

Drilling of Difficult-to-Cut Materials by Using Indexable Insert Drill with Non-Axisymmetrical Geometry

| | |
|-------|---|
| メタデータ | 言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属: |
| URL | http://hdl.handle.net/2297/37029 |

非軸対称形状の刃先交換式ドリルを用いた難削材加工*

岡田 将人^{*1}, 上田 隆司^{*1}, 細川 晃^{*1}, 田中 隆太郎^{*1}

Drilling of Difficult-to-Cut Materials by Using Indexable Insert Drill with Non-Axisymmetrical Geometry

Masato OKADA^{*1}, Takashi UEDA, Akira HOSOKAWA and Ryutaro TANAKA

^{*1} Kanazawa University, Institute of Science and Engineering
Kakuma-machi, Kanazawa, Ishikawa, 920-1192, Japan

The cutting performance of indexable insert drill that has non-axisymmetrical geometry for drilling of difficult-to-cut materials is investigated. A twisted drill is also used to compare the cutting performance. The cutting characteristics are evaluated by tool flank temperature at peripheral corner edge θ_a , thrust force F_t , chip geometry and surface roughness R_a . The temperature of cutting tool is measured using a two-color pyrometer with an optical fiber. As work materials, the carbon steel, stainless steel, titanium alloy and nickel-base alloy are used. The θ_a and F_t of indexable insert drill are lower than that of solid drill in cutting of titanium alloy and nickel-base alloy. In the case of titanium alloy, the F_t of indexable insert drill is only 40% in the case of solid drill. On the other hand, this tendency reversed for stainless steel, and θ_a and F_t of indexable insert drill become higher than that of solid drill. The chip geometry by indexable insert drill is divided into parts in fragments so that there is chip breaker on the rake face of insert while the chip geometry by solid drill is continuous and long. The difference of surface roughness by the indexable insert drill and solid drill is negligible in the cutting of difficult-to-cut materials.

Key Words : Drilling, Difficult-to-Cut Material, Cutting Tool, Cutting Temperature, Cutting Force, Chip Geometry, Surface Roughness

1. 緒 言

製品の高機能化, 高付加価値化への要求に伴い, 製品部材には耐食性や耐酸化性, 生体親和性, 高温強度などの特性を有する材料を用いる場合が増えている^{(1), (2)}. これらの材料には難削性を示すものも多く, これに伴い難削材に対する切削加工の要求も高まっている. そのため, これまでに難削材加工に対する様々な取り組みが進められてきた⁽³⁾. 難削材料が難削性を示す要因は, 低い熱伝導率などが代表的であるが, それだけによらず, 難削材料によりそれぞれ異なる. 例えばステンレス鋼では高い伸びと加工硬化性, チタン合金では工具材料との化学的親和性, Ni 基合金では高い高温硬度などが熱伝導率以外の要因としてそれぞれ挙げられている⁽⁴⁾. そのため難削材料の切削特性を検討する場合, それぞれの材料に対する個別的な検討が必要となる.

一方, 切削加工の中で穴あけ加工は大きな割合を占めており, その工具として多くの場合にドリルが用いられる. これまでドリルには, 2枚刃で先端にチゼルエッジを有し, 回転軸方向にねじれを呈した軸対称の工具形状が主に用いられている(以後, これらを本報ではソリッドとする). これに対し近年, 刃先の交換が可能な非軸対称形状のドリルが開発されている(以後, これらを本報では刃先交換式とする). 刃先交換式はソリッドに比べて; 1)再研摩やスペアドリルが不要, 2)切削材料に応じて刃先のみでの交換で対応が可能, 3)工具交換が容易;などの優位点を有しており, これらが生産性に寄与するところは極めて大きい. 刃先交換式はソリッドと同様に2枚の刃

* 原稿受付 2011年6月22日

^{*1} 正員, 金沢大学理工研究域(〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: okada@se.kanazawa-u.ac.jp

を有しているが、それらは加工穴の中心側と外周側の切削を別々に担う。また、刃先交換式の刃先チップは、すくい面に溝型のチップブレイカが設けられており、ソリッドとは切りくず排出形態が異なる。著者らは、炭素鋼を対象とした刃先交換式の切削特性について詳細に検討し、工具温度が高温となりがちな切削条件において、刃先交換式がソリッドより有効であり、なおかつソリッドよりスラスト力が低いことを明らかにしている。加えて刃先交換式はMQL加工による工具温度の低減効果が高いことを明らかにしている⁽⁶⁾。

そこで本研究では、内部給油式MQLを適用した刃先交換式を用いて、代表的な難削材料であるステンレス鋼、チタン合金、Ni基合金の穴加工を実施し、難削材料の材料特性が工具温度や切削抵抗、切りくず形態、穴内周面の表面粗さに及ぼす影響をソリッドと比較して検討した。また、切削速度や送り速度が切削特性に及ぼす影響を検討した。これらにより、従来型であるソリッドに対して刃先交換式を用いた難削材加工の優位性を明らかにしたので報告する。

