ニック付きドリルによる穴精度の向上*

小 川 誠** 中 山 一 雄***

Improvement of Hole Accuracy by the Nicks on the Cutting Edges of Twist Drill

Makoto OGAWA and Kazuo NAKAYAMA

Nicks engraved on the cutting edges of twist drill divide chips into narrower ones and, as the result, bring about the reduced drilling forces and prolonged drill life. This report points out further contribution of nicks in improving the hole accuracy: Properly designed nicks suppress the tottering of drill at the initial stage of drilling, and improve the roundness and cylindricity of the hole produced. For the design of appropriate nicks, the effects of the geometry and position of nicks on drill performance are shown experimentally.

Key words: drilling, twist drill, nick, drill tottering, roundness, surface finish, burr

1. 序

ドリルによる穴あけ加工は、機械加工の中で量的に大きな比重を占めるだけでなく、トラブルの原因になりやすいという点でも検討を要する加工法である。ドリルとしては、ねじれ刃ドリルが最も広く簡便に使われているが、これには切りくずの排出と振れ回りに問題があり、それらとの関連の深いドリル寿命や穴精度の面で改善が望まれることが多い。

著者らは先に、ねじれ刃ドリルで延性材料に穴をあける際、切りくずは穴の深さが増すと、穴周壁の強い拘束を受けて流出が妨げられる結果、その外側部分の厚さが増し、ついには周期的に折断し、切削抵抗やトルクの増大とその激しい変動が起こる場合が多いことを明らかにした¹⁾。したがって、ドリルの穴あけ性能の向上の鍵の一つは、切りくずの流出の容易化にあることがわかったので、前報²⁾ではその手段の一つとして、切れ刃の逃げ面側にニックを付け、切りくずを縦に分割し、幅の狭い長ビッチ形にすることがきわめて有効であることを報告した。

一方、ねじれ刃ドリルはチゼルエッジの切削性能が低く、求心性が悪いために、ドリル本体の剛性が低いことや二つの切れ刃の十分な対称性が得難いことなど

もてつだって、穴あけ初期に振れ回りを起こしやすく、高精度の穴はあけにくい。この振れ回りについては、発生機構に関する多くの研究³⁾が発表されており、また具体的な発生防止策としては、従来の円すい研磨法に代わる新しい先端研磨法がいくつか提案されている⁴⁾。しかし、これらの研磨法には専用の研磨装置を必要とすることなどのために、あまり普及しておらず、円すい研磨したドリルにシンニングを施してチゼルの幅を狭くしたドリルが広く使用されている。

ねじれ刃ドリルによる穴加工では、マージンが穴内面に接触してドリルの進行を案内するが、穴あけ初期のマージンが接触する前における振れ回りに対しては、マージンは全く無効であることは言うまでもない。また、マージン幅は摩擦の増大を防ぐために、あまり広くすることはできず、ドリルは直径上の2点で穴の内面に接触することになるので、穴あけ初期の振れ回りの延長として、等径わずみ円を生ずる傾向が強くなり、穴の真円度は悪くなる。これを防ぐには穴あけ初期の、マージンが接触する前の段階での振れ回りを小さくすることが必要である。

本報告は、上記のニックがねじれ刃ドリルの穴あけ初期の振れ回りの抑制にも有効に作用し、前報で示した切りくずの流出を容易にする効果と相まって、穴の精度向上にも役立つことを示すものである。ニックが振れ回りを抑制する理由は、ニックの溝面が案内面となってドリルの振れを防ぐためであることが明らかとなったので、適切なニックの位置や形状に対する条件も明らかにすることができた。

* 原稿受付 平成元年8月23日。昭和60年度精機学会春季大会学術講演会(昭和60年3月27日)および昭和61年度精密工学会春季大会学術講演会(昭和61年3月30日)にて発表

** 正 会 員 芝浦工業大学(大宮市深澤溜井原307)

*** 正 会 員 横浜国立大学工学部(横浜市保土ヶ谷区常盤台156)

Fig. 1 Set up for the measurement of drill point tottering

2. ドリルの振れ回り

2.1 振れ回りとチゼルエッジの方向との関係

穴加工の初期には、切れ味の悪いチゼルエッジが振れ回りの原因になることは容易に理解できるが、その振れ回りの挙動が切れ刃の方向とどのような関係をもつかを調べるために、下記の実験を行った。

