



室蘭工業大学

学術資源アーカイブ

Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive



## 硫黄快削鋼の被削性に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2014-07-04 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	<a href="http://hdl.handle.net/10258/3465">http://hdl.handle.net/10258/3465</a>

# 硫黄快削鋼の被削性に関する研究

菊地千之・田中雄一

## Study on Machinability of Resulfurized Steel

Kazuyuki Kikuchi and Yuichi Tanaka

### Abstract

Tool-life and tool-wear characteristics for steel of tool with different sulfur content are presented for different values of cutting speed and feed. While the presence of manganese sulfide in steel is generally found to extend tool-life, a certain combination of cutting speed and feed yields the result that indicate the reverse effect. Additions of sulfur are found to promote the formation of a small built-up edge. And in the very slow speed region of cutting, a most improved finish is obtained with a resulfurized steel.

### I. 緒 言

大量生産方式の発達にともない機械構造用材料に対して高度な生産性が要求され、被削性に関してもその例外ではない。現在、各種快削鋼が製造され徐々に使用されつつあるが、鋼の溶解、造塊、圧延および調質などの各製造工程において、被削性に影響をおよぼす要因は非常に多いと考えられる<sup>1)</sup>。これら種々の鋼に対して総合的な被削性を検討するとともにその改善を計ることは、今後の切削加工技術の進歩と大量生産方式の発展に伴って厳しくなる被削性の要求に対して重要な問題である。

これまでに快削鋼についての研究報告が非常に多数発表され実用化も進んでいる現状であるが<sup>2),3)</sup>、その多くは基礎的傾向が強く実際作業面と必ずしも一致しないと考えられる。

従って本研究においては、実際作業の観点にたち2種類の硫黄快削鋼の被削性を機械構造用炭素鋼のそれと比較しつつ検討した。なお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あらさなどの観点から論ぜられるが、本報告では現場作業において特に問題となる工具寿命(工具摩耗)および仕上面あらさからみた被削性について主として論ずる。

### II. 実験方法

#### 1. 実験装置

##### (a) 旋 盤

本研究に使用した旋盤は大隈鉄工所製 LS 型実用高速旋盤であり、その主要寸法を **Table**

1に示した。なお主軸回転数は、コップ無段変速機により8~2,424 rpmの範囲内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 bad	: 400 mm
Max. swing over saddle	: 250 mm
Max. distance between centers	: 1,250 mm
Spindole speeds	: 35~1,800 rpm

### (b) 仕上面あらさ測定装置

仕上面あらさは、検出器（触針の先端：ダイヤモンド製5 $\mu\phi$ ）、駆動装置、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あらさ計を使用した。これにより切削仕上面の中心線平均あらさ計 ( $H_a$ ) を測定した。

2. 被 削 材

被削材は Table 2 に示した化学成分および機械的性質の硫黄快削鋼（2種類）および一般構造用炭素鋼である。これらはいずれも市販材であり、硫黄快削鋼 1213 は MnS で、1117 鋼および S 15 C は FeSi および Al で脱酸調整した熱間圧延材である。いずれも圧延後の熱処理は行っていない。被削材硬度は3鋼種ともそれぞれ  $H_{RB}$  63~64 の範囲内にあるゆえ、硫黄の効果からみた被削性について検討すればよいことになる。

Table 2. Chemical compositions and mechanical properties of specimens used.

Steel	Chemical compositions (% by weight)					Mechanical properties				Hardness (HRB)
	C	Si	Mn	P	S	Elastic limit (kg/mm <sup>2</sup> )	Ultimate tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction in area (%)	
1213	0.12	0.006	0.95	0.107	0.298	24	42	35	37	64
1117	0.17	0.19	1.12	0.012	0.128	19	41	36	61	63
S 15 C	0.15	0.26	0.46	0.025	0.010	22	44	45	63	63

### 3. 工 具

3次元切削の場合は超硬工具で多用されている3面使用可能なチップと同様なスローアウェイ型3角チップ [-5, 15, 5, 5, 60, 30, 0.8] を使用し、2次元切削では従来から用いられている完成バイト (16×16 mm<sup>2</sup>) [0, 15, 7, 7, 15, 0, 0.5] を使用した。これらはいずれも日本高周波製の高速鋼工具 SKH-4 を使用した。また工具寿命試験では特にすべて同一ロットの工具を用い、工具の不揃いによる寿命変動をさけた。

### 4. 切 削 条 件

切削条件は、できるだけ実際作業に近い条件とするため Table 3 に示したように3次元長手切削を行なった。切削速度が実際作業条件より高い範囲になっているが、これは材料と試験時間の関係から止むを得なかった。また比較のため同表に示した準2次元長手乾切削を行なっ

て検討した。3次元切削は、切削油剤としてスピンドル油 60 # を使用した。なお油量は 2,240 ml/min とした。

Table 3. Cutting conditions

	Conventional cutting	Orthogonal cutting
Feed	0.25 mmpr	0.075, 0.15 and 0.3 mmpr
Depth of cut	2 mm	1.5 mm
Cutting speed	46~113 mpm	70~200 mpm
Cutting fluid	Spindole oil 60	Dry

III. 実験結果およびその考察

1. 工具寿命特性

Fig. 1 は 3 次元切削 (切削油剤: スピンドル油) の場合の工具寿命曲線を示し、Fig. 2 は 準 2 次元 (乾切削) による工具寿命曲線を 0.3, 0.15, および 0.075 mmpr の 3 種の送りに対して示したものである。但し Fig. 1 中の矢印は未だ寿命に達していないことを示す。これらの結果より快削鋼 1117 および 1213 は、工具寿命を改善することが明らかである。しかし 3 次元切削および 2 次元切削の低送り (0.075 および 0.15 mmpr) の工具寿命曲線は、低切削速度側で Taylor の工具寿命方程式  $VT^n=C$  (但し、 $V$ : 切削速度,  $T$ : 工具寿命,  $n$  および  $C$ : 定数) から著しいずれがみられ、寿命が短くなっている。特に快削鋼 1213 のずれは高切削速度から生じ、普通鋼に比較し低切削速度域においては短寿命の傾向を示している。一方快削鋼 1117 のそのずれは比較的少なく、低切削速度側では最も工具寿命が良好である。また Fig. 3 は 60 分寿命を示す切削速度と送りの関係であるが、低送り程快削鋼の寿命は改善されることを示して

