低圧鑄造鑄物の切削加工についての一考察

財満 鎮雄* 加茂 進** 川松 英司***

On the turning and the drilling of the low pressure die castings

(UDC 669.715-14: 621.9.011)

ZAIMA Shigeo* KAMO Susumu** KAWAMATSU Hideshi***

It is supposed that there will be considerable variation in the mechanical properties (especially in machinability) of low pressure die castings according to their casting conditions such as temperature of dies, casting temperature, casting pressure, etc. In this paper, there is reported on the experiments pursued for the purpose of observing the practical state of the machinability of low pressure die castings and also examining the effects of casting conditions (especially, the casting pressure) on their mechanical properties. Lualt and copper silumin were used for the specimens for cutting tests. The machinability was discussed by cutting resistance, roughness of finished surface, and chip formation in turning and drilling.

As the results, the low pressure die castings of lualt and copper silumin showed good machinability from the viewpoint of cutting resistance in turning; especially, the latter showed much better results. The cutting resistance seemed to be slightly larger at the higher casting pressure, but the roughness of finished surface was not so good owing to troublesome for mation of built-up edges under some conditions. However, the surface of copper silumin showed better results than that of lualt. The machinability in drilling was also examined and it was found that the results in drilling were corresponding to those in turning.

(Received May 4, 1966)

1. 緒 言

最近、アルミニウム合金鑄物の鑄造法として低圧鑄造法が研究され実用化の段階に入ってきている。従来から採用されている砂型鑄造法、普通の金型鑄造法、シエルモールド法などでは製品としては不要である押湯や湯口などを適当に付けなければ健全な鑄物をえにくかった。しかし、低圧鑄造法によれば押湯部分がきわめて少なくすみ歩留りの向上が著しく、しかも機械的性質もよく信頼性の高い製品がえられるといわれている。また、金

型温度、鑄込温度、加圧条件など鑄造方案によつてえられた低圧鑄造品には機械的性質のうちたとえば引張強さ、伸びなど比較的静的な性質には鑄造方案の差があまり大きくは効かないようである。本報では低圧鑄造品の被削性の大要を知ると同時に、主として鑄造方案のうち加圧力の差が鑄造品の機械加工性におよぼす影響を求め、2～3のアルミニウム合金について検討するを目的とした。被削性を検討する際には旋削における切削抵抗、工具寿命、切削仕上面、切屑処理などによることが多く、孔明けあるいはフライス削りなどについて求め

Table 1 Chemical composition.

Element Material	Cu (%)	Si (%)	Mg (%)	Mn (%)	Fe (%)	Zn (%)	Al (%)
Lualt	3.01	7.00	—	0.02	0.27	—	bal
Copper silumin	1.86	10.85	0.22	0.20	0.81	0.45	bal

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

** 静岡大学工学部助手 Assist., Faculty of Engineering, Shizuoka university

*** 扶桑軽合金(株)浜松工場 Hamamatsu Factory, Fuso Light Alloy Co., Ltd.

Table 2 Low pressure casting conditions.

Alloy	Lautal			Copper silumin		
Specimen	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6
Casting pressure (kg/cm ²)	0.20	0.40	0.65	0.22	0.41	0.68
Total pressed time (sec)	30	35	35	30	40	40
Solidification time (sec)	30	30	30	30	30	30
Temperature of upper die (°C)	270	300	320	300	310	340
Temperature of lower die (°C)	350	360	370	360	370	410
Casting temperature (°C)	680	680	680	680	680	680
Maximum melting temperature (°C)	780	780	780	750	750	750

Photo 1 Microscopic structure (×100)

ることは少ないようであるが、本報においては旋削の際の切削抵抗、切削仕上面、切屑処理のほか、孔明けについても取扱ってみた。

2. 供試試料

供試試料としては、鋳造性はあまり良好とはいえないが機械的性質とくに被削性が良いとされているラウタル（JIS 規格 AC2B 相当）と、鋳造性も良好で、かつ機械的性質も良いとされている含銅シルミン（ADC12 相当）の2種類を採用したが、その化学成分は **Table 1** の通りである。

石川島播磨重工製 F 型鋳造機によりフオセコ社ダイコート 36 を使用し、**Table 2** のように加圧力をそれぞれ 3 種類に変化した低圧鋳造条件で、直径約 157mm、厚さ約 20mm に鋳込んで試料とした。これらの試料の顕微鏡組織は **Photo. 1** のように、加圧力の増加にともない組織がやや緻密になっているのがうかがえる。これに対応

してこれらの機械的性質も加圧力にともないわずかでは

Side rake angle Specimen		0°	10°	20°	30°
Lautal	NO. 2				
Copper Silumin	NO. 5				

Photo. 2 Turning chip.

