研 究

ポアを分散させた摺動用超硬合金の製造とその諸性質

日本タングステン(株)超硬部 西村 富夫, 石橋 修, 寺崎 清
徳本 啓

Tomio Nisimura, Osamu Ishibashi, Kiyoshi Terasaki, and Kei Tokumoto: Fabrication and Properties of Pore Dispersed Cemented Carbides for Bearing Parts.

Cemented carbides are used for bearing parts as well as cutting tools, but their sliding ability is not sufficient for severe conditions. In order to improve their ability, an introduction of pores into cemented carbide was attempted by means of addition of spherical resin to the milled powder. The specimens were fabricated by conventional methods. Their microstructures, mechanical properties and dynamic coefficient of friction were investigated. The results obtained were as follows:

(1) pores were homogeneously dispersed in specimens, and their shapes and dimensions corresponded to the added resins, (2) the hardness was decreased with the increase in pore content and transverse-rupture strength was decreased with the increase in pore content and their dimensions, and (3) the dynamic coefficient of friction between the pore dispersed cemented carbide and a conventional cemented carbide was smaller than that between conventional cemented carbides.

(Received January 17, 1989)

1. 緒言

超硬合金は硬さ、強さが大きく、各種工具材料としてのみならず摺動材料としても広く使用されている。しかし、この摺動条件は益々過酷になり、摺動性能のより一層の向上が望まれている。摺動材料の一つに含油合金があり、この合金は孔（ポア）を有し、このポアに潤滑性の油が含まれ、摺動性能が優れる¹⁾。

ポアを超硬合金にも分散させれば摺動性能が向上することが期待されるが、超硬合金は構造敏感な材料であり、その強さはポア存在に大きく依存することが知られている^{2, 3, 4)}ので、ポアの直径、量を制御する必要がある。本報では焼結中に揮散する樹脂を原料粉末に添加混合し、通常の粉末冶金法によってこれらを制御したポア分散(PD)超硬合金を得ようとした。この合金の摺動性能は従来の超硬合金よりも優れることが分かったので、諸性質について報告する。

2. 実験方法

CIS V2相当のWC-6.5%Co合金粉末をボールミル混合、乾燥によって得、これにTable 1に示す直径、量の樹脂（後掲のPhoto.1参照）をらい潰機にて1.8ks添加混合した。これらをJIS抗折試片(4x8x30mm³)⁵⁾にプレス成型後、(1573K-1723K)X3.6ksの真空(10Pa)焼結して、ポアを

Table 1 Mean diameter and additional amounts of resin

mean diameter	additional amounts of resin		
	6vol%	30vol%	50vol%
11 μ m	○	○	○
19 μ m	○	○	○
30 μ m		○	
50 μ m		○	

分散させた中炭素合金を調製した。なお、樹脂を添加していない中炭素合金も調製した。各試料について組織、ポア体積率(密度から算出)、HrA硬さ、抗折力(3点曲げ, スパン20mm)⁵⁾などを測定した。

さらに、一部の合金については上記と同様の製造方法により内径20.0mm, 外径34.0mm, 厚さ5.0mmのリング試験片を作製し、Fig.1に示す摺動試験に供した。相手材(ピン)は摺動面が $0.2 \times 3 \text{ mm}^2$ のWC-10%Coとし、いずれの摺動面も直径 $10 \mu\text{m}$ のダイヤモンド砥粒でラップした。このピンに3.0kg(29N)の荷重(圧力 $P=500 \text{ kg/cm}^2=49 \text{ MPa}$)を負荷しつつ、リングを3000rpm(周速, $V=4.2 \text{ m/s}$)で回転させ、摩擦力(F)を測定した。ここで、リングが常にピンに接触するように、前者の后者に対する上下動は1回転毎に $10 \mu\text{m}$ 以下となるように十分に平行度を調整した。そして、 $F=\mu \cdot P$ より動摩擦係数, μ を求めた。なお、摺動試験は、乾式および湿式(試験前に機械油をリングに塗布)の2条件にて実施した。ここで、短時間(1.8ks)で評価するために摺動条件は、 $PV=2100 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m/s}(=210 \text{ MPa m/s})$ と、通常よりはるかに厳しくした。

Fig.1 A schematic drawing of the sliding test.

