アルミニウム丸棒の突切り切削について*

佐 藤 四 郎**

On the cut-off tuning test of aluminum bar
(UDC 669.715: 621.9.011)

SATO Shiro**

Cut-off turning tests were conducted on aluminum round bar of 40 mm in dia. under the following conditions; the number of revolution of the lathe was in the range of 500~1,000 r.p.m., the feed was in 0.06~0.16 mm/rev., and the principal component of cutting oil used was kerosene or mineral oil. The cutting tool was made of high speed steel (SKH4) having rake angle of 26°; clearance angle of 6°, and cutting edge of 4 mm.

The main results obtained were as follows.

(1) Between the both cases of using kerosene and mineral oil as cutting oils, a clear difference was observed in the relation between the tangential force and cutting depth of the tool. When mineral oil was used, tangential force gradually increased with the increase of cutting depth; while, in the case of kerosene, the increase of tangential force was much greater as compared with the former case, and the value showed a maximum in the middle point of the radius of round bar, and subsequently, decreased violently.

(2) The tangential force was independent of cutting speed, but increased linearly with the advance of feed.

(3) The thickness of chips was not uniform even when the turning was under constant feed; but it increased with the increase of cutting depth. The value showed a maximum at the cutting depth giving the maximum tangential force.

(4) The chips tended to scratch the sides of neck, resulting the ruin of finished article. Then, the width of chips became smaller than that of tool. These tendencies were more remarkable when the feed was advanced, and were more remarkable in using kerosene than mineral oil.

1. 緒 言

近年アルミニウム合金の被削性についてかなりの研究が行なわれるようになったが、これらの研究は多くは被削材の軸方向への切削がおもであつて、半径方向すなわち突切りに関する研究はほとんど見当たらないようである。実際問題として多くの工場で突切り切断は行なわれているので、このような切削に関する研究もまた必要なものと思われる。一般にアルミニウム合金は高速切削が良いとされ、工作油を使用せずに良好な仕上面がえられている。しかるに突切り切削ではいかに高速回転を被削材に与えても、バイトが被削材の中心に進むにつれ急速に切削速度は低下するものであつて、アルミニウム合金に適する高速切削を維持することは出来ず、切削力や仕上面などにいろいろな問題が生じて来るであろうと考えられる。

そこで今回は市販のアルミニウム丸棒をもちい、被削材料ならびにバイトの形状は一定として、切削回転速度、送り量ならびに工作油に変化を与えて、突切り切削時の切削抵抗、切くずのようすや切断面の状況がどのようになっているかにつき調べたものである。

2. 実験方法と実験材料

実験に使用した旋盤は池貝式DA-20型8呎高速度旋盤であつて、試作せる工具動力計をかいして突切りバイトを工具取付台に取付けて各種の突切り切削を行なつた。

Table 1 Chemical composition.

Specimen	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Cr
Round bar	0.02	0.09	0.33	0.01	0.02	tr.
Pipe	0.01	0.12	0.48	0.01	0.01	tr.

* 第30回春期大会講演会にて発表した

** 防衛大学校教授 工博
Prof. Defense Academy, Dr. Eng.

Fig. 1 Variation in tangential cutting forces for cutting depth, turning of 500 r.p.m

Fig. 2 Variation in tangential cutting forces for cutting depth, turning of 800 r.p.m

使用した突切りバイトは高速度鋼 SKH4で、は先の幅 4 mm, すくい角 26° , 逃げ角 6° のものである。このバイト 1 本を以後の実験すべてに使用したのも、実験材料が軟質材で工具の摩耗は考えなくてよいであろうと考えたことと、バイトの研磨による形状の誤差を除くためであり、実験終了後もほとんど上記の値に変化が見られなかった。

Fig. 3 Variation in thrust forces for cutting depth, by turning of 1000 r.p.m

実験材料は市販の直径 40 mm アルミニウム丸棒で、平均ヴィカース硬度数 35 のものである。Table 1 にその化学成分を示す。なお本実験の参考とするために、直径 50 mm, 肉厚 3 mm のアルミニウム・パイプの端面をやはり同じバイトを使って切削して、いわゆる普通の二次元切削を行なつて比較検討の資料とした。Table 1 にこのパイプ材料の化学成分を示しておいたが、この材料のヴィカース硬度数は平均 47 であった。

