

論 文

各種脱酸鋼の被削性について*

荒 木 泰 治**・浜 端 進**

Machinability of Deoxidized Steel

Taiji ARAKI and Susumu HAMABATA

Synopsis:

The machinability should be evaluated by the combination of cut steels and cutting tools. Tool life by turning with combinations of various deoxidized steels and various tools are studied. Si killed, Ca-Si killed, Si-Al killed, Ca-Si-Al killed constructional steels were selected. P20 type of sintered carbide and SKH 4 A type of high speed steel were tested as tools.

Non-metallic inclusions are different from each other corresponding to the killing process and affect the cutting process. The cutting process by the sintered carbide tool is distinguished from that by high speed steel tool. The sintered carbide being used, sometimes nonmetallic inclusion of Ca-silicate or Mn-silicate adheres on the surface of tool, works effectively and prolongs the tool life. Usually, it affects adversely the cutting process by high speed steel. Non-metallic inclusions of Al_2O_3 gives some bad effects on the both tools. Sulphide inclusion improves the life of high speed steel tool more than that of sintered carbide tool.

(Received Apr. 8, 1971)

1. 結 言

鋼の被削性に関する研究の歴史はかなり長い、いまだ被削性の本質は解明されていないといつても過言ではない。被削性は、工具寿命の長短、切くず処理の難易、仕上面精度の良否および切削抵抗の大小の4基準で評価され、被削材と工具との組み合わせにおいて評価されるものである。したがって、鋼の機械的性質のごとく普遍性のある評価が困難であることが一層被削性の解明をさまたげてきたものと考えられる。とくに工具寿命からみた被削性は、工具摩耗現象からその良否を判定するため、摩耗の本質として相手材料の影響を加味した検討がなされなければならない。しかし、工具および鋼の種類は数多く、それらの組み合わせは莫大な数にのぼり、それぞれの組み合わせで検討された例は少ない。

また、同一鋼種においても溶解炉、脱酸合金、熱処理条件などの相異により、工具寿命の長さが異なることが明らかとなっている。たとえば、低炭素鋼系のいおう快削鋼は、Si含有量を極力低下させることによりMnS系介在物をオーバル状とし高速度鋼工具の寿命を延長させ、また、最近ではCa-Si脱酸鋼は超硬合金工具の寿命を延長させることが実証されている^{2)~9)}。

本報は、これら脱酸法の相違により生成する酸化物系

介在物と超硬合金(P20)および高速度鋼(SKH4A)工具の寿命との関係について検討したものである。

2. 供 試 材

2-1 被削材の溶製条件ならびに化学成分

被削材はS45Cを基本成分とする溶鋼の最終脱酸を種々変化させたもので、それらの溶製条件ならびに主な化学成分をTable 1に示す。

被削材は、その溶解炉により分類すると、小型実験炉(1トン高周波誘導炉)と実炉(20トンアーク炉)の2種類である。また、脱酸法によつて分類すると

① Ca-Si脱酸鋼: JIS 1号 Ca-Si合金またはFe-Ca-Si合金で単独脱酸をおこなつた鋼(Ca)

② Al添加Ca-Si脱酸鋼: Ca-Si合金またはFe-Ca-Si合金で脱酸したのち、Alを0.03%以上添加し、細粒鋼とした鋼(Ca-Al)

③ Fe-Si脱酸鋼: JIS 1号 Fe-Si合金の単独脱酸をおこなつた鋼(Si)

④ Al添加Fe-Si脱酸鋼: Fe-Si合金で脱酸したのちAlを0.03%以上添加し、細粒鋼とした鋼(Si-Al)の4種類である。

* 昭和46年4月8日受付

** 住友金属工業(株)中央技術研究所

Table 1. Chemical composition of cutting work (%).

Furnace	Mark	Deoxidizer	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ca	Al	O
1 t high frequency furnace	A 1	Si	0.46	0.32	0.53	0.011	0.012	0.05	0.04	0.05	—	0.005	0.008
	A 2	Si-Al	0.49	0.32	0.72	0.014	0.021	0.05	0.07	0.06	—	0.021	0.004
	A 3	Ca	0.48	0.39	0.62	0.010	0.014	0.05	0.04	0.05	0.0036	0.004	0.008
	A 4	Ca-Al	0.45	0.32	0.71	0.023	0.017	0.05	0.03	0.04	0.0036	0.015	0.008
	A 5	Ca-Al	0.48	0.33	0.73	0.024	0.022	0.05	0.03	0.03	0.0049	0.011	0.004
	B 1	Si	0.48	0.28	0.58	0.017	0.017	0.02	<0.01	<0.01	—	0.001	0.007
	B 2	Si-Al	0.47	0.30	0.59	0.017	0.015	0.02	<0.01	<0.01	—	0.015	0.002
	B 3	Ca	0.48	0.30	0.55	0.010	0.015	0.03	<0.01	<0.01	0.0050	0.004	0.009
	B 4	Ca-Al	0.45	0.36	0.74	0.015	0.020	0.04	<0.01	<0.01	0.0039	0.034	0.004
20 t electric furnace	C 1	Si-Al	0.47	0.25	0.70	0.015	0.010	0.06	0.07	0.09	—	0.016	0.003
	C 2	Ca	0.47	0.25	0.74	0.015	0.009	0.07	0.05	0.10	0.0044	0.003	0.006
	C 3	Ca-(Al)	0.45	0.29	0.68	0.011	0.006	0.04	0.04	0.06	0.0055	0.006	0.005
	C 4	Ca-Al	0.47	0.25	0.66	0.021	0.008	0.06	0.04	0.08	0.0011	0.012	0.007

さらに試験の目的により分類すると次のごとくなる。

① 各種脱酸鋼の検討：小型実験炉で Ca-Si 脱酸鋼，Al 添加 Ca-Si 脱酸鋼，Fe-Si 脱酸鋼および Al 添加 Fe-Si 脱酸鋼を 2 回に分けて溶製した。

第 1 グループは，Table 1 において A1 から A5 として示すもので，小型実験炉で溶解—各種脱酸合金で脱酸—取鍋に出鋼—(Al 添加)—鑄型注入の方法で溶製されたものである。

第 2 グループは，Table 1 で B1 から B4 として示すもので，第 1 グループと異なる点は取鍋を使用せず，脱酸合金および Al は炉中で添加し，トラフによる直鑄をおこなったものである。したがって脱酸合金の添加から鑄型注入までの時間が，第 1 グループに比し短いものである。

