切りくず処理に関する研究 (第2報)*

—工具形状および切削条件が切りくず処理に及ぼす影響—

湊 喜代士** 豊 島 敏 雄**

Study on the Chip-excluding (2nd Report)

—Effects of Cutting Tool Shapes and Cutting Conditions on the Chip-excluding—

Kiyoshi MINATO, Toshio TESHIMA

The influences of cutting tool shapes and cutting conditions were experimentally estimated by the shape coefficient of chip C_R which was proposed for the estimating factor of the facility of chip-excluding in the previous report. The results quantitatively shown by C_R agree with the facts already elicited empirically, and those results are as follows:

(1) The chip-excluding becomes easier as a rake angle and a side cutting angle of a tool become smaller, and a nose radius smaller than 0.8 mm is desirable.

(2) The chip breakers of widely used throw away tips are not effective for the lower feed than 0.1 mm/rev, and the larger feed than 0.2 mm/rev is desirable for the chip-excluding.

(3) In case the depth of cut becomes smaller, the feed larger and the cutting speed higher over the speed at which the built-up edge disappears, the chip-excluding becomes easier.

1. ま え が き

NC 工作機械, マシニングセンタの進出に呼応して, 切りくず処理の良否が重要な被削性の評価基準となってきた。そこで筆者らは切りくずの処理しやすいさの一評価法として, 次式に示す切りくずの形状係数 C_R にて定量的に示すことを先に提案した¹⁾。本報においてはこの評価関数に基づいて, どのような刃先形状の工具が処理しやすい切りくずを排出するか, また工具にチップブレーカを設けた場合, その形状が切りくず処理にいかに関与をあたえるか, またどのような切削条件が処理しやすい切りくずを生成するかについて行った実験の結果を述べる。

$$C_R = L + 17.47W + 4.18R \quad (1)$$

C_R : 切りくずの形状係数

L : 切りくずの1片の長さ(mm)

(代表寸法として1片のサイズのうち, 縦, 横, 高さ, 直径などのうちの最長の寸法)

W : 切りくず1片の重さ(g)

R : 切りくずの容積係数(cm^3/cm^3)

$$R = \frac{\text{排出された切りくずの容積}(V)}{\text{切りくずとなった材料のものの体積}(V_0)}$$

* 原稿受付 昭和51年8月12日。昭和48年度精機学会春季大会学術講演会(昭和48年4月6日)および昭和49年度精機学会春季大会学術講演会(昭和49年4月6日)にて発表。

** 正 会 員 福井大学工学部(福井市文京3-9-1)

$$V_0 = \text{重量}/\text{比重} = \text{送り} \times \text{切込み} \times \text{切削距離}$$

なお式(1)において C_R 値が小さいほど切りくずの処理しやすいことを意味する。

2. 実 験 方 法

旋盤に被削材を取付け黒皮を削り除き, それぞれの工具形状および切削条件により外丸削りを行って, 排出した切りくずを採取し, それらの切りくずについて前述の L, W, R を測定(前報¹⁾参照)して式(1)より C_R 値を計算し(ばらつきはおおよそ10%程度である), その切りくずの形状係数 C_R とした。なお, 切りくずを旋削して山型状に積もったと同じ状態にしておき, この切りくずを吸じん機(前報¹⁾参照)を用いて吸込み処理するとき, この C_R 値の小さい切りくずほど吸込み処理しやすいことになる。

この実験に用いた旋盤, 被削材, 工具, 切削条件は次のとおりである。

旋 盤: 昌運カズヌーブ旋盤 HB (主電動機 13 HP, 両心間の距離 650mm)

工具形式: スローアウェイ型

工具材質: 超硬 P20

工具形状: $-5, -6(\alpha), 5, 6, 15, 15(\theta), 0.8(R)$ を基本として, 実験条件により α, θ, R を変える。

チップブレーカ付きチップは市販の別記(図1)形状のものを使用した。

切削速度: 18~430m/min の範囲

表1 被削材とその化学成分および熱処理法

	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Pb	かたさ H_v
S 25 C	0.26	0.20	0.37	0.013	0.031	0.09	0.06	0.11	—	—	142
S 35 CL	0.35	0.27	0.71	0.022	0.022	0.14	0.06	0.12	—	0.19	166
S 55 CL	0.55	0.24	0.70	0.017	0.026	0.17	0.06	0.15	—	0.16	211
SCM 22 L (Pb 0.19%)	0.18	0.25	0.74	0.011	0.022	0.13	0.10	1.15	0.18	0.19	150
SCM 22 L (Pb 0.26%)	0.20	0.24	0.71	0.012	0.022	0.16	0.08	0.98	0.19	0.26	161

