

軟鋼板の深絞性と異方性*

三橋 鉄太郎**・木村 勝美†・細井 祐三†

ON DEEP-DRAWABILITY AND ANISOTROPY OF MILD STEEL SHEETS

Tetsutaro Mitsuhashi, Katsuyoshi Kimura and Yuzo Hosoi

Synopsis:

The study was carried out to get correlation between deepdrawability and anisotropy of mild steel sheets for deep drawing.

Armco, Al-killed and rimmed steel sheets were used for samples. Deep-drawability of sheets was measured by Erichsen test and tension test, and anisotropic degree was estimated by observation of the ear-height which was formed in cupped specimen, types of magnetic torque curve and its harmonic coefficient, and directionality of strain in tension test.

The results obtained were as follows:

i) Generally, Armco sheet had the best deep-drawability and rimmed sheet had the worst, whereas anisotropic degree of Armco-sheet was the highest and that of rimmed sheet was in the least.

ii) On cupping all specimens as received state, 4 ears were formed. Two of them form in the rolling direction and others form in cross rolling direction.

Magnetic torque curves of them showed that preferred crystallographic orientation was (100)-[011].

When test specimens were strained up to maximum load in simple tension test, width strain (the percentage contraction in the width dimension) was larger than thickness strain, and the ratio of width strain to thickness strain of specimen which is taken in the parallel to rolling direction was larger than that of specimen which was taken in 45° to rolling direction.

iii) The changes of anisotropies did not occur when specimens were annealed at 650°C or 820°C for 20min, but they almost disappeared when specimens were annealed at 950°C above A_3 point for 20 min.

iv) Erichsen values of Armco, Al-killed and rimmed sheets as received state were 11.2, 10.2 and 9.3 respectively, and elongation percentages were 46.6, 41.4 and 34.5 respectively.

In Armco and Al-killed sheets which were annealed at 950°C for 20 min, Erichsen value dropped 6~8%, elongation percentage dropped 6~7%, and tensile strength rose 8~10% comparing with them as received state.

Nevertheless these phenomena did not appear in rimmed sheets. It seemed that these were related to the experimental results that the AlN in Al-killed steels (both Armco and Al-killed sheets) was increased as they were annealed at 950°C. In Al-killed steel, such heat treatment that eliminated anisotropy would cause precipitation of AlN and deteriorate deep-drawability

I. 緒 言

強度に圧延された金属板は圧延聚合組織を有し、これが種々の異方性を金属材料にあたえることは周知の事実である。かかる異方性は深絞の際に耳を形成するので嫌われており、耳形成の機構あるいは形成の防止に関してはKaiser¹⁾以後各種の金属について数多くの報告があり最近では、たとえばAl板については麻田氏²⁾³⁾等の、極軟鋼板については五弓氏など⁴⁾の報告がある。

一般に深絞性良好というには耳を形成しないことと同時にエリクセン値が高いこと、伸びがよいこと、しわを発生しないこと等がのぞまれているが、従来の研究では耳

の形成防止に主眼がおかれ、深絞性をあらわす他の要因については同時にふれていない。しかるに最近 W. T. Lankford 等⁵⁾は深絞用極軟鋼板の異方性と深絞性との関係をもとめ、実際の深絞作業にあたっては異方性の大きい方が深絞性良好であることを報告し、特に磁気トルク計で求めたトルク曲線の型——圧延聚合組織と関連をもつ——により深絞性の良否が判断できるとのべている。

以上の観点から本実験は内外の代表的高級仕上鋼板を試料として深絞性と異方性との関係を中心に、それら鋼

* 本会第51回講演大会(昭31年4月3日)にて発表

** 科学技術庁金属材料技術研究所, 工博

† 同上 研究所

板の特性を比較検討したものである。

II. 実験試料

供試料はアームコ製 (Sample A) および国産の市販の Al キルド (Sample B) ならびにリムド (Sample C) の高級仕上鋼板を用いた。Table 1 の分析結果に見るごとく、アームコ、Al キルド鋼には AlN が含まれリムド鋼にはほとんどなく、その他の成分があまり変わらないことから考えてアームコ鋼板も Al キルド鋼であろうと推察される。本表に示した成分の他 Ni, Cr, V の分析を行つたがいずれも痕跡程度であつた。

