

超硬正面フライス工具の欠損におよぼすエンゲージ角、 ディスエンゲージ角の影響*

—円筒材切削(第2報)—

大 草 喜太雄**・北 川 亮 三**

Effect of the Angle of Engagement and the Angle of Disengagement
on the Chipping Failure of the Fly Cutter

—Face Milling of Cylindrical Workpiece (2nd Report)—

Kitao ŌKUSA and Ryōzō KITAGAWA

Abstract

In this paper three components of the average cutting force and two components of the excited vibration of cutting force under the same cutting condition as in the 1st report are described.

These forces are related to the angle of engagement (E.A.) and the angle of disengagement (D. E. A). Furthermore, it should be pointed out that the cutting force variation introduces the chipping failure of face milling cutter.

A summary of the results is as follows.

(1) The small variation of theoretical chip thickness seems to be the causes of non influence of E. A. and D. E. A. upon the average cutting forces.

But, these forces change according to the depth of cut and the feed per tooth. The appearance of tool failure due to chipping results in the vibration increase of the average radial cutting force.

(2) The natural frequency of tool dynamometer used for this experiment is about 1300Hz. The sensitivity of this dynamometer is not enough to response the impact load at the time of engagement and disengagement. However, the vibration of cutting force at disengagement between $+20^\circ$ to $+40^\circ$ is large and the tool tip is apt to chip.

(3) The tool failure due to chipping is affected remarkably by D. E. A. at the face milling of cylindrical workpiece.

1. 緒 言

超硬工具による正面フライス削りにおいて切削初期におこる刃先の欠損は準備したカッタの取り換えや工作物の精度・仕上面に悪影響を与えるため最も好ましくないものの一つである。

エンゲージ角¹⁾やディスエンゲージ角²⁾の変化は工具損傷に大きな影響をおよぼすという報告もあるが、前報³⁾ではエンゲージ角とディスエンゲージ角の変化は刃先に加わる衝撃力に変化を与えるものと考え、両者と切削力(接線方向の分力)・切削温度との関係を

調べて報告した。

本報ではエンゲージ角とディスエンゲージ角が、切削3分力の変化にどのような関係をもつか検討したものである。なお、刃先に欠損が生じないように被削材は被削性のよい炭素鋼(S15C)を用い、欠損が生じた場合の切削力を調べるときには、被削材は炭素鋼(S35C)を用い、欠損と切削力との関係を明確にするようにした。

2. 実験装置と方法

切削力の測定は前報³⁾に述べた10インチ正面フライ

* 昭和45年4月5日精機学会春季大会にて発表

** 生産機械工学教室

スに工具動力計（切削力 500kg まで、固有振動数約 1300Hz）を固定し、歪ゲージを用い電気信号に変換し、オシロスコープ画面上にえがかせる。各角度の切削力波形はモータ・ドライブカメラで撮影し、その切削力波形から平均切削力や切削力の変動を算出した。切削実験に用いた工具材種は超硬 P25 である。工具形状は前報と同一であり、スローアウェイ形である。被削材はできるだけ工具に欠損を起すことなく、単純にエンゲージ角 (E) やディスエンゲージ角 (DE) と切削力との関係を求めやすくするため、被削性のよい炭素鋼 S15C を選び、連続的に E, DE を変化できるようにフライス径の 1/4 の円筒形 (63.5mmφ) にした。連続 E の変化は円筒材の端面をオフセット 0 で切削することにより可能であり、E・DE とともに -90° から $+90^\circ$ まで変化させることが可能である。また、半円筒材の切削により E や DE の影響を分離して観察することができる。切削条件は切削速度 $v=104\text{m/min}$ 、切込み $d=1.5\text{mm}$ 、送り $f=0.169\text{mm/tooth}$ を標準とし、切削油剤は用いていない。切削力変動の再現性を調べる実験として、切込みの変化は $d=1, 2, 3\text{mm}$ 、送りの変化は $S=30\text{mm/min}$ ($f=0.23\text{mm/tooth}$)、 $S=42\text{mm/min}$ ($f=0.323\text{mm/tooth}$)、 $S=53\text{mm/min}$ ($f=0.428\text{mm/tooth}$) の各 3 種である。一方、被削材がかわれば切削力の挙動に影響を与えるものと考え、被削材 S15C, S35C, SCM 4-Q, SUS27 の 4 種について切削力波形の再現性を検討した。

Fig. 1 は代表的な切削力波形である。切削力の算出

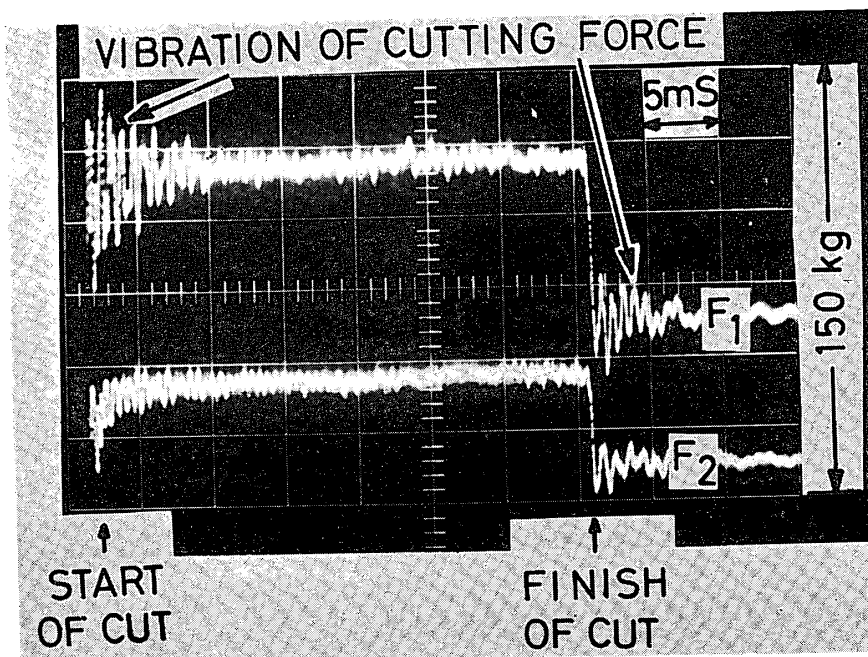


Fig.1 Representative pulse of tangential cutting force (F_1) and radial cutting force (F_2)

方法は前報と同じであり、Fig. 1 に示した切削力開始 5ms 以内の切削力の変動、切削終了後 5ms 以内の切削力の変動と平均切削力の 3 種類である。平均切削力は円筒材の端面切削で、しかも オフセット 0 であり (前報³⁾ Appendix 参照)、計算上の切くず厚さ変化も少なく、E の変化によって影響を受けない。しかし、工具に欠損が起れば、平均切削力は著しい変化を示すので、欠損の発生した角度を知ることができる。