あるが向上しているようで、例えばビツカース硬さ Hv、剪断強さ τ の変化をみればラウタルでは No. 1 が Hv=82kg/mm² τ =12kg/mm² に対し No. 3 では Hv=85kg/mm² τ =13kg/mm²、含銅シルミンでは No. 4 が Hv=59kg/mm² τ =13kg/mm² に対し No. 6 では Hv=100kg/mm² τ =13kg/mm² となっている。

Fig. 1 Relation between casting pressure and cutting resistance.

Fig. 2 Relation between casting pressure and surface roughness.

Material Side rake angle	Lautal (NO. 2)				Copper silumin (NO. 5)			
	0°	10°	20°	30°	0°	10°	20°	30°
Feed								
0.06 mm/rev	●	●	○	○	○	○	○	○
0.13 mm/rev	●	●	●	○	○	○	○	○
0.25 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●
Remarks	● Adhered in great quantities ● Adhered in small quantities ○ No adhered side tool (SKH4), Cutting speed : 320 m/min							

Fig. 3 Observation on built-up edge (1)

3. 旋削試験

3.1 実験条件

使用機械および工具：OKK-RAMO 型高速精密旋盤
(主軸回転数 55~2590rpm, ベット上の振り 370mm,

5.5kW) を使用し、高速度鋼 (SKH4) 製片刃バイトでその主要諸元は横すくい角を0~30°の範囲で4種類に変化したほかは一定とした(すくい角0°, 前逃げ角7°, 前切刃角7°, 横切刃角0°, 刃先半径 0 mm 取付角90°)

切削条件：切削速度はV=110, 220および320m/min, 切込み t=1.0mm とし送りは f=0.06, 0.13 および

Material Cutting speed	Lautal (NO. 2)			Copper silumin (NO. 5)		
	110 m/min	220 m/min	320 m/min	110 m/min	220 m/min	320 m/min
Feed						
0.06 mm/rev	●	●	○	●	○	○
0.13 mm/rev	●	●	○	●	○	○
0.25 mm/rev	●	●	●	●	●	●
Remarks	● Adhered in great quantities ● Adhered in small quantities ○ No adhered side tool (SKH4), side rake angle : 20°					

Fig. 4 Observation on built-up edge (2).

0.25mm/rev の3種類とした乾式切削によった。

切削抵抗の測定：さきに試作した円板状バイト保持具に歪ゲージを貼付けた工具動力計¹⁾により切削抵抗を求めたが、片刃バイトを使用したので切削抵抗は主分力と送り分力の2分力を測定した。

3.2 切削抵抗

低圧鑄造条件のうち加圧力と切削抵抗の関係はたとえば切削速度 V=320m/min の場合 Fig. 1 のようになる。図中、左側はラウタル 右側は含銅シルミンの場合である。いずれの場合も主分力Tおよび送り分力Fは加圧力Pの上昇とともにわずかではあるが増加するようで、かつバイト横すくい角が小さい程切削抵抗も大きくなり加圧力の影響も大きくなるようである。両試料を比べると、機械加工性が良いといわれるラウタルに比べ含銅シルミンの方が切削抵抗はやや小さい。ASTMによれ

Material Side rake angle	Lautal (NO. 2)				Copper silumin (NO. 5)			
	0°	10°	20°	30°	0°	10°	20°	30°
Feed								
0.06 mm/rev	○	○	⊗	⊗	○	○	○	⊗
0.13 mm/rev	○	○	○	⊗	○	○	○	○
0.25 mm/rev	○	○	○	⊗	○	○	○	○
Remarks	○ Type 1 ⊗ Type 2 side rake angle (SKH4) 320 m/min							

