



切削熱と切削抵抗から見た被削性の一測定法：
主として各材質との関係

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2013-10-29 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中島, 基雄 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00008226

切削熱と切削抵抗から見た被削性の一測定法

(主として各材質との関係)

A Method of Measurement to Decide Machinability from the
Viewpoint of Cutting Temperature and Cutting Resistance.

(In Relation to Materials, mainly)

中 島 基 雄*

(昭和43年9月10日 受理)

Summary

The machinability¹⁾ of metal means how easily materials are cut by tools or tools cut them. For example, it is defined by following four factors.

- (1) Cutting resistance
- (2) Tool life
- (3) Roughness of finished surface
- (4) Difficulty of chip disposition

These four factors are not independent but have more or less mutual relationship.

Results of researches on machinability concerning these individual factors have been presented by many investigators and some researches on it in mutual relationship of each factor have also been made. However, since it is very important to study mutual relation of these factors further for making machinability clear, this test was made.

Introduction

In the preceding paper^{2)~4)}, several experiments on finished surface, cutting resistance and variation of cutting resistance for S10C and S35C steel were made, and it was presented that the machinability could be expressed quantitatively by formulations, in which cutting conditions (depth of cut, cutting speed) are involved.

In this paper, S15C and S20C steel are also used in order to research the effects of materials, and moreover, the relation between materials and each factors above described is given.

実 験 装 置

実験装置の概要を図1に示す。工具動力計を旋盤に固定し、バイトの突出量は本実験の切削条件でびびりを生じないように30mmとした。

実 験 条 件

(i) 被削材

直径50mm, 長さ300mmの焼鈍した被削材で含有元素を表1に示し, 機械的性質を表2に示す。

* 機械工学科

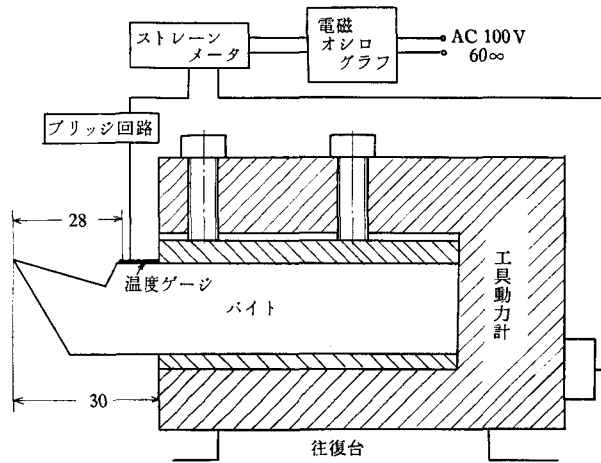


図1 実験装置の概要

表1 供試材の含有元素(%)

含有元素 被削材	C	Si	Mn	P	S
S 10 C	0.11	0.31	0.46	0.013	0.016
S 15 C	0.18	0.28	0.49	0.019	0.020
S 20 C	0.22	0.28	0.46	0.025	0.023
S 35 C	0.30	0.29	0.74	0.025	0.012

表2 供試材の機械的性質

被削材	機械的性質	
	抗張力 (kg/mm ²)	硬 度 (H_B)
S 10 C	44.1	109
S 15 C	46.0	118
S 20 C	50.0	130
S 35 C	62.3	141

(ii) 切削条件

バイトはシャンク断面が 13×13 mm の軟鋼材に高速度鋼第 2 種のチップをろう付けしたもので、すくい角、横すくい角とも 5°, 15° の 2 種で、バイトの形状を表 3 に示す。

また送りは 0.1 (mm/rev) 一定で、切込を 0.4, 0.6, 0.8 (mm), 切削速度を 43, 65, 90 (m/min) とした乾切削である。

表3 バイトの形状

種 別	形 状						
	前すくい	横すくい	前逃げ	横逃げ	前切刃	横切刃	刃先丸味
1	5°	5°	10°	10°	15°	25°	0.5 mm
2	15°	15°	同				上

実 験 方 法

(i) 温度ゲージの温度特性

温度ゲージはり付け位置の温度と電磁オシログラフの振れとの関係を恒温槽を用いて求めた。その関係を図2に示す。工具動力計による温度特性曲線は現われない。

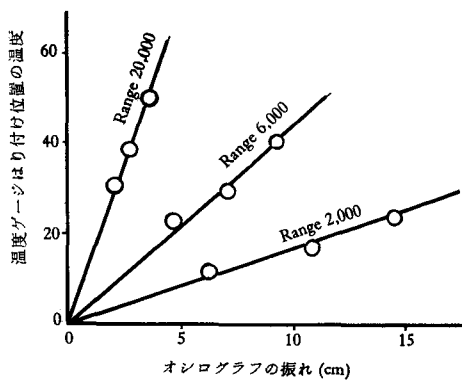


図2 温度ゲージはり付け位置の温度とオシログラフの振れ

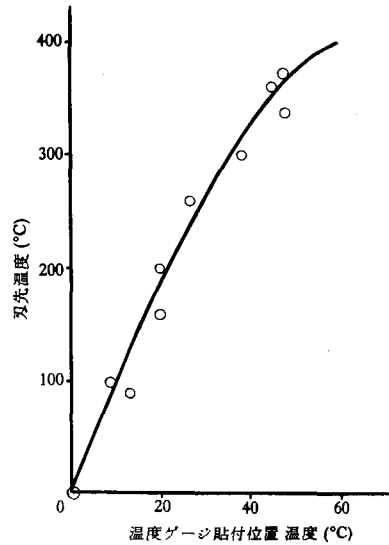


図3 刃先温度と温度ゲージ貼付位置温度の関係

(ii) 温度ゲージはり付け位置の温度と刃先温度との関係

刃先先端にはんだごてを置き、これをトランスにより端子電圧を調整しながら刃先温度をあげ、そのときの刃先温度と温度ゲージ貼付位置における温度を熱電対（アルメルックロメル線）を用いてその値を読み、これを温度に換算した。その関係を図3に示す。

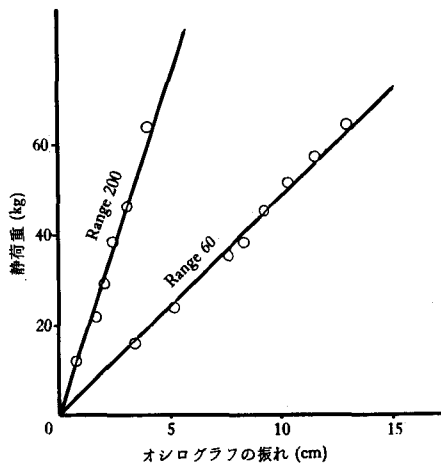


図4 静荷重とオシログラフの振れとの関係

(iii) 工具動力計の静荷重特性

図1の実験装置を用い、バイト刃先に荷重をかけ、荷重と電磁オシログラフの振れの関係を求めた。この結果、工具動力計に対する電磁オシログラフの振れは、すべて切削抵抗によるもので、温度ゲージによる電磁オシログラフの振れは、すべて切削温度によるものと考えられる。この関係を図4に示す。

