回重ね塗りを行う。

2.5 自然乾燥およびひずみ感度追跡

この塗料膜の乾燥時間と感度特性の資料を見ると、約24~25時間経過するころからひずみ感度が $1000 \mu \text{ strain}$ 前後になるため、検定用試験片を用いて経過時間ごとの感度追跡調査を行う。この結果をみながら目的のひずみ感度が得られるまで乾燥し、充分乾燥後に試験物体に負荷とする。

2.6 負荷手法

試験体にある負荷手法については、試験機による負荷でもあるいは更働による負荷でも、所定のひずみ量があればどちらでも問題にならない。

2.7 亀裂模様の記録

一般に多く用いられている方法としては、亀裂模様に対し斜光線とあてその反射光を写真撮影する方法である。しかし試験体の形状によれば斜光線とあてるともあつたは写真撮影が不可能な場合もある。このような時は、亀裂模様の上からトレーシングペーパーやマイラ紙などにトレスしたり、スケッチなどを行う場合もある。

2.8 部分的なひずみ測定および応力解析

亀裂模様から得られる結果以外に、重要な部分やひずみ量を精度高く測定する必要がある場合には、電気抵抗ひずみ計を併用することを望まれる。このようにして得られる結果は応力解析に非常に有益であり、また塗料膜による全体的な応力分布状態を把握しながらひずみ計の結果を参考とすれば、より正確な解析が可能である。

3. 静的測定の例

3.1 冷凍用バルブのひずみ測定

図2, 図3, 図4

工業用の大型冷凍冷蔵庫の各所に多く建設されるようになるに各種のバルブ類が多量に使用され、また冷凍冷蔵庫の効率を高めることから高圧になる傾向があります。そのための設計資料あるいは検査ということから、今回は冷間圧延鋼板(SPC45相当材)からプレスによって深絞り成形

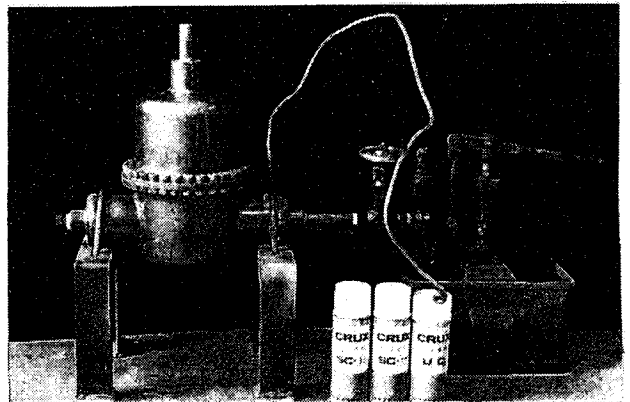


図2. 供試体および加圧装置

され、溶接、機械加工されたバルブを供試体を選んだ。このバルブの頭部ハンドル軸までの全高 ± 335 mm 、中間部外径 195 mm 、底部外径 153 mm であり、最高使用圧力

15 kg/cm²の使用条件である。

そのため図3に示すように手動式の水を利用した加圧器を用い、バルブ内部に所定の圧を加える負荷方法を採用した。加圧開始後3秒間に所定の85 kg/cm²の圧力に達するようとし、加圧後2~3分間そのまま保持し無負荷にもどしていった。

この結果のき裂模様を図3、図4に示す。図3は上部の溶接部近傍に軸方向の高応力部が見られ、図4のバルブ底部には円周方向の高応力部が観察された。この部分は圧力容器などの鏡板に相当する場所である。その他上部と下部との接合附近にバルブ長軸方向に約30mmの長さなき裂模様が観察された。これはプレスの際の深絞りによる母材肉厚の減少したものとと思われる。

(6)

3.2 クランク軸の曲げ試験

図5、図6、図7

クランク軸のような形状の複雑なものの強度評価を計算だけで行うことは困難であり、過去の資料や経験によるコヒが99%であった。今回は往復動ポンプ(3シリンダ)に用いられるシリンダ径52mm、ストローク48mm、回転数700rpmの使用条件で、全長480mm、ピン径60mmのクランク軸を供試体を選定した。この軸は素材クロムモリブデン鋼(SCM材)を鍛造加工し、摺動部分は窒化処理後に硬度HRC46に焼入れ焼戻しを施している。その後研削機により機械加工して仕上げたものである。

