

討13 鋼中の快削性元素の効果に関する機構的解釈

大同製鋼 中央研究所 工博 伊藤哲朗

1. まえがき

現在量産されている快削鋼の快削性元素にはS, Pb, Te およびCaがある。これ等の快削鋼の被削性については多くの研究があるが快削性元素の鋼中での存在形態や組成と切削機構の関係をとりあげた研究は少なく、不明な点が多い。しかしながら新しい快削鋼の開発などにはこの方面の研究が必要である。

2. 快削性元素の組成と形態

現存の快削性元素はいずれもFeにほとんど固溶せず、鋼中に介在物の形で存在する。以下主としてS, Pb およびCaについてのべる。Sは鋼中でわずかにFeを固溶したMnSとして介在する。図1は鍛造比20に圧延したS快削鋼SUM1Bの硫化物の形状、大きさおよび分布の平均的状态で、硫化物は短径2μ, 長径12μ, それぞれ18μ間隔に分布する。このS快削鋼にTeを添加すると硫化物は著しく丸味をおびる。写真1はTe添加の例で、硫化物の長短径比はほぼ1/2になる。Pbは単独のPb粒としてあるいは硫化物の周囲に附着して存在する。図2はPbの平均的存在状态で、直径1.33μの球状のものと短径1.7μ, 長径16μの他の介在物と共存する紡錘形のものがあり、前者3ヶ、後者1ヶが66μ間隔に分布する。このPbに似た元素はBiでその鋼中での形態はPbと同様である。写真2は一般のCa快削鋼のCa介在物の例で、その組成はCaO・Al₂O₃・SiO₂からなり、直径15μの球状をなし、それぞれがほぼ1.2mm間隔に分布する。写真3は別のCa快削鋼の例で、組成は前者に似ているが形状はJISでいうA₂系である。以上快削性介在物の組成および形態をのべたが、被削性と関係の深いそれ等の高温における弾性係数やかたさ等の性質はほとんど知られていない。

3. 快削性介在物と切削機構

切削機構は被削材の諸性質、快削性介在物の組成や形態と関係し、他方、工具寿命、仕上面あらさなどいわゆる被削性となつたり、快削性元素と被削性をむすびつける媒体となる。この機構を考えるうえで、

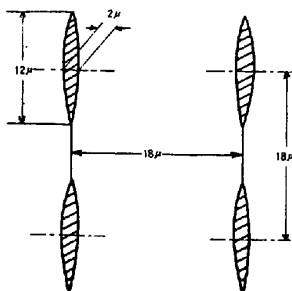


図1. 硫黄快削鋼中の硫化物の標準的分布および寸法 (圧延材)

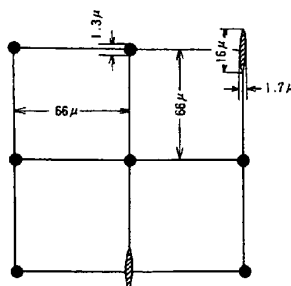


図2. 鉛快削鋼中のPbの標準的分布および寸法

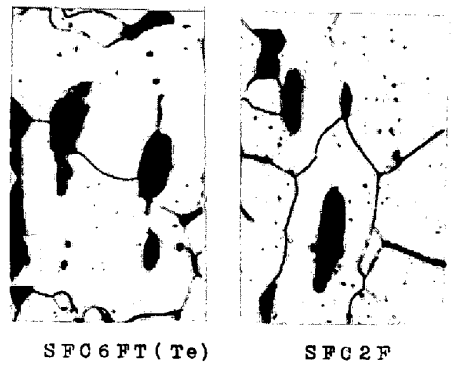


写真1. Te有無による介在物形態の比較 (X400)

