研 究

ショット・ピーニングによる WC 基超硬合金の表面組織変化

土屋 一彦^{☆1}, 寺田 修^{☆1}, 松橋 忠男^{☆1}, 鈴木 寿^{☆2}^{☆1}富士ダイス(株)研究開発部, 〒257-0015 秦野市平沢 36-1. ^{☆2}千葉工業大学工学部, 〒275-0016 習志野市津田沼 2-17-1.

The Change of Surface Structure of WC-Based Cemented Carbides by Shot-peening

Kazuhiko Tsuchiya^{☆1}, Osamu Terada^{☆1}, Tadao Matsushashi^{☆1} and Hisashi Suzuki^{☆2}^{☆1}Research and Development Div., Fuji Die Co., Ltd., 36-1 Hirasawa, Hadano 257-0015.^{☆2}Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology, 2-17-1 Tsudanuma, Narashino 275-0016.

Received April 21, 1997

SYNOPSIS

It is well known that shot-peening on cemented carbide tools such as cutting tools coated with hard materials and sliding parts has often been applied. However, the change of surface structure by shot-peening seems scarcely to be so far made clear. Then, the study on this subject for un-coated WC-15mass%Co and -15mass%Ni alloys was undertaken using mullite beads of 80~200 mesh.

It was found that the rate of fracture of surface layer by shot-peening was larger in coarse grained Co and Ni alloys than fine grained alloys, and it was larger in both alloys by use of coarser beads. It was also found that, to get a flat and uniformly fractured surface, the role of microstructures of the alloy and bead size were particularly of importance.

KEY WORDS

cemented carbide, shot-peening, surface structure, mullite bead

1 緒 言

ショット・ピーニングは、金属材料の表面硬化、耐摩耗性や疲労限の向上などを目的に、古くから行われてきた表面加工法の一つである^{1,2)}が、WC基超硬合金にショット・ピーニングを施すと、摺動部品では潤滑剤の保持が良くなるとか、TiC等の硬質相被覆部品では残留応力が軽減される³⁾などにより、それぞれ工具の性能が向上する可能性がある⁴⁾。ところで、摺動部品などの場合、ショット・ピーニングを施すと、合金表面の組織が変化すると思われるが、従来とも関係報文が見られていないようである。よってここでは、上記の場合を対象に、合金の研磨表面に硬質ビーズをショット・ピーニングしたときの、主として表面組織の変化を調べた。

2 試料および実験方法

試料としては、普通の方法で調製した中炭素の WC-15mass%Co および WC-15mass%Ni 合金を用いた。いずれの合

金も WC 粒度は、粗粒 (3.0~4.0 μ m) と細粒 (~1.5 μ m) との 2 種とした。試験片形状は 4×8×25mm³ の JIS 試片状とし、8×25mm² の面にショット・ピーニング (以下 SP と略す) を施した。結合相の種類を Co と Ni とにしたのは、WC-Co 合金は勿論、WC-Ni 合金も現用されているからである。SP には、乾式装置を用い、条件は次の通りとした。まず SP 用の硬質粉末は、平均粒度 80 メッシュ (約 ϕ 180 μ m) と 200 メッシュ (約 ϕ 70 μ m) のムライト (3Al₂O₃·2SiO₂) ビーズ²⁾ (大平洋ランダム(株)製) とし、噴射圧力は 500kPa、SP 時間は普通 300s 以内の短時間とした。必要により噴射圧力を変化させた。ノズル、試料間の距離は常に 300mm 一定とし、試料表面はいずれの場合も、1 μ m 以下のダイヤモンドパウダーを用いて鏡面仕上げを施した。SP による表面組織の変化は、主として光学顕微鏡を用いて調べ、表面粗さは試片の断面を観察して調べた。SP による応力誘起変態を調べるために、試片の表面の X 線回折を行なった。なお、WC-Co 合金については、抗折力試験も行なった。これには、研磨した試片表面に所定の条件下で SP を施し、抗折力と SP 時間との関係を

¹⁾ 潤滑剤の保持を目的とする場合は、硬質ビーズを用いて表面に凹凸を生じさせる。硬質相被覆部品では軟質の金属ショットなどを用いて被覆層を剥離させないようにすることが必要であろう。

