

(a): Echo method with localized immersion technique (frequency: 5MC, crystal: 20mmφ, water depth: 50mm)  
(b): Transmission method using water jet of 8mmφ oblique to surface (frequency: 2.25MC, scanning speed: 500mm/sec)  
Clear mark: heavy defect, faint mark: light defect.

Fig. 3. Results of UST on steel plate.

実用鋼板の探傷結果の中から、一例として板厚 28mm 鋼板の探傷結果を示したものである。Fig. 3 の結果から、透過法と反射法の結果が比較的良好であることがわかる。しかし全般的結果からは、板厚が薄い場合透過法の欠陥検出感度が反射法に比べそれ程劣らないが、板厚が厚くなるとかなり低下する傾向が認められた。

2.3.2 袋付探触子を用いた単純垂直透過法による実験

板厚 10~40mm の円板試料を単純垂直透過法で探傷し、後で探傷線上位置をガス切断し、探傷結果とガス切断面の断面ワレの対応性をしらべた。超音波探傷には周波数 2.25 MC の 10mm φ 振動子を内蔵する袋付探触子を用い、記録には周波数特性 200 サイクルのペン書オシロを用いた。板厚 25mm 鋼板の実験結果は、超音波探傷結果と断面ワレ位置が非常によく一致していた。また全般的実験結果から、断面ワレが透過法で検出される割合を、ワレの長さで探傷速度についてまとめた結果が Table 2 に示される。Table 2 から、探傷速度が高くなると断面ワレが検出し難くなり、特に断面ワレの長さが短い場合程この傾向が強い。

2.4 単純垂直透過法による実用化実験

厚板の走間超音波探傷には、その苛酷な作業環境のため、非常に単純な探傷方法の採用が望ましい。著者らはこのような考慮から、まず噴射水単純垂直透過法を用いる実験に着手し研究を進めてきたが、現在までのところ十分満足できる結果をうるまでにはいたっていない。著者

Table 2. Rate of detected defect marks by transmission method.

Scanning speed (mm/sec)	Rate of detected defect marks beyond 50mm (%)	Rate of detected defect marks beyond 30mm (%)	Rate of detected defect marks beyond 10mm (%)
	200	90	84
800	90	78	72
1000	90	78	70

らの遭遇している種々の問題点およびその対策については、次のように考えられる。現在実験を行なっている探傷位置では、探傷速度 1500mm/sec、板の表面温度約 300°C、非接触方式が要求されており、温度の解決に最も苦心している。ただし現在でも表面温度が 200°C 程度までなら、一応探傷可能であるという結論は得られている。温度に対する技術的対策としては、強力な噴水柱の作成による接触状態の改善および強力な送信パルスの作成による S/N 比の向上などが考えられ、板の振動に対しては現在の設置場所の条件があまり苛酷すぎることも考えられるので、もう少し条件のよい状態での使用、事情が許せば押えロールの設置などが考えられる。著者らは以上の方針に沿って、今後もさらに研究を続行する考えである。この場合、共振透過法を利用し、さらに欠陥検出感度を向上させることも考慮中である。

3. 結 言

著者らは厚鋼板の走間ライン上での連続自動超音波探傷のために、各種透過法の特性和その欠陥検出能について比較し、単純垂直透過法と単純斜角透過法の場合については、人工キズと実在欠陥の検出能を実験し、また現在進行中の噴射水単純透過法を用いた実用化試験の問題点、および今後の研究方針などについて述べた。

文 献

- 1) J. und H. KRAUTKRÄMER: Werkstoffprüfung mit Ultraschall; (1961)
- 2) 日本学術振興会編: 超音波探傷法, (1964), p. 221, 日刊工業新聞社

(119) 低炭素リムド鋼管用ビレットの超音波探傷欠陥と管の内面キズの関係について

(管用ビレットの鋼質と製管キズに関する研究—I)

八幡鋼管

工博 向江脇公雄・江藤幹男・○松隈 茂  
Relation between Ultrasonic Flaw Echoes of the Billets of Low Carbon Rimmed Steels and the Inside Defects of Seamless Tubes.

