

論 文

高炭素クロム軸受鋼の被削性および加工表面層におよぼす
S, Se および Te の影響*

貴 志 浩 三**・江 田 弘***

The Effect of S, Se and Te on Machinability and Machined
Surface Layer in High Carbon Chromium Bearing Steels

Kôzô KISHI and Hiroshi EDA

Synopsis:

The specimens used for this test were 7 steels containing free cutting additives; i. e., 0.010-0.141% S, 0.09% Se and 0.06% Te.

Tests of machinability and machined surface layer on various bearing steels were done with the orthogonal cutting and surface grinding operation.

The results obtained are as follows;

Bearing steels containing 0.141% S, 0.09% Se or 0.06% Te separately are favorable for the range in which damaged structure and residual stress distribution showed a remarkable change. And then plastic deformation of steel containing 0.06% Te is relatively small compared to the other steels.

On the other hand, machinability in the orthogonal cutting and surface grinding showed a remarkable change for cutting ratio and surface roughness in cutting, and burn mark, chatter mark, surface roughness and chip formation in grinding.

For example, each of values of cutting ratio in steels containing 0.06% Te, 0.09% Se or 0.141% S separately was nearly twice as great as that of 0.010% S steel. The value of 0.06% Te steel was the largest.

(Received Feb. 25, 1971)

1. 緒 言

製造工程に付随するような切削および研削加工に関する系統的な研究は少ない。本研究は快削性添加元素 S, Se, Teなどを単独添加した被削材の切削, 研削における被削性をこれらの両面から検討し, これによつて焼鈍材の高級精密加工をいつきに実施し, 切削, 研削加工を一度にできるような複合加工方式を製造工程に付属して設けられるような加工方法を可能ならしめるための基礎的資料を得ることを主目的とした。特にこれらの被削材の被研削性が良好で重研削が可能ならば切削工程を通らずに研削工程に直接熱間加工材を送り込むことも考えられる¹⁾。

一般に被削性は工具寿命, 切削抵抗, 切削温度および仕上面あらさなどの諸元について検討を加えこれらの数値を種々の素材について比較し, それぞれ構成因子の大小によつて表わされる。しかしこの方法で得られた被削

性が必ずしも加工性能すべてを把握していない場合もある。たとえば軸受鋼のように加工面が苛酷な使用条件にさらされ, さらに精密部品として接合面の高い精度と互換性を要求されるような場合などには加工層の残留応力や組織変化を含めてとりあげる必要がある。

また, これとは別に精密加工を行なう場合には切削加工に加えて研削加工を施す例が多いが, 被切削性のよい快削鋼が被研削性についても同様にその効果が得られ, かつ加工層についても同じ評価を与えられるかどうかである。

本報は軸受鋼として使用度の高い高炭素クロム軸受鋼を選びそれによつて S, Se, Teなどを単独添加し, 二次元切削および平面研削した場合の加工層について検討を

* 昭和45年4月本会講演大会にて発表

昭和46年2月25日受付

** 宇都宮大学工学部 工博

*** 宇都宮大学工学部

Table 1. Chemical composition of specimens.

	C	Cr	S	Si	Mn	P	Ni	Mo	Cu	Sn	Sol. Al	
No 1	0.79	1.26	0.010	0.24	0.38	0.013	0.04	0.01	0.07	0.011	0.006	
2	0.96	1.43	0.018	0.24	0.38	0.014	0.08	0.01	0.07	0.009	0.007	
3	0.96	1.37	0.037	0.25	0.38	0.012	0.06	0.02	0.08	0.012	0.010	
4	0.95	1.34	0.086	0.24	0.39	0.010	0.05	0.02	0.07	0.011	0.012	
5	0.99	1.34	0.141	0.27	0.38	0.010	0.04	0.01	0.08	0.011	0.011	
6	0.97	1.39	0.014	0.28	0.38	0.014	0.04	0.01	0.08	0.012	0.005	Se 0.09
7	0.95	1.35	0.016	0.24	0.39	0.014	0.04	0.01	0.06	0.010	0.006	Te 0.06

加えさらに快削鋼の切削および研削における適性についても被削性をあらわす構成因子の一部を実測しこれに関して吟味し検討を加えた。

2. 供試材料および実験方法

2.1 供試材料

被削材は同一の熱間加工された方向性の一様な各供試材料から切出し位置を一定にし、大きさ 15 mm□×70 mm (研削幅×高さ×研削長さ), 5 mm×50 mm×70 mm (切削幅×高さ×切削長さ) の研削および切削試験片を作製した。Table 1 に分析結果を示す。試験片は実験を行なう前に 850°C で焼準し、790°C で球状化焼鈍を施した。

2.2 実験方法および装置

二次元切削は形削盤を使用、切削速度 6~51 m/min, 切込み 25~250 μ, 工具 SKH4A, 形状 (0, 0, 6, 0, 0, 0.01), 乾式とした。平面研削はといし周速度 1800 m/min, 工作物速度 6, 20 m/min といし切込み 20, 40 μ ドレッサ送り速度 0.6 m/min, ドレッサ切込み 10 μ×2 回, といし WA46HmV, 乾式で行なつた。加工層の残留応力は X 線ひずみ計を用い照射面積 2 mm² について CrK_{α1}, CoK_{α1} を鉄 (211), (310) 面に照射しその回折線をガイガーカウンタで受け自動記録せしめ、sin² φ 法によつて求めた。ここでは最初面方位による残留応力の相違を見るために 2 つの格子面を選んだがその差は 2~3 kg/mm² であり、line broad による残留応力のバラツキもこれに比べると無視できるので、表示にさいしては鉄 (211) 面によつてあらわした。加工表面から深さ方向の残留応力は以前用いた式²⁾によつて電解研磨で除去された層の応力解放の補正をしながら算出した。

つぎに切削における切削抵抗, 切削温度, 切削比および仕上面あらさ, また研削における研削抵抗, 研削温度および仕上面あらさなどの被削性を知る構成因子の一部を実測した。切削抵抗は工具動力計 KSA-500 型を主分力, 送り分力および背分力を最大 1000 kg, 600 kg, 300 kg まで測定可能範囲となるように改造して求めた。ま

た研削抵抗は接線方向のばね定数 $K_H=450$ kg/mm, 法線研削方向のばね定数 $K_V=630$ kg/mm, 固有振動数 $f_n=850$ Hz の設計値を有するように以前示した設計方式³⁾によつて 8 角形弾性リングを利用して実測できるようにした。つぎに切削温度と研削温度の測定は工作物の加工表面下約 6.0 mm まで裏面から 2.0 mm φ の穴を放電加工によつてあけ, その穴の底に直径 0.65 mm φ 先端半径 15 μ のコンスタンタン線を板ばねを利用して 100 g/mm² の平均接触圧力で軽く接触させ, 工作物材料とコンスタンタン線により熱電対回路を構成し, 切削および研削熱による熱起電力を直流増幅した後ブラウン管オシロスコープに入れて記録した。また加工層の組織は光学顕微鏡と二段レプリカ法による電子顕微鏡によつて観察した。

