

# 局部電気抵抗加熱切削における切削抵抗について

谷口正紀\*・瀬戸雅文\*

## Cutting Resistance in Local Electric Resistance Heating Cutting

Masaki TANIGUCHI and Masafumi SETO

### Abstract

This is a report of the fundamental study, as a part of the study on hot machining, made on cutting resistance on which depend the power, finishing accuracy, surface roughness and the tool life.

The heating effect has been examined in turning the S 45 C carbon steel under various conditions; measurements were taken with the wire resistance strain meter and the cutting force dynamometer.

And the following conclusion was formed: The slower the cutting speed, the larger the maximum cutting resistance become; the faster the feeding speed, the larger the heating effect becomes.

It is advantageous to increase the speed of cutting rather than feeding, in order to diminish the cutting resistance and to improve the finishing efficiency.

### 1. 緒言

高温切削に関する研究の一環として本報告では、所要動力や加工精度のみならず仕上面あらさや工具寿命などにも関連を有する切削抵抗について基礎的な研究を行なったので、その結果を報告する。

測定には抵抗線ひずみ計式切削動力計を用い、各種の切削条件でS45C材(丸棒)を旋削したときの切削抵抗(3分力)を測定し、加熱効果を検討した。

### 2. 実験装置および被削材

実験装置および被削材は次のとおりである。

加熱方法: 局部電気抵抗加熱法<sup>1)</sup>

工作機械: 三菱造船製 HL 300-G形高速旋盤, ベッド上の振り 320mm, 心間最大長さ 500mm, 電動機 3.7KW

工 具: タンガロイ HC-35-4形クランプバイト, チップX 5形, チップ材種セラミック

測定器:

- 1) 切削動力計: 昌運工作所製機械試験所式 KSA500

- 2) ひずみ計: 新興通信工業製,

DS 6/RJ 形動ひずみ測定器

- 3) 記録計: 渡辺測器製作所製, WTR 211-3 C形

被削材: S45C, 35φ×330

なお、被削材の成分を Table 1 に示す。

Table 1. Chemical composition of work (Wt %)

	C	Si	Mn	P	S
S45C	0.40	0.19	0.62	0.011	0.038

### 3. 実験方法

局部電気抵抗加熱切削における加熱条件を一定にするために前加工はすべて一定条件で行なった。その条件は次のとおりである。

工 具: タンガロイ CL バイト, チップ L S-2 R

切 込: 0.5mm

送 り: 0.12mm/rev

削り速度: 約100m/min

仕上面あらさ: 平均11μ

\* 工業短期大学部機械工学教室

切削条件は、まず送り、削り速度および加熱電流の影響について検討を行なうために切込みを0.5mm一定とし、送り、削り速度および加熱電流を次のように変化させた。

送り： 0.06, 0.09, 0.12, 0.15, 0.18, 0.3mm/rev

削り速度： 22, 34, 50, 109, 166, 244m/min

加熱電流： 0, 200, 250, 300, 350, 400A

4. 実験結果

4.1. 削り速度と切削抵抗との関係

切削抵抗は一般にバイトや加工物の振動あるいは切りくずの生成状態の周期的変化、構成刃先の生成脱落などの影響を受けてはげしく変動する。そこで記録紙上の切削抵抗値を最大抵抗、最小抵抗および平均抵抗の三点から種々検討を行なった。

