アルジルの穴明けおよびリーマ加工について

森永 卓一* 財満 鎮雄** 中野 正興***

On the drilling and the reaming of alusil

(UDC 669. 715, 782: 621. 9, 011)

MORINAGA Takuichi* · ZAIMA Shigeo** · NAKANO Masaoki***

Drilling and reaming tests were conducted to discuss the machinability in cutting resistance, working time, accuracy in the size of worked hole, etc. on modified high silicon aluminum cast alloy, called "Alusil."

The results showed that drilling resistance, in particular, thrust was extraordinarily high in Alusil, and the constant load required for drilling of Alusil was much greater as compared with that of general wrought aluminum alloys or no modified aluminum-silicon cast alloys. The drilling resistance was higher in heat-treated material than in as cast, and the resistance of the material in graphite mould was higher than that of the material in metallic mould. There was found a reciprocal relation between the torque and the drilling time under constant load and the above relation agreed with the results of the experiments in the past.

On the other hand, in reaming of Alusil, the thrust was rather small and the torque was very large. Also, in this case, the reaming resistance was higher in heat-treated material than in as cast, and the resistance of the material in graphite mould was higher than that of the material in metallic mould. The diameter of reamed hole was fairly larger than that of reamer, and the distortion in the size of the hole diameter was often recognized. However, the above distortion in heat-treated material was smaller than that in as cast material.

(Received Oct. 22, 1966)

1. 緒 言

けい素20%を含むアルミニウム—けい素合金鑄物は実用合金としては鑄造時に改良処理を施したものをいわずアルジルと称している。アルミニウム合金鑄物の JIS 規格改訂に当って新設合金の提案がされたが、時期尚早との判断によって次回まで持ちこされたものの、現在のところ3年間に約 384 t の使用量が推定されるように需要が大きくなってきている¹⁾。アルミニウム合金のうちでも熱膨張係数が最も低いものに属すること、耐摩耗性および高温強度がかなり大きいことなどの特徴があるので、ピストン、シリンダブロック、プレーキドラムなどに使用されている。その特性についても各方面で検討されてきているが、機械加工性については十分な資料もなくその実態は明らかにされていない。しかし、微細な初晶のけい素の存在が加工に際し種々の問題をじやつきするだろうことは予想されることである。著者らはさきにけい素 1~30% 範囲のアルミニウム—けい素合金鑄物を溶製してその旋削被削性²⁾ および穴明け被削性³⁾ を検討し、加工性におよぼすけい素の影響としてけい素添加量が増加するに従って切削抵抗の減少が認

められるとしたが、津田、小野らは高い素合金鑄物の旋削の際改良処理を施したものでは切削抵抗はかえって上昇することを示した。著者らもアルジルの旋削被削性を検討し、切削速度がとくに上昇すれば軟鋼材にもみられないような激しい工具摩耗をていすることを示した⁴⁾が、加工現場での難点がじゅうぶん察せられた。

本報においては前報に引続いて、アルジルを試料対象として穴明け、リーマ加工などの試験を実施し、穴明け抵抗、リーマ抵抗、穴明け時間、リーマ時間などの点から加工性を検討する目的で実施した結果の報告である。

2. 供試試料

供試試料としては **Table 1** の化学成分をもつ2種の過共晶合金を使用した⁵⁾が、いずれも船形試験片を厚さ15mm に切断仕上げたものである。そしてこれらの試料は初晶けい素の微細化剤としてニューアルミン No.220⁶⁾ を用いて処理を施してある。このうちアルジル No.1 は金型鑄造後 T 4 処理を施したものについて、またアルジル No. 2 は金型鑄造のものとグラフアイト型鑄造のものをそれぞれ鑄造のままの F 材と T 4 処理を施したものについて検討した。

* (社) 軽金属協会常任顧問 工博 Tech. Adv., Japan Light Metals Society, Dr. Eng.

