アルミニウム薄板の穴あけ被削性

斉藤 雄三*・佐藤 金司**・嵯峨 常生***
小川 誠*・水沢 昭三****

Drilling machinability for aluminum sheets

UDC 669.71-12:621.9.011

SAITO Yuzo*, SATO Kinji**, SAGA Tsuneo***, OGAWA Makoto*
and MIZUSAWA Shozo****

Machinability by using twist drills plays a significant role in manufacturing process of machine parts. Recently, the machinability of light metals such as aluminum has been an important problem in mass production of machine parts with lighter weights. However, few reports have been published concerning the general data on drilling of aluminum sheets. This paper discusses machinability in drilling of two kinds of test pieces (same sizes of 40×50 mm, but different in thicknesses: 0.5 and 1.0 mm).

In general, the machinability in drilling is controlled by various factors such as drilling force, life of tools, finish and accuracy of holes (dimensional accuracy and out of roundness), chip figure, and removal of chips. However, in drilling of aluminum sheets, the most important factors may be height and shape of burr and dimensional accuracy of holes rather than life of tools.

The drilling of aluminum sheets was considered to consist of two processes; cutting and punching processes, both of which were much complicated each other. After the completion of drilling, burr was generated on the opposite side of drilling surface. The drilling was made by the type of constant feeding speed.

The experiments were made by using five kinds of tools (different in diameters: 1.0, 1.5, 3, 6 and 10 mm ϕ). Then, drilling force was measured and cutting process and burr generation were observed.

The conclusions drawn were as follows.

- (1) Thrust increased with feeding speed, but was independent of number of revolutions except for extremely low revolving rate.
- (2) Torque decreased with the increase of number of revolutions, but increased with feeding speed.
- (3) Hole accuracy in thin sheets was not satisfactory and the holes were similar in profile to polygons with odd vertexes.
- (4) There were two types of burrs in their shape. The height of burr increased with feeding speed.

(Received Nov. 26 1969)

1. まえがき

電子工業製品や家庭用電気製品などの伸びにつれて、アルミニウム薄板の使用される部門が大きく開けてきた。このような場合に、薄板同志を結合するために、ビス穴などの穴あけ加工の必要性も増大してくる。しかし、これに関連しての、薄板の穴あけ被削性についての研究は比較的少ないものである。

本実験では、板厚 0.5 および 1.0 mm の 2 種類の材料を使用して、薄板材の穴あけ被削性を検討した。このア

ルミニウム薄板の穴あけ被削性では、切削による加工と押し抜きの過程が複雑に混合した状態で進行して行くものと考えられる。また、工具や材料を貫通するときの板の裏面に、かえりの生成が顕著に現われるものと思われる。

そこで、数種類の工具直径をえらび、穴あけ実験を行ない、切削抵抗の測定、切削の進行過程、かえりの生成過程、切くずの排除などの観察を行ない、良好な穴あけ条件を考察し、もつとも適した工具の選定についても検討した。

* 芝浦工業大学 Shibaura Inst. of Technology

** 東京都立大学工学部 Tokyo Metropolitan University

*** 東京都立工業専門学校 Tokyo Metropolitan Technical College

**** 東京都立足立工業高校 Tokyo Adachi Technical High School

2. 材料および方法

2.1 材料および試料

供試材料はアルミニウム板 AlPI-1/2H 材で、化学成分は **Table 1** に示す。板厚は 0.5 および 1.0 mm の 2 種類である。穴あけによる加工硬化領域が試験片外周に達することをさけるために、試験片寸法は 40 mm × 50 mm とした。

2.2 装置および条件

実験には吉田鉄工所 YUD-540 ボール盤、主軸回転数は 30~1270 rpm の12段、を使用した。ドリルの送り速度は 0.1, 0.2, 0.3 mm/rev の 3 段である。ドリルは高速

Fig. 1 Outline of apparatus.

Table 1 Chemical composition.

