この実験に用いた試験機は、板ばねの疲れ試験に関して発表された論文⁹⁾を参考にして自作したものである。密着長さ l の中の各点で応力波形が一定でないのが欠点であるが、表5の破断状況の写真からわかるように、破断は l 内の各所で生じ応力波形の不均一のため中央のみに破断を生ずるようなことはなかつたから充分目的にその実験が行われたものと考ええる。

表2, 3, 4の結果はすべて図2, 3に実験点としてプロットしてある。これらから実験結果は概ね理論値と合致していることがわかる。かくして標準長さの試験片の強さの平均値と偏差を求めれば、他の長さのものの強さが推定できる。特に疲れ破断回数の分布については色々の論議¹⁰⁾があるが、この実験では実験点が少くこの点については確言できない。これについてはさらに実験を続

けている。(1955, 10月31日受付)

註

- 1) N. Davidenkov 外; Jou. of App. Mech., Vol. 14, No. 1, (1947)
- 2) 石橋; 材料試験, 4巻 25号 (昭30-9)
- 3) 中西外; 機械学会総会講演会前刷 (昭30-4)
- 4) B. Epstein; Jou. of App. Phys., vol. 19, 140
- 5) 三橋外; 機械試験所所報, 3巻 5号, 4巻 5号 (昭24, 25)
- 6) 堀; 繊維機械学会誌, 8巻 4号 (昭30-4)
- 7) E. Epstein; Ann. of Math. Statistics, Vol. 20, No. 2 (1949)
- 8) 厚木著; パルプ及び紙, p. 699.
- 9) R. L. Matison 外; Metal Progress, p. 108, May 1954.
- 10) 篠塚; 材料試験, 4巻 25号 (昭30-9)

構成刃先の研究(第1報)*

正 会 員 中 山 一 雄** 井 口 和 文**

Studies on the Built Up Edge (Part 1)

Kazuo NAKAYAMA, Kazubumi IGUCHI

In relation with the formation of built up edge, some matters which had not been known clearly were studied. The experiments were done in the case of orthogonal turning of SAE 1040 steel with carbide tool. By observing the rubbed surface of chip, it is easy to find the existence and the state of built up edge. Main results were as follows.

1. The formation of built up edge increases the actual rake angle and reduces the cutting force (especially the thrust force). This makes a valley in the cutting force-cutting speed curve. The smaller the rake angle of cutting tool is, the deeper the valley is.
2. When the cutting temperature rises above the recrystallization temperature of the workpiece material, the built up edge disappears. Then, to avoid the formation of built up edge, higher cutting speed and feed, smaller rake angle and higher workpiece temperature (hot machining) are desirable.

1. 緒 言

展延性のある金属を切削する場合に、ある切削条件下では著しく加工硬化した被削金属が刃先に附着していわゆる構成刃先を構成し、之が寸法精度や仕上面粗さに著しい悪影響を及ぼし、時には工具寿命をも低下させるこ

とはよく知られている。その発生の条件は、従来の多くの研究結果を総合すると¹⁾²⁾

- a. 工具のすくい角が大きい程出来にくく、 30° 位になると殆ど出来ない。
- b. 切削速度が10乃至60 (100) m/min 位の間で発生する。

- c. 有効な切削液を用いると発生しにくくなる。

本研究は之等の条件を更に明確にする為に、工具の刃

* 昭和30年春期精機学会講演会にて発表

** 横浜国立大学工学部

先温度と関連して検討し直したものである。

一方、切削速度による切削抵抗の変化については従来種々の異つた研究結果が発表されているが、この問題を構成刃先の存否から検討することによつて、総合的な結論を得ることができた。

2. 構成刃先の生成状況

構成刃先の生成状況を調べる為には従来、1) 切削中に刃先近傍を側方から高速度カメラで撮影する (F. Schwed)、2) 切削を急に停止して刃先近傍を調べる (星光一) 3) 仕上面のプロファイルを測つてバイトの形状と比較する (竹中規雄) 等の方法が用いられてきた。然し 1) は側方からの撮影であるから構成刃先の三次元的な形状が分らない欠点があり、2) は如何に急速に停止しても完全停止迄にある時間を要するから、切削中の状態を完全に保つて停止したとの保証が得難く、又構成刃先が週期的に生成脱落を繰返す場合にはその全過程を知る為に多数の実験を重ねる必要がある。3) は実際の作業と最も密接な関係を持つが、測定に手数を要し、又二次元旋削には工合が悪い。

