室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

カルシウム脱酸鋼の被削性に関する研究

メタデータ	言語: Japanese
	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	http://hdl.handle.net/10258/3466

カルシウム脱酸鋼の被削性に関する研究*

菊地千之・田中雄一

Study on Machinability of Calcium-Silicon Deoxidized Steel

Kazuyuki Kikuchi and Yuichi Tanaka

Abstract

This paper comprises a study of each machinability for calcium-silicon deoxidized, normal carbon (ferro-silicon and aluminium deoxidized), and slfurized steels have been carried out.

The following conclusions are obtained: When machining calcium-silicon deoxidized or sulfurized (calcium-silicon deoxidized) steel by using carbide tools, the oxides and sulfides form films on the tool-surface. It is considered that the film is effective for protection of tool wear. By using high speed steel tool, no significance among these steels is detected in formation of the surface film. However, the calcium-silicon deoxidized steel is evidently superior to the normal, or sulfurized steel as far as tool life for both crater and flank wear is concerned at low cutting speed.

I. 緒　　言

最近 König らによって開発されたカルシウム脱酸鋼は新しい快削鋼として注目されそれに関する研究が発表されている[1)~3)]。また綜合的な切削試験が行なわれ，製鋼時の脱酸生成物が工具面に付着し工具寿命に大きな影響を与えることが明らかとなりつつある[4)~6)]。

これらの研究は主に機械構造用炭素鋼 S 45 C 相当の被削材についてであり，しかも工具材種も超硬合金に関するものが大部分を占めている。

したがって本研究では比較的炭素含有量の少ない機械構造用炭素鋼 S 20 C 相当の普通転炉鋼 (Fe–Si および Al 脱酸鋼)，Ca–Si 脱酸鋼およびこれらに硫黄を添加した硫黄快削鋼をそれぞれ切削し，超硬工具の摩耗状態の比較および工具付着物の挙動を調べた。さらにこれら被削材の高速度鋼工具への適応性についても検討した。

II. 実 験 方 法

1. 被　削　材

使用した被削材は Fe–Si および Al で脱酸調整した機械構造用炭素鋼 (S–1)，Ca–Si 脱酸鋼 (C–1) およびそれぞれに硫黄を添加した硫黄快削鋼 (S–2 および C–2) の 4 種類である。S–1

*

鋼は純酸素上吹き転炉で溶製した市販材である。C-1, C-2 および S-2 鋼はそれぞれ 300 kg 高周波炉（塩基性）で大気溶解し，鍛造比 10.4 で直経約 100 mm としたものである。これらはいずれも熱間圧延または熱間鍛造材であり加工後の熱処理は行なっていない。これらの化学成分および機械的性質を **Table 1** に示した。

Table 1. Chemical compositions and mechanical properties of specimens used

Steel	Chemical compositions (% by weight)								Mechanical poperties				
	C	Si	Mn	P	S	O	Al		Yild point (kg/mm²)	Ultimate tensile Strength (kg/mm²)	Elon-gation (%)	Reduc-tion of area (%)	Hard-ness (HRB)
							Solu.	Insolu					
S-1	0.22	0.24	0.47	0.016	0.010	0.0042	0.007	0.001	25	43	33	63	72
S-2	0.21	0.24	0.87	0.023	0.132	0.0060	0.022	0.007	23	47	31	55	68
C-1	0.21	0.26	0.43	0.022	0.026	0.0140	0.008	0.002	25	44	31	60	67
C-2	0.21	0.27	0.80	0.014	0.104	0.0121	0.005	0.001	26	46	35	58	70

2. 実験装置および方法

本実験に使用した旋盤は大隈鉄工所製 LS 高速旋盤で，コップの無段変速装置を備えており所要の切削速度を得ることができる。

工具は超硬 P-20 のスローアウェイチップ [−5, −5, 5, 5, 15, 15, 0.8] および高速度鋼 SKH-4 [0, 15, 7, 7, 15, 0, 0.5] の 2 種類を使用した。

切削条件は切込み 1.5 mm，送り 0.3 mmpr の一定とし切削速度を超硬工具では 200 mpm とし，それぞれの被削材を切削したときに生ずる工具面の付着物が工具の摩耗にどのように作用するかを調べ，高速度鋼工具では 1～60 mpm の範囲で変化させ切削速度に対する工具摩耗量の変化を調べた。