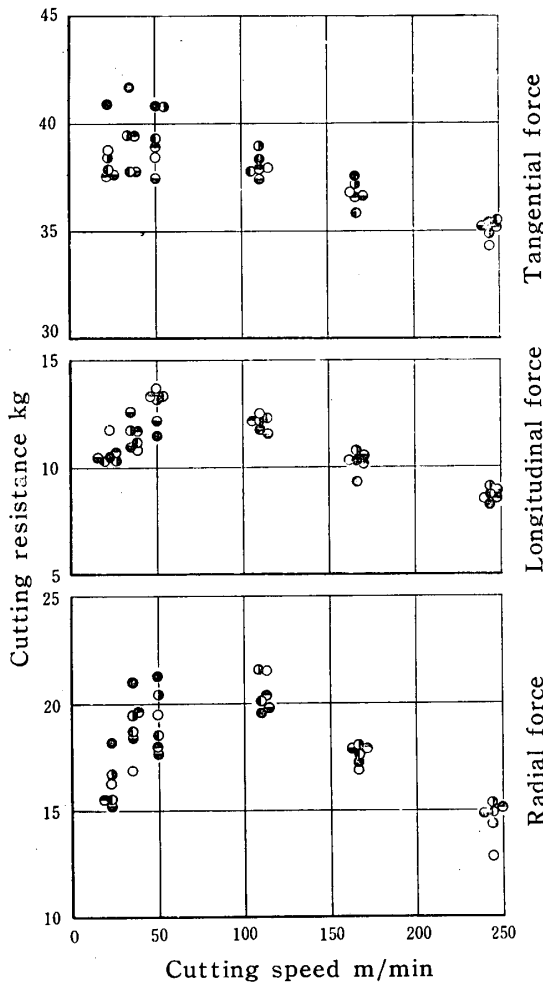


Fig. 1 Relation between cutting speed and mean cutting resistance

Feed : 0.3mm/rev

Symbol : ● 0 A ◐ 200A ◑ 250A  
◒ 300A ◓ 350A ○ 400A

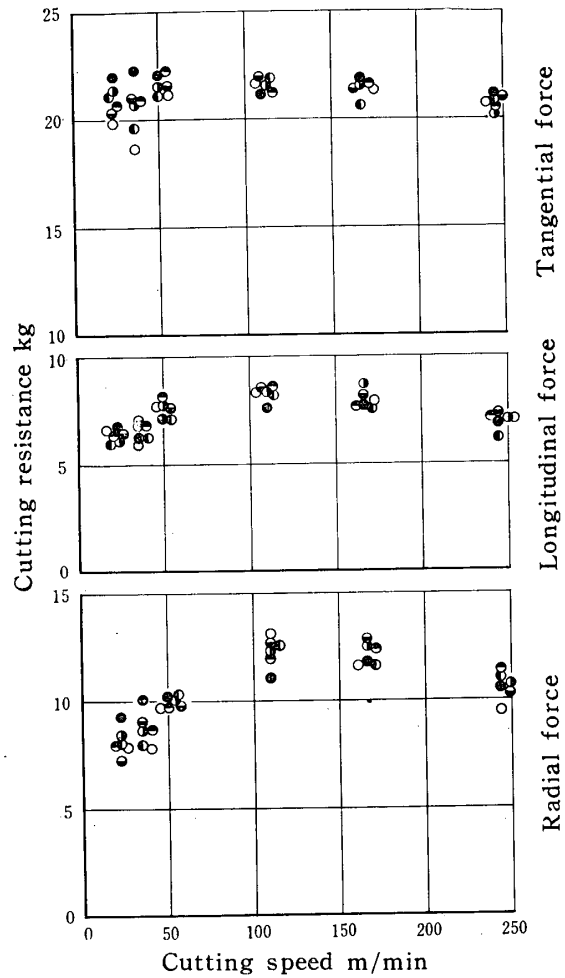


Fig. 2 Relation between cutting speed and mean cutting resistance

Feed : 0.15mm/rev

Symbol : ● 0 A ◐ 200A ◑ 250A  
◒ 300A ◓ 350A ○ 400A

まず、不規則変動の平均値を求めてまとめた結果の一例を Fig. 1 および Fig. 2 に示す。Fig. 1 は送り0.3mm/rev, Fig. 2 は0.15mm/revの場合である。主分力は送り0.3mm/revおよび0.18mm/revでは削り速度が低速になるほどほぼ直線的に増加し、削り速度が40~50m/min以下になるとむしろ減少する。一方、送りが小さくなるにつれて削り速度の影響は少なくなり、極大値が高速度域へ移行すると同時に削り速度40~50m/min以下の低速域で再び増加する傾向を示している。加熱切削の効果は50m/min以下の低速域でしかも高送りの際に認められる。

送り分力は極大値を有しその極大点は、送り0.3mm/revでは50~100m/min附近にあり、送りが0.06mm/revでは150~160m/min附近に移行する。加熱の影響はむしろ切削抵抗を多少増加させる傾向にある。背分力も主分力、送り分力の場合と同様極大値を

有し 50m/min 附近から次第に高速域へ送りが小さくなるにつれて移行する。加熱効果は低速高送りにおいてわずかに認められる。主分力、送り分力および背分力の比は送り0.3mm/revにおいて4 : 1 : 2である。

次に、測定時における切削抵抗の変動に着目して最大切削抵抗で検討すれば Fig. 3 および Fig. 4 に示すとおりである。Fig. 3 および Fig. 4 は一例として送り0.3mm/rev および0.15mm/revの場合を示したものである。主分力は送り0.3mm/rev および0.18mm/revでは50m/min以下になると急激に増大し、50m/min以上ではほぼ直線的に減少している。また、送りが0.15mm/rev以下になると100m/min以下の低速になると0.3および0.18mm/revの場合と同様増大し、100m/min以上ではほとんど削り速度の影響はないが送りが0.09, 0.06mm/revのように小さくなると削り速度の増加とともにわずかに増大する。加熱の影響

