 研 究

鉄系焼結金属の摩耗特性 (第 1 報)*

上 田 太 郎** 田 中 政 夫** 田 中 芳 雄***

Wear Characteristics of the Iron-based Sintered Metals (1st Report)

Taro UEDA, Masao TANAKA, Yoshio TANAKA

In order to study the wear characteristics of the self-lubricating iron-based sintered metals which are used as machine parts, the sliding wear tests have been carried out by 4-series Amsler type wear testing machine made in our laboratory.

Through the study, the influences of chemical composition, sintered density, heat treatment, contact pressure and sliding speed on the wear characteristics of the self-lubricating iron-based sintered metals have been investigated.

As the conclusion, it is shown that when the self-lubricating iron-based sintered metals are used for wear resisting machine parts, they should be much impregnated with lubricant by lowering of density, and hardened by heat treatment.

1. 緒 言

焼結金属材料の耐摩耗性は従来、含油軸受材料の軸受特性の一つとして論じられ、またこれに対する研究^{1),2)}が主となされてきた。

しかし焼結金属材料は近時、一般機械用部品としても漸次その用途を拡大し、それぞれ各部品に適応した種々の材質あるいは条件の下で使用されている。^{3),4)}したがって、機械部品用としての焼結金属の物理的ならびに機械的性質に対してもかなり明白な資料⁵⁾が与えられてきている。しかし、最近の機械部品用焼結金属は歯車、カム、しゅう動面などの耐摩耗性を必要とする方面にも多く用いられ、その摩耗特性について強い関心が示されているにもかかわらず、この方面の研究ならびに資料はまだ少ない。

そこで本研究はかかる軸受材料と異なる材質ならびに条件をもつ機械部品用焼結金属材料の耐摩耗性を明らかにするため、鉄系焼結金属のすべり摩耗試験を実施し、その摩耗特性に及ぼす諸因子の影響を測定した。

2. 供 試 材

供試材は表 1 に示す化学組成をもつ還元鉄粉 MH100-24 を原料として製作した Fe および Fe-C 系含油焼結金属で、その焼結密度を 5.8, 6.2, 6.7 g/cm³ の 3 種とし、さらに焼結後熱処理して硬化させた焼入材と焼結のままの非焼入材の 2 種に大別して、これら焼結材の摩耗特性に及ぼす組成、焼結密度、熱処理の影響を測定することにした。表 2 は供試材の炭素量、焼結密度、含油量、硬度、熱処理を示している。熱処理は Fe 系には浸炭焼入、Fe-C 系には普通焼入を行なった。Fe 系浸炭焼入材は Fe-C 系普通焼入材に比べて硬度はかなり高くなった。

3. 摩 耗 試 験 法

3.1 試験機

摩耗試験は図 1 に示す回転試験片と固定試験片との間にすべり摩擦を行なわせるアムスラ形摩耗試験機 (図 2) と試作四連式摩耗試験機 (図 3) とにより実施した。

従来のアムスラ形摩耗試験機 (図 2) は摩擦面の接触

表 1 原料鉄粉の化学組成 (%)

C	Si	Mn	P	S	Fe
0.05	0.01	0.03	0.001	0.005	残 り

* 昭和39年4月25日精機学会関西支部総会講演会にて発表。なお本研究は精機学会「焼結金属の機械部品への応用に関する分科会」の事業の一部として行なったものである。

** 正会員 大阪大学工学部

*** 学生会員 大阪大学工学部

荷重が 50~500kg と大きく、小荷重で使用する焼結金属用の試験には利用の範囲が狭いので本研究ではこのアムスラ形摩耗試験機を大荷重のみに使用し、3~40kg の小荷重用として図 3 の四連式摩耗試験機を試作して、主としてこれにより実験することにした。試作機は従来のアムスラ形試験機の試験片 (図 1) をそのまま使用することができるのと同時に、すべり摩擦トルクの測定、すなわち摩擦係数の測定や異なる条件で 4 組が同時に試験することができる。

