過共晶 Al-Si 合金の穴あけ加工におけるバニシングについて*

内藤 国雄**・鈴木 隆敏**・中村 元志**

Burnishing in drilling hypereutectic Al-Si alloys*

UDC: 669.715'782 : 621.951

Kunio NAITO**, Takatoshi SUZUKI** and Motoyuki NAKAMURA**

Increase in torque and creaky noise often encountered in drilling hypereutectic Al-Si alloys were studied in various drilling conditions. The torque increase and creaky noise are caused by burnishing of a drill margin and a hole wall. Cyclic fluctuation of torque exactly corresponds to the profile of a hole with poor roundness. The burnishing easily occurs at a low built-up edge and under considerable drill wear. A built-up edge is formed in drilling on the margin face resulting in enlarging the effective drill diameter and preventing the burnishing. Recession of a cutting edge by wear accelerates burnishing because of an increase in margin contact with a hole wall. Hypereutectic Al-Si alloys particularly T6 treated permit a low built-up edge and considerable drill wear.

(Received December 28, 1982)

1. 緒 言

過共晶 Al-Si 合金は耐摩耗性、高温強度が大きく熱膨張係数が小さいなどのすぐれた性質により、摺動部品の軽量化材料として注目されている。しかし、本合金を採用する際の問題点の一つに、他のアルミニウム合金に比較して難切削加工性があげられる。このうち、旋削加工に関しては工具摩耗¹⁾、逃げ面付着物の生成²⁾、工具の耐摩耗性を向上させるための焼結ダイヤモンドバイトの使用³⁾、などの研究があり現象の解明と加工の改善がなされているが、穴あけ加工ではまだ検討を要する加工現象が残されていると考えられる。本報告は、このうち、トルクが大きくなり、きしみ音が発生する現象につい

て、被削材料および潤滑条件を変えて調べたものである。

2. 実験方法

被削材料は20% Si を含有する **Table 1** に示す組成の合金で、初晶けい素の微細化処理および T6 処理の有無を組み合わせた4種類と、比較材として AC8B-T6 材を用いた。穴あけ試験片は、直径57 mm、長さ330 mm の金型に鋳造、熱処理した後外周旋削と切断により直径53 mm、厚さ25 mm の形状とした。リン添加による微細化処理で、初晶けい素は10視野の最大粒径の平均値で150 μm が55 μm に微細化した。

穴あけ加工は直立ボール盤を用いて行い、ドリルは高

Table 1 Work materials

Material	Si (%)	Cu (%)	Mg (%)	Cr (%)	Ni (%)	Fe (%)	Al (%)	Refining treatment	Heat treatment	Hardness Hv (10 kg)
20Si	20.0	1.90	0.98	0.48	1.65	0.40	bal.	with (Si $\sim$ 55 μm)	T6 F	123 106
20Si	20.0	1.82	1.09	0.47	1.65	0.40	bal.	without (Si $\sim$ 150 μm)	T6 F	117 107
JIS AC8B	9.4	2.99	0.74	—	0.93	0.26	bal.	—	T6	125

* 軽金属学会第63回秋期大会 (57-11) にて発表した。

** 豊田中央研究所 (愛知県)。Toyota Central Research and Development Labs., Inc. (Aichi).

速度鋼 SKH9 で、直径 8 mm、先端角 118° 、ねじれ角 29° 、ストレートシャンクの市販品を用いた。

加工条件は切削速度 45 m/min、送り 0.11 mm/rev、乾式または不水溶性切削油、流下注油量 2 l/min の湿式とし、下穴なしの 25 mm 深さの貫通穴あけ加工である。

試験片を歪ゲージタイプのドリル動力計で保持して、穴あけ中の切削力を自動平衡型ペン書記録計および一部電磁オシログラフを用いて測定、記録した。穴径は深さ 12.5 mm の位置で、三点式マイクロメータを用い測定した。構成刃先およびドリルの摩耗は光学顕微鏡、走査電子顕微鏡を用いてそれぞれ付着高さ、摩耗量を調べた。

3. 実験結果とその考察

3.1 トルクの増加ときしみ音

トルクの変化と加工面の状態を Fig. 1 に示す。Fig. 1(a) は穴あけ開始から終了までのトルクの変化を示し、加工穴深さが増すとともにトルクおよびその変動幅が大きくなる。トルクはドリルが貫通した後も作用している。Fig. 1(b) はきしみ音を生じている時点のトルクの変動状態を電磁オシログラフで記録した結果で、ドリル 1 回転での白丸印でのピーク数と 2 回転目での黒丸印のピーク数から、ドリル 1 回転あたり 6 個のピークがみとめられる。この現象は、ドリルの各回転毎にそれぞれ繰り返し観察された。加工面は、たて断面を示した Fig. 1(c)、横断面の穴形概略図を示した Fig. 1(d) からわかるように、右ねじれの 3 条の光沢帯を有する真円度の低い穴である。2 枚刃のドリルが Fig. 1(d) の光沢面で擦過すると、ドリルは 1 回転あたり 6 回強く擦過することになり、Fig. 1(b) のトルク波形とよく対応している。