② Al 添加 Ca 脱酸鋼における Al 添加量の影響

Al 添加 Ca-Si 脱酸鋼の Al 添加量を変えた場合の被削材を実炉で溶製し，Table 1 の C2 から C4 に示す。また，基本鋼として Al 添加 Fe-Si 脱酸(一般通常鋼)を比較のために溶製し，C1 に示す。Ca 脱酸鋼の場合の Al 含有量は，0.003，0.006 および 0.012% である。

2.2 被削材の非金属介在物

後述のごとく被削材の工具寿命に影響する因子は，主に非金属介在物であるので，供試材に存在する介在物を X 線マイクロアナライザー (EPMA) により調査した結果¹¹⁾と光学顕微鏡で観察した結果を Photo. 1 に示す。

Fe-Si 合金のみで脱酸した鋼には，A 系介在物の Mn-シリケートが存在し，EPMA の分析では若干の Ca を検出する場合もある。すなわち，Si-Mn-Al-(Ca)-O 系の複合酸化物で，Si 含有量の高い場合には融点は 1100°C 程度に低下する。

Fe-Si 合金と Al で脱酸した鋼には，B 系のアルミナが存在し，融点 (2200°C) およびかたさが高い。

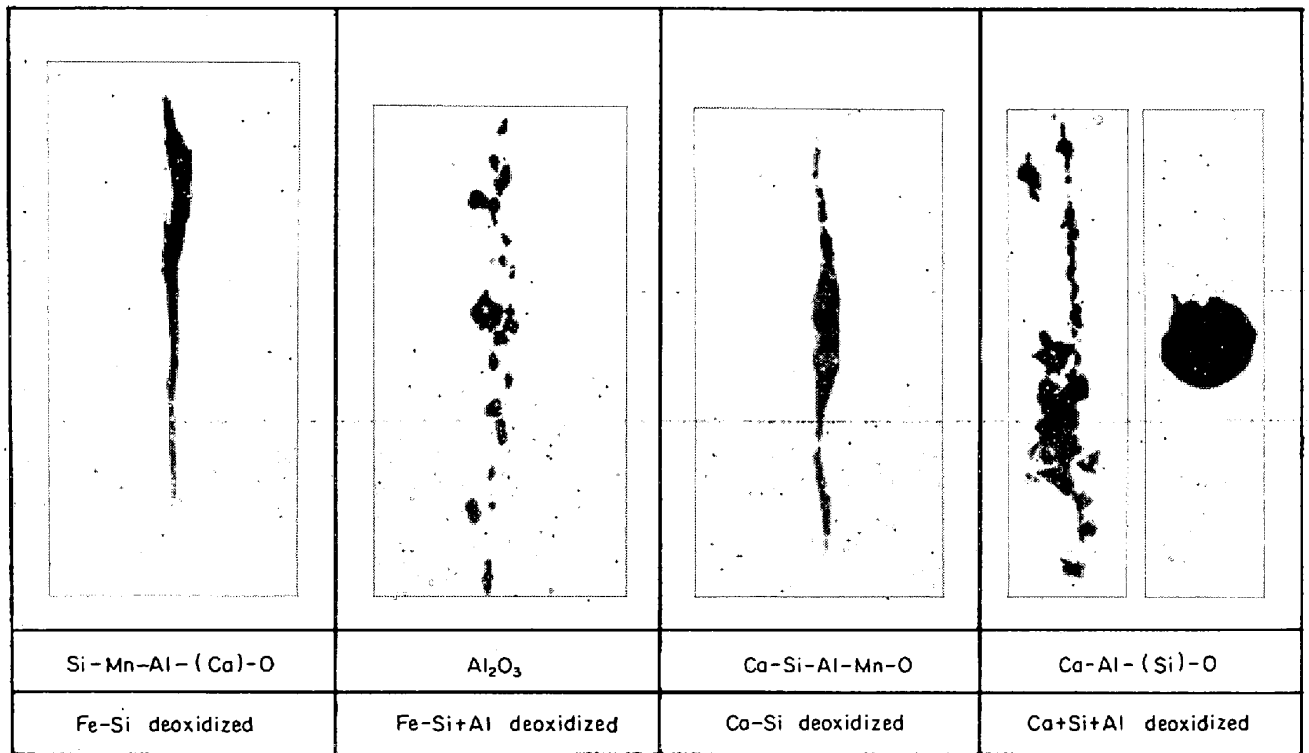
Ca-Si 合金で脱酸した鋼には，A 系介在物の Ca-Mn-シリケートが存在し，EPMA 分析の結果では，多量の Ca が検出され，Ca-Si-Al-Mn-O 系の複合酸化物であることが確認された。

Ca-Si 合金と Al で脱酸した鋼には，Ca 系酸化物の Ca-アルミネートが存在し，EPMA 分析の結果では Ca-Al-O と Mn-Ca-S の複合介在物であることが認められた。また，Ca-Si 脱酸鋼に少量の Al を添加すると，Ca 系酸化物介在物の組成ならびに形状が変化する。Al の添加がほとんどない場合は，Ca-Si-Al-Mn-O 系の複合酸化物の A 系介在物であるが，Al の添加量が増加するとこれらの酸化物から MnO，SiO₂ の順に消失し，形状的には A 系介在物から C 系介在物に変化する。また，介在物の融点も上昇する傾向をもつ。さらに Al 含有量が増加すると Photo. 1 の Ca-Si+Al 脱酸鋼に存在する介在物として示したごとく，Ca-アルミネートおよびアルミナが生成し C 系および B 系介在物となつている。

これらの複合酸化物を三元状態図 (CaO-SiO₂-Al₂O₃) に示すと Fig. 1 のごとくなり，Al 含有量の変化にしたがい④から⑥までの組成となる。しかし，実際の Ca-Si 脱酸鋼の酸化物は，④ に示す組成に比し，CaO 含有量が若干減少し，MnO がさらに複合された組成の介在物となつている。

また，Ca-Si 脱酸鋼の Al 含有量が増加すると，硫化物系介在物 (MnS) も変化し，Al=O の場合には MnS 系介在物中に Ca をほとんど含有していないが，Al を多量に添加すると Ca-Mn-S となり，Ca-アルミネートを包含する状態となつている。

以上の被削材はすべて 0.45%C を基本鋼とするもので，小型実験炉溶製材は 95φ (鍛伸比 10) に鍛伸，実炉溶製材は 150φ (圧延比 11) に圧延されたもので，いずれも焼ならし後切削試験に供した。



20μ

Photo. 1. Non-metallic inclusions in various deoxidized steels.

