

## (119) 地キズの超音波探傷のための 2, 3 の予備実験

(リムド鋼片の地キズに関する研究—I)

八幡鋼管, 研究部 ○松 隈 茂  
八幡鋼管, 東京工場 工博 向江脇 公雄

### Preliminary Examinations for Ultrasonic Detection of Sand Marks in Steel

(Studies on the sand marks in rimmed steel slabs—I)

Shigeru MATSUKUMA and Dr. Kimio MUKAEWAKI

#### 1. 緒 言

地キズは、鋼材の切削仕上面精度、疲労強度、クリープ強度を低下させ、鋼管のエキスパンド割れ、weld crack、圧延キズの原因となり、また鋼材の腐食を促進するなど有害性が多い。

そのため、地キズの生因、形態、組成<sup>1)</sup>、生成過程および清浄度との相関、加工性との関係などについての研究がなされている。

しかし、鋼材におよぼす地キズの影響については、地キズの形状、組成のみならず、その分布を知ることが重要である。

著者らは、先に低炭素リムド鋼のトップ・ピレットについて、超音波探傷(以下 UST と略称する。)を適用し、UST 欠陥と成品のキズ間で強度の相関があること<sup>2)</sup>、鋼材の地キズないしは巨視的非金属介在物の分布を認知する可能性を見出した。

現在、UST 欠陥の定量的把握の研究がつつけられており、最近、非金属介在物の大きさを自動的に分類集計して、鋼材の清浄性を図示する peak distribution analyser を組み合わせた UST 装置が開発された<sup>3)</sup>。

そこで、著者らは、鉄鋼基礎共同研究会、非金属介在物部会で溶製したリムド鋼鋼片について、地キズ分布を UST と段削り法によつて比較検討することにした。

本報では、リムド鋼片の UST に必要な 2, 3 の予備実験、段削りによる地キズとの対応および UST 欠陥の実体について検討した結果を報告する。

#### 2. 供 試 材

10 t 低炭素リムド鋼塊を縦割り後、圧延比 5.0 で圧延された鋼片より Fig. 1 に示す形状の試料を作成して試験に供した。

試料の表面状況は、X-Y 面およびその底面がシェーパー切削仕上(25 S 程度)、X-Z 面は帯鋸盤による切断のままで、その底面は圧延の黒皮のままの状態である。試料の化学組成を Table 1 に示す。

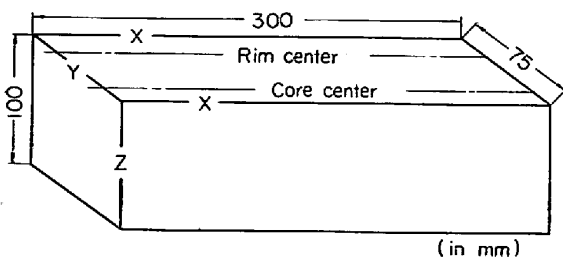


Fig. 1. Shapes and dimensions of specimen.

Table 1. Chemical composition of specimens. (Ladle analysis, %)

Specimen	C	Si	Mn	P	S
R 3	0.073	0.01	0.46	0.013	0.016
R 4	0.062	0.01	0.33	0.008	0.021
R 5	0.065	0.01	0.32	0.008	0.021

Table 2. Ultrasonic flaw detector and testing condition.

Flaw detector	USK5M (Krautkrämer, Monitor incorporated)
Searching system	Single probe system, Inspection by contact method
Probe	B4T20 (Normal probe for immersion technique), 4Mc, Barium titanate, 20 mm crystal dia.
Gain	41 decibel
Selector	High resolving power
Pulse width	14 mm
Coupling medium	Water (added 0.5% Hydrin)
Monitor	Amplifier threshold: 0 Gate setting: 33 db
Overall sensitivity	Gakushin STB III -V <sub>15-1</sub> : 31%, -V <sub>15-1.4</sub> : 52%

#### 3. 試 験 方 法

使用した UST 装置とその設定条件を Table 2 に示す。なお、gain は、欠陥とエコーの比例性をよくするために常用調度以下にしたが、その設定値は欠陥の少ない部分での B<sub>1</sub> (第 1 回底面エコー) の飽和限界によつて決まったものである。

##### 3.1 リムド鋼鋼片中での音速の測定

KRAUTKRÄMER の AVG-diagram によつて、UST 欠陥の実巾を推定するために必要な、試料中での波長 ( $\lambda$ ) は、装置の gain を 50 db に設定し、test range を広げて多重反射方式とし、試料 (R5) の底面エコーと水中での音速 (既知) の遅れ時間を比較して、試料の音速を求め、それから  $\lambda$  を算出した。