Fig. 2 はトルクの増加、きしみ音を発生している加工条件で、ドリルのマージン先端 l を残して後方の直径を細くしたドリルで穴あけし、 l を変えその時のトルクおよび拡大しろを調べた結果である。トルクはドリルの食付きが終了してから貫通するまでの平均値をとった。トルクは、 l が 10 mm までは l とともに増加し、それ以上ではほぼ一定となる。拡大しろは、 l が 3 mm 以下では l の減少とともに 0 に近づき、加工面の真円度も良好になる。一方、 l が 3 mm 以上では、拡大しろはほぼ -0.1 mm に一定しており、Fig. 1(d) に示したような真円度の低い加工面であった。

Fig. 1 および Fig. 2 に示す結果から、マージンの約 10 mm 長さにあたるかなり広範な部分が加工面との間で生ずるパニシングに関与しており、これがトルク増加、きしみ音発生の原因になっているのがわかる。

3.2 パニシングにおよぼす加工条件の影響

Fig. 3 は湿式の条件で、被削材料を変えた場合および穴あけ回数の増加がパニシングの発生におよぼす影響を

Fig. 1 Torque and hole profile at creaky noise occurrence.

Fig. 2 Relation between contact length of drill margin and torque, magnification size of hole diameter.

調べたものである。図中の丸印は 5 回まで、かけ印は 26 ~ 30 回加工した結果で、各被削材料とも 3 本のドリルを用いて繰り返し測定した。20% Si 材では、F 材に比べ T6 処理材が、また加工回数が 25 ~ 30 回の場合にそれぞれ拡大しろが小さく、トルクが大きくなっており、パニシングの発生が多い。一方、AC8B はトルクの増加、きしみ音の発生もなく、パニシングの発生はみとめられない。Fig. 3 の 20% Si 材は微細化処理をしていないが、微細化処理材もほぼ同様な結果となり、初晶けい素の微細化処理の有無による差はみとめられなかった。

20% Si-T6 材を用いて乾式時の拡大しろとトルクを測定した結果が Fig. 4 である。拡大しろはいずれもプラスであり、トルクが穴あけ深さとともに増加する現象は発生しなかった。5 回までに比較して 26 ~ 30 回目の穴あけ時のトルクが大きいが、30 回加工後のドリル逃げ面摩耗が約 0.1 mm となっており、これが原因したものと考えられる。

Fig. 3 Relation between magnification size of hole diameter and torque in wet drilling for different work materials, ○ and × indicate the number of drilled holes; three ($n=3$) equivalent drills were used.

Fig. 4 Relation between magnification size of hole diameter and torque in dry drilling of 20Si-T6, without refining.

Fig. 5 は、湿式ではパニングを生じているドリルを用い、これを乾式で穴あけし、湿式と乾式のトルク線図を比較した結果である。乾式では湿式にみられるようなトルクの増加現象はみとめられず、パニングも生じていない。

3.3 パニングと構成刃先、ならびにドリル摩耗
被削材料や潤滑条件によりパニングの発生しやすさが異なっている。この原因を調べるため、30回加工後のドリル刃先を観察した結果を **Fig. 6** に示す。ドリル切刃には構成刃先が付着しており、構成刃先は **Fig. 6 (a)** のように内径部ほど付着量が多くなり、チゼル部で最大になっている。**Fig. 6 (c)** はパニングに影響すると考える最

外周部切刃の二次電子像とその模式図で、構成刃先はすくい面上だけでなく、マージン面にも付着している。**Fig. 6 (b)** に模式化して示すように、マージン面の構成刃先はその高さ H_m だけ外径側に張出し、ドリルの見かけの径はそれだけ大きくなる。構成刃先を 10% HCl 水溶液で溶解除去した後、最外周部切刃を SEM 観察すると **Fig. 6 (d)** のようにすくい面、逃げ面、マージン面に摩耗を生じている。マージン面の三角状の摩耗により、切刃は後退し、ドリルのみかけの径はそれだけ小さくなる。

Fig. 7 は、被削材料、ドリル、潤滑条件を変えた穴あ

Fig. 6 Build-up edge and wear state of cutting-edge.

Fig. 5 Torque patterns with and without cutting-fluid.

