研究論文

Al-18 mass%Si 合金に対するダイヤモンド被覆工具の
切削性能*八木 優** ・ 西条 浩介**
勝村 祐次*** ・ 鈴木 寿****Cutting performance of diamond deposited tool
for Al-18 mass%Si alloy*Masaru YAGI**, Kohsuke SAIJO**
Yuji KATSUMURA*** and Hisashi SUZUKI****

Diamond film was deposited on the substrate (WC-4%Co) with different surface conditions using microwave-plasma CVD, and adhesion strength of the film and cutting performance of diamond deposited tools were studied. Adhesion strength of the film was most excellent, when deposited on the as-sintered substrate probably because the amount of graphite which deposited at the interface between diamond film and substrate became to be of least. The result of cutting tests for Al-18%Si alloy showed that the flank wear was smallest, when diamond film was deposited on the as-sintered substrate, corresponding to the result of adhesion strength of the film. The wear-mechanism of diamond deposited tools is discussed.

Keywords: diamond deposited tool, diamond sintered tool, adhesion strength, Al-18%Si alloy, cutting performance

(Received August 15, 1988)

1. 緒 言

現在、気相合成法によるダイヤモンド薄膜の応用は、各方面から注目されつつあるが、その一つに過共晶 Al-Si 合金を対象とする切削工具がある。これは WC-Co 系超硬合金母材上にダイヤモンド皮膜を被覆した工具が、Al-Si 合金に対して優れた切削性能を示せば、高価なダイヤモンド焼結体工具(ダイヤモンドコンパックス)の代替工具となりうるからである。しかし、ダイヤモンド被覆工具では、ダイヤモンド皮膜と母材との密着性が十分でなければならず、母材の表面状態との関係で、ダイヤモンドを被覆しようとする試みはもちろん、ダイヤモンド被覆工具による Al-Si 過共晶合金の切削に関する結果はいまだ知られていないのが現状である¹⁾。

本報告ではダイヤモンド被覆を行うときの母材の表面状態を変化させ、得られたダイヤモンド被覆工具を用いて Al-18%Si 合金を旋削するときの、皮膜の密着性、切削性能などを基礎的に調べた。

2. 試料および実験方法

被削材として用いた過共晶 Al-18%Si 合金(昭和電工製、φ200 mm の铸造棒)の光顕組織は Fig. 1 の通りで、粒径約 25 μm の Si 粒子が均一に分散している。Al-18%Si 合金を被削材として用いた理由は、Si 粒径が一定の場合でも粒子数が多い合金ほど、切削時の刃先損傷が大となり²⁾、切削試験に要する時間が短縮されること、および将来は 18%Si 前後の過共晶 Al-Si 合金に対する切削工具として、安価なダイヤモンド被覆工具の使用

* 軽金属学会第74回春期大会(昭和63年5月)で一部発表。

** 東芝タンガロイ(株)(川崎市)。Toshiba Tungaloy Co., Ltd. (Kawasaki-shi, Kanagawa)。

*** 東芝タンガロイ(株)(横浜市)。Toshiba Tungaloy Co., Ltd. (Yokohama-shi, Kanagawa)。

**** 千葉工業大学工学部(習志野市)。Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology (Narashino-shi, Chiba)。

Fig. 1 Microstructure of Al-18%Si alloy used for cutting tests.

Table 1 Condition of diamond deposition

Temperature of substrate	1030°C
Concentration of CH ₄ gas	0.5(%), 1.0(%)
Deposition time	4(h), 3(h)
Gas pressure	70(Torr)
Gas flow rate	200(ml/min)

が期待されていることなどによる。なお Si の含有量が 10% 前後の Al-Si 合金を対象とする場合は、普通に作られているダイヤモンド被覆工具は十分な切削性能を示すことが知られている^{3),4)}。