2. 実験方法

2.1 刃先交換式ドリル

図1に実験に用いた刃先交換式の先端部概略図を示す。刃先交換式は、異なる形状の刃先チップが非軸対称の位置でホルダに固定されている。内側ならびに外側チップはそれぞれ軸方向に対して 1.0° ならびに 2.5° の傾きを有している。刃先チップは4コーナーが全て 90° で同一形状であるため、刃先交換式のバックテーパ角は 2.5° となる。そのため、一般的に超硬ソリッドドリルの先端角ならびにバックテーパ角が 140° 、 0.1° 程度であるのに対し、刃先交換式はそれよりも大きな先端角、バックテーパ角を有することになる。底刃逃げ面の2ヶ所にオイルホールが設けられており、これよりオイルミストを吐出した。図2に外側チップの詳細を示す。刃先には溝型のチップブレイカを有している。底刃ならびに外周刃逃げ面の逃げ角は 7° であり、ソリッドにみられるマージン部は持たない。チップブレイカより刃先側には幅が 0.12mm 、角度が 0° で刃先処理がなされている。超硬工具母材に $(\text{Ti, Al})\text{N}+\text{TiN}$ の複層皮膜処理がPVD法により施されている。

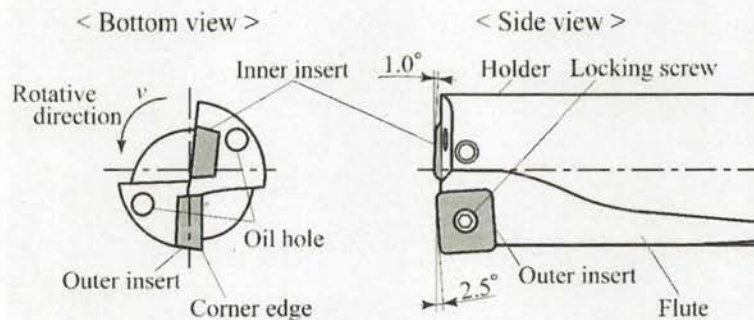


Fig.1 Schematic illustrations of indexable insert drill

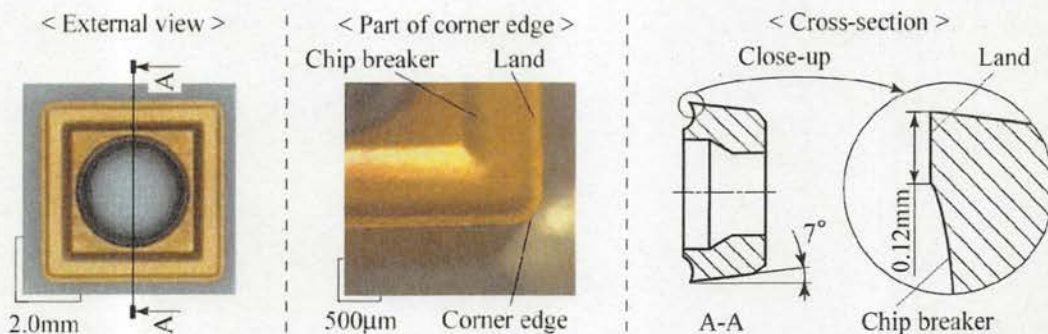


Fig.2 Details of outer insert

2.2 光ファイバ型2色温度計

ドリル加工は工作物内部で加工が進行し、工具自体が高速で回転する。そのため加工中における刃先温度を測定するためには、非接触式で微小な測定領域と高い応答速度を有する温度計が求められる。そこで温度測定には、光ファイバ型2色温度計を用いた⁽⁶⁾。図3に本温度計の構造を示す。本温度計は2種類の赤外線検出素子の出力比から温度を求めることで、測定対象物のふく射率に依存せずオイルミスト供給下での温度測定が可能であることを確認している⁽⁷⁾。