Fig. 7 Relation between build-up edge height and magnification size of hole diameter

け加工を行い, Fig. 6(b)で定義したすくい面およびマージン面の構成刃先の付着高さ H_r, H_m と拡大しろの関連を調べた結果である。構成刃先の付着高さが増すと拡大しろは大きくなる。ここで, マージン面の構成刃先は, 穴あけ後ドリルを引き上げる際に加工面と擦過し脱落してしまうことが多いため, ドリルが貫通したままの状態加工を止め, ドリルおよび被削試験片をチャックから取り外して測定した。

Fig. 8 は構成刃先付着高さにおよぼす被削材料, 潤滑条件の影響を示す。AC8B に比較して20% Si 材が, 20% Si 材では T6 処理, 微細化処理した材料がそれぞれ付着高さが低い。また, 湿式穴あけ加工は乾式より付着高さが低い。

Fig. 9 は30回穴あけ加工した後のドリル摩耗を示す。ドリルの摩耗量としては, よく採用され⁴⁾ また測定が容易な主切削刃中央部の逃げ面摩耗幅をとった。各材料につき繰り返し3回実験したので, 6切刃の測定値の範囲と平均値を示した。AC8B に比較して20% Si 材はいずれも摩耗が大きい。20% Si 材では微細化処理なし, T6 処理材の摩耗が大きい。

Fig. 8, Fig. 9 から, 初晶けい素の微細化処理の有無の因子を除いて考えると, 構成刃先の付着高さが低く, ドリル摩耗の大きい被削材, 潤滑条件は Fig. 3~Fig. 5 で観察したバニシングを生じやすい条件とよく一致している。

3.4 バニシングの発生機構

バニシングにおよぼす構成刃先, ドリル摩耗の影響を確かめるため, あらかじめ摩耗している状態のドリルを用意し, 被削材料, 潤滑の有無を組み合わせた構成刃先の生成状態が異なる6条件を設定して穴あけを行い, バニ

Fig. 8 Influence of work materials and lubrications on build-up edge height.

Fig. 9 Influence of work materials on tool wear after drilling 30 holes.

シング発生の有無を調べた。**Fig. 10**はその結果で, ドリル摩耗は直径方向の切削の後退量ととり, 構成刃先は摩耗のないドリルで穴あけしたときのマージン面での付着

Fig. 10 Relation among burnishing tendency, tool wear and build-up edge.

高さの2倍の値をとった。パニシングの有無は、トルクが穴あけ深さの増加につれて大きくなるかどうかおよびきしみ音の状態から判断し、パニシングを生じた場合はかけ印、生じない場合は丸印で示した。図から、ドリル摩耗が大きく、構成刃先付着高さが低いとパニシングを生じやすいのが確認できる。

3.2項で、パニシングの発生におよぼす初晶けい素の微細化処理の有無の効果には有意差がみとめられないことを述べたが、これは構成刃先の生成しやすさとドリルの摩耗しやすさが相殺しあつてパニシングの生じやすさの差を小さくしたためと考える。

通常、切削加工ではSWC切削法⁵⁾のような一部の例外を除いて、構成刃先は、その生成、脱落により加工面を劣化させるため嫌われることが多い。本研究のように、過共晶 Al-Si 合金穴あけ時のパニシングに関して

は、構成刃先がその防止に有効に作用している少ない事例の一つと考えられる。

4. 結 論

過共晶 Al-Si 合金の F および T6 材につき、潤滑条件を変えて穴あけ加工を行い、穴あけとともにトルクが大きくなり、きしみ音が発生する現象について調べ、以下の結果を得た。

(1) ドリルのマージンと加工面とのパニシングによりトルクが増加し、きしみ音を生ずることがある。この場合、真円度不良の穴形状となり、トルクの変動がみとめられる。

(2) 構成刃先はドリルのマージン面にも生成し、外径方向に張出し穴径の拡大しるを大きくさせ、パニシングの発生を防止する。一方、ドリル摩耗による切刃の後退はパニシングの発生を助長する。

(3) 時効硬化材は F 材や AC8B 材に比較して構成刃先の生成が少なく、ドリルの摩耗が大きいためパニシングを発生しやすい。

参 考 文 献

- 1) たとえば、財満、稲葉、広野：軽金属，**22**(1972)，275.
- 2) たとえば、財満、北村：日本金属学会誌，**36**(1972)，205.
- 3) 手島、高田、勝又：精機学会昭和57年春季大会講演概要，546.
- 4) 金井、井口、大野、高部：機械技術研究所所報，**27**(1973)，137.
- 5) 星光一：金属切削 構成刃先について，工業調査会，(1960)，97.