鋼中非金属介在物と機械的性質

(討-16) セミキルド鋼板の加工性におよぼす非金属介在物の影響

富士製鉄, 室蘭製鉄所

森永 孝三・工博 佐藤 進

○井上 史朗・内田 尚志

Influence of Non-Metallic Inclusions on Formability of Semikilled Steel Sheets.

Kōzō MORINAGA, Dr. Susumu SATO,

Shirō INOUE and Hisashi UCHIDA.

1. 緒 言

セミキルド鋼の脱酸は脱酸度の管理の容易さのため通常シリコン脱酸されている。しかし、シリコン脱酸した鋼はシリケート系の脱酸反応生成物が鋼中に残留するため、鋼板では、圧延方向に長く伸びたA系の非金属介在物となる。

筆者らは曲げ試験を行なつて、セミキルド鋼板の曲げ加工性を低下させる介在物は、表面近くにあるA系介在物であつて、C系化された介在物は曲げ加工性を低下させることが少ないことを確認した。

そこで、セミキルド鋼の脱酸にアルミを用いて非金属介在物を小型化し、C系化させたセミキルド鋼板を造り、シリコン脱酸のセミキルド鋼板と比較して、これら鋼板の加工性におよぼす介在物の影響を検討した。

2. 実験方法および供試材

2.1 実験 1

Table 1. Ladle analysis [%].

	C	Si	Al	Mn	P	S
Al semikilled steel	0.18	0.01	0.010	0.46	0.014	0.014
Si semikilled steel	0.18	0.06	0.004	0.47	0.015	0.017

Fig. 1. Relation of bending formability and non-metallic inclusions with mild carbon semikilled steel sheets.

C 0.25~0.35%, Mn 0.30~1.00%, 板厚 2.4 mm の中炭素セミキルド鋼板を供試材とし、あらかじめ顕微鏡観察で介在物の存在位置、形態を観察し、介在物が曲げの中心にくるようにして、1.5 t の 90°C 方向 (圧延方向に直角) 曲げ試験での割れ発生との関係を求めた。

2.2 実験 2

実験 1 の結果にもとずき、介在物の形態と大きさを要するため、シリコン脱酸とアルミ脱酸の 2 種の脱酸方法の異なつた Table 1 の組成をもつ 2.3 mm と 3.2 mm の板厚の低炭素セミキルド鋼板を製造して、その曲げ性、絞り性などを調査し、鋼板の加工性におよぼす介在物の形態の影響を検討した、なお清浄度は JIS 法によつて求めた。絞り性試験は 50 mm φ の平底ポンチと丸底ポンチを用い、ブランク径 140 mm と 145 mm での C.C.V. を求めた。C.C.V. は圧延方向とそれに直角方向および 45° 方向の外径の重みつき平均値 $\{(D_0 + D_{90} + 2D_{45})/4\}$ から求めた。

3. 実験結果

3.1 実験 1

2.1 で述べた化学組成、板厚のセミキルド鋼板を 1.5 t で 90°C 方向に曲げ、曲げ割れと介在物の間に Fig. 1 の関係が得られた。この実験で割れをひきおこした介在物は表面から 0.2 mm 以内にある A 系介在物で、B, C 系介在物および表面から 0.2 mm 以上深いところにある A 系介在物は曲げ割れをひきおこしていない。A 系介在物が表面から 0.2 mm 以内にあるとき、75% (n=24) 割れが発生したのに反し、B, C 系介在物では、表面から 0.2 mm 以内に存在していても 17% (n=17) しか割れが発生しなかつた。

3.2 実験 2

3.2.1 非金属介在物の形態および分布

(1) シリコンセミキルド鋼板 (Photo. 1-a)

硫化物を伴つた MnO-SiO₂ なる組成の圧延方向に長く伸びた典型的な A 系介在物が数多く認められる。Fig. 1 に示したように大きなものは曲げ割れの原因になりやすい。

(2) アルミセミキルド鋼板 (Photo. 1-b)

アルミ脱酸の効果により、シリコンセミキルド鋼板にみられるような圧延方向に長く伸びた典型的な A 系介在物が少なくなり、介在物は小型の C 系化した。

(3) 非金属介在物の大きさ別の分布

Fig. 2 に鋼塊頭部の 3.2 mm の鋼板中に 400 倍の光学顕微鏡で 60 視野中に認められた介在物の大きさ(長さ)別の分布を示した。アルミ脱酸を行なうことにより、シリコンセミキルド鋼板より介在物が微細化し、清浄度も若干よく

Fig. 2. Cleanliness and distribution of non-metallic inclusions classified by size.

