

土木工學に於ける X 線の應用 (5)

島 田 八 郎

本編の目次

- [1] 節 電弧熔接部の X 線による透過試験に就て
- [2] 節 X 線による電弧熔接試験規格に於て
- (A) 獨逸 DIN 標準規格解説
- (B) 米國 A.S.M.E. ボイラーコード標準規格解説

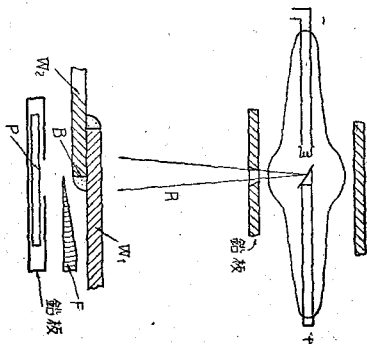
VI 章 電弧熔接に於ける應用

[1] 節 電弧熔接部の X 線による透過試験に就て X 線により透過試験を行ふ時螢光板による場合も寫眞法による場合も内部に於ける缺陷の探査發見は陰影の濃淡による事及び其の原理等は既に第 V 章に詳細述べた。螢光板によるものは後に記述す、最近電弧熔接部に於て検査法に盛に採用されてゐる。移動装置の完成と共に各種鋼工業部門、殊に造船工業製鐵鋼鑄造物の試験法の有力な武器となつた。X 線發生裝置の能力容量形式等は其の目的に應じ定まるもので第 V 章及び本章の記述により推定し得るから省略し主として材料強度の立場より X 線により試験方法の現今までの傾向の一端と電弧熔接部に適用する場合特に考慮に入れる必要ある主要な事項を羅列する。X 線寫眞の撮影方法は一般の透過試験の 1 應用にて特に述べる必要無く常に第 V 章 [1] 節に述べし原理を供試體に應じ適用すれば足るも解説的に下記に留意すべ

き諸點を擧げる。

- (1) X線管球電壓は事情の許す限り低く保つ事。
- (2) X線投射面積は必要以上に擴大せざる事。
- (3) X線は被放射物以外に出ざる様全部遮断する事。
- (4) X線用撮影フィルムは可及的に供試體に接近せしむる事。フィルムの裏面側面は鉛板にて充分X線的に遮断する事。且つ、缺陷の種類従つて接手の種類によりX線投射方向を適當に選擇せざれば缺陷を的確に判別する事の不可能なる事は後に示す従つてX線寫眞撮影に當つては更に、
- (5) 熔接接手の種類によりX線投射方向を二三規定する事。
- (6) 缺陷の種類例へば母材との熔込不完全、熔着層の際込み不完全、熔着部内部の氣泡、熔着内部龜裂)に應じX線投射方向を定む。
- (7) 接手及び熔着盛肉部の厚み大小等X線投射面内の肉厚不同甚しき時は適當なる緩和片を挿入する事。

第41圖は上述せる諸點を考慮に入れX線透過試験を行へる一例を示すもので重ね型隅肉熔接の母材部(Wo)と熔着部(S)との熔着接合部(B)の熔込み良好否を判定せんとする場合でX線投射方向(R)はB線に竝行に來り機型重金層片(F)にてB線の左右兩側の厚み差の著しき差異を緩和す、Pはフィルムを入れたるカセットにて周圍は必要な部分以外全部鉛板にて包む、Pは供試體に可及的密着せしむ。



