Al-Si 二元合金の穴あけ被削性

佐藤 金司*・嵯峨 常生**・水沢 昭三***

Drilling machinability of aluminum-silicon binary alloys

UDC 669. 715' 782-12:621. 9. 011

SATO Kinji* SAGA Tsuneo** and MIZUSAWA Shozo***

In this paper, drilling machinability of aluminum-silicon binary alloys is discussed.

Factors and conditions of the experiments were as follows.

Five kinds of alloys were used for the specimens; their silicon contents were, 12, 16, 19, 22, and 25%, respectively. The tools used for experiments were 2 kinds of drills of the standard type, the diameters of which were 8 and 10 mm. Most of the thicknesses of specimens were 15 mm for 10 mm drill and 8, 12, 15, and 16 mm for 8 mm drill. Experiments were carried out under dry condition.

The results obtained by the experiments were as follows.

1. An approximately linear relation was found between the cutting force and the feed. It showed a tendency that the adhesion of chips to the drill and the generation of heat by the friction between material and tool were more violent with the less content of silicon in the material.
2. Burrs were more brittle and their mechanical strength was lower with the increase of silicon content in the material. Generally speaking, the burrs were easy to be removed.
3. The cutting force was increased in proportion to the thickness of specimen. This tendency was more evidently observed for the material of less silicon content.
4. The chips were brittle and likely to form fragments in the material of high silicon content. Whereas, in the material of low silicon content, they were so ductile and viscous that they often curled up around the drill.
5. The lowering of cutting efficiency of a tool after drilling many holes was more obviously observed in the material of less silicon content and for lower cutting speed.

(Received Oct. 6, 1969)

1. まえがき

アルミニウム合金の被削性については多くの検討が進められ、その傾向が把あくされてきた。旋削の場合には、切削抵抗はその絶対値が鉄鋼材料のそれに比較して、はるかに小さくほとんど考慮を払う必要がない。また工具寿命についても、展伸材の場合には問題として取上げるほどの困難さは呈せず、Al-Si 鋳造合金などにおいて問題となる程度である。

一方、ドリル穴あけ加工の場合には、様相がちがってくる。外周における最高の切削速度より中心における0までの速度分布をもち、いかに回転数をあげてもこれは変らない。本報では、アルミニウム合金の基礎的材料として Al-Si 二元合金をとり、穴あけ被削性を検討したものである。

2. 材料および方法

2.1 材料

被削材として Al-Si 二元合金を用いた。シリコン量を変化させて、つぎの5種類にとっている。

Si 量 (%) : 12, 16, 19, 22, 25

すべて、520°Cで24時間の熱処理を施して、溶体化処理を行なっている。各材料の組織および硬さを **Photo. 1** に示す。

2.2 試料

直径 30 mm の円柱状に仕上げた。この端面の中心にドリル穴の中心を一致させた。試料厚さは次の工具の項でのべる。

2.3 工具

使用したドリルは、直径 8φ および 10φ の2種類である。材質は高速度鋼 SKH9 で、先端角118°, ねじれ角 25° の標準型である。大半の実験では、試験片厚さを 8φ ドリルに対しては 16 mm, 10φ ドリルに対しては 15 mm にとっている。試験片厚さを変えた実験については、

* 東京都立大学工学部機械工学教室 Tokyo Metropolitan University

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

*** 東京都立足立工業高等学校機械科 Adachi Technical High School

そのつど明示する。

2.4 条件

送り速度一定の貫通穴あけ実験とし、切削剤は使用していない。回転数は600, 1150, 2000 rpm の3種類とし、このおのおのに対して送り速度は0.025, 0.036, 0.057 mm/rev の3種類を組合せた。

3. 貫通穴あけ実験の結果と考察

3.1 送り速度をパラメータとすると

計測値をFig. 1~8 にあげる。ばらつきはあるが、トルクおよびスラストと送り速度との関係は、近似的に線型とみてさしつかえない。この点はアルジルの穴あけの

場合と類似である³⁾。このおのおのについて、直線の傾きはシリコン量が増加するにしたがつて減少している。回転数の増加、すなわち切削速度の増加につれて、トルクよりもスラストの方が大きく変化しているようにみられる。

この理由は、ドリル刃先にアルミニウム溶着物が固く付着し、チゼル部を被覆して鈍い切刃を形成する形となり、そのため切味を悪化させることによるものと考えられる。これはすべてのシリコン含有量に対していえる。そしてシリコン含有量の低い12%および16%の場合には、さらに切刃部から側面の刃部にも溶着物が付着する。本来、周刃の穴壁に対する摩擦を少なくするため、

Composition	Microscopic Structure	Micro Vickers Hardness
12 % Si		Primary Silicon 1267 Matrix 58
16 % Si		Primary Silicon 1254 Matrix 77
19 % Si		Primary Silicon 1335 Matrix 55
22 % Si		Primary Silicon 1275 Matrix 71
25 % Si		Primary Silicon 1299 Matrix 63

Photo. 1 Microscopic structure and microvickers hardness of materials.