3. 実験結果と考察

3.1 加工層の残留応力

S, Se, Te と機械的性質との関連はまず S の場合, 伸び, しぼり, 衝撃値を著しく減少させ, $S>0.1\%$ になると引張強さ, 降伏点に対してもその異方性が著しくなり内部切欠効果を増大させる。Se は S に比べ機械的性質の減少は少なく, 機械的異方性も軽微で組織的な劣下も少ない。Te の機械的性質への影響は非常に少なくむしろ引張強さ降伏点などは上昇する場合が多い。また微視的にはフェライト結晶粒の細粒化や整粒作用があり, 塑性流動が厳しい場合には内部潤滑作用などがあらわれる。もし炭素量の多い本実験の供試材にもこのような一連の性質や効果は何らかのかたちであらわれるものとするれば, 切削抵抗や切削温度に比例して変わる加工層の残留応力にもこれらの影響があらわれるはずである。

3.1.1 二次元切削

切削速度 20 m/min, 切込み 50 μ の加工層の残留応力分布を Fig. 1 に示す。ただしこれらの測定は切削面中央部において行ない, ○印切削方向, ●印それと同一平面で直角な方向として求めてある。No 1 材は 0.79 % C で他よりわずかに C 量を減じ, これによる影響をみ

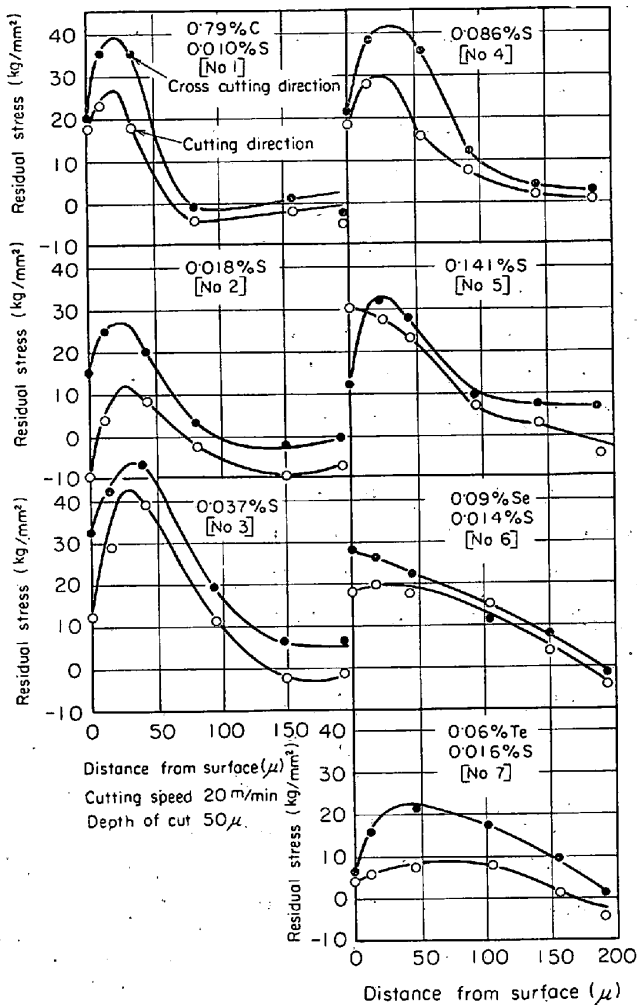


Fig. 1. Distribution of residual stress in machined surface layer of various specimen.

たがC量の多い No 2 材に比べ残留応力分布が切削表面に近い位置で著しい変化を示している。これに S を順次量を変えて添加していくと残留応力の分布深さはこれにともなうてわずかずつ増大する傾向を示し、0.141% S を含む No 5 材では約 150 μ になる。これに比べ Se, Te を含有する No 6, 7 材の残留応力の分布深さは S 量の多い材種とほぼ同程度であるが、層内に分布する残留応力の変動値は Te の入った No 7 材の場合 10~20 kg/mm², Se の入った No 6 材の場合約 10 kg/mm² 程度、共に減少している。一方、切削抵抗、切削温度に関しては Se, Te による影響がわずかにみられる程度で Fig. 2 に示す切削比のごとく Se, Te 添加によるような顕著な差はみられない。Table 2 はこのときのせん断応力である。いま、S, Se, Te 添加材のせん断面における各快削性添加元素がこの近傍においてせん断応力の変化にどのような効果を示すか、その様子を見るために次に述べるような仮定のもとに考察してみる。

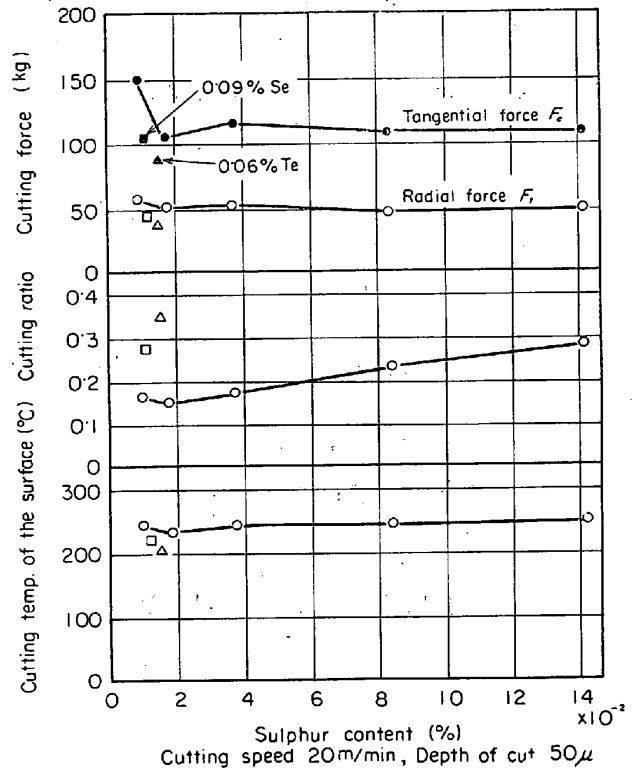


Fig. 2. Variations of cutting force, cutting ratio and cutting temperature of the surface as a function of the sulphur content.

Table 2. Shearing stress τ_s (kg/mm²).

	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7
τ_s	22.45	15.76	17.20	17.45	20.66	22.51	21.90

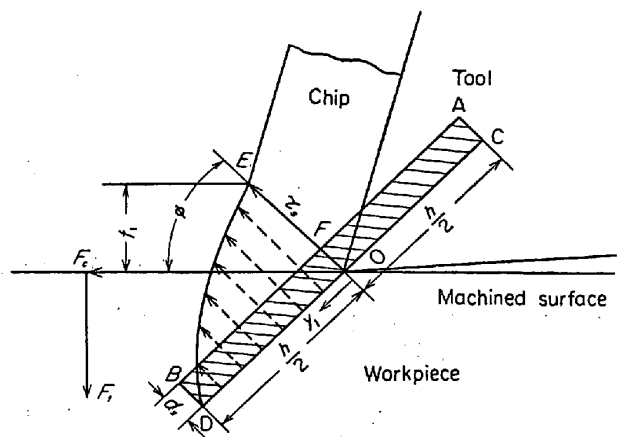


Fig. 3. A model of cutting process.

