研 究

切りくず処理に関する研究 (第3報)*

——切りくずの油流し処理法——

湊 喜代士** 豊 島 敏 雄**

Study on the Chip-excluding (3rd Report)

——The Facility of Being Washed away of Chip with Cutting Fluid——

Kiyoshi MINATO, Toshio TESHIMA

The relations between the facility of being washed away of chips and the incline of a conduit or the flow rate of cutting fluid are investigated when chips of various types and sizes are washed away with cutting fluid through the conduit, and results are as follows:

(1) The facility of being washed away of a chip varies with the shape and curl type, and the ascending order of the facility is side curl type, conical curl type and up curl type in general, and cylindrical helical fragment-shaped chip (up curl type) are most easily washed away.

(2) The influences of the shape and size of a chip upon the facility of being washed away may be represented with one value of the projected area per unit weight of a chip in the stream direction, and a chip is washed away easier as the projected area becomes larger.

1. ま え が き

切削加工において、排出された切りくずを取り除き処理するのに切削油を用いて流し去る方法が多くの場合行われている。しかし生成された切りくずの形状・大きさと切削油の油量などの間の関連性、いいかえるとどのような切りくずのときにはどの程度の量の切削油を流せばよいかなどについては明らかにされていないので、これらの関係を見きわめることは重要である。流れる流体の中に物体があるとき、その物体のうける抗力は解明され数式化されている¹⁾。いまその原則を考慮に入れて上述の両者間の関連性を明らかにしようと試みた。すなわち、油の流れる“とい”の中に種々の形状の切りくずを流し、流れる油の量、といの傾き、切りくずの性質などの相互間における関係を把握して、切りくずの流されやすさは切りくずのいかなる要因に影響されるかについて調べた結果を報告する。

2. 傾斜といにおける切りくずの流れやすさ

流れの中に物体がある場合、物体はある大きさの力を流体から受ける。この流体抵抗(抗力) R は次式で示されている¹⁾。

$$R = C\gamma/2g \cdot v^2 A \quad (1)$$

* 原稿受付 昭和51年11月12日。日本機械学会・精機学会北陸地方講演会(昭和50年10月1日)にて発表。

** 正 会 員 福井大学工学部(福井市文京3-9-1)

ここで、 C : 物体の流体抵抗係数、 γ : 流体の比重量、 v : 流体の平均流速、 A : 物体の流れの方向に直角な最大断面積。

いま切りくずが傾斜といの中を油によって流される場合、上式の流体抵抗 R が大きい切りくずほど流されやすいことが考えられる。切りくずの形状は種々雑多で、しかも複雑な形状のものが多く、上式において、切りくずの流体抵抗係数 C や流れ方向と直角方向の切りくずの最大面積 A は単純にはきめにくく、したがって、それぞれの切りくずの流体抵抗 R の大小、すなわち切りくずの流されやすさは簡単には比較することはむずかしい。しかしその流されやすさは式(1)より次のように考えられる。

- 1) 流れを妨げるような形状の切りくずほど流されやすい(式中の C)。
- 2) 流れの直角方向に大きい面積をもつ切りくずほど流されやすい(式中の A)。
- 3) 油の単位体積当たりの重量すなわち比重量の大きい場合ほど流されやすい(式中の γ)。
- 4) 油の流れの速いほど流されやすい(式中の v)。

ところで油の平均流速 v は一般に次式で表される²⁾。

$$v = C_0 / m i$$

ここで、 C_0 は流速係数(同じといについては同一の値とみなす)。 m は流体平均深さ、 i はといの勾配である。といの幅を b 、といを流れる油の深さを h 、といの傾き角を θ とすると、

図1 実験装置の概要

$$m = hb / (2h + b), \quad i = \sin \theta$$

であり, 油の平均流速 v は次のように表される.

$$v = C_0 / \sqrt{hb / (2h + b) \cdot \sin \theta} \quad (2)$$

油の流量 Q は

$$Q = vbh$$

式(2)を代入して

$$Q = C_0 / \sqrt{hb^3 / (2h + b) \cdot \sin \theta} \quad (3)$$

ところで

$$\frac{dv}{dQ} = \frac{dv}{dh} \cdot \frac{dh}{dQ} > 0 \quad (4)$$

すなわち, 流量が増すと流速も増大する. したがって, 4) 項は次のように換言することができる.

