

討14

鉄鋼の被削性に及ぼす脱酸法の影響について

㈱神戸製鋼所 中央研究所 成田貴一，藤田 達，○山口喜弘  
 牧野武久，萩原康禎  
 鉄鋼事業部開発部 金田次雄，柳 義親  
 神戸製鉄所 山上 徹

1. 緒言

鉄鋼の被削性に及ぼす脱酸法の影響に関しては古くから研究がなされているが、今日でも重要な究明すべき問題として存在している。この問題は切削挙動の観点からは高速度鋼工具による切削と超硬工具による切削を大別して考えるのが妥当であると考えられる。

著者らはこの問題に関して一連の研究を続けているが、本報告は前記の事項に関連してすでに報告した研究結果にいくつかの知見をつけ加えてまとめたもので、主として低炭素系硫黄快削鋼と中炭素鋼を対象として、被削性に及ぼす脱酸法の影響を論じている。

2. 高速度鋼工具による切削時の被削性

2.1. 低炭素含硫黄快削鋼

低炭素系硫黄快削鋼を高速度鋼工具で切削する場合にその被削性が脱酸法の影響を強く受けることは古くから知られており、脱酸による鋼中に残留する酸化物および硫化物の変化との対応として論じられている。

図1は0.10% C，0.20% Sを含み、更にPb, Bi, Te, Se, P, N等を2次的に単独あるいは複合して添加した小形溶製の快削鋼を高速度鋼で切削した場合の工具寿命に及ぼす切削温度T(°K)と鋼中のSiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の影響を示している<sup>1)</sup>。図よりSiO<sub>2</sub>やAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のような硬質の酸化物が高速度鋼工具の機械的摩耗を促していること、酸化物量がほとんど同じ快削鋼では工具摩耗は同じ熱活性過程に支配されていることが推測される。この場合、Pb, Bi, Teは切削温度を低下させ、Nは上昇させることが認められている。図2は各種複合快削鋼を図1と同じ切削条件で単位体積切削するに要する仕事を切削抵抗、切削比測定結果より求めたものである。図より明らかなように全体にSiキルド鋼に比し、Mn-Sキルド鋼切削時の仕事量が少し低下していること、およびPb, Te, Bi, Nの影響が前述の切削温度と傾向を同じくしていることが認められる。

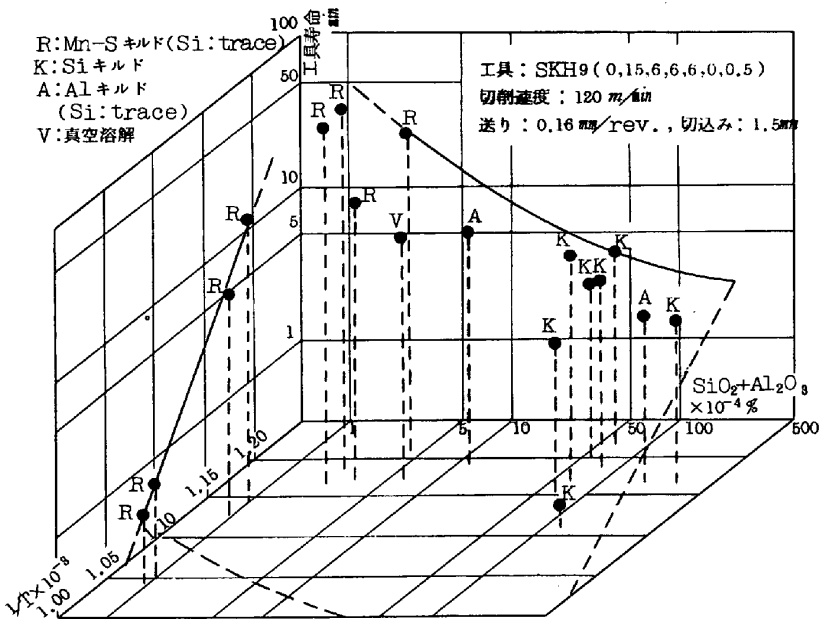


図1 低炭素含硫黄複合快削鋼切削時の工具寿命特性に及ぼす切削温度、鋼中酸化物の影響

以上の結果は2次添加元素との交互作用に関する議論は別にして低炭素含硫黄快削鋼の被削性に及ぼす脱酸の影響に関して興味深い事実を示している。すなわち、SiあるいはAlによる脱酸により鋼中にアブレッシブな作用をする酸化物が残留し、工具摩耗を促すこと、脱酸により切削温度を上昇せしめるような切削機構的变化を生じせしめることである。後者は硫化物性状変化と関連づけて考えることができ

