アルミニウム板の穴あけの際のドリル歩行現象に関する研究*

財満 鎮雄**・結城 明泰***・清水 輝雄**

A study on walking phenomenon of drill in drilling aluminum sheet*

(UDC 669.71 : 621.9.01)

ZAIMA Shigeo**, YUKI Akiyasu*** and SHIMIZU Teruo**

In drilling an aluminum plate by using conventional drills, a strain figure of polygonal shape (having odd number vertexes) was formed in countersinking at the early stage of drilling. The strain figure swiveled with the rotation of the drill in the progress of countersinking and this is called “walking phenomenon of drill.”

At the drilling stage, when the drill margin was in contact with the material face, the vertexes of the strain figure gave a rotating scar to some depth of the hole wall, and this is called “rifling phenomenon”, which caused lowering of drilling accuracy.

In this paper, drilling tests were made by using conventional drills on the plates of 9 sorts of aluminum alloys, or 1S, 2S, 3S, etc. The walking phenomenon, or swivelling motion of the polygonal figure, was discussed relating to the progress of drilling starting from the countersinking at the early stage and a relation was obtained between the walking phenomenon and drilling conditions or materials.

As the results, the swivelling speed of the polygonal figure depended upon the dimensions of drill and conditions of drilling. The speed was higher with larger angle of chisel edge or higher rotating speed of the drill. In general, it was high for hard materials and became lower for soft materials if the chips were not fully removed. It would be possible to determine the drilling machinability for any materials by the swivelling speed of strain figure.

(Received June 17, 1968)

1. 緒 言

汎用ドリルでアルミニウム板の穴あけをする際に、穴あけ加工の前段階における皿穴形成において奇数角のひずみ円ができる。このひずみ円はドリルの進行につれて**Photo. 1**のように、奇数角形の頂点がドリルの回転方向に旋回しながら拡大され、穴あけが進んでいく¹⁻⁴⁾。その時、ドリルはいわゆる歩行現象を呈している。そしてマージンが被削材に接触した後も、この奇数角形の頂点

は回転しながら穴あけが進行し、一定深さまで穴壁に旋回のあとが認められ**Photo. 2**のように穴面の仕上精度を悪くする。これはライフリングと称されているが、リーマ加工を行なつても下穴残りなどを生ずる原因となる。本報ではアルミニウム板に汎用ドリルを用いた場合、ドリルの歩行現象、すなわちひずみ円旋回運動が皿穴から穴あけの進行とともにどのような変化をたどるかを検討し、ドリル条件が歩行現象におよぼす影響、被削材材質と歩行現象の関係などを検討するを目的とした。

Photo. 1 Progression of countersinking.

* 本報は軽金属学会第34回春期大会（43年5月）にて発表

** 静岡大学工学部（浜松市）Faculty of Engineering, Shizuoka University. (Hamamatsu)

*** 大分大学教育学部 Faculty of Education, Oita University

2. 供試々料

実験に供したアルミニウム板はTable 1 に示す化学成分の 1S, 2S, 3S, 14S, 17S, 52S, 56S, 61S および G4 など 9 種類の板厚約 5 mm のものである。ただし, 56S では皿穴から穴のつきぬけるまでのひずみ円旋回速度を求めるため, とくに 15 mm 厚板を用いた。これらの試料板の 2~3 の機械的性質を示せば Table 2 のように, 1S, 2S などの軟質板, 17S, G4 などの硬質板およびそれらの中間に属するものなど広い範囲の試料群であることがわかる。

Photo. 2 View of rifling.

Table 1 Chemical compositions of specimens

Materials	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)	Cr (%)	Al (%)
1 S-H								99.5
2 S-F	0.18	0.57	0.06	0.01		0.01		Bal.
3 S-H	0.17	0.54	0.08	1.25	0.02			Bal.
14 S-O	0.72	0.20	4.74	0.84	0.30			Bal.
17 S-H	0.8	1.0	2.5	0.50	0.30	0.25	0.1	Bal.
52 S-F	0.17	0.27	0.05	0.01	2.47		0.22	Bal.
56 S-F	0.30	0.40	0.10	0.10	5.0		0.1	Bal.
61 S-H	0.64	0.32	0.04	0.02	1.07		0.23	Bal.
G 4-H	0.14	0.23	0.07	1.17	2.08			Bal.