(iv) 切削抵抗変動 (dR) の測定法

工具動力計による電磁オシログラフの振れの変動巾を測定して求めた。

(v) 比切削抵抗 (K_s) の測定法

比切削抵抗 (K_s) は次式より求めた。

$$K_s = \frac{R}{q} \quad (1)$$

K_s : 比切削抵抗 (kg/cm²)

R : 切削抵抗 (kg)

q : 切削面積 (cm²) = $s \times t$

s : 送り (cm/rev)

t : 切込 (cm)

(vi) 仕上面あらさの測定

小坂式仕上面あらさを用いて H_a を求めた。

(vii) 結果の整理

以上の方法で求めた切削抵抗 (R)、切削抵抗変動 (dR)、仕上面あらさ (H_a) および材質的な違いを最小自乗法を用いて、切込 (t) および切削速度 (V) に関する関係式として整理した。これらの関係式における重相関係数は0.75以上で十分信頼できる。

実験結果および考察

(1) 切削抵抗 (R)^{8)~10)}

前報^{2)~4)}に示したように切削抵抗は切込が大きくなれば比例的に増加し、切削速度が大きくなれば比例的に減少する。しかしその比例的割合は各被削材とも切込に対する影響が大きい。それで切込に対する切削抵抗の関係を材質的に求めたのが図5である。この図からもわ

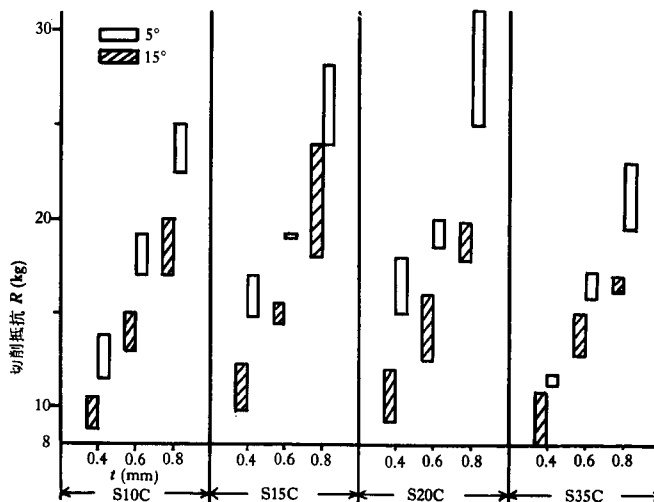


図5 切削抵抗の切込および材質による影響

かるようにどの材質も切込が増加すると切削抵抗は増加し、すくい角 5° の場合は S20C で、 15° の場合は S15C で最高値を示す。また S15C, S20C 付近で切削抵抗が極大となり両側に行くにつれて小さくなっている。

以上のことから炭素含有量の少ないときは柔軟であるから、切削抵抗は少なく、炭素含有量の増加と共に材質が硬くなり、切削抵抗が増大していくが、炭素量が 0.3 % 付近になると逆に減少し、削りやすい状態となる。

一般に 0.3% 程度の亜共析鋼は最も削りやすいとされている。

(2) 切削抵抗変動 (dR)

図 6 において切込が増加すると切削抵抗変動が増加し、すくい角 5° , 15° の場合とも S10C が最大で、つぎが S35C である。

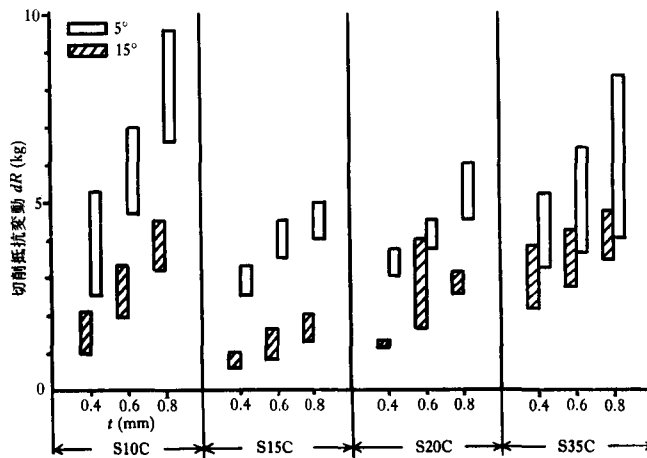


図 6 切削抵抗変動の切込および材質による影響

図 5 (切削抵抗の場合) と材質に対する比較をした場合、逆の結果になっている。すなわち S10C, S35C は切削抵抗はわりに小さいが、切削抵抗変動は他の材質に較べてわずかながら大きい。

また切込を増加させた場合の増加率は、すくい角が 5° , 15° の場合とも S10C が最大で、切込の影響が大きく、また 5° の方が 15° より増加率が大きい。

以上の結果、炭素含有量の多いほど切込による影響の少ないことがわかる。

つぎに切削速度が増加する図 7 の場合、S10C, 15° のときを除いて切削抵抗の値は減少している。切削抵抗変動の減少が最大なのは、すくい角 5° , 15° とも S35C であり、S20C はその差異は非常に少ない。またその減少率も 5° と 15° では明確に異なっている。

S10C を除くと炭素含有量が多くなるほど切削速度の影響が大きい。

S10C, 15° は材質の化学的組織、展延性、バイト形状や切削速度による構成刃先の生じやすさ等が複雑に影響しあうために、このような結果になったものと考えられる。

一般に切削抵抗変動はバイトや被削材の振動にもよるが、主として切削機構、すなわち切くずの生成および除去過程に基因するものと思われる。このことは切くずの裏面が不規則な凹凸を呈していることから説明ができる。それ故 S10C のような軟材料を、すくい角の大きい 15° のバイトで切削する場合はとくに以上の各種基因により切削抵抗変動の大きくなる

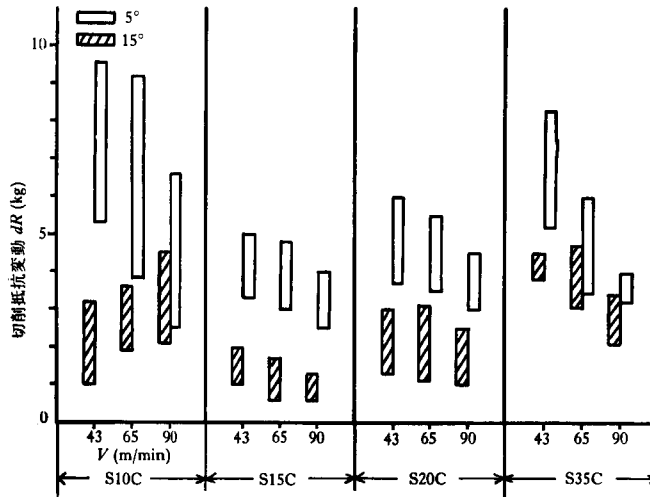


図7 切削抵抗変動の切削速度および材質による影響

のも当然と思われる。

(3) 仕上面あらさ (H_a)^{5)~7)}

前報^{2)~4)}のように仕上面あらさと切込の関係は切込が増加すると、ごくわずかではあるが減少する傾向があり、すくい角が5°と15°の場合はわずかながら15°の方が良好である。

