

形削り盤を利用したやすりの切削試験装置の構築

Development of File Cutting Test Device using Shaper

吉田 協* 見山 克己* 佐藤 右皐**

Kanou YOSHIDA, Katsumi MIYAMA and Yuko SATO

概 要

やすりは重要なハンドツールであり加工実習などでも多用されている。やすりも使用するに従って切れ刃が損耗し切削性が低下するのは避けられず、この点においては工作機械で用いられる刃工具と変わらない。一般の刃工具であれば切削抵抗、仕上げ面荒さや寸法精度などの変化から工具交換時期を計ることも可能であるが、手工具であるやすりにおいては切削条件を一定に保つことが困難であるので同様の手法を用いるのは難しい。同様に切れ刃の損耗の進行についても不明な点は多いので、工具としての交換時期の判断は悩ましい状況にある。そこで、本研究では機械的にやすりがけ動作を再現して、やすり切削を実施した際の切削ストローク数に対する切削抵抗や被削材の除去長さ等を測定し、やすり切削において何がどのように変化するか基礎的な傾向の把握を試みることにした。そのために機械工作工場にある形削り盤を用いて、リンク機構等を設計製作した上で工具動力計などを付加して改造し、切削試験装置を構築した。次に構築した切削試験装置を用いて実際に切削実験を行い、装置の有用性と共にやすりの切削性の一端を確認した結果を報告する。

1. 緒 言

手工具としてのやすりはなじみ深く欠かせない工具の一つである。やすりは目の種類、目の粗さ、断面形状や大きさなどから多くの種類があり、また材質からも工具鋼の他にダイヤモンドやセラミック製も存在し多方面で活用されている。本学機械工学科においても加工実習においてやすりを使ったいくつかの加工を課題として行っている。

やすりも刃工具であるから当然損耗するのでいくつかは寿命となるが、手工具であるが故に客観的に交換時期を判断するのは難しいのが現状である。ところでやすりの性能評価は古くから行われており、例えば、関口八重吉らは 1000 ストロークにおける除去質量とそこに働く切削合力の関係から“切れ味”としてやすりの切削性を表現している⁽¹⁾。また、やすりの生産の多くは広島県であるので、広島県立工業試験場（現：広島県立総合技術研究所西部工業技術センター）でも古くからやすりに関する研究報告を行っており、コンピュータ制御の試験装置を製作しその製作過程や試験結果等の報告が行われ

ている^(2,3)。

ところで筆者等は機械加工実習を講義として担当しており、切削性の落ちた工具では作業者に負担を強いることになるのは経験的に把握していても、交換時期の判断は悩ましい課題と考えている。

そこで本研究ではまず、やすり切削を機械的に再現する試験装置の構築を行いその有用性を確認した。次に基本的な切削条件を設定し試験装置を用いた切削実験を実施して、切削条件に対して除去長さや切削抵抗がどのように変化するか計測を行うことで傾向を確認し、切削性の変化の把握を試みた。

2. 切削試験装置の試作

2-1 形削り盤について

本報告で使用した内田機械工業社製直結形削り盤 SU-500 型を Fig.1 に示す。形削り盤とはラムの前進時に刃物台に取り付けたバイトが、万力に固定した被削材を切削する工作機械である。ラムが後退する際には Fig.2 に示すように回転支持されたクラッパ箱にあるバイトが上方に移動することにより

* 北海道科学大学工学部機械工学科，寒地先端材料研究所

** 北海道科学大学工学部機械工学科

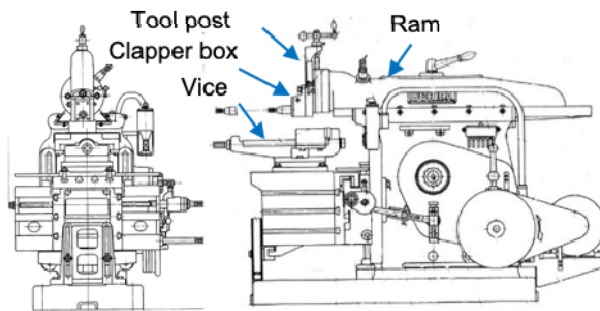


Fig. 1. Appearance view of shaper.



