研 究

20Cr-5Al ステンレス鋼繊維焼結体の抵抗特性

兼子 正生^{☆1}, 今村 正人^{☆2}, 全 敏榮^{☆1}, 柳沢 章^{☆1}^{☆1}日本工業大学工学部, 〒345-8501 埼玉県南埼玉郡宮代町学園台 4-1.^{☆2}新東工業(株)東京研究所, 〒338-0832 さいたま市西堀 4-6-10.

Electrical Resistance Characteristics of Sintered Material used 20Cr-5Al Stainless Steel Fiber

Masao Kaneko^{☆1}, Masato Imamura^{☆2}, Jun Min Young^{☆1} and Akira Yanagisawa^{☆1}^{☆1}Fac. Eng., Nippon Institute of Technology, 4-1 Gakuendai Miyashiro-machi Minamisaitama-gun, Saitama 345-8501.^{☆2}Tokyo Res. Center, Sintokogio Ltd., 4-6-10 Nishibori, Saitama 338-0832.

Received March 7, 2002

SYNOPSIS

Electrical resistance characteristics of sintered material made by stainless steel fiber has heat-resistance, and corrosion-resistance, and are therefore often used for polymer filter, automobile exhaust filters, and other filters.

In this study, 20Cr-5Al stainless fibers are sintered for the first time by the hot water soluble resin coated coil-shaving methods and electrical resistance characteristics as sintered material were studied. Though the fiber heat-resistance of this stainless steel fibers has been verified, there are almost no studies on the sintering characteristics, purposes, etc. of metal fibers.

The electrical resistance characteristics of fiber sintered materials were investigated for the use in heaters, and the results showed that the specific gravity changes in the sintering, compression of rolling processes, and the specific resistance decreases as the porosity becomes decrease, indicating that the specific resistance of sintered material can be controlled.

KEY WORDS

Sintering, Metal fiber, Stainless steel, Electrical resistance

1 緒 言

ステンレス鋼繊維焼結体は強度, 耐熱性, 耐食性に優れていることから, ポリマー用フィルター, 自動車排ガス用フィルター, その他各種フィルター等に多く用いられている。金属繊維がフィルター用途等に利用される場合には長繊維がそのまま用いられることは殆どなく, 長繊維を適当な長さに切断し, これを無配向に積み重ねた不織布, あるいはこれらを焼結したものが用いられている。

現在, 金属繊維の量産技術として用いられている集束伸線法¹⁾は高品質な細径繊維の製造法であるが, 引抜き時に各素線の凝着を防ぐために用いた被覆材や外装材等を化学的に処理しなければならないため, 耐酸性の悪いフェライト系である20Cr-5Alステンレス鋼は繊維化が困難であり, 高コストであるという欠点を持っている。一方, ワイヤ切削法²⁾は直径3mm程度のワイヤを対向するロールに必要量巻き, 他のロールで巻取りながらワイヤを供給し, 平行に並んだワイヤの上を刃物で切削し金属繊維を得る方法であることから, 被削性

の良好な材種に限られ, 均一な繊維径が得られない, 歩留まりが悪いといった欠点がある。これらの欠点を補うことの出来ると考えられる新しい金属繊維製造法である湯溶性樹脂被覆コイル材切削法³⁾は集束伸線法やワイヤ切削法に比べて, 適応する材種が多く, 均一な繊維径が得られ, しかも低コストである等の多くの特徴を持っている。また, この20Cr-5Alステンレス鋼もこの湯溶性樹脂被覆コイル材切削法で初めて繊維化されたものであり, 繊維としての耐熱性は確認されている⁴⁾。しかし, 金属繊維の焼結特性, 用途等の研究開発はこれまで殆ど行われていない。触媒担持メタルハニカム材として用いられている20Cr-5Alステンレス鋼はカンタル線として通常のヒータ線として用いられている材料である。本研究では湯溶性樹脂被覆コイル材切削法で繊維化した20Cr-5Alステンレス鋼繊維焼結体の抵抗特性の検討を行った。

2 実験方法

湯溶性樹脂被覆コイル材切削法による金属繊維製造法を

Fig.1 Hot water soluble resin coated coil shaving method.

Fig.1に示す。この方法はまず、切削時の薄板相互の溶着を防止するためにコイル素材の片面にポリビニールアルコール (PVA) を約 $10\mu\text{m}$ 程度の厚さにコーティングし、約 250°C の温風中で約 5m/min の速度で巻取りながら乾燥し、被覆コイル材としたものを旋削主軸ドラムに必要量巻取り、その端面を切削して繊維とするものである。繊維に残存するPVA、切削油剤等を温水洗浄除去した後、さらにエチルアルコールで洗浄し、乾燥させて巻取った。実験に用いた20Cr-5Alステンレス鋼の化学組成をTable 1に示す。この材料は20%Crステンレス鋼に5%Alと酸化安定成分として0.08%Laが添加された材料で、表面にアルミナ酸化皮膜が生成するため、耐熱性に優れたメタルハニカム材料として開発されたものである。供試繊維製造条件をTable 2に示す。供試材として20Cr-5Alステンレス鋼、板厚 $t=0.05\text{mm}$ 、工具は超硬工具(P20)を用い、工具の送り量 $15\mu\text{m/rev}$ 、すくい角は 32° 、切削速度 72m/min で水溶性切削油剤を用いて繊維の製造を行った。コイル材切削法

