

微視的加工機構解明のための走査電子顕微鏡内

加工実験装置の製作

金 枝 敏 明

岡山理科大学理学部機械理学科

(昭和55年 9月29日受理)

1. 緒 言

近年の科学技術の発展は目ざましく、有史以来の速度で進みつつある。この発展の陰には加工技術の長足の進歩があることは言うまでもない。加工技術の向上目的には高精度化、高能率化の二つがあり、その両面において研究者、技術者の鋭意努力がなされて今日まで加工技術が発展してきた。この二大目的の中でも高精度化の方は、加工技術の先導的役割をもなすもので重要視しなければならないものである。

この加工精度の向上に伴って加工現象の微視的機構を明らかにする必要性が生じてきた。というのは従来は無視しても差し支えない微視的要因が加工現象に微妙に影響を及ぼすようになり、より高精度化のためには微視的要因をも考慮した加工機構を明らかにしなければならないためである。例えば切削加工では切込みの微小化に伴って工具の刃先丸味半径¹⁾や刃先稜のあらさなどの工具の微視的形狀、被削材の結晶構造²⁾や介在物³⁾などの被削材の材料学的性質など、いわゆる微視的要因が切削現象に影響を及ぼすようになり、場合によっては加工面を乱すということがある。近年の研究によればすでにその機構が一部明らかにされている。

さてこのような微視的因子の影響を求めるには、光学顕微鏡、透過電子顕微鏡、走査電子顕微鏡やX線解析などを用いる方法があるが、まず第一に必要な条件は加工現象を微視的に把握できること、すなわち観察できることである。またそれも実際に加工しているところを動的に観察することが必須であると考えられる。現在のところそのような動的観察をしているものは光学顕微鏡によるもの⁴⁾がほとんどである。ところが光学顕微鏡は倍率が高々数百倍程度にとどまざるを得ないこと、また焦点深度が深くないことなどの難があり、上述した目的には不十分と考えられる。一方電子顕微鏡による方法においては動的な観察を実施している場合がほとんどないのが現状である。また透過電子顕微鏡による方法においては、試料や情報が限られるなどの難点がある。

そこで今回は、走査電子顕微鏡は(1)焦点深度が深い(ちなみに光学顕微鏡の100倍以上と言われる。このことは立体感に富んだ像が得られるということである。)(2)数 10\AA に達

する高分解能を有する。(3) (透過電子顕微鏡より) 比較的大きな試料が観察可能で、かつ試料室が大きい。というような特長を利用して試料室内に組み込める走査電子顕微鏡内加工実験装置を製作したので、ここに報告する。

なおこの加工実験装置は、工具と試料(被削材)とがアタッチメントの交換により三種類の相対運動がなされるように設計されており、機械加工のモデル実験の基礎的なものがほとんどできるように配慮されている。今回本実験装置を組み入れる走査電子顕微鏡は昭和52年度私立大学等経常費補助金(特別補助)いわゆる私学助成金をあてて購入した日本電子(株)製 JSM-35型(最大加速電圧 39 kV)である。