Fig. 2. Appearance view of clapper box.

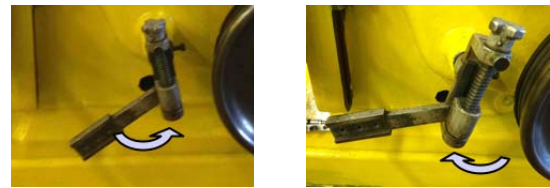
被削材上を上滑りしながら戻り動作を行う。前進時には被削材がテーブル送りによって横移動することで送りが与えられ、被削材表面が平面切削される工作機械である。

形削り盤を改造ベースに採用した理由には十分な剛性を持っていることと、やすり掛け動作の再現に必要な前後運動を最初から備えていることにある。また工作機械として古いので老朽化しており、遊休状態にあったことも大きい。

2-2 リンク機構の設計

一般のやすりがけ動作において、やすりが水平に前進している際に、被削材との接触面は前方から手前側へと移動している。また、被削材の除去に伴ってやすりは水平を保ちながら下降しつつ、垂直荷重も一定であることが試験機としては求められる。これを機械的に再現するのは単純ではないので、やすりを下部に固定し被削材を前後する動作にした。ここで被削材の前進時には切削作用、後退時にはやすり切削面から上方へ離れる被削材の逃げが必要な動作となる。そのために、Fig.3 に示すように形削り盤に備えてあるテーブル送りのリンク機構から動力を取り出し、新たなリンク機構を付加することにした。

検討したリンク機構の模式図を Fig.4 に示す。ラムの前進時には既設の横送りアームは右を向いているので被削材保持部は下降位置にあり、被削材はやすり上を通過し切削作用を受ける。前進終了付近で横送りアームは左に揺動し Link 1 が押されるので、伝達された Link 2 により被削材保持部が上昇し、



(a) Position of the arm at the ram forward process. (b) Arm at the reverse process.

Fig. 3. Output for link motion.

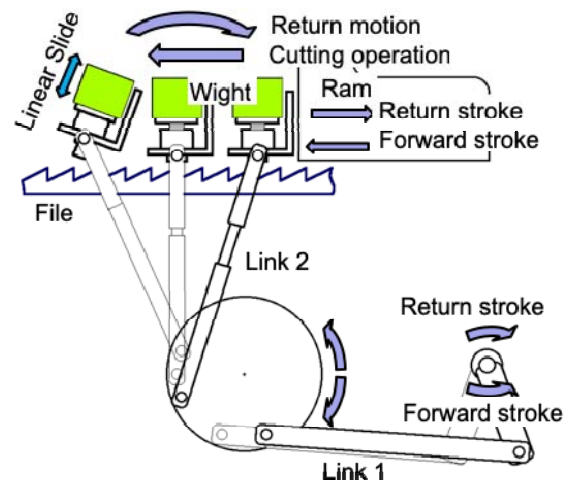


Fig. 4. Model of link motion for file cutting operation.

被削材はやすりから退避しながらラムは後退する。後退終了付近でアームは右を向くので Link 1 は戻り動作となり、被削材はやすり上に接地する。このような機構により前進工程で切削作用を受け、後進時に逃げが繰り返される。

なお、被削材上部に設置したおもりにより任意の垂直荷重が負荷できるようにしている。

これらの連動が上手くいくように形状や寸法、位置関係を調整し、試作を繰り返して最終的な仕様を決定した。なお、実機だけではなく AutoCAD 上で同様の構造の構築を試みたが、形削り盤の内部の詳細寸法が採取できなかったため再現はかなわなかった。また、リンク機構の構成上 Link 2 は伸縮する必要があるがこれも AutoCAD 上では再現不可であった。なお、SolidWorks 上では Link 2 の伸縮が可能であったが、詳細な内部寸法が不明なのは AutoCAD と同様であったので、CAD 上でのリンク機構の構築と動作シミュレーションは断念した。