Table 2 Mechanical properties of specimens

	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Vickers Hardness	Shearing Strength (kg/mm ²)
1 S-H	11.5	5.5	38.0	10.0
2 S-F	10.5	40.0	30.0	5.8
3 S-H	14.9	14.1	59.0	9.0
14 S-O	21.1	18.8	62.9	12.2
17 S-H	37.0	15.0	108.0	22.0
52 S-F	19.0	18.0	68.0	17.0
56 S-F	24.0	18.0	81.5	14.0
61 S-H	16.7	5.0	56.5	9.6
G 4-H	39.9	6.0	125.0	18.5

3. 実験要項

3.1 使用ドリルと穴あけ条件

歩行に最も影響があるものはドリルののみ刃角であるといわれている。いま, ドリル先端角をアルミニウムに対する実用域 $P=110\sim 150^\circ$, 逃げ角も $\alpha_t=12\sim 17^\circ$ にとればのみ刃角 α は Table 3 のようになる。これらは主として三角穴ができる角度であり²⁾, このときのみ刃の偏心はいずれも 0 とし, リツプハイト差はなるべく小さいものを選んだ。

穴あけ方式としては押付力一定穴あけ⁵⁾と送り速度一定穴あけ⁶⁾とによったが, 前者の方式では並木製 NTD-340 型タツパー兼用卓上ボール盤 (主軸回転数 2520 rpm, 300 W) の送り装置に円盤を取付け, 20kg の定荷重が押付力として作用するようにした装置により, 後者では精巧社製卓上ボール盤 (2520 rpm, 300 W) に自動送り装置 (0.09~0.21 mm/rev) を取付けて実施した。穴あけ条件は前者では回転数 $n=168$ rpm (したがって, 切削速度は $v=5.3$ m/min), 後者では回転数 $n=630$ rpm ($v=19.8$ m/min) の場合に送りを $f=0.04$ および 0.07 mm/rev, $n=1100$ rpm ($v=34.5$ m/min) の場合に $f=0.04$ mm/rev とした。

Table 3 Drill dimensions used.

SKH 9 10mm ϕ Helix angle: 29°

Point Angle (deg)	Chisel Edge Angle (deg)	Lip Clearance (deg)	Length of Chisel Edge (mm)	Edge Shift (mm)	Relative Lip Height (mm)
110	123	12	1.40	0	0.01
118	134		1.60	0	0
130	140		1.69	0	0.03
140	147		1.76	0	0.03
150	156		2.05	0	0
110	131	14	1.50	0	0.03
118	138		1.67	0	0.03
130	143		1.94	0	0.02
140	151		1.89	0	0.03
150	161		2.54	0	0
110	135	17	1.88	0	0
118	144		1.98	0	0.02
130	150		2.12	0	0
140	160		2.53	0	0
150	167		3.23	0	0.03

3.2 ひずみ円回転速度の測定

ドリルの歩行現象においても、ライフリングにおいてもドリルはのみ刃のやや片よった点を中心として回転運動をしているもので、この間ドリルは振動し、底辺にできる三角形の頂点の位置によって振動波ができる。この波の位相のずれとタイムマークより回転速度を求める方法を採用した。すなわち、Fig. 1 に示すように、使用ドリルにあらかじめリングをはめておき、このリングに接触するように2枚の薄鋼板を角度 θ （ここでは $\theta=30^\circ$ とした）に固定し、ストレングージで振動を測定し、

Fig. 1 Measuring apparatus for drill revolving.

Fig. 2 のようにチャート紙に記録する。この薄鋼板はドリルの下降に追従できるようにしてある。Fig. 2 の上下2波形はピックアップ薄鋼板の 30° に対する時間（この場合0.5秒）の遅れがあり、これからひずみ円回転速度は $\omega = 0.523 \text{ rad}/0.5 \text{ sec} = 1.04 \text{ rad/sec}$ で与えられる。また、その際の皿穴の直径 d は Fig. 2 のように図の下にあるタイムマークの位置から、ドリル先端から0.65 mmの部分の径を投影機より求める。ライフリングの回転速度は穴あけされた試料部分を切断し、座標測定顕微鏡または投影機でライフリングの傾きを測定し、一定送りとすれば回転数より時間がわかるので、ひずみ円の回転速度が求められる。（ただし、五角形穴以上のひずみ円で

Fig. 2 Example of picked up fluctuation of drill revolving.

Fig. 3 Change of revolving speed in countersinking in the case of 3S-H and 56S-F.

は本測定方法によつては正確な測定ができない)

4. 皿穴形成の際のひずみ円回転速度

皿穴が形成されてから穴あけ行程に移行するまでのひずみ円の回転速度 ω の変化を示せば、たとえば3S-Hおよび56S-F板についてドリル逃げ角 $\alpha_e=12, 14$ および 17° の場合、皿穴径 d の変化に対して Fig. 3 のようになる。すなわち、ひずみ円回転速度 ω は逃げ角 α_e にかか

Fig. 4 Correlation between diameter of countersink and revolving speed in the case of 56 S-F.