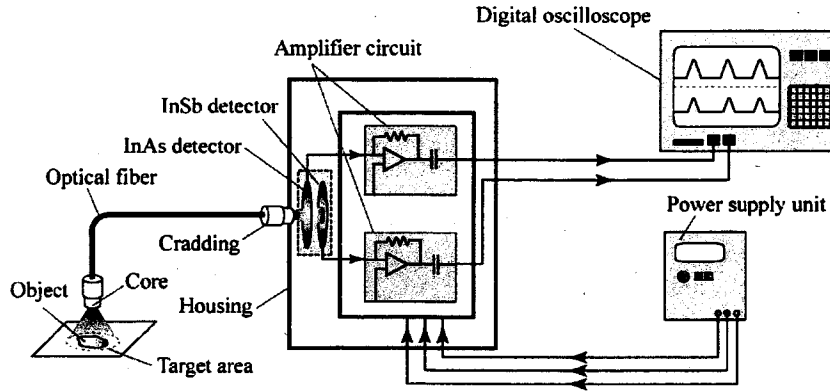


Fig.3 Schematic illustration of two-color pyrometer with optical fiber

2.3 実験方法

図4に実験装置の概略と加工部の拡大底面図を示す。実験は、立型マシニングセンタ(NV4000DCG, 株式会社森精機製作所製)のテーブル上に搭載した切削動力計に工作物を固定して、これにドリル加工を施した際の工具温度とスラスト力、トルクを同時に測定した。図4の拡大図にみるように、工具温度は温度計のファイバ先端を工作物側面にあけた溝に設置し、この溝上部を通過する外側チップの外周刃コーナー部逃げ面からふく射される赤外線を受光して測定した。温度測定深さは外周刃コーナー部が穴深さ3mmに達した時点とした。スラスト力とトルクの測定にはひずみゲージ式2成分切削動力計を用い、動ひずみ計を介して電圧出力を得た。温度計ならびに動力計からの電圧出力はストレージスコープに記録した。表1に主な実験条件を示す。ドリルは直径16mmを用いた。切削特性の比較のために、刃先交換式のチップと同一のコーティングが施された超硬ソリッドドリルを用いた。ソリッドの場合も、刃先交換式と同様に底部逃げ面に2ヶ所設けられたオイルホールからオイルミストを供給し、外周刃コーナー部が3mmの穴深さに達した時点の逃げ面温度を測定した。ソリッドのねじれ角は 30° 、先端角は 140° 、バックテーパ角は 0.15° であり、一般的な形状の超硬ソリッドドリルである。工作物にはS45C, SUS304, Ti-6Al-4VならびにNi基合金であるInconel718を用いる。切削速度は $v=25\text{m/min}$ で一定とし、送り量は $f=0.05, 0.10\text{mm/rev}$ の2種類とした。オイルミストとして不水溶性の植物油を用い、両ドリルともに供給量は 44ml/h で一定とした。

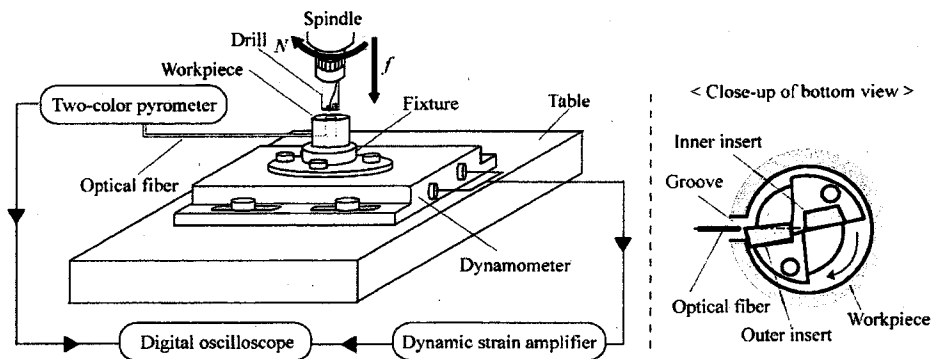


Fig.4 Experimental setup

Table 1 Experimental conditions

| | | |
|---------------|-----------|---|
| Drill | Indexable | (Ti,Al)N+TiN coated carbide with two oil holes Rake angle $\gamma=0^\circ$ (Except for the chip breaker) Back taper angle $\xi=2.5^\circ$ Diameter $D=16\text{mm}$ Effective length $L_e=48\text{mm}$, 2flutes |
| | Solid | (Ti,Al)N+TiN coated carbide with two oil holes Helix angle $\zeta=30^\circ$, Point angle $2\alpha=140^\circ$ Back taper angle $\xi=0.15^\circ$ Diameter $D=16\text{mm}$ Effective length $L_e=39\text{mm}$, 2flutes |
| Workpiece | | S45C, SUS304, Ti-6Al-4V, Inconel718 |
| Cutting speed | | $v=25\text{m/min}$ |
| Feed rate | | $f=0.05, 0.10\text{mm/rev}$ |
| Prepared hole | | Diameter: $D_p=5.0\text{mm}$ |
| Lubrication | | MQL (Vegetable oil, Water-insoluble) |
| Flow rate | | $q=44\text{ml/h}$ |

2・4 工作物材料特性

工作物の被削性を決定する材料特性として、主に硬さ、引張強さ、伸び率、熱伝導率が挙げられる⁽⁸⁾。そこで、表2に工作物として用いた4種類の工作物の材料特性を、それぞれの被削性指数と併せて示す。これらの特性値は複数の書籍等で示された代表値の平均を示しており、硬さは本実験で用いた工作物の実測値も併せて示す。被削性指数は、同一時間で工具寿命に達するための切削速度を表しており、0.12%Cの硫黄快削鋼を切削する場合の速度を100とした数値である⁽¹⁶⁾。そのため、この数値が低いほど難削材料といえる。表2より硬さの実測値と引用した平均値に近い値を示していることがわかる。このことから、平均値が実験に使用した工作物の材料特性を概ね反映しているといえる。S45Cは被削性指数が60であり難削材には分類されないが、機械構造部材として広く用いられており、その被削性がよく知られている。そのため、他の難削材料との比較のために用いた。表より、いずれの難削材も低い熱伝導率を示しており、工具温度の上昇を招く難削材であることがわかる。その他の特徴としてSUS304は伸びが高く、Ti-6Al-4Vは特に熱伝導率が低く、Inconel718は硬さ、引張強さが高いことがわかる。被削性指数はS45Cが最も高く、次いでSUS304、Ti-6Al-4V、Inconel718の順になっている。次章以降の図中には便宜的に工作物材料を表2の材料番号で示す。

Table 2 Properties of S45C and difficult-to-cut materials⁽⁸⁾⁻⁽¹⁵⁾

| Work material No. | Material | Hardness (Actual value) [Hv] | Hardness (Mean value) [Hv] | Tensile strength [MPa] | Elongation [%] | Thermal conductivity [W/m·k] | Machinability rating [%] |
|-------------------|------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------|------------------------------|--------------------------|
| 1 | S45C | 180 | 198 | 623 | 21 | 49 | 60 |
| 2 | SUS304 | 161 | 157 | 606 | 47 | 17 | 34 |
| 3 | Ti-6Al-4V | 304 | 318 | 1026 | 12 | 8 | 22 |
| 4 | Inconel718 | 418 | 399 | 1252 | 22 | 11 | 13 |

