特 集 号

研究論文

AZ31マグネシウム合金押出棒の穴あけに及ぼす ドリルマージン幅の影響

嵯峨 常生*・松澤 和夫*
永井 修次*・小川 誠**

Effect of drill's width of margin on drilling of AZ31 magnesium alloy bar

Tsuneo SAGA*, Kazuo MATSUZAWA*
Shuji NAGAI* and Makoto OGAWA**

Effects of drill's width of margin and back taper on the deep drilling of AZ31 magnesium alloy bars have been investigated. The reduction of drill's width of margin produced remarkable effects such as the improved chip discharge, the reduced cutting resistance, the significantly improved machined surface and the restrained outlet burr creation. These effects enabled the drilling into deeper parts easily. The similar effect was also obtained by giving back taper to a drill. To conclude, the reduction of drill's width of margin as well as back taper given to a drill are extremely effective to improve both the safety in drilling and drill's tool life.

Keywords: AZ31 magnesium alloy, cutting resistance, width of margin, drilling, back taper

(Received June 9, 1992)

1. 緒 言

地球環境問題への関心が高まっている昨今、実用金属中最も軽量で比強度、比耐力が大きく、振動吸収性が良いなど優れた特性を有しているマグネシウムおよびマグネシウム合金は非常に注目されている。特に自動車部品、航空宇宙関係部品など軽量化メリットを必要とする分野でその需要は増加傾向にある。それに伴い切削加工面からの検討が重要となってきた。しかし、本系合金の切削に関しては、他の金属材料に比べて切削抵抗が小さく、一般に機械加工性は良いという概念から、従来本系合金の切削加工に関する研究報告^{2)~7)}は、少ないのが現状である。

そこで、本研究はAZ31マグネシウム合金押出棒を供試材とし、機械加工の中でも重要な加工法の一つである穴あけ加工を行い、穴あけ加工時、特に深穴加工の際生

じる切りくず詰まりに着目した。切りくず詰まりに起因する種々の問題（切削抵抗の増大、仕上げ面の劣化、切りくずの排出不良など）解決の方策としては、

- 1) ステップフィード法
- 2) すくい面にブレーカをつける方法
- 3) 切れ刃にみぞを設ける方法
- 4) 中間まで穴あけし、ドリルをいったん引上げ再度穴あけする方法
- 5) ドリルのマージン幅を小さくする方法

などが考えられるが、これらのうち、主にドリルのマージン幅の面より実験的に検討を行ったものである。

2. 実験方法

供試材として用いたAZ31マグネシウム合金押出棒の化学組成をTable 1に、押出方向に対し平行な顕微鏡組織写真および機械的性質をFig. 1, Table 2に示す。

* 東京都立工業高等専門学校（東京都）。Tokyo Metropolitan Technical College (Shinagawa-ku, Tokyo).

** 芝浦工業大学（大宮市）。Shibaura Institute of Technology (Omniya-shi, Saitama).

Table 1 Chemical composition of specimen (mass%)

Al	Zn	Mn	Fe	Si	Cu	Ni	Be	Mg
3.1	0.8	0.28	0.0035	0.02	0.002	0.0004	0.0015	Bal.

Fig. 1 Micrograph of AZ31.

Fig. 2 Torque and thrust diagrams obtained experimentally.

試料形状は直径30 mm で、厚さは使用ドリル径 D=8 mm に対し 5 D すなわち 40 mm とした。

穴あけ試験は、直立ボール盤（吉田鉄工：YGD-900CT）を用い、ドリルは標準ねじれ刃ドリル（材質：超硬合金、全長：85 mm、溝長：50 mm、先端角：120°、ねじれ角：30°、ドリル径：8 mm）の外周に Table 3 に示すマージン幅およびバックテーパーを有する 4 種類のものを使用した。マージン幅およびバックテーパーの設定に当たっては、Table 3 中▲印すなわちマージン幅 0.63±0.02 mm のドリルを基準とし、マージン幅については、基準のものの 50%（■印）、20%（●印）にしたもの、バックテーパーに関しては基準（バックテーパー 0.06~0.08/100）の 200%（◆印）にしたものを用意した。穴あけに際しては Table 4 に示す切削条件のもとで、Fig. 1 の押し出し方向と平行に貫通穴あけを行い、その際の切削抵抗は Fig. 2 に示すように穴あけ時に得られたトルク、スラスト線図より求めた。また、出口ばり高さの測定、穴仕上げ面の SEM 観察なども行った。

Table 2 Mechanical properties of specimen

Tensile strength (MPa)	Proof stress (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HRF)
308	239	19.7	67.7

Table 3 Shape and dimensions of drills

Mark	Width of margin	Back taper
●	0.13±0.02	0.06~0.08/100
■	0.32±0.02	0.06~0.08/100
▲	0.63±0.02	0.06~0.08/100
◆	0.63±0.02	0.14~0.16/100

Table 4 Cutting conditions

Number of revolution (rpm)	1500
Cutting speed (m/min)	38
Feed (mm/rev)	0.1 0.2 0.3
Cutting fluid	None

Fig. 3 Relation between depth of hole and cutting resistance.

