

## 切りくず生成における形状変化について

酒井 義郎\*・大草 喜太雄\*

## Unstable Behaviors of Chip in Turning

Yoshiro SAKAI and Kitao OHKUSA

## Abstract

Variation in chip formation is investigated. For chip control, it is important to clarify how chip flows and is broken. But sufficient answer has not been obtained. For one thing, so many a factor govern chip behavior, and for another, chip does not always flow stably and sometimes shows instability. The latter is the major subject of this paper. This instability and the factors governing chip behavior are discussed referring to photographs of produced chips taken with a camera fixed on the employed lathe above its tool post.

## 1. 緒 言

切りくず生成に関しては、従来多くの報告がなされているが、安定して定常的に同一形状の切りくずが生成される場合に限られているように思われる。しかし、実際には必ずしもそうではなく、切りくずの挙動にかなりの程度に不安定性がみられ、切りくず形状が時々刻々変動する場合もある。工作機械外への切りくずの搬出・回収という意味での切りくず処理の点からは、こうした不安定性の方がむしろ大きな問題であるといえる。この問題を解決するためには、加工中に切削条件を変えるなどして、切りくず形状の制御を図る必要がある。ここではそうした扱いの一助とすべく、切りくずの動的挙動の一面について議論する。

## 2. 切削条件による切りくず形状変化の観察

レンズの軸が鉛直方向となるように、切削点直上でカメラを下向きに刃物台に固定し、旋削における切りくずの挙動を写真撮影により観察した。実験条件は以下の通りである。

被 削 材 = S48C, S45C (いずれも焼きならし材)

工 具 材 種 = P20

切 削 速 度 = 55, 80, 100, 120 m/min

送 り = 0.1, 0.2 mm/rev

切 込 み = 0.3~3 mm (0.1 mm 間隔, 一部 0.05 mm 間隔)

ブレーカ形状 = Fig. 1 に図示,  $l_1 = 3.45, 3.89$  mm,  $l_2 = 1.23, 1.64$  mm

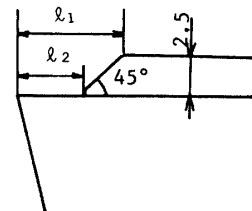


Fig. 1 Chip breaker geometry

Fig. 2 に切りくず流出状況の例を示す。3種類の切削速度 (80 m/min, 100 m/min, 120 m/min) の場合について、典型的な一部の写真を掲げたものであるが、切込みに対する切りくず形状の変化の傾向は、切削速度によらず同一である。すなわち、切込みが小さいうちは、切りくずは横向きにカールし、コイル状の連続切りくずとなって流出する (図中では、切込み = 0.5 mm の場合) が、切込みの増加とともに次第に形状が変化し、ついには周期的に折断され、1巻き程度の短い切りくずとして排出される (図中では、切込み = 2 mm の場合)。また、切りくずが周期的に折断されるのは、チップブレーカが有効に作用しているからであり、このための要件は切りくずが上向きにカールしていることである。ただし、切りくずが折断されるため