まずこのせん断応力はせん断面からはなれるにつれて漸次減少するのでこの変化の様子を Fig. 3 に示す切削模型をもとにして理論的に算出する。

この場合せん断は単一面でおこなわれるものとし、すくい面および逃げ面からの影響はないものと仮定する。すなわち図中斜線で示すようなはりを長さ dx , 高さ h ,

幅 b とし、その横断面 OF にせん断応力 τ が作用しているものとする。したがって中立軸 OE から y 方向に y_1 離れた面の曲げモーメント M による平衡方程式は

$$\tau b dx = \int_{y_1}^{h/2} \frac{(M+dM)y}{I_z} dA - \int_{y_1}^{h/2} \frac{My}{I_z} dA \quad \dots\dots\dots (1)$$

となるから

$$\tau = \frac{dM}{dx} \frac{1}{bI_z} \int_{y_1}^{h/2} y dA \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。ただし $dM/dx = F$: せん断力, $I_z = bh^3/12$: 断面二次モーメント。

式(2)の右辺は断面一次モーメント S であるから、

$$S = \int_{y_1}^{h/2} y dA = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - y_1^2 \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。

τ は $y_1 = 0$ で最大値 $\tau_{max} = 3F/2bh$ をとるから

$$\begin{aligned} \tau_{max} &= \frac{3F}{2bh} = \frac{F_c \cos \phi - F_t \sin \phi}{bt_1} \sin \phi \\ &= \frac{F}{bt_1} \sin \phi \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

なる関係から h が求められる。

$$h = \frac{3}{2} \frac{t_1}{\sin \phi} \quad \dots\dots\dots (5)$$

したがって式(2)に式(3), (5)を代入してせん断応力 τ を求めれば

$$\tau = \frac{F_c \cos \phi - F_t \sin \phi}{bt_1} \sin \phi \left\{ 1 - \left(\frac{4}{3} \frac{y_1 \sin \phi}{t_1} \right)^2 \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

得られる。

また切削方向に対して τ のせん断応力成分 τ_p をとれば、

$$\tau_p = \tau_s \left\{ 1 - \left(\frac{4}{3} \frac{y_1 \sin \phi}{t_1} \right)^2 \right\} \cos \phi \quad \dots\dots\dots (7)$$

で与えられる。

そこでこの成分 τ_p が切削表面からどの程度の深さに及んでいるか $y_1 \cos \phi = d_p$ として d_p を求めてみる。

したがって d_p は式(7)から

$$d_p = \frac{3}{4} t_1 \cos \phi \sqrt{\frac{\tau_p}{\tau_s \cos \phi} + 1} \quad \dots\dots\dots (8)$$

として求められ、Fig. 2 の値をそれぞれ代入して計算すれば Table 2 に示すような値をとる。すなわち、Te, Se 添加、つぎに S 量の多い順に d_p が減少してい

Table 3. d_p values (μ).

	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7
d_p	229.01	242.10	242.10	214.75	184.28	130.80	95.20

る。

つまり、加工層の残留応力を形成するせん断応力が、 τ_p に比例して変化するものとすれば、 d_p 値も残留応力の分布する深さと比例関係を有することになる。したがって Te, Se 添加および S 量の多い順に残留応力の到達深さは減少することになると思われる。

すなわち Te を添加することによつてせん断面の分布領域は非常に狭められた領域、つまり塑性流動が非常に厳しい領域において効果を示すことになり、Se, S 添加によるより切削領域が微小部分に集中するようになることを示しているものと考えられる。

3.1.2 平面研削

研削の単位時間当たりの除去量は切削に比べ数%にすぎない。しかしといし周速度は切削速度の数10~数100倍に達しているので、研削点近傍の材料の弾塑性挙動は切削点よりはるかに厳しい条件におかれているはずである。

したがって快削性添加元素がこのような状況においても切削における同じような影響を与えるものとするれば、Te 化物の内部潤滑効果が研削点の塑性流動の激しい領域にあらわれ、加工層の組織変化はこれによつて最も軽減されるはずである。Fig. 4 に加工層の残留応力分布を示す。No 2~No 5材の S 量増加による残留応力の変化はほとんど認められないが、Se 添加材に対して残留応力の変動値が 5 kg/mm^2 程度、また Te 添加材にもこれと同程度の減少が認められる。また、これとは別にたとえば C 量が他より少ない No 1 材の場合には残留応力の分布深さが約 70μ となり非常に浅い位置に分布している。

さて、S 量による影響に関して、たとえば M.C. SHAW⁵⁾ によれば S 添加による被削性は切削速度約 400 m/min に至るとほとんど効果があらわれなくなることを示している。この場合もし切削におけるこの現象が研削においてもあてはまるものとするれば、研削周速度は 1800 m/min だからこれら被削性因子にも変化があらわれないことになる。しかしこれらの点についてはさらに検討の余地があるように思われる。研削温度の実測結果によれば、いずれの材種においてもほぼ同じような温度分布を示し、たとえば Fig. 5 に示すごとく研削点における温度は約 700°C である。しかし研削温度による差は大幅には認められないが S 量が少量になるにつれて研削面の焼けは著しくなり、研削抵抗の変動も増幅されるようになる。これを Te および Se 添加材に比べると $1\sim 2 \text{ kg}$ 大きな変動値を示している。Fig. 6 はこの研削抵抗である。すなわち切込みが小さく、工作物速度が低い比較的軽研削の場

合には Te 添加の効果があらわれているが重研削になるにつれて他の添加材種との差が少なくなっている。同様のことを仕上面あらさに関してもいえ、Te, Se 添加材は重研削の場合、粗な面あらさを有しているが軽研削になるにつれて良好になる。また他材は研削抵抗の変動が大きいいため研削面にうねりやびり模様が生じているので研削面形状精度もすぐれている。

ここで前述した研削面の残留応力について再び考察すると、研削面の残留応力は研削面各位置によつても異なり、同一研削面位置でも Fig. 7 の例に示すごとく測定方向によつても差があらわれてくる。実測結果からすると残留応力は研削方向において最大値をとり、それに直角な方向に測定箇所をずらしていくと漸次減少し、その間において 1/4 の楕円曲線を描くような変化を示す。また

