

超硬合金切削工具の初期損傷進展に関する考察*

五十君 清司^{*1}, 打田 元美^{*1}Observations of Early-Stage Damage
of a Sintered Carbide Tool

Kiyoshi ISOGIMI and Motomi UCHIDA

The sintered carbide tool is commonly used in various manufacturing operations, and it is chosen as the object of this research. Under the commonly used cutting speed, some ultra short-time cutting operations, (about 0.006 - 0.02 seconds) are performed, and the behavior of the formation and propagation of damage in the early stage of cutting is investigated in detail through the observation of worked surfaces and the cutting edge. Consequently it was clarified that no visible damage is formed at the end period of the rubbing region, and beyond the dug-up region damage is formed and propagates very quickly. Furthermore a very convenient method of evaluating the quantity of the damage at the beginning of the cutting region with chips is proposed.

Key Words: Cutting, Sintered Carbide Tool, Early-Stage Damage, Commonly Used Cutting Speed, Static Compressive Load, FEM Analysis

1. 緒 言

脆性材料製工具に生成する切削初期の損傷は、機械的な原因のみによって支配され、切れ刃に生じた微細な欠損が擦過されてわずかな摩耗となって現れるものと考えられている。このような損傷は切削条件が厳しくなるほど容易に発生し、その損傷形態がその後の損傷の進展や加工面の性状にかなり大きな影響を及ぼすものと思われる。これまで切削試験や微少切削に関する研究は数多く行われてきている⁽¹⁾が、切削のごく初期に生ずる損傷については余り明確にされていない。また超硬合金工具の初期欠損に関しては、浅井ら⁽²⁾を始めとした研究があるが、これらも断続切削を対象にしたもので、通常の連続切削条件下の初期損傷はまったく扱っていない。さらに、切削初期において切り屑を排出して切削を開始するまでの過渡期に於ける現象

を明らかにしようとして、低い切削速度域での現象を観察したり、物性論的に考察を加えた研究⁽³⁾や、砥粒切れ刃を用いて行った研究⁽⁴⁾が見られるにすぎない。

本研究では、代表的な脆性材料切削工具である超硬合金製工具を対象に、常用切削速度下で極めて短時間の切削を行い、被削面や工具切れ刃の状態を詳細に観察して初期損傷が発生するまでの過渡現象を明らかにすると共に、測定した切削抵抗値を利用して初期損傷量を評価するための簡便な方法を見いだすべく検討を加えた。

2. 極短時間切削実験

本研究では切れ刃の損傷の生成及び進展状態を明らかにするために、切れ刃が被削材と接触を開始した後、所定の極短時間で被削面から離脱させる必要がある。このため図1に示す刃先急速後退装置を用いた。これはソレノイドS、レバB及びトリガCを用いて、バネ力 F_1 及び F_2 の作用でホルダAに取り付けた工具刃先を急速に後退させるものである。本装置では被削材回転方向へ十分大きな離脱速度で切れ刃を後退させる

* 平成2年3月14日 東海支部第39期総会講演会において講演、原稿受付 平成元年7月21日。

*1 正員、三重大学工学部 (〒514 津市上浜町 1515)。

ので、離脱時に引き起こされる損傷をほぼ完全に防止することが出来る。なお本装置により実現できる最短接触継続時間は、機構上約 0.02 秒に制限され、初期損傷進展過程の解明には不十分である。そこで後述のように被削面を加工し、最短時間約 0.006 秒を実現させた。また切れ刃と被削材との接触検知及び切削抵抗値の測定のため、工具に歪みゲージを貼付け電磁オシログラフに記録した。供試工具には超硬合金製スローアウェイチップ P10, P20, M10 及び K10 の4種類を使用した。ホルダに取り付けた時すくい角 5° 、逃げ角 6° となる。切削面における切れ刃状態を常に一定に保つため研削仕上げを行い、すくい面及び逃げ面の刃こぼれを $3\mu\text{m}$ 以内とした。表1に供試チップの機械的性質の一部を示す。

被削材は機械構造用炭素鋼 S45C を供給状態で用いて、外径 100 mm、内径 $\phi 6$ mm の中空薄肉円筒形状にした。被削面となる端部は、全周を8等分して交互に凹凸になるように加工し、前述の刃先急速後退装置と合わせて極短時間の切削を可能にした。被削面は粗さ $0.5\mu\text{mRmax}$ 以内になるよう研削仕上げし、右片刃バイトによる二次元切削形式とした。

表1 供試工具材種の機械的性質

JIS分類記号	硬さ HRA	抗折力 MPa
P 1 0	92.0	1,274
P 2 0	91.5	1,568
K 1 0	92.0	1,568
M 1 0	92.5	1,470