Photo. 1. Typical inclusions and results of bending test of semikilled steel.(4/5)

なつた。アルミセミキルド鋼板には 250μ 以上の大型介在物は認められなかつたが、シリコンセミキルド鋼板には 500μ 程度の大型介在物が認められた。

3.2.2 曲げ試験

$0.5t$ で 160° 曲げと密着曲げを行なつた。曲げは板厚による影響が大きい。板厚が $2.3mm$ のときは、アルミセミキルド鋼板もシリコンセミキルド鋼板も密着曲げまで耐えられる。しかし、詳細に観察すると、シリコンセミキルド鋼板は 160° 曲げで毛割れが入っている。この毛割れは密着曲げを行なつてもほとんど進行しない。板厚が $3.2mm$ になると 160° 曲げでは $2.3mm$ の場合と同じ結果になるが、密着曲げにすると介在物の形態の差が現われ、Photo. 1 に示したようにアルミセミキルド鋼板では微少な割れが認められる程度であるのに、シリコンセミキルド鋼板では大きく口のあいた割れになる。したがつて、適切な条件で試験を行なえば、割れ発

生角度あるいは発生率にはつきりした相違が現われるものと考えられる。

3.2.3 コニカルカップ試験

$50mm\phi$ の平底ポンチと $50mm\phi$ の丸底ポンチを用いた $3.2mm$ の鋼板のコニカルカップ試験の結果を Fig. 3 に示した。平底ポンチの場合も、丸底ポンチの場合も、アルミ脱酸を行なつて介在物を微細化し、C系化させることにより絞り性が増し、ブランク径 $145mm$ の場合に、平底ポンチでおよそ $1.5mm$ 、丸底ポンチでおよそ 1.1

mm 、C.C.V がよくなつた。

4. 考察

C方向曲げで、表面近くにあるA系介在物が曲げ割れをひきおこしやすく、B、C系介在物は曲げ割れの原因になることが少なかつた。このことはつぎのように考察される。

シリケート系およびアルミナ系介在物は地より硬く、単結晶アルミナの弾性率を $5.2 \times 10^6 \text{ kg/mm}^2$ として¹⁾ DONNELL や EDWARDS の解析結果^{2,3)} から推定すると、A系介在物のほうがC系介在物よりも、そのC方向の先端において応力集中が大きいことは予想されるが、その差はそれ程大きいとは考えられない。よつてC方向曲げで、A系介在物が割れの原因になりやすいのは介在物のC方向の先端に生じた応力集中によつて微細な亀裂ができ、それが介在物の剝離をもたらし、剝離によつて生じた空孔が新たな歪集中源となつて、割れの起点となつて

A: Al-semikilled steel sheets, S: Si-semikilled steel sheets

Fig. 3. Result in conical cup test.

いるものと考えられる。この場合、シリケート系介在物およびアルミナ系介在物と地との間の結合の強さは、シリケート系のほうが弱いとは考えられないので、A系とC系の間の曲げ割れ発生に対する影響の相違は、むしろ、A系介在物がC系の介在物より一般に大きいこと、すなわち、介在物の剝離による歪集中源の大きさが原因と考えられる。

また、応力集中係数におよぼす位置の効果は、従来、{(表面からの深さ)/1/2(欠陥の厚さ)}の比をとつた場合、約3以下で表われるといわれており、厚み10μの介在物では0.015mm以内、厚み20μの介在物でも0.03mm以内でなければ、その位置の効果はないと考えられるので、本実験において求められた曲げ割れに影響する介在物の深さ0.2mm以内という結果は、応力集中係数におよぼす位置の効果が現われたのではなく、曲げ歪の増大によるものと考えられる。

5. 結 言

(1) セミキルド鋼板の曲げ加工性を低下せしめる介在物は表面近くにあるA系介在物である。

(2) セミキルド鋼をアルミ脱酸すると、A系の大型介在物がなくなり、介在物は微細化し、C系化する。その結果、鋼板の加工性が向上する。

文 献

- 1) E. RYSHKEWITCH: Oxide Ceramics, (1960), p. 150, Academic Press.
- 2) R. B. HEYWOOD: Designing by photoelasticity, (1952), p. 308, Chapman & Hall.
- 3) R. H. EDWARDS: J. Appl. Mech., 18(1951), No. 1, p. 19
- 4) 渡辺: 日本製鋼技報, (1961), No. 6, p. 41
- 5) 日本機械学会編: 機械工学便覧

(討-17) 薄鋼板の加工性におよぼす非金属介在物の影響

八幡製鉄, 技術研究所 工博○長 島 晋 一
Effects of Nonmetallic Inclusions in Thin Steel Sheet upon Its Formability.