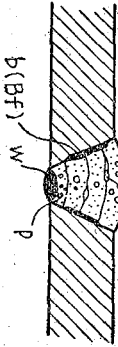
第 41 圖

電弧熔接部の X 線透過試験を行ふには先づ各種の接手に於て缺陷が如何に生ずるか。且つ接手の種類により實施し得る透過試験の種類を述べる必要がある。

第42圖は V 型衝合接手の断面を示すもので一般に電弧熔接の場合に生ずる各種の缺陷を網羅するものである。第43圖は4層熔接の場合にて、缺陷の種類を解説すれば、

W : 底の餘込み不完全 b (BF) ; 母材と熔着材の餘着部不完全

P ; 熔着材内部の気泡 S (Sf) ; 各層間餘込み不完全等を示すもので上記の外各

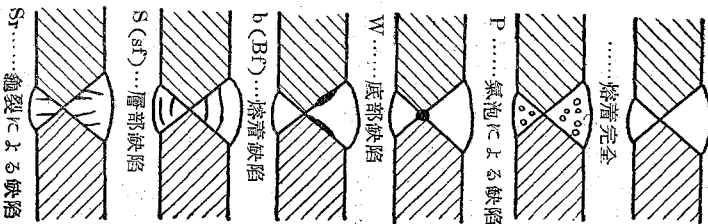


第 42 圖

た。

第42, 43圖の如き缺陷を最も的確に X 線透過寫眞にて判定せんには X 線投射方向を適當にせねばならない。第44圖は各種接手に於て投射すべき X 線の方角 (R) と寫眞フィルム (P) の位置とを示すもので例へば衝重接手 X 型に於ては熔着部の境界線に沿ひて左右兩側の R 方向と垂直方向より二、三の方向より X 線を投射し寫眞を得る必要がある、同圖より明かなる如く隅肉熔接に於て T 型及び角型の場合 X 線による透過試験は的確に行ひ得ない、各種接手

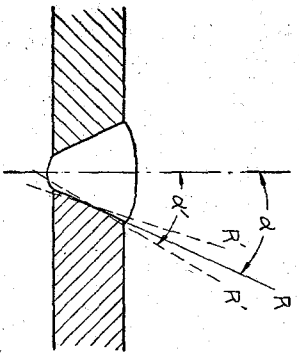
X 型衝合接手に於ける各種の缺陷



第 43 圖

に於て母材と熔着鋼との鑢込みの良否を判定せんとする場合 X 線投射方向が X 線竊真陰影に隨る鋭敏に利いて透過判定結果に大なる影響を及す。

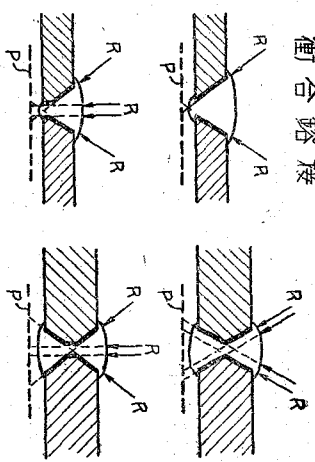
第45圖は V型衝合熔接にて V型角度 $2\alpha^\circ$ とす。今 X 線投射方向が完全に熔着線と一致せる場合は缺陷判定に有利なるも若し圖示せる左右の R の如く適當な角度より過大又は過小に



第 45 圖 可能とな

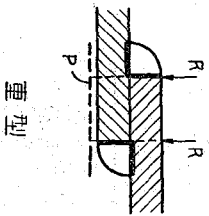
熔接

衝合熔接

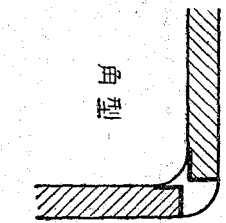
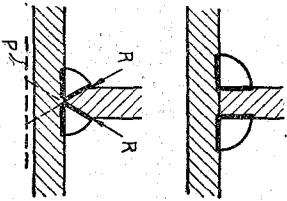


第 34 圖 V型 隅肉密接

は過小に
過れば第
42圖43圖
b (Bf)に
て示せる
熔着缺陷
は判別不
可能とな



I型 重型



角型

各種接手に於ける X 線投射方向の原則を示す

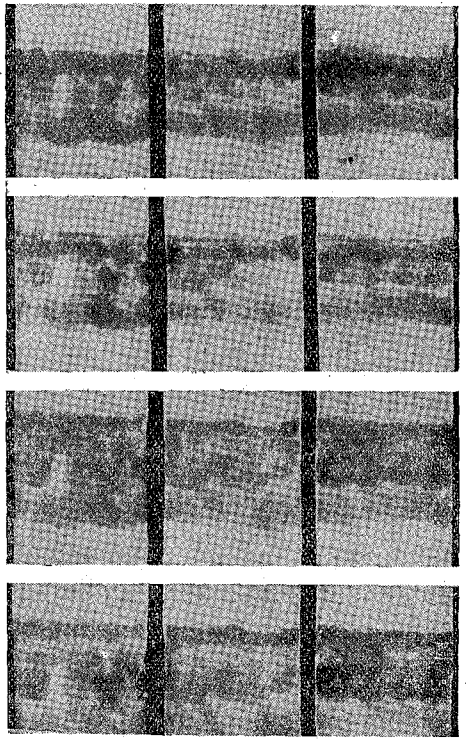
第 44 圖 T型

る。第46圖に X 線寫眞を示す。中央の二列は

適切な範圍の X 線投射の場合にて熔着缺陷が明瞭に現れてゐる、左端は α より過少なる角度にて投射せる場合、右端は過大に過ぐる場合で兩者共に缺陷が寫眞上に現れてゐない