** 静岡大学工学部教授 工博 Prof., Faculty of Engineering, Shizuoka University, Dr. Eng.

*** 東京電気化学工業㈱ TDK Electronics Co. Ltd.

その組織はたとえばアルジル No.2 の F 材では **Photo. 1** のように初晶けい素は板状に微細化しているが、組織の微小かたさ(試験荷重 100gr)を求めてみれば、**Table 2** のように板状けい素の部分は金型材でピッカースかたさ Hv=1059, グラファイト型で Hv=1013 となり、基地の部分はけい素の小さい結晶部分も含まれているが金型材で Hv=135, グラファイト型材で Hv=110 となり、柔かい基地に非常にかたい微粒が多量散在した組織であることがわかる。T 材についても同様で **Table 2** のように測定された(これらの値はいずれも 5 回の測定値の平均である)。なお、マクロ的な普通のかたさ測定法によればピッカースかたさ(荷重 10kg) Hv=120 となり、アルミニウム合金のうちでは比較的高い値ではあるが、格別高い値ともいえない。

このように特有な組織のため前報³⁾でも示されたように、きわめて遅い切削速度では切削抵抗もあまり大きくなく工具摩耗も著しくないが、高速切削になるとバイト

Table 1 Chemical compositions of specimen used.

	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mg (%)	Mn (%)	Ni (%)	Ti (%)	Al (%)
Alusil (1)	18.4	0.21	1.71	0.41	0.01	0.32	0.15	bal
Alusil (2)	23.5	0.25	2.35	0.98	0.02	0.74	0.02	bal

Metal mould

Graphite mould

Photo. 1 Microscopic structure of alusil No. 2, F-material (×600)

はかたい微粒を多量含む粘性体を高速で吹付けられたようになり、あたかも液体ホーニングを受けたように激しい工具摩耗をていする原因となるように思われる。しかし、本報の孔明けおよびリーマ加工では工具直径が比較的小さいので回転数をかなり高くしても切削速度はあまり高くなりず、工具摩耗がとくに目立つまでにはいたらなかった。

3. 実験要項

穴明け方式には一定送り速度穴明け方式と一定押付力穴明け方式を採用し⁷⁾前者は精巧社製卓上ボール盤(主軸回転数 168~2520rpm)により、高速度鋼(SKH9)製 6 mm φ ドリル(先端角 118°, リツプクリアランス 12°, ねじれ角 30°)を使用し、回転数を 630, 1350 および 2330 rpm (従って切削速度はそれぞれ 11.9, 25.4 および 44.0 m/min となる)の 3 種類、送りは 0.05, 0.07, 0.09 および 0.115 mm/rev の 4 種類を適宜組合せて、穴明け条件を変化した。後者は並木製タツパー兼用ボール盤 NTD-340 型(168~2520rpm)を用い、同様に 6 mm φ ドリルを使用し、押付力を 156.0, 231.0 および 306.0 kg/cm の 3 種類、回転数を 540, 1100 および 2520 rpm (従って切削速度はそれぞれ 10.0, 20.4 および 48.5 m/min)と変化して穴明け条件を変えた。いずれも乾式穴明けである。

穴明け抵抗はさきに報告した 2 分力測定用工具動力計⁸⁾により、穴明け時間はペン書きオツシロに記した 2 分力の力線図のタイムマークより求めた。

リーマ加工にも一定送り速度方式と一定押付力方式の両者⁹⁾を採用し、前者では精巧社製ボール盤に **Fig. 1** に示した 8.5 mm φ ハンドリーマを取付け、回転数 630 rpm (切削速度 16.8 m/min) 一定とし、送りを 0.145, 0.189 および 0.261 mm/rev の 3 種類にとつた。後者の場合は前記並木製ボール盤に 8.5 mm φ リーマを取付け、押付力を 28.3, 31.3 および 35.8 kg・cm と変化し、回転数を 336, 540 および 1100 rpm (切削速度 9.0, 14.4 および m/min)に変化して適宜リーマ加工条件を変化した。なお、両者の場合とも下孔の径を 8.2, 8.3 および 8.4

Table 2 Micro-hardness in structure.