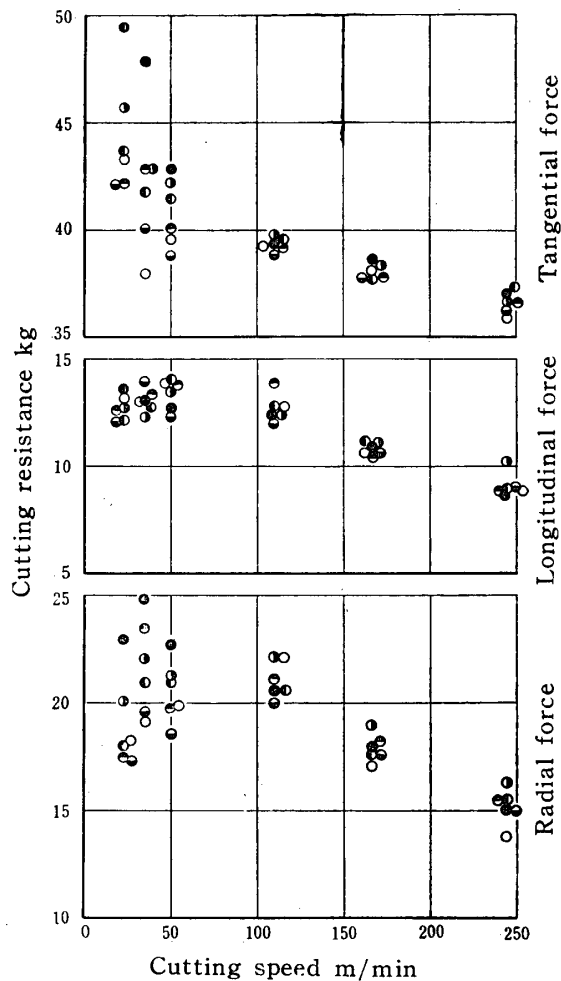


Fig. 3 Relation between cutting speed and maximum cutting resistance

Feed : 0.3mm/rev

Symbol ; ● 0 A    ◐ 200A    ◑ 250A  
 ◒ 300A    ◓ 350A    ○ 400A

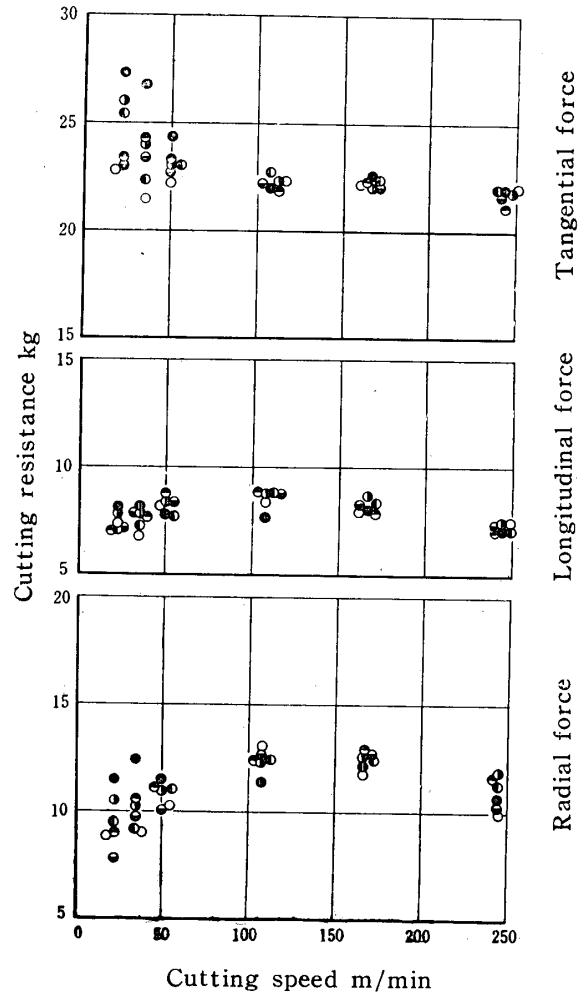


Fig. 4 Relation between cutting speed and maximum cutting resistance

Feed : 0.15mm/rev

Symbol ; ● 0 A    ◐ 200A    ◑ 250A  
 ◒ 300A    ◓ 350A    ○ 400A

は50m/min以下の低速域で大きく現われ、高速になるとほとんど変化がない。

送り分力は送り0.3mm/revでは削り速度に比例して減少しているが、0.18mm/rev以下の送りでは削り速度の影響が少なくほぼ水平なグラフとなる。送りが小さい場合にはむしろ高速になるとわずかに増加する。加熱の影響はほとんどない。背分力は通常切削の場合0.3, 0.18mm/revの高送りではほぼ削り速度に比例して減少し、0.15mm/revではほとんど削り速度の影響がなく、さらに0.12mm/rev以下の低送りでは削り速度に比例して増大する。加熱の影響は主分力の場合と同様低速高送りにおいていちじるしい。

