

知 識 編

1. ダイヤモンドコンパクトについて

切削工具材料には、高速度工具鋼、超硬合金、サーメット、酸化物系または非酸化物系セラミックスやCBNコンパクトおよびダイヤモンドコンパクトがある。

ダイヤモンドコンパクトを用いた切削工具は、アルミニウム合金や銅合金に代表される非鉄金属、カーボン、仮焼結後のセラミックス、樹脂、強化樹脂などの非金属の切削加工に多用されている。たとえば業界としてはカメラ、時計、自動車、電気、電子、窯業、建築と広範囲に及んでいる。自動車業界ではピストンの円筒部分やピン穴部分の旋削、シリンダヘッドやミッションケースのフライス削り、オイルポンプやウォータポンプの旋削、フライス削りおよびリーミング（リーマによる穴の仕上削り）に用いられている。電気、電子業界では、モータのコンミテータ部の高精度切削や磁気ディスクの粗削り、プリント配線板の切断、面取り、穴あけなどの加工に使用されている。窯業分野では、各種セラミックスの仮焼結品の加工に使用され、本焼結後の仕上げ代をできるだけ小さくすることを目的としている。

以下、ダイヤモンドコンパクトの一般的製法、特性およびその特徴について述べる。

(1) ダイヤモンドコンパクトの一般的製法

ダイヤモンドコンパクトは、主原料であるダイヤモンドの微粉末を超高圧高温下で焼結する方法で造られる。図1はダイヤモンドとグラファイトの平衡状態図で、ダイヤモンドは図中の斜線の領域で安定であり、焼結はこの領域の圧力、温度条件で行う。

図2は超高圧高温発生装置の概略図で、シリンダとピストンには超硬合金が用いられている。

ダイヤモンドの焼結には単体での焼結も考えられるが、ダイヤモンドは実用上可能な圧力、温度範囲では塑性変形しにくいので、完全に空孔のないものを作るのはきわめてむずかしい。このような理由から、現在市販されているダイヤモンドコンパクトには何からの結合剤が用いられて、ダイヤモンド粒子間隙を充てんしている。

ダイヤモンドコンパクトを世界ではじめて開発した General Electric 社の特許によれば、ダイヤモンドコンパクトは「ダイヤモンド結晶体の塊と焼結炭化物支持体の塊とからなる一体の複合体で、ダイヤモンドの圧粉体と炭化物圧粉体を接触させた状態で圧粉体に45K bar以上の圧力を加え、1300℃～1600℃に3分以上加熱することにより

① ダイヤモンド層の焼結

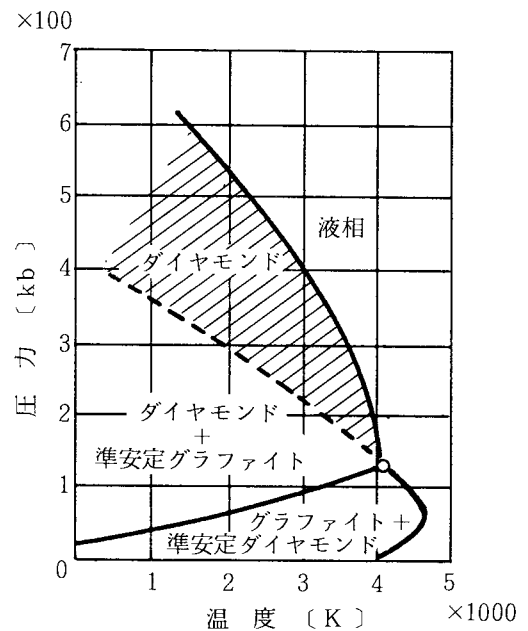


図1 ダイヤモンドとグラファイトの相の平衡図

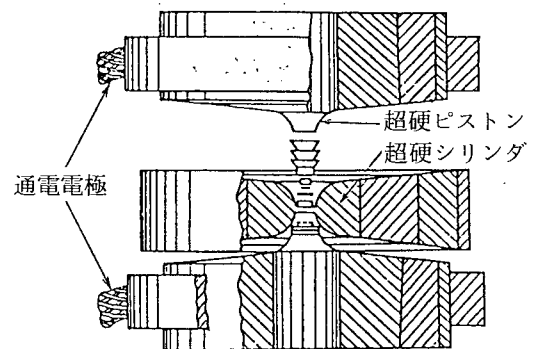


図2 超高圧発生装置(ベルト形装置)

- ② 母体である炭化物層の焼結
- ③ ダイヤモンド層と母材である炭化物層の結合

を同時に進行させて造られる。ここで炭化物としてWC-CoあるいはWCをTiC, TaCで、またCoをNi, Feで置換したものが使われる。ここにおけるCo等の役割は、

- a. Co-(W-C)の液相がダイヤモンドのスケルトンの中へ溶浸し、ダイヤモンド層の結合剤となる。
- b. ダイヤモンド層と炭化物製母材層を結合させる。
- c. ダイヤモンド安定領域でダイヤモンドがCo-(W-C)の中へ溶解、再析出したとき、ダイヤモンド粒子相互の結合を可能ならしめる溶媒としての働きと、グラファイトをダイヤモンドへ変換させる触媒の働きをすることにある。

このほか最近、WC, Ni-Cr, Si-SiCなどを結合剤とするダイヤモンドコンパクトも登場してきた。

図3はダイヤモンドコンパクトの代表的な形状である。

ダイヤモンドコンパクトは、その品質の安定性や経済面から円形で造るのが一般的である。切削工具として用いるときは、この円形のダイヤモンドコンパクトを、レーザー加工やワイヤ放電加工により工具の形状に適した形に切断する。

ダイヤモンドコンパクトの中のダイヤモンド粒子の大きさはサブミクロンから100 μ mまで、またその含有量は80~95容積パーセントとバラエティに富

んでいる。ダイヤモンドコンパクトをバイトとして用いた場合、その中に含まれるダイヤモンドの粒子が細かい方が鋭い切刃を造ることができる。またダイヤモンドの含有量は、研削のしやすさと鋭い切刃の造りやすさの度合に影響を及ぼす。ダイヤモンドの含有量が少ないほど、この工具は研削しやすく、かつ簡単に鋭い切刃を造ることが可能となる。しかし、ダイヤモンド粒子の含有量の少ないバイトは、工具摩耗が早く工具寿命が短くなる。この傾向はセラミックス材料のように材料の中に硬質粒子を含有する場合に顕著に現われる。したがって、用途に応じた適切なダイヤモンドコンパクトを選定しなければならない。

(2) ダイヤモンドコンパクトの特性

ダイヤモンドは、あらゆる物質の中で硬さ、熱拡散性ともに最もすぐれている。機械的には衝撃に対して弱く劈開する。電気的にはタイプIIbが半導体特性を有し、他はすべて絶縁体である。ダイヤモンドは熱に弱く、大気中では873K以上の温度で容易に炭化し、また窒素やほう素などの不純物の量により性質が著しく異なるため、その不純物の量より表1に示す4種類に分類される。天然ダイヤモンドのほとんどすべてはタイプIaである。タイプIIは一般に無色透明で窒素不純物がきわめて少なく、天然ダイヤモンドではごくまれである。タイプIIは半導体性の有無で区別され、少量のほう素を含むものは、p型半導体の性質をもっている。

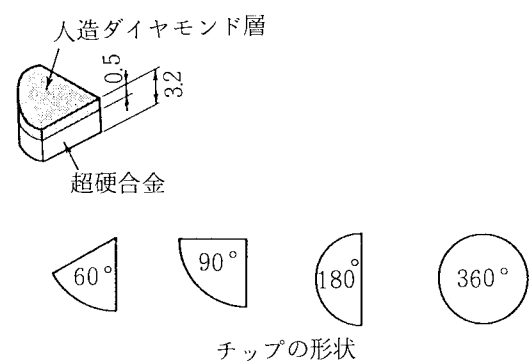


図3 ダイヤモンドコンパクトの形状

表2にダイヤモンドの機械的性質を示す。ダイヤモンドの硬さはヌープ圧子を用いて、押し込み硬さで測定するのが一般的である。常温下でヌープ硬さは、 $5,700 \sim 10,400 \text{ kgf/mm}^2$ の範囲であるが、温度上昇とともに硬さは低下し、 $1,000 \text{ }^\circ\text{C}$ では $3,000 \sim 4,000 \text{ kgf/mm}^2$ と常温下の半分以上に低下する。ダイヤモンドの高温硬さを超硬合金、アルミナと比較したのが図4である。

