



低炭素鋼の被削性に関する研究(第1報) : 切削抵抗および仕上面粗について

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-06-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 菊地, 千之, 田中, 雄一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/3427

低炭素鋼の被削性に関する研究 (第1報)

— 切削抵抗および仕上面粗について —

菊地 千之・田中 雄一

Study on Machinability of Low Carbon-Steel (1st report)

— On the Cutting Force and Surface Roughness —

Kazuyuki Kikuchi and Yuichi Tanaka

Abstract

In recent years, the need for free machining steels, which permit to achieve higher production rate, is increasing. But the characteristics of Rimmed-Resulfurized Steel are not clear. In this paper the authors studied the cutting force and surface roughness characteristics of various kinds of low carbon steel.

I. 緒 言

金属材料の被削性は一般に工具寿命, 切削抵抗, 切屑生成および仕上面粗さなどの観点から論ぜられ, 工具寿命は生産速度即ち製品コストを直接支配する極めて重要な因子である。また切削抵抗の測定は単に切削所要動力を知るのみならず, 剪断角, 摩擦係数などの切削機構解明の基礎的資料を提供する。さらに切屑の形状は生産現場での作業の難易に影響し, 仕上面粗さは製品の外観価値を左右するのみならず, その機能等へも大きな影響を与える。

このような被削性全般にわたる体系づけは影響する因子が多く, かつ複雑であるため, 未だ十分には確立されていないように思われる。しかしながら, 近年の大量生産方式の発達, 機械構造物材料に対して被削性や冷間加工性などの点で高度の生産を要求してきている。現在多くの種類の快削鋼が市販されており, その被削性とそれに及ぼす諸因子の影響など再び問題となってきた。

本報告では, リムド鋼を基礎として特殊造塊法により中心部のみ硫黄含有量を高めた硫黄快削鋼, 低炭素リムド鋼および比較材としての低炭素キルド鋼を被削材として, 切削抵抗特性, 切屑生成および仕上面粗さからみた被削性について論ずる。

II. 実験装置, 被削材および方法

1. 実験装置

(a) 旋盤

旋削実験は Table 1 にその主要寸法を示した大隈鉄工所製 LS 型実用高速旋盤を用いて行なった。なお主軸回転数は、コップ無段変速機により 8~2,424 rpm まで任意に変換可能であり、所要の切削速度を得ることができる。

Table 1. The brief specifications of lathe used.

Max. Swing over bed	: 450 mm
Max. Swing over saddle	: 250 mm
Max. Distance between centers	: 1,250 mm
Spindle speeds	: 35~1,800 rpm

(b) 切削抵抗測定用動力計

切削抵抗測定用動力計は、ロードセル方式による三分力測定用動力計を使用した。

(c) 仕上げ面粗さ測定装置

仕上げ面粗さは、検出器(触針の先端: ダイヤモンド製 $5\mu\phi$)、駆動部、増幅指示部および記録計から成っている東京精密株式会社製デルタ表面粗さ計を使用した。これにより仕上げ面の中心線平均粗さ (H_a) および最大粗さ (H_{max}) を測定した。

(d) 工具研削盤

使用工具はマキノフライス製工具研削盤にて研削した。使用砥石は、白色アランダム砥石 120 # とし、軸回転数は 3,150 rpm で行なった。

2. 被削材

被削材は Table 2 に示した化学成分の低炭素キルド鋼, 低炭素リムド鋼および硫黄快削鋼の 3 種である。

低炭素キルド鋼は Fe-Si および Al による取鍋脱酸後造塊し, 低炭素リムド鋼および硫黄快削鋼は無脱酸のまま普通鋼塊としたものであり, これらはいずれも 87 mm ϕ まで熱間圧延後 82.55 mm ϕ に引抜加工した冷間引抜材である。これら供試材のサルファープリントを **Photo. 1** にそれぞれ示したが, 低炭素リムド鋼および硫黄快削鋼はいずれも無脱酸鋼のため中心部と周

Table 2. Chemical Composition of Specimens used.

Steel		C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
Low Carbon-Killed Steel		0.26	0.28	0.49	0.019	0.024
Low Carbon-Rimmed Steel	Rim-part	0.12	0.01	0.41	0.013	0.017
	Core-part	0.27	0.01	0.41	0.019	0.021
Resulfurized Steel	Rim-part	0.08	0.01	0.41	0.016	0.011
	Core-part	0.19	0.01	0.81	0.022	0.223

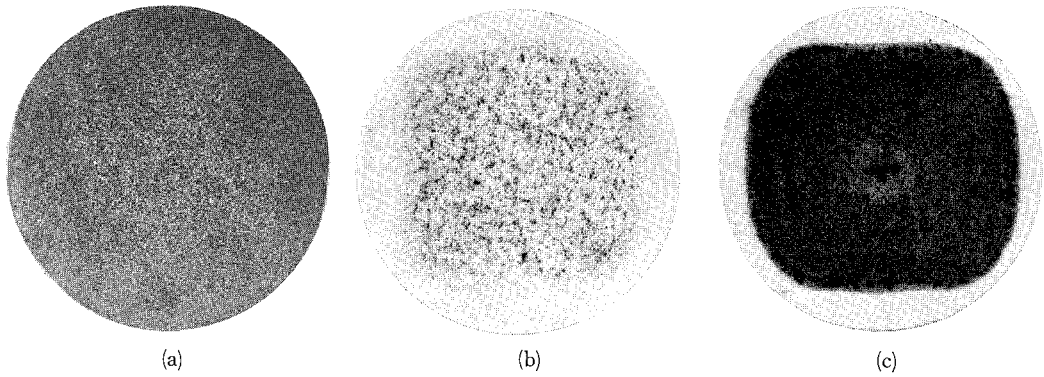


Photo. 1. Sulfur print for specimens used.

(a) Low carbon-Killed steel. (b) Low carbon-Rimmed steel. (c) Resulfurized steel.

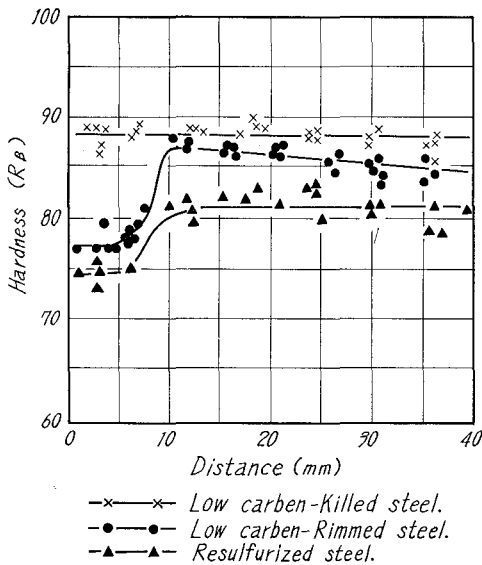


Fig. 1. Hardness distributions of specimens used.

