

抵抗焼結法による繊維強化金属の製造の試み (第1報)

Trial to Resistance-sinter Fiber-reinforced Metal - 1 -

原 善四郎*・明智 清明*・板橋 正雄*

Zenshiro HARA, Kiyooki AKECHI and Masao ITABASHI

1. はじめに

通常の粉末冶金的な製造方法によって繊維強化金属を製造しようとする場合には、①焼結中に繊維が相変化、再結晶等々の変質を生じる可能性がある、②繊維の体積比の大きい圧粉体をつくるには相当の技術的な工夫を要する、といった問題点がある。

抵抗焼結法は、焼結時間が数秒であり、またホットプレスと同様に圧粉体として取扱う工程が不要であるという特徴をもっている。そこで、本研究では、この瞬間的な焼結が可能な抵抗焼結法により、繊維強化金属の製造を試み、その可能性を探ることを目的として初歩的な検討を行った。

良好な抵抗焼結条件の既にわかっている¹⁾鉄粉をマトリックスとし、繊維としては鉄ウイスカと鋼繊維を使用した。繊維体積比と抵抗焼結条件を変化させ、焼結体の密度、強度および金属組織との関係について資料を得たので、本稿では、鉄ウイスカを配合した場合の結果について報告し、鋼繊維を配合した場合の結果と金属組織の観察結果については次報²⁾にて報告する。また、最近アルミニウム粉の抵抗焼結が可能となった³⁾ので、鋼繊維で強化したアルミニウム抵抗焼結体の機械的性質についても次報で簡単に紹介する。

2. 実験方法

鉄粉は福田金属製の電解粉(-325メッシュ)を用いた。鉄ウイスカは塩化第一鉄を還元して製造した⁴⁾。ウイスカの径は10~400 μ 、長さは10~50mmである。鋼繊維は直径200 μ 、長さ12.5mmで表面が黄銅メッキしたものを使用した。鋼繊維の引張強度は280kg/mm²である。

実験方法は、設定した体積比($V_f=0, 0.05, 0.10, 0.20$)に鉄粉と繊維を秤量(全量20g)後、雲母箔で絶縁された金型(通電面積が 4×60 mm²)に、繊維を長手方向に並べつつ粉末を装入した。その後、抵抗焼結機によって焼結を行った。焼結条件は、加圧力1.2ton、通電電流10,000~20,000A、通電電圧2~4V、通電時間100~200サイクル(2~4秒); 入力(通電電流 \times 通電電圧 \times 通電時間)にして2,500~10,000kWであった。

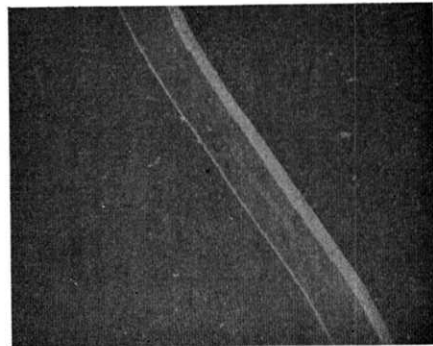
* 東京大学生産技術研究所 第4部

得られた焼結体の密度測定、引張試験(JIS 7号試験片)、金属組織観察を行った。

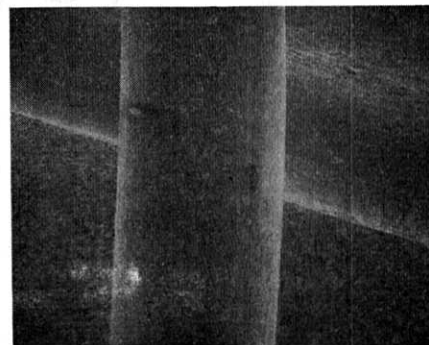
鉄粉、鉄ウイスカ、鋼繊維の走査型電子顕微鏡像を、



(a) 電解鉄粉

100 μ 

(b) 鉄ウイスカ

100 μ 

(c) 鋼繊維

100 μ

写真1 使用した電解鉄粉、鉄ウイスカ、鋼繊維の走査型電子顕微鏡像

写真 1 に示す。

3. 実験結果と考察

3-1 繊維を含まない鉄粉のみの場合

まず、鉄粉のみからなる抵抗焼結体の結果について触れておく。

図 1 に示されるように、焼結体中に大きな溶解部が生じない入力範囲 (4,500 kWc 以下) では、入力増大とともに密度、強度、伸びのそれぞれが増大する。更に入力が増大し溶解部が生じ、その割合がある限度以上になると、かえって強度と伸びは低下する。

