

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

著者	岡田 将人, 上田 隆司, 細川 晃
雑誌名	日本機械学会論文集 C編 = Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers Series C
巻	77
号	783
ページ	4297-4307
発行年	2011-01-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/37028

doi: 10.1299/kikaic.77.4297

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*

岡田 将人^{*1}, 上田 隆司^{*1}, 細川 晃^{*1}

Cutting Characteristics of Indexable Insert Drill with Non-Axisymmetrical Geometry and Effects of MQL

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

^{*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 is investigated. A solid drill that has axisymmetrical and twisted geometry is also used to compare the cutting characteristics. The diameter of drills is 16mm and carbon steel is used as work material. The application effects of MQL that oil mist is supplied from oil holes in the tool are also examined. The temperature of peripheral corner edge of outer insert is measured using a two-color pyrometer with an optical fiber. The tool temperature of indexable insert drill is higher than that of solid drill and it reaches approximately 525°C at highest. On the other hand, the thrust force of indexable insert drill is lower than that of solid drill and it do not change so much with cutting speed. The surface roughness of indexable insert drill is approximately 1.15~5.4μm and this is higher than that of solid drill in each cutting speed. However, it is improved by supplying the oil mist.

Key Words : Drilling, Cutting Tool, Cutting Temperature, Thrust Force, Surface Roughness, Tool Wear, Two-Color Pyrometer

1. 緒 言

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)再研磨やスペアドリルが不要、2)傾斜面への切削が可能、3)加工穴直径の微調整やボーリング加工が可能；などの優位点を有している。刃先交換式はソリッドと同様に2枚の刃を有しているが、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部に溝型のチップブレーカが設けられており、ソリッドとは切りくず排出形態も異なる。そのため、これまでに構成刃先の生成形態や加工穴の面粗さに関する報告がある^{(1),(2)}。しかしながら、工具温度やスラスト力などの切削特性について検討した報告がなく、ソリッドと比較した場合の切削特性の違いについて一般的に知られていないのが現状である。

一方、ドリル加工の油剤供給方法は、工具刃先から高圧油剤を供給する内部給油式が、良好な切りくず排出作用が得られるとされ、その有効性について報告されている⁽³⁾。またこれに加えて、高圧油剤の代わりに圧縮エアとミスト状の油剤を混合させた内部給油式 MQL 加工法がエネルギーならびに環境負荷軽減の観点から有効とされており、関係する研究が既に報告されている^{(4),(5)}。

そこで本研究では、刃先交換式による炭素鋼のドリル加工において、切削条件が工具温度やスラスト力、穴内周面の表面粗さ、摩耗形態に及ぼす影響をソリッドと比較することで検討し、刃先交換式の切削特性とこれを効

* 原稿受付 2011年2月28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

率的に用いるための切削条件を検討した。また、内部給油式 MQL 加工法を適用した場合の効果についても検討したので報告する。

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。そのため、一般的にソリッドが $120^\circ\sim 140^\circ$ 程度の先端角であるのに対し、刃先交換式はそれよりも大きな先端角を有することになる。底部逃げ面には2ヶ所の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に両チップの外観と外側チップの断面図を示す。すくい面部にはチップブレーカが設けられている。また、コーナー部が全て同一形状であるため、1つのチップで4コーナー分の使用が可能である。両チップは超硬工具母材に(Ti, Al)N+TiNの複層皮膜処理がPVD法により施されている。なお、外側チップ刃先部には回転軸と平行に 0.12mm の幅で刃先処理がなされているとともに、逃げ面は 7° の傾きを有している。

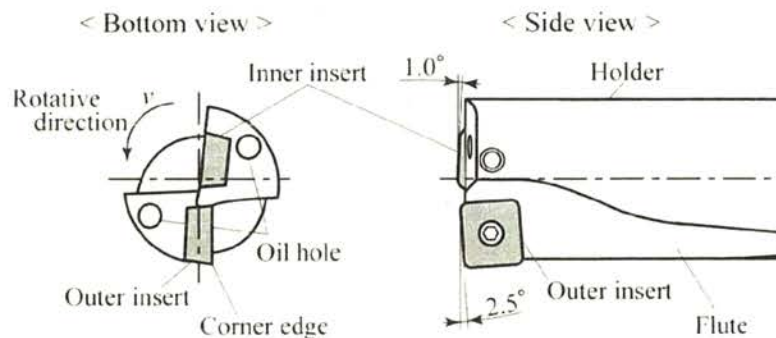


Fig.1 Schematic illustrations of indexable insert drill

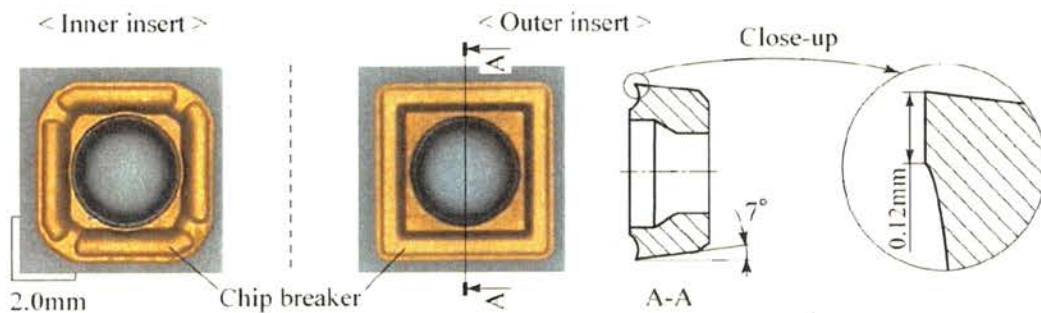


Fig.2 Outline of inner and outer insert

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ことから、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。本温度計は切削中に工具表面よりふく射される赤外線を受光し、分光感度特性の異なる2種類の赤外線検出素子(InAs, InSb)に伝送・照射することで両素子から電気的な出力を得る。本温度計はこれら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しない温度測定が可能であり、これまでに本温度計を用いて種々の加工法における工具温度測定に成功している^{(7),(8)}。100kHzまでの入力に対し安定した出力が得られるとともに、光ファイバの受光面直径と同