このクランク軸の実際の使用状態では、曲げ・ねじり荷重を受けるはがであるが、今回の試験では図5に示すように2つの異なる曲げ試験方法

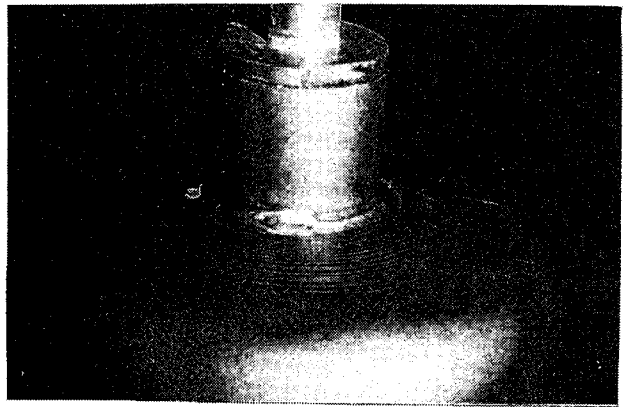


図3. バルブ上部のき裂模様

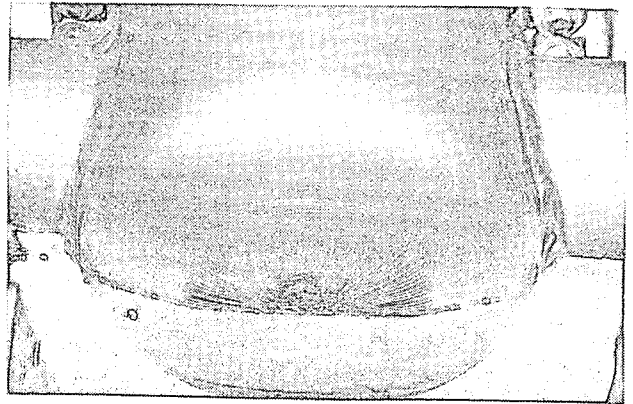


図4. バルブ底部のき裂模様

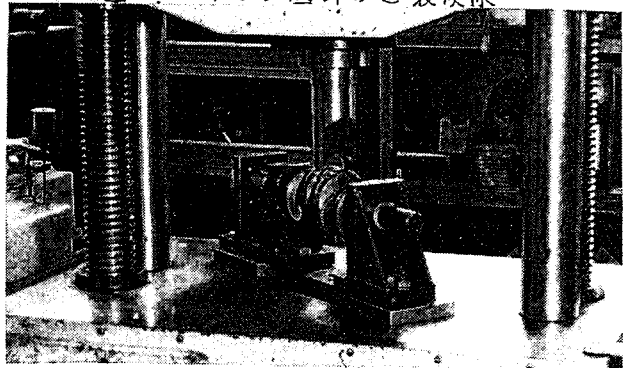


図5 曲げによる負荷装置

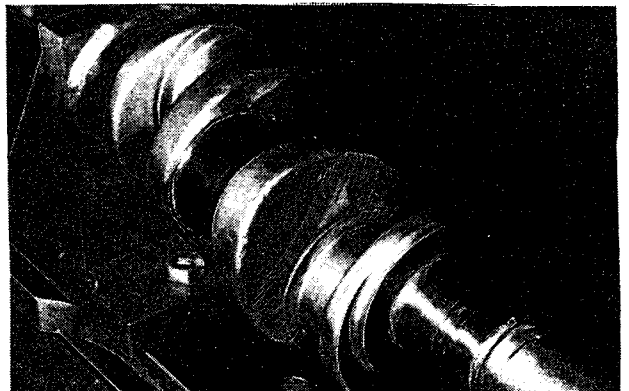


図6 圧縮側のき裂模様

と採用した。また引張り側の主裂模様は観測するたため、最高負荷時の状態を約15分間そのまま保持し、塗料膜のリラグゼーション(応力緩和)法を適用して試験を行なった。

その結果図6に示すようにクランクピン部からクランクアーム部にかけての接合角部の近傍に圧縮領域の主裂模様があり、主裂密度から考えて応力集中を起していると思われる。また図7は荷重点の直下に位置する所で、ピン部とアーム部には引張り領域の主裂模様が見られた。これらの結果から高応力領域部には潤滑油用の油けを加工などは避けるべきであり、またピン部とアーム部の接合角部の曲率半径を大きくすべきであることが確かめられた。

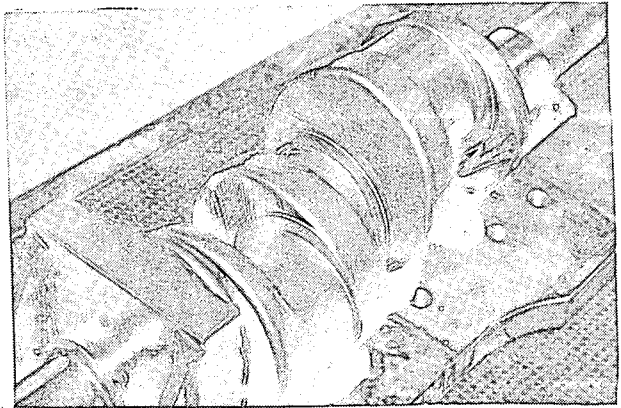


図7 引張り側の主裂模様

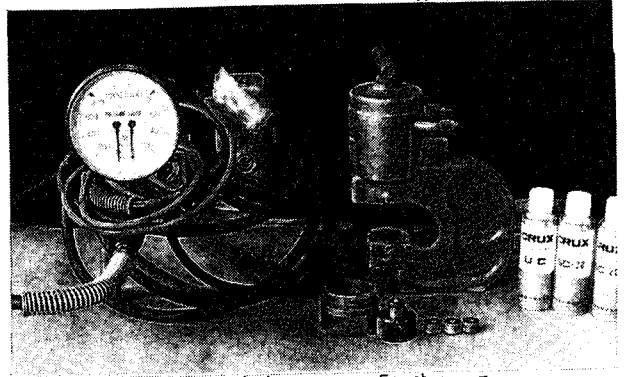


図8 供試体および実験装置

4. 動的測定の場合 図8, 図9, 図10

油圧ポンプのひずみ測定

この供試体である油圧ポンプの使用目的は、工場あるいは建築現場でボルトやリベット用の取付け作業に使われているポータブルタイプのプレスである。そのため軽量化(極限設計的な困難な面)が要求されると同時に、繰返し荷重による本機の寿命と取付け精度などに問題視される。

