ダイヤモンドコーティング工具による 過共晶 Al-24%Si 合金の切削*

渡 邊 政 嘉** 吉 川 昌 範***

Cutting of Hypereutectic Al-24%Si Alloy
by Diamond Coated Cutting Tools

Masayoshi Watanabe and Masanori Yoshikawa

Diamond coated cutting tool has been expected to the candidate for a cutting tool for hard materials. In this paper, cutting of hypereutectic Al-24%Si alloy by using diamond coated cutting tools have been examined, and evaluation of the tool has been conducted. Two types of cutting tools are fabricated by depositing diamond films on sintered diamond surfaces, and hot-pressed Si_3N_4 surfaces with microwave plasma chemical vapor deposition method. Cutting of Al-24%Si alloy is done by using these cutting tools. When diamond coated Si_3N_4 cutting tool is used, exfoliation of a diamond film occurs under the small cutting depth of 0.2 mm. On the other hand, when diamond coated sintered diamond cutting tool is used, neither exfoliation nor wear of a diamond film is observed. These results show the latter cutting tool is strong enough to be applied to the cutting tool for Al-24%Si alloy. Furthermore, coating processes of diamond films deposited on Si_3N_4 and sintered diamond are discussed. A diamond film grows epitaxially on diamond crystals at sintered diamond surfaces, whereas a diamond film is formed on amorphous carbon above Si_3N_4 substrate. This shows the reason why the diamond coated sintered diamond cutting tool has much larger resistant ability in comparison with a diamond coated Si_3N_4 cutting tool.

Key words: diamond film, sintered diamond, microwave plasma CVD, diamond coated cutting tool, cutting of Al-Si alloy

1. ま え が き

過共晶 Al-Si 合金は軽量で高温強度、耐摩耗性に優れているので、機械部品等に用いられる。この合金の切削加工には、通常焼結ダイヤモンドの切削工具が用いられるが、焼結ダイヤモンドは数十%の溶媒物質を含み、十分な工具であるとは言い難い。一方、気相合成法で作製したダイヤモンドコーティング切削工具がつくられるようになり、その性能評価が検討されている。気相合成でつくられたダイヤモンドは 100%ダイヤモンドの多結晶体である。

本研究は、気相合成法で作製したダイヤモンドコーティング工具を用いて、過共晶 Al-24%Si 合金の切削実験を行い、その切削加工の可能性を検討しながら、ダイヤモンドコーティング工具の性能評価を行ったものである。

2. 実 験 方 法

ダイヤモンドコーティング切削工具は次のようにして作製した。基体としてダイヤモンドと異物質の窒化けい素、同物質の焼結ダイヤモンドの2種類を用意した。基体として平均粒径 $50\mu\text{m}$ の焼結ダイヤモンドを用いた場合には、まずそれをすくい角 30° 、逃げ角 5° 、先端半径 0.5mm の工具形状にスカイフ研磨し、それを表1に示す合成条件で20hマイクロ波CVD法によって成膜し切削工具にした¹⁾。基体として窒化けい素セラミックスを用いた場合には、先端半径 0.4mm 、チャフア $0.4\text{mm} \times 30^\circ$ のスローアウェイチップ表面に傷つけ処理を行った後、同様の合成条件でマイクロ波CVD法によりダイヤモンド膜を合成し作製した。

傷つけ処理は次のような手順で行った。アセトン100ccに $10 \sim 20\mu\text{m}$ のダイヤモンド微粒子1gを加えた分散液中に窒化けい素チップを浸漬させ、30min間超音波を発生させてチップ表面に傷をつける。ついで、アセトン中で超音波洗浄し、チップ表面に残留しているダイヤモンド粒子を除去する。このような処理を行って窒化けい素の表面に微小な傷を生成させ、ダイアモン

* 原稿受付 平成2年5月10日。1990年度精密工学会春季大会学術講演会(平成2年3月30日)にて発表

** 学生会員 東京工業大学工学部 (東京都目黒区大岡山2-12-1)

*** 正 会 員 東京工業大学工学部

Table 1 Depositing condition

Reaction gas	H ₂ +CO
Gas conc.	CO15%
Substance temp.	900 °C
Gas pressure	40 Torr
Gas flow rate	100SCCM