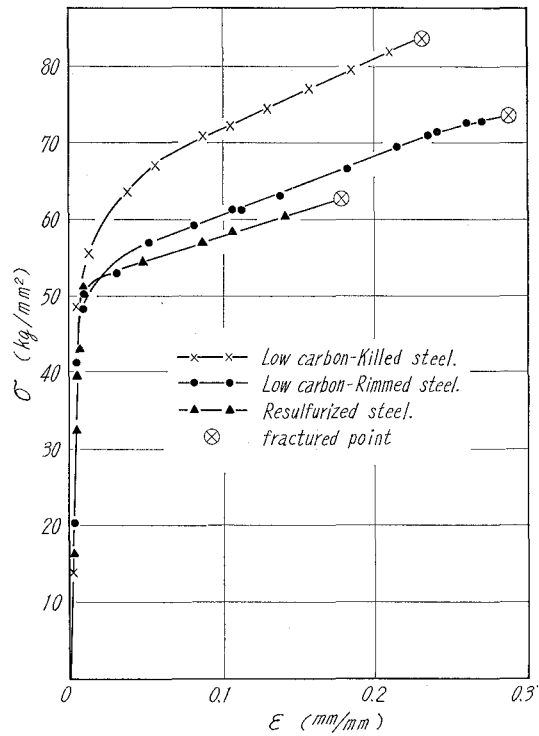
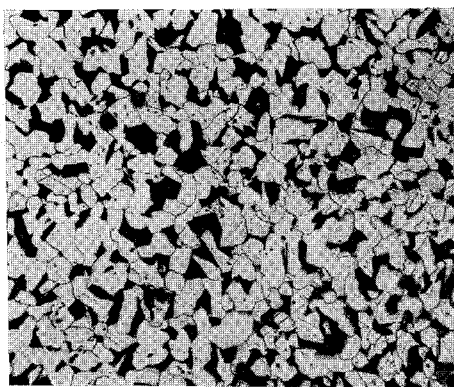
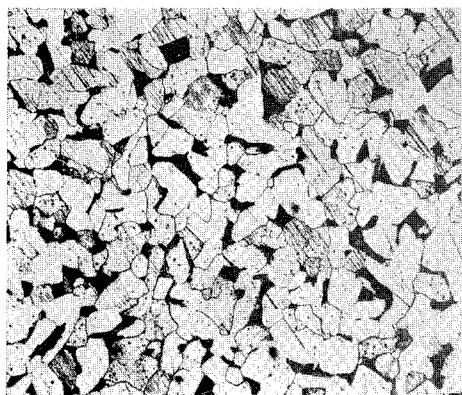


Fig. 2. True stress-strain curves (specimens diameter; 15 mm).

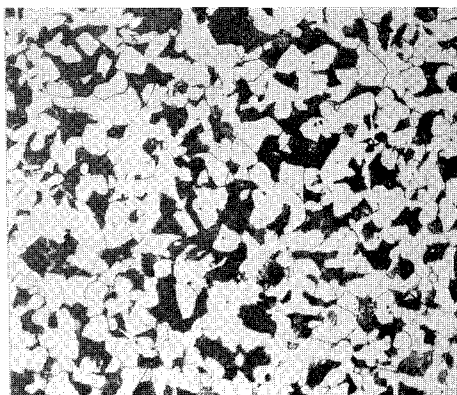
辺部では著しく組成の異った鋼となっている。この差異は **Table 2** のそれぞれの化学成分値および **Fig. 1** に示した供試材断面 (圧延方向に垂直) の硬さ分布曲線からも明らかである。また **Photo. 2** にはそれぞれの顕微鏡組織を示した。ここで硫黄快削鋼は顕微鏡組織からも明らかのように硫化マンガン粒子が分布している。これは、**Fig. 2** に示した引張試験による応力-歪曲



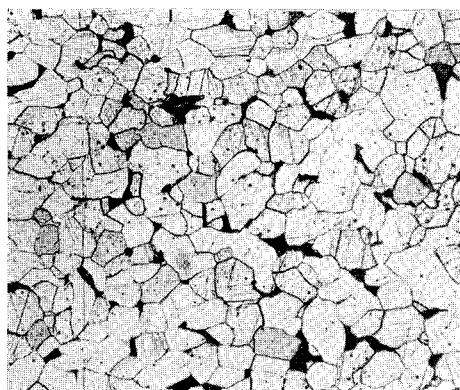
(a) Low carbon-Killed steel.



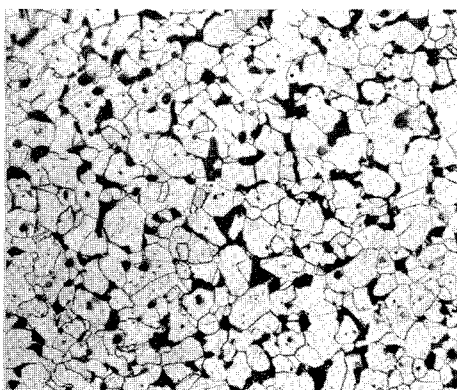
(b) Low carbon-Rimmed steel.
(rim-part)



Low carbon-Rimmed steel.
(core-part)



(c) Resulturized steel.
(rim-part)



Resulturized steel.
(core-part)

Photo. 2. Microstructure of specimens used.

線において硫黄快削鋼コア部のそれが降伏点付近で他鋼種の曲線に比較し、著しく丸味の小さい形になっていることから、脆性効果を与えているものと考えられる。

以上のように、リムド鋼は造塊の際の著しい偏析のため鋼塊の内部と周辺部では化学成分に著しい差異が生じている。従ってこのような材料については、被削性試験もそれぞれの部分に区別して行なわねばならないことは明らかである。本研究では、低炭素リムド鋼および硫黄快削鋼について直径 72 mm までをリム部とし、60 mmφ 以下をコア部として実験を行なった。また低炭素キルド鋼はすべて均一であるとみなした。

3. 切削条件

通常の切削方式は Fig. 3 (a) に示した長手旋削であり、切削仕上面にはいわゆる送りマークを残し、このマークは工具の先端部の半径、前および横切刃角、送り量などによって幾何学的に決まる。従って鋼種あるいは切削条件の相違による仕上面粗さの変化を解析するには、常に送りマークによる量を除いて考えねばならない。しかしながら Fig. 3 (b) に示したように、同図 (a) における切込み b および送り t を入れ変ること、即ち工具の主切刃は被削材回転軸に平行に置かれ、その長さは図 (a) における切込み b に等しくとる。そして図 (a) における送り t だけ切込み、切刃長さ b に等しい送り量で削ることにより図 (b) における送りマークは幅の広

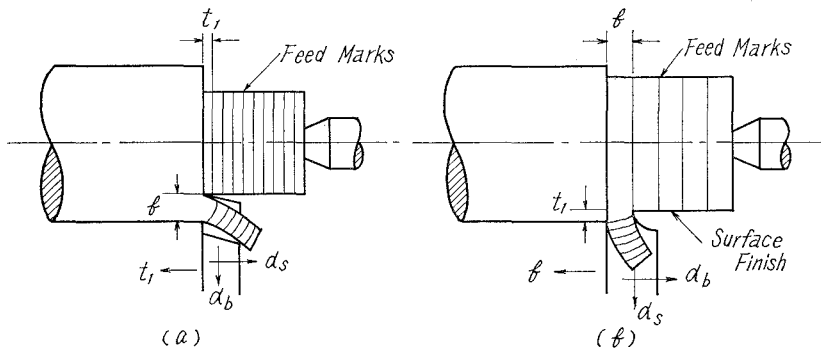


Fig. 3. Schematic diagram of (a) conventional and (b) analogue cutting process with an interchange of feed and depth of cut and back (α_b) and (α_s) rake angles.