程度の微小な測定領域($\approx \phi 500\mu\text{m}$)を有していることを既に確認しており、ドリル加工における工具刃先の温度測定に適用できる。

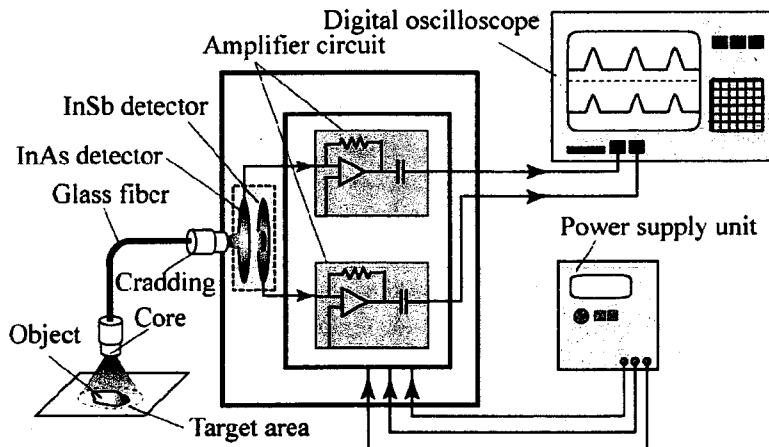


Fig.3 Schematic illustration of two-color pyrometer with an optical fiber

2・3 実験方法

図4に実験装置の概略を、表1に主な実験条件を示す。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を同時に測定した。ドリル加工において、工具温度は切削速度が最も高速となる外周刃コーナー部が最も高温となることが既に報告されている⁽⁹⁾。そのため、本実験においては工具温度として外側チップの外周刃コーナー部の逃げ面温度を測定した。なお、工具温度測定のために工作物にファイバを挿入するための溝を3mmの深さで設け、この溝底部にファイバを設置した。そのため、本実験における温度測定は外周刃コーナー部が3mmの穴深さに達した時点の外周刃コーナー部逃げ面温度となる。スラスト力の測定には製作したひずみゲージ式動力計を用い、動ひずみ計を介して電圧出力を得た。本動力計は校正実験により、作用力と電圧出力が高い精度で直線関係にあることを確認している。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。また、切削特性の比較のためにソリッドを用いた実験も実施した。著者らは工具コーティング膜材質が切削途中の工具温度に影響を及ぼすことを既に明らかにしている⁽¹⁰⁾。そこで本実験では、工具形状の違いによる影響を検討するため、比較対象としたソリッドのコーティング膜材質ならびにコーティング方法は、刃先交換式に用いた刃先チップと同一の材質、コーティング方法で被覆したものを用いた。また、ソリッドにおける温度測定点も外周刃コーナー部の逃げ面が3mmの穴深さに達した時点とした。

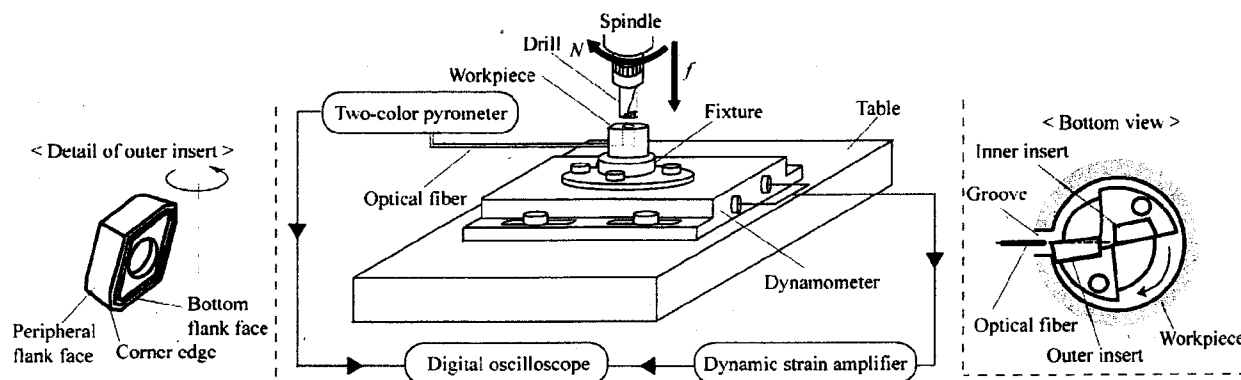


Fig.4 Experimental setup

Table 1 Experimental conditions

Drill	Indexable	(Ti,Al)N+TiN coated carbide with two oil holes Rake angle $\lambda=0^\circ$ (Except for the chip breaker) Diameter $D=16\text{mm}$, Effective length $L_e=48\text{mm}$
	Solid	(Ti,Al)N+TiN coated carbide with two oil holes Helix angle $\zeta=30^\circ$, Point angle $2\alpha=140^\circ$ Diameter $D=16\text{mm}$, Effective length $L_e=39\text{mm}$
Workpiece		Carbon steel without heat treatment JIS S45C(HV180), S50C(HV196)
Cutting speed		$v=25, 50, 100, 150\text{m/min}$
Feed rate		$f=0.05, 0.10\text{mm/rev}$
Prepared hole		Diameter $D_p=0, 5.0\text{mm}$
Lubrication		Dry, MQL (Vegetable oil, Water-insoluble)
Flow rate		44ml/h