これらの性質をもつダイヤモンドの微粒子を超高圧高温下で焼結したダイヤモンドコンパクトは、焼結体中のダイヤモンド粒子の大きさとその含有量によりそれ自身の硬さ、耐摩耗性は異なる。表3にダイヤモンドコンパクトの機械的性質を示す。ダイヤモンドコンパクトの硬さは、米国General Electric (GE)社のものでヌープ硬さ $6,500 \sim 8,000 \text{ kgf/mm}^2$ である。また熱伝導率は、 $0.25 \text{ cal/cm} \cdot \text{sec. } ^\circ\text{C}$ で超硬合金(K10)と比較し30%よい。表4にGE社のダイヤモンドコンパクトと天然ダイヤモンド、超硬合金の耐摩耗係数について記す。これはGE社のダイヤモンドコンパクトと天然ダイヤモンドおよび超硬合金のバイトを用いて、ケイ砂含有硬質ゴムを被削材とし、一定条件下で乾式切削したときのバイト刃先の摩耗が一定幅に達するまでに要する時間を比較したものである。このデータによるとダイヤモンドコンパクトの耐摩耗性は超硬合金の100倍を超える。

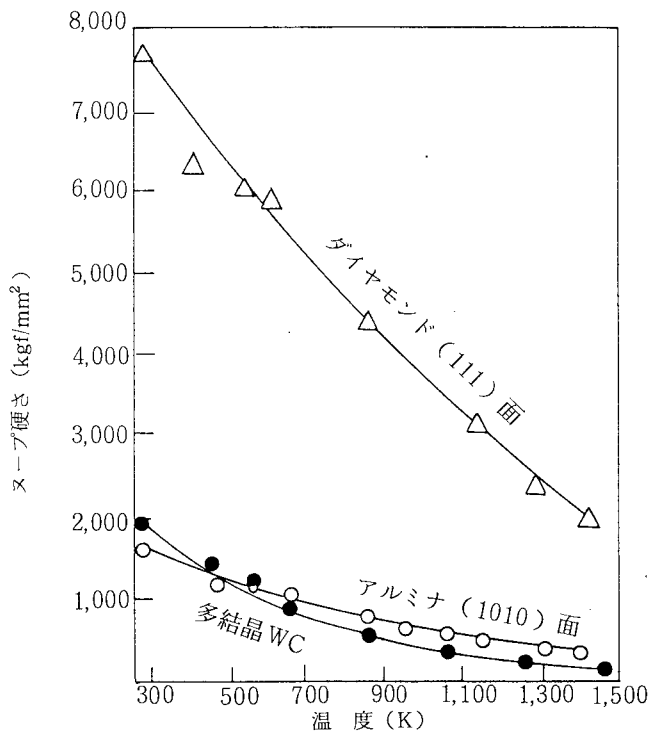


図4 硬質物質の硬さの温度依存性

表1 単結晶ダイヤモンドの分類

| | |
|------|--|
| I a | <ul style="list-style-type: none"> 天然ダイヤモンドの大部分が属する。 0.1%程度の窒素が偏析して含有される 紫外線を当てると蛍光を発する |
| I b | <ul style="list-style-type: none"> 合成ダイヤモンドの大部分が属する 窒素が固溶体で含有される 紫外線を当てると蛍光を発する |
| II a | <ul style="list-style-type: none"> 窒素をほとんど含有しない 光学的、熱的にすぐれた特性を有す 合成ダイヤモンドより窒素を取り除くことにより得られる 天然ダイヤモンドではごくまれ |
| II b | <ul style="list-style-type: none"> I a に硼素をドーピングすることにより得られる p型半導体の性質を有する 天然ダイヤモンドではごくまれ |

表2 ダイヤモンドの一般特性

| 性質 | 測定値 | 備考 |
|-------|--|----------|
| 密度 | $(3.51524 \pm 0.00005) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ | 298 Kで測定 |
| 硬度 | ヌープ $5700 \sim 10400 \text{ kgf/mm}^2$ | (100)面 |
| ヤング率 | $9.8 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ | |
| 引張り強さ | $3 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ | |
| 比熱 | 6195 J/mol · K | 298 K |
| 熱伝導率 | タイプ I 600 ~ 1000 W/m · K | 298 K |
| | タイプ II 2000 ~ 2100 W/m · K | |
| 線膨張係数 | $0.8 \times 10^{-6} / \text{K}$ | 298 K |

(3) ダイヤモンドコンパクトの特徴

切削工具材料に要求される特性として、

- ① 工具材料自身が高硬度であること
- ② 高温硬さが高いこと
- ③ 適切な靱性を有すること
- ④ 熱拡散性がよいこと
- ⑤ 被削材料との親和性が低いこと

などがあげられる。

ダイヤモンドコンパクトは、人造単結晶ダイヤモンドの微粒子を超高圧高温下で焼結したものであることは、前述したとおりである。したがって、この素材は多結晶構造となっているので、単結晶ダイヤモンドのもつ欠けやすさ（劈開面に沿った割れやすさ）、摩耗度合のばらつき（方向による摩耗特性の違い）が大幅に改善され、これらによりこの素材は適度の靱性をもち、また、摩耗特性も安定している。ダイヤモンドコンパクトは、超硬合金と比較し、熱伝導度がよいため、切削加工で発生する切削熱を早く、多量に逃すため工具素材として有利となる。反面、ダイヤモンドは高温下にてW, Ta, Ti, Zr, Fe, Ni, Co, Mn, Cr, Pt などと反応し、この素材を工具として用いたとき、その作用面は著しく摩耗する。したがって、ダイヤモンドコンパクトバイトは、これらの材料の切削には適さないが、切削液を多量に注水しかつ、切削温度が高温とならない低切削速度域においては、これらの材料の切削は可能となる。また、これら以外の材料との反応はきわめて低いため、工具すくい面への溶着は少なく構成刃先も発生しにくいので、高精度、高品位の加工面を容易にうることができる。

参考として、図5、6にCBNの熱安定性、CBNの高温硬さを示す。ダイヤモンドは大気中で、600℃以上の温度で容易に炭化するのに対しCBNは大気および水蒸気雰囲気中にて900℃以下では何の変化もなく安定している。またFe, Ni, Coなどの金属との反応も1,300℃以下ではほとんどない。高温下におけるCBNの硬さは、ダイヤモンドほど急激に変化せず、800℃ではCBNの硬さとダイヤモンドの硬さは逆転する。

表3 ダイヤモンドコンパクトと超硬合金(K10)の比較

| 項目 | ダイヤモンドコンパクト | 超硬合金 |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 硬度(kgf/mm ²) | ヌーブ 6500~8000 | Hv 1500~1600 |
| 抗折力(kgf/mm ²) | 280 | 150 |
| ヤング率(kgf/mm ²) | 56000 | 63000 |
| 圧縮強度(kgf/mm ²) | 420 | 560 |
| 熱伝導度(cal/cm・sec°C) | 0.24 ~ 0.26 | 0.19 |
| 熱膨張係数 | 2 × 10 ⁻⁶ /°C | 5 × 10 ⁻⁶ /°C |

表4 工具材料の耐摩耗係数

| 工具材料 | 耐摩耗係数 [*] | 硬さ(Kg/mm ²) |
|--------------------|--------------------|-------------------------|
| COMPAX | 200 ~ 300 | 5,000~6,300 |
| Diamond Tool Blank | | |
| 天然ダイヤモンド | 96 ~ 245 | 8,000~12,000 |
| C 2 超硬 | 2 | 1,800~2,200 |

※耐摩耗係数は切削工具の刃先の摩耗が0.010in(0.25mm)に達するに要する時間(分)で表わしたもの。試験はけい砂含有硬質ゴムを被削材とし、周速500feet/min(152m/min)、切込み0.030in(0.76mm)、送り0.005in/rev(0.13mm/rev)の条件で乾式切削。

表 5 ダイヤモンドコンパクトと天然ダイヤモンドの比較

| 比較の項目 | コンパクトバイト | 天然ダイヤモンドバイト |
|-----------|----------------------------------|---------------------------|
| 刃部組成 | 超硬合金の台に合成ダイヤモンドを同時焼結した微結晶集積体 | 天然ダイヤモンド原石の単結晶体 |
| 耐摩耗性 | 硬度は天然ダイヤモンドよりやや劣るが、方向性による変化がなく均一 | 結晶方向により異なる |
| 切刃強度 | 衝撃に強く、重切削・断続切削可 | へき開面に沿って欠けやすく、重切削・断続切削に不適 |
| 切刃の尖鋭度 | 尖鋭で軟かい金属でも良好な仕上げが得られるが完全鏡面には不適 | きわめて尖鋭で、完全鏡面仕上げが得られる |
| 性能の持続性 | 非常に一貫している | 変化しやすい |
| 刃部形状 | 所望の標準形状ができる | 大きさが限定され、不揃い |
| 価格・入手の度合い | 比較的価格安定、量産可能 | 原石価格高騰・不安定、有限で入手難 |

