



研究ノート

ダイヤモンド切削による
超精密加工の精度限界

大森 義 市*

Al, Cu などの軟質金属材料の仕上げ加工を対象としたダイヤモンド工具による切削では、現在表面あらさが $0.1 \sim 0.01 \mu R_z$ の超精密加工を指向している。ところが加工精度というものには必ず到達限界なるものがあり、したがって高精度切削を実施する場合には、先ず切削によって果してどこまで加工精度を高め得るかという精度限界について十分吟味し、正確な情報を入手しておかなければならない。

さて加工精度の限界ということについて思考する場合、先ず問題となるのは精度限界に関係する要因とはどういったものかということになる。これらの要因について切削のような強制切込み方式の加工では、工作物と工具の相対運動精度つまり両者の運動がどれ程理想に近い位置関係で加工を行い得るかということと、加工過程に含まれる不確定要因が主なものとして上げられる。前者については用いる工作機械の精度が直接加工精度に影響をおよぼすという、いわゆる母性原則そのものによる精度限界ということであるが、しかしこれらについては近年の高い技術レベルから近い将来それに見合う超精密切削機の出現に期待するとすれば、残るのは後者の加工現象に起因する不確定要因が精度限界要因ということになる。そこでここでは恐らく終極問題となるであろう加工現象にもとづく精度限界要因の2, 3について概観してみることとする。

ダイヤモンド工具は現用工具材質としていわば理想材料といわれている。その理由としては切刃稜の鋭利性とあらさ精度の優れていることと、さらには親和性、熱伝導率などの物理的特性が工具材質として最適であることなどが上げ

られる。それではこうしたダイヤモンド工具で Al や Cu を切削して得られる仕上面とは一体どういうものかということ、図1に示すようにその仕上面の構成要因は次のようなものから成っている。

まず切削方向に直線に走っている切削条こんと黒い斑点としてみられるホイドの残存、さらには Cu 仕上面に顕著にみられる結晶粒単位での乱れ、すなわち異方性によるあらさの生成が仕上面の構成要因となっている。この仕上面の性状は極めて鋭利な切刃で極表面を切り取ったものであるため材料本来の面性状を呈していることになる。したがって切削による精度限界は、これら仕上面の構成要因である3つの要因によって決まることになる。それではさらにこれらの3つの要因が具体的にどう仕上面の生成に関与するのかについて検討を加えてみる。

先ず直線状の切削条こんであるが、これは工具切刃稜のあらさが仕上面に転写されて生成されたものである。したがって他の要因は別として切削条こんによるあらさの限界は用いる工具の切刃稜あらさによって決まることになる。ところが実際に切刃稜あらさがそのまま仕上面に1対1で転写されるかどうかは明らかではなく、むしろそうした転写特性そのものが重要といえる。つまり切削仕上面の生成は、工具刃先による母材の分離と工具逃げ面でのパニッシ作用という過程をへて生成される。したがって工具通過後には母材の弾性回復、それにともなうパニッシ作用によって切刃稜あらさによる条こんの深さや形状そのものに変化をきたすであろう。さらには切刃稜あらさの微小谷間に生成される極微小凝着物によってその転写性が乱されることも考えられる。このことは単に切刃稜あらさすなわち条こんあらさと決めつけるのは早計であり、むしろその両者の相関性そのものが

