クロムモリブデン鋼の乾式穴あけ加工に関する研究*

中居久明** 澤 武一*** 安齋正博*** 佐々木正司† 工藤謙一**

A Study of Dry Drilling Method on Chromium Molybdenum Steel

Hisaaki NAKAI, Takekazu SAWA, Masahiro ANZAI, Shoji SASAKI and Ken-ichi KUDOH

Dry cutting technology without cutting oil is required in order to decrease environmental burden and to reduce processing cost. In this research, for the purpose of establishing dry drilling process with indexable insert drill, we investigated basic characteristics of dry drilling and experimented several methods to suppress tool wear. As the results, in drilling conditions where the initial feed rate change to low near the exit of the hole during the drilling processes, the highest temperature of the inserts goes down, and a minimum point of the highest temperature of the inserts was shown at the optimal change position of feed rate. In these minimum points, the rake face wear became minimum, and was influenced to the highest temperature of the inserts. It is thought that the change position of feed rate at the minimum points are determined by the drilling depth.

Key words: dry cutting, drilling, chromium molybdenum steel, tool wear, environment issues

1. 緒 言

切削加工において工具摩耗の抑制や品質の維持のため切削油が使用されている。しかし、使用後の切削油は高温燃焼処理または物理化学・生化学的処理などで処分され、前者はエネルギー消費と二酸化炭素の排出により地球温暖化の要因になり、後者は除去できないスラッジ類を焼却、埋め立て処分することになるため土壌汚染など地球環境の負荷要因となっている¹⁾。また、切削油に含まれる化学物質による人体への影響、飛散による作業環境の汚染、油汚れの清掃による生産効率の低下、循環ポンプの電気代や廃油処分費などのランニングコストの増大を招くデメリットがある。このような背景から切削油を使用しない乾式切削加工技術の確立が求められており、多くの研究が行われている^{2)~5)}。

一方、切削加工の中で多くの割合を占める穴あけ加工にはドリル加工とエンドミルによるトロコイド加工がある。前者は最も一般的な加工方法である。後者は加工時間が長くなるだけでなく、接触弧長さが長くなるので工具が摩耗しやすく乾式には適さない⁶⁾。本報ではドリル加工とした。ドリル加工の工具にはソリッドドリルと刃先交換式ドリルがある。ソリッドドリルは長い歴史を持ち、多くの研究がされてきたが、今もほぼ同じ形のまま広く使われている⁶⁾。刃先交換式ドリルは心もみが不要で加工工程を省略でき、切れ刃が摩耗した場合にはソリッドドリルのような再研削の代わりにヘッド交換やインサート交換を行うため、生産性向上とランニングコストの低減が期待できる。つまり、切れ刃が摩耗した場合、別のヘッドやインサートに容易に交換できるので、工具摩耗が激しい乾式切削において優位である。しかし、刃先交換式ドリルの乾式切削は内部給油式 MQL 加工法との比較⁷⁾としての報告はあるが、乾式切削において工具摩耗を抑制する加工法を検討した報告は無い。したがって、本研究では刃先交換式ドリルの乾式穴あけ加工の確立を目的とし、乾式穴あけの基礎的な加

工特性を調べるとともに、工具摩耗の抑制方法をいくつか検討したので報告する。

2. 実験方法

2.1 切削工具

実験には刃先交換式ドリル（サンドビック（株）製 880-D1700L20-03）を使用した。図 1(i) に使用した刃先交換式ドリルの概略図を示す。刃先交換式ドリルは先端に異なる形状のインサートが外側（外刃）と内側（内刃）に配置され、有効刃数が 1 枚刃の穴あけドリル工具である⁸⁾。図 1(ii) に外刃（サンドビック（株）製 880-03 03 05H-C-LM-H13A）、図 1(iii) に内刃（サンドビック（株）製 880-03 03 W06H-P-LM-H13A）の概略図を示す。外刃は切れ刃形状が直線状であり、内刃は切れ刃形状が階段状になっている。ドリルの先端角が 176° 程度であり、ソリッドドリルよりも大きな先端角を有していることになる。外刃と内刃は超硬工具母材に（Ti, Al）N のコーティングが PVD 法により施されている。ドリルの直径は 17mm のものを使用した。