φ6.0 mm, 全長 100 mm のニックを付けてない標準ねじれ刃ドリルの先端より上方約 20 mm の所に図 1 に示すようなアルミニウム円板 (直径 20 mm, 厚さ 3 mm) を圧入し、その外周を振れが 0.01 mm 以下になるよう旋削仕上げした後、外周面に白色塗料を均一に吹き付けておく。このドリルで穴加工する時の円板の x, y 両方向の偏位を 2 個の光学式変位センサ (キーエンス PT-A 160) で測定し記録する。この変位センサは投光に正対する方向の変位を分解能 $3 \mu\text{m}$ で検出するが、これと直角方向の変位に対してはきわめて鈍感 (例えば、 y 方向にだけ 0.3 mm の変位を与えると、 x 方向は約 $5 \mu\text{m}$ 変位するにすぎない) である。

このドリルで穴あけを開始した後、自製の急停止装置を用いて切削を急停止する。その停止時の切れ刃の位置と方向を基準にして、変位センサの記録とドリルの回転運動 (ねじれは少ないから無視する) を合成すると、ドリル中心の運動軌跡を示すリサージュ図形が得られ、急停止位置からさかのぼった各瞬間のドリルの中心位置とチゼルエッジの方向との関連も求めることができる。

2.2 振れ回り運動の特性

上記のドリルで耐食アルミニウム合金 A 5056-F 展伸材に送り速度 0.10 mm/rev , 回転数 37 rpm で穴あけを開始して 8~9 回転目、すなわち切れ刃が約半分

Fig. 2 Tottering of chisel edge during a half rotation of drill

だけ加工物に進入した時期における半回転の間のドリルの中心位置とチゼルエッジの方向を、ドリルの回転角 15° ごとについて求めた結果が図 2 である。

この図で明らかなことは、ドリル加工の初期における振れ回り、すなわちドリルの回転運動に付加される並進運動は、チゼルエッジの方向に非常に近いということである。この事実は以下のように容易に理解できる。すなわち、チゼルは鈍いくさび形をしているから、ドリル加工の初期に加工物に押し付けられた時、チゼルの中心を中心として回転しながら食い込むより、チゼルの方向に動く方が抵抗が少ないから、その動きが上記振れ回りの並進運動になる。ただし、この運動はドリルやその支持系の曲げを伴うことになるから、これらの剛性やガタの大きさがその運動に影響を与えるはずである。

ここで注目すべきことは、チゼル方向の並進運動を伴うこのようなドリルの振れ回り運動の、切れ刃の切削方向に与える変化である。図 3 に示すように、ドリルの回転運動 V_r と並進運動 V_t を合成した切れ刃の運動 V の方向は、外周寄りでは切れ刃と直角に近いが、中心近くの回転半径の小さいところでは V_r が小さくなるから、切れ刃の方向に近くなる。

このことから、ドリルの振れ回りは、切れ刃に下記のようなニックを付けることによって防止できるものと期待される。すなわち、図 3 の下側に示すように、切れ刃に付けるニックの形を、ドリルの中心を中心とする円弧状の溝にするとこの溝の側面がドリルの正しい回転運動に対する案内面になり、上記の並進運動の発生を押さえるはずである。しかも、この溝の位置はドリルの中心に近いほど有効なはずである。

3. 円弧状ニックによる穴精度の向上

3.1 実験方法

上記の円弧状ニックがドリルの振れ回りを抑制し、穴精度を向上することを確かめるため、ニックの有無による穴精度の差を調べる下記の実験を行った。

ドリルは市販の直径 6 mm の標準品 (SKH 9, 全

Fig. 3 Variation of cutting speed vector V by the addition of tottering V_t to V_r , and a nick with circular groove

Fig. 4 Engraving of nick with circular groove on twist drill using a small diamond wheel