図 2 に、溶解の著しくない場合の、密度比 (100×焼結体密度/理論密度(%)) と強度、伸びとの関係を示す。密度比上昇とともに、強度、伸びが上昇している。参考のために文献から引用した通常の圧縮成形→焼結という方法によって製造された、電解鉄粉の焼結体の密度比と強度⁵⁾ および伸び⁶⁾ の関係を図 2 にプロットした。抵抗焼結法による鉄焼結体は、通常焼結法によるものよりも、強度、伸びともにすぐれている (強度については、通常の鉄粉のみの焼結体と、鉄粉+1.0wt% C の焼結体

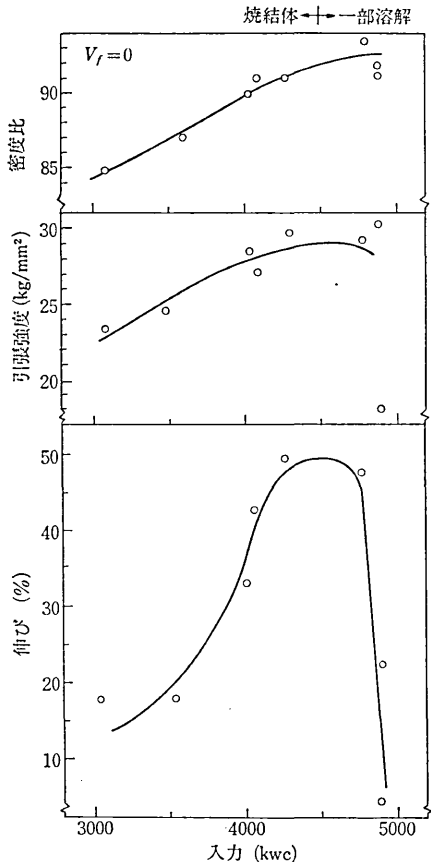


図 1 鉄粉のみの場合 ($V_f=0$) の入力と密度比、引張強度、伸びとの関係

との中間の強度になる)。

3-2 鉄ウイスカを配合した場合

密度と入力の関係は、鉄ウイスカを配合した焼結体の場合には、図 3 のようにバラツキが大きく、鉄粉のみの場合 ($V_f=0$) のように入力増大によって密度が上昇することにはならない。

強度と入力の関係は、図 4 に示めされるように、 $V_f=0$ の場合と同様、入力増大とともに増大する。 $V_f=0.20$ のものは、低入力側で、他の V_f に比して高強度である。