以上により、ダイヤモンドコンパクトの特徴は次のとおりである。

- a. 硬さは、超硬合金の4～5倍である。これにより、耐摩耗性はきわめて高く、超硬合金の100倍を超え、かつ安定している。
- b. 温度上昇とともに、硬さは低下するが切削温度600℃以下では、素材自身の炭化もほとんど起きず、きわめてすぐれた切削性能を示す。
- c. 多結晶体であるため、欠損が助長することなく、適度の靱性をもつ。また素材中の結合剤の種類と量により靱性の高さを調整することも可能である。
- d. 熱伝導度が高いため、切削熱を瞬時に刃先から拡散し、熱による刃先の損傷を抑える効果が高い。
- e. 上述した以外の材料との反応性が低い。したがって、高精度、高品位の加工面を得ることができる。

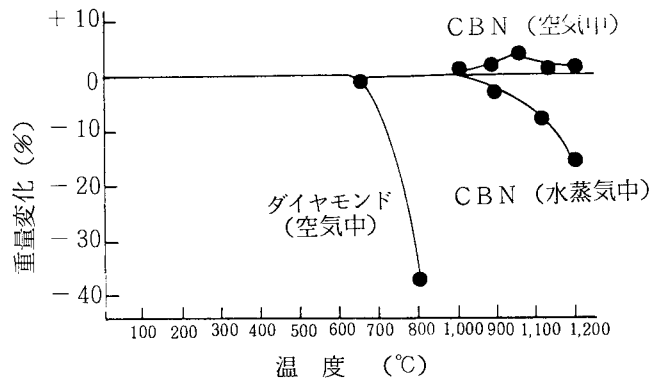


図 5 CBNの熱安定性

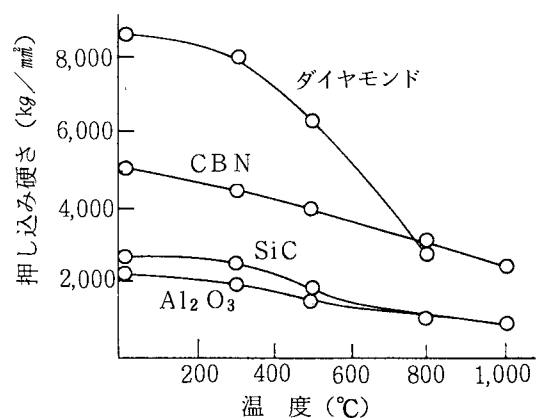


図 6 CBNの高温硬さ

2. 工具の設計

(1) バイト各部の名称

バイト各部の名称はその表示方法が J I S で次のように定められている。

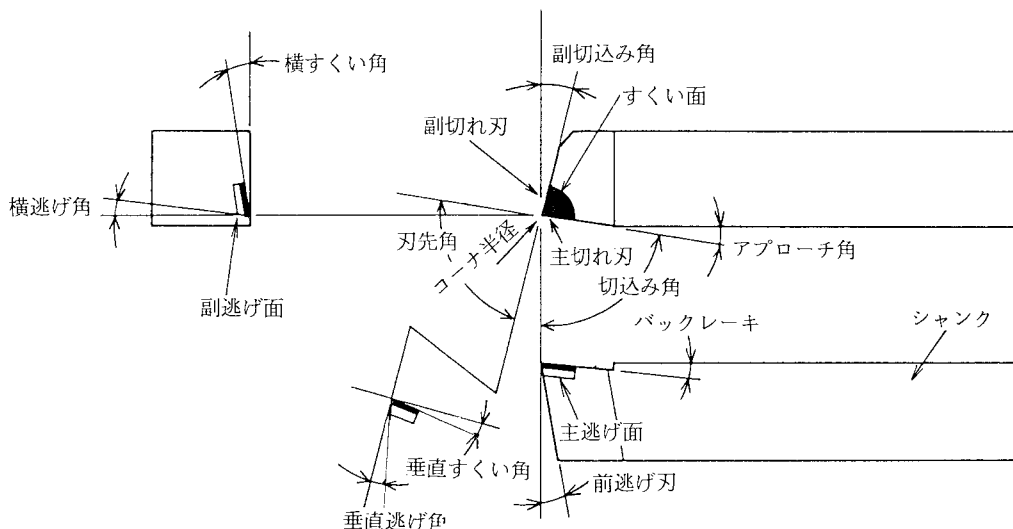


図 7 バイト各部の名称

(2) 工具材料の種類

切削加工の能率向上のために、各種切削工具材料の開発がなされている。工具材料には、高速度工具鋼、超硬合金、硬く耐熱性にすぐれた物質を薄く被覆し高い耐摩耗性を備えたコーティング超硬、TiC を主成分としTaCやTiNなどを添加したサーメット、 Al_2O_3 や Si_3N_4 を主成分としたセラミックスや前述した超高压高温下で焼結したダイヤモンドおよび CBN コンパクトがある。

図 8 に各種工具材料の相対的特性を記す。この中で高速度工具鋼は、最も靱性が高いため断続切削に適しており、一般的にはホブカッタ、エンドミル、ドリルやブローチに使用される場合が多い。

高速度工具鋼の代表として知られているものは、18 W-4Cr-1V のもので旋盤加工のバイトなどに使用される。高速度工具鋼は W 系と Mo 系の 2 つに分けることができ、W 系は高温硬さの低下を抑えて耐熱性がよく Mo 系は、靱性、耐摩耗性がよいのが特徴である。

超硬合金工具は、WC(炭化タングステン)を主成分としCoの結合剤で焼結した、いわゆる単一炭化物系のK系列と TiC(炭化チタン)や TaC(炭化タンタル)を添加した2元炭化物系および3元炭化物系のMおよびP系列の3種類に大別できる。このTiCやTaCは、高温下における刃先と被削材料との

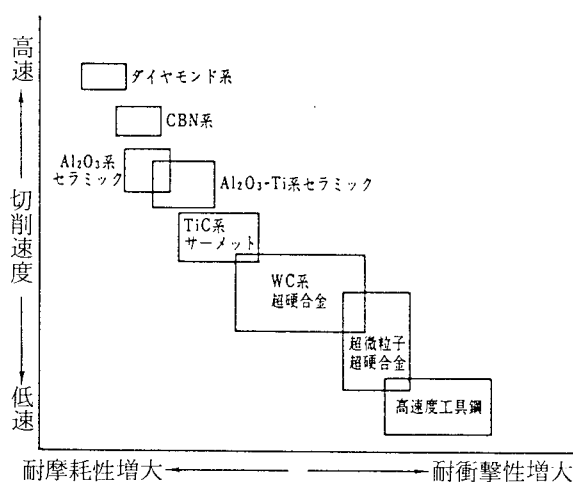


図 8 各種工具材料の相対的特性

反応を抑え、刃先の熱的損傷を防ぐ役割をする。また組織の粒度を変えることによっても特性が変化し、例えば、WCの粒度を細かくすると高温において刃先は軟化し、塑性変形しやすくなるが、常温での硬さと靱性は向上する。このため組織の粒度を細かくした超微粒子の超硬合金は、低切削速度域で使用される小径のドリル、エンドミルなどに用いる。また工具刃先の刃立性がよいため精密切削加工用のバイトにも使用する。

コーティング超硬工具は、超硬合金なる母材の表面に、炭化物、酸化物、窒化物 (TiC, Al₂O₃, TiN) などを蒸着法により、2~15μm程度被覆したもので、工具表面への溶着を防ぐとともに、耐摩耗性が向上する。被膜の性質としては、硬く、高温下で化学的に安定し、被削材と化学反応を起こさないものを選ぶ。長寿命、汎用性の要求に答えるために多層コーティング超硬工具が増加している。

サーメットはTiC (炭化チタニウム) を主成分としNi を結合剤として焼結したものである。高温硬さ、耐溶着性、耐酸化性は超硬合金と比較しすぐれているが靱性に劣るという問題点があったが、TaCやWCを添加することにより靱性は向上した。さらに、近年TiC-TiN系サーメットも開発され、これまでのサーメットと比較し耐摩耗性、靱性にすぐれ断続切削にも十分使えるようになった。

セラミックスは高温硬さが超硬合金やサーメットよりも高く、耐酸化性にすぐれ、化学的にも安定しているため、高速切削や高硬度材料の切削に適している。Si₃N₄(窒化ケイ素)を主成分とするセラミックスは、Al₂O₃系と比較し靱性がすぐれている。