2-3 リンク機構の製作

最終版のリンク機構付加した装置全体を Fig.5 に示す。横送りアームや Link1, Link2 はアルミニウム材(A5056 等)から作製し連結部にはロッドエンド

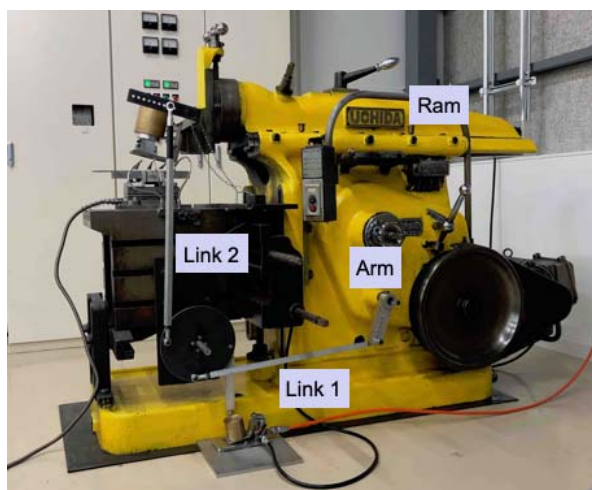


Fig. 5. Appearance view of link mechanism.

を用いてガタの発生を防いでいる。被削材保持部や被削材マウンターもアルミニウム製である。被削材マウンターのリニアボールベアリングを介して被削材は保持されているので、おもりによる荷重や被削材の損耗による下降は滑らかであり、被削材のやすりへの接触や負荷は良好である。

その他のリンク機構部品には炭素鋼材(S45C, SS400 等)を用い、おもりには真鍮(C2801)を用いている。また、切削時にやすり上に切りくずが堆積するのを防ぐためにエアブローノズルを設置した。エアブローは被削材が上方へ退避し後方に移動する際にのみ機械的に動作し、ストローク数の計数器も備えた。

2-4 工具動力計の設置

金属切削において切削時の切削抵抗 3 分力の測定は重要な測定項目である。そこで、既存の大型万力を取り外し、Fig.6 に示すようにキスラー社製圧電素子型工具動力計を設置した。工具動力計上部にはやすりを固定する万力を設置している。

3. 実験条件の検討

3-1 被削材形状

前述のように従来の“やすりの切れ味”の評価方法では丸棒を用いているが、断面が円形のため、丸棒がやすり上を移動した際にやすりとの接触位置によって切削される面積が変化することになる。そこで本試験器では被削材を矩形にすることで均一な切削面積とすることにした。被削材形状を Fig.7 に示す。

3-2 垂直荷重の設定

被削材をどの程度の垂直荷重でやすりに押し当

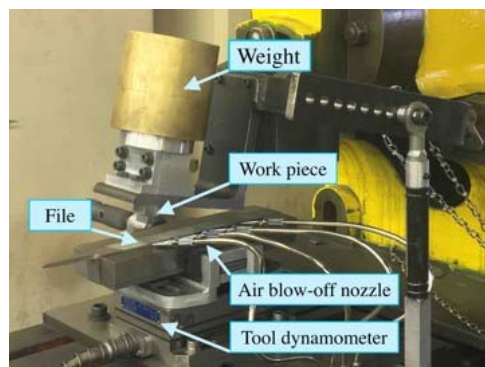


Fig. 6. Appearance view of tool dynamometer and vice.

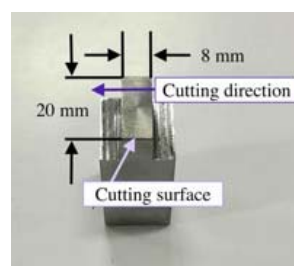


Fig. 7. Shape of the workpiece.

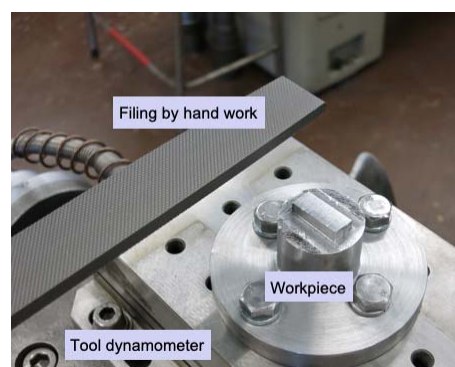


Fig. 8. Test filing to measure the normal force F_z by hand work.