(Studies on the qualities of steel tube billets and the defects of finished tubes—I)

Dr. Kimio MUKAEWAKI, Mikio ETO and Shigeru MATSUKUMA.

1. 結 言

マンネスマン方式による継目無鋼管の製造では管材の穿孔中に受ける応力状態は複雑で、最大歪み速度、変形量がともにきわめて大きいため、管材の材質的欠陥が管のキズ発生の原因となる可能性はきわめて大きく、欠陥のない鋼管を製造するうえでの管材の具備すべき材質的諸条件は非常にきびしい。

一般にリムド鋼鋼塊は良好な表面性状を有する反面、鋼塊内質特に頭部側はスカムの巻込み、濃厚偏析などのため、製管時に内面キズを発生しやすい要因を多く含ん

Table 1. Chemical composition of specimens.

Mark	Chemical composition					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
A10	0.13	0.01	0.53	0.013	0.021	0.10
A20	0.14	0.01	0.42	0.016	0.020	0.04
A30	0.10	0.01	0.43	0.016	0.018	0.03
A40	0.12	0.01	0.44	0.018	0.019	0.04
A50	0.14	0.01	0.43	0.018	0.017	0.05
A60	0.12	0.01	0.47	0.018	0.016	0.04
B10	0.18	0.01	0.45	0.009	0.019	0.09
B20	0.18	0.01	0.41	0.008	0.019	0.09
B30	0.16	0.01	0.47	0.015	0.021	0.06
B40	0.19	0.01	0.46	0.011	0.019	0.10

である。

本報では、管材内質部の欠陥と成品内面キズの関係进行调查するため、低炭素リムド鋼鋼塊の頭部に相当するピレットについての超音波探傷欠陥エコーと内面キズとの関係および内面キズ発生の原因について検討した結果を報告する。

## 2. 供 試 材

試験材は分塊圧延後の鋼片の Top discard を平常作業よりも少なくした低炭素リムド鋼鋼塊の頭部に相当する長さ約 9m, 径 85mm の長尺ピレット 80 本 (A group 60 本, B group 20 本) で、黒皮の状態です超音波探傷による検査を行ない、欠陥エコーと位置を記録し、ピレットの両端、中央部および欠陥エコーを認めた位置より任意に材質調査のための試料を採取し、残存ピレットについて成品との対応ができるようにした製管試験を行なった。供試材の化学組成を Table 1 に示す。

## 3. 試 験 方 法

### 3.1 超音波探傷試験

使用した探傷器および試験条件は次のとおりで、欠陥エコーは形状、波高、位置、数により +0.5, +1~+5 の 6 段階に評点化した。

#### 探 傷 器

Kraut Krämmer  
SED-4T

#### 探 触 子

4Mc, B-4-S  
(チタン酸バリウム). 24φ mm

受信感度 (G) 8

#### 探 傷 法

一探触子による  
直接接触垂直法  
接触媒質

マシン・オイル

### 3.2 製管条件および検査方法

製管条件は次のとおりで成品検査は目視で行ない、キズの程度により 1 級 (0), 2 級 (4~6), B.M (8~10) に分け評点化した。

管 材 85φ × 1,500mm, 484 本

穿孔温度 1,190~1,200°C

ロール傾斜角 9°0'

穿孔素管 88φ × 7.5 × 4,400mm

圧 延 83φ × 5.0 × 6,800mm

成 品 76.3φ × 5.25 × 7,100mm

### 3.3 材質調査

材質調査用の試験片について S 偏析, リム層の厚さおよび地キズについて調査し, スカム状夾雑物 (Grey) は機械的に抽出し, X 線回折を行なった。またリム, コア各部の C, Mn, S の偏析を S プリントの状況からピレット外面より 7~9mm (R), 12~14mm (M), 42.5mm (C) の位置で 8φ mm のドリルで採取し, 化学分析を行ない, 分析試料採取位置に近接した位置より清浄度測定試料 (10×15mm) を切り出し JIS 点算法により清浄度 (C<sub>120×500</sub>) を測定した。また段削り法により地キズを測定した。