実験は鉄鋼用の切削にもちいている鉱物性切削油と軽油の二通りの工作油を使用して、500 r.p.m から 1000 r.p.m の間の回転数で、自動送りは 0.06 mm/rev. から最大 0.16 mm/rev. の間の組合せで各種の突切り切削実験を行なつた。

3. 実験結果とその考察

突切り切削の特長はバイトの切込みとともに切削速度がしだいに小となつて行くこと、第 2 に同一断面で切削が行なわれているので、切削による発熱によって中心部に行くにつれ切削温度がしだいに大きくなって行くことである。第 3 には両側面があつて切くずの排出に影響をおよぼすことである。

以下切削力、切くずならびに切断面の状況につき示して行く。

3.1 切削力の考察

切削抵抗の測定にあつては、抵抗線ひずみ計をもちいて 2 ゲージ法により二分力の測定が可能な工具動力計を作製した。突切り切削時の電磁オツシログラフによりえられた切削抵抗の波形を比較すると、軽油の場合の方が切削油に比しはなほだしく大きく振動しており、切削抵抗を正確に読み取ることは困難であつた。そこで変動している切削力のほぼ中央点を通る平滑な曲線を以て切削力の変化のようすを示すものとして、主分力のそれを

示したものの1例が **Fig. 1,2** である。**Fig. 3** は背分力の1例を示した。これらの図の横軸はバイトの切込み量を示すが、これは同時に切削速度をも示すことになり、図中横軸の下にそれをも示しておいた。

軽油、切削油ともに突切りの始めにおいてはバイトの切込みとともにしだいに主分力は増加して行くが、その増加の割合は軽油の方が急である。バイトの切込みとともに切削速度は減少し、Boston と Gilbert¹⁾ の実験でも示されているように、それにとまって主分力はいくらか上昇して行くことが考えられる。しかし切削速度の影響よりはむしろ被削材の温度上昇にとまって、切くずとバイトの間の摩擦抵抗が大となり、剪断角が小に、切くず厚が大となつて主分力はしだいに増大して行くと考えられ、そしてその増加の割合は減摩効果と冷却効果が小なる軽油の方が遥かに大きいものと考えられる。

軽油の場合、最大主分力が丸棒の中央部に出来て、それから急激に減少している。このように最大値を持ち以後減少している理由としては、被削材が相当高温となつて軟化し、主分力が大なるために被削材は片持梁としての変形を生じて、バイト幅に対する実際の平均送り量が減少する結果と見られる。このことは後述する切くず厚さの変化のようすとよく似ている。この最大の主分力値

Fig. 4 Relation between the maximum tangential cutting forces and revolution of lathe (a), or feed (b).

Fig. 5 Ruptured section.

Table 2 Rupture stress values.

R.P.M.	Feed mm/rev.	d_B mm	F_C kg	τ_B kg/mm ²
800	0.06	4.3	33	3.4
	0.10	5.0	46	3.5
	0.139	4.9	58	4.6
	0.16	6.3	63	3.0
1,000	0.06	4.2	34	3.7
	0.10	5.0	57	4.4
	0.139	5.1	64	4.7

を、横軸に回転速度を取つて図示すると **Fig. 4 (a)** となり、ほぼ水平の曲線に近く、最大主分力は回転速度には関係ないと言ふことが出来る。送りに対し、平均した最大主分力値を図示すると **Fig. 4(b)** となり、送りとともに直線的に増大していることがわかる。

切削油をもちいた時の主分力についても軽油の場合と同じ傾向を取るべきはずだが、発熱は遥かに小で、被削材の軟化による弾性変形もたいしたことなく、それよりも切くずとバイトとの間の摩擦係数の増大の方が大きいので、いちように主分力が増加を続けるものと考えられる。