長100 mm, 溝長70 mm, ねじれ角 28° , 先端は円すい研削で先端角 118° を用いた。円弧状ニックは既報⁵⁾の自製の装置を用いて, 図4に示すような小径の軸付きダイヤモンド電着砥石(#120, コーナ角 60° , コーナ丸味半径約0.3 mm)で付けた。その位置と寸法は, 初期の実験では同図に示すごとくで, 二つのニックを切れ刃の中央の両側に振り分けるように付けた。このニックを付けたときのリード角, したがってニックの逃げ角は約 4° である。

ドリルは突出し長さが80 mmになるようにチャックにつかんだが, その空転時の振れを $150 \mu\text{m}$ というやや大きめの値にそろえるようにつかみ方で調整した。

被削材にはAl-Mg合金(A 5056-F)の引抜き棒材($\phi 20$)を用い, 長さ20 mmに切断し, 端面を研磨仕上げしたものを用い, その中心に深さ6 mmの盲穴をあけた。この材料は軟質でドリルの挙動が穴の形状に反映されやすいことと, 耐食合金として広く使われているが, 穴内面の粗さや出口バリなどに問題が多いこと等の理由から選んだ。

切削油剤としてはエマルジョン系水溶性油剤W1種2号(希釈率10倍, ユシロ化学工業: HDE-50)を十分注しながら穴あけした。

工作機械としては直立ボール盤(吉田鉄工: YUD-

Fig. 5 Improvement of hole roundness by the nicks on twist drill

Fig. 6 Suppression of drill tottering by the nicks on twist drill
Cutting conditions are same as in Fig. 5

700, 自製バックラッシュ除去装置付き)を用い, 加工物は自製のドリル加工用3分力工具動力計(ストレンゲージ使用)を介してテーブルに取り付けた。

あけた穴の軸方向の断面形状は, ボール盤上で, 主軸スリーブに固定した電気マイクロメータヘッドを穴の内面に当て, 下方に送って求めた。また, 穴の横方向の断面形状は加工物を精密な回転テーブル(振れ $0.3 \mu\text{m}$ 以下)に穴の中心が回転中心と一致するように取り付けて低速(3 rpm)で回転し, 穴内面にあてた電気マイクロメータヘッドの出力をテーブルの回転と連動する極座標記録計(理研電子製: PL-2 P)で記録した。この記録から最小二乗中心法により, 真円度を求めて図の下に記した。

3.2 穴の真円度の向上

図5はニックの有無による穴の真円度の差を示す実測例である。測定は穴の入口から2 mm内側で行った。ニック付きドリルであけた穴の方が真円度がかなり良いことがわかる。また, 図6はこれらの穴あけ初期のドリルの中心の運動軌跡を示すリサージュ図形で

Fig. 7 Poor contribution of the nicks with spherical pit
Cutting conditions are same as in Fig. 5

Fig. 8 Improvement of hole roundness by the nicks on twist drill
Cutting conditions are same as in Fig. 5

ある。左側は穴あけ開始後9~10回転目で、ニック付きではニックの部分が削り始めた時期の1回転であり、右側は16~17回転目で、ドリルの外周コーナが削り始めた時期の1回転である。これを見るとニック付きドリルの方が振れ回りは小さく、これが真円度の向上をもたらしたものと考えられる。

このようなニックの効果は、円弧状の溝の側面がドリルの振れ回りを抑制する、という当初の予想と一致するものであるが、さらにこれを確かめるために、図7(a)のような円弧状の溝をもたないニックの効果を調べた。このニックは球面の軸付き砥石で付けたもので、切れ刃の輪郭は図4のものとはほぼ同じであるが、その後方を図に示すような球面くぼみにして、ドリルが振れ回りを起こしてもニックの側面が加工物に接触しないようにした。その結果は同図(b)~(d)に示すように、真円度は悪く、振れ回りも大きくニックの効果は認められない。すなわち、ニックは円弧状の溝とすることが必要である。

図8は図5の実験を送りを変えて行った時の真円度の変化で、送り量が増すと真円度が向上するが、いず

Fig. 9 Longitudinal and traverse sections of holes made by twist drills with and without nicks