2. 仕様

走査電子顕微鏡内加工実験装置は機械加工で考えられるほとんどの加工形態に対応するモデル実験が実施可能なものである。すなわち図1に示す三つの加工形態のモデル実験が

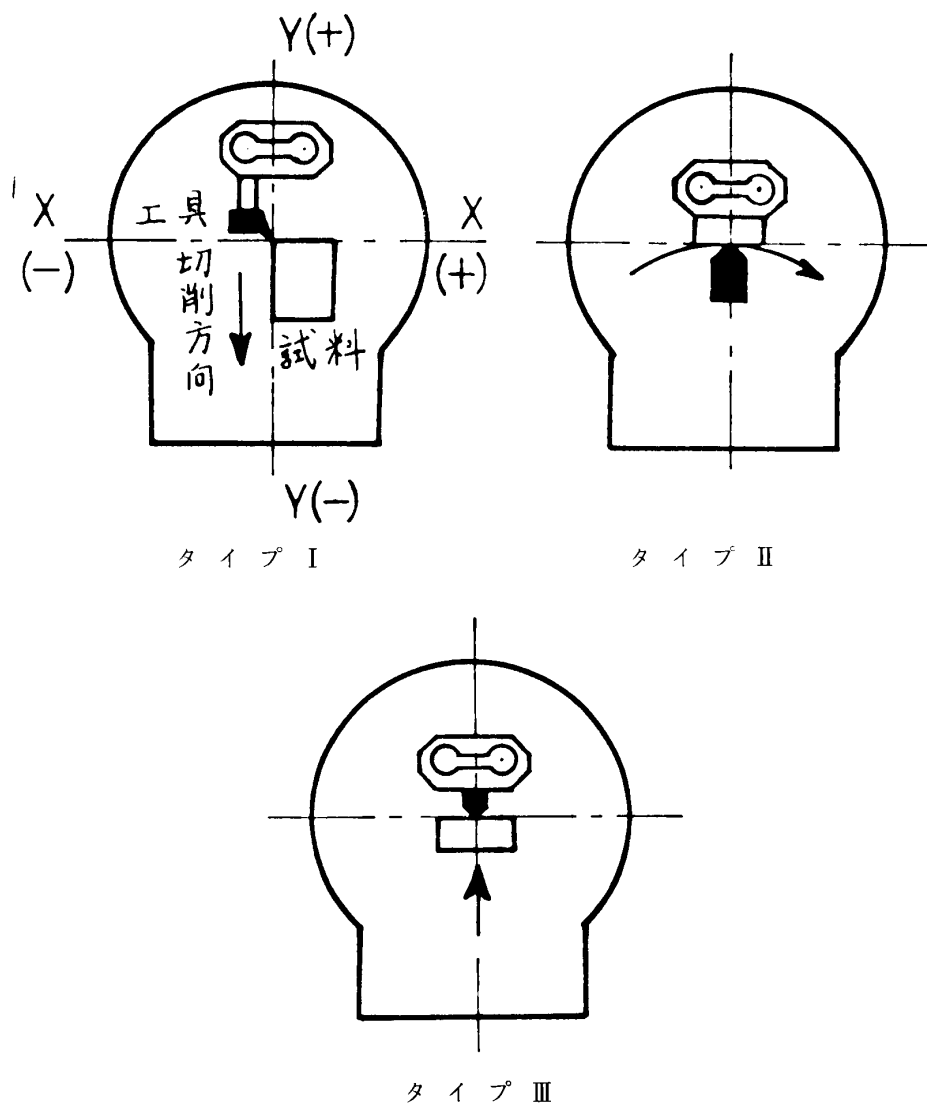


図1. 加工実験の三形態

アタッチメントを交換することにより実施できるものである。タイプⅠは工具と試料とを平行に相對運動させる機構をもち、主として切削、摩擦実験用のものである。タイプⅡは試料に対し工具が円弧運動するものであり、研削ならびにウルトラマイクロトーム実験用のものである。タイプⅢは試料に対し工具を垂直運動させる機構のもので、押込み、せん断、切断実験用のものである。表1に三つのタイプの主要諸元を示す。

図2は走査電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope, 以下SEMと略す) に本実験装置を組み込んだところの外観を、図3は本実験装置の中でも代表的なタイプⅠの主要部分を示すものである。

表1 走査電子顕微鏡内加工実験装置の主要諸元

	タイプⅠ	タイプⅡ	タイプⅢ
ユニットの機能	切削, 摩擦用	研削, ウルトラマイクロトーム用	押込, せん断, 切断用
試料の寸法	24 × 12 × 1~3 mm		
工具の寸法	10□ × 20~30mm	10□ × 30 mm	10□ × 25 mm
切削量の設定	最大 2 mm	最大 3 mm	5 mm
加工のストローク	25 mm (試料)	30° (工具)	5 mm (試料)
加工速度	0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.5, 1.0 mm/min (ただしタイプⅡを除く)		
測定荷重	50kg (X方向, Y方向とも) まで		
視野 X	± 6 mm		
移動量 Y	+10 ~ -5 mm		
傾斜	0~45°		