##### 3.2 最小探傷欠陥の測定

リムド鋼片のリム部より鍛造により作成した 20  $\phi$   $\times$  100 mm の丸鋼 (上・下面はグラインダー研磨) 3 本の中央部に、探傷面と平行にそれぞれ 0.5 mm  $\phi$ 、1.0 mm  $\phi$  および 2.0 mm  $\phi$   $\times$  6 mm のドリル穴をあけて Table 2 の試験条件で探傷した。

##### 3.3 不感距離の測定

不感距離は対比標準試験片の種々の深さにあけた 2 mm  $\phi$  のドリル穴によつて測定した。

##### 3.4 分解能の測定

20  $\phi$   $\times$  100 mm の 6 本の丸鋼のほぼ中央部に、おのおの 0.5  $\phi$   $\times$  2.0 mm  $\phi$  の 2 つのドリル穴を 1.0~4.0 mm の

間隔で、6.0~13.0 mm 深さに、互いに直角または平行にあけた試料について、Table 2 の試験条件で探傷した。

3.5 減衰の測定

欠陥の最も少ない試料 (R5) を使用し、X-Y 面の rim, core 別および X-Z 面の core から rim に対しての 3 カ所で、Table 2 の条件で各 10 回測定した。なお、多重反射回数 ( $B_n$ ) は飽和値の 1% 以上の底面エコー数とした。

3.6 UST 欠陥の大きさの推定法

欠陥エコーの高さから、自然欠陥の大きさを知ることには、エコー高さが装置の設定条件、probe の種類、カップリング、試料の種類および欠陥の深さ、ビーム軸に対する相対位置、大きさ、種類および形状などの要因に影響されるので、非常に困難とされている。

3.6.1 欠陥の位置と長さの関係

欠陥の長さ ( $l_s$ ) については、欠陥エコーの高さ ( $F$ ) が 27 db に drop する間に probe を動かした距離 ( $l_m$ ) と個々の欠陥深さ ( $x$ ) および指向角 ( $\alpha$ ) から、(1)  $l_{s1} = l_m - 2x \tan \alpha$  により補正する方法と (2)  $l_m$  に個々の  $x$  での音圧の逆数を乗じて  $l_{s2}$  を求める方法を試みた。

3.6.2 欠陥の巾の推定

欠陥の巾 ( $D_f$ ) については、 $x$  と  $F/B_1$  値から AVG-diagram を使って算出した。

3.7 UST 欠陥と段削りによる地キズの対応

Fig. 1 に示した、あらかじめ UST を実施した試料 (R4) の一部より 95×75×100 mm のブロックを切り出し、X-Y 面に平行に、深さ 15.0~50.0 mm の間を 1 mm ごとに 36 段の段削り試験を行ない、その長ささと位置を記録した。なお段削りの条件は、パイトの切込み深さ 1.0 mm、送り 0.25 mm で切削面の平均粗さは 12S~18S である。また端部 15 mm に現出した地キズは、放電加工機 (Japax, D20L) によって、巾 10×15 mm、厚さ 3 mm の顕微鏡観察試料を採取した。

4. 試験結果および考察

4.1 リムド鋼鋼片の UST のための諸データ

試料中での音速の測定結果は 5919 m/sec で、4 Mc の probe の場合の波長 ( $\lambda$ ) は 1.48 mm であつた。し

Table 3. Results of attenuation test.

Plain	Orientation of detection	$(B_2 - B_3) \cdot 100 / B_2$ (average) (%)	Number of multiple echoes
X-Y	core → core	56.4	4
X-Y	rim → rim	56.0	4
X-Z	core → rim	76.3	3

たがって、Near zone ( $N$ ) は  $N = D_s / 4\lambda$  ( $D_s$ : probe の直径) によつて、67.6 mm となり、指向角 ( $\alpha$ ) は  $\alpha = \sin^{-1} 0.61 \cdot 2\lambda / D_s$  によつて  $5^\circ 15'$  が算出された。

最小探傷欠陥 (ドリル穴) は、この実験では、0.5 mm  $\phi$  であつた。

不感距離は表面下 14.0 mm までであつたが、gate の関係で、底面より 2.0 mm も探傷不能で、さらに側面エコーの干渉のため端面 5~10 mm も探傷不能であるが、探傷面を 2 面としたため、Dead zone は非常に狭くなつた。