れの場合にもニック付きドリルの方が真円度のすぐれた穴をあけられる。

3.3 穴内面のうねりと粗さ

図5と同様の直径6mmのドリルについて、やや深い穴に対するニックの効果を知るために、厚さ50mmのA 5056-F材に送り量0.21mm/revで貫通穴をあけて、その精度を比較した。

図9(a), (b)それぞれの上側の図は3.1項に記した方法でボール盤のスリーブの送り運動を基準にして測った穴の軸方向の断面形状である。180°隔った相対する二つの断面の記録を適当な間隔をとって並べてある。両記録の中心点を結んで求めた中心線は一点鎖線で示してある。また、各断面記録の下側のグラフは、9か所の断面における真円度の測定値を示す。この図を見ると、標準ドリルであけた穴は

- (1) 出口に比べて入口が太くなっている。
- (2) 深さ30mm付近から曲がっている。
- (3) 深さ30mm付近に深くくぼみがあり、またこの付近の真円度は悪い。

これに対して、ニック付きドリルであけた穴にはこのようなことは認められず、精度はきわめて良い。

図10はこの穴加工中の切削抵抗の3分力および各深さで発生した切りくずの写真と厚さ(最大値)を示す。ニックがない場合には切りくずが円滑に流出しないために、穴深さが10mmを越えるあたりから、(a)切りくずが厚くなり、(b)トルクの変動が著しく

Fig. 10 Forces and chips in the drilling with the drills with and without nicks
Cutting conditions are same as in Fig. 9

なる、という問題がニックを付けることによって完全に解消することは前報²⁾のとおりであるが、本報の実験で次の2点も明らかである。

- (1) 円弧状ニック付きドリルを用いると、穴深さの増大に伴う半径力とその変動の増加も認められない。
- (2) このようなニックの効果は溝側面の拘束によるものと考えられるので、ここでの摩擦力によるトルクやスラストの増大が懸念されるが、ニックのない標準ドリルに比べて、これらが大きいという事実は全く認められない。

したがって、本実験で試みたような円弧状ニックであれば、ドリルが著しい歩行運動をしようとする時にごく短時間その側面が接触するだけで、常時摩擦して抵抗を増すようなことはないことがわかった。

4. ニックの位置と形状

4.1 ニックの位置の影響

ドリルの振れ回りの抑制には、ニックをドリルの中心に近い位置に付けた方が有効であることは、図3の速度ベクトルから明らかである。しかし、その場合にはニックより外側の切れ刃が作る切りくずの幅が広く

Fig. 11 Difference of hole roundness due to the position of nicks
Cutting conditions are same as in Fig. 5

Fig. 12 Variation of hole surface finish with the position of nicks
Cutting conditions are same as in Fig. 9

なるので、切りくずを分割することのメリットが減ってしまう恐れがある。

これら二つが実際にどの程度影響を与えるかを調べる下記の実験を行った。先の実験に用いたドリルのニックは切れ刃のほぼ中央、すなわち図4で $r_1 \approx r_2 = 1.6$ mm（以下ではD(MED)と記す）としたのに対して、これよりドリル中心寄りの $r_1 \approx r_2 = 1.15$ mmとしたドリルD(IN)と、外周寄りの $r_1 \approx r_2 = 2.1$ mmとしたドリルD(OUT)とを用い、図5と同様の条件であけた穴の断面形状の記録を図11に示す。これで明らかなように、ニックを中心寄りに付けると穴の真円度はきわめて良好になる。一方、外周寄りに付けると切れ刃中央に付けた場合（図5右側）よりもやや悪くなる。

図12は以上の3本のニック付きドリルとニックを

Fig. 13 Variation of exit burr height with the position of nicks
Cutting conditions are same as in Fig. 9