超高压高温下で焼結したダイヤモンドコンパクトは切削工具材料中、最も硬く、熱伝導度にすぐれている。また、多結晶構造であるため異方性がなく、摩耗特性が安定しており衝撃にも比較的強い。

CBNコンパクトは、ダイヤモンドに次いで硬く、鉄系材料と反応することがなく高温での安定性がよいので高硬度鋼、耐熱鋼や超耐熱合金、溶射金属、チルド鋳鉄やミーハナイト鋳鉄、鉄系焼結合金の切削に用いる。

(3) バイト各部の設計

① すくい角

すくい角は切削作用に最も重要な役割をする要素で、工具の切れ味を左右する。すくい角を大きくすると切りくずの流れはよくなり、切削抵抗は減少する (図9)。

しかし、大きくなりすぎると、バイトの刃先強度は低下し、刃先の容積が小さくなった分、刃先の熱容量も小さくなり、バイトの寿命は逆に低下する。

高速度工具鋼は靱性がきわめて高いため、一般にすくい角を15°~30°と大きくとることで安定した

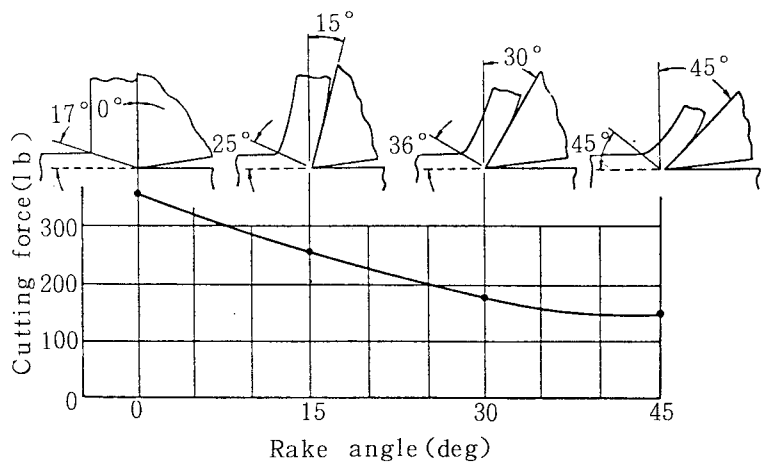


図9 すくい角と切削抵抗の関係

切削が得られる。超合金やダイヤモンドコンパクトバイトの場合、比較的小さいすくい角をとり、時には負のすくい角にとって衝撃をバイト刃先にあてずに、刃先後方でうけ、刃先の損傷を防ぐこともある(図10)。この方法は、断続切削や黒皮の切削およびセラミックス、磁性材料のような硬脆材料の切削に用いる。

② 逃げ角

逃げ角には第一逃げ角と第二逃げ角に分けることができる。第一逃げ角は工具材の部分に設ける逃げ角で、第二逃げ角は、シャンクの部分の逃げ角である。工具研削のしやすさの度合によりさらにシャンクに逃げを設けるいわゆる三段角とする場合もある(図11)。大切なのは第一逃げ角で、切削面との不必要な摩擦を避けるために設けたもので、逃げ角の大小は工具摩耗に大きな影響を与える。この逃げ角を小さくとると逃げ面の摩耗が早くなり、すなわち逃げ面摩耗幅の広がりや早め、びびりが生じやすく工具寿命を短くする。また、大きくとりすぎると刃先を弱め、チッピングや欠けの原因となる。一般に逃げ角は、硬い被削材料の切削では小さく、軟かい被削材料に対しては大きめにとる。

逃げ角は、通常の旋削では 6° 程度とし、軟かいアルミニウム合金や銅合金では $6^\circ \sim 10^\circ$ とし、非常に硬い材料を削るときは小さくとるが、 5° 以下とすることは望ましくない。図12は第一逃げ角と工具寿命の相対図を示す。

③ アプローチ角

切削に参与する切れ刃で被削材料と切れ刃の傾きを決定する角度である。アプローチ角があると、切込み始めのとき、切削による力が刃部先端の弱いところに作用せず、後方の強いところから作用する。このことは特に断続切削のとき重要である(図13)。

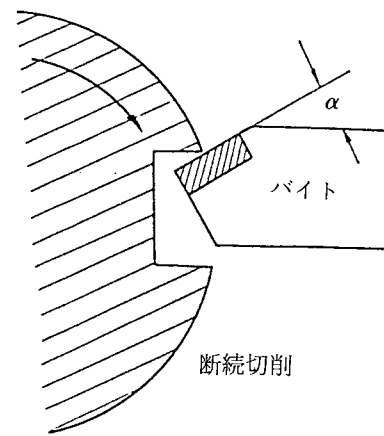


図10 負のすくい角とバイトの作用箇所

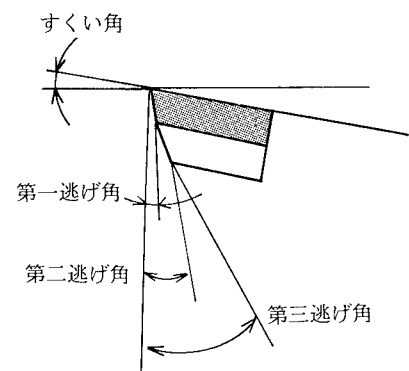


図11 逃げ角

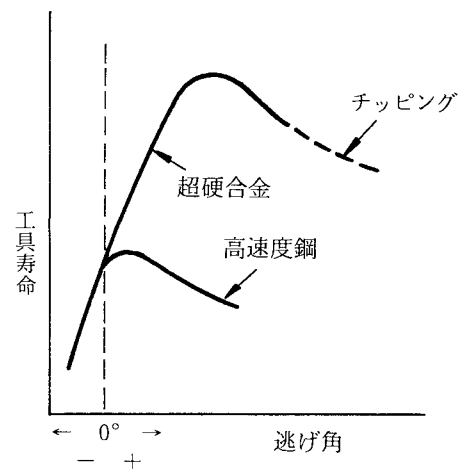


図12 逃げ角と工具寿命の関係

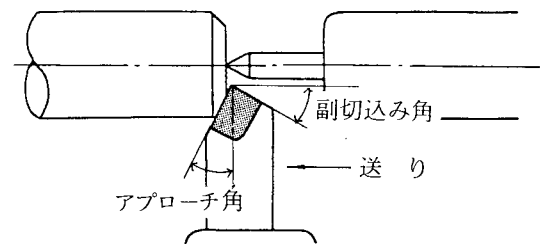


図13 切削開始時の切れ刃の作用箇所

図14はアプローチ角と切りくずの厚みとの関係を示したものである。アプローチ角が大きくなると、切れ刃は被削材料に対し大きく傾き、したがって、切れ刃が被削材料と接する長さは大きくなる。削り取る面積は一定であるが、接触した切れ刃長さが大きくなることにより、この切刃の単位長さに作用する切削抵抗は低下し、切削温度の点からも有利となり工具寿命は向上する。

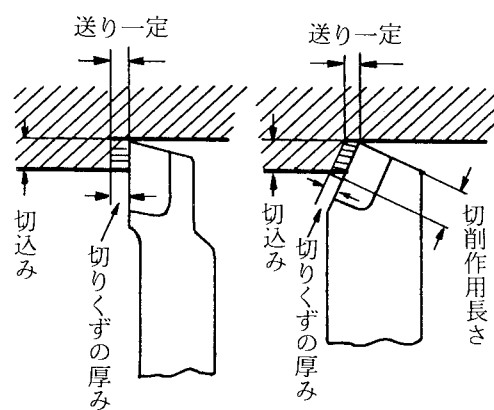


図14 アプローチ角と作用切れ刃長さ

また、このアプローチ角があると、切削抵抗の一部が被削材料を押し方向に働くので、刃物台のガタや他の装置の遊びなどがこの力で除去され、切削中、安定した力で押しつけるため、安定した加工面を得ることができる。しかし、あまり大きくなりすぎると、作用切れ刃長さが大きくなりすぎ、びびりやすくなる。また細長い被削材料を加工する場合、アプローチ角を大きくすると被削材料を押し力が増大し被削材料はこの力で変形し加工精度が低下する。このときは、アプローチ角を小さくする必要はある。