X 線による透過試験に於て主要なる事は X 線寫眞よりして接手の強度を推定し従て安全率を定め得る事である。此種の研究結果は對照とする強度とし抗張屈曲剪斷衝擊疲勞試験等の内の何れをとるか、又接手の種類等によつても異なるもので且つ缺陷も各種のもが單獨に生ずる事も至つて稀である、従つて X 線寫眞陰影と強度との相互關係を定量的に明かにする事は頗る困難である。其の上 X 線透過寫眞は常に存在せる缺陷を明示するものでない。斯かる現状なれば X 線寫眞と各種強度との關係を明かにする事は頗る必要なれども未だ吾人の信賴し得る程度のに達してゐない。可成り精確な寫眞の技術をも必要とするものである。然れども二、三の優秀な試験研究結果により漸次強度と X 線透過試験との關係が簡

熔着缺陷判別度と X 線投射方向との關係

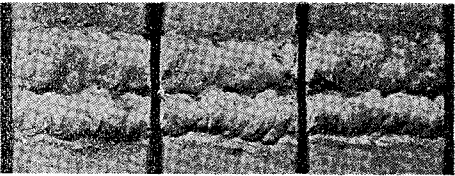


角度過少 角度可なる範圍 角度過大
第 46 圖

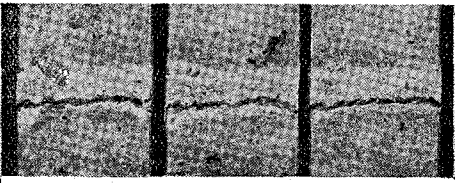
易の技術をも必要とするものである。然れども二、三の優秀な試験研究結果により漸次強度と X 線透過試験との關係が簡

熔接部
外觀

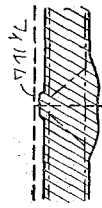
上部



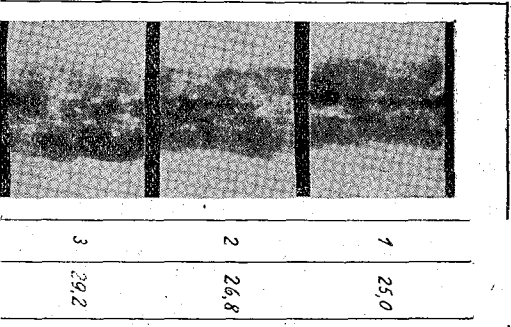
下部



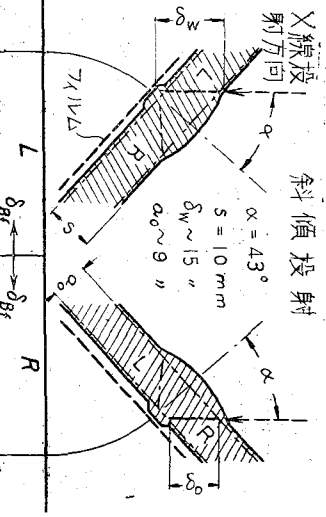
垂直投射



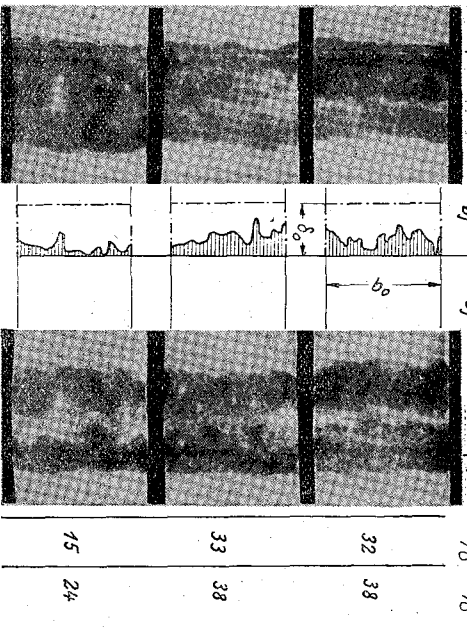
抗張強度
kg/mm²
抗張試験片番号



斜傾投射



有効断面
熔接全缺陷
φ %
熔着缺陷
φ_{bf} %



第 47 圖 X線寫眞と抗張強度との關係

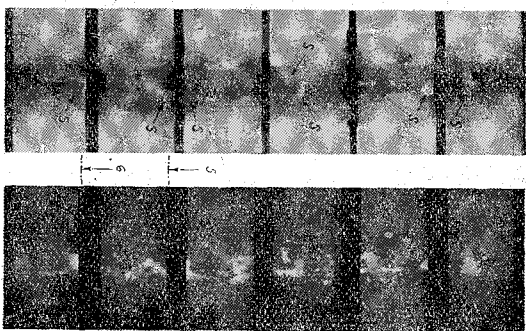
明されつゝある現状である。此方面の研究に關する詳論は別の機會に譲り本部に於ては N. Leifring, Sölnchen, の研究結果の一部を引用するに止める。