3. 実験結果および考察

3.1 出力波形

工作物側面に加速度計を接着してドリル加工を施すことで、外周刃がファイバ設置溝を通過する際の微小な振動を検出し、温度計のファイバ先端と外周刃コーナー部間の相対位置と、温度計からの出力波形との関係を明らかにした。図5に刃先交換式を用いて切削速度 $v=50\text{m/min}$ 、送り量 $f=0.10\text{mm/rev}$ で切削した場合の出力波形を示す。上から加速度計、2色温度計の InAs 素子、InSb 素子からの出力である。図中(a)、(b)点において加速度計よりパルス状の出力が得られており、両パルス間に $\Delta\tau \approx 3.6\text{ms}$ の時間差が認められる。 $v=50\text{m/min}$ の切削速度において、外周刃が3mm幅のファイバ設置溝を通過するのに要する時間は理論的に約3.6msであり、この両パルス間において外周刃がファイバ設置溝を通過したと同定することができる。図6(a)、(b)に図5(a)、(b)点におけるファイバ先端と外周刃との相対位置を表したモデル図を、(c)に加工前の工作物にファイバを設置した模式図を示す。図5において(a)点以前に2色温度計からの出力が認められるが、外周刃は図6(a)に示すようにファイバ設置溝に差し掛かった時点であり、この出力は外周刃すくい面前部に存在する切りくずや、内側チップからの赤外線を受光した出力であると考えられる。図6(b)ではコーナー部逃げ面がファイバ前面を既に通過しているため温度計の出力が下がっており、切削再開による加速度計からの出力が得られる。また、図6(c)に示すように、工作物上面から3mmの位置に光ファイバを設置しているため、外周刃コーナー部が3mmの穴深さに達した時点で、測定部である逃げ面がファイバ前面を通過して出力パルスが得られる。これより、コーナー部が穴深さ3mmの時点において(a)-(b)点間で得られる波長の短いパルス出力を外周刃コーナー部逃げ面から得られた出力として、5パルス分の平均を工具温度として算出した。なお、ソリッドにおいても同様な出力が得られることを確認している。