てるかは切削条件の一つであり重要である。そこで、Fig.8 に示すように筆者の一人と学生により人の手によるやすりがけを実施し、動作時の垂直荷重を測定することにした。

垂直荷重測定用に被削材をアルミニウムで製作し、各人が適切と思われる垂直荷重を負荷してやすりがけした際の、垂直力 F_z を工具動力計を用いて測定した。

3-3 切削速度

形削り盤はラムの前後運動において前進時と後退時は同じ速度ではなく、後退時が早い早戻し機構が機械的に装備されている。また前後運動であるので、最前部と最後部での速度は 0 となるが、一般にはラムの移動距離とそこに要する時間で得られる値を単純に切削速度として扱っている。

本試験機では切削長さはやすりに依存し、切削時間は工具動力計の出力波形から得られるのでこれを用いて計算した結果を切削速度とした。

4. 実験方法

4-1 実験条件

上述の検討を基に設定した実験条件を Table 1 に示す。

被削材は Fig.8 に示したように正方形断面の一部を切り欠いた矩形としている。Fig.9 に示すように切削の前後で変化する全長を、デジタルマイクロメーターで測定することで除去長さを得る。

人の手による垂直荷重はおよそ 60N であったので、条件の変化を見込んで 40, 60, 80, 100N のおもりを真鍮丸棒から製作し Fig.10 に示す。

やすりの呼び寸法は 250mm でありラムの前後移動長さを 150mm と設定した。これに要する前進時

Table 1 Cutting Condition.

Workpiece	S25C
File cutting type	Single-cut
File size	250 mm
Cutting number	Second-cut
Total stroke	30000
Cutting stroke	150 mm
Load (Holder + Workpiece)	60 N (+4.85 N)
Cutting speed	9 m/min
Cutting area	160 mm ²

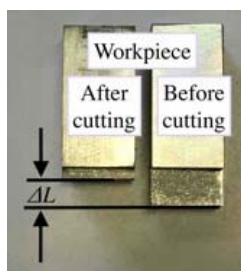


Fig. 9 Measurement to removal length.

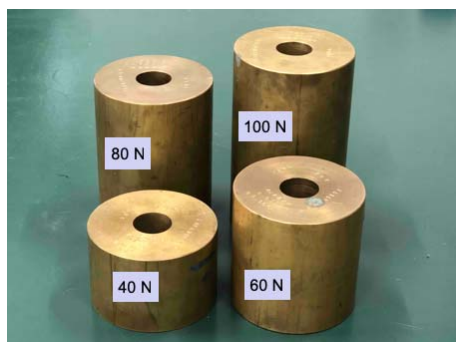


Fig. 10. Shape of the load weight.



Fig. 11. Digital microscope (DSX-510 OLYMPUS)

間を計測すると 1 秒であったので、切削速度は 9 m/min が得られた。

4-2 実験方法

工具動力計上の万力にやすりを固定する。被削材は事前に全長を測定しておき被削材保持部に固定し、リニアボールベアリングを介してマウンターにセットする。被削材上部には所定のおもりを付加する。

計数器をリセットし試験機モーターを起動して切削試験を開始する。所定のストロークに達すると工具動力計による切削抵抗の測定を実施し、モーターを停止する。被削材を取り外して全長を測定し除去長さを得る。

やすりを取り外して Fig.11 に示すオリンパス社製デジタルマイクロスコップで表面観察を行う。

これらを必要回数まで繰り返し実施する。

5. やすり切削の基礎解析

切削試験装置は構築されたので、やすり切削について簡単な基礎解析を行ってみる。Fig.12 のやすりの切削モデルでブローチ加工のように 3 つの切れ刃が同時に切削している様子を示している。しかしながら、やすりはタガネによって切れ刃を創成しているので、Fig.13 に単純化して示したように、その切れ刃には避けきれない高低差が存在する。よって必ずしも全ての切れ刃同時に有効に切削作用を行っているとは限らないが、まずは基礎段階として全