図 3 はこの試作四連式摩耗試験機で、回転試験片 a および固定試験片 b はそれぞれ回転軸および固定軸にとりつける。この両者間のすべり摩擦における接触圧力はマ

イクロメータヘッドの移動によりばね c で与えられる。回転試験片 a と固定試験片 b との間の摩擦力は測定子 d に貼ったストレンゲージで測定する。この試験機においては各回転軸の V プーリの大きさを変えてそのすべり速度を、また各ばねにより接触圧力を自由に変えて異なる条件下で 4 組の摩耗試験を同時に実施した。

3.2 試験方法

すべり摩耗試験における回転試験片と固定試験片との組合わせについて本試験では両者の材質、焼結法、熱処理など全く同一のものを組合わせることにした。試験条件としては接触圧力を 19.1, 6.9, 4.6, 2.3, 1.8 kg/cm² に、すべり速度を 55, 115, 200m/min に変化させ、自

図 1 試験片の形状

図 2 アムスラ形摩耗試験機の概略図

表 2 供試材の諸性質

種別	質 別	C 量 (%)	焼結密度 (g/cm ³)	含油量* (体積%)	ロックウェル 硬 度
非 焼 入 材	Fe 系	0.05	5.80	23	H _R H60
			6.30	16	" 70
			6.78	6	" 85
	Fe-C系	0.40	5.76	24	H _R B 20
			6.21	17	" 30
			6.70	9	" 50
焼 入 材	Fe ** (浸炭)	0.80	5.80	23	H _R C 20
			6.30	16	" 30
			6.77	8	" 35
	Fe-C系***	0.40	5.72	23	H _R B 48
			6.21	17	" 56
			6.71	10	" 71

* 含浸油：非焼入材は、タービン油、焼入材は焼入油

** 900°C、3 時間ガス浸炭後油焼入

*** 900°C、3 時間加熱後油焼入

a : 回転試験片 b : 固定試験片 c : 負荷用ばね
d : すべり面摩擦力測定子 e : 電動機軸 V プーリ f : 摩耗試験機軸 V プーリ

図 3(a) 試作四連式摩耗試験機側面図

図 3(b) 試作四連式摩耗試験機正面図

己の含浸油のほかは無給油状態で試験した。

焼結のままでは回転試験片と固定試験片が最初、全面接触しにくいので試験に先立って両者のすべり面をラップ仕上して、全面接触させてから試験を開始した。

試験中の摩耗量はすべり距離 5, 15, 35, 55 $\times 10^4$ m ごとに試験機の運転を止め、回転試験片の直径および重量の減少量を測定することにより評価した。通常の摩耗試験における摩耗量の評価は一定のすべり距離ごとの試験片の重量変化によりなされる場合が多いが、本研究にお

ける焼結金属の場合には、その含浸油の存在のために重量変化は焼結金属の摩耗量と試験中の含浸油量の変化とに影響され、焼結金属の正確な摩耗量をあらわさない。しかし試験片の寸法変化は摩耗量にだけ関係するため、本研究では主として回転試験片の直径寸法を測定し、重量変化は参考として測定することにした。なおすべり面の摩擦係数より計算した摩擦係数ならびにすべり面温度を測定するとともにすべり面を顕微鏡観察して、焼結金属の摩耗特性追究の一助とした。

図 4 接触圧力 2.3kg/cm² の場合の非焼入材の回転片直径ならびに重量減少量に及ぼす摩擦時間の影響

図 5 接触圧力 4.6kg/cm² の場合の焼入材の回転片直径ならびに重量減少量に及ぼす摩擦時間の影響

図 6 接触圧力 2.3kg/cm^2 の場合の非焼入材の摩擦係数ならびに摩擦温度に及ぼすすべり摩擦時間の影響 図 7 接触圧力 4.6kg/cm^2 の場合の焼入材の摩擦係数ならびに摩擦温度に及ぼすすべり摩擦時間の影響