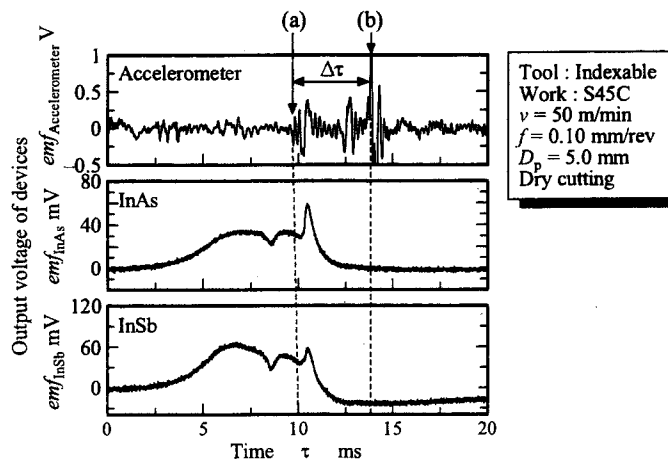


Fig.5 Typical waveform of accelerometer and pyrometer

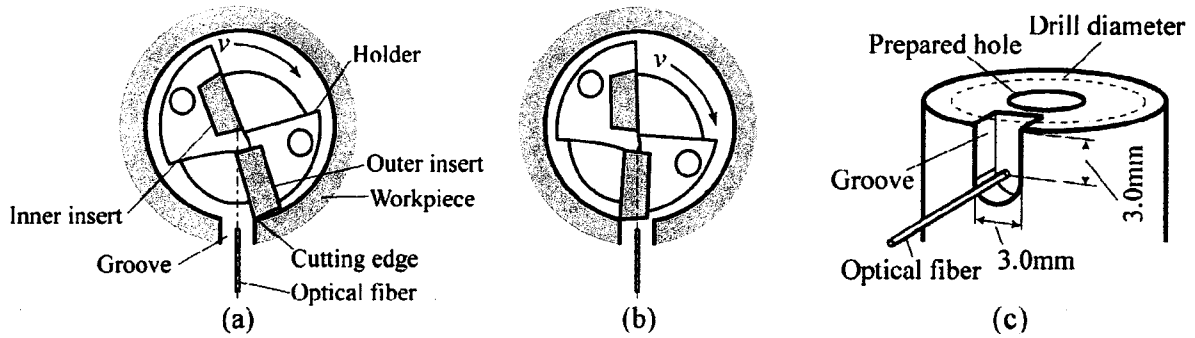


Fig.6 Relative position between optical fiber and cutting edge of outer insert

3・2 外周刃コーナー部逃げ面温度

図7に切削速度 v と外周刃コーナー部の逃げ面温度 θ_a の関係を示す。図より、いずれの条件においても v の増加とともに θ_a が増加していることがわかる。また、刃先交換式の乾式加工が最も高い温度を示しており、 $v=100\text{m/min}$ において 525°C に達している。これに対し、ソリッドの場合は乾式時においても比較的低い θ_a を示している。両ドリルの乾式時の差は $v=25\text{m/min}$ において最大であり 110°C に達している。また、オイルミストを供給しても刃先交換式がソリッドの場合より θ_a が高い。刃先交換式にはすくい面にチップブレーカが設けられており、一般的にこのチップブレーカはすくい面一切りくず間の接触面積を減少させ、刃先温度を低減する機能を有している⁽¹¹⁾。両ドリルの θ_a を比較して、チップブレーカが設けられているにも関わらず刃先交換式の θ_a が高いのは、両ドリルにおける1刃あたりの切込量の違いに起因していると考えられる。刃先交換式は内側と外側チップが異なる領域の切削を担っているのに対し、ソリッドは中心から外周までを切削領域とする切れ刃を2枚有している。そのため両ドリルを同じ送り量で用いた場合、刃先交換式の1刃あたりの切込量が、ソリッドの場合の2倍になり、これが θ_a の違いに反映されたと考える。一方、 v による θ_a の増加は $v=25\sim 100\text{m/min}$ において刃先交換式の場合で 100°C 程度であるのに対し、ソリッドの場合は 160°C 程度である。そのため、 v の増加に伴い両者の θ_a の差が減少している。また、それぞれの v において、MQLを用いた場合の温度低減量は刃先交換式が大きく、乾式の θ_a からの低減率(=乾式とMQL加工時の温度差を乾式の θ_a で除した値)はソリッドが5~12%であるのに対し刃先交換式の場合は14~20%であった。そのため、MQL加工時において両ドリルの θ_a が $v=100\text{m/min}$ においてほぼ同程度となり、刃先交換式は高速領域でMQLを用いることが工具刃先温度の観点から有効であることがわかる。

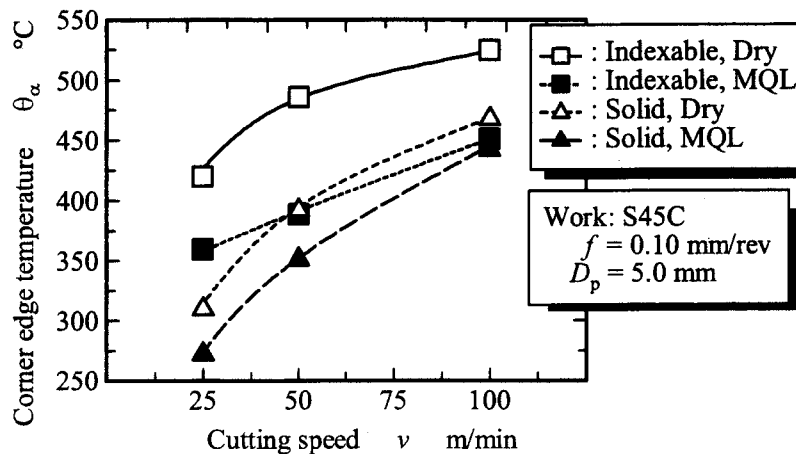


Fig.7 Relationship between cutting speed and temperature at corner edge

3.3 スラスト力

図8に切削速度 v とスラスト力 F_t の関係を示す。図より、いずれの v においてもソリッドの F_t が刃先交換式より大きく、ソリッドの場合、 $v=100\text{m/min}$ の乾式時には約1kNに達していることがわかる。ソリッドの F_t が大きいのは、加工穴中心から外周までを切削領域とする2枚の切れ刃を有しているために、刃先交換式より切れ刃-工作物間の接触面積が大きいことに起因していると考えられる。特にソリッドの先端角は刃先交換式よりも鋭角であり、切れ刃と工作物間の接触面積は、同直径のドリルにおいても、より大きく異なることになる。そのため、両者が同じ送り量で送られる場合、切れ刃の工作物への食い付きに要する F_t が異なり、ソリッドが比較的大きな F_t を要する。これに加えてソリッドの場合、刃先の摩耗により再研磨作業が必要となるため、刃先には強度向上のために0.1mm幅のチャンファ処理が 9° の負のすくい角で施されている。これに対し刃先交換式は、図2で示した通り、すくい角 0° で0.12mm幅の刃先処理がなされており、ソリッドよりも刃先が鋭利である。この違いも、工作物への工具食いつき時に要する F_t の違いに反映されたと考える。また、ソリッドの F_t が v の増加とともに増加しているのに対し、刃先交換式の場合は v の影響がみられない。 F_t は主に切れ刃逃げ面と工作物間に作用しており、刃先で生じる摩擦熱に大きな影響を有すると考えられる。そのため、この影響が、前節で示したソリッドの v の増加に伴う θ_a の増加傾向が刃先交換式より大きいことの一因と考えられる。このことから、刃先交換式はスラスト力の観点からも高速領域での加工が有効である。なお、オイルミスト供給による影響はソリッドの場合が大きく、その低減率は最大で約10%の低減が認められた。これに対し、刃先交換式の場合はいずれも4%程度とわずかであった。