切削終了後工具摩耗部を光学顕微鏡で主として観察したが，一部 X 線マイクロアナライザを使用して超硬工具のすくい面上に付着した元素の濃度分布を調べた。また高速度鋼工具使用の場合の切削状態を調べるため，工具急停止装置を用いて partially formed chip を作り観察した。

III. 実 験 結 果

1. 超硬工具による実験

被削材 S-1, C-1 および C-2 鋼をそれぞれ切削速度 200 mpm で 3 次元長手乾旋削したときの工具逃げ面摩耗（平均幅）経過およびすくい面摩耗痕トレースを **Fig. 1** および **Fig. 2** にそれぞれ示した。また **Photo. 1** にはこのときの工具摩耗状態を示した。これらの図および写真より直ちに工具摩耗状態の相違は明瞭である。すなわち Fig. 1 の逃げ面摩耗曲線では普通

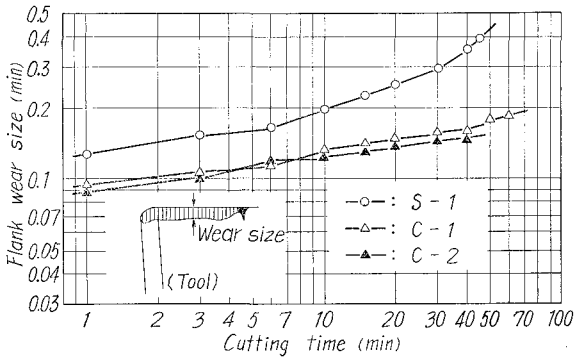


Fig. 1. Variation of wear land (average width) with cutting time for carbide tool. Cutting conditions: depth of cut, 1.5 mm; feed, 0.3 mmpr; cutting fluid, dry.

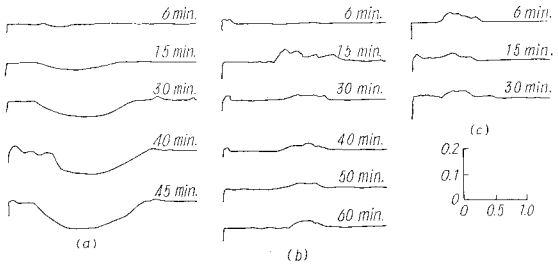
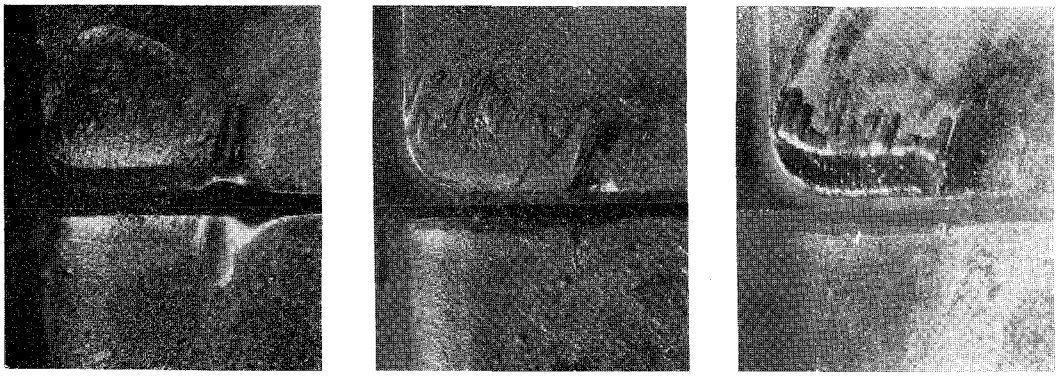


Fig. 2. Crater traces for carbide tools cutting (a) normal carbon, (b) calcium-silicon deoxidized and (c) sulfurized (calcium-silicon deoxidized) steels. Cutting conditions are the same as in Fig. 1.



(a) (b) (c)

Photo. 1. Photographs of flank and crater wears for carbide tool cutting (a) normal carbon, (b) calcium-silicon deoxidized and (c) sulfurized (calcium-silicon deoxidized) steels. Cutting conditions are the same as in Fig. 1 except cutting time are (a) 45 mim, (b) 60 mim and (c) 30 mim.

