

最近の切削理論と精密加工法

東京大学教授 大 越 諄

(田中義信教授紹介)

1. 切削理論の意義

切削加工技術に就ては、従来種々の法則或はその法則を扱わず公式が発見、発表されている。例えば切削所要動力に関する公式標準切削速度を示す公式等はその代表的な例である。世人はこれこそ立派な切削理論であると考え勝ちである。中には専門家の手になる論文、参考書、便覧等でこれ等を切削理論として取扱つたものさえある。

然しこれ等は実際の作業に当り直接必要な実用上の法則、公式なのであつて切削加工技術上では誠に重要な法則、公式には相違ないが、これ等を切削に関する種々の現象の本質、根本原理を究明するのを主たる目的とする切削理論と同一に取扱うのは相當でない。重要である事と基礎的である事は同一ではない。

これは従来兎角理論といへば何か教式が伴つねばならぬと考えたり又教式で表現されればそれを立派な基礎理論と考え勝ちな間違つた習慣に基づき誤りなのである。切削理論はその内容が切削現象の根本原理を追求するものである限り、説明が定性的であろうと、或いは定量的であろうと敢て問う所ではない。

上述の様々の実用上の法則、公式が何故成立するのか、その拠つて来る所を根本的に解明する事こそ切削理論の一つの使命なのである。

2. 切削理論の最近の発展

今日の進歩した切削理論はこれを大別すると実験的観察に基づくものと理論的考察に基づくものとなる。前者に属するものに切屑の生成機構、切削による被削材の変形、内部応力、剪断角、構成刃先、刃先の変形、切削仕上面の粗さ、加工硬化層の生成等の切削機構に関する理論があり、後者に属するものに切削抵抗並びに切削温度に関する理論がある。然し切削抵抗、切削温度に関する理論と雖も、その理論を展開するためには欠張り切削機構の実験的観察の結果がその基礎をなす事必ずしもでもない。

さて切削機構に関する実験的観察も、初めは J. T. Nicolson 博士の行つた様に切削速度毎時 0.2 呎という様な極めて低速度の時の切削機構を肉眼で観察したのであるが、その後観察方法は顕微鏡瞬間写真的方法或いは

毎秒16駒程度の普通の顕微鏡映画的方法に改められて切削速度を非劇的な低速度にしないで観察が可能となり、その後火花放電による瞬間撮影高速度映画撮影によつて非常な高切削速度に於ける切削機構の観察にも成功し又一方光弾性学的方法が取り入れられて切削機構の研究は一役と飛躍した。

更に最近では仕上面の研究に対し電子顕微鏡、電子廻折法、電極電位差磁気現象、磁歪現象、アイソトープ、或いは最近急速に発達しつつある仕上面粗さ検査機等が用いられる様になつたので、切削機構の研究は益々急速に発展しつつある状況にある。

他方理論的考察の分野を顧みるに、従来切削の研究は主として実験的観察と精密測定によつて発達して来たのに対し、切削抵抗に就ては先づ構成刃先の伴わない流れ型切削の時の切削抵抗を最大剪断応力説或いは内部摩擦説により、解析する事が試みられ夫々一応その目的を達成した。次いで構成刃先を生じない流れ型切削と構成刃先を伴つた流れ型切削に分けてその時の切削抵抗を塑性力学的に解析する事が試みられ更に剪断型切削に於ける切削抵抗を塑性力学的に解析する事も試みられ夫々成功したが、最近に至り被削材が切削に当り加工硬化する事を考慮に入れて切削抵抗を剪断歪エネルギー説を以つて解析する事も遂に成功した。かくして切削抵抗は次第に理論的に明快に説明し得られる様になつて来た。

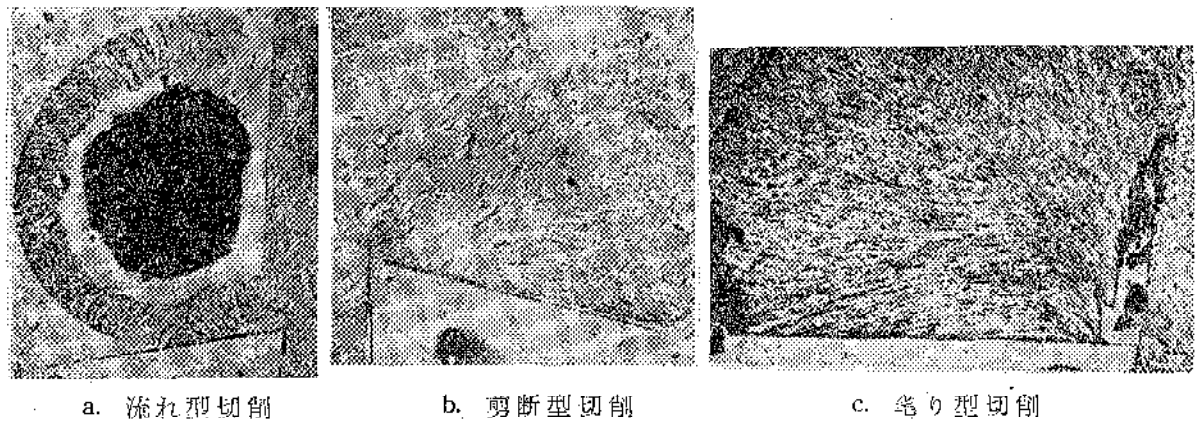
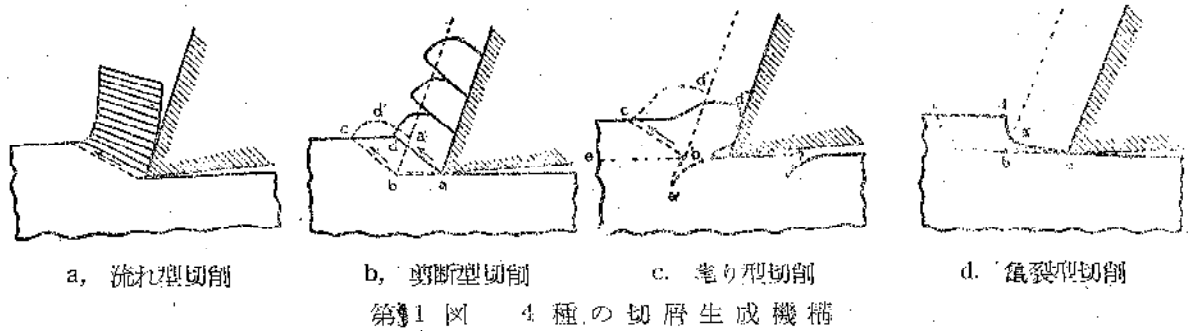
又切削温度に就ても従来は実測一点張りであつたのに対し最近では切削機構に基づいて相当程度まで理論的に切削温度を推定し得る様になり、この方面の最近の発展にも真に刮目すべきものが多い。

この講義に於ては最近の切削理論を紹介すると共に切削理論より見て精密加工の条件は如何に選ぶべきかに就いて説明する積りである。

3. 切屑の生成機構

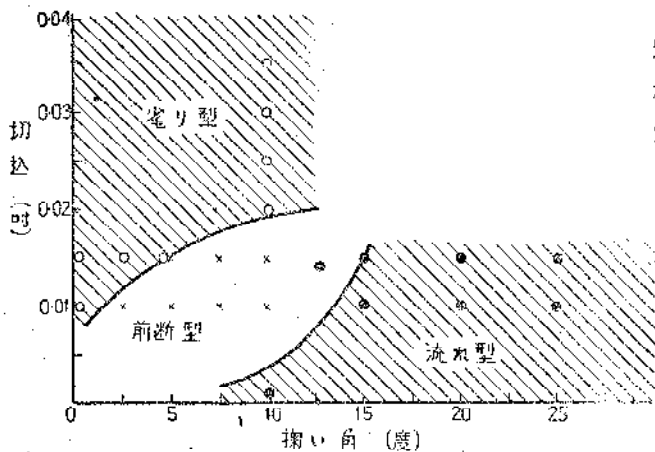
切屑の生成機構は被削材の材質、掘り角、切込、切削速度等により種々に変化するが、大別して流れ型 (flow type)、剪断型 (shear type)、引き型 (tear type)、及び亀裂型 (crack type) の種類になる。