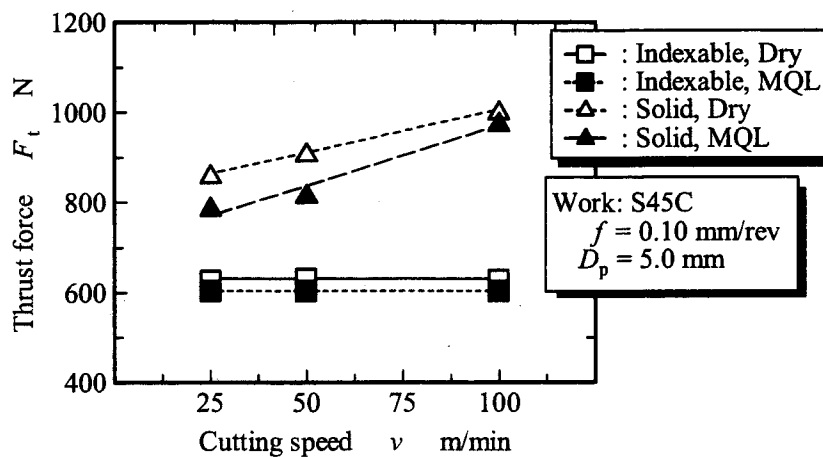


Fig.8 Relationship between cutting speed and thrust force

3.4 送り量による影響

図9に切削速度 $v=100\text{m/min}$ の乾式加工において、1回転あたりの送り量 f を0.05, 0.10mm/revと変化させた場合の外周刃コーナー部逃げ面温度 θ_a とスラスト力 F_t を両ドリルにおいて示す。また図中左に刃先交換式を用いた場合の $v=50\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$ における θ_a と F_t を併せて示す。図より $v=100\text{m/min}$ での送り量による影響に着目すると、 $f=0.10\text{mm/rev}$ の場合は刃先交換式が高い θ_a を示したのに対し、 $f=0.05\text{mm/rev}$ では 110°C 程度の大幅な工具温度の低下が認められる。これに対し、ソリッドは f が減少しても θ_a に大きな影響が認められず、 $f=0.05\text{mm/rev}$ において刃先交換式の θ_a が約 20°C 低い。これは、送り量を小さくすることで1刃あたりの切込量による影響が減少したことにより起因すると考えられる。 f を0.10mm/revから0.05mm/revに減少させた場合、ソリッドの1刃あたりの切込減少量は0.025mmであるのに対し、刃先交換式は0.050mmの減少であり、特に刃先交換式の送り量による影響が大きくなったと考えられる。なお、 F_t においては、両ドリルともに40~50%程度の減少が認められた。また、 $v=100\text{m/min}$ において刃先交換式の $f=0.05\text{mm/rev}$ とソリッドの $f=0.10\text{mm/rev}$ の場合は、1刃あたりの切込量が0.05mm/toothで同一となる。両者の θ_a を比較すると刃先交換式の場合が 55°C 程度低い。この θ_a の違いは刃先形状の違いによる影響を示しており、前述の通り、すくい面にチップブレイカを有することが刃先交換式の θ_a

が低い値を示した一因と考えられる。一方、刃先交換式において $v=50\text{m/min}$, $f=0.10\text{mm/rev}$ の場合と $v=100\text{m/min}$, $f=0.05\text{mm/rev}$ の場合に注目すると $v=100\text{m/min}$ の場合が θ_α , F_t ともに低く、それぞれ 70°C , 250N 以上の差が認められる。両条件は単位時間あたりの切削体積が同一であり、このことから刃先交換式は高速・低送りによる加工が適しているといえる。

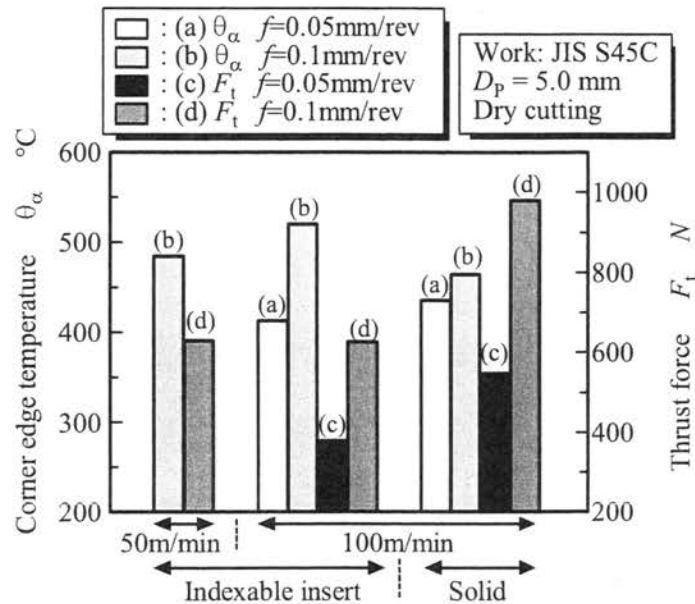


Fig.9 Influence of feed rate on temperature at corner edge and thrust force

3・5 穴内周面粗さ

図 10 に送り量 $f=0.10\text{mm/rev}$ における切削速度 v と表面粗さ R_a の関係を示す。表面粗さは加工穴内周面における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 点測定の前平均値を示している。図より、いずれの条件においても v の増加とともに R_a が減少していることがわかる。また、ソリッドはオイルミスト供給の有無に関わらず約 $R_a = 1.1\sim 0.4\mu\text{m}$ の比較的良好な粗さを示している。これに対し、刃先交換式は乾式で $R_a = 5.4\sim 3.6\mu\text{m}$ と高い値を示しているが、オイルミストを供給することで $v=100\text{m/min}$ において $R_a = 1.15\mu\text{m}$ まで改善し、低速領域におけるソリッドと同程度の表面性状となっている。このことから、刃先交換式は高速領域において MQL を適用することで表面粗さの向上を図ることが可能といえる。なお、ソリッドの $v=50, 100\text{m/min}$ においてオイルミストを供給した場合の表面粗さが、乾式加工の場合より最大で $0.28\mu\text{m}$ 程度高くなっている。これは、測定誤差に加えてオイルミストの供給で切削点近傍の温度や切りくず排出形態が変化したことなど、種々の要因が影響を及ぼしあった結果であると考えている。