III. 実験方法

i) 異方性の測定

異方性の測定は福井式コニカル・ダイ⁶⁾によるカップピング試験、磁気トルク測定、引張試験を行い深絞異方度⁷⁾ 磁気異方度、引張異方度をそれぞれつぎのごとく定義してこれをもとめた。

深絞異方度 D_d

カップピング試験の結果できるカップの縁の耳の平均高さ h_m をもとめて

$$D_d = h_m / D_0 - d_2$$

ここに

D_0 : 試験片の最初のプランク直径 (mm)

d_2 : ダイスイ孔径 (mm)

耳の平均高さをもとめるには Fig. 1 に見るごとく水平面内に回転しうるステージ S の中央にカップ C をのせ (本実験の場合は顕微鏡のステージを利用) これを側方より望遠鏡 T で覗き、耳の山と谷の高さの差を支柱 B に付した目盛 (1/100mm まで測定可能) でよみとり求めた。この際、圧延方向ならびにそれと直角方向に耳を生じる場合を正とし、45° 方向に生じる場合を負とした。

磁気異方度 A_1, A_2

磁気トルク計を Williams⁸⁾ および理工研岡氏のものをも参考にし試作した。Fig. 2 はその概要を図示したもので、これにて磁気トルク曲線をもとめ、磁気異方度として Tarasov⁹⁾ の調和係数を用いることにした。すなわち Fig. 3 のごときトルク曲線を次式のごとく展開する。

Table 1. Chemical composition of the specimens tested.

Sample	C	Si	Mn	P	S	Cu	N	N as AlN
A (Armco)	0.05	0.01	0.33	0.005	0.018	0.04	0.0059	0.0026
B (Al-Killed)	0.05	0.01	0.34	0.010	0.020	0.07	0.0051	0.0013
C (Rimmed)	0.05	0.01	0.26	0.017	0.026	0.17	0.0035	tr.

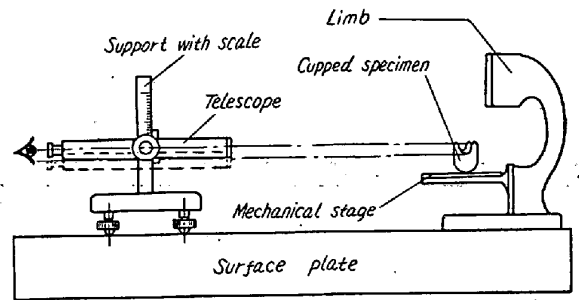


Fig. 1. Apparatus to measure ear-height of the cup.

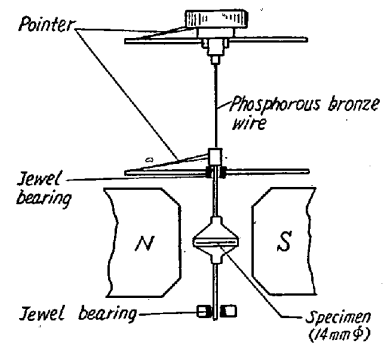


Fig. 2. The outline of magnetic torque meter.