2.3 使用工具材種

試験に用いた工具材種は、超硬合金 (P20) および高

速度鋼 (SKH4A) である。いずれも 19 角シャックにスローアウェイチップを機械的に取付けたものである。

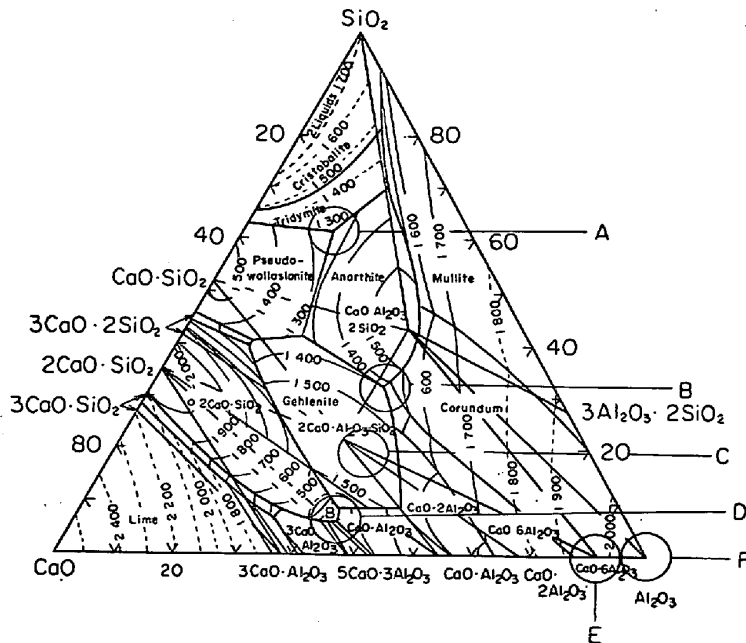


Fig. 1. Phase diagram of the inclusion contained in Ca-Si deoxidized steel.

3. 試験方法

工具寿命試験は、旋盤による長手切削をおこなった。切削条件は、切込み 2 mm, 送り 0.25 mm/r でおこない、切削油は高速度鋼工具の場合のみ使用した。

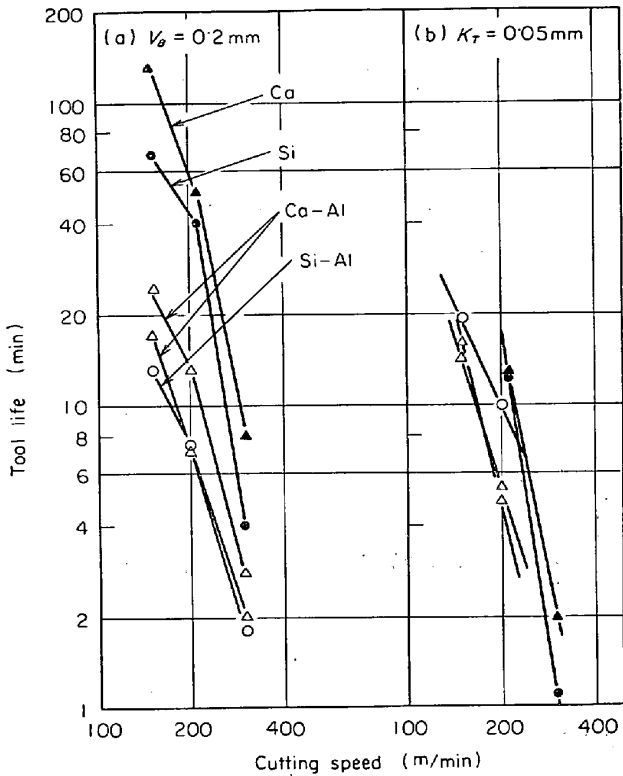
工具寿命判定基準には、超硬合金工具の場合フランク摩耗幅 0.2 mm およびクレータ摩耗深さ 0.05 mm を高速度鋼工具の場合には切削不能となるまでを工具寿命とした。

4. 試験結果および考察

4.1 工具寿命

4.1.1 各種脱酸鋼の工具寿命試験

0.45% C の 4 種類の脱酸鋼を超硬合金 (P20) 工具で旋削した場合の工具寿命試験結果を Fig. 2 および Fig. 3 に示す。図において (a) は、にげ面摩耗 (フランク摩耗 V_B) 0.2 mm を工



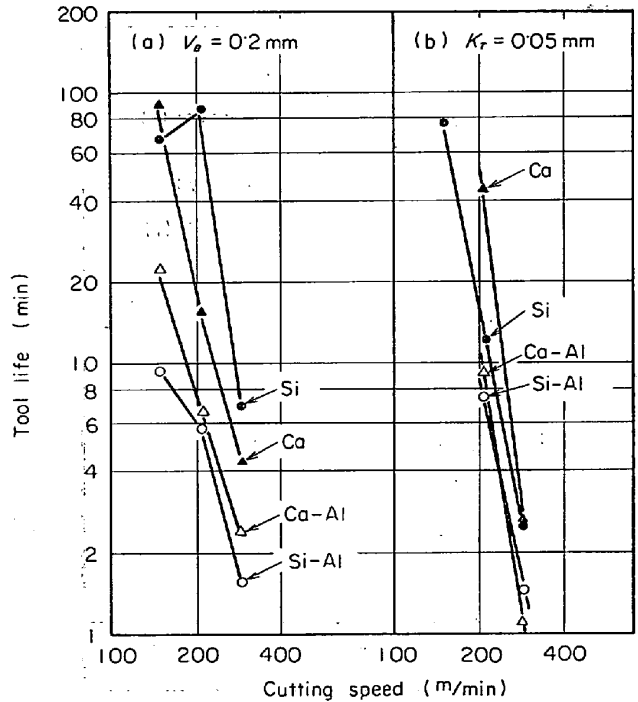
Cutting cond. Tool : P20 (-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8)
Feed : 0.25mm/r
Depth of cut : 2.0mm
Cutting lub. : non

Fig. 2. Effect of deoxidation on tool life of S45C steel (Group A).