3. 実験結果および考察

3・1 外周刃コーナー部逃げ面温度

図5に刃先交換式ならびにソリッドを用いて4種類の工作物を切削した場合の外周刃コーナー部逃げ面温度 θ_a を示す。切削速度は $v=25\text{m/min}$ 、送り量は $f=0.10\text{mm/rev}$ でいずれも一定とした。図中の数字はそれぞれのドリルにおいて、S45C切削時の θ_a を1.00とした場合の割合を示している。図より両ドリルともにS45C、SUS304、

Ti-6Al-4V, Inconel718 の順に θ_a が高くなっていることがわかる。この傾向は表 2 に示した被削性指数と整合が取れ、両ドリルともに被削性指数の低い材料ほど θ_a が高温となる傾向を示している。

工作物材料による θ_a の変化傾向はドリル形状により大きく異なる。S45C, SUS304 の場合は刃先交換式がソリッドより高温であるのに対し、Ti-6Al-4V, Inconel718 の場合は低温となっている。刃先交換式の θ_a は Inconel718 切削時でも S45C 切削時の 1.5 倍程度であるのに対し、ソリッドの場合は Ti-6Al-4V で S45C 切削時の約 2 倍、Inconel718 切削時では約 2.5 倍まで上昇しており、 θ_a の増加傾向が大きい。Ti-6Al-4V ならびに Inconel718 の切削で、このような違いが認められた要因として、工具の切れ刃長さが影響していると考えられる。刃先交換式は 2 刃を有するものの、それぞれのチップの切れ刃長さは短く、両チップを合わせても加工穴の半径に近い切れ刃長さしか有していない。これに対し、ソリッドは加工穴中心から外周までの切れ刃を 2 枚有しており、なおかつ、これらの切れ刃が 140° の先端角を有しているため、先端角が 180° に近い刃先交換式との切れ刃長さの違いはより顕著となる。そのため、切れ刃長さが短い刃先交換式は、切削に要するエネルギーが低減でき、それにより発生する熱エネルギーが低減されると考えられる。加えて、刃先交換式はソリッドよりバックテーパ角が大きく、マージン部を有さないために、外周刃部逃げ面と加工穴内面間に生じる摩擦熱が低減されると考えられる。これらの違いにより、特に熱伝導率の低い難削材料において刃先交換式の結果が良好であったと考えられる。

S45C の場合に刃先交換式がソリッドより θ_a が高いのは、一刃あたりの切込量の違いに起因すると考えられる。刃先交換式は内側と外側のチップが異なる切削領域を分担しているために、工具 1 回転あたりの送り量を一定とすると、1 刃あたりの切込量はソリッドの 2 倍となる。S45C のように熱伝導性が良好な工作物材料に対しては、1 刃あたりの切込量の違いによる θ_a への影響が、切れ刃長さの違いによる影響より相対的に大きくなると考える。これらのことから、刃先交換式は硬さや引張強さ、熱伝導率において難削性を示す材料に対して、ソリッドより工具温度の上昇を抑えた加工が可能であるといえる。なお、熱伝導率が比較的低い SUS304 の切削において刃先交換式の θ_a がソリッドより高くなった要因は、次節で述べる切削抵抗の影響が大きいと考える。

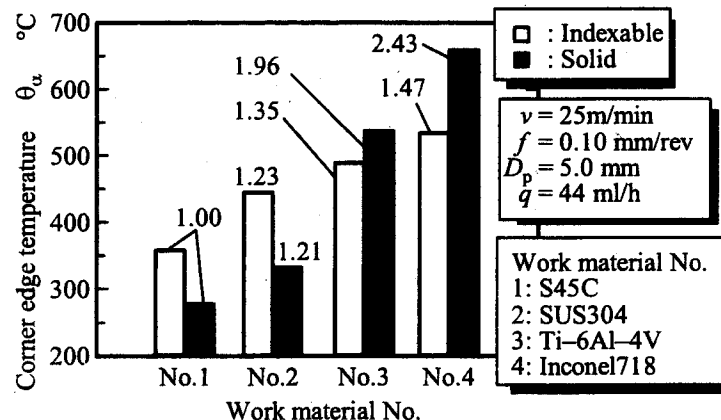


Fig.5 Influence of work material on tool flank temperature at corner edge

3・2 切削抵抗

図 6 に両ドリルを用いて 4 種類の工作物を切削した場合のスラスト力 F_t と切削トルク M を示す。ここで、刃先交換式は非軸対称形状であり、本実験で使用した動力計によるトルク測定が困難であるため、刃先交換式の切削トルクは図に示していない。また、ソリッドの切削トルクは加工の進行とともに増加する傾向が認められたため、図中の値は、その最大値を示している。図より、ソリッドの F_t ならびに M は外周刃コーナー部逃げ面温度 θ_a と同様の傾向を示しており、Inconel718 切削時に最大で $F_t=1.7\text{kN}$, $M=17\text{Nm}$ 以上に達している。このことから、ソリッドの切削抵抗は工作物の硬さと引張強さによる影響が大きいと考えられる。前節において、ソリッドによる Ti-6Al-4V ならびに Inconel718 切削時の θ_a が高い値を示していたが、その要因として、材料の低い熱伝導率に加えて、切削に要するエネルギーが高いことも一因であると考えられる。

刃先交換式の F_t は、SUS304 以外ではソリッドに比べ低い値を示している。特に Ti-6Al-4V ではソリッドの 40% 程度の F_t しか生じていない。また工作物材料による影響をみても、その傾向はソリッドと大きく異なり、S45C