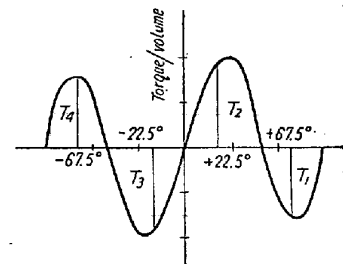


Fig. 3. Model of magnetic torque curve.

$$T = A_1 \sin 2\theta + A_2 \sin 4\theta + B_1 \cos 2\theta + B_2 \cos 4\theta$$

Tarasovによれば \cos の項は非常に小さく省略できる。ゆえに

$$T = A_1 \sin 2\theta + A_2 \sin 4\theta$$

今 T_1 : +67.5° におけるトルクの値

T_2 : +22.5° におけるトルクの値

T_3 : -22.5° におけるトルクの値

T_4 : -67.5° におけるトルクの値

とおけば

$$A_1 = \frac{(T_2 - T_3) - (T_4 - T_1)}{\sqrt{8}}$$

$$A_2 = \frac{(T_2 - T_3) + (T_4 - T_1)}{4}$$

この調和係数 A_1, A_2 を磁気異方度とした。鉄の圧延聚合組織の主方位は $(100) - [011]^{10)}$ であり、鉄の単結晶のかかる方位にはたらく磁気トルク T_s は次式にて

$$T_s = \frac{K}{2} \sin 4\theta^{11)}$$

K : 異方性常数

示されるので、圧延板の結晶が主方位によくならぶほど磁化トルク曲線は $\sin 4\theta$ の型にちかづき、 A_2 は大きく A_1 は小さくなる。すなわち A_2 と A_1 により異方性の程度を半定量的に知りうる。

引張異方度 D_{11}, D_{12}

JIS 5号試験片による引張試験を行い福井教授などが耳の形成と関連を持つと指摘した引張異方度、Lankford などが深紋性を示す一つの尺度として用いた R_L 値より考察して、引張異方度として次式のごとき D_{11}, D_{12} を用いた。

$$D_{11} = \frac{(e_2/e_3)_0 + (e_2/e_3)_{45}}{2}$$

$$D_{12} = \frac{(e_2/e_3)_0}{(e_2/e_3)_{45}}$$

ここに

e_2 : 最高荷重時の巾方向の圧縮歪

e_3 : 最高荷重時の厚方向の圧縮歪

()₀: 圧延方向と平行に切りとつた試験片

()₄₅: 圧延方向と 45° をなす方向に切りとつた試験片

この場合、圧延方向と直角に切りとつた試験片の挙動は従来の報告¹²⁾によると圧延方向のものとはほとんど変わらないのであえて試験しなかつた。

ii) 深紋性の測定

深紋性の測定には JIS によるエリクセン試験および 5号試験片の引張試験による伸び率などにより検討した。

以上の試験により現われる異方性を変化させ、その時々々の深紋性を検討するために (1) 熱処理せず (as received) の状態 (2) 650°C×20mn 焼鈍 (3) 820°C×20mn 焼鈍 (4) 950°C×20mn 焼鈍の 4 処理をおこなつた。

IV. 実験結果および考察

i) 各鋼板の深紋性と異方性の比較

供試材を as received の状態で試験し、深紋性と異方性をもとめた結果をまとめると Table 2 をえる。

深紋性を示すエリクセン値、伸び率などを比較する

とアームコ鋼板がもつともすぐれ、A1 キルド、リムドの各鋼板の順であるが、異方性はリムド鋼板がもつとも小さいようである。すなわち各鋼板ともカップンダ試験の結果は圧延方向ならびにそれと直角方向に合計 4 個の耳を生じ、深紋異方度はアームコ鋼板がもつとも大きく、A1 キルド、リムド両鋼板は差がないが、引張異方度により比較するとアームコ、A1 キルド鋼板はリムド鋼板より引張異方度が大きく異方性のよりいぢるしいことがわかる。これは Fig. 4 の磁気トルク曲線からも考察され、本実験の結果では、前 2 者の方がリムド鋼板に比し結晶が $(100) - [011]$ の主方位によくそろつていることをしめしているようにおもわれる。Lankford などのトルク曲線の型と深紋性の良否の関係を過用すればアームコおよび A1 キルド鋼板のトルク曲線はもつとも深紋性良好の型 (A 型) に属し、リムド鋼板のそれはさして良好とはいえない型 (A' 型) に属する。