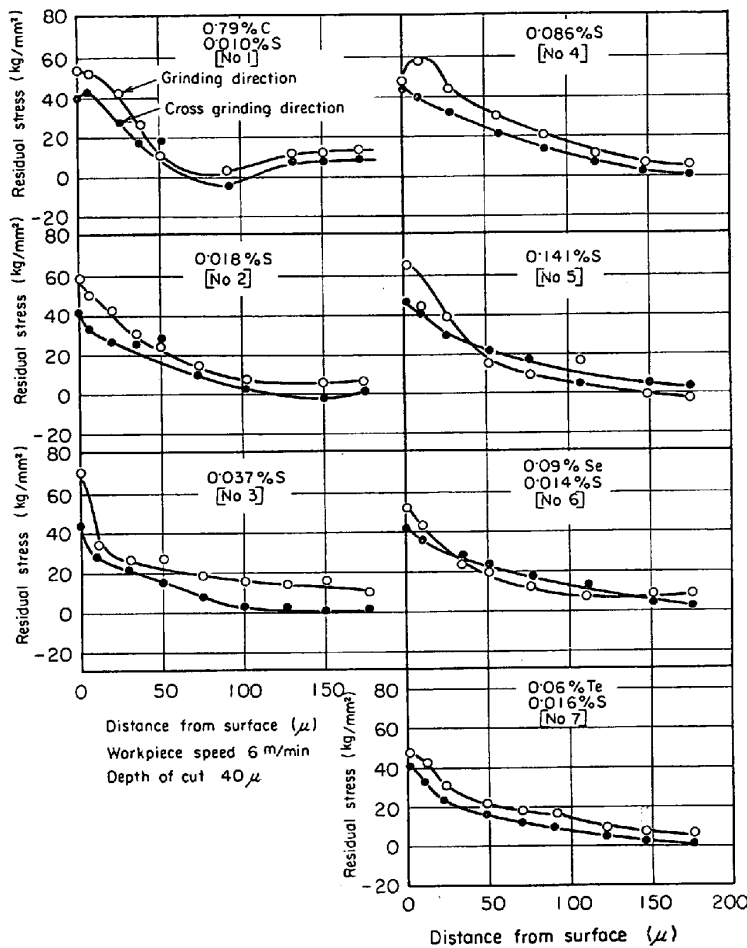


Fig. 4. Distribution of residual stress in machined surface layer of various specimens.

各材種ともこのような変化をにないながら研削面各位置における加工層の残留応力分布もその到達深さもこれに比例して変化し、両者は研削面中央部付近でもにおおのこの最大値をとり研削面の周縁に向かうにつれて次第に各々の最小値に近づくようになる。厳密にいえば、それぞれ最大値を示す位置は研削方向終端側にわずかずれた位置にあらわれる。これは研削方向に研削熱源の移動があり、研削熱の重量によつて最大の熱停留を示す位置が中央部からわずかずれたところにあらわれるためである。このことは研削熱源の強度の影響をほぼ均一に受ける試験片、すなわち研削熱による温度こう配を小さくする考慮をほらい、研削幅 19 mm で同一の熱強度を有すようにした 19 mm φ の円柱端面の研削を行なうことである。このとき円柱端面中央で最大の残留応力値と分布深さを有し、中心から離れるにつれてほぼ同心円上に等しい残留応力と分布深さを示すようになった。したがって各材種とも研削方向の中央部付近において最大の残留応力と分布深さを示すのは工作物の寸法効果によるものとみなされる。

3.2 加工層の組織

3.2.1 二次元切削

Photo. 1 は 0.018% S, 0.141% S, 0.09% Se,

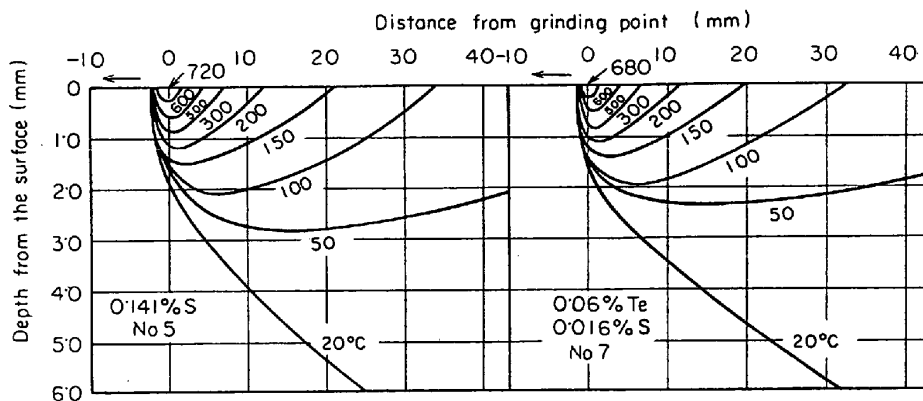


Fig. 5. Grinding temperature distribution in material to be cut. Workpiece speed 6m/min, Depth of cut 40 μ

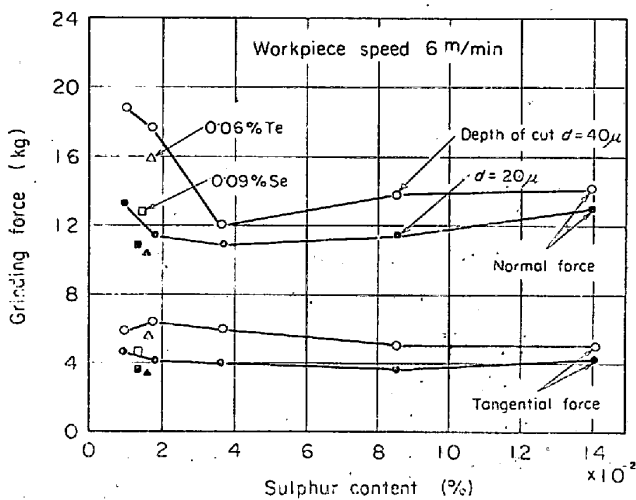


Fig. 6. Effect of sulphur content on grinding force in bearing steels.

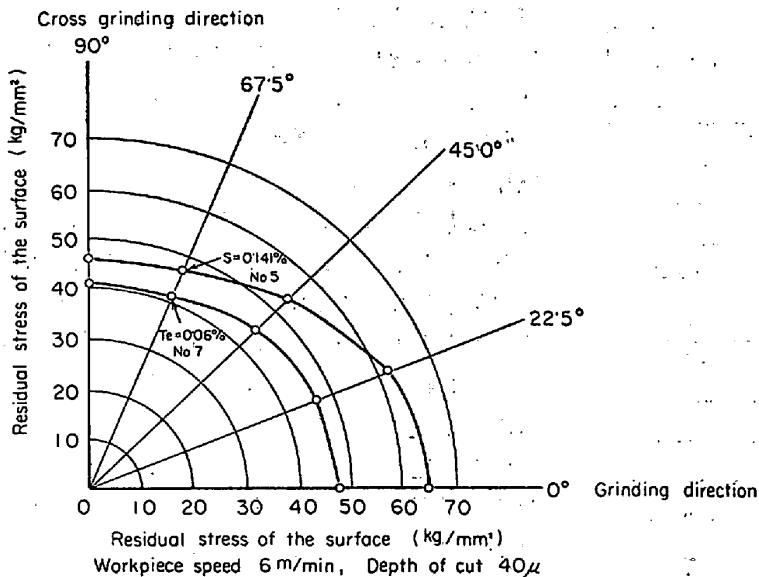


Fig. 7. Effect of grinding direction on residual stress in the same machined surface.