モンドの核発生密度を増大させる。合成時間は、膜厚が約10 μ mになるようにした。

図1に、試作したダイヤモンドコーティング工具のSEM写真を示す。(I)は基体を焼結ダイヤモンドにした場合で、基体に内包されているそれぞれのダイヤモンド粒で独自の結晶面になるように成長し、全体にわたって平坦であった面が結晶面によってわずかに異なる凹凸を持った面となる。(II)は基体を窒化けい素にした場合で、窒化けい素表面上に新たにダイヤモンドの核発生が起こり、全体にわたって均一なダイヤモンド膜が形成されている。

切削実験は普通旋盤を使用し、乾式で行った。その切削条件を表2に示す。被削材の過共晶Al-24%Si合金は、ヘキサクロルエタンを脱ガス剤として母合金を所定の形状に作った砂型に鑄込んで作製した。図2にその組織写真を示す。大きく晶出した初晶シリコンとアルミニウムの共晶組織からなる組織になっており、切削が滑らかに行われなかったことが予想される。

3. 切削実験結果および考察

3.1 窒化けい素を基体にした場合

図3に、窒化けい素を基体にした切削工具で切込みを0.2, 0.3, 0.4, 0.5mmと4通りに変えて220mの距離を切削したときの工具先端のSEM写真を示す。切込みが0.2mm以下ではダイヤモンド膜の剥離は生じず、膜の摩耗もほとんど生じない。0.3mmの切込みではすくい面のエッジ部で摩耗粉の付着がみられるが、膜の剥離はほとんどみられない。0.4mm以上の切込みでは逃げ面のエッジ部で膜の剥離が生じ、すくい面のエッジ部で摩耗粉の付着が激しくなる。これらのことから、切込みが大きくなると剥離が生じやすくなることがわかり、ダイヤモンド膜の付着力を大きくする必要がある。しかし、チャンファを取らなければならないこと

Fig.1 Growth of diamond films on sintered diamond and Si₃N₄

Table 2 Cutting conditions

Tool	Coated sintered diamond Coated HIP-Si ₃ N ₄
Cutting speed	110 m/min
Feed rate	0.1 mm/rev
Depth of cut	0.2-0.5 mm

Fig.2 Microstructure of hypereutectic Al-24%Si alloy

Fig.3 SEM observations of diamond coated Si_3N_4 after cutting Al-24%Si alloy with various depths of cut

Fig.4 Behavior of diamond film under various cutting conditions

です。くい角が負の傾向になるので、ダイヤモンドコーティング工具として最適な刃先形状やコーナ半径を見出すことが必要である。

Si含有量の低いアルミニウム合金の切削でこの程度の切込みでは剥離が生じず、切削加工が可能であると

いう報告はあるが²⁾、本研究で使
用したSi含有量が24%と大きいアル
ミニウム合金では初晶が大きくな
って硬さが増し、膜の剥離が生
じる。

切込みばかりでなく切削距離を
いろいろと変え、ダイヤモンド膜
の剥離状態について整理したのが
図4である。図中に描かれている
点線を境にして下側の領域でダイ
ヤモンド膜の剥離が生じず、上側
の領域でダイヤモンド膜の剥離が
生じた。下側の領域に該当する切
込みで加工を行うのであれば工具
として使用可能であるが、加工能
率の点から考えると不十分である。
コーティング膜の付着力の改善が
必要である。

これまで使用した窒化けい素を
基体にしたダイヤモンドコーティ
ング工具は、研削面に傷つけ処理
を施し、その表面にダイヤモンド
膜を合成したものである。従って
表面には研削加工の条痕が残って
おり表面の凹凸の激しい面である。