Fig. 5 Classification of chip from

ば含銅シルミンはダイカスト合金のうちでは機械加工性は普通程度で必ずしも良好の部類には入っていない²⁾。しかし、切削抵抗からみれば含銅シルミンの切削抵抗は

切削条件が本実験と類似した場合にも本実験測定値と非常に近い値を示す³⁾ことから、含銅シルミンは切削抵抗の低いのが事実と思われ、切削抵抗からみた被削性はアルミニウム合金のうちで切削用アルミニウムといわれる展伸材 IIS につぐ程度にある⁴⁾。

いずれの試料も横すくい角が大きくなると切削抵抗は低下し、かつ加圧力による変化の程度も減少する。また両試料とも送りが増大すると主分力はほぼ直線的に上昇するようである。送り分力は普通の切削では主分力の30～50%といわれているが、横すくい角が $\theta=0\sim10^\circ$ と小さい場合には主分力に匹敵する程度の値を示すことがあり、とくにラウタルでは送り分力が主分力より大きい値を示すことのあるのが目立っている。アルミニウム合金の切削に際して、 $V=100\sim300$ m/min 程度の切削速度では同一材料には切削抵抗に切削速度依存性が認められないのが普通であるが¹⁴⁾、この場合にはとくに送りが $f=0.25$ mm/rev と大きくなると切削速度依存性が認められ、切削速度の上昇で切削抵抗はやや低下する。しかし切削速度にかかわらず加圧力の増加で切削抵抗にやや上昇傾向があるのは前述の通りである。

3.3 切削仕上面

仕上面粗さの測定は大越式表面粗さ試験機（触針型、サファイヤ触針先端半径 10μ ）を用い、縦方向 500 倍、横方向 50 倍に拡大、最大粗さ H_0 表示方式によった。

取付角 90° の片刃バイト（前切刃角 7° ）を使用した場合の送りマークによる理論的粗さ H_{max} は送りが $f=0.06, 0.13$ および 0.25 mm/rev ではそれぞれ $H_{max}=7, 16$ および 31μ となるはずであるが⁵⁾、触針先端半径を考慮すればこれより $1\sim2\mu$ 程度低くなり、さらに山の頂が欠けたりすることを考えればなお低い値をとることが予想される。**Fig. 1** に相当する場合、すなわち切削速度 $V=320$ m/min、切込み $t=1.0$ mm の場合の仕上面粗さ H_0 は **Fig. 2** のようになる（図中、上段がラウタル下段が含銅シルミンを示す）送り $f=0.06$ mm/rev では両試料とも理論的粗さより大きい値を示すこともあるが、送りが $f=0.13\sim0.25$ mm/rev になるといずれも理論的粗さより小さく、一見良好な仕上面がえられたようにみえる。しかし実際の仕上面は表面光沢がにぶく、表面を拡大してみれば整正な切削面とはいえない場合がある。アルミニウム合金の切削でしばしば問題となる構成刃先の生成脱落が旺盛で、良好な切削仕上面がえられにくい⁴⁾ のがその原因と考えられる。

この場合、バイトに付着した構成刃先の状況を観察すればたとえば試料 No. 2 および試料 No. 5 については **Fig. 3** のようになり、他の試料についてもそれぞれ同傾向のことがいえる。これからみれば理論的には送りが一定ならば横すくい角あるいは材料にかかわらず一定の仕

上面粗さを示すべきなのにかかなりの差が認められる場合、構成刃先の生成が認められることが多いのがわかる。送りは大きい方が、横すくい角は小さい方が構成刃先の生成が多く、また含銅シルミンよりラウタルが生成は多いようである。

つぎに 横すくい角を一定として仕上面粗さにおよぼす切削速度の影響についてみればさきに報告した場合³⁾と同様に、切削速度が上昇すれば仕上面粗さは向上する。切削速度が遅い場合とくにラウタルでは仕上面粗さの劣化が目立っていた。この場合、構成刃先を観察すれば横すくい角 $\theta=20^\circ$ で試料 No. 2 および試料 No. 5 においては **Fig. 4** のようになり 切削速度が上昇すれば送りが小さい程構成刃先の生成も減少し、ラウタルより含銅シルミンの方が構成刃先の生成も少ないことがわかり、前述の仕上面粗さの傾向と一致した。