用いた超硬合金母材の組成は WC-4 %Co 中炭素合金で、母材の表面状態は、(1)焼結肌、(2)これを H₂SO₄ 溶液を用いて表面部の Co (結合相、正しくは Co-W-C 固溶体) を深さ 4~5 μm 除去 (以下、酸処理という)、(3) 焼結肌を研削除去 (以下、研削) の 3 通りとした。この理由は以下の通りである。表面部の Co は、ダイヤモンド (D) 合成時に炭素 (C) を吸収して D の生成を抑えたり⁵⁾、生じた D と反応して D→グラファイト (G) の変態を生じやすくし⁶⁾、D の密着性を低下させる可能性があると考えられたからである*¹。なお焼結肌の場合は焼結時に Co が揮散するため、内部よりも表面近傍で Co 量が減少する。焼結時の真空度は普通 10⁻² Torr としたが、必要により 10⁻⁵ Torr までの高真空を採用した。母材表面には主としてマイクロ波プラズマ CVD 法により厚さ 3 μm の D を被覆した。Table 1 にプラズマ CVD 条件を示した。CH₄ 濃度は 0.5 と 1.0% の 2 通りとしたが、それぞれに対し CVD 時間は 4 および 3 h とし、膜厚はほぼ 3 μm 一定となるようにした。Fig. 2 に

Fig. 2 Schematic illustration of microwave-plasma CVD apparatus for the diamond deposition.

マイクロ波プラズマ CVD 装置の模式図を示す。母材形状は 10×10×3 mm³ (正しくは ISO SPGN120308) とした。

D 被覆工具については D 皮膜の表面組織、破断面組織、皮膜の密着性 (耐はく離性) などをまず調べた。密着性の良否は、ロックウェル圧子を D 皮膜面に圧入 (荷重: 60 kgf 保持時間: 10 s) させたとき、圧痕周辺部に生じる D 皮膜のはく離領域の大小によって判断した。また定量的には、人為的に D 皮膜をはがし*²、はく離後の母材側と D 皮膜とについてラマン分光分析を行うと共に、それぞれの面における D および WC の付着量を調べた。工具の切削性能は、旋削試験時の刃先の摩耗量 (逃げ面摩耗量、V_B) の大小によって評価した。この理由としては、すくい面摩耗はきわめて少なく、計測できない程度であったからである。比較試料としては D 被覆なしの工具および D 焼結体工具 (D 粒径、10 μm) を用いた (いずれの場合も工具形状は、0, 5, 11, 6, 15, 15, 0.8 mm)。

3. 実験結果

Fig. 3(a), (b) には母材の表面組織例を示す。(a) の焼結肌の場合は、表面部の Co 量が減少していること、(b) の研削の場合は、研削傷が明瞭であると共に Co が表面に張りついているような組織になっていることがわかる。酸処理の場合は(a)とほとんど同様であった。

*¹ この意味では、母材の Co 量は少ないほど望ましい。しかし Co 量を減少させると母材の強度が低下する。鋼切削用合金では 8 %Co が普通であるので、ここでは母材強度を考慮して 4 %Co とした。

*² 工具のすくい面に平行な圧縮応力を、D 被覆工具に作用させると、工具面上の D 皮膜は局所的にはく離する。

Fig. 3 SEM micrographs of substrate surface. (a) as-sintered surface, (b) ground surface.

Fig. 4 SEM micrographs taken on the surface (a) and the cross-section (b) of diamond film, deposited on the as-sintered substrate.

Fig. 5 Peeling of deposited diamond film due to Rockwell indentation. Substrate surface is as-sintered (a), etched (b) and ground (c).

焼結肌上に生成したD皮膜の表面組織*³と断面組織の例を、CH₄濃度1%の場合について**Fig. 4** (a), (b)に示した。Dは自形を呈し、母材表面近くでは柱状晶状になっていることがわかるが、このような組織はCH₄濃度が0.5%の場合も、母材の表面状態を変化させた場合もほとんど同様となった。上記は、マイクロ波CVD法による結果であるが、熱フィラメント法による

皮膜も、上記とほぼ同様な組織を示した。

皮膜の密着性試験の結果を**Fig. 5** (a)~(c)に掲げた。(a)の焼結肌、(b)の酸処理の場合は、(c)の研削の場合に比べて密着性が優れる。本結果はCH₄濃度が1%の場合であるが、0.5%の場合も同様な傾向となった。以下この理由を明らかにするために、D皮膜を人為的にはく離させ、はく離面(D皮膜が母材に接する面)のラマン分光分析をまず行った。CH₄濃度1%の場合について、結果を母材表面状態との関係で示したのが**Fig. 6**である。いずれの場合も1333 cm⁻¹付近に鋭いピークが認められ、皮膜はDであることが明らかである。

*³ ここで皮膜の表面組織とは工具のすくい面(上面)組織と同義である。工具の側面(逃げ面)組織は表面組織と同様であった。よって以下の諸結果は工具の上面について示す。

Fig. 6 Raman spectra of diamond film, contacting to substrate. Diamond film was peeled off from substrate. Refer to Fig. 5. Substrate surface is (a) as-sintered, (b) etched and (c) ground.