鋼 S-1 の摩耗幅がカルシウム脱酸鋼のそれに比べ2～3倍となり，しかもその曲線の傾きも S-1 鋼では急激になっている。また逃げ面に生ずる境界摩耗幅の差異も Photo. 1 のように顕著であり S-1 鋼では著しく発達しているが，C-1 および C-2 鋼では僅かである。さらにすくい面摩耗についてみると，S-1 鋼では従来の多くの研究結果にみられるようにすくい面摩耗の発達は著しく (Fig. 2 (a)) 特に前切刃側すくい面堤防部の崩壊が生じている (Photo. 1)。しかしカルシウム脱酸鋼 C-1, C-2 では Fig. 2 (b), (c) および Photo 1. (b), (c) から明らかなように特異な摩耗経過を示している。すなわち工具すくい面上に付着物が存在し摩耗がほとんど進行して

Position of line analysis

Carbide tool cutting calcium deoxidized steel.
Cutting conditions are the same as in Fig. 1. except cutting time is 5 min.

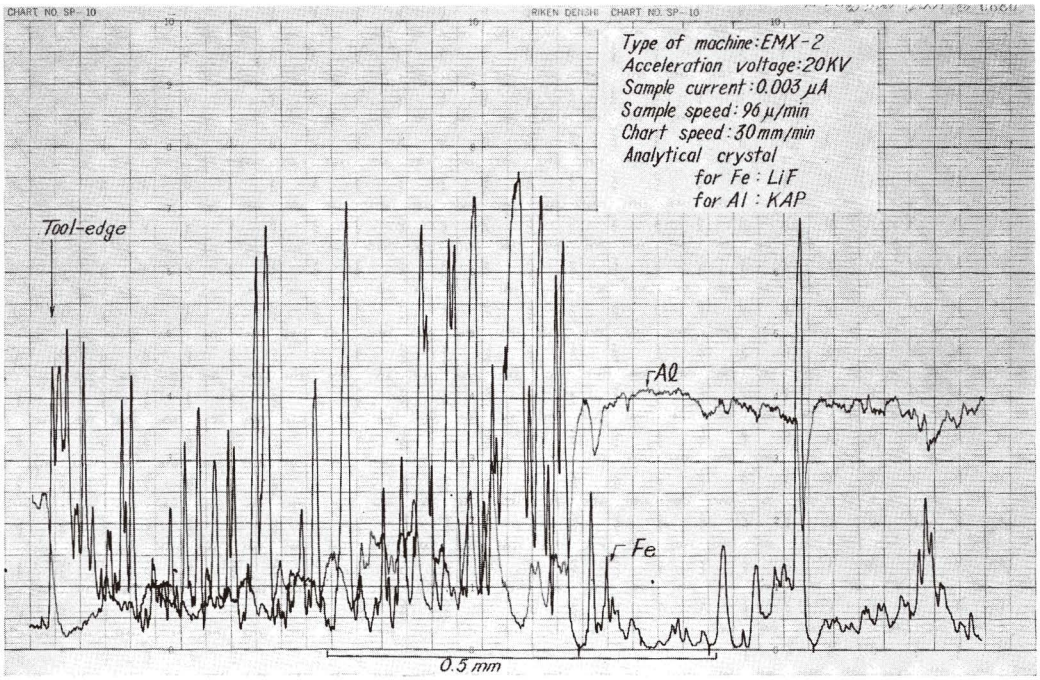


Fig. 3. Concentration curves for Aluminium and Iron by sweeping the electron beam across the tool face.

いないことである。この付着物着物は切くず離脱点側に多く存在しており，硫黄添加したC-2鋼において特に厚く付着している。これら工具すくい面上の付着物の存在により摩耗が抑制されるゆえS-1鋼に比べ工具摩耗量が少なく長寿命となると考えられる。一方工具すくい面切くず接触長さはFig. 2から明らかなようにカルシウム脱酸鋼の方が短かく，特に硫黄添加鋼で著しい。