わらず皿穴の直径 d が増加し、皿穴が拡大するにともなつて減少していき、双曲線に近似できる変化をたどつて一定値に達し、この値でライフリングをはじめ。そしてのみ刃角 α が大きくなるにしたがつて回転速度 ω も大きくなっている。実験範囲の各試料についてもほぼ同じような傾向の関係がえられる。このような変化特性を明らかにするため、たとえば56S-F材、ドリル逃げ角 $\alpha_e=17^\circ$ の場合に両対数線図に図示すれば Fig. 4 のようになり、ドリルのみ刃角によつてひずみ円回転速度 ω は皿穴の直径 d と直線関係にあり、被削材、逃げ角一定ならばのみ刃角によつてこれらの直線はほぼ平行とみられるようになる。したがつて、この関係は

$$\omega = p d^{-q} \quad \dots\dots(1)$$

として表わすことができる。ここで p, q は材料、穴あけ条件などにより変化する定数であるが、 p はのみ刃角

Fig. 5 Correlation between diameter of countersink and revolving speed in countersinking.

Fig. 6 Changes of revolving speed in rifling, drilling resistance and diameter of hole on front face in the case of 1S-H, 17S-H and G4-H.

により変化し、のみ刃角が大きくなると p は大きくなる傾向がある。実験範囲の各被削材について p, q の値を求めればFig. 5のようになる。指数 q の値は1.0~4.0の範囲の値をとるが、平均して $q \approx 2.0$ で、のみ刃角が近い値をとるときにはほぼ同じ値をとる。2S-Fでは p, q ともに大きい値をとり、14S-Oではともに小さい値をとる。

5. ライフリングの際のひずみ円旋回速度

ドリル逃げ角 $\alpha_e = 14^\circ$ でののみ刃角 α のことなる5本のドリルを用いて、のみ刃角の変化によるライフリングの際のひずみ円旋回速度 ω_R を求めればたとえFig. 6のようになる。なお、図には穴あけにおける抵抗(スラスト T_h およびトルク T_q)および穴あけ完了後の穴口の拡大を穴入口の直径 D_1 で求めて併記した。

供試々料のうち14S-O材は図中1S-Hと同じ傾向をとり、旋回速度 ω_R はのみ刃角 α によつて大きい変化は示さないが、穴は拡大されている。これらは穴あけ抵抗はのみ刃角によつてわずかに減少傾向を示すようであるが、あまり大きい変化であるとはいえない程度である。また、52S-Fは図の17S-Hと類似しており、のみ刃角

Fig. 7 Relation between revolving speed in riffling, drilling resistance, diameter of hole on front face and chisel edge angle in the case of lip clearance 14° , revolution of drill 630 rpm and feed of drill 0.04 mm/rev.

が $\alpha = 161^\circ$ と大きくなると旋回速度 ω_R は比較的大きくなるが、穴入口径 D_1 はその割合には大きくなっていない。そして、穴あけ抵抗はのみ刃角にかかわらずほぼ一定の値を示したままである。G4-Hでは低速で送りが小さいときには旋回速度 ω_R は増加しないが、高速で送りが大きくなると ω_R は増加傾向を示している。この場合の穴あけ抵抗はスラスト T_h はのみ刃角 α によって変化は明らかではないが、トルク T_q はわずかながら減少傾向を示している。Fig. 7は以上の関係をたとえばドリル回転数 $n = 630$ rpm, 送り $f = 0.04$ mm/rev, ドリル逃げ角 $\alpha_e = 14^\circ$ の場合についてまとめたものである。穴口径 D_1 から穴の精度をみれば、一般的にのみ刃角 α

Fig. 8 Relation between revolving speed in riffling, drilling resistance, diameter of hole on front face and lip clearance in the case of 52 S-F.

Fig. 9 Revolving of chisel edge

が大きくなると低下するが、とくに軟質材では穴の拡大は大きくなるようである。

つぎに、のみ刃角 $\alpha = 133^\circ$ 一定として、逃げ角 α_e によるひずみ円の旋回速度 ω_R の変化を求めてみれば、たとえば 52 S-F について **Fig. 8** のようになる。逃げ角 $\alpha_e = 12^\circ$ のときにわずかに減少しているが、 $\alpha_e = 12 \sim 17^\circ$ の範囲ではその変化は少ないものとみられる。この場合、穴の拡大も逃げ角によつてほとんど変化なく、穴あけ抵抗もほぼ変化ないが、スラスト T_h は逃げ角 α_e が大きくなるとやや減少するようである。