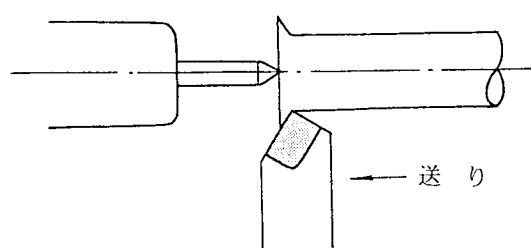


図15 抜け側と主切れ刃の位置関係

図15に切削終りの被削材料と主切れ刃の位置関係を記す。アプローチ角をとると、切削の終りに近づいたバイトの主切れ刃は切込みがゆっくりと減っていくため、鋳鉄やセラミックスを切削するさい、被削材料の切り終り側に欠けが発生しにくく、また鋼を切削するときは最後に輪状の部分が押し切られることなく、さらに刃先が欠けることを防止する。

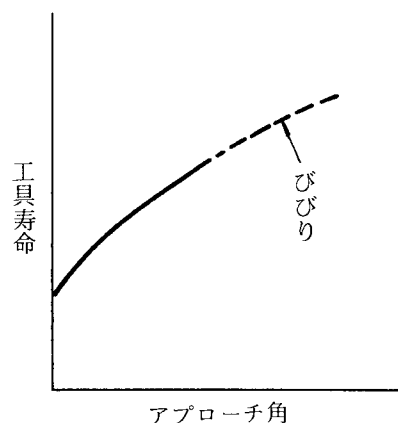


図16 アプローチ角と工具寿命

図16にアプローチ角と工具寿命の一般的傾向を示す。

④ 副切込み角

副切込み角は、副切れ刃と被削材料とのすきまの大きさを決定する角度である。一般には、副切込み角は副切れ刃が被削材料と接触しないように充分にとるべきであるが、大きすぎるとそれだけ刃先の強度が低下するので注意を要する。

外丸削りや面削りでは、 $8^{\circ} \sim 15^{\circ}$ が標準で、 8° よりも小さくとるとコーナ半径をもつバイトではコーナ半径の研削加工のとき、この部分を平にする危険性があり、このときは切れ刃の接触長が大き

なり、びびりを発生させたり、工具寿命の低下の原因となる。コーナ半径を平にするかどうかは、工具研削盤の精度に左右される。

また被削材料の剛性が弱い場合は、この副切込み角を20°ぐらいまで大きくし、被削材料を押しつける力を減らす方法をとる。

一方、この副切込み角を故意に小さくし仕上面あらさをよくしたり、高送り切削を行なう方法もある。

⑤ コーナ半径

バイトの切れ刃の先端につける丸味をコーナ半径という。このコーナ半径は工具寿命と仕上面あらさに大きなかわりをもつ。主切れ刃と副切れ刃の交差によって形成されるコーナがとがっていると、切削の際この部分に力が集中し、チッピングや欠損を招くことになる。このコーナに丸味をつけることによって、刃先の強度は向上し、この部分に作用する力は分散し、単位長さ当りの力が減少することとなり工具寿命は向上する。

図17は、コーナ半径と仕上面あらさの関係を示したものである。この計算式は幾何学的に算出した式の近似式で、コーナ半径をもつバイトで切削したときの被削材料の幾何学的表面あらさ値は被削材料1回転当りに進むバイトの送り量(mm/rev)の自乗に比例し、コーナ半径の大きさに反比例する。すなわちコーナ半径が大きいほど、送り量が小さいほど被削材料の表面あらさ値は小さくなり、表面あらさは向上する。

コーナ半径は切込みと送り量、要求する被削材料の表面あらさで決定するもので、あまり大きくとりすぎるとびびりが生じやすくなる。

セラミックスなど硬脆材料を切削するときはコーナ半径を大きくとるのが一般的である。図18はコーナ半径と工具寿命の定性的関係を示す。

セラミックスなど硬脆材料を切削するときはコーナ半径を大きくとるのが一般的である。図18はコーナ半径と工具寿命の定性的関係を示す。

(4) バイトの種類と選び方

工作物の加工に適したバイトを選ぶために必要なことは、一つは被削材料や加工内容に適した刃部材質の決定であり、もう一つはバイトの形状である。バイトの形状は加工する部分の形状と加工内容によって、それに適したものを選ぶようにする。

図19にバイトの使用例を記す。

表6にダイヤモンドおよびCBNコンパクトバイトの標準形状を記す。

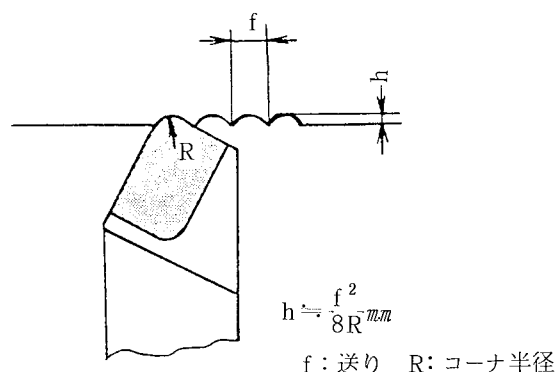


図17 コーナ半径と仕上面あらさ

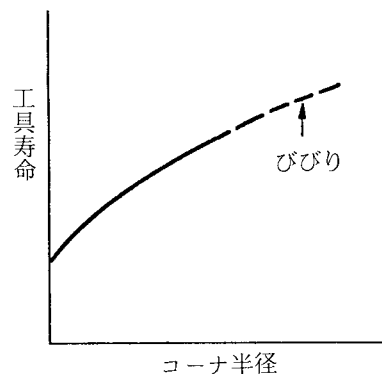


図18 コーナ半径と工具寿命

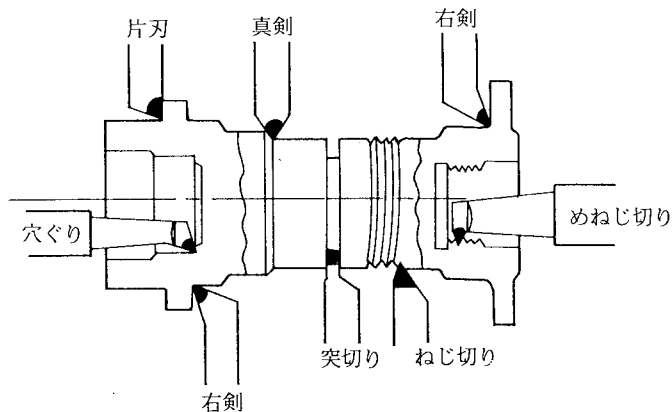
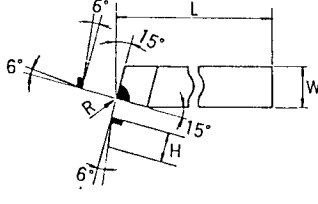
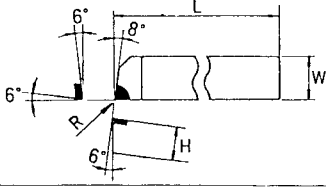
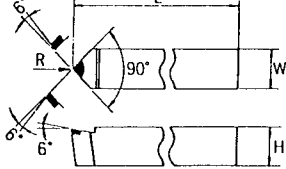
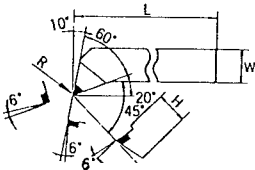
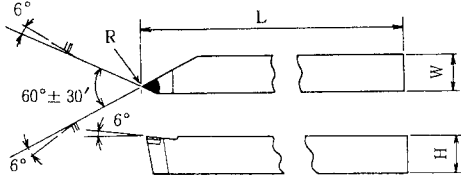
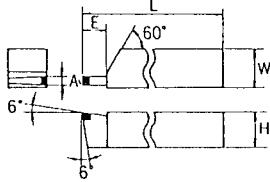
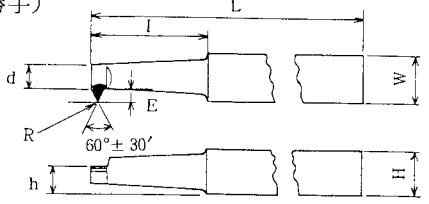
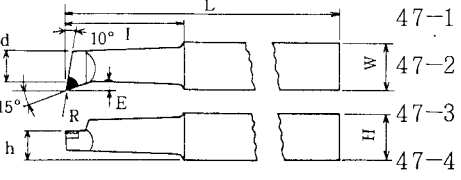