S 662

る。従来、硫黄快削鋼の被削性に及ぼす脱酸法の影響に関しては両者の効果を分離して議論されることが少なかったように考えられる。

(1)式はCが0.06~0.18%, Si 0~0.27%, Mn 0.48~1.17%, P 0.016~0.092%, S 0.024~0.283%, ΣN 0.002~0.011%の11種の各種現場溶製鋼をSKH9工具で送り0.32mm/rev., 切込み2.0mmで旋削した場合のV<sub>30</sub>値(30分工具寿命を与える切削速度, m/min)に及ぼす化学成分の影響を多重回帰分析した結果である。

$$V_{30}(m/min) = 80.0 - 115.0Si(\%) + 62.7S(\%) - 2,672.3\Sigma N(\%) \dots\dots(1)$$

この場合各成分の寄与を直線的とみなし、交互作用は無視しているが、重相関係数は0.78で有意である。他の成分の効果はサンプル数が比較的少なかったため、有意とは認められていない。この結果は図1と傾向を同じくしている。(2)式はC 0.05~0.12%, Si 0.002~0.042%, Mn 0.79~1.12%, P 0.073~0.129%

%, S 0.226~0.344%, Pb 0~0.31%, ΣN 0.0030~0.0100%の快削鋼19チャージをSKH9工具で送り0.16mm/rev.で旋削した場合のV<sub>30</sub>値を重回帰分析した結果で重相関係数は0.62である。

$$V_{30}(m/min) = 129.5 - 475.7Si(\%) - 3,162.7\Sigma N(\%) \dots\dots(2)$$

各鋼とも高S含有のため、S, Pbの効果は有意とはなっていないが、(1)式と同様にSi, ΣN量の負の効果が認められる。特にSiの負の効果が(1)式より(2)式において顕著なのはSi量が低い範囲でその寄与が大きいことを示している。一般にSi量が大きければ硫化物は熱間加工時に延伸されやすいことが知られており、これらの実験においても同様であるが、前述のように硫化物は性状変化と酸化物との両者を考慮すべきである。いっぽう、C, Si量が低く、硫化物が比較的丸味を帯びている高P, 高S快削鋼10チャージについては特に工具寿命に及ぼすガス成分の影響に着目して回帰分析を行ない、(3)式を得た。

$$V_{30}(m/min) = 152.5 - 218.6\Sigma O(\%) - 5,398.1\Sigma N(\%) \dots\dots(3)$$

重相関係数は0.91である。この領域でのΣO量の負の効果については十分な説明は現状では与えられないが、MnOあるいはFeO系の酸化物も機械的摩耗を促がすゆるい効果を有する可能性もある。

2.2. 中炭素鋼

低炭素含硫黄快削鋼では脱酸はアブレッシブな作用をする酸化物を鋼中に残留させること、硫化物性状に変化を与え、切削温度に影響を与えるような切削機構的变化を生じさせることが認められるが、中炭素鋼では通常の脱酸方式(いわゆるCa脱酸を含む)の範囲では高速度鋼工具による切削時の工具寿命特性に大きい影響を与えないようである。図3は中炭素鋼でSを0.01~0.10%程度の範囲で含有し、通常脱酸およびCa脱酸を行なった計19チャージの供試鋼をSKH9工具で送り0.25mm/rev.切込み1.5mmで旋削した場合のV<sub>30</sub>値におよぼすS量およびかたさの影響を示している。この場合、回帰平面は(4)式で与えられ、重相関係数は0.875であり、脱酸法の差は有意でない。

$$V_{30}(m/min) = 145.1 - 0.617Hv + 209.2S(\%) \dots\dots(4)$$

中炭素鋼では脱酸の影響があまり認められなくなるのは、マトリックス中のパーライト割合が大になり、酸化物のアブレッシブな作用の相対的な寄与が小さくなること、低炭素含硫黄快削鋼に比し、切削速度が低く、工具面上を切くずが通過する距離が重要な意味を有する機械的摩耗の寄与が小さくなること等によると考えられる。