Dr. Shinichi NAGASHIMA.

1. 緒 言

薄鋼板の非金属介在物が加工性の上で有害な重要因子であることについては、加工欠陥発生部の調査結果などから一応推察できるところであるが、その有害度の評価には、板の实在欠陥と加工性との関係をしらべるより直接的方法による研究が必要である。いまだこのような研究がなされていない理由としては、板のどこに实在欠陥があるかを確認する方法がなかったためと思われる。最近の非破壊検査法の進歩によつて、全く非破壊的な方法で实在欠陥の位置を正確に求めることが可能になり、また实在欠陥の大きさについてもある程度まで情報が得られるようになった。著者はこの新しい検査技術を用いて实在欠陥を含む種々の試験片を作り、実験により实在欠陥と加工性との関係をしらべた。

2. 試料および実験方法

試料には、板厚0.8mmおよび2.3mmのリムド薄鋼板を用いた。超音波探傷で欠陥波を認めた位置の实在欠陥の確認には、コロイド磁粉探傷および顕微鏡検査を行ない、引張試験、プレス試験およびバルジ試験によりその加工性をしらべた。

2.1 超音波板探傷法

薄板の超音波探傷は、探触子を板の側端部上面におき圧延方向に移動させながら、また板波を板巾方向に伝播させることにより、検出される欠陥エコーの状況から实在欠陥の分布図を求めた。なおこの実験には、東京計器製のUR-1C型超音波探傷器および減衰器ならびに著者の試作した探触子を用いている。欠陥エコー高さは实在欠陥の大きさに関係する量であるが、測定値は探触子と实在欠陥内の距離の関数になつていたので、これをすべて $\pm 0.2 \text{ dB/cm}$ の補正係数を用いて基準化し、デシベルで表示した。またこの方法による实在欠陥位置の測定精度は $\pm 10 \sim 15 \text{ mm}$ 程度であつたが、非常に能率のよい測定方法であつた。

2.2 コロイド磁粉探傷法

薄板の超音波探傷では实在欠陥の位置を正確に決めることが非常にむずかしいので、さらにコロイド磁粉探傷を行なつてその位置を正確に確認することにした。

コロイド磁粉探傷はいわゆる磁粉探傷の特殊な応用である。材料が強磁性体であればこの方法が適用できる。薄板の实在欠陥の主体である非金属介在物は非磁性体であるから、板の中に欠陥があるとその厚みだけ磁気抵抗が増加することになりこの部分に漏洩磁束が発生する。欠陥の現出には微細なコロイド磁粉液をふりかけて行なう。この方法によると欠陥の位置および形が正確にわかるようになり、さらに磁粉模様の濃さからその大きさもある程度まで推定できる。著者の用いたコロイド磁粉探傷のテクニックを次に述べよう。板を強力な直流電磁石の極間上におきこれを磁化させた状態で、この上にアセ

Table 1. Flaws revealed by UST, CMF and MS.

Specimen No.	Echo height (dB)	Width of inclusion by CMF (mm)	Width of inclusion by MS (mm)	Max thickness of inclusion by MS (mm)	Composition of inclusion
1	1.2	0.3	0.3	0.05	FeO-MnO, Al ₂ O ₃ (main)
2	16.2	2.7	2.67	0.23	"
3	9.6	1.6	1.5	0.10	"
4	9.6	1.5	1.5	0.12	"

UST: Ultra sonic test, CMF: Colloid magnetic powder method, MS: Microscopic observation.