図2. 走査電子顕微鏡 (JSM-35型) に装着された走査電子顕微鏡内加工実験装置

ギアードモータ

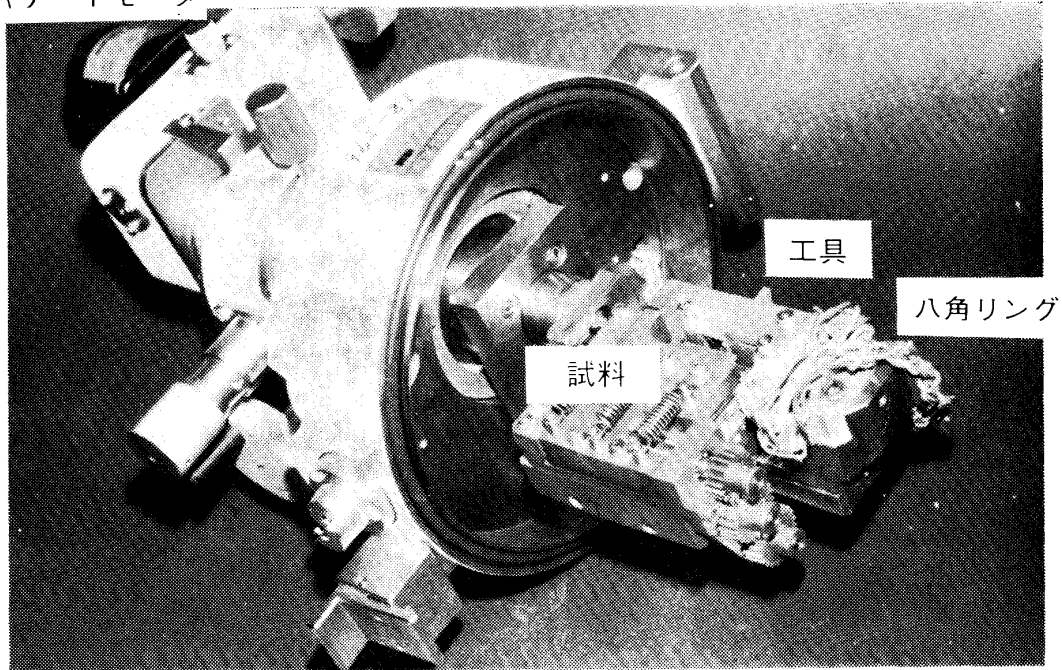


図3. 走査電子顕微鏡内加工実験装置タイプ I

次に設計および製作に関し特別に注意を払った点を以下に述べる。まず本実験装置は加工現象を微視的に観察することが主要な目的であるから、加工量を極微小に設定する必要がある。例えば切削の場合、加工量すなわち切込みを $1\ \mu\text{m}$ と設定することが無理なく行える必要がある。そこで本装置では、切込み量はまずねじの回転によって与えられ、その後テーパをもつ摺動部によってさらに小さくその量を設定できるように工夫をした。

また工具および試料の保持部は、加工力が負荷されても変形が極力小さくなるように高い剛性を有するように製作した。

工具もしくは試料の駆動はトルク変動や動力伝達機構部分のスティック・スリップの発生などに対処する工夫がなされており、動力源は定速度特性を有し、始動電流が大きいリアクションモータを採用した。

その他加工実験中に高倍率で観察しながら種々の検出（例えばアコースティック・エミッションの検出）を行うことも将来予定しているので、その場合の雑音対策には特別の配慮を払い、試料室内から室外へ出す検出ケーブルの接続部は電氣的に十分絶縁されるようになっているなどの対策をした。

さらに加工実験で生成される切りくずなどが拡散ポンプの吸入口（真空の本引きの口）に入らないように切りくず受けを設けたり、その吸入口には細かいメッシュをはめ込んだりした。

加工現象を立体的に多方向から観察すると有益なる情報を得られるものである。したがって加工部分全体を $0\sim 45^\circ$ まで無段で連続的に傾斜ができるように工夫し、視野が幅広

く取れるようにした。

さらに加工機構を総合的に解析するには、加工現象の観察のみならず力学的解析を行う必要がある。したがって力学的解析を実施するのに必要な基礎データとなる加工力も測定できるようにした。すなわち図4に示す八角リングを用い、X方向、Y方向の力（荷重）を50kgまで測定できるようにした。なお図5に八角リングの検定曲線を示す。