図1はこれ等4種の切屑生成機構の状況を示す。尚お切削に當つての被削材の流動状況は図2により更に明瞭



に了解する事が出来る。但し亀裂型の場合には被削材は殆んど変形或いは流動を作わない。

軟鋼、Ni-Cr 鋼、黄銅、アルミニウム等の材料を大なる捲い角、小なる切込で切削すれば流れ型となり、



第3図 切屑生成機構の3形態と捲い角、切込との関係

小なる捲い角、大なる切込で切削すれば巻り型となり、中間の捲い角、切込で切削すれば剪断型となる。捲い角、切込、切屑生成機構間の関係は図3の様になる。

又鑄鉄の様な脆い材料を小なる捲い角の工具で比較的高速度で切削すれば剪断型となり、大なる捲い角の工具で比較的抵速度で切削すれば亀裂型となるがかかる材料

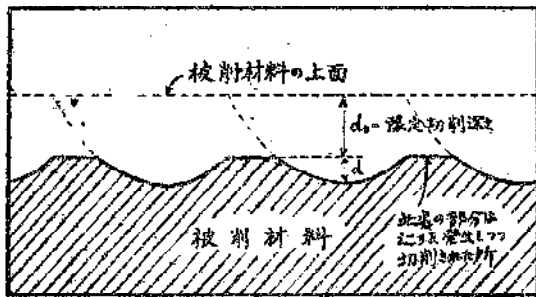
は、捲い角、切込等を如何に変えても常温で切削する限り流れ型、巻り型の切削は行われない。

切削仕上面を成可く平滑にせんとする精密加工の観点からいえば、流れ型切削の行われる場合が最も理想的である。剪断型切削の場合には切刃が前進して次の滑り破壊が発生するまでの間、刃先は大体引張応力により被削材を大体切削方向に破壊するが、その際開き破壊の方向が常に正しく切削方向に一致するとは限らない。場合によつては、破壊の方向は少し内部に喰い込む事がある。

その際には仕上面は流れ型の場合より悪くなる。

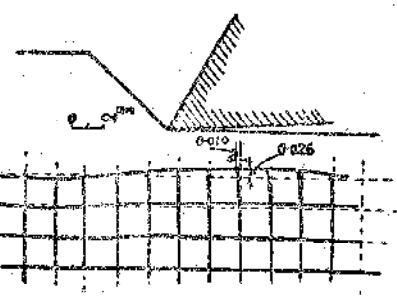
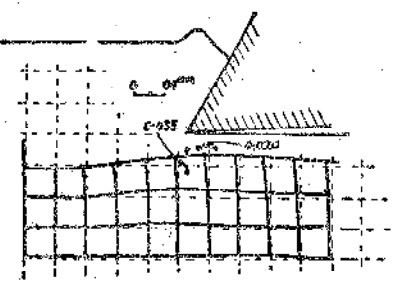
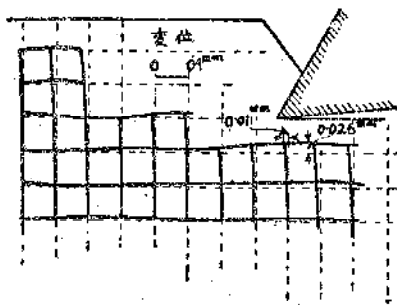
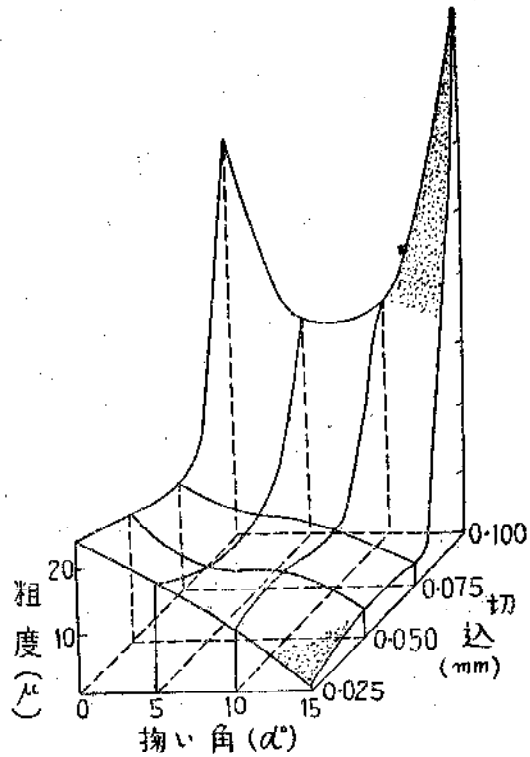
巻り型切削の場合には仕上面に相当大きな巻り跡を残し、しかも仕上面内の残留歪は相当の深さにまで達して居るから剪断型の場合に比し更に不良な切削である。脆性材料に発生し易い亀裂型に於ては捲い角が大きい場合には亀裂が切削方向に平行か、或いは少し上向きに発生するからよいが、捲い角が小さくなると亀裂が切削方向より下方に向つて進行する様になるから、結局仕上面の状況は図4の様になりこの切削形態は精密加工の立場から見て極めて悪い形態といわねばならない。

尚、軟鋼、Ni-Cr 鋼、黄銅、アルミニウム等を切削する場合の仕上面の粗さは、捲い角、切込により図5の様に変化する。



第4図 亀裂型切削による仕上面
(但 掬い角小なる場合)

第5図 掬い角、切込と仕上面粗
さとの関係

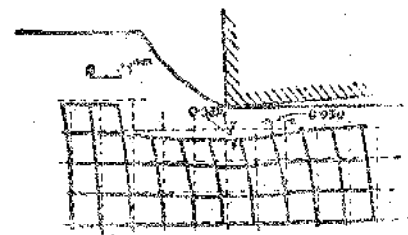
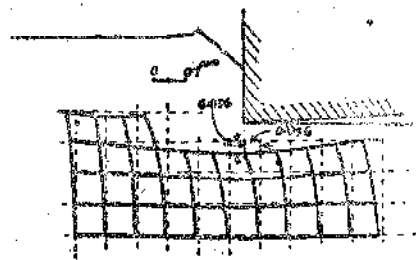
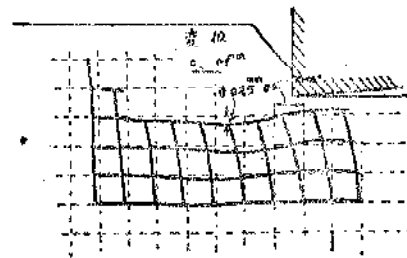


第6図 被削材の変形
(但 掬い角=30°)

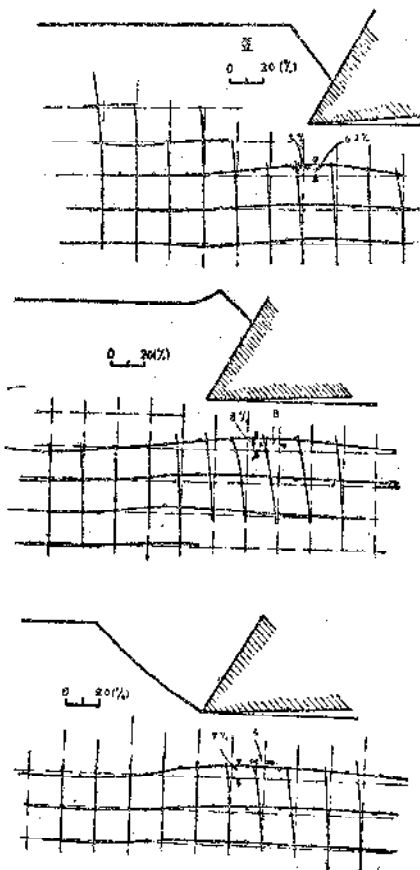
4. 被削材内の歪

被削材の側面に一定間隔の縦横の細線を極めて精密に画いて置き、切削中の細線の状況を顕微鏡映画により連続撮影して吟味すると、図6及び図7の様な結果となる。但し図6は掬い角30°(切削角60°)、図7は掬い角0°(切削角90°)の場合であり共に四六黄銅を切削せる場合の例である。