熱処理: 焼ならし 850~900°C×2h AC

被削材: SCM22L (Pb0.26%), 工具材質: P 20, 切込み: 2.0 mm, 切削速度: 100m/min (±5%)

図1 チップブレーカの有無と切りくずの処理性

切込み量: 0.5~5.0mmの範囲

送り量: 0.1~0.4mm/revの範囲

切削形式: 乾切削

被削材: 表1に示す, 切りくずの処理しやすさを切りくずの形状係数 C_R にて示すことの可能な不連続形切りくずを排出する材料を主として使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 工具形状と切りくず処理

3.1.1 チップブレーカの有無と切りくずの処理性

工具すくい面にチップブレーカを設けるとその切りくずの処理しやすさにおいて, どのように効果があるかを定量的に示したものの一例が図1である。A1型, B1

型およびT1型工具に図示のチップブレーカを設けた工具がそれぞれA2型, A3型とB2型およびT2型工具である。いずれの工具においても送り0.2mm/rev以上の送り量において, 図示のような一般的なチップブレーカを設けることによって処理しやすい切りくずを排出している。すなわちチップブレーカの役目を果たしていることがわかる。しかし送り量の少ない0.1mm/revの場合にはチップブレーカを設けても, チップブレーカの無いときに比べて, あまり処理しやすい切りくずを排出せず, 0.1mm/revの送り量の場合にはチップブレーカの有効性があまりはっきりとしない。すなわち普通旋削において一般汎用の形状, 大きさのチップブレーカを設けても0.1mm/revの低い送り量に対しては完全にはそのチップブレーカの役目を果たさないといえる。また図1からわかるように送り量が0.1mm/revから0.2mm/revになると急に切りくず形状係数 C_R が小さくなる。一般に0.2mm/revが普通旋削におけるチップブレーカによる切りくず折断の限界送り量²⁾³⁾とみられているが, それは図1からもいえるようである。図1は切込み量2.0mmの場合であるが, 他の切込み量の場合, あるいは被削材の異なる場合においても, 上記と同じような傾向が認められる。

次に, チップブレーカの形状, 大きさが切りくず処理にどのように影響をあたえるかについて考察する。A2型はチップブレーカ溝が角度型であるのに対し, A3型のチップブレーカ溝は円形腕型で, いずれもチップブレーカの溝の幅および切れ刃部のランドの幅は同じである。この両方のチップブレーカによる切りくずの処理性は図中のプロット点をみる限り大差ないが, 後者より前者のほうがいくらか切りくずの処理性がまさっている。角度型のチップブレーカはその肩によって切りくずが曲げられて破断されるのに対し, 円形腕型によるほうが曲率半径のやや大きい切りくずを生成していることが影響しているものとする。またS型工具*は他の工具の横

* このチップブレーカ付き工具は正の横すくい角をもつことを主目的とした特異なスローウェイ工具である。

	被削材	切込み	送り	切削速度
●	S25C	1.0	0.3	97
○	SCM22L (Pb 0.19)	3.0	0.3	112

工具材質: P20, 工具形状: -5, α, 5, 6, 15, 15, 0.8

図2 横すくい角と切りくずの処理性

すくい角が負の角であるのに対して正の角であり, チップブレーカの溝幅が他の工具が2.0mmであるのに比し3.5mmと幅広くとっている。このことが起因して送り量0.1mm/revの低送りの場合には切りくずの処理性は劣っている。しかしこの工具も上述のように送り量0.2mm/rev以上においてはチップブレーカの役目を果たしていることがわかる。

3.1.2 横すくい角

工具の横すくい角は図2に示すごとく, その減少とともに処理しやすい切りくずが生成される。これはすくい角が大きほど排出される切りくずの曲率半径が増大し⁴⁾⁵⁾, また逆にすくい角が小さくなるにつれて切りくずの切りくず圧縮比 ϵ が大きくなり, 切りくず厚さが増大して折断されやすくなるためと考えられる。ここで切りくず圧縮比 ϵ とは切りくず厚さ t_2 の切削厚さ t_1 に対する比($\epsilon=t_2/t_1$)とする。一般に切りくずの形状はそのカール方向, すなわち横切れ刃に平行な軸をもつ上向きカールと横切れ刃に直角な軸をもつ横向きカール⁶⁾および切りくずの流出角の三者の組合せによって変化する⁷⁾。このうち切りくずのカール方向は横すくい角のいかにによっても変わる。すなわち横すくい角が大きいたときは切りくずのカールは上向きであり, 横すくい角が小さくなるにつれてカール方向は次第に上向きカールと横向きカールの中間的な斜め向きに変わり, 切りくずの形状が変化する。切りくずのカール方向と切りくずの処理