図19 バイトの使用例

表 6 ダイヤモンドおよびCBNコンパクトバイト標準形状

(大阪ダイヤモンド工業カタログより)

| TYPE 31 (右勝手) TYPE 32 (左勝手) | 型番号 | コーナー半径 | | | | シャック寸法 | | | | |
|---|---|--------|--------|----|-----|--------|-----|----|----|---|
| | | R | W | H | L | | | | | |
|  | 31-1 | 0.5 | 16 | 13 | 100 | | | | | |
| | 31-2 | 0.5 | 16 | 16 | 120 | | | | | |
| | 31-3 | 0.5 | 19 | 19 | 140 | | | | | |
| | 31-4 | 1.0 | 25 | 25 | 160 | | | | | |
| TYPE 33 (右勝手) TYPE 34 (左勝手) |  | 33-1 | 0.3 | 13 | 13 | 100 | | | | |
| | | 33-2 | 0.5 | 16 | 16 | 120 | | | | |
| | | 33-3 | 0.5 | 19 | 19 | 140 | | | | |
| | | 33-4 | 1.0 | 25 | 25 | 160 | | | | |
| TYPE 35 |  | 35-1 | 0.3 | 13 | 13 | 100 | | | | |
| | | 35-2 | 0.5 | 16 | 16 | 120 | | | | |
| | | 35-3 | 0.5 | 19 | 19 | 140 | | | | |
| | | 35-4 | 1.0 | 25 | 25 | 160 | | | | |
| TYPE 37 (右勝手) TYPE 38 (左勝手) |  | 37-1 | 0.3 | 13 | 13 | 100 | | | | |
| | | 37-2 | 0.5 | 16 | 16 | 120 | | | | |
| | | 37-3 | 0.5 | 19 | 19 | 140 | | | | |
| | | 37-4 | 1.0 | 25 | 25 | 160 | | | | |
| TYPE 49 (右勝手) TYPE 50 (左勝手) |  | 49-1 | 0.1 | 13 | 13 | 100 | | | | |
| | | 49-2 | 0.1 | 16 | 16 | 120 | | | | |
| | | 49-3 | 0.1 | 19 | 19 | 140 | | | | |
| | | 49-4 | 0.1 | 25 | 25 | 160 | | | | |
| TYPE 43 |  | 型番号 | A | E | W | H | L | | | |
| | | 43-1 | 1.0 | 13 | 10 | 10 | 100 | | | |
| | | 43-2 | 2 | 16 | 13 | 19 | 120 | | | |
| | | 43-3 | 3 | 19 | 16 | 22 | 140 | | | |
| | | 43-4 | 4 | 25 | 19 | 25 | 160 | | | |
| TYPE 51 (右勝手) TYPE 52 (左勝手) |  | 型番号 | コーナー半径 | | | | | | | |
| | | | シャック寸法 | | | | | | | |
| | | | R | W | H | L | l | h | d | E |
| | | 51-1 | 0.1 | 13 | 13 | 100 | 30 | 8 | 10 | 3 |
| | | 51-2 | 0.1 | 16 | 16 | 120 | 40 | 10 | 13 | 3 |
| TYPE 47 (右勝手) TYPE 48 (左勝手) |  | 47-1 | 0.4 | 13 | 13 | 100 | 30 | 8 | 10 | 3 |
| | | 47-2 | 0.8 | 16 | 16 | 120 | 40 | 10 | 13 | 3 |
| | | 47-3 | 0.8 | 19 | 19 | 140 | 50 | 12 | 16 | 4 |
| | | 47-4 | 1.2 | 25 | 25 | 160 | 60 | 15 | 20 | 5 |

3. バイトの研削

切削加工中のバイトの刃先は切りくずの塑性変形、せん断、擦過による摩擦により常に高温にさらされる。バイトの刃先摩耗はまず切れ刃稜の鈍化から始まり、すくい面と逃げ面にあらわれてくる。逃げ面摩耗が進行すると、切れ刃稜は後退し摩耗幅は徐々に大きくなり、やがてある限度を超えると急激な異常摩耗となって切削加工に支障をきたすようになる。

図 20 は、時間とともに逃げ面摩耗幅が大きく進行していく状態を示したものである。切削初期は摩耗が早い、これは切れ刃稜のでこぼこがこぼれ落ち、ならされるためと、鋭利な切れ刃稜は強度的に弱く、かつ熱の拡散性が悪いためであると考えられるが、この立上りの早い域を初期摩耗という。初期摩耗は、切れ刃稜をより精密研削仕上げしたり、切れ刃稜にわずかに丸みをつけることで少なくすることが可能である。一般に流れ型切りくずを排出する被削材料を切削するときは、切れ刃稜をより精密研削仕上げをし、硬脆材料の切削の場合には切れ刃稜にわずかに丸みをつける方法が用いられる。バイトの刃先は初期摩耗を経て、ゆっくりと摩耗は進行していく。このほぼ直線的に摩耗が増大していく域が定常摩耗とよんでいる部分である。さらに摩耗幅が大きくなっていくと、被削材料と逃げ面の接触面積は増加し、摩擦による発熱が増大し、バイト自身の硬さは軟化し、急激に摩耗し切削に支障をきたすようになる。この曲線の立上り部以降を急激摩耗とよんでいる。

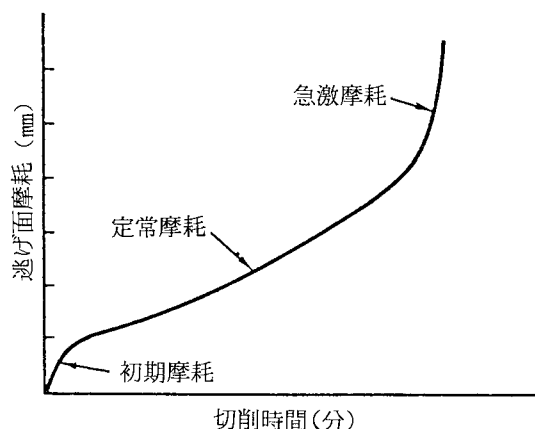


図 20 逃げ面摩耗の経緯

バイト刃先の摩耗で寿命を判定する場合は、一般に逃げ面摩耗幅で決める場合とすくい面摩耗の深さで決定するのが一般的である。逃げ面摩耗幅で寿命を判定する場合は、図 20 に示す急激摩耗に入る手前で寿命とし再研するのがよいが、その摩耗幅については、工具の材質や工具形状、被削材、荒削りや仕上げなどによって違ってくる。すくい面摩耗深さで決定する場合も、逃げ面摩耗で決定する場合と基本的には同じであるが、経済性や安全性を考慮して摩耗の最大深さは、0.05～0.1 mmの値をとる場合が多い。

実際には、バイト刃先の摩耗をそのつど測定し、工具寿命を決定することは生産現場では、困難である。したがって、加工された工作物の表面性状、精度により決定する方法が採用される。具体的には、工作物の表面性状、精度が許容値をはずれる加工個数の平均値をとり、バイトの交換は、この値の70～80%と余裕をもった値で定期的に交換するのが一般的である。

以下、セラミックスの切削加工に使用されているダイヤモンドコンパクトの研削加工知識について述べる。

(1) 機械の選定

酸化物および窒化物系セラミックス、サーメットやCBNコンパクトの研削加工と比較しダイヤモンドコンパクトの研削加工では、きわめて高い研削圧力を必要とする。図 21 は圧力切込み方式で研削

したときのダイヤモンドコンパクトと各種切削工具材料の被加工性を比較したものである。横軸に示した加工圧力は、スローアウェイチップ生産現場で外周研削するときに実際に使われる圧力範囲である。縦軸はドレッシング直後の30 sec間に除去された量を示してある。最も切れ味のよいドレッシング直後の30 sec間における材料除去量で被加工性を比較すると、ダイヤモンドコンパクトは超硬合金の8～12倍の高い

圧力で加工して材料除去量が $\frac{1}{600} \sim \frac{1}{400}$ しか得られず、しかも研削比は $\frac{1}{5000}$ ときわめて悪い。

ダイヤモンドコンパクトを能率よく加工するには、超硬合金の加工よりはるかに高い加工圧が必要であるので、超硬合金用に開発された工具研削盤では研削系の剛性が不足し、十分な加工圧が得られないのが普通である。しかも高い圧力を加えると機械振動が発生し、その結果として切れ刃稜にチッピングが発生することになる。ダイヤモンドコンパクト用の研削盤としては

- ① 砥石軸、工作物支持部の剛性が高い。
- ② 砥石スピンドルが高精度である。
- ③ 高精度芯出し装置を具備する。

などの条件を備える必要がある。

図22は高剛性、高精度工具研削盤である。ダイヤモンドコンパクト工具だけでなく、超硬合金、サーメットやセラミックス工具、CBNコンパクト工具の高精度研削加工に用いる。