Fig. 1 Variations of cutting forces (torques and thrusts) as functions of tool feeds
for material: 12%Si
and tool: 8 mm drill.

Fig. 3 Variations of cutting forces (torques and thrusts) as functions of tool feeds
for material: 19%Si
and tool: 8mm drill

Fig. 2 Variations of cutting forces (torques and thrusts) as functions of tool feeds
for material: 16%Si
and tool: 8 mm drill

Fig. 4 Variations of cutting forces (torques and thrusts) as functions of tool feeds
for material: 22%Si
and tool: 8 mm drill

Fig. 5 Variations of cutting forces (torques and thrusts) as functions of tool feeds
for material: 25%Si
and tool: 8 mm drill

Fig. 7 Variations of cutting forces (torques and thrusts) as functions of tool feeds
for material: 19%Si
and tool: 10 mm drill

Fig. 6 Variations of cutting forces (torques and thrusts) as functions of tool feeds
for material: 12%Si
and tool: 10 mm drill

Fig. 8 Variations of cutting forces (torques and thrusts) as functions of tool feeds
for material: 25%Si
and tool: 10 mm drill

ドリルの直径は柄の方向に向つて小さくしてあるが²⁾、このようになると付着した溶着物が穴あけ仕上面とこすり合い、摩擦熱の発生により切くずまでねじれ溝に沿つて固まるようになる。このようにして切くず排出が困難になつてくると、ついには穴あけが不可能な状態になつてしまう。これに対してシリコン含有量の高い25%の場合には、切くずも断片状になりやすく、1回程度のカールをして破断している。したがつてドリルの側面にはほとんどアルミニウム溶着物は付着しないし、切くずがねじれ溝に残ることもない。仕上面も12%の場合より良好であつた。以上が上記の結果の理由と考えられる。シリコン12%の場合の仕上面は、ドリル側面に付着した溶着物と側壁とがこすり合うので、非常に悪くなる。ことに回転数 2000 rpm では、加工後手でさわることができないくらいに摩擦熱で高温になつていたので、貫通後そのまま停止すると、工具と材料が密着してしまうほどであつた。切削に費される機械的仕事量のすべてが熱に変わったとすれば、切削の際の発生熱 Q は毎分つぎの式により表わされる³⁾。

$$Q = P_s v / 427 \text{ kcal/min} \quad [1]$$

ただし、 P_s =切削力 kg 、 v =切削速度 m/min

427=熱の仕事当量 kgm/kcal

これにより現在の発熱の下限を検討する。切削速度 v は中心で0より外周の最大値まで変化するので、代表値としてこの中央の値、つまり半径の中央点における速度 $\bar{v}$ をとると、 $8 \text{ mm}\phi$ で回転数 $N = 2000 \text{ rpm}$ のとき

$$\bar{v} = (1/2) (\pi d N / 1000) = 25.12 \text{ m/min} \quad [2]$$

試験片厚さ $t = 16 \text{ mm}$ で送り $f = 0.024 \text{ mm/rev}$ であるとき、貫通時間 $T = 0.3$ 分となる。このときの実験値より、トルク $T_q = 4.8 \text{ kgcm}$ でスラスト $T_r = 20.0 \text{ kg}$ である。この代表点における切線力 P は、 $P \cdot d = T_q$ の関係よりつぎのごとく求まる。

$$P = T_q / d = 6 \text{ kg} \quad [3]$$

よつて切削力 P_s は次のように定まる。

$$P_s = \sqrt{P^2 + T_r^2} = 21 \text{ kg} \quad [4]$$

これより1分間当りの発熱量は

$$Q = P_s \cdot \bar{v} / 427 = 1.24 \text{ kcal/min} \quad [5]$$

上記のごとく貫通時間は 0.3 分であるから、この間の全発生熱量は、つぎのごとくになる。

$$Q = 1.24 \times 0.3 = 0.372 \text{ kcal} \quad [6]$$

この熱を受ける試料全体の体積 V は

$$V = (\pi/4) \cdot D^2 \cdot t = 7.85 \text{ cm}^3 \quad [7]$$

このとき、切くずとなる部分も熱を受持つと考えている。温度上昇の推定のため、アルミニウムの密度 $= 2.699 \text{ g/cm}^3$ と比熱 $= 0.215 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ を使用すると、[6] 式の発生熱による試験片の温度上昇 $T^\circ\text{C}$ は、

$$T^\circ\text{C} = Q / 7.85 \times 2.7 \times 0.215 = 82^\circ\text{C} \quad [8]$$

