

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 SATŌ,
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

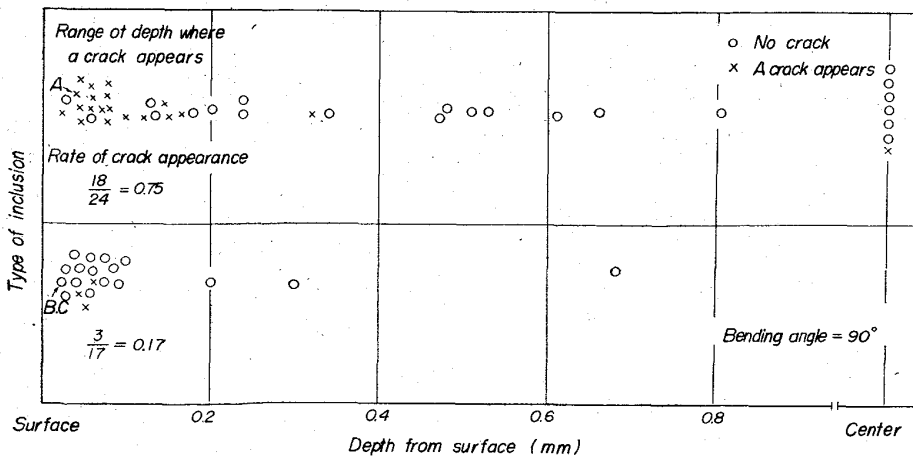


Fig. 1. Relation of bending formability and non-metallic inclusions with mild carbon semikilled steel sheets.

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変えるため、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

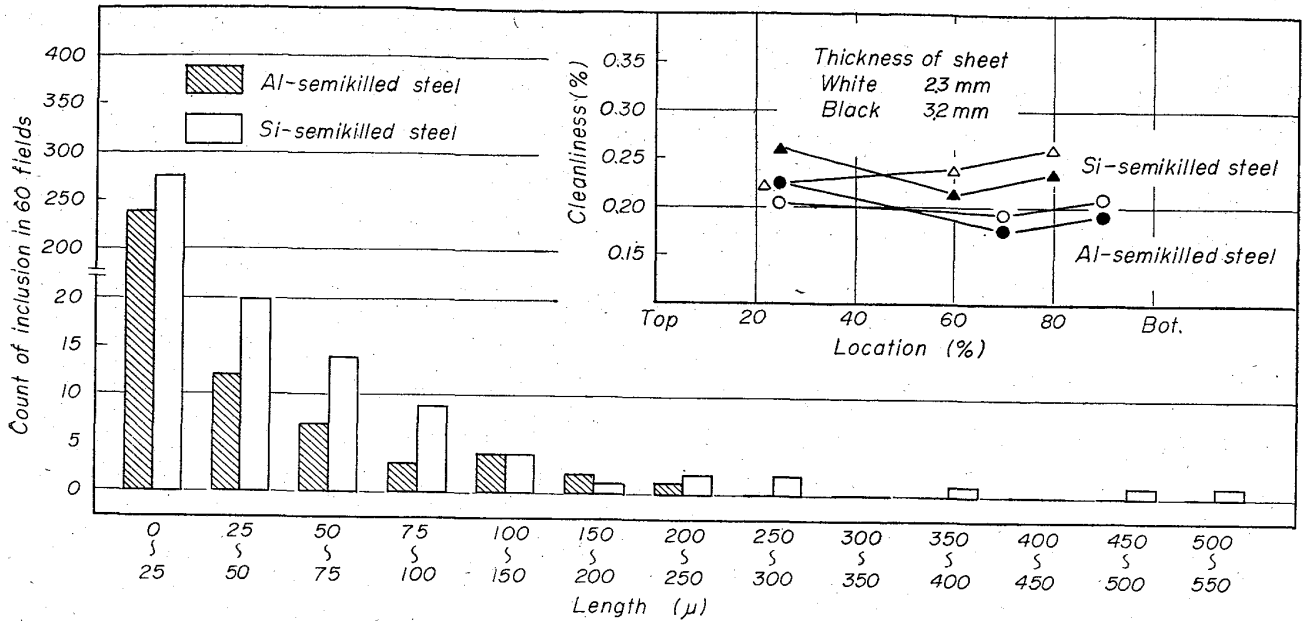


Fig. 2. Cleanliness and distribution of non-metallic inclusions classified by size.