図 11(a)~(e) に主な切削条件における加工穴内周面の断面形状を図 10 の R_a とともに示す。刃先交換式の場合、低速領域における乾式では不規則な凹凸が認められる。これは構成刃先に代表される凝着現象が生じていると考えられる。しかし MQL の適用ならびに高速領域になるにつれ、この凹凸が消失し、(c) において 1 刃あたりの切込量に相当する 0.10mm ごとに送りマークが確認できる。これは、オイルミストの供給ならびに高速化により凝着現象が抑制され、工具刃先 R 部と送りにより理論的に表される断面形状が露呈したためと考える。これに対しソリッドの場合は、乾式においても良好な表面性状を示し、なおかつ高速領域においては低速時より明らかに R_a が減少し、その断面形状に送りマークは認められない。ソリッドの R_a が刃先交換式より良好であるのは、前述したソリッドの 1 刃あたりの切込量が刃先交換式の 1/2 であり、工具送りにより生じる粗さが小さいことが一因と考えられる。また、本実験で用いたソリッドのバックテーパは 0.15° であり、刃先円周方向にはマージン部を有している。そのためソリッドは凝着現象が生じて、このマージン部におけるバニシング作用により、良好な表面が得られると考えられる。これに対し刃先交換式は図 1, 図 2 に示すとおり、外側チップが 2.5° の傾きでホルダ

に取り付けられている。また、そのチップはソリッドのマージン部に相当する部分がなく7°の傾きで逃げ面が設けられている。このことから、刃先交換式ではパニシング作用がソリッドほど得られず、凝着現象の影響が顕著に仕上げ面に出現したと考える。

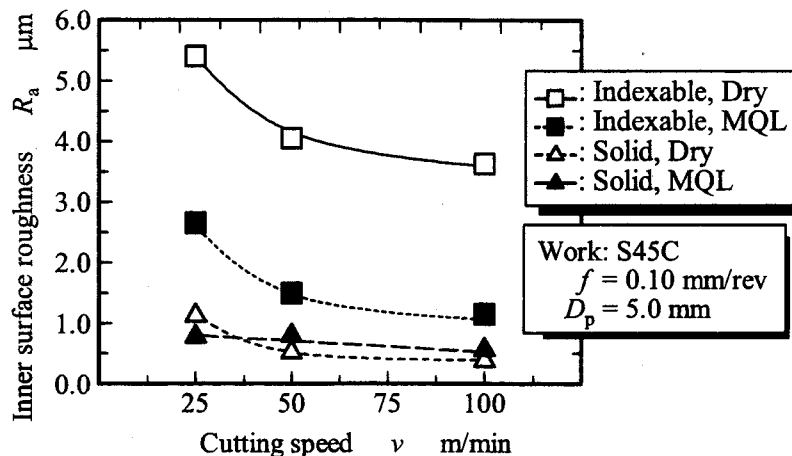


Fig.10 Relationship between cutting speed and inner surface roughness

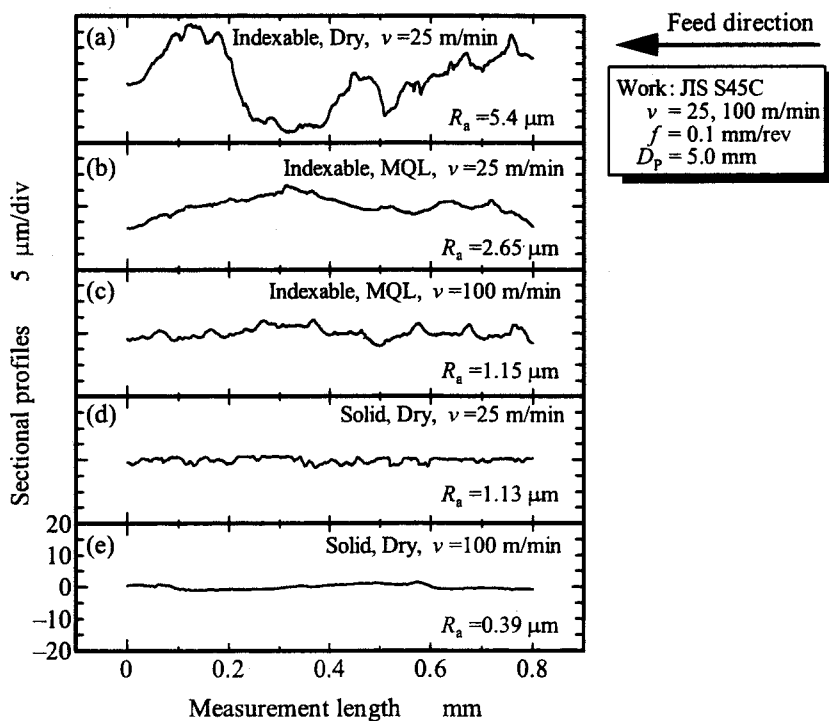


Fig.11 Variations of sectional profiles

3・6 工具摩耗形態

図 12 に刃先交換式によりオイルミスト供給下で板厚 $t = 20\text{mm}$ の工作物 (S50C) に貫通穴を 100 ヶあけた場合の、外側チップ刃先部の拡大写真を同部の未使用時とともに示す。(a), (b)は外周刃コーナー部逃げ面, (c), (d)は同部すくい面, (e)は切れ刃の半径方向中央部すくい面をそれぞれ同一の倍率で示している。(f)は(e)中にみられるチップブレード摩耗部を SEM により拡大撮影した反射電子像であり, (g)は(f)中で示した摩耗部をさらに拡大