具寿命基準とした場合、(b)は、すくい面摩耗(クレータ摩耗 K_T) 0.05 mm を工具寿命基準とした場合の寿命曲線である。Fig. 2 と Fig. 3 は同じ脱酸条件で溶製されたものであるが、Fig. 2 は取鍋に出鋼後鋳込まれたものであり、Fig. 3 はトラフによる直鋳をおこなったものである。

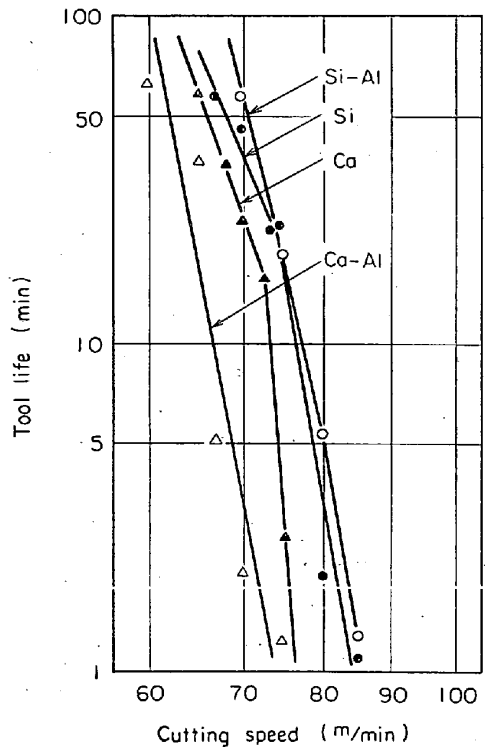
これらの試験結果から各種脱酸鋼の工具寿命を比較すると Fig. 2, 3 いずれの場合も Al との複合脱酸鋼は、Ca-Si および Fe-Si 脱酸に関係なくフランク摩耗基準およびクレータ摩耗基準の工具寿命を劣化させる。また Ca-Si 脱酸鋼と Fe-Si 脱酸鋼の工具寿命は、フランク摩耗基準の場合 Fig. 2 と Fig. 3 で逆転しており、優劣をつけがたいが、クレータ摩耗基準の場合にはいずれも Ca-Si 脱酸鋼の優位性が認められる。すなわち、Fe-Si 脱酸鋼の工具寿命はフランク摩耗基準において Ca-Si 脱酸鋼のそれとほぼ同程度であるが、クレータ摩耗基準において Ca-Si 脱酸鋼より劣る傾向にある。

したがって、これらの脱酸法の中で Ca 脱酸法が超硬合金(P20) 工具の寿命からみた被削性において最も優れた脱酸法であるといえる。



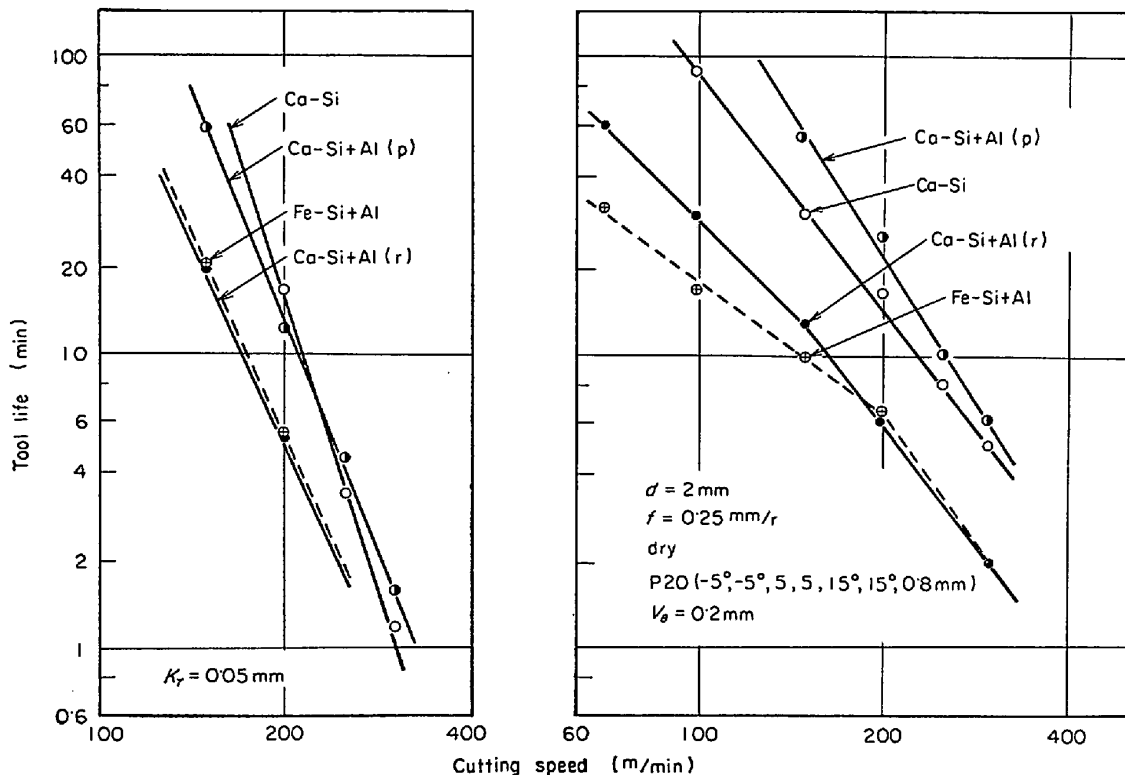
Cutting cond. Tool : P20 (-5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.8)
Feed : 0.25mm/r
Depth of cut : 2.0mm
Cutting lub. : non

Fig. 3. Effect of deoxidation on tool life of S45C steel (Group B).



Cutting cond. Tool : SKH4A (-5, 15, 5, 5, 60, 30, 0.8)
Feed : 0.25mm/r
Depth of cut : 2.0mm
Cutting lub. : non

Fig. 4. Effect of deoxidation on tool life of S45C steel (Group B).



(Note. Al (p.): Aluminum poor, Al (r): Aluminum rich)

Fig. 5. Effect of aluminum on tool life of calcium deoxidized steel (Group C).

上述の各種脱酸鋼を高速鋼工具 (SKH 4 A) で旋削した場合の工具寿命試験結果を Fig. 4 に示す. この場合の工具寿命判定基準は, 刃先が摩耗し切削不能になるまでの切削時間を工具寿命とした.

Fig. 4 の結果によると, 各種脱酸鋼の工具寿命は, Fe-Si+Al 脱酸鋼が最も長く, 次いで Fe-Si 脱酸鋼, Ca-Si 脱酸鋼および Ca-Si+Al 脱酸鋼の順に短くなっている. しかし, 高速鋼工具の寿命は, 後述するごとく被削材のかたさの影響を強くうけるので, かたさの影響を考慮すると脱酸法の差は, 見かけ上の差となりほとんど問題とするに値しない差である.