Table 3 は引張試験の際にあらわれた異方性をしめたもので、 e_2/e_3 を見ればわかるごとく一般に巾方向の圧縮歪は厚き方向の圧縮歪より大きく、しかもそれ等の比は圧延方向にきりとつた試験片の方が 45° 方向にきりとつた試験片より大きい。換言すれば圧延方向の

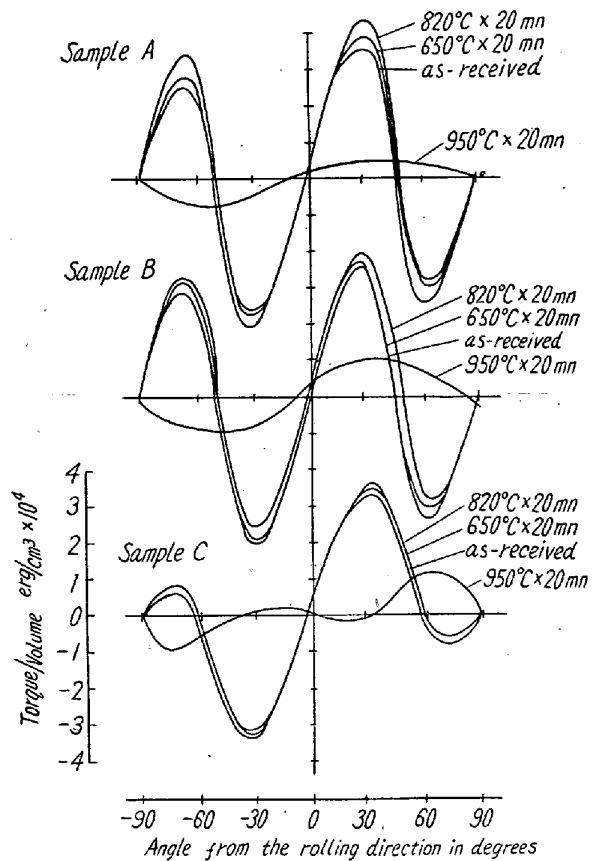


Fig. 4. Changes of magnetic torque curves, resulting from heat treatments.

Table 2. Deep-drawability and anisotropic degree of as-received sheets.
(Thickness of sheets: A 1.02, B 0.83, C 0.78 mm)

Sample	Deep-Drawability		Anisotropic degree					Tensile strength kg/mm ²	Micro-vickers hardness	Ferrite grain size
	Erichsen value mm	Elongation %	D_d	A_1	A_2	D_{t1}	D_{t2}			
A	11.2	46.6	0.13	+0.1	+3.3	1.38	0.65	30.6	114	6.3
B	10.2	41.4	0.07	+0.02	+3.2	1.59	0.64	33.5	118	7.5
C	9.3	34.5	0.07	+1.4	+1.8	1.20	0.85	35.4	125	7.8

Table 3. Anisotropy of as-received sheets in test.

Sample	Rolling direction			Direction of 45° from rolling direction		
	$(e_2/e_3)_0$	Elongation %	Tensile strength kg/mm ²	$(e_2/e_3)_{45}$	Elongation %	Tensile strength kg/mm ²
A	1.67	49.6	30.4	1.09	43.5	30.8
B	1.94	41.9	33.1	1.24	41.0	33.8
C	1.29	36.5	35.2	1.10	32.5	35.5

方が 45° 方向よりも伸びやすい。このことは伸び率および引張り強さにも幾分その傾向があらわれている。Lankford 等は圧延方向にきりつつた試験片の巾方向と厚さ方向の圧縮歪の比が 1.50 以上の鋼板は大部分が深絞性良好であったとのべている。

ii) 異方性の変化

熱処理にともなう各種異方性の変化を図示すると Fig. 5 のごとくなる。Fig. 4 は磁気トルク曲線の変化をしめたものである。以上を総合して考察すると、650°C × 20mn, 820°C × 20mn 焼鈍のものはいずれも熱処理をほどこさない場合と同様強い異方性をしめす。すなわち、耳の形成状況引張異方度、トルク曲線などほとんど変化がない。しかしこの異方性をもつ鋼板を A_3 点をこ