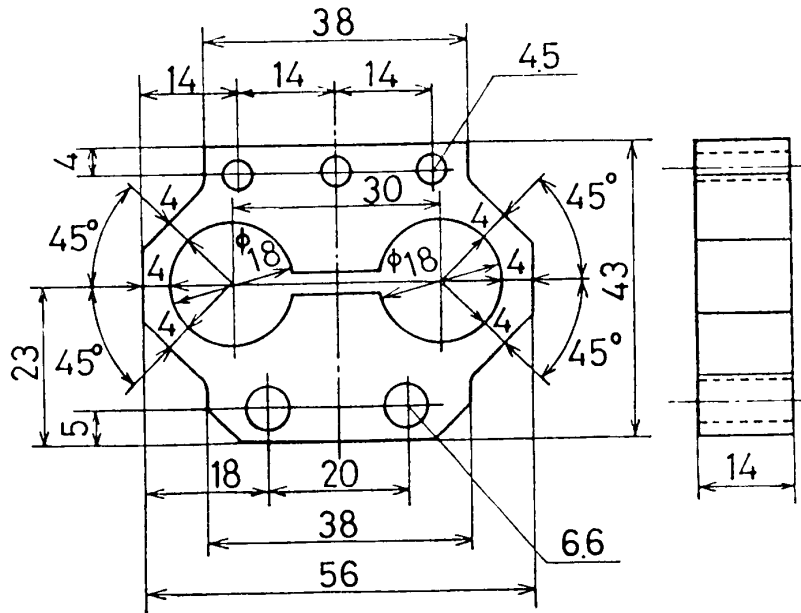


図4. 八角リングの形状ならびに寸法

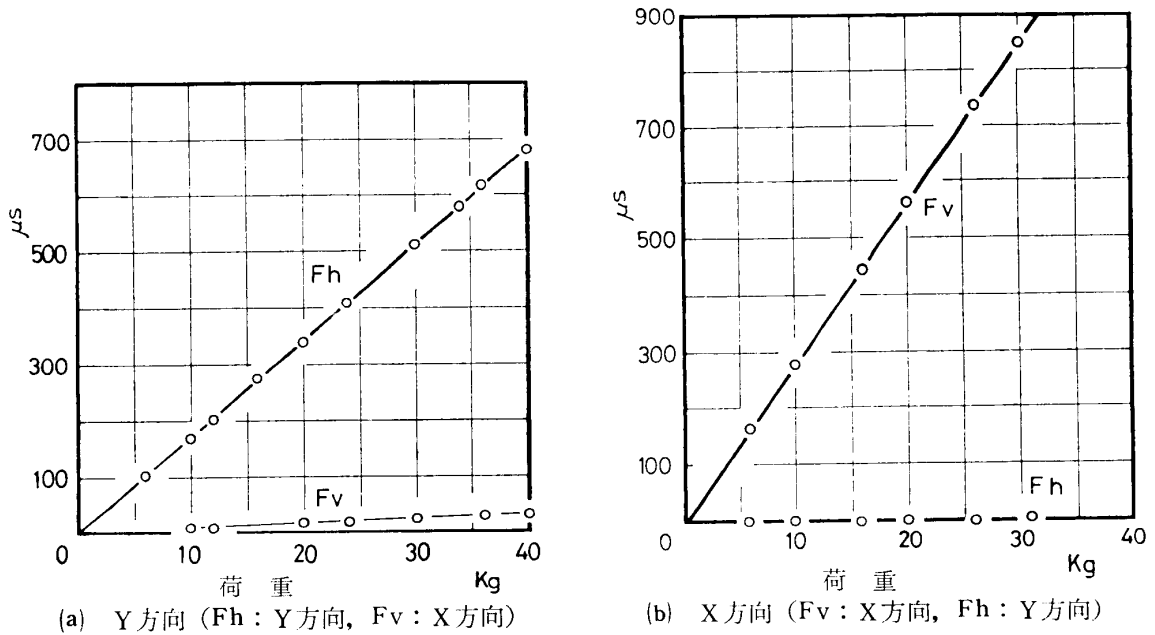


図5. 八角リングの検定曲線

また動的实验にふさわしい画像の記録をするため、まずSEM本体からの出力をTV受像装置に入力し、通常のTV画像にした後ビデオテープレコーダ(VTR)に入れて記録した。図6にそれらのダイヤグラムを示す。