一般に構成刃先の生成しやすい炭素鋼では切削速度の低い場合(30~40 m/min以下)では切込のきわめて小さい範囲(0.5 mm以下)では仕上面あらさは切込の増加とともに大きくなり、ある程度の切込(0.05~0.1 mm)で最大となり、それ以上の切込では切込の増加とともに仕上面あらさは小さくなり、切込が0.5~1 mmになるとほぼ一定の仕上面あらさが得られる。このことは切込が増加するとともに、構成刃先もまた大きく生成されるが、その突出部が刃先から次第に刃先の方へ移り、バイトの刃先先端における構成刃先の高さが低くなるためであるといわれている。本実験の場合は切込は0.4~0.8mmであって切込の増加に従

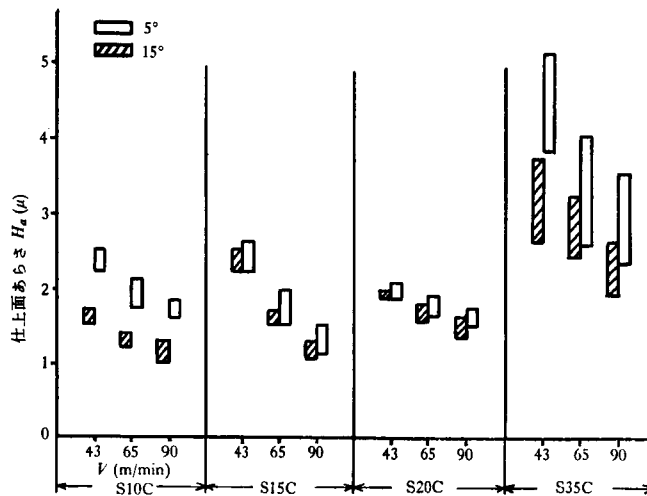


図8 仕上面あらさの切削速度および材質による影響

切削熱と切削抵抗から見た被削性の一測定法

って仕上面あらさが減少しているのので、上述のこととよく適合している。

また切削速度に対しても前報^{2)~4)}のように、切削速度が増加すると仕上面あらさは小さくなっている。しかし仕上面あらさに対する影響は切込より切削速度に対する影響の方が大きいので、材質に対しては切削速度を基底とした仕上面あらさを考察する。その関係が図8である。

図8より各材質とも切削速度が増加すると仕上面あらさが小さくなり、その減少率はすくい角が5°、15°ともS35Cが最高で、また仕上面あらさも最大で、他の材質にはみられない特異な状態をなしている。他の材質はどれもほぼ同程度の仕上面あらさになっている。

一般に鋼中の炭素含有量の多いほど、かたさが高いほど、快削添加物の含有量の多いほど良い仕上面が得られる。本実験では炭素含有量による仕上面あらさの差はあまり明りようではない。

しかしS35Cの場合他の材質に較べて仕上面あらさが大きいのは快削元素の一つである硫黄の含有量が一番少なく、この影響が現われていると思われる。

(4) 関係式

(i) 各因子(仕上面あらさ、切削抵抗および切削抵抗変動)と切込および切削速度との関係式。

実験方法(vii)で求めた関係式を表4に示す。

表4 各因子の切削速度および切込に対する関係式

R_c	S 10 C	5° $R_c = 55.5 t^{-1} / V^{0.15}$ 15° $R_c = 42 t^{0.89} / V^{0.16}$	H_{ac}	S 10 C	5° $H_{ac} = 13.9 / (t^{0.18} \cdot V^{0.49})$ 15° $H_{ac} = 10.8 / (t^{0.09} \cdot V^{0.56})$
	S 15 C	5° $R_c = 86.2 t^{0.70} / V^{0.23}$ 15° $R_c = 69.2 t^{1.1} / V^{0.24}$		S 15 C	5° $H_{ac} = 46.2 / (t^{0.27} \cdot V^{0.83})$ 15° $H_{ac} = 69.1 / (t^{0.14} \cdot V^{0.93})$
	S 20 C	5° $R_c = 105.7 t^{0.46} / V^{0.32}$ 15° $R_c = 35.7 t^{0.74} / V^{0.15}$		S 20 C	5° $H_{ac} = 5.4 / (t^{0.06} \cdot V^{0.27})$ 15° $H_{ac} = 6.3 t^{0.11} / V^{0.31}$
	S-35 C	5° $R_c = 51.9 t^{0.93} / V^{0.19}$ 15° $R_c = 54.2 t^{0.89} / V^{0.24}$		S 35 C	5° $H_{ac} = 107.2 t^{0.57} / V^{0.81}$ 15° $H_{ac} = 2.77 t^{0.6} / V^{0.57}$
dR_c	S 10 C	5° $dR_c = 111.2 t^{-1.1} / V^{0.58}$ 15° $dR_c = 0.15 t^{1.13} \cdot V^{0.78}$			
	S 15 C	5° $dR_c = 23.9 t^{0.53} / V^{0.37}$ 15° $dR_c = 39.9 t^{1.3} / V^{0.71}$			
	S 20 C	5° $dR_c = 13.7 t^{0.49} / V^{0.21}$ 15° $dR_c = 53.2 t^{0.98} / V^{0.68}$			
	S 35 C	5° $dR_c = 187.6 t^{0.57} / V^{0.81}$ 15° $dR_c = 48.5 t^{0.6} / V^{0.57}$			

これらの関係式から t (切込) あるいは V (切削速度) の指数を比較することにより、切込あるいは切削速度の影響の大小が判別できる。

(A) 切削抵抗 (R_c)

t の指数は正であり、それがかなり1に近いので、切込が増加すると、比例的に切削抵抗も大きくなる。 V の指数は負であり、その値は t の指数の約1/4 (例外の材質もあるが) の大

きさである。すなわち切削速度が増加すると切削抵抗は減少するが切込の影響の方がかなり大きい。

(B) 切削抵抗変動 (dR_c)

t の指数は切削抵抗の場合と同じぐらいの大きさであるから切削抵抗変動に対する影響度も同じぐらいであるように思われる。しかし V の指数は切削抵抗変動の方が 2~3 倍大きい。したがってこの場合切削速度による影響も大きい。

(C) 仕上面あらさ (H_{ac})

t については S10C, S15C および S20C のすくい角 5° は、その指数が負であり、その値はかなり小さい。それゆえ切込が増加すると仕上面あらさはわずかに減少する。しかし S20C, 15° および S35C では t の指数が正になり逆の傾向を示す。また t と V の指数を比較すると V の指数の方がかなり大きく、仕上面あらさは切削速度により大きく影響されることがわかる。しかし S35C は t, V の指数は同じ位の値である。

(ii) 関係式の妥当性

表 3 の関係式より数値を代入して計算した値と実験測定値との関係を横軸に実測値、縦軸に計算値を用いて図示すると (図面省略)、原点を基点とした 45° の傾斜線の上に十分プロットできて、両者の妥当性がよくわかる。また各測定値の重相関係数は 0.75 以上であったので、各計算式は十分信頼できる。