4') といの傾きが大きいとき, あるいは油の流量の多いときほど流れやすい.

傾斜といにおける切りくずの流れやすさは上記の 1), 2), 3) および 4') 項により定性的に説明できる. したがって実際の場合について実験を行い, 切りくずの性状, 流れる油の量, といの傾きなどによる影響およびそれら相互間における関係を検討することにする.

3. 実験装置および実験方法

実験装置を図1に示す. とい⑪は幅 125 mm, 高さ 50 mm, 長さ 2500 mm のリップみぞ鋼であり, 油量調整はギャポンプ⑥の送り出し量の変化と油の流量調整バルブ⑦, ⑧, ⑨にて行う. といの傾きはとい傾き調整棒⑭を上下して, とい下端保持わく⑬に固定することにより決める. 切りくずをといに落下する方法はバケット振動用可変モータ⑮の軸に偏心板を取付け, この偏心板とホップ状の切りくず収納箱⑯とを連結棒⑰で連結し, バケット支え棒⑱を軸にして切りくず収納箱を振動させて行う. 切りくず落下量の調整操作はバケットの振動とバケット下面の切りくず落下用穴面積を調節して行う.

(1目盛5mm)

図2 実験に使用の切りくずおよびその形状

図3 実験に使用の切りくず形状形式の分類

表1 切りくずの形状による分類

円筒らせん状形	No. 11
うず巻き形	No. 8, No. 9, No. 10, No. 12
ねじ状形	No. 15, No. 16
不規則分断形	No. 14
円筒状分断形	No. 1, No. 2, No. 7, No. 13
平板状形	No. 3, No. 4, No. 5, No. 6

表2 切りくずのカール方向による分類

横向き切りくず	No. 3, No. 4, No. 5, No. 6
斜め向き切りくず	No. 1, No. 14, No. 15, No. 16
上向き切りくず	No. 2, No. 7, No. 8, No. 9, No. 10, No. 11, No. 12, No. 13

実験に使用の切りくずは, 炭素鋼を種々の条件下で旋削し, 排出された種々のタイプ3)~6), 大きさのもので, それらを図2に示す. 同一種類の切りくずはかなりよくそろっている. それらの切りくずを図3に示す6種類の

形状形式^{4)~6)}に分類すると表1のようになる。使用した油剤はスピンドル油#60, 粘度30 cSt (20°C) である。といに落とす切りくず量の選定は荒削りの場合の標準切削条件 (切込み2.0 mm, 送り0.3 mm/rev, 切削速度100 m/min) で切りくずが排出する場合を想定し, 切りくず比重7.8 g/cm³として計算し, 468 g/min $\div$ 500 g/minとした。各種の切りくず500 gをバケットに入れ, バケットの底窓口の開閉量とバケット振動量との操作で1 min間に500 gを一定割合でといに落とす。といを流れ落ちた切りくずは上皿天びんでその重さを測る。同じ実験を5回繰返して, その平均値をとり, 切りくずの流れた量とする。

といの傾き角 θ が $\theta < 5^\circ$ の場合は切りくずがバケット直下落下点の近傍に堆積し, 切りくずは油とともにといからあふれ出る状態となり, また $\theta > 14^\circ$ の場合は切りくずがわずかの油量で流れ落ちる状態となり, 切りくず相互間の必要油量の差異が判然としない。したがって, 実験条件としてのといの傾き角は $5^\circ \leq \theta \leq 14^\circ$ の範囲で, 4種類の角 $5^\circ, 8^\circ, 11^\circ, 14^\circ$ を選定した。