3. 実験結果および考察

3.1 切削抵抗および切削比

Fig. 3 には厚さ 40 mm の試料をマージン幅およびバックテーパーの異なるドリルを用い、切削速度 38 m/min (1500 rpm)、送り 0.3 mm/rev、乾式で貫通穴あけした

ときの切削抵抗（トルク，スラスト）と穴深さの関係を示す。これよりトルクは穴あけ深さが24 mm（3 D）までの浅穴部分では，使用ドリルの如何にかかわらず安定した切削が行われており，トルクの増加割合もさほど大きくなく，中でも基準として用いたドリルでの穴あけ加工時のトルクが一番大きく，初期トルク値に対して約1.7倍を示した。穴深さが24 mm（3 D）を超えると，いずれの場合もトルクは漸増し，トルクの最大値を示す。深穴になるとトルクが著しく増大するのは，ドリル溝に詰まった切りくずが穴内面と激しく擦ったためと考えられる。このことはFig. 2に示すようにドリルが貫通後もトルクがかなりの大きさで残存し，ドリルを戻す際には引抜き抵抗が記録されることから容易に確認できる。残存するトルクすなわち摩擦トルクは，送り0.3 mm/rev で穴あけしたとき，基準として用いたドリルに対し，マージン幅を50%，20%また，バックテーパを200%設けることにより，それぞれ37.6%，45.9%，45.9%減少させることができた。なお，この摩擦トルクは厚さ8 mm（D），16 mm（2 D），24 mm（3 D）の供試材を穴あけしたときにはほとんど認められなかった。マージン幅およびバックテーパの影響についてみると，基準として用いたドリルに対し，マージン幅を減少させバックテーパを増大させることによりトルクを軽減させることができ，トルクが最大値を示す穴の位置も，より深穴部分まで穴あけ加工が容易になることが認められた。この傾向は送りが小さいほど，より顕著であった。スラストは，いずれのドリル使用に対しても穴深さに関係なくほぼ一定の値を示した。

Fig. 4 Effect of feed on torque.

Fig. 4 には，各切削条件のもとで得られた初期トルク，最大トルクと送りの関係を示す。穴あけが安定した状態で行われているときは，ドリル形状にかかわらずほぼトルクは送りに比例して増大している。しかし，トルクの最大値にはドリルのマージン幅およびバックテーパの影響が顕著に認められ，たとえば送りが0.3 mm/rev のように高送りのとき切りくず詰まりが原因となり，基準のドリルを用いたときは初期トルクの4.6倍のトルク値を示したが，マージン幅を20%にしたものは定常状態での切削時の2.4倍，バックテーパを200%にしたものは2.85倍となり，マージン幅を狭くすること，バックテーパを設けることの著しい効果が認められた。

Fig. 5 には Fig. 3 と同一切削条件のもとで貫通穴あけしたときに得られた切削比，切りくず厚さに及ぼす穴深さの影響を示す。切削比を求めるに際しては得られた切りくず外縁厚さを測定したが，切りくずがドリル溝に充満し，切りくず詰まりが生じ，塊状になったものについては，これを解いて切りくずの外縁厚さを測定し次式により求めた。

$$C_h = h/h_c$$

ここで，

C_h ：切削比

h ：切削厚さ

h_c ：切りくずの外縁厚さ

なお，切りくずの外縁厚さを測定したのは，ドリルの切れ刃の外側で切削された部分はバイトなどの普通の切削工具とそれほど変わらないと考えられるすくい角の大きい箇所と近似しているからである。得られた切削比は使用ドリル形状にかかわらず，いずれも深穴になるにつれ

Fig. 5 Effect of depth of hole on cutting ratio and chip thickness.

Fig. 6 Pictures of chip forms obtained by drilling.

- (a) Conical helical chip
- (b) Fan-shaped broken chip
- (c) Helical chip with long pitch
- (d) Blocked chip

わずかながら減少傾向を示すものの、その値は約0.8～0.9ときわめて大きいことから、本供試材は良好な切削が行われていることが裏付けられた。

3.2 切りくず形状

Fig. 6 には、穴あけ加工時に得られた代表的な切りくずを排出順に示す。穴深さが24 mm (3 D) までの浅穴部分では、切削時のトルク、スラストともに一定した定常状態での切削が行われており、排出される切りくずは初期に円錐らせん形(a)、ついで穴周壁の拘束を受けると切りくずは円錐らせん形になりきれずに折れて扇形(b)となっており、この段階まではきわめて良好な切削が行われていると考えられる。穴深さが24 mm (3 D) を超える深穴になるとトルクは漸増し、トルクの漸増過程で長ビッチ形(c)の切りくずが認められ、トルクが最大値を示す近傍では、扇形切りくずは排出が困難となりドリル溝に詰まり塊状(d)となり、穴あけ加工の際の難かしい問題を生じる。このように穴あけ性能の良否は、切りくず形状に端的にあらわれる。そこで、ドリルマージン幅を減少させドリル外周と穴壁との摩擦を少なくし、バックターペを設けることによって、切りくず排出性を良好にすることが有効であると考えられるが、これらの改善策はさらに切削抵抗を減少させ、仕上げ面粗さを向上させ、ドリル寿命の延長にも良好な結果をもたらすものと思われる。

3.3 SEM による穴あけ仕上げ面の観察結果

Fig. 7 には一例としてマージン幅0.32 mm のドリルを用い、送り0.2 mm/rev で穴あけしたとき得られた仕上げ面の SEM 観察結果を示す。(a)は、穴深さ0～20

Fig. 7 SEM micrographs of drilled surface.