で得られる繊維断面は薄板コイル材の端面を切削していることから、長方形断面となる。この長方形断面の一边はコイル材の板厚に一致し、他の一边は工具の送り量に依存した繊維厚さとなる。また、この長方形断面積を円形に換算した直径を繊維換算直径とすると、板厚 $t=0.05\text{mm}$ 、送り量 $15\mu\text{m/rev}$ で $28\mu\text{m}$ 相当の換算直径となる。

次に、焼結実験に用いた不織布の製造法⁵⁾をFig.2に示す。不織布製造装置は供給ロール、中間ロール、切断ロールから構成され、速度比の僅かに異なる供給ロールと中間ロールで金属繊維を部分的に切断し、高速回転の切断ロールで完全に切断開繊したのち、エアーでコンベアー上に飛散させ、無配向に積み重ねて連続したウェブとするものである。切断される繊維長さは中間ロールと切断ロールとのロール中心間距離にほぼ比例し、本研究では繊維切断長さを約 150mm とした。不織布製造条件と焼結条件をTable 3に示す。不織布の大きさは $300\times 500\text{mm}$ 、目付け量(単位面積当たりの繊維重量)は 300g/m^2 のウェブを重ねることによって調節したウェブを $10^{-4}\sim 10^{-3}\text{Pa}$ の真空中で、荷重0, 5, 10kPaを加えて焼結し、得られた焼結

Table 1 Chemical compositions.

(mass %)							
C	Si	Mn	Ni	Cr	Al	La	Fe
0.05	0.14	0.18	0.21	20.0	5.0	0.08	Bal.

Table 2 Cutting conditions.

Work Materials	20Cr-5Al stainless steel Sheet thickness $t:0.05\text{mm}$
Cutting tool	Sintered carbide tool (P20)
Cutting Conditions	Rake angle $\gamma:32^\circ$ Feed rate $S:15\mu\text{m/rev}$ Cutting speed $v:72\text{m/min}$ Width of cut $W:20\text{mm}$ Water soluble coolant (Castrol SUPERDGE6759)

Fig.2 Unwoven fabrications.

体から25×470mmの試験片を切り出し、4端子法で抵抗の測定を行った。また、密度変化による抵抗の変化を調べるため、試験片を0.1mmづつロール間隔(大野ロール製、ロール直径120mm、出力3.7KW)を小さくしながら圧延を行い、そのときの寸法変化、重量(アルキメデス法による比重)及び抵抗を測定した。また、気孔率は試験片の体積、重量から密度を求め、真密度との比較から求めた。

3 実験結果及び考察

焼結時の荷重を変化させたときの焼結体の厚さと目付け量の関係をFig.3に示す。目付け量が1300g/m²で無荷重の場合には2mm程度であるが、同一目付け量でも焼結時に荷重を加えると約0.9mmと薄くなることが確認された。また、通常使用される目付け量約2000g/m²以下での焼結体の焼結時の荷重による厚さの変化が殆ど認められなかった。次に得られた焼結体の気孔率に対する比抵抗の変化を測定した。結果をFig.4に示す。気孔率は焼結体の目付け量により変化し88～82%の範囲である。また、この時の比抵抗は気孔率により依存し $26 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ から $15 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ まで変化して小さくなったが、より小さな比抵抗を得ることは通常の加圧焼結では困難であると考えられる。次に、比抵抗と比重との関係をFig.5に示す。当然、単位体積あたりの繊維本数が多いもののほど比重が大きくなり、電気の流通経路も多くなるため比抵抗が小さくなった

Table 3 Experimental conditions.

Felt production	Specimen size :300×500mm Weight Wt:300~4500g/m ²
Sintered conditions	Temperature St:1373K Holding time Ht:3.6ks Load Lf:5, 10kPa Vacuum $10^{-4} \sim 10^{-3}$ Pa

Fig.3 Relation between of sintered thickness and weight.

たものと考えられる。これらのことから、焼結体の比抵抗は気孔率や比重により一定値を示すことが確認された。

平均としての焼結体の抵抗は測定可能であるが、実際の焼結体はウェブを重ねて目付け量の変動を小さくしているにも関わらず、必ずしも一定な値とはならず密度むらが生じ、この密度むらが抵抗に影響しているものと考えられる。次に焼結体全体での焼結体の厚さは一定ではなく若干バラツキ、抵抗も局部的に大きく変化することが確認された。これはFig.6に示す焼結体の外観からもわかるように不織布製造時の繊維の重なり具合のムラによるものと考えられる。この繊維の重なり具合のムラは不織布製造時の繊維切断長さやその量等に依存しているものと思われる。そこで、焼結体を圧延し、板厚を一定化することで抵抗を制御することを目的として、板厚の変化が抵抗にどの様に影響するかを測定した。用いた焼結体は通常の焼結体の製造に用いられている5kPaの荷重のものである。Fig.7に圧延時のロール間隔と焼結体の厚さを調べ

Fig.4 Relation between porosity and specific resistance.

