アルミニウム合金の正面切削仕上面に関する考察

財満 鎮雄*・鈴木 康夫*・顔 炳 華**

Considerations on the cut surface of facing aluminum alloy plate

UDC: 669.715 : 621.9.015

Shigeo ZAIMA*, Yasuo SUZUKI* and YAN Bing Hwa**

Dry facing tests on the discs 150mm dia. of aluminum alloy diecastings (ADC3) and aluminum plates (1100-H18) were carried out to achieve optimum facing conditions for flat and uniform surface finish. Inward facing of the diecastings with light depth of cut, moderate feed and high facing speed results in little built-up edge and excellent surface finish. Excellent surface finish of the pure aluminum discs is hardly obtained by usual facing. A combination of heavy roughing and reverse facing ensures adequate surface finish.

(Received February 26, 1979)

1. 緒 言

一般にアルミニウム合金を切削する場合には良好な切削仕上面は得られにくく、ときには実用に供し得ないような粗悪な仕上面となることもある。とくに円板の正面切削では、一定回転数の切削を実施しても削り速度は場所によつて異なり広範囲に変化して、円板全体にわたつて切削状態は一様でなくなり、全面均一な切削仕上面を得ることは困難になる。また、同一切削条件で正面切削をしても、工具を外周から中心に向つて送る内向切削と中心から外周に向つて送る外向切削では、切削抵抗、切削温度、工具摩耗などに異なつた結果が現われるなど問題点は少なくない^{1)~3)}。そこで本報では、比較的良好な正面切削面が得られるとして実用されているダイカスト合金板と、良好な切削面が得にくいとされている純アルミニウム板の2種のアルミニウム材料の正面切削を行ない、板面全体にわたつて良好な切削面を得ることのできる切削条件を求め、切削状態を検討するのを目的とした。

2. 実験方法

実験に供した試料は **Table 1** に示す化学成分の外径約φ150 mm、厚さ約6 mmのアルミニウムダイカスト合金3種 (ADC 3) 円板および純アルミニウム (1100-H18) 円板で、これらの機械的性質はそれぞれ **Table 2** に示すようである。

昌運カブヌープ旋盤 HB-500 型 (主軸回転数40~3200 rpm, 9 kW) を使用し、使用工具は刃先諸元 0-5-6-6-30-0- γ を有する超硬バイト (K 10) で、このうちノーズ半径を $r=0.35\sim1.15$ mm の範囲で变化した。切込みを $t=0.05\sim0.4$ mm, 送り $f=0.01\sim0.1$ mm/rev の範囲に変化し、回転数は $n=800\sim1600$ rpm の範囲内で一定回転数のもとに乾式正面軽切削を実施したので、切削部位における削り速度は $v=150\sim700$ m/min で変化している。

この際、工具の送り方向としては **Fig. 1** にも示すように、被削円板の外側から中心に向つて送る内向切削と

Table 1 Chemical compositions of specimens.

Alloy	Elements (%)						
	Cu	Si	Fe	Mg	Mn	Zn	Al
ADC3	0.03	9.7	0.61	0.03	0.13	0.13	bal
1100	0.12	0.35	0.30	0.02	0.03	0.02	bal

Table 2 Mechanical properties of specimens.

Alloy	Tensile strength (kg/mm ²)	Yield strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Vickers hardness
ADC3	30.1	—	5.0	126
1100-H18	16.9	15.5	5.0	44

* 静岡大学工学部 (浜松市)。Faculty of Engineering, Sizuoka University (Hamamatsu).

** 静岡大学大学院 (浜松市)。Graduate School of Sizuoka University (Hamamatsu).

		Inward Facing	Outward Facing
Roughing			
Finishing	Ordinary Cut		
	Reverse Cut		

Remarks : Tooling Direction
 Revolving Direction

Fig. 1 Illustrations of facing methods.

中心部から外側へ向う外向切削とが考えられる。比較的良好な切削面が得られやすいといわれる ADC 3 の場合にはこの内向切削と外向切削を検討したが、良好な切削面が得られにくいと思われる1100では第1回目の荒削りでは内向切削と外向切削、第2回目の仕上げ切削では荒削りの場合と同方向の切削のほかに回転方向を荒削りと逆にした反転切削も実施した。