えて 950°C × 20mn 焼鈍をするといちぢるしい変化をおこし変態により結晶の選択方位が乱れ異方性はほとんど消失する。すなわち耳は形成されず ($D_d = 0$) 引張異方度は 1 に近づき圧延方向、45° 方向における圧縮歪は差が少なくなり、トルク曲線もそれに応じて変化し磁化異方度は小さくなる。このトルク曲線の変化の内容は今後なお検討を要する問題であると考えられる。

iii) 深絞性の変化

熱処理にともなうエリクセン値の変化、機械的性質の変化を Fig. 6 にしめす。これからわかるごとく Al キ

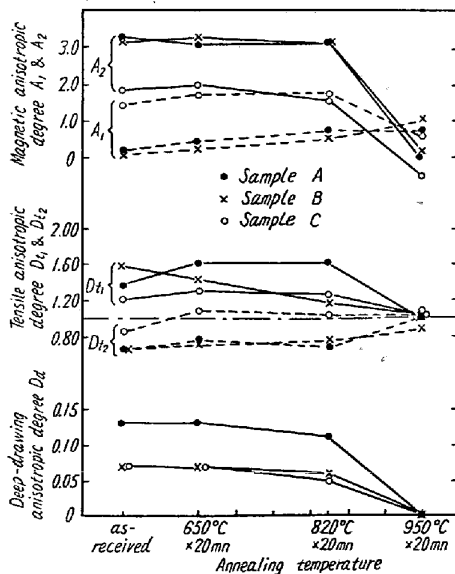


Fig. 5. Changes of various kinds of anisotropy resulting from some heat treatments.

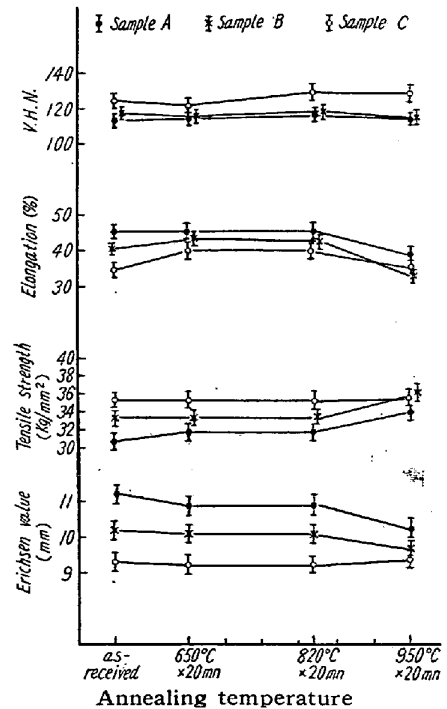


Fig. 6. Changes of mechanical properties resulting from some heat treatments.

リムド鋼板 (アームコ鋼板をふくめて) は 950°C に 20mn 焼鈍するとエリクセン値は $6\sim 8\%$, 伸び率は $6\sim 7\%$ 低下し, 引張強さは $8\sim 10\%$ 高くなる. リムド鋼板はキルド鋼板に比しエリクセン値, 伸び率は低く, 引張強さは高いがかかる現象はみられなかった. また硬度 (微小硬度計使用) は各鋼種とも熱処理による変化はみとめがたかった. この場合の引張強さ, 伸び率は圧延方向の試験片と 45° 方向の試験片の結果の平均である.