2.2 加工方法

被削材は硬さ 279HV のクロムモリブデン鋼（SCM435）で、φ 32mm×18mm の円筒形状のものを使用した。クロムモリブデン鋼は、機械構造用合金鋼の一つで、自動車部品、ボルト、ナット類、歯車などに多用され、炭素鋼と並び汎用性が高い材料である。どちらも熱処理を行なって使用されるが、炭素鋼より焼入れ性が良く、大型部品に使われることが多い。熱処理前に切削油の洗浄が必要となるが、大型部品の洗浄は労力が大きいため、工程を省略できる乾式加工に利点があると考え、クロムモリブデン鋼を被削材として選択した。穴あけ加工には NC 旋盤（ヤマザキマザック（株）製 QT-8）とフライス盤（浜井産業（株）製 MAC-55P-3A）を使用し、前者は工具摩耗特性と工具温度を調べるための実験機として、後者は被削材温度を調べるための実験機として使用した。本ドリルのメーカー推奨加工条件は、センタースルークーラント供給で、切削速度は 155m/min、送り量は 0.09mm/rev. であるが、本研究では切削速度と送り量をそのまま適用し、乾式加工を基本条件として穴あけ加工を行った。湿式加工はエマルジョンタイプの水溶性切削油（トラスコ中山（株）製 MC-16E、10 倍希釈）を用い、圧力 1.0MPa で加工点にセンタースルー方式で供給した。

* 原稿受付 平成 28 年 9 月 25 日

掲載決定 平成 29 年 3 月 31 日

** 正 会 員 青森県産業技術センター八戸地域研究所（青森県八戸市北インター工業団地 1-4-43）

*** 正 会 員 芝浦工業大学（東京都港区芝浦 3-9-14）

† 青森県産業技術センター八戸地域研究所（青森県八戸市北インター工業団地 1-4-43）

Fig.1 Schematic illustrations of indexable insert drill

2.3 工具温度の測定方法

工具温度の上昇は工具の強度を低下させ、工具摩耗を促進させるため温度の評価は重要である。ドリルの切れ刃温度の測定法としては工具-被削材熱電対法⁹⁾や赤外線温度計¹⁰⁾を用いる方法があるが、外因に影響され難く、取り付けだけで容易に温度測定が出来るシース型 K 熱電対を使用した。本研究では、シース型 K 熱電対を直接切削点に取り付けることができないため、切削点近傍に取り付けることにした。切削点の実温度ではないが、切削点近傍の温度によって、本研究において基本条件とした、切削速度 155m/min, 送り量 0.09mm/rev. の乾式穴あけ加工に対する工具温度の変化傾向を調べることができる。これにより、各切削条件のパラメータと切削点温度の相関関係を把握できると考えた。NC 旋盤を用いた工具温度の測定において、シース型 K 熱電対はドリルのオイルホールを通し、図 1 (i) に示す位置にインサートで押し付けて固定した。また、取り付け位置には溝を設け、切れ刃の位置やシース型 K 熱電対の位置がずれないようにした。工具温度測定における穴あけ加工は、図 2 (i) に示すように NC 旋盤で 18 mm の貫通穴を加工した。切れ刃近傍の温度はデータロガーにより 0.1 秒間隔でデータ収集する方法で実施した。その時の 1 個の穴あけ加工が完了するまでの最も高かった温度を最高温度と定義する¹¹⁾。

また、被削材温度が乾式穴あけにおける工具摩耗に及ぼす影響を調べるため、図 2 (ii) に示すように、フライス盤を用いて被削材の温度を測定した。被削材の中心から 0mm, 4mm, 8mm の位置に $\phi 0.2\text{mm} \times$ 深さ 2mm の穴を設け、シース型 K 熱電対を挿入後、木製の栓を圧入して固定した。被削材の温度測定は、シース型 K 熱電対から 0.5mm の距離に当たる 15.5mm の止まり穴を加工し、データロガーにより 0.1 秒間隔でデータ収集した。

