びびり振動が超硬バイトの寿命に及ぼす影響 (第 1 報)*

栗 田 肇**

Effects of Chatter Vibrations on the Life of Sintered Carbide Tools (1st Report)

Hajime KURITA

The life and the final failure of the carbide cutting edge in the machining without chatter are examined firstly in this paper to ascertain the effects of chatter vibrations on the life of carbide tools. It is consequently ascertained that in the machining without chatter all tools hold out for a long time, and the ISO P10-tool has particularly the superior properties for this machining, and also that the critical values of the flank wear or the depth of cratering as a reasonable standard for a carbide tool life vary according to cutting conditions, and further, that the types of the final failure of the cutting edge vary also with cutting conditions, namely, the wear increases on the whole as fast as the severe cutting conditions. But in small feed machining extraordinary flank wear on the toolnose is liable to occur and only in higher speed machining the flank on the toolnose wears wider than that on the main cutting edge.

1. 緒 言

切削中に発生するびびり振動が、超硬工具の寿命を著しく減少させることは一般に認められている。現場の切削作業においては、工作機械の種類・被削材およびその加工の種類等切削周囲の条件から、びびり振動がある程度発生しても切削を継続しなければならないときがある。

従来、超硬工具の切削永続時間に関する研究は多く行なわれているが^{1)~10)}、そのほとんどが通常切削において行なわれた研究であって、びびり振動が超硬工具の寿命に及ぼす影響を確かめたものは少なく、ただ H. Opitz¹¹⁾ および R. Weilenmann¹²⁾ の研究を数えるにすぎない。

H. Opitz らは、びびり振動が発生する場合の超硬バイトの寿命は、振動速度・切削面積および切削力の変化によって低下することを明らかにし、その切削永続時間は最大振動速度および振動が発生しない通常切削における切削永続時間から算出されるとして式を導いている。そして実際値がこの式からの計算値とよく一致すると述べている。また R. Weilenmann は、振動が発生すると、切削あとの周期的な高低、また切削速度・切削幅および切りくず厚さ等の変化、さらには切削速度に対する切削幅や切りくず厚さの位相変化による工具と被削材との間

に相対運動がおこり工具寿命が減少するが、それは式により計算されると述べて式を示している。

びびり振動には、自励振動のびびりと強制振動のびびりとがあり、それらは発生機構を全く異にするものである。また自励振動のびびりにもいろいろの種類があって、それらがバイトの寿命・切れ刃損傷に及ぼす影響は一律に定めがたいと思われる。

一般の旋盤削り作業においてもいろいろのびびりが発生するが、本研究では現場の切削作業で最も問題になっている、バイトのたわみに関するバイトのびびりならびに旋盤主軸および被削材のたわみに関する被削材のびびりが、各種超硬バイトの寿命に及ぼす影響、とくに切れ刃の損傷形態および切削永続時間を実験的に確かめようとするものである。

これらを確かめるためには、比較の意味で、それらと同一切削条件で通常切削を行なうときの切れ刃損傷および切削永続時間をあらかじめ明らかにしておく必要がある。

そこで第 1 報においては、まずこの通常切削を行なった結果について報告し、第 2 報以下にバイトのびびり特性、バイトおよび被削材のびびりの影響を第 1 報の結果と比較検討しつつ述べようとするものである。

2. 実験方法

使用旋盤は、振り 340mm、回転数 375~3,000rpm (無段変速) のものおよび振り 450mm、回転数 37~1,800rpm (12段変速) のもので、回転変換機構からベルトで主軸に回転を伝達する構造である。

* 昭和39年 4 月昭和39年精機学会春季大会学術講演会において発表。

** 正会員 鈴鹿工業高等専門学校

表 1 被削材 S45C (焼準状態) の機械的性質

引張り強さ (kg/mm ²)	伸 び 率 (%)	ブリネルかたさ (kg/mm ²)
64~67.5	20.0~22.5	171~197

図 1
使用バイトの刃
先形状

被削材には外径 120 mm、長さ 400 mm の S45C 材 (焼準状態) を用いた。この被削材の機械的性質は表 1 に示すようである。

実験にはこの被削材の一端をチャックでしっかりと締付け、他端をセンタで支持し切削を行なった。

バイトの形状は図 1 に示すような 13 mm 角の右斜削バイトで、切れ刃に直角断面内の逃げ角が 5°, すくい角が 10°, また取付け角 70°, 先端の丸み半径 0.5 mm のものである。