- (a) Depth of hole: 0～20 mm
- (b) Depth of hole: 20～40 mm

Fig. 8 SEM micrograph of drilled surface observed at about the maximum torque.

mm の浅穴部分の仕上げ面状態である。仕上げ面は非常に良好で金属光沢を呈し、送りマークも鮮明に認められる。このことは穴あけ時の切削抵抗が安定しており、切りくず排出もきわめて順調であったことを明らかに示すものである。(b)は穴あけ時トルクが漸増し、仕上げ面に対し切りくず詰まりの影響が顕著に認められた20～40 mm の深穴部分の仕上げ面状態である。仕上げ面は劣化しているのが観察される。Fig. 8 は最大トルク値近傍を詳細に SEM 観察した結果である。これより塊状切りくず発生により、切削の際ドリルと供試材との間に相対振動が生じ、切削仕上げ面に周期的な波形のマークす

Fig. 9 Effect of width of margin on burr height.

なわちびびりが観察された。また、びびりマークの上部には、切りくずが深穴部分で拘束されて塊状となり、穴内面と激しく擦すられ排出の際、一部基地の部分を引きかき持ち去ったような状態のくぼみを呈した箇所およびその近傍が塑性流動しているのが認められた。このような原因により深穴部分の仕上げ面は劣化することが明らかとなった。以上のことより、良好な仕上げ面を得、穴精度を向上させるためには、前述したようにドリルのマージン幅を狭くし、バックテーパーを設けることは非常に有効である。

3.4 バリの高さ

Fig. 9 には、マージン幅の異なる 4 種類のドリルを用い送り 0.1, 0.3 mm/rev で穴あけを行ったときの穴出口に生じるバリの高さを示す。バリの高さの測定は山本ら⁸⁾の手法によった。これよりマージン幅が 0.63 mm の基準ドリルを用い穴あけを行ったときに比べ、マージン幅を狭くすることにより、また同一マージン幅のものでバックテーパーを設けることによりバリの高さの抑制が可能となった。また、同一ドリルを用い穴あけしたときのバリの高さに及ぼす送りの影響をみると、送りの大きい方がバリの高さは大きい。これらのことは、貫通時の切削抵抗の大小にバリの高さは大きく依存していること

を示唆するものである。

4. 結 言

AZ31 マグネシウム合金押出棒を供試材とし、標準ねじれ刃ドリル（超硬）のマージン幅およびバックテーパーが穴あけに際し如何なる影響を及ぼすかについて検討を行い、次の結果を得た。

(1) マージン幅を狭くすることにより、切りくずの排出性が改善され切削抵抗が減少し、仕上げ面が良好となり出口バリの発生抑制にもなり、より深穴部分まで穴あけ加工が容易となることが明らかとなった。また、バックテーパーを設けることによっても同様な結果が得られた。

(2) SEM 観察によると、浅穴部分では切削抵抗が安定しており切りくず排出も順調なため、仕上げ面はきわめて良好であるが、深穴部分では切りくず詰まりに起因したと思われるびびりマークあるいはくぼみ、基地の塑性流動が観察された。

以上のことより、ドリルマージン幅を狭くしバックテーパーを設けることは、穴あけ加工時の安全性、工具寿命向上などの観点から著しい効果が期待される。

本研究を遂行するにあたっては、一部財軽金属奨学会研究補助金によった。また、供試材は宇部興産株式会社より、ドリルは東芝タンガロイ株式会社より提供を受けた。付記して深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 栗原健助, 菊地庄作: 軽金属, **16** (1966), 188.
- 2) 森永卓一, 財満鎮雄, 飯尾政次: 軽金属, **17** (1967), 225.
- 3) 財満鎮雄, 加茂 進, 広瀬喜興: 軽金属, **18** (1968), 88.
- 4) 栗原健助, 杜沢達美, 加藤 一: 軽金属, **31** (1981), 255.
- 5) 藤井恒弥, 小林由定: 軽金属, **34** (1984), 215.
- 6) 時末 光, 加藤数良, 塗谷紘宣: 軽金属, **37** (1987), 542.
- 7) 嵯峨常生, 永井修次, 佐藤英一郎: 軽金属, **41** (1991), 232.
- 8) 山本章裕, 藤尾哲一, 三宅輝明: 精密機械, **51** (1985), 590.