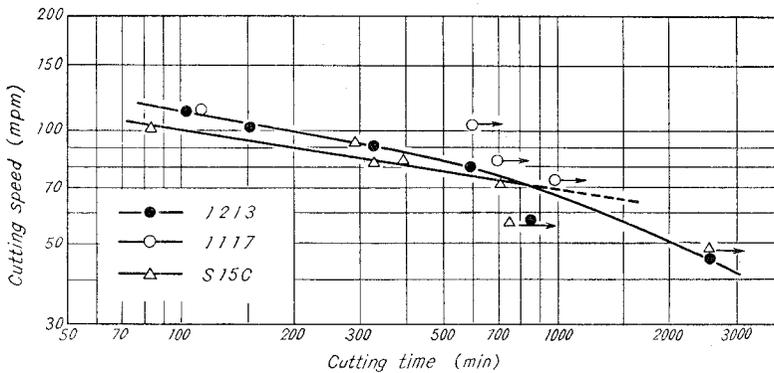
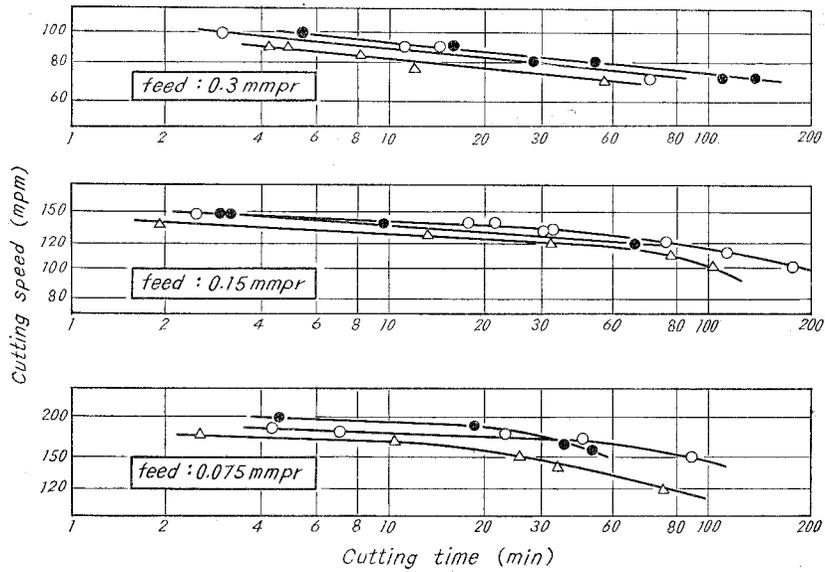
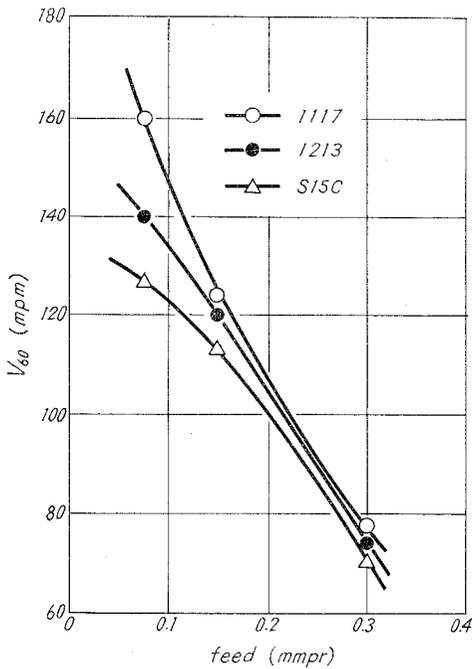


Fig. 1. Tool-life curve for steels of different sulfur content. Cutting condition: Tool, SKH-4 H.S.S. (-5, 15, 5, 5, 60, 30, 0.8); Depth of cut, 2 mm; Feed, 0.25 mmpr.; Cutting fluid, spindole oil 60.



**Fig. 2.** Tool-life curve for steels of different sulfur content. Cutting conditions: Material cut, —●— 1213 steel, —○— 1117 steel, —△— S15C steel; Tool, SKH-4 H.S.S. (0, 15, 7, 7, 15, 0, 0.5); Depth of cut, 1.5 mm; Feed, var.; Cutting fluid, dry.



**Fig. 3.** Relation between cutting speed for 60 min tool-life ( $V_{60}$ ) and feed. Cutting conditions are the same as in Fig. 2.