Material	Micro-hardness Hv (100gr)		Vickers hardness Hv (10kg)
	Primary silicon crystal	Matrix	
Metal mould, F-material	1059	135	120
Metal mould, T-material	1073	119	130
Graphite mould, F-material	1013	110	123
Graphite mould, T-material	1008	93	128

mm ϕ としてリーマ代をそれぞれ 0.3, 0.2 および 0.1 mm と変化した。

リーマ抵抗の測定には穴明け抵抗の測定に使用した前記 2 分力測定用工具動力計と同様原理の試作 工 具 動 力 計⁹⁾を使用した。

4. 穴 明 け

一定送り速度穴明けの場合送り f と穴明け抵抗 (スラスト Tr およびトルク Tq) の関係は試料 No. 1 では Fig. 2 のようになる。この場合とくにスラストが 56 S-F, 17 S-F などの展伸材に比べて約 3 倍程度の大きい値を示すのが特徴であり、送りの増加に応じてスラストが上昇するのが明瞭に認められたが、トルクの値は上記展伸材の約 2 倍程度の大きさで送りによるトルクの増加もさほど明瞭ではなかった。このことはアルジル No. 2 と試料がかわつても同様の傾向をとり、また熱処理によって抵抗の値は変化こそすれその傾向は同じである。すなわち、Fig. 3 は試料 No. 2 の金型材、グラファイト型材について F 材、T 材を切削速度 $V=25.4$ m/min (1350 rpm) の場合について比較したものである。これから T 材は F 材に比べスラストで約 1.5 倍、トルクで約 2 倍の値

Fig. 1 Dimension of hand reamer used.

Fig. 2 Relation between feed and drilling resistance under constant feed drilling in the case of Alusil No. 1.

をとり、金型材の方がグラファイト型材に比べてやや切削抵抗は小さい値を示すことがわかる。切削速度が $V=11.9, 44.0$ m/min と変化しても同様のことがいえるが、切削速度の上昇につれてスラスト、トルクともにしだいに減少するようである。

一定押付力穴明けの場合の切削速度 V と穴明け抵抗 (スラスト Tr およびトルク Tq) および穴明け時間 S の関係については、たとえば試料 No. 1 では Fig. 4 のようになる。前述の場合にスラストが大きかったのに対応して、穴明けに要するドリル押付力が展伸材あるいは改良処理を施さないアルミニウム-けい素合金鋳物の場合に比べて非常に大きくなっているのが見られる。ここで、押付力はスラストと釣合っているので⁹⁾ 切削速度にかかわらずほぼ一定の値のスラストを示すことは納得がいくが、材料の穴明け被削性を直接反映するトルクは切削速度の上昇とともにまた押付力の増加とともに上昇するようである。一定押付力のもとでトルクが大きくなることはドリル一回転当りに切削に関与する材料の増加を意味するので、それだけ穴明け能率は向上することになるので、単位深さの穴明けに要する時間すなわち穴明け時間 S (sec/cm) を求めればトルクの変化と相反関係にあり、切削速度の上昇とともにまた押付力の増加とともに穴明け時間は短縮されている。これらのことは試料 No. 2 においても F 材、T 材を通じて、また金型材、グラファイト型材を通じて認められるが、たとえば切削速度 $V=48.5$ m/min (2520 rpm) の場合 Fig. 5 のように F 材と T 材ではスラストには著しい差はない。これはスラストが押付力に釣合うため当然である。トルクは T 材が F 材より大きい値を示し、穴明け時間は F 材が T 材より小さい値を示すが、それぞれ F 材、T 材においてはグラフア

Fig. 3 Comparison drilling resistance between F-material and T-material under constant feed drilling in the case of Alusil No. 2.