之等に対して、筆者は切屑の摩擦面を観察するという最も簡単な方法を用いた。即ち、バイトのすくい面は一般に平滑に仕上げてあるから、こゝで強く摩擦されて流出する切屑の面はかなり平滑な筈であり、もしその流出方向に不規則な条痕があれば構成刃先が存在したためと考えられる。0.4%炭素鋼を二次元切削した時の切屑の摩擦面は切削速度の増加に伴つて次の如く変る。(写真1)

写真 1

- a. 平滑で、構成刃先がなかった事を示す。(稍剪断型)
b. 一部(主に中央部)に長手方向の条痕を生じて、毛れた面になっているが、他は依然平滑で、一部にだけ構

成刃先が発生したことを示す。

- c. 全面に不規則な条痕があり、構成刃先が全面にあつたことを示す。尚、この時の条痕は長手方向にかなり長く一様な形を保ち、構成刃先がかなり安定していることを示す。(少くとも一秒以上の継続が認められる。)
d. 条痕が次第に深くなつて、突然鏡面光沢となり、又僅かな条痕が生じて之が次第に深くなるという過程を周期的に繰返す。之は構成刃先が周期的に生成脱落することを示すもので、その周期は切削速度が増す程短くなる。
e. 中央部では構成刃先が消失して鏡面光沢を有するが両端では未だd.と同じ生成脱落の痕が残っている。之は二次元切削の場合であるが、三次元切削の場合には刃先で消失して刃本に残る。
f. 構成刃先は完全に消失して全面が鏡面光沢となる。

以上の変化の過程は切削速度を漸増する場合に常に認められるものであるが、例えばf.の切屑を出す場合にも削り始めの切屑を見るとこの順序をたどつてf.に達することが認められ、反対に削り終り(品物を回転したまゝ送りを止めた場合)や切削中に回転を止めた場合には之と逆の順序の変化が認められる。之等の事実は、構成刃先の生成状況は切削速度よりも刃先温度の方が支配条件であることを暗示する。又、最後に記した事実は、切削を急に停止して切削中の構成刃先の状況を調べんとする場合に余程注意する必要があることを示す。b.やe.では場所によつて構成刃先のでき方が違うから、上記の側方から観測する方法では実情をつかめないことも分る。

3. 切削速度による切削抵抗の変化

切削速度によつて切削抵抗がどのように変化するかについては古くから多くの研究がなされているが、100m/min.位迄の切削速度に対しては切削抵抗は殆ど不変であるとするもの³⁾、或速度で最小値を示すとするもの⁴⁾、逆に最大値を示す速度があるとするもの⁵⁾等、全く相反する結果が発表されている^{註1)}。然し切削速度が100m/min.位迄の間は上記のように構成刃先が生じ易い領域であり之が出来れば当然切削抵抗に影響を及ぼすと考えられるので、その点を考慮しつゝ切削速度と切削抵抗の関係を再検討する為に、次の実験を行つた。

被削材: 0.4%炭素鋼, 焼鈍, 外径48mm, 肉厚2mmの円筒とし、端面の二次元旋削を行う。

バイト: トウタンロイ S1, すくい角20°, 0°, -10°の三種、逃げ角は何れも5°。

註1) 100m/min. 以上では切削速度が増すと切削抵抗が減少するが、それについてはここでは扱わない。

使用機械：6呎旋盤，5HP 直結，富士製作所製
送りを 0.1mm/rev. として切削速度を変えた時の切削
抵抗の二分力を，既報⁹⁾の切削工具動力計で測定した結
果は図 1 に示す如くであつた。図中の各点の符号は前掲

図 1 切削速度による切削抵抗の変化

の写真に示した構成刃先の生成状況を示す。之を見ると次のことが云える。

- 切削抵抗は切削速度の増大に伴つて先ず極小値，ついで極大値を示して，以後漸減する。
- 極小値を示す付近で構成刃先は最も顕著であり，構成刃先が消失すると極大値になる。従つてこの切削抵抗の谷は，構成刃先が出来た為に実際のすくい角が増して切削抵抗が減つたものと考えられる。
- この谷の部分での切削抵抗の減少は主分力よりも背分力の方が著しい。この事実，この領域ですくい角が増大したことの裏付けとなる。
- この谷はバイトのすくい角が大きい場合程浅くなり 20° では辛うじて認められる程度である。之は過去の研究によると構成刃先のすくい角は常に 30°~40° 位であるから，バイトのすくい角が之に近づけば構成刃先の有無によるすくい角の変化が少なくなる為と考えられる。過去の高速度鋼バイトを用いた実験ではすくい角 20° 前後が普通であるから，切削抵抗は切削速度によつては変わらないという実験結果はこの意味から当然であらう。
- 構成刃先が消失して切削抵抗が極大になる速度は，すくい角が大きい場合程高い。同じ切削速度ではすく