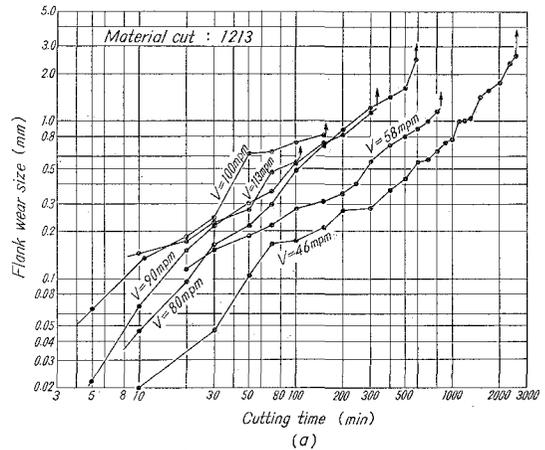
いる。

これらの工具寿命の相違は、工具摩耗に起因する工具の損傷状態が基本的要因となっていると考えられる。それゆえ工具摩耗の観点から諸現象の考察を行なった。

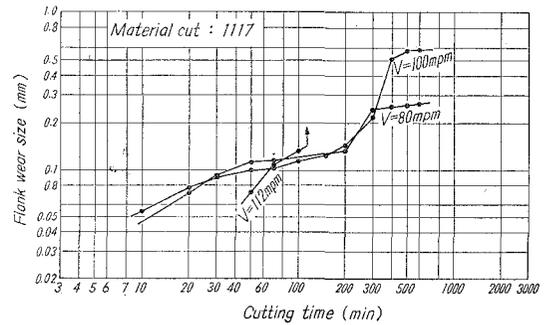
**Fig. 4** は3次元切削の場合の逃げ面摩耗(最大摩耗幅)経過を各鋼種について示したものである。図中の矢印は、その時間で工具寿命に達したことを示している。同図より明らかなように、逃げ面摩耗は切削時間の経過とともにほぼ直線的に増大しており、その傾きは硫黄快削鋼 1213 切削の場合最も大きく、1117 鋼の切削では最も小さくなっている。またいずれの鋼種においても工具寿命に近づくとき、曲線の傾きは急激になり摩耗が加速的に進行している。これは一般によく知られているように高速度工具の熱間強度<sup>4)</sup>の弱さに原因している。即ち逃げ面摩耗幅の増大とともに切削温度の上昇を招き、その軟化温度付近に達すると急激に高温硬度が減少するためである。図の(a): S 15 C 切削と(b): 1213 切削の場合を比較すると快削鋼 1213 はかなり摩耗幅が大きいところまで切削可能であるが普通鋼 S 15 C では小さい値で工具の破壊が生じている。

後述するすくい面の観察から、切くずー工具接触長さ(OA)の関係は **Fig. 5** に示したようになり硫黄快削鋼切削の場合せん断角 $\phi$ は大となっている。さらにせん断面における平均せん断応力 $\tau_s$ は次式によって

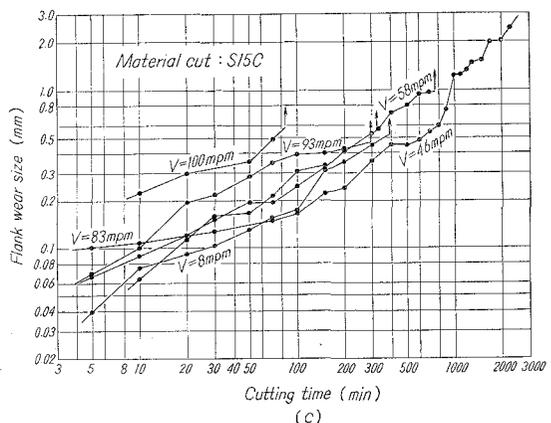
決まる。



(a)



(b)



(c)

**Fig. 4.** Variation of flank wear size with cutting time for steels of different sulfur content. Cutting conditions are the same as in Fig. 1.

$$\tau_s = \frac{\sin \phi}{bt} (F_P \cos \phi - F_Q \sin \phi) \quad (1)$$

この  $\tau_s$  は切削抵抗試験結果から硫黄快削鋼の場合明らかに普通鋼のそれより減少することが認められている。またせん断面せん断エネルギー ( $U_s$ ) は次式で求められるので、快削鋼におけるせん断面せん断エネルギーは普通鋼のそれより小となる。

$$U_s = \frac{\tau_s}{\sin \phi} \frac{\cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2)$$

このことはせん断面せん断仕事による発熱、

すなわち切削温度を快削鋼切削の場合低くすることを意味する。したがって上述の如き工具破壊時における逃げ面摩擦量の差異を生じたものと考えられる。

Fig. 6 は Fig. 4 より求めた各鋼種に対する逃げ面摩擦幅の比較である。これより快削鋼 1213 の初期摩擦幅は普通鋼 S 15 C に比較し小さいにもかかわらず、長時間の切削では逆に大きくなる傾向がみられる。また硫黄含有量の少ない快削鋼 1117 の切削では初期摩擦も少なく、その摩擦進行が緩やかなのがわかる。

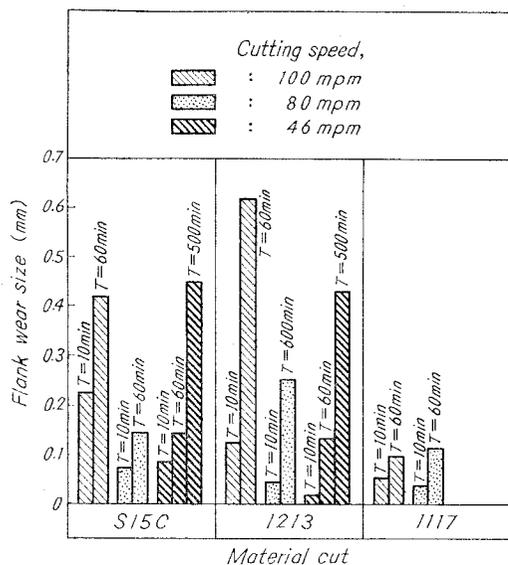


Fig. 6. Relation between flank wear size (cutting time,  $T = \text{const.}$ ) and material cut. Cutting conditions are the same as in Fig. 4.

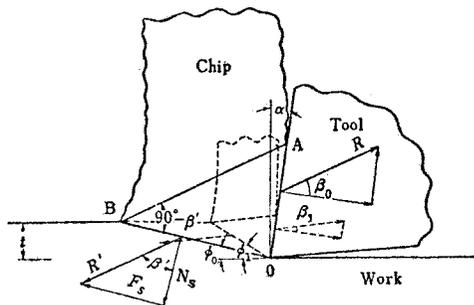


Fig. 5. Comparison of chip formation and cutting force diagram for free-machining and ordinary steels.

