アルミニウム合金鋳物の二次元切削に おける切削温度の検討*

財満 鎮雄**・廣野 雅道***

Some considerations on the cutting temperature in
orthogonal cutting aluminum cast alloy*

UDC 669.715-14:621.9.011

ZAIMA Shigeo** and HIRONO Masamichi***

Orthogonal cutting tests were conducted on an aluminum cast Al-Zn-Mg alloy having good machinability and little trouble in tool wear. The cutting temperature was experimentally examined with respect to the cutting speed, behavior of built-up edge, tool-chip contact length, etc.

The results obtained were summarized as follows.

In the range of cutting speed 20~320 m/min., the relation between cutting temperature and cutting speed was expressed by a straight line both in terms of logarithmic scale. The cutting temperature was linearly elevated with the increase of the cutting speed, but it was abruptly inflected in the midway. The coefficient of linear elevation of temperature was considerably small for the cutting speed beyond the above inflection point. The cutting temperature corresponding to the inflection point was higher with the increase in the depth of cut. The cutting speed corresponding to that point was higher with the decrease in the depth of cut, and it approximately agreed with the value at which the thickness of chips was maximum. The aspect of built-up edge in this state was varied according to the depth of cut. There would be no special correlation between the cutting speed or cutting temperature and the behavior of built-up edge. The temperature of disappearance and the behavior of built-up edge depended upon the other cutting conditions such as the depth of cut, rake angle, etc. as well as the cutting temperature.

(Received Feb. 23, 1971)

1. 緒 言

金属材料切削の際の工具刃先における温度上昇は工具摩耗、工具寿命に支配的な影響を有しており、加工精度に大きく関係するので、切削温度の検討は重要な問題である。従来から、この方面では主として鉄鋼などについて理論的にも実際的にもかなりの研究が行なわれているが、アルミニウムおよびその合金の切削温度に関する研究はきわめて少ない。しかし、アルミニウム合金は鉄鋼にくらべて軟化温度、再結晶温度などかなり低く、熱伝導率は非常に大きく、また熱膨張率は鉄鋼のそれの約3倍の大きさであり、鉄鋼系とはちがった観点から切削温度の検討が必要であると思われる。著者らはさきにアルミニウム合金鋳物4種B (AC4B)の被削性を検討した

際、切削温度についても取扱ったが、切削温度と切削速度の関係に特異な現象が認められるようであった¹⁾。よって、本報ではアルミニウム合金鋳物のうちでも被削性が良好で、問題点も少ないと思われる Al-Zn-Mg 合金²⁾を対象にして、二次元切削を実施して切削温度と切削速度の関係を、切削速度に直接影響を与える構成刃先の挙動、工具-切くず接触長さなどの観点から検討を試みたので、その大要を報告する。

2. 供試材料および実験方法

供試材料は Table 1 に示す成分の Al-Zn-Mg 合金で、直径 90 mm ϕ 、長さ 150 mm の円柱状金型鋳造材で、これに切削幅 $b' = 2.5$ mm のプランジカット形式の二次元切削ができるように、突切りバイトでいくつかの溝を

* 本報は軽金属学会第38回春期大会 (45-5-13) において講演した。

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

*** 静岡大学工業短期大学部 (浜松市) Junior College of Engineering, Shizuoka University (Hamamatsu)

Table 1 Chemical compositions of specimen used

Si	Fe	Cu	Mg	Ag	Ti	Mn	Cr	Zn	Be	Al
0.08	0.12	<0.01	3.79	0.21	0.11	0.72	0.12	3.08	0.03	bal.

Table 2 Mechanical properties of specimen used.

Tensile strength (kg/mm ²)	Yield strength (kg/mm ²)	Shearing strength (kg/mm ²)	Vickers hardness (Hv)	Elongation (%)
26.6	19.8	18.3	104.0	3.2