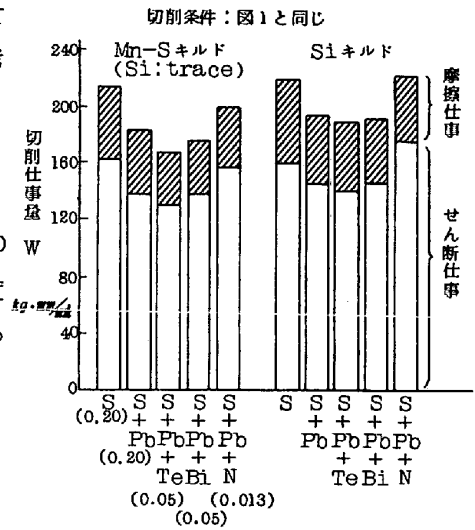


図2 各種複合快削鋼単位体積切削するに要する仕事量

3. 超硬工具による切削時の被削性

高速度鋼工具による鉄鋼材料の切削に際しては鋼中の残留脱酸生成物は有害な影響を与えることが多いが、超硬工具による切削においては残留脱酸生成物調整によって飛躍的に工具寿命特性を改善しうることが知られ、Ca脱酸快削鋼として我国でも工業化が進められている。

図4は各種脱酸を行なった中炭素鋼を超硬P10工具で切削した場合のV-T線図の例を示す。図においてFe-Si合金およびAlで脱酸した鋼は通常鋼の代表としてあげている。Ca-Si合金で脱酸したD鋼はAlを微量添加し、鋼中の酸素量も低く調整している。E鋼はD鋼より酸素水準を少し高くしている。F鋼はD、E鋼に比しCa添加量が少ないCa-Si-Fe合金で脱酸した鋼である。通常脱酸鋼Bはクレータ摩耗 $K_T$ ならびににげ面摩耗 $V_B$ 基準とも工具寿命特性は劣っており、いっぽう、D、E鋼はともに両寿命基準において工具寿命特性はすぐれている。F鋼はにげ面摩耗基準ではかなり工具寿命はすぐれているが、クレータ摩耗基準では通常脱酸鋼と大差はない。

このような各種脱酸鋼を超硬工具で切削する場合の工具寿命特性の変化は切削中に工具面上に生成する酸化物層によるものであり、その酸化物層の生成に鋼中の残留脱酸生成物に起因することはほぼ定説になっているが、酸化物層生成、ならびに工具摩耗抑制機構についてはいまだ不明の点が多い。

図5は前記B、D、E、Fの各鋼を超硬P10工具で50~350 m/min 切削速度領域で500 m 切削した際の工具すくい面ならびににげ面に生成した酸化物層の最大厚さを測定した結果である。図より明らかなように、Ca-Si脱酸鋼Eを切削するに際しては広範な速度域ですくい面、にげ面ともに酸化物の成長が認められ、Ca-Si-Fe合金脱酸鋼Fの場合はにげ面に酸化物層が明りように認められるが、すくい面には酸化物層が成長しにくく、通常脱酸鋼Bではすくい面、にげ面ともに酸化物層が生成しないようであり、これら3種の鋼に限って議論す