イト型材が金型材より小さいトルクを示し、穴明け時間は大きくかつトルクと穴明け時間は相反関係にある。

アルジルは穴明け後時日の経過につれて孔径が変化し、穴明けの際のドリルが通らなくなることがしばしばあるようにいわれているので、その間の事情を検討した。たとえば試料No. 2, グラファイト型F材において穴明け直後および穴明け後2週間の穴付近の同一場所の組織を示せばそれぞれ **Photo. 2 (a)** および **(b)** のようになる。前述のように柔かい基地に非常にかたいけい素微粒が散在するので、穴明の際穴付近ではドリルに強制されて多少圧縮されていた組織が、残留応力のためであろうか、けい素粒子が2週間後にわずかではあるが移動しているようである。従つて、穴の寸法的な経時変化が認められることも合点がいくが、実際には真円の孔はえられにくいので経時変化を定量的に表示するにはいたらなかった。

5. リーマ加工

一定送り速度リーマ加工の際のリーマ代 b とリーマ抵抗(スラスト Tr およびトルク Tq)の関係は試料No. 1では **Fig. 6** のようになる。リーマ加工では下孔の直径が

Fig. 4 Relation between cutting speed and drilling resistance under constant feeding load drilling in the case of Alusil No. 1.

比較的大きく、とり代があまりないのでスラストは図にみるように一般に小さく、リーマ代の増加とともにわずかではあるがスラストの増加が認められる。一方、トルクはかなり大きい値を示し、リーマ代の増加に応じてトルクも増加し、場合によっては穴明けのトルクに匹敵する場合もあるようである。また、**Fig. 7** は試料No. 2 金型の場合にF材とT材を比較したものであるが、F材はT材よりスラスト、トルクともにやや小さく、その傾向は **Fig. 6** と同様である。リーマ代の増加とともにスラスト、トルクは増加し、かつ送り速度の大きい方が大きい値を示す。このことはグラファイト型でも同様であるが、切削抵抗は金型よりやや大きい値を示した。

リーマ加工された穴は詳細にみればリーマ外径よりやや大きくなっているのが普通であるので、工具顕微鏡によつてそれぞれ次式により穴の拡大 g および穴のひずみ

Fig. 5 Relation between drilling load, drilling resistance and drilling time under constant feeding load drilling in the case of Alusil No. 2.

Photo. 2 Comparison of structure in drilled zone.

e を求めた。すなわち、

(穴の拡大) = (加工穴の最大径) - (リーマ外径)

(穴のひずみ) = (加工穴の最大径) - (それと直角方向の孔径)

たとえば試料 No. 2 F材については Fig. 8 のようになる。T材についても同様な測定を行なったが、これらを通じていえることは孔の拡大は送り速度の影響は顕著ではなく、リーマ代の増加に対しては全般的に減少の傾向にある。また、金型、グラフアイト型の差も明瞭ではない。穴のひずみはF材では比較的大きい場合もあるが、T材では小さいようで、このことは熱処理による組織の均一化もその原因の1つであろう。

一定押付力のリーマ加工ではリーマ代 b とリーマ抵抗の関係を試料No. 2 グラフアイト型F材について求めれ

Fig. 6 Relation between depth of reaming and drilling resistance under constant feed drilling in the case of Alusil No. 1.

Fig. 7 Comparison reaming resistance between F-material and T-material under constant feed reaming in the case of Alusil No. 2.

ば Fig. 9 のようになる。押付力一定ではあるが、図にみるように穴明けの場合程うまく押付力がスラストと釣合うところまでにはいたつてはいないものの、大体において切削速度にかかわらずリーマ代によってスラストは大きく変化しない。トルクはリーマ代が大きくなるとやや減少するようで、かつ切削速度の上昇とともに全体として低下する。また、単位深さの穴のリーマ加工時間 S は逆にリーマ代の増加とともに上昇し、大局的にみれば押付力が増加すればリーマ加工時間は減少するが、変化傾向は穴明けの際認められたトルクと相反的な規則性に比べれば明確とはいえなかつた。

一方、同一試料 No. 2 グラフアイト型でも T材 では Fig. 10 のようになり、スラスト、トルクではやや T材の方が大きい感じはするが大差ないのに対し、リーマ加工時間は図にみるようにとくに切削速度の遅い $V = 9.0 \sim 14.4 \text{ m/min}$ のときにリーマ代が大きくなると非常に大きい値を示し、押付力が小さいほどはなはだしかつた。