Fig.5 SEM observations of diamond coated Si_3N_4

Fig.6 SEM observations of diamond coated Si_3N_4 with various depths of cut

そこで、チップ表面を粒径 $1\mu\text{m}$ のダイヤモンドペーストで研削条痕がなくなるまでポリシングし、その面にダイヤモンド合成した切削工具を試作した。ダイヤモンドペーストによるポリシング面では表面の滑らかな面で核発生密度が大きく、均一な膜になる。その状態を示したのが図5であり、膜の均一な様子がわかる。この工具を用いて切削実験を行った。

図6に、切削後の工具先端のSEM写真を示す。基体をポリシングすることで、切込み 0.2mm でも膜の剥離がわずかに生じ、ダイヤモンドの付着強度は低下した。そして、すくい面での切粉の付着は激しくなり、研削面を除去して滑らかな面にしても剥離の改善にはならないことがわかる。かえってコーティング膜の付着力が低下するようである。こ

Fig.7 SEM observations of the diamond coated sintered diamond cutting tool. Depth of cut: 0.4mm

れは研削面に存在している表面の凹凸が、基体とコーティング膜との機械的結合を強めているからであろうと考えられる。

3.2 焼結ダイヤモンドを基体にした場合

焼結ダイヤモンドを基体とした切削工具で、切込み 0.4mm で 13.2km の距離を切削した時の工具先端のSE

Fig.8 Chips of Al-24%Si alloy after cutting with diamond coated cutting tool

Fig.9 SEM observation of an Al-24%Si alloy surface after cutting with coated Si_3N_4

M写真を図7に示す。工具先端には膜の剥離が生じず、かつ摩耗も生じていない。窒化けい素を基体にした切削工具では同様の切削条件で切削加工したときに切削距離0.2 km以下で膜の剥離が生じた。このことから、焼結ダイヤモンドを基体にしたダイヤモンドコーティング工具はアルミニウム合金の切削加工に十分使用可能であると言える。

切込み0.4 mmで切削した際の切粉は図8に示すように3種類に分類できる。大きな $500\mu\text{m} \sim 1\text{mm}$ の Type-I のような切粉、 $100 \sim 400\mu\text{m}$ の Type-II のような切粉、小さな $1 \sim 5\mu\text{m}$ の Type-III のような切粉である。これは、被削材の過共晶 Al-24%Si 合金のシリコン含有量が高く、初晶と共晶組織が混在しているために、切粉が連続的な流れ形切粉にならず、切粉の裂断が被削材内に分散している初晶や、切削時のせん断力の変動によって起こるからと考えられる。

このような材料の偏析は、仕上げ面の観察からでもわかる。図9は、被削材の表面観察写真である。共晶組織の部分では滑らかに仕上げられているが、初晶シリコンでは凹凸のはっきり確認できるほど粗くなっている。これが、切粉の大きさを変化させている要因になっていると考えられる。また、この内在する初晶シリコンの切断に対する応力の変動によって、ダイヤモンド膜の剥離が起こると考えられる。

3.3 ダイヤモンド膜の付着性

以上のことから、ダイヤモンドコーティング工具では母材とダイヤモンド膜との付着性について明らかにする必要がある。

焼結ダイヤモンドにダイヤモンドコーティングした工具の断面は図10に示すようになっている。これは、焼結ダイヤモンド内のダイヤモンド結晶粒上にダイヤモンドがエピタキシャル成長し、焼結助剤上にもダイヤモンドの核発生が生じ、ダイヤモンド膜として成長

Fig.10 Cross section of a diamond coated sintered diamond

Fig.11 RHEED of treated silicon surfaces

して、それらで表面全体を覆うようにしてダイヤモンドコーティングされる様子を示している。

窒化けい素ではないが、ダイヤモンドと異なる物質の単結晶シリコンを基体として、その表面にダイヤモンドコーティングする際の基体表面の反射電子線回折像を図11に示す³⁾。ダイヤモンドペーストでポリシングした表面には加工変質層が生じており(a)、核発生密度は $6.7 \times 10^7/\text{cm}^2$ と大きい。メカノケミカルポリシングした表面には加工変質層がないが(b)、核発生密度が $4.4 \times 10^5/\text{cm}^2$ と著しく少ない。本実験における窒化けい素を基体とした場合でも同様で、窒化けい素をダイヤモンドペーストでポリシングすることで、窒化けい素表面には加工変質層が生じ、ダイヤモンドの核生成密度は大きい。従って、加工変質層の上にダイヤモンドが核生成することになる。