かようにキルド鋼はリムド鋼とことなり, 異方性の変化と対応し異方性が消失する熱処理をほどこすと反つて深絞性が悪くなる. そこでキルド, リムド両鋼の性質の相違を本質的に左右するものと考えられている N, AlN の挙動を検討するため, ハロゲンエステル法により分析を行った. Fig. 7 の結果のごとく 950°C に焼鈍されたキルド鋼の AlN は他の条件の場合に比し増加している. AlN を含有していないリムド鋼では深絞性に変化がないことから考えて, キルド鋼の場合には異方性を消失させるごとき焼鈍温度では AlN が増加し反つて深絞性を低下させることになると思われる.

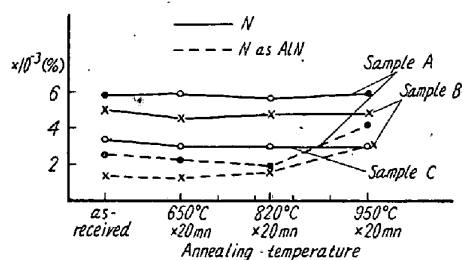


Fig. 7. Changes of contents of N and N as AlN in Al-killed and rimmed steels for deep-drawing resulting from some heat treatments.

V. 総括

深絞用高級仕上鋼板の深絞性と異方性との関係を明らかにすることを目的としてまづ内外の代表的深絞用鋼板の特性を検討した結果つぎのことが判明した.

i) 圧延聚合組織の原因する極軟鋼板の異方性の程度をしめすために, カッピング試験の際の耳の形成状態から福井教授などの定義した深絞異方度をもとめ, また引張試験の場合の最高荷重時における巾方向と厚さ方向の圧縮歪の比から引張異方度を計算し, また磁気トルク曲線における Tarasov の調和係数を磁気異方度とした. これらの異方度の値はいずれも相関連して変化し, 極軟鋼板の異方性の程度をあらわす尺度として用いられる.

ii) 熱処理をほどこさない場合 (as received の状態)

には Al キルド鋼板 (アームコ鋼板もふくめて), リムド鋼板ともに強い異方性をしめし, カッピング試験の結果圧延方向ならびにそれと直角方向に合計 4 個の耳を生じた. また磁化トルク曲線は結晶の主方位が $(100) - [011]$ であることをしめし, 引張試験の際の巾方向の圧縮歪は厚さ方向の圧縮歪より大きく, これらの歪の比は圧延方向にきりとつた試験片の方が 45° 方向にきりとつた試験片より大きい.

iii) $650^{\circ}\text{C} \times 20\text{mn}$, $820^{\circ}\text{C} \times 20\text{mn}$ の焼鈍をおこなつても上の結果とあまり変化がないが, A_3 点以上の $950^{\circ}\text{C} \times 20\text{mn}$ の焼鈍をおこなうと異方性におおむね消失する.

iv) 深絞性をしめすエリクセン値, 伸び率を比較するとアームコ鋼板がもつともすぐれ, Al キルド, リムド鋼板の順であるが, 異方性はリムド鋼板がもつとも小さかった.

v) アームコ, Al キルド鋼板は $950^{\circ}\text{C} \times 20\text{mn}$ の焼鈍により, as received の状態にくらべてエリクセン値が $6\sim 8\%$, 伸び率が $6\sim 7\%$ 低下し, 引張強さは $8\sim 10\%$ 高くなつたが, リムド鋼板にはかかる現象はなかつた. この現象は Al キルド鋼板に含有される AlN が $950^{\circ}\text{C} \times 20\text{mn}$ の焼鈍により増加することとも関連していると思われる.

極軟鋼板の深絞性は多くの因子に影響されるので以上の現象の簡単な説明は困難であるが, もし, エリクセン値で深絞性を代表させうるものとするれば, キルド鋼では異方性の大きい場合に深絞性が良好でありうる. キルド鋼の場合には異方性を消失させるごとき熱処理を行うとかわつて深絞性を損うようであるが, これは AlN の増加によるものと考えられる. 良好な深絞性をうるためにもつとも適当な熱処理をほどこした結果として Lankford 等のいう磁気トルク曲線の A 型が求められるものと考ええる.