工具温度と被削材温度の測定はそれぞれ 3 回ずつ行い、ばらつきは $\pm 3^\circ\text{C}$ 以内で再現性が良好であった。

2.4 工具摩耗の評価方法

本実験と同じドリルを使用した予備実験では、湿式条件で 200 穴の穴あけ加工が可能であったのに対し、乾式条件では 83 穴で切れ刃の欠損が発生した。切れ刃の欠損が発生する確率を増大させる主因はすくい面のすくい面摩耗と考えられ、これは刃先交換式ドリルとソリッドドリルとの違いとも考えられるため、逃げ面だけでなく、すくい面の摩耗にも主眼を置くことにした。工具摩耗の評価方法として、顕微鏡で逃げ面摩耗幅を測定する方法が多く用いられているが、この方法ではすくい面のすくい面摩耗を評

(i) Measuring method of insert temperature (NC lathe)

(ii) Measuring method of workpiece temperature (Milling machine)

Fig.2 Measuring method of temperature

価することが出来ない。本報ではすくい面から逃げ面までの断面形状を倣い測定できるように、輪郭形状測定機（株式会社ミツトヨ製 CV-4500H4）を用いた。本測定機は測定形状を重ね合わせ、比較する機能を備えているほか、位置決め精度 $\pm 3\mu\text{m}$ の Y 軸テーブルと分解能 0.004° の θ 軸を備えており、自動位置決め機能を使用して形状測定を行うことができる。摩耗面積測定の繰り返し精度は $\pm 2.2\%$ 程度とばらつきが少なく、評価方法として十分使用できると判断した。工具摩耗評価における穴あけ加工は、図 2 (i) のように NC 旋盤で 18 mm の貫通穴を 43 秒間隔で 20 穴まで加工を行った。加工前と 20 穴加工後のインサートの断面形状を、図 3 (i) に示すように摩耗面積が最も大きい箇所を中心に $\pm 1\text{mm}$ の範囲で、輪郭形状測定機により 0.1mm 間隔で 21 箇所測定し、図 3 (ii) のように差分の面積を算出し、21 箇所の合計で工具摩耗の比較を行った¹²⁾。加工後の形状測定は溶着物を希塩酸で除去して実施した。

3. 実験結果と考察

3.1 乾式加工による工具摩耗

図 4 に穴あけ加工後の工具切れ刃の外観を示す。乾式加工の内刃はすくい面の中央でコーティングが剥がされて摩耗しており、逃げ面側から見るとその箇所には溶着物が堆積していた。湿式加工の内刃はすくい面にコーティングの剥離が見られず、逃げ面側から見ると溶着がわずかに見られる程度であった。乾式加工の外刃は刃先に焼けを伴った擦過痕が見られるが、溶着物は見られなかった。湿式加工の外刃はすくい面に擦過痕が見られ、逃げ面から見ると溶着物が堆積していた。

図 5 に乾式加工と湿式加工の工具摩耗面積（すくい面摩耗と逃げ面摩耗の合計）を示す。内刃の摩耗は乾式加工の方が湿式加工の約 7 倍に及び、激しく摩耗していることがわかった。一方、外

21 cross section at 0.1mm intervals in a center of mounting hole

(i) Measuring cross section of insert

(ii) Image view of wear area at cross section of insert (A-A cross section on large scale)

Fig.3 Measuring method of tool wear by contour measuring machine

(i) Inner insert

(ii) Outer insert

2.0mm

Fig.4 Photographs of wear on rake face and flank face

刃の摩耗は湿式加工より乾式加工の方がわずかに少なかった。外刃は内刃に比べると摩耗は少なく、初期段階の摩耗と思われるため、外刃の摩耗は湿式加工と乾式加工とで差があるとは言い難い。したがって、これ以降の工具摩耗の判定は内刃に注目して行なうことにした。図6に内刃の工具摩耗をすくい面と逃げ面で整理したグラフを示す。工具摩耗寿命判断基準の参考として湿式で200穴加工したときの摩耗面積を図中に示したが、乾式加工のすくい面摩耗と逃げ面摩耗は湿式加工の約2倍に達していた。また、乾式加工はすくい面摩耗が大きく、逃げ面摩耗の約4倍であった。一方、湿式加工はすくい面摩耗と逃げ面摩耗はほぼ同等であった。