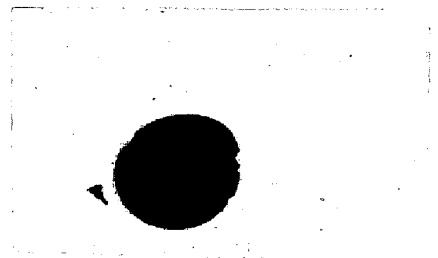


写真2. Ca快削鋼中にみられるCa介在物 (X600)



写真3. Ca快削鋼中にみられるCa介在物 (X600)

被削材を工具が切くずにする仕事と切くずを排出するための仕事に分けることが便利である。これ等の仕事はその大部分が熱にかわり、工具、切くずおよび被削材に種々の影響を与える。以下、単一せん断面切削理論を用いて検討する。

3.1 切削せん断面せん断仕事：図3は切削せん断面附近の状態をしめし、被削材は切削せん断面に沿つてせん断ひずみ (τ_s) と圧縮応力 (σ_s) を生じ、応力が降伏せん断応力 (τ_s) に達すると切くずになる。

1) 快削性介在物の一般的な効果：快削性介在物は応力の集中、ひずみあるいは亀裂伝播の促進、内部潤滑効果などをしめす。切削のようなひずみ量の大きな変形の場合の介在物の応力集中効果はあきらかでないが弾性範囲内では介在物の形状、大きさ、分布、弾性係数、熱膨張係数、および生地との密着の程度に左右される。Pb, Sおよび球状のCa介在物の応力集中率はいずれもほぼ2であり、分布密度を考慮した応力断面の平均応力の上昇割合はSの場合4%, Pbは0.2%, Caは0.05%程度である。一般にせん断面でのせん断は介在物をぬつて行われる。⁽¹⁾⁽²⁾

Pb 快削鋼のシャルピー衝撃試験における亀裂発生に要するエネルギーは基本の鋼のそれと等しく、伝播に要するエネルギーは基本の鋼のその60%程度である。なお、Pb粒は切削温度により溶融し、亀裂内に浸入してその再接着を妨げ一層伝播を促進する。⁽³⁾⁽⁴⁾ 硫化物の場合浸潤効果はないが介在物の分布密度が大きいので亀裂伝播に要するエネルギーはPbのそれよりやや小さい。

Ca介在物はその絶対量がすくないので亀裂の伝播状況は基本の鋼とかわらない。つぎに内部潤滑効果であるが、Pb快削鋼の内部摩擦係数は基本の鋼のその1/2, S快削鋼のそれは1/5程度と考えられる。なお、Ca快削鋼の場合は基本の鋼とかわらない。

2) 切削せん断面応力状態におよぼす効果：図4はS, Pbおよびその複合快削鋼と基本の鋼の焼ならしあるいは焼なましかたさと降伏せん断応力の関係で、いずれの快削鋼の降伏せん断応力も基本の鋼のそれとかわらずかたさと比例関係にある。⁽⁵⁾⁽⁶⁾ この傾向はCa快削鋼も同様である。なお、切削せん断面圧縮応力は快削性介在物の有無、種類にかかわらず工具すくい面の応力状態に強く支配される。図5はCa系を除く快削鋼の切削せん断面せん断ひずみと基本の鋼のそれとの関係

で、快削鋼のせん断ひずみは基本の鋼のそれより小さい。図6はCa快削鋼のせん断ひずみと基本の鋼のそれを比較した結果で、この場合介在物の存在状態が基本の鋼のそれとかわらないので、せん断ひずみもかわらない。