Table 3. Cutting Conditions.

	Analogue cutting	Conventional cutting
Tool-Geometry	[15, 0, 7, 5, 0, 0, 0.13]	[-5, 15, 5, 5, 30, 30, 0.8]
Feed	0.05, 0.15, 0.20 & 0.30 mmpr	0.25 mmpr
Depth of Cut	2 mm	2 mm
Cutting Speed	Var.	Var.
Cutting Fluid	Dry or Spindole Oil	Spindole Oil

い帯状の螺旋形になり、この幅の中央を被削材円周方向に粗さの測定が可能となる。

この切削形式は、M. C. Shaw¹⁾により行なわれたものであり、アナログ切削といわれる。本実験で行なったこのアナログ切削および実用的切削方式である3次元切削の条件を **Table 3** に示した。

なお、使用工具は日本高周波 K.K. 製 SKH-4 相当の高速鋼工具である。切削剤として使用したスピンドルオイル 60 # は、高速鋼に対して、一般的に広く用いられているものである。

また、一部 Stopping Tool を用いて二次元切削を行ない切削途中の切屑生成および構成刃先の状態を調べた。

III. 実験結果およびその考察

1. 切削抵抗からみた被削性

切削抵抗の大小は材料の切削性の難易に大きな影響を及ぼし、更に切削温度あるいは工具寿命をも左右する。従って本項では各被削材の切削抵抗に影響を及ぼす種々の因子から被削性を検討する。

(1) アナログ切削における切削抵抗

[A] 切削速度による影響

Fig. 4 にはアナログ切削における切削抵抗と切削速度の関係を示した。図から明らかなようにいずれの鋼種においても切削速度の増加に伴ない切削抵抗は極小値および極大値をとる。いま **Fig. 4 (a)** の送り量; 0.15 mmpr の場合を例にとりこの現象を考えてみる。極小点 B では、構成刃先の生成が最大であり、工具は高すくい角となり極小値を得る。この構成刃先の生成は切削温度に依存すると言われており²⁾、材料の加工硬化性、熱軟化性あるいは青熱脆性など温度依存の諸性質が関係しているものと思われる。より高速域の A 点では、切刃近傍の温度が材料の軟化点以上に達するため構成刃先は生長できず切削抵抗は極大値を示す。さらに高い切削速度域では、被削材の熱軟化現象のため切削抵抗の減少が起ると考えられる。しかしながら最も軟質である硫黄快削鋼リム部において、極大値を示す部分は、前述のようなすくい角の変動が主原因ではなく Stick Slip 現象によるものと思われる。即ち被削材が銅またはアルミニウムのように軟質性のため、工具すくい面に付着し切屑の流れを阻止する作用を行なう。このことは切削中の観察あるいはこの部分で送り分力 (F_Q) が主分力 (F_P) に相当する程度まで高くなっていることから予想される。

低炭素キルド鋼は全鋼種中で最も高い切削抵抗を示している。しかしほぼ化学成分の一致する低炭素リムド鋼コア部ではかなり低い切削抵抗値である。これはキルド鋼へ脱酸剤として添加した Fe-Si および Al の作用と考えられる。即ち Si あるいは Al は鋼中では SiO_2 , Al_2O_3

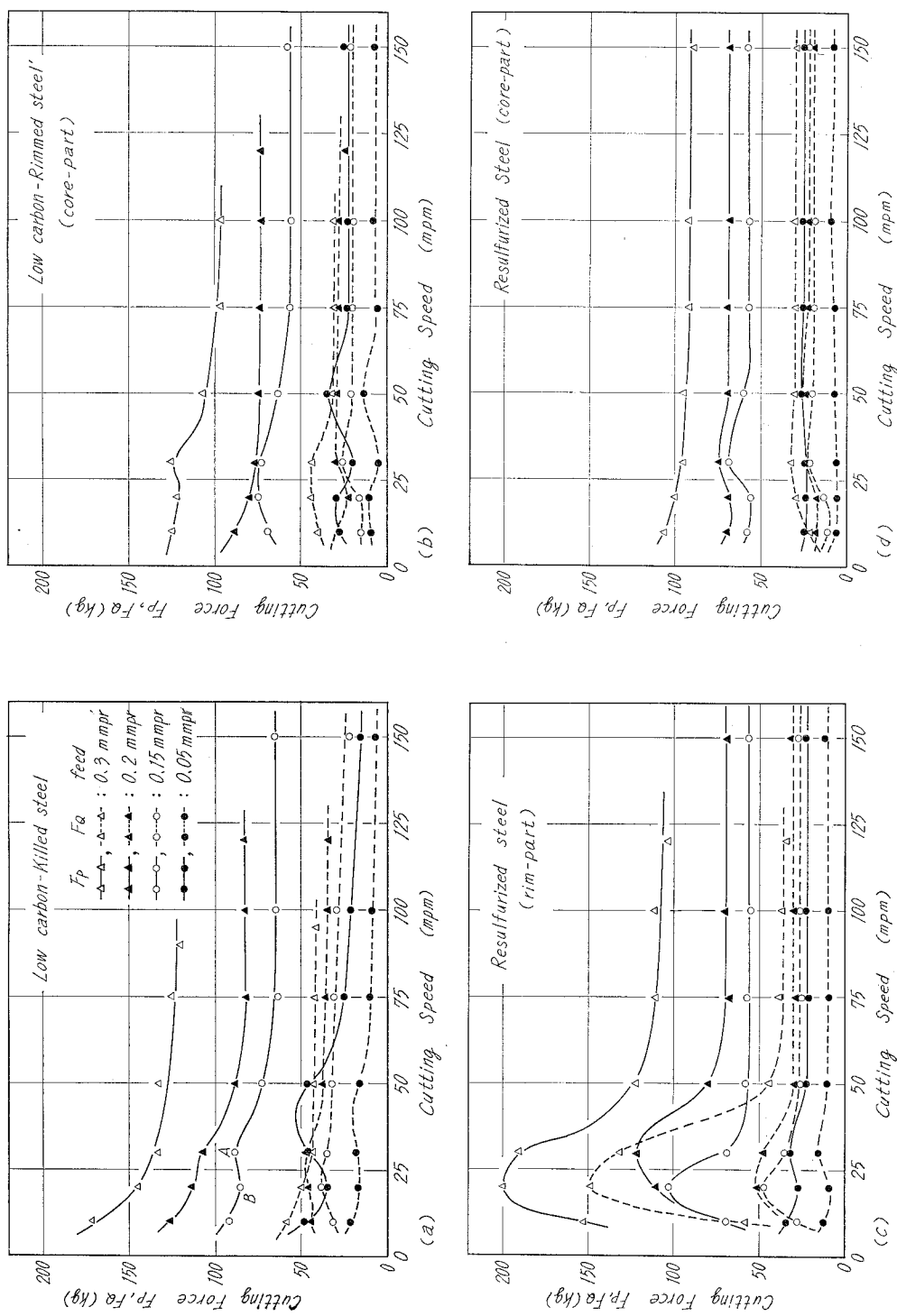


Fig. 4. Variation of cutting force (F_p & F_a) versus cutting speed. Cutting conditions: tool, SKH-4, (15, 0, 7, 5, 0, 0, 0.13); depth of cut, 2 mm; cutting fluid, dry.

