アルミニウム (2S) 板の穴あけについて*

財満 鎮雄** 結城 明泰*** 飯尾 政次****

Considerations on the drilling of aluminum (2S) plate*

UDC 669.71 : 621.9.011

ZAIMA Shigeo**, YUKI Akiyasu*** and IIO Masaji****

Aluminum (such as 2S) plate is very inferior to aluminum alloy plates in drilling machinability. That is, when it is drilled by using conventional drills, the dimension of the hole obtained was not good in accuracy and many problems are brought out in its drilling.

This paper reports drilling machinability of 2S plate by using a twist drill of conventional types with respect to the magnitude of oversize of the hole, heap at the hole inlet, burr at the hole outlet, drilling resistance, shape of chips, etc.; and the experiments were made for the purpose of determining proper drilling conditions for 2S. In addition, a fishtail point drill, having a specially ground shape of tip, was also examined for drilling, because it is told to be effective for drilling 2S.

Drilling tests were conducted under constant feeding speed and constant pressed force by using a commercial twist drill of 10 mm ϕ . The results obtained were as follows:

- (1) In drilling by using a non-thinned drill of ordinary type, the magnitude of oversize of the hole inversely increased with the decrease of the heap or burr.
- (2) There were no remarkable effects of thinning on magnitude of oversize, heap and burr.
- (3) In drilling by using a fishtail point drill, the magnitude of oversize of the hole often increased at the hole outlet, but the drilling conditions were much better, although drilling resistance was higher than ordinary drills.

Accordingly, the above results would be explained by ship of the drill, constrained motion of drill edge, precessional motion of the drill, shape of drill margin, etc.

(Received Sep. 9, 1967)

1. 緒 言

さきに、アルミニウム合金展伸材の穴あけ被削性について検討したが、¹⁾²⁾ 2S などアルミニウム板の被削性は 17S, 52S などアルミニウム合金板に比べて著しく劣ることがわかった。実際面では 1S, 2S などのアルミニウム板の穴あけは多く実施されているものの、普通の形状のドリルによる穴あけでは真円度が悪く、板の表面および裏面での盛上り、かえりが大きいなどと穴口元の精度も不良となり問題が少なくないようである。従来からアルミニウムの穴あけに推奨されているドリル先端角諸元もその適用範囲が大きく³⁾、選択も容易ではない。

よって、本報ではアルミニウム (2S) 板を対象として汎用ドリルで穴あけを実施する際、ドリル形状が穴の拡

大量、盛上り、かえり、穴あけ抵抗および切くず形状などにおよぼす影響について検討し、適正な穴あけ条件を見出すを目的とした。実験条件の設定については、アルミニウム穴あけについての従来からの推奨ドリル諸元を参考にして求めたほか、アルミニウムの穴あけにはドリル先端に特殊形状を与えたいいわゆる“ロソク錐”が有効であるとして巷間に伝えられるので、ローソク錐についても一応の検討を試みた。

2. 供試々料

実験に供した試料は **Table 1** の化学成分を有する 2S-F 板で、その機械的性質は **Table 2** に示すように 2S としては普通程度のものである。板の厚さは穴の拡大量に影響をするので、本実験では穴加工用の板としてはかな

* 本報は本会第32回春期大会 (42-5-24) にて講演したものの一部である。

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

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

**** 静岡大学工学部 Faculty of Engineering, Sizuoka University

り大きい板厚 11mm の板を用い、これを 30 mm × 130 mm の短ざく形に切断し、切断による板の曲がりの影響を除くために仕上加工をほどこした。

3. 実験要項

実験に採用した穴あけ加工方式としては、送り速度一定方式の穴あけと押付力一定の穴あけの両方式により、それぞれの場合についての使用機械は前者では精巧社製卓上ボール盤、後者では並木機械製タッパ兼用ボール盤で、これらの状況を **Photo. 1** に示す。

ドリルは市販の高速度鋼 (SKH9) 製 10 mmφ ねじれ角 27° のものからかたよりの少ないものを選んだ。先端諸角については、先端角を 110°~150° の範囲で変化し、リップクリアランスは従来の推奨値を参考にして 12°~17° の間で変化した。これらのドリルについて **Table 3** に示すように S 型と N 型のシンニングを施し、シンニングをしない場合と比較した。また、薄板穴あけに一部で使用されている前述の特殊形状のいわゆる“ローソク錐”の効果を求めるため、のみ部の先端角とリップクリアランスを一定とし、他の角度、寸法などを変えた 5 本のドリルを選んでその性能を比較した。ドリル研削はローソク錐以外は正円錐研削法により、ローソク錐については手研ぎによった。**Table 3** はこれら使用ドリルの諸元を示す。

穴あけ条件としては、切削速度については前報までの実験を参考にして常用値より低い $v=20$ m/min (したがって回転速度は 630 rpm) と $v=17$ m/min (540 rpm)

Table 1 Chemical composition of specimen used.