つくつて試料とした。また、試料の2～3の機械的性質を示せば **Table 2** のようになる。

大隈製 LK 型高速精密旋盤（主軸回転数 80～3400 rpm、ベツト上の振り 350 mm、3.5 kW）を使用し、切込み $t = 0.03 \sim 0.21$ mm、切削速度 $V = 15 \sim 320$ m/min の二次元乾式切削を実施した。また、使用工具は高速度鋼 9 種 (SKH9) 材を用いて研削成形し、前逃げ角を 10° 一定とし、すくい角は $\alpha = 0 \sim 30^\circ$ の範囲で変化した。そして工具-切くず接触長さを拘束縮小した場合を検討するため、すくい角 $\alpha = 0^\circ$ で工具-切くず拘束接触長さを $l_r = 0.22 \sim 0.62$ mm の範囲で変化した工具も採用した。ここで、アルミニウム合金の切削に普通使用されるのは高速度鋼 4 種 (SKH4) であり、9 種はドリル用材料として使用されるのであるが、あえて 9 種を使用したのはつぎの理由からである。すなわち、これら高速度鋼 4 種および 9 種ならびに工具用超硬合金 K10 種と供試々料 Al-Zn-Mg 合金を熱電対とした場合に接点の温度と熱起電力の関係を求めれば **Fig. 1** のようになり、K10 と SKH9 は温度測定上高感度であることがわかり、K10 にくらべて SKH9 の方が成形仕上げ、工具角度調整が容

Fig. 1 Thermo-electromotive force.

易なためである。かつ、SKH9 を使用したために工具摩耗が無視できず実験誤差が生ずるのを防ぐために前記のように Al-Zn-Mg 合金を試料として採用したわけである。

3. 切削温度と切削速度の関係

切削温度 t_c と切削速度 V の関係はこれを両対数グラフに点示すれば、たとえばすくい角 $\alpha = 0^\circ$ では **Fig. 2** に示すようになる。いずれの場合の切込みでも切削温度は切削速度の上昇とともに直線的に上昇するが、ある切削速度に達すると直線は屈折して、温度上昇率は低くなる。この直線の屈折する位置は切込みによつてこととなり、切込みが大きいほど低速において生じている。このような屈折は従来の鋼材切削ではみられなかつたもの³⁾で、アルミニウム切削の特有現象と思われ、今後さらに検討を進める予定である。いま、屈折点の切削速度を V_c 、そのときの温度を θ_c として、これらと切込み t およびすくい角 α との関係を求めれば **Fig. 3** のようになる。これから切込み t の増加とともに屈折点の切削速度 V_c は低下し、そのときの温度 θ_c はほぼ直線的に上昇し、すくい角が小さいほど高い温度になっている。

Fig. 2 に示したような切削温度-切削速度線図における直線の勾配は屈折点を境としてかなり異なっている。たとえばすくい角 $\alpha = 0, 10$ および 30° においてそれぞれ $V < V_c$ および $V > V_c$ なる切削速度の範囲においての直線勾配を n_1, n_2 、とすれば **Table 3** のようになる。すなわち、 n_1 は n_2 の 1.5～2 倍程度で屈折点をすぎた後の温度上昇率がかなり低いことは明らかである。また、切込みにかかわらず n_1 の値はほぼ一定であり、 n_2 の値

Fig. 2 Relation between cutting temperature and cutting speed.

も切込みが大きい $t = 0.21$ mm の場合にはやや小さいほかはあまり変わらないようである。そして、すくい角の影響は n_1 に対してはあまり認められないが、 n_2 に対してはすくい角が $\alpha = 0 \sim 10^\circ$ と小さい場合に比べて $\alpha = 30^\circ$ とすくい角が大きくなれば、 n_2 の値はやや大きくなるようである。

4. 切削温度と構成刃先

4.1 構成刃先の消失温度

Fig. 2 の各点に付記した A, B, C, ……などの符号は切くず裏面に付着した構成刃先の生成状況を **Photo. 1** に示したような切くずの摩擦面状況から分類したもので、これによつて各点における構成刃先の生成量の多少を識別せんとするものである。すなわち、

A：切くず摩擦面は全面光沢を帯びていて平滑であ

Table 3 Values of tangents, n_1 and n_2 .

Rake angle	$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 10^\circ$		$\alpha = 30^\circ$	
	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2
Depth of cut (mm)						
0.21	0.70	0.22	0.60	0.29	0.49	0.36
0.12	0.68	0.28	0.57	0.34	0.56	0.42
0.07	0.68	0.34	0.60	0.37	0.60	0.44
0.03	0.71	0.41	0.61	0.38	0.65	0.42

Table 4 Aspect of rubbed surface of chips at cutting temperature 300°C under various cutting conditions.