\* 生産機械工学科

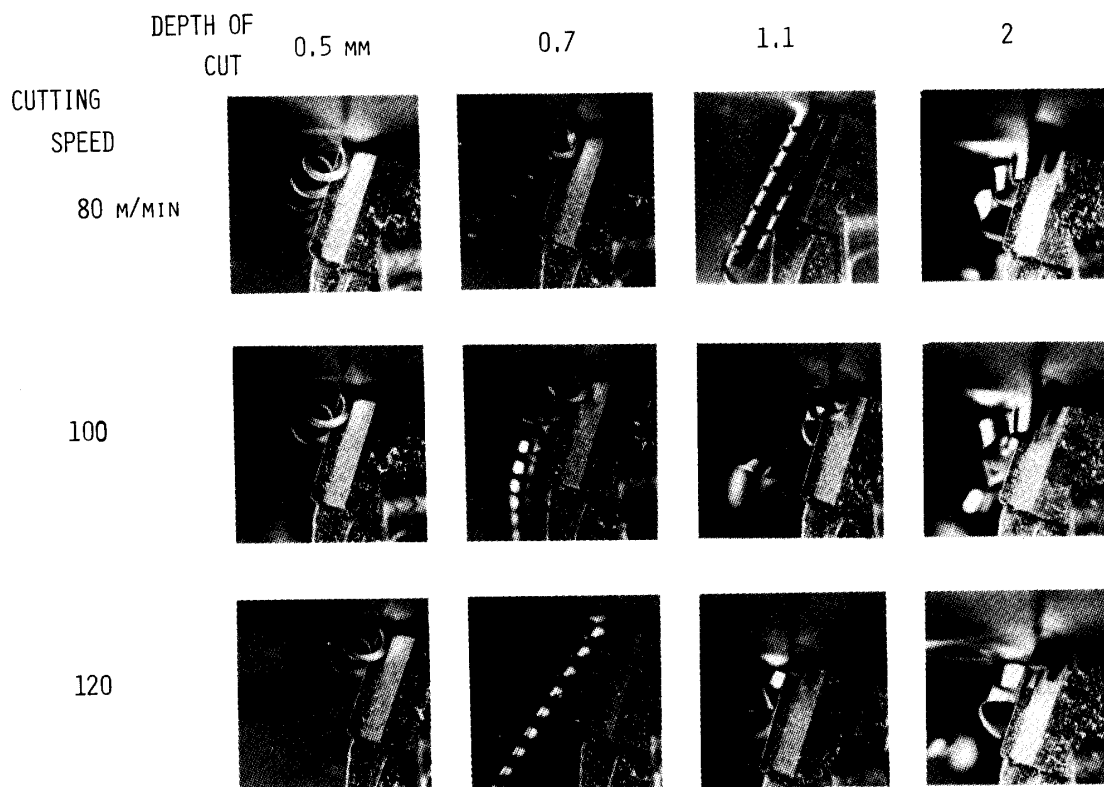


Fig. 2 Chip forms in various cutting conditions (feed rate=0.2 mm/rev, workpiece diameter=164 mm, shutter speed=1/1000 s)

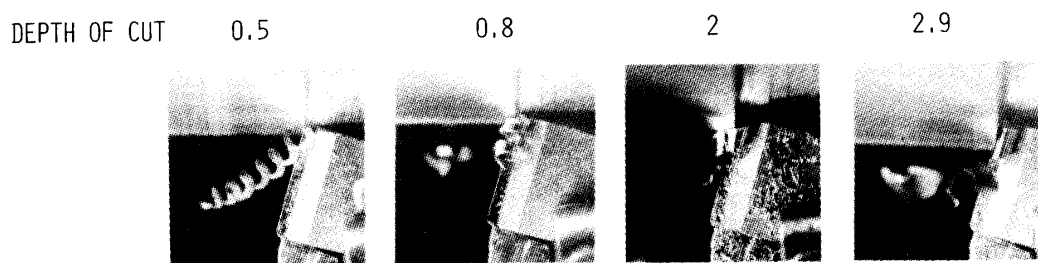


Fig. 3 Chip form variation with depth of cut where finally chip begins to strike the transient surface (feed rate=0.1 mm, cutting speed=55 m/min, workpiece diameter=83 mm, shutter speed=1/1000 s)

には、必ずしもチップブレーカの存在は必要ではない。

次に、もう一つ別の条件下での結果を Fig. 3 に示す。この場合、切りくず流出角が小さ目であることが観察される。切込みに対する切りくず流出角の変化を示した Fig. 4<sup>\*1)</sup> において、このことが確認される。そして、切りくず流出角が小さいために、切りくずが折断される切込み条件下、すなわち、ブレーカが有効に作用する場合において、流出した切りくずの先端は横逃げ面に当るのではなく、被削材の肩に当って、これが障害物となり、切りくずが破断している。