Cu(%)	Si (%)	Fe (%)	Mn(%)	Zn(%)	Al (%)
0.06	0.18	0.57	0.004	0.01	99.1

Table 2 Mechanical properties of specimen used.

Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%) (%)	Vickers hardness (kg/mm ²) (Load 5 kg)
10.5	4.0	3.0

Photo. 1 View of apparatus.

をそれぞれ一定送り速度方式、一定押付力方式の場合に適用した。そして前者の場合には送りを $f=0.05, 0.07$ および 0.09 mm/rev の 3 段について、後者の方式の穴あけでは押付力を $P_d=50.8, 80.8$ および 110.8 kg/cm の 3 段についてそれぞれ実験を行なった。なお、実験はすべて乾式穴あけにより、切削油は使用しなかった。

穴あけ抵抗の測定にはさきに試作した 2 分力測定用工具動力計¹⁾を使用して、スラストおよびトルクを求めたが、その際のオッシロペーパーの送り速度より穴あけ時間を算出した。

穴入口および出口での穴の拡大量については工具顕微鏡により互に直角な 2 方向についての直径を求めて平均し、さらに同一実験条件による 3 個の穴の平均値を求めた。盛上りおよびかえりは不規則であるが、この場合も互に直角な 2 方向について凸部の高さをそれぞれダイヤルゲージおよび工具顕微鏡により測定して平均値を求めた。以下次の記号を用いる。

D_1 : 板表面 (穴入口) における穴の平均直径 mm

D_2 : 板裏面 (穴出口) における穴の平均直径 mm

H_1 : 板表面での盛上りの平均高さ mm

H_2 : 板裏面でのかえりの平均高さ mm

4. 穴の精度

4.1 シンニングしないドリル

(a) 一定送り速度穴あけの場合

ドリル先端角の影響については **Fig. 1** に示すように、先端角の増加に伴ない D_1, D_2 ともに大きくなるが、130° 以上ではその変化が顕著である。 D_1 が大きくなるのは主としてドリルのくいつきの際の歩行現象によるもので、ドリルのマージンの接触長さが長くなるにしたがい歩行は小さくなり、したがって出口の直径 D_2 は小さくなり、真円に近くなる。歩行の持続する深さはドリル先端の拘束がゆるいとき、すなわち先端角が大きいときまたはのみ刃角が大きいとき深くなる。そのため本実験のように先端角 150° では D_1, D_2 とも最大値をとるようになる。⁴⁾⁵⁾

盛上り H_1 は歩行現象の際の半径方向の力、すなわち穴側面に対するマージンの圧力によるもので、歩行の際に生ずるひずみ円の位相のずれが大きいときは、さきに生じた盛上り部分を削り取り、盛上りはかえって小さくなる。先端角、のみ刃角が大きいときはこの位相のずれが大きく、盛上りはわずかであるが小さくなっている。

かえりの高さ H_2 はアルミニウムの穴あけではかえりが塑性流動によるものが主であり、ドリルの形状とそれに伴うスラストおよび切削熱により影響をうけるが、先端角が小さいときは切刃の長さが長くなるためと、先端拘束による切削抵抗の増加などのためかえりは増加す

Table 3 Dimensions of used drill.

Ordinary type twist drill (Dia. 10 mm ϕ helix angle: 27°)

Point angle (deg)	Lip clear- ance angle (deg)	Chisel edge angle (deg)	thinning	Length of chisel edge (mm)
110	12	123	—	1.40
110	12	122	N	1.40
110	12	128	S	0.70
110	14	131	—	1.50
110	14	128	N	1.63
110	14	133	S	0.75
110	17	135	—	1.88
110	17	139	N	1.82
110	17	129	S	0.74
118	12	134	—	1.60
118	12	124	N	1.62
118	12	124	S	0.75
118	14	130	—	1.67
118	14	135	N	1.68
118	14	139	S	0.83
118	17	144	—	1.98
118	17	145	N	2.16
118	17	144	S	0.85
130	12	140	—	1.99
130	12	137	N	1.63
130	12	138	S	0.88
130	14	143	—	1.94
130	14	146	N	1.92
130	14	146	S	0.85
130	17	150	—	2.12
130	17	156	N	2.62
130	17	156	S	0.90
140	12	147	—	1.76
140	14	151	—	1.89
140	17	160	—	2.53
150	12	156	—	2.05
150	14	161	—	2.54
150	17	167	—	3.23