これを模式図で表したのが図12である。同図 (a)は焼結ダイヤモンドを基体にした場合で、焼結ダイヤモンド内のダイヤモンド結晶粒上にダイヤモンドはエピタキシャル成長し、また焼結助剤上に新しくダイヤモンドの核が発生し、それらが強固に結合してダイヤモンド膜となってコーティングされる。基体とダイヤモンド膜はダイヤモンド結晶粒上でエピタキシャル成長によって強固に結合し、両者の付着強度は優れている。

同図 (b)は窒化けい素を基板にした場合で、基体の表面上に基体の加工変質層があり、その上にダイヤモ

Fig.12 Schematic models of growth processes of diamond films on sintered diamond (a), and Si_3N_4 (b)

Fig.13 Raman spectra of a diamond film measured from surface (a) and back surface (b)

ンドの核が発生する。このダイヤモンド核の間には無定形炭素が生じる。この無定形炭素はダイヤモンド核の成長とともに消滅し、しだいに成長したダイヤモンド膜だけとなり、それらが互いに強固に結合してダイヤモンド膜となってコーティングされる。従って、基体とダイヤモンド膜の界面には基体の加工変質層や無定形炭素が存在するので、両者は強固な結合にはならない。

基体に接した側での無定形炭素の存在は、ダイヤモ

ンド膜のラマン分光分析結果から知ることができる。図13は、ダイヤモンド膜を容易に剥離することのできる、アーク放電プラズマジェットCVD法⁴⁾により合成したダイヤモンド膜の成長面 (a) および基体と接している面 (b) のラマン分光分析結果である。基体にはダイヤモンドと異物質のモリブデンを用いている。ダイヤモンド膜の成長面では、ダイヤモンドを示すピークのみがみられるが、ダイヤモンド膜の基体側にはダイヤモンドを示すピークのほかに無定形炭素を示すピークがみられ、無定形炭素の存在が認められる。

4. ま と め

試作したダイヤモンドコーティング工具を用いて過共晶A1-24%Si合金の切削実験を行った結果、次のことが明らかになった。

- (1) 窒化けい素セラミックスを基体にしたダイヤモンドコーティング工具は、切込みが0.2mmとわずかでも切削距離が大きくなると膜の剥離が起こる。
- (2) 焼結ダイヤモンドを基体にした場合では、膜の剥離が生じず、摩耗もほとんど観察されないので、切削工具として十分に使用可能である。
- (3) 基体に窒化けい素を用いた場合と、焼結ダイヤモンドを用いた場合の、ダイヤモンドコーティングの付着性について考察できた。

なお、ダイヤモンドのコーティングにあたり、出光石油化学株式会社伊藤利道氏にご協力いただいたことに感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 渡邊政嘉, 吉川昌範: ダイヤモンドコーティング工具によるセラミックスの切削, 精密工学会誌, 56, 9(1990) 1735.
- 2) 伊藤利道: 気相合成ダイヤモンド切削工具-その事例, ニューダイヤモンドフォーラム合同第1回専門分科会・第14回定例研究会講演要旨集, (1990)26.
- 3) 吉川昌範, 金子 豊, 楊 政峰, 戸倉 和: マイクロ波プラズマCVD法によるシリコンへのダイヤモンド気相合成(第2報)-表面状態の核生成に及ぼす影響-, 精密工学会誌, 55,1(1989) 155.
- 4) 大竹尚登, 栗山康彦, 吉川昌範, 尾花 博, 鬼頭昌之, 斉藤 弘: ダイヤモンド高速合成用アーク放電プラズマ装置の試作, 精密工学会誌, 55,12(1989) 2163.