次に、最小抵抗値で示すと Fig. 5 および Fig. 6 に示すとおりである。主分力は明らかに極大値を有したたとえば Fig. 5 に示す送り0.3mm/revの場合、50m/

min附近に極大値を有し、高速になってもまた低速においても減少するが、低速における減少率の方が大きい。また、この極大点は送り小さくなるに従って次第に高速域に移行し、0.09mm/revおよび0.06mm/revでは低速域で再びわずかに増大する傾向を示す。加熱の影響は最大抵抗に比べると少なく、送り0.15mm/revおよび0.12mm/revでは削り速度50~100m/min附近でむしろ増大する。

送り分力および背分力は主分力と同様極大値を有し、送りが小さくなるにつれて極大点は高速域へ移行する。送り分力の場合0.09mm/revおよび0.05mm/revではさらに低速になると再び上昇する。加熱の影響を考えると、送り分力の場合多少増加する。また、背分力の場合は影響が少なく100m/min附近ではむしろ悪い結果を示した。

最大抵抗と最小抵抗を比較してみると、主分力では高速度域において類似の傾向を示し、100m/min以下では全く逆の傾向を示している。また、送り分力および背分力では加熱切削の場合全速度域で最大抵抗およ

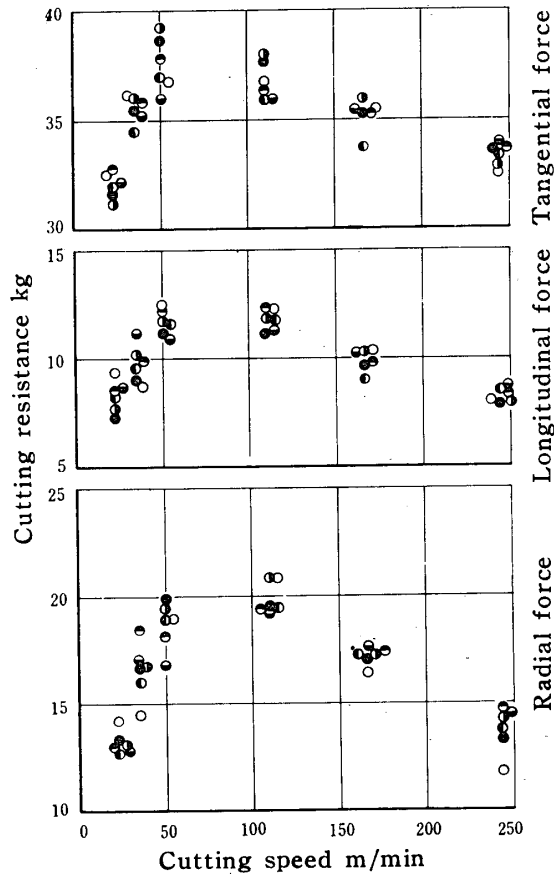


Fig. 5 Relation between cutting speed and minimum cutting resistance

Feed : 0.3mm/rev

Symbol : ● 0 A ● 200A ● 250A  
● 300A ● 350A ○ 400A

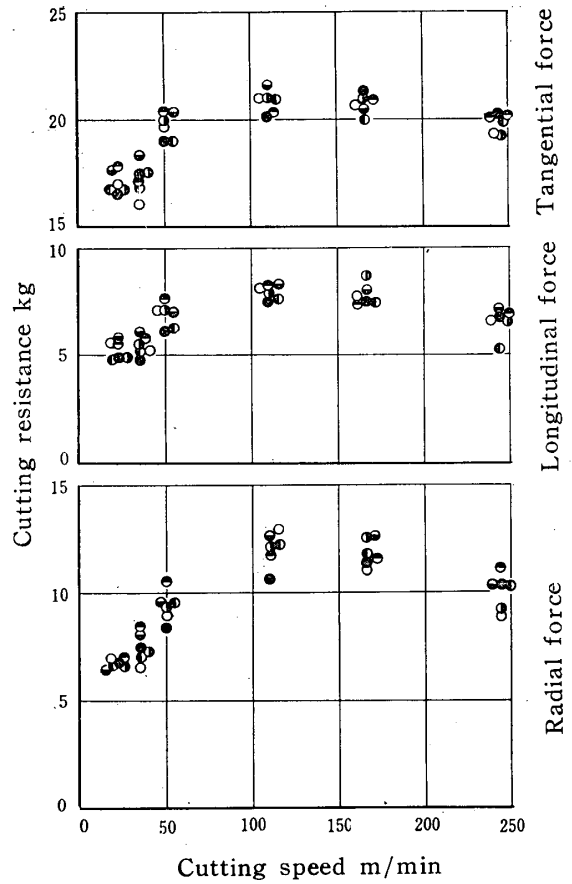


Fig. 6 Relation between cutting speed and minimum cutting resistance

Feed : 0.15mm/rev

Symbol : ● 0 A ● 200A ● 250A  
● 300A ● 350A ○ 400A

び最小抵抗とも類似の傾向を示している。

切削抵抗の記録紙上における変動をバイトの振動に直接結びつけることは危険であるが、多少は関係があるものと考え、最大抵抗と最小抵抗との差をとり抵抗値の変動の幅について検討を加えてみた。Fig. 7はその変動の模様を示すもので、Fig. 8は一例として0.3mm/revについて変動の幅を示したものである。Fig. 7に示すように通常切削における抵抗値の変動が不規則変動であるのに対し、加熱切削においては比較的規則変動となる。