0.06%Te 単独添加した被削材の加工層における組織変化の一例を示す。

0.018% S 添加材に比べ 0.141% S 添加材の加工層の組織にみられる塑性流動は切削表面下かなりの深さに到達するまで全体的に変形している様子が同われる。0.018% S の場合には切削面表皮部に限って極端に変形している様子が観察される。

つぎに Se 添加材についてみると、一般に Se 添加材の伸びしぼりの変化は S 添加材に比べるとより小さな値をとるにもかかわらず、加工層のミクロ的な組織変化は S 量の多い 0.141% S にみられたと同程度の塑性流動の減少が認められる。Photo. 1.(c)はその例で、切削面表皮近傍の塑性流動は Photo. 1.(a) に比べると著しく

減少している。またこの近傍における S 化物および Se 化物の変形は Se 化物の方がより少ない切削方向への塑性変形を示している。すなわち Photo. 1.(b), (c) に認められるように切削表面下約 10 μ の深さに位置する Se 化物が変形する程度で 0.141% S にみられるごとくそれより深い表面下約 20~30 μ の範囲にある S 化物が切削方向に長く伸びたような変形はみられなくなる。Te 添加材はこの変形がより減少し、切削前と比べてさほど大きな組織変化はみとめられない。このとき排出した切りくずは Photo. 2 に示すごとく S 量の増加につれて連続流れ形からせん断形にしたいに移行し、0.141% S ではこの刃状の形態を有すようになる。0.09% Se 添加材もこれとほぼ同様の形状をもつ切りくずがあらわれるが、0.06% Te 添加材になると Photo. 2 (d) に示すようにせん断された切りくずが排出されるようになった。この

ように S, Se, Te などの快削性元素の特性が加工層の塑性流動の大小およびその流動範囲に対してそれぞれ大きさと範囲を変え、また切りくずについてもこれらの添加材によつて特徴ある形態を有するようになる。このような各快削性元素の特性は研削加工層の各諸元と排出した研削切りくず形状にもあらわれているので、これらの考察については次の項でまとめて述べる。

3.2.2 平面研削

切削加工層に比べると研削加工層の組織の変化する深さは 1/10~1/100 程度にすぎない。Photo. 3 は 0.018% S と 0.141% S の加工層の研削表皮に最も近い付近の塑性流動組織の一部を示している。これからすると 0.018% S の場合流動層はほとんどみられず、研削面における盛り上りの変化のほうがむしろ大きくあらわれている。0.141% S になると表面下 3~5 μ の範囲まで流動が認められる。このとき S 化物は研削に直接寄与する位置にあるものだけが流動するのに対し、これより 10 μ 程度離れてしまうとほとんど変形を示さない。この付近における流動組織を電顕によつて観察すると Photo. 4 のようである。0.018% S の場合球状セメントイトおよびフェライトはほとんど塑性流動を示していないが、0.141% S になると球状セメントイトとフェライトがともに流動し、研削表面に近づくにつれて漸次その流動が大きくなっている。

一方この流動量と工作物速度ならびにといし切込みとの関係を同一添加材についてみると Fig. 8 に示すごとく工作速度 v が d 大きくなるとといし切込み d の点 A

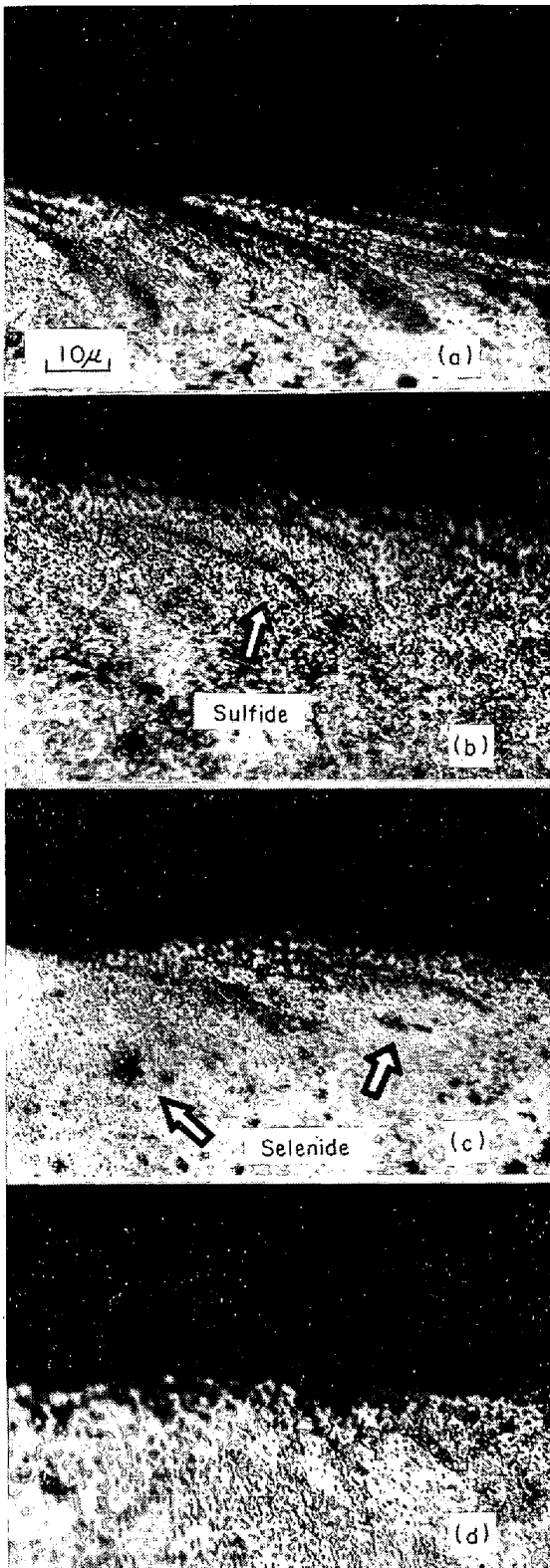


Photo. 1. Plastic deformation in machined surface layer ((a) : 0.018%S, (b) : 0.141%S, (c) : 0.09%Se, 0.014%S, (d) : 0.06%Te, 0.016% S). Etched by 3% nital. Cutting speed 20m/min, Depth of cut 50 μ.