のような酸化物を形成し、また鋼の強度を増大させ硬さも増す作用をするためである。硫黄快削鋼では化学成分などからも予想できるように、リム部とコア部で著しい切削抵抗の差異を呈している。軟質材であるにもかかわらず、リム部が切削抵抗の高いのは、前述のように Stick Slip 現象によるものであり、コア部における切削抵抗が総体的に低いこと、およびその極大値と極小値の差が縮まっているのは、鋼中の硫化マンガンによる脆化作用および小型安全な構成刃先の形成に原因していると思われる。

硫化マンガンなどの介在物相が鋼中に存在すると脆性が大きくなり、切削抵抗が減少する理由についてさらに考えてみる。金属の破断は内部に存在するミクロ的な割れが成長して自発伝搬する如き状態と考えられ、Griffith³⁾によれば楕円形の空孔のある板に一樣な引張応力が加わった場合、割れの自然伝搬をひき起こすに必要な応力 σ は(1)式で表わされる。

$$\sigma = \sqrt{\frac{ET}{2l}} \quad (1)$$

但し E : ヤング率, T : 割れの表面エネルギー, l : 楕円形の空孔の長径である。従って空孔の長径 l が大である程自然伝搬は起りやすく、脆性が大きいと言える。また転位発生に必要な熱エネルギーから考えると、加工硬化を無視して自然伝搬に必要な剪断応力 τ_s は(2)式で表わされる⁴⁾。

$$\tau_s = \frac{\tau_0 - \left(\frac{2GkT}{V} \log \frac{A}{\dot{\gamma}} \right)^{1/2}}{C} \quad (2)$$

但し τ_0 : $G/2\pi$, G : 剛性率, k : ボルツマン定数, T : 温度, V : 体積, A : 定数, $\dot{\gamma}$: ひずみ速度, C : 応力集中係数である。従って剪断面上に MnS などの介在物が存在すると応力集中をひき起し、割れの自然伝搬に必要な剪断応力 τ_s は減少する。ここで切削抵抗 R は、工具のすくい角を α , 摩擦角を β , 剪断角を ϕ , 切込み量を t , 送り量を b , 剪断面上の剪断応力を τ_s とすると(3)式で表わされる⁵⁾。

$$R = \frac{\tau_s b t_1}{\sin \phi \cdot \cos(\phi + \beta - \alpha)} \quad (3)$$

従って剪断面上における剪断応力 τ_s が減少すれば(3)式により切削抵抗 R も減少する。

[B] 切削油剤の影響

Fig. 5 にスピンドルオイル 60 # を使用して湿式切削した場合の切削抵抗と速度の関係を示した。これによると、曲線の一般的傾向は乾切削の場合と同様な傾向を示していることが明らかである。しかし 25 mpm 以下の低速度域での切削は乾式に比較し、いずれも切削抵抗が減少しており低送りほどより高速度域までこの傾向が続いている。これは低い切削速度および低送りほど工具と切屑の間に切削液の浸入は容易となり、スピンドルオイルの潤滑効果が働いて

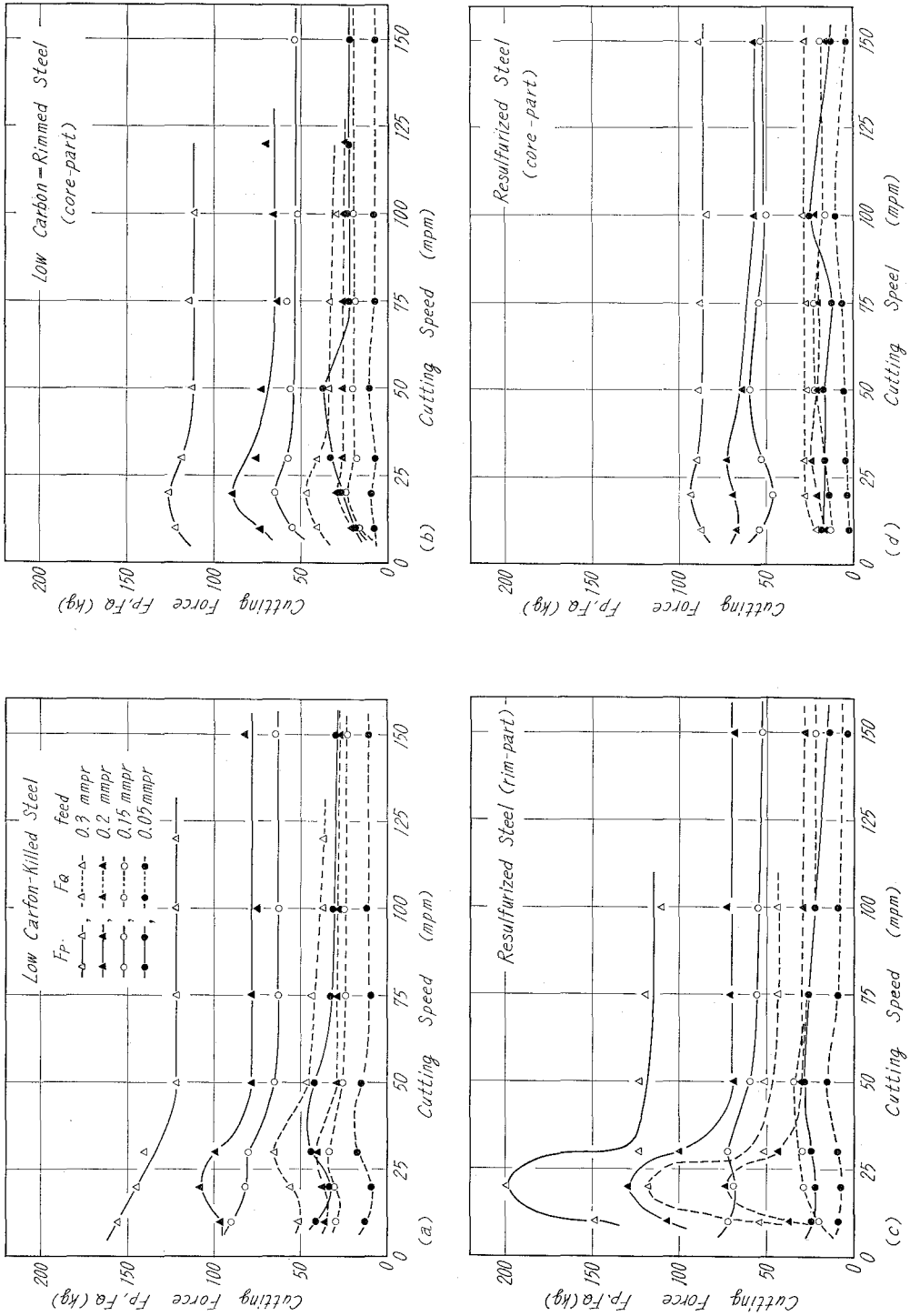


Fig. 5. Variation of cutting force versus cutting speed.
Cutting conditions: tool, SKH-4, (15, 0, 7, 5, 0, 0, 0.13); depth of cut, 2 mm; cutting fluid, spindle oil.