主分力の変動は高速では少ないが、50m/min以下になると低速になるにつれて急激に増大する。また、加熱の影響も低速になるほど大きい。これらの傾向は、各送りとも同様である。送り分力および背分力も絶対量の差異はあるがその傾向は主分力の場合と同様である。(一部図略)

#### 4.2. 送りと切削抵抗との関係

前項において送りについても考慮しながら検討を加

えたので、この項については簡単に述べる。送りと切削抵抗との関係は最大抵抗、最小抵抗および平均抵抗とも送りの増加とともに単調な増加を示し、また、各削り速度とも同様の傾向を示している。Fig. 9は一例として削り速度22m/minの場合を示したもので、高速になれば勾配がゆるやかになる。

切削抵抗の変動についても送りの増加とともにほぼ直線的に増加し、加熱切削ではその勾配がかなりゆるやかになる。(図略)

4.3. 切削量と切削抵抗との関係

送りおよび削り速度という二因子を併合するために切削量  $\text{cm}^3/\text{min}$  (切込 $\times$ 送り $\times$ 削り速度)をx軸上にとり、切削量と切削抵抗との関係を両対数グラフ上で検討した。

主成分は最小、最大および平均抵抗ともに直線化される。一例として最大抵抗の場合をFig.10に示す。図から明らかのように、切削量増加の要因である送りと

削り速度とは切削抵抗に対して相反した作用をなす。すなわち、送りに対しては0.8~0.9の勾配ではほぼ直線的な関係を有し、削り速度に対しては削り速度の増加とともに下方へ移行(平行移動)する。このことは加工能率について切削抵抗の面だけから考えると送りを大きくするより削り速度を増大させた方が有利であることを示している。また、加熱切削においては22~50 m/minのように低速になると切削抵抗が減少すると同時に加熱によってその勾配がわずかに増加する。

4.4. 加熱電流と切削抵抗との関係

加熱電流と切削抵抗との関係を一例として0.3mm/revの場合についてFig.11に示す。本実験の範囲では削り速度が低速の場合電流の増加とともに減少している。切削抵抗の変動も電流の増加とともに減少する傾向にある。(図略)