と Ti-6Al-4V が $F_t=500\sim 600\text{N}$ と低い値を示しているのに対し、SUS304 と Inconel718 は $F_t=1.1\text{kN}$ 程度を示している。ここで、工作物材料の差異によるソリッドのスラスト力とトルクの変化は同様の傾向を示していることから、ソリッドのスラスト力の傾向は、切削に要するエネルギーの傾向と同様と考えることができる。刃先交換式においても、これと同様の傾向が得られると仮定した場合、前節において SUS304 切削時の刃先交換式の θ_a がソリッドより高温となったことは、SUS304 切削時に限り切削抵抗がソリッドより大きく、切削に要するエネルギーが増加したことに起因していると考えられる。

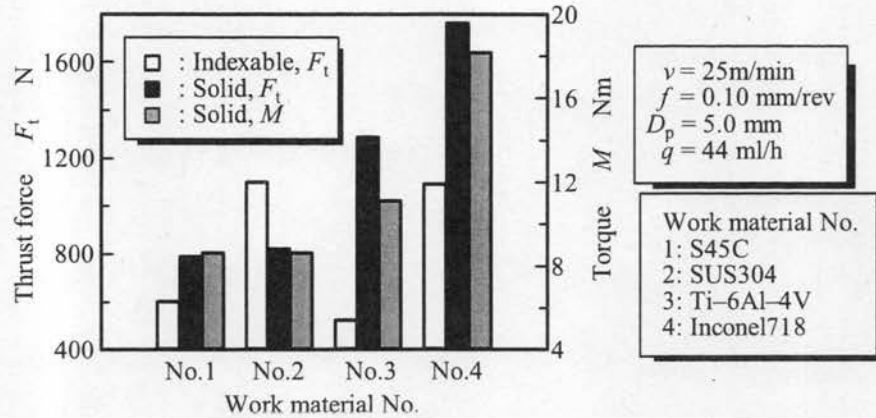


Fig.6 Influence of work material on thrust force and torque

切削抵抗は切削加工中の切りくず生成形態の影響が直接的に反映される。そこで、切りくずの生成形態を確認するために、図7に両ドリルにより得られた切りくずの圧縮比 λ を示す。 λ は切りくず厚さを1刃あたりの切込量で除した値であり、切削比の逆数で表される値である⁽¹⁷⁾。切りくず厚さは、ポイントマイクロメータにより外周刃コーナー部付近で排出された切りくず厚さを5点測定し平均した。

両ドリルともに同様の傾向を示しており、SUS304が最も高く刃先交換式の場合で切込量の3倍程度に達している。これに対しTi-6Al-4Vは両ドリルともに1.5倍程度であり、切りくず厚さが薄い。また、いずれの材料においても刃先交換式の λ がソリッドより高く、切込量に対する切りくず厚さが厚く、材料特性ならびにドリル形状により切りくずの生成形態に違いが生じていることがわかる。これらの傾向から、図6にみるように硬さ、引張強さの低いSUS304に対して刃先交換式の F_t が高い値を示すのは、材料の伸びが影響していると考えられる。伸びが高い材料を切削する場合、せん断角が小さくなるため切りくず厚さが厚くなり切削抵抗が増加する。図7の λ の傾向は表2に示す材料特性の伸びの傾向と類似している。加えてSUS304は加工硬化性が高いために⁽¹⁸⁾、1刃あたりの切込量が大きいと、切削部付近の材料の加工硬化を招きやすくなると考えられる。そのため、1刃あたりの切込量がソリッドの2倍となる刃先交換式において、SUS304だけが他の材料と異なる傾向を示したと考えられる。

一方、刃先交換式においてS45Cの λ がSUS304と同様に高い値であるのに対し、 F_t は低い値を示している。これはS45Cでは、せん断角が小さく切りくず厚さが増加してもSUS304のように高い加工硬化を示さないために切削抵抗が増加しなかったと考える。また、Inconel718は比較的 λ が小さいが、刃先交換式において F_t はSUS304と同程度である。これは、Inconel718は高い材料強度を有しており、なおかつ加工硬化性もSUS304と同様に高いために、 λ がSUS304より小さくても F_t が高い値を示したと考えられる。そのため、ソリッドの切削抵抗は材料の硬さや引張強さの影響が大きいのに対し、刃先交換式は材料の伸びや加工硬化性の影響に注意を向ける必要があるといえる。

切削抵抗の観点から刃先交換式はソリッドに比べ高硬度、低伸び率の難削材切削に効果的であるといえる。特にTi-6Al-4Vのように伸びならびに熱伝導率が低い材料に対して、工具温度、切削抵抗の観点から良好な切削特性を有するといえる。なお、一般的にSUS304やInconel718のように加工硬化性の高い工作物に対しては、1刃あたりの切込量を過度に小さくしないことが、加工硬化層のみの切削にならないため工具寿命の観点から推奨され