N. Leifring の實驗 Leifring は、厚み 3.5mm ; 5~6mm ; 10mm の鋼板

に於ける衝合電弧熔接接手の X 線寫真と拡張、屈曲、衝擊抗力の關係を明かにせんと試みたもので定性的の結果を得た勿論實驗方法精度等も考察するに確な定性的指針にて目的を達成せるものと思ふ。第47圖は其の一例を示すもので圖により其の意義明かなれども、三主要な點を列擧すれば下記のし。

- 1) 垂直投射寫真にては熔着缺陷發見されず氣泡が認められる、2) 斜傾投射の場合左側には明瞭に熔着缺陷が顯はれてゐる同圖内の δ_{Br} は寫真黒さより判定せる缺陷の深さである。斯かる寫真より熔着の良否による缺陷率 ϕ_r (%) 更に全熔着缺陷率 $\phi\%$ を推定す。 $\phi\%$ の値より接手の強度の減少度を推測する事が出来る。其の他強度に大なる影響を持つ層間熔着缺陷又は熔接の混入による缺陷は X 線寫真に於ては通常不規則な形状を有する塊状を呈すものである。第48圖は其の一例を示すもので V 型衝合熔接手に於て熔接せる其儘のものと盛肉部を削除せるものととの垂直投射による X 線寫真を示す、同圖中 S なる文字を附せる部分は斯かる缺陷を示す。

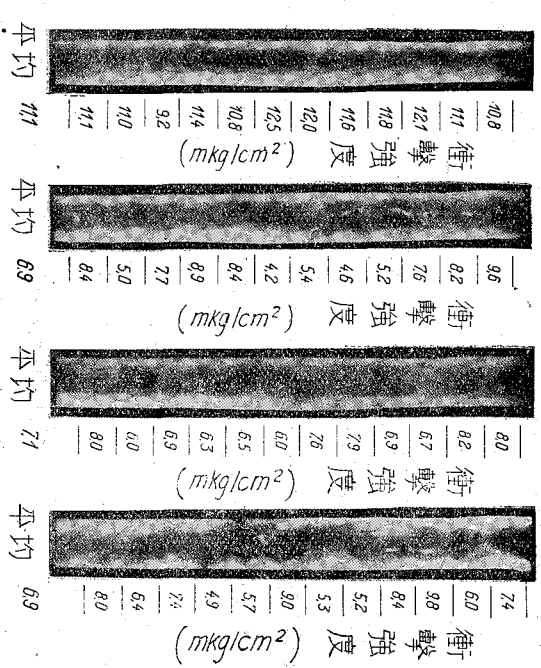
川田
垂直投射



第 48 圖 盛肉を附す熔接混入又は層間熔着不
盛肉を附す X 線寫真を示す

F. Söhnchen の實驗 小型 DYMR 供試體での衝擊試驗値 10~15mkg/cm² と 5~9mkg/cm² 程度の電極棒 (直徑 4mm, 熔接電流 170~180A) にて抗張強度 37kg/mm² の厚み 13mm の鋼板を 60°~70° の V 型銜合で熔接せるもの熔接線に沿ひて細別し順次衝擊抗力を測りし強度と X 線寫眞を對比せるものである元來強度其のものは使用電極棒の分量により著しき相違あり一方 X 線寫眞は撮影方向により缺陷發見率も異なるものである。第 49 圖は垂直投射 X 線寫眞と衝擊強度の分布を示すものである。圖中の強度分布より明かなる如く No. 1 No. 2 電極棒の何れの場合も X 線寫眞に於て熔着不良氣泡等の存在せるものは衝擊強度分布可成り不規則で接手として有効衝擊強度の著しく減少せる事を示すもので、強度分布の傾向を X 線寫眞よりして判定し得。

其の外 W. Tofante は第 42, 43 圖に圖示せる如き、各種の缺陷を故意に作り抗張強度延び、衝擊強度並びに屈曲試驗等に對する影響を調べた Walimann の勞疲試驗との關係に於ける研究、其の外二、三 X 線寫眞印畫と強度又は氣泡率との關係を明かにせんと試みら