この油圧ポンプは炭素鋼鍛鋼(SF相当材)を鍛造加工し、ポンプやダイスを取り付ける部分や油圧シリンダ部の機械加工を施し、組立てられたものである。この本体の測定表面部分は鍛造された状態であるため、充分に表面前処理を施す必要がある。

図8に示すように負荷方法としては、このポンプとダイス間には最大厚

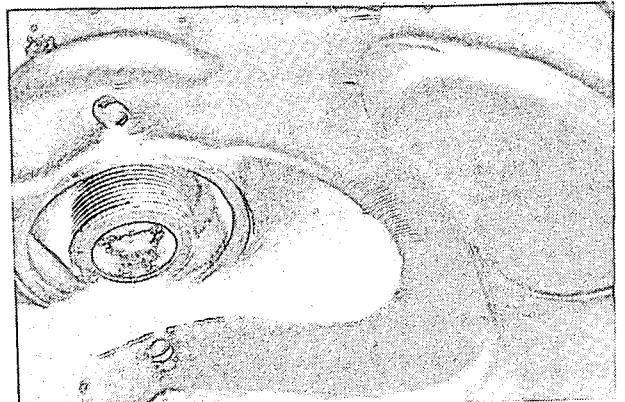


図9 フレーム内側の主裂模様



図10 フレーム下部の主裂模様

±12mmの軟鋼板(SS41相当材)をセツトし、直径24mmの打抜き加工を実際に行つ、この負荷サイクルを約3分間隔でも回繰り返し与える方法をとつた。図9はC型フレームの内側のき裂模様であり、き裂方向および密度からこの部分には打抜き加工時の曲げと引張り力によつて予割れおこるようになり、高応力を生じていることが推測される。また図10はフレームとダイ取り付けベド接合下部に生じたき裂模様を示す写真で、打抜き加工時の曲げ力によつて圧縮応力およびせん断応力が同時に作用し、引張り主応力のよりも圧縮主応力の絶対値が著しく大となるため、⁽¹⁾応力総和によつてき裂が生じたことを示してゐる。

5. おわりに

すでにお解りのように測定精度的には電気抵抗ひずみ計の結果より数段劣るが、しかし定性的測定結果を第一目的とした場合には、この応力塗料膜法は全面測定形であるため、設計・製作上予期しえぬ高応力領域を見出すことができる。また特定な試験機などの設備を必要としないこととなく試験検査が行へるため、特に現場の技術者や設計関係の方々にも、容易に活用していただけることと思惟いたします。

最後に、これらの試験に際して、ご指導ご助言をいただいた京都市芸術繊維大学菅野昭教授、日本非破壊検査協会410小委員会の方々をはじめ、塗料を提供された特殊塗料(株)に深く感謝の意を表します。

参考文献

- | | | |
|-------------------|-------------|---------------------------|
| (1) 特殊塗料(株) : | 応力塗料 取扱説明書 | |
| (2) 川田, 平, 多田 : | 応力測定マニュアル | P299 オムロン |
| (3) 技術研究会編 : | 応力測定法 | P413 朝倉書店 |
| (4) 菅野, 宮武 : | ESA資料 | S.56.6.13 |
| (5) 亀田, 積本, 林 : | 非破壊検査 | Vol.25, No.5 (1976) P261 |
| (6) 亀田, 林 : | 非破壊検査 | Vol.29, No.8 (1980) P550 |
| (7) 亀田, 林 : | 非破壊検査 | Vol.25, No.5 (1976) P276 |
| (8) 菅野, 井上 : | 日本機械学会講演論文集 | No.790-3 (1979) P239 |
| (9) 菅野, 井上 : | 非破壊検査 | Vol.28, No.12 (1979) P777 |
| (10) 菅野 : | 材料試験 | Vol.11, No.101 (1962) P87 |
| (11) 中野, 有井, 香藤 : | 非破壊検査 | Vol.25, No.5 (1976) P274 |
| (12) 宮武, 大尊寺 : | 非破壊検査 | Vol.25, No.8 (1977) P521 |
| (13) 菅野, 井上 : | 非破壊検査 | Vol.26, No.8 (1977) P534 |
| (14) 宮武, 大尊寺 : | 非破壊検査 | Vol.28, No.8 (1979) P498 |
| (15) 江川, 野原 : | 非破壊検査 | Vol.28, No.8 (1979) P506 |