(2) 砥石の選定

ダイヤモンドコンパクトの加工では機械の剛性と同時に砥石の選択も重要である。

図23は標準的なメタルボンドおよびレジノイドボンドのダイヤモンド砥石とダイヤモンドコンパクト加工用砥石の性能を比較したものである。ここで加工圧は全圧力をダイヤモンドコンパクトの加工部面積（ダイヤモンド部+母材の超硬合金部）で除した値であり、加工量はドレッシング直後の30 sec間に加工される量で表わしてある。

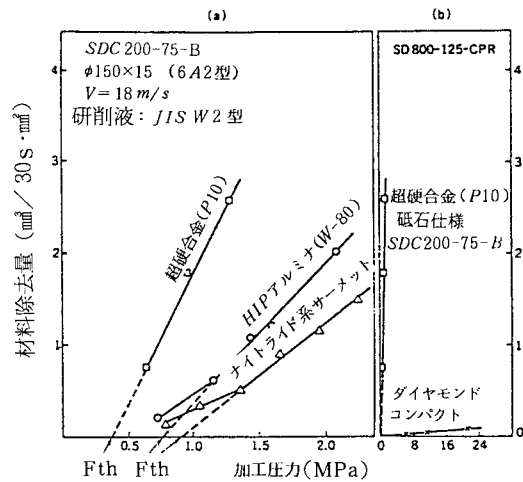


図21 各種切削工具材の加工圧と材料除去速度、研削比

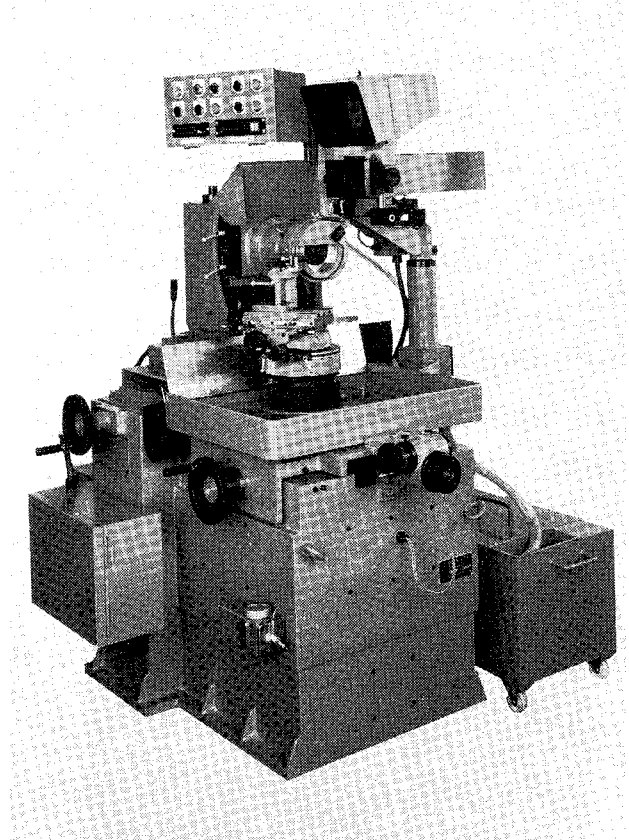


図22 高精度、高剛性工具研削盤

超硬合金の加工に供される汎用メタルボンドおよびレジノイドボンドダイヤモンド砥石では、加工能率がきわめて悪く、研削比も低い。性能のよいダイヤモンドコンパクト加工用砥石でさえ、得られる材料除去量はドレッシング直後の最も切れる状態で $80\mu\text{m}/30\text{sec}$ （ダイヤモンド層の体積に換算して $0.2\text{mm}^3/30\text{sec}$ ）程度で、研削比も0.01前後ときわめて低い。

一方、ダイヤモンドコンパクト工具の研削加工では1人で数台の機械を同時に操作することが困難であるため、加工能率の良し悪しが加工コストに大きく影響する。図24は仕上用中ぐりバイトの加工で、取りしろを 0.3mm とし、図23のデータをもとにCPR砥石（大阪ダイヤモンド工業製）と他社のダイヤモンドコンパクト工具研削用砥石VIT-1およびVIT-2とのコストパフォーマンスを評価したものである。ここで、

加工コスト＝砥石コスト＋労務費等の諸掛りとし、1時間あたりの労務費等の諸掛りとの関係で示した。難削で加工に長時間を要するダイヤモンドコンパクト工具の加工では、砥石の寿命と同時にその切れ味の良否も重要である。図24においてCPR砥石の加工コストが最も安く、労務費等の諸掛りが高くなるほどその差が大きくなるのは、CPR砥石の切れ味のよさによる加工能率の向上が寄与しているからである。

図25、26はダイヤモンド砥石の粒度と

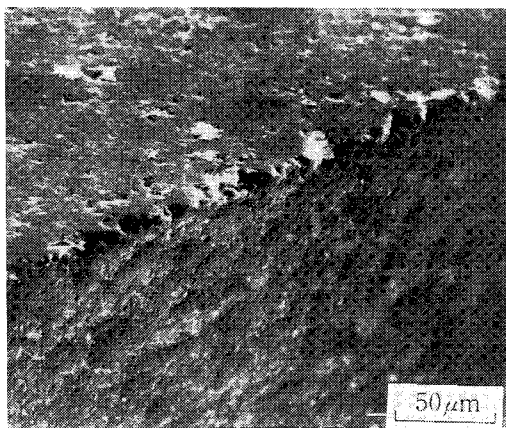


図25 #800の砥石で仕上げたダイヤモンドコンパクトのチップング

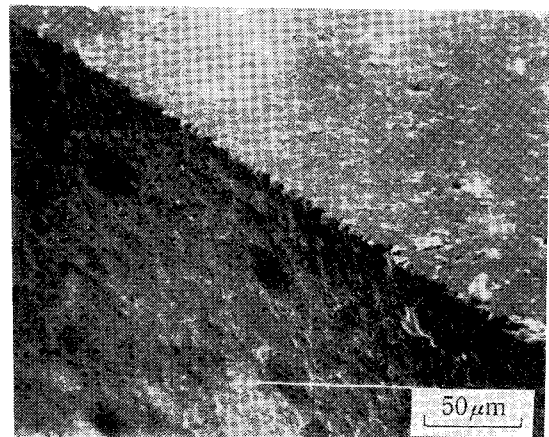


図26 #1500の砥石で仕上げたダイヤモンドコンパクトのチップング

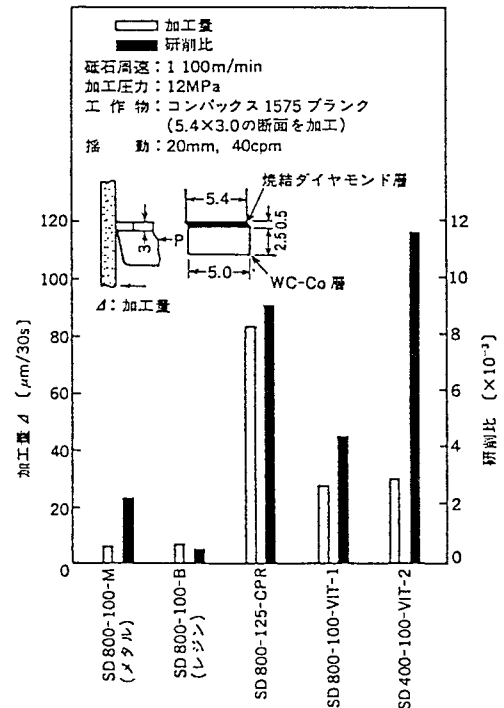


図23 各種砥石のダイヤモンドコンパクト加工特性

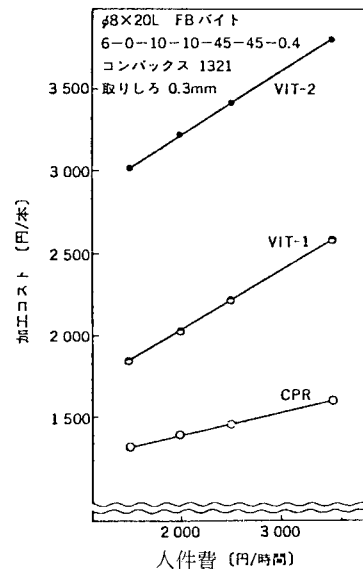


図24 ダイヤモンドコンパクトの研削コスト

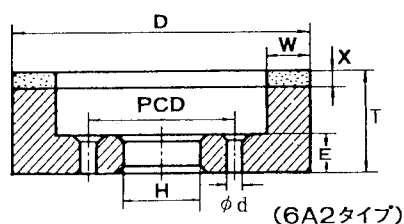
発生するチップングの大きさを示すもので、ダイヤモンドコンパクトの粒子径は20~30 μm である。一般にダイヤモンドコンパクト工具に要求される切れ刃のあらかさであれば、# 800 ~1000のダイヤモンド砥石による研削で十分である。ただし、チップングの大きさが5 μm 以下を要求する精密加工用では、# 1500 ~ 2000 のダイヤモンド砥石での仕上研削を必要とする。