	被削材	切込み	送り	切削速度
●	S25C	1.5	0.4	91.5
●	SCM22L	2.0	0.2	112
○	(Pb 0.19)	3.0	0.3

工具材質: P20, 工具形状: -5, -6, 5, 6, 15, θ, 0.8

図3 横切れ刃角と切りくずの処理性

性の関係は, 上向きより斜め向きのほうが, また斜め向きより横向きカールのほうが一般に処理しやすい切りくずである*。

3.1.3 横切れ刃角

図3は横切れ刃角と切りくずの処理性との関係を示すもので, 横切れ刃角の増加につれて処理しにくい切りくずとなる。これは横切れ刃角が増すことによって実効送り量が小さくなったように作用し⁸⁾, 切りくず厚さは薄くなり, 切りくずはカールしにくくなり, 図示のごとく曲率半径の大きい切りくずになることに主として起因する。一般に横切れ刃角の減少とともにカール方向が上向き切りくずから斜め向き切りくずを経て, 横向き切りくずに変化し, 切りくずの厚みが増すこととあいまって処理しやすい切りくずが生成される。

図1において, チップブレーカのない横切れ刃角15°のA1工具は横切れ刃角30°のB1工具よりもその切りくずは処理しやすく, またチップブレーカ付きの場合においても, やはり横切れ刃角15°のA2工具が横切れ刃角30°のB2工具よりいくらか処理しやすい切りくずを排出し, 上述と同じような結果が認められる。

3.1.4 ノーズ半径

刃先丸味と切りくずの処理しやすさの関係を図4に示す。ノーズ半径0mmから0.8mm程度の範囲においては, その切りくずの処理性においてあまり大きい差異は

* 一般に横向き切りくずは上向き切りくずよりかさばらず(容積係数が小さい)処理しやすい。

工具材質: P20, 工具形状: -5, -6, 5, 6, 15, 15, R

図4 ノーズ半径と切りくずの処理性

みられない。しかし、ノーズ半径1.2mmになると切りくず圧縮比が小さくなり、切りくず厚さが薄くなって折断しにくく、曲率半径も大きくなって処理にくい切りくずになる。この傾向は特にS25Cの場合に強い。切込み0.5mm, 送り0.1mm/revのごとく精密軽切削領域ではノーズ半径0の丸味のない工具が切りくずの処理上すぐれているとの報告⁹⁾もされているが、今回の実験の場合、普通旋削においてはノーズ半径0.8mm程度以下であれば、その切りくずの処理性において、あまり大きい違いはないとみてよい。

3.2 切削条件と切りくず処理

3.2.1 切込み量

切込み量の増加とともに切りくず流出角は小さくなり¹⁰⁾曲率半径は大きくなって⁵⁾¹¹⁾処理にくい切りくずとなることを図5は示し、特に切込み3.5mm以上になればS25Cにおいて連続状の切りくずとなり、すなわち $C_R = \infty$ となり、SCM22Lにおいても C_R 値は急に大きくなり、その切りくずは処理しにくくなる。切込み量は送り量とともに切りくずの形態に密接な関係がある。すなわち切りくずの断面比(切込み t /送り f)が小さくなるにつれて、換言すれば切込み量が小さくなるか、あるいは送り量が増すにしたがって切りくずのカール方向は上向きカールから横向きカールに移行し、処理しやすい切りくずに向かう。切りくずの断面積一定のとき(切込み $t \times$ 送り f , 一定)切込み量 t を小さくして、送り量 f を大にすることのほうが切りくず処理の観点か