\* 図中の黒く塗りつぶした実験点は別物で、この場合、それらは一応対象外である。この点については後述する。

### 3. 切りくずの挙動を支配する因子について

前節において、広い意味での切削条件の相違による、一般的な切りくず形状の変化について観察してきた。これらの結果を踏まえて、切りくずの挙動を支配する因子について検討する。

切りくずの挙動を支配する因子は、抽象的表現として、次のようなものであると言える。

- i) 物理的制約
- ii) 運動学的拘束
- iii) 確率因子およびその他の因子

まず、因子 i) は空間的制約とも言えるものであって、これについてより具体的に述べると、以下のようなであ

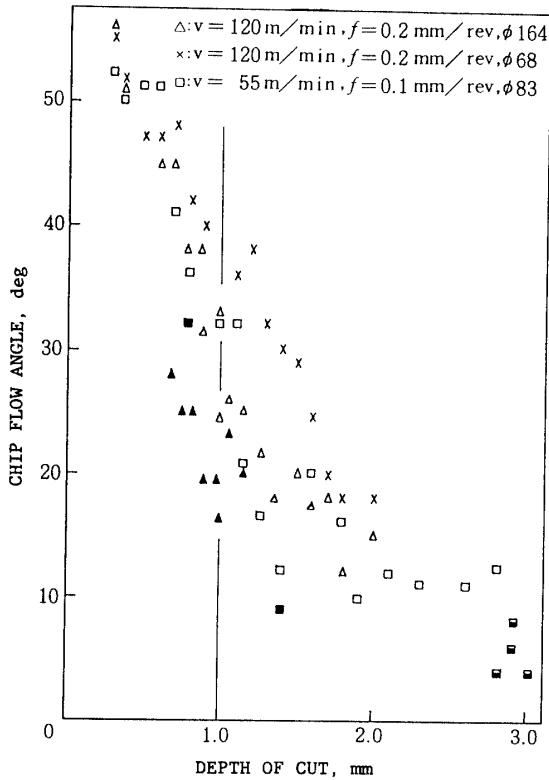


Fig. 4 Chip flow angle vs. depth of cut

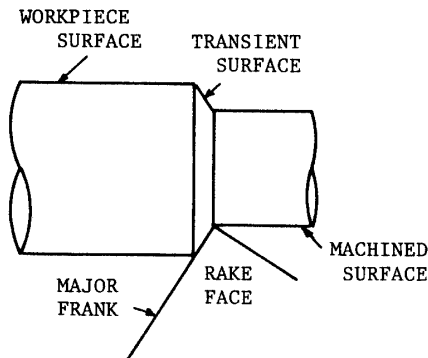


Fig. 5 Physical restriction imposed on chip flow

る. Fig. 5 に示すように、切りくずの流出可能な空間的領域は、被削材の未仕上げ面、過渡的仕上げ面（簡単のため、以後これを被削材の肩と呼ぶ）、仕上げ面、工具のすくい面（チップブレイカを含めて）、横逃げ面などによって制限される。したがって、被削材の、ある特定の部分が、工具刃先によって切りくずとして分離された直後にその切りくずと与えられた流出方向や形状（非常に短い断片として考えた場合の）が、因子 i) によって決定される制約に調和すれば、非常にきれいな形状の切りくずが得られる。例えば、Fig. 2 における切込み=0.5mm の場合などがそれである。しかし、逆に、切りくずが因子 i) にそぐわない場合、Fig. 6 のようなことが起り得る。Fig. 6 は Fig. 2 最下



Fig. 6 An example where chip happens to lose conformity with the physical restriction