(iii) 各因子間 (仕上面あらさ、切削抵抗および切削抵抗変動) の関係式

表 3 における各々の式を

$$R_c = k_1 t^{a_1} V^{b_1} \quad (2)$$

$$H_{ac} = k_2 t^{a_2} V^{b_2} \quad (3)$$

$$dR_c = k_3 t^{a_3} V^{b_3} \quad (4)$$

とする。

(A) $H_{ac}-R_c$ の関係式

(2), (3) の式に $V=43, 60, 90$ の値を代入して t を消去する。

(2) より $\log R_c = \log k_1 + a_1 \log t + b_1 \log V$

$$= \log k'_1 + a_1 \log t \quad (5)$$

同様に (3) より

$$\log H_{ac} = \log k'_2 + a_2 \log t \quad (6)$$

(5), (6) より

$$\begin{aligned} \log H_{ac} &= \frac{a_2}{a_1} \log R_c - \frac{1}{a_1} \log k' \\ &= \log R_c^{\frac{a_2}{a_1}} \cdot k'^{\frac{1}{a_1}} \\ &= \log K \cdot R_c^{\frac{a_2}{a_1}} \end{aligned}$$

故に

$$H_{ac} = K \cdot R_c^{\frac{a_2}{a_1}} \quad (7)$$

同様に (2), (3) 式に $t=0.4, 0.6, 0.8$ の値を代入して V を消去して上述の方法に従うと、

$$H_{ac} = K \cdot R_c^{\frac{b_2}{b_1}} \quad (8)$$

となる。

切削熱と切削抵抗から見た被削性の一測定法

(B) $H_{ac}-dR_c$ の関係式

(C) R_c-dR_c の関係式

両者とも (A) と全く同様にして計算できるので省略する。

以上の方法で算出した関係式を表 5 に示す。

表 5 をもとにして $H_{ac}-R_c$, $H_{ac}-dR_c$, R_c-dR_c の関係を両対数のグラフに図示した一例を

表 5 各 因 子 間 の 関 係 式

材 質	切 削 速 度 (m/min)	$H_{ac}=K_1R_c^{\alpha_1}$				$H_{ac}=K_2dR_c^{\alpha_2}$				$R_c=K_3dR_c^{\alpha_3}$			
		5°		15°		5°		15°		5°		15°	
		K_1	α_1	K_1	α_1	K_2	α_2	K_2	α_2	K_3	α_3	K_3	α_3
S 10 C	43	4.1	-0.18	1.7	-0.09	3.3	-0.16	1.9	-0.08	3.1	0.91	0.34	0.88
	65	3.2	"	1.4	"	2.6	"	1.6	"	3.7	"	0.24	"
	90	2.8	"	1.2	"	2.2	"	1.3	"	4.1	"	0.18	"
S 15 C	43	7.9	-0.39	3.2	-0.13	4.9	-0.51	2.4	-0.11	3.5	1.3	12	0.85
	65	5.4	"	2.2	"	3.2	"	1.6	"	3.9	"	14	"
	90	4.0	"	1.6	"	2.3	"	1.1	"	4.2	"	16	"
S 20 C	43	3.1	-0.13	1.3	0.15	2.4	-0.12	1.7	0.11	5.6	0.94	6.9	0.76
	65	2.7	"	1.1	"	2.1	"	1.5	"	5.3	"	8.0	"
	90	2.4	"	1.0	"	2.0	"	1.4	"	5.1	"	9.0	"
S 35 C	43	0.70	0.61	0.40	0.67	0.58	1	0.58	1	0.22	1.5	1.6	1.5
	65	0.52	"	0.34	"	"	"	"	"	0.28	"	2.1	"
	90	0.40	"	0.30	"	"	"	"	"	0.34	"	2.5	"

材 質	切 込 (mm)	$H_{ac}=K_1R_c^{\alpha_1}$				$H_{ac}=K_2dR_c^{\alpha_2}$				$R_c=K_3dR_c^{\alpha_3}$			
		5°		15°		5°		15°		5°		15°	
		K_1	α_1	K_1	α_1	K_2	α_2	K_2	α_2	K_3	α_3	K_3	α_3
S 10 C	0.4	$\times 10^{-4}$ 6.8	3.3	$\times 10^{-4}$ 6.2	3.5	0.72	0.85	21	0.72	8.4	0.26	20	0.21
	0.6	1.6	"	1.39	"	0.45	"	29	"	11	"	34	"
	0.8	0.62	"	0.53	"	0.33	"	36	"	14	"	47	"
S 15 C	0.4	$\times 10^{-5}$ 4.9	3.7	$\times 10^{-4}$ 3.0	3.9	0.13	2.3	3.1	1.3	8.6	0.62	10	0.34
	0.6	1.5	"	0.48	"	0.06	"	1.4	"	10	"	14	"
	0.8	0.7	"	0.14	"	0.05	"	0.86	"	11	"	17	"
S 20 C	0.4	0.16	0.84	$\times 10^{-2}$ 1.4	2.1	0.34	1.3	1.7	0.46	2.5	1.5	8.9	0.22
	0.6	0.13	"	0.80	"	0.26	"	1.4	"	2.2	"	9.2	"
	0.8	0.12	"	0.54	"	0.21	"	1.2	"	2.1	"	13	"
S 35 C	0.4	$\times 10^{-4}$ 1.1	4.3	$\times 10^{-3}$ 8.5	2.4	0.58	1	0.58	1	7.4	0.23	5.8	0.42
	0.6	0.28	"	4.5	"	"	"	"	"	10.0	"	7.4	"
	0.8	0.11	"	3.0	"	"	"	"	"	13.0	"	9.0	"

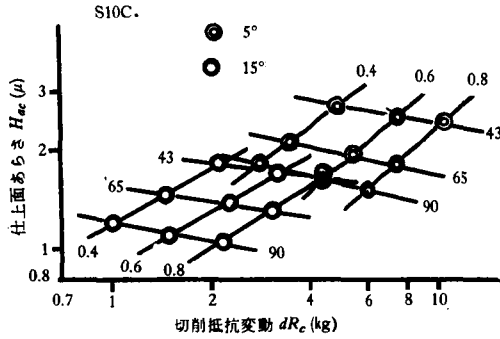


図9 関係式による仕上面あらさと切削抵抗変動との関係

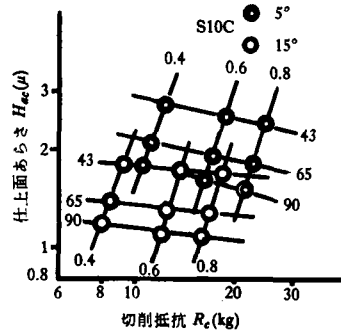


図10 関係式による仕上面あらさと切削抵抗との関係

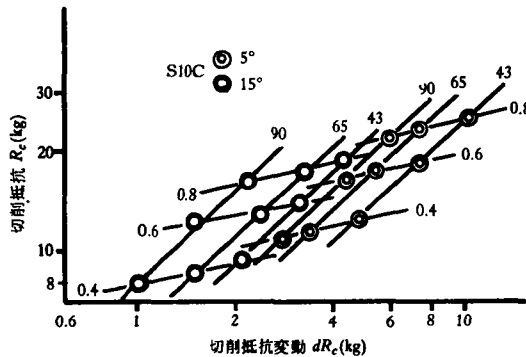


図11 関係式による切削抵抗と切削抵抗変動との関係

図9～図20に示す．表5で K_1, K_2 および K_3 は切片に相当し， α_1, α_2 および α_3 はこの直線の傾きを表わしている．

(5) (iii) の関係式の考察

(A) S10C について (図9, 図10, 図11)