4. 試験結果および考察

図 4 は焼結のままの非焼入材を接触圧力 2.3kg/cm^2 ですべり摩擦させた場合の回転試験片の直径寸法ならびに重量変化を示した一例である。いずれの場合もすべり摩擦時間の増大とともに回転試験片の直径寸法ならびに重量は同じような傾向で減少し、すべり速度が大きく、焼結密度の大なるものは短時間で焼付きが生ずる。

図 5 は同じく焼結後浸炭焼入れ、あるいは普通焼入れした焼入材を接触圧力 4.6kg/cm^2 ですべり摩擦させた場合の回転試験片の直径寸法ならびに重量変化を示したものである。この場合も図 4 の非焼入材と同様な結果を示しているが、ただ硬度が大きいため接触圧力が非焼入材の 2 倍の大きさでも良好な摩耗特性を示す。

図 4 および図 5 に示した非焼入材ならびに焼入材について摩耗試験中の摩擦係数ならびにすべり面より 2 mm 離れた内部の固定試験片の温度 (図 1 参照) 変化の一例を示したのが図 6 および図 7 である。両者はいずれも焼入材にくらべ非焼入材の方がやや大きい傾向にあるが、定常摩耗状態でのすべり摩擦係数は大体 $0.1 \sim 0.2$ であり、温度は約 $40 \sim 90^\circ\text{C}$ である。

なおこれらの場合、焼付きを生ずることなく、定常摩耗しているときの摩擦面を顕微鏡観察すると、すべり摩擦面にはいつまでも含油孔の存在するのが認められた。しかし焼付きを起こすときはすべり面にまず酸化膜を生じ、一時これが潤滑の助けをしているようであるが遂には含油孔をふさいでしまう。

以上は非焼入材を 2.3kg/cm^2 、焼入材を 4.6kg/cm^2 の接触圧力で試験したときの結果を示したものであるが、同様の試験を各種条件下で実施しそれらの結果から、鉄系焼結金属の耐摩耗性におよぼす諸因子の影響を検討してみた。その結果の数例を示すと次のようである。

(1) 材質の影響 (図 8 参照)

Fe 系と Fe-C 系焼結金属の耐摩耗性の差異は本試験結果からはあまり明瞭でなく、今後さらに検討してみる予定である。

(2) 熱処理の影響 (図 9 参照)

焼結のままの非焼入材では接触圧力が 4.6kg/cm^2 のときはもちろんのこと、 2.3kg/cm^2 の場合でも焼結密度の高いものでは焼付きを起こすけれども、焼入材は 4.6kg/cm^2 で焼付きがほとんどなく、 6.9kg/cm^2 でも焼結密度の低いものは焼付きを起こさない。

(3) 焼結密度の影響 (図 10 参照)

焼結密度 $5.8 \sim 6.7 \text{ g/cm}^3$ の範囲内では非焼入材、焼入材を問わず密度の高いものほど早く焼付きが起こる。これは主として密度の高いものほど焼結金属中の含浸油量が少ないことに原因すると考えられる。

(4) 接触圧力の影響 (図 11 参照)

接触圧力を $1.8 \sim 19.1 \text{ kg/cm}^2$ に変化させて試験したが、いずれの材料も接触圧力が大きくなるほど、重量と

寸法の減少量が大きくなり焼付きも早く起こる。

(5) すべり速度の影響 (図 12 参照)

摩耗試験におけるすべり速度が速くなるほど、焼付状態が早くあらわれる。これはすべり速度が大になればすべり面の摩擦温度が高くなり、その結果、すべり面付近の含浸油が時間的に早く消耗するためと考えられる。

(6) 焼結材と普通鋼材との比較 (図 7 参照)