Fig.5 Relation between specific gravity and specific resistance.

Fig.6 External view of sintered material.

Fig.8 Effects of weight and rolling according to thickness.

Fig.7 Changes in thickness of sintered material by rolling.

Fig.9 Changes in specific gravity and porosity in respect to thickness.

た結果を示す。圧延された焼結体の厚みはほぼロール間隔に比例して減少し、ロール間隔が0.2, 0.4 mmと小さい場合には僅かに厚みが大きく、0.6～1.0 mmの間ではほぼロール間隔に対して一定な値となっている。ロール間隔が小さいと焼結体のスプリングバックにより、設定ロール間隔よりも板厚が僅かに大きくなったものと考えられる。次に、Fig.8に板厚に対する目付け量と比重の変化を示す。焼結体厚さが小さくなる、つまり圧延が進んでも焼結体の幅と長さは変化しないが、厚さが0.3 mm以下となると長さが変化するため目付け量(g/m^2)は変化する。厚さが0.4 mm以上では目付け量の変化が認められないが、比重は板厚に比例して変化することが確認された。これは圧延が進んでも長さの変化がないことから、圧縮工程により比重が変化しているものと考えられる。厚さが0.3 mm以下の場合には比重が著しく増加することが認められた。この範囲では圧延効果により比重が変化したものと考えられる。さらに、その過程に対応するようにFig.9に示すように気孔率

も変化する。本実験で使用した圧延機的能力が小さかったこと等により、気孔率が約20%と通常の粉末焼結体での閉気孔生成領域で終了している。圧延初期の圧縮工程では気孔率は殆ど変化しないが、圧延後期では焼結体の伸びにより気孔率が著しく低下することが認められた。

また、圧延による緻密化によって抵抗はFig.10に示すように小さくなるが、比抵抗は焼結体の圧延による厚さの減少と共に若干大きくなる傾向を示すことが認められた。これは圧延後期過程で繊維が切断され、20Cr-5Alステンレス鋼に特有のアルミナ表面酸化皮膜の破壊によって接触効果が現れたものではないかと考えられる。

以上の焼結と圧延過程での結果をまとめるとFig.11に示すようになる。金属繊維の焼結は金属粉末の焼結に比較して形状依存性が大きく、本実験の範囲においては焼結時の荷重が小さいことから焼結は著しく進行せず、圧延することにより緻密化が増大し、比抵抗は小さくなる。また、この過程の延

Fig.10 Effects of rolling on resistance and specific resistance.

Fig.11 Relation between Specific Gravity and Specific Resistance.

長線上に原材料として用いたコイル材の比抵抗が合致するはずであるが、金属繊維の圧延では材料特有の表面酸化皮膜等の存在により金属マトリックスの完全な接触が阻害されるため、一致しなかったものと考えられる。また、金属繊維焼結体の場合には焼結、圧縮、圧延の工程によって密度が変化し、比抵抗が減少することが確認された。

4 結 言

20Cr-5Al ステンレス鋼繊維焼結体の抵抗を検討した結果、

- (1) 焼結体の厚さは圧延ロール間隔に比例した厚さとなるが、ロール間隔の小さい領域では繊維のスプリングバックにより僅かに厚くなる。
- (2) 圧延が進行しても焼結体の幅、長さに変化はなく、焼結体の厚さのみ変化し、厚さ 0.4 mm 以上では目付け量に変化しない。
- (3) 目付け量が一定となる範囲において、比重は厚さによって変化する。
- (4) 比抵抗は気孔率が小さく、比重が大きくなると低下する。
- (5) 圧延による緻密化により焼結体の抵抗は小さくなるが、比

抵抗は焼結体の厚さが小さくなくても僅かに大きくなる程度である。

- (6) 焼結体の密度は焼結、圧縮、圧延の工程により変化し、それに伴って比抵抗も小さくなる。

文 献

- 1) 渡辺輝男: "ステンレス鋼極細線の引き抜き", 塑性と加工, 9(1978)692.
- 2) 中川威雄, 柳沢章, 鈴木清: "金属繊維の製造と応用", 繊維と工業, 39(1983)121.
- 3) 兼子正生, 柳沢章, 中川威雄: "湯溶性樹脂被覆コイル材切削法によるステンレス鋼繊維の製造", 精密工学会誌, 68(1996)110-114.
- 4) 兼子正生, 李準宰, 今村正人, 柳沢章: "コイル材切削法により作製された各種ステンレス鋼繊維の耐熱性の検討", 日本繊維機械学会誌, 53(2000)T147-T153.
- 5) 兼子正生, 柳沢章, 鈴木亮: "コイル材切削法による金属繊維製造装置の開発", 日本繊維機械学会誌, 49(1996)T260-T268.