—: ordinary steel  
 ...: free-machining steel.

$$OA = \frac{t \cdot \cos \beta'}{\sin(\phi + \beta' - \alpha) \sin \phi}$$

Fig. 7 は準 2 次元乾切削の場合の各送りに対する逃げ面摩擦経過であるが、ほぼ 3 次元切削の場合と同様の傾向を示している。しかし低送りの  $f = 0.075 \text{ mmpr}$  の場合は他と異なり快削鋼 1213 の摩擦経過は 1117 鋼のそれに似ている。これは切削速度が 160 mpm であり他と比較し高く、この切削速度では構成刃先の発生は 1213 鋼においても認められず、したがってこの脱落片による逃げ面摩擦が生じないことに原因していると考えられる。

Fig. 8 は 3 次元切削における工具すくい面摩擦状態を示したものである。同図より硫黄含有量の多い 1213 鋼および 1117 鋼のすくい面摩擦痕の幅は狭く、最深部の位置が刃先に接近して生ずるのが明白である。また各鋼

種に対するすくい面摩耗痕最大深さと切削時間の変化は Fig. 9 のようになり、ある摩耗深さに達すると急激に摩耗が進行し工具寿命に至る傾向を示している。普通鋼 S 15 C 切削の場合には、最大深さ 0.3~0.4 mm に達したとき工具が破壊し切削不能となる傾向がみられるが、快削鋼 1213 では低切削速度に於いて従い摩耗痕深さが深くなる。また 1117 鋼の摩耗進行は著しく遅く、逃げ面摩耗と同様すくい面摩耗に関しても良好な鋼種であると考えられる。これは切屑の排出状態に基因している。

これらの摩耗形状の相違は摩擦熱源の刃先集中度の差異によるものであり、本研究で使用した高速度鋼工具のような熱敏度の高い種類の工具では特にその効果に著しく影響される。硫黄快削鋼切削の場合は工具一切屑接触長さが図でみられるように縮小されるので、その熱集中度が大となり切刃の強度は低下する。さらにすくい面摩耗痕の発達とともに

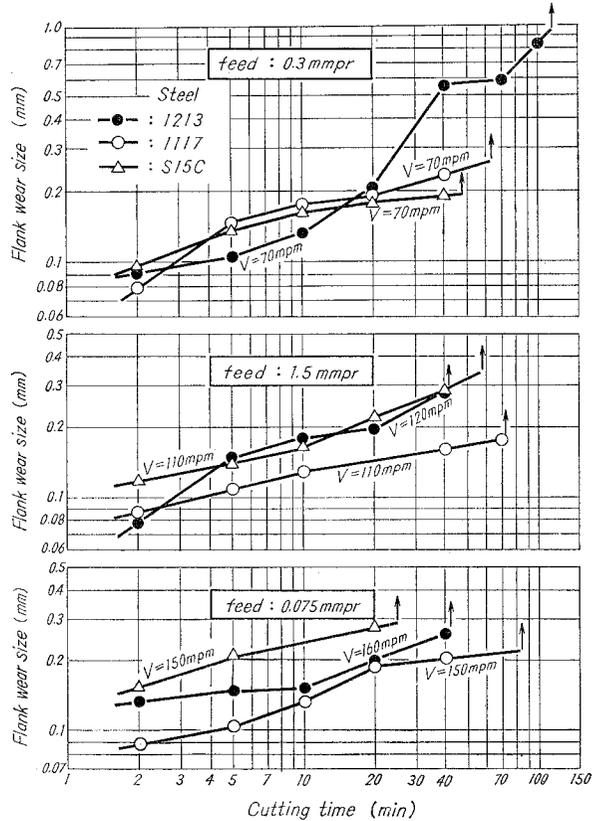


Fig. 7. Variation of wear land with cutting time for steels of different sulfur content. Cutting conditions are the same as in Fig. 2.

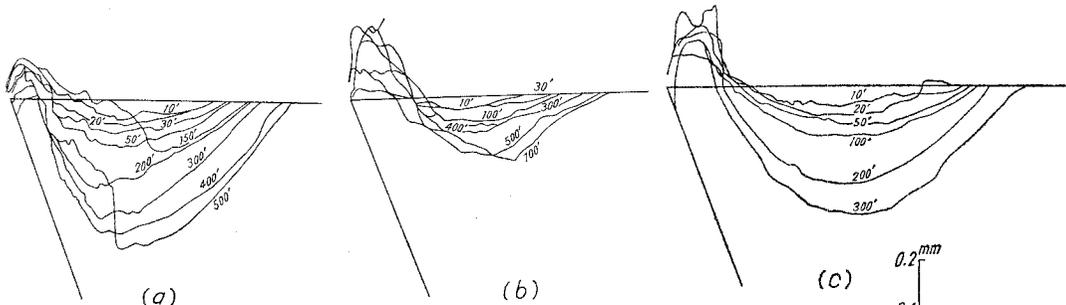


Fig. 8. Representative crater traces for tools used Fig. 1  
 (a) Cutting 1213 steel at 80 mpm., (b) Cutting steel at 80 mpm.,  
 (c) Cutting S 15 C steel at 80 mpm.,  
 The numbers show the cutting time (min).