以上のようにカルシウム脱酸鋼の超硬工具による切削において工具すくい面上に生ずる付着物の生成が工具摩耗を抑制することは明らかである。そこでこの付着物の組成を明らかにするためX線マイクロアナライザにより検討した。**Fig. 3**はカルシウム脱酸鋼C-1を切削速度200 mpmで5分間切削したときの工具すくい面上付着物中のアルミニウムと鉄の線分析結果である。これによればPhoto 1.(b)あるいはFig. 2(b)で認められたように付着物に相当する部分には多くのアルミニウムが検出され工具および被削材成分のそれより高濃度となり，逆に鉄の濃度は低くなっている。このようなカルシウム脱酸鋼を切削したときに生ずるすくい面上の被膜はH. Opitzらの研究結果によると酸化物（CaO, Al_2O_3, SiO_2）および硫化物（MnS）などから主に構成されていると考えられ本研究結果と一致している。したがって工具すくい面上でこの付着物が一種の耐摩耗性被膜の役割をしているのは明白である。また切刃側には工具写真においては明瞭ではないが薄く被膜が付着していると解釈され，これもまた有効に工具摩耗を防止していると考えられる。

現在まで鉄とアルミニウムの分析しか行なっていないが，今後Ca, Si, MnおよびSなどの定量分析を行なうことにより，生成層の構成成分の解明と工具摩耗防止効果の機構を調べなければならない。

Fig. 4.は準2次元切削（横すくい角：−5度）した場合の切削速度変化に対するせん断角の変化を示した。ただちに明らかなようにカルシウム脱酸鋼のせん断角は大きく，特に硫黄添加鋼材C-2においては普通鋼S-1材に比較し，かなり大きくなっている。したがってカルシウム脱酸による効果および硫黄添加による効果が有効に作用して，被削性の向上に寄与していることが明らかである。

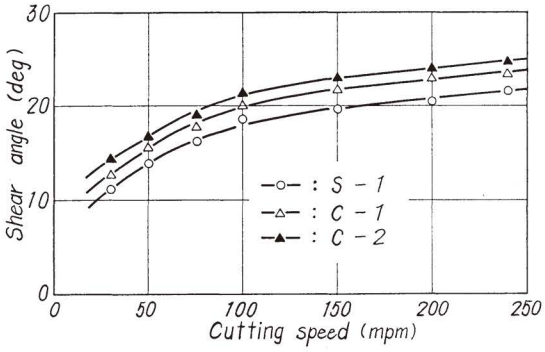


Fig. 4. Variation of shear angle with cutting speed.

2. 高速度鋼工具による実験

Fig. 5は高速度鋼工具でS-1, S-2, C-1およびC-2鋼をそれぞれ60分間切削したときの切削速度に対する逃げ面摩耗幅およびクレータ比の変化を示したものである。同図より逃げ

面摩耗曲線はいずれの鋼種の場合においても極大極小値をもつ特徴ある変化を示し，クレータ比は切削速度 20 mpm 付近から急激に上昇しているのがわかる。これらの変化は **Photo. 2** の切くず裏面あるいは工具急停止装置による patially formed chip の観察から説明できる。すなわち Fig. 5 で切削速度 3～4 mpm まではせん断形の切くずとなっており，直接工具面を切くずおよび仕上げ面が擦過するので逃げ面摩耗およびすくい面摩耗の切削速度に対する増加がみられる。この第 1 極大点を過ぎた切削速度から構成刃先の生成領域となりまた切くずは流れ形

