

論 文

UDC 621.762 : 669.14-415 : 621.762.242 : 66.092.5 : 539.3/.4

脈石成分含有の焼結鉄圧延板の機械的性質*

鈴木 良和**・佐山 惣吾***・西田 恵三****

Mechanical Properties of Sintered Iron Sheets Containing
Reduced Iron Powder with Gangue

Yoshikazu SUZUKI, Sogo SAYAMA, and Keizo NISHIDA

Synopsis:

In order to estimate the possibility of utilization of reduced iron powder produced by a fluidized bed, an examination was made on the effect of gangue minerals in iron ore on the mechanical properties of sintered iron sheets which contained various oxides of the gangue. Reduced iron powder was carefully mixed with pure iron powder up to 50%. The mixed powder was sintered at 850°C or 900°C for 1 h in hydrogen after pressing, and then rolled and annealed.

The effect of gangue oxides dispersed in the sintered iron sheets on the mechanical properties was examined. As the content of oxides in the sheets increased, the yield stress and tensile strength increased, but the elongation decreased. After a high temperature annealing in hydrogen, its elongation was improved because of the decrease of oxygen content in iron sheets, while the strength decreased owing to the reduction of oxides during heat treatment in hydrogen.

These oxides of gangue minerals in iron ore changed into glassy ones during reduction. The oxide layers were found to be parallel to the rolling face in iron sheet. These gangues contained in the sintered iron sheet are effective to increase the tensile strength of the sheets produced at lower temperatures. This is seemed to come from the reason that these oxides are crushed and become to be fine particles in the matrix during the rolling.

1. 緒 言

一般に粉鉄鉱石を水素で流動還元して得られる還元鉄粉には脈石成分が含まれ、粉末冶金用原料として使用する場合これら成分の分離が問題と¹⁾なる。これら脈石成分を含んだ還元鉄粉の利用を目的として、前報²⁾では純鉄粉に試薬のシリカまたはアルミナの粒径の異なるものをそれぞれ混合した焼結鉄板の製造と、その機械的性質について報告した。そこでは、これら板材の分散強化ならびに集合組織の変化に対して効果的に影響をおよぼすのは、酸化物成分の違いよりも酸化物粒子の大きさの相違による効果が著しいことが認められた。ひきつづき本報では、脈石成分を含む還元鉄粉の粉末冶金用原料の一部代替えという実用的な観点から、ヘマタイトと純鉄粉を混合したもの、ならびに異種酸化物を純鉄粉に混合して酸化したものとを比較しながら、還元鉄粉を純鉄粉に

混合した場合について得られた焼結鉄圧延板における脈石成分の存在状態、ならびにこれらが板材の機械的性質におよぼす影響について検討した。

2. 実験方法

使用したヘマタイトは純度 99.9 wt%, -325 mesh の試薬であり、異種酸化物として粒径約 2 μm の α -シリカ、 α -アルミナの試薬を用いた。鉄鉱石はインド産(デンボ)のもので粉碎後 30~60 mesh に篩分け、これを常圧または高圧の流動層で水素中において 775°C, または 800°C で 30 min 還元した還元鉄粉を試料とした。得られた還元鉄粉(脈石含有量: 10.5 wt%) および混合用の市販の市販のカルボニル鉄粉の化学成分ならびに平均粒径を Table 1 に示す。

ヘマタイトをカルボニル鉄粉に混合したもの (0.4~1.0 wt%) はいずれも棒状 (3.3×5.8×96.7 mm) に圧

* 昭和 54 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 54 年 7 月 4 日受付 (Received July 4, 1979)

** 北海道工業開発試験所 (The Government Industrial Development Laboratory, Hokkaido, 41-2 Higashitsukisamu Toyohira-ku Sapporo 061-01)

*** 北海道工業開発試験所 工博 (The Government Industrial Development Laboratory, Hokkaido)

**** 北海道大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Hokkaido University)

Table 1. Chemical composition and mode diameter of iron particles.

Sample	Mode Dia. (μ)	Composition (wt%)						
		SiO ₂	TiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	O
Reduced Iron	200	2.40	0.32	0.46	0.13	2.10	0.07	3.6

Sample	Mode Dia. (μ)	O	P	S	C	Ni	Si	Mn	Mo
Carbonyl Iron	2	0.14	0.001	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01

縮成形 (3 t/cm^2) しアルゴン中、 850°C で 1 h 焼結した
 後圧延し、焼結鉄圧延板中の残留酸素を変化させるため
 水素またはアルゴン中において 700°C または 850°C
 で 1 h 焼なましした。さらに α -シリカ、 α -アルミナを
 混合した純鉄圧粉体²⁾ を水蒸気混合 ($50, 60\%$) 水素中
 で加熱 (温度: $850, 900^\circ\text{C}$, 時間: $2, 4\text{ h}$) して酸素含
 有量を変化させた焼結鉄圧延板を準備した。

還元鉄粉は磁選して固体分離の可能な脈石成分を分離
 し、(分離率: $50\text{ wt}\%$)、それを数 μm の粒径に粉碎し
 た。この還元鉄粉を $10\sim 50\text{ wt}\%$ の範囲 ($50\text{ wt}\%$ を
 越えたものは板材にする過程で割れを生じる) でカルボ
 ニル鉄粉に混ぜ (酸素含有量: $0.26\sim 1.50\text{ wt}\%$)、でき
 るだけ均一になるように前報で述べた方法²⁾ で混合し
 た。これらを圧縮成形し、常圧還元で得られた還元鉄
 粉 (酸素含有量: $4.2\text{ wt}\%$) を混合したものは水素中
 900°C で 1 h 、また高圧還元で得られた還元鉄粉 (酸素
 含有量: $3.6\text{ wt}\%$) を混合したものは水素中 850°C で
 1 h それぞれ焼結し、冷却後圧延した。圧延後、前者は
 水素中 900°C で、後者は 700°C でそれぞれ 1 h 焼な
 まし、純鉄の変態点 (910°C) を考慮して α 鉄の領域で
 圧延と焼なましを数回繰り返して約 0.3 mm の板材 (全
 圧下率: 90%) に仕上げた。なお、圧粉体の含有酸素が
 還元で減少しないように、アルゴン中で焼結ならびに圧
 延後の焼なましをした圧延板も準備した。