4.1.2 Ca 脱酸鋼の工具寿命におよぼす Al の影響

鋼への Al の添加は, 機械的性質ならびに他の性質を改善させる目的をもっているが, 前節の結果でもわかるごとく工具寿命を著しく劣化させる. そこで Ca-Si 脱酸鋼においても, Al は工具寿命を劣化させる元素であるかどうかを検討した. Al 添加量を種々変えた Ca-Si 脱酸鋼を超合金 (P20) 工具で寿命試験をおこなった結果を Fig. 5 に示す.

この結果から Ca-Si 脱酸鋼における Al の効果は, Al を多量に添加した鋼は工具寿命を劣化させるが, Al の少量添加はむしろ工具寿命を延長させる効果のあることが認められる. しかし, 多量に添加すると Al 添加

Fe-Si 脱酸鋼とほぼ同程度となり, Ca-Si 脱酸の効果は消失する.

これらの結果をまとめると, 超合金工具の場合には Ca-Si 脱酸鋼の優位性が認められるが, 高速鋼工具の場合にはその優位性はほとんど認められず, かえって逆の傾向すら認められた. また, Ca-Si 脱酸鋼においては適量の Al を添加すると超合金工具の寿命を延長させることが認められた. とくに超合金工具の寿命は, 鋼中の脱酸生成物である酸化物系介在物によつて左右されるといっても過言ではない. たとえば, Ca-Si 脱酸鋼を超合金工具で切削する場合に生ずる工具面酸化物皮膜は, 工具の拡散摩耗を防止し, 工具寿命を著しく延長させるといわれている⁶⁾¹⁰⁾¹¹⁾. 酸化物皮膜は EPMA の調査によると, 主として Ca, Si, Al および O からなる酸化物で, 被削材中に存在する酸化物系介在物と同組成であることが確認されている¹¹⁾.

したがつて, Ca-Si 脱酸鋼の工具寿命延長効果を解明するためには, 工具面酸化物皮膜の生成機構を知る必要があり, 工具摩耗形態, 光学顕微鏡的な工具摩耗面状況および切くず中の介在物の変形について調査した.

4.2 超合金工具の摩耗観察

4.2.1 工具摩耗形態におよぼす鋼の脱酸法の影響

超合金工具の寿命は, 鋼中に存在する介在物の影響

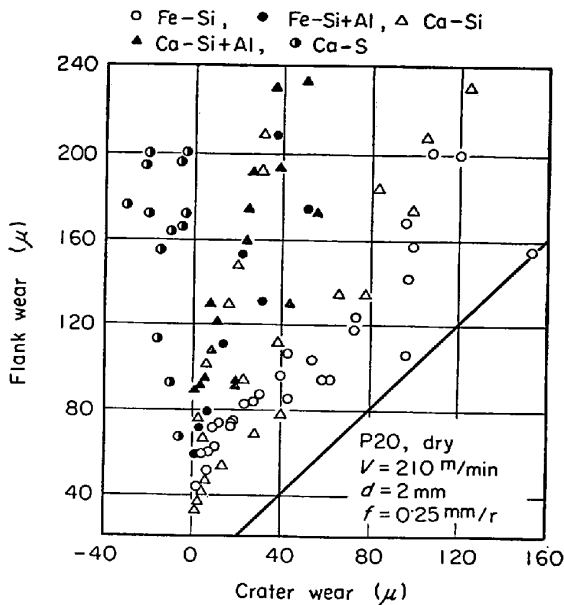


Fig. 6. The relation between flank wear and crater wear.

をうけることが明らかとなった。また、Fe-Si 脱酸鋼のごとく比較的低融点の介在物を含む鋼の工具寿命は、フランク摩耗基準において Ca-Si 脱酸鋼よりもすぐれている場合もあるが、クレータ摩耗基準では Ca-Si 脱酸鋼に劣ることが明らかとなっている。これは介在物と工具摩耗との間に何らかの関係があることを示唆している。

たとえば、種々の脱酸鋼を超合金工具で切削すると、フランク摩耗とクレータ摩耗の量が異なることが認められた。両摩耗量の相関関係の一例を Fig. 6 に示す。すなわち、いずれの場合もフランク摩耗の方が大きい。ほぼ直線的な相関関係をもち、鋼の脱酸条件によつて大別されることがわかる。また、Ca-Si 合金のみの脱酸にイオウを 0.05% 添加した Ca+S 快削鋼の場合も参考のために併記した。

図において、フランク摩耗に対するクレータ摩耗の大小で各被削材を比較すると、Fe-Si 脱酸鋼が最も大きく次いで Ca-Si 脱酸鋼、Ca-Si+Al 脱酸鋼、Fe-Si+Al 脱酸鋼の順に小さくなっている。また、Ca+S 快削鋼のクレータ摩耗はほとんど生じておらず、逆に酸化物の付着物でもりあがりの存在が認められる。すなわち、融点の低い介在物の存在する鋼を切削する場合には、にげ面摩耗に対するすくい面摩耗が大きく、融点の高い介在物が存在する鋼を切削する場合には、にげ面摩耗に対するすくい面摩耗が小さい。また、快削性付与元素 S を添加した Ca-Si 脱酸鋼では、S が工具表面での酸化皮膜の付着を促進させるといえる。

4.2.2 各種脱酸鋼を切削した場合の工具摩耗状況

鋼の脱酸法によりフランク摩耗とクレータ摩耗の相関関係が異なる原因を工具摩耗面での酸化皮膜の有無との関連で検討すると一層明らかになる。

Photo. 2 は、各種脱酸鋼を 210m/min の切削速度でフランク摩耗基準 (0.2 mm) の工具寿命まで切削した場合の工具摩耗状況を示す。鋼の脱酸様式別にみると次のとおりである。

① Fe-Si 脱酸鋼の場合は、フランク摩耗部には非常になめらかな摩耗痕を生じ、切削時間の割合には摩耗量は少ない。(この写真では見られないが、フランク摩耗部に酸化皮膜が存在し、摩耗がきわめて少ない場合もある) クレータ摩耗部には流動的な摩耗痕を生じ、比較的摩耗量は大きい。しかし、クレータ摩耗部およびその周囲に酸化皮膜が存在するが、摩耗を軽減する作用はないものと考えられる。切くず接触長さは、供試材中最も長い。

② Fe-Si+Al 脱酸鋼の場合は、フランク摩耗部には凹凸の大きな摩耗痕を生じ、摩耗量は多い。クレータ摩耗部の一部に切くずの溶着物が存在し、酸化皮膜はほとんど存在しない。切削時間が短いためクレータ摩耗量は僅少である。