本実験遂行にあたり, 磁気トルク計の設計製作に適切な助言と援助をくださった東大阿部助教授, 同理工研田岡氏, 学習院大近角教授, 福井式コニカル, ダイ製作に有益な御意見をくださった理工研福井研究室の諸氏, アームコ鋼板の入手に便宜をはかられたいすず自動車中村義雄課長にあつくお礼申し上げますとともに, 終始熱心に実験に協力された機械試験所池田定雄氏に深く感謝する. 終りに本研究は著者等が機械試験所に勤務中同所で行われたものであることを附記する.

(昭和 33 年 3 月寄稿)

文 献

- 1) Kaiser K.: Z. Metallkde, (1927), 19, 435

- 2) 麻田, 田中: 理工研報告, (昭23), 2, 140
 3) 麻田, 田中, 小池: *ibid* (昭26), 5, 149, 159, 235
 4) 五弓, 高橋: 自動車技術会第4回鋼板委員会資料 (昭24, 7)
 5) W. T. Lankford, S. C. Snyder, J. A. Basher: *Trans. A.S.M.* (1950), 42, 1197
 6) 福井, 工藤, 吉田, 大川: 理工研報告 (昭 27), 6, 351
 7) 福井, 工藤: *ibid* (昭 25), 4, 33
 8) H. J. Williams: *Rev. Sci. Inst.* (1937) 8, 2, 56
 9) L. P. Tarasov: *Trans. A.I.M.E.* (1938) 131 353
 10) C. S. Barrett: *Structure of Metals* (1943) 395
 11) R. M. Bozorth: *Phy. Rev.* (1936), 50, 1076
 12) C. A. Edwards: *The Structure and Properties of Mild Steel* (1953) 185

鋼浴中の酸素分析試料採取法に関する研究*

前川 静 弥**・中川 義 隆***

STUDY ON THE METHOD OF TAKING A SAMPLE FOR DETERMINATION OF OXYGEN IN MOLTEN STEEL

Shizuya Maekawa and Yoshitaka Nakagawa

Synopsis:

The method of taking a sample for determination of the oxygen in steel fresh from the furnace has not yet been established, although it has been the target of discussions.

This report treats of the results of the study conducted on vacuum sampling method which is almost perfect and comparatively simple in operation.

The sampler for vacuum sampling method is as shown in Fig. 3 and 4 and Photo. 1, and suction tube of the sampler has been made vacuum with its tip prepared as shown in Fig. 1

In case of determining oxygen content in steel in an acid open hearth furnace, vacuum sampling method has been closely similar with bomb method but apparently different from casting method, which has generally shown higher value.

While in case of a basic open hearth furnace, vacuum sampling method has shown a lower value than the cases of bomb method, suction method and casting method.

It is difficult to draw a conclusion from the experimental results because the amount of gas released during solidification of molten steel is variable with its chemical components, temperature and solidification condition. It is presumed that some amount of gas may be released when carbon content in molten steel is medium and silicon and manganese contents are low, but in most cases the amount of gas released has been within analytical error.

I. 結 言

鋼の精錬過程における鋼浴中の酸素を迅速正確に定量することは精錬作業の管理および製鋼反応機構の解明などに基本的な重要問題である。しかるに鋼中の酸素定量方法が最近いちぢるしく改善向上し正確かつかなりの迅速速度をもつて定量しうようになつたにもかかわらず精錬過程における鋼浴中の酸素含有量を正確にしめす分析試料の採取方法が確立されていない状況である。従来

鋼浴中の酸素分析試料採取法に関しては多数の研究が発表されているが炉内から直接採取する方法と柄子にて一旦炉外に汲出してから鑄型に鑄込むかあるいは吸引する方法とに大別しうる。

前者には Hare, Peterson & Soler¹⁾ 小林, 木村両

* 昭和 32 年秋本会講演会に発表

** K.K. 日本製鋼所, 室蘭製作所 研究部 理博

*** " " 研究部