5. 考 察

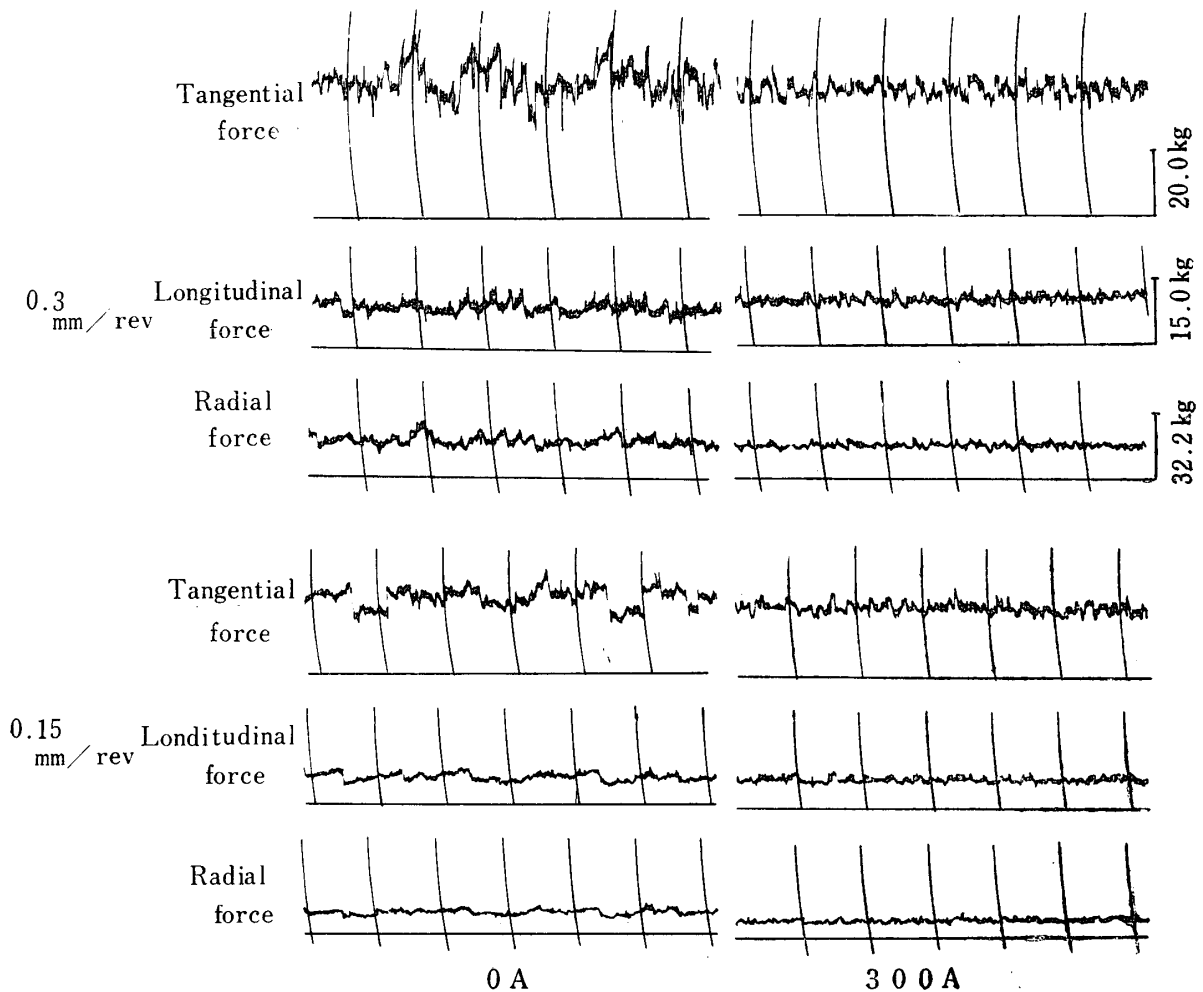


Fig. 7 Chart of cutting resistance  
Cutting speed ; 22m/min, Depth of cut ; 0.5mm

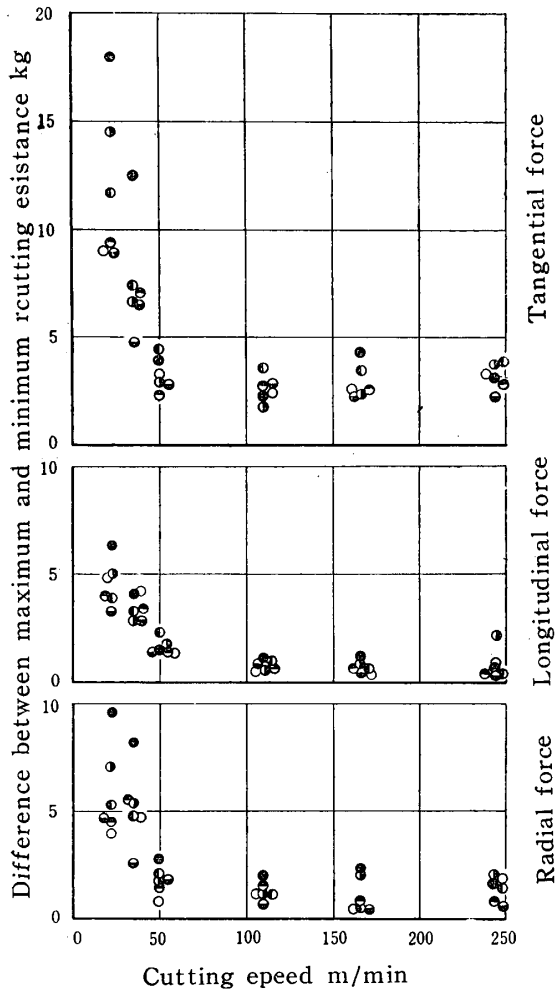


Fig. 8 Relation between cutting speed and cutting resistance

Feed ; 0.3mm/rev  
 Symbol : ● 0 A ○ 350A  
 ● 200A ● 250A  
 ● 300A ● 350A ○ 400A