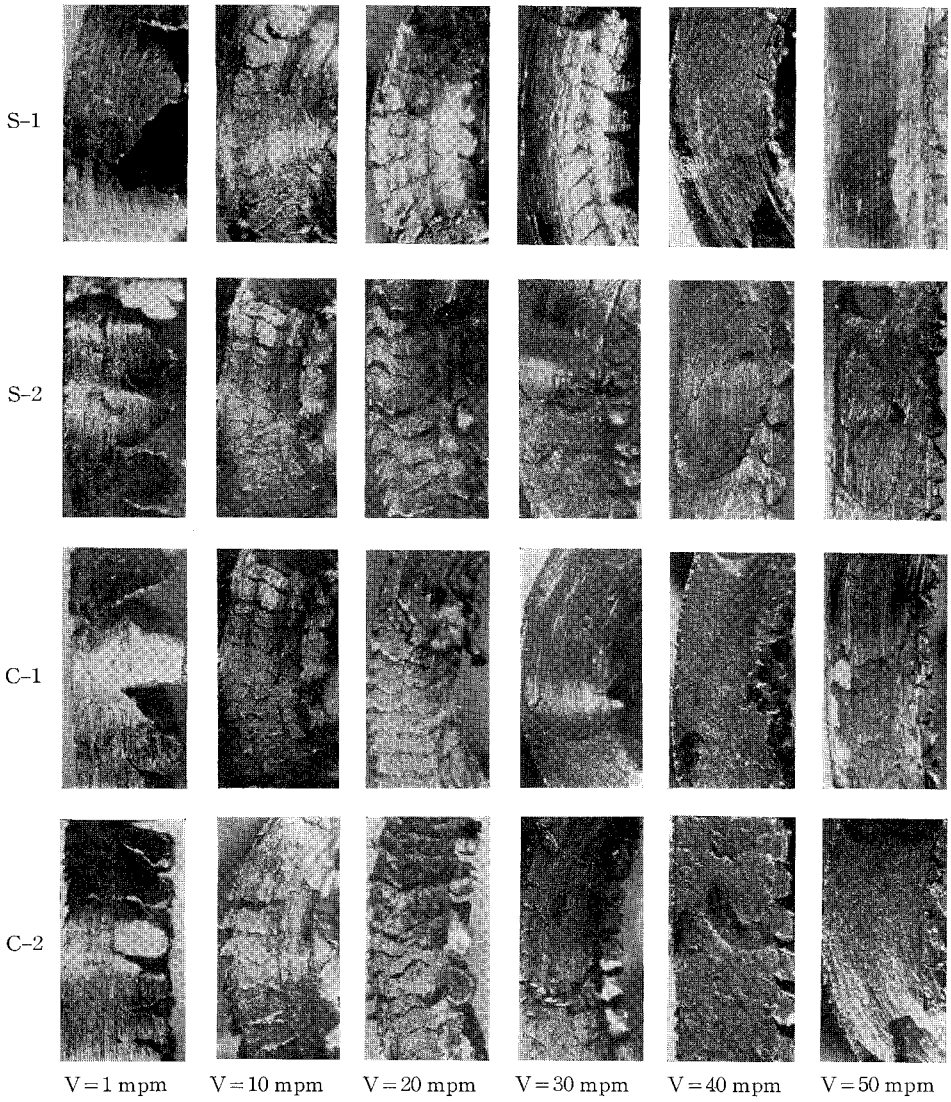


Photo. 2. Photographs of back surface of chips produced for S-1, S-2, C-1 and C-2 steels. Cutting conditions are same as in Fig. 5.

に変化する。このため工具すくい面は構成刃先に保護されクレータ比は減少する。逃げ面は構成刃先の発達によって切削仕上面から離れるようになり摩耗幅は急激に減少する。この場合構成刃先の脱落は **Fig. 6** に模型的に示したようにノーズ部が部分分裂するのみで大部分の構成刃先は，すくい面に強固に付着した状態を保っていると考えられる。切削速度の上昇にともない構成刃先はノーズの部分分裂と全体的脱落を伴うようになる (Photo. 2 $V=30$ mpm 参照)。したがって切削速度 20 mpm 付近からの逃げ面摩耗の増大およびクレータ比の急激な上昇はこの構成刃先の全体的な脱落によるプローイング作用の影響を大きく受けるためである。第2極大点以上の切削速度では構成刃先が減少し始め，その生成・脱落の結果生ずる工具摩耗は軽減してゆき逃げ面摩耗幅は再び減少してゆく。しかしすくい面摩耗は切削速度の上昇に伴う切削温度の上昇のため急激に発達するようになる。普通鋼 S-1 の切削では 50 mpm 付近から逃げ面摩耗幅が再び増大する傾向がみられるが，これはこの切削速度ですでに構成刃先は消滅していて切削速度の効果のみが作用するためである。