ている。このため、大きな切込量による切削抵抗の増加の影響を考慮するか、小さな切込量による工具寿命への影響を考慮するかについては別の検討を要することを付言する。

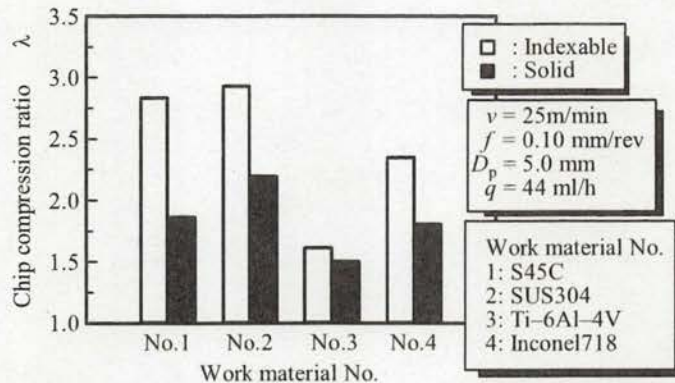


Fig.7 Influence of work material on chip compression ratio

3・3 切削条件による影響

図8に両ドリルによるTi-6Al-4Vの切削において、切削速度と送り量を変化させた場合の外周刃コーナー部逃げ面温度 θ_α とスラスト力 F_t を示す。送り量は1刃あたりの送り量を示しており、ソリッドの場合、この値は1回転あたりの送り量の1/2となる。図より、両ドリルによる $v=25\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/tooth}$ の θ_α を比較すると、刃先交換式が 70°C 程度低いことがわかる。この場合、1刃あたりの切込量が同じであることから、この θ_α の差は刃先形状によるものであり、前述の通り刃先交換式の刃先形状はTi-6Al-4Vの切削に適しているといえる。

刃先交換式の切削条件による θ_α , F_t への影響をみると、 $f=0.05\text{--}0.10\text{mm/tooth}$ の送り量の増加に対しては若干の増加が認められた。これに対し切削速度の影響は θ_α に対して明らかに認められ、 $v=25\text{--}50\text{m/min}$ で 120°C の温度上昇が認められた。ここで、刃先交換式において $v=25\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/tooth}$ と $v=50\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/tooth}$ による加工では、加工に要する時間は変わらない。これらのことから刃先交換式によるTi-6Al-4Vの切削には、低速・高送りの切削条件で θ_α を低く抑えることが可能であることがわかる。

一方、著者らはS45C切削時において、高速・低送り加工の場合が θ_α を低く抑えることができることを明らかにしている⁽¹⁹⁾。これらのことから、刃先交換式を用いる場合、工作物の材料特性により適切な切削条件が異なり、Ti-6Al-4Vのように加工硬化性の高くない低熱伝導率の難削材であれば、低速・高送り加工が θ_α を低く抑える観点から有効であるといえる。

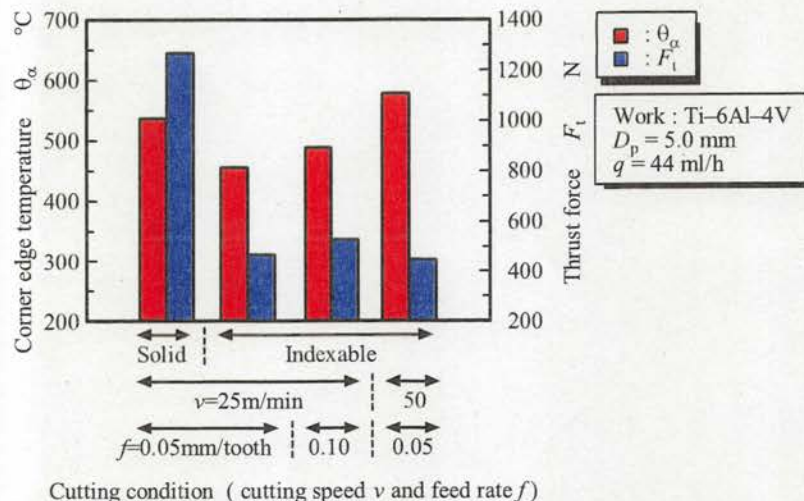


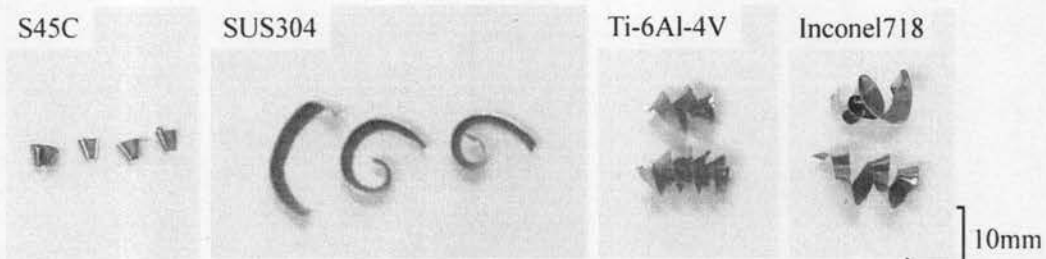
Fig.8 Influence of cutting conditions on corner edge temperature and thrust force