3.4 切屑について

切屑処理の観点より切屑形態を検討した。すなわち自動機などの発達した今日、連続した切屑が発生して切屑が機械、工具などにからみつくのは好ましくないからである。たとえば切削速度 $V=320$ m/min 切込み $t=1.0$ mm、送り $f=0.13$ mm/rev の場合試料 No. 2 および

Photo. 3 Drilling chip.

試料 No. 5 では **Photo. 2** のようになる。他の試料の場合も大体同傾向で、多くの場合短かい弯曲した切屑が発生し、写真中ラウタルの横すくい角 $\theta=30^\circ$ の例のような連続した直線状の切屑が発生することは少なかった。前者は比較的处理が容易でこれを 1 型、後者を 2 型として $V=320$ m/min の場合の切屑を分類すれば **Fig. 5** をうる。ラウタルが含銅シルミンより 2 型の発生が多く 横すくい角が大きくなり小さい送りで 2 型が発生しやすいようである。

4. 孔明け試験

4.1 孔明け方式と孔明け条件

孔明け加工方式を詳しくみれば、送り速度一定の孔明けと押付力一定の孔明けとが考えられる⁶⁾。ボール盤に自動送り装置を取付けた半自動的な加工が前者に相当し、材料の切削抵抗に応じてドリル送りの押付力を手加

減で一定として送り速度をせいぎよする方式が後者に相当するとみられる。本報ではこの両加工方式を採用し、送り速度一定方式孔明けには精巧社製ボール盤（主軸回転数168～2,520rpm）に自動送り装置として三進製ミゼットフィーダ SS 型（0.09～0.21mm/rev）を取付けて使用し押付力一定方式孔明けには並木製タツパー兼用ボール盤（168～2,520rpm）に前報⁷⁾で示した方法で一定押付力を与えて実験した。使用工具は高速度鋼（SKH9）製7mmφドリルで 主要諸元は先端角118°，逃げ角12°，ねじれ角30°である。

孔明け抵抗の測定には試作2分力測定用動力計⁷⁾を使用し、動力計よりピックアップしたオツシロペーパー上の抵抗曲線の送りより孔明け時間を求めた。

4.2 送り速度一定孔明け

切削速度 $V=51.0$ m/min（回転数 $n=2,330$ rpm）で送り速度を $f=0.07, 0.09$ および 0.12 mm/rev と変化して孔明けを行ない、加圧力 p と孔明け抵抗（スラスト T_r およびトルク T_q ）の関係を Fig. 6 のようにえた。旋削の場合と同様に加圧力の増加により孔明け抵抗はやや増加するようである。送り速度一定孔明けではスラストとトルクは比較的強い正相関関係にあることが黄銅で認められている⁹⁾が この場合もほぼその結果と同傾向とみてよい。送りが大きくなるにしたがい孔明け抵抗は大きくなり、含銅シルミンよりラウタルの方が大きい値を示す（ $f=0.12$ mm/rev の場合のみ含銅シルミンのスラストが大きくなった）のも旋削の場合と類似している。

Fig. 6 Drilling resistance under constant feeding speed.

4.3 押付力一定孔明け

切削速度 $V=55.0$ m/min（ $n=2,520$ rpm）において押付力を $P_d=28.3\sim58.3$ kg·cm の範囲で5種類にかえて孔明けを実施した。押付力一定の孔明けでは材質にかかわらず押付力に釣合つたほぼ一定のスラストを示し、材質の孔明け抵抗はトルクに特性を反映する⁹⁾ので 加圧力 P とトルク T_q との関係を求めれば Fig. 7 のようになる。押付力を増加すればトルクは増大するが、いずれも加圧力が大きくなればトルクはわずかながら低下の傾向をとり、かつ同一押付力ではラウタルより含銅シルミンの方がトルクはやや大きい。

同一押付力でトルクが大きいことはその押付力での送り量が多いことを示し、孔明け能率は良好で単位板厚1mmの孔明けするに要する時間 すなわち孔明け時間はトルクと強い逆相関関係的に減少することが前報でも示されたが、本報でも Fig. 7 のように押付力の増加とともに孔明け時間 S は急激に減少し 加圧力の増加でやや大きくなる。また、ラウタルより含銅シルミンが孔明け時間はやや小さく孔明け能率は良い。孔明け時間の変化傾向は旋削抵抗の変化と類似し、この結果の信頼性の根拠となる。

Fig. 7 Drilling resistance under constant feeding load.