供試した超硬合金は、国内 A 社および B 社製の P10、P20 および K10 (ISO 表示)、ならびに外国 C 社製の P10 および P20 である。各バイトとも、切れ刃は 220 番ダイヤモンドホイールで仕上研削し、刃こぼれがないことを確かめた。

なお、この刃こぼれおよび実験中の切れ刃損傷を確かめるのは、読取顕微鏡および精密万能投影機により拡大して行なった。

3. 実験結果および考察

びり振動が超硬バイトの寿命におよぼす影響を確かめるため、後述するバイトのびりが発生する場合の実験と同一切削条件の通常切削における、バイト切れ刃の損傷形態・切削永続時間と摩耗との関係をまず明らかにすべく、つぎに述べるいろいろの実験を行なった。

この種の切削における切れ刃の寿命に関しては、従来多くの研究結果が発表されている。たとえば、O. W. Boston¹⁾ は超硬フライス 削りにおいて 多数の実験を行ない、逃げ面の平均摩耗幅が 0.03 インチになったときを寿命の目安としている。また奥島・長富・大草^{2)~4)} は超硬工具の損傷形態を分類し、このうち逃げ面摩耗については先端または主切れ刃の逃げ面摩耗幅の量によって寿命判定の目安としているが、切れ刃が寿命に達する直前の摩耗幅すなわち限界摩耗幅は常に一定とすべきでな

く工具材質・被削材・切削条件したがって損傷の種類によって異なるべきであると述べている。そして各種超硬バイトによる多くの実験結果に基づき限界摩耗量一覧表を提示している。さらに、大越⁵⁾、竹山^{6)~8)}、奥島⁹⁾ の多くの研究がある。

いま、バイトのびりが発生しないように、バイトが刃物台から突出る長さを短く 20 mm に取付け、切削速度 125 m/min、送り 0.16 mm/rev、切込み深さ 1.5 mm にて、P 種バイトの永続時間と逃げ面最大摩耗幅との関係を求めたものが図 2 および図 3 である。図 2 は P10 バイトによる結果を示し、図 3 は P20 バイトによるものである。

図中、同種のバイトの末尾数字 (たとえば P10-1 の 1 のとき) は、同種ではあるがそれぞれ別のバイトによる結果を示している。なお、1 および 2 は国内 A 社製、3 および 4 は同 B 社製ならびに 5 は外国 C 社製による結果で、それぞれ○印が A 社、●印が B 社および◐印が C 社の製品を示す。

図において各社製品とも P10 が P20 に比し著しく永続

図 2 P10バイトにおける切削永続時間と逃げ面最大摩耗幅との関係

図 3 P20バイトにおける切削永続時間と逃げ面最大摩耗幅との関係

逃げ面摩耗
切削速度 : 125 m/min, 送り : 0.16 mm/rev
切込み深さ : 1.5 mm
(a) P10 バイト 100 分経過, (b) P20 バイト 82 分経過

図 4 切れ刃損傷の例 (×20)

し、そして同一社製品は類似した摩耗経過をたどっている。またすべての切れ刃は、図 4 に示すように逃げ面が先端・主切れ刃を問わずほぼ均一幅で摩耗し、摩耗は切削時間の経過に従い徐々に進行していることがわかる。図 4(a)が P10 バイト、同図(b)が P20 バイトの損傷例である。

このとき P10 バイトにおいては、主切れ刃逃げ面の最大摩耗幅が約 0.25~0.3 mm, P20 バイトでは約 0.22~0.3 mm に達すると、以後摩耗幅が急に増大する傾向がみえる。そして P10 バイトでは、逃げ面最大摩耗幅が 0.3~0.4 mm になると境界摩耗部が小さく欠けて正常切削が困難となる場合が多くあらわれた。それに対し P20 バイトでは、0.45~0.6 mm で被削面が劣悪となったり、切れ刃が先端または境界摩耗部で小さく欠けたりして正常な切削ができなくなる場合が多くみられた。

したがってこの切削においては、逃げ面の最大摩耗幅が P10 バイトでは 0.35 mm, P20 バイトでは 0.5 mm となったときを寿命の目安とし、それらを切れ刃が寿命に達する直前の摩耗幅いわゆる限界摩耗幅と考え刃先と直しを行なうことが適当と考えられる。これらの限界摩耗幅は従来の多くの研究結果とよく一致している。この限界摩耗幅は、奥島ら^{2)~4)}がいつているように切削周囲の条件によって一定しないものである。