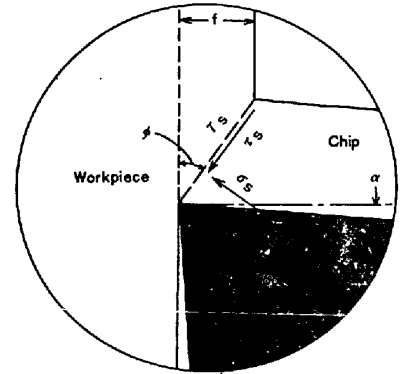


図3. 切削せん断面附近の応力状態

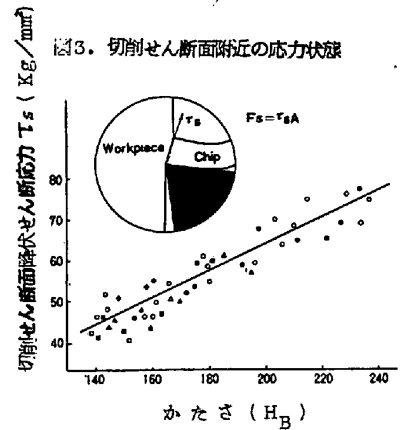


図4. かたさとせん断面降伏せん断応力との関係

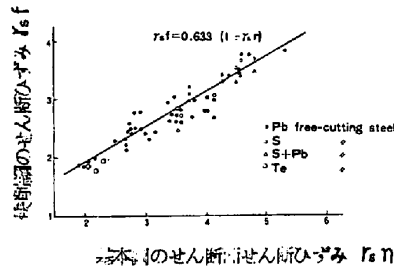


図5. 切削せん断面における各種快削鋼と基本鋼のせん断ひずみの関係

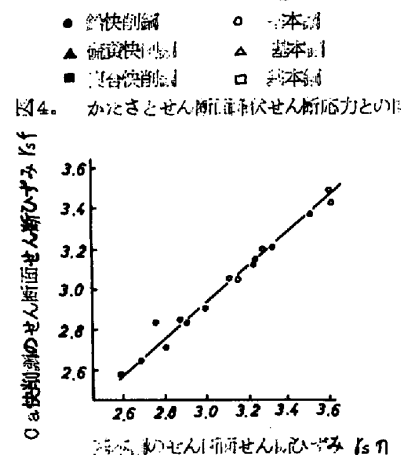


図6. Ca快削鋼のせん断ひずみ

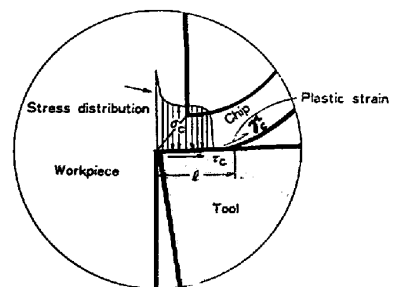


図7. 工具すくい面の応力状態

3.2 工具すくい面摩擦仕事；切くずはその新鮮な金属面で工具すくい面上を高温、高圧で擦過し、工具面に凝着し、また切くず内に塑性ひずみを生ずる。図7は工具すくい面上の応力状態をしめし、切くずは工具すくい面に圧縮応力(σ_c)、摩擦応力(τ_c)を、切くず内部に二次せん断ひずみ(γ_c)を生じる。快削性介在物は工具すくい面にそのままあるいは軟化溶融状態で接触し、切くずとの間の減摩作用、凝着および成分の相互拡散の防止を行うなど、おもに介在物の組成に關係する効果と切くず内部の塑性ひずみを局所化する効果がある。一般に硫化物は減摩効果をしめさないといわれている⁽⁷⁾しかしこの介在物は大きく分布密度も大きいので介在物そのものが工具すくい面を履い、切くずと工具の直接接触を妨げ凝着を減ずるものと考えられる。Pb粒は常温で減摩作用するとともに300°0をこえれば溶融してさらに効果を強める。Ca介在物は超硬工具による高速切削では軟化溶融して潤滑効果を生ずる。これ等の快削性介在物の二次せん断ひずみにおよぼす効果はほぼ切削せん断面せん断ひずみにおよぼす効果と等しい。図8はPb快削鋼と基本の鋼の工具すくい面圧縮応力と切削せん断面せん断ひずみの關係で、Pbの有無にかゝらずすくい面圧縮応力はせん断面せん断ひずみに支配される。この傾向はS快削鋼も同様である。しかしながらCa快削鋼のすくい面圧縮応力は切削せん断面せん断ひずみの大きさに關係なくほぼ一定値をしめす。図9はPb快削鋼の工具すくい面摩擦応力と基本の鋼のそれとの關係で、Pb快削鋼の摩擦応力は基本の鋼のそれの85%である。これに対しS快削鋼の摩擦応力は切削せん断面せん断ひずみが大きい場合、基本の鋼のそれより小さくなる。これは硫化物が潤滑性を持たないことをしめすものと考えられる。図10はCa快削鋼の摩擦応力と基本の鋼のそれを比較した結果で、Ca快削鋼の摩擦応力は切削条件にかゝらず基本の鋼のそれの1/2程度である。写真4はPbおよびCa快削鋼とそれぞれの基本の鋼の切くずの塑性流れを観察した結果で、一般にPb快削鋼の二次せん断ひずみは基本の鋼のそれの70%、Ca快削鋼のそれは45%である。