Ordinary type twist drill
Non-thinning

Ordinary type twist drill
N type thinning
Thinning of vertical direction:30°
Thinning of horizontal direction:
20°
Norse radius of grinding wheel:
1.75 mm

Ordinary type twist drill
S type thinning
Thinning of vertical direction: 25°
Thinning of horizontal direction:
20°
Norse radius of grinding wheel:
175mm

Fishtail point twist drill
Thinning
Non-thinning
 γ : 7°
 θ : 90°

Fishtail point twist drill (Dia. 10mm ϕ helix angle: 27°)

β (deg)	α (deg)	l (mm)	m (mm)	n (mm)
155	115	※1.36	1.00	0.38
142	115	0.27	1.38	0.60
178	120	0.27	1.40	0.30
141	125	0.35	0.63	1.00
136	136	0.44	0.40	0.90

*Non-thinning

る。

リップクリアランスの影響としては、リップクリアランスが大きいくほど先端拘束は小さくなるが歩行は大きくなり、入口での D_1 は当然大きくなる。出口での D_2 大きさも先端角の変化と同様に D_1 と同じ傾向を示す。また、 H_1 はリップクリアランスの大きいときはのみ刃角が大きくなり、これに伴いひずみ円の位相のずれも大きいため小さくあらわれる。 H_2 についてもリップクリアラン

スが小さいときは先端の拘束が小さく、かえりの高さは大きくあらわれる。

送りの影響については、送りが大きくなると穴入口でくいつき時のドリルの求心性が小さくなり、穴は拡大される。出口では送りの増加による先端の拘束のため歩行の深さが減じて穴 D_2 は減少する。盛上りは送り H_1 の増加とともにやや増加するが、かえり H_2 は送りの増加に伴う塑性流動の増加によって著しく増加する。

以上の結果、 D_1 , D_2 , H_1 および H_2 を比較すると、シンニングしないドリルの場合、先端角 130° 、リップクリアランス 12° 、送り 0.05 mm/rev が 2S の穴あけでは適当であると思われる。

(b) 一定押付力穴あけの場合
この場合も、先端角、リップクリアランスによる D_1 , D_2 および H_1 の変化は前述の一定送り速度穴あけの場合と同じ理由により、同様な傾向を示すことは Fig. 2 にみる通りである。ただ、 H_2 はドリルの突抜けの際に送りが急に増加するため、かえりの一部がむくれてかえりの形状が複雑なものとなり、定量的な測定が不可能であつた。

押付力の影響については、押付力が大きくなると D_1 は減少し、反対に D_2 は増加する。この理由として考えられることは、押付力が大きいと皿もみ時間が減少し、歩行の穴径によぼす影響が小さくなり、 D_1 は減少する。これに対し、押付力が大きいと突抜けの際の送りが大きくなり、かえりのむしれ現象に伴いドリルの振動が大きくなつて穴はわずかに拡大される。

以上の結果、押付力一定のときには先端角 $130 \sim 140^\circ$ 、リップクリアランス 20° 、押付力 $80 \sim 110 \text{ kg/cm}$ がこの場合の適正ドリル角度と穴あけ条件といふことができる。

Fig. 1 Influences of drill dimensions on drilled hole under constant feeding speed drilling by ordinary type nonthinning drill.

Fig. 2 Influences of drill dimensions on drilled hole under constant feeding load drilling by ordinary type nonthinning drill.

4.2 シンニングしたドリル

シンニングをすれば、スラストが減少してドリル寿命を長くすることができる。

もっとも簡単なS型およびN型のシンニングを施したドリルによる一定送り速度穴あけ、一定押付力穴あけに

おける結果をそれぞれ Fig. 3, Fig. 4 に示す。これからみれば、シンニングを施すとのみ刃部分付近のつくり合いのため、皿もみの段階で水平方向の振動が大となり、 D_1 がS型とN型とは反対の傾向を示したものもあるが、両穴あけ方式とも D_1 , D_2 , H_1 および H_2 の傾向は

シンニングをしない場合と同様で、これらの絶対値も前項 4.1 の場合とほとんど変わらないようである。

このことから、のみ刃部近傍のシンニングは穴の拡大、盛り上がりおよびかえりに大きい影響を与えないようで、むしろ、これらに影響をおよぼすのは主にドリルの歩行と切刃外端付近の形状であることがわかる。したがって、この場合も適正なドリルおよび穴あけ条件は 4.1 と同様に考えられる。