3・4 切りくず形状

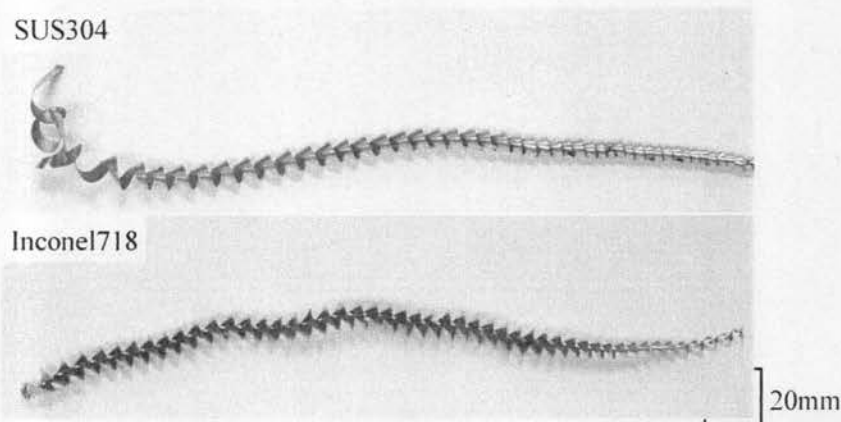
図9(a), (b)に両ドリルにより生成された切りくずの外観写真を示す。刃先交換式による切りくずは、外側チップより生成された切りくずを示す。ソリッドによる切りくず形状は工作物材料によらず同様の形態であったため、ここでは SUS304, Inconel718 の切りくず形態のみを示す。

いずれの工作物材料においても刃先交換式の切りくずは片状であるか、らせん形状が数巻き程度で分断されている。これに対し、ソリッドの切りくずは連続的ならせん形状である。これは精機学会切削性専門委員会より提案された切りくず形状の分類において、刃先交換式による切りくず形状が3-5型に相当するのに対し、ソリッドによる切りくず形状は7型に分類され、明らかに切りくずの生成形態ならびに排出形態が異なることを示す⁽²⁰⁾。

このような違いが得られた要因としては刃先交換式の刃先チップすくい面に設けられたチップブレイカの影響が大きいと考えられる。チップブレイカは、切りくずカールの曲率半径を強制的に減少させ、切りくずを分断することができる。これに対しソリッドは構造上、すくい面にチップブレイカを設けることが難しい。切りくずが分断されないと、主軸への巻き付きが生じるためステップフィード等の対策が必要となる。またドリル加工の場合、加工中の穴内部で切りくずが排出される空間はフルート部に限られており、これに切りくずが滞留して排出性が損なわれると突発的な折損等の深刻な加工不良を招く⁽²¹⁾。本実験では外周刃コーナー部分が穴深さ 3mm に達する程度の比較的浅い穴加工のため、図9に示すように切りくず形状に滞留を示す点は認められなかった。しかしながら、穴深さが深い場合、切りくず排出性の観点から刃先交換式の優位性が期待できるといえる。



(a) Indexable insert drill



(b) Solid drill

Fig.9 External view of chip geometry

3・5 穴内周面粗さ

図10に両ドリルによる加工穴内周面の仕上げ面粗さ R_a を示す。粗さは加工穴内周面のドリル送り方向の算術平均粗さであり、触針式表面粗さ測定機による3点測定の平均値を示している。図より、S45C 切削時には両ドリルの R_a に大きな違いが認められ刃先交換式の仕上げ面粗さが劣っている。しかしながら、難削材においては両ド

リルの R_a は最大で $0.4\mu\text{m}$ の差であり、同程度の仕上げ面粗さが得られている。また、難削材の場合、いずれの条件においても R_a は最大で $1.8\mu\text{m}$ であり、両ドリルともに比較的良好な仕上げ面粗さが得られている。S45C 切削時に R_a が大きい要因としては構成刃先による凝着現象の発生が挙げられる。著者らは切削速度を高速にし切削温度を上昇させると、刃先交換式による S45C の切削においても比較的良好な仕上げ面が得られることを確認している⁽⁹⁾。難削材において良好な仕上げ面が得られたのは、図 4 にみるように工具温度が高温となるため、構成刃先の発生が抑制されたためと考えられる。このことから、刃先交換式は低熱伝導率の難削材切削において、ソリッドと同様に良好な仕上げ面が得られるといえる。なおソリッドでは、いずれの材料においても良好な仕上げ面が得られている。これは、1 刃あたりの切込量が小さいために理論粗さが小さいこと、刃先円周方向にマージン部を有しておりバックテーパ角が小さいためにパニシング効果が得られやすいことに起因していると考えられる。

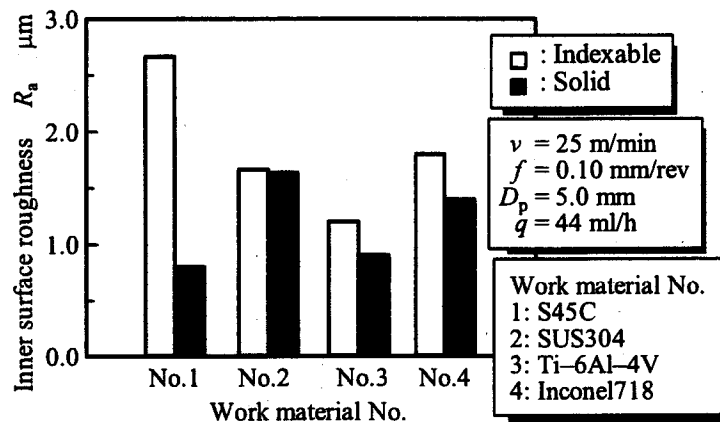


Fig.10 Influence of work material on inner surface roughness

4. 結 語

3種類の難削材料 (SUS304, Ti-6Al-4V, Inconel718) と炭素鋼 (S45C) を対象としたドリル加工において、非軸対称形状を有した刃先交換式ドリルの切削特性を、軸対称ねじれ形状のソリッドドリルと比較した。また、切削速度と送り量が切削特性に及ぼす影響について明らかにし、刃先交換式ドリルによる難削材加工の優位性について検討した。以下にその結果をまとめる。