工具材質: P20, 工具形状: -5, -6, 5, 6, 15, 15, 0.8

図5 切込み深さと切りくずの処理性

らは、その逆の切込み量 t を大にして送り量 f を小にする場合より好都合といえる。

3.2.2 送り量

3.1.1節において既述したが、図1は送り量の増加につれて処理しやすい切りくずが生成することを示している。送り量0.1mm/revのように送り量が少ないと切りくず厚さが薄いためよく折断されず処理にくい切りくずとなる。送り量を0.2mm/revに増すと急に切りくずの処理性が向上し、送り量の増すにつれて前項で述べたごとく、切りくずのカール方向は上向きカールから斜め向きカール、ついには横向きカールへと順次移行し、処理しやすい切りくずが排出する。このように高送り旋削は生産能率の点ばかりでなく、切りくず処理の観点からも好ましいといえる。

3.2.3 切削速度

図6は切削速度と切りくずの処理性との関係を示す。切削速度20m/min近傍における切りくずは一般に図7にみられるように切りくず厚さの両側に細かいき裂が連続的に存在するせん断形切りくずになる傾向があり、カール半径は小さい。特にS35CLの場合切りくずの巻数も1巻半以下の小さい切りくずとなるため C_R 値は小さい。切削速度が35m/minないし60m/min程度の構成刃先が比較的大きく成長すると考えられる切削速度域になると、生成する切りくずの巻数は1巻程度であるが、構成刃先による実質すくい角の増加などの影響により比較的大きく切りくずはカールし、処理しにくくなる。つ

工具材質: P20, 工具形状: -5, -6, 5, 6, 15, 15, 0.8,
切込み: 3.0mm, 送り: 0.3mm/rev

図6 切削速度と切りくずの処理性

ついて構成刃先の消滅するといわれている切削速度 200 m/min 程度以上の高速域になると, その切りくずの巻数は半巻以下の断片状の切りくずに移行して処理しやすい切りくずになる。

3.3 工具摩耗による切りくずの処理性の変化

図8は工具摩耗とそれに伴う切りくずの処理性の変化を示す。工具のクレータ摩耗は切削時間に比例して進行するといわれている¹²⁾が, 切りくずの曲率半径は切削開始後の初期に比較的急に減少し, その後は切削時間すなわち工具のクレータ摩耗の進行に伴って漸減する。また切りくずのカール方向も切削初期の斜め向きから, クレータ摩耗が進むにつれて, すくい角の項(3.1.2節)で述べたように横すくい角が大きくなることに起因してしだいに上向きカールの切りくずになる。一般的には上向きカールの切りくずのほうが切りくずの処理上好ましくない。しかしクレータ摩耗がチップブレーカの役目を代行することとなり, 切りくずの曲率半径はかえって小さくなり, 形状の小さい切りくずとなることにより総合的には処理しやすい切りくずになる。工具のクレータ摩耗が増すにつれて処理しやすい切りくずを生成し, その程度はクレータの形状すなわちクレータの深さ K_T および幅 K_B との相対的關係によって左右される。

4. ま と め

先に提案した切りくずの形状係数 C_R に基づいて, 工具形状, 切削条件あるいは工具クレータ摩耗が切りくずの処理性にいかに影響を及ぼすかについて調べた。その結果, 定量的に示し得たおもな事項は次のとおりであり, それらは従来経験的, 実験的にいわれていた事実と一致する。

被削材: SCM22L (Pb0.19%), 工具材質: P20, 工具形状: -5, -6, 5, 6, 15, 15, 0.8, 切込み: 3.0mm, 送り: 0.3mm/rev

図7 切削速度と切りくず形状

被削材: S55CL, 工具材質: P20, 工具形状: -5, -6, 5, 6, 15, 15, 0.8, 切削速度: 110m/min, 切込み: 2.0mm, 送り: 0.2mm/rev

図8 工具摩耗による切りくずの処理性の変化

- (1) 工具の横すくい角, 横切れ刃角は小さいほど処理しやすい切りくずを生成する。また, ノーズ半径は切りくず処理の観点からは 0.8 mm 以下にすべきである。
- (2) 一般汎用のチップブレーカ付きスローアウェイ工具は 0.1mm/rev の低い送り量に対しては, 完全にはチップブレーカの役目を果たさず, 少なくとも 0.2mm/rev 以上の送り量にすることが望まれる。
- (3) 切込み量の小さいほど, 送り量の大きいほど, あるいは構成刃先の発生しない高い切削速度域ほど処理性のよい切りくずを生成する。