3. 結果および考察

Photo.1には、最小の樹脂のSEM組織例を示す。直径にばらつきはあるが、形状はほぼ球状で、 $11 \mu\text{m}$ の平均直径であった。Table 1に平均直径として示した。Photo.2には $11 \mu\text{m}$ - $50 \mu\text{m}$ の樹脂を30vol%添加した合金(1683Kで焼結)の光頭組織を示す。ポアが均一に分散し、形状はいずれも球状である。平均直径は、添加した樹脂の直径が大になるほど大であり、添加した樹脂の形状を反映したポアが得られる。なお、ポアの直径は焼結温度の増昇とともに減じていた。

Photo.1 SEM microstructure of added resin (mean dia.= $11 \mu\text{m}$).

11 μm 19 μm 30 μm 50 μm

Photo.2 Optical microstructures of pore dispersed cemented carbides. Mean diameters of additional resins were shown in the photograph. Additional amounts of resin was 30vol% and alloys were sintered at 1683K.

Fig.2に、ポア量に及ぼす焼結温度(T)の影響を、樹脂添加量(A)と直径(d)との関係で示す。 A が多いほど、 d が大ほど、また T が低いほどポア量が多い。 A とポア量との関係は自明である。ポアの焼結時の収縮速度は $\dot{\epsilon}=1/\eta (2\gamma/r)$ (ここで、 η は液相を含むマトリックスの粘性係数、 γ は表面張力、 r はポアの半径)で示され⁶⁾、 r が大(d も大)ならば $2\gamma/r$ が小になり、一方、 T が低ければ液相量が減じ⁶⁾、 η が大になる。いずれもより収縮しにくい。実際、ポアの直径は T の減少と共に増していた(既述)。よってポア量が多くなったと言える。なお、いずれの合金でもポア量が約18vol%以上でポアが連続していた。

組織およびポア量が分かったので、機械的性質を検討した。Fig.3には、硬さに及ぼす T, A, d の影響を

Fig.2 Pore contents in alloy affected by sintering temperature (T), mean diameter of resin (d) and additional amounts of resin (A).

示した。同一TではAが少ないほど、またdが小ほど硬さが大になる。既述のように、そのような合金ほどポア量が少ないためであろう。Tの影響については挙動が複雑であり、Tが大になると共に硬さが大になる場合と、あるTで最大となりその後わずかに減じる場合とがある。前者については、合金中のポア量の影響と考えられ、後者については、合金のマトリックス（ポアのない部分）の硬さが、Tが大になると共に小になる⁷⁾ことが関係しよう。硬さはポア量に最も影響される可能性が高いので、この関係をFig.4に整理した。両者には強い関係が認められ、dによらず、ポア量が大になると共に硬さが減少する。

Fig.5には、抗折力(σ_m)に及ぼすT,A,dの影響を示した。傾向はFig.3の硬さの場合とほぼ同様であるが、A,dの影響がより大きくなっていること、Tが大ほど σ_m が大になることの2点が異なる。

Fig.3 Effects of T, d and A on the hardness.

Fig.4 The relation between the hardness and the pore content. Refer to Fig.2 and Fig.3.

Fig.5 Effects of T, d and A on the transverse-rupture strength (σ_m).

この関係には、ポア量が関係する^{2,3,4)}ので、Fig.6には σ_m とポア量との関係を示した。いずれのポア量でもdが小ほど σ_m は大になり、いずれのdでも、2%までのポア量の増加と共に、 σ_m は急減(2.8GPaから約1.3GPaへ)し、それ以上で漸減する。これらの折抗破面を観察したところ、破壊の起源^{2,3,4)}はいずれもポアが3~5個程度密集した領域であり、直径は3d~5dであった。したがってdが小ほど σ_m は大になったことは理解できる。また、破壊の起源の存在位置の最大引張応力点(スパン中心)からの変位は、2%までのポア量の増加と共に減少し、それ以上でほぼ0(最大引張応力点に一致)になった。この変位の減少により、2%までのポア量の増加で σ_m は急減した。2%以上の σ_m の漸減はマトリックス強度の低下によると考えられる。

最後に、摺動性能を検討する。この合金はPV値の大きな、厳しい摺動条件への応用を目的とするので、当然ながら強度も要求される。そこで、 σ_m が1GPa以上で、なおかつポア量もある程度多い、d=11 μ m, A=

Fig.6 The relation between σ_m and the pore content. d was shown in the figure. Refer to Fig.2 and Fig.5.