切込を一定にした場合，切削抵抗，切削抵抗変動が大きくなると仕上面あらさも増加する．この場合切削抵抗の少しの変化に対して仕上面あらさは大きく変化しているが，切削抵抗変動に対する仕上面あらさの増加は約1対1の割合である．

切削速度が一定の場合，(すなわち切込が変化する場合) 切削抵抗，切削抵抗変動が増加すれば，仕上面あらさは減少している．切削速度を一定にすると仕上面あらさは切削抵抗よりも切削抵抗変動の方が大きく影響していると思われる．

図11によると切削抵抗と切削抵抗変動の間には切込が増加し，切削速度が減少するにつれて切削抵抗も切削抵抗変動も共に増加している．その増加率は切込が増加する場合の方が大きい．

5°と15°とを比較すると，5°の方が仕上面あらさ，切削抵抗，切削抵抗変動とも大きい．表5より指数を較べると，切削速度が一定の場合， $H_{ac}-R_c$ で5°が-0.18，15°が-0.09， $H_{ac}-dR_c$ で5°が-0.16，15°が-0.08であり，いずれも5°の方が傾きが大きい．また切込が一定の場合， $H_{ac}-R_c$ で5°が3.3，15°が3.5， $H_{ac}-dR_c$ で5°が0.85，15°が0.72であり $H_{ac}-R_c$ のときは15°の方が傾きが大きくなっている．

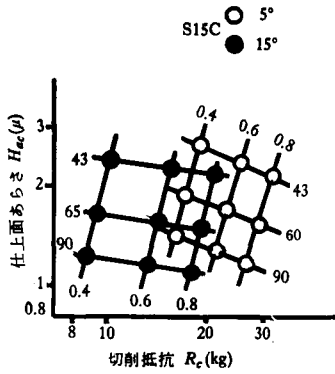


図12 関係式による仕上面あらさと切削抵抗との関係

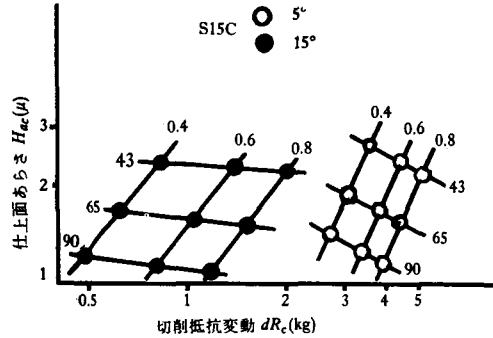


図13 関係式による仕上面あらさと切削抵抗変動との関係

(B) S15C について (図12, 図13, 図14)

この場合も S10C と同様に、切込を一定にした場合、(すなわち切削速度が変化する場合) 切削抵抗, 切削抵抗変動が増加する。切込を増加させると仕上面あらさはわずかではあるが減少し、それに伴い切削抵抗, 切削抵抗変動が大きくなる。

切削速度が減少するにつれて仕上面あらさ, 切削抵抗および切削抵抗変動も増加することがわかる。

図14によると切込が増加するにつれて、また切削速度が減少するにつれて切削抵抗および切削抵抗変動も共に増加する。この場合切込が増加したときの方が切削速度が増加したよりも両者の値が大きく変化する。それ故切削抵抗と切削抵抗変動を共に小さくしたいときは切込を小さくし、切削速度を大きくすればよいことがわかる。しかし仕上面を考慮すると切込を小さくすると仕上面あらさは大きくなる傾向があるので、三者が共に小さくなるような条件を選ぶことはできない。

5° と 15° とを比較すると、表 5 によれば切削速度を一定にした場合、 $H_{ac}-R_c$ で 5° のとき R_c の指数が -0.39 で 15° のとき -0.13 , $H_{ac}-dR_c$ で 5° のとき -0.51 で 15° のとき -0.11 であり、5° の方が傾きが大きいことがわかる。また切込を一定にした場合は、 $H_{ac}-R_c$ で 5° で 3.7, 15° で 3.9 でほぼ同じである。 $H_{ac}-dR_c$ では 5° で 2.3, 15° で 1.3 であり 5° の方が傾きが大きい。切込を一定にした場合と切削速度を一定にした場合とでは指数の

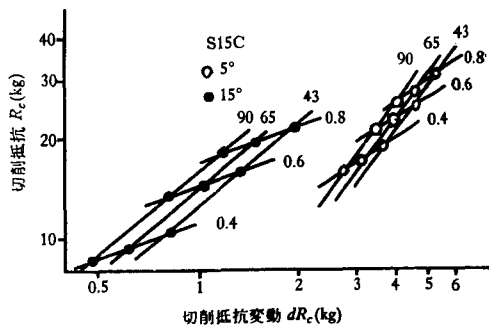


図14 関係式による切削抵抗と切削抵抗変動との関係

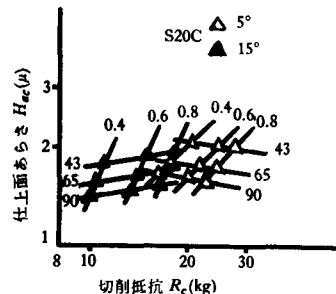


図15 関係式による仕上面あらさと切削抵抗との関係

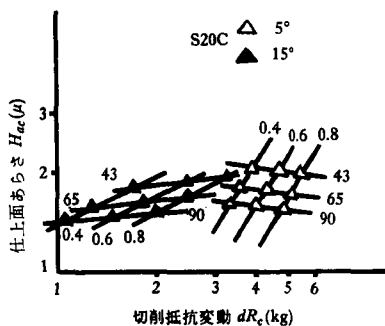


図16 関係式による仕上面あらさと切削抵抗変動との関係

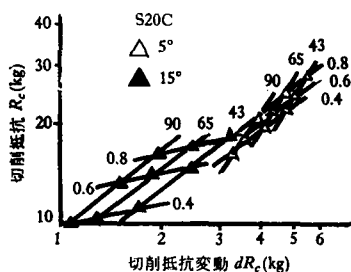


図17 関係式による切削抵抗と切削抵抗変動との関係

大小からわかるように切込を一定にした場合の方が傾きが大きい。すなわち仕上面に対しては、切削速度の変化による影響が切込の変化による影響より大きいことがわかる。

(C) S20C について (図15, 図16, 図17)

この場合 $H_{ac}-R_c$, $H_{ac}-dR_c$ の関係が 5° と 15° とで傾きが正負逆になっている。これは S10C, S15C と異なっている。