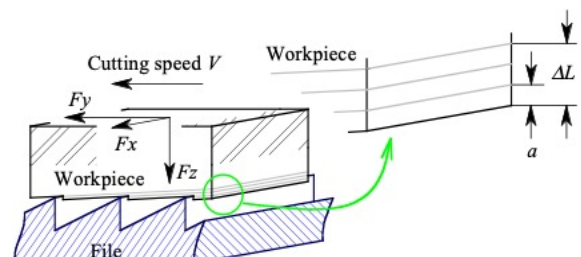


Fig. 12. File cutting model and depth of cut a.

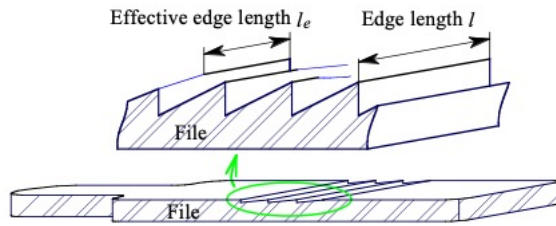


Fig. 13. Model of cutting edge.

での切れ刃が同様に切削作用に関与しているものとして本研究の範囲内では取り扱う。

同時多刃切削の工作法にブローチ加工があり、工具メーカーの NACHI ではブローチ加工における予想荷の計算法を提示している。それを参照して式(1)に示す。

予想荷重(N)=切削幅 w (mm) × 1 刃の切込み a (mm) × 比切削抵抗 K_s (N/mm²) × 同時切削刃数 T (1)

ここでは簡単化のためやすり加工もブローチ加工と同様な同時多刃切削であると取り扱うことにする。式(1)を比切削抵抗について解き、切削試験で得られた切削抵抗主分力を予想荷重に当てはまれば比切削抵抗が得られ式(2)に示す。

$$K_s = \frac{F_y}{w \cdot a \cdot T} \quad (2)$$

式(1)における 1 刃 1 回あたりの切り込み a を式(3)に示す。なお ΔL (mm)はやすり切削試験装置で 2000 ストローク切削したあとの被削材の除去長さである。

$$a = \frac{\Delta L}{2000 \cdot T} \quad (3)$$

式(2)の分母分子に切削速度 V (m/min)をかけて単位換算すると、単位除去体積あたりの全切削エネルギー W (J/mm³)が得られ式(4)に示す。

$$W = \frac{F_y \cdot V}{w \cdot a \cdot T \cdot V} \quad (4)$$

6. 実験結果と考察

切削ストローク数との基本的な関係について検討を行う。Fig. 14 にストローク数に対する、2000 ストローク毎の除去長さ ΔL (mm)の関係を示す。ストローク数の増加に従ってばらつきはあるものの除去長さ ΔL は減少傾向にあるのがわかる。これは使用と共に切れ刃が損耗し切削性が低下しているからであり、やすりの使用頻度の増加に従って除去がはかどらなくなるのは普段体験することである。

Fig. 15 にストローク数に対する総除去長さ

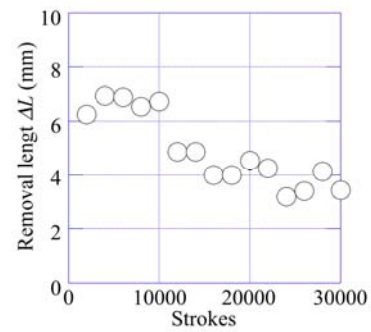


Fig. 14. Relationship between Strokes and Removal length ΔL .

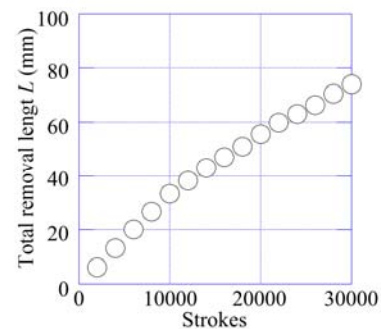


Fig. 15. Relationship between Strokes and Total removal length.