次に、リーマ代をたとえば $b = 2.0 \text{ mm}$ 一定とした試料 No. 2 T材における押付力一定のリーマ加工において切削速度と穴の拡大 g 、穴のひずみ e の関係を求めてみれば Fig. 11 のようになる。この場合も穴の拡大は押付力の大きさによってあまり影響されず、かつ切削速度の影響も顕著ではなくまた金型、グラフアイト型の区別も著しくないが、全般として比較的大きい穴の拡大を示している。一定送り速度リーマ加工の場合に比べて顕著ではないがやや穴の拡大は小さいようである。穴のひずみ e はF材に比べT材は小さく、かつ切削速度は大きく押付力は大きい方が全般的にみて穴のひずみも小さい値を示すようである。

6. 総 括

以上、アルジルについて穴明けおよびリーマ加工の際の特性を検討したが、要約すれば、

1° 改良された高い素合金鋳物ではきわめてかたい

Fig. 8 Relation between depth of reaming, enlargement and elliptic rate of hole under constant feed reaming in the case of Alusil No. 2.

初晶けい素が非常に軟かい基地に細かく分布されていて、マクロ的な普通のビッカースかたさ試験ではその特徴がつかみにくい、この組織の状態が前報でも示したようなとくに高速切削の際の種々の障害の原因になると思われる。

2° 一定送り速度穴明けではアルミニウム展伸材、改良処理をしないアルミニウム-けい素合金鋳物などに比べるとくにスラストがきわめて大きい値を示す。F材とT材とでは後者の方がスラスト、トルクとも高い値を示す。また、金型材に比べてグラファイト型材の方が切

Fig. 9 Relation between depth of reaming, reaming resistance and reaming time under constant feeding load reaming in the case of Alusil No. 2, graphite mould, T-material.

Fig. 10 Relation between depth of reaming, reaming resistance under constant feeding load reaming in the case of Alusil No. 2, graphite mould and reaming resistance.

Fig. 11 Relation between cutting speed, enlargement and elliptic rate of hole under constant feeding load reaming in the case of Alusil No. 2.

削抵抗はやや高い値をとる。

3° 押付力一定穴明けでは穴明けに必要な押付力はアルミニウム展伸材、改良処理なしのアルミニウム-けい素合金鋳物などに比べるときわめて高い値を示した。この場合トルクと穴明け時間はとくに大きい値でもないが両者間に相反関係があり、従来の結果と一致した。また、T材はF材に比べて大きいトルクの値を示し、穴明け時間は後者の方が小さい。

4° 穴明けの際穴周辺の組織をみれば前述のような組織の特有性のためドリルにより押しのけられたかたい微粒が時日の経過とともに旧に復する傾向が認められるよう、穴寸法の経時変化が認められる。

5° 送り速度一定のリーマ加工ではスラストは比較的小さいが、トルクは非常に大きい値を示し、F材に比べT材の方が、金型材に比べグラファイト型材の方がリーマ抵抗は大きかった。また、孔の拡大量もかなりあり、穴のひずみも認められるが、T材の方がF材より穴のひずみは小さかった。

6° 押付力一定のリーマ加工ではF材に比べT材ではリーマ代が大きくなると穴明け時間がとくに大きくなった。

本報はその費用の一部を日本総合鋳物センター委託研究費によった。付記して深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 森永：鋳物，**37**，5 (1965)，442
- 2) 財満，飯尾，佐野：鋳物**37**，1 (1965)，57
- 3) 財満，加茂，桜田：鋳物，**37**，2 (1965)，108
- 4) 津田，小野：鋳物，**36**，9 (1964)，138
- 5) 森永，財満，飯尾：日本金属学会誌，**30**，5 (1966)，463
- 6) 商品名 (赤リン微細化剤)，小木曾鋳材研。
- 7) S. Zaima: Proc. 8 th Japan Cong. Test. Mat., (1965)，78.
- 8) 財満，加茂，松山：軽金属，**16**，77 (1966)，140