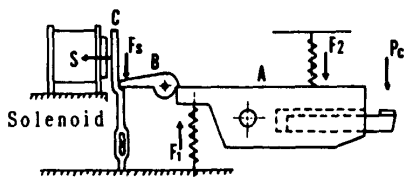


図1 刃先急速後退装置

採用した切削条件は、切削速度 $V=77$ 及び 157 m/min 、送り $f=0.2$ 及び 0.41 mm/rev である。

3. 過渡現象に対する考察

一例とし、切削速度 $V=77\text{ m/min}$ 、送り $f=0.2\text{ mm/rev}$ の下で、P10 チップを用いて約 0.006 秒間の切削を行った際の切れ刃の挙動を図2に示す。また図3には、切削後の被削面の形状を測定した結果を示す。

図2において、曲線Aは切削抵抗主分力 F_c 、Bは送り分力 F_f を示し、Cは切れ刃の被削材への接触検知を表し、点Iで接触を開始して点IIで離脱したことを示している。なお接触信号に対し切削抵抗出力線は幾分時間的に遅れて変化しているので、離脱時IIで抵抗値が最大になることから遅れ時間 $t_c (= 0.003\text{ 秒})$ を求め、この分だけIの接触開始時から移動させて考察した。切削抵抗値については、両分力ともに切れ刃の被削材への接触開始時よりわずかに遅れて増加し始めるが、その割合は主分力の方が大きい。図2及び3中には、切れ刃挙動に何らかの変化がみられる時期を a ~ d で示した。図3及び被削面の観察から、aは切れ刃

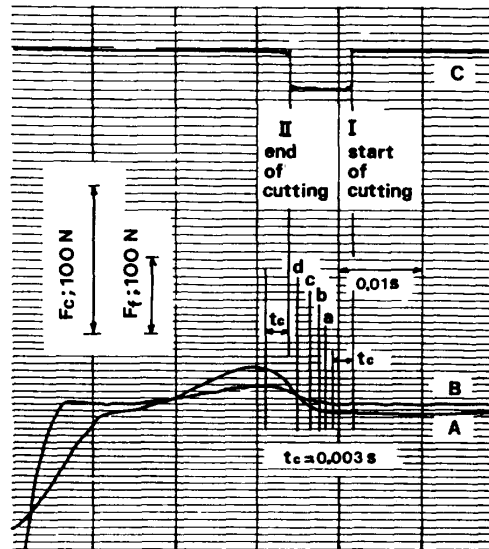


図2 切れ刃挙動曲線

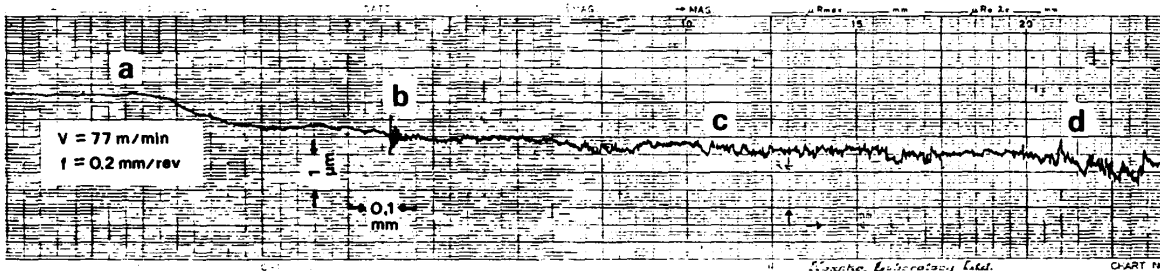


図3 被削面表面形状曲線

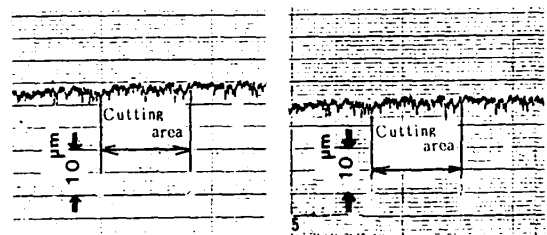
が被削材表面の凸部と接触を始めた時期で、被削材の表面には極微細な凹凸が生じている。b, cの時期は、切れ刃がさらに押し付けられているが、切れ刃は被削材表面を上すべりしている段階で、粗さはわずかに大きくなる。dに至ってようやく被削面の一部に流動が起こり、面も劣化して来る。しかしこの時期にもまだ切り屑を排出する切削は始まっていない。a~d間の経過時間はわずか0.005秒程度に過ぎないが、本実験では主にラッピング領域のみの切削作用にとどめることが出来たと考えられる。この様な切削では図4(a), (b)の光学顕微鏡写真からも分かるように、切削前後で切れ刃の変化は殆ど認められず、一部にわずかな擦過痕が見られるだけである。また図5(a), (b)に示す切れ刃形状曲線にも何の変化も生じていないことが分かる。すなわち、接触開始後ラッピング領域までは、本実験で用いた様な手段によっては、検出できる程度の大きさの初期損傷は、切れ刃に生成していないことが分かった。