Fig.5 Total wear of insert at dry and wet drilling (Total wear = Rake wear + Flank wear)

Fig.6 Wear of rake face and flank face at inner insert

図7にインサートの切れ刃近傍で測定した工具温度の変化を示す。工具温度は湿式加工より乾式加工の方が約180℃高温で、また乾式加工と湿式加工とも内刃より外刃の方が高かった。これは、ドリル中心と外周の切削速度の差によるものと推察される。図8にフライス盤を用いて乾式加工により深さ15.5mmの止まり穴を加工したときの、穴中心から半径方向における被削材の最高温度を示す。中心が最も高く、外周側にいくほど温度は低くなっていた。これは、被削材の加工中心は加工開始から終了まで常に内刃と接触しているが、被削材の外側は外刃が1周する間に温度が下がるからであると推測される。津枝らの研究により被削材の温度は穴中心に近くなるほど高く、ドリル刃先温度は逆に中心に近くなるほど低いことが報告¹³⁾されており同様の結果が得られた。穴中心の被削材の温度が高いことから、材料の軟化により内刃に溶着が付着しやすい状態であったと考えられる。表1に乾式加工と湿式加工による内刃と外刃の切りくず厚さと切りくず形状を示す。切りくず厚さはカールした切りくずを精密バースで挟んで、平らに伸ばした状態でマイクロスコブにより測定した。切りくずは湿式加工より乾式加工の方が厚く、外刃より内刃の方が厚かった。また、今回の実験条件では、切りくず形状は内刃が長く伸びた形状で、外刃は短く分断された形状であった。伸びが大き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が厚くなり切削抵抗が増加する¹⁴⁾。乾式加工では湿式加工より被削材の温度が高く、伸びが大きい状態になるため、切削抵抗が大きくなり、切りくずが厚くなったものと考えられる。また、ドリル中心では切削速度の差によるせん断角の違いにより、内刃の切削抵抗が大きくなり、切りくずが厚くなったものと考えられる。また、

Fig.7 Change in temperature of insert

Fig.8 Temperature distribution in workpiece

内刃の切りくずは長く延びた形状をしていることから、乾式加工では冷却作用がないため、切りくずは高温状態を保持したまま連続的にすくい面を擦過することになり、アブレッシブ作用の影響が大きく、すくい面の摩耗が大きくなったのではないかと推察される。一方、外刃の切りくずは細かく分断されていることから、断続的にすくい面を擦過することになり、内刃よりアブレッシブ作用の影響は小さいものと推察される。また、ソリッドドリルと刃先交換式ドリルでは切れ刃温度の分布や切削抵抗が異なる可能性が高いと思われる。ソリッドドリルにおいてシンニングの有無が工具中心部分の温度や切削抵抗に大きな影響を与えるように、刃先交換式ドリルにおいて切れ刃形状やチップブレイカなどインサートの仕様が工具中心部分の温度や切削抵抗に大きな影響があると考えられる。この点に関しては、今後詳細に検討したい。

3.2 工具温度上昇の抑制

工具摩耗は衝撃による摩耗、アブレッシブ摩耗、温度支配摩耗が主な原因であると考えられている¹⁵⁾。図6に示すように、乾式条件での穴あけ加工は冷却効果無しに工具を被削材の中で高速回転しながら削るため、工具が高温の熱に晒される。乾式条件では温度支配摩耗の影響が大きいため、温度を低く抑制して加工する方法が有効であると考えられる。冷風を供給するドリル加工により、無供給の室温でのドリル加工に比べ工具寿命を約10倍に延ばしたとの報告¹⁶⁾があることから冷却の有効性がうかがえる。ここで、工具温度の上昇を抑制する方法として、図9に示すように、断続的に加工を行う(b)高速深穴あけサイクル(G73)と(c)深穴あけ

Table 1 Thickness and Shape of Chip

		Inner	Outer
Dry	Thickness	0.288mm	0.260mm
	Shape		
Wet	Thickness	0.276mm	0.248mm
	Shape