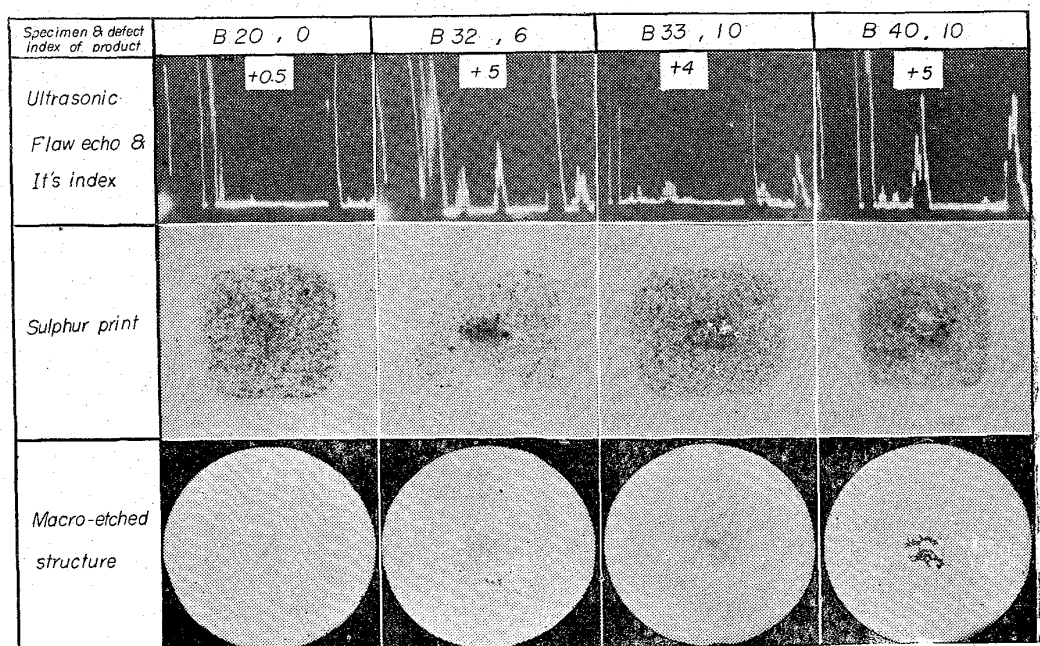
## 4. 実験結果および考察

### 4.1 S プリント, マクロ組織と超音波探傷欠陥の関係

Photo. 1 は超音波探傷欠陥エコー, S プリント, マクロ組織および管の内面キズの関係についての代表例を示す。マクロ的欠陥だけでなく S の濃厚偏析も超音波探傷により探知できるが, マクロ的欠陥の検出が特に明瞭に現われる。この欠陥部にあるスカム疵の X 線回折結果は MnO が主体で, ほかに Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> などが認められた。

### 4.2 超音波探傷欠陥と内面キズの相関性

超音波探傷エコーと成品の検査成績との関係を Fig. 1 に示す。欠陥エコーの評点と成品の内面キズの評点 (Ds) の間の相関は高度に有意 (危険率 1%) で, 欠陥



×2/3 (2/5)

Photo. 1. Typical illustration of defects of billet and products.

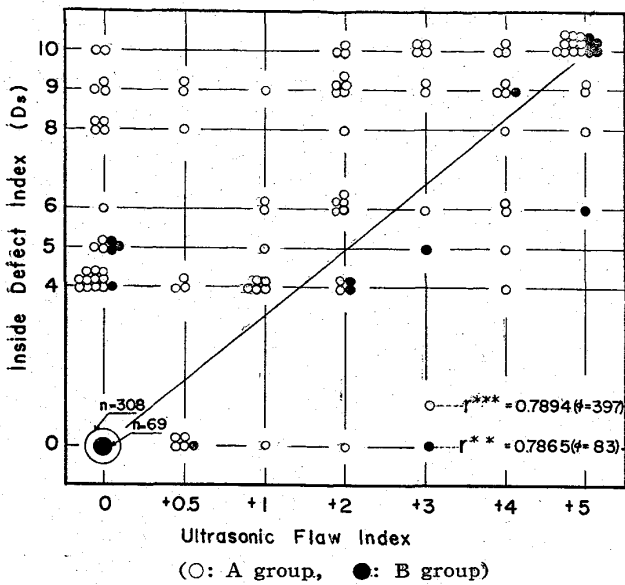


Fig. 1. Relation between ultrasonic flaw index of billets and inside defect index of products.