となる。この計算では、切削に費される機械の仕事量のすべてが熱に変るとしているの、明らかに過大推定である。一方、溶着物の側壁摩擦による発熱をすべて無視しているの、この分による補償を考えると、[8] 式による温度上昇は推定値の下限を与えるものと考えて大きな誤りはないであろう。これが手でさわることのできなかつた理由である。

Photo. 2 に、穴あけ完了後の切くずと返りの状態を示した。この返りの状態は加工の完了をどのように定義するかにより変化する。本実験では、オシログラフを観察しながら穴あけが完了したことを確認して停止した。

Photo. 2 よりみられる通り、シリコン含有量がふえるにつれて返りの状態も変化してくる。12%シリコンの場合には、返りの断片が円周に沿つて1~3個くらいついていて、ドリルの先端によつて押し出されたような形状をしている。このタイプの場合には、ドリルの偏心や工具をはずすときの不注意などによつてすぐとれてしまう。一方、25%シリコンの場合には粘性があまりないので円周に沿つて数多くの返りが6~7個くらい残る。しかもこのタイプの返りは、それぞれ大きさ、形状、厚さも平均していて非常に腰が弱く、すぐ脱落しやすい。いずれにしても鑄造 Al-Si 合金では、処理の容易な返りが生ずるといえる。

3.2 切削速度をパラメータとするとき

Fig. 9 Relations between cutting forces and cutting speeds of Aluminum-silicon binary alloys for feed: 0.02 mm/rev.

(a) Figure of chips

(b) Burs shapes

Photo. 2 Appearances of figures of chips and burrs of Aluminum-silicon binary-alloys under various-drilling conditions.

送り速度 $f = 0.02 \text{ mm/rev}$ 一定として、切削速度とトルクおよびスラストとの関係を求めたのが **Fig. 9** である。傾向はアルミニウム展伸材の場合とは、全く異なった様相を呈している。とくに12%シリコンの場合に、トルク、スラストともに切削速度の増加につれて増大している。これは $3 \cdot 1$ でのべたごとく、ドリルに対するアルミニウムの溶着が大きく影響すると共に、工具と穴の壁との摩擦も加わっているものと考えられる。実際に回転数を大きくするほど試料の温度が上昇していることは、これの確証を与えている。

4. 穴あけ深さの変化についての結果と考察

4.1 切削抵抗

8 mm ϕ 工具を使用し、シリコン量が16%および25%の場合について穴あけ深さの影響を調べた。試験片厚さは8, 12, 16mmで、工具径の1, 1.5, 2倍となる。トルクおよびスラストの測定結果は **Fig. 10** の通りである。

両材料共に、穴あけ深さに比例してトルク、スラスト共に増加しているが、16%の方がとくに増大している。25%の方は、回転数の大きいときにトルクの、回転数の小さいときにスラストの、増加がみられる。

Fig. 11 の、実際のオシロの記録例をみると、穴あけ

開始時のトルクとスラストは共にほぼ同じ値であるが、トルクは穴あけ深さと共に直線的に増大している。この理由としては、微小でもドリルに偏心があると、側刃部と穴側壁との接触面積が広くなること、切刃部の附着物がドリルの貫入と共に少しずつ増加し、しかも強圧された形で溶着し、切味を低下させること、切くずが外部に排出されるまでの走行距離と時間が長くなり強い摩擦抵抗を示すこと、などによるものと考えられる。

4.2 切くず状態

シリコン量16%と25%の切くず状態の大きな相異は、シリコンを多く含有している25%材の切くずが非常にもなく、欠けやすいので、小片化しやすいことである。それに対して16%材はアルミニウム成分が多いため、非常に軟化しやすく、そのためドリルにからみつつき易く、切くずの排出は困難になる。

切くずのカール半径も、16%材はかなり大きくて、表面はがさがさしており、ドリル刃先の溶着物の影響が現われている。25%材の切くずは、どの場合もほとんど同じ位の大きさのカール半径で1~1.5回くらい巻いているものが多い。それと、一巻きもせずに、もつと細かく破断しているものも多い。切くずの表面は、かなり良好なものが多いが、くわしく観察するとシリコンの黒い微粉を表面に見ることができた。シリコンが非常に硬いこと

Fig. 10 Effects of Specimen thicknesses on cutting forces in 16 and 25% silicon content Aluminum-Silicon Binary alloys.

Fig. 11 Variations of cutting forces with number of drillings in 12, 19 and 25% Silicon Aluminum alloys with 8 mm diameter drill.