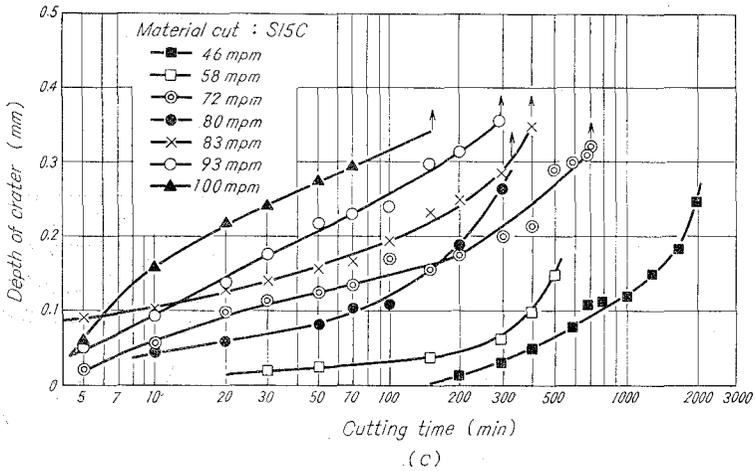
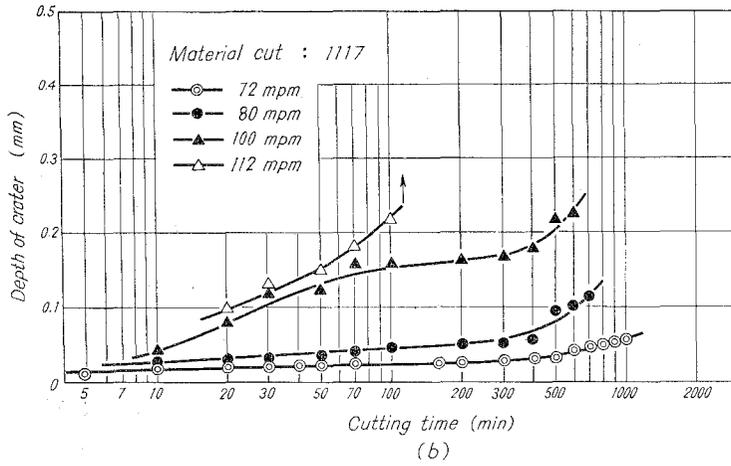
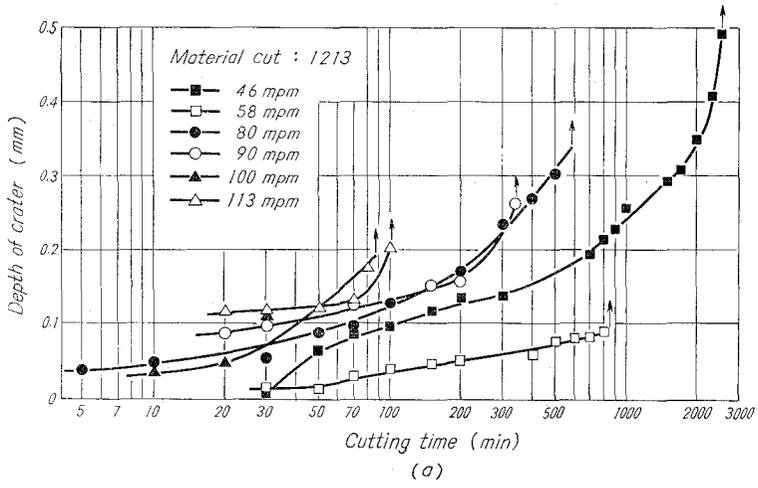
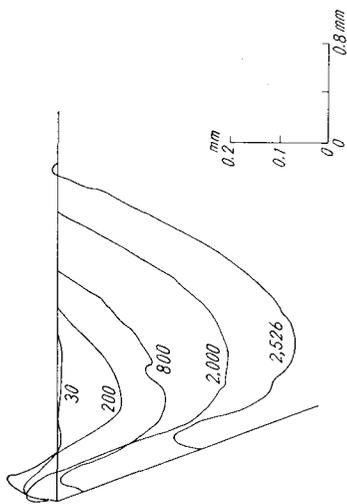
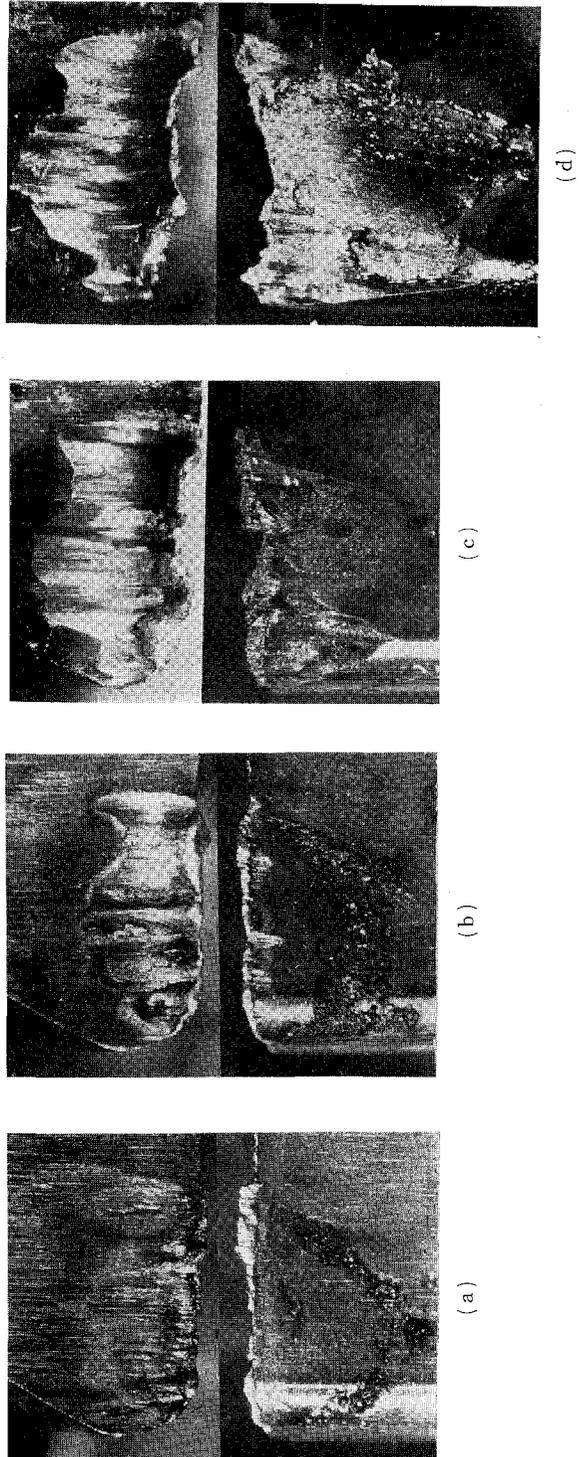


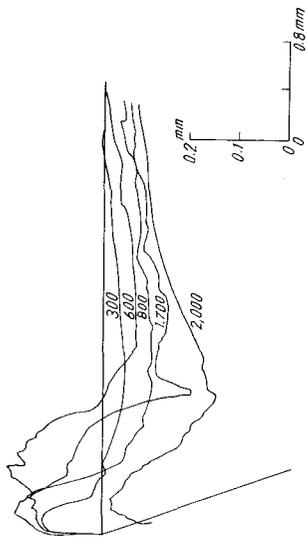
Fig. 9. Variation of depth of crater with cutting time for steels of different sulfur content. Cutting conditions are the same as in Fig. 1.