エコーの著しいものは、程度の差はあるが全てキズを発生しており、超音波探傷の管材検査への適用は有効であることがわかった。

4.3 リム層の厚さと内面キズの関係

ビレット断面のSプリントから平均リム層厚さ ( $t$ ) およびリム部のしめる割合 ( $s$ ) を次式によつて算出し、検査成績と対応させた結果を Fig. 2 に示す。

$$s(\%) = \{1 - 4(D - 2t)^2 / \pi \cdot D^2\} \times 100$$

ただし  $t$  は  $t_1 \sim t_4$  の平均値。

Agroup においては  $t$  と  $D_s$  の間には相関関係は認められない。これは、この group はマクロ的な Scum を含むものが多く、それが管の内面キズに対して支配的に

作用したためであると考えられる。しかし内面キズの程度が軽いものについてみると  $t$  は 14.0~18.5mm の範囲におさまっており、18.5mm 以上になると一級合格のものは皆無である。

Bgroup においては、 $t$  と  $D_s$  の間に強い正相関があり、 $t$  が 11~14mm ( $s=30.0\sim42.7\%$ ) 程度まではキズの発生がほとんどないが、15mm ( $s=46.7\%$ ) を越えるとひどいキズの発生が認められた。またリム層厚さと超音波探傷欠陥の間にもかなりよい正相関が認められた。

リム層厚さに影響をおよぼす因子としては、造塊時の鑄込速度、リミング状況および鋼の脱酸度などが考えられ、鋼塊コア部は清浄なリム部のしめる容積の大きいほど、偏析が増加し、リム部の厚さを小さくすることが偏析軽減に有効である<sup>2)3)</sup>といわれており、本試験でもリム層が厚いと内質の不均一性を生じ、キズの発生頻度が増大したものと考えられる。

4.4 リム、コア各部の C, Mn, S 偏析と内面キズの関係

ビレットにマクロ的なキズが認められないものからもキズが発生したので、これらのビレットについて C, Mn, S の偏析を調査し、超音波探傷欠陥エコーおよび内面キズとの関係を求め Table 2 の結果をえた。なお偏析度 (L%) は次式<sup>4)</sup>により算出した。

$$L(\%) = (C_n - C_o) \cdot 100 / C_o$$

ここで、

Cn: 任意の位置での所定の元素の量

Co: 所定の元素の取鍋値

偏析によるキズ発生の原因としては、高 S 量、低 Mn/S 値、高 O 量および C 量との相関などが挙げられている<sup>5)6)</sup>。しかし Table 2 の結果から最高偏析部の S 量が 0.078% 以上でキズを発生することが判明したが、Mn/S, C の偏析度とキズとの関係については明瞭な関係はえられなかった。

4.5 リム、コア各部の清浄度と非金属介在物の形態

リム、コア各部の清浄度は Fig. 3 に示すように、コアよりリムに移るにしたがい  $A_1$  系介在物が明らかに減少し、リム部の清浄度はきわめて良好である。しかし  $A_2, B, C$  系については特別の傾向は認められない。なお S 量と  $A_1$  系介在物の面積率の間にはよい相関が認められた。

次にリム、コア各部の代表的非金属介在物を Photo. 2 に示す。濃厚偏析部の介在物は数が多く、大きさも大きい。リム部の介在物は小粒で数も少なかった。また、介在物の大部分は (Mn, Fe) S で濃厚偏析部からリム部に移る位置で (Mn, Fe) O を含む 3 相介在物が観