混合粉末試料中または圧延板中の全酸素量は自動ガス
 分析装置 (熱伝導度による測定方法) を用いて分析し
 た。これら圧延焼なまし板 (圧延方向に直角に切り出し
 た試片²⁾) の引張り試験はインストロン型試験機でおこ
 ない、クロスヘッド速度は 2.0 mm/min とした。圧延
 焼なまし板の組織観察は光学顕微鏡で、また引張り試験
 後の試片の破断面観察は走査電子顕微鏡でおこなった。
 圧延板ならびにその焼なまし後の板の硬さ測定は、微小
 硬度計 (マイクロビッカース) により荷重 100 g , 30 s
 でおこなった。

還元鉄粉を混合した圧延焼なまし板中に分散する脈石
 成分の分布は、EPMA により面分析で定性した。さら
 に脈石の組成を定量するため点分析をおこない、Fe,

Ti, Al, Mg, Ca の酸化物を含むガラス質のものと、
 酸素についてはヘマタイトの単結晶を標準試料としても
 ちい、酸化物の分析値の補正計算は Philibert, Dun-
 cumb の吸収補正³⁾, Duncumb, Reed の原子番号補
 正³⁾, Reed の蛍光補正³⁾ にもとづいたコンピュータ処
 理による方法³⁾⁴⁾⁵⁾ でおこなった。なお、測定電圧は 20
 kV , 試料電流は $1.5\sim 2.0\times 10^{-8}\text{ A}$ とした。

3. 実験結果と考察

3.1 ヘマタイト含有の焼結鉄圧延焼なまし板

3.1.1 残留酸素と引張り試験結果

焼結鉄圧延焼なまし板に酸化鉄を含んだ場合の強度に
 対する影響を調べるために、ヘマタイト粉末をカルボ
 ニル鉄粉に混ぜた場合について検討した。水素中または
 アルゴン中で加熱処理した圧延焼なまし板の顕微鏡写真を
 Photo. 1 に示す。(a)は水素中 700°C 焼なましの平面
 (1)と断面(2), (b)はアルゴン中 700°C 焼なましの
 平面と断面であり、いずれも再結晶粒子の大きさに大差
 はみられないが、前者の粒界が鮮明であるのに比べて後
 者では粒界の不明確な部分が多い。また後者の場合、粒
 界および粒内にヘマタイトの微粒子が細かく分散してい
 るのが認められる。これら圧延焼なまし板中の残留酸素
 量と引張り試験による降伏応力、引張り強さおよび伸び
 率についての相関を Fig. 1 に示す。比較のためにヘマ
 タイトを含まないもの (酸素含有量: $0.02\text{ wt}\%$) につい
 ても図中にプロットしているが、酸素含有量の増加にと
 もない降伏応力と引張り強さは増し、伸び率はこれに対

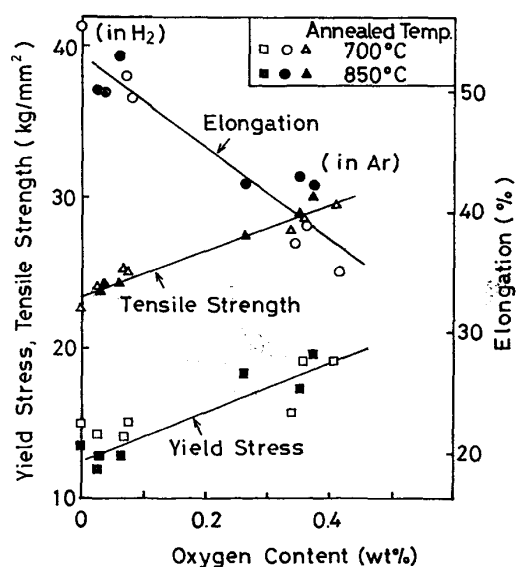


Fig. 1. Effect of oxygen content on yield stress, tensile strength and elongation of iron sheet containing ferric oxide.

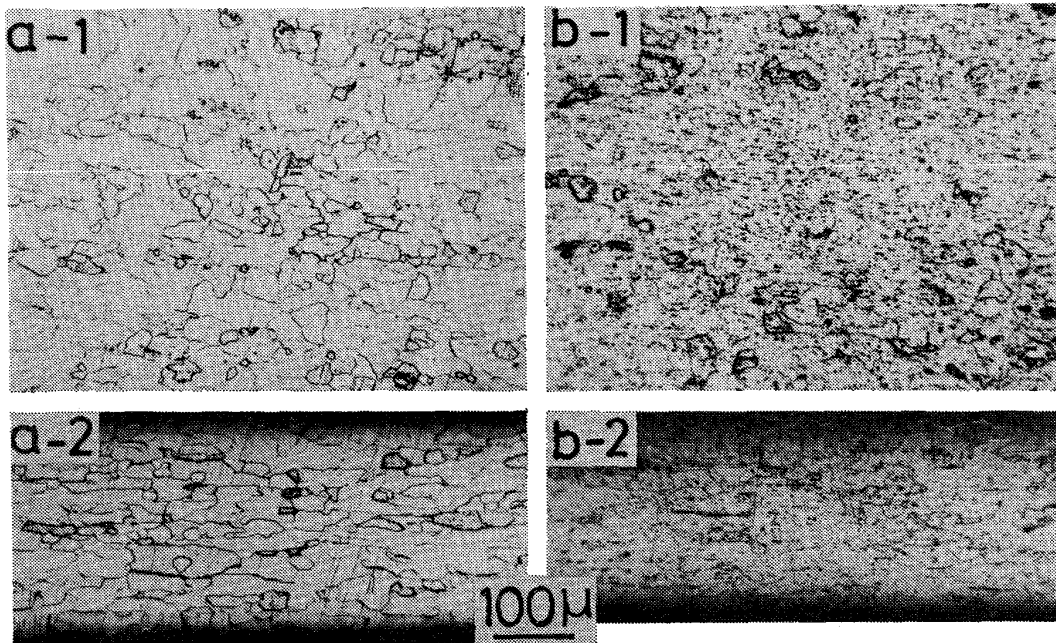


Photo. 1. Microstructures of iron sheet containing ferric oxide.
 (a-1) Rolled face of sheet annealed at 700°C in H_2 (0.07wt% O).
 (a-2) Cross section of (a-1).
 (b-1) Rolled face of sheet annealed at 700°C in Ar (0.36wt% O).
 (b-2) Cross section of (b-1).