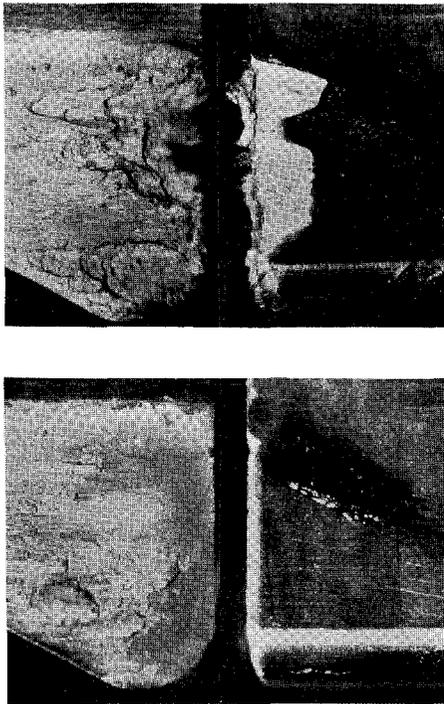
Crater traces of tools.  
The numbers show the cutting time (min).

**Photo. 1.** Photographs of flank and crater wears for tool cutting sulfurized steels (1213). And its crater traces. Cutting conditions are the same as in Fig. 1, except cutting speed is 46 mpm. Cutting time: (a) 30 min, (b) 200 min, (c) 1,700 min, (d) 2,500 min.

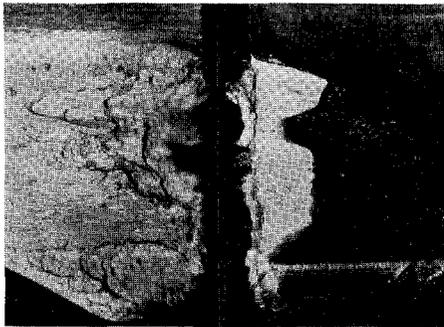




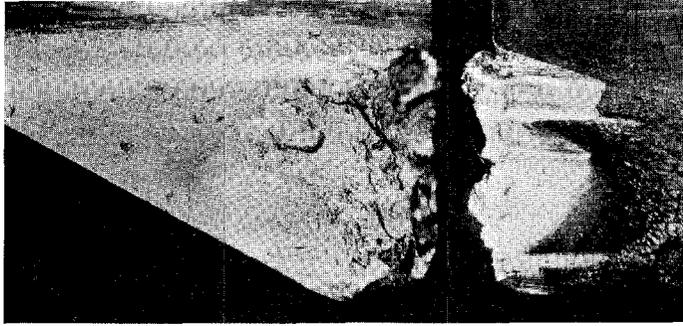
Crater traces of tools.  
The numbers show the cutting time (min).



(a)



(b)



(c)



(d)

**Photo. 2.** Photographs of flank and crater wears for tool cutting plain carbon steels (S15C). And its crater traces. Cutting conditions are the same as in Fig. 1. except cutting speed is 46 mpm. Cutting time : (a) 30 min (b) 200 min (c) 800 min (d) 2,000 min.

工具切刃堤防幅の縮小を招き、その機械的強度もまた低下し結局摩耗痕の形状を考えた場合、硫黄快削鋼の場合は不利益となる。したがって、前述した逃げ面の初期摩耗が小さいにもかかわらず摩耗進行速度が大きい現象も上述の摩耗痕形状の相違から説明できると考えられる。

Photo. 1 および Photo. 2 は快削鋼 1213 および普通鋼 S 15 C をそれぞれ切削速度 46 mpm で 3 次元切削したときの工具摩耗状態およびそのときのすくい面摩耗痕のトレースを示したものである。切削初期 (切削時間 30 分) の写真 (a) を比較してみると 1213 鋼切削の場合、逃げ面摩耗の発達は少ないが、S 15 C では多少発達している。切削時間の経過とともに、すくい面摩耗が両鋼種とも進行していくが、1213 鋼では摩耗痕最深部が切刃に接近して生ずるため切刃堤防幅の急激な縮小を生じ、強度の低下および熱集中を受けやすい工具形状となってゆきチップングを 200 分切削 (b) で生じている。S 15 C の場合は境界摩耗の発達およびノーズ部 (前切刃側の摩耗が著しくなってくる。Photo. 1 (c) は切削時間 1,700 分の状態であるが、先にチップ

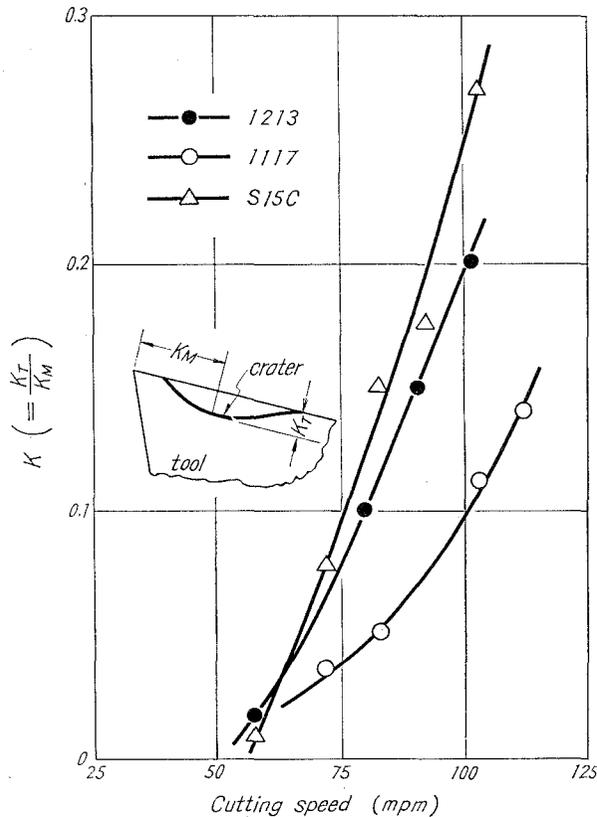


Fig. 10. Relation between  $K (= K_T/K_M)$  and cutting speed. Cutting conditions: Tool, SKH-4 H.S.S. (-5, 15, 5, 5, 60, 30, 0.8); Depth of cut, 2.0 mm; Feed, 0.25 mmpr; Cutting fluid, spindol oil 60; Cutting time, 50min.