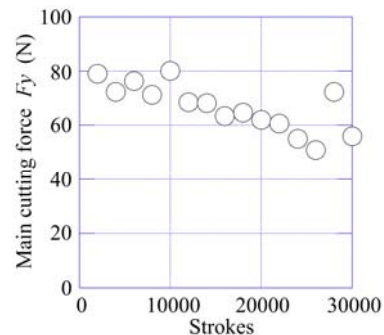


Fig. 16. Relationship between Strokes and Main Cutting Force F_y .

L (mm)の関係を示す。総除去長さ L は Fig. 14 の除去長さ ΔL を積算したものである。ストローク数の増加に伴って総除去長さ L は増加傾向を示すが増加傾向そのものは鈍化しており切削性の低下を示している。

Fig. 16 にストローク数に対する切削抵抗 F_y (N) の関係を示す。ストローク数の増加に伴って切削抵抗 F_y は減少傾向を示している。一般の工作機械では強制切り込みが行われるので、切削性の低下した刃物では切削抵抗は増加傾向を示す。しかしやすり切削は強制切り込みではないので、切削性の低下と



Fig. 17. Enlarge view of file surface.

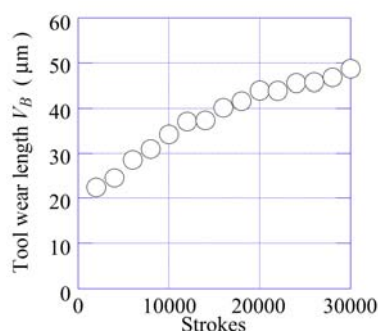


Fig. 18. Relationship between Strokes and Tool wear length V_B .

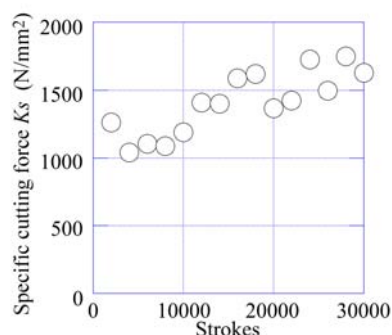


Fig. 19. Relationship between Strokes and Specific Cutting Force K_s .

共に切り込みは減少傾向を示す。工具の損耗により切削抵抗は増加すると考えられるが、切り込みそのものが減少しているので結果的に切削抵抗も減少傾向を示している。

Fig. 17 にやすり表面観察の例を示す。ストローク数の増加に伴って図中の白く見える部分が増加しているのがわかる。白く見える部分が切れ刃として作用している部分であり、損耗が進行する部分である。白く見える切れ刃の損耗箇所を刃直角方向に測ったものを逃げ面摩耗幅 V_B (μm) とした。

Fig. 18 にストローク数に対する逃げ面摩耗幅 V_B (μm) の関係を示す。ストローク数の増加に伴って逃

げ面摩耗幅 V_B は増加傾向を示しており、接触面の増加は上滑りの原因となる。3000 ストロークでは初期の2倍程度まで増加しているのがわかる。

Fig. 19 にストローク数に対する比切削抵抗 K_s (N/mm²) の関係を示す。ストローク数の増加に伴って比切削抵抗 K_s は増加傾向を示している。逃げ面摩耗幅 V_B が増加によって、切れ刃は被削材に刺さりづらくなるので切り込みは減少するので切削抵抗は減少傾向を示す。しかし、逃げ面摩耗幅の増加による抵抗は増える。双方の増減の程度によって最終的な切削抵抗は減少傾向を示したが、比切削抵抗 K_s そのものは増加傾向を示している。

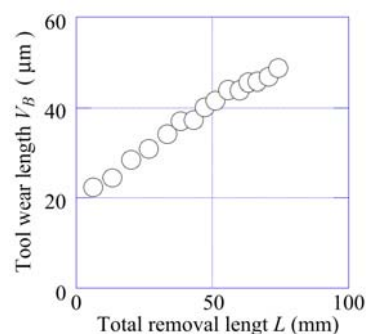


Fig. 20. Relationship between Total removal length and Tool wear length V_B .