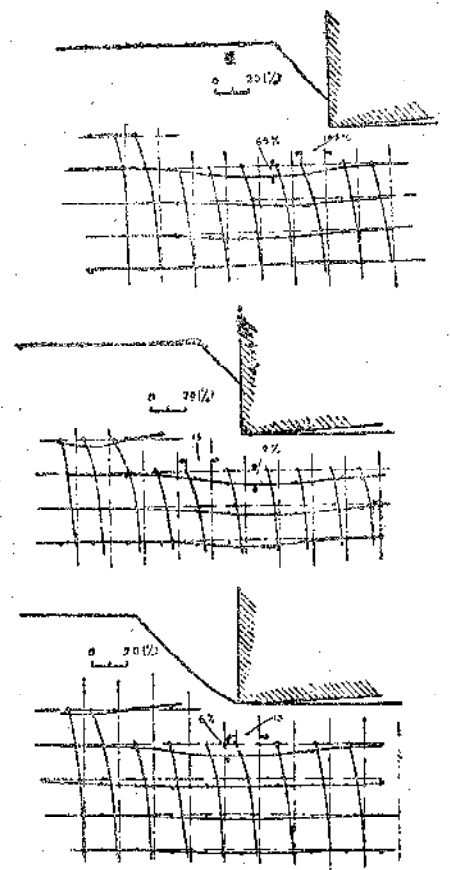
この縦横の細線の変位状況から被削材内各点に於ける歪の分布状態を求めると図8及び図9の様な結果となる。但し水平鎖線と水平方向の曲線との間の距離は、その部分に於ける上下方向の直接歪(水平鎖線より上は引張歪、水平鎖線より下は圧縮歪)を表わし垂直鎖線と垂直方向の曲線との間の距離はその部分に於



第7図 被削材の変形
(但 掬い角=0°)



第8図 被削材内の歪
(但 搦い角=30°)



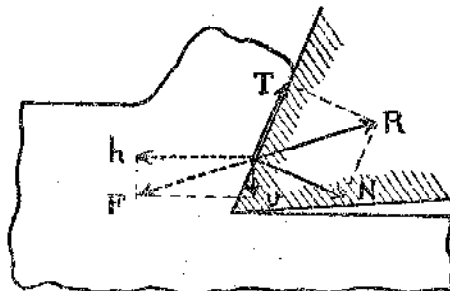
第9図 被削材内の歪
(但 搦い角=0°)

ける剪断歪を表わしている。

図よりも明らかな様に、上下方向の直接歪は搦い角が30°の時には大部分引張歪、搦い角が0°の時には大部分圧縮歪であり、且つ直接歪、剪断歪、は共に切削の進行と共に益々増大し滑りの発生直前にそれぞれ最大値となる。

水平方向の直接歪の状況は殆んど剪断歪と同様であるから省略した。水平方向の直接歪は搦い角の大きさに無関係に殆んど常に圧縮歪である。

何故搦い角の大小により上下方向の直接歪がある場合には引張歪となり、ある場合には圧縮歪となり又水平方向の直接歪は搦い角の大きさに無関係に常に圧縮歪となるかは図10に示す力の作用状況から容易に説明し得られる。



第10図 切削工具に作用する切削抵抗の状況

図に於て

- θ = 切削角
- R = 切削抵抗の合力
- T = Rの搦い面の方向の分力
- N = Rの搦い面に垂直の方向の分力
- F = 被削材に作用する力の合力
- h = Fの水平分力
- v = Fの垂直分力

とすればhとvは次式で表わされる。

$$h = N \sin \theta + T \cos \theta$$

$$v = T \sin \theta - N \cos \theta$$

即ち上式より明らかな様に、水平分力hはN, T, θ (但、 $0 < \theta < 90^\circ$) の大きさに関係なく常に正の値をとる。従つて被削材が常に切削工具の前進方向に圧縮されているのは当然である。

又垂直分力vの値はT, N, θ の大きさによりある場合には正值となりある場合には負値となり得る。即ち $T \sin \theta > N \cos \theta$ の成立する場合には正值となり下方に圧縮され、 $T \sin \theta < N \cos \theta$ の成立する場合には負値となり上方に引張り上げられる。この第2の場合は θ の比較的小なる時即ち、切削角の鋭角の場合に起り易い事は明白である。

又、 $T \sin \theta = N \cos \theta$ の成立する場合には、vは零となり、被削材は上方に引張り上げられもせず、又下方に圧縮されもしない。これは精密加工上、重要な意義を持つている。この条件の成立する場合の切削角 θ_c を臨界切削角と称する。

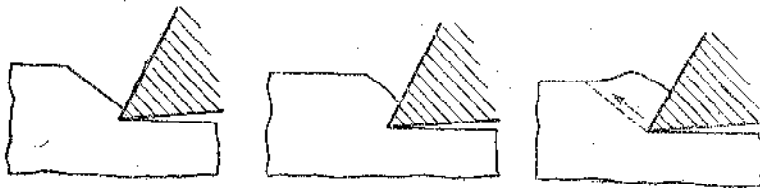
潤滑剤を充分に使用する時はTの値はNの値に比し小さくなるので、 $T \sin \theta < N \cos \theta$ が成立する様になり、潤滑剤を使用しTの値を減少せしめる事は切削角を小にする事と同一結果となる。

即ちこれより考えて、切削油を使用したために切削仕上面が良好になるのは切削油の存在するために構成双先の発生を防止する事の他に、双先の角度が切削油の存在のためにあたかも減少したと同じ結果になつたためであるとも言える訳である。優良なる切削油の効果は軟鋼切削の場合擦り角に於いて 5° の減少に比適する事になる。

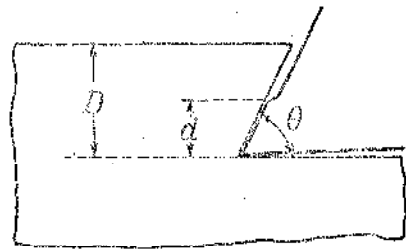
以上の事から仕上面を良好ならしめるための切削油は冷却剤としての性質のものよりも潤滑剤としての性質の強いものを用いねばならないと結論し得る。

5. 被削材内の応力分布状態

切削に際し被削材に如何なる応力が発生するか、換言すれば切削は如何なる応力の作用の下に行われるかという研究は主として光弾性学的方法で行われているが、切削は結局応力が弾性限を越して材料が破壊する時の現象であるから、実際に切削を行い乍ら双先直前の切削の真に行われている部分の応力分布状態を光弾性学的方法で観測する事はなかなか困難である。(*)



第 11 図 剪断型切削の進行状況



第 12 図

(*)さて剪断型切削の時の切削機構を考えるに、双先の喰込み状態は図 11 に示す様に次第に増大して遂に点線の方向に滑り破壊を起すのである。其処で双先直前の部分の応力分布状態は図 12 に示す様な一種の模型実験から類推された。図 13 は切削角 60° , $\frac{d}{D} = \frac{1}{2}$ の場合の実験結果であり図 14 は切削角 90° , $\frac{d}{D} = \frac{1}{2}$ の場合の実験結果を示す。

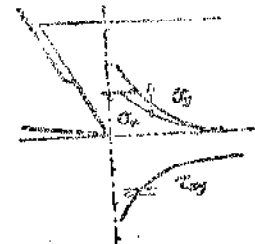
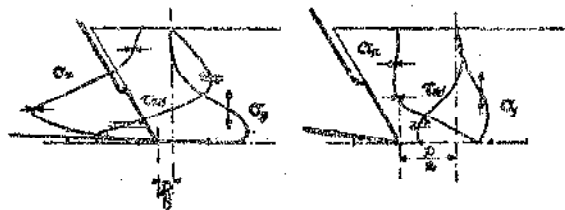
図中 σ_x は水平方向の応力、 σ_y は上下方向の応力、 τ_{xy} は水平方向の剪断応力を表わし $\leftarrow \cdot \rightarrow$ は引張応力 $\rightarrow \cdot \leftarrow$ は圧縮応力、 \curvearrowright は剪断応力の方向を示す。

これ等の実験結果から明かな様に双先を通る水平断面(切削せられるべき方向)に発生する破壊は水平方向の剪断応力に助けられつつ上下方向の引張応力によつて行われ、又双先直前の垂直断面に於ける σ_x , σ_y , τ_{xy} の極大値に達する部分(即ち破壊の最も起り易い部分)は垂直断面の位置が双先から遠ざかるに従い被削材の上面に近づくのである。

これ等の結果は、切削の難易が主として剪断強度により左右され、切削仕上面の粗さが剪断強度、引張強度に

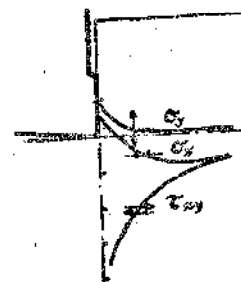
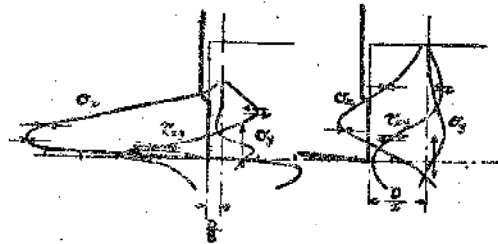
第 13 図