3. 実験結果と考察

3.1 E, DE 角と切削力との関係

E 角や DE 角の変化に伴って切削開始時や切削終了時の切削力は大きく変化するものと考えられ、この切削力の変動が工具の欠損に影響を与える と推察される。

平均切削力はオフセット 0 であり、計算上の切くず厚さ変化も少ないため工具に欠損を生じなければ、E 角や DE 角が変わっても殆ど同じ値を示す。一方、切削開始時の切削力変動や切削終了時のそれは E 角や DE 角と共に大きく変化する。Fig. 2 a~d では切削力変動のうち接線方向の分力 (主分力) と半径方向の分力 (送り分力) が E や DE の変化に伴ってどのように変化するか測定したものである。切込み深さが増加するに従って、切削力変動のピークは増加していて、ピークが発生する E 角や DE 角はほぼ同じ位置である。接線方向の分力の変動は E 側、DE 側ともに切込み深さが同じであれば、その値は殆んど同じ値を示している。つぎに半径方向の分力の変動は E 側で殆んどピークも見られず、切込み深さに比例して、わずかにその値が増加するだけである。しかし、DE 側は $+20^\circ \sim +40^\circ$ で半径方向の変動にピークを見ることができ、衝撃力の変動大になることを示している。

Fig. 3 a~d は一刃当りの送りを大きくさせた場合に E や DE 角の変化と切削力の変化との関係を求めたものである。Fig. 3 a・c に示した接線方向の分力の変動は E 側・DE 側ともに $+20^\circ$ 付近にピークを見つげることができる。Fig. 3 b・d に示した半径方向の分力の変動は E 側に

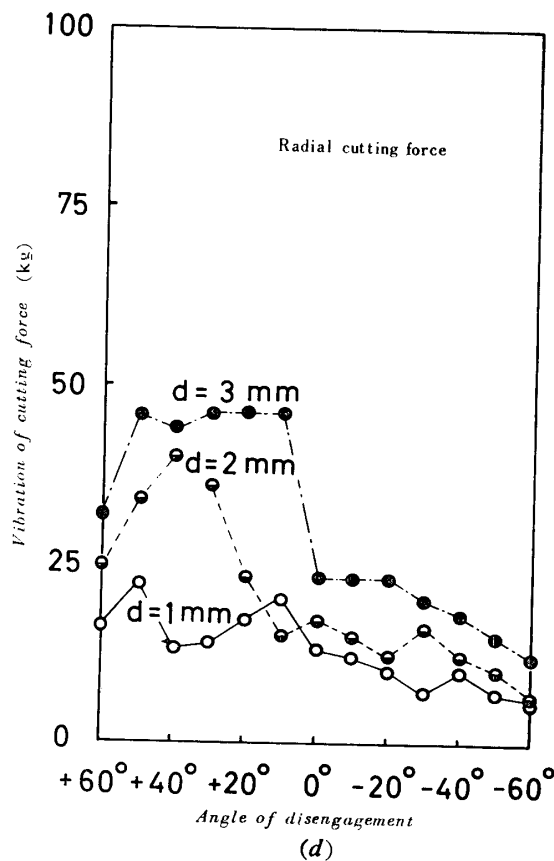
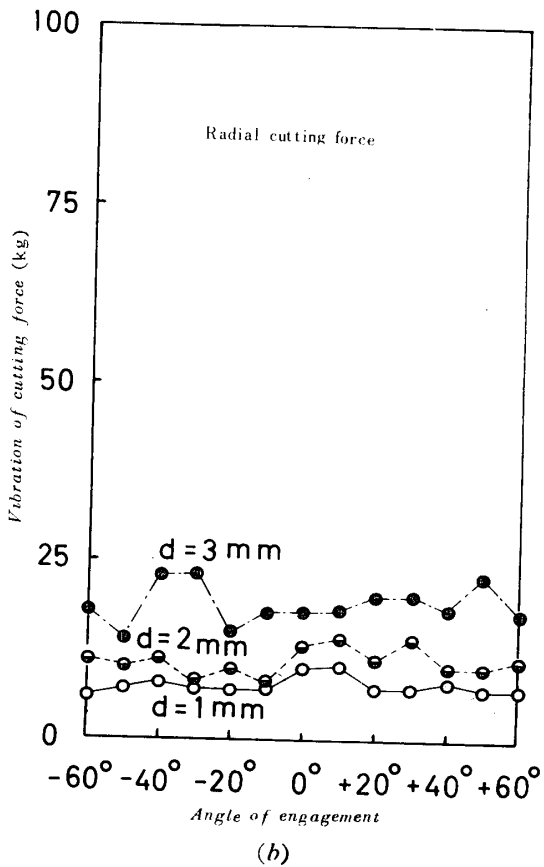
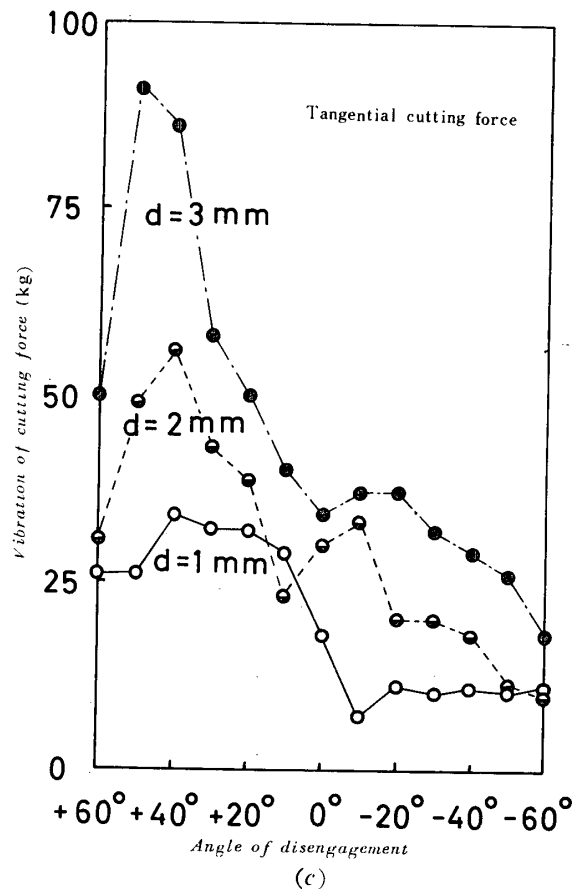
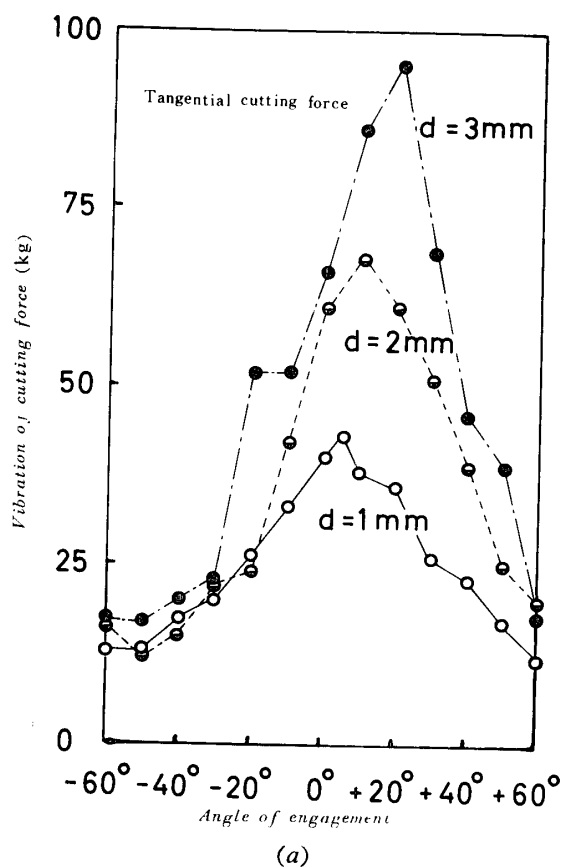