いるためと考えられる。一方高速切削および高送りの場合は切削液の浸入は困難となり、また例え浸入できても非常な高圧のために油膜を形成できず、潤滑効果は失われ乾切削と同等の切削抵抗を示すものと思われる。

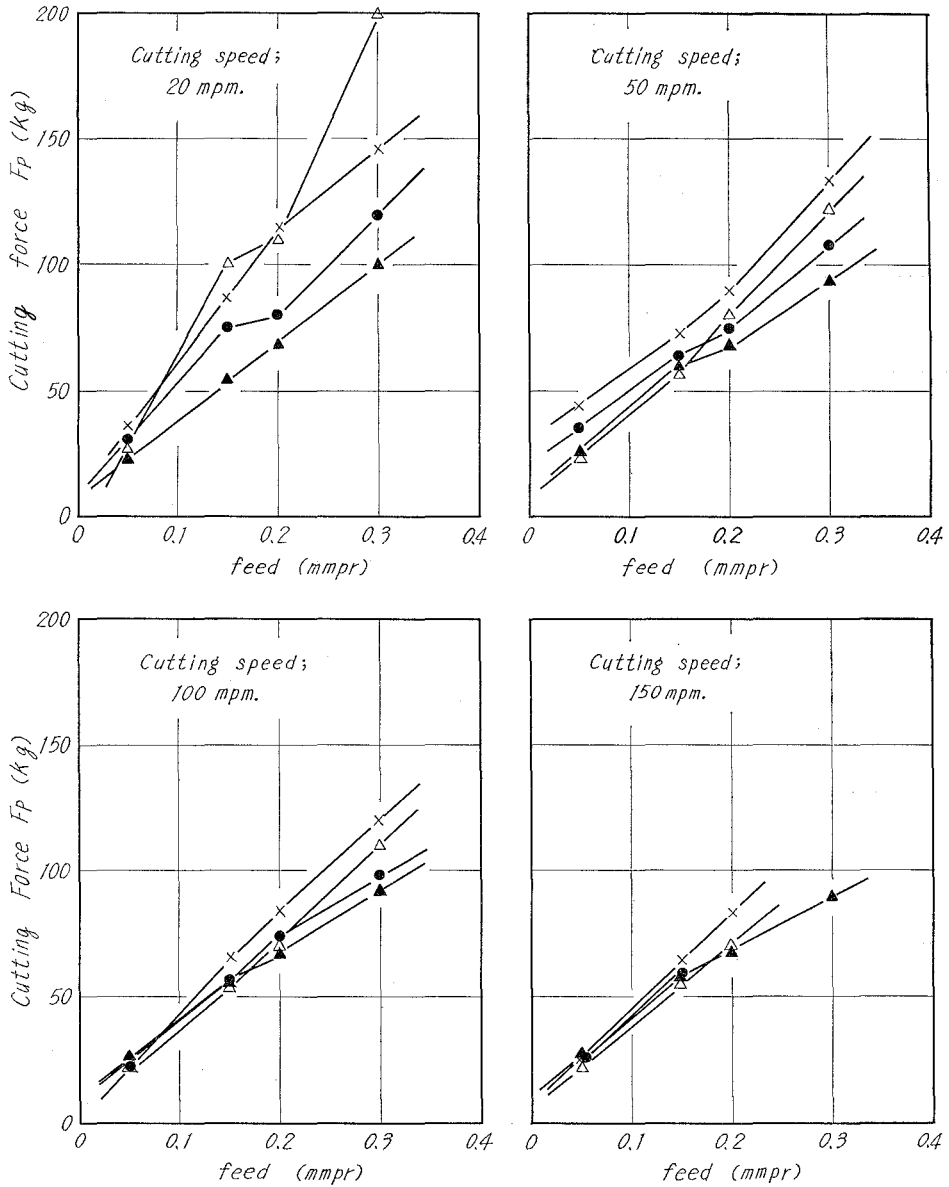


Fig. 6. Variation of cutting force (F_p) with cutting speed and feed.

Cutting conditions: tool, SKH-4 (15, 0.7, 5, 0, 0, 0.13); depth of cut, 2 mm; cutting fluid, dry; -x-x-x-: Killed steel, -Δ-Δ-: Resulfurized steel (core-part), -●-●-: Resulfurized steel (rim-part), -●-●-: Rimmed steel (core-part).

[C] 送りによる影響

Fig. 6 は, Fig. 4 の結果から得た切削抵抗 (主分力) と送り量との関係を示した。この関係が一定の関連性をもたないのは, 構成刃先あるいは Stick Slip 現象に原因している。図から, いずれの切削速度においても低炭素キルド鋼は送り量の変化に対する切削抵抗の増加が著しく, 硫黄快削鋼コア部は最も少ないことがわかる。また低炭素リムド鋼および硫黄快削鋼リム部は, これらの中間の値を取っている。この傾向は低切削速度ほど顕著である。

(2) 三次元切削における切削抵抗

通常の旋削作業は, 三次元切削で行なうのが一般的である。従って実際の作業条件に近似した方法で各鋼材を切削した結果について述べる。

[A] 切削速度による影響

三次元切削における切削抵抗と速度の関係を Fig. 7 に示した。図から切削抵抗はキルド鋼が最も高く, リムド鋼・硫黄快削鋼の順序で低くなっている。この結果は前述 (1) [A] のアナログ切削による結果と一致している。硫黄快削鋼リム部は三次元切削を行なわなかったが, ほぼ化学組成の等しい低炭素リムド鋼リム部の結果を示した。このリムド鋼リム部も硫黄快削鋼リム部のアナログ切削の結果と同様に, Stick Slip 現象を起し, 切削抵抗は軟質材であるにもかかわらず大となっている。

従って, 三次元切削においても切削抵抗から材料の被削性を考えると, 最も硫黄快削鋼が

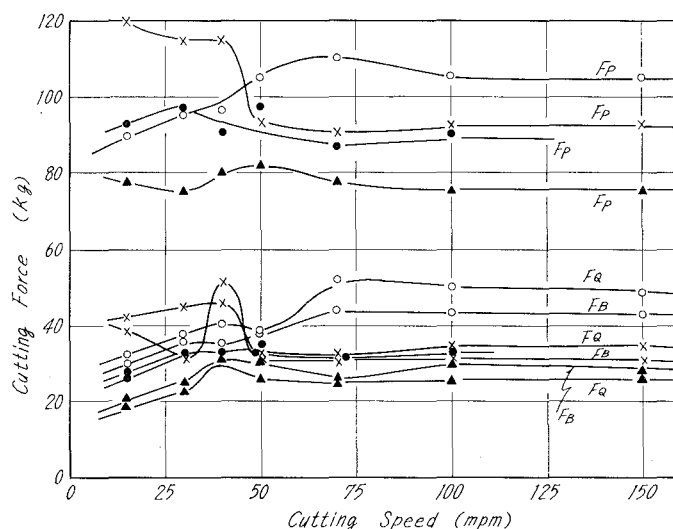


Fig. 7. Variation of cutting force versus cutting speed.