図6は、切り屑を生成排出する段階まで約0.02秒間切削を継続した時に、工具くさび角を2等分する方向に測った切れ刃の移動量を各材料工具切れ刃の損傷

量と定め、切れ刃後退量Heとして示したものである。この時送りfの大きさに関係なくつねに約3~4μmの損傷が存在しているので、上述の結果と併せて、切れ刃が被削材に食い込み、掘り起こし、実際に切り屑を排出する形式の切削を始める時期に、すぐ切れ刃には著しい損傷が起こり進展していくことが分かる。なお、本実験のように約0.02秒間の切削時には、現象や刃先急速後退装置の作動は比較的安定しており、結果の再現性も良く測定値に含まれる誤差の大きさは約10%以内であった。

4. 損傷量の簡易評価

4. 1 損傷量の簡易評価方法 前述のように、切



(a) 切削前 (b) 切削後
図5 切れ刃形状の変化

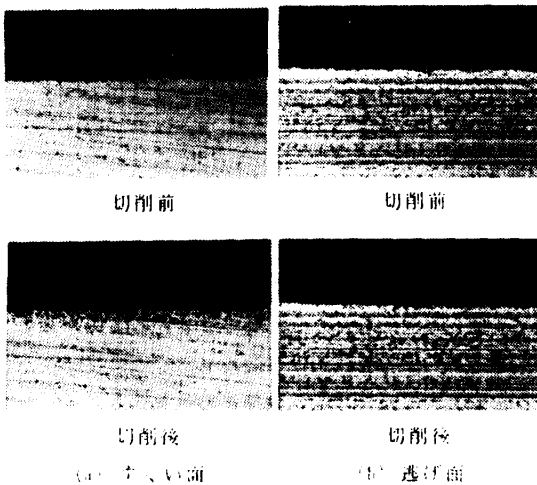


図4 切削前後の切れ刃状態 (X5000)

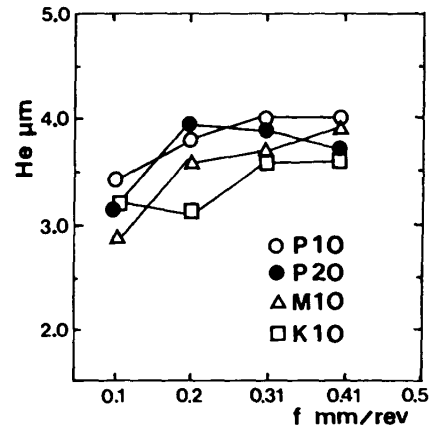


図6 約0.02秒切削時の切れ刃損傷量

表2 各切削抵抗値と合力の方向角

切削条件		77		77		157		
V m/min		77		77		157		
f mm/rev		0.2		0.41		0.41		
切削継続時間 t s		0.006	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
主分力	Fc N	30.5	68.0	98.0	88.0	210.0	124.0	240.0
送り分力	Ff N	22.8	40.0	60.0	48.0	121.0	69.0	131.0
合力	F N	38.0	78.9	114.9	100.2	242.4	141.9	273.4
方向角	η deg	36.8	30.4	28.3	29.1	30.0	29.1	28.6

れ刃の初期損傷はラビング領域までは殆ど見られず、その後掘り起こし領域、切削領域と進むにつれ急速に生成進展していく。従って突切削試験によっては切削継続時間と損傷量の大きさとの関係を詳しく明らかにすることは極めて困難である。そこで、これら切削初期段階での損傷量の値を簡便に評価する目的で、突切削で得た切削抵抗値を利用して静的集中負荷実験及びFEMによる検討を行った。

表2には、一例としてP10チップを対象に取り上げ、各経過時間に於ける切削抵抗分力値 F_c 、 F_f 及び合力値 F 、合力の作用方向角 α を切れ刃挙動曲線から求めて示した。

静負荷は、工具刃先に対し表2に示す合力値 F と方向角 α に等しく荷重条件を設定し作用させて、その結果生じた切れ刃後退量 H_e を突切削時と同様の方法で測定した。一方FEMによる評価は、対象を二次元弾性問題として扱い、それぞれの切削条件、所定の経過時間の下で、刃先に丸みがない場合の理想送り込み量からすくい面及び逃げ面と被削材との接触長さを求め、切削抵抗の各分力がそれぞれの面に均一に分布するものとして負荷条件を定め、各分要素内の平均応力成分値が対象材料工具P10の圧縮強さ(4510 MPa)を超えるとき、その要素全体が破壊すると考えて損傷領域を求めた。