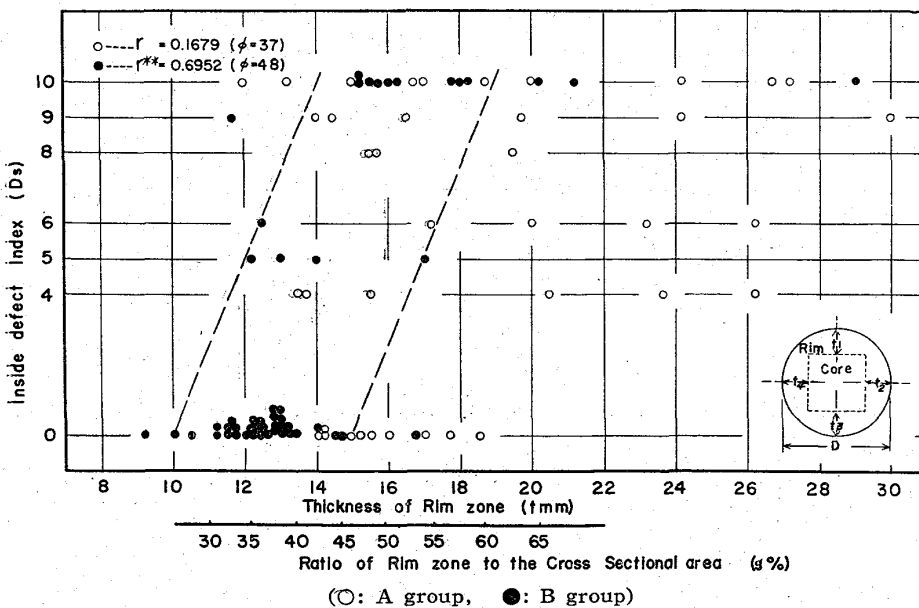


Fig. 2. Relation between thickness of rim zone and inside defect of products.

Table 2. Relation between segregation of elements, ultrasonic flaw index and defect index of products.

Specimen		Chemical analysis (%)			Mn/s	Clean-ness (A <sub>1</sub> only)	Segregation parameter (%)			U. S. T index	Ds
		C	Mn	S			C	Mn	S		
A14B	C	0.19	0.53	0.030	17.67	0.083	46.2	0	42.9	0	0
	M	0.17	0.51	0.030	17.00	0.079	61.5	-3.8	42.9		
	R	0.07	0.44	0.012	36.67	0.033	-46.2	-17.0	-42.9		
A25B	C	0.25	0.66	0.091	7.25	0.208	78.5	57.2	355.0	0	9
	M	0.17	0.62	0.047	13.19	0.146	21.4	47.6	135.0		
	R	0.05	0.51	0.010	51.00	0.059	-64.3	21.4	-50.0		
A28T	C	0.30	0.60	0.076	7.89	0.142	114.3	42.8	280.0	0	0
	M	0.30	0.59	0.067	8.82	0.279	114.3	40.5	235.0		
	R	0.06	0.46	0.011	41.80	0.029	-57.2	9.5	-45.0		
A54T	C	0.24	0.57	0.046	12.39	0.154	71.4	32.6	170.6	0	0
	M	0.22	0.55	0.040	13.75	0.100	57.1	27.9	135.3		
	R	0.07	0.46	0.021	21.90	0.002	-50.0	7.0	23.5		
A56T	C	0.33	0.59	0.043	13.73	0.142	135.7	37.2	152.9	0	0
	M	0.23	0.55	0.029	18.97	0.163	64.3	27.9	70.6		
	R	0.06	0.43	0.010	43.00	0.038	-57.1	0	-41.2		
A58T	C	0.31	0.59	0.063	9.37	0.154	121.4	37.2	270.6	0	0
	M	0.20	0.52	0.025	20.80	0.113	42.9	20.9	47.1		
	R	0.09	0.43	0.008	53.75	0.029	-35.7	0	-52.9		
A63T	C	0.39	0.63	0.063	10.00	0.217	225.0	34.0	293.8	0	0
	M	0.18	0.58	0.024	24.17	0.113	50.0	23.4	50.0		
	R	0.05	0.47	0.010	47.00	0.038	-58.3	0	47.0		
A67M	C	0.14	0.52	0.023	22.61	0.063	16.6	10.6	43.8	+0.5	0
	M	0.14	0.49	0.023	21.30	0.054	16.6	4.3	43.8		
	R	0.07	0.44	0.011	40.00	0.021	-41.7	-6.4	-31.3		
B20T	C	0.24	0.43	0.033	13.03	—	33.3	4.9	73.7	+0.5	0
	M	0.22	0.42	0.024	17.50	—	22.2	2.4	26.3		
	R	0.09	0.36	0.010	36.00	—	-50.0	-12.2	-47.4		
B31B	C	0.30	0.56	0.059	9.49	—	87.5	19.1	181.0	0	0
	M	0.23	0.53	0.034	15.59	—	43.8	12.8	61.9		
	R	0.09	0.45	0.009	50.00	—	-43.8	-4.3	-57.1		
B32B	C	0.33	0.56	0.078	7.09	—	106.3	19.1	271.4	+5	6
	M	0.24	0.52	0.036	14.44	—	50.0	10.6	71.4		
	R	0.10	0.44	0.013	33.85	—	-37.5	-6.4	-38.1		
B33T	C	0.51	0.62	0.122	5.08	—	218.8	31.9	481.0	+3	10
	M	0.26	0.54	0.033	16.36	—	62.5	14.9	57.1		
	R	0.09	0.44	0.009	48.89	—	-43.8	-6.4	-571.4		