²⁾ ムライトビーズの硬さは約 700~1200HV、WC のそれは約 1800HV。

調べた。

3 実験結果

Fig.1にはWC-CoおよびWC-Ni両試料の光顕組織を示した。合金硬さは、WC-Co合金の粗粒と細粒とでそれぞれ約1000, 1200HV; WC-Ni合金の粗粒と細粒とでそれぞれ約900, 1000HVであった。同一の粒度, 結合相量の場合, WC-Co合金の方が高硬度となる⁴⁾ことは周知の通りである。

Fig.2には使用した80メッシュのムライト・ビーズの外観を示した。ほとんどが真球状になっている。このビーズがSP時間と共に破壊し, 粒度分布が変化することを, 80メッシュのビーズについてFig.3に示した(圧力500kPa)。これより本条件下では, ビーズは300sまではほとんど破壊せず, 900sではかなり破壊することが分かる。このような傾向は微粒(200メッシュ)のビーズでもほぼ同様であった。よって, 以下の実験では, SP時間を300s以内とした。

次に組織変化の結果を述べる。Co合金とNi合金とはほぼ同様な傾向にあったので, 以下, Co合金の結果を主体に, 初めに80メッシュ, 次に200メッシュビーズの順に述べる。

Fig.4は, SP時間を1sとした時のWC-15%Co合金の粗粒および細粒試片表面の組織を低倍率で示す。これによると, 両試料表面にはほぼ円形状の組織が見られ, その寸法は粗粒合金でやや大きい。ここでSP圧力が小となると, 円形状組織の径は減少した。両合金を比較すると, Ni合金の方がCo合金より

Fig.1 Microstructures of two sorts of cemented carbide specimens.

Fig.2 An appearance of 80 mesh mullite beads for shot-peening.

も円形状組織の径がやや大きくなった。

Fig.5は, 粗粒合金についてSP時間を5sと長くした時の表面組織を示す。長時間となる程円形状組織の密度が増加する。

次に, 今述べた円形状組織をやや高倍率で観察し, WC-Co粗粒合金についてFig.6(a,b)の結果を得た。ここで(a)は表面組織, (b)は円形状組織の断面を示す。これらより, 円形状組織は破壊組織を伴っていることが分かり, (b)によると, 円形状組織領域に凹みを生じ, 周辺が合金の塑性流動によってや

Fig.3 Changes of particle size distribution of 80 mesh mullite beads as a function of shot-peening time.

Fig.4 Surface microphotographs of WC-15mass%Co alloy after shot-peening for 1s, using 80 mesh mullite beads.

Fig.5 Surface microphotograph of WC-15mass%Co coarse grained alloy after shot-peening for 5s, using 80 mesh beads.

や隆起しているように見える。すなわち円形状組織は粗粒ビーズ(運動のエネルギー大)の衝突によって生じたことが分かる。細粒合金(円形状組織の寸法がやや小)では、粗粒合金よりも破壊組織が生じ難くなったが、これは細粒合金の方が硬質で、塑性流動しにくいことなどによると思われる。以上の諸結果は Ni 合金についてもほとんど同様であった。

次に長時間の 300s の SP を行なった WC-Co 粗粒合金表面について X 線回折を行ない、Fig.7(a) の結果を得た。これによると、ムライトの回折線が認められるが、これはムライトが SP 時破壊し、合金表面に突き刺さっていることを示すと思う。図には SP によって結合相(γ 相)が ϵ' 相に変態している⁹⁾ことも示されている。

Fig.8 は、SP 時間を 300s とした時の組織である。粗粒も細粒も全表面が破壊組織となっている。Ni 合金についても同様であった。

Fig.6 Microphotographs of surface (a) and cross-section (b) of WC-15mass%Co coarse grained alloy after shot-peening for 1s.

Fig.7(a,b) X-ray diffraction profiles ($\text{CuK}\alpha$) on the surfaces of WC-15mass%Co alloy after shot-peening for 300s, showing that bead pieces are probably embedded in the surface layer of specimens.