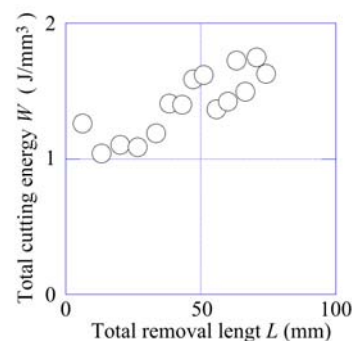


Fig. 21. Relationship between Total removal length and Total cutting energy W .

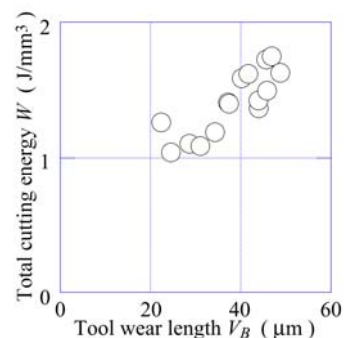


Fig. 22. Relationship between Tool wear length V_B and Total cutting energy W .

初期段階では約 1J/mm^3 であったのが 3000 ストロークでは 1.7 倍程度まで増加しており、切削性の低下は明らかである。

Fig. 15 に示したようにストローク数の増加と総除去長さ L の関係は線形ではない。そこで Fig. 20 に総除去長さ L と逃げ面摩耗幅比切 V_B の関係を示す。除去長さ L の増加に伴って逃げ面摩耗幅 V_B は単調に増加するような傾向を示している。

Fig. 21 に総除去長さ L (mm) と単位除去体積あたりの全切削エネルギー W (J/mm^3) の関係を示す。除去長さ L の増加に伴って全切削エネルギー W も単調に増加するような傾向を示している。

そこで Fig. 22 に、逃げ面摩耗幅比切 V_B (μm) と全切削エネルギー W (J/mm^3) の関係を示す。ばらつきはあるものの比例関係として取り扱ってみると、逃げ面摩耗幅の測定によって、その時点でどの程度の全切削エネルギーが消費されているのかが読み取れることになる。このことは初期に比べて全切削エネルギーが 1.5 倍であるとか、2 倍であるかがわかることを示しており、切れ刃の損耗に伴う作業者の負担増を示している。どの時点で工具の寿命とするかは検討の余地があるが、消費されるエネルギーの面からは、工具交換時期を判断する一つの手がかりであると考ええる。

7. まとめ

やすり切削試験装置の構築と基本的な切削実験を行い主として以下の結果が得られた。

- (1) 形削り盤を利用してリンク機構の設計製作を行い、さらに工具動力計やエアブローノズルを付加した結果、有用なやすり切削試験装置が構築できた。
- (2) 構築したやすり切削試験装置を用いて簡単な切削実験を行った結果、やすりのストローク数の増加に伴って除去長さは減少傾向を示しており、普段体験するやすりの切削性の鈍化を機械的に再現できた。
- (3) やすりの切削ストローク数の増加に従って逃げ面摩耗幅は増加する。逃げ面摩耗幅が増加すれば切れ刃は被削材に食い込みづらくなり、被削材表面を上滑りし切削性の低下の原因となる。
- (4) 逃げ面摩耗幅の増加に伴って全切削エネルギーも増加しており作業者の負担が増えていることを客観的に示した。

今後は実験条件の変化や実験数の増加からやすりの切削性や切削機構をより明らかにし、工具交換の指標などを提案できるように計画したい。

参考文献

- (1) 関口八重吉, 海老原敬吉, 長谷川一郎: 工具の製作に関する研究, 日本機械学会誌, 第 34 巻第 176 号, pp.1664-1677、昭和 6 年 12 月。
- (2) 豊永信夫, 脇一雄: 鑢に関する研究大第 5-6 報, 広島県呉工業試験場報告, No.3. pp.1-8. 1953.
- (3) 片岡豊, 永山博夫, 南良良治, 大下巖: コンピュータを利用したやすりの切れ味・耐久試験装置の開発, 広島県呉工業試験場報告, No.25. pp.9-11. 1982.