Cutting conditions: tool, SKH-4 (-5, 15, 5, 5, 30, 30, 0.8); feed, 0.25 mmpr; depth of cut, 2 mm; cutting fluid, spindle oil 60 #. -○-○-: Low carbon-Killed steel; -×-×-: Low carbon-Rimmed steel (Rim-part); -●-●-: Low carbon-Rimmed steel (core-part); -▲-▲-: Resulfurized steel (core-part).

秀れており、低速度域ではリムド鋼リムが最も悪く、高速切削ではキルド鋼が最も悪い材料であると言える。

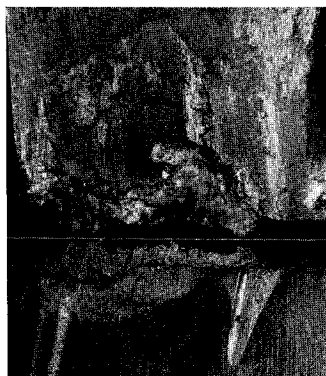
[B] 工具摩耗による切削抵抗および切屑形状の変化

工具が摩耗することにより切削抵抗が変化することは容易に想像される。**Table 4** は低炭素リムド鋼コア部および快削鋼コア部をそれぞれ長時間切削したときの切削抵抗を示した。これによると長時間切削した後の工具の切削抵抗は、切削初期の抵抗に比較し、主分力 (F_P) および送り分力 (F_Q) が減少し、背分力 (F_B) は多少増加していることがわかる。また **Photo. 3** に示したように工具の摩耗は、逃げ面では少なく、すくい面摩耗が顕著に進行している。このすくい面摩耗は切刃に沿って堤防を作って進むため、工具は一種の工具一切屑接触面積拘束工具となる。またこの切刃堤防部には小型安定な構成刃先ができやすく、このため剪断角は一層大となり、切削抵抗は減少するものと考えられる。

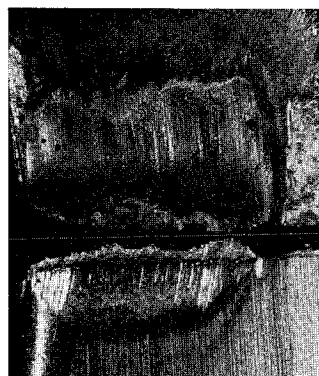
Photo. 4 には、同一条件で切削したときの切屑形状の変化を示した。両鋼種とも切削時間

Table 4. The variation of cutting force.

	Cutting Time	Cutting force kg (initial value)		
		F_P	F_Q	F_B
Low carbon-Rimmed Steel (core-part)	300 min	92.4 (96.0)	29.1 (39.2)	35.4 (35.1)
Resulfurized Steel (core-part)	340 min	75.4 (83.2)	25.0 (26.0)	35.3 (34.0)



Low carbon-Rimmed steel



Resulfurized steel (core-part)

Photo. 3. Photographs of flank and crater wears for H.S.S. tool cutting Rimmed steel and Resulfurized steels. Cutting conditions: tool; SKH-4, (-5, 15, 5, 5, 30, 30, 0.8); feed, 0.25 mmpr; depth of cut, 2 mm; cutting speed, 50 mpm; cutting fluid, spindle oil; cutting time, 300 min. for Rimmed steel; 340 min. for Resulfurized steel.

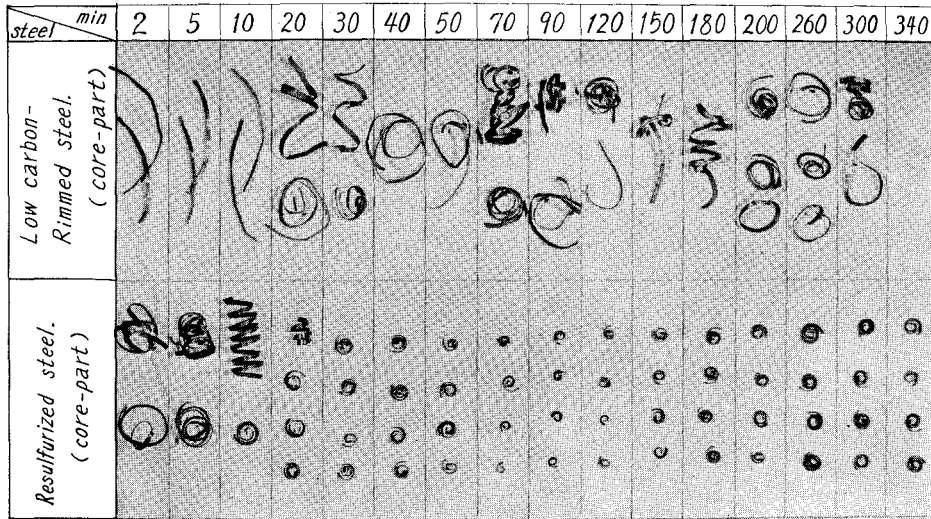


Photo 4. Relations between chips produced and cutting time.
Cutting conditions are the same as in Photo. 3.

の経過——すくい面摩耗の進行に伴ない切屑のカールは著しくなっている。従って、低炭素リムド鋼（コア部）のような延性材料においても、適当なチップブレーカを施すことによって切屑のカールを促進できるように思われる。また、硫黄快削鋼（コア部）は MnS の脆性効果のため切屑のカールは強くなり、かつ、細かに破断しており、切屑処理が特に問題となる自動盤等には適当な材料であると思われる。

2. 仕上面粗さからみた被削性

(1) 幾何学的計算による仕上面粗さ

仕上面粗さに影響をおよぼす因子は数多くあるが、幾何学的に単純に考えると、それは送り量と刃部形状である。従って、Fig. 8 のようにノーズ半径 R 、送り量 t としてノーズ半径が送り量に比べて大である場合、最大粗さ H_{max} は次のようになる。

$$H_{max} = OT - OU = \sqrt{R - R^2 - t^2/4} \cong t^2/8R \dots\dots\dots (1)$$

但し $t \leq 2R \sin \gamma$

また、ノーズ半径が送り量に比べて小である場合は、

$$H_{max} = R(1 - \cos \gamma + T \cos \gamma - \sin \gamma \sqrt{2T - T^2}) \dots\dots\dots (2)$$

但し $t \geq 2R \sin \gamma, T = t \sin \gamma / R$

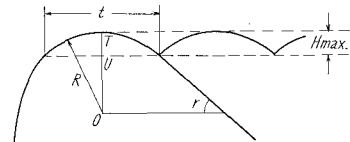


Fig. 8. Plan view of cutting tool showing the case to be considered in computing the theoretical peak-to-valley roughness (H_{max}).