$\theta = 60^\circ$, $d/D = \frac{1}{2}$ の時の応力分布状態



第 14 図

$\theta = 90^\circ$, $d/D = \frac{1}{2}$ の時の応力分布状態



より左右され又剪断面が双先から斜め上方に発生する事等を十分に説明している。

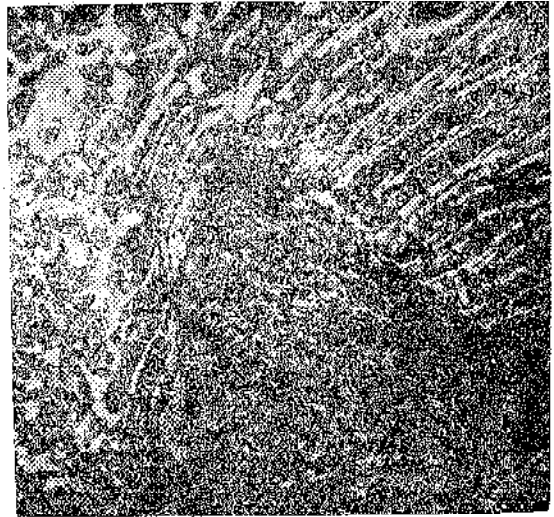
6. 構成双先

構成双先は軟鋼、四六黄銅、不銹鋼、アルミニウムの様な比較的柔軟な従つて流れ型切削、又は剪断型切削を行い易い材料で且つ工具材と親和力 (affinity) の強い材料の場合には発生するが錐鉄、青銅、絶縁材料、硝子、大理石、岩石等の様な脆性物質の場合には発生し難い事は確かであるが最近の研究によれば、構成双先の発生し易

さは被削材の元来の延性には直接的に関係はなく、むしろ加工硬化後の延性に関係し又被削材の破壊される時の引張仕事量、剪断仕事量によつて左右されると報告されている。

構成双先が如何なる機構の下に発生するかに就いては従来種々の説が提唱された。初めは切削に当り切屑から分離した小片が高温高圧のため熔着せるものとされ、次には切屑から分離した圧縮物質であると改められ、その後急激な加工硬化で特異物質が出来これが粘着したのであるとされ、又塑性変形に当り滑り面に特異物質を生じこれが初め変位して潤滑作用をなし後直に安定した脆性金属となつたのであるともいわれている。

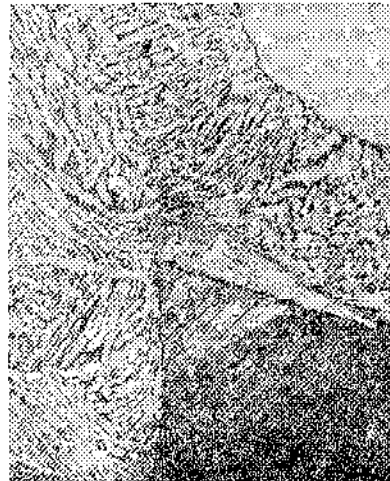
兎に角構成双先は被削材本来の硬度に比較して遙かに高い硬度の脆性物質であり、その内部組織は図15に示す様に層状をなしている。



第15図 構成双先の内部組織
(被削材=軟鋼)



a 掬い角 = 0°



b 掬い角 = 20°

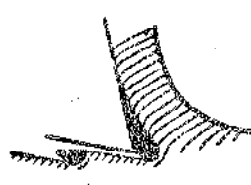


c 掬い角 = 30°

第16図 掬い角と構成双先



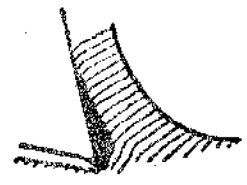
a



b



c



d

第17図 構成双先の生長、脱落状況

この構成双先は図16に示す様に掬い角の小なる時程出来易く反対に掬い角が大きくなると出来難くなり30°になると遂に消滅して仕舞う。又構成双先の上端(所謂掬い面)の傾きは工具の掬い角の大きさに関係なく一定である。Rosenhain & Sturney の研究によれば構成双先の掬い角は常に30°となり又星光一の研究によれば常に40°になる。

火花放電による瞬間撮影並びに高速度映画撮影による高速切削時の構成双先を観察した結果によれば構成双先は図17に示す様に約 $\frac{1}{10}$ 乃至 $\frac{1}{200}$ 秒の週期をもつて発生、生長、分裂、脱落の過程を繰返し且つ切削速度が非常に小なる時は発生し難いが切削速度の増大と共に発生し易くなり又切削速度が、ある値以上になると又消滅して仕舞う。軟鋼の場合には最も発生し易い切削速度は20乃

至 50m/min であり、消失する所謂臨界速度は約 100m/min である。但し被削材の内部に結晶粒の彎曲を残さぬためには 120m/min でも不充分であり 600m/min 位の高速度にせねばならない様である。

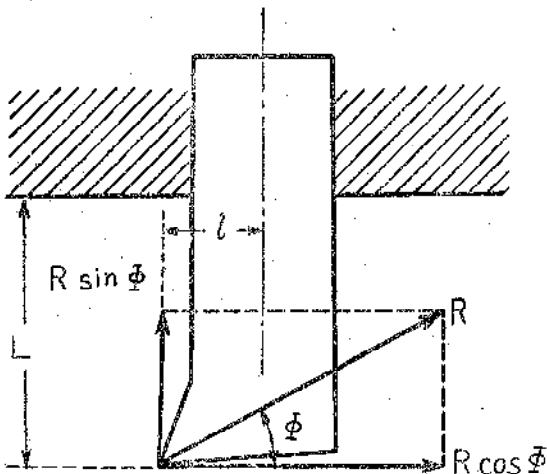
構成双先の発生は又工具の掬い角、切削速度のみならず切込、切削油剤の存否によつても大いに左右される。

構成双先は鋭利な切刃をくんで鈍角にし且つ切込量を増加させるから切削抵抗を増大せしめ、仕上寸法を狂わせ、仕上面の粗さを不良にし又仕面に厚い加工硬化層を生ぜしめ、その上構成双先の破砕により生じた硬い微粒子の摩擦によつて切削工具の掬い面と逃げ面の磨耗を促進する。構成双先の利点としては多少切刃の破損を防止する位のものである。(第18図省略)

構成双先は上述の様に精密加工に対し種々の害毒を及ぼすからなるべく構成双先の発生しない様な切削条件を選定する必要がある。

7. 双先の変形

バイトは図19に示す様に柄部を固定され先端には切削抵抗 R が作用して居るのであるから、これは明らかに



第 19 図

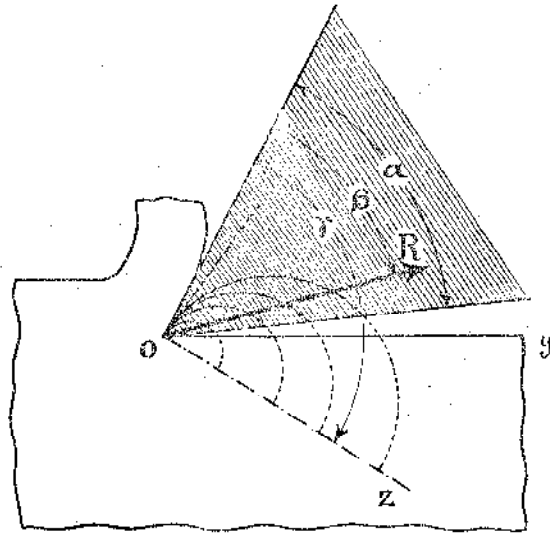
一種の片持ち梁 (canti-lever) である。

今 R の方向と水平方向との間の角を ϕ とすると、バイトの先端には水平方向に $R \cos \phi$ 、上下方向に $R \sin \phi$ なる力がそれぞれ作用する事になる。其れ故バイトの固定端からの突出長さを L としバイトの先端とバイトの中心軸との間の距離を l とすると結局バイトは $(LR \cos \phi \sim l R \sin \phi)$ なる彎曲モーメントを受ける事になる。もし $L R \cos \phi = l R \sin \phi$ ならばバイトは彎曲しないですむが $L R \cos \phi > l R \sin \phi$ ならば右方に彎曲せしめられ $L R \cos \phi < l R \sin \phi$ ならば左方に彎曲せられる筈である。