図 5 に、入力と伸びの関係を示す。 $V_f=0.05$, $V_f=$

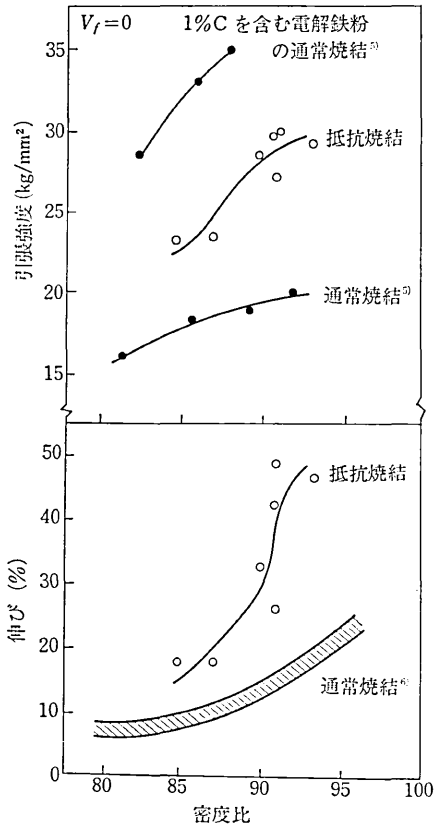


図 2 溶解の著しくない焼結体 ($V_f=0$) の密度比と引張強度、伸びとの関係

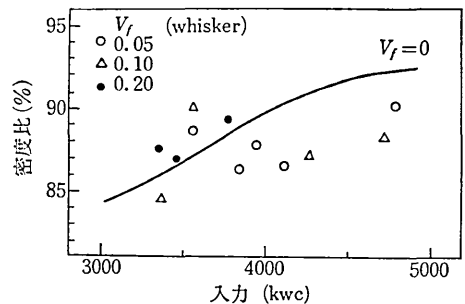


図 3 鉄ウイスカを配合した鉄焼結体の入力と密度

研 究 速 報

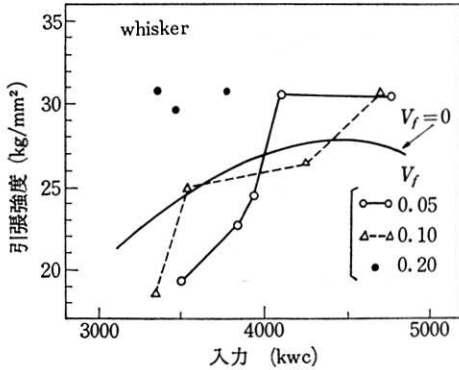


図 4 鉄ウィスカを配合した鉄焼結体の入力と引張強度の関係

0.10 については、 $V_f=0$ と同様に入力増大とともに伸びは上昇する。 $V_f=0.20$ の伸びが低入力であるにもかかわらず大きいことが特徴的である。

ここで、鉄ウィスカを含んだ焼結体 (主に $V_f=0.20$ に関して) の機械的性質について、若干の考察を行う。本実験で使用した鉄ウィスカは図 6 に示されるように⁴⁾、径が大きくなると著しく強度が低下する。従って、強化をねらうには非常に径の小さいものを使用しない限り鉄ウィスカはあまり有効ではない。そのため、鉄ウィスカが配合された焼結体に関して、強化という観点からではなく、純度の良い延性繊維としての寄与の面から考えてみる。

鉄ウィスカ自体の伸びは、歪速度や結晶方位によって異なるが、ほぼ 15~25% であり、40% を越えるものはまれである⁴⁾。確かに、焼結体密度がそれほど高くないにもかかわらず $V_f=0.20$ の伸びが 45~50% という高い

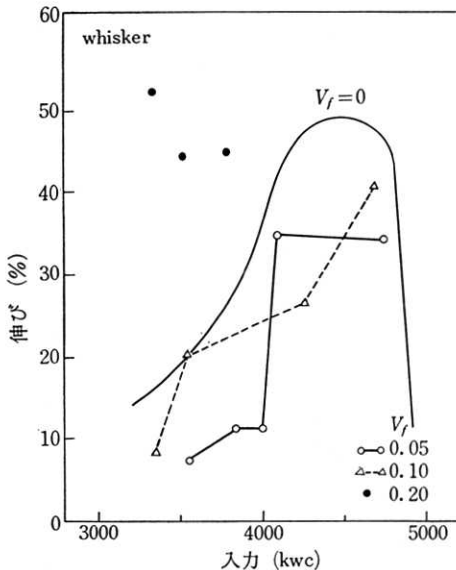


図 5 鉄ウィスカを配合した鉄焼結体の入力と伸びの関係

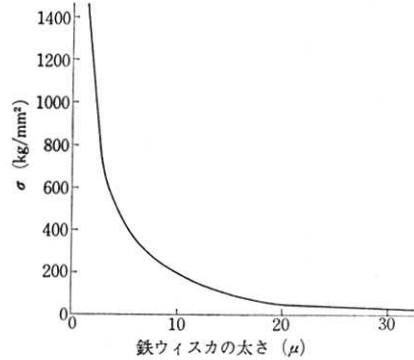


図 6 鉄ウィスカの径と引張強度の関係⁴⁾

値を示すことは、現象的には、ウィスカ配合の結果である。しかし、焼結体の中で、本実験で用いたウィスカが、いわゆる欠陥のない高強度のウィスカとして機能しているとは考えられず、むしろ、焼結体の中で、純度のよい一方向に配列した bulk 部分としてウィスカの性質が保存され、焼結体の性質に寄与しているために、伸びが上昇したと考えられる。なぜならば、通電をせず圧縮成形だけを行い、圧粉体から鉄ウィスカをとり出し、顕微鏡観察を行うと、写真 2 のようなウィスカ表面に多数の切欠がみられる。ウィスカ単独の場合にはこの切欠の存在によって、強度は表 1 に示めされるように著しく低下する。ところが、この圧縮成形時に形成されたウィスカ表面の切欠部は、ウィスカと粉末との接触部に相当し、その接触部を抵抗焼結時に電流が通ることによって焼結が進行する。つまり、圧粉体ではウィスカの切欠部分が、焼結体の中では、マトリックスとの強固な結合部分となっている。このようなマトリックスと結合した条件下でのウィスカが、焼結前のウィスカ自体の特性を