ノーズ半径が 0 の場合は、

$$H_{n \max} = (t \tan \beta - \tan \gamma) / \tan \beta + \tan \gamma \dots (3)$$

但し β は横切刃角, γ は前切刃角である。

このように、理論的粗さの関係は算出されるが、実際には不確定因子が介在し、粗さは悪化しているのが普通である。**Fig. 9** は三次元切削した場合の最大粗さ (H_{\max}) と切削速度の関係を理論粗さ値とともに示したものである。図から明らかなように、低速度切削域では全く理論粗さと一致せず、僅かに高速領域でかなりの改善がみられる程度である。このように、仕上面粗さを乱す要因は一般に以下の二つの主要素により支配される。

- (i) 構成刃先による要素。
- (ii) 切屑工具間の有害な相対運動に基づく要素。

これらの要素のうち、切削速度、送り量および工具形状などの切削条件が同一であれば、鋼種の相違によって (i) の要素が特に影響を及ぼすと考えられる。従って、切削における幾何学的要素 (工具形状および送り量) を無視できる切削方式——アナログ切削を行うことによって、粗さを支配する原因は解明しやすくなると思われる。

(2) 仕上面粗さにおよぼす鋼材の影響

[A] アナログ切削による仕上面粗さ

Fig. 10 は、各鋼材をアナログ切削したときの仕上面粗さと送りの関係を各切削速度にし対して示したものである。また、**Fig. 11** は送り量 0.15 mmpr の場合の各鋼種についての仕上面粗さと切削速度の関係である。**Photo. 5** は Stopping Tool による切屑生成と構成刃先の状態を示した。これらの結果から、硫黄快削鋼コア部は低切削速度域で最も良好な仕上面を与えており、これは MnS の作用により小型安定な構成刃先の発生 (他鋼種ではこの速度域で巨大な構成刃先を生じている) ならびに **Fig. 2** に示したように、硫黄添加による材料の脆化作用などに原因していることは明らかである。硫黄快削鋼リム部は、**Table 2** に示したように、極軟鋼であり、アルミニウムや銅と同じように破断特性が悪く、切削際の変形域の増大をきたす⁶⁾。従って、すくい面切屑接触長さは大となり、せん断角は小さくなる (**Photo. 5** からも明らかである)。更に、切屑の工具への凝着力が大きく、前述のように Stick Slip のような現象を起す。従って、特に低切削速度・高送りでは最も悪い仕上面となっている。一方 50 mpm 以上の高切削速度域では硫黄快削鋼コア部以外の普通鋼の構成刃先が消失し始めても、硫黄快削鋼の構成刃先は依然として存在している。従って、構成刃先の消失により普通鋼の仕上面が向上したに

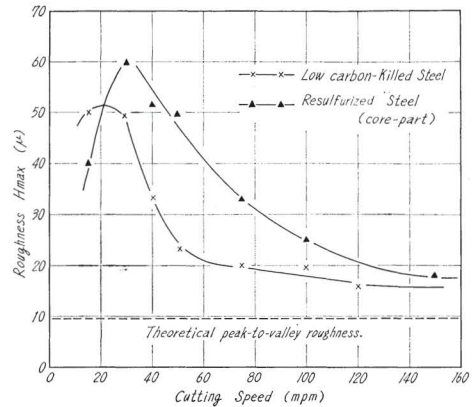


Fig. 9. Relation between practical and theoretical peak-to-valley roughness.

Cutting conditions: tool, SKH-4 (-5, 15, 5, 5, 30, 30, 0.8); feed, 0.25 mmpr; depth of cut, 2 mm; cutting fluid, spindle 60 #.

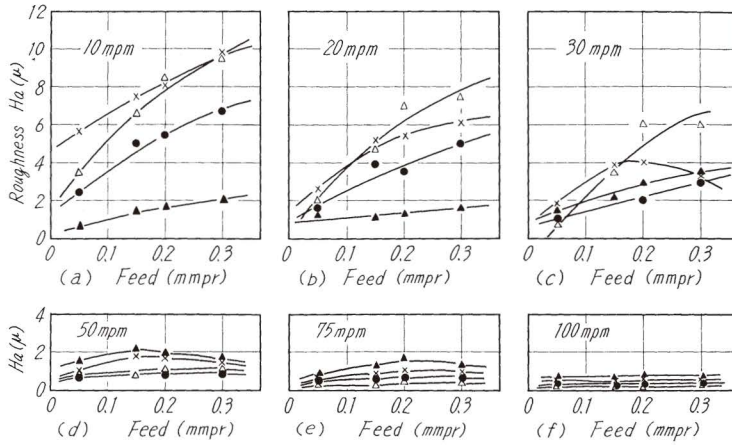


Fig. 10. Variation of surface roughness (H_a) with cutting speed and feed.

Cutting conditions: tool, SKH-4 (15, 0, 7, 5, 0, 0, 0, 13); depth of cut, 2 mm; cutting fluid, dry; -x-x-: Killed steel. -▲-▲-: Resulturized steel (core-part). -△-△-: Resulturized steel (rim-part). -●-●-: Rimmed steel (core-part).

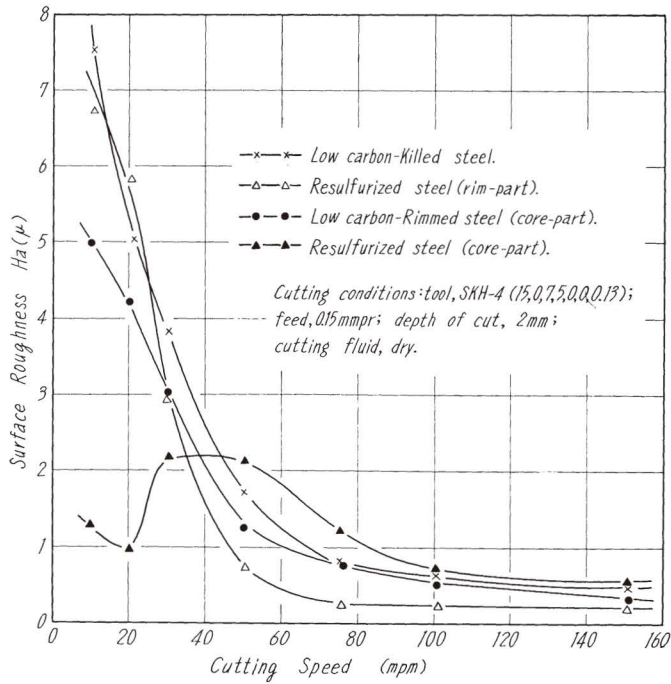


Fig. 11. Variation of arithmetic average roughness (H_a) versus cutting speed.

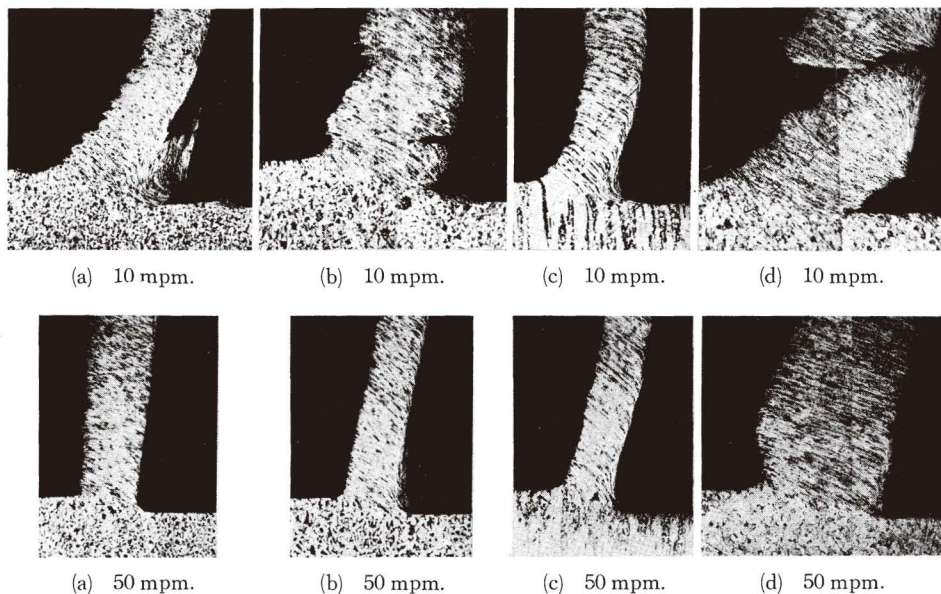


Photo. 5. Partially deformed chips and built up noses. Cutting conditions are the same as in Photo. 3.