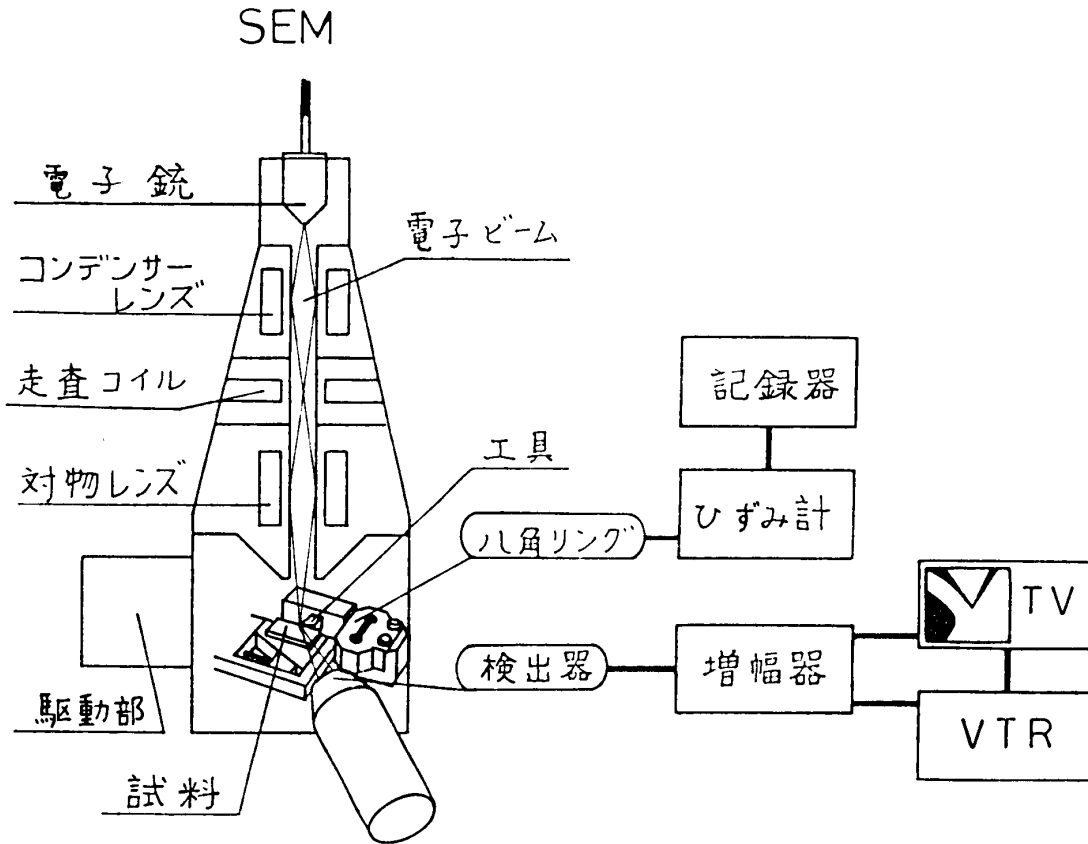


図6. 加工実験での加工力測定および画像記録のブロックダイアグラム

3. 観察結果

図7は本実験装置タイプIで硬質塩化ビニル(2mm厚板材)を超硬工具(K10, すくい角 $\alpha=15^\circ$, 逃げ角 $\delta=7^\circ$)で二次元切削しているときの切削部の写真である。切削速度 V_c は1mm/min, 切込み t_1 は150 μm である。切りくずは流れ型を呈しているが、図