察された。

#### 4.6 地キズと内面キズの関係

JIS 3 段削り法による地キズ測定の結果、地キズの量は少なく、内面キズとの相関も認められなかった。

#### 5. 結 言

超音波探傷法により、低炭素リムド鋼塊の頭部に相当する管用ピレットを検査し、欠陥エコーと管の内面キズの相関性およびキズ発生の原因について調査した結果、次のことがわかった。

1) 欠陥エコーはスカム疵と S の濃厚偏析で、エコー

の評点と内面キズの間には高度の相関性が認められた。

2) リム層の厚さが厚いピレット、S 含有量の高いピレットは内面キズを発生する傾向が強かった。

3) リム、コア各部の清浄度はコアよりリムに向って減少するが、S 含有量の高い位置での清浄度はよくなかった。

#### 文 献

- 1) 三好, 横山, 古山, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p. 1756

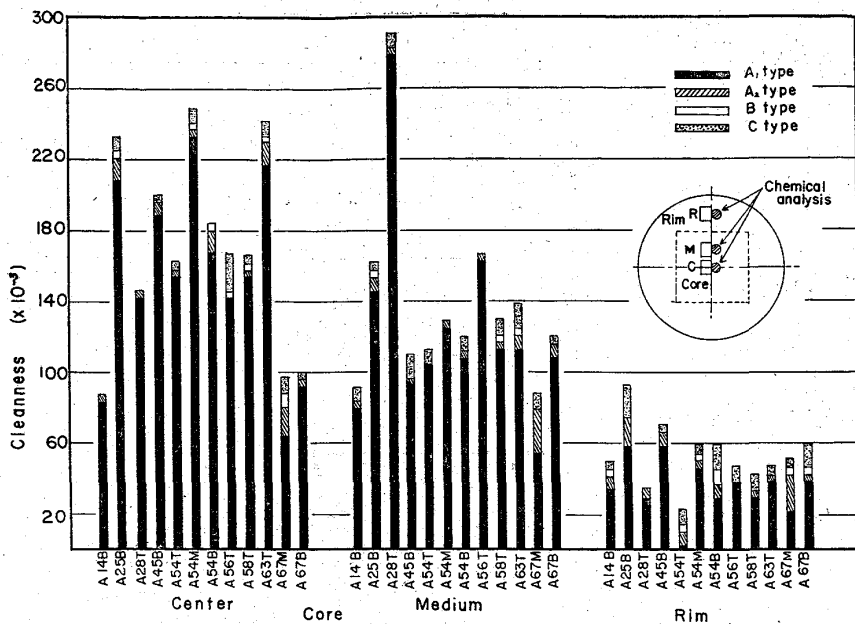
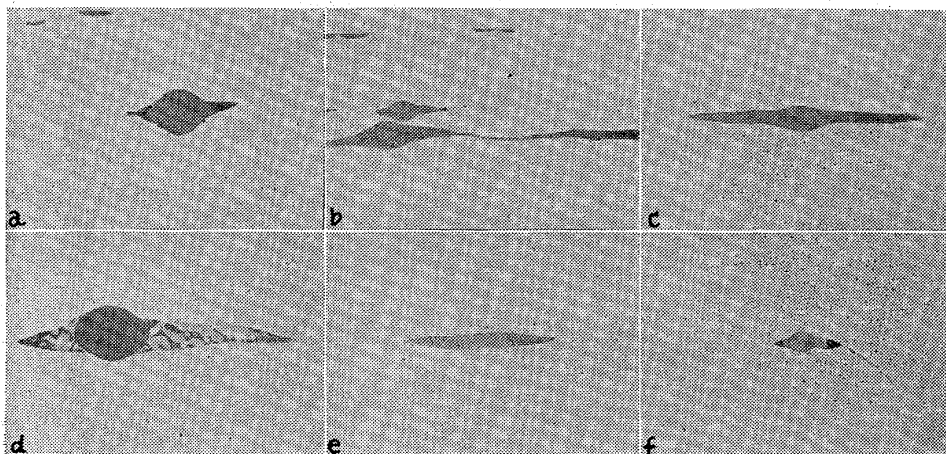