また上述の結果より、本切削条件のもとでは、逃げ面の最大摩耗幅が約 0.22~0.3 mm に達した後、急激にそれが増大することから、この急激に摩耗幅が増す臨界値を一応 0.25 mm とし、これを寿命と考えて刃先と直

図 5 いろいろの切削速度における P20 バイトの逃げ面摩耗進行経過

しの目安とすることも一方法と思われる。

なおこの切削においてはクレータ摩耗も発生し、P20 バイトにおいては P10 バイトに比し大きくあらわれる。しかしその量はさほど小さくなく (たとえば P20-3 の場合、逃げ面最大摩耗幅が 0.50 mm のときくぼみ深さは 0.013 mm)、この実験においては考慮しなかった。

つぎに、前述の P20-1 を用い切削速度を変えて実験した結果が図 5 である。これは、後述するように、バイトのびびりが発生すると、刃先と被削材との間の相対速度が 0 から切削速度の約 2 倍にまで変化することを考慮して、振幅約 0.33 および 0.22 mm のバイトのびびりが発生する切削速度 125 および 85 m/min のそれぞれ 2 倍、すなわち 250 および 170 m/min の切削速度で通常切削を行なったものである。

図において、切削速度が 85 および 125 m/min の場合には長時間の切削に耐えることが明らかで、切れ刃の先端および主切れ刃逃げ面はほぼ均一幅で摩耗する。125 m/min の場合は前述したようであるが、85 m/min の場合には摩耗幅が 0.14 mm に達すると摩耗が急に増大し、0.30 mm になると被削面が劣化することがみとめられた。それに対し、切削速度が大きいほど逃げ面摩耗の進行が著しく、切削速度 250 m/min の場合にはその進行がとくに早いことがみられる。そして主切れ刃逃げ面の最大摩耗幅が約 0.28 mm に達するとその後摩耗幅が急増している。さらに切削を継続すると、切削開始後 16 分で先端側 0.86, 主切れ刃側 0.66 mm の摩耗幅となって、被削面が著しく劣化し同時に切れ刃稜の大部分が折損した。

また、図 6 は同じ切削におけるクレータ摩耗の深さを、逃げ面摩耗と同時に測定したものである。この測定にはさきに試作した光切断式仕上面あらさ検査機¹³⁾を用いた。図において、クレータ摩耗は上述の逃げ面摩耗の場合と同様、切削速度が大きいほどその摩耗の進行が著

図 6 いろいろの切削速度における P20 バイトのクレータ摩耗進行経過

しく大きいことがわかる。そして切削開始後 16 分で深さ 0.075 mm のクレータ摩耗が発生していることから、切れ刃が著しく弱められて切れ刃の折損に至ったものと思われる。

前述図 5 に明らかなように、170 m/min の場合には最大摩耗幅が約 0.28 mm に達すると摩耗が急に増す傾向がみえる。そして 26 分後、逃げ面最大摩耗幅が先端側 0.78, 主切れ刃側 0.53 mm となって被削面が著しく劣化した。なおこのときのクレータ深さは 0.025 mm で、まだ切れ刃を弱めるには至っていないものと考えられる。

P20-3 バイトについても同様実験したが、P20-1 バイトの場合とほぼ同一の結果が得られた。

上述の結果より、250 および 170 m/min の場合には、125 および 85 m/min の場合に比し摩耗幅が急増する点が高目であり、また寿命に達する直前の摩耗幅、いわゆる限界摩耗幅も切削速度が大きい場合の方が大であることがわかる。

さらに、切削速度が大きい場合には、先端逃げ面の摩耗が主切れ刃側のそれに比し大きく先行し、そのため被削面の劣化が著しく、その上クレータ摩耗の進行も著しいことから、摩耗形態は切削速度の大小によって左右されると考えられる。

図 7 は、これらの損傷形態を示し、図 7(a) が折損した切れ刃、図 7(b) が著しい先端摩耗の例である。

つぎに切削速度 125 m/min, 切込み深さ 1.5 mm にて送りをいろいろ変えて切削した。図 8 は P20-3 バイトによる一例を示す。図において送りが多い 0.32 mm/rev の場合、逃げ面摩耗の進行が早いことがわかる。このときの逃げ面摩耗の形態は送り 0.16 mm/rev の場合とほぼ同様である。しかし逃げ面最大摩耗幅が 0.25 mm に達したとき、やや摩耗が増大する傾向があらわれてい

P20 バイト

(a) 切れ刃折損

切削速度: 250 m/min, 送り: 0.16 mm/rev, 切込み深さ: 1.5 mm, 16 分経過

(b) 先端逃げ面の摩耗

切削速度: 170 m/min, 送り: 0.16 mm/rev, 切込み深さ: 1.5 mm, 26 分経過

図 7 切れ刃損傷の例 (×20)