グを生じた部分から摩耗は徐々に拡大してゆき (d) で完全に工具は切削不能となる。このチップニングの原因は硫黄快削鋼中に含有している快削添加物 MnS の硬い粒子によると考えられる。一方 S15C の場合はノーズ部が著しく摩耗し工具形状は変化してしまう。しかしすくい面摩耗痕トレースで見る如く切刃堤防は未だ健全のようで境界摩耗が非常に大きいにもかかわらず (d) の切削時間 3,000 分においても切削可能である。このように工具寿命におよぼす工具摩耗の影響は、すくい面摩耗状態に大きく原因していると考えられる。Fig. 10 は切削時間 50 分のときの切削速度とクレータ比  $K(=K_T/K_M)$  の関係であり、Fig. 1 に示した工具寿命曲線と相関関係がみられる。従ってクレータ比の大小により工具寿命のある程度の判断は可能であると考えられる。

## 2. 仕上面粗さ

Fig. 11 は、切削初期の仕上面あらさ (長手方向) と切削速度の関係を示したものである。低切削速度では添加硫黄含有量の最も多い 1213 鋼が良好で、普通鋼が最も悪い仕上面となる。また高切削速度域ではこの関係は逆となり普通鋼が良好な仕上面を示すようになる。これらは一般に報告されている<sup>5)</sup> 如く硫黄添加による構成刃先の成長度合あるいは消失と切削速度の関係に基因しているものと考えられる。即ち仕上面あらさ経過の最大値を示す切削速度は S15C で 20 mpm, 1117 で 30 mpm および 1213 で 50 mpm であり硫黄含有量の多い材料ほど高速まで構成刃先は消失しないことを示している。従って仕上面あらさからみたとき快削鋼は低切削速度で使用するにより、その真価を発揮するといえる。

Fig. 12 は、切削時間に対する仕上面あらさの変化を示したものである。ここで仕上面あらさは各鋼種とも切削時間の経過に伴い徐々にあらくなっていくが、工具寿命直前で一旦良好となり再び急激に悪化し工具寿命に到る傾向を示している。これは Fig. 13 に示した切削模型

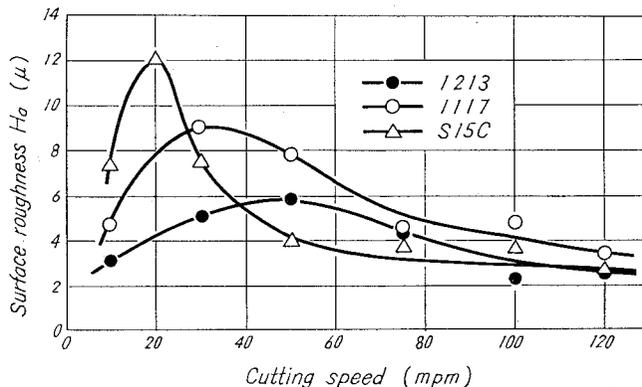


Fig. 11. Variation of arithmetic average surface roughness ( $H_a$ ) with cutting speed. Cutting conditions: Tool, SKH-4 H.S.S. (-5, 15, 5, 5, 60, 30, 0.8); Depth of cut, 2.0 mm; Feed, 0.25 mmpr.; Cutting fluid, spindol oil 60;

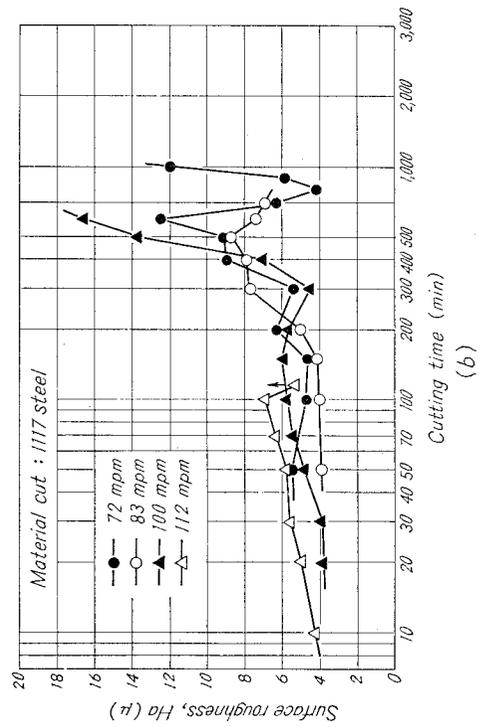
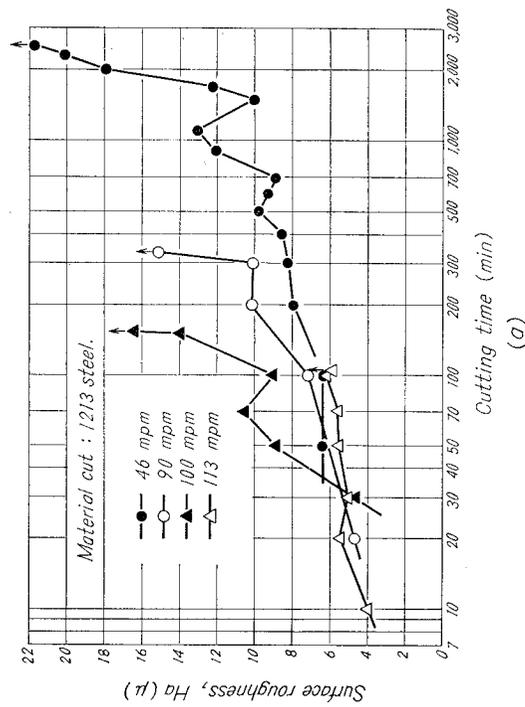
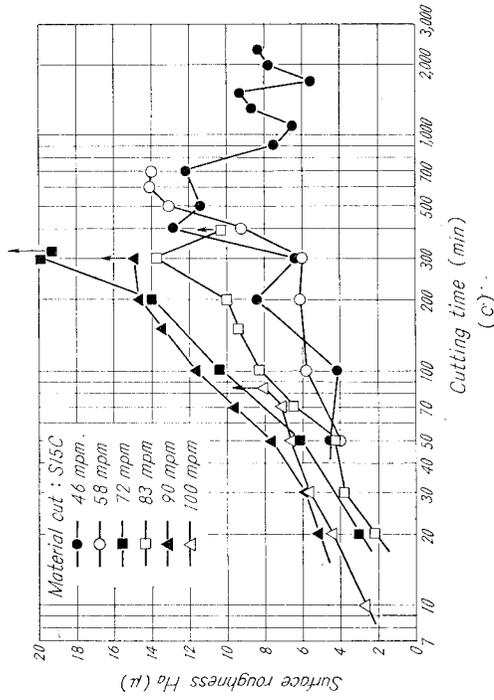