Appearance of
drill chips
(8mmϕ drill)

Thickness of specimen	16 % Si		25 % Si	
	600 rpm	2000 rpm	600 rpm	2000 rpm
8 mm
12 mm
16 mm

From of burs
(8mmϕ)

Thickness of specimen	16 % Si		25 % Si	
	600 rpm	2000 rpm	600 rpm	2000 rpm
8 mm
12 mm
16 mm

Photo. 3 Effects of Specimen thickness on Appearances of chips and burrs in drilling of 16 and 25% Silicon Aluminum alloys with 8 mm diameter Drill.

Fig. 11 An example of oscillograph record for drilling torque and thrust of 16% Silicon Aluminum alloy with 8 mm diameter drill.

Photo. 5 Typical examples of burrs for drilling of 12, 19 and 25% Silicon Aluminum alloys.

Photo. 4 The view of the drill edge in material of 12%Si (8 mmφ drill) for cutting speed of 600 and 2000 r.p.m. and repetition of 1, 2 and 3 times of cuttings.

を考えると、この微粉の存在はひつき摩耗を促進させることになり、ドリルの損耗を強くする因子となるものである。

4.3 返り

Photo 3 をみてもわかるように、返りについては試料厚さによる直接の影響はないと考えられる。16%材については、厚さが大きくなるにしたがつて、非常に大きな返りのみが残留し、小さい返りはほとんど残らない。25%材の返りはもろく欠けやすい性質のため、大きさ、形状、厚さともやや平均化しており、どの試料にも6~7個の返りが残っている。

5. 同一ドリルによる連続穴あけ

5.1 切削抵抗

本実験は、すべて8mmφドリルを使用し、同一ドリルにより穴あけ回数の影響をみる。試験片厚さはすべて15mm、回転数は600および2000rpmの2種類、被削材のシリコン含有量は12、19、25%の3種類、穴あけ回数は3回を限度とする。

トルクおよびスラストは **Fig. 11** に示す。共に穴あけ回数につれて、ごくわずかに増大している。シリコン量が25%および19%の場合は、ドリルの切味が最初のまま

保持されているとみてさしつかえないと判断される。だが、12%の場合には、切味の低下が割合にはつきりな低回とわかる。しかも、600rpmのよう転数の方が著しいようである。したがって、12%材の穴あけは、同一工具で3回以上連続して行なうことは望ましくないと考えられる。

5.2 溶着

溶着の状況は **Photo. 4** に示す。それぞれの組成に対して、ドリル刃先の溶着の状況は、1、2、3回を通して、同じようなパターンを示している。そして、切刃部の切味は、かなり悪くなっている。これはトルクおよびスラストにわずかの影響を与えているが、回数が多くなればさらに顕著になることも考えられる。溶着は凝着摩耗現象のごとく強度のものとも考えられ、穴あけの行なわれている切刃部のような過大な荷重で摩擦温度の高い領域では、はげしい凝着を起して焼付きの状態に入る危険性は十分に考えられる。⁵⁾

5.3 返り

現在は、返りの状態を定量的に計測し、明確にすることはできなかった。

Photo. 6 Figures of drill chips with 8 mm ϕ drill for specimen of 15 mm thickness of 12, 19 and 25% Silicon Aluminum alloys. Feed 0.045 mm/rev (600 rpm), 0.019 mm/rev (2000 rpm)

しかし、その組成別の相違は、形状、厚さ、こぼれやすさ、などで区別できる。例を **Photo. 5** に示す。12%材の場合の返りは、ドリルにより無理に押しあけられたような形状をしており、軟化した返りであることがわかる。

5.4 切くず状態

切くずのパターンには、大した相違は認められない。状態は **Photo. 6** に示す。12%シリコン材について 600 rpm と 2000 rpm の切くずを比較すると、1回目と2回目のときの切くず状況は似ているが、3回目になるとややちがつているのが認められる。これは、ドリル刃先への溶着、切刃の摩耗により切味が悪くなるので、切くずが少し短かめになり、かつ強圧を受けて排出されたことによるものと考えられる。切くずの長さについては、19%、25%の順に短くなり、かつカールしやすくなっている。

6. むすび

以上、Al-Si 二元合金の穴あけ被削性実験の検討を行

なつたが、実験の範囲内のシリコン量に対しては返りの処理は非常に容易であるといえる。この種の材料に対しての問題は、比較的シリコン量の低い12%前後の材料における溶着、焼付き現象にあるものと考えられる。終りに、実験の遂行は加藤秀哉君によるところが大きいことを明記して深謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 森永、財樫、中野：軽金属、17-2 (No. 82) (1967) 34~39
- 2) シーソエフ：穴あけ加工便覧、59 産業図書 (昭和40、初版、長谷川訳)
- 3) シーソエフ：2) 5
- 4) 佐藤：金属の摩耗とその対策、9 養賢堂 (1965)
- 5) 佐藤：4)、17