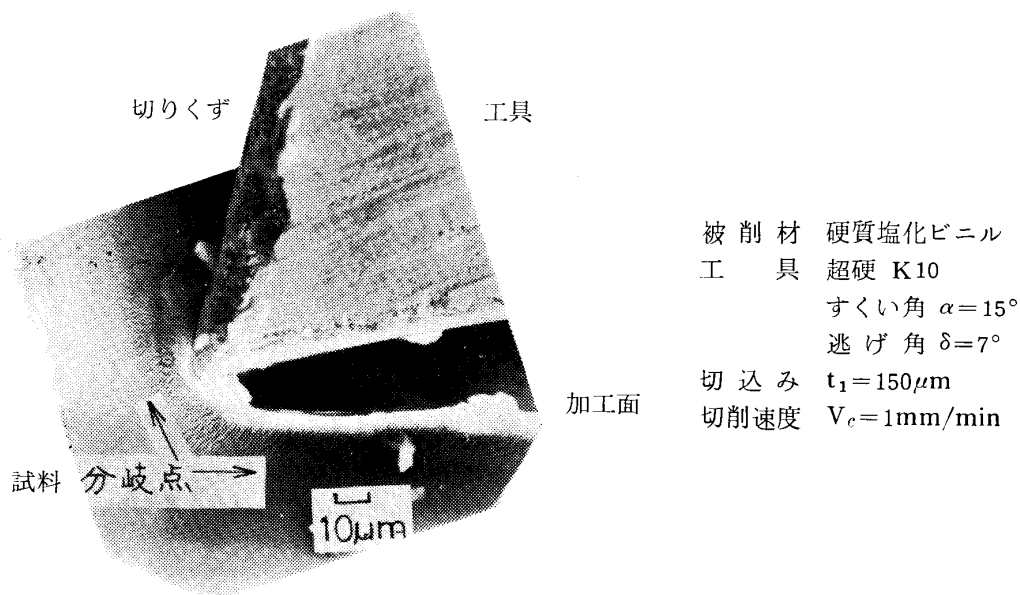


図7. 硬質塩化ビニル切削における分離作用

から明らかなように刃先近傍においては金属の流れ型切削と異なり工具逃げ面下方に間隙が発生しているのが認められる。そしてこの逃げ面下方の間隙のエッジ部分で分離作用が行われていることが連続観察により明らかとなった。この刃先近傍で見られる分離作用は常時このような形態をとるのではなく、図8に示されるような形態をとることもあり、こ

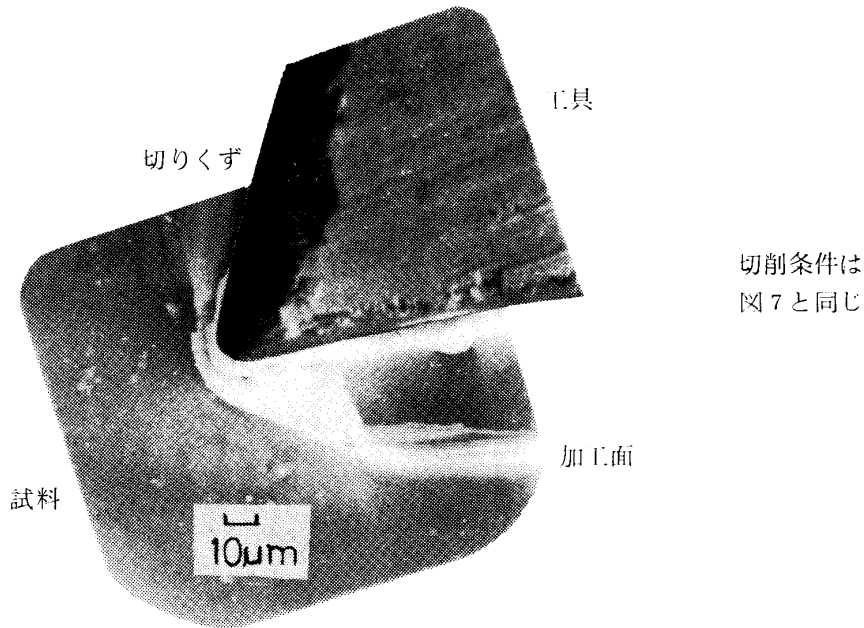


図8. 硬質塩化ビニル切削における分離作用

れらの二形態がある種の周期をもって変動することが観察された。この切りくず—加工面の分岐点の変動はとりもなおさず、加工面に悪影響を及ぼすことであり、図9に示される

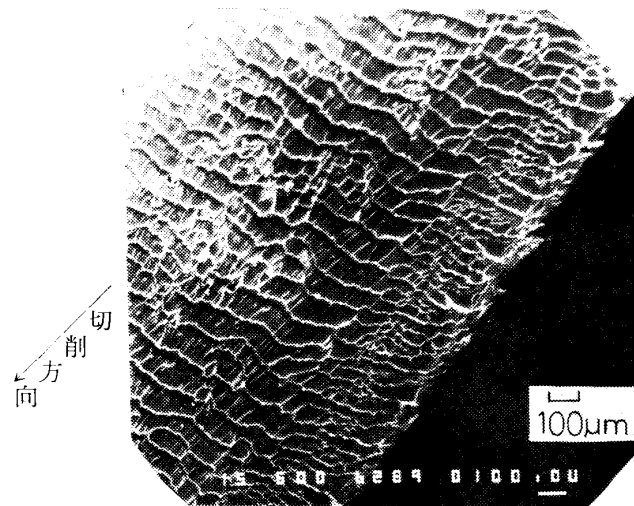


図9. 硬質塩化ビニルの切削加工面

ような鋸歯状の段差が加工面に残ることになる。このような分岐点がある周期を持って変動する特異な分離作用は他のプラスチック材料であるポリカーボネイトの切削実験においても認められた。