然るに一般に $L > l$ であり且つ、 $R \cos \phi > R \sin \phi$ で

あるから明らかに $L R \cos \phi > l R \sin \phi$ なる関係が成立し、バイトは常に右側に彎曲されている事は明白である。平削バイト、旋盤用バイトは勿論の事、ブローチ、フライス、鋸等の切削工具もその先端は皆一種の片持ち梁であるからいずれも切削に當つては前述の様に彎曲作用が起きているものと考えねばならない。

又切削工具の切刃は一種の楔である。従つて切削抵抗の合力 R の作用方向如何によつては切刃は楔としても彎曲を起すかも知れない。



第 20 図

第20図に於て

R = 切削抵抗の合力

α = 双先角

β = 掬い面と切削抵抗の合力との間の角度

OZ = 最大応力の方向

γ = 掬い面と最大応力の方向との間の角度

とすれば γ は次式を以つて表わされる。

$$\tan \gamma = \frac{\sin^2 \alpha - \tan \beta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - \alpha \cdot \tan \beta}{\tan \beta \cdot \sin^2 \alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha - \alpha}$$

式中 α は切削工具の双先角であるから初めから與えられた値であり、 β は被削材の種類、 α の値等できる値であり、実験により求められる値である。この式の中に α 、 β の数値を入れて γ を求めた時 γ の値が 90° より小ならば双先は唯圧縮応力を受けるのみであるが、もし γ の値が 90° より大きくなる様であれば、双先は楔として彎曲を起している事になる。

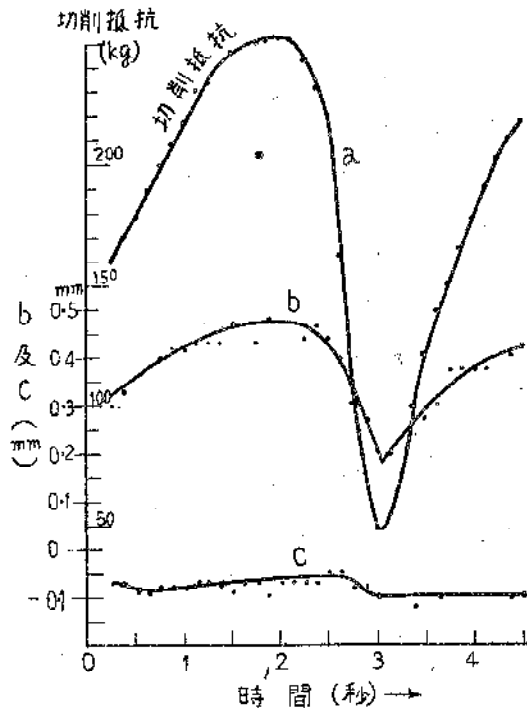
其処でニッケルクロム鋼、ニッケル鋼、軟鋼、中硬鋼、砲金、鋳鉄、四六黄銅等の材料を $\alpha = 75^\circ$ 及び 50° の切削工具で切削した時の β の値を上式に代入して γ の値を求めて見るに次表の様になる。即ち $\alpha = 50^\circ \sim 75^\circ$ の範囲内では γ の値は常に 90° より大であるから双先は常に楔として彎曲して居る事になる。

表 1. 各種被削材の γ の値

被削材の種類	γ	
	$\alpha = 75^\circ$ の場合	$\alpha = 50^\circ$ の場合
ニッケルクロム鋼	99° 7'	96° 54'
ニッケル鋼	96° 5'	99° 16'
軟鋼	101° 29'	101° 21'
中硬鋼	97° 24'	101° 11'
砲金	103° 25'	106° 2'
鑄鉄	96° 53'	96° 4'
四六黄銅	115° 6' (但 $\alpha = 55^\circ$ の場合)	

以上の吟味で明白な様に切削工具の先端は一般に片持ち梁として又楔として二重に彎曲していると結論される。

従つて切削中切削抵抗が時間と共に変動せず一定値を保つて居る場合には双先が仮令切削抵抗のために彎曲していてもその彎曲の程度も常に一定であるから仕上面は少し削り過ぎるのみで平滑であるが、切削抵抗が時間と共に変化する様な場合には双先の彎曲の程度もそれに応じて変化するから仕上面はそれに応じて波型となる。



第21図 切削抵抗の変動状況(a)と双先の変位(b)と仕上面の形状(c)との関係

然るに切削抵抗は流れ型切削の場合には時間に無関係に一定であるが、剪断型、傘り型、亀裂型等の場合には常に激しく変動する。従つて双先の彎曲の点からいつて

も流れ型切削が精密加工上最も望ましいといえる。図21は軟鋼を切削角 90° の工具で切削せる時の切削抵抗の変動状況(曲線 a)と、双先の変位(曲線 b)と仕上面の形状(曲線 c)との間の関係を示す。

8. 切削抵抗の力学

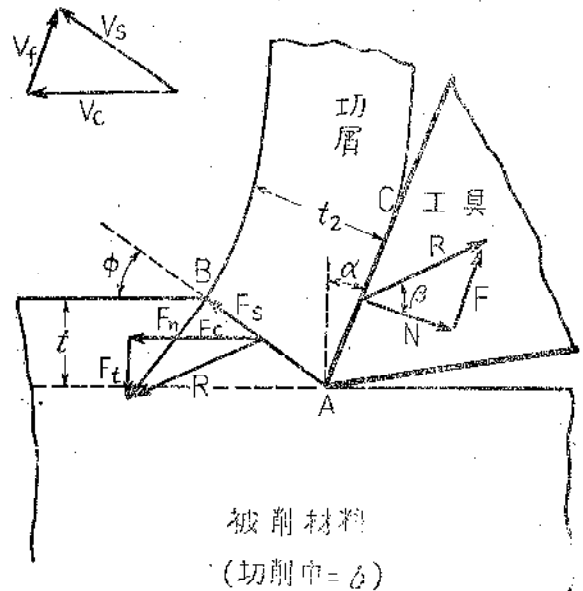
(但 Orthogonal cutting)

$$\text{Shearing strain } \varepsilon = \cot \phi + \tan(\phi - \alpha) \dots\dots(1)$$

$$\tan \phi = \frac{(t_1/t_2) \cos \alpha}{1 - (t_1/t_2) \sin \alpha} = \frac{\gamma_c \cos \alpha}{1 - \gamma_c \sin \alpha} \dots\dots(2)$$

$$\text{Velocity of shear } V_s = V_0 \frac{\cos \alpha}{\cos(\phi - \alpha)} \dots\dots(3)$$

$$\text{Velocity of chip flow } V_f = V_0 \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \dots\dots(4)$$



第22図 流れ型切削の場合の力の釣合

式中

V_0 : 切削速度 α : 挿ひ角 γ_c : 切削比

V_s : 剪断速度 ϕ : 剪断角 $= (t_1/t_2)$

V_f : 切屑の流出速度 ε : 剪断歪 $= \left(\frac{1}{L}\right)$

$$F_s = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi \dots\dots(5)$$

$$F_n = F_c \sin \phi + F_t \cos \phi \dots\dots(6)$$

$$F = F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha \dots\dots(7)$$

$$N = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha \dots\dots(8)$$

$$\mu = \tan \beta = \frac{F}{N} = \frac{F_t + F_c \tan \alpha}{F_c - F_t \tan \alpha} \dots\dots(9)$$

式中

F_s : 剪断面に沿ての R の分力

F_n : 剪断面に垂直なる R の分力

F: 挿ひ面に沿ての R の分力

N : 掘い面に垂直なる R の分力

μ : 掘い面の摩擦系数

β : 掘い面の摩擦角

式中

τ_s : 剪断面に於ける平均剪断応力

σ_s : 剪断面に於ける平均垂直応力

A_s : 剪断面積

A_0 : 切削面積 = $(t_1 b)$

R : 切削抵抗の合力

F_c : R の水平分力

F_t : R の垂直分力

$$\tau_s = \frac{F_n}{A_s} = \frac{(F_c \cos \phi - F_t \sin \phi) \sin \phi}{A_0} \dots\dots\dots (10)$$

$$\sigma_s = \frac{F_n}{A_s} = \frac{(F_c \sin \phi + F_t \cos \phi) \sin \phi}{A_0} \dots\dots\dots (11)$$

$$R = \frac{\tau_s A_0}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} \dots\dots\dots (12)$$