4. 実験結果および考察

4.1 油の流量と流れる切りくず量

図4は切りくずNo.1の場合で, といの傾き角 $5^\circ, 8^\circ, 11^\circ, 14^\circ$ の4種類について, 油の流量と流れた切りくず量との関係を示し, 図5はといの傾き 5° の場合の各切りくずについて, 油の流量と流れた切りくず量との関係を示す。図4において, たとえばといの傾き角 5° の場合, 切りくずが流れ始めるためには少なくとも約9 l/minの油流量を必要とし, 油流量約25 l/minでは100 gの切りくずが流れる。次いで約40 l/minの油流量では400 gの切りくずが流れる。切りくず500 g全量を流すためには約43 l/minの油の流量が必要なことを示している。換言すれば, 長時間連続して前述の8 g/sの割合で切りくずが生成されるとき, このNo.1切りくずを傾き角 5° のといにて連続的に流し続けるには少なくとも43 l/min以上の油量をといに流さねばならないことを意味している。切りくず100 g程度まで流すためには比較的多量の油を流さねばならず, それ以後次第に比較的小さい油量の増加によって流される切りくずの量は増す。このように油の流量を増せば当然流れる切りくず量も増加するが, 少量の切りくずを流す場合には比較的多くの油流量

図の上端の角度数はといの傾き角

図4 油の流量と流れた切りくず量 (切りくず No. 1 の場合)

図の上端の数字は切りくず番号

図5 油の流量と流れた切りくずの量 (といの傾き角 5° の場合)

を必要とすることがわかる。この傾向はといの傾き角が小さい場合ほど顕著である。図4において, 傾き角の異なる各といについての流れた切りくず量500 gに対応する油の流量が, 8 g/sの割合で生成されるNo.1の切りくずを連続して長時間流すために必要な最少の油の流量である。傾き角の比較的小さい変化のわりに必要油量の差はかなり大きい。また既述のように傾き角が 14° より大きくなると切りくずは非常に流されやすくなり, 切りくずの形状による必要油量の差異は測定しにくくなる。したがって傾き角の影響は非常に大きく, 可能な場合には切りくずの落ちる面に 15° 以上の傾斜をもたせることが望ましい。図5において, 流れた切りくず量500 gに対応する油の流量が各切りくずを連続的に8 g/s流し続けるに必要な最少の油の流量であり, 切りくず形状によってかなり必要流量が異なることがわかる。

4.2 切りくずの形状と流れやすさ

とい流路の傾きと切りくず全量 (500 g) が流れる (8 g/s) ときの油の流量との関係を各切りくずについて示したものが図6である。この図は各切りくずを表1に示す形状形式と表2に示す切りくずのカール方向による形式⁵⁾⁶⁾とで分類し総合的に示したものである。図6より明らかに円筒線形の切りくずNo.11はといのいずれの傾き角においてももっとも少ない油量で流れ, もっと

も流れやすい切りくずといえる。これは切りくずが円筒状で比較的油の受圧面積（後述）が大きいことやころがりによる摩擦抵抗の小さいことなどが主因と考えられる。次に切りくず No. 9, No. 8, No. 12, No. 10 のうず巻き形が流れやすい。つづいて切りくず No. 16, No. 15 のねじ状形, その次に切りくず No. 14 の不規則分断形, 次に切りくず No. 13, No. 7, No. 2, No. 1 の円筒状分断形の順にある。最後に切りくず No. 6, No. 5, No. 4, No. 3 の平板状形はもっとも流れにくい切りくずで, この形の切りくずは油の受圧面積が小さく, とい底面に沿って低い姿勢をとるためと考えられる。一方, 切りくずをカール方向による形式から分類すると, 上向き切りくずがもっとも流れやすく, 次に斜め向き切りくず, 横向き切りくずが流れにくいことを示している。