Fig.9 Schematic drawing of drilling process

サイクル(G83)が工具摩耗に及ぼす影響を調べた。(b)高速深穴あけサイクル(G73)は9mm加工後、早送りで0.5mm戻し、残りの穴加工を行い貫通させた。(c)深穴あけサイクル(G83)は9mm加工後、切削送りで入口まで戻し、同じく切削送りで残りの加工を行い貫通させた。これらの穴あけサイクルを実験した目的は、1度の加工深さを短くして、工具の最高温度を低く抑えることと、再び穴あけ加工を開始するまでの間に工具と材料の温度を下げることに、切れ刃の強度低下が抑えられ、工具摩耗を少なくできると考えたからである。比較データとして、一回で穴を貫通させる(a)ドリルサイクル(G81)を示した。

図10に工具のすくい面摩耗、図11に工具温度の測定結果を示す。どちらの穴あけサイクルも1回で穴あけ加工する方法よりすくい面摩耗を抑えることが出来たが、(b)高速深穴あけサイクル(G73)よりも(c)深穴あけサイクル(G83)の方がすくい面摩耗は小さかった。これは図11に示すように(c)深穴あけサイクル(G83)の方が工具の最高温度が低くなったことからすくい面摩耗を抑えることが出来たと考える。上記のことから、1度の加工深さを短くして、工具の最高温度を低く抑えることと、再び穴あけ加工を開始するまでの間に工具と材料の温度を下げることによってすくい面摩耗を抑えられると考える。ここで、今回実施した(c)深穴あけサイクル(G83)では工具を入口まで戻して、また加工位置へ送るまで時間がかかるので、被削材を反転させて反対側も加工する部品を想定して、被削材を送り量 0.09mm/rev.

Fig.10 Change in rake wear of inner by drilling method

Fig.11 Change in temperature of insert at drilling

で一方から9mm穴あけ加工した後、向きを変えて反対方向から貫通させる加工法（(d)反転加工という）のすくい面摩耗を調べた。その結果、図10(d)のとおり(c)深穴あけサイクル（G83）とほぼ同等の摩耗面積であった。図12(i)に示すように反転加工の加工品を切断したものの、加工面を図12(ii)に、プロファイルを図12(iii)に示す。加工面にはオーバーラップによる加工痕が見られ、両側から加工された穴は若干ずれており、円筒度としては0.032mmであった。通常の加工と比べると品質が落ちるが、すくい面摩耗を抑えることが出来、工具が外側に突き出ないことからバリが発生しないという利点が考えられる。

3.3 貫通時の送り方法

佐藤らの報告¹⁰⁾によると、ドリルが出口端の近くなると、ドリルと被削材端面との間の狭い領域に発生熱が集中する影響で工具温度が上昇し、切れ刃の強度が低下するとともに、被削材が軟化して切りくずが凝着しやすくなるため、工具摩耗が大きいと述べている。つまり、図7の(*)の範囲で温度上昇があり、工具摩耗を増大させる原因になると考えられる。なお、図7で温度上昇が明確に出なかったのは、熱電対の取り付け位置が切れ刃から離れていたことが原因と思われる。ここで、ボール盤を使って手で穴あけするとき、貫通する手前で力を弱めてゆっくりと穴を貫通させる方法が推奨されるが、貫通時の大きな負荷や衝撃を抑制する方法として有効であると考えた。したがって、出口手前で送り量を小さくすること（(e)二段送りという）で、工具摩耗を少なくできるか調べることにした。試験的に切削速度155m/min、送り量0.09mm/rev.で加工を行い、出口から1mm手前

で送り量を0.05mm/rev.に小さくして穴を貫通させたときの温度変化を調べた結果を図13に示す。(e)二段送りは途中まで温度の上昇は(a)G81と同じであったが、送りを小さくしたところから上昇勾配が小さくなり、最高温度は(a)G81より低くなることを確認できた。すなわち工具摩耗を少なくできる加工方法として可能性があると考えた。なお、図13(a)G81と図7 Dry(outer)および図11(a)G81は同じ加工条件であるが、実験の実施時期が異なり、室温つまり初期温度が違うため最高温度に差が現れたものと思われる。したがって、本章の実験は室温を20°Cに統一して実施した。次に実験条件を決めるため送り量による温度上昇を調べた。図14に送り量による工具の温度変化を示す。送り量が多い