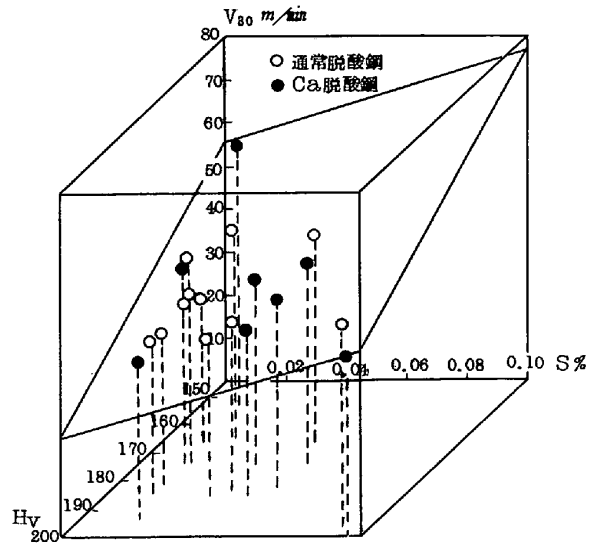


図3 各種脱酸を行なった中炭素鋼切削時の高速度鋼工具寿命特性に及ぼすS量、かたさの影響

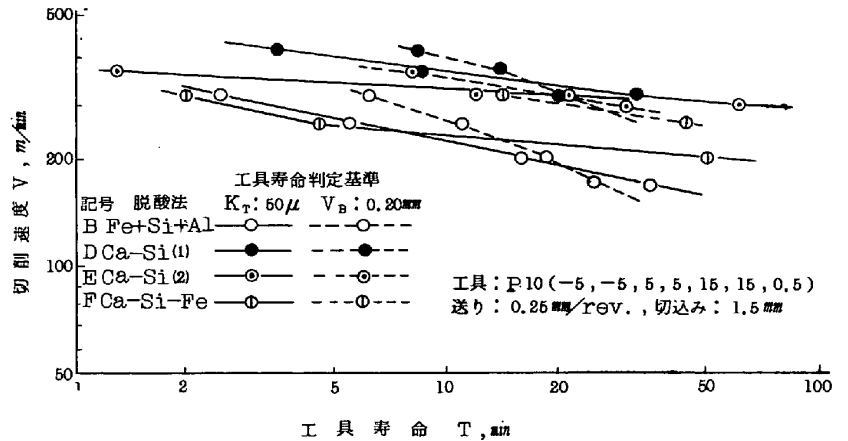


図4 各種脱酸を行なった中炭素鋼を超硬工具で切削した場合のV-T線図の例

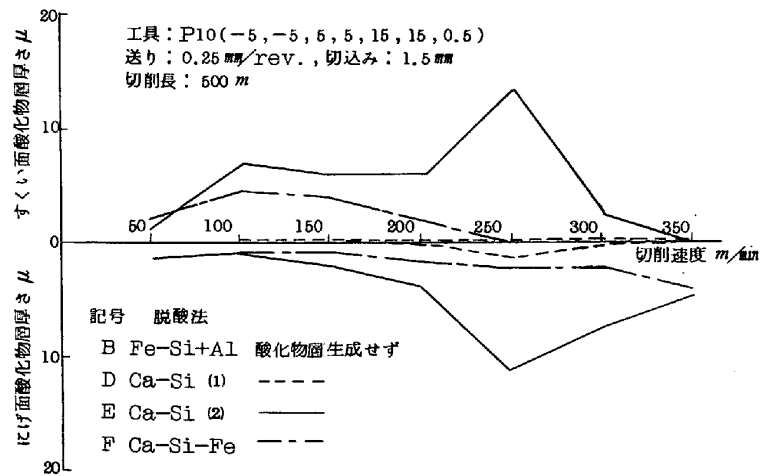


図5 各種脱酸鋼切削時の酸化物層生成状況

る場合は工具面上の酸化物層の成長状況と工具摩耗の抑制程度とはかなりよい対応があると考えられる。しかし、酸素量を低く調整したCa-Si脱酸鋼Dを切削する場合には工具面上の酸化物層の顕著な成長は認められないにもかかわらず、かなり効果的に工具摩耗が抑制されており、顕著な工具面上酸化物層の成長がかならずしも工具摩耗抑制のための必要にして十分な条件ではないことが推測される。