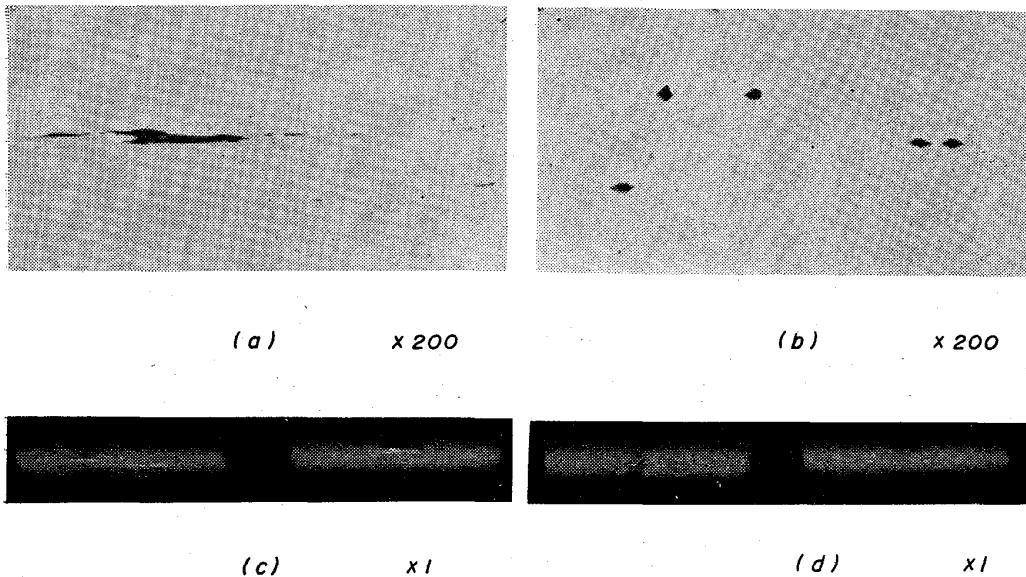


Photo. 1. Typical inclusions and results of bending test of semikilled steel.(4/5)

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

0.5 t 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 2.3 mm のときは、アルミセキルド鋼板もシリコンセ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 3.2 mm になると 160° 曲げでは 2.3 mm 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。

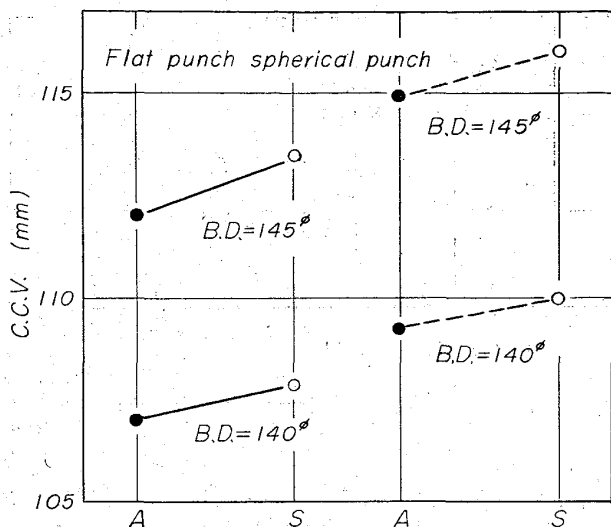
3.2.3 コニカルカップ試験

50 mm φ の平底ポンチと 50 mm φ の丸底ポンチを用いた 3.2 mm 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 145 mm の場合に、平底ポンチでおよそ 1.5 mm、丸底ポンチでおよそ 1.1

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