段の切削条件下（切削速度=120m/min）における切込み=0.4mm の場合である。勿論、この場合、通常は、Fig. 2 における切込み=0.5mm の場合のすべての写真と同様に、きれいなコイル状切りくずとして流出するが、偶然に生じた事態である。すなわち、因子 i) だけではなく、因子 iii) の確率的な何かも作用していることがわかる。また、直接的な原因としては、被削材未仕上げ面と切りくずとの間の摩擦状態の変化が挙げられる。切削点近傍において、被削材はほぼ鉛直下向きに回転運動をしており、この条件の場合、通常は被削材のこの運動に影響されて（適当に摩擦が生じて）、切りくずは下に押し下げられる。この作用が定常的な場合、ほぼ一定のピッチを持つコイル状の切りくずとなる。Fig. 6 の場合、こうした条件がうまく整わなかったために生じたものと思われる。この点に関する他の例を1例 Fig. 7 に掲げる。この例はやはり Fig. 2, Fig. 6 と基本的に同一の切削条件下における一連の実験結果の一部である（切削速度=120m/min, 切込み=1.6mm）。通常は Fig. 7 (a) のような形状の切りくずとなるが、時折 Fig. 7 (b) のようになる。この場合、切りくずは次のような挙動を示す。まず、切りくず先端が工具の横逃げ面に衝突し、逃げ面に行く手を阻まれる。しかし、この後も切削点において時々刻々被削材が切りくずとして分離されているので、切



Fig. 7 Another example of the situation as in Fig. 6

りくずの長さは次第に長くなる。このため、切りくず先端の逃げ面との接触角によって異なるが、この場合、切りくず先端は下方へ向けて逃げ面上をすべらざるを得ない。したがって、曲率半径が大きくなる向きに、切りくずに曲げモーメントが作用し、切りくずは破断する。この場合もやはり、Fig. 6 の場合と同様、被削材未仕上げ面が関係している。すなわち、前述のように、被削材の回転運動によって、切りくずは多少下方に押し下げられながら動き、切りくず先端の逃げ面との接触角が、上記の切りくず破断の条件を満す角度となる。ところが、被削材との接触状態によっては、この条件が満されないまま、切りくず先端が逃げ面に接触し、Fig. 7 (b) のような事態が生じる。

因子 i) に関連して上で述べたことの中には、因子 ii) の作用も含まれている。ただ、因子 i) が大きな比重を占めていたため、因子 ii) の存在については陽には触れなかった。因子 ii) の基本的な部分は、切りくずに関する力学的な面である。例えば、2次元切削や傾斜切削のように、単一の直線刃だけが切削に関与するような場合、切削幅方向に、切りくずを微小な区間に分割して考えると、どの部分についてもそれぞれの流出方向は同一である (Fig. 8 参照)。ところが、外

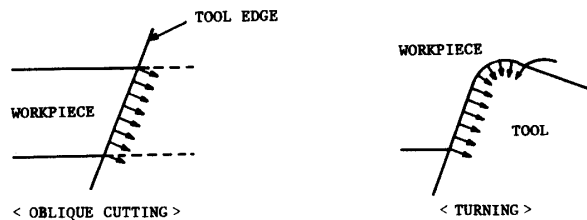


Fig. 8 Schematic of chip flow

周旋削など一般の3次元切削においては、二つの直線刃部と、それらの間にあってそれらをつなぐ部分であるコーナとが切削に関与している。コーナ半径に比して、送りが小さい場合でも、一つの直線刃 (要するに横切れ刃) とコーナが同時に切削に関与している。この場合について、やはり切りくずを微小な幅に分割して考えると、直線刃に対応している部分とコーナに対応している部分とでは、各微小部分の流出方向が異なっている。特に、コーナ部では、各微小部分の流出方向は、それぞれ互いに異なっている。したがって、互いに他の流出を阻む方向に流出するわけで、最終的には互いに調和のとれる方向に流出することになる。このことを、力学的にどう表現するかという点については、例えば橋本ら<sup>2)</sup> は、それらの各部分に関する切削抵抗の合ベクトル、すなわち  $\int dF$  の方向に流出

するという立場から検討しており、また白井ら<sup>3)</sup> は、せん断に要するエネルギーとすくい面上での摩擦に要するエネルギーの和を最小にする方向に流出するという観点について報告している。