5° については S10C, S15C と同様の傾向で切込一定で、切削速度が減少すると仕上面あらさ、切削抵抗および切削抵抗変動は共に大きくなっている。

切削速度が一定で、切込が増加すると仕上面あらさ、切削抵抗および切削抵抗変動が大きくなっている。

仕上面あらさから見た場合、切込の変化による影響を比較すると、表 5 からわかるように切削速度を一定にし、切込を変化したとき 5° の場合 R_c の指数が -0.13 , dR_c の指数が -0.12 , 切込を一定にしたときの R_c が 0.84 , dR_c が 1.3 であるから、切込を一定にして切削速度を変化させた場合の方が影響が大きい。

15° の場合は、切削速度を一定にし、切込を増加するにつれて、S10C, S15C の傾向とは逆に仕上面あらさが増加している。切込を一定にした場合は 5° と同様の傾向を示している。

S20C, 15° に限って考えれば、仕上面あらさ、切削抵抗および切削抵抗変動がともに小さくなるような切削条件は、切込が 0.4 mm, 切削速度が 90 m/min (ただし、これは本実験の切削条件の範囲内で考えた場合) のときであり、微視的に見た場合このような切削条件を選ぶと被削性が良くなるといえる。図17で切込が増加するに従い、また切削速度が減少するにつれて 5° , 15° とともに切削抵抗および切削抵抗変動が増大していく。これは S10C, S15C と同様の傾向である。

(D) S35C について (図18, 図19, 図20)

5° で切削速度を一定にし、切込を増加させた場合は、前述の材質と異なった傾向をもつ。すなわち切込を増加すると仕上面あらさは増加する。図18で 5° , 15° とともに切込が増加し、切削速度が減少すると、切削抵抗および仕上面あらさが大きくなる。切削抵抗の切込の変化による変化率は、 5° と 15° の場合、その差は他の材質より小さい。仕上面あらさから見ると、切込よりも切削速度の影響の方が大きい。切削抵抗に関しては切削速度より切込の影響の方が大きい。

図19では仕上面あらさと切削抵抗変動の関係がどんな切削条件でも一直線上にある。表 5

切削熱と切削抵抗から見た被削性の一測定法

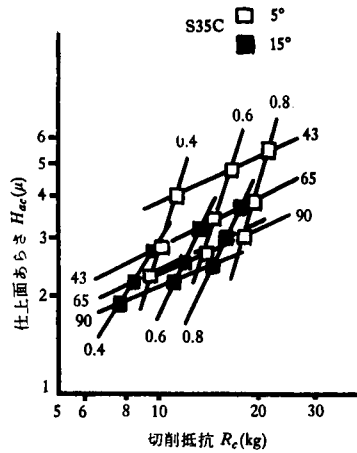


図18 関係式による仕上面あらさと切削抵抗との関係

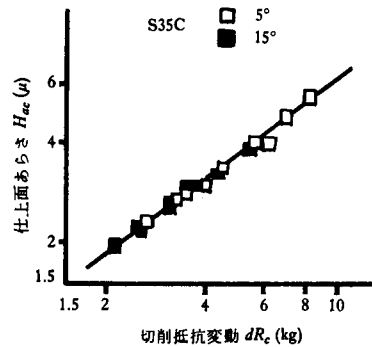


図19 関係式による仕上面あらさと切削抵抗変動との関係

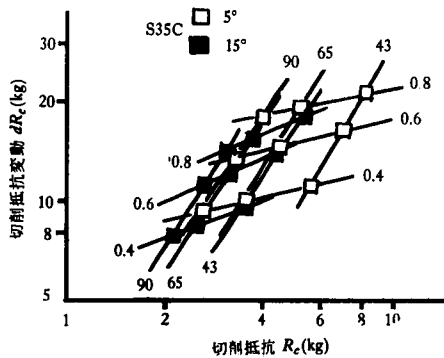


図20 関係式による切削抵抗変動と切削抵抗との関係

で5°, 15°の場合どちらも切込あるいは切削速度を一定にしたとき、いずれの場合でも dR_c の指数が1で切片が0.58である。すなわち仕上面あらさと切削抵抗変動は比例している。

図20で切込が増加し、切削速度が減少すると切削抵抗および切削抵抗変動が増加する。切削抵抗を基準とすれば切削速度よりも切込の影響が大きく、切削抵抗変動に關すれば切削速度の方が切込みより影響が大きい。表5において切削速度一定の場合、 dR_c の指数が5°, 15°とも1.5と同じである。

(E) 全体的考察

どの材質についても切削抵抗が増加すれば切削抵抗変動がそれに伴い常に増加している。

一般に切削抵抗変動は構成刃先の生長、脱落に基因するので、切込を増加すると構成刃先は増加し、切削抵抗変動が大きくなり、切削抵抗も必然的に大きくなる。しかし切込を本実験の切削条件の範囲よりも大きくすると温度が高くなりすぎて、軟化現象を生じ、構成刃先はかえって小さくなると考えられる。そのため切削抵抗変動が小さくなり、抵抗は大きいが切削抵抗変動が小さいという場合もある。

つぎに切削速度を増加すると構成刃先の発生が少くなり、これに伴って切削抵抗変動も小

さくなる。また切削抵抗も小さくなるので両者が小さくなるのは当然である。しかし切削速度を極端に大きくするとびりなどの複雑な要素が入ってくるので、概して切削抵抗変動は大きくなるものと思われる。

切削条件から考えると、S10C, S15C および S20C, 5° においては切削抵抗および切削抵抗変動を共に小さくするような切削条件を選べるが、仕上面あらさを考慮に入れると、これら3者を共に小さくするような条件を選ぶことは本実験では困難なように思われる。また S20C, 15° および S35C では切削抵抗、切削抵抗変動および仕上面あらさの3者が共に小さ