第 49 圖 V 型銜合接手に於ける衝擊強度分布と X 線寫眞の關係

れしものおれども當事者が熔接結果の成績判定に實手程度のもので、各種の熔接手電極棒熔接法に獨立して適用し得る如き結果には到達してゐない。以上の研究により X線寫眞印畫が電弧熔接良否判定上如何なる傾向に進みつゝあるか其の全貌を知り得、並に X線寫眞撮影には如何なる理由により X線投射方向を定むべきや詳細に記述した。

〔2〕節 X線による電弧熔接試験規格に就て

A) 獨逸 DIN 標準規格解説

B) 米國 A. S. M. E. ボイラーコード標準規格解説

序説 第V章第3.4節により鋼材内部の缺陷の形状が二、三單純なものなる場合に於ける最小可測厚み差を明かにし一方本章(1)節に於て電弧熔接部の試験に際しての X線投射方向を始め取扱上の諸注意を述べた。本節に於ては獨逸、米國の X線による透過試験は 1934, 11月規格案として發表されしものと、1935の A. S. M. E. Boiler Construction code の電弧熔接に對する X線實驗法とに就き記述せんとす、V章〔4〕節〔5〕節と比較對照し其の價値を判定し得。

A) 獨逸 DIN 標準規格解説

先づ規格を逐字的に記述し必要なる箇所就き解説を加ふる事とする。

序：茲に云ふ供試體の厚みとは熔接接手の X線投射部分に於ける X線投射方向の厚みを云ふ、従つて異なる厚みの存在せる場合平均値をとる。實際上良好な X線寫眞印畫を得るには〔1〕節第41圖に示す如く陰影緩和用フィルムターを使用する必要がある。各種接手の實例を示す第52圖には記號 K にて之を示してある。規格文による部は「…」を附す。

1: 規格案 「螢光板による試験；螢光板による試験は薄きアルミニウム製品以外は使用せず γ線の場合は輝度僅少

の爲め使用する事不可能である」～後に述べる螢光板の可測最小厚み差と螢光輝度能率と X 線の硬度との関係を比較對照すれば了解し得る。

2: 「寫眞による試験;最も確實なもので乾板又はフィルムを使用し、撮影時間短縮の爲め増強板を使用するも可なれども常に下記條件を満足する様 X 線透過試験を行ふべし」～實際上は X 線寫眞の現象法 X 線投射時間所要電壓の調節等可成り熟練せる技術を要するもので特に現象時間現象液温度規定しをらざるも斯かる點にまで細心の注意を拂ふ必要がある。

a) X 線陰影寫眞より下記表の厚み差は可測し得る事を要す:

供試體厚み(mm)	0—50	50—100	100—150
可測最大厚み差(%)	1.5	2	3

第(4)節の缺陷部形状と其の判別差異の關係を見るに上記の如き結果は圓筒棒、重ね板供試體に於ては成立つとも貫通穴供試體に於ては厚み 50mm 以下の場合困難の様である。獨逸、米國の現行標準試験法の比較標準供試體形状は圓筒狀、重ね板狀のものであるから矛盾無きも熔接缺陷としては貫通穴狀のものも數多あれば此點を考慮に入れ試験するを要す。

b) 「厚みの小なる場合 γ-線を使用する場合 2a) に表示せる厚み差判別し得るも技術上 X 線使用不可能なる場合は之を許す但し供試體厚みの 3% は可測し得るものたる事を要す」～後に γ-線による透過試験に關して記述せんも波長短き幅射線にて厚き供試體には有効に透過試験として利用し得るも厚み小なる場合は可測厚み差 % X 線に比し能率悪し。

① 「所要の可測厚み差を得る様 X 線寫眞撮影の操作行はれざるや否を験す爲め供試體の材料に應じ銅、鐵或は鐵の各種直徑の針金の組合せを熔接部の X 線投射部の兩端に置く。熔接線に直角に X 線管球側に置く、厚み 20mm 以上の熔接部

の場合は第3針金組合せをX線ヲイルム側にも置く (DIN. E. 2, E. 1914 第1圖)

(第50圖)

「標準針金は下記の各別に分類す。」

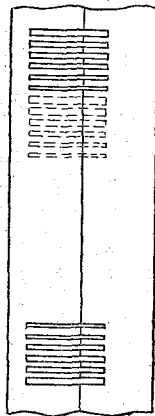
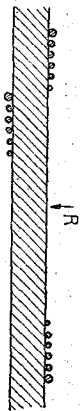
番號	針 金 直 徑 (mm)
1	$\left\{ \begin{array}{l} 0.1; 0.2; 0.3; 0.4 \\ 0.5; 0.6; 0.7; \end{array} \right.$
2	$\left\{ \begin{array}{l} 0.8; 1.0; 1.2; 1.4 \\ 1.6; 1.8; 2.0; \end{array} \right.$
3	$\left\{ \begin{array}{l} 1.5; 2.0; 2.5; 3.0 \\ 3.5; 4.0; 4.5 \end{array} \right.$