応して減少しており、鉄酸化物の存在による影響があらわれている。

3.1.2 引張り強さ、降伏応力の結晶粒度依存性

これら板材の降伏応力と引張り強さの粒度依存性について Fig. 2 に示す。前報²⁾で示した直線の位置（溶解した純鉄の場合の実線(I)および点線(II)）に比べ、アルゴン中で処理した残留酸素の多いものは降伏応力、引張り強さのいずれも直線より上の方にそれぞれプロットされる。さらに引張り試験後の破断面について走査電顕で観察した結果を Photo. 2 に示す。(a)は水素中処理のもの、(b)はアルゴン中処理のもので、いずれも 700°C で焼なまししたものについて示す。両者の結晶粒度には大差はみられないが、破断面を比較すると水素中で処理したものは断面の中央に向つて両側の圧延面が著しくびれを示している。一方アルゴン中で処理したものは、残留したヘマタイト粒子を中心に各々の破断面が前者に比べて細かく分かれているのが観察される。これは細かく分散している酸化物粒子のまわりから微細気孔が発生し、これらが連結したものと考えられる⁶⁾。したがって、ヘマタイトを混合してアルゴン中の加熱処理で酸素をできるだけ残留させたものは、圧延後の焼なまし過程で再結晶粒子の成長に対する抑制はあまり顕著でないが、分散による強化への影響は明らかに認められる。

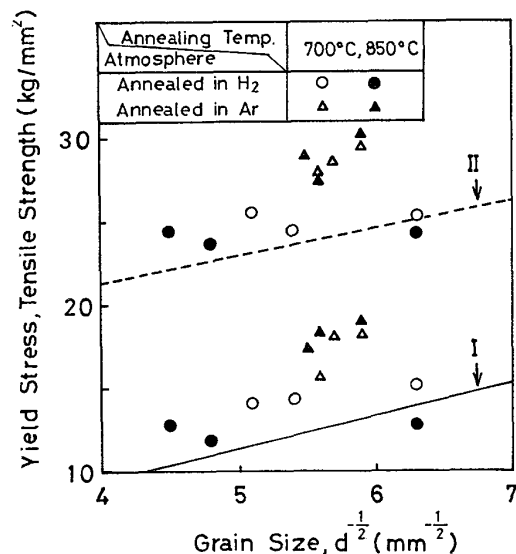


Fig. 2. Relations between yield stress of tensile strength and grain size of sintered iron sheet containing ferric oxide.

I : Yield stress line indicated in the previous literature²⁾.

II : Tensile strength line indicated in the previous literature²⁾.

3.2 異種酸化物含有の酸化処理した焼結鉄圧延焼なまし板

鉄酸化物と異種酸化物の共存による機械的性質への影響を調べるため、前回報告した異種酸化物混合量による

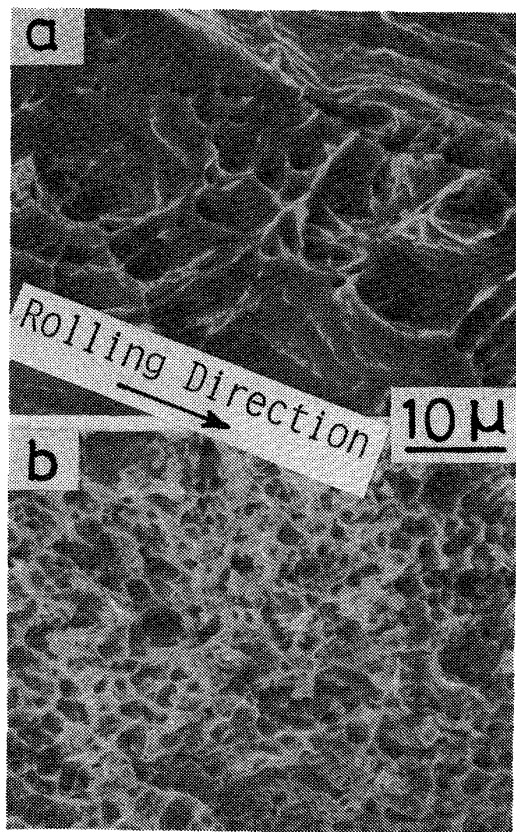


Photo. 2. Microfractographs of tensile test piece of iron sheet containing ferric oxide.
(a) annealed at 700°C in H_2 (0.07wt% O).
(b) annealed at 700°C in Ar (0.36wt% O).

引張り強さへの影響が少ない粒径 $1\sim 2\mu m\phi$ の α -シリカ、または α -アルミナを用い²⁾、これらをカルボニル鉄粉に混ぜた圧粉体を水蒸気混合水素中で酸化（マグネタイトおよびウスタイトが生成）させてから水素中で加熱することにより酸素含有量を変化させた焼結鉄圧延板の引張り試験をおこなった。その結果を Table 2 に示す。なお、ここには前回求めた異種酸化物を混合して水素中で加熱処理した場合の引張り強さならびに伸び率の値（最終焼なまし温度：700°C）を比較のために示した。この場合、酸素含有量の増加にともない、降伏応

力と引張り強さはいくぶん増加するが、伸び率の減少幅は大きい。なお α -シリカ混合のものでは、引張り強さの増加は酸素含有量約 0.6 wt% で最大となり、それ以上の量では減少の傾向がみられた。この結果、異種酸化物のみを含む焼結鉄圧延板に比べ、引張り強さに対して酸化処理による効果はあまり顕著でない。伸び率についても α -アルミナ混合のものに大きな相違はみられない。一方、 α -シリカ混合のものでは伸び率が低い値となり酸化処理による影響がみられる。これは鉄酸化物が α -シリカと共存状態で加熱される場合、両酸化物の界面で反応生成物ができやすい²⁾ため、焼結鉄圧延板の脆化をはやめたものと考えられる。したがって、混合した異種酸化物と酸化処理による鉄酸化物との共存による機械的性質への効果は、 α -シリカによる伸び率の低下を除いてほとんどあらわれないことが確かめられた。

3.3 還元鉄粉含有の焼結鉄圧延板

3.3.1 残留酸化物とその組成

鉄鉱石には酸化鉄の他に Table 1 に示される異種酸化物から成る脈石鉱物が含まれており、X線回折をすると還元後 2、3 の化合物の他はほとんどの成分がガラス質に変化しているのが認められる。また還元鉄粒子の断面を EPMA で面分析すると、粒子表面近くおよび粒子

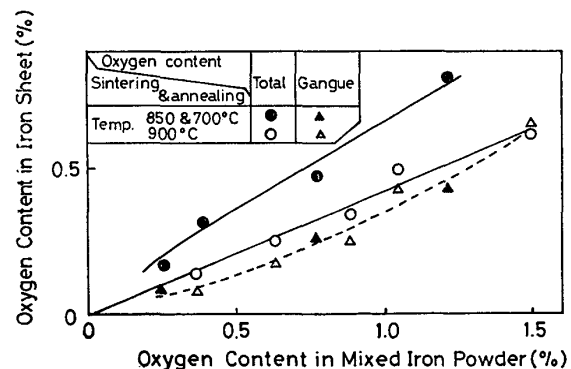


Fig. 3. Relations between oxygen content in iron sheet heat-treated in hydrogen and oxygen content in mixed iron powder.