3. アルミニウムダイカスト合金の場合

いま、正面切削によって得られた切屑裏面を観察すれば次のようになる。試料円板面にマジックインクで種々に色わけしておき、切削終了後に色別（すなわち削り速度別）に切屑を集めて、その裏面を観察し **Photo 1** の判定区分に従ってそれぞれの切削状態を分別した。すなわち、写真のように切屑裏面が平滑で切削が順調に進行している領域を○印、平滑ではあるが一部に微小な工具付着物の跡が認められる切削領域を⊗印、工具付着物の跡が比較的多く認められる切削領域を●印、明らかに工具すくい面に生成付着した構成刃先ないしは工具付着物の背面をすべつたために切屑裏面が縞状を呈している切削領域を×印と区分した。結果の一部を示せば、外向切削において **Table 3** 上段は送り $f=0.1$ mm/rev、切込み $t=0.1$ mm としてノーズ半径を $r=0.35\sim 1.15$ mm に変化した場合、中段は $r=0.35$ mm、 $t=0.4$ mm として送りを $f=0.025\sim 0.1$ mm/rev に変化した場合、下段は $r=0.35$ mm、 $f=0.1$ mm/rev として切込みを $t=0.1$ および 0.4 mm に変化したときの例である。これからみればノーズ半径が大きいとき、送りの大きいとき、また切込みの大きいときに構成刃先ないし工具付着物の影響が消滅する削り速度は低くなるが、それらの影響が大きく効く削り速度は $v=250\sim 300$ m/min とみられる。この削り速度は従来から考えられているアルミニウム材料の構成刃先の消滅削り速度がほぼ150 m/min付近といわれている⁴⁾ のに比べるとかなり高い値に思われ

Photo 1 Classification of aspects on chipback.
 (Symbol marks are the same as Table 3.)

Cutting Speed v (m/min)		700	600	500	400	350	300	250	200	150
$f=0.1$ $t=0.1$	$r=0.35$	⊗	⊗	⊗	●	×	×	×	×	
	$r=0.55$	○	○	⊗	●	●	●	×	×	
	$r=1.15$	○	○	○	⊗	●	●	×	×	
$r=0.35$ $t=0.4$	$f=0.025$	●	●	●	●	●	●	×	×	×
	$f=0.05$	○	○	○	⊗	●	●	×	×	×
	$f=0.1$	○	○	○	○	⊗	●	×	×	×
$r=0.35$ $t=0.1$	$t=0.1$	⊗	⊗	⊗	●	×	×	×	×	
	$t=0.4$	○	○	○	○	⊗	●	×	×	×

Remarks : r =Nose Radius (mm), f =Feed (mm/rev), t =Depth of Cut (mm)

Table 3 Classifications of cutting condition by observing back of chip. (ADC3, Outward facing)

るが、そのようなときの切削面積に比べ本報では約1/10程度の軽切削であり、後述するように本報では、 $v=250$ m/min 程度の削り速度で切削温度は被削材の再結晶温度をこえて 300°C 程度になることを考えれば妥当である。削り速度 $v=400$ m/min 以下の領域において同じ削り速度では内向切削より外向切削では切削温度はいくぶん高くなり、構成刃先などの消滅削り速度はやや低速側に移るようである。そして、内向切削で切込みが $t=0.4$ mm と大きく、外周近くの削り速度が $v=800$ m/min に近いところでは切削温度は極めて高くなり、被削材の一部が熔融状態となつて仕上面は大きく劣化する。

Photo 2 は **Table 3** 中段の場合の切屑裏面を示すが、送りが $f=0.1$ mm/rev と大きい場合には削り速度の上昇とともに切屑裏面は滑らかになるものの、送りが $f=0.025$ mm/rev と低いときにはかなり高い削り速度まで構成刃先などの工具付着物の存在が認められることがわかる。しかし、良好な切削仕上面を得るためには切込みおよび送りが小さい方が切削面の幾何学的仕上面あらし、すなわち理論的あらしの点からも望まれ、本報ではノーズ半径 $r=0.35\sim 0.55$ mm、切込み $t=0.1\sim 0.4$ mm、送り $f=0.05\sim 0.1$ mm/rev で $v=300\sim 700$ m/min の削り速度の場合実用的に良好な金属光沢面が得られた。ノーズ半径 $r=0.35$ mm、切込み $t=0.1$ mm、送り $f=0.05$ mm/rev としたときの内向切削および外向切削における削り速度 v と切削仕上面あらし R_{max} の関係を示せば **Fig. 2** のようになる。この場合、両切削方式とも

Photo 2 Aspects of chipbacks under various cutting speeds and feeds in outward facing ADC3.

Fig. 2 Relations between surface roughness and cutting speed in facing ADC3.