以上の各鋼切削時の工具面上酸化物はE、F鋼ではAl-Ca-Si-Mn-O系の組成を有しており、D鋼ではAl-Ca-O系の組成を有している。また、工具摩耗進行速度の大きい通常脱酸鋼ではFeの凝着が顕著であることがE P M Aにより確認されている。いっぽう、鋼中酸化物は通常脱酸鋼では $Al_2O_3$ が主体となっており、D鋼では $Al_2O_3$ の他に $6Al_2O_3 \cdot CaO$ に近い組成のcalcium-aluminate、圧延方向によく伸びたCa-Al-Fe-O系酸化物が認められている。E、F鋼は $SiO_2$ 、CaO系介在物が多く、特にF鋼では $Al_2O_3$ が少なく、両鋼ではAl-Ca-Si-Mn-O系複酸化物が認められている。工具面上酸化物層組成と鋼中酸化物とのある程度の対応は認められるが、定量的議論をするにはいたっていない。しかし、クレータ摩耗抑制には $Al_2O_3$ とCaOを含む複酸化物の存在が有利であること、にげ面摩耗抑制にはより低融点側の複酸化物が好ましいことが推測される。このことは図5において各種脱酸鋼切削時にすくい面よりにげ面においてより高切削速度側で酸化物層が安定しやすい傾向があることから十分考えることである。通常鋼の範囲では $Al_2O_3$ の存在そのものがにげ面摩耗を促進するという議論はかならずしも成立しないようで、むしろ $Al_2O_3$ を多く鋼中に残留させるような脱酸に際しては工具摩耗を抑制させる働きを有する複酸化物を存在しにくくする機会が多いというべきであって、 $Al_2O_3$ がある程度存在しても必要限度以上の好ましい複酸化物を残留しうるように脱酸を調整すればすくい面、にげ面ともD鋼のように工具摩耗を抑制しうると考えられる。Königは切くず裏面に存在して工具刃面と接触する酸化物のうち数%が酸化物層生成に寄与するにすぎないと述べているのは以上の点と関連して興味深い。

図6は酸化物層の生成しやすいE鋼をP10工具で $200\text{ m/min}$ で2分間切削して酸化物層を成長させ、その後酸化物層の生じない通常脱酸鋼Bで30秒切削した場合の工具のプロフィールである。酸化物層は完全に消失していることが認められる。酸化物層そのものは定常的に存在しうるものではなく、部分的に工具一切くず間を付着、離脱を繰り返しており、付着ならびに離脱速度の差が見かけ上の酸化物層成長速度を支配していることを示唆しており、酸化物層成長の機構を考える上で十分考慮すべきであると考えられる。

#### 4. 結 言

鉄鋼の被削性に及ぼす脱酸法の影響は非常に重要な問題であるが、一方、鋼中の介在物が組成、形態量とも統計的分布をなしており、切削そのものも複雑な過程であり、その対応を論ずることは容易ではない。本報は一連の研究の中途段階の報告であり、究明すべき点も多く残されているが、何らかの参考になればさいわいである。なお本研究は神戸大学工学部鳴滝良之助教授、岩田一明助教授の御指導、御協力をいただいたことを付言し、深湛の謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 鳴滝, 岩田, 山本, 山口, 精密機械
- 2) 鳴滝, 岩田, 山本, 山口, 鉄と鋼, 56-3(1970), P.391 他

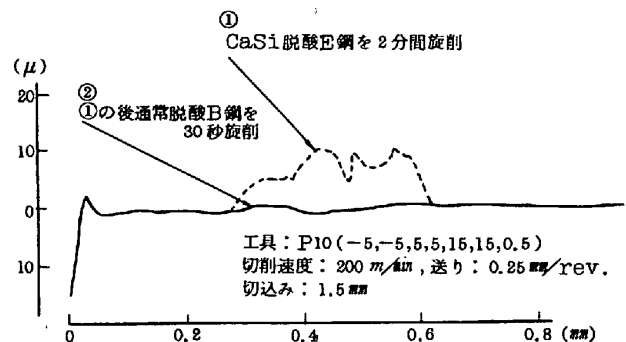


図6 工具面上酸化物層の挙動