Table 2. Results of tensile test of sintered iron sheets containing oxygen of added oxide and iron oxide by oxidization.

Added oxide (vol%)	Sheets containing oxygen of added oxide and iron oxide			Sheets containing only oxygen of added oxide ²⁾	
	Range of oxygen content in iron (wt%)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
1.48 α -SiO ₂	0~1.5	23.7~26.2	14.6~32.5	24.8	44.2
2.34 α -SiO ₂	0~1.4	23.5~26.6	2.1~24.6	25.8	41.3
1.17 α -Al ₂ O ₃	0.31~0.77	25.2~27.5	29.6~39.2	24.8	37.2
2.94 α -Al ₂ O ₃	0.14~0.25	28.3~28.8	22.9~30.8	28.6	18.8

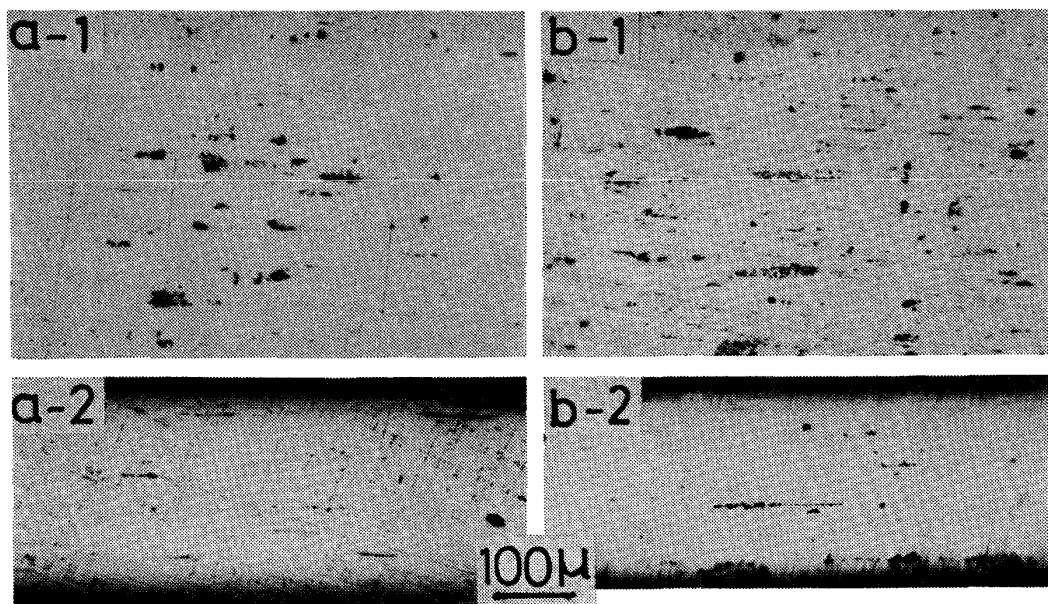


Photo. 3. Oxide dispersed in iron sheet containing reduced iron powder. (sintered at 850°C, annealed at 700°C)

(a-1) Rolled face (0.18wt% O).

(a-2) Cross section of (a-1).

(b-1) Rolled face (0.47wt% O).

(b-2) Cross section of (b-1).

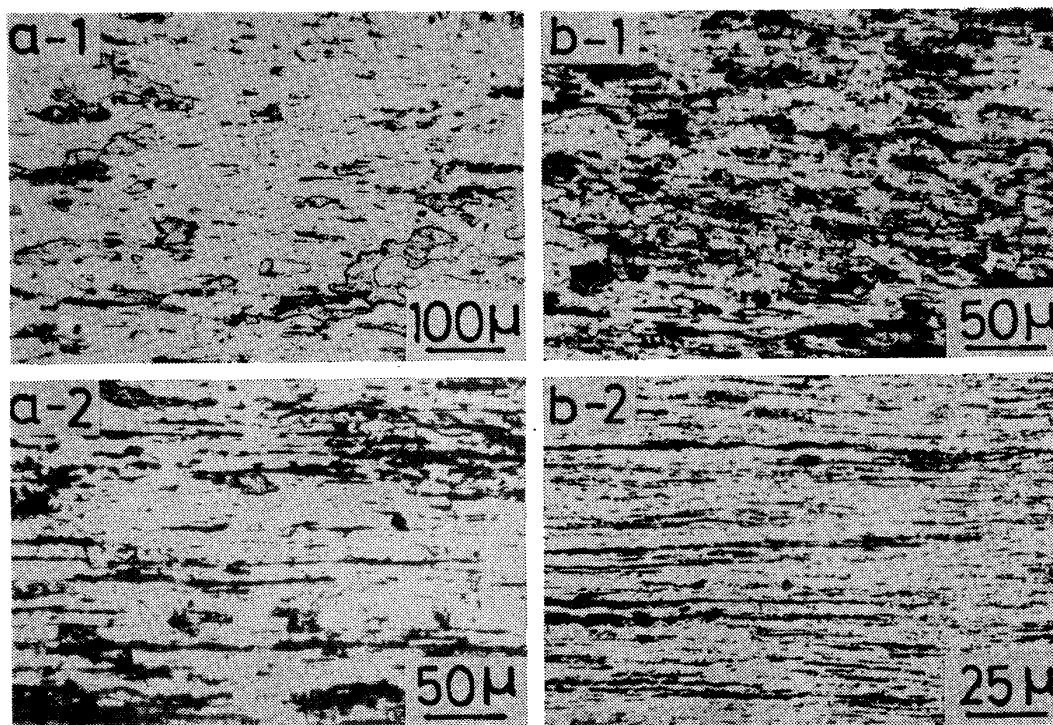


Photo. 4. Microstructure of iron sheet containing reduced iron powder. (sintered at 850°C, annealed at 700°C)

(a-1) Rolled face (0.18wt% O).

(a-2) Cross section of (a-1).

(b-1) Rolled face (0.47wt% O).

(b-2) Cross section of (b-1).