トンによく磁濁させたコロイド磁粉液をふりかけると、欠陥の位置にコロイド磁粉が集まり欠陥模様が現われる。この模様を鮮明に残すには、アセトンが乾燥する時間約 30 sec 程度、板を磁化させたままにしておくことが必要である。欠陥模様の記録には、セロテープを用いて板から欠陥模様を剥ぎとり、転写する方法が便利であった。

3. 実験結果

3.1 実在欠陥の大きさと非破壊的測定値との関係

Table 1 は板厚 0.8 mm のリムド鋼冷延板の実在欠陥の検鏡結果と、超音波探傷によるエコー高さおよびコロイド磁粉探傷による欠陥模様の巾との関係を示している。上記の非破壊的方法で検出される実在欠陥の実体は、ほとんど FeO-MnO, Al₂O₃ を主体とする非金属介在物であった。検鏡による実在欠陥の巾とコロイド磁粉探傷による欠陥模様の巾とは非常によく一致し、また実在欠陥の巾および厚みと超音波探傷によるエコー高さとの間の相関性もかなりよい。これらの結果から、実在欠陥の大きさとこれらの非破壊的方法による測定値との間にはかなり密接な関係があると信じられるので、この報告では実在欠陥の大きさを超音波探傷によるエコー高さで代表させ、これと機械試験値との関係をしらべた。

3.2 プレス加工性とエコー高さとの関係

Fig. 1. Relation between echo height and defective mark caused by press test. (thickness of plate specimen: 0.8mm)

Fig. 1 は板厚 0.8 mm のリムド鋼冷延板を 2.25 MC/sec, S₀ モードの板波で探傷し、探傷欠陥の長さおよびエコー高さとプレス深絞り加工による表面キズとの関係をしらべたものである。プレスには探傷欠陥が中心より 140 mm 隔たるように打抜いた直径 390 mm の円板試験片と、絞り比 $D_0/dP=1.95$ 、角の半径 5 mm の平底型ポンチを用い、150 t プレスで円筒絞り（しわ押え力 10 t）を行なった。この図から探傷欠陥が長い（探傷欠陥の長さは、探触子を板の長さ方向に移動させて、欠陥エコーがあらわれてから消失するまでの範囲）ほど、またキズエコーが高いほど、プレス後に表面キズとしてあらわれやすい傾向がある。しかし、キズエコー高さだけと表面キズとの間には、Fig. 1 の場合ほどはつきりした関係が認められなかつた。Fig. 2 は同様な試験を板厚 2.3 mm のリムド鋼冷延板について行なった結果であるが、この場合は比較的探傷欠陥が短かくエコーの低いものについても表面キズになりやすい傾向がある。

3.3 バルジ試験値とエコー高さとの関係

Fig. 3 は、板厚 0.8 mm リムド鋼冷延板についてバルジ試験した場合の張出し高さとエコー高さの関係を示している。この図より張出し高さとエコー高さの間には、ばらつきは大きいが見事に相関性が認められる。またバルジ試験後の表面に現われた欠陥箇所とコロイド磁粉探傷による欠陥箇所（超音波探傷位置と一致する）

Fig. 2. Relation between echo height and defective mark caused by press test. (thickness of plate specimen: 2.3mm)

Fig. 3. Relation between echo height and bulge value. (specimen: 0.8mm thickness)

Fig. 4. Relation between echo height and, tensile strength and elongation. (Each mark shows different coil.) (thickness of plate: 0.8mm)

の対応では完全に一致し、欠陥箇所はみみず腫れ状、または微細割れ状となつて現われる。さらに破断の起点はほとんどコロイド磁粉探傷で欠陥模様の鮮明な位置から始まつている。この実験に用いたパルス試験片の寸法は直径 150 mm で、この中の欠陥位置は中心から 0~40 mm の範囲であつた。

3.4 引張り試験値とエコー高さとの関係

Fig. 4 は、板厚 0.8 mm のリムド鋼冷延板についての引張り強さ、伸びとエコー高さとの関係を示す。この図から明らかなように引張り強さ、伸びともにエコー高さとの関係は全く認められない。図中同一符号は、同一コイルの試験値を示している。実験は、欠陥箇所が試験片の中央になるようにして、C 方向の 5 号引張り試験片を作り、これを用いて行なつた。

4. 考 察

4.1 実在欠陥の大きさの数値化について

実在欠陥の大きさを数値化するために超音波探傷によるエコー高さをを用いたが、その妥当性についてはなお十分な検討を要するものと思われる。すなわち超音波探傷には板波を用いるが、エコー高さは板波の性質上そのモード、板厚、実在欠陥の種類、大きさ、形、板厚方向の