4.3 切りくずの油の流れに対する受圧面積と切りくずの流れやすさ

切りくずの油の流れに対する受圧面積 S (mm^2/g) とは切りくずが油の流れ方向に対して, 油圧を受ける (切りくず単位重量当たりの) 切りくずの面積, 換言すれば油の流れ方向に直角な面における切りくずの投影面積 (mm^2) をその切りくず重さ (g) で除した値をいう。この切りくずの受圧面積は次の方法により測る。切りくず 1 片を空間から水平面上に落とし任意の安定した状態に静止させ, ある一定方向 (水平面に平行な) からその方向に垂直に立てた平板に映る投影面積を測り (投影面積を拡大してプランメータで計測), これを 10 回繰返し行った平均値をその切りくず 1 片の重さで除した値, すなわち切りくず 1 片の単位重量 (g) 当たりの投影面積 (mm^2) をもって示すことにする。切りくずの受圧面積を考えると, 深い関係をもっているのは切りくずのカール方向で表 2 の上向き, 斜め向き, 横向きの 3 とおりがある。図 7 は各切りくずの油の流れに対する受圧面積 S (mm^2/g) を示したもので, 各切りくずについて切りくずのカール方向の 3 区分⁴⁾を付して示した。この図より, 一般的に油の流れに対する受圧面積の大きい順から上向き切りくず, 次いで斜め向き切りくず, 横向き切りくずの順であることがわかる。いま図 7 の油の流れに対する受圧面積 S (mm^2/g) を横軸にとり, 図 6 (あるいは図 5) における切りくず全量 (500 g) が流れたとき

図 6 といの傾きと切りくず全量 (500 g) が流れたときの油の流量

切りくずのカール方向
○ 上向き ($\theta < 20^\circ$)
● 斜め向き ($20^\circ < \theta < 70^\circ$)
◎ 横向き ($70^\circ < \theta$)

図 7 切りくずの油流れに対する受圧面積と切りくず形状 (カール方向)

図 8 切りくずの油流れに対する受圧面積 S と切りくず全量 (500 g) が流れたときの油の流量 L との関係

の油の流量 L (l/min) を縦軸にとって, 各切りくず

ついてプロットしたもの一例が図8である。この両者の間には概略的ではあるが次の関係が認められる。

$$L \cdot S^n = C \quad (5)$$

L, S は上述のとおり, n, C は定数。

といの傾き角 5° の場合 $L \cdot S^{1.60} = 60\,300$ (図8)

8° の場合 $L \cdot S^{1.33} = 6\,310$

11° の場合 $L \cdot S^{1.11} = 1\,540$ } (図省略)

14° の場合 $L \cdot S^{0.92} = 265$ }

受圧面積 S の小さい切りくずを流すためには多く油の流量が必要で、受圧面積 S の大きい切りくずほど少量の油流量でよいことがわかる。すなわち油の流れに対する受圧面積 S の大きい切りくずほど（投影面積が大で、重さの小さい切りくずほど）流し処理しやすいことを示している。なお上述にて少し特異とみられる切りくず No. 6, No. 12 は投影面積に比し 1 片の重さが特に重いことに起因しているものと考ええる。また図6において、流れやすい切りくずの順に上向き、斜め向き、横向き切りくずであることを知り得たが、上述のことはその説明にも役立つものである。