また、因子 iii) も因子 i), ii) と同様に多かれ少なかれ常に作用している因子である。これには、例えば上述の被削材や逃げ面との摩擦の問題に関わることや、刃先における構成刃先ないし付着物の生成・脱落の状況に関わることなどがある。後者についてもう少し具体的に述べると、構成刃先ないし付着物は切れ刃稜に沿って必ずしも一様な大きさ、形状を有するわけではなく、またその脱落も同時に生じるわけではないので、せん断角、したがって切りくずの厚さが幅方向に沿って変化し、すくい面上での摩擦状態などに影響を及ぼして、流出角が時間的に変動することが考えられるということである。このように、因子 iii) は、切りくずの挙動における変動や不安定現象に関連するものと思われる。例えば、定常的に切断されているような切りくずの流出状況下においても、個々の切りくずの長さは同一ではなく、分布を成している。また、不安定現象の例としては、Fig. 2 における切込み=0.7および1.1mmの場合並びに Fig. 3 における切込み=2.9mmの場合がある。まず、Fig. 2 の現象について説明すると、これは次のようなものである。この条件下では、切りくずは通常被削材未仕上げ面と工具横逃げ面とによって囲まれる領域へ向けて流出するが、突如としてすくい面上を、横切刃稜に沿って流出するコイル状切りくずとなることがある。本稿においては省略するが、1秒間に500コマ程度の高速写真撮影によって観察すると、かなり微妙な現象のようである。すなわち、この突然の変化は、うまく生じるかみえて、不成功に終ることがある。カール半径や流出角の変化がこれを生じさせるにはやや不十分であったために、不成功に終るのであろうが、この意味からも確率的な因子が作用しているといえる。Fig. 4 において、これらが生じた場合を黒く塗りつぶした印で表現した。次に、Fig. 3 の現象について述べる。この条件下では、切りくずは破断し、小片となって飛散するが、その流出方向は通常 Fig. 2 の場合と同様に被削材未仕上げ面と工具横逃げ面とによって囲まれる方向である。Fig. 9 に示した状態がそれであって、Fig. 3 に示した写真は、流出方向における突然の変化を示した直後の状況を撮影したものであって、したがって、写真の中で空中を舞っている切りくずはまだ通常の流出方向を向いている。Fig. 3 においては、Fig. 9 と異なり、新しく生成された切りくずは被削材の肩に当たっている。この



Fig. 9 Chip flow where the free end of the chip clears the transient surface

ため、破断時の衝撃によって切りくずは送り運動とはむしろ逆方向（後方）に飛散する。Fig. 4 中には、この状態を下半分だけ黒く塗った印で示した。この Fig. 3 の不安定現象は、Fig. 2 の場合に比べ頻度的に少ない現象である。

#### 4. 結 言

本稿において究明したかった事柄は、前節後半において述べた不安定現象であるが、急変現象であり、また、少なくとも現状では生起する時点を予測することは不可能であるため、原因はよくわからないのが実状である。

Fig. 4 からわかるように、これらの不安定現象は、いずれもそれぞれ特定の条件下で生じており、生起要件が満たされた場合に限り生じるものと思われる。この意味で、過渡現象である。また、いずれの場合も、流出角において不連続的な変化を示しており（勿論、現象的に、こうした不連続性を伴わないと生じ得ないことではある）、時間的にも極く瞬間的な現象ではなく、しばらくは継続する。この点からすると、これらは何らかの意味での平衡状態の急変によるものであり、切りくずの挙動を支配する因子の確率的な動揺に伴う一種の履歴現象であろうと思われる。

#### 参 考 文 献

- 1) 酒井義郎：“切りくず処理性の相違による切削抵抗の変化,” 切りくずの処理技術, 総合技術センタ (1982) p. 15
- 2) 橋本, 杭瀬：三次元切削に関する基礎的研究 (第4報) — 切りくずの流出方向について —, 精密機械, **32**, 225 (1966)
- 3) E. Usui and A. Hirota: Analytical Prediction of Three Dimensional Cutting Process, Part 2 Chip Formation and Cutting Force with Conventional Single-Point Tool, ASME Journal of Engineering for Industry, **100**, 229 (1978).

(昭和 58 年 4 月 15 日 受理)