位置など多くの要因によつて影響をうけるものと予想され、現在までのところこれらの関係については十分究明されていない。しかし Table 1 およびその他の実験結果から見て、実在欠陥の大きさとエコー高さの間には必ずしも 1 対 1 の対応はつけがたいが、統計的には実在欠陥の大きさをエコー高さで代表して差支えないものと思われる。なお、コロイド磁粉探傷による欠陥模様の濃さを定量化することができれば、実在欠陥の大きさをこの方法で得られた測定値によつて、かなり忠実に数値化できそうである。

4.2 実在欠陥の大きさと加工性について

薄板を加工する場合、実在欠陥は割れまたは表面欠陥として肉眼で観察される。このように加工キズの有無が肉眼の判定に依存するので、実在欠陥の長さがこれを決める重要な因子であることは当然であらう。したがつてプレス試験結果については、エコー高さおよびエコーのあらわれる長さを変数にとり、これと有害度との関係をしらべたが、これらの間にかなりよい対応性が認められた。またパルス試験値は多分に板の中で最も弱い部分の強さに依存すると考えられるので、コロイド磁粉探傷による欠陥模様と破断位置との関係をしらべてみたが、破断の起点はコロイド磁粉探傷で欠陥の鮮明な位置すなわち実在欠陥の最大位置から始まつていて、実在欠陥が加工性におよぼす重要な因子であることが確認された。しかし表面キズ発生の傾向は、実在欠陥が加工歪の大きい位置にあるかないかによつてかなり異なつていた。

一方、パルス張出し高さとエコー高さとの関係は、エコー高さが実在欠陥の平均的な値を示すものであるだけに、その対応性は非常にばらつきの大きいものとなつた。また Fig. 4 の結果から、実在欠陥の大きさは引張強さ、伸びにはほとんど影響しないことがわかつたが、図中伸びで 45% 以下の 5 点は破断面が二枚割れになつて

いて、特に大きい実在欠陥があると伸び値がやや低下する傾向があつた。

5. 結 言

薄板の実在欠陥を非破壊的方法で検出してその大きさを数値化し、これを含む試験片を作つて各種の機械試験を行ない、実在欠陥が絞り加工において表面キズ発生の起点となることを確認し、また引張試験値にはほとんど影響しないことを認めた。

文 献

- 1) 牧野: NDI 資料 3242, (1965)

(討-18) 鋼中非金属介在物と板厚方向引張特性との関係

八幡製鉄, 技術研究所

工博 榎藤 永・佐藤 誠

日吉 末広・〇柳原 瑞夫

Relationship between Nonmetallic Inclusions in Steel and Tensile Properties in Thickness Direction.

Dr. Hisashi GONDŌ, Makoto SATŌ,
Suehiro HIYOSHI and Mizuo SAKAKIBARA.

1. 結 言

非金属介在物が鋼材の使用上有害であるということについては、概念的に介在物周辺における応力集中によつて説明されているが、介在物の種類、分布、形状等の影響について研究された例はみられない。これは介在物が鋼材の不均一性、不連続性として本質づけられているだけでなく、その成因と頻度が、多分に確率的であるため、実態の把握が困難となり、機械的性質との関係がはなはだ不明瞭となるために外ならない。

最近急速に普及した超音波探傷は、非破壊的に内部欠陥の立体的分布を知るために有力な手段であるが、同一の探傷図形でも、その欠陥の本質の異同はもちろん、形状、分布に関しても、ユニークな知見を与えない。まして機械的性質との関係を論ずるには、上述の意味において極めて困難といわざるを得ない。したがつて介在物の種類、分布、形状、頻度等をできるだけ調整した試料を用いた実験が必要となる。

本研究では、上記の意味において人工的に埋込んだ介在物を含む鋼材を用い、厚鋼板の板厚方向の強度におよぼす介在物の影響を、超音波探傷を併用しながら研究し、実際の介在物の場合と比較検討し、さらに実用性を加味した破壊試験を行なったものである。

2. 供試材および実験方法

試料として低炭素リムド鋼ビレットのリム部を、高感度の超音波探傷により欠陥のないことを確かめた上で、 $100 \times 200 \times 200$ mm の素材を採取した。その 200×200 mm の面の中央に垂直に 35 mm 径の孔を約 30 mm の深さに穿ち、さらにその底部に 2 mm 径深さ 25 mm の細い孔をあけた。この部分に別途化学的に調製され、200 mesh に砕いた Al_2O_3 、MnS および $2MnO \cdot SiO_2$ を 80 mesh の鉄粉と各 5, 10, 20% の体積比で混合し