内部にアルミナおよびシリカが細かく分散している。これら還元鉄粉とカルボニル鉄粉との混合粉末における全酸素量と、水素中で加熱処理後の板材中の残留酸素との相関を Fig. 3 に示す。この結果焼結温度、ならびにその後の焼なまし温度の高いものは、残留酸素が脈石中の

酸素量とほぼ同じ程度まで還元されていることが認められる。一方加熱処理温度の低いものは、鉄中に未還元酸素が残留するため、全酸素量が前者に比べていくぶん高くなっている。これら板材の研磨面の顕微鏡写真を Photo. 3 に示す。処理温度の低い場合で残留酸化物の

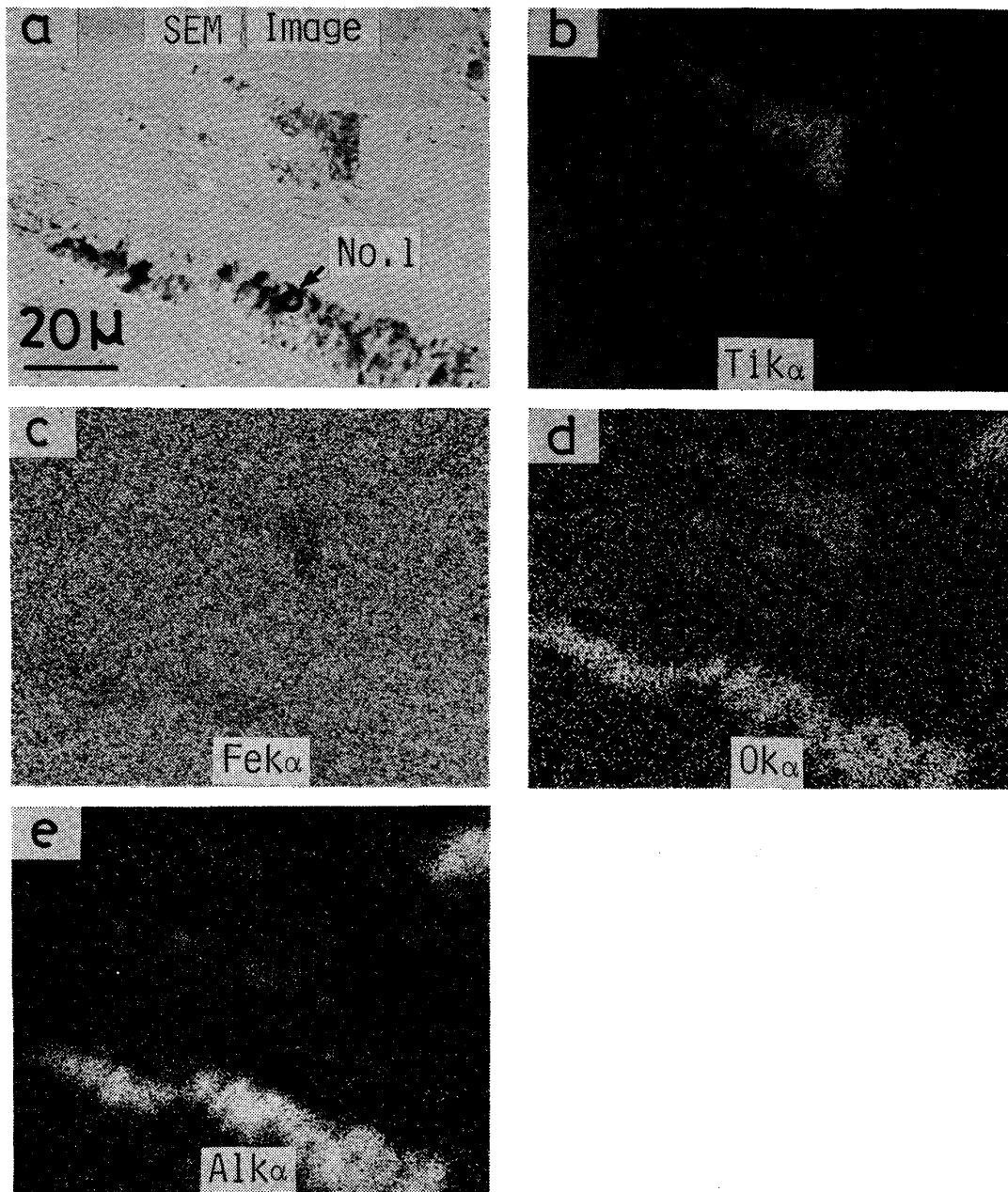


Photo. 5. Results of EPMA (Fe, Al, Ti, O) of iron sheet containing reduced iron powder (0.47wt% O).

少ないものを(a)に, また残留酸化物の多いものを(b)に示すが, 酸化物の混合量の増加にともない分散する量も増し, 断面写真 (a-2, b-2) から圧延方向 (左右) に酸化物が層状に分布しているようすがみられる. さらにこれらをエッチング (5% ナイタールによる) して結晶粒子を観察した結果を Photo. 4 に示す. 酸化物の少ない(a), 多い(b)のいずれも再結晶粒子の大きなものと小さなものの混在が認められる. また断面写真から酸化物の少ないものでは層状の組織も少なく, したがって再結晶粒子の大きなものは層状の酸化物の影響で圧延方向に伸びているが, 粒子の小さなものはほぼ等方的な粒

形を示す. 一方酸化物の多いものは酸化物の層状分布が密であり, 再結晶粒子の大きさの正確な測定は困難である. なお, 加熱処理温度の低いものに比べ, 高い温度で処理したものは再結晶粒子がいくぶん大きく成長していることが認められた.