切削油の場合破断寸前に主分力が急激に大きくなっている理由は、この位置では被削材の直径は非常に細くなつており、剪断面で剪断されて切削が行なわれていると言うよりは、バイトの先端で切くずを押し上げて被削材に変形を与えるに要する力がバイトの進み（非常に低速）とともにしだいに大きくなる必要があるためと考えられる。すなわち突切りは最後まで切削が行なわれるわけではなく、**Fig. 5** に示す旋盤のつかみ部に近いA断面に、主として主分力によるねじり応力で破断が生じて終る。破断剪断応力を τ_B とすると、破断時には次式が成立するものと考えられる。

$$F_C \cdot \frac{d_B}{2} = \int_0^{\frac{d_B}{2}} 2\pi r^2 \tau_B dr$$

$$= \frac{\pi \tau_B d_B^3}{12}$$

よつて

$$\tau_B = \frac{6F_C}{\pi d_B^3}$$

ここで d_B は破断したA部の直径、 F_C はその時の主分力である。上式で τ_B はほぼ一定と考えるならば、送りが大きくしたがつて F_C が大ならば d_B もまた大きくなる。 d_B の測定は正確には出来ないが、切削油の場合にえられた値を示すと **Table 2** となる。上式より τ_B を計算すると表のようになり、大略 $3 \sim 4.5 \text{ kg/mm}^2$ とほぼ均一に近くかつ妥当な値と思われる。

Fig. 6 Variation in chip thickness for cutting depth by turning of 500 r.p.m

Fig. 7 Variation in chip thickness for cutting depth by turning of 800 r.p.m

3.2 切くずの考察

本実験にもちいたアルミニウムを二次元切削すると非常に長い切くずが出るが、本実験の突切り切削でも多くの場合切削の始めから被削材が切断するまで一つながりの切くずが出た。しかし送りが大となると切くず厚も厚くなり数個に切断する場合もあった。ことに軽油を使用

Fig. 8 Relation between the maximum chip thickness and number of revolution of the lathe (a), or feed (b).

した場合、後述するように両側面との摩擦がひどく、切込みが深くなると寸断される場合も発生していた。

突切り実験ごとにすべての切くずを回集して切くず厚と幅を測定した。切くずの測定点が被削材丸棒の半径いくらのところに対応しているものかの判定は、測定点より切くず先端までの全重量を計測した計算により容易に求めることが出来た。また切くず厚みは精密天秤による重量法平均厚を求めた。横軸にバイトの切込量すなわち被削材の半径を取り、縦軸にその点に対応する切くず厚を 500r.p.m と 800r.p.m で図示すると **Fig. 6,7** のようになる。

送り量は一定であるにもかかわらず切くず厚は決していっしょになっておらず、切込みとともにしだいに切くず厚は増大して行く。すなわち切込みとともに切くずとバイトの間の摩擦角が大となり、剪断角がしだいに小となって行くことを示している。

Fig. 6,7 で切くず厚みに最大値が存在し、とくに軽油の場合それ以後急激に切くず厚が減少している。この傾向は前述の主分力の変化 (**Fig. 1,2**) の様子とよく似ており、最大主分力位置と切くず最大厚の位置とがよく一致している。このことは主分力の考察で述べたように、主分力のために曲げ変形をして実際の平均送り量が減少して行くためと考えられる。切削油の場合でも **Fig. 6,7** に示すように突切り切断近くになっていくらか切くず厚は低下しているのも同じ原因と考えられるが、主分力も余り大きくなく、発熱も大でないため曲げ変形量が軽油の

Fig. 9 Variation in chip ratio for cutting depth by turning of 500 r.p.m.

Fig. 10 The relation between chip ratio and feed on turning of the end face of aluminum pipe.

場合より遥かに小であるために切くず厚の低下量も比較的小さい。

Fig. 6,7 に示したような切くず厚の最大値を、横軸に回転速度を取って図示すると Fig. 8(a) となり、回転速度によつては余り切くず厚に変化がないようである。そこで送りに対し Fig. 8(a) に示した最大切くず厚の平均値を示すと Fig. 8(b) となり、主分力と同様に切くず厚もほぼ送り量に比例して増大している。

送りを f mm/rev. とし、切くずの厚さを t_0 mm とした時、 $r = f/t_0$ を切削比としようすることとして、パイプの切込みにとまらう切削比の変化の 1 例を示すと Fig. 9 となる。今参考のためにパイプ端面切削によりえられた送りに対する切削比を示すと Fig. 10 となる。両者を比較

Fig. 11 On turning of the end face of aluminum pipe, the relation between the percentage increase in chip width and feed.