て圧入し、軟鋼で栓をした後、35 mm 径孔の部分を表裏まで肉盛溶接した。この鋼片を $1250^\circ C$ に約 2 hr 加熱し、埋込介在物の長さ方向に直角に圧延空冷した。最終板厚は 25 mm、圧延終了温度は約 $900^\circ C$ 、圧延比 1/8 であつた。

この鋼板試験材を下記探傷条件で超音波探傷し、介在物を含む部分より板厚方向の引張試験片を切出した。

探傷器: 島津 TN54

周波数: 3MC (20 mm 径水晶片トランスデューサー)

探傷感度: 学振 I 型 STB, $V_{17} = 30\%$

探傷法: 一探触子直接触法

上記人工介在物圧入試験片とは別に、成品厚鋼板について超音波探傷結果と引張試験値の異方性との関係を調べ比較検討した。またこれらの試験はいずれも小型引張試験機によつたため、材料の局部的強度しか示さないもので、実用試験の意味を考慮して、内部欠陥を含む厚鋼板の上下板面に垂直に引張部材を溶接した十字型引張試験片を作成し、その強度とも比較した。

3. 実験結果

Fig. 1 および Fig. 2 は、それぞれ超音波探傷の欠陥波高率 ($F_2/B_2\%$) および底面波減衰率 (B_n/B_{n+1}) に対する介在物混合比の影響をしらべたものである。欠陥波に対して Al_2O_3 は他の介在物より影響が非常に少なく、減衰に対してもこの傾向が認められる。MnS と $2MnO \cdot SiO_2$ はいずれの場合も類似した傾向を示している。

Fig. 3 は介在物混合比と板厚方向の引張強さとの関係を示したもので、特に Al_2O_3 は混合比の変化にはほとんど影響をうけないが、MnS と $2MnO \cdot SiO_2$ は混合比の増加につれて同様に強度を低下する。その程度は混合比 10% までは急で、その後ややゆるやかとなる。

Fig. 4 は欠陥波と板厚方向引張強度との関係を図示したもので、波高が高いほど強度が低下し、この関係は介

Fig. 1. Relation between the ultrasonic echo of defect and the inclusion contents.

Fig. 2. Relation between the decrement of ultrasonic bottom echo and the inclusion contents.

Fig. 3. Relation between the tensile strength in thickness direction and the inclusion contents.

在物の種類に関係なく、ほぼ一定の相関を示す。

一方底面波減衰と板厚方向引張強さとの関係は、 Al_2O_3 のみ他の介在物と全く異なった傾向を示している。すなわち Fig. 5 に示すように MnS と $2MnO \cdot SiO_2$ は類似した挙動で引張強さを下げるが、 Al_2O_3 はほとんど影響しない。

同様な実験を成品厚鋼板についても行なった。すなわち板厚 25~78 mm の厚鋼板の超音波探傷位置の板厚方向の引張強度と、欠陥波および底面波減衰との関係をしらべたところ、前者については Fig. 4 とよく一致した結果を得たが、後者については明瞭な相関性が認められ

Fig. 4. Relation between tensile strength in thickness direction and defect echo for MnS and Al_2O_3 .

Fig. 5. Relation between tensile strength in thickness direction and decrement of bottom echo for MnS and Al_2O_3 .

なかった。

また欠陥を含む厚鋼板の実用性試験の一つとして、十字型溶接継手引張試験を行なった結果、強度に対して介在物のマクロ的な歪がりの影響が大きく、局部的な介在物の分布や密度は二次的効果としてきくことがわかった。

4. 考 察

人工介在物試料の作製に当って、混合比を体積比であらわした理由は、機械的性質に対する影響が主として形

状効果であるためと、混合比が一定であれば、学振法で測定した介在物清浄度も一定になるという理由によるものである。

欠陥波高に対して Al_2O_3 のみが鈍感であつたことは、 Al_2O_3 が圧延で変形しにくく断続して散在するために、超音波が散乱されて欠陥波を明瞭に形成しないためと考えられる。これに対して、 MnS および $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$ はいわゆる A 系統の伸びやすい介在物であるため、界面が平滑で広く、超音波の反射が散乱されずに行なわれるためであろう。底面波の減衰に対しては上記と異なり、 Al_2O_3 でもかなりの影響を与えるが、やはり断続しているために、他の介在物より影響が少ないものと考えられる。