4.3 ローソク錐の効果

市販ドリルを特殊な形状に研削するローソク錐がアルミニウムの薄板加工においてかえりが少ないとして加工現場ではかなり用いられているようであるが、ローソク錐の先端諸角の穴あけにおける諸効果についての研究、文献などはきわめて少ない。本報では Table 3 に示すように、 $\theta=90^\circ$, $\gamma=7^\circ$ を一定にして他の諸元を変えた5種類のローソク錐を用いた。

結果を前述の普通のねじれ錐による結果と比べれば Fig. 5 のようになる。測定値に前記の実験結果と、ローソク錐について同様な実験をした結果を一定送り速度穴あけ (図では FS として表示) と一定押付力 (FF) のときに分けてまとめたものである。

入口の径 D_1 は他の場合に比べてローソク錐では小さいが、これはドリルのくい付きの際に歩行現象が生じないためである。これに対し、 D_2 はローソク錐の方が他の場合に比べて大

Fig. 3 Influences of drill dimensions on drilled hole under constant feeding speed drilling by ordinary type thinning drill.

Fig. 4 Influences of drill dimensions on drilled hole under constant feeding load drilling by ordinary type thinning drill.

きくなる傾向を示す。この理由としては、入口で穴の拡大量が小さいためあるいは偏心してくい付き求心性がないため、穴の出口で1種のすりこぎ運動をおこし、出口での振動が大きく穴が拡大されるものと考えられる。

盛り H_1 は小さく、とくに一定送り速度穴あけ方式のときには著しく小さい。これは歩行が生じないことによるものと思われる。前述の普通の研削によるドリルとローソク錐との H_1 を比較すれば Fig. 6 のようになり、

普通のねじれ錐では先端角 110° , 118° で示すように規則的な3つの山ができて、ここから3条のライフリングが穴に入っている。ローソク錐ではくい付き時に穴が偏心するためにやや偏った盛り上がりができるが、規則的な山がなく歩行が生じていないことを示している。なお、普通のドリルの場合、 130° 以上で規則的な3つの山が失われるのは、位相のずれが大きいため規則的な山が削られたためで、側面のライフリングはこのことと無関係に

3条存在する。 H_2 は送り速度一定の場合だけしか測定できないが、きわめて小さかった。この理由としては、普通の先端角のドリルに対しローソク錐では切くずの流れ方向がマージン外周部の被削材の塑性流動をさまたげる向きになるためである。

普通の研削によるドリルの場合のかえりとローソク錐の場合のかえりを比較したものが Photo. 2 で前者の場合先端角によるかえりの大きさが明瞭であるが、後者ではのみ刃角によって比較してみても変化は非常に小さくわずかであることがわかる。

5. 切削抵抗

Fig. 7 は送り速度一定の場合における穴あけ抵抗(スラストおよびトルク)であるが、穴あけ抵抗は先端角の増加とともに減少してくる。また、シンニングより穴あけ抵抗が減少することは当然であるが、ローソク錐のときはシンニングによる穴あけ抵抗の減少はスラストにおいてわずかに認められる程度であり、トルクでは明瞭ではない。送りによる穴あけ抵抗の変化もローソク錐の場合には少ない。このことは、ローソク錐のみ部の先端角が 90° であり、のみ部の抵抗が少ないためシンニングの効果があまりなく、送り速度による差も多く現われないものと思われる。ローソク錐の穴あけ抵抗は普通の研削ドリルに

Fig. 5 Comparison between holes by ordinary type drill and holes by fishtail point drill.

比べてかなり大きいのは切刃が曲線となり、切くずの流れが同一方向にならないためと考えられる。

一定押付力の場合はトルクと穴あけ時間によつて穴あけ被削性が検討される⁶⁾が、単位厚さの穴あけに要する穴あけ時間とトルクは相反関係にあり、トルクが大きい

ときには穴あけ時間は小さくなる。**Fig. 8**はこれらの関係を示すもので、普通の研削ドリルでは先端角によるトルク、穴あけ時間の変化は少ないが、先端角が大きくなると穴あけ時間はやや減少する。これに対して、ローソク錐ではトルク、穴あけ時間ともにきわめて大きい。た

Fig. 6 Change of piling-up in the case of holes by ordinary type drill and holes by fishtail point drill.