一方 1580 cm^{-1} 付近のピークは G に帰属するものであるが、いずれの場合も G を含むことがわかるが、D のピーク高さに対する G のピーク高さ比は、研削で最も大きい。D 皮膜外表面についてのラマン分光分析結果によると、どの場合も D と G との相対比がほとんど変わらなかった。ゆえに、上記の結果から、研削の場合は D 皮膜/母材界面に多量の G を生じるために、他に比べて密着性が劣化 (Fig. 5(c)) したと思われる。すなわち本結果は予想通りの結果であり、このような結果は熱フィラメント法による皮膜についても同様であった。

次に、D 皮膜の母材側に接していた組織を観察した。得られた SEM 写真例を Fig. 7(a)~(c) に示す。いずれの D 皮膜にも WC 粒子が付着しているが、研削では他に比べてより微細な WC が皮膜に付着している。これは砥石による研削時に、母材表面の結合相中に埋めこまれた WC の破砕粉であると思われる。このことは D 皮膜に転写された母材表面の研削傷に沿って、WC が付着していることからわかる。そこで焼結肌と酸処理を比較すると、明らかに焼結肌のほうが WC の付着密度は大きい。なお母材側の組織は略したが、いずれの母材側にも D が WC 相上に付着しており、その密度は焼結肌の場合により大となった。これらの結果から焼結肌では WC と D 皮膜の密着性はほぼ十分であるが、酸処理および研削ではそうでないことがわかる。研削の場合は、すでにその理由は述べた。酸処理の場合は明確にはわからなかったが、腐食生成物が母材表面に付着していて密着性を阻害しているのではないかとと思われる。

Fig. 8 には切削試験の結果を示した。図には母材のみの工具 (D 被覆無し) と D 焼結体工具とによる結果を比較のために示した。これより CH₄ 濃度は 1% のほうが優れ、また焼結肌 > 酸処理 > 研削の順に焼結肌が最も優れることがわかる。ここで研削の場合、 V_B が最も大

Fig. 7 SEM micrographs of diamond film, contacting to substrate. Refer to Fig. 6.

(a) as-sintered, (b) etched, (c) ground states.

となったのは、既述の密着性、ラマン分光分析などの結果を考えると、切削時に皮膜ははく離しやすくなったためと考えられた。

Fig. 9 は焼結肌の試料を用いて Al-18%Si 合金を 12 s 間切削したときの工具逃げ面の損傷状態を示す。この場合、凝着物 (後述) は酸処理によって除去されている。これによると、すくい面の D 皮膜は A に示すように元の状態に残っているが、逃げ面のそれは B のように逃げ面摩擦領域よりも広い領域にわたって、はく離していることがわかる。これより D 被覆超硬合金の V_B 摩耗機構は次のように考えられた。まず切削時に被削材中の Si 粒子が切刃後の D 皮膜に機械的衝撃を与え、これを破壊し、はく離させる。その結果露出した超硬合金母材に対して被削材が凝着し、いわゆる凝着摩耗が起こる。また同時に Si 粒子によるアブレシブ摩耗が生じ V_B が増加する。 V_B が増加すると、やがて D 皮膜が Si 粒子の衝撃によって再びはく離する。このような現象の繰り返し

Fig. 8 Flank wear (V_B) as a function of the surface states of substrates and CH_4 concentration in CVD gas. a, b and c are referred to Fig. 5 and Fig. 6. d, without diamond deposition; e, diamond cmpax.