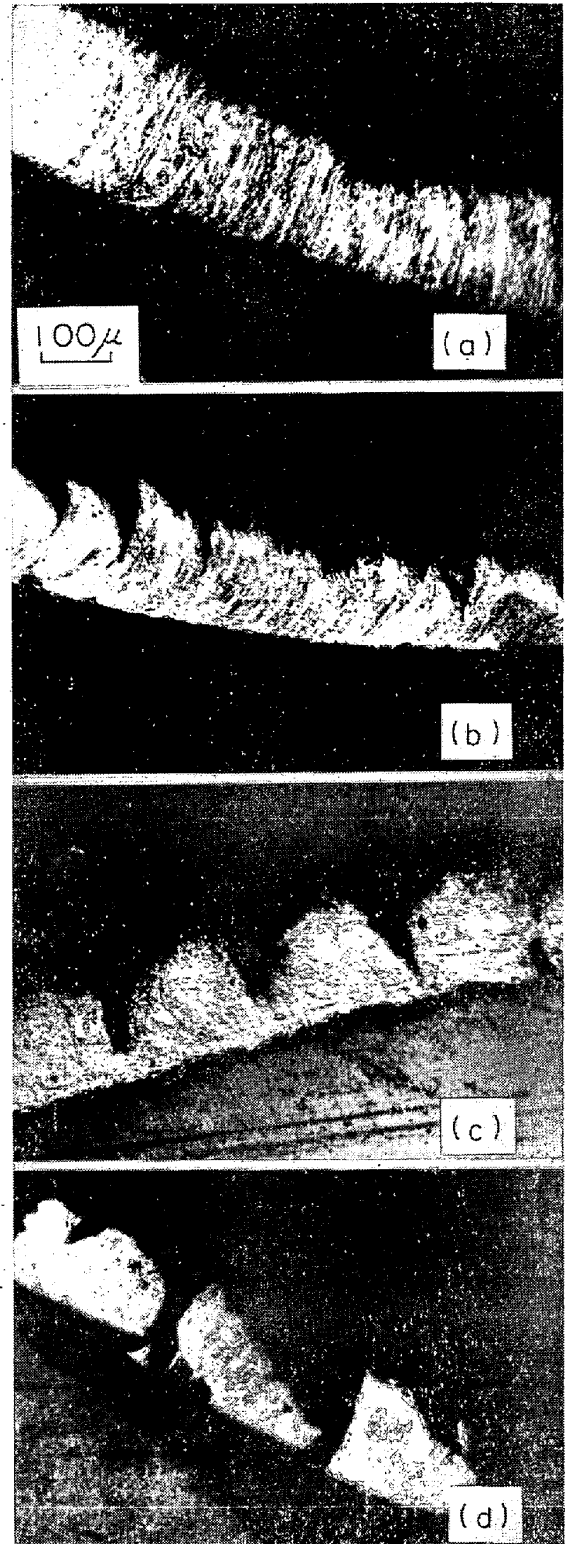


Photo. 2. Relation between chip formation and free cutting additives ((a) : 0.018%S, (b) : 0.141%S, (c) : 0.09%Se, 0.014%S, (d) : 0.06%Te, 0.016% S). Etched by 3% nital. Cutting speed 20m/min, Depth of cut 50 μ.

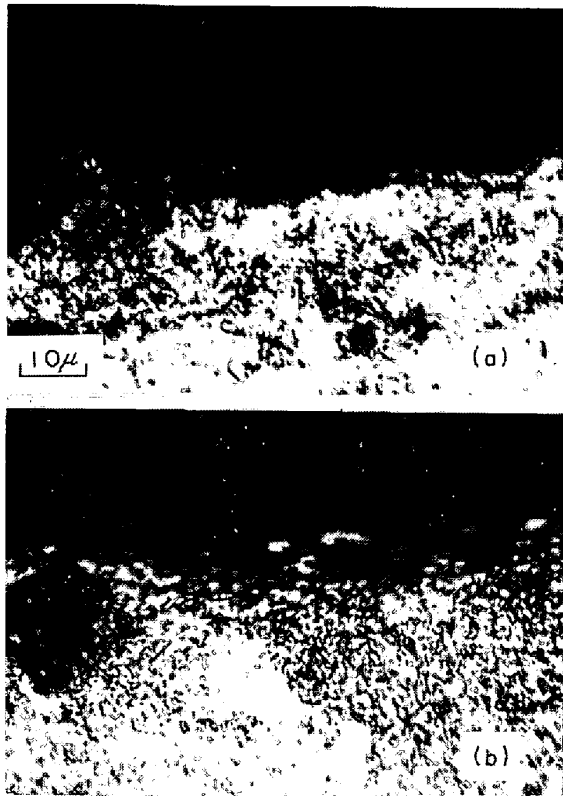


Photo. 3. Comparison of plastic deformation by 0.018% S and 0.141% S contents in machined surface layer ((a) : 0.018% S, (b) : 0.141% S). Workpiece speed 6 m/min, Depth of cut 40μ .

で最大の流動量 C をとるが、 v になると $d + \Delta d$ の位置 B で最大の流動量 D をとるようになる。つまり加工層の塑性流動は工作物速度、といし切込みによつてこのような影響を受けながら、たとえば S 量によつては S 量が増すにつれて研削表面下の深さを次第に増大する傾向を示す。

Se , Te 添加材の加工層の組織の塑性流動は S 添加材に比べ著しく減少する傾向をもつ。Photo. 5 はその一例である。また Se 添加材にはたまに研削表面近傍で流動した一部の流動層がバリとして研削周縁に付着している様子が伺われるが Te 添加材にはこのようなバリは認められず、研削前と大差ない組織を呈している。

層状パーライト組織を有する炭素鋼で切削表面下約 1μ 以下には微細結晶粒、繊維状組織不規則な変形、および繰り返し双晶を含む層などが約 $200\sim 300\mu$ にわたつて分布しているが⁷⁾、本報の電顕からみられる研削表面下約 1μ 以下における加工層の組織には微細結晶粒や繊維状組織はみあたらず、 S 添加材などに多くみられるいわば球状セメンタイトとフェライトが研削表面から下層に向かうにつれて変形度合を変える不規則な変形とも

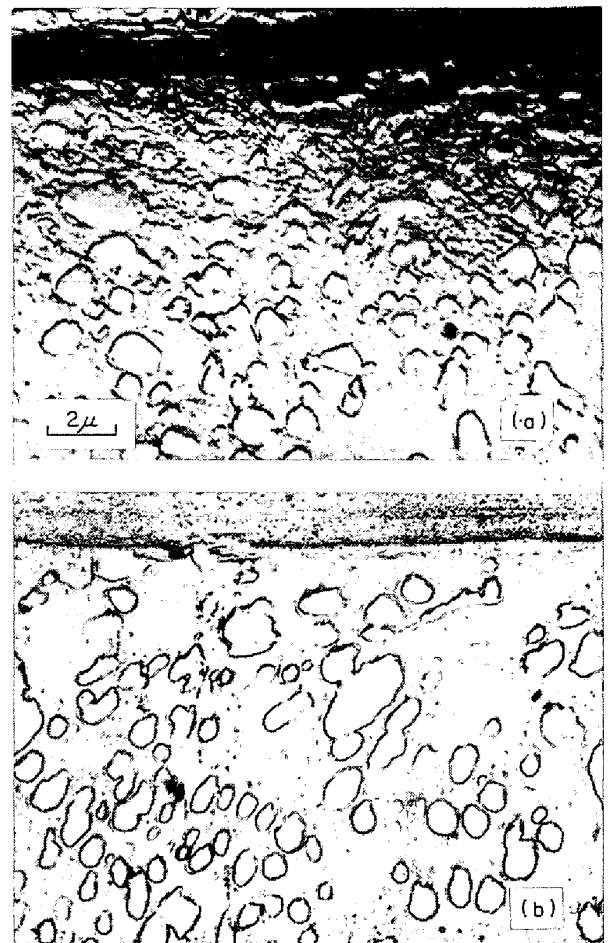


Photo. 4. Electron micrograph of the local plastic deformation in machined surface layer (Replica). ((a) : 0.018% S, (b) : 0.141% S) Workpiece speed 6m/min, Depth of cut 40μ .

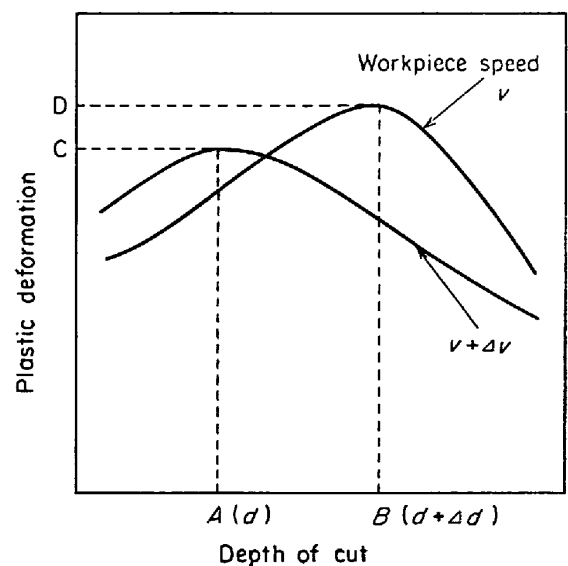


Fig. 8. Variations of plastic deformation as a function of workpiece speed and depth of cut.