付けない標準ドリルを用いて図10と同様に送り量 0.21 mm/rev で穴あけしたときの、切りくず（ニック付きドリルの場合には発生する4本の切りくずのうち外側の切れ刃で作られ、且つ幅の広い方、したがって土手状突起の付いた方の切りくず）と穴内面の写真、および穴内面の軸方向の粗さ曲線を示す。これで明らかのように、ニックを付けると穴内面の粗さが顕著に改善され、ニックは外周寄りに付けた方が有効である。この粗さは前報²⁾のように切りくずによる引っかかり傷が主原因であるから、ニックを外周寄りに付けるほど穴内壁に接する外側切りくずの幅が減り、剛性が低下して、傷を付けにくくなるものと理解される。

また、図13はこれらのドリルであけた穴の出口バリの高さを比較した結果で、種々の板厚に対する実験結果である。ニックは外周寄りに付けた方がバリも小さくなるのがわかる。

以上のニックの位置を変えた実験から、振れ回りの防止のためには中心寄りに付けた方が良いが、粗さとバリの点からは外周寄りに付けた方が良い、という相反する結果が得られた。この両方の要求を満足させるために、片方は外周寄り、他は中心寄りに付けるということは、中心寄りのニックの外側で幅の広い切りくずを生じてしまうから、粗さの改善には役立たない。したがって、一つの切れ刃の内外2か所にニックを付けるのが良策ということになるが、小径のドリルでは実現がやや困難である。

4.2 ニックの断面形状

ニックが切りくずを分割するためには、その深さが切取り厚さ、すなわち送り量の約43%（先端角118°の場合）より深いことだけが必要条件である（実際はその80%あればよい²⁾）。

ニックの幅は、切りくずの分割と直接関係はないが、切りくずに残る土手状突起が切りくずの剛性を高めるのを防ぐためには、なるべく狭くしたい。また、切れ刃とニックが交わるコーナの角は大きい方がこの部分に損耗を起こしにくい。

現実には、本報の実験のように、砥石のコーナでニックを付ける場合には、ニックの断面形状はそのコーナの輪郭でほぼ決まってしまう、制御は難しいし、その必要性も低い。図4に示したように、ニックの幅は深さの約2.5倍となり、ニックと切れ刃のなす角は約135°であったが、この程度の鈍角であれば、本実験中にはコーナの損耗は全く認められなかった。

5. 結 論

ねじれ刃ドリルの切れ刃にニックを付けると、切削抵抗が減り、ドリル寿命が長くなる²⁾だけでなく、あけた穴の精度も良くなる。ニックと穴精度の関係を調べた結果、以下のことがわかった。

- (1) 穴あけ初期のドリルの振れ回りは、ドリルの回転にチゼルエッジ方向の並進運動が加わるためである。
- (2) 切れ刃の逃げ面側にドリルと同心の円弧状の溝を構成するようなニックを付けると、これがドリルの正しい回転を保つ案内面になり、振れ回りを押さえ、その結果、穴の真円度と円筒度が向上する。これに切りくずの分割効果による粗さや出口バリの減少も加わり、穴精度は全面的に向上する。
- (3) ニックを付ける位置は、振れ回りを防止するためにはドリルの中心に近い方が、切りくず分割効果の点では、逆に外周に近い方が良い。

文 献

- 1) 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) 427.
- 2) 小川 誠, 中山一雄: ニックによるドリル性能の向上, 精密機械, 50, 10 (1984) 1659.
- 3) 例えば, 津枝正介, 長谷川嘉雄, 木村 照: ドリルの歩行現象について, 日本機械学会論文集 (第3部), 27, 178 (1962) 816.
藤井 洋, 丸井悦男, 江馬 論: ドリルのふれまわり振動 (第1報, 発生機構とチゼル・エッジの役割), 日本機械学会論文集 (C編), 50, 453 (1986) 898.
- 4) 例えば, S. J. Lee, K. F. Eman & S. M. Wu: An Analysis of the Drill Wandering Motion, Trans. ASME, 109, 11, (1987) 297.
H. Ernst & W. A. Haggerty: The Spiral Point Drill - A New Concept in Drill Point Geometry, Trans. ASME, 80, 7, (1958) 1059.
- 5) M. Ogawa & K. Nakayama: Effects of Chip Splitting Nicks in Drilling, Ann. CIRP, 34, 1, (1985) 102.