だ、のみ刃角 120° では比較的良好な結果を示したが、これはのみ刃角だけの影響とはみられないようで、ローソク錐の形状についての今後の研究にまところ大きいものがある。

6. 切 く ず

2S などアルミニウム材は塑性流動が非常に大きく、

穴加工においてはほとんどの実験範囲の穴あけ条件に対し長く連続した形状の切くずとなつた。その断面形状は**Photo. 3**に示したようにみぞの中心部から外周に向つて大きくなるようであるが、これにシンニングが施されるとこのような形状はなくなる。これは乾式穴あけであるため切くずが凝着しやすくなり、切くずの流出に対する抵抗が大きくなるためと思われる。シンニングをすれ

ローソク錐では必ず厚い円板状の削り残しを生じ、かえりの形も良好である。

Fig. 8 Drilling resistances in the case of constant feeding force drilling.

Point angle(deg)	Ordinary type		Point angle(deg)	Fishtail point drill	
150			136		
140			125		
130			120		
130			115		
130			115		
118			<p>Cutting speed : 20 m/min (630 rpm)</p> <p>Feed : 0.07 mm/rev</p> <p>Lip clearance angle : 12°</p> <p>● Thinning, ◆ N type thinning, *** S type thinning</p>		
110					

Photo. 3 View of various chip forms.

ずも2本に分割される場合もみられ、全体的にみて切くずの凹凸が大である。

送り速度一定の場合に先端角 130° ~ 150° のドリルでは円板状の削り残しが生ずる。これははじめかえりの一部を形成するものであるが、切刃の外端での引張りと切削とによって分離されたものである。この円板状の削り残しは先端角 110° では全然生じないで、かえりは切刃の内側よりしだいに広げられるため縁が不規則なものとなる。

一定押付力穴あけでは円板状の削り残しは普通のドリルでは先端角 150° の場合と、ローソク錐による場合のほかは発生しないようであった。

7. 結 言

本報では、2Sなどのアルミニウム板の穴あけにおいて、主として穴の精度に重点をおき、ドリル形状の影響を求めたもので、えられた結果のうち主なものはつぎのようである。すなわち、

1) シンニングをしないドリルでは穴入口および出口の拡大量は先端角が大きくなると大きくなる。また、穴入口の盛上り、出口のかえりはともにドリル先端角の増加に伴い減少する。したがって、これらのことを考慮すれば、先端角 130° 、リップクリアランス 12° 程度のドリルが一般的に適正であると考えられる。

2) シンニングにより穴の拡大量、盛上り、かえりには影響がない。このことから穴の拡大量、盛上りは歩行、かえりは切刃外端部の形状の影響によるものであることがわかった。

3) ローソク錐では穴入口の拡大量は小さいが、出口

では大きくなることがあり、出口では普通の研削ドリルと大差ないようであった。一方、盛上りとかえりは小さく、精度の点ではもつとも良好な結果を与えることができた。

4) 一般にローソク錐では穴あけ抵抗は普通の研削ドリルより大きい場合が多かった。

5) 円板状の削り残しを生ずるような形状のドリルではかえりが小さくなった。

なお、ローソク錐の諸元が穴あけ精度、穴あけ抵抗などにおよぼす影響については継続して研究中であり、アルミニウム板の穴あけに適当な条件についても結論をえられるようになると思う。また、かえり発生の機構はきわめて複雑であり、今後研究をすすめたい課題の1つである。

本報の実施に当っては、多量の穴あけ試料を必要としたが、日本軽金属株式会社技術サービス課長加藤三郎氏および同課松原晃三氏のご好意により解決した。付記して深甚な謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 財満, 加茂, 鈴木: 軽金属, **14**, 67 (1964), 291.
- 2) S. Zaima: Proc. 8th Japan Cong. Test. Mat., (1965), 78
- 3) たとえば D. R. T. Manual. (切削油技術研究会編) **68**, 97.
- 4) 財満, 結城, 堀内: 軽金属, **15**, 73 (1965), 287.
- 5) 財満, 結城: 軽金属, **16**, 76 (1966), 74.
- 6) 財満, 飯尾, 鈴木: 軽金属 **14**, 68 (1964), 406.

(164 ページより)

さつた昭和電工㈱中央研究所新加義則君にもあわせて謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 友 弘 他: 軽金属 **16**, 1 (1966), 30.
- 2) 軽金属協会: アルミニウム合金鋳物 [4], (1966)
- 3) 深 井 他: 鋳鍛造, **8** (1966), 48

- 4) 友 弘 他: 軽金属 **16**, 1 (1966), 20
- 5) P. Jelang: Modern Metals, **11** (1961), 42.
- 6) I. F. コロブネフ: 鋳物用アルミニウム合金の耐熱性, 軽金属協会訳
- 7) R. J. Kissling: Crucible Manufacturer's Association への寄稿 (1963).