焼結鉄圧延焼なまし板中に細かく分散している酸化物は, Photo. 3 でみられるように大部分が圧延面に平行な薄い板状として圧延方向に細長く分布している. 処理温度の低い酸素含有量 0.47 wt% のものについて, 酸化物が比較的大きな部分の EPMA による面分析の結果例を Photo. 5 および Photo. 6 に示す. Photo. 5 でみ

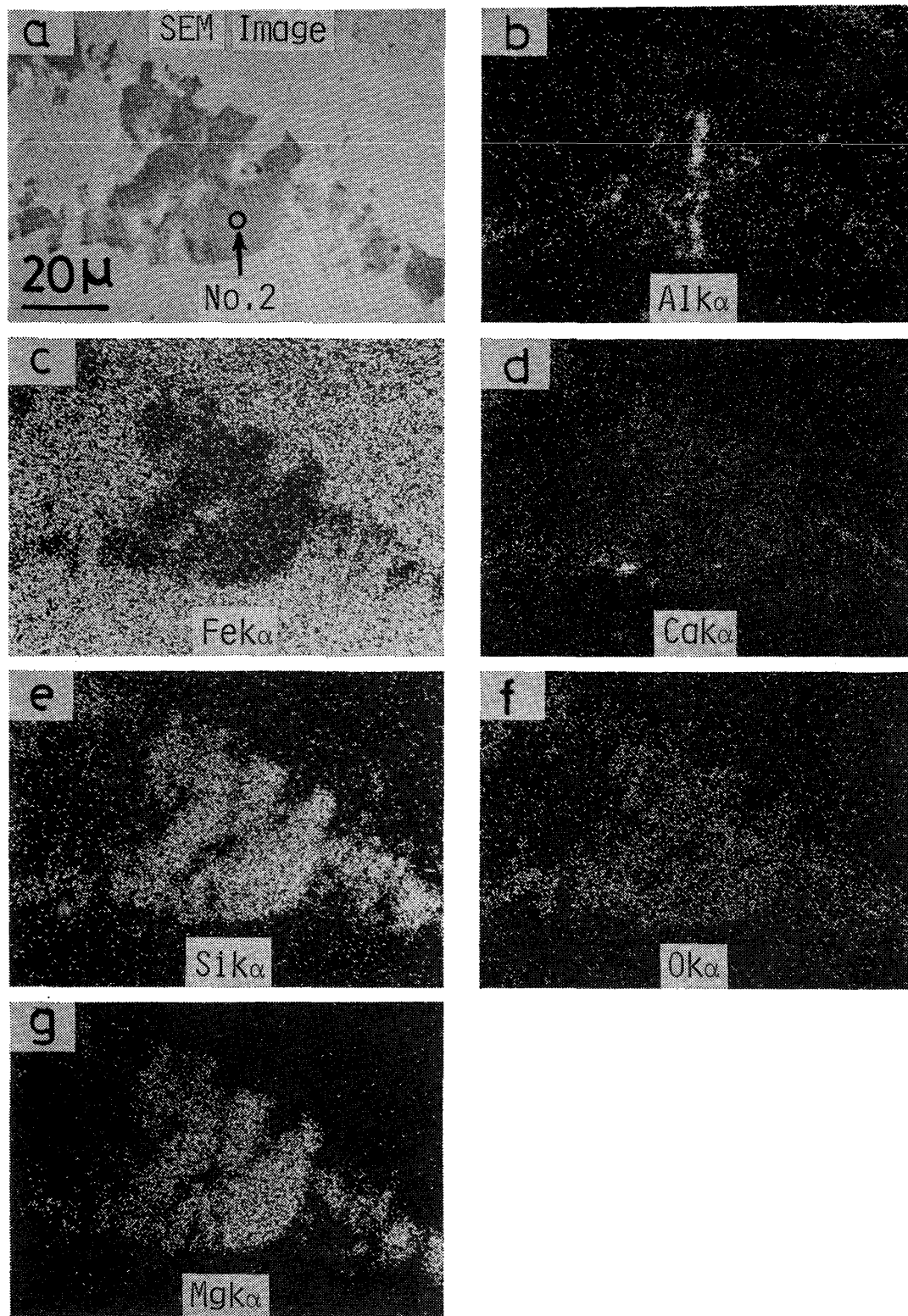


Photo. 6. Results of EPMA (Fe, Si, Mg, Al, Ca, O) of iron sheet containing reduced iron powder (0.47w% O).

られるものはアルミナおよび酸化チタンを含む酸化物であり、Photo. 6 ではシリカとマグネシアの比較的多い酸化物にアルミナと酸化カルシウムが細かく分散しているのが認められる。これら酸化物の比較的均一な部分

(No. 1, No. 2) を点分析により定量し、その結果をTable 3に示す。金属イオンと酸素との原子比については、鉄酸化物を FeO として取り扱うと No. 1, No. 2 において各酸化物の金属イオン数にほぼ相当する酸素数

Table 3. Results of EPMA of oxides in sintered iron sheets.

No.	Element	Fe	Al	O	Si	Mg	Ca	Total
	Content							
1	wt%	0.311	0.299	0.391				1.00
	atomic ratio	1.00	1.99	4.38				
2	wt%	0.175	0.043	0.440	0.230	0.115	0.011	1.01
	atomic ratio	1.00	0.51	8.80	2.62	1.52	0.08	

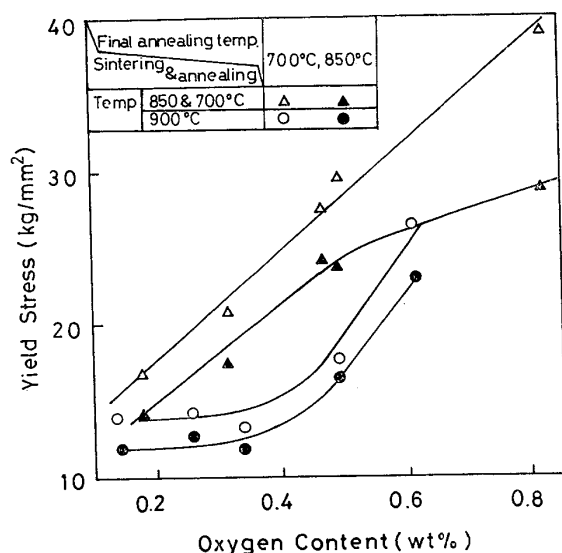


Fig. 4. Effect of oxygen content on yield stress of iron sheet containing reduced iron powder.