Fig.2 Vibration of cutting force versus angle of engagement and angle of disengagement when milling plain steel (S15C)

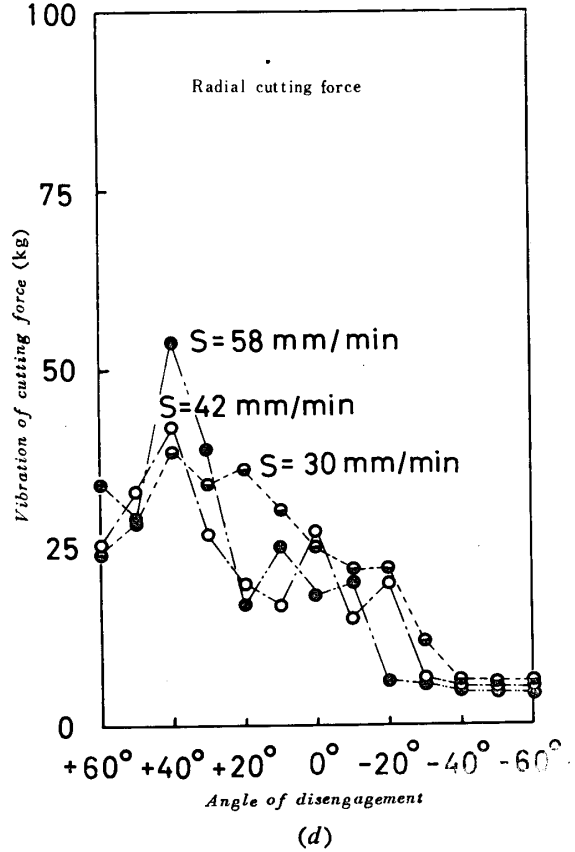
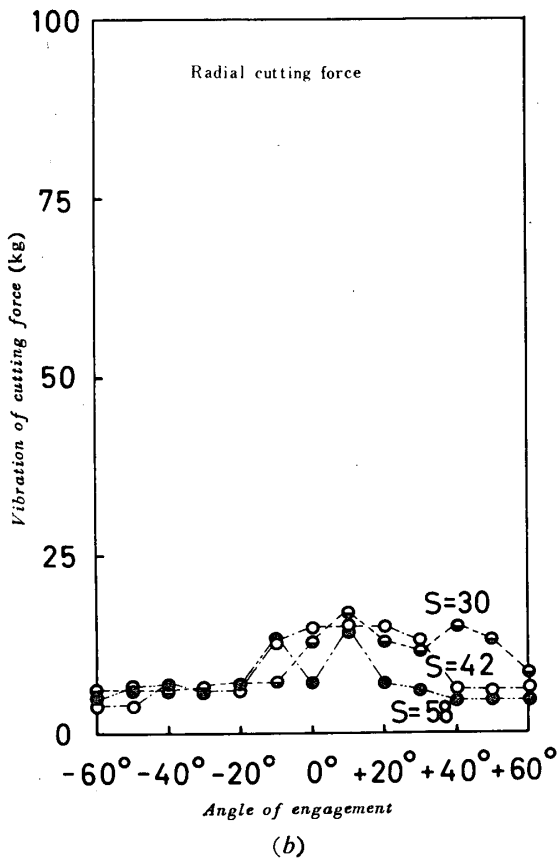
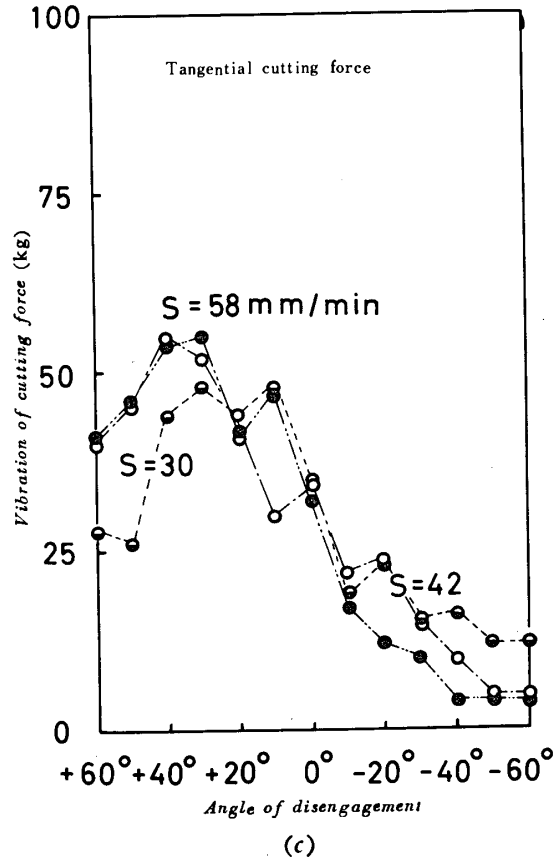
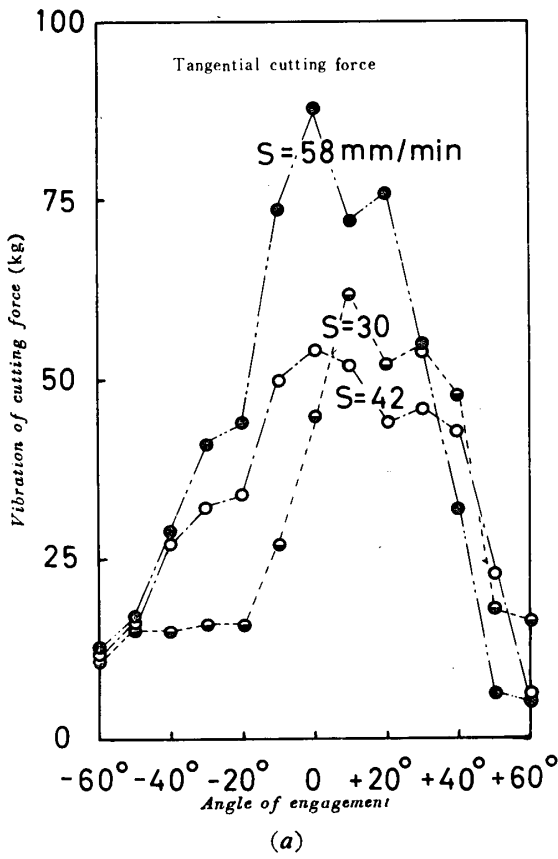


Fig.3 Vibration of cutting force versus angle of engagement and angle of disengagement when milling plain steel (S15C)