Depth of cut (mm)	Rake angle (deg)		
	0°	10°	30°
0.21	A	B	C
0.12	B	C	D
0.07	B	C	D
0.03	B	E	E

り、構成刃先は全く生成していない状態

B：光沢を帯びているが、各所に構成刃先の痕跡とみ

られる斑点があり、構成刃先が消滅する直前の状態

C：構成刃先の痕跡が縞模様になっており、構成刃先が生成、脱落を活発にくり返している状態

D：全面に不規則な条痕や凹凸があり、切くずがパイ ト刃面を直接に擦過したあとがなく、構成刃先が部分的な分裂成長をくり返している状態

E：多数の条溝がほぼ一様に走っており、構成刃先は多量でかつ比較的安定している状態

これから **Fig. 2** をみれば、すくい角 $\alpha = 0^\circ$ の場合には構成刃先はだいたい 300°C 付近で A または B の状態にあり、 $310 \sim 320^\circ\text{C}$ 以上になれば構成刃先は完全に消失して A の状態にあることがわかる。しかし、すくい角が $\alpha = 30^\circ$ と大きくなった場合には、その温度でも構成刃先は必ずしも消失せず、C または D の状態にあることがある。これはすくい角が大きくなると構成刃先の生成量は小さくなり⁴⁾、それだけ構成刃先の分裂脱落が困難となつて、安定性があるためと思われる。**Table 4** は刃先

Fig. 3 Relation between cutting speeds and cutting temperatures at inflection points.

Photo. 1 Various aspects of built-up edge on chip back.

温度が 300°C 付近にあるときの構成刃先の状態と切削条件の関係をまとめたものであるが、構成刃先は同一刃先温度においてもすくい角や切込みなどの切削条件によって状態がことなることがわかる。たとえば、すくい角が大きく、切込みが小さいほど構成刃先状態は A から E の状態に移行している。したがって、一般には構成刃先は被削材の再結晶温度付近で消滅するといわれているが、ここでみられるように構成刃先の消失が刃先温度のみに依存するものでないとするならば、すくい角が大きくまた切込みが小さい場合に構成刃先が消失しにくいということは、構成刃先の消滅は工具-切くず接触面に作用する摩擦力などの力学的要素の関与について考慮すべきものと思われる。

4.2 屈折点と構成刃先

Fig. 2 のような切削温度-切削速度線図における直線の屈折点およびその前後の切削速度における構成刃先の状況は Fig. 4 のようにまとめられる。すなわち、構成刃先は切削速度によって E 状態から A 状態まで変化するが、屈折点はその変化の中の 1 つの状態変化点であるようでもある。その点が B 状態であるか、または C 状態、D 状態であるかはすくい角や切込みによってことなり、

Fig. 4 Aspects of built-up edge at inflection point.

Fig. 5 Changes of chip thickness with increase of cutting speed.

軽切削になるに伴って B 状態から C, D, E 状態の方へ移っていくようである。

Fig. 5 は Fig. 2 の場合の切くず厚さ t_1 を求めたものである。これからみれば構成刃先が消滅する切削速度以上の高速側においては、切削速度の上昇とともに切くず厚さは減少するが、低速側では構成刃先が安定している E 状態でも切くずは薄くなる。また、構成刃先が生成脱落をくり返すような C および D 状態では切くず厚さは異なるが、その平均厚さは比較的厚くなる。Fig. 5 と Fig. 2 をみれば切くず厚さが最も厚くなる切削速度と切削温度-切削速度線図における直線の屈折点の屈折温度はだいたい一致するようである。なお、切削比 $r_c = (\text{切込み}) / (\text{切くず厚さ } t_1)$ と切削温度 t_c の関係は Fig. 6 のようになり、おおむね屈折点の温度付近で切削比は最も小さくなることわかる。

5. 工具-切くず接触長さの影響

切削速度が上昇すれば工具-切くず接触長さ l (以下、接触長さという) はたとえば Fig. 7 のように減少するが、一方切削速度の増加とともに切削温度も上昇するか

Fig. 6 Relation between cutting ratio and cutting temperature.

Fig. 7 Changes of tool-chip contact length with increase of cutting speed.