3.3 切削温度

切削温度は切削せん断面せん断仕事と工具すくい面摩擦仕事の大部分が熱にかわり、その一部が工具すくい面の温度を高めることによつて生じ、工具寿命および仕上面あらさを強く支配する⁽⁸⁾。一般にSおよびPb快削鋼の切削温度は基本の鋼のそれの90%になり、その値は切削仕事から理論計算により求めた値とよく一致する。しかしながら図11にしめすようにPb快削鋼の切削温度は送りが著しく小さくなると理論値より高くなる。この原因は工具をPbが腐食する際の化学

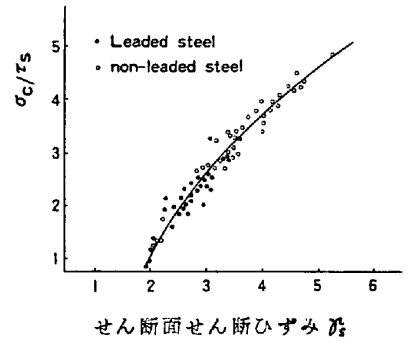


図8. 鉛快削鋼と基本鋼の γ_c と σ_c/τ_c の關係

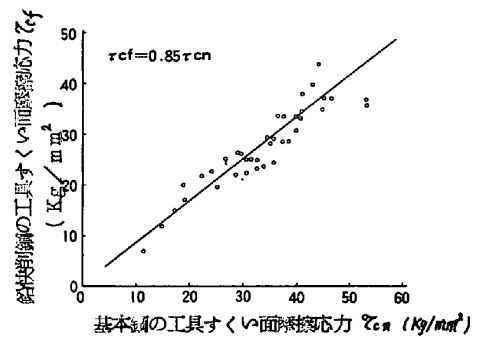


図9. 鉛快削鋼の二次せん断力と基本鋼のそれとの關係

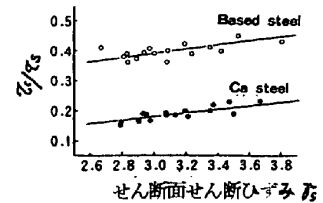


図10. Ca快削鋼および基本鋼のせん断面せん断ひずみと工具すくい面摩擦応力の關係

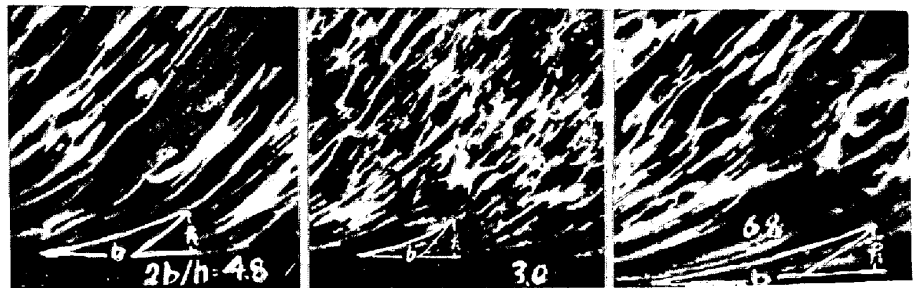


写真4. 各種快削鋼の切くず塑性流れ状態 (×300)