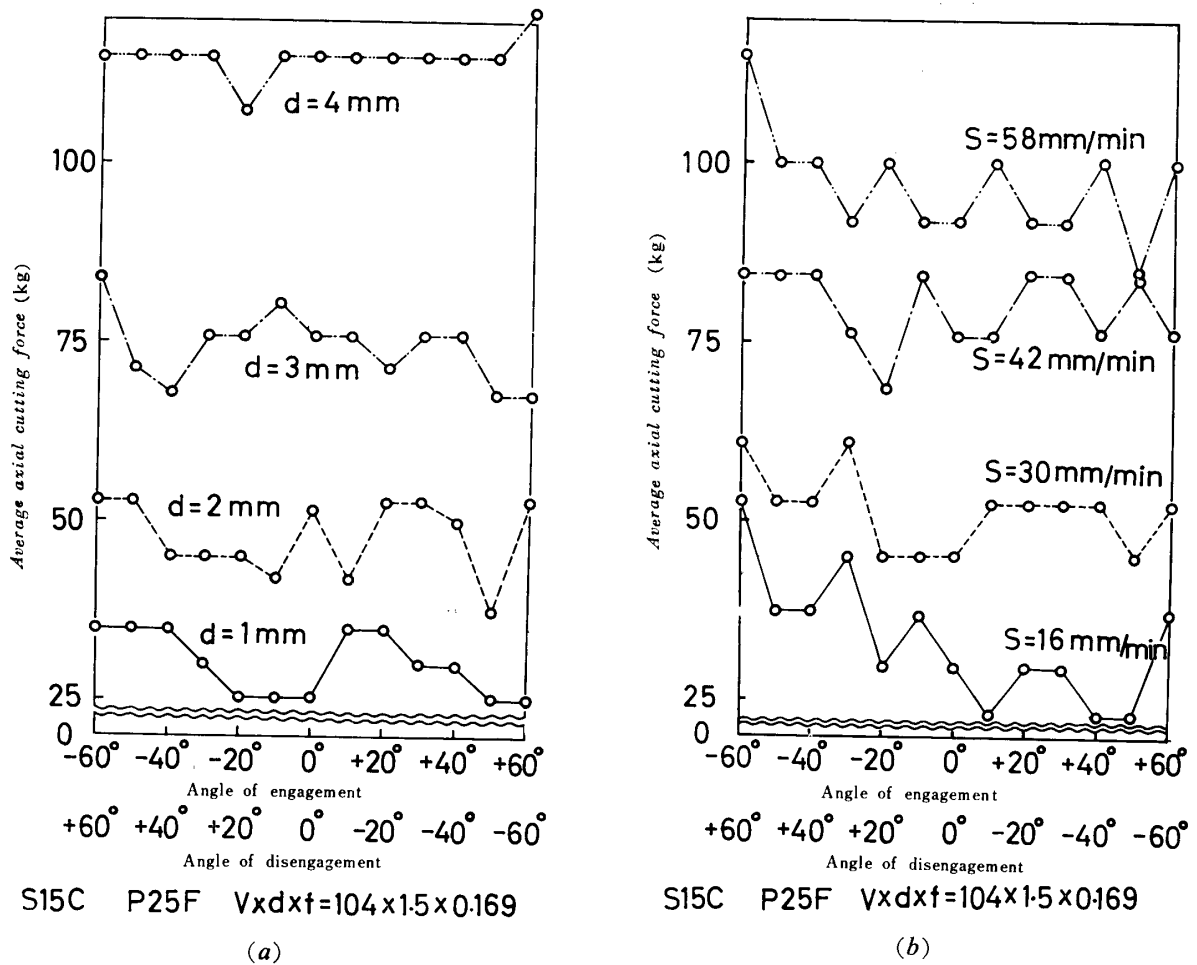


Fig. 4 Axial cutting force relative to depth of cut and feed per tooth

殆んど特長を見つけることができず，DE側に大きな切削力変動のピークを見ることが出来る。

自作した工具動力計による軸方向の分力（背分力）の検出は中空円筒に加わる圧縮歪みを電気信号としてとり出している。圧縮歪みの量は極めて小さく，他の分力に較べて感度がよくないので，切削力の特長をとらえることは困難である。

Fig. 4 a・bは切込みと送りとをそれぞれ変えた場合に，軸方向の分力（背分力）を測定したものであるが，上に述べた理由により軸方向の分力は平均切削力のみあげる。

Fig. 2, Fig. 3やFig. 4に示した切込みや送りを変えた実験結果から，切削力変動は半径方向の分力に特長をもち，DE側に著しい。すなわち，EとDEの両者のうち高いDE角が大きい衝撃力を伴うと推定される。

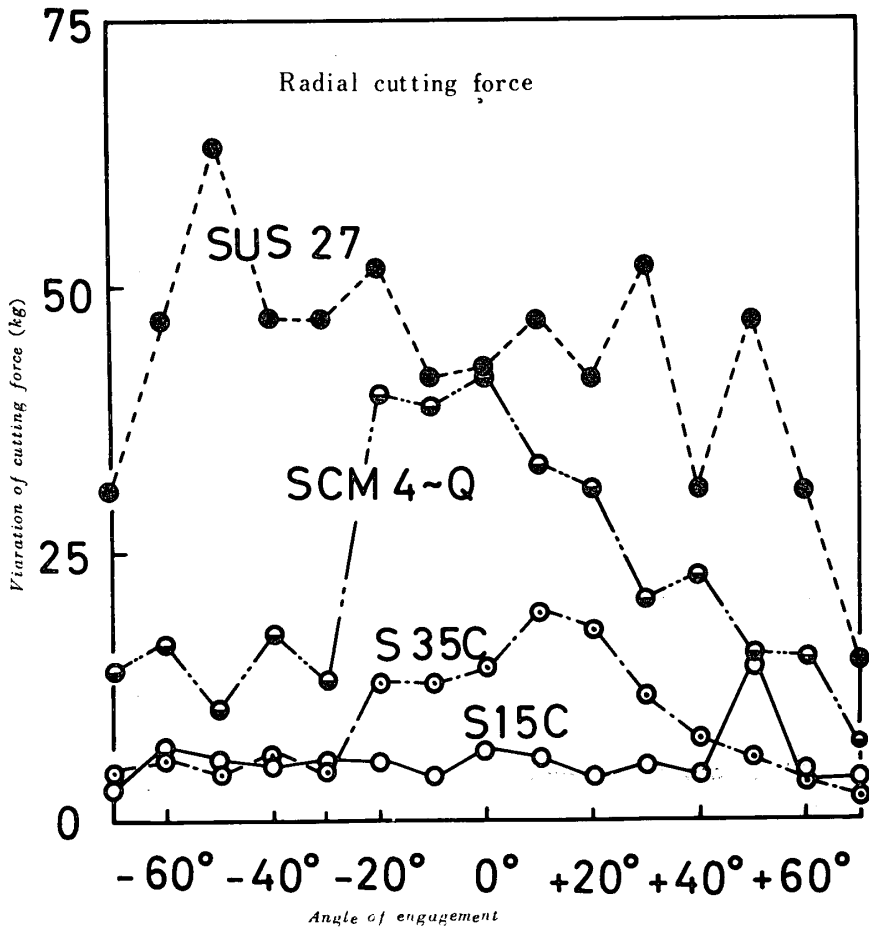
被削材がかわれれば，切刃すくい面と切くず間の挙動もかわり，上に述べた切削力変動は再現できるか疑問である。そこで被削材を変えた場合に，切削力変動の