Fig. 12 Variation in chip width for cutting depth, by turning of 500 r.p.m.

して見ると、突切り切削の方が r は大きく、同じ送り量でも切くず厚は薄いことを示している。なぜ突切り切削の方が二次元切削に比し切くずが薄く出るか、要するに切削機構については今後の問題と考えている。

3.3 切断面の仕上状況

突切り切削によって切断面を奇麗に仕上げる事が出来れば、じ後の端面仕上を行わなくてすみ、実際問題としてはなほだしく有利である。しかし旋盤のつかみ部と反対側が製品である場合には必ず中心部に突起部が残るので、この部分を除去する作業は必ず必要となつて来る。そしてこの突起部の直径も送りが大きくなるほど太く残ること前述した通りである。

一般に二次元切削では切削幅より切くず幅が広くなるのが普通であるが、軟鋼などではその大きさは大したことではない。しかしアルミニウムやその合金ではかなり切くず幅は大きくなるようである²⁾。この切くずの幅ひろがりの問題が突切り切断面の仕上状態に、いちぢるしい影響を与えることは当然なことである。パイプの端面を同じバイトを使つて切削した時パイプの肉厚に対する切

Photo. 1 Effect of cutting fluid on the cut-off surface. (a) Kerosene, (b) Mineral oil. Turning of 630 r.p.m. Feed per revolution of 0.16 mm.

くず幅のひろがりを送りに対して図示すると **Fig. 11** となる。送りが大きくなるほど幅ひろがりは大となり、0.16mm/rev. で18%位もひろくなっている。突切り切削では切削幅より切くずが広くなることは不可能であり、切くずの排出にあたって両側面と摩擦し、必ず狭くなっている。突切り切削し始めた時の切くずの幅を 100として、パイトの切込み量に対する切くず幅の減少の1例を示すと **Fig. 12**となる。切削油を使うと送りの大きな0.16 mm/rev. でさえたいした切くずの減少が見られないが、軽油では両側面との摩擦によつてけずられ、大きく減少しており、特に送りの大きい場合にいちぢるしい。軽油で0.16mm/rev. の場合に切くず幅に最小点が見られるのも、主分力や切くず厚で最大点が存在したのと同じ原因からである。

切断面の仕上面の仕上状況を切削油と軽油の場合とで比較した1例が**Photo. 1**である。切くずの排出する時、切くずが側面とふれる側がよごされるわけで、ことに軽油を使った場合は切削油よりも切くずと側面との摩擦がひどくて非常にきたなくなっている。送りは小さく、冷却効果と減摩効果の大きな工作油を用いた方が切断面はきれいに仕上るようである。

4. 結 論

直径40mmの市販アルミニウム丸棒を用い、工作油として鉱物性油を主体とした切削油と軽油とをもちい、各種の回転速度と送りとで突切り切削の実験を行ない、つぎのような結果をえた。

(1) パイトの切込みに対する主分力の変化のようすが、切削油をもちいたときと軽油とは異なる。切削油では中心に行くにつれ主分力は大きくなって行くのに、軽油では急激に主分力は増大し、その後減少している。そして主分力の大きさは同じ切削条件では遥かに軽油を使った場合の方が大きい。

(2) 主分力の大きさは切削回転速度にはあまり関係なく、送り量とともに大きくなる。

(3) いちような送りで切削しても、切くずはいちような厚さとならず、中心に行くにつれ厚くなって行く。しかし切くず厚にも最大点が存在し、軽油を使った場合、切込みと切くずの平均厚みの曲線の形は、切込みと主分力の関係曲線とよく似たようすを示した。

(4) 切くずは排出にあたって両側面と摩擦して両側面をきたなくする傾向があり、切くず幅は切削幅より小となる。この傾向は送りが大きいほど大きく、かつ軽油を使った場合の方がはなはだしい。

最後に本研究を行なうにあたって、軽金属協会アルミニウム科学技術振興会切削性研究グループの諸先生に種々有益なるご指導を戴いたことを付記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) Boston, Gilbert: Trans. ASME, **79**, 4 (1957) 909.
- 2) 田中義信, 津和秀夫, 北野昌則: 精密機械 **31** 6 (1965) 46