常にX線寫真が2a)の規定を満足してゐる事を各葉毎に立證するため3階級の標準針金群をも同時に撮影してをく」
 ~第51圖は其の一例を示すもので、上部に直線型に排置されてゐる陰影が茲に述べし標準針金にて各直徑の異なるものが明瞭に現れてゐる。實際上使用を便にする爲めに各番號毎の針金群を一組とし薄きゴム片にて包み第52圖に示す如き外觀のものを作成し置き適宜使用してゐる。

3: 「X線透過試験に對する一般的指針」

「X線寫真印畫による判定を的確にする爲め以下の指針を充分考慮に入れる事を要す。

a) 「X線投射方向は豫想せる熔着缺陷の平面内にある事。



第 50 圖

X線透過試験に於けるX線投射方向 (R) と標準針金の排置關係を示す。

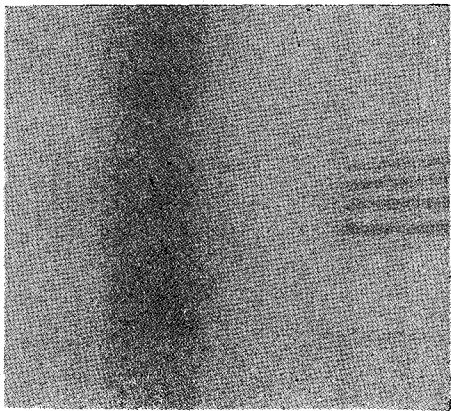
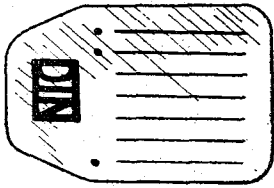
- b) 寫眞フィルム等は可及的投射線に直角に置く事。
- c) 寫眞フィルム等は可及的供試體に接近せしむる事。
- d) 散亂影響を最小限度にする爲め X 線 投射面積は最小限に狭小する事。

- e) 寫眞フィルム等は周圍より来る散亂線の影響を防止す様遮斷する事。
- f) 陰影像を明瞭に且つ歪形を防ぐ爲め X 線放射源より 供試體表面に至る距離と表面より寫眞フィルム面に至る距離との比を 6:1 以下にならざる様放射源を遠ざけをく事。

4: 熔接接手透過試験に對する 特別な

注意。

- a) T V 型衝合接手の場合垂直に X 線を投 DIN 標準針糸をも同時に撮影せる場合を示す射する事第 59 圖 (㉒, ㉓)
- b) V X 型衝合接手の場合熔着缺陷の生じ易き部分に沿ひ X 線を投射する事。(第 53 圖 (㉔, ㉕))



第 51 圖

第 52 圖
X 線透過試験標準針糸組合
せの外観。

- c), d), e), f). 其の他各種隅肉を有する熔接の場合の X 線投射方向及び陰影調節線
重金屬 X 線フィルムター (k) の排置は第 53 圖 (㉖……㉗) に示す如くする事。

X線投射前表面に附着せる熔滓を少くとも幅150mmの間削除する事」

5) 「X線寫眞の整理

- a) 「X線發生装置、供試體、フィルム等の排置。
 - b) X線發生源より供試體並に供試體よりフィルムの距離
 - c) 供試體の種類厚み。
 - d) 管球電壓、管球型式、發生調正機並に投射量 (mAxS)
 - e) X線使用の際は放射能物質の種類及び強さ。
 - f) 寫眞フィルム増強板の種類
- 等を記入してをく事」

現今獨逸にて行れてゐる熔接接手のX線による試験に關する規定は上記

の如きものである。即ち圓錐型の供試體を規準としてゐる一方米國 A. S. M.