によって、D被覆超硬合金の摩耗は進行すると考えられた。すなわち、被覆超硬合金の耐摩耗性（寿命）の向上には、皮膜と母材との接着強度をさらに上昇させる必要があるが、この点については目下検討を加えつつある。しかし現時点でも焼結肌の V_B がD焼結体工具の約3倍程度となっている（Fig. 8）ことは、その耐摩耗性がきわめて優れることを示すもので、注目される。

次に V_B が優れた焼結肌に注目し、焼結時の真空度を変化させてみた。 CH_4 濃度を1%として調整したD被覆工具の切削性能はFig. 10に示す通りで、真空度にかかわらず V_B はほぼ一定である。このことは実用上の真空度は 10^{-2} Torr程度でよいことを示す。

4. 考 察

近年、ダイヤモンド（D）焼結体工具が過共晶Al-Si合金の切削に応用されつつあるが²⁾、これに代わって安価に製造できるD被覆工具が開発できれば、軽金属工業の発展に役立つことはいうまでもない。したがって、ここではD被覆工具に関する研究を行ったが、得られた結果のうち、とくに重要と思われた結果は、母材の表面状態に依存して、被覆工具の切削性能が変化したことであった。そして表面状態が焼結肌の場合に、理由はすでに述べた通り、最も工具特性が優れたことであった。

そこで、焼結肌の場合の工具特性をD焼結体工具の

Fig. 9 The appearance of flank surface of diamond deposited tool. Cutting time, 12s. Adhered material, removed using acidic solution. A, diamond film; V_B , flank wear; B, peeling of diamond film.

Fig. 10 V_B as a function of degree of vacuum, when substrate surface was prepared, prior to diamond deposition.

それと比べてみると、被覆工具の逃げ面摩耗量（ V_B ）は、D焼結体工具の3倍程度に大きくなった。すなわちD焼結体工具よりも劣ったが、この理由はD皮膜の密着性がなお不十分であるためと考えられた（Fig. 9）。すなわちこの点については、基礎的な検討がさらに必要であるが、一方では次のことも考えられる。凹凸を有する焼結肌表面にD皮膜を生成させたためにD皮膜にも凹凸（ $3 \sim 4 \mu\text{m}$ ）を生じ、したがって切削時にSi粒子に

よる機械的衝撃力を増加させ、D 皮膜を破壊、はく離させた可能性がある。D 皮膜の表面を研摩して使用すれば、 V_B は大幅に改良されるであろう⁸⁾。

Al-Si 合金切削用の D 被覆超硬合金工具の特性向上には皮膜の密着性が今日では最も重要であるが、密着性が改良された暁には膜質の問題もある。D 焼結体では D 同志が超高圧下で完全なスケルトンを形成するが、この場合はその程度が必ずしも明確になっていないからである。要するに過共晶 Al-Si 合金切削用の D 被覆工具には解決すべき問題が多い。しかし本研究の範囲内でも優れた被覆工具が得られ、応用に供しうと思われたことと、被覆工具の切削性能（過共晶 Al-Si 合金）に関する報告が見当たらないことから、ここではとりあえず結果のあらましをまとめた。

5. 結 言

(1) ダイヤモンド (D) 被覆工具の過共晶 Al-Si 合金に対する切削性能は超硬合金母材の表面状態により影響を受ける。本研究の範囲内では焼結肌が最も優れた切削性能を示したが、その理由は表面部の Co 量が少なくなるために D/母材界面にグラファイトの生成が少なくなることにあると思われた。

(2) D 被覆工具の切削性能は母材焼結時の真空度によりほとんど変化しなかった。したがって母材焼結時の真空度は 10^{-2} Torr 程度でよいと思われた。

(3) 焼結肌母材を用いた D 被覆工具は、D 焼結体工具に比べて逃げ面摩耗 (V_B) が 3 倍大きくなった。

(4) より切削性能に優れた D 被覆工具の開発には、D 皮膜と母材間の密着性をさらに改良する必要があると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 堀江, 八木, 渋谷: 東芝レビュー, **41** (1986), 897.
- 2) 山田, 田中: 軽金属, **25** (1975), 337.
- 3) 菊池, 山下, 中原, 吉村: 第 2 回ダイヤモンドシンポジウム講演要旨集, (1987), 95.
- 4) 池ヶ谷, 飛岡: 第 2 回ダイヤモンドシンポジウム講演要旨集, (1987), 99.
- 5) 鈴木, 松原, 堀江: 粉体および粉末冶金, **33** (1986), 262.
- 6) 佐藤, 松本, 加茂, 瀬高: 表面科学, **5** (1984), 54.
- 7) 山家, 木曾, 上原: 第 1 回ダイヤモンドシンポジウム講演要旨集, (1986), 63.
- 8) 奥住, 松田, 見義: 第 2 回ダイヤモンドシンポジウム講演要旨集, (1987), 97.