分解能については、0.5 mm  $\phi$  の 2 つの穴が 1.5 mm の間隔で平行している場合は分解能があつたが、ただ探傷面に近い方に 2 mm  $\phi$ 、遠方に 0.5 mm  $\phi$  の穴が 4 mm の間隔で平行する場合は分解能はなかつた。

減衰の測定結果は Table 3 に示すように、探傷面の粗さ、底面性状のすぐれている X-Y 面は減衰が少ないことがわかつた。

4.2 UST 欠陥と段削りによる地キズの対応

UST 欠陥と地キズの存在位置から両者の対応を試みたが、その対応はよくなかつた。そのうち、対応のついたものの一例を Table 4 に示す。

Photo. 1 は UST 欠陥エコーと UST 欠陥位置での段削りによつて現出した地キズ (pin hole) の顕微鏡写真の 1 例を示したものである。

4.3 UST 欠陥の大きさの推定

4.3.1 欠陥の長さ

R3 の X-Y 面での 200 コの欠陥について、欠陥の深さ ( $x$ ) と probe の移動距離 ( $l_m$ ) の関係を plot してみたが、 $l_{s1} = l_m - 2x \tan \alpha$  に類似の傾向は認められなかつた。したがって、この式は実用にならない。

つぎに、UST 欠陥の長さ ( $l_{s2}$ ) と段削りによる地キ

Table 4. Comparison between ultrasonic flaw and sand marks.

	Ultrasonic flaw								Sand marks			
	Position	Plain	$x$	$F$	$B_1$	$F/B_1$	$l_{s2}$	$D_f$	Position	$x$	$l$	$D$
A	100, 55	X-Y	24	2.8	4.8	0.58	2.0	2.0	98, 54.5	21	2.3	
	63, 65	X-Y	20	2.2	2.6	0.85	4.0	1.2	65, 64.5	22	2.7	0.7
	73, 65	X-Y	24	2.5	2.3	1.07	2.5	1.2	74, 64	22	1.3	0.3
B	80, 57	X-Y	40	4.0	5.0	0.80	5.0	2.0	81, 57	38	1.1	
C	108, 11	X-Y	15	2.7	4.3	0.63	4.5	2.0	109, 12.5	19	0.7	
	50, 46	X-Z	43	2.0	4.5	0.44	12.0	3.0	47, 48	47	4.1	
D	60, 57	X-Z	15	4.1	4.7	0.87	5.5	1.2	62.5, 54	18	4.8	
E	90, 51	X-Z	14	2.1	4.2	0.50	2.0	2.0	91.5, 48.5	18	4.2	

ズ長さ ( $l$ ) との関係について検討してみたが、その差が大きすぎたので、この補正法は難点があると考えられる。

#### 4.3.2 欠陥の巾

段削りによつて現出した地キズの巾は、blow hole, pin hole を除き、およそ  $0.1 \sim 0.05 \text{ mm}$  以下であつたが、Table 4 に示したように、AVG-diagram によつて算出した欠陥の巾は非常に大きかつた。そのため、この方法で、地キズの巾を定量的に示すことはできない。

#### 4.4 UST 欠陥の実体についての検討

段削りによる地キズと UST 欠陥の相関性はよくなかつたが、その原因は次のように考える。

##### 4.4.1 対象面の差

たとえば段削りの場合の測定単位は面積当りであるのに対し、UST の場合は体積当りである。

##### 4.4.2 欠陥の形態上の差

段削りによる地キズは一般に、 $0.1 \text{ mm}$  以上の scum, pin hole, blow hole, 非金属介在物, 砂などの異材の介在によつて切削時に発生するキズであるが、UST 欠陥は、つぎのようなものと思われる。

##### a) 同一平面上にある欠陥

ある大きさの scum, blow hole, pin hole, 巨視的非金属介在物および微視的非金属介在物の cluster (S-print 上でみられる濃厚偏析線なども含む)

##### b) 同一平面上にない欠陥

一平面上では比較的微細な欠陥が探傷方向で  $2 \sim 4 \text{ mm}$  の巾の間で、cluster を形成している場合、分解能の関係で 1 つの欠陥とみなされたもの。