(a): Low carbon-Killed steel, (b): Low carbon-Rimmed steel (core-part),
(c): Resulfurized steel (core-part), (d): Resulfurized steel (rim-part).

もかわらず快削鋼の仕上面は依然として悪い。

[B] 切削油剤による影響

適当な切削油剤を使用する場合には、冷却効果および潤滑効果により構成刃先の生成に著しい影響を与えることが知られている。即ち、冷却作用は切削熱による刃先温度の上昇を抑制し、構成刃先の生成をより高い切削速度側へ移行し得る。また、潤滑作用は工具すくい面への

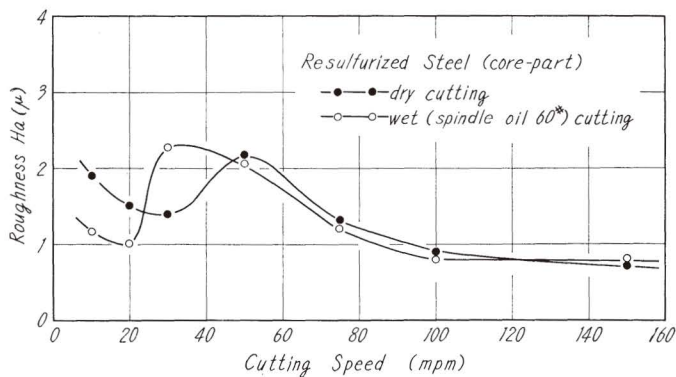


Fig. 12. Variations of surface roughness (H_a) with cutting speed.
Cutting conditions: tool, SKH-4 (15, 0, 7, 5, 0, 0, 0, 0.13); feed, 0.15 mmpr; depth of cut, 2 mm.

構成刃先の凝着力を弱める結果、構成刃先は発生しないかあるいは生成してもその大きさは乾切削の場合と比較して小さくなり、従って、仕上面粗さも改善されると思われる。

Fig. 12 は、硫黄快削鋼コア部における送り量 0.15 mmpr の場合の仕上面粗さと切削速度の関係を、乾・湿切削について比較したものである。図から明らかなように、粗さの極大値は乾式の場合の 30 mpm 切削速度から、スピンドルオイル使用の場合は 50 mpm に移行している。これは切削剤の冷却効果により、構成刃先生成速度域を高めた結果であると考えられる。さらに高速度域では、このスピンドルオイルの場合は乾式切削の値と一致している。スピンドルオイルは浸透性および極圧性に乏しいため、潤滑性は極めて弱いものと思われる。従って、この種の切削剤は低速切削・低送り切削のようなすくい面応力の小さい状態の場合には有効であると考えられる。

[C] 三次元切削の場合の仕上面粗さ

Fig. 13 は、三次元切削における中心線平均粗さ (H_a) と切削速度の関係である。低速度切削では硫黄快削鋼コア部が最も良好な仕上面を有し、低炭素キルド鋼が最も悪い結果となって

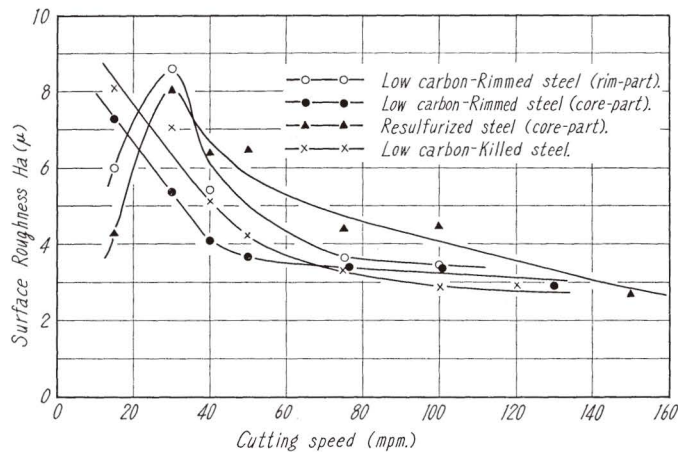


Fig. 13. Variation of arithmetic average roughness (H_a) versus cutting speed for conventional turning.

Cutting conditions: tool, SKH-4 (-5, 15, 5, 5, 30, 30, 0.8); feed, 0.25 mmpr; depth of cut, 2 mm; cutting fluid, spindole oil 60 #.

いる。一方、高速度切削域では、この傾向が全く逆となっている。さらに低炭素リムド鋼コア部およびリム部は前2者の中間位にある。これらの結果は、前述のアナログ切削における傾向と一致している。

IV. 結 言

以上低炭素キルド鋼・低炭素リムド鋼および硫黄快削鋼について、切削抵抗および仕上面粗さの観点から各鋼材の被削性を検討した結果つぎのことがわかった。

1. 硫黄快削鋼 (コア部) は、最も切削抵抗が小さく、切屑は細かに破砕され、処理の上からも秀れている。しかし、仕上面粗さは、低速度領域でのみ良好な結果を与えるが、高速度領域では最も悪い。これらは MnS の脆化作用および生成される構成刃先が小型安定ではあるが、高速切削域まで存続するためである。

2. 低炭素キルド鋼は、切削抵抗が大きく試験材中最も削り難い。しかし、仕上面粗さは高速切削域で急激に改善される。

3. 硫黄快削鋼および低炭素リムド鋼のリム部は、共に展延性に富むため切削におけるせん断領域が増大し、すくい面切屑接触長さの増大を伴なう。この結果、せん断角も小さくなる。特に低速切削域では Stick Slip 作用が著しく切削抵抗が高くなり、また仕上面粗さも悪い。

4. 低炭素リムド鋼コア部は、キルド鋼と硫黄快削鋼とのほぼ中間的性質をもつ。

終りに、本研究に使用した各種鋼材および工具などの提供、ならびに分析などの御便宜をいただいた富士製鉄株式会社室蘭製鉄所の方々に厚くお礼申し上げます。また、卒業研究として実験を担当された浅野孝君 (K.K. ホクサン勤務)、ならびに木村一郎君 (国鉄勤務) に感謝します。

(昭和 43 年 4 月 30 日受理)

文 献

- 1) M. C. Shaw and E. Usui et al.: Trans. ASME, **B** (1961), May, p. 181.
- 2) K. Nakayama and M. C. Shaw: Annals of the C.I.R.P., **14** (1966), p. 211.
- 3) A. A. Griffith: Phil. Trans. Roy. Soc., **A 221** (1921), p. 163.
- 4) E. Orowan: Zeit. Phys., **69** (1934), p. 605.
- 5) 中山: 機械学会誌, **64** (1961), p. 153.
- 6) 竹山: 精密機械, **23** (1957), p. 420.