4.2 各評価法による損傷量の比較と考察 図7には、切削速度 $V=77$ m/min, 送り $f=0.2$ mm/rev一定の下で、切削継続時間と切れ刃後退量との関係を前述の各方法で求めた結果を示す。突切削では、約0.006秒及び約0.01秒間の切削では、約 3μ mという初期刃こぼれ量以上の明白な変化が殆ど見られず、この後に急に損傷が発生している。しかし静負荷時やFEM解析では徐々に損傷が進んでおり、実際の現象との間

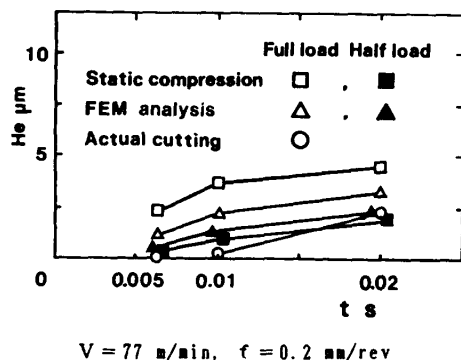


図7 切れ刃損傷量の切削時間による変化 (使用チップ: 超硬合金 P10)

に大きな差がある。したがって、そのまま損傷量の評価法として利用することは不可能である。この差は主として以下の各原因によって生じているものと考えられる。即ち、突切削では切削抵抗がその方向角の変化を伴いながら徐々に増大すること、被削材の弾性変形や工具切れ刃稜の丸みや初期刃こぼれの影響が絡み合っていることなどである。

そこでいま便宜的に初期損傷量の評価を行うため、作用外力値を実際の1/2に減じて同様に結果を求めて同図7中に Δ 、 \square 印で示した。FEM、静負荷時とも損傷量はかなり減少し、ほぼ突切削結果に近い値が得られる。これらの諸結果は、本実験で扱った他の切削条件($V=77$ mm/min, $f=0.41$ mm/rev.)の場合にもほぼ同様であった。なお得られた測定値に関してみると、突切削時の結果及びこの結果を利用するFEM解析ではかなり良好な再現性がある。これに対して静負荷時には、わずかな負荷装置のガタ、荷重の傾き、負荷の速度などが大きな影響を与えるため十分に注意を払う必要がある。この様な条件のもとで得られた測定値には、約7%の誤差がみられた。

また静負荷実験時にはセラミック製圧子を用いたが、突切削の被削材と同じS45C製圧子により予備実験を行ったところ、圧子に塑性変形を生じ、接触域が広がって初期刃こぼれ以上の損傷が発生しなかった。このことから静的集中負荷結果との差が特に大きく現れることが推定できる。

5. 結 言

超硬合金製工具の初期損傷の生成及び進展の過程を明らかにすると共に、切削開始時に於ける切れ刃損傷量を評価する簡易的な方法を提案するため行った本実験結果を要約すると次のようになる。

- [1] まず初期損傷の発生時期を明確化するため、約0.006秒間から約0.02秒間までの極短時間切削を遂行して、切れ刃の状態変化を詳しく調べた。その結果、
 - (1) 切れ刃が被削材に接触を開始してから約0.005秒間は、両者が互いに擦過し合うラビング領域である。
 - (2) ラビング領域までは、切れ刃にここで採用した手段により検出可能な初期損傷は存在しない。
 - (3) その後、掘り起こし、切削領域に進むと、急速に損傷が発生進展する。
- [2] 次に、切り屑を排出して切削を行う段階である約0.02秒後に、切れ刃に存在する初期損傷量を評価するための簡便な方法について検討した結果、

- (1) 静的集中負荷法及びFEM計算法を用い、対象条件下の切削抵抗値及び合力の方向角を利用して求めた損傷量は、種々の原因から実際の値に比較してかなり大きく得られた。
- (2) 本研究で扱った範囲で判断すると、作用切削抵抗値を実際の値の1/2に減じて静的負荷試験やFEM計算を行えば、同程度の大きさの損傷量を得ることが出来、初期損傷量の便宜的な評価法として利用できる。

参 考 文 献

- (1) 例えば、山本・中村, 精密機械, 36-11, (1970), 765.
- (2) 浅井・他2名, 精密機械, 44-2, (1978), 147, 44-7, (1978), 299, 44-12, (1978), 1476.
- (3) 勇田 敏夫, 精密機械, 35-5, (1969), 292.
- (4) 岡村・他3名, 精密機械, 33-3, (1968), 161.