した画像である。切削速度は $v=150\text{m/min}$ 、送り量は $f=0.10\text{mm/rev}$ とし、下穴は設けていない。(a), (b)より逃げ面にはコーティング膜の変色が認められるが、膜の剥離や工具形状の変化は認められないことがわかる。これに対し(c)-(e)に示すすくい面は、コーティング膜の剥離ならびにチップブレイカ部の摩耗が確認できる。ここでSEMによる反射電子像のコントラストは、撮影対象物の元素の原子番号に対し依存性を有しており、対象物表面の組成の違いが色の明暗として表される。(f)に示すチップブレイカ摩耗部から、逆三角形の摩耗部のみ淡色部が認められ、それ以外の部分は濃灰色であることがわかる。また(g)から、摩耗部には主に白色部、淡灰色部、濃灰色部の3段階のコントラストが確認できる。(f)中の摩耗部以外の部分が均一な濃灰色であることから、(g)中の白色部が工具母材である超硬合金、淡灰色部が工作物であるS50C、濃灰色部がコーティング膜材である(Ti, Al)N+TiNであるといえる。またこのことから、鉄に対して親和性の低いコーティング膜が摩耗し、工具母材が露出したことによって集中的に露出部に工作物が凝着したと考えられる。一方、ソリッドは切れ刃およびマージン部周辺に生じる逃げ面摩耗が問題となることが多く、摩耗特性の評価は逃げ面を対象としたものが一般的である⁽¹²⁾⁻⁽¹⁴⁾。これは、ソリッドを用いた穴あけ加工において、逃げ面摩耗状態をインプロセスで予測しようとする研究が多く報告されていることから裏付けられる^{(15),(16)}。これらのことから、刃先交換式は工具摩耗形態がソリッドと大きく異なり、すくい面チップブレイカ部の摩耗に留意する必要がある。なお、刃先交換式において逃げ面に目立った摩耗が認められないのは、刃先交換式の逃げ角ならびにバックテーパがソリッドより大きいため、逃げ面と工作物間の接触面積が小さいことに起因していると考えられる。なお、刃先交換式の場合、ソリッドのように摩耗後の研磨作業を考慮する必要がないため、切削機能が維持されており、なおかつ要求される仕上げ面粗さを満足する限り加工に供することが可能である優位点を有する。また、刃先交換式により同条件において乾式でも穴あけ加工を複数回行なったが、いずれも加工穴数6-18ヶの間でチップに大きな欠けが生じ切削不可能な状態となった。このことから、刃先交換式はMQLの適用により工具寿命に対しても顕著な影響がみられた。

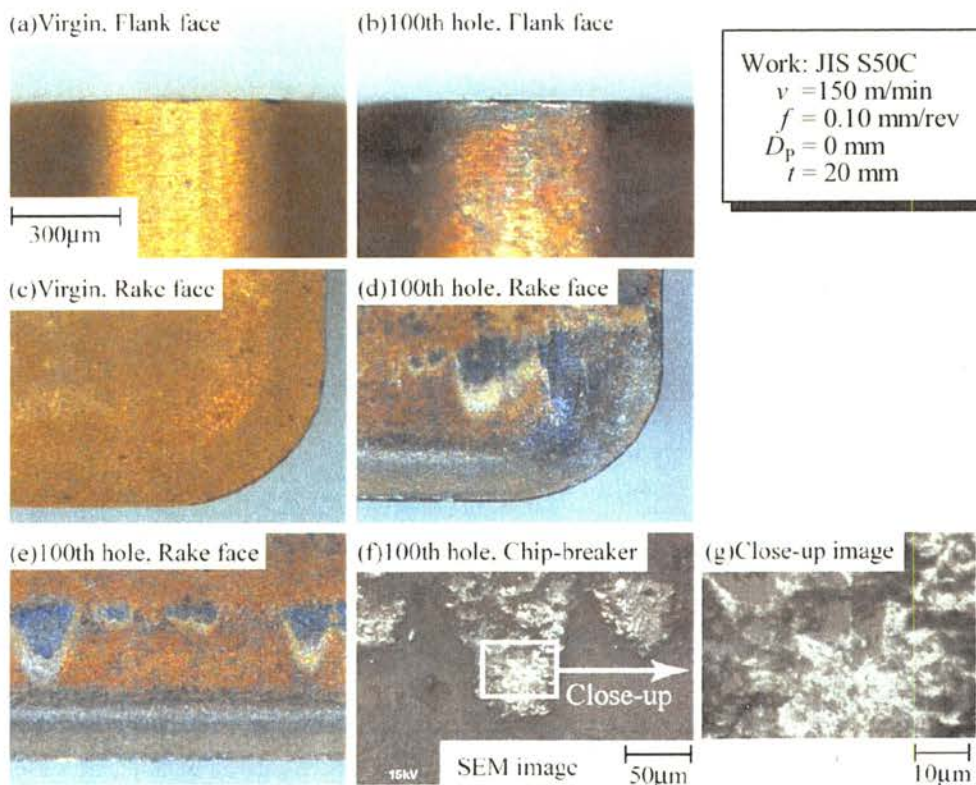


Fig.12 Flank and rake face of virgin and worn tip

4. 結 語

非軸対称形状を有した刃先交換式ドリルを用いた炭素鋼の穴あけ加工において、切削速度や送り量、オイルミスト供給が外周刃コーナー部逃げ面温度、スラスト力、仕上げ面粗さ、工具摩耗形態に及ぼす影響について、ねじれ形状を呈したソリッドドリルと比較して検討した。以下にその結果をまとめる。