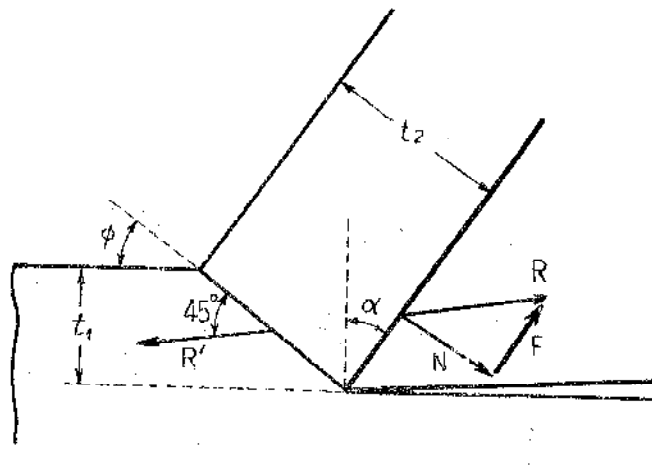
$$F_c = \frac{\tau_s A_0 \cos(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} \dots\dots\dots (13)$$

$$F_t = \frac{\tau_s A_0 \sin(\beta - \alpha)}{\sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)} \dots\dots\dots (14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Work done in shear } W_s = \tau_s [\cot \phi + \tan(\phi - \alpha)] \dots\dots\dots (15) \\ \text{Work done in overcoming friction } W_f = \frac{F}{A_0} \cdot \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \dots\dots\dots (16) \\ \text{Work done in cutting } W_h = \frac{F_c}{A_0} \dots\dots\dots (17) \end{array} \right.$$

9. 切削抵抗の塑性理論的考察

最大剪断応力説に基づく考察



第 23 図

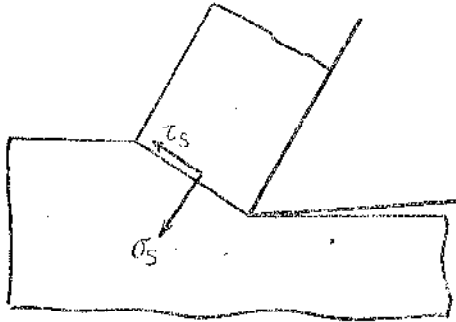
Krystof: $\phi + \beta - \alpha = \frac{\pi}{4}$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_c = R \cos(\beta - \alpha) = \frac{1}{\sqrt{2}} \tau_0 A_0 (1 + \cot \phi) \dots\dots\dots (18) \\ F_t = R \sin(\beta - \alpha) = \frac{1}{\sqrt{2}} \tau_0 A_0 (\cot \phi - 1) \dots\dots\dots (19) \end{array} \right.$$

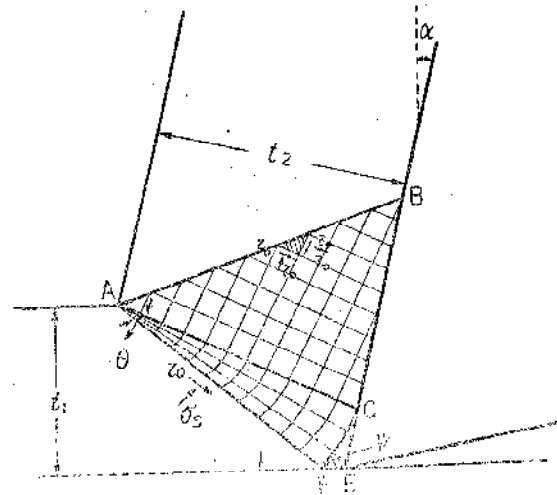
Merchant: $2\phi + \beta - \alpha = \frac{\pi}{2}$

$$\left\{ \begin{array}{l} F_c = \tau_0 A_0 \left\{ \tan\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) + \cot \phi \right\} \dots\dots\dots (20) \\ F_t = \tau_0 A_0 \left\{ \tan\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) \cot \phi - 1 \right\} \dots\dots\dots (21) \end{array} \right.$$

内部摩擦説に基づく考察 (Merchant)



第 24 図



第 25 図

$$\tau_s = \tau_0 + k\sigma_s$$

$$R = \frac{\tau_0 A_0}{\{1 - k \tan(\phi + \beta - \alpha) \sin \phi \cos(\phi + \beta - \alpha)\}} \dots (22)$$

R を最少にする様な ϕ は $\cot(2\phi + \beta - \alpha) = k$

$$\therefore 2\phi + \beta - \alpha = \cot^{-1} k = C$$

$$\{F_c = \tau_0 A_0 \{ \tan(C - \phi) + \cot \phi \} \dots (23)$$

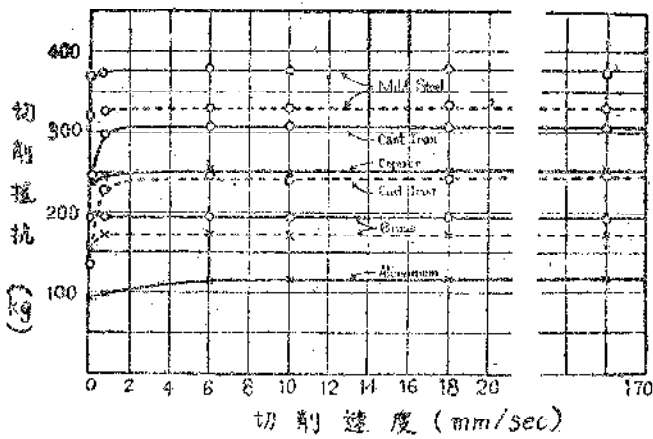
$$\{F_t = \tau_0 A_0 \{ \tan(C - \phi) \cot \phi - 1 \} \dots (24)$$

構成刃先を生ずる場合の考察 (Lee-Shaffer)

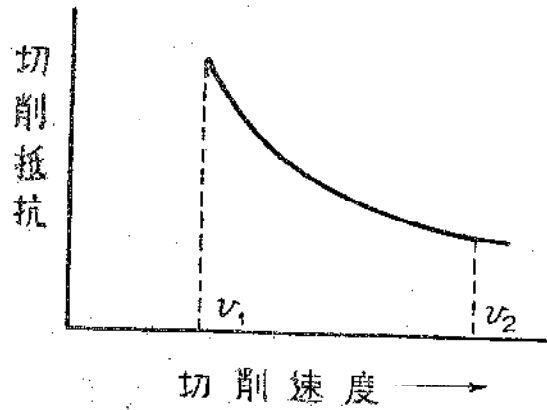
$$\left\{ F_c = \tau_0 A_0 \left[(1 + 2\theta + \tan \psi) - \frac{\cos 2\psi}{\cos \psi \cos \alpha} \left\{ \cos \left(\frac{\pi}{4} - \beta \right) - \sin(\psi + \alpha) \right\} \right] \dots (25)$$

$$\left\{ F_t = \tau_0 A_0 \left[(1 + 2\theta) \tan \psi - 1 + \frac{\cos \left(\frac{\pi}{4} - \beta \right) - \sin(\psi + \alpha)}{\cos \psi \cdot \cos \alpha} (1 + 2\theta - \sin \psi) \right] \dots (26)$$