うち半径方向分の力のみ示したものがFig. 5 a・bである。E側の切削力変動は被削性の難易により影響を受けているのみで，削りやすいS15CやS35CはFig. 2や後出のFig. 8と同じ傾向である。しかし，Fig. bはDE側の切削力変動を示したもので，この図からDE側に切削力変動の大きい角度が存在して，被削性の難易とも関係していることが認められる。すなわち，切削力変動はDE側の半径方向の分力に特長づけられるが，切削条件や被削材の相異によっても同一結果が得られることがわかる。

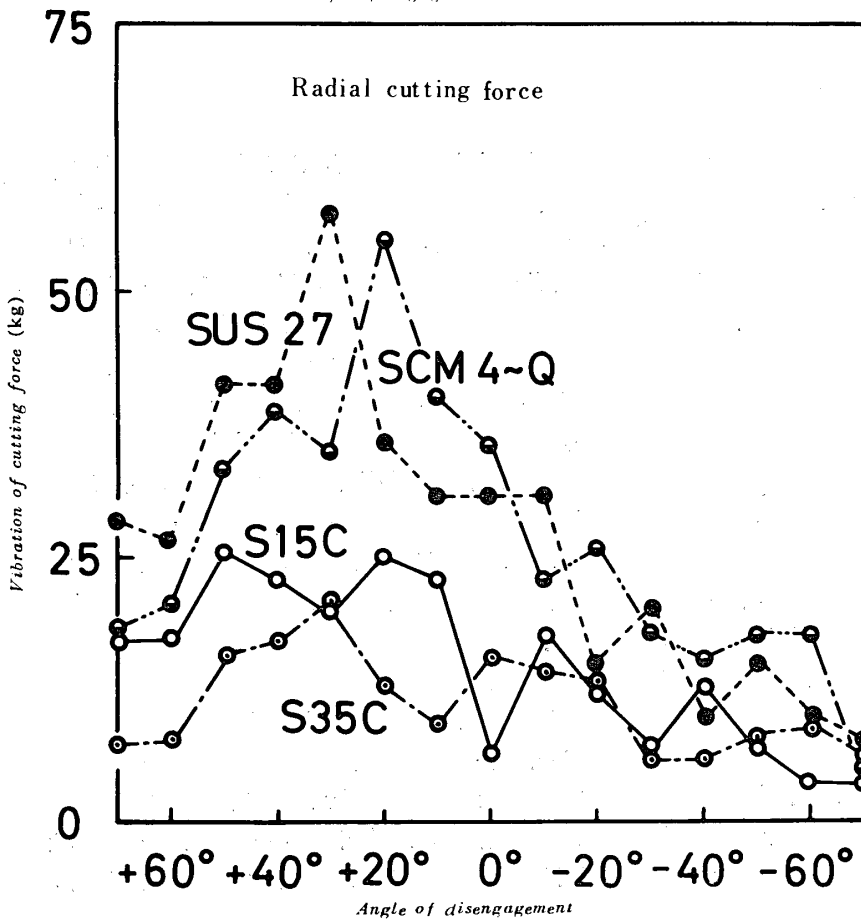
このことは工具の離脱時にDE角が+20°～+40°の範囲で欠損を生じやすいことと関連するものと推察される。

3.2 E, DE角と欠損との関係

正面フライス工具に生ずる欠損は切削開始時（E側）もしくは終了時（DE側）の切削力の変動（衝撃力）に影響を受けるものと考えられる。そこで工具の欠損は切削開始時により多く影響されるか，終了時により多く影響されるか分離して検討するため，E角一定



(a)



(b)

Fig 5 Vibration of cutting force relative to workpieces

(0°) とし DE 角を変える半円筒材と DE 角一定 (0°) とし E 角を変える半円筒材を作り, E・DE とともに変える円筒材との三者の比較を行なった.

切削条件は $v \times d \times f = 104 \text{m/min} \times 1.5 \text{mm} \times 0.169$

mm/tooth, 乾式で, 工具に欠損を生じにくいものとして炭素鋼 S15C を用い, 工具に欠損を生じやすいものとして炭素鋼 S35C を実験に供した.