が検出されており、 FeO のモル数を 1 とすると前者は $\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、後者は $\text{FeO} \cdot 2.6\text{SiO}_2 \cdot 0.25\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.5\text{MgO} \cdot 0.1\text{CaO}$ の組成でおおの表すことができる。

3.3.2 水素中熱処理した場合の引張り試験結果

還元鉄粉混合の焼結鉄圧延焼なまし板の降伏応力 (0.2% 耐力) と酸素含有量との相関について Fig. 4 に示す。加熱処理温度の低いものは酸素含有量が多くなるにともない、直線的に降伏応力が増加している。一方加熱処理温度の高いものは酸素含有量が約 0.35 wt% までは降伏応力の増加がみられない。またいずれも最終焼なまし温度の高いものの方が低い値で変化している。これは加熱処理温度が高い場合、降伏応力に影響を与えるような微量かつ微細な酸化物は還元されることによりその効果が小さくなることを示すと同時に、処理温度の高いものは再結晶粒もいくぶん成長していることによるためと思われる。

次にこれら圧延焼なまし板の酸素含有量と引張り強さ、ならびに伸び率との関係を Fig. 5 に示す。この場合も加熱処理温度の低いものの方が酸素含有量の増加とともに引張り強さは高い値で増加し、伸び率については

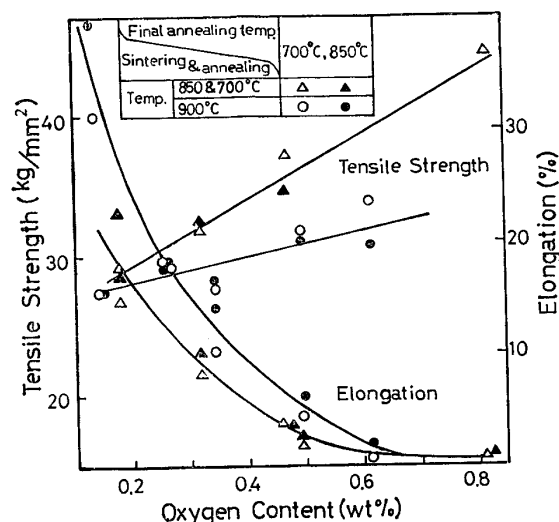


Fig. 5 Effect of oxygen content on tensile strength and elongation of iron sheet containing reduced iron powder.

これは逆に低い値で減少している。また最終焼なまし温度による違いは、引張り強さについてはあまり顕著にあらわれていないが、伸び率については処理温度の高い方が高い値で変化していることが認められる。

これら圧延焼なまし板 (700°C, 1 h 焼なまし) の引張り試験後の破断面について観察した結果を Photo. 7 に示す。(a) は酸素含有量 0.18 wt% のもの、(b) は 0.47 wt% のものである。含有酸素の少ない場合は、層状組織によつて比較的延性な破面がみられ、含有酸素の多い場合は Photo. 4(b) の断面写真にみられる密な層状組織にそつて薄く細長い破面を示している。したがつて、脈石成分により圧延方向に層状の組織を有する場合、板内に発生したき裂は層状組織にそつて伝播したものであると思われ、引張りによる破断が層状の組織による影響を受けていることがわかる。これらの結果、焼結鉄圧延焼なまし板中の酸素含有量の増加にともない、降伏応力と引張り強さが増大し、伸び率は減少する傾向がみられるが、残留している全酸素量が同じでも加熱処理温度の違いにより残留酸化物の存在状態ならびに再結晶粒子の成長状態が変化し、これらが機械的性質に大きな影響をおよぼしていることが明らかになった。

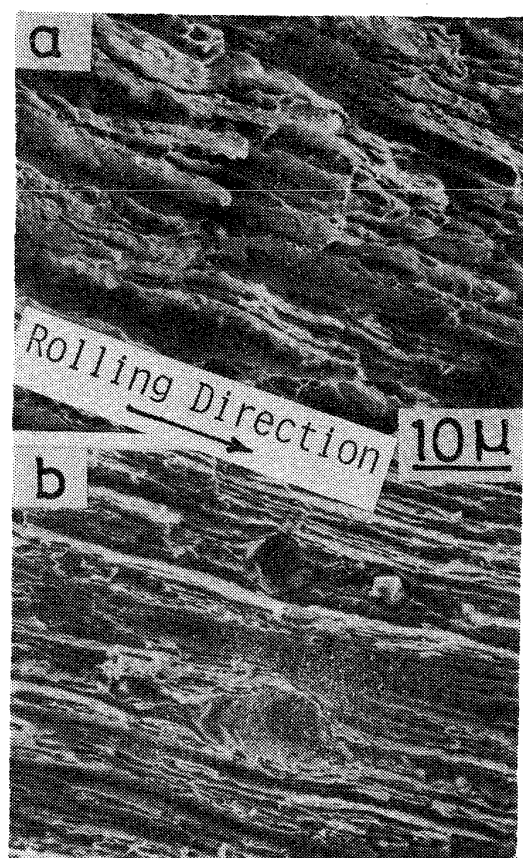


Photo. 7. Microfractographs of tensile test piece of iron sheet containing reduced iron powder. (sintered at 850°C, annealed at 700°C) (a) 0.18 wt% O (b) 0.47 wt% O

Table 4. Results of tensile test of sintered iron sheets containing reduced iron powder.

Oxygen content (wt%)	Final annealing temp. (°C)	Yield stress (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
0.63	700	24.0	28.4	12.5
	900	22.9	29.1	19.1
1.12	700	22.5	29.8	6.7
	900	22.4	30.9	8.3

3.3.3 アルゴン雰囲気中加熱処理した場合の 引張り試験結果

カルボニル鉄粉に還元鉄粉を混合 (15, 30 wt%) したものを前述の要領で準備し、焼結および圧延後の焼なましをアルゴン雰囲気中 900°C で 1 h することにより 0.3 mm 厚さの板材に仕上げたもの (最終焼なまし温度: 700, 900°C) についての引張り試験結果を Table 4 に示す。この結果を水素雰囲気中で加熱した場合の Fig. 4, 5 における 900°C で処理した場合と比較すると、降伏応力と引張り強さについては酸素含有量の同じものの値よりいくぶん低い値を示している。なおアルゴン中で

加熱処理したものの酸素含有量は、混合した還元鉄粉の量から求まる酸素量の約 2 倍を示しており、これは処理過程で酸化したものである。一方伸び率については水素中で加熱処理したものより高い値を示している。したがって、アルゴン中で加熱することによる降伏応力と引張り強さにおよぼす残留酸素の影響はほとんどみられないが、伸び率に対して鉄の再結晶粒子の成長による影響があらわれているものと考えられる。

3.3.4 焼結鉄圧延板の酸素含有量による硬さへの影響

圧粉体を焼結後、圧延と焼なましをくり返す過程で圧延板が加工により硬化され、圧下率を上げることによりき裂を生じるが、加熱温度の高い場合のもの (900°C で焼結, 焼なまし) は、低い場合のもの (850°C で焼結, 700°C で焼なまし) に比べてき裂を生じる圧下率が高い。このことから圧延時に含有酸化物が加工による硬化におよぼす影響と、硬化による酸化物の存在状態への影響が考えられるので、還元鉄粉含有の焼結鉄圧延板の硬さ測定をおこなった。その結果を Fig. 6 に示す。全圧下率 90% のもので焼なまし前および焼なまし後 (700°C, 850°C) の圧延面ならびにその断面の硬さの測定値を酸素含有量に対してプロットしたものである。焼なまししたものは圧延面とその断面の測定値に大きな相違はなく、処理温度の違いによる相違もほとんどみられない。一方焼なまし前のものは前者に比べて硬く、圧延面よりもその断面の方が大きな値を示している。いずれの場合も酸素含有量が増すにともない硬さも増加している。なお、還元鉄粉を 30 wt% 混合したものを低い温