- (4) 工具のクレータ摩耗の進行は切りくず処理に関しては好影響をあたえる。

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) 湊 喜代士, 豊島敏雄, 垣野義昭: 切りくず処理に関する研究 (切りくずを吸込み処理する場合の処理しやすさの評価関数), 精密機械, **39**, 6 (1973) 596.
- 2) 中山一雄: チップブレーカの研究, 日本機械学会論文集, **27**, 178 (1961) 833.
- 3) 竹山秀彦, 関口 博, 高田孝次: 旋削加工における切りくず処理, 精密機械, **36**, 2 (1970) 156.
- 4) 竹山秀彦: 高速切削の研究 (二次元流れ型切削における切りくずカール機構の解析), 精密機械, **23**, 4 (1957) 140.
- 5) 奥島啓式, 人見勝人: 二次元切削における切りくずの彎曲現象, 精密機械, **25**, 7 (1959) 320.
- 6) 例えば, 奥島啓式: 切りくず形状の分類と処理性の評価, 切りくず処理に関するシンポジウムのテキスト (1973-2) 7.
- 7) 中山一雄: 切りくず形状の幾何学 (切りくず形状の研究), 精密機械, **38**, 7 (1972) 592.
- 8) 精機学会編: 新訂精密工作便覧, コロナ社 (1970) 101.
- 9) 中山一雄, 道場紀嘉: バイトのノーズ丸味の功罪, 昭和48年度精機学会春季大会学術講演会前刷 (1973) No. 143.
- 10) 奥島啓式, 湊 喜代士: 鋼切削における切りくずの挙動について, 日本機械学会論文集, **24**, 134 (1958) 333. K. Okushima and K. Minato: On the Behavior of Chip in Steel Cutting, Bull. JSME, **2**, 5, (1959) 58.
- 11) R. S. Hahn: Some Observation on Chip Curl in the Metal-cutting Process under Orthogonal Cutting Condition, Trans. ASME, **75**, (1953) 581.
- 12) 例えば, 佐藤健児: 金属の摩耗とその対策, 養賢堂 (1969) 193.

情 報

産業用ロボットの企業実態

日本産業用ロボット工業会 (会長・内藤一男氏) は「産業用ロボットに関する企業実態調査」の結果をまとめた。それによると生産機種は空気圧式直角座標型が50%近くを占め, 用途は組立用, 切削・研削加工用, プレス用が多く, 販売については社内向けのみが36.8%あった。またロボット生産の外注率では100%のところも比較的多い。こうした点からロボットの生産, 使用はまだ小規模で初期段階のところも多いとみられるが, 技術については自社開発が84.3%を占め, 他産業と異なり国産技術で大きな飛躍期を迎えつつあることが明らかになっている。またロボットメーカーはいずれも開発面での政府援助を望む声強い。実態調査の概要は次のとおりである。

調査対象企業は工業会会員40社, アウトサイダー159社の合計199社。このうち有回答は177社 (88.9%), ロボットの生産実績のあるところは116社, 計画中9社, 無(かつて生産していたやめたところなど)52社である。

産業用ロボットの駆動方式でみると, 空気圧式が89社 (44.1%) と一番多く, 油圧式65社 (32.2%), 電気式37社 (18.3%), その他11社 (5.4%), 動作形式は

直角座標型86社 (42.6%), 円筒座標型65社 (32.2%), 極座標型27社 (13.4%), 関節型24型 (11.9%)。

産業用ロボットの開発では自社開発が118社 (84.3%) と圧倒的に多く, 次いで海外技術導入11社 (7.9%), 他社との共同開発9社 (6.4%), 海外製品を輸入販売2社 (1.4%) と, 自社開発が圧倒的である。これは各社のロボットが社内用の必要から開発・使用されるケースが多いためとみられるが, 他産業と異なり海外技術の依存度がきわめて低く, 国産技術で日本が世界的に伸長していることは心強い。

産業用ロボットの用途面では, 組立用117件 (17.9%), 切削・研削加工用103件 (15.7%), プレス用88件 (13.4%) で, 以下, ダイカスト用64件 (9.8%), 樹脂加工用49件 (7.5%), 鍛造用44件 (6.7%), 検査測定用42件 (6.4%), 鍛造用38件 (5.8%), 熱処理用38件 (5.8%), 塗装用25件 (3.5%), 溶接用24件 (3.7%), めっき用21件 (3.2%) の順である。また特殊作業用では原子力関係3社, 軍事用2件, 海中作業1件の計6件で, これはいずれも大手メーカーである。今後は海中作業用, 原子力用が増大するとみられる。

(735ページに続く)