つぎに述べる図中の記号で○印は E・DE とともに

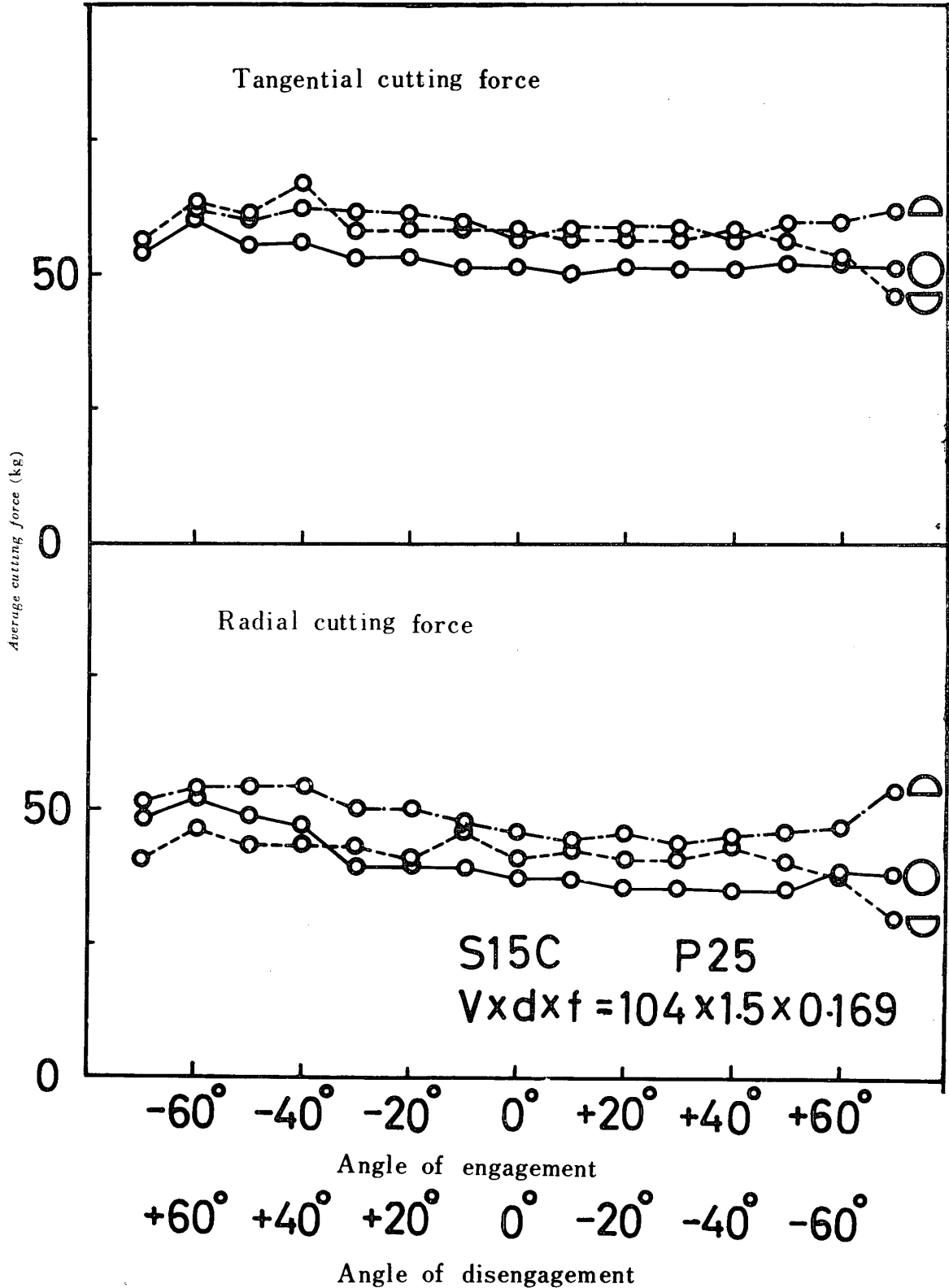


Fig.6 Effect of angle of engagement and angle of disengagement when milling cylindrical work-piece and half cylindrical workpiece

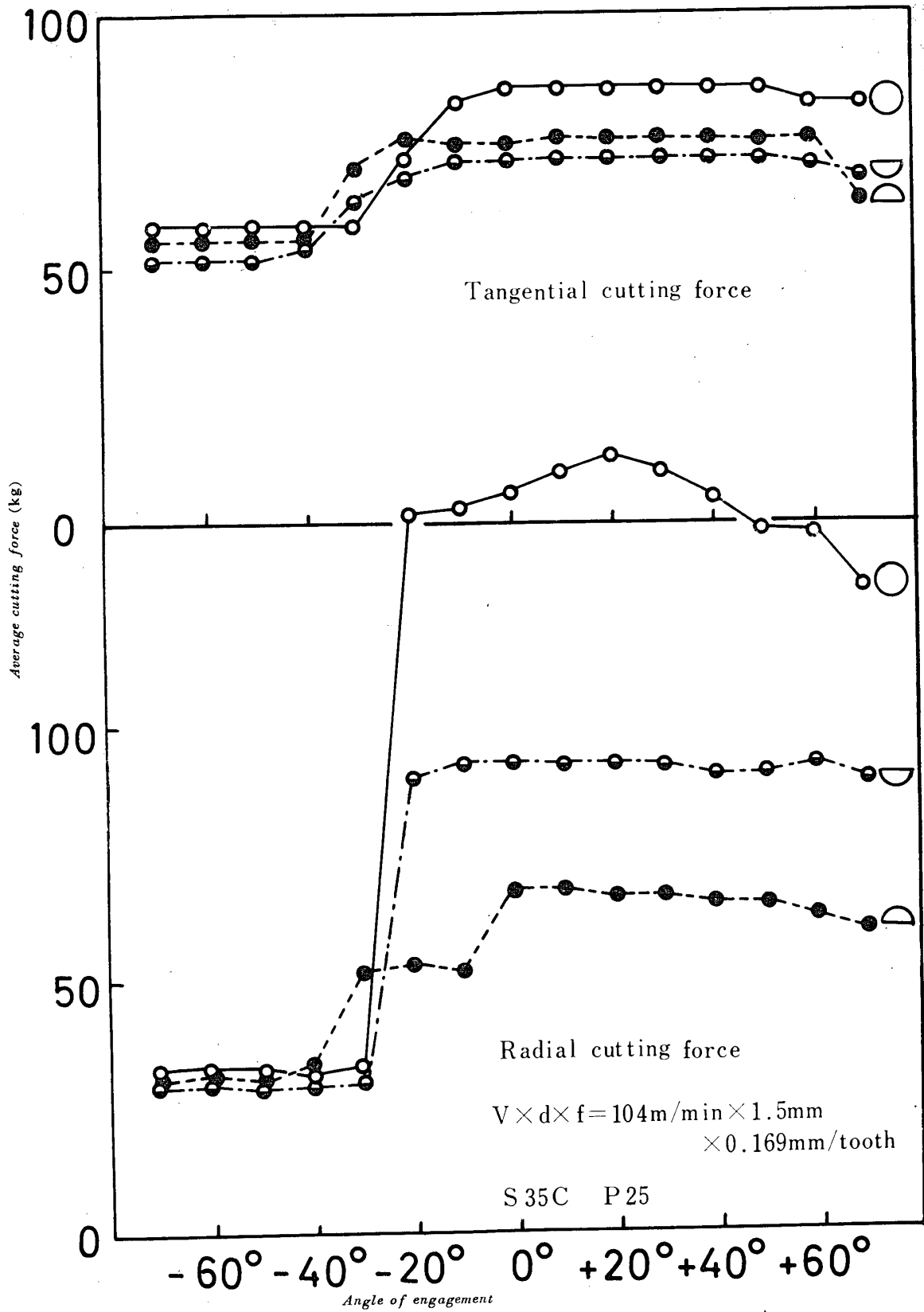


Fig. 7 Effect of angle of engagement upon chipping occurs

-90°~+90°まで変えたもので、○印はE角のみ-90°から+90°まで変え、DE角は0°としたもの、◐印はE角を0°一定とし、DE角を+90°から-90°まで変え

たものである。

Fig. 6は工具に欠損を生じない場合に生ずる接線方向と半径方向の平均切削力をプロットしたものであ

る。工具に欠損がなく, 本方法では計算上の切くず厚さの変化が小さいため, $E \cdot DE$ が変化しても, 平均切削力は2分力ともに変わっていない。

一方, Fig. 7は炭素鋼S35Cを用い, 工具に欠損を生じたときの平均切削力の変化状況である。前に述べたように半径方向の分力に特長を見つけ出したが, 欠損を生じた場合の各角度の平均切削力は半径方向の分力にその特長をもっている。Fig. 7の半径方向の分力

の増加より考えるとEとDEのうち欠損に与える影響はDEの変化であり, Eの変化に伴って欠損は漸次増加することが認められる。EとDEを同時に変えれば, 両者の影響が重疊され, 欠損はさらに大きくなる。Fig. 7の半径方向の分力の増加により認められる。