*大森義市 (Giich OHMORI), 大阪大学, 工学部, 精密工学科, 津和研究室, 講師, 工博, 精密工作

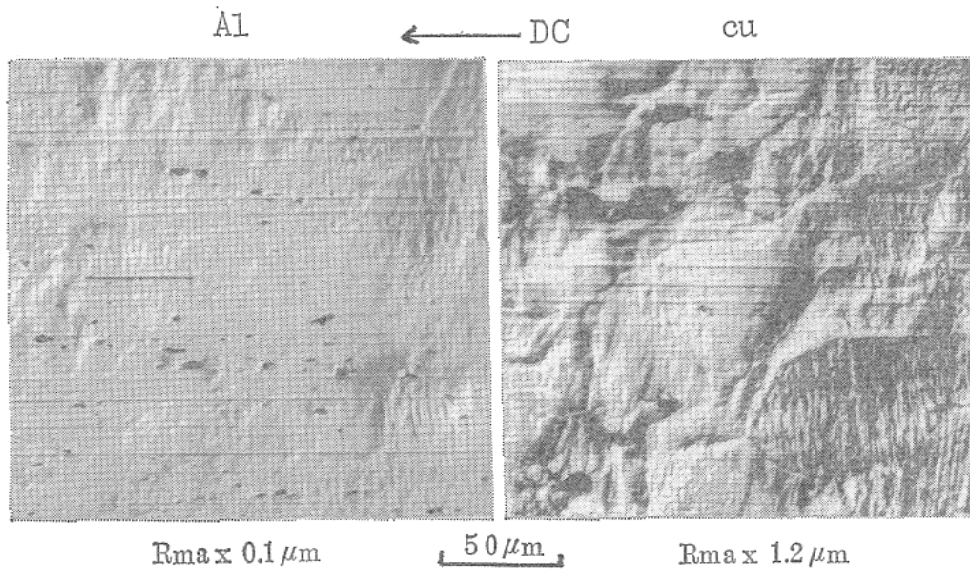


図1 ダイヤモンド切削面

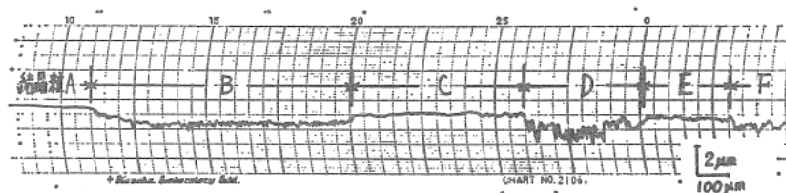


図2 Al 粗大結晶の仕上面プロフィール

とりもなおさず条こんあらしの限界を決める要因ということになる。

さらに黒い斑点状の仕上面の擾乱についてであるが、普通精密部品に用いられる材料はその組成、強度特性など種々の観点から吟味される。しかしいかに厳密に選択された材料でも不純物あるいは析出物によるいわゆる微視的欠陥にもとづくあらしの生成ということがある。こうした欠陥にもとづく仕上面の擾乱についてはボイドの影響として種々検討されている。たとえばボイドの生成挙動について、快削介在物 MnS の挙動を電顕直下で切削しながら観察し、介在物と Fe のマトリックスの界面にボイドが発生し母材の変形にしたがってボイドの生長の起ることが確認されている。したがってこうしたボイドはダイヤモンド工具のように切刃が極わめて鋭利な工具では、ボイドそのものにほとんど変形を与えず切断することになる。そのため仕上面にはくぼみ状として残留することになり、仕上面の構成要因の一つになると同時

にあらしの精度限界要因となる。

結晶の異方性による影響はとりわけ高精度加工における共通の課題である。そもそも高精度加工とは母材の変形、破壊の規模をいかに微小化するかということにかかっている。したがって破壊、変形の大きさを微小化すれば当然結晶粒単位での変形、破壊が問題になることは必然である。図2は Al 粗大結晶をダイヤモンド切削したときの各結晶粒についての仕上面プロフィールである。仕上面の状態は図1における Cu 仕上面と同じように切削方向に対してある角度をもって粗大すべりを生じている結晶粒や比較的平滑で微細すべりを生じているものなど結晶粒によって多様な面性状となっている。その状態は仕上面のプロフィールからわかるように各結晶粒によってあらしが異なり、しかも結晶粒段差を生じている。このように結晶粒単位での擾乱は切削方向と結晶のすべり系によってその面性状が異なり、この異方性の影響は精度限界要因として重要要因ということになる。

それでは以上の3つの要因によって精度限界がすべて決定されて終わるのかということになるが、ところが現実にコンピュータ用の磁気ディスク (Al) の超精密切削では、その表面あらさが $0.03 \sim 0.01 \mu\text{Rz}$ でスクラッチ一つない完全鏡面のものが得られている。このことはたとえば理想的な切削状態のもとで得られる仕上面は、ミクロトームで生物の極薄片を切り取るように母材にほとんど変形を与えない状態で得られた面ということになる。したがって Al, Cu の場合には先述したボイドや異方性の影響がそのままあらわれた仕上面性状となり、そのあらさも $0.1 \sim 0.05 \mu\text{m}$ が限度であろう。したがってそれ以上のあらさ 100 \AA ということになると別な仕上面の生成機構を考えなければならないことになる。その機構としては、工具逃げ面でのバニッシ作用にもとづく塑性流動による鏡面生成ということになる。このようにダイヤモンド切削による超精密加工時の精度限界要因という問題を表面あらさを対象にして考えた場合、より微細で平滑な仕上面を得るためにはバニッシ作用を考えざるを得なくなってくる。

このバニッシ作用は、仕上面の生成過程で工具刃先による母材の分離作用直後、工具逃げ面による押しならし作用ということである。この

効果は一般の精密加工法として実施されているバニッシ加工とは違い、母材分離直後の新生面をバニッシするというところにある。

ところでバニッシ効果というのは、あくまで工具刃先による母材分離の際に生成される刃先直下でのあらさの大きさとバニッシ量との相関によって初めて優れた効果となるものであり、バニッシ作用さえ与えればよいという短絡的思考は通じない。したがって切削過程において刃先直下で生成されるあらさが母材の変形、破壊の大きさによって決まり、そのあらさの大きさがバニッシ量より大きい場合、当然バニッシ効果は薄れ刃先直下で生成されたあらさが仕上面を支配することになる。しかし刃先直下での母材の変形、破壊の大きさが極微小で、しかも逃げ面におけるバニッシ量が適度であれば 100 \AA の完全鏡面の生成も可能ということになる。

