

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系と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)}の比をとった場合、約3以下で表われるといわれており⁵⁾、厚み10 μ の介在物では0.015mm以内、厚み20 μ 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。いままで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かめる方法がなかつたためと思われる。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 超音波板波探傷法

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

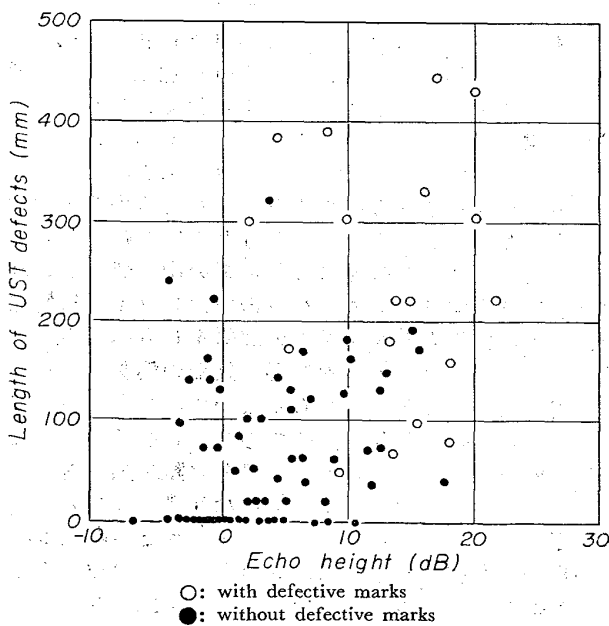


Fig. 1. Relation between echo height and defective mark caused by press test. (thickness of plate specimen: 0.8mm)

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 D₀/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) を行なつた。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つた結果であるが、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、ばらつきは大きい明らか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個所とコロイド磁粉探傷による欠陥個所 (超音波探傷位置と一致する)

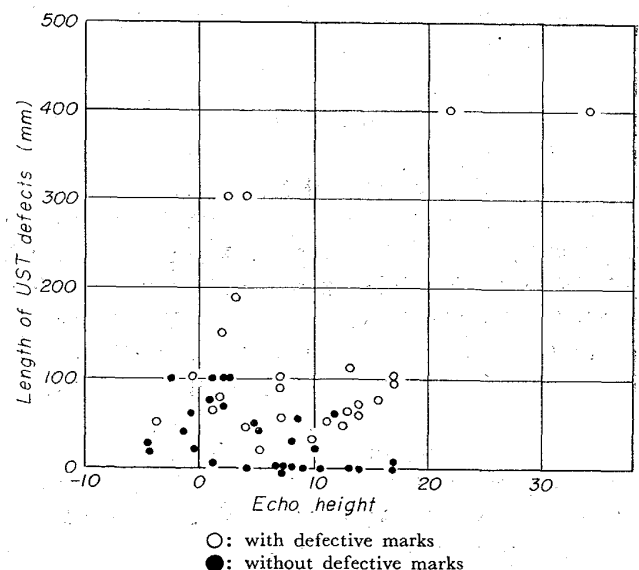


Fig. 2. Relation between echo height and defective mark caused by press test. (thickness of plate specimen: 2.3mm)

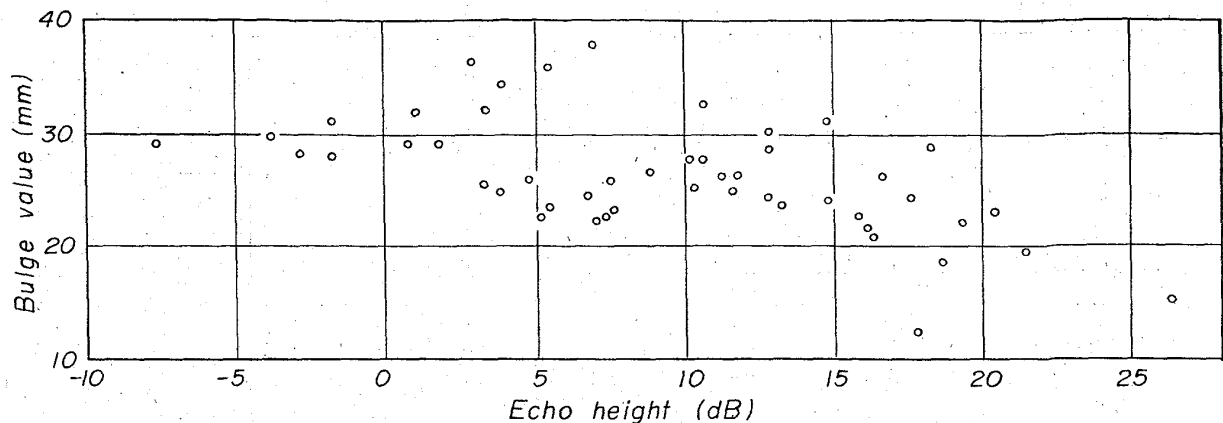


Fig. 3. Relation between echo height and bulge value. (specimen: 0.8mm thickness)