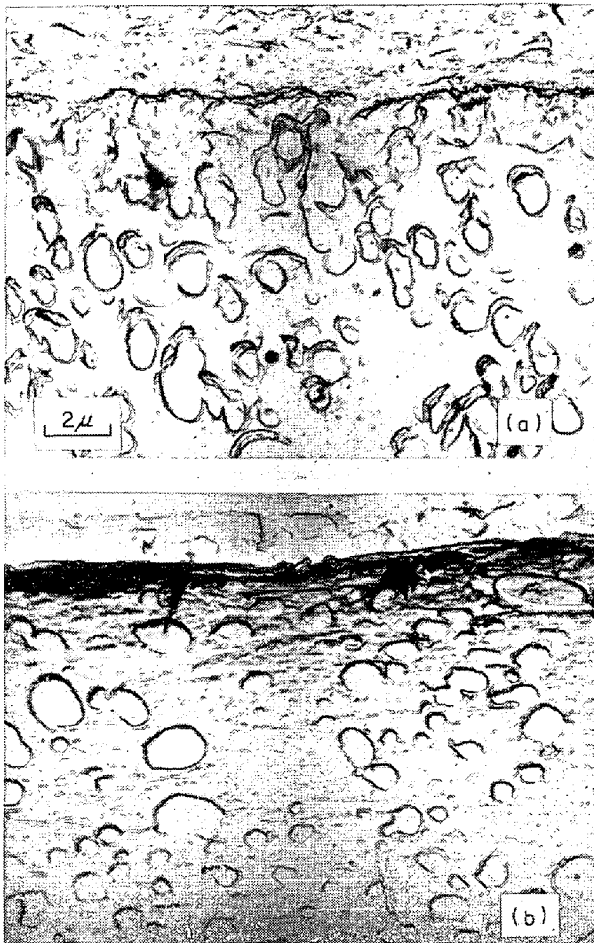


Photo. 5. Electronmicrograph of the local plastic deformation for free cutting additives ((a) 0.09%Se, (b) : 0.06% Te (Replica)). Workpiece speed 6m/ min, Depth of cut 40 μ .

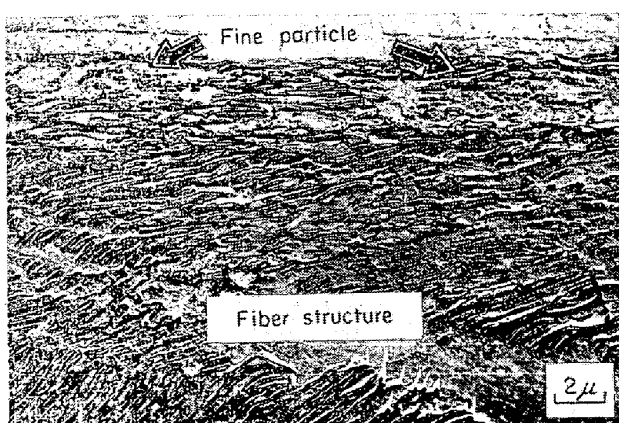


Photo. 6. A fine particle and fiber structure in machined surface layer of carbon steel (matrix is a lamellar pearlite). (Electron micrograph in replica) Workpiece speed 6m/ min, Depth of cut 40 μ .

いべきものが認められる程度である。

そこで上述した実験結果をまとめて考えるといわゆる



Photo. 7. A slip line of ferrite in machined surface layer (Electron micrograph in replica of specimen No 2). Workpiece speed 3m/ min, Depth of cut 70 μ .

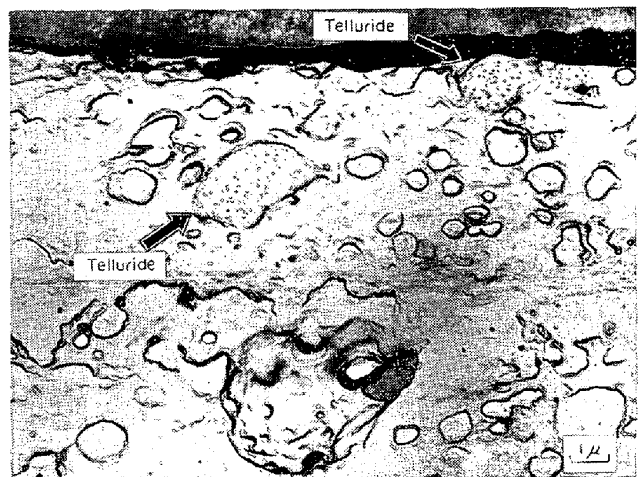


Photo. 8. Electron micrograph in machined surface layer of telluride (Replica). Workpiece speed 6m/ min, Depth of cut 35 μ .

微細結晶粒や繊維状組織は層状パーライト相のごとく、層状になったセメンタイトと、フェライトが相互に配列し、いわば Composite Materia のごとき組織を示すようなときに、層状パーライト相が一方方向に引き伸ばされると、非常に微細な繊維状組織を形成すると同時に、研削点に位置する層状セメンタイトはと粒切刃によつて細かく碎かれるために、微細炭化物が分布するようになるものと考えられる。Photo. 6はその一例である。

つまり球状セメンタイトの場合には層状セメンタイトに比べ方向性が少ないため変形しにくくなる。もし変形するものとするれば、マトリックスの変形に乗じて研削点に近い球状セメンタイトが全体的に移動するものと考えられる。そこでこの様子を見るため加工層の塑性流動が大きくなる研削条件を選び、工作物速度 3m/ min, といし切込み 70 μ としたところ研削表面から数ミクロンの