い角が大きい程刃先温度が低いことから，この事実も構成刃先の存否は切削速度よりはむしろ刃先温度と密接な関係を有することを示唆する。

以上の実験で，す

くい角 0° の場合の切屑の厚さを測定した結果を 図 2 に示す。この測定値は切屑の長さ重量を測定し，被削材の比重及び切削幅とから算出したものである。

図 2 切削速度による切屑の厚さの変化（すくい角 0°）

抗が極小になつた時には切屑が著しく薄くなり，実際のすくい角が大きくなつていた事を裏付ける。尚，30及び 34m/min. の二つの速度に対しては点が三つ宛記してあるが，その最上点が定常状態における切屑の厚さで，下の二点は切削開始直後の未だ構成刃先が存在している時の切屑の厚さを示す。この最下点を較べると，切削速度は異つても構成刃先の出来方が同じであれば切屑の厚さは略々同じであることが分る。逆に云えば，切屑の厚さ（之は剪断歪，従つて切削抵抗に通ずる。）の変化は構成刃先の出来方によつて著しく影響され，それに較べれば切削速度自体の直接的影響はごく僅かである。

3. 構成刃先と刃先温度との関係

以上の実験から想像された構成刃先の生成脱落と刃先温度との関連性を調べる為に次の実験を行つた。

刃先温度の測定には，現在最も普通に用いられる，パ

図 3

イトと被削材とを一对の熱電対とする方法を用いた。但し、超硬の付刃バイトを用いた為に超硬側の冷接点が得られないので、山本明氏⁷⁾が用いられたと同様に、図 3 (a) の如く超硬チップとそれからの引出銅線との接触点の温度をも銅コンスタンタン熱電対で測定して、刃先温度を算出した。超硬合金と被削材との間の熱起電力は、東京タングステン株式会社の御厚意で、使用した超硬チップと同じロットの材料で作って頂いたトゥタンロイ S1 の丸棒(1.5φ×55mm)を用いて、図 3 (b) に示すようにその低温接点の温度上昇をも銅コンスタンタン熱電対で測定し乍らクロメルアロメル熱電対と比較して求めた。

実験は上記のものと同様に、0.4% 炭素鋼を二次元旋削した。すくい角 0° のバイトで種々の条件で切削した時の切削速度と刃先温度及び構成刃先の生成状況との関係は図 4 の如くであつた。図中の曲線①は室温で送りを

図 4 切削速度と刃先温度及び構成刃先との関係 ($\alpha=0^\circ$)

0.1mm/rev. として削つた場合、②及び③は電気炉中で⁸⁾約200°C及び約400°Cに加熱し乍ら同じ送りで切削した場合である。之等を見ると、被削材を加熱すればそれに応じて刃先温度は上昇するが、構成刃先は何れの場合にも刃先温度が約560°Cに達すると消失し、切削速度とは直接には関係しないことが分る。

曲線④は同じ炭素鋼の丸棒を(0, 0, 5, 5, 10, 0, 0)なるバイト(上記に用いたバイトの隅を使つた)で切込2mm, 送り0.1mm/rev. として外周旋削(3次元切削)した場合で、矢張り560°C附近の刃先温度で構成刃先が消失する。更に送りを0.2mm/rev. に増しておこなつたが、⑤の如く同様の刃先温度で消失する。

以上の実験結果は、構成刃先は刃先温度が560°C附近に達すると消失するもので、切削速度、送り、被削材の温度等の諸条件は刃先温度を介してのみ構成刃先の存否に関係することを示すものである。この温度は炭素鋼の再結晶温度に相当することから、刃先温度がこの温度になると構成刃先は加工硬化能を失つて切屑との硬度差がなくなる為に存在できなくなるものと考えられる。

又、切屑とバイトの接触面内でも場所によつて温度が違い、切刃の方向については二次元切削では中央部が、

三次元切削では刃先が最も高温になるから、切削速度を漸増した場合に之等の部分で構成刃先が最初に消失するという前記の観察もこの考え方で説明がつく。

次に、すくい角を $+20^\circ$ 及び -10° に変えて同様な実験を行つた結果は図 5 及び図 6 に示す如くで、構成刃先が消失する刃先温度は矢張り略々一定である。然しその