次にビーズ粒度を 200 メッシュと小さくした時の結果を述べる。Fig.9 には、Fig.4 に対応させて、Co 合金に対し 1s の SP を行なった時の表面組織を示した。ビーズ径が 80 メッシュの場合と同様に、合金粒度によらず円形状組織を生じるが、その密度は大きく、寸法は小さくなる。また、図は略したが、粗粒ビーズの場合と異なり、試料表面の凹みや塑性流動の形跡などは見られないようであった。

300s の SP 後の組織例を Fig.10 に示した (Fig.8 参照)。WC 粒子が局所的に脱落するようになり、WC 粒子の脱落は粗粒合金の方が細粒合金よりも多いことが分かる。また、ビーズ粒度が小さいこの場合の方が、破壊組織の形成が緩慢になることも分かる。SP 圧力を低くすると、それはさらに緩慢になっ

Fig.8 Surface microphotographs of WC-15mass%Co alloy after shot-peening for 300s, using 80 mesh beads.

Fig.9 Surface microphotographs of WC-15mass%Co alloy after shot-peening for 1s, using 200 mesh beads.

Fig.10 Surface microphotographs of WC-15mass%Co alloy after shot-peening for 300s, using 200 mesh beads.

た. これらはNi合金についても同様であった. SP後の表面についてX線回折を行なった結果は, Fig.7(b)に示す通りで, この場合もムライト相が検出される.

以上により, Co合金もNi合金もSPを行なうと, 試片表面に破壊組織を生じるが, 破壊機構はムライト粒度によって異なるようであった(後述).

次に, 表面全体が破壊されると, 表面の位置はSP時間と共に元の位置より低くなる(試片の厚さが減少する)ので, この表面の低下量(除去量)を表面の破壊深さ(ΔD)と定義し, ΔD に及ぼすSP時間, ムライト粒度の影響を, 両合金について調べた. 結果例はFig.11(a,b)に示す通りとなった(SP圧力, 500kPa). これより, ①Co合金もNi合金も, WC粒度が大の場合は, ムライト粒度が大きい場合は勿論であるが, 粒度が小の場合もSP時間と共に, ΔD が大になる; ②Co合金とNi合金との比較では, 同一WC粒度, ムライト粒度の下で, ΔD はCo合金の方が大きくなるのが分かる. ここで, ①は粗粒合金ほど, ビーズ径が大きい場合ほど, 試片表面に塑性流動による破壊組織を生じ易いので, 当然の結果となる. しかし粗粒合金は微粒ビーズの場合も ΔD が大きくなる点は検討の余地がある. ②については後で述べる.

ところで, SPによって工具寸法が大幅に変化することは, 工具精度の面から望ましくない. そうするとSPによる ΔD は, たかだかWC粒子オーダとなろう. Fig.12は, Fig.11の結果を考慮し, WC-15%Co(Ni)細粒合金に対し200メッシュの微粒ムライト・ビーズを300s SPをした時に生じた表面の凹凸を示

す. 元の表面がほぼ保存されており($\Delta D \cong 0$), 凹凸の程度はWC粒子1~2個程度と, 極めて平滑な表面が得られ, 寸法精度はほとんど変わらない.

次に抗折力に及ぼすSP時間の影響を調べ, WC-Co細粒合金についてFig.13を得た. この結果によると, 1~2sの短時間SPでは, 抗折力が急激に低下するが, SP時間を20s以上に長くすると, SP無しの研摩状態の強度にほぼ回復するようであった.

4 考 察

普通の金属材料に, 鋼製ショットなどを用いてSPを施すと, 表面に破壊組織を生じないのが一般であるが, 超硬合金の研摩表面に硬質ムライト・ビーズを用いてSPを行なうと, 破壊組織を生じ, 破壊組織は, SP条件(噴射圧力, 噴射距離, SP時間など)一定下では, WC-Co合金もWC-Ni合金も, WC粒度が大きく, ムライト粒度が大きい程生じ易いことがわかった. そして, この機構は, 粗粒合金程ビーズの衝突エネルギーによって塑性流動による変形や破壊組織などが生じ易い(既述)ことを考慮すると, とくに問題はないと思われた.

Fig.11(a,b) Effects of shot-peening time on ΔD . The ΔD means thickness of removed surface layer. The carbide grain size of specimens and bead size are varied.

Fig.12 Microphotographs on cross-section of fine grained specimens after shot-peening for 300s, using 200 mesh beads. It is clear that initial surface is almost kept in this case.

Fig.13 Effect of shot-peening time on transverse-rupture strength (TRS) of HIP-ed WC-15mass%Co fine grained alloy. 80 mesh beads were used.