Element Material	Cu (%)	Si (%)	Fe (%)	Mn (%)	Zn (%)	Al (%)
AlPI-1/2H	under 0.05	under Si + Fe = 0.5	—	—	—	above 99.5
Vickers hardness Hv (kg/mm ²)	thickness of sheet t = 0.5 mm Hv = 40.2 ~ 43.8 thickness of sheet t = 1.0 mm Hv = 38.6 ~ 45.8					

度鋼製 SKH-9 を用い、1 mm φ ~ 10 mm φ の 5 種類の径をとった。工具の諸元および穴あけ実験条件は **Table 2** に一括してある。

2.3 穴あけ抵抗の測定

切削抵抗の測定に使用した動力計の構造および実験方法の概要は **Fig. 1** に示される。

切削抵抗はねじりモーメントと推力に分解し、ひずみゲージで検出する。①が試験片であり、②は試験片取り付け台であつて下穴の支持は 3 mm φ のときは片側 1.5 mm, 6 mm φ と 10 mm φ のときは片側 1 mm である。

スラストとトルクの干渉は⑤の複列アンギュラベアリングで、できるだけ小さくなるようにした。較正線図より、干渉の程度は 2.5% であり、二分力の計測の直線性はとてもよく、実用上に支障はない。

Photo. 1 Drilling apparatus

Table 2 Experimental conditions

Classification		1 mmφ drilling	1.5 mmφ drilling	3 mmφ drilling	6 mmφ drilling	10 mmφ drilling
Used drill	Diameter of drill (mm)	1	1.5	3	6	10
	Point angle (deg)	118°	118°	118°	118°	118°
	Twist angle (deg)	23°	23°	27°	29°	29°
	Material	SKH 9	SKH 9	SKH 9	SKH 9	SKH 9
	Chisel edge length (mm)	0.5	0.5	0.6	1.2	1.6
Drilling condition	Revolving drill speed (rpm)	85	180	575	1270	
	Feed (mm/rev)	0.1	0.2		0.3	
	Cutting fluid			None		

④はトルク検出用の片持はりであつて、負荷の容量によつてゲージ部分のとりかへができる。⑧はスラスト検出用の黄銅製八角形リングである。

動力計の校正を、ボール盤のテーブルに固定して行な

っている状態を **Photo. 1** に示す。

3. 結果および考察

3.1 切削抵抗

切削抵抗の一般的傾向は、アルミニウム展伸材の穴あけにおけるのと類似である^{1)~2)}。ドリル回転数の関数として切削抵抗を図示すると、**Fig. 2~4**のごとくなる。

スラストについてみると、送り 0.3 mm/rev のときは切削速度に関係なくほぼ一定値である。送りが 0.1 およ

Fig. 2 Relation between revolving drill speed and drilling force.

Fig. 3 Relation between revolving drill speed and drilling force.

Fig. 4 Relation between revolving drill speed and drilling force.

Fig. 5 Relation between feed and drilling force.

び 0.2 mm/rev の場合には、工具直径に関係なく、回転数の増加につれて増大するが、180 rpm 以上になると一定となる。

一方、トルクは多少のばらつきはあるが、送り 0.2 および 0.3 mm/rev の場合には、回転数の増加につれて一定または減少の傾向を示している。0.1mm/rev の場合はスラストと同じ傾向である。

したがって、180 rpm 以下の低速領域を除いて、切削抵抗は切削速度によつて影響されない。

つぎに、送りの関数として切削抵抗を表示すると、

Fig. 6 Relation between feed and drilling force.

Fig. 7 Relation between feed and drilling force.

Fig. 5~8 のごとくなる。

スラストは切削速度の増加につれて直線的に増加し、工具直径が大きくなるにともないこの傾きはしだいに大きくなる。

切削抵抗に対する板厚効果をみると、板厚 1.0 mm の方が 0.5 mm よりも当然大きい。スラストは 1.5~2 倍となり、トルクは 1.2~1.3 倍である。これは計測の機構上から、トルクの場合は円周方向の切削力だけが関連するので板厚効果が入らないはずである。実際には、板厚の差による板のたわみが影響して、このような差が現われたものと考えられる。一方、スラストについてはドリルによる押し抜きに対する抵抗が増加するので、当然計測値も上昇するわけである。

つぎに、工具直径の影響を検討する。板厚を t 、工具直径を d とするとき、近似的に切削抵抗を $2\pi dt$ で受けるとみなされる。一定板厚をとるとき、パラメータは d のみとなる。したがって、切削抵抗を d で割つた値を比較することによつて大体の傾向をみることができる。こ

Fig. 8 Relation between feed and drilling force

Fig. 9 Relation between drilling diameter and drilling force.