E. のものは次に述る如く重ね板又は貫通穴型を基準とせるものである。

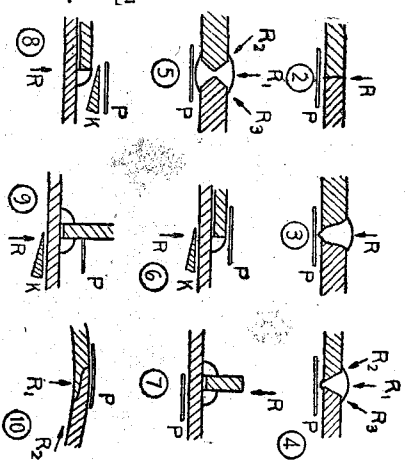
(B) 米國 A. S. M. E. ボイラーコード標準規格解説

A. S. M. E. ボイラーコードには電弧熔接部のX線透過試験に關し一般電弧熔接部 (Fusion Welding) と非燃焼性融

壓容器 (unfired pressure Vessels) の部に規定が掲げてある。兩者全く同一である以下逐字譯は省略し要點のみを述べる

事とする。以下熔接部とは汽罐に於けるものとす。

X線投射方向(↓R)熔着部寬乾板(P)の相互關係を示す、K...陰影調節X線フィルムター③④⑦はDINの圖面番號



第 53 圖

序：總て熔接部は X 線又は γ 線透過試験を行ふ。本文は厚み $4/4$ 吋以下に適用す。透過寫眞は供試體厚みの 2% 以上の缺陷を必ず判別し得るもので其の爲め標準比較片とも稱すべき規準片 (thickness gages 又は penetrimeter) を X 線投射側に置く。

(1a) 盛肉削除せる場合は第54圖上部 (P—4a) に示す如く熔接部より少くとも $1/4$ 吋離し並行に置く標準比較片は二様とす；

供試體厚み 2 吋までは全厚み 0.005 吋 \sim 0.04 吋までの比較片にて同じ直径の貫通穴を有す。

供試體厚み 2 吋 \sim 4 $1/4$ 吋までは全厚み 0.04 吋 \sim 0.09 吋同直径の貫通穴を有するものを用ふ。

(2a) 盛肉を附すものは第54圖下部 (P—4b) の如きものを用ふ。

供試體厚み 2 吋までは厚み 0.136 吋 (± 0.001 吋) の鋼片

供試體厚み 2 吋 \sim 4 吋までは厚み 0.194 吋 (± 0.001 吋) の鋼片にて溝を穿つ溝の深さは圖 (P—4b) に示す必要なれば別に厚み (S) の幅 $5/8$ 吋の鋼片を標準比較片 (P) の下部に敷き、 $T = P + S = T_1 + T_2$ 。(但し T_1, T_2 は盛肉厚み) となる様に定む、標準片の溝の底部等の位置は必ず (P—4a), (P—4b) に示す如くする事、

寫眞フィルムは供試體に可及的接近せしめ且つ 1 吋より以上離してはならない。其の際の X 線放射光源と供試體裏面との最小距離を下記の様に規定す。

鋼片厚み (吋)	所要最小距離 (吋)
0 \sim 1	14

徑 徑

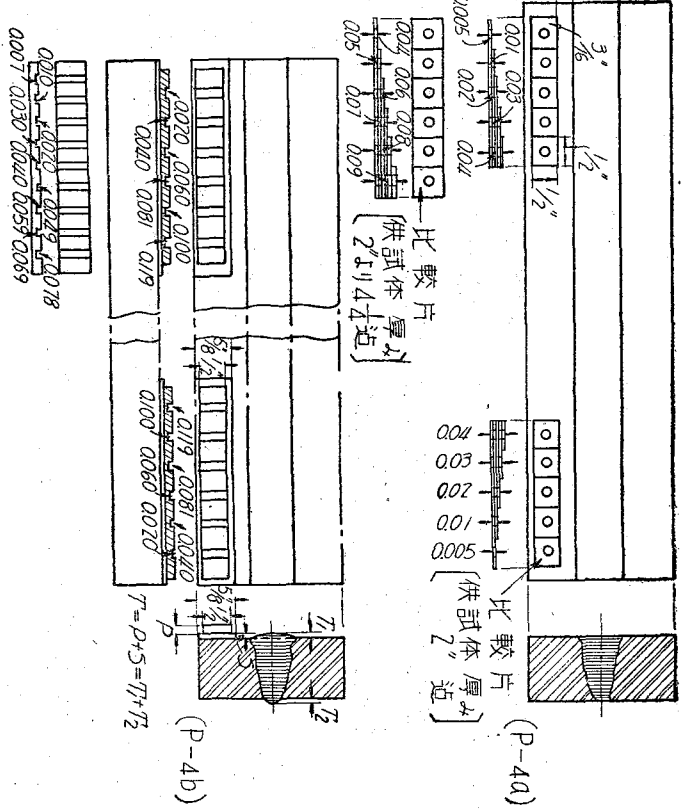
1~2"	21"
2~3	21
2~3	28
3~4	36
4~4 1/2	38