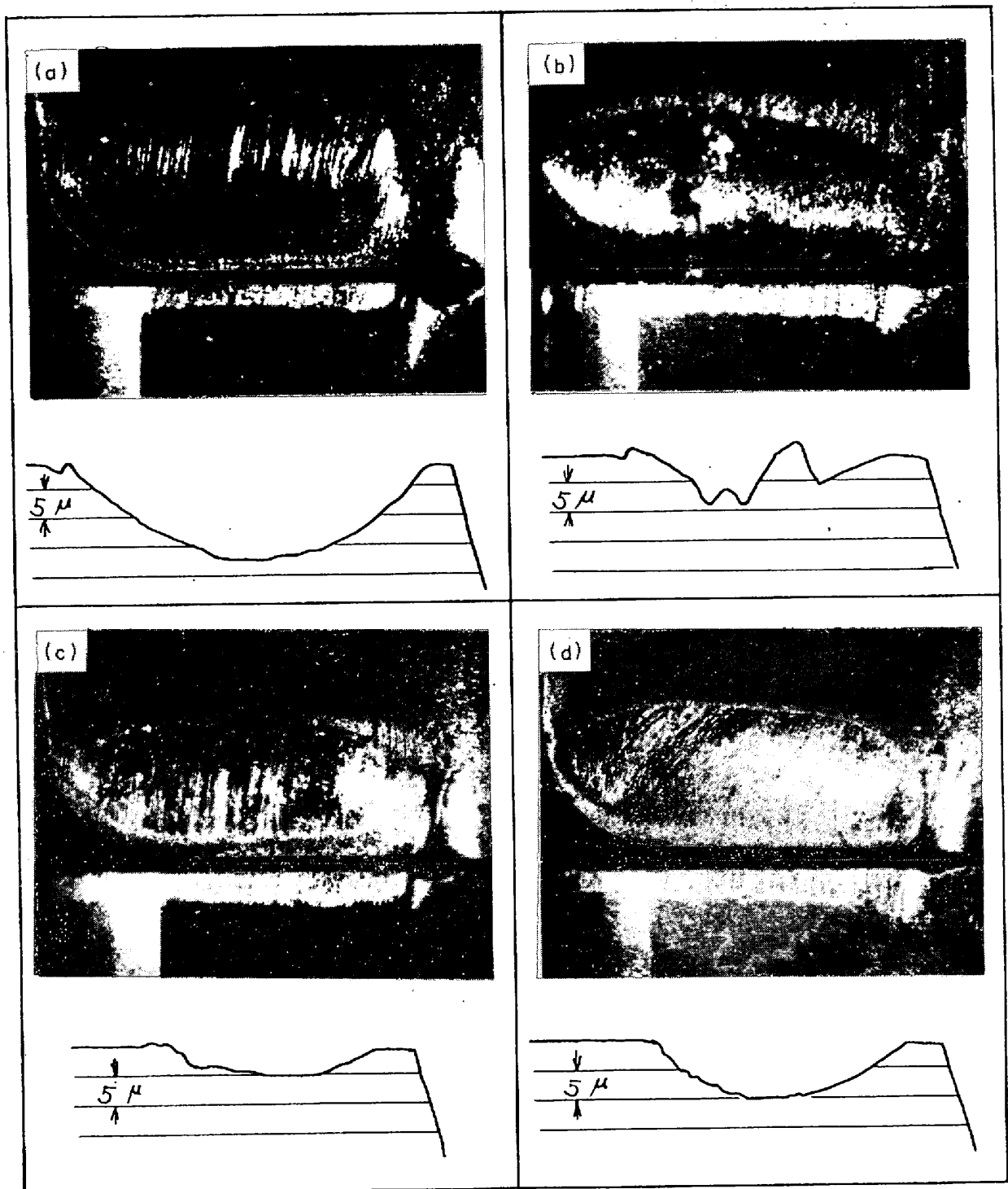
③ Ca-Si 脱酸鋼の場合は、フランク摩耗部にはなめらかな摩耗痕を生じ、切削時間が長いにもかかわらず摩耗量は僅少である。クレータ摩耗部は摩耗痕の周囲および摩耗痕中に酸化皮膜の存在が認められ、摩耗量は供試材中最も少なく、切くず接触長さも最も小さい。

④ Ca-Si+Al 脱酸鋼の場合は、フランク摩耗部には凹凸が存在するが、Fe-Si+Al 脱酸鋼に比べるとなめらかである。また、酸化皮膜の存在も認められず摩耗量が多い。クレータ摩耗部はノーズ部に薄い酸化皮膜の存在が認められるが、ほとんどの摩耗痕中には酸化皮膜が存在せず摩耗量は比較的大きい。

4.2.3 切くず中の介在物の変形と工具摩耗の関係

Ca-Si 脱酸鋼および Fe-Si 脱酸鋼に存在する A 系の Ca-Mn-シリケート および Mn-シリケートは、切くずの二次そ性流れの中で Photo. 3 に示すごとく変形する。したがって、工具表面では MnS 系介在物と同様な作用をもち、二次そ性流れの領域で内部潤滑作用をはたらい、切削抵抗を低下させる。すなわち、各種脱酸鋼を二次元切削した場合の切削抵抗は Fig. 7 に示すごとく、A 系酸化物系介在物を含む Ca-Si 脱酸鋼および Fe-Si 脱酸鋼において Al 添加鋼に比し低下することが認められる。

鋼中の介在物が切くず中で変形するものと変形しない



Cutting cond.-tool : p.20 (-5° , -5° , 5° , 5° , 15° , 15° , 0.8mm)
 Cutting speed : 210 m/min, depth of cut : 2.0mm
 Feed : 0.25 mm/r, cutting oil : non
 Cutting work and cutting time : (a) Fe-Si deoxidized steel, 85min
 (b) Fe-Si+Al deoxidized steel, 6 min
 (c) Ca-Si deoxidized steel, 25min
 (d) Ca-Si+Al deoxidized steel, 10min

Photo. 2. The state of tool wear after tested (Fig. 2).