6. ひずみ円の旋回に関する考察

皿穴あけの際のひずみ円の旋回およびライフリングのときのドリルの運動を示せばそれぞれ **Fig. 9 (a)** および (b) のようになる。すなわち、図はドリル先端の運動をシヤンク側からみて、のみ刃と 1 つの切刃がひずみ円の頂点の位置で回転にともなつて位相のずれることを示すものである。ドリルの歩行中は、回転軸はのみ刃の中心から同じ距離だけ偏つた 2 点を交互にとるが、図ではのみ刃の外端にとつた場合を示してある。(a) の皿穴あけでは皿穴の外接円は拡大していくが、(b) のライフリングでは穴の外接円はほぼ同じ大きさを保ちながら旋回している。図においてそれぞれ 1, 2, 3 …… はのみ刃の位置の変化を示し、1', 2', 3' …… はそれに対応する 1 つの切刃の位置を示している。角 Θ はひずみ円の頂点が 1 回転に進む角でひずみ円の旋回速度 ω , ω_R は Θ に比例する。このように回転軸がドリルの中心 0 になく、また回転中に一定しないのは、ドリルの左右 2 つの切刃で切削力がことなるためで両切刃の抵抗モーメントが同じであるとすれば回転軸に近い方の切刃では切削面積が大きく切削速度は小さくなり、他の切刃ではこの逆となる。この際、回転軸がかたよるほど、また切削面積の差が大きいくほど、 Θ および ω , ω_R は大きくなる。

実験結果から旋回速度 ω , ω_R が大きくなる場合は (1) ののみ刃角が大きく、のみ刃が長いときなどのように回転軸の移動可能距離が大きいくとき、(2) 皿穴あけ初期のようにのみ刃の長さに比べて切刃の切削に関与する部分が短かいとき、(3) 送りが大きく切削量の差が大きいくとき、などのことがわかり、これらはいずれも前述の考えから説明がつくようである。

被削材の影響についてみれば、たとえば **Fig. 5** で軟質材 2S-F でははじめ切くずの粘着がないため旋回速度は大きいくが、くい込むにつれて切くずが溝に粘着し、左右切刃の切削力の差は小さくなり、旋回速度 ω は小さくなる。これに対し、硬質材 3S-H などでは旋回速度 ω は皿穴の末期に大きくなる傾向をとる。したがつて、(1) 式における指数 q が大きいく材料は q の小さい材料に比べ

て穴あけ被削性が劣るとみることができ、この点で旋回速度 ω を比較することによりアルミニウム材料の穴あけ被削性判定の 1 手段として利用できる可能性があるとみられる。

3 角穴以外の場合については、本実験では測定できなかったが、5 角穴、7 角穴 …… となる条件では回転軸の移動距離が小さくなり、それにしたがつて旋回速度 ω は小さくなるものと思われる。

7. 結 言

以上、アルミニウム板に汎用ドリルを用いた場合のドリルの歩行現象を検討し、ドリル条件が歩行現象におよぼす影響、被削材と歩行現象の関係などを求めた。その結果、

(1) 穴あけの際のひずみ円の旋回はドリルの形状、切削条件により異なるが、のみ刃角が大きいくほどひずみ円の旋回速度は大きいく、また回転数、送りが大きいくほど旋回速度は大きいく。

(2) 皿穴形成時には皿穴の径 d とひずみ円旋回速度 ω との間には

$$\omega = pd^{-q}$$

の関係があり、指数 q はアルミニウムでは一般に約 2 の値をとり、定数 p はのみ刃角、被削材によつて異なる値をとる。

(3) 被削材の影響としては硬質材では旋回速度が大きくなり、軟質材で切くずの排除が悪い場合には皿穴あけ初期にはひずみ円旋回速度は大きいくが、切くずが粘着すれば旋回速度は小さくなる。この場合、ライフリングのときにも旋回速度は小さくなる。したがつて、旋回速度を比較することで、穴あけ被削性を判定する基準として採用できる可能性があると思われる。

本報の実施に当たり、アルミニウム板の入手には日本軽金属(株)技術サービス課長加藤三郎氏、同課員松原晃三氏に負うところ大きいく。付記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 財満, 結城, 堀内: 軽金属, **15**, 71(1965)209.
- 2) 財満, 結城, 堀内: 軽金属, **15**, 73(1965)287.
- 3) 財満, 結城: 軽金属, **16**, 75 (1966) 15.
- 4) 財満, 結城: 軽金属, **16**, 76 (1966) 74.
- 5) 財満, 飯尾, 鈴木: 軽金属, **14**, 68 (1964) 406.
- 6) 財満, 加茂, 鈴木: 軽金属, **14**, 67 (1964) 291.