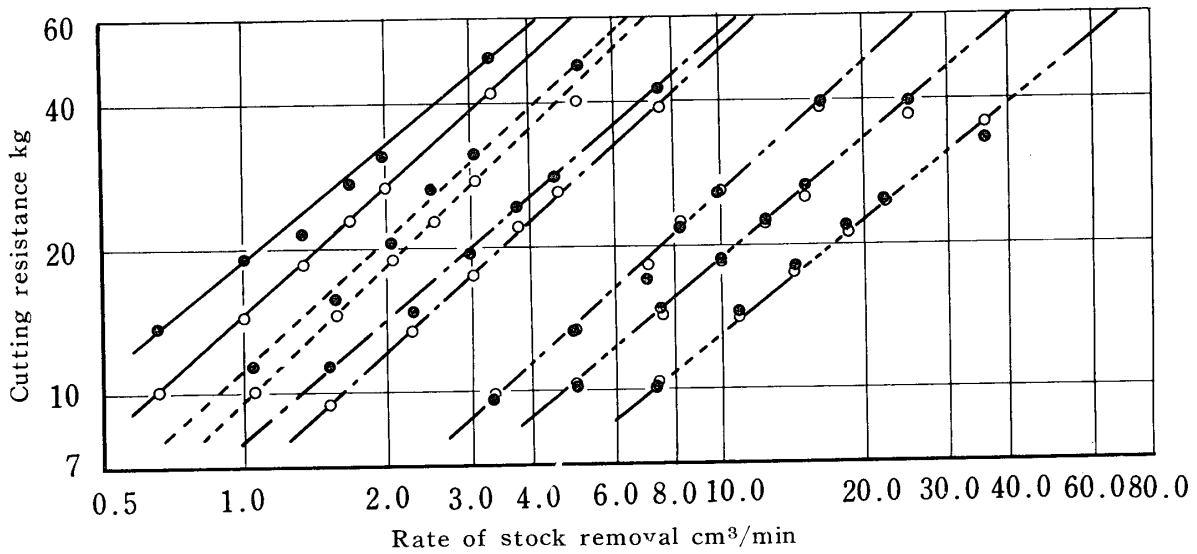


Fig.10 Relation between rate of stock removal and cutting resistance (Tangential force)

Symbol : ● 0 A ○ 350A  
 — 22m/min ····· 34m/min - - - 50m/min - · - · 109m/min - - - - 166m/min - - - - 244m/min

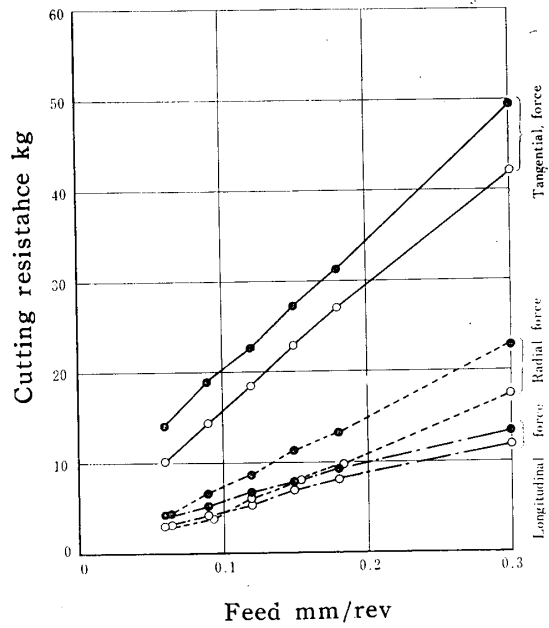


Fig. 9 Relation between feed and maximum cutting resistance

Cutting speed : 22m/min  
 Symbol : ● 0 A ○ 350A

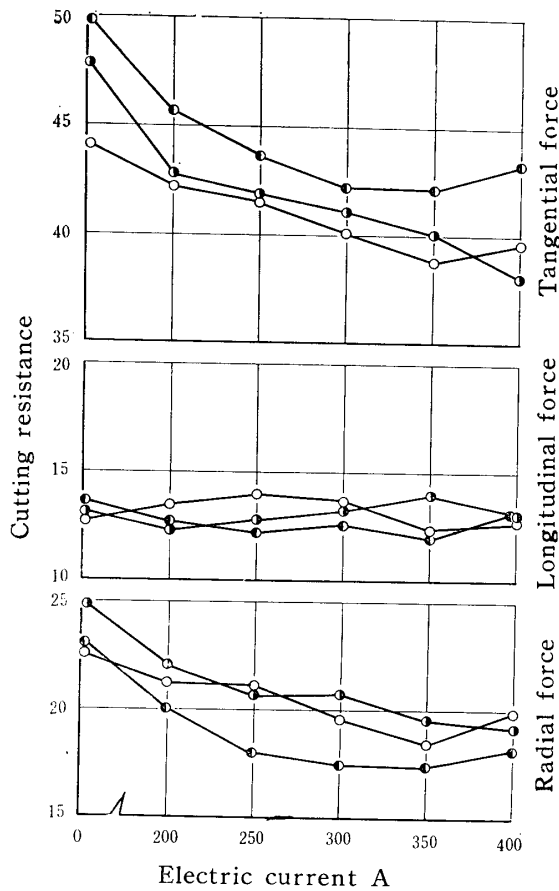


Fig.11 Relation between electric current and maximum cutting resistance  
 Feed : 0.3mm/rev  
 Symbol : ○50m/min ● 34m/min  
 ◐ 22m/min