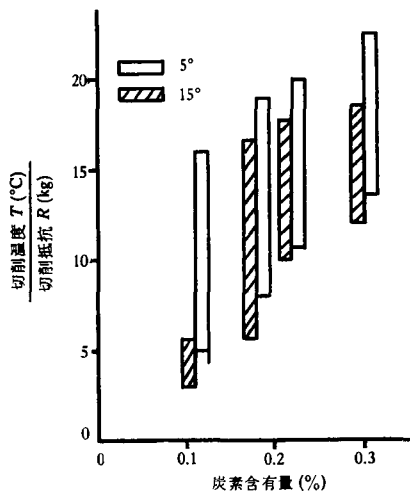


図21 炭素含有量に対する T/R の影響

S10C	5°	○
	15°	●
S15C	5°	○
	15°	●
S20C	5°	△
	15°	▲
S35C	5°	□
	15°	■

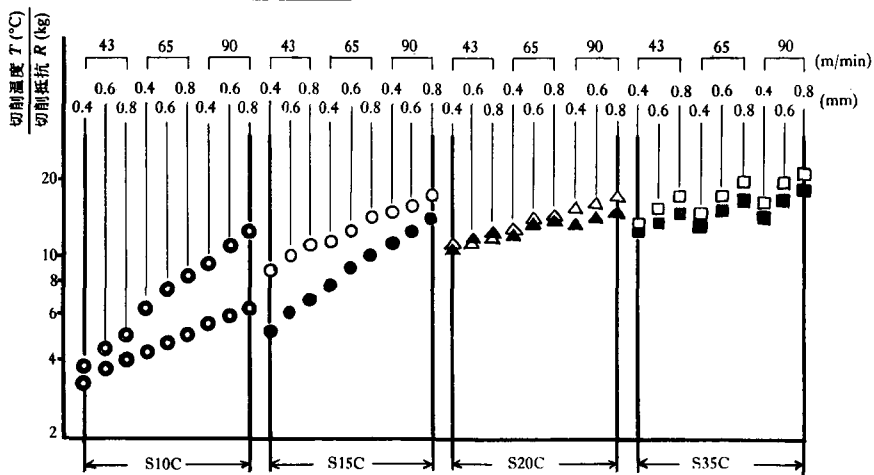


図22 純計的処理による材質に対する T/R の影響

くなるような切削条件を選ぶことができる。一般に3者とも小さいのが被削性が良いのは当然であるが、この場合問題になるのは被削性の良し悪しは各材質についての比較のみで、材質個々の場合ではない。例えば仕上面あらさに関しては S35C は他の材質と比較すると大きく、また S35C の場合ほどではないが S20C, 15° のときでも S15C の方が仕上面あらさは小さい。切削抵抗についても同様のことがいえる。

以上のことから本実験において被削性を論ずるとすれば、材質、仕上面あらさ、切削抵抗および切削抵抗変動を均一に検討すればある程度の被削性は論ぜられるが、広範囲な立場からの被削性問題については十分ではない。それ故前述の個々のデータおよび論議を根底において、仕上面あらさに重点をおいて広範囲から被削性を研究する。

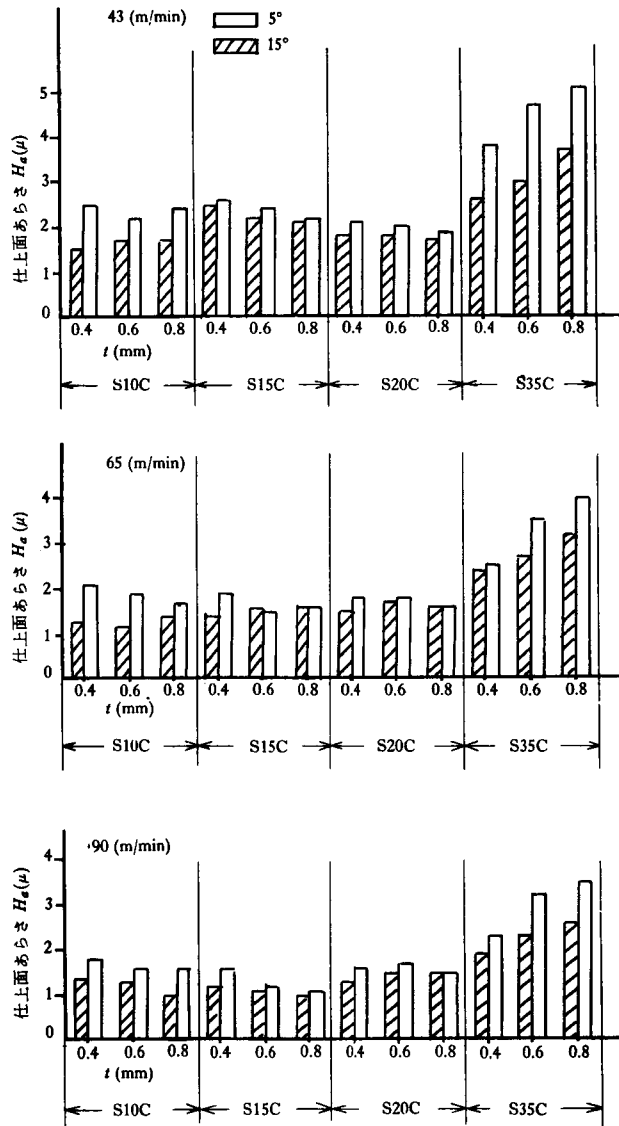


図23 各材質の仕上面あらさと切込との関係 (切削速度 43, 65, 90 m/min における)

しかし各因子間の関係図ならびに関係式の決定により、個々の条件の組合せによる材質の被削性判定には非常に有効であると思われる。

(6) 切削温度

前報^{2)~4)}に述べたように切込が大きい場合、あるいは切削速度が増加すると切削温度は高くなる。また5°、15°とも切削速度の増加による温度上昇率は切込の増加による上昇率より小さく、5°と15°を比較すると5°の場合には各材質に対して切削温度は高く、切込みに対する

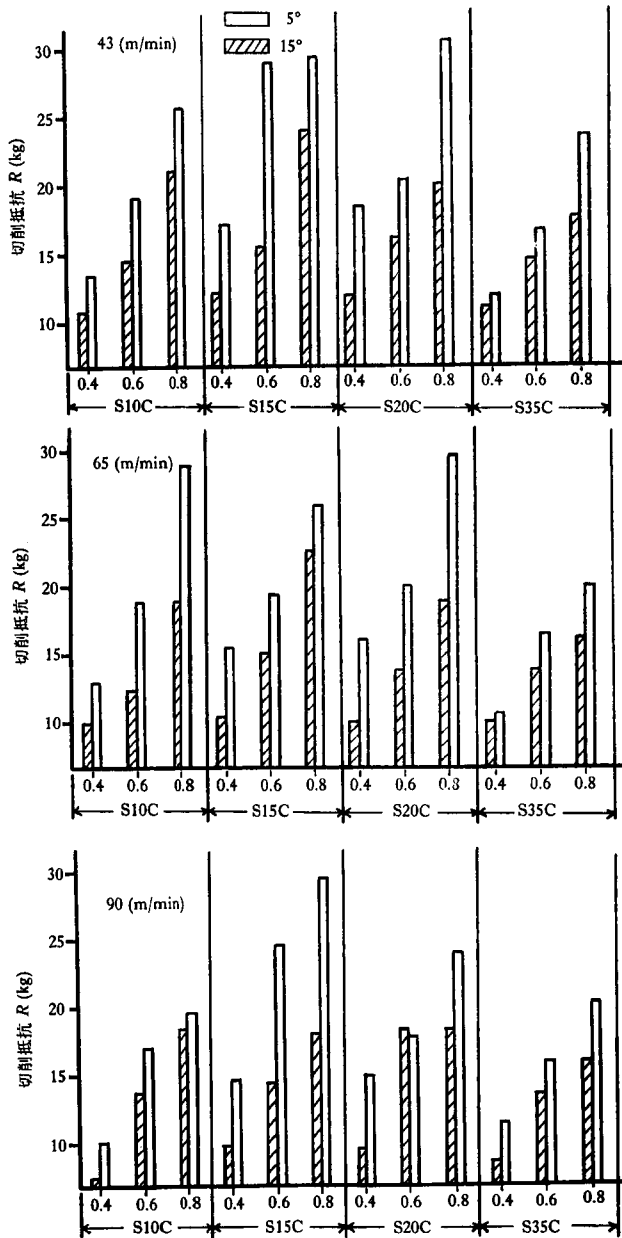


図24 各材質の切削抵抗と切込との関係 (切削速度 43, 65, 90 m/min における)