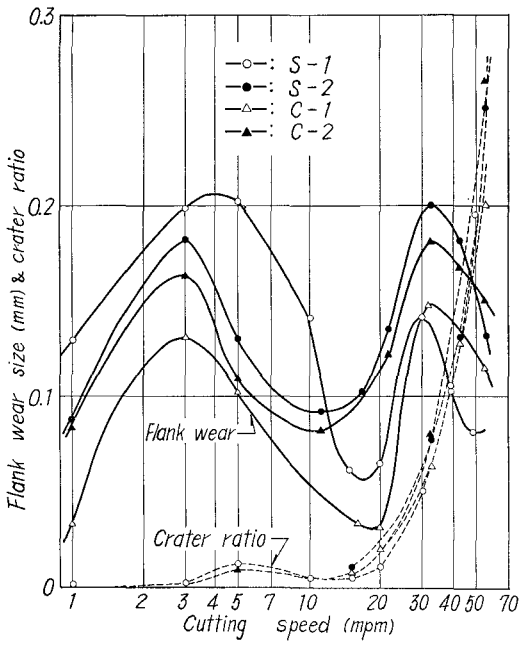


Fig. 5. Variation of flank wear size and crater ratio with cutting speed. Cutting condition: tool SKH-4 (0, 15, 7, 7, 15, 0, 0.5); depth of cut, 1.5 mm; feed, 0.3 mmpr; cutting time, 60 min; cutting fluid, dry.

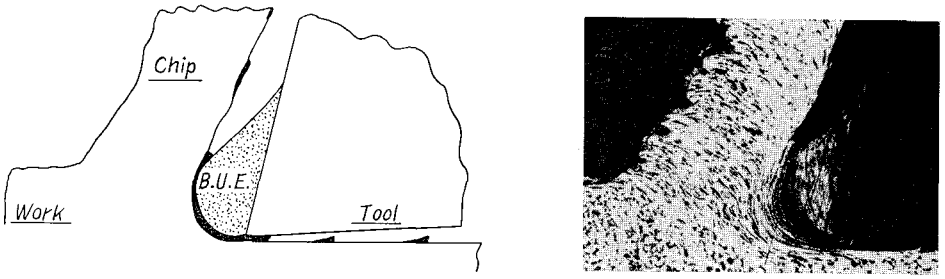


Fig. 6. Schematic diagram and photomicrograph of tool-work-piece section from cuts using H.S.S. tool. Cutting conditions are same as in Fig. 5 except cutting speed is 20 mpm and material cut is C-1 steel.

以上のような逃げ面摩耗曲線と構成刃先の生成・脱落状態の関係をまとめたのが **Fig. 7** である。ここで切削状態を示す図はある任意の瞬間 ($T=T_0$) の状態および微小時間経過 ($T=T_0+\Delta T$ あるいは $T=T_0+\Delta T'$) の状態を示した。

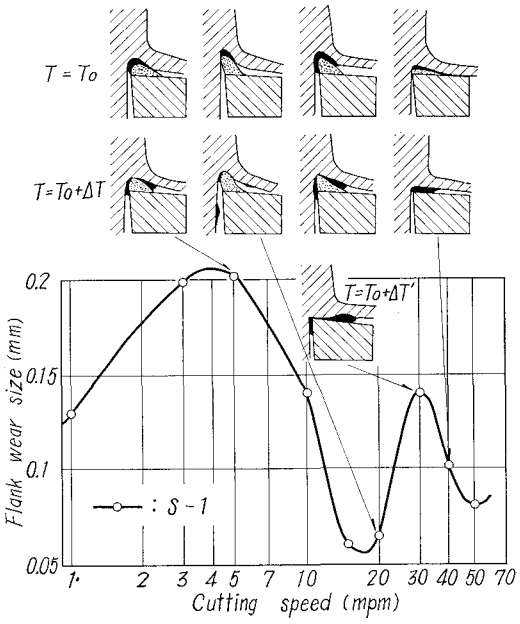


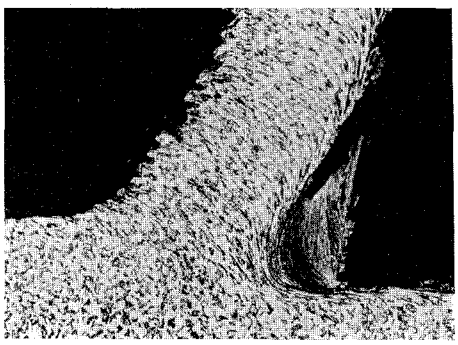
Fig. 7. Variation of built-up nose form and flank wear with cutting speed by using H.S.S. tools. Cutting conditions are the same as in Fig. 5.