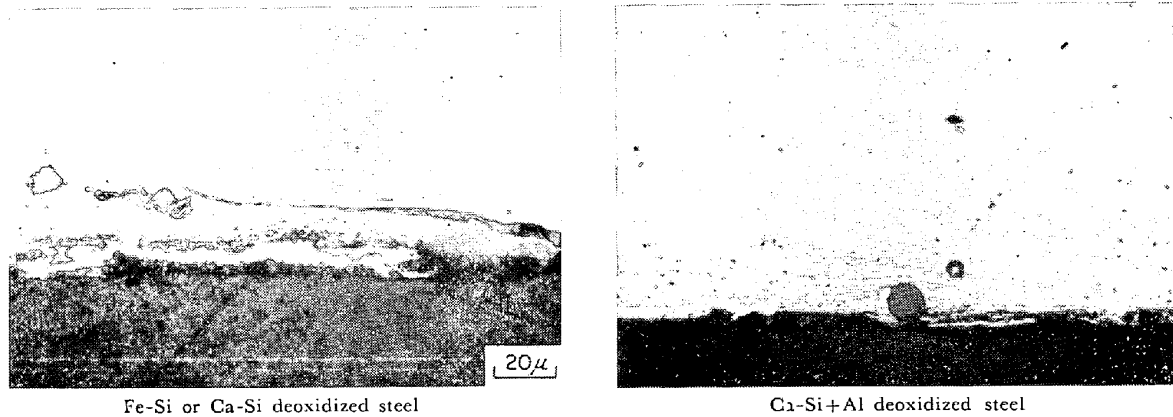


Photo. 3. The behaviour of non-metallic inclusion in cutting chip.

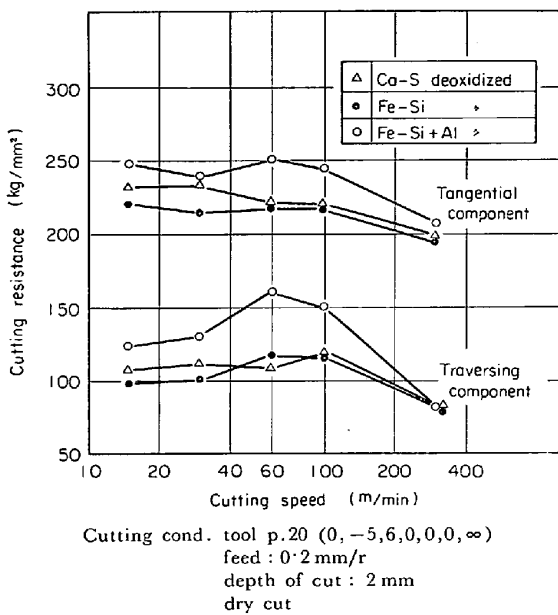


Fig. 7. The relation between cutting resistance and cutting speed.

ものがあり、それらと工具摩耗（超硬合金）におよぼす影響について考察する。

Fe-Si+Al 脱酸鋼に存在するアルミナは、いかなる切削条件で切削するも切くず中でほとんど変形せず、形状的に角ばつたものが多く、工具表面を研削する作用をもつと考えられ、工具摩耗を促進させる。また、Ca-Si+Al脱酸鋼に存在するアルミナも同様に工具摩耗を促進させる作用をもっている。

Ca-Si 脱酸および Fe-Si 脱酸鋼に存在するA系の酸化物系介在物は、切くず中で変形し、工具を研削する作用よりも潤滑作用をもち、摩耗を軽減させるものと考えられる。また、適量の Al を添加した Ca-Si 脱酸鋼に存在する Ca-Al-Si-O 系または Ca-Al-O 系の球状のC系介在物は、切くず中においても Photo. 3 に示すごとくほとんど変形しない。しかし、寿命試験結果による

と Ca-Si 脱酸鋼よりも工具摩耗が僅少である。その理由は、球状酸化物のため形状的に工具摩耗を促進させるとは考えられないこと、比較的高融点であるがアルミナの融点に比較するとはるかに低いので、高速切削域では軟化・熔融し、工具表面に酸化物皮膜を生成し、工具摩耗の進行を抑制するものと考えられる。

フランク摩耗部においても被削材との間に同様な現象が生じ、概してA系の介在物は工具の摩耗面をなめらかにし摩耗量を軽減させるが、B系のアルミナ系介在物は工具摩耗面を荒し、摩耗量を増加させる。しかし、Ca-Al-Si-O 系の球状酸化物はクレータ摩耗の場合と同様工具摩耗を軽減させる。

4.2.4 酸化物皮膜の生成機構

これらの工具摩耗面観察結果から鋼の脱酸様式の相異が、酸化物系介在物組成を変化させ、それらを含む鋼を切削すると、工具との接触部に保護皮膜を生成する位置（フランク摩耗部とクレータ摩耗部）に差を生じ、それらとの関連で工具摩耗形態に差を生じたものと考えられる。すなわち、工具表面の切削温度と鋼中の酸化物系介在物の融点などの物理的性質とがお互いに関係あるものと思われる。一般に、切削中の工具刃先部の温度は、フランク摩耗部よりもクレータ摩耗部のほうが高いことから、酸化物系介在物の融点があまりに低すぎると高速切削による切削温度の上昇で、工具表面で熔融状態となり、あたかも鉛快削鋼中の鉛粒の作用と等しくなり、Fig. 7 に示したごとく、切削抵抗を低下させるが、工具表面で酸化物皮膜を生成させずクレータ摩耗を促進させるものと考えられる。

鋼中の酸化物系介在物と切削条件との関連性は Fe-Si 脱酸鋼に存在する比較的低融点の酸化物系介在物は、切削温度の低いフランク摩耗部で酸化物皮膜の生成を促進し、フランク摩耗を軽減させるが、すくい面では完全熔融状態となり酸化物皮膜を生成させず、クレータ摩耗を

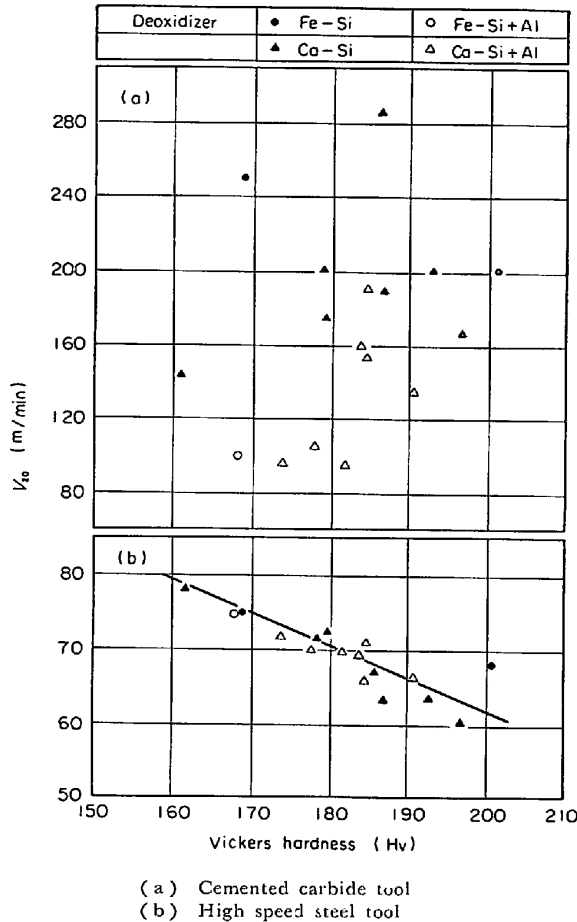


Fig. 8. The relation between V_{20} and hardness of cutting material.