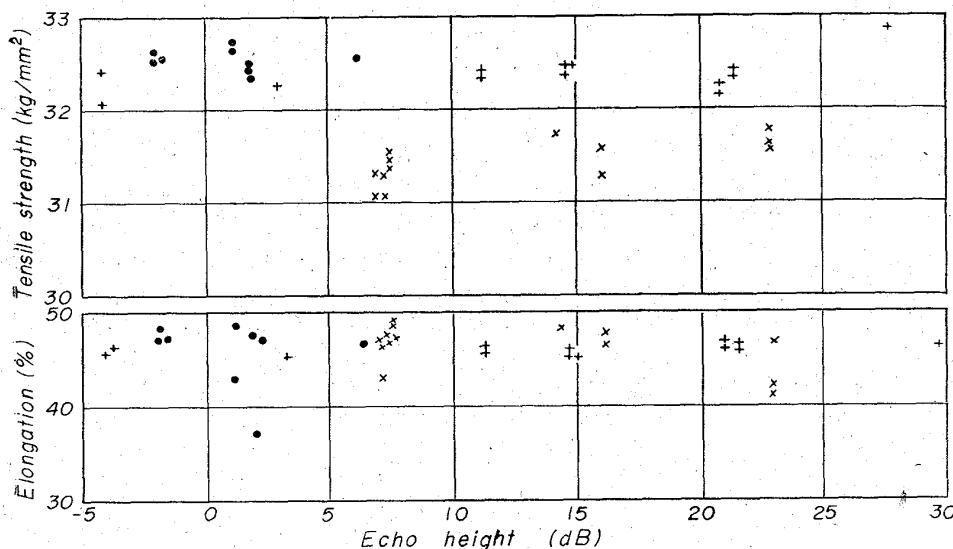


Fig. 4. Relation between echo height and, tensile strength and elongation. (Each mark shows different coil.) (thickness of plate: 0.8mm)

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ジ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害度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ろう。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。またパルジ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、パルジ張出し高さとは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り強さ、伸びに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・○榊原 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つたものである。

2. 供試材および実験方法

試料として低炭素リムド鋼ピレットのリム部を、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、100×200×200 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 Al₂O₃, MnS および 2MnO·SiO₂ 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 径孔の部分を書面まで肉盛溶接した。この鋼片を 1250°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°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, V₁₇=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 (F₂/B₂%) 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 Al₂O₃ 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·SiO₂ 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 Al₂O₃ は混合比の変化にほとんど影響をうけないが、MnS と 2MnO·SiO₂ 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

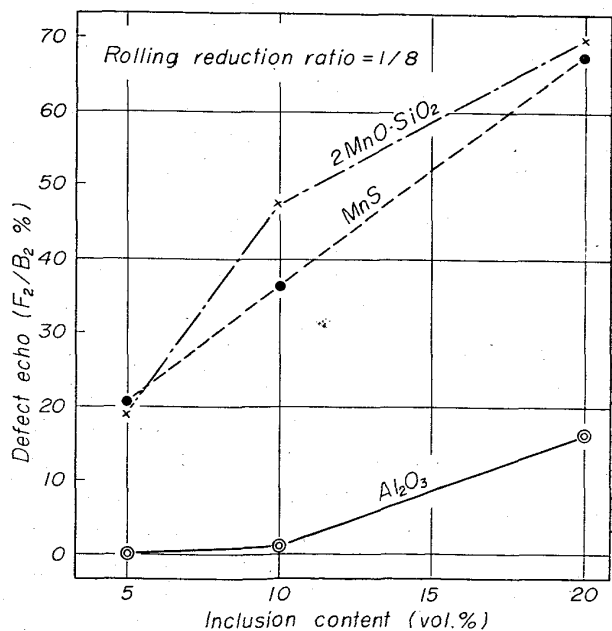


Fig. 1. Relation between the ultrasonic echo of defect and the inclusion contents.