4.4 切りくずの油流し処理

いま、切りくずのといに対する摩擦抵抗 R' を次式で表す

$$R' = \mu(\gamma_c - \gamma)V \cos \theta \quad (6)$$

ここで、 μ ：摩擦係数（切りくずと油の間）、 γ_c ：切りくずの比重、 γ ：油の比重、 V ：切りくずの体積、 θ ：といの傾斜角。

切りくずが傾斜といを流れるか、摩擦で動かないかの限界、すなわち切りくずが摩擦にうちかって流される限界状態では

$$\text{流体抵抗 (抗力)} R = \text{摩擦抵抗 } R'$$

である。すなわち式(1), (6)より

$$C\gamma/2g \cdot v^2 A = \mu(\gamma_c - \gamma)V \cos \theta \quad (7)$$

一定の傾斜角で切りくずの油流し処理性を比較するため、 $\cos \theta = M$ (一定) とおくと式(7)は

$$v^2 = 2gM/C \cdot (\gamma_c - \gamma)/\gamma \cdot \mu V/A \quad (8)$$

いま、切りくずが相似形の場合を考え、その相似形の代表長さ l を用いれば

$$V/A = kl$$

のごとく表され、式(8)は

$$v^2 = 2gM(\gamma_c - \gamma)/\gamma \cdot \mu kl/C \quad (9)$$

となる。上式において、 v が小さいほどその切りくずは流されやすいことを意味する。その流速 v の大きさの程度は $\mu kl/C$ で決まる。この値を K とおき

$$K = \mu kl/C \quad (10)$$

この K の成分について考えてみる。 kl/C については、

図9 切りくずの大きさと流体抵抗との関係

相似形の切りくずの場合で比較すると、抵抗係数 C は等しく、 k も等しいのでこの kl/C の値は代表長さ l で決まり、 K の値は l が小さいほど、すなわち小さい切りくずほど小さくなり、流れやすい切りくずであるといえる。

ところで式(9)の v は切りくず近傍の平均流速であるが、といを流れる油の流速は図9に示すように底面に近づくに従い小さくなる。そのため小さい物体 m に対する平均流速よりも大きい物体 M に対する平均流速のほうが大きい。したがって、一般には式(9)から小さい切りくずほど流されやすいといえるが、特に小さい切りくずの間ではといを流れる油の平均流速に対する流れやすさの関係は上述と異なる傾向を示す場合がある。この現象は流れる油の深さ H が小さい場合ほど顕著である。たとえば本実験において平板状の切りくず No. 3 よりも切りくず No. 6 のほうが流れやすいという結果が現れている。

次に抵抗係数 C は 1 巻き以下で分断された比較的単純な切りくずほど小さく、 K の値は大きくなり、この形の切りくずは必然的に流速 v を増さねば、すなわち流量を増さねば流れにくいことになる。また切りくず実体の間の小さいすきまを油は流れにくく、一般に 2 巻き以上の円筒線状切りくずのような複雑なものは抵抗係数が大きく、流されやすいと考えられる。

摩擦係数 μ については種々の切りくずの場合、ワッシャ状（切りくず No. 3, No. 4, No. 5, No. 6）、平板状分断片などの横向き切りくずはといの流路底面に付着の状態となり比較的安定し、すべり摩擦が主となる。円筒線状形（切りくず No. 11）、うず巻き形（切りくず No. 8, No. 9, No. 10, No. 12）、ねじ状形（切りくず No. 15, No. 16）などの上向き切りくずはころがる可能性が大きい。当然ころがり摩擦係数は一般にすべり摩擦係数より小さいので、ころがりやすい切りくずは摩擦係数 μ が小さい。したがって K の値が小さくなり、流速 v は小さくてよく、この切りくずは流れやすい切りくずであるといえる。

受圧面積 S (mm^2/g) が同じ切りくずであっても、切りくずの流れやすさはその切りくずの抵抗係数 C によ

り影響をうけ異なる。図8において、受圧面積 S と抵抗係数 C をあわせて考慮した因子を横軸としたとき、縦軸の油の流量 L との関係は図8よりもばらつきの程度が小さいものとなろう。しかし切りくずの抵抗係数 C は各切りくずごとに異なり、この測定算出は複雑困難であり、これが油の流量 L との関係に影響を与える程度は受圧面積 S に比べて小さいと考えられる。したがって単純に、切りくずの受圧面積 S (mm^2/g) を切りくずの油流し処理しやすさの難易判定の一指標とすることができると。