図 5 同 前 ($\alpha=20^\circ$)

図 6 同 前 ($\alpha=-10^\circ$)

消失温度はすくい角 $+20^\circ$ で約640°C、 -10° で約480°Cを示し、すくい角が小さくなる程低温である。その理由については次報で考察する予定である。

次に、構成刃先は切削速度が或値(従来の発表では10 m/min.)以下になると出来なくなると云われているが、図 4~6 の実験結果を見ると、この低速側での構成刃先の消失は切削速度とは直接的関係は無く(3 m/min. でも存在する場合がある)、刃先温度との関係も之だけのデータからでは明確には認められない。唯、確実なことは、低速になつて切屑が剪断型になると構成刃先が消えることで、200°C及び400°Cに加熱した場合には既報⁹⁾のように剪断型切屑を生じ易く、その時には刃先温度はかなり高温でも構成刃先はできない。(図 4)

構成刃先が明らかに過期的に生成脱落を繰返すのは(図中の▲印)上記の消失温度から下100°C位の範囲でそれ以下ではかなり安定して居り、脱落するにしても極めて局部的且つ不規則に行われることも以上の実験から明らかになった。

4. 総 括

以上の実験からわかつた主な事項は次の如くである。

- 構成刃先ができると実際のすくい角が増す為に切削抵抗、特にその背分力が減少する。その減少の程度は

工具のすくい角が小さい場合程著しい。切削抵抗-切削速度曲線に谷ができるのはこの構成刃先の為である。

b. 構成刃先は刃先温度が被削材の再結晶温度附近に達すると消失する。従つて、すくい角が小さい程、送りが大きい程、又高温切削では加熱温度が高い程、より低い切削速度で構成刃先は消失する。之は最近盛んに行われるようになった negative rake angle tool による切削、コレソフ切削（高送り切削）、高温切削等で良好な仕上面が得られる事実を説明するものである。

c. この構成刃先が消失する刃先温度は、0.4%炭素鋼についてはすくい角 $+20^{\circ}$ で約 640°C 、 -10° で約 480°C であり、すくい角の減少に伴つて低下する。即ちこの点でも negative rake は有利である。

以上は0.4%炭素鋼を超硬バイトで旋削した場合についてのみ実験したものであり、他の場合についても以上の結論から推論は下せるが、今後実験的に確認して報告

する予定である。

終りに臨み、本研究に用いた超硬バイト並びに熱起電力較正用の超硬合金丸棒を製造供与下さった東京タングステン株式会社に厚く御礼申上げる次第である。

(1955, 11月5日受付)

文 献

- 1) 精機学会：精密工作便覧，vol. 1.
- 2) 海老原敬吉：精密工作・測定法及び切削理論，シナリー臨時増刊，No. 7（昭和26年）
- 3) 例えば G. Schlesinger：Die Werkzeugmaschinen
- 4) E. G. Herbert：Engg., Feb. 26 (1926)
- 5) W. Klein：Werkstattstechnik u. Werksleiter, Heft 21, Nov. (1937) (2) による
- 6) 中山一雄：精密機械，Vol. 21, No. 2.
- 7) 山本明：精密機械，Vol. 20, No. 7.
- 8) 中山一雄：精密機械，Vol. 21, No. 7.
- 9) 中山一雄：精密機械，Vol. 21, No. 9.

高速切削の研究（第7報）

双面-切屑接触面積効果（其の一）

正 会 員 竹 山 秀 彦

Cutting Speed Effect in Metal Machining
—Effect of Chip-Tool Contact Area (Part 1)—

Hidehiko TAKEYAMA

The conventional machining equations such as $2\phi + \mu - \alpha = C$ cannot tell us which factor is the cause and which is the result in machining characteristic, because the equations were mostly derived by the least energy principle, which is not proper to apply to such a non-conservative system as metal cutting. Furthermore, in these equations the coefficient of friction which has been proved to be meaningless in metal cutting by this report is involved.

Another defect of the conventional equations is that they do not represent the effect of cutting speed.

The object of this report is as follows:

- (1) to search for the controlling factor in metal cutting,
- (2) to clarify the coefficient of friction in metal cutting, by analysing the stress distributions on the rake face,
- (3) to establish the universal equation which does not contain the meaningless term of so called coefficient of friction, and does contain the term of cutting speed effect (Part 2).

The foundation of the theoretical and experimental explanations in this report is focused on the chip-tool contact area, which has been proved to be the controlling factor in metal machining.