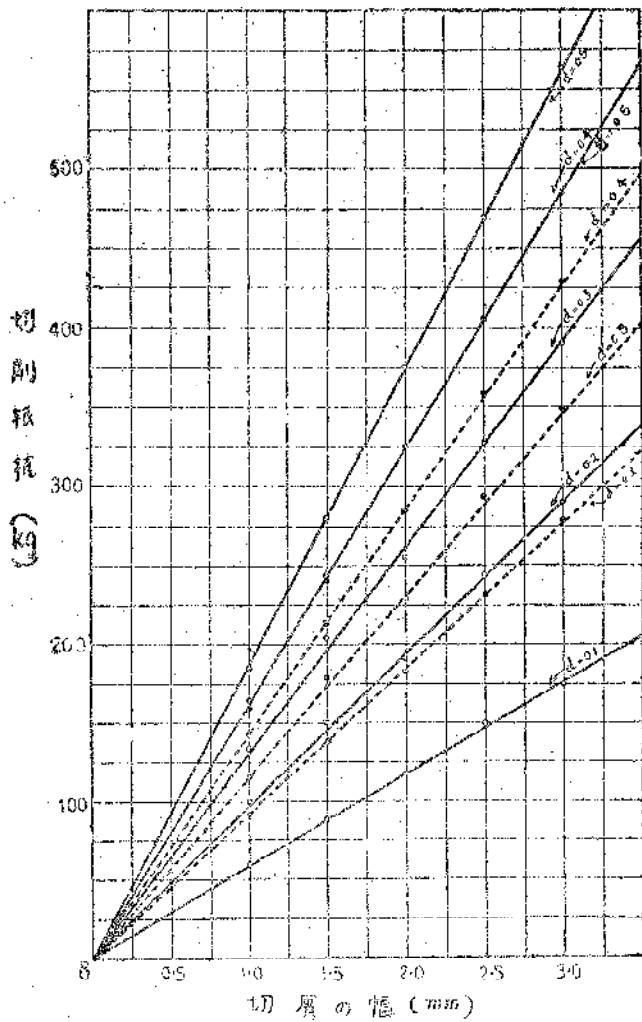
10. 切削抵抗の基礎的性質



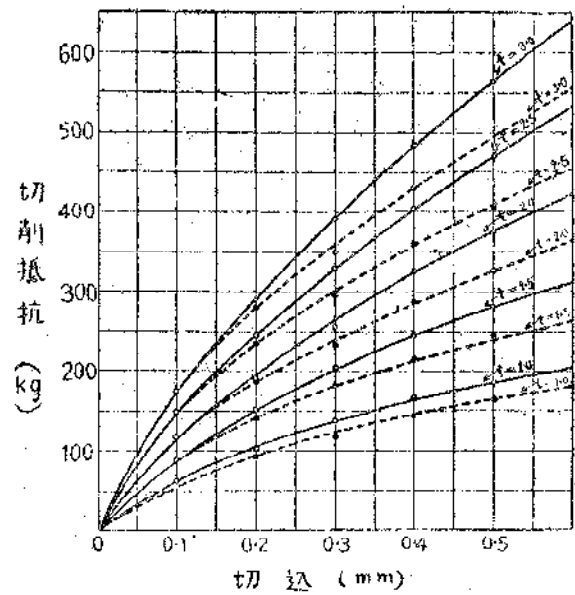
第 26 圖



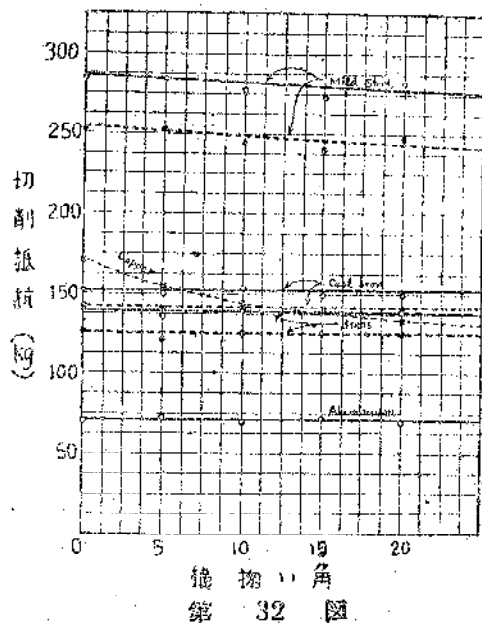
第 27 圖



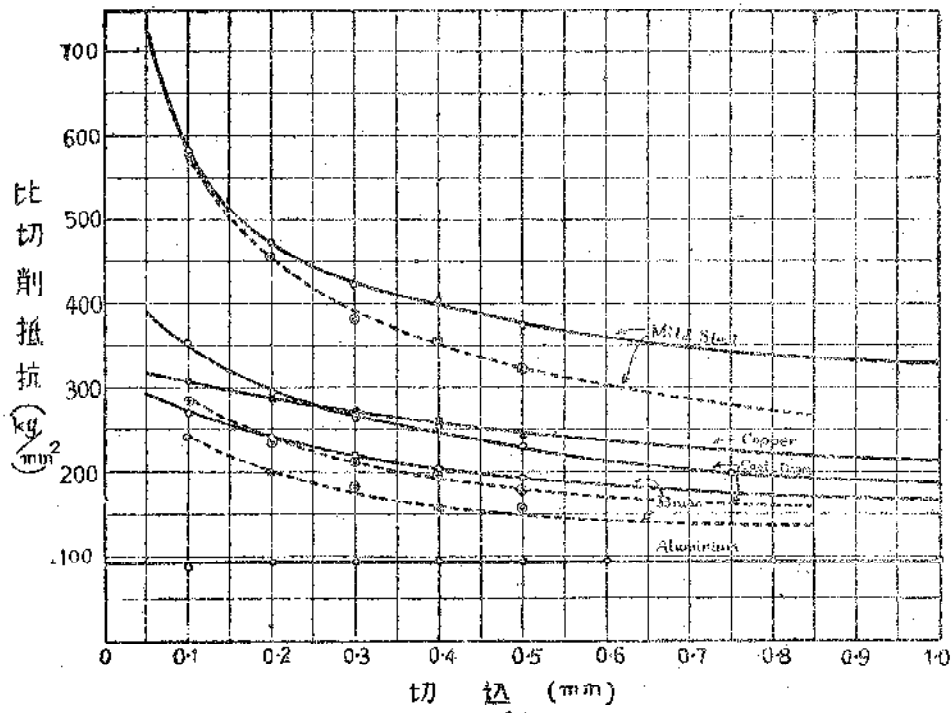
第 28 圖



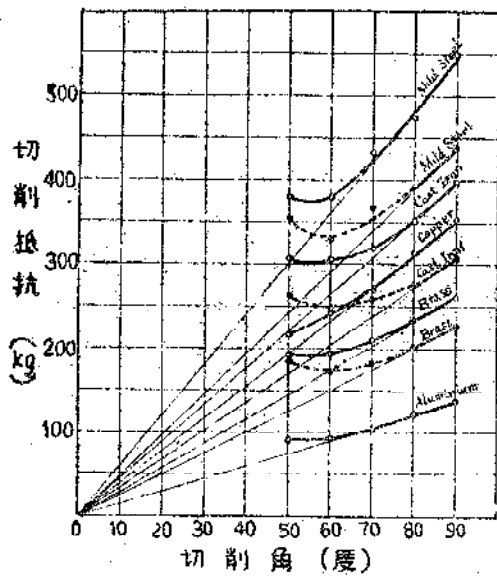
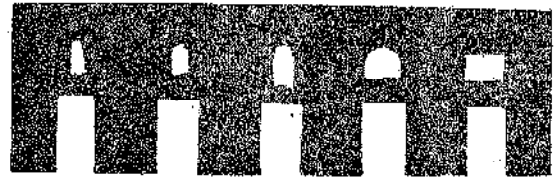
第 29 圖