的発熱がつけ加わるため、この領域におけるPb快削鋼の工具寿命は著しくみぢかくなる。なお0a快削鋼の切削温度は基本の鋼のそれの80%程度である。

3.4 切くずのカール：

切くずのカール(内半径： ρ_c)の状態はその破砕性と強い関係がある。こゝで送りを f 、工具切くず接触長さを l 、切くず排出角を θ とし、工具すくい角を 0° とすると、 $\rho_c = f \left\{ \left(\frac{l}{f} \right) - 1 \right\} \sec \theta^{(1)}$ となり、切くずのカール半径は送りを一定とすれば、工具切くず接触長さがみぢかく、排出角が小さいほど小さくなる。この工具切くず接触長さ、排出角ともに介在物の応力集中による切削せん断面せん断ひずみが小さいほど小さくなる。図12は0a快削鋼を除く快削鋼の工具切くず接触長さと基本の鋼のそれとの関係で、前者の工具切くず接触長さは後者のそれより小さいのでその ρ_c は小さくなる。なお、Pb快削鋼の切くずカールの挙動は前述の理論的關係のみでは説明出来ない要素を持っている。0a快削鋼の工具切くず接触長さは基本の鋼のそれより長く、切削せん断面せん断ひずみも小さくないので、その切くずのカール半径は基本の鋼のそれとかわらない。

4. あとがき

代表的な快削鋼の快削性元素の切削機構におよぼす効果について述べた。まだ各々の快削性元素の諸性質がわかつていないので充分な結びつけは全く出来なかつたが、若干でも参考になれば幸いである。

参考文献

- (1) M. O. Shaw : Appl. Phys. J., 21. (1960). 6
- (2) N. H. Cook et al : Trans. ASME, 76 (1954). 2
- (3) 中島 : 鉄と鋼. 45 (1959) 9および46 (1960) 9
- (4) 臼井 : 機械試験所報告 No.43, (1961)
- (5) 深谷訳 : 機械の研究, 10 (1958) 6
- (6) 依田 : 精密機械, 32 (1960) 1
- (7) 臼井 : 前出(4)
- (8) E. F. Ling et al : Trans. ASME, 78 (1956) 6
- (9) 竹山 : 機械試験所報告 No.31, (1959)

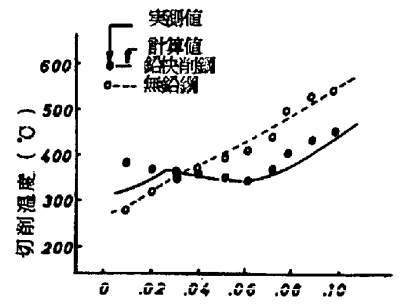


図11. 超快削鋼および硫黄快削鋼の送りと計算および実測切削温度の關係

被削材 : SFC3F SUM1B
 工具 : P10 3 3-0.
 0, 9, 7, 7, 10, 0, 0
 切込み : 0.5 mm
 切削速度 : 110m/min
 切削油 : なし

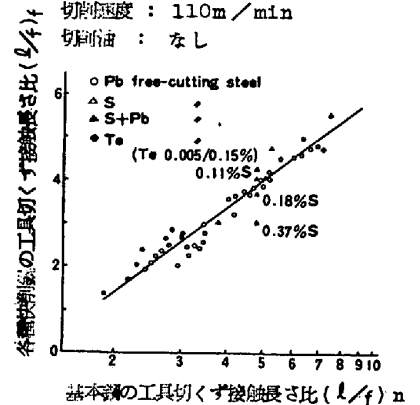


図12. 各種快削鋼の工具切くず接触長さ比と基本鋼のそれの關係