ら、切削温度 t_c と接触長さ l は Fig. 8 に示すような関係にある。また、同図からわかるように接触長さが等しくとも、切込み t が大きいほど切削温度 t_c が高くなる。これは主として Fig. 7 に示したように、ある接触長さに対しては切込みの大きい場合の方が、一般に切削速度が大きくなっているためである。

また、工具-切くず接触長さを拘束縮小した工具を用いた場合に拘束長さ l_r と切削温度 t_c との関係が求めれば、たとえば Fig. 9 のようになる。すなわち、拘束長さ l_r を縮小すれば切削温度 t_c はいくぶん低下する傾向がみ

Fig. 8 Relation between cutting temperature and tool-chip contact length.

Fig. 9 Relation between cutting temperature and restricted tool-chip contact length.

られる。この傾向は切込み t が大きい場合の方がややつきりしているようであり、以上の傾向は切削速度によつては変ることではない。Fig. 10 は接触長さを拘束した場合の切削速度 V と切削温度 t_c の関係を切込み $t=0.21$ mm の場合についての例を示すが、これからみても両者の関係は中間で屈折した直線となっており、Fig. 2 と同様な傾向を示している。屈折点の切削速度は拘束長さが $l_r = 0.62$ mm では約 40~50 m/min であるが、拘束長さをさらに $l_r = 0.2 \sim 0.3$ mm に縮小すれば約 60~70 m/min となり、拘束長さを小さくすることによって屈折点の切削速度はわずかに上昇する。また、屈折点の切削温度は拘束長さが小さい方が低くなる。このことは Fig. 2 において切込みを小さくした場合に相当する。なお、Fig. 10 には構成刃先の状態を示す記号も付記してあるが、これから構成刃先の消失限界速度は無拘束の場合の限界切削速度にくらべてやや低下しているようであることがわかる。

拘束長さ l_r が構成刃先や切くず厚さ t_1 におよぼす影響は、無拘束の場合において切込み t を小さくした場合と大体似たような傾向を示すようであつた。

6. 結 言

以上、被削性が良好で工具摩耗の点でも問題が少ないと思われるアルミニウム合金鋳物 Al-Zn-Mg 合金について二次元切削を実施し、切削速度、構成刃先の挙動、工具-切くず接触長さなどの見地から切削温度に関する実験的検討を行なつた。結果を要約すれば実験範囲の切

Fig. 10 Relation between cutting temperature and cutting speed with restricted tool-chip contact length.

削条件では

(1) 切削速度範囲 20~320 m/min における切削温度と切削速度の関係は両対数グラフ上で、切削速度の増加とともに切削温度は直線的に上昇し、かつ途中で屈折した直線であらわされる。その直線の勾配(温度上昇率)は屈折点以上の切削速度範囲ではかなり小さい。

(2) その屈折点に相当する切削速度での切削温度は切込みが大きいほど高く、かつその点での切削速度は切込みが小さいほど高い。

(3) 屈折点における切削速度は切くず厚さが最大になる切削速度とほぼ一致しており、そのときの構成刃先状態は切込みによつてことなり、屈折点の切削速度、切削温度と構成刃先状態との間には直接的な関係はないようであつた。

(4) 構成刃先の消失温度あるいはその挙動は切削温度によつて支配されるのみならず、切込み、すくい角などほかの切削条件によつても影響を受けるようである。

(5) 工具-切くず接触長さを拘束縮小すればある程度は切削温度は低下し、また構成刃先の消失温度も多少低

下するようであるが、切削温度-切削速度の関係は無拘束の場合の切削と似た傾向をとる。そして、構成刃先の状態、切くず厚さなどは無拘束の場合に切込みを小さくしたと同様な結果となる。

本報の実施に当たり、その費用は(財)軽金属奨学会の研究資金により、また試料調整には日本軽金属(株)技術サービス課々員各位の御好意によるところが大きい。付記して深甚な謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 財満, 廣野, 桜井: 軽金属, **20**, 5 (1970), 118.
- 2) 財満, 廣野: 日本金属学会誌, **32**, 8 (1968), 714.
- 3) たとえば, 竹中: 日本機械学会論文集, **17**, 63 (1951), 104.
- 4) たとえば, 財満, 廣野: 日本金属学会誌, **31**, 12 (1967), 1392.
- 5) たとえば, 中山, 井口: 精密機械, **22**, 3 (1956), 104.