板厚方向の引張強度に対する影響は、主応力の方向が超音波の方向と一致するので、当然超音波探傷図形との相関が予想される。特に Fig. 4 の欠陥波高は明瞭な相関性を示しているが、減衰の場合は Al_2O_3 のみ別な関係となつている。これは面積率が一定なら、界面が平滑で広い介在物のほうがその両端における応力集中度が高く、同時に欠陥波高も高くなる傾向と一致するため、減衰についてはこのような傾向の一致がみられないために相関性は異種介在物の場合異なってくるものと推察される。

音響インピーダンス、密度、ヤング率等の影響も、上記欠陥波高の検討において考慮されねばならないが、それぞれの介在物における物性常数が不明なので、今後さらに研究を要する。また圧延温度、圧延比、素材の材質等の影響についても今後検討を要する問題であろう。

5. 結 言

人工的に介在物を埋込んで圧延した厚鋼板の超音波探傷と板厚方向の引張試験を行ない、圧延で伸びやすい MnS と $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$ は欠陥波高が高く、引張強さを低下し、 Al_2O_3 は伸びがいたために欠陥波が小さく、引張強さを低下しないことを認めた。この関係は成品鋼板でも認められた。また実用性試験の意味で、十字型溶接継手引張試験を行ない、介在物の拡がり問題であることを認めた。

(討-19) 人工的に挿み込んだ介在物と鋼の機械的性質

富士製鉄，中央研究所

工博 小池与作・○小泉真人・工博 古川 敬
Effect of Artificial Inclusions upon Mechanical Properties of Steel.

Dr. Yosaku KOIKE, Mahito KOIZUMI
and Dr. Takashi FURUKAWA.

1. 緒 言

非金属介在物と鋼の機械的性質との関係についての報告はかなり多いが、定量的に明確な結論が得られていない。その一因は、現象に対する要因数がありにも多く、介在物のみに関する単一因子を独立に変える実験が実際上困難なことである。この観点から、本研究では試験鋼種として Si-Mn 系低合金鋼を用い、介在物の量および種類のみを独立に変え、他の条件を均一に揃えた試料を製作し、その存在状態を確認して、機械的性質と介在物条件との関連をできるだけ明確にしようと試みた。

2. 実験方法

試料調整法の特徴は 2 個の鋼片間に希望する介在物粉末を散布させて挿み、熱間圧接して試験片素材を得たことである。散布した介在物の分布は試験片の表面にまで達している場合と介在物が中心線付近のみに存在して、表面にはおよんでいない棒材の場合の 2 通りをえらんだ。Table 1 に供試鋼材の成分ならびに清浄度、結晶粒度を示し、Table 2 に挿み込んだ介在物とそれ等の介在物を挿んで熱間圧接して作った素材を示す。Fig. 1 はこれらの素材および各種試験片の製造法並びに切出し方向を図解したものである。まず挿み込んだ介在物が試験片の表面にまで達している場合について述べる。Table 2 に示したように試験介在物は 3 種類で、それぞれ平均粒径 50μ 程度および 5μ 程度のものについて試み、しかも各場合において比較的密に散布した場合、および粗く散布した場合について実施した。介在物試薬を均一に散布した面を内側にして鋼片を重ね、周囲を溶接し、 1200°C に加熱の後、プレスにより境界面に垂直に加圧、圧接して 20 mm 厚の板状試料 (圧下率約 70%) を得た。比較のために、介在物を散布せず単に熱間圧接した試料と、さらに原鋼材そのままを 1200°C で熱間プレスした試料をも準備した。引張および衝撃試験片は Fig. 1 に示した以外に同図の Z 方位を長手方向とした試片も切出したが、この場合に長さが不足するので同鋼種を溶接して延長した。次に介在物が中心線付近のみに存在して、表面にまで達していない場合の試片の製造もほとんど

Table 1. Steels used for specimens.

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	After made up	
								Cleanliness*	Ferrite grade
Press-welded	0.17	0.38	1.47	0.01	0.01	0.11	0.006	0.062	8.5
Press-welded and rolled	0.22	0.97	1.44	0.01	0.01	0.10	0.036	0.092	10

* Determined by point counting method.