Fig.14 The change of surface microphotographs of fine grained WC-15mass%Co alloy having an area with coarse grained structure, by shot-peening using 200 mesh beads. Shot-peening time were varied.

しかし、粗粒の両合金は微粒ビーズ(200mesh)の場合も破壊組織が生じ易かった。微粒ビーズではほとんど塑性流動を生じないので、以下この場合の破壊機構を調べた。このためには、細粒合金中に粗粒組織領域を含む WC-Co(Ni) 合金を調製し、モデル実験を行なった。200メッシュのビーズを用い、SP時間を0~4secと変化させた時の WC-Co 合金の表面組織変化は、Fig.14に示す通りとなった。すなわち、結合相の厚さが大の粗粒組織領域では、結合相の厚さが小の細粒組織領域に比べて、結合相が破壊され易く、その領域内の WC 粒が脱落し易くなることが分かる。また粗粒 WC 粒子はかなり安定に存在し、端部が SP 時間と共に僅かずつ破壊され、脱落して行くことも分かる。そうすると、結合相が厚い粗粒組織の場合ほど、結合相が破壊され易いのは、SP 中にビーズの破片が結合相に衝突し、結合相を加工硬化させたり、結合相の相変態を促進させて、結合相を脆化させるためと思われた。

WC-Ni 合金においては相変態による加工硬化はないが、粗粒合金ではビーズ破片が結合相に衝突し、加工硬化を生じさせる点は、Co 合金と同様となろう。工業的な観点からは、SP後の表面は、可能な限り平滑かつ均一で、所定の寸法精度を保つことが必要があるので、均粒かつ微粒合金に対して微粒ビーズの SP が要件となることは、上記の内容から明らかである (Fig.12, 14 参照)。Fig.11 の結果によると、同一 SP 条件、同一 WC 粒度の下で Co 合金の方が Ni 合金よりも破壊組織を生じ易かったが、この理由は、Co 合金ではビーズの衝突による

塑性流動や破壊など(既述)の過程で Co 相が相変態を起こし、脆化し易くなるためであろう。このことも上記の議論から明らかである。

次に、抗折力について考察する。まず、短時間 SP で研磨試片の強度が低下したのは、表面に生じた破壊組織 (Fig.4, 6 参照) に応力集中を生じ、それが破壊の起源として作用したためであろう。さらに長時間の SP で、抗折力がほぼ元の強度に回復したのは、長時間の SP により表面に残留圧縮応力が生じ、破壊組織に対する応力集中が軽減されたことによると思われた。

5 結 論

ショット・ピーニング(以下 SP という、80 および 200 メッシュのムライト・ビーズ使用)による WC-15mass%Co および WC-15mass%Ni 中炭素超硬合金の研磨面表面の主として組織変化を、光学顕微鏡を用いて調べ、以下の諸結果を得た。

- (1) 超硬合金にムライト・ビーズを用いて SP を施すと、表面組織が破壊されることが分かった。また破壊組織は粗粒合金程、また粗粒ビーズを用いた場合程、生じ易くなった。粗粒合金は微粒合金よりも微粒ビーズの場合でも破壊組織が生じ易かった。
- (2) 表面組織の破壊機構には、ビーズの衝突による合金の塑性流動、組織の破壊、結合相の加工硬化などが関係すると思われた。
- (3) 均一で平滑な破壊組織を得るには、合金組織は微粒かつ均一で、微粒ビーズを用いる必要がある。
- (4) 同一 SP 条件下で炭化物粒度、結合相量などが同一の場合、WC-Co 合金の方が WC-Ni 合金よりも破壊組織が生じ易くなった。
- (5) 抗折力(試験片の表面は研磨状態)は、短時間の SP で低下するが、長時間の SP で回復するようであった。

文 献

- 1) 広瀬正吉：ショットピーニング，誠文堂新光社，(1955)。
- 2) 広瀬正吉：吹付加工法，共立出版，(1956)。
- 3) 片山 昌ら：日本金属学会会報，30(1991)298。
- 4) 鈴木 寿(編)：超硬合金と焼結硬質材料，丸善，(1986)273。
- 5) 鈴木 寿，林 宏爾：日本金属学会誌，38(1974)604。