Fig. 8 a・bは半円筒形の被削材でE角 0° 一定の場合, DE角 0° 一定の場合, それに円筒形被削材でE角

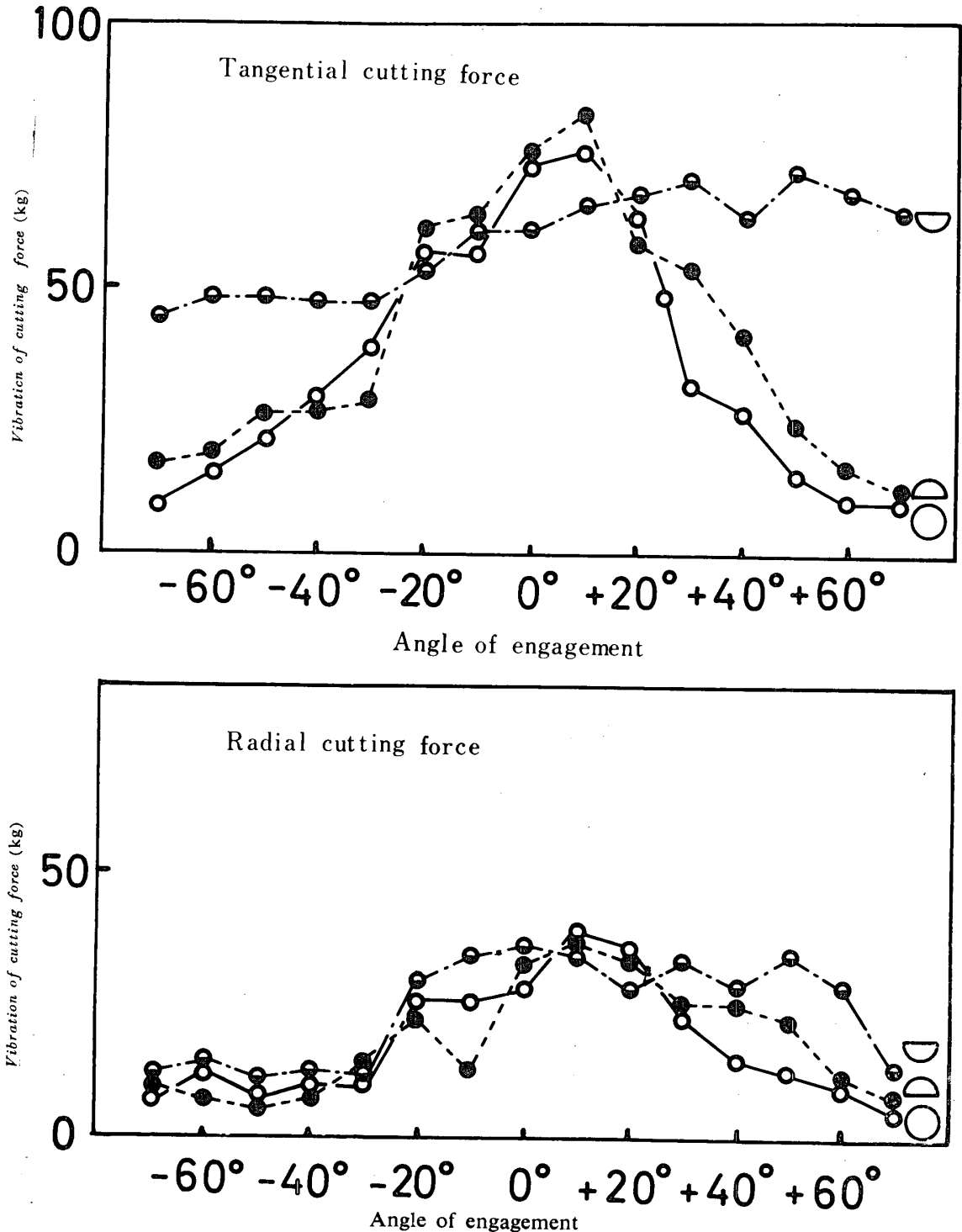


Fig.8—a Effect of angle of engagement, $v \times d \times f = 104\text{m/min} \times 1.5\text{mm} \times 0.169\text{mm/tooth}$, S35C, p25

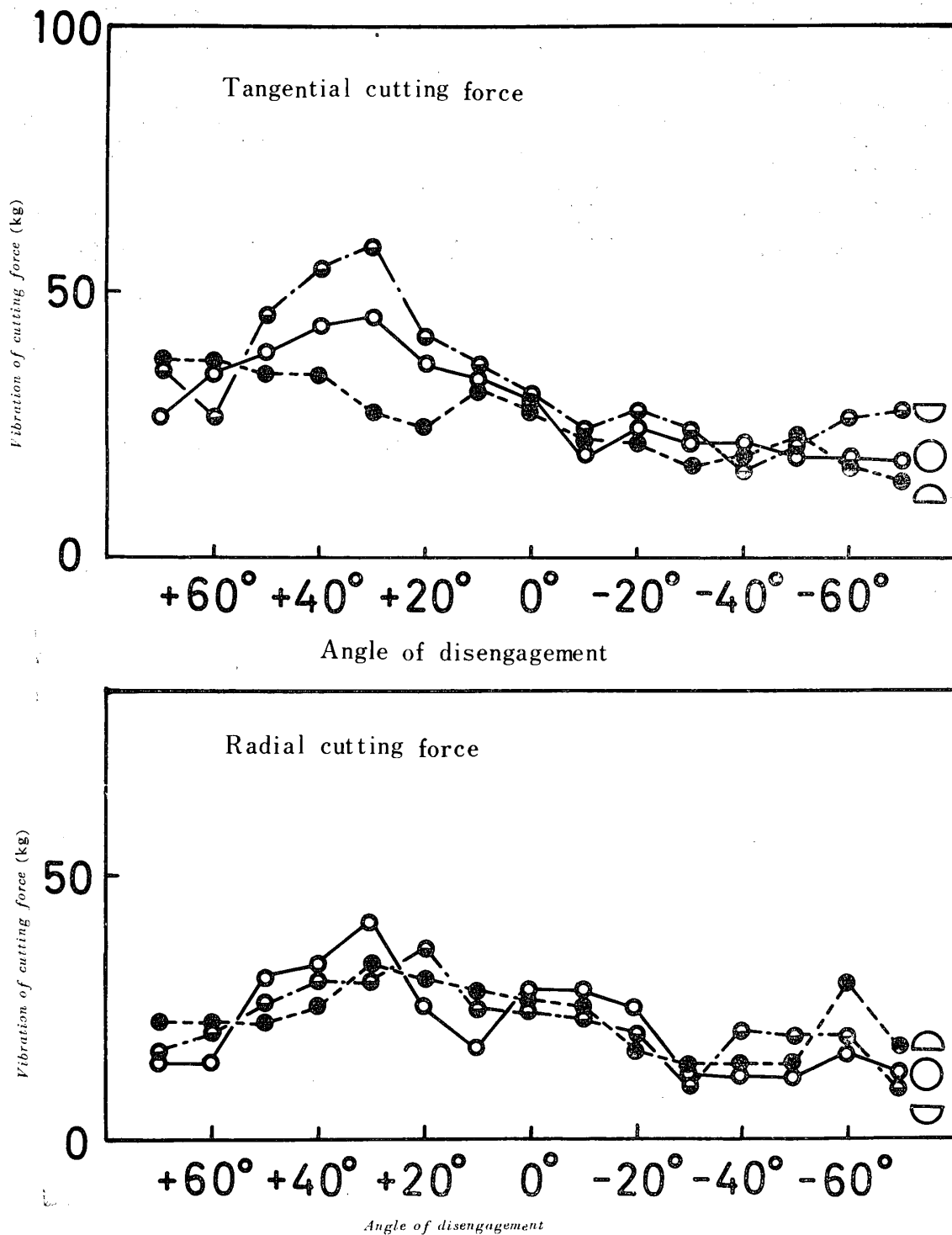


Fig.8—b Effect of angle of disengagement, $v \times d \times f = 104\text{m/min} \times 1.5\text{mm} \times 0.169\text{mm/tooth}$, S35C, p25