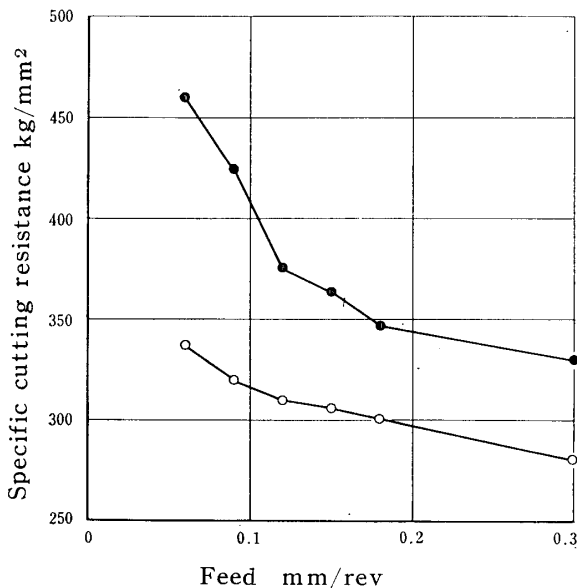


Fig.12 Relation between feed and specific cutting resistance  
 Cutting speed : 22m/min  
 Symbol : ● 0 A ○ 350A

以上の検討結果が示すように加熱切削における切削抵抗の減少は絶対量としてはわずかである。しかし、本実験では切削面積が小さいので比切削抵抗で示すと Fig.12 のように、0.06mm/rev では 120kg/mm<sup>2</sup>、0.09mm/rev では 100kg/mm<sup>2</sup> とかなり大きな抵抗の減少を示している。また、Fig.12 から軽切削特有の寸法効果に対しても効果があるものと思われる。これら切削抵抗減少の原因は寸法効果の一因である加工硬化層が加熱切削においては切削直前に加熱軟化されることによるものと推察する。この加工硬化層の軟化はまた境界摩擦を減じ工具寿命の改善に役立つことが考えられる。加熱による境界摩擦の減少については既報<sup>2)</sup>に述べた。

一方、前述の検討結果から、切削抵抗の加熱による減少は 100m/min 以下の低速域に大きく現われるという結論を得た。これは構成刃先および溶着と密接な関係があるものと考えられる。

一般に、構成刃先が発生すれば、切込量の増加、すくい角の増大、ノーズ半径の増大および切りくず・すくい面間摩擦係数の増加をまねき、これらが同時に作用して切削抵抗は増加するともいわれ、また減少するともいわれ、定説がない<sup>3)</sup>。しかし、本実験の範囲では構成刃先の消滅が最大切削抵抗を減少させるものとする。すなわち、通常切削では低速になるほど構成刃先の生成がはげしく、過剰切込み量が増加して最大切削抵抗値が増大し、加熱切削を行えば構成刃先の生成が抑制される<sup>2)</sup> ために切削抵抗を減少させる。それは、構成刃先の生じない高速域において加熱効果が少ないことおよび低速域における最小切削抵抗が通常切削、加熱切削ともほぼ同値を示すことから推察される。

さらに、切削後のバイトすくい面上の観察<sup>2)</sup> から、通常切削では低速になるとすくい面上の溶着が増大するのに対して加熱切削では加熱電流の増加とともにその溶着が減少するという結果から切りくず・すくい面間摩擦係数の減少によって切削抵抗が減少するとも考えられる。

なお、最近のように鋳造、鍛造およびプレス加工などの加工精度が向上し、仕上加工としての切削加工における削りしろが日増しに減少しつつある今日、セラミックバイト固有の切削条件とも考え合わせるとき、これら軽切削における抵抗値の微小な減少も無視されてはならないと考える。

## 6. 結 言

以上の結果から次のような結論を得た。

- 1) 削り速度が小さくなるほど最大切削抵抗は増大し抵抗値の変動もはげしくなり、加熱効果も最大切削抵抗が増大する100m/min以下において著しい。
- 2) 送りが大きくなるほど、抵抗およびその振幅は増大する。加熱効果は送りが大きくなるほど大きい、しかし比切削抵抗の減少率は送りの影響が少ない。
- 3) 切削抵抗を少なくし加工能率を向上させるために

は送りを大きくするより削り速度を増した方が有利である。

#### 参 考 文 献

- 1) 谷口正紀・瀬戸雅文：精密機械 32, 275 (1966)
- 2) 谷口正紀・瀬戸雅文：精密機械 32, 350 (1966)
- 3) 人見勝人：機械と工具 8-4, 25 (1) 964

(昭和41年6月13日受理)