れを表示したものが **Fig. 9** である。左側縦軸にスラスト、右側にトルク、横軸に工具径がとつてある

工具径が小さいほどスラストは大きく、直径の増加につれて減少している。トルクは工具径の値に関係なく、一定である。これは工具径に対するチゼル部の割合が影響しているものと考えられる。チゼル部でのスラストは切刃部に比べるとはるかに大きく、小径の場合にはこれが主要な因子となるものであろう。チゼル部でのトルクも相当なものであろうが、記録されるトルクは中心からの距離との積であるため、チゼル部でのトルクはこの腕が小さいため値が小さくなる。このため、チゼル部でのトルクは相殺されて影響を与えないのではないかと考え

られる

3.2 切削の進行過程とかえりの生成

アルミニウム薄板の穴あけ加工では、かえりの発生と真円度の良否が問題となる。そこで、かえりの発生機構を検討するために、あらかじめ工具の食い込み量を数種類定めておき、この値で切削を急停止させ、切削の進行状況と切削抵抗とを対比して調べた

Fig. 10 は、穴あけの進行につれての切削抵抗の変化と、そのときの被削材の形状の変化を示したものである

チゼル先端が被削材表面 (A-A) に到達すると、工具の押し込みにより被削材は大きくわん曲する。この間では、切削によるスラストが記録されているのではなく、工具の押しつけによる材料の弾性変形の状態であり、この弾性的反力がスラストとして計測されている。したがって、スラストは直線的に増加しているが、トルクは記録されていない

つぎに、(B-B) の位置でチゼル切刃は、被削材に食い込み、切削を開始する。同時に、トルクも記録を開始する

被削材が軟らかくてわん曲しているためと、チゼル切刃の負のすくい角とで切味が悪く、さらにチゼル部直径は小さいので周速が遅くなっているため、工具は被削材を接線方向に押しのけられないで、チゼルの一端が回転の中心となり、切刃の軌跡の中心と工具の中心とが偏心したままで切削が進行する。このため、**Photo. 2 a** のように、3 角形または 5 角形などの奇数角形状となり真円度は悪い。加工の精度については、工具自身の仕上精度が

Fig. 10 Drilling torque and thrust as functions of drilling penetration.

		criteria	(e)	(f)	(g)	(h)
D: 6 mmφ t: 0.5 mm f: 0.2 mm N: 575	encroachment	D: mmφ	3	6	6	10
	(a) 1 mm	t: mm	1.0	0.5	0.5	1.0
	(b) 2 mm	f: mm/rev	0.2	0.1	0.3	0.3
	(c) 4 mm	N: rpm	575	575	85	1270
	(d) 5 mm					

Photo. 2 Drilling progresses and burr shape

影響するのと共に、工作機械自身の精度や強度その他の問題がからんでくるので³⁾、むずかしい問題である。このため厳密には、工作機械の試験、検査を行なって⁴⁾⁻⁵⁾これと対照する必要がある。

(B-B) 以後は、しだいに切削抵抗が増大する。この状態はチゼル部が被削材を貫通するまでつづく。スラストが最大値に達するのは、チゼル部の貫通直前 (C-C) である。工具が (C-C) の位置に進入するまでは、単位切刃長さあたりの切削量がチゼル部近傍ほど多いが、(C-C) 位置を通過すると円周部近傍の切刃ほど切削量が多

Fig. 11 Relation between feed and burr height.

Fig. 12 Relation between feed and burr height.

くなり、この位置で最大となる。したがって、(D-D) 位置でトルクは最大値を示している。

(D-D) 以後はほとんど切削が行なわれない状態で工具が進入し、塑性流動領域は円錐皿の形状を保ちながら押し込まれ、マージン部との接触によって被削材より分断されるが、または押し込みによる引張破断が起り、被削材に残った部分が **Photo. 2d** のごとくかえりとなる。あるいは、円錐皿がそのままの形状を保てないで、工具の進入とともに放射状のクラックを発生し、円周皿に押しつけられて **Photo. 2c** のようなかえりとなる。

切削過程で、単位切刃長さ当りの切削量の変化が、チゼル部近傍の切刃部分から切刃外周近傍に移動していることが **photo. 2b** に示されている。このため円錐皿の断面形状は三日月状の形となっている。

3.3 かえりの大きさと切くずの形状

かえりの高さを板厚で割って無次元化した値を縦軸にとり、横軸に送りをとって表示したのが、**Fkg. 11** および **12** である。板厚 0.5 mm および 1.0 mm の両方とも送り 0.1 mm/rev で最小値を示し、0.2 mm/rev 以上では切削速度によりいくらかのばらつきはあるがほぼ一定の値を示している。工具直径でみると、1 mm ϕ 、1.5 mm ϕ および 10 mm ϕ の場合は、送りおよび切削速度による影響が特に少ない。これに対し、6 mm ϕ では送りが 0.3 mm/rev のときに、かえりの形状が円錐皿を伴ってできた

Fig. 13 Relation between feed, drilling diameter and burr height.