さらにこの特異な分離作用を調べるため、通常の切削すなわち切削速度 V_c が 5~41m/

minで大気中にて形削り盤による切削実験を試み、その加工面を観察した。その結果、硬質塩化ビニルおよびポリカーボネイトの形削り盤による切削においても本実験装置タイプIで得られた加工面(図9参照)と同様な鋸歯状の段差を持つ面が得られた。このことから図7, 図8で見られる分離作用は硬質塩化ビニルならびにポリカーボネイト切削において本質的に発生するものであると考えられ、加工面の精度を低下させるものであることが明らかとなった。

次に図10はタイプIIで研削実験を行っているところである。被削材は純アルミニウム

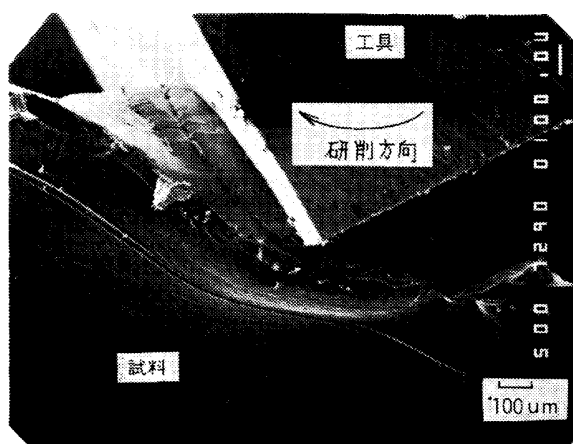


図10. タイプIIIによる研削実験における研削切りくずの生成

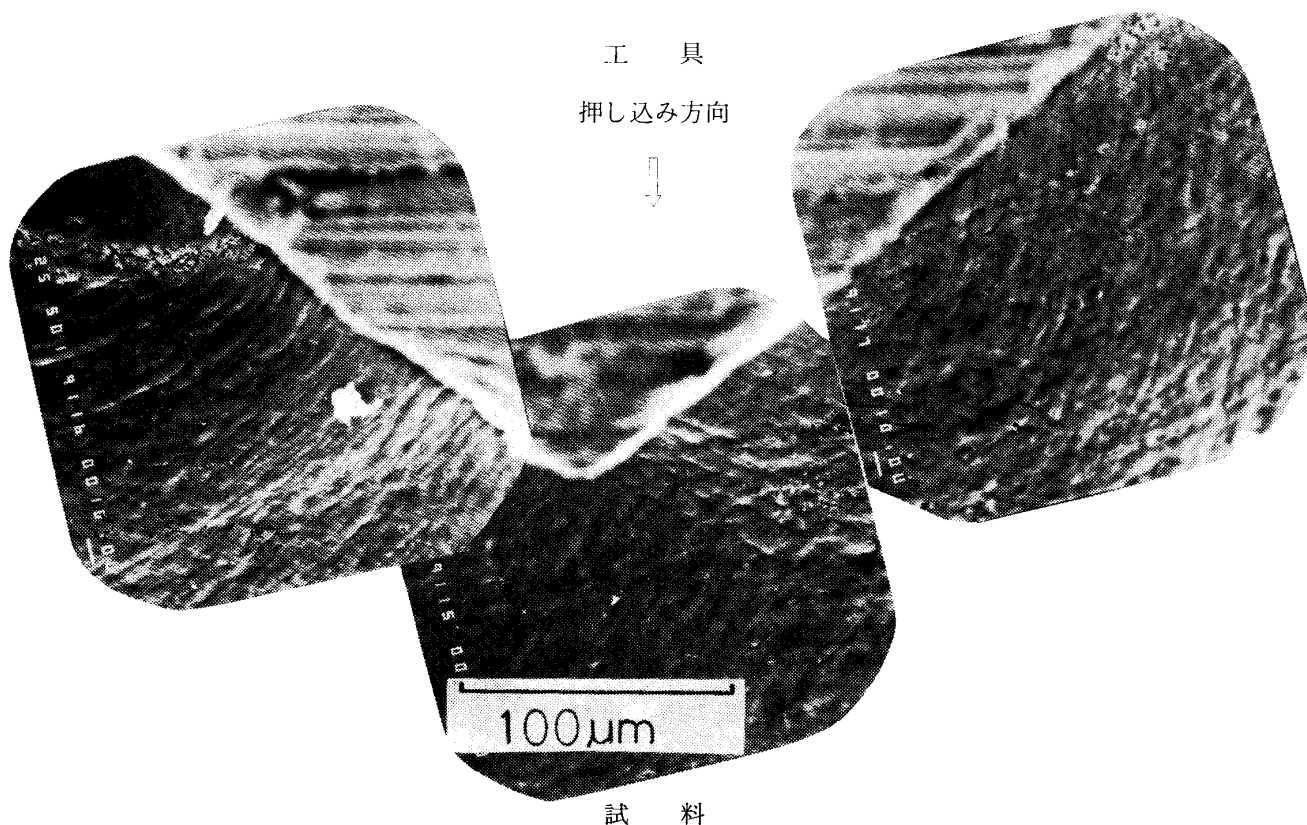


図11. タイプIIIによる押し込み実験における試料の変形状態

(純度99.7%, A1070, 板厚 2 mm) で、工具は高速度鋼 SKH 4 (頂角は90°) である。図より工具が被削材に食い込んでから押し込み、その後切りくずを生成している様子がよくわかる。また切りくずがラメラ状を呈していることが認められ、研削の切りくず生成は切削のそれと同じものであることが察せられる。

また図11は、タイプⅢでタイプⅡと同じ工具および被削材を使って押し込み実験を行ったところの観察写真である。工具は押し込み試料の純アルミニウムのサイドフローによって一部分被われかけているが、工具の押し込みに伴って純アルミニウムにすべり線が発生していることが認められる。このすべり線の観察は、押し込みの機構の結晶学的な解析をする際の手がかりの一つになるものと考えられ、押し込みの機構の解明が今後さらに多くの観察実験を行うことによってなされることが期待される。

以上述べたように走査電子顕微鏡内加工実験装置によれば、大部分の機械加工のモデル実験が可能で、したがって本実験装置は微視的な加工機構の解析などに非常に有力な情報を与えるものと考えられ、今後多くの成果が得られるものと期待される。

最後に本実験装置の製作に当たり御協力頂いた日本電子株式会社、本学基礎理学科三好教夫教授、機械理学科高野安正教授、助台栄一助教授に感謝する次第であります。

参考文献

- 1) 例えば津枝正介, 長谷川嘉雄, 中野哲夫, 刃先の微小丸味が切削現象に及ぼす影響 (第1報) - 刃先の押しならし作用, 機械学会論文集, **26**, (1960) 803。
- 2) 例えば長谷川嘉雄, 花崎伸作, 安富雅典, 亜鉛粗大結晶の切削機構, 金属学会誌, **41**, (1977) 237。
- 3) 金枝敏明, 津和秀夫, 切削における刃先での分離作用に関する研究 (第1報) - 分離作用での破壊現象における介在物の役割, 精密機械, **44**, (1978) 1470。
- 4) 例えば垣野義昭, 切削加工面の生成機構に関する研究, 京都大学学位論文 (1971)。

Dynamic Deformation Studies by Machining Experimental Equipment in Scanning Electron Microscope

Toshiaki KANEEDA

*Department of Mechanical Science,
Okayama University of Science, Ridai-cho, Okayama, 700 Japan*

(Received September 29, 1980)

Recent developments in machining technology made it possible to bring significant advance of accuracy. In company with the advance in accuracy, it is needed to investigate machining theory from more microscopical point of view. Because microscopical factors have important effect upon machining process. For example in metal cutting those are sharpness of tool edge, inclusion and grain boundary in work material and so on. Machining theory has been investigated from microscopical point of view so far by optical light microscopy, transmission electron microscopy, scanning electron microscopy and so on. But every methods have some demerits. Therefore it is suitable to observe deformation process dynamically by scanning electron microscope (SEM) for this purpose.

The original machining experimental equipment inside SEM is developed. The machining experimental equipment has three modes, which are type I, II, and, III. A specimen is driven traversly against a tool in type I, which is experiment for cutting, friction, etc.. In type II, a tool is swung with circular arc motion. This type is experiment for grinding and ultramicrotorming. In type III, a specimen is driven vertically to a tool. This is experiment for identation, shearing, cutting, etc.

Finally, a few results obtained by in situ machining experiment are reported.