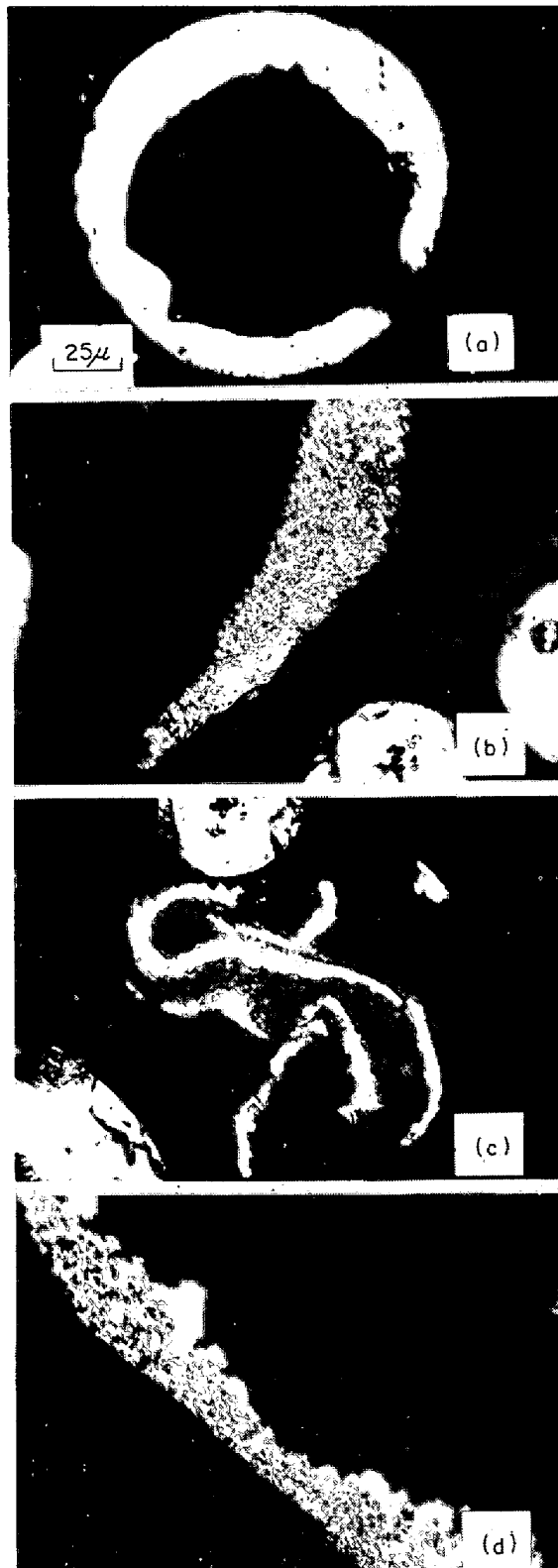


Photo. 9. Relation between chip formation and free cutting additives in grinding (a) : 0.018% S, (b) : 0.141% S, (c) : 0.09% Se, 0.014% S, (d) : 0.06% Te, 0.016% S).
Workpiece speed 6m/min, Depth of cut 40 μ .

範囲にフェライトのすべり線があらわれ、それに乗じて



Photo. 10. Geometrical locus and swell out residual by abrasive grit in grinding finished surface ((a) : 0.06% Te, 0.016% S, (b) : 0.018% S).
Workpiece speed 6m/min, Depth of cut 40 μ .

球状セメントイトが流動している組織を観察することができた。Photo. 7にその例を示す。

さて Te 添加材の加工層の塑性流動が他に比べきわめて少ないことを前述したが、Te 化物のこれに対する作用が明らかでない。この様子は光学顕微鏡で直接観察しがたいので、まず Te 化物のある付近まで研削加工し、そして本研削条件の範囲に最後の条件が入るように心がけながら、ついに工作物速度 6m/min といし切込み35 μ で研削した結果 Photo. 8 に示すような Te 化物の加工層における変形挙動を観察することができた。

研削表皮に面した目玉状の Te 化物の変形は球状セメントイトの変形に比べさほど大きな変化もなく、またそれより約 3 μ 入った位置にあるものについても同様に Te 化物が単独でマトリックスを流動変形している様子もみられず全体的に素地とともに流動しているようである。したがって Te 化物は単独で潤滑効果を示すのではなく、素地との結びつきを維持しながら、そして第二相粒子の球状セメントイトとの結びつきをも変えずに、つまり、素地-Te 化物-球状セメントイトの系、を有しながらまた系においては相互干渉作用を示しながら流動していくものと考えられる。

いまこれらから排出した代表的な形状を有する切りく

ずを選び、各材種についてあらわしてみると Photo. 9 のようになる。つまり各材種の基本鋼に相当する No 2 材には溶融形の切りくずが顕著に観察され、これに 0.141% S 添加した No 5 材には溶融形に混じって流れ形が多くみられるようになった。これに対して Se, Te を添加した No 6, 7 材は溶融形切りくずが著しく減少し、連続流れ形やせん断形の切りくずが多く見受けられるようになった。

したがって各材種によつてこのような切りくず形状の変化を有すことは研削と粒による切味にも差があらわれているはずであるから、研削面に生成したと粒の条痕の幾何学的な模様にも S, Se, Te 添加の影響がみられるはずである。Photo. 10 はその例で基本鋼の研削面は研削方向に著しく流動して盛り上った流動層が認められるが、S 量の増加および Se の添加によつてそれが次第に減少し Te 添加した場合には Photo. 10(a) に示すように、流動した層はみられなくなり、と粒によつて形成された幾何学的な条痕が研削面に整然とあらわれているのがわかる。

このように Te 添加材は他の S, Se 添加材に比べ研削点近傍のごく微小な部分にのみ stress raiser が集中的に作用するような効果を積極的に示すために、結果としてこのような幾何学的に整然とした新生面が得られ、かつ組織変化の少ない加工層が得られるものと考えられる。

4. 結 言

S, Se, Te を単独添加した高炭素クロム軸受鋼の切削および研削加工層の残留応力および組織変化についてその影響を調べ、かつ切削において被削性の向上をになう快削性添加元素が、研削についてもその効果を示すかどうか吟味検討し、本報の切削および研削条件のもとで次の結果を得た。

(1) 切削加工層の残留応力は S 量が増すにつれてその分布深さは増大し、Se, Te 添加による分布深さもこれと大差ない。しかし 分布する残留応力の変動値は Se

の場合約 10 kg/mm², Te の場合約 10~15 kg/mm² 減少している。

(2) 研削加工層の残留応力の分布深さと、その範囲は基本鋼に比べるといずれの添加材においても増大しているが 残留応力の変動値は Se, Te 添加材において約 5 kg/mm² 程度他材より少ない。

(3) 切削, 研削加工した加工表皮のごく表皮部における塑性流動は、S 量の増加によつて漸次減少する傾向を示す。

(4) 切削, 研削における Se 添加材の加工層の組織変化は、S 添加材に比べると著しく少なく、さらに Te 添加によつては光学顕微鏡からでは観察できないほど減少している。

(5) 切削における切りくず形状は S 量の増加, Se, Te 添加によつて流れ形からせん断形へ、研削では溶融形から連続流れ形に順次移行している。

(6) S, Se, Te 添加材の切削抵抗, 切削温度, 仕上面あらさ, 切削比などの被削性因子は、なかでも切削比に変化が認められ、S 量の増加, Se, Te 添加によつて向上し、Te による効果が最も大きくあらわれる。

(7) 研削抵抗の変動, 仕上面あらさ, うねり, 研削面の焼けが S 量の増加および Se, Te 添加によつて改善される。

おわりに当たり本研究の試料を提供いただいた山陽特殊製鋼株式会社に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 貴志, 江田: 精密機械, 37(1971), 7 p. 488
- 2) 貴志, 江田, 橋内: 日本金属学会誌, 34(1970) 2, p. 182
- 3) C. T. YANG: Trans. ASME, 90 (1968) p. 127
- 4) 荒木, 山本, 内仲: 鉄と鋼, 54(1968)4, p. 814
- 5) M. C. SHAW, E. USUI, and P. A. SMITH: Trans. ASME, 83(1961), p. 181
- 6) 貴志, 江田, 斎藤: 日本機械学会講演論文集, 700-5(1970), p. 101
- 7) 貴志, 江田: 精密機械, 37(1971)2, p. 112
- 8) 貴志, 江田: 精密機械, 37(1971)3, p. 171