- (1) 刃先コーナー部逃げ面温度 θ_a は両ドリルともに S45C, SUS304, Ti-6Al-4V, Inconel718 の順に高くなった。S45C, SUS304 ではソリッドの θ_a が低い、Ti-6Al-4V, Inconel718 では刃先交換式のほうが低い。
- (2) スラスト力 F_t は、SUS304 の場合以外はソリッドより刃先交換式が低く、Ti-6Al-4V の場合にはソリッドの約 40% のスラスト力しか生じない。
- (3) 刃先交換式ドリルによる Ti-6Al-4V の加工の場合、ドリル送り量より切削速度による工具温度への影響が大きく、低速・高送りによる加工が工具温度の上昇を抑えられる。
- (4) ソリッドドリルの切りくずは、らせん状で連続的である。これに対し、刃先交換式の切りくずは一定の長さ毎に分断されており、その形状は片状もしくは、数巻程度のらせん状であり、切りくず排出性が良好である。
- (5) 加工穴内周の仕上げ面は、S45C の場合に刃先交換式ドリルの粗さが劣るが、その他の難削材においてはソリッドドリルによる仕上げ面粗さと同程度である。
- (6) 難削材の材料特性において Ti-6Al-4V のように伸びや加工硬化性が低く、熱伝導率の低い材料に対して刃先交換式ドリルは従来のソリッドドリルよりも低い工具温度ならびにスラスト力での加工が可能である。これに対し、SUS304 のような伸びならびに加工硬化性が高い材料に対しては、ソリッドドリルより工具温度、スラスト力が高くなる傾向がある。

文 献

- (1) Durul Ulutana, Tugrul Ozel, "Machining induced surface integrity in titanium and nickel alloys", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 51, No. 3 (2011), pp. 250-280.
 - (2) 屋敷貴司, 山本兼司, "四輪車マフラー用チタン合金の開発", *軽金属*, Vol. 55, No. 11 (2005), pp. 592-598.
 - (3) 例えば 越智秋雄, 金枝敏明, 山根八洲男, 若林利明, "難削材加工の現状と専門委員会の取り組み", *精密工学会誌*, Vol. 70, No. 8 (2004), pp. 1017-1021.
 - (4) 狩野勝吉, "データでみる切削加工の最先端技術", *工業調査会* (1992), pp. 429-450.
 - (5) Masato Okada, Takashi Ueda, Akira Hosokawa, Rachid M'saoubi, Takayuki Muranaka, "Cutting characteristics of indexable insert drill", *Proceedings of the 4th CIRP international conference on high performance cutting*, Vol. 2 (2010), pp. 333-336.
 - (6) 細川晃, 岡田将人, 上田隆司, "エンドミル加工における工具温度モニタリング用小型 2 色温度計の開発", *日本設備管理学会誌*, Vol. 18, No. 1 (2006), pp. 42-48.
 - (7) Takashi Ueda, Masahiko Sato, Akira Hosokawa, Masahito Ozawa, "Development of infrared radiation pyrometer with optical fibers -Two-color pyrometer with non-contact fiber coupler-", *Annals of the CIRP*, Vol. 57, Issue 1 (2008), pp. 69-72.
 - (8) 山根八洲男, 関谷克彦, "難削指数による難削性の評価", *精密工学会誌*, Vol. 70, No. 3 (2004), pp. 407-411.
 - (9) 草道英武, 村上陽太郎, 木村啓造, 和泉修, "金属チタンとその応用", *日刊工業新聞社* (1983), pp. 52-53.
 - (10) 狩野勝吉, "難削材の切削加工技術", *工業調査会* (1989), pp. 27, 189, 203.
 - (11) 藤村善雄, "実用切削加工法", 共立出版 (1980), pp. 189.
 - (12) 鈴木節男, "難加工材の切削・研削・ドリル加工ー現場に活かす実践技術ー", 海文堂出版 (1990), pp. 29, 31.
 - (13) 竹山秀彦, "難削材の加工技術ー宇宙材料と一般材料の被削性と生産性ー", *工業調査会* (1972), pp. 60-65.
 - (14) Samuel L. Hoyt, "ASME Handbook, Metals Properties", *McGRAW-HILL BOOK* (1954), pp. 58, 162-163.
 - (15) 日本金属学会, 日本鉄鋼協会, "鉄鋼材料便覧", 丸善 (1993), pp. 535, 618-625.
 - (16) 會田俊夫, 井川直哉, 岩田一明, 岡村健二郎, 中島利勝, 星鐵太郎, "切削工学", コロナ社 (1973), pp. 311.
 - (17) 藤村善雄, "実用切削加工法", 共立出版 (1980), pp. 158.
 - (18) 鈴木節男, "難加工材の切削・研削・ドリル加工ー現場に活かす実践技術ー", 海文堂出版 (1990), pp. 11.
 - (19) 岡田将人, 上田隆司, 細川晃, "非軸対称形状を有した刃先交換式ドリルの切削特性と MQL の適用効果", *日本機械学会論文集 C 編*, Vol. 77, No. 783 (2011), pp. 4297-4307.
 - (20) 中山一雄, "切りくず形状の分類について", *精密機械*, Vol. 42, No. 493 (1976), pp. 74-80.
 - (21) 中山一雄, "機械加工", 朝倉書店 (1983), pp. 81-82.
-