### 5. 結 言

UST によつて、リムド鋼片の地キズ分布を調査するために、2, 3 の予備実験を行なつた結果、次のことが判明した。

- 1) 低炭素リムド鋼片中での音速は常温で  $5919 \text{ m/sec}$ ,  $4 \text{ Mc}$  の probe の場合の波長は  $1.48 \text{ mm}$  で、指向角は  $5^\circ 15'$  であつた。
- 2) ドリル穴による最小探傷欠陥は  $0.5 \text{ mm } \phi$  で、分解能は  $2 \sim 4 \text{ mm}$ , 不感距離は  $14.0 \text{ mm}$  であつた。
- 3) 36 段段削りによる地キズと UST 欠陥の相関はよくなかつたが、これは両者の形態の相違によると思われる。
- 4) 欠陥の長さおよび巾の適切な補正法は見出しえなかつた。
- 5) UST によつて欠陥の分布を定量的に算定できた。

### 文 献

- 1) 高尾, 下瀬, 成田ほか: 鉄と鋼, 47 (1961) 7, p. 907
- 2) 向江脇, 江藤, 松隈: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p. 2021
- 3) Iron & Steel Eng., (1965) 5, p. 145 または Iron Age, 195 (1965) 15, p. 104
- 4) J. u. H. KRAUTKRÄMER: Ultrasonic non-destructive

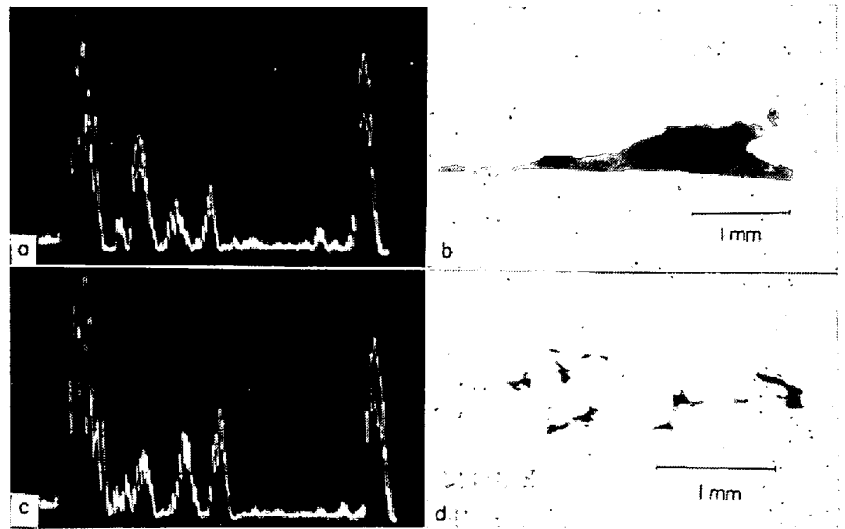


Photo. 1. Example of ultrasonic flaw echoes and microstructures.

testing of material, (1961), p. 259

- 5) 学振, 製鋼 19 委編: 超音波探傷法, (1964), p. 172, 654, 655

## (120) リムド鋼片の地キズおよび超音波探傷欠陥の分布について

(リムド鋼片の地キズに関する研究—II)

八幡鋼管, 研究部 ○松隈 茂  
八幡鋼管, 東京工場 工博 向江脇 公雄

On the Distribution of Sand Marks and Ultrasonic Defects in Rimmed Steel Slabs

(Studies on the sand marks in rimmed steel slabs — I)

Shigeru MATSUKUMA and Dr. Kimio MUKAEWAKI

### 1. 結 言

丸ピレットを穿孔圧延によつて製管する場合の Metal flow は、管の横断面で均一でなく、対数的なラセン型を示すため、ピレットの欠陥位置と製管後の欠陥位置とは隔りがある。

したがつて、丸ピレットの地キズ分布を調査する場合、従来の段削りでは不十分で、ピレットを縦割り後、平面切削して行なうことが多い。特に、この方法はリムド鋼の場合、rim, core 別々に地キズ分布を知ることができるので有効である。

今回、鉄鋼基礎共同研究会、非金属介在物部会で溶製したリムド鋼鋼片の地キズについては、rim, core の位置を考慮した試験法が立案された。

本報では、同部会で溶製したリムド鋼鋼片の地キズ分布をこの方法によつて調査し、あわせて前報<sup>2)</sup>で述べた超音波探傷(以下、UST と略する)による欠陥の分布および地キズと清浄度の相関性について検討した結果を報告する。

### 2. 供 試 材

Mn 量, S 量, 鑄型添加 Al 量および造塊雰囲気各 2