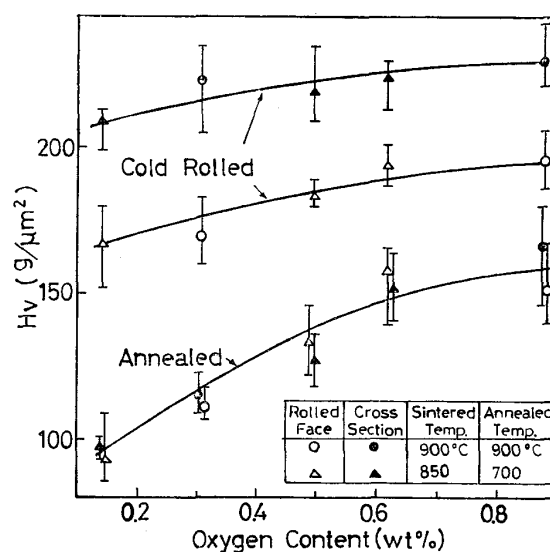


Fig. 6. Effect of oxygen content on hardness of sintered iron sheets containing reduced iron powder.

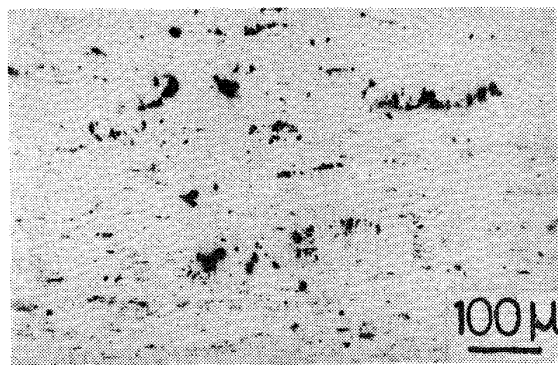


Photo. 8. Oxide dispersed in iron sheet (0.50wt% O) containing reduced iron powder. (sintered and annealed at 900°C)

度で処理した場合、酸素含有量は 0.50 wt% であるが、高い温度で処理すると 0.42 wt% に減少しているのが認められた。さらに Photo. 8 に示すのは 900°C で焼結し、焼なましをくり返した圧延板 (0.50 wt% O) の圧延面を研磨したものであるが、加熱処理温度の低い場合の Photo. 3 (b-1) に比べて比較的大きな酸化物が圧延方向 (左右) にあまり延伸していないのが認められる。したがって、加熱処理温度の高いものは所定の厚さまで圧延される過程で還元による酸素の減少、ならびに再結晶粒子の成長により比較的軟化状態が維持されるが、これに比べて加熱処理温度の低いものは圧下率が増すとともに硬い状態で圧延されるため、板材に含まれる酸化物が圧延過程で微細に破壊される機会が多くなり、微小酸化物の分散がそれだけ増加することにより引張り強さへの効果が強くあらわれるものと考えられる。

以上の結果から、焼結鉄圧延焼なまし板中に含有される脈石成分が微細に分散している場合、機械的性質におよぼす脈石成分の影響は大きい、同量の酸素を含有していてもこれら酸化物の粒径が大きい場合、または酸化処理により焼結鉄が酸化された場合ではその影響の少ないことが確かめられた。

4. 総 括

脈石鉱物を含んだ還元鉄粉を粉末冶金用原料として使用する場合の実用的な見通しを得ることを目的とし、純鉄粉とヘマタイトまたは異種酸化物ならびに流動還元で

得られた還元鉄粉の混合圧粉体を加工し、得られた焼結鉄圧延焼なまし板における脈石成分の分布と組成、ならびにこれらの機械的性質への影響について検討した。その結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 脈石成分を 5.0 wt% (酸素含有量 : 1.8 wt%) 含有する還元鉄粉と純鉄粉の混合圧粉体から焼結鉄圧延板を製造する場合、混合量が 50 wt% (酸素含有量 : 約 1.0 wt%) を越えると板材にする過程で割れを生じる。
- (2) 焼結鉄圧延焼なまし板中の脈石成分は、圧延面に平行な薄い板状の分布を示し、圧延方向に伸びており、おのおの金属酸化物がその中で共存または点在している。
- (3) 焼結鉄圧延焼なまし板中に酸化鉄を含有するものは強度増加と伸び率減少におよぼす影響は認められるが、焼結および焼なまし中の酸化により酸素含有量を増加させてもその効果は少ない。
- (4) 脈石成分を含む還元鉄粉を混合したものは、低い温度で焼結し圧延後の焼なましをしたほうが強度増加への影響は大きい。その原因の一つとして圧延加工による酸化物の微細化と分散の促進があげられる。
- (5) これら圧延焼なまし板の引張り後の破面は、脈石成分の少ない場合は塑性変形をとまらな延性破壊面であり、脈石成分が多いものは密な層状組織の断面にそつてき裂が伝播した破断面となる。

最後に、この研究を進めるにあたり御助言いただきました北海道大学工学部金属工学科の近藤真一教授ならびに石井邦宜助教授に対し感謝の意を表します。

文 献

- 1) L. von BOGDONDY, H.-J. ENGELL, 森山昭ら訳: 'The Reduction of Iron Ores', (1975), p. 198 [養賢堂]
- 2) 鈴木良和, 矢部勝昌, 西川泰則, 西田恵三: 鉄と鋼, 65 (1979) 2, p. 245
- 3) 内山 郁, 渡辺 融, 紀本静雄: 'X線マイクロアナライザー', (1973), p. 3, p. 128 [日刊工業新聞社]
- 4) L. S. BIRKS: 'Electron Probe Microanalysis', Wiley-Interscience, A Division of John Wiley & Sons, Inc. New York/London/Sydney/Toronto, (1971), p. 101
- 5) 大久保益太, 宮下芳雄, 榊井 明, 徳永寿己: 鉄と鋼, 56 (1970) 1, p. 86
- 6) 飯田国広: 金属材料, 12 (1972) 3, p. 85