Fig. 5 において切削速度 30 mpm 付近までの構成刃先増加域では S-1 鋼切削の場合 C-1 鋼のそれに比較し著しく大きな逃げ面摩耗幅となっている。これは **Fig. 8** に示した切削模型図 (工具急停止装置により採取) の比較からも明らかなように，カルシウム脱酸鋼 C-1 材切削の場合構成刃先がより大きくしかも工具逃げ面をおおうように成長し，いわゆる Over cut の状態となり工具切刃部は切削仕上面から離れる傾向が強いため逃げ面摩耗は小さいと考えられる。一方硫黄の添加によって脱酸法の相違による摩耗の差異は相殺され S-2, および C-2鋼はほぼ同様な摩耗曲線となっている。しかも硫黄快削鋼に特有な摩耗曲線の第 1 極小点が低速側に移行する傾向を示し，かつその値もかなり大きくなっている。これは鋼中に含まれる MnS の脆化作用により構成刃先が大きく成長できないためとその全体的脱落が生ずる結果である。

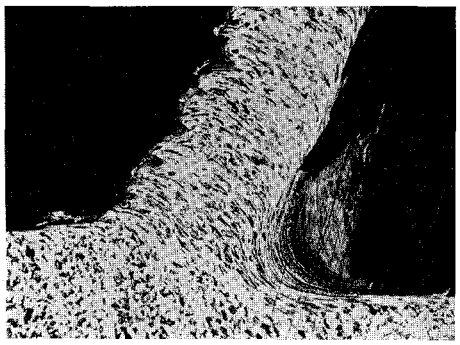
一方切削速度 30 mpm 以上の構成刃先減少域では，低速域でもっとも逃げ面摩耗幅の大きかった S-1 鋼がもっとも小さくなっており，カルシウム脱酸鋼の C-1，硫黄快削鋼 S-2 および C-2 鋼の順序で逃げ面摩耗幅は大きくなっている。この切削速度域では前述のように構成刃先成長度合の減少，それに伴う脱落頻度の減少およびすくい面摩耗状態が著しい影響を及ぼしていると考えられる。**Fig. 9** は各鋼材を切削速度 50 mpm で 60 分間切削したときのすくい面摩耗痕の比較である。明らかなように S-1 および C-1 鋼の場合は摩耗痕深さは大きいが摩耗痕最深部が切刃から離れた位置に生じている。それに反し硫黄快削鋼の S-2 および C-2 の摩耗深さは小さいがその最深部は切刃により接近して生ずる。摩耗痕最深部が切刃に接近して生ずることは切刃への熱集中を意味する。実験で使用した高速度鋼工具では熱間強度が超硬合金などに比較し著しく低いので，この集中度に工具摩耗は依存することになる。

さらに **Photo. 3** の切削速度 50 mpm の場合の切削状態を示した patially formed chip から S-1 鋼切削の場合はすでに構成刃先がほとんど消失しているが他の場合は未だ残存しているの

が明らかである。このことは Photo. 2 の切くず裏面の観察においても確認される。この構成刃先は低切削速度域のそれとは異なり不安定でありしかも大きく成長できない。このような構成刃先は脱落の際工具をプローイングするのみである。したがってもっとも早く消失してしまうS-1 鋼ではその逃げ面摩耗幅も急激に減少することになる。しかし硫黄快削鋼では高速度域まで構成刃先が残るため摩耗幅減少の傾きは緩やかとなると考えられる。



(a) S-1



(b) C-1

S-1 (V=20 mpm)

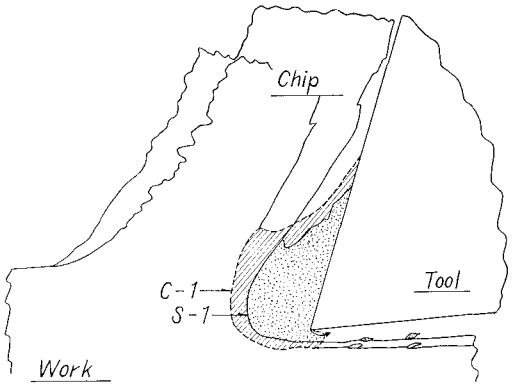


Fig. 8. Schematic diagram of built-up nose cutting normal carbon and calcium dioxidized steels. Cutting conditions are the same as in Fig. 5 except cutting speed is 20 mpm.