Fig. 3. Variation of cleanliness in rim and core of billets.



a), b), c) Mn-sulfide inclusions in the part of core.  
d), e) Three-phased & one phased inclusions in the part of near core.  
f) Small size inclusions in the part of rim zone.

Photo. 2. Typical nonmetallic inclusion in rimmed steel.

- 2) 加藤, 松田, 徳重: 鉄と鋼, 48 (1962) 4, p. 462
- 3) 波木, 荒木: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 452
- 4) M. I. バインシュトク, 他: 製鉄技術総覧, 24 (1964) 12, p. 33
- 5) 加藤: 鉄と鋼, 48 (1962) 6, p. 753
- 6) 細田, 森島, 酒井: 鉄と鋼, 46 (1960) 3, p. 329

(120) 熱延帯鋼の機械的性質, 冷間成型性におよぼす合金元素の影響

(冷間成型性高張力鋼板の研究—I)

日新製鋼, 吳製鉄所

岩宮 久・角谷卓爾

入谷喜雄・丸橋茂昭

The Effects of Alloying Elements on the Mechanical Properties and Cold Formabilities of Hot Rolled Steel Sheets.

(High strength steel sheet for cold forming quality—I)

Hisashi IWAMIYA

Takuzi KAKUTANI

Yoshio IRITANI

and Shigeaki MARUHASHI.

1. 緒言

高張力鋼を使用する主目的は, すぐれた機械的性質により達せられる構造物の重量軽減にあり, このために, これまでは比較的大型の構造物に使用される高張力鋼について研究が行なわれている. すなわち従来の溶接性高張力鋼は厚板として使用される場合が多く, このために要求される機械的性質を満足するほかに溶接性, あるいは低温靱性などが重視されている.

一方最近では, 比較的板厚の薄い分野においても, 従来よりも強度の高い鋼材が要求されることが多くなっているが, この

場合, 厚板用途とは異なり, 工作上必要な曲げ性, あるいはその他の冷間成型性が優秀であることが要求されることが多い. このために従来より実用されている高張力鋼を今問題とする用途に使用しても, 必ずしも満足な結果は得られていない. したがって, この種の高張力鋼板に対しては, これまでとは多少とも違った考慮が払われるべきである. このためにまず強度水準が 50~55 kg/mm<sup>2</sup> 程度の鋼板の機械的性質, 若干の冷間成型性試験値におよぼす最も一般的な合金元素 C, Si, Mn, Cr などの影響を調べた.

2. 実験方法

2.1 試料調整

実験鋼塊 (高周波炉溶解) は 30 kg, 120mm φ × 106 mm φ × 283mm である. 同鋼塊を 55mm × 155mm × l の帯鋼用ピレットに鍛伸し, この実験用ピレットを同寸法の巾, 厚みを有する生産用ピレットに溶接し, 4.5mm