鉄系焼結金属と普通鋼材との耐摩耗性を比較するため普通鋼 S35C 材につき同一試験法にて摩耗試験した結果、普通鋼 S35C の非焼入材は接触圧力 2.3 kg/cm^2 (200 m/min) で、焼入材は 4.6 kg/cm^2 (200 m/min) で試験開始後、間もなく焼付き現象が生じた。焼結金属では上述のようにかかる試験条件で焼付きの生じない場合もあり、これは焼結金属中の含浸油によるものである。

なお上記の各結果をさらに総括する意味で、ここに実施した試験結果の範囲内で鉄系含油焼結金属のすべり摩耗における許容荷重を、含油軸受の許容荷重に関する米国の MPA 規格の計算式⁶⁾ $PV=1060$ (ただし軸速度 60 m/min 以上) と同様な形で示すと本試験結果から表 3 に示す値を得た。ここに P が許容接触圧力 (kg/cm^2)、 V がすべり速度 (m/min) である。表 3 の PV 値はすべり

図 8 すべり摩擦距離 $5 \times 10^4 \text{ m}$ における回転片直径減少量に及ぼす材質の影響

図 9 すべり摩擦距離 $50 \times 10^4 \text{ m}$ における回転片直径減少量に及ぼす熱処理の影響

図 10 すべり摩擦距離 $50 \times 10^4 \text{ m}$ における回転片直径減少量に及ぼす焼結密度の影響

図 11 すべり摩擦距離 $50 \times 10^4 \text{ m}$ における回転片直径減少量に及ぼす接触圧力の影響

図 12 すべり摩擦距離 $50 \times 10^4 \text{ m}$ における回転片直径減少量に及ぼすすべり速度の影響

表 3 鉄系含油焼結金属の許容 PV 値

質 別	焼 結 密 度 (g/cm^3)	最大許容 PV 値* ($\text{kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{m}/\text{min}$)	
		非 焼 入 材	焼 入 材
Fe 系	5.8	450	900
	6.2	200	900
	6.7	—	700
Fe-C系	5.8	300	950
	6.2	200	800
	6.7	—	700

* すべり摩擦距離 $50 \times 10^4 \text{m}$ の試験結果から求めた値

速度 115 および 200m/min の試験結果より得た値であり、すべり速度や接触圧力が広範囲に変化するときについては目下測定中であるが、この結果より鉄系焼結金属の摩擦特性の概要を知ることができる。

すなわち鉄系含油焼結金属の耐摩耗性は焼結密度を小さくして含浸油量を大きくする方が、また焼結後焼入れして硬度を高める方が良好な結果を示すことが認められる。

5. 総 括

Fe 系 および Fe-C 系含油焼結金属のすべり 摩耗試験

をした結果の概要を示し、その耐摩耗性に及ぼす諸因子の影響を述べたのであるが、一般に鉄系含油焼結金属を耐摩耗性を必要とする機械用部品に応用する場合には、焼結密度を小さくして含浸油量を多くするとともに焼入処理して硬度を高めるのが得策であることが判明した。

なお本摩耗試験はすべり摩擦する相手が同一焼結材であったが、相手が異なる場合、すなわち焼結金属でも材質、焼結密度、熱処理などの異なるものの組合わせ、あるいは焼結金属と鋼との組合わせ、またこれらのころがり摩擦の場合などについて目下研究中である。

終わりに本研究を行なうに当り焼結金属材料を提供された住友特殊金属(株)に厚く感謝の意を表する。

(1964, 5月20日受付)

文 献

- 1) 滝口良造：粉末冶金による最近の軸受合金，金属，25巻6号(1955) 415.
- 2) 川崎景民：含油および無給油軸受の特性，精密機械，25巻11号(1959) 594.
- 3) 玉置元久：粉末合金の機械部品への応用，精密機械，27巻5号(1961) 274.
- 4) 分科会資料：焼結機械部品の設計，精密機械，29巻7号(1963) 529.
- 5) たとえば林悦雄：鉄系焼結機械部品材料，材料試験，10巻93号(1961) 442.
- 6) 軸受潤滑便覧，日刊工業新聞社(昭36) 83.