5. 結 論

油の流れるといのなかに種々の切りくずを流し、流れる油の量、といの傾き、切りくずの性質などと切りくずの流れやすさとの関係を実験的に研究し、次のような結論を得た。すなわち

- (1) 切りくずの流されやすさは切りくずの形状およびカール方向により異なり、一般的には平板状形から円筒状分断形、不規則分断形、ねじ状形、うず巻き形、円筒線状形の切りくずになるにつれて、また

横向きから斜め向き、上向き切りくずになるにつれて油流し処理しやすくなる。

- (2) 形状・大きさなどの種々の要素を一括して、数值的に表現すれば、受圧面積 S (mm^2/g) の大きい切りくずほど油流し処理しやすいといえる。

謝 辞

本研究は京都大学奥島啓式教授の御懇篤な御指導によりましたことを記して、心から謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 機械工学便覧(改訂第5版)日本機械学会(1968)8~24.
- 2) 同上 p. 8~21.
- 3) 奥島啓式, 湊 喜代士: 鋼切削における切粉の挙動について, 日本機械学会論文集, **24**, 142 (1958) 333.
- 4) CIRP Group C: Terminology and Procedures for Turning Research, Univ. Technology Delft, Netherland, p. 40.
- 5) 奥島啓式: 切りくず形状の分類と被削性の評価, 切りくず処理に関するシンポジウム (1973).
- 6) 中山一雄: 切りくず形状の分類について, 精密機械, **42**, 2 (1976) 74.

精密工学系大学院の研究テーマの調査結果

会誌編集委員会では昭和50年5月に続いてこの3月に精密工学系大学院(含学部)の昭和52年度における研究テーマについてアンケートをお願いしました。

今回から誌面の許す限り順次に回答を掲載する予定です。

アンケートにご協力いただいた大学の関係者の方々にこの欄をかりてお礼申しあげます。

頭書のMは修士課程を、Dは博士課程を、テーマのあとのかっこ中の人名は指導教官名を示す。

京都大学(1)

- D 研削工学の研究(岡村健二郎)
- D 多変数線形システムの同定に関する研究(明石 一)
- D 多変数線形システムの実現問題
- D 人工心臓に関する研究
- D 幾何学的手法による線形システムの解析
- D システム信頼性に関する研究
- D 線形確立系の観測と制御に関する研究
- D 内歯車の強度特性(会田俊夫)
- M 研削過程の最適制御の研究(岡村健二郎)
- M 研削加工における切刃条件の研究
- M トラバース研削におけるかつぎ現象の研究
- M スケジューリングの研究
- M 生産ラインにおけるバッファの研究
- M シーケンシングの研究

- M テロテクノロジーの研究
- M システムの信頼性に関する研究(明石 一)
- M 環境システムの最適化に関する研究
- M 人工心臓に関する研究
- M 高速歯車のスコーリング強度(会田俊夫)
- M 浸炭焼入歯車の焼入れひずみと残留応力
- M はすば歯車の焼入れひずみと残留応力
- M 円筒歯車の運転に伴う歯車精度と動特性の経時変化
- M 焼入れひずみを考慮した歯車寸法の決定法
- M 生体を対象とした高速断層映像システムの開発とその画像認識(岩井社介)
- M LISPによる自然言語命令解析機能を有する多関節マニピュレータ制御用ソフトウェアシステムの開発
- M 造血過程のシステムモデル化とその細胞分裂ユニットに対するパラメータ同定
- M 工具刃先温度並びに逃げ面摩耗プロセス理論モデルを用いた適応制御とミニコンピュータによるシステム化
- M 認知と行動のモデルについて
- M 3点法円筒度測定の研究(星 鉄太郎)
- M 案内面の剛性及び減衰特性の研究
- M 実動状態の振動現象の伝達機構に関する研究
- M 実動状態における機械構造物の振動特性の解析
- M 機械騒音源探索に関する研究
- M 主軸系の振動特性の評価法に関する研究
- M 主軸の回転精度に関する研究