若しノアルム供試體距離1吋以上なる時は
 (X線放射光源より供試體表面に到る距離)
 と(供試體よりフィルムに到る距離) …の比
 を少くとも7:1以上とす。

而してX線試験報告はフィルムと共に下
 記の事項を記入し監督官の許可を受ける事、記
 載事項は(1)母材厚み(2)X線光源より供試
 體(3)供試體よりフィルムまで距離等であ
 る。

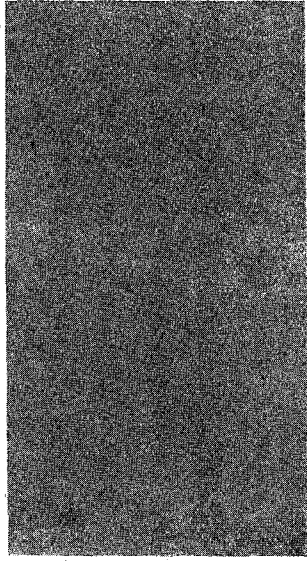
X線フィルムよりの密接の良否の判定は下
 記の規定によるも特に気泡缺陷等は別に

Boiler Code Committee の定める標準X線透

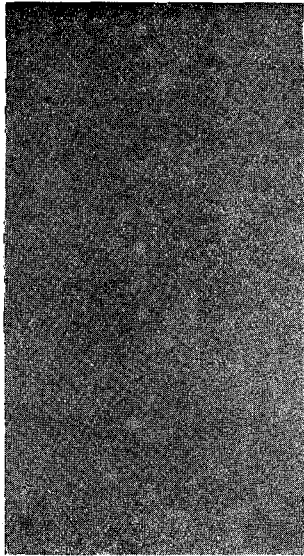


第 54 圖
 A. S. M. E. ボイラーコード規定
 X線透視試験用標準比較片

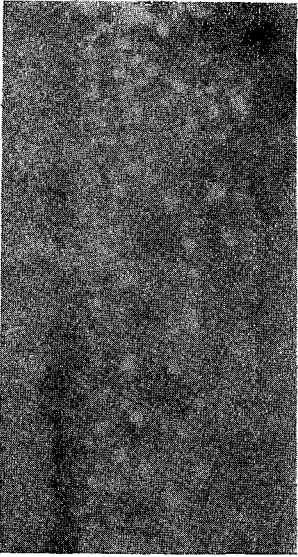
NO. 1



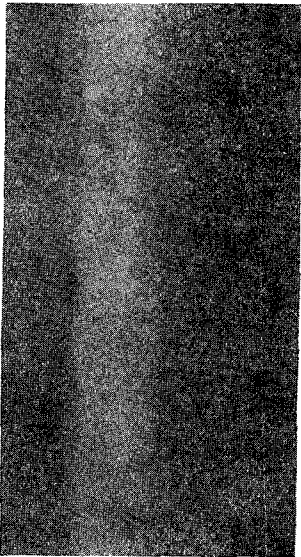
ON. 2



NO. 3



NO. 4



技 術

第 55 圖 A. S. M. E. ボイラーコーティング標準X線透過寫真

四三

過寫眞と比較し判定す第55圖は其の一例を示すものである。No.1 より No.4 と分類してゐる。

No.1 良好なる熔接

No.2 気泡有するも可許

No.3 気泡有り不合格

No.4 熔着缺陷有り不合格

X 線寫眞による合格の判定は下記の規定による。

1b) X 線寫眞に気泡熔着の像あり大きき $\frac{1}{3}T$ (但しTは熔着の厚み)より大なれば不合格、大きき $\frac{1}{3}T$ より小にて且つ各々少くとも6Lにて分離せる場合(Lは缺陷の最大長)にて若し缺陷の全長總和が長さ12Tの熔着部に於てTより小なれば合格とする。

2b) 如何なる龜裂又は熔着缺陷顯はるも不合格とする。

3b) 気泡の場合は第56圖の如き標準寫眞で判別す。

4b) 各供試體に對するX線寫眞は10年間保存し置く事。

以上の如く A. S. M. E. ボイラーコードは X 線にする透過試験に關する規定を實施してゐる。

DIN. の案、A. S. M. E. ボイラーコード共に標準比較片の形状異なるも目安として可測供試體の厚み差として厚みの2%附近を判別し得る如き X 線透過寫眞を得んとしてゐる。兩者の缺陷判別能力の比較は第 V 章 第 40 圖 第 (4) 節より推定し得。