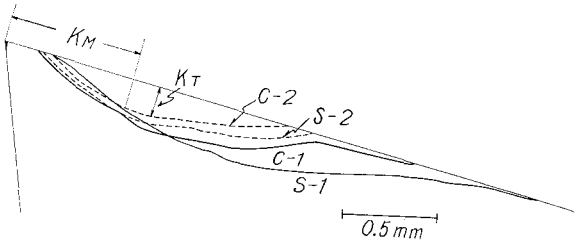
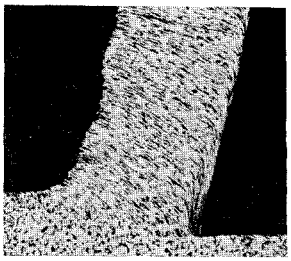
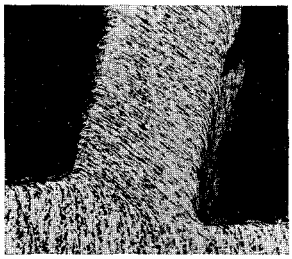


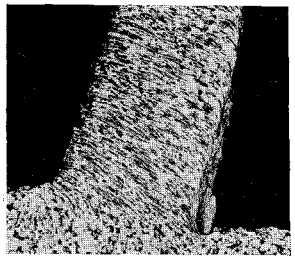
Fig. 9. Crater traces for H.S.S. tools. Cutting conditions are the same as in Fig. 5. excepc cutting speed is 50 mpm.



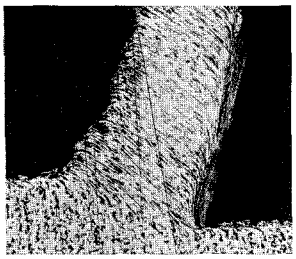
(a) S-1



(b) S-2



(c) C-1



(d) C-2

Photo. 3. Photomicrographs of tool-work-piece sections from cuts using H.S.S. tools. Cutting condition: depth of cut, 1.5 mm; feed, 0.3 mmpr; cutting speed, 50 mpm; cutting fluid, dry.

IV. 結　　言

カルシウム脱酸鋼およびカルシウム脱酸硫黄快削鋼の被削性を検討するため普通鋼と比較しつつ工具摩耗の観点から試験した結果つぎのことが明らかになった。

(1) 超硬工具による結果

カルシウム脱酸鋼およびカルシウム脱酸硫黄快削鋼は普通鋼に比較し著しく工具摩耗を軽減する。これは両鋼種とも工具すくい面上に付着物層が生成され，工具すくい面の摩耗を抑制するように作用するためである。カルシウム脱酸鋼に硫黄を添加することにより特にせん断角を大きくし，いわゆる快削性を示すようになるが工具の摩耗程度はカルシウム脱酸鋼とほぼ同様である。

(2) 高速度鋼工具による結果

極低切削速度域においてはカルシウム脱酸鋼切削の場合の工具摩耗がもっとも少なくなる。これは構成刃先が安定にしかも大きく成長し切削仕上面と工具逃げ面が離れる結果である。しかし構成刃先減少域では逆に普通鋼がもっとも工具摩耗が減少する。この切削速度域では構成刃先が不安定となりこの脱落片が工具をプローイングするため，もっとも構成刃先が消失し易い普通鋼では工具逃げ面の摩耗が軽減されることになる。

硫黄の添加によって脱酸法の相違による工具摩耗の差異は相殺されカルシウム脱酸硫黄快削鋼，普通脱酸硫黄快削鋼ともほぼ同一の工具摩耗状態となる。また構成刃先が全体的に脱落する切削速度域ではカルシウム脱酸鋼および普通鋼に比較して摩耗幅が大きくなるが，これは鋼中に含まれる硫化物の摩擦作用によるためである。

終りに本研究で使用した各種鋼材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杉野秀雄君ならびに高田重穂君に感謝の意を表します。 (昭和44年4月30日受理)

文　　献

1) W. König: Indust. Anzeiger, **87**, 26 (1965), 413.
2) W. König: Indust. Anzeiger, **87**, 43 (1965), 845.
3) W. König: Indust. Anzeiger, **87**, 51 (1965), 1033.
4) H. Opitz, W. König: Archiv für das Eisenhüttenwesen, 33 J **12** (1962), 831.
5) H. Opitz, M. Gappish, W. König, R. Pape, A. Wicher: Archiv für das Eisenhüttenwesen, 33 J **12** (1962) 841.
6) 奥島啓弐・星鉄太郎・鳴滝則彦: 精機学会誌, **34**, 7 (1968), 478.