Fig.7 Effects of the sliding time (t) on the dynamic coefficient of friction (μ). Specimens, shown in the figure, slid on a conventional WC-10%Co alloy. Pressure: 49MPa and Speed: 4.2m/s. (a) dry sliding and (b) wet sliding: sliding after sliding surface spreaded with oil.

30vol%, 1623K焼結の合金（以下PD合金と呼ぶ、この合金のポア量は10vol%でポアは連続していない）について、従来合金（ポア0vol%, 1683K焼結）との比較で試験した。Fig.7には、動摩擦係数、 μ と摺動時間、 t との関係を示した。

Fig.7(a)の乾式の場合、両合金とも μ は t に依存せずほぼ一定であり、いずれの μ も同じで、約0.46と大きい。この乾式条件下ではポアの効果は認められない。

Fig.7(b)の湿式の場合、両合金には明確な差があり、 μ の t への依存性は、従来合金では μ がほぼ一定の約0.15と小さい第一段階、著増する第二段階、ほぼ一定の0.46になる第三段階の三つに、一方、PD合金では第一段階（ μ は約0.15）、漸増する第二段階の二つに分けられ、1.8ksまでは第三段階は認められない。それぞれの段階の t の長さはPD超硬合金の方が従来超硬合金よりも著しく長い。各段階の状態は、第一段階は油が十分に存在している状態、第二段階は油が揮散している状態、第三段階は油が完全に揮散した、乾式と同様の状態になっていた。したがって、上述の μ の変化は、摺動面に存在する油量の変化として理解できる。PD合金の方が摺動性能が優れた（ μ が小さい時間が長い）のはポアの部分に油が保持されたためとしてよかろう。なお、以上のようにポアが連続していない合金でも摺動性能が優れたので、ポア量を増して連続させれば油の保持量が増し、摺動性能はさらに優れることが期待される。

4.総括

超硬合金は耐摩耗性に優れるため、摺動材料としても広く使われているが、その摺動条件はますます過酷になり、性能の一層の向上が望まれている。含油軸受け合金中のポアの効果を超硬合金にも応用することを考え、WC-6.5%Co超硬合金にポアを含ませることを試み、以下の結果を得た。

- (1) 添加した球状樹脂（直径 $d=11\sim 50\mu\text{m}$ ）は焼結中にすべて揮散し、焼結体内には樹脂形状に応じたポアが均一に分散していた。
- (2) 焼結体内のポア量は d が大ほど、樹脂添加量（ $A=0\sim 50\%$ ）が多いほど、また焼結温度（1573～1723K）が低いほど多く、その最大量は30vol%であった。これらの現象は焼結時のポアに作用する力とマトリックスの粘性とから理解できた。
- (3) 硬さは d には依存せず、主としてポア量に依存し、ポア量が0から30vol%と増加すると、HrA91から67へと低下した。一方、抗折力は d が小ほど、またポア量が大きく低下し、ポア量が0vol%の時の2.8GPaから30vol%の時の0.4GPaまで変化した。
- (4) 機械油を塗布した後、動摩擦係数を測定したところ、ポアを含む合金（ $d=11\mu\text{m}$, 添加量=30vol%, ポア量=10vol%, 1623K焼結）のそれはポアを含まない合金よりも長時間、小であり、摺動性能が優れることが分かった。

文献

- 1) 庄司, 永井, 秋山: 粉末冶金概論, 共立出版, (1984), 91.
- 2) 鈴木, 林: 日本金属学会誌, 38(1974), 1013.
- 3) H.Suzuki and K.Hayashi: Planseeber. Pulvermet., 23(1975), 24.
- 4) H.Suzuki and K.Hayashi: Trans. JIM, 16(1975), 353.
- 5) JIS H5501
- 6) 小堀, 植木, 斉藤, 鈴木: 粉体および粉末冶金, 35(1988), 147.
- 7) 鈴木, 相山, 梅田: 日本金属学会誌, 28(1964), 55.