表 1 鉄ウィスカの切欠による強度低下

断面積 $\times 10^{-4} \text{mm}^2$	きずのあるウィスカの 引張強度 kg/mm^2	きずのないウィスカの 引張強度 kg/mm^2
9.0	19.4	26.7
19.5	10.4	23.6



写真 2 圧縮成形時に生じた鉄ウィスカ表面のきず⁴⁾

どの程度保存しているかは定かでないが、ウィスカが、一方向に配列した延性的高純度層として、 $V_f=0.20$ といったある限度以上の割合になると、焼結体の機械的性質に影響を及ぼすものと思われる。

次にウィスカの径の影響を検討してみる。 $V_f=0.10$ で同程度の入力の場合に、相対的に細いウィスカ(高強度)を配合した焼結体と、太いウィスカ(低強度)を配合した焼結体の機械的性質を比較すると、表 2 に示されるように、太いウィスカの焼結体の方が、密度が低いにもかかわらず強度、伸びともに大きい。このことは、細いウィスカの場合には、切欠の影響や粉末との結合部の影響に敏感であり、そのため著しく強度、伸びを低下させることを意味している。また、前述の一方向に配列した高純度層としてのウィスカの役割を果さず、かえって複合体としての焼結体の機械的性質を低下させることを意味している。

応力-歪曲線の概略図を図 7 に示す。 $V_f=0.02$ の曲線は、 $V_f=0$ とウィスカ自体 ($V_f=1$) の曲線と中間的な様相を示す。ウィスカの上降伏点に相当した歪 (1~4%) で、 $V_f=0.20$ の焼結体も曲線にネックを生じる。このことは、 $V_f=0.20$ の焼結体中のウィスカも降伏していることを示している。一方、 $V_f=0$ の鉄のみの抵抗焼結体は、応力-歪曲線において、2 段階の塑性変形域をもっている。同様な傾向が $V_f=0.20$ にも見られる。

表 2 相対的に径の大ききの異なるウィスカを用いた場合の諸性質

	最大の径から 20 本目までの		入力 (kWC)	密度比 (%)	引張強度 (kg/mm ²)	伸び (%)
	平均長さ (mm)	平均径 (μ)				
太	30.6	201.0	4,232	87.2	27	27
細	27.4	79.5	4,357	88.4	20	13

$V_f=0.10$

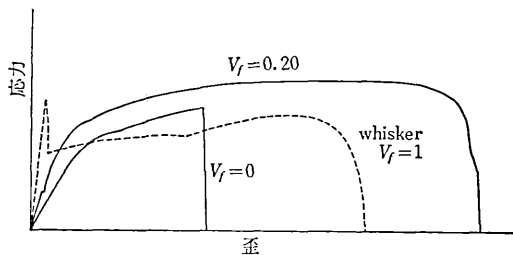


図 7 鉄粉のみの焼結体 ($V_f=0$), 鉄ウィスカを配合した焼結体 ($V_f=0.2$), 鉄ウィスカ ($V_f=1$) の応力-歪曲線の概略図

そこで、ウィスカを 2~5 mm に切断した試片を作成し、前述の長ウィスカのものと比較した。その結果、 $V_f=0.20$ の場合には、長ウィスカは $V_f=0$ のときよりも強度、伸びともに高いが、短ウィスカの焼結体は、強度は $V_f=0$ とほぼ同じであるが、伸びは $V_f=0$ よりも低かった。このことは、長ウィスカの一方向配列が、何らかの形で強度、伸びの改善に寄与していることを示している。短ウィスカの応力-歪曲線は、 $V_f=0$ の場合よりも立ち上りが急であるが、長ウィスカのように、明確な降伏点を示さず、 $V_f=0$ の場合と同様な 2 段階の塑性変形域をもった変化を示した。(1974 年 5 月 22 日受理)

参考文献

- 1) 坂井, 板橋, 原: 粉体および粉末冶金, 第 14 卷, 第 4 号 164 (1967)
- 2) 原, 坂井: 粉体粉末冶金協会昭和 49 年度春季大会講演概要集, 48 (1974)
- 3) 原, 明智, 板橋: 生産研究, 第 26 卷, 第 9 号 (1974)
- 4) 大蔵: 生研報告, 第 22 卷, 第 4 号 (1972)
- 5) 岸高: 粉体粉末冶金協会鉄系焼結材の強度向上に関するシンポジウム講演概要集, 7 (1972)
- 6) 徳永: 同上, 20