良好な切削面が得られるが、内向切削の方が切屑厚さも薄くて切屑排出の流れも滑らかで、図のようにやや外向切削より仕上面あらさの値も低い。また、**Fig. 3** はノーズ半径 $r=0.35$ mm、切込み $t=0.4$ mm、送り $f=0.05$ mm/rev の場合に内向切削と外向切削を比較したものであるが、内向切削では切屑厚さ b が小さくて切屑流れの拘束が小さいものの、[それに対応して比切削力 K_s はやや大きくなっている。しかし、切削温度は $v=400$ m/min 付近の削り速度までは内向切削がやや低く、それより高速側でやや高くなっているが、いずれにしても $v=200$ m/min 以上の削り速度で両切削方式とも 300°C 以上になっており、ほぼ被削材の再結晶温度以上になっていると思われる。

なお、削り速度 v を変化した場合の送り f と比切削力 K_s の関係は **Fig. 4** のようになり、普通の切削状態ではアルミニウム材料は $K_s=90$ kg/mm² であるのに比べれば全体として大きな値をとっているが、これは切削面積が極めて小さい切削方式をとったためである。 f

Fig. 3 Relations between specific cutting force, cutting temperature and cutting speed in facing ADC3.

Fig. 4 Influences of feed on specific cutting force in inward facing ADC3.

$=0.025 \text{ mm/rev}$ と小さい送りのときには $f=0.05 \sim 0.1 \text{ mm/rev}$ の場合より 2 ～ 3 倍高い比切削力を示し、切削効率が極めて悪いことがわかる。

4. 純アルミニウムの場合

いま、ノーズ半径 $r=0.35 \text{ mm}$ 、切込み $t=0.24 \text{ mm}$ 、送り $f=0.05 \text{ mm/rev}$ としたとき、内向切削および外向切削における削り速度 v と切削仕上面あらさ $R_{\max}$ および比切削力 K_s の関係を求めれば **Fig. 5** となる。明らかに内向切削の場合が外向切削の場合より仕上面あらさの値も大きく、比切削力も大きい。この場合、理論的あらさ $1 \mu\text{m}$ に近い切削面からはじまっても、内向切削では極めて軟質な材料を外向切削より高い削り速度、切削温度での切削であるから、切削近傍の付着物も多いと思われる。内向切削について同じ切削条件で、切削仕上面あらさ $R_{\max}$ に及ぼす送り f の影響を求めれば **Fig. 6** のように、送りが $f=0.01 \text{ mm/rev}$ と小さいときに仕上面あらさは大きく、削り速度による変化も大きい、 $f=0.05 \sim 0.075 \text{ mm/rev}$ と送りが大きくなれば削り速度の変化にかかわらずほぼ一定の仕上面あらさを示している。この際の比切削力 K_s は **Fig. 7** のようになり、前述のダイカスト合金の場合と同様普通のアルミニウム合金の比切削力に比べるとやや大きい、この場合もやはり

Fig. 5 Relations between surface roughness, specific cutting force and cutting speed in facing 1100-H18.

軽切削で切削面積がかなり小さいためである。送りが $f=0.05 \sim 0.075 \text{ mm/rev}$ となれば比切削力はほぼ一定の値をとるが、送りが小さくなるとダイカスト合金の場合と同様に 2 ～ 3 倍の比切削力となり、切削効率は大変悪くなる。いずれにしても、切削仕上面あらさの値こそ低い、1100はH18材を用いても被削材としては極めて軟質であり、**Photo 3** の比較的仕上面あらさがよいとみられる外向切削の例（回転数 $n=1000 \text{ rpm}$ 、切込み $t=0.24 \text{ mm}$ 、送り $f=0.05 \text{ mm/rev}$ ）にもみるように、切削面全体にわたり、一様な金属光沢面は認められにく

Fig. 6 Influences of feed on surface roughness in inward facing 1100-H18.

Fig. 7 Influences of feed on specific cutting force in inward facing 1100-H18.

く、実際製品の切削仕上面としてそのままでは通用しにくいようである。

よって、良好な切削仕上面を得る方法として荒削りと仕上削りにわけて行なう切削方式を検討した。すなわち、Fig. 1 にも示したように荒削りした試料に同方向の仕上削りを行なう普通の切削方法と、荒削り方向と逆方向の切削を行なう反転仕上削り⁵⁾を適用してみた。いま、ノーズ半径 $r=0.35$ mm, 送り $f=0.05$ mm/rev として、荒削りを $t_1=0.12$ および 0.24 mm とした外向削面に、同一送り $f=0.05$ mm/rev で仕上削り切込み $t_2=0.05$ mm の同方向仕上削りおよび反転仕上削りを実施して、切削仕上面あらさ R_{max} および比切削力 K_s を求め

Outward Facing
Revolution $n=1000$ rpm
Nose Radius $r=0.35$ mm
Depth of Cut $t=0.24$ mm
Feed $f=0.05$ mm/rev

Photo 3 Typical aspect of cut surface in outward facing 1100-H18.