4.4 切屑について

再孔明け加工方式について切屑発生状況に観察したが目立つ特徴は見出せなかった。試料 No. 2 および試料 No. 5 について1例を示せば Photo. 3 のようになる。第1例は送り速度一定孔明け 第2例は押付力一定の場合である。他の試料についても同傾向で孔明け抵抗、孔明け時間の点から被削性の良好であつた含銅シルミンの方が小さなコイル状で比較的外観も美しい切屑がえられたが、加圧力の差はとくに認められなかった。

5. 結 言

以上、ラウタルおよび含銅シルミン低圧鋳物について旋削の際の切削抵抗、切削仕上面、切屑処理および孔明け抵抗、孔明け時間などの点より被削性の検討し、あわせて低圧鋳造加圧力が被削性におよぼす影響を求めた。その結果

1 ラウタルおよび含銅シルミン低圧鋳造鋳物は旋削抵抗からみて被削性は良好で、とくに後者は優れている。

2 加圧力が増加すればわずかながら切削抵抗は上昇する。また横すくい角が小さい場合に送り分力は主分力に匹敵する大きさとなるが、横すくい角が大きくなると送り分力は比較的小さくなる。

3 切削速度 100~300 m/min 範囲では切削速度が上昇すれば切削抵抗はやや低下し、とくに大きい送りで顕著である。(普通鋳物、展伸材などのアルミニウム合金ではこの程度の切削速度では切削抵抗に切削速度依存性は認められない。)

4 切削仕上面粗さは比較的小さい値を示すが、構成刃先の生成などでとくに良好な仕上面とはいえなかった。切削速度が遅い場合、送りが大きい場合、横すくい角が小さい場合構成刃先の生成が多い。含銅シルミンよりラウタル生成も多く、含銅シルミンが仕上面は良好であつた。

5 切屑処理からみれば問題となる連続型切屑の発生する機会は少ないが、ラウタルでは横すくい角が大きい時に連続型切屑が発生した。

6 送り速度一定孔明けでは加圧力の増加にしたがつ

て孔明け抵抗は多少大きくなるが、ラウタルより含銅シルミンの方が孔明け抵抗は小さく、旋削抵抗の結果と対応した。

7 押付力一定孔明けでは加圧力の増加にしたがつて孔明け抵抗のうちトルクは低下し、ラウタルの方が含銅シルミンより小さいが、孔明け時間から考えれば加圧力の増加に応じて大きい値をとり、かつ含銅シルミンの方が小さい値を示し、孔明け時間は旋削抵抗よりみた被削性と正相関があるとした従来の結果と一致した。

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つた。また試料作成には扶桑軽合金(株)新井三郎氏に多大のご便宜をいただいた。付記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 財満 加茂, 荒尾: 軽金属, **13**, 62 (1963) 400
- 2) ASTM B85-58, たとえば軽金属協会編: アルミニウムハンドブック (昭38 朝倉書店), 126
- 3) 森永, 財満 高橋: 軽金属, **15**, 71 (1965) 180
- 4) 財満: 切削に関する技術講習会教材 (工業技術院機械試験所等主催 40-1-27), 76
- 5) 財満, 飯尾, 佐野: 鋳物, **37**, 1 (1965), 57
- 6) S.Zaima: Proc. 8th Japn Congr. Test. Mat., (1965), 78
- 7) 財満, 加茂, 桜田: 鋳物, **37**, 2 (1965), 101
- 8) 室町, 財満, 多々: 日本金属学会誌, **29**, 11 (1965), 1059