温度上昇率も大きくなっている。ただし切削速度に対しては同程度の温度上昇率である。

本実験では前報^{2)~4)}を参考にして、工具寿命に最も関係のある切削温度と切削抵抗について材質に両者の比を取って考察した。図21にその結果を示す。この図より炭素含有量が多くなると $\frac{T}{R}$ が大きくなり、炭素含有量が 0.3% (S35C) のときは、他の材質に較べて切削抵抗が小さいにもかかわらず、切削温度が他の材質に比較してやや高くなっているため $\frac{T}{R}$ が大きくなる。このことから切削抵抗が大きいても必ずしも $\frac{T}{R}$ が大きくなるとは限らない。すなわちこの値が大きいときは、その材質に対するある切削条件において、 T が R よりも大きく影響していることを示す。

一般に切削の際の発熱としては次の4つが主原因だと考えられている。

- (i) せん断面におけるせん断塑性変形により発生する熱。

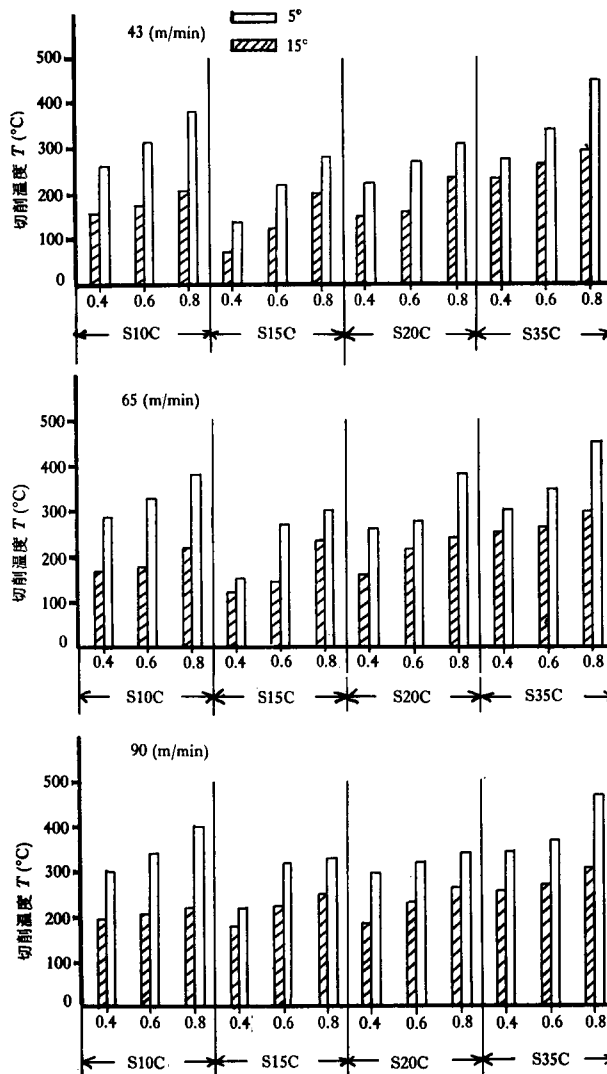


図25 各材質の切削温度と切込との関係（切削速度 43, 65, 90 m/min における）

(ii) 切くずと切削工具のすくい面との間の摩擦により発生する熱。

(iii) 切くずが切刃によって被削材本体から分離されるとき発生する熱。

(iv) 切削工具の逃げ面と切削により新しくできた仕上面との間の摩擦により発生する熱。

これら4つのうち (i), (ii) が最も大きな原因となるが、切削抵抗に最も影響するのは (i) と考えられるから、本実験で S35C の場合には、熱の発生は (ii) に起因していると思われる。

図22は図21を統計的に処理したものであるから説明を省略する。

(7) 仕上面あらさからみた被削性について。

一般に行われる仕上面作業は大別して、荒仕上作業すなわち荒仕上切削と、仕上作業に行われる仕上切削に分けられる。それ故本実験では荒仕上の場合には、切削抵抗の大小および工具寿命に大きな影響を与える切削温度を関連させ、仕上切削では仕上面あらさの大小に重点をおいて前述の切削条件について述べる。

図23は各材質と仕上面あらさを示したもので、仕上切削の見地から材質を考えると、本実験でいかに切込と切削速度とを組合せても、S35Cを除いた他の材質では被削性が良く、15°は5°より良い。また S35C 以外の材質では各切込に対してあまり差異を生じないが、切削速度が増すにつれて被削性は良くなっている。

図24は各材質と切削抵抗の関係を示しているが、この場合荒仕上切削の見地から見ると、逆に S35C が最も被削性が良くなっている。切削速度および切込の差異も僅かながら認められるが、それよりもすくい角の違いによる方が切削抵抗にはより影響するようである。

以上のことより S35C 以外は仕上切削に、S35C は荒仕上切削に良好な被削性を示すものと思われる。

図25は材質と切削温度に対する関係を示し、荒仕上切削で切削抵抗が同値位の材質は、切削温度の大小を考慮した方が良い。

結 言

(1) 各因子間の関係図および関係式の決定により、個々の条件の組合せによる材質の被削性判定は非常に有効に行える。

(2) 温度ゲージのはりつけ方法を本実験のように行えば、切削抵抗を測定するだけで切削温度が類推できる。

(3) 被削材を仕上切削と荒仕上切削の見地から考えると被削性判定が十分に行える。

謝 辞

本研究は大阪府立大学工学部機械工学科井戸研究室において実施された。終始ご指導とご便宜をいただいた同大学井戸守教授に深く謝意を表するものである。また実験遂行にあたって協力して頂いた北野勝広君、桐山富夫君、西村嘉豊君、高橋征夫君、小谷輝男君および鈴江修一君にあわせて謝意を表する。

文 献

- 1) 佐田登志夫 材料の被削性 日本機械学会誌. Vol. 70. No. 577.
- 2) 井戸, 中島 精密機械学会広島地方講演会前刷. 昭和40年.
- 3) 井戸, 中島 精密機械学会秋季大会講演会前刷. 昭和41年.
- 4) 井戸, 中島 精密機械学会秋季大会講演会前刷. 昭和42年.

切削熱と切削抵抗から見た被削性の一測定法

- 5) 竹中規雄 切削仕上面あらさに関する研究. 東京大学生産技術研究所報告. Vol. 1. No. 6.
- 6) 竹山秀彦 旋削仕上面あらさに関する研究. 精密機械. Vol. 31. No. 3.
- 7) 奥島啓式 金属切削面あらさに関する研究. 精密機械. Vol. 21. No. 110.
- 8) M. Sadowy. Cutting forces and cutting power in orthogonal cutting of steel, aluminum, Brass and plastic. *Int. J. Mach. Tool Des. Res.* Vol.5. pp. 81~118, 1965.
- 9) J. D. Cumming. S. Kobayashi. E.G. Thomsen. A new analysis of the forces in orthogonal metal cutting. *Trans. A. S. M. E.* 1965, Vol. 87. B. 4.
- 10) T.C. Hsu. A study of the normal and shear stresses on a cutting tool. *Trans. A.S.M.E.* 1966, Vol. 88. B. 1.