増加させる。一方、Ca-Si+Al脱酸鋼に存在する比較的高融点の酸化物は、フランク摩耗部では軟化も起こらず研磨粒として作用し、摩耗を増加させるが、クレータ摩耗部では軟化・溶融し酸化物皮膜を生じ、工具摩耗を軽減させる。

と考えられる。

4.2.5 工具寿命におよぼす被削材かたさの影響

一般に、工具寿命は被削材のかたさの影響をうけることが大きいといわれており、切削困難な材料は軟化・焼なまし処理などを施して切削を容易にする場合がある。そこで被削材のかたさと工具寿命(20 minの工具寿命を与える切削速度 V_{20})との関係を本試験に用いた被削材以外の結果について Fig. 8 に示す。(a)は各種脱酸鋼を超合金工具(P20)で切削した場合のフランク摩耗基準($V_B=0.2$ mm)の V_{20} と被削材のかたさとの関係を示し、(b)は高速度鋼工具で切削し、工具寿命基準に切削不能となるまでの切削時間をとった場合の V_{20} と被削材かたさとの関係を示す。

超合金工具の場合には、工具寿命は被削材のかたさにほとんど関係なく、Al を添加することによつて劣化

する傾向が認められる。

高速度鋼工具の場合には、被削材のかたさが低いほど工具寿命は長く、かたさに左右されるが、Al の添加および脱酸法の影響はほとんどない。

このように Ca 脱酸鋼は、超合金工具(P20)の寿命を延長させるが、高速度鋼工具(SKH4A)の寿命を改善させない理由として

① 高速度鋼工具による切削では、切削速度が低いため被削材の酸化物系介在物が軟化・溶融しない。

② 高速度鋼工具のかたさは、酸化物系介在物のそれに比しかなり低いので、被削材中の酸化物系介在物の種類(組成)に関係なく、すべて研磨粒として作用する。

③ 高速度鋼工具の軟化点は、酸化物系介在物の軟化点よりも低い。

ことがあげられる。

5. 結 言

鋼の被削性について Ca 脱酸を中心とした各種脱酸法と工具寿命の関係を旋盤の長手切削による工具寿命試験を超合金 P20 工具と高速度鋼 SKH4A 工具でおこない、次の知見を得た。

1) 工具寿命におよぼす鋼の脱酸法の影響は、超合金工具の場合、その影響力が大きく、高速度鋼工具の場合はほとんどその影響をうけない。

超合金工具の場合には、Ca-Si 脱酸法の優位性が認められ、また、Ca-Si 脱酸は少量の Al を添加する方が工具寿命を延長させる。

高速度鋼工具の場合には、被削材の脱酸法よりもかたさの影響が強く、かたさの高いほど工具寿命は短い。

2) Fe-Si 脱酸鋼を超合金工具で切削する場合にはフランク摩耗を軽減させ、Ca-Si 脱酸鋼と同程度の工具寿命が得られているが、高速切削時のクレータ摩耗は増加し、Ca-Si 脱酸鋼よりも劣っている。

3) 超合金工具の摩耗は、被削材中の介在物と切削条件との相互作用で定まると考えられる。比較的低融点の酸化物介在物は、高速切削域のすくい面で溶融し、酸化物皮膜が、有効に作用せずクレータ摩耗を増加させるが、にげ面では切削温度が低いため軟化溶融し、酸化物皮膜を生じる場合もありフランク摩耗を軽減させる。

比較的高融点の酸化物系介在物は、高速切削域においても、にげ面では軟化・溶融せず、介在物が研磨粒として作用し、摩耗を促進させるが、すくい面では切削温度が高いため軟化・溶融し、酸化物皮膜を生成させクレータ摩耗を軽減させる。

以上、各種脱酸鋼の被削性を工具寿命試験結果から検

討し、超硬合金工具 (P20) では鋼中の酸化物系介在物の組成に負うところが大きく、Ca 系酸化物介在物は工具寿命を延長させるが、高速度鋼工具 (SKH4A) では酸化物系介在物はすべて工具寿命を劣化させ、むしろ被削材のかたさに負うところが大きい。したがって、被削性の問題は、被削材、工具材種、切削条件および切削様式などとの関連で検討されるべきものである。本稿は、超硬合金工具として P20 を高速度鋼工具として SKH4A を使用したにすぎないが、それぞれの工具材種の中においてもその成分が異なれば、違った結果をもたらすかもしれない。さらに詳細な検討がなされなければならないと考える。

おわりに、本研究をおこなうにあたり、終始ご指導およびご協力を賜った住友金属工業・中央技術研究所の住友所長、三好研究所次長、白岩主任研究員、武田主任研究員ならびに藤野研究員に深じんの謝意を表す。

文 献

- 1) T. M. GARVEY: Met. Soc. Cont. AIME, 26 (1964), p. 99
- 2) A. WICHER and R. PAPE: Stahl u. Eisen, 87 (1967), p. 1169
- 3) A. WICHER and R. PAPE: Stahl u. Eisen, 87 (1967), p. 1262
- 4) 精機学会切削性分科会: 精密機械, 34 (1968), p. 680
- 5) 精機学会切削性分科会: 精密機械, 35 (1969), p. 169
- 6) 精機学会切削性分科会: 精密機械, 35 (1969), p. 227
- 7) 鳴滝ほか: 鉄と鋼, 56 (1970) 3, p. 391
- 8) 武田ほか: 昭和44年度精機学会春季大会前刷, (昭44-4) p. 211
- 9) 武田ほか: 鉄と鋼, 55 (1969) 11, p. 239
- 10) 奥島ほか: 精密機械, 34 (1968) 7, p. 478
- 11) 白岩ほか: 金属学会秋期大会シンポジウム講演予稿, (1969) 10, p. 85