れば Fig. 8 のようになる。荒削り切込み $t_1=0.12$ mm および 0.24 mm のどちらの場合も反転仕上削りの方が仕上面あらさの値は小さく、大きい切込みの荒削りをした方が仕上面あらさの値は小さい。実際の切削面も Photo 4 にみるように反転仕上削り面はかなり良好で、実用面としても通用する仕上面が得られているが、同方向仕上削り面ではとくに削り速度が低いときに切削面に酸化物様の付着物がこびり付くことがあり (Photo 3 の場合にも認められている), 実用面としても一回切削で仕上げた面よりは良好である。しかし、比切削力は反転仕上削りの方が大きく、大きい切込みの荒削りの比切削力が

Fig. 8 Influences of cutting speed on surface roughness and specific cutting force under ordinary cutting and reverse cutting in facing 1100-H18.

Fig. 9 Influences of cutting speed on hardness distributions of cut surface and of surface section in outward facing 1100-H18.

大きい。得られた切削面の微小ビッカース硬さ Hv（測定荷重10 g）およびその断面の微小硬さ変化を求めれば Fig. 9 のようになる。切削表面では削り速度（すなわち切削温度）の上昇に伴い硬さは低下し、かつ同方向仕上削りに比べ反転仕上削りの場合の硬さが低くなっており、また断面の硬さ変化は両切削方式とも被削材内部への硬さの減少割合はほぼ同様であるものの、後者の場合の方が全体として硬さは低い。前報⁵⁾でも取扱ったように、軟質材料の切削を行なう場合に反転切削では逆方向負荷となるので、バウシinger効果的な作用のため加工硬化の割合が低く降伏応力が低くなつて、刃先通過による変形領域が大きく、切屑が厚くなつて切削面積が大きくなつて切削抵抗の増大につながるものと思われる。しかし、同方向仕上削りでは刃先通過の際の被削材の剪断

変形による流れの方向が加算されるのに対し、反転仕上削りでは荒削りの剪断変形を矯正する方向に剪断されるため、硬さはFig. 9のように低いが、見かけの粘性が少ない材料のように作用して、切削仕上面は良好になるものと思われる。また、反転仕上削りでは荒削りの剪断変形を矯正する方向に切削、剪断するために切削抵抗が大きくなることも考えられる。そして、荒削り切込みの大きい場合が硬化層は大きく、かつ深くなるため、切削抵抗は大きくなり、切削面は良好となるとみられる。

5. 結 言

以上、正面切削用円板として実用されているダイカスト合金板（ADC 3）および良好な正面切削面が得られにくいとされている純アルミニウム板（1100-H18）の

Photo 4 Various aspects of cut surfaces under ordinary cutting and reverse cutting in outward facing 1100-H18.

2種類の直径約150 mm のアルミニウム円板の乾式正面切削を行ない、板面全体にわたって一様に良好な切削仕上面を得るような切削条件を検討した。その結果、

(1) ダイカスト合金板では工具刃先に構成刃先などの工具付着物が生成付着しないような削り速度で切削すればよく、切込み、送りを小さくして円板の回転数を上昇させ、かつ内向切削で良好な金属光沢面が得られる。実験範囲ではノーズ半径0.35~0.55 mm, 切込み0.1~0.4 mm, 送り0.05~0.1 mm/rev, 削り速度300~700m/minの切削条件が好結果を示した。

(2) 純アルミニウム板では普通の正面切削では良好な切削面はなかなか得られないが、荒削りと仕上削りを行なう形式、とくに荒削り切込みを大きくした反転仕上削りでかなり良好な切削面が得られた。実験範囲では荒削り切込み0.24 mm, 送り0.05 mm/rev, 仕上削り切込み0.05mm, 送り0.05 mm/rev, 削り速度250~400 m/min

の内向反転仕上削りが効果的であつた。

本報の実施に当り、その費用の一部は(財)軽金属奨学会の研究資金により、試料入手には(株)日本軽金属総合研究所磯部俊夫氏ほか各位の御好意に負うところが大きかつた。付記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 財満鎮雄, 岡崎忠雄: 日本機械学会論文集, **35**, 277 (1969), 1945.
- 2) 財満鎮雄, 北村利昭: 精密機械, **36**, 9(1970), 602.
- 3) 財満鎮雄, 北村利昭: 日本金属学会誌, **36**, 3 (1972), 200.
- 4) 例 えば, 財満鎮雄: 軽 金 属, **28**, 7 (1978), 363.
- 5) 財満鎮雄, 大須賀章郎: 日本金属学会誌, **42**, 7 (1978), 658.