- (1) 外周刃コーナー部逃げ面温度は、低速領域の乾式加工において刃先交換式がソリッドより高くなるが、その差はオイルミストの供給ならびに切削速度の高速化により、顕著に減少する。
- (2) スラスト力は、いずれの条件においても刃先交換式が低く、ソリッドに認められた切削速度の増加に伴うスラスト力の増加傾向も認められない。
- (3) 工具 1 回転あたりの送り量の外周刃コーナー部逃げ面温度への影響は刃先交換式が大きい。刃先交換式の場合、高速度・低送りの加工により工具温度ならびにスラスト力の増加を抑制できる。
- (4) 加工穴内周面の表面粗さはソリッドの場合が特に良好な特性を示すが、刃先交換式を用いても切削速度を高速とし、オイルミストを供給することで比較的良好的な粗さを得ることが可能となる。
- (5) 刃先交換式の工具摩耗は、主にソリッドにみられる逃げ面部でなく、特にすくい面チップブレイカ部に生じる。
- (6) 刃先交換式を用いる場合、加工穴内周面に求められる表面粗さに留意することで、従前のソリッドより優位性を有した加工が可能となる。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、切削工具の御提供を頂いた Seco Tools AB 社に深謝する。なお、本研究の一部は工作機械技術振興財団第 30 次試験研究助成により行われた。ここに深く感謝の意を表する。

文 献

- (1) V.C. Venkatesh, W. Xue, "A study of the Built-up Edge in Drilling with Indexable Coated Carbide Inserts", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 58, Issue 4, (1996), pp. 379-384.
- (2) V.C. Venkatesh, W. Xue, D.T. Quinto, "Surface Studies during Indexable Drilling with Coated Carbides of Different Geometry", *Annals of the CIRP*, Vol. 41, Issue 1, (1992), pp. 613-616.
- (3) 新井実, 大野鉄司, 小川誠, 佐藤素, "高圧内部給油による高硬度鋼のドリル加工", 精密工学会誌, Vol. 62, No. 9 (1996), pp. 1310-1314.
- (4) 横山正, 関谷克彦, 山田啓司, 山根八洲男, "ドリル加工における MQL の効果 (第 1 報) -加工穴の特徴-", 精密工学会誌, Vol. 73, No. 2 (2007), pp. 232-236.
- (5) Y. Murakami, T. Yamamoto, "Ecological Deep Hole Drilling by Novel Coated and Designed Drill", *Key Engineering Materials*, Vol. 329 (2007), pp. 657-662.
- (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) T. Ueda, M. Sato, A. Hosokawa, M. 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) Masato Okada, Akira Hosokawa, Ryutaro Tanaka, Takashi Ueda, "Cutting performance of PVD-coated carbide and CBN tools in hardmilling", *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 51, Issue 2 (2011), pp. 127-132.
- (9) T. Ueda, R. Nozaki, A. Hosokawa, "Temperature Measurement of Cutting Edge in Drilling -Effect of Oil Mist-", *Annals of the CIRP*, Vol. 56, Issue 1, (2007), pp. 93-96.
- (10) 岡田将人, 細川晃, 田中隆太郎, 上田隆司, "コーテッド工具のハードミリングにおける切削特性-コーテッド工具のコーティング膜材質と母材の影響-", 精密工学会誌, Vol. 75, No. 8 (2009), pp. 979-983.
- (11) 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), 262.

- (12) B.S. Yilbas, S.M. Nizam, "Wear behavior of TiN coated AISI H11 and AISI M7 twist drills prior to plasma nitriding", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 105, Issue 3 (2000), pp. 352-358.
 - (13) S.G. Harris, E.D. Doyle, A.C. Vlasveld, J. Audy, D. Quick, "A study of the wear mechanisms of Ti_{1-x}Al_xN and Ti_{1-x-y}Al_xCryN coated high-speed steel twist drills under dry machining conditions", *Wear*, Vol. 254, Issues 7-8 (2003), pp. 723-734.
 - (14) K. Tönshoff, A. Mohlfesd, T. Leyendecker, H.G. Fub, G. Erkens, R. Wenke, T. Cselle, M. Schwenck, "Wear mechanisms of (Ti_{1-x}, Al_x)N coatings in dry drilling", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 94-95 (1997), pp. 603-609.
 - (15) H.Y. Kim, J.H. Ahn, S.H. Kim, S. Takata, "Real-time drill wear estimation based on spindle motor power", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 124, Issue 3 (2002), pp. 267-273.
 - (16) H.S. Liu, B.Y. Lee, Y.S. Tarn, "In-Process prediction of corner wear in drilling operations", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 101, Issues 1-3 (2000), pp.152-158.
-