Fig.12 Appearance and cutting property of workpiece in invert drilling

Fig.13 Effect of drilling method to temperature of insert at two step feed drilling

Fig.14 Change in temperature of insert at various feed rate

ほど工具温度の上昇勾配が大きく、送り量が小さいほど温度の上昇勾配は小さくなるが、加工時間が長くなるため最高温度が高くなる傾向があった。加工時間が長くなるのは生産効率を低下させるため、メーカーが推奨する加工条件で計算した加工時間の2倍以内とし、送り量を0.05mm/rev.に設定した。次に、送り量を小さくする位置によりどのような影響があるかを調べた。加工深さをL/Dがほぼ1倍の18mmとし、穴の貫通位置から送り変更位置の距離を0mm, 1mm, 2mm, 3mm, 4mm, 5mmとし、切削速度を155m/min, 送り変更位置で送り量を0.09mm/rev.から0.05mm/rev.に小さくして穴あけ加工を行った。加工深さ18mmにおける貫通面から送り変更位置までの距離と工具摩耗の関係および工具の最高温度の関係を図15に示す。横軸の0mmとは送り量0.09mm/rev.一定で、18mmとは送り量0.05mm/rev.一定で穴あけしたことである。工具温度は送り変更位置が貫通面から離れていくに従い最高温度は低くなって、3mmで極小点となり、送り変更位置が貫通面から離れていくに従い最高温度は高くなった。

次に、すくい面の摩耗は送り変更位置が0mmで摩耗面積は0.0293mm²で貫通面から1mm, 2mm, 3mmと離れるとともに摩耗面積は小さくなり、3mmで摩耗面積は最小の0.0052mm²を示した。さらに4mmでは0.0119mm², 18mmでは0.0255mm²と摩耗面積は大きくなった。これは工具の最高温度の変化とほぼ同様の傾向を示している。逃げ面摩耗は規則性が無く送り変更位置5mmで最小の0.0069mm², 4mmで最大の0.0093mm²であった。逃げ面の摩耗は温度との相関は見られなかった。ここで、送り変更位置が3mmのとき極小点を示すことについて考察するため、加工深さと工具の最高温度の関係を調べた。加工深さを9mm, 18mm, 27mm, 36mmとし、穴の貫通位置から送り変更位置の距離を0mm, 1mm, 2mm, 3mm, 4mm, 5mmとし、同様に切削速度を155m/min, 送り変更位置で送り量を0.09mm/rev.から0.05mm/rev.に小さくした。図16に加工深さと送り変更位置が及ぼす工具の最高温度への影響を示す。加工深さ9mmは送り変更位置が貫通面から離れていくと共に最高温度は高くなっていった。一方、加工深さ18mmと27mmは送り変更位置が3mmのとき、加工深さが36mmは送り変更位置4mmのとき極小点を示した。図17(i)に送り変更したときの温度変化の説明図を示す。加工開始後、温度が上昇し、送りを小さく変更しなければt₀で穴が貫通し、温度はT₀を示す。t_{ch}で送りを小さく変更した場合、切りくずが薄くなるので、せん断熱が小さくなり、温度勾配が緩やかになる。送りを変更してから加工出口までの時間が短ければ

t₁で加工が終わり、温度はT₀より低いT₁を示す。t₂で加工が終わると温度はT₀と同じT₂を示し、送り変更してから加工出口までの時間が長ければt₃まで熱が蓄積され、温度はT₀より高いT₃を示す。T₀と同じT₂を示すときの時間をt₂とすると、t₀からt₂の中間で極小点が現れることになる。図17(ii)に示すように温度勾配が大きい場合は、t₀からt₂の時間の間隔が狭くなる。すなわち、温度勾配によりt₀からt₂の中間にある極小点の位置が決まるものと考えられる。図18に加工深さごとの工具の温度変化と加工出口付近における温度勾配を示す。温度勾配は温度上昇カーブの最高点における接線とした。温度勾配は加工深さが小さいほど大きく、加工深さが大きいほど小さくなっていく。つまり、最高温度の極小点が現れるときの送り変更位置は、温度勾配すなわち加工深さに影響されていると考える。図16において加工深さ9mmの極小点がはっきり現れなかったのは、加工深さは温度勾