表7にダイヤモンドコンパクト加工用粗・中級研削用砥石CPRおよび精密研削用砥石CPFの標準仕様を記す。

表7 ダイヤモンドコンパクト加工用CPR, CPF砥石の標準仕様

(大阪ダイヤモンド工業カタログより)

(単位: mm)



CP砥石の種類

- CPRタイプは一般加工用に使用する。
(取代0.05mm以上)
- CPFタイプは精密加工用に使用する。
(取代0.05mm以下)
- 形状は6A2型。

| 品番 | 外径(D) | ダイヤモンド層 | | 高さ(T) | 穴部の厚(E) | 穴径(H) | 取付穴(PCD) | 用途 |
|-----------|-------|---------|-------|-------|---------|-------|---------------------|-----|
| | | 巾(W) | 厚さ(X) | | | | | |
| CPR-75B | 75 | 10 | 3 | 30 | | 指 | なし | 一般用 |
| CPR-75C | | 5 | | | | | | |
| CPR-100B | 100 | 10 | 3 | | | 定 | し | |
| CPR-100C | | 5 | | | | | | |
| CPR-125G | 125 | 20 | 5 | 10 | 40 | PCD60 | - ϕ 6d 皿ビス孔 | |
| CPR-125A | | 15 | | | | | | |
| CPR-125B | | 10 | 3 | | | | | |
| CPR-125A3 | | 15 | | | | | | |
| CPR-125B3 | | 10 | | | | | | |
| CPF-125A | | 15 | 5 | | | | | |
| CPF-125B | 10 | | | | | | | |
| CPR-150G | 150 | 20 | 5 | 40 | 40 | PCD60 | - ϕ 6d 皿ビス孔 | 精密用 |
| CPR-150A | | 15 | | | | | | |
| CPR-150B | | 10 | 3 | | | | | |
| CPR-150A3 | | 15 | | | | | | |
| CPR-150B3 | | 10 | | | | | | |
| CPF-150A | | 15 | 5 | | | | | |
| CPF-150B | 10 | | | | | | | |
| CPR-200G | 200 | 20 | 3 | | | 指定 | | 一般用 |
| CPR-200A | | 15 | | | | | | |
| CPR-200B | | 10 | | | | | | |

(3) バイト研削上の注意事項

ダイヤモンドおよびCBNコンパクトバイトの研削上のポイントは、超硬合金バイトの場合とほぼ同じであるが、超硬合金バイトよりもより厳しく守らねば工具の特徴が十分に発揮できない。

研削上のポイントは次の6項目である。

- ① シャンク材（一般に鋼を使用する）との同時研削をさけ、加工部は最小とすること。
- ② ダイヤモンド砥石の面振れを0.03mm以下とすること。
- ③ ダイヤモンド砥石をバランス調整付フランジに取付けた場合は、動バランスを十分にとること。
- ④ ダイヤモンド砥石の砥面が目つぶれ（光沢のある面となる）した時は、砥石粒度に合ったドレッシングスティックでドレッシングすること。

CPRおよびCPF砥石用ドレッシングスティックはWA# 325~600Gでよい。

- ⑤ 研削中は常時研削液を十分に注水すること。
- ⑥ ダイヤモンド砥石の回転方向は、必ずすくい面側から逃げ面側の方向にすること(図27)。

以上の6項目であるが、各項目について理由を説明すると、①についてはダイヤモンド砥石で鋼を研

削ると、その両者間で化学的拡散が発生し、砥石の消耗を早くする。また鋼の切りくずにより切れ刃に欠けが発生することがある。

②については、砥面の振れは、工具切れ刃に振動の加速度による力を作用させるため、切れ刃に欠けが発生し精度の高い切れ刃を得ることができない。

③については、砥石側のアンバランスは、機械振動の発生原因となり前項②と同じく高精度の切れ刃が得られない。

④については、砥面が目つぶれ、目づまりしている状態で加工すると、加工速度はきわめて低下し（加工条件によってはほとんど加工が進まない）びびりの発生や、摩擦熱による加工変質層の発生を生じ、ひいては切れ刃のチッピングの原因となる。

⑤については、研削中の発熱を抑え、ダイヤモンドおよびCBNコンパクトバイトの熱による劣化を防ぐこととなる。また、断続的な研削液の注入は急冷却による工具材の破損（ひび割れ）を発生させる。

⑥については、回転をすくい面と逆の方向にすれば、切りくずなどが逃げ面側から流入し、すくい面側にくい込むこととなり、切れ刃に欠けが発生することになる。また、すくい角、前逃げ角の大小により異なるが、回転トルクのベクトルがすくい面方向に働くため、力学的にも欠けやすいことになる。

これらを十分に守り、適正な砥石と高精度・高剛性の工具研削盤を用いることにより、はじめて高精度な切れ刃をもつバイトを安定して造ることができる。

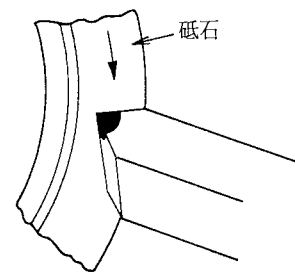


図 27 バイト研削における砥石の回転方向

4. セラミックス予備焼結体の旋削

(1) 予備焼結体のチャッキング

- ① 予備焼結体は、形状が均一な円柱になっていないので、できるだけ安定するように、バランスを考えてチャッキングする。
- ② チャック時の締め付け力が強いと、予備焼結体は容易にこわれるので、チャックのハンドルを左手のみで締める程度がよい（両手できつく締めるとこわれる）。
- ③ 三爪チャックで直接くわえると、締め付け力が三点に集中するのでこわれる恐れがある。そこで、予備焼結体の径にあったソフトジョーあるいは、くわえ用ブッシュを用いてチャッキングすると、締め付け力が分散されてこわれにくい。

(2) 切削時における注意事項

- ① ここでいう「セラミックス予備焼結体」とは、室温でプレスしたままの圧粉体から、これをある程度で高温で焼成した、いわゆる仮焼結体までの広い材料を対象としている。したがって、切削速度、切込み、送りなどの切削条件は、この圧粉体や仮焼結体の強度やチャッキング状態によって異なり、その範囲は広いものとなる。それゆえ、外周切削においては、前述のことを考慮し、切削条件は、切削速度：45～100 m/min、切込み：0.1～0.5 mm、送り：0.1～0.2 mm/revの範囲で適切な値を決めて行うのが一般的である。また、圧粉状態のものは、強度が低い（もろく、こわれ易い）のでチャックの締め付け力は、必要最低限にとどめる（左手で締め付ける程度）。したがって、大きな切削負荷がかかると、チャックからはずれてこわれてしまう恐れがあるので、低速回転（ $V = 45 \text{ m/min}$ 程度）で、切込み、送りとともに小さめにして注意深く削る必要がある。
- ② 予備焼結体はもろく、切削時にチッピングを生じ易いので注意を要する。

(3) 工具材料および形状

① 工具材料

低速切削で、こすり摩耗に強い材料として、ダイヤモンド工具が最も優れている。研削性を考慮して、ダイヤモンド焼結体工具が推奨されている。研削の困難な形状（ドリル等）においては、超硬合金（K10；ISO）を使用する。

② 工具形状

切削抵抗が大きいと、最も容易なはずの外周旋削においても、予備焼結体端部にチッピングを生じる。同様に、突切り切削の時など、加工物厚さが薄くなると割れが生じる危険がある。これを防ぐために、工具の摩耗は最小に管理され、逃げ角を $11^\circ \sim 20^\circ$ と大きくするのが良い。また、工具切れ刃のコーナ半径部を大きくとると、摩耗が一点に集中せず、工具寿命が延びることがある。

(4) 粉塵対策

① 粉 塵

セラミックス粉末は、比重が小さく微粉であるため、空中に舞い易く作業環境を悪くする。このため、

収塵設備が必要である。場合によっては、防塵マスクを着用することもある。

② 収塵設備

旋盤の上方および作業者の対向面側に収塵口を設けるのが良い。収塵機はフィルター式とし、排気は室内に戻さず外に出す。

③ 切り粉

切削による切り粉は、旋盤の駆動部に入った場合、ギヤーやスベリ面を摩耗させ旋盤を速くいためる。また、潤滑油、作動油と粉末がまざると、後の掃除など処理がたいへんである。粉が飛び散らないようチャックの下に受け皿を専用で作るのが良い。