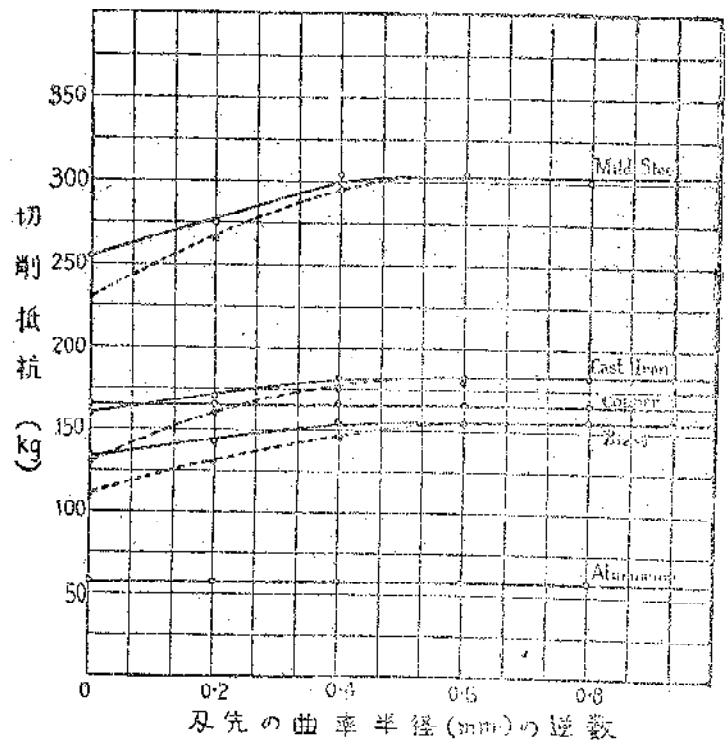
第 32 圖



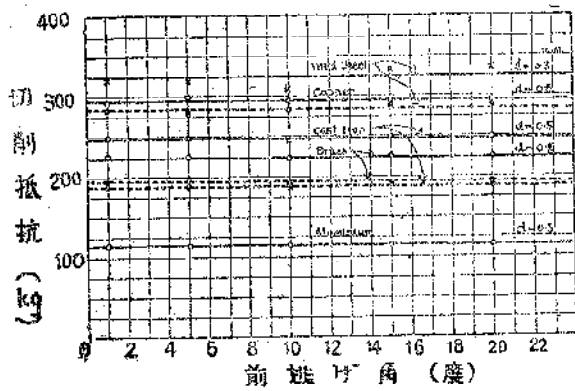
第 30 圖



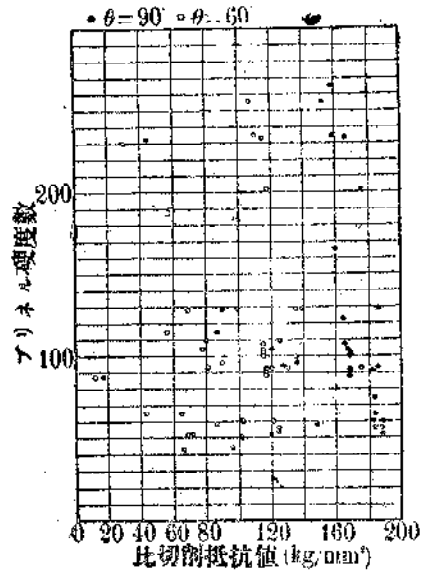
第 31 圖



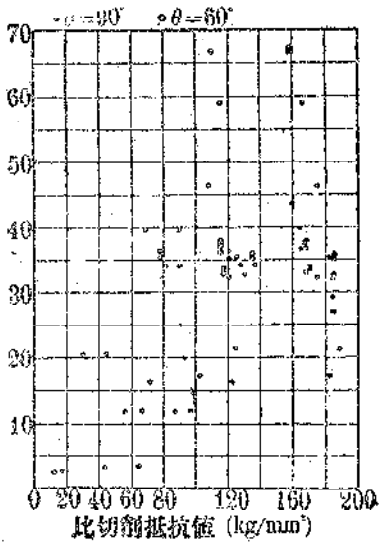
第 34 圖



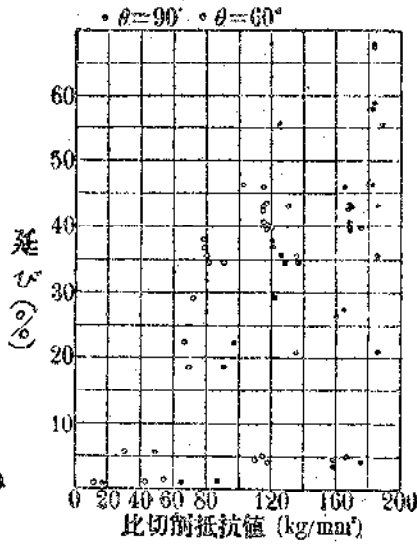
第 33 図



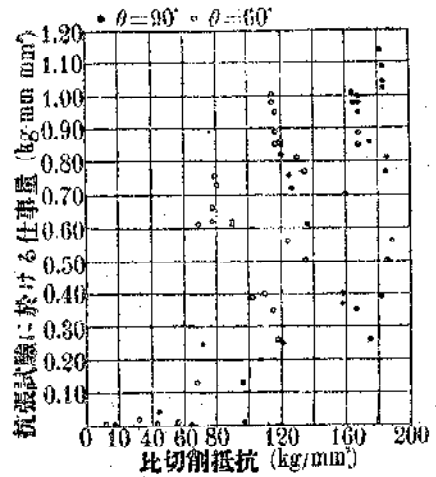
第 35 図



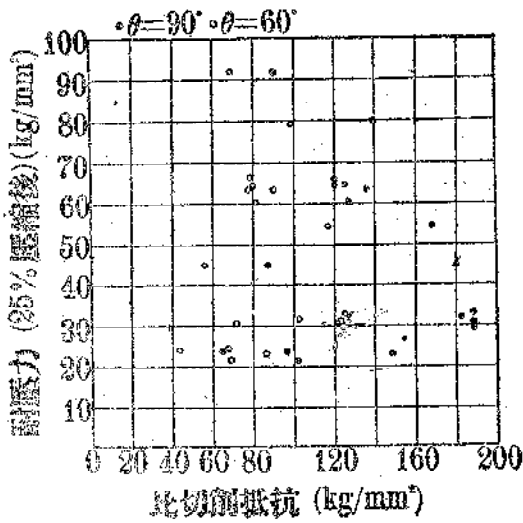
第 36 図



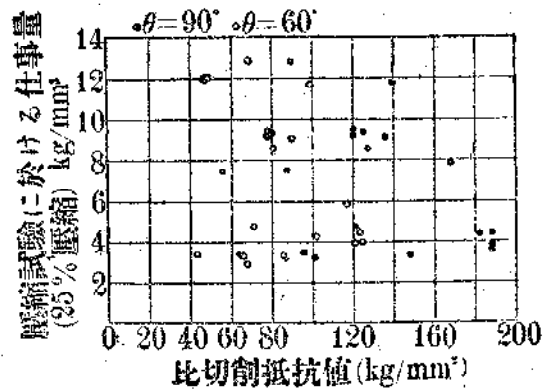
第 37 図



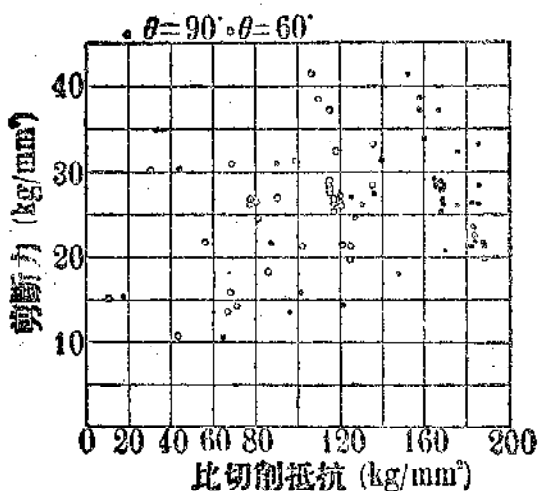
第 38 図



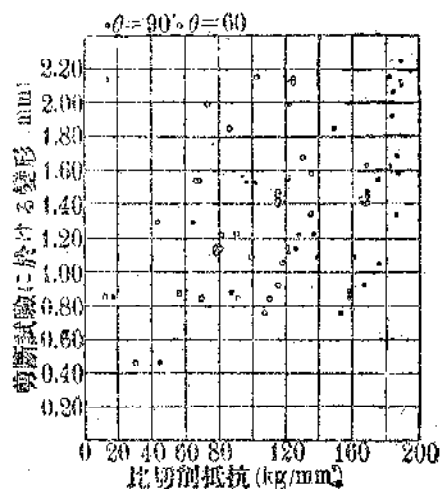
第 39 図



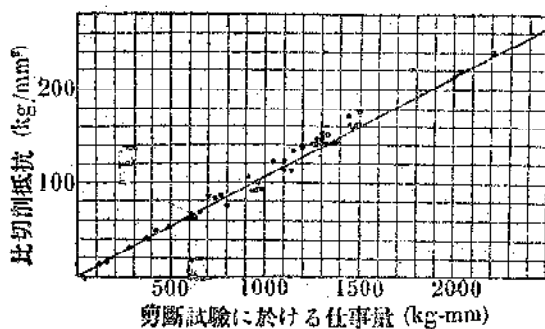
第 40 図



第 41 図



第 42 図



第 43 図

ネジの精密工作

阪大工学部助教授 津 和 秀 夫

1. 緒 言

ネジとしては機素を接合するために用いる締め付けネジと、機素の運動を行わせるために使われる送りネジとの別がある。前者はその工作精度はさして高いことを要求せられるのではないが、後者は回転運動を直線運動に変える為に用いられるもので、例えば旋盤の親ネジ、マイクロメータネジなどのように正確な送り運動を生命とするものが多い。このような目的に用いられるネジとしては形状寸法に高い精度が要求せられるのであつて、その目的のために種々の精密工作法が採用せられている。又ネジは機械要素としては最も廣く互換性を要求せられるものであるため、たとえ運動の正確さはほど要求せられない締め付けネジに対しても一定の寸法限界内に入れるためには或る程度の精密工作を必要とするものであ

る。

ネジの工作法として現在採用せられている方法を挙げれば次のようになる。

- (1) 旋 削
- (2) タップ及びダイスによる工作
- (3) フライス仕上
 - 単山ネジフライスによるもの(長床ネジフライス盤)
 - 多山ネジフライスによるもの(短床ネジフライス盤)
- (4) 創生法
- (5) 研 削
 - 単山砥石車によるもの
 - 多山砥石車によるもの
 - 心ナシネジ研削