Fig.16 Effect of drilling depth and feed change point to maximum temperature of tool

Fig.17 Temperature change in two step feed

Fig.15 Effect of feed change point to wear and temperature of insert

Fig.18 Effect of drilling depth to temperature gradient

配が大きく、極小点が現れる時間の間隔が狭かったためと思われる。また、送り変更位置の間隔を細かく調べれば、加工深さ 18mm と 27mm で極小点の現れ方に違いが出てくるのではないかとと思われる。本実験条件下においては、送り量 0.05mm としたが、インサートの仕様などによって適正な送り量が異なると考えられるが、この点に関しては、今後詳細に検討したいと考えている。

4. 結 言

刃先交換式ドリルによるクロムモリブデン鋼 (SCM435) の乾式穴あけ加工について、工具摩耗特性を調べ、摩耗を抑制する加工法を試みた。その結果、乾式条件下において出口手前で送り量を小さくする加工方法により、工具の最高温度を低下させることができ、適正な送り変更位置で工具の最高温度は極小点を示すことがわかった。その極小点の位置で工具のすくい面摩耗が最小となり、工具の最高温度がすくい面摩耗に影響を与えていることが

わかった。また、極小点を示す送り変更位置は加工深さにより決定されることが考えられる。

参 考 文 献

- 1) 近藤康雄：水溶性加工液のリサイクルと更油廃液ゼロ化，機械技術，**63**, 1 (2015)。
- 2) 中居久明, 吉田光弘：切削加工における環境負荷低減および生産性向上研究, 平成 23 年度版地方独立行政法人青森県産業技術センター工業部門業務報告書 (2011)。
- 3) 横田知宏, 横内正洋, 澤武一：アルミニウム合金に対する DLC コーテッド工具のドライ切削性能, 精密工学会誌, **81**, 6 (2015)。
- 4) 若林利明：極微量潤滑による環境にやさしい切削加工, 機械技術, **63**, 1 (2015)。
- 5) 権田英修：幅広い切削環境に対応した最新工具技術, 機械技術, **63**, 1 (2015)。
- 6) 中山一雄, 小川誠：切りくず形状から見たねじれ刃ドリルの切削性能, 精密機械, **43**, 4 (1977)。
- 7) 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), **77**, 783 (2011)。
- 8) 小谷貞美, 和田修二：穴あけの能率を改善し加工コストを半減するスーパー U ドリル“コロドリル 880”切削性能, ツールエンジニア, **46**, 7 (2005)。
- 9) 渡部和信, 横山和宏, 一宮亮一：ドリル加工における被削材およびドリルの温度分布と加工穴精度への熱影響, 精密機械, **41**, 11 (1975)。
- 10) 佐藤昌彦, 田中久隆, 竹田諭司：光ファイバ連結放射温度計によるドリル加工時の穴加工面温度測定, 日本機械学会論文集 (C 編) **77**, 782 (2011)。
- 11) 中居久明, 吉田光弘：ドライ切削加工の実用化研究-ドライ穴あけにおける工具摩耗に及ぼす加工深さの影響-, 精密工学会秋季大会学術講演会論文集, 467-468 (2013)。
- 12) 中居久明, 吉田光弘, 澤武一：クロムモリブデン鋼のドライ穴あけ加工に関する研究, 2015 年度精密工学会春季大会学術講演会論文集, 245-246 (2015)。
- 13) 津枝正介, 長谷川嘉雄, 仁科豊, 平井利明：ドリル刃先温度の研究 (第 2 報), 日本機械学会論文集 (第 3 部), **28**, 193 (1962)。
- 14) 岡田将人, 上田隆司, 細川晃, 田中隆太郎：非軸対称形状の刃先交換式ドリルを用いた難削材加工, 日本機械学会論文集 (C 編), **78**, 785 (2012)。
- 15) 松岡甫堂, 安齋正博：高速ミリングの基礎と実践, 日刊工業新聞社, (2006) 65。
- 16) 奥村成史, 横川和彦, 清水茂夫, 横川宗彦：環境負荷低減のための切削油剤を用いない冷風ドリル加工に関する研究, 精密工学会誌, **66**, 5, (2000)。