・DE角ともに変化する場合の3種について切削開始時 (E側) の切削力変動と終了時 (DE側) のそれを、接線方向の分力と半径方向の分力においてプロットしたものである。前図で述べたように工具の欠損は DE +30°で始まっている。Eを変え DE角0°一定の場合は E角-40°より欠損が始まり、0°で最高となっていることが認められる。すなわち、DE角0°では工具の

離脱時間が最も短くなる値に近く、それに伴って衝撃力を受けやすく、厳しい条件であり、それに加えて E角が増加して切削力変動が漸次増加するためと考える。

つぎに、E角0°一定とし、DE角を変えた場合では切削開始時の切削力変動 (接線方向) は少なく、Fig. 8・a ではわずかに増加しているのは欠損発生に伴う

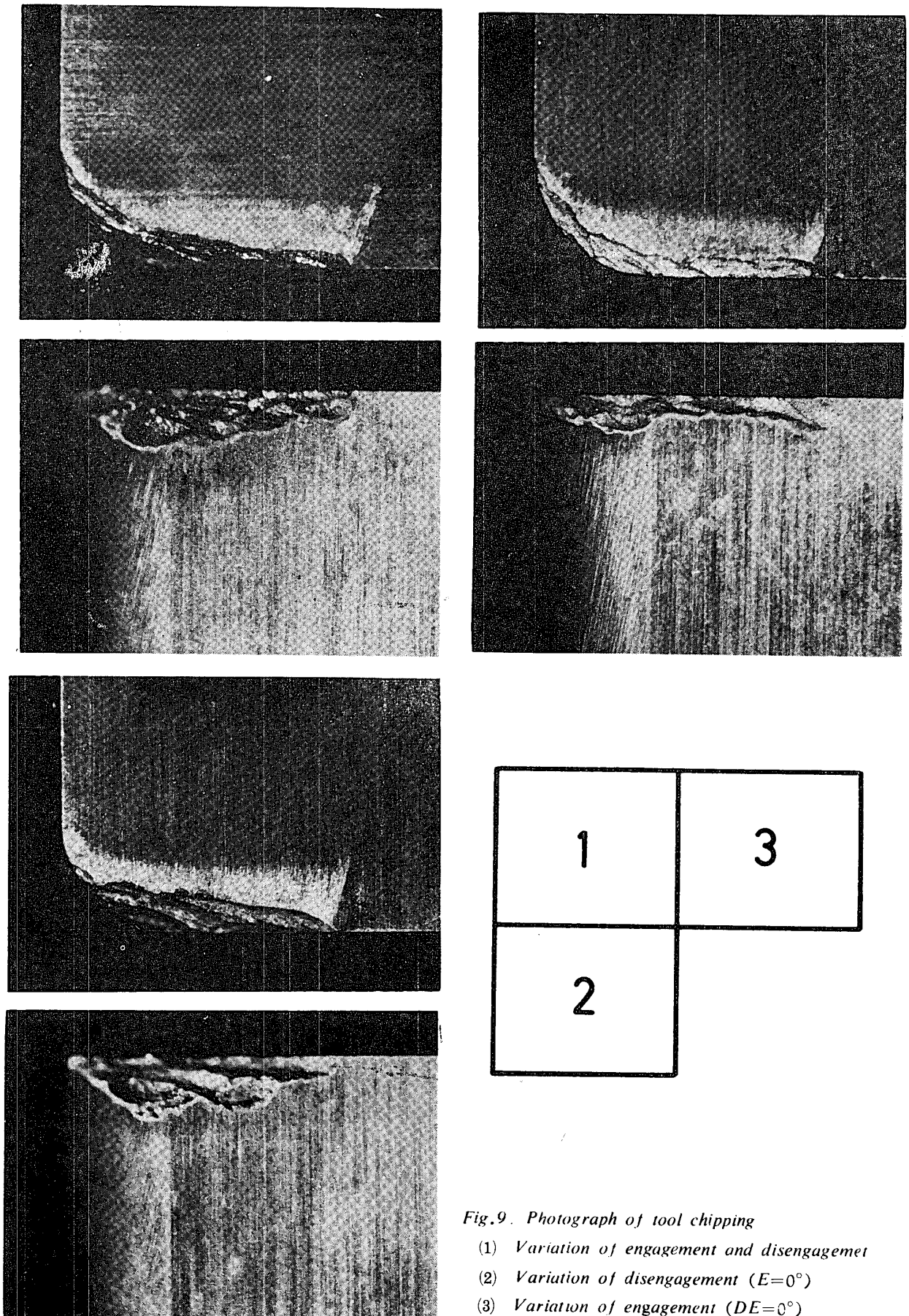


Fig.9. Photograph of tool chipping

- (1) Variation of engagement and disengagement
- (2) Variation of disengagement ($E=0^\circ$)
- (3) Variation of engagement ($DE=0^\circ$)

ものである。切削終了時の切削力変動は Fig. 6 に示した欠損を生じないものと異なり、工具に欠損を生じたため十分に特長をあらわしていない。

Fig. 9 は Fig. 7, Fig. 8 a・b 切削実験に供した切削工具 (P25) の欠損写真である。欠損はいずれも S から T にかけて発生しているが、その大きさは Fig. 7 の平均切削力のうち半径方向の分力の増加に比例している。

この写真から工具の欠損は E 角や DE 角変化に伴う被削材から離脱による半径方向の切削力変動の大小に関係すると考えられ、とくに DE の影響を受けることが認められる。

4. 結 言

連続的に E 角と DE 角を変化させて、超硬正面フライス工具にかかる切削 3 分力について実験的に調べた。上記の実験結果を要約するとつぎのようになる。

- (1) E 角や DE 角の変化による切くず厚さの変化が少ないため、平均切削力は E 角や DE 角と関係なく、切込みや送りの変化により影響される。工具に欠損を生ずれば、平均切削力は半径方向の分力にその特長が認められる。

- (2) 工具動力計の固有振動数が小さいため、切削に伴う衝撃力の絶対値は読めないが、切削開始時や切削終了時の切削力変動は半径方向の分力に特長をもち、とくに切削終了時 (DE 側) に著しく、切削力変動が大きくなる角度では工具に欠損を起しやすい。

- (3) E 角と DE 角とを分離した実験を行ったところ、工具の欠損は DE 角の変化に影響されやすい。

この実験を進めるにあたり、当時の学生海野大和氏 (現 山口大学大学院学生)、学生宮川賢一氏 (現 浜田重工 (株)) の諸氏にご協力をいただいた。また、工具は日本タングステン (株) のご援助を得た。ここに深く謝意を表するものである。

参 考 文 献

- 1) 大越, 篠崎: 科学研究所報告, 33, No. 3, 33 (1958)
- 2) T. HOSHI, K. OKUSHIMA: Trans. ASME (B) Nov., 442 (1965)
- 3) 大草, 北川: 山口大学工学部研究報告, 20, 441 (1970)

(昭和45年9月14日受理)