Fig. 12. Variation of arithmetic average surface roughness ( $H_a$ ) with cutting time. Cutting conditions are the same as in Fig. 1.

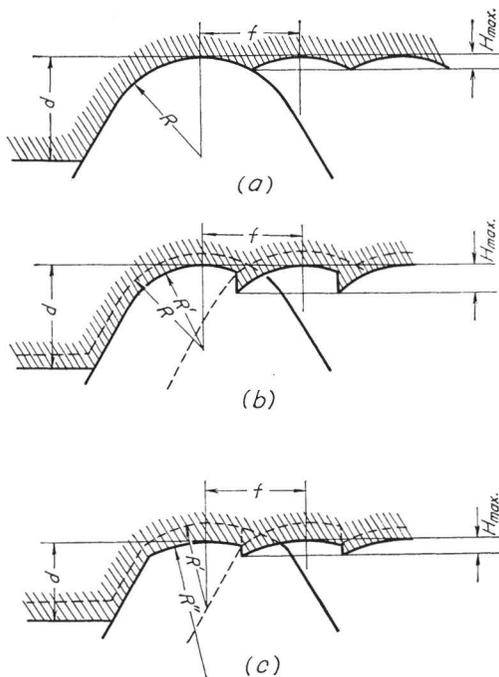


Fig. 13. Schematic diagram of tool-wear and surface roughness.

図から容易に説明できる。即ち図中 (a) は工具が未だ摩耗していない状態であり、ノーズ半径と送り量の関係であらさは一律に決まる。切削時間の経過に伴い工具は (b) のように前切刃稜が損傷してくるので仕上面あらさは悪化することになる。本研究の如き熱敏度の高いしかも切刃角が 60 度という鋭角の高速鋼工具の場合は特に熱集中を受けやすくこの現象が顕著に表われるものと考えられる。(c) は工具寿命直前で一旦仕上面あらさが良くなる部分の模型図であるが、この場合 Photo. 1 に示した如くノーズ部が、異常に摩耗し有効半径を増大するため仕上面は改善される。さらに切削を続けると逃げ面摩耗が急激に発達し、それともない仕上面はあらかなり工具の完全破壊に到る。実際の切削では、構成刃先の生成・脱落・工具のチップングなど仕上面あらさにおよぼす因子は非常に多いと思われる。

#### IV. 結 言

以上硫黄快削鋼 1213, 1117 および機械構造用低炭素鋼 S 15 C を高速鋼工具を用いて旋削し工具寿命および仕上面あらさの観点から被削性を検討しつぎの結果を得た。

(1) 工具寿命の点からみると、比較的高切削速度域においては硫黄快削鋼 1117 および 1213 が良好であり、普通鋼 S 15 C の場合はかなり短寿命となる。しかし低切削速度域における 1213 鋼の工具寿命は S 15 C のそれより悪くなる。特に 3 次元切削の場合はこの傾向が顕著に現われる。

(2) 硫黄快削鋼 1213 の逃げ面摩耗は普通鋼 S 15 C に比較し切削初期において少ないが長時間の切削では逆に著しく増大する。これはすくい面摩耗痕が 1213 鋼の場合により切刃に接近して生ずる結果、工具切刃部への熱集中を受けるためである。一方 1117 鋼では全般的に著しく摩耗量が少ない。これは切くずの排出状態が良好なためである。

(3) クレータ比 ( $K=K_T/K_M$ ) の比較によって工具寿命の判定がある程度可能である。

(4) 低切削速度域で 1213 鋼が、高切削速度域では S 15 C がもっとも良好な切削仕上面を得ることができる。また切削仕上面は切削時間の経過にともない、いずれの鋼種においても徐々にあらくなっていくが工具寿命点直前で一担良好な仕上面となる。これは工具の摩耗状態から容易に説明できる。

終りに、本研究で使用した各種鋼材および工具などの提供ならびに材料の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作所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池田義明・美馬裕・斎藤啓司・倉本靖三の諸君に感謝の意を表します。

(昭和 44 年 4 月 30 日受理)

#### 文 献

- 1) Lawrence H. Van Vlack: Trans. A.S.M., **45** (1953), 741.
- 2) M. C. Shaw, N. H. Cook, P. A. Smith: Trans. ASME (1961), 163.
- 3) 山本俊二・藤田 達・山口喜弘: 神戸製鋼技報, **17**, 3 (1967), 185.
- 4) P. Payson: The Metallurgy of tool steels, Crucible Steel Company of America (1962).
- 5) 白井英二: 機械試験所報告, **43** (1961).