Fig. 14 Relation between feed, drilling diameter, and burr height.

Fig. 15 Relation between feed drilling diameter and burr height.

場合と放射状の場合とがあり、高さのばらつきが大きい。

つぎに、送りと工具径およびかえりの高さの3つの因子を比較したのが **Fig. 13~16** である。送りが 0.1 mm/rev の場合についてみると、板厚や切削速度に関係なく 3 mm ϕ が最大で 1 mm ϕ と 1.5 mm ϕ が最小である。生成機構からは、かえりの高さは円錐皿を伴う場合ほど小さく、形状のばらつきも少ないが、それでも数値的には板厚の 100~200%に達しており、他の材料の穴あけ加工に比べると大きい。

切くずの形状を示すと、**Photo. 3** のごとくで、小径の工具の場合には板厚の変化に関係なく切削の初期では切削量が少ないために切くずはらせん状となるが以後はせん断型切くずとなりドリルの溝部に付着し、切削の進行とともに溝部に添って持ち上げられる (**Photo. 3 (a) (e)**)。しかし切くずの発生は少なく、ほとんどがかえりとなつて被削材の裏面に付着している。板厚 0.5 mm で送り 0.1 mm/rev 工具径 10 mm ϕ の場合にはらせん状の切くずを発生している (**Photo. 3 (c) (d)**)。これは被削材のわん曲が大きいためである。かえりの高さは他の送りに比べて大きい。板厚 1.0 mm の場合はむしれ型の切くずとなる (**Photo. 3 (g) (h)**)。これは被削材のわん曲が他の場合にくらべて小さいためと思われる。

Fig. 16 Relation between feed, drilling diameter, and burr height.

criteria	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
t: mm	0.5				1.0			
D: mm ϕ	3	6	10	10	3	6	10	10
f: mm/rev	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3
N: rpm	85	575	1275	180	575	575	180	575

Photo. 3 Figure of chips

4. まとめ

標準ドリルを使用し、板厚 0.5 および 1.0 mm のアルミニウム板の穴あけ被削性を検討した。切削抵抗、切削の進行過程、かえりの生成過程、切くずの生成などを観察、測定し、被削性について考察した結果はつぎのごとくである。

(1) 切削抵抗のうちスラストは、送り 0.3 mm/rev のとき切削速度に関係なく一定の値を示している。送りが 0.1 と 0.2 mm/rev の場合は、180 rpm までは増大しそれ以上で一定の値を示す。したがって 180 rpm 以下の低速領域を除くと、切削速度はスラストに影響しない。またスラストは送りの増加につれて線形に増大し、工具径が大きいほどその傾きは大きい。

(2) トルクは工具回転数が 180 rpm 以上では、回転数の増加につれて減少している。180 rpm までは、送り 0.1 mm/rev で増大、0.2 と 0.3 mm/rev では減少している。送りについては、スラストと同じ傾向である。

(3) スラストおよびトルクを工具径で除した値で比較すると、工具径の増大につれてスラストは減少し、トルクは一定である。

(4) 穴形状はふつうの穴あけ初期に生ずる座もみの状態で穴あけが完了するので、真円度は悪く奇数角形状と

なる。

(5) かえり形状は大別すると、周辺の突端にクラックのある場合とない場合の2種類となる。前者の方が高さが高い。切削速度がかえり高さに与える影響は顕著ではないが、送りが小さいほどかえりの高さは小さくなる。

(6) 総合すると、標準ドリルによるアルミニウム薄板の穴あけ加工は、寸法形状的には好ましい形状を与えないが、0.1 mm/rev 以下の低速送りでは比較的好結果がえられるものと考えられる。

終りに、実験遂行に小林光男、佐藤憲治の両君の熱心な協力をえたことを記し、深い感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 財満, 加茂, 鈴木: 軽金属, 14-5.
- 2) 財満, 飯尾, 鈴木: 軽金属, 14-5.
- 3) シゾエフ: 穴あけ加工便覧, 170~171, 産業図書.
- 4) Tlustý J.: Microtecnic. 13-4 (1959). 162~178.
- 5) Opitz H.: Microtecnic. 13-5 (1959). 229~244.