それでは実際そうしたバニッシが仕上面にどのような効果を与えるのかについて示すと図3のようになる。図は刃先の鋭利な通常ダイヤモンド工具と逃げ面にランドを設けバニッシ作用を幾分大きくした工具で切削したときの仕上面である。図における(a)の切刃のシャープな通常工具では、バニッシ作用がほとんどないため各所に条こんや異方性による結晶粒単位での乱

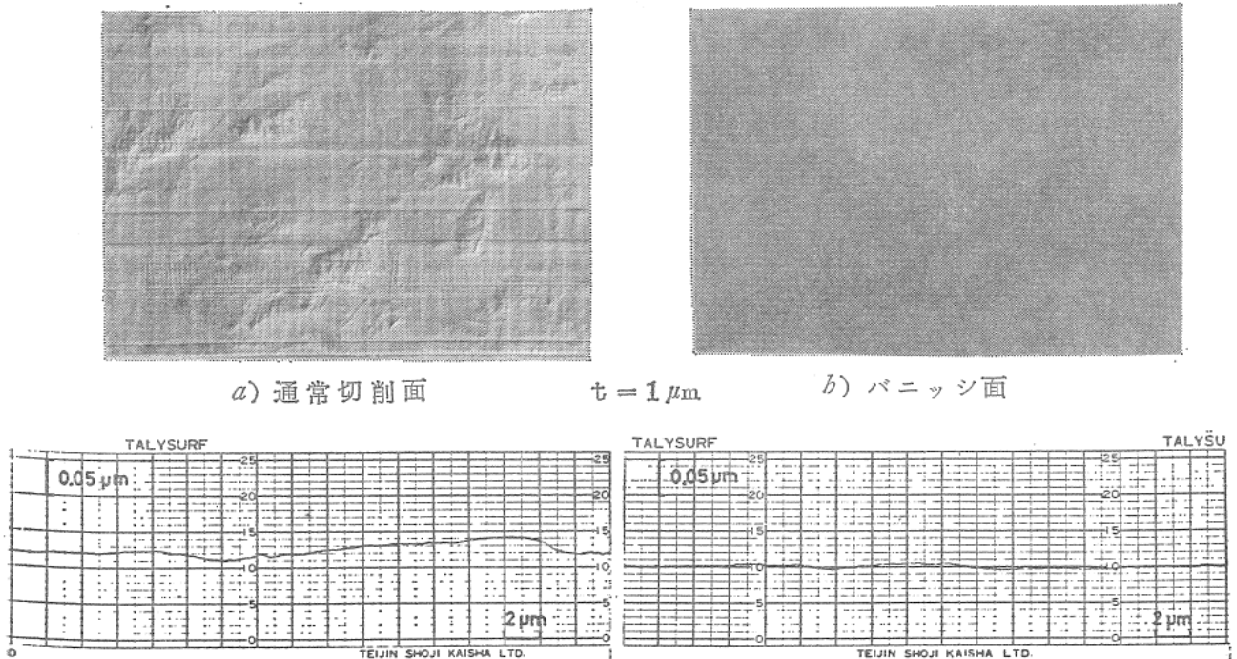


図3 通常ダイヤモンド工具とランド付き工具による面性状の差異 (Al)

cu

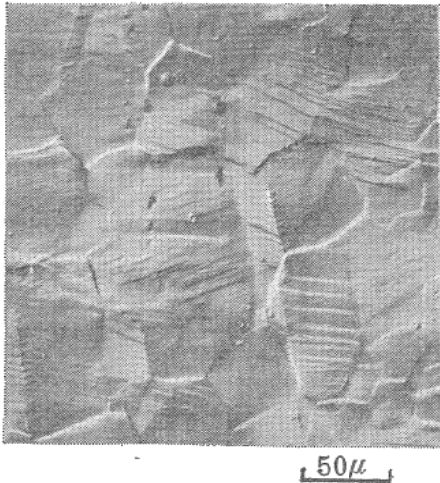


図4 結晶粒段差

れがみられ $0.05 \mu\text{m}$ のあらかさとなっている。一

方ランド付き工具(b)では本来残存すべきそうした擾乱要因によるあらかさがバニッシンによって完全消滅し、あらかさも 100 \AA という無擾乱の完全鏡面となっている。

このように完全鏡面と称される超精密仕上面の生成機構はバニッシン作用によるものであることがわかるが、そのバニッシン量の適性化が実際上極わめてむずかしく、必要以上に大きい場合には図4に示すように恐らく結晶の回転によると思われる結晶粒段差を生じ、完全平滑面が得られないという問題が生じてくる。したがって加工精度の終極的課題は母材の変形、破壊をいかに微小化にするかというその制御方式と、粒界すべりの挙動抑制ということが精度限界を決める最も重要な要因ということになる。

お お 人 生

鎌を持つ乞食は来ないが

本を持つ乞食は来る

いわゆる「インテリ乞食」というヤツである。知識はあるが、実行力はなく、性劣悪で人にたかろうとする。今の世には、こうした手合がウロチヨロしているから、ご用心、ご用心。

タチの悪いのに引っかかると、途方もなく金を絞り上げられる。その代表を世間では「三者」という。「学者」「役者」「芸者」である。

(むかしもの)