図 8 いろいろの送りにおける P20 バイトの逃げ面摩耗進行経過

るものの、とくにクレータ摩耗の進行が著しいことがみとめられた。たとえば切削開始後 28 分のとき、逃げ面最大摩耗幅 0.33 mm, クレータ深さ 0.06 mm となり、51 分にして被削面が急に劣化した。この際の逃げ面最大摩耗幅 0.53 mm, クレータ深さ 0.10 mm で、先端のすぐ後の前切れ刃がクレータの進行により欠損したかのように著しく沈下していることがみられた。切れ刃はまだ折損せず、切りくずを出すのがこれはクレータにより寿命に達したとみるべきである。

一方、送りが小さい 0.05 mm/rev の場合には、主切れ刃逃げ面の最大摩耗幅が 0.11 mm 以後急増している

切削速度：125 m/min, 送り：0.05 mm/rev,
切込み深さ：1.5 mm, P20バイト60分経過

図9 送りがとくに小さい場合のバイト先端に
あらわれた特異な切れ刃損傷の例(×20)

図10 バイト先端に発生する特異な先端
逃げ面摩耗の発生機構仮想図

ことがみられ、かつ、それがさほど大きく進行しないうちに先端逃げ面は著しく摩耗することが明らかである。そして切削開始後62分で被削面は著しく劣化し、被削材のびびりが発生して切削の継続が不能になった。このように、送りによっても逃げ面最大摩耗幅が急増する点および限界摩耗幅は変化し、同時に寿命に達する摩耗形態も著しく異なることが明らかである。

このときの切れ刃先端を図9に示す。図に明らかなように、先端円弧部の逃げ面には細かいピッチの溝が生じ、この溝のピッチは送り量と全く一致していることが確かめられた。

一般に図10に示すように、被削面には送り方向の表面あらさである波形のでこぼこができる。その波形の山の頂点Aのため、先端逃げ面の特定の個所がたえずすりられ、それによって細かいチッピングが生じて前切れ刃側の境界摩耗に至ると推察される。もし、この送りが小さい場合には、切れ刃先端部に送りと同じ小さいピッチの境界摩耗状の条が、図中Bで示すように連続的に生じ、また少し摩耗が進んで先端が平らになると一そうこの条ができやすくなることは明らかで、これが図9に示す摩耗となったものと推察される。

なお、この形状の摩耗は刃先先端の丸み半径・前逃げ

角・前切れ刃角等の大きさに左右され、それらに対し送りが小さすぎるとあらわれやすいもののである。

送りが0.10 mm/rev のときにも、0.05 mm/rev のときほどではないが、同様にこの形状の摩耗があらわれて早く寿命に達した。本実験の切削条件のもとでは、送りが0.10 mm/rev 以下ではむしろ切れ刃寿命の終期が早くあらわれたことから、一般に必要以上に送りを小さくとらないことが望ましい。

4. 結 言

超硬合金バイトによるS45C材(焼準状態)の旋盤削り作業において、びびり振動が各種バイトの寿命に及ぼす影響を実験的に確かめるため、まず同一切削条件で通常切削を行なった場合の切れ刃損傷・切削継続時間に関し実験した結果、つぎのことがわかった。

- 1) 工具寿命の目安として、従来、限界摩耗幅および限界クレータ深さが一般に採用されているが、本実験結果によれば、それらは切削速度・送り・工具および被削材の材質等切削条件によって異なることが明らかで、常に一定値とすべきでない。なお、本実験におけるそれらの量は、ほぼ同一切削条件で行なわれた従来の多くの研究結果とよく合致している。
- 2) S45C材をP種バイトにより、中～高速・中送りで切削するふつうの作業では、逃げ面最大摩耗幅が0.25mmに達したときを一応の寿命とみなし、刃先と直しの目安とすることも妥当である。
- 3) 本実験においては、P10バイトの切削継続時間が最も長く優れている。P20バイトがこれに次ぎ、両者とも逃げ面摩耗の進行により寿命に達する場合が多かった。
- 4) 切削速度が小さい間は、逃げ面摩耗は先端・主切れ刃を問わず大体摩耗幅が均一にあらわれ徐々に進行する。それに対し、切削速度が大きくなるほどその摩耗の進行が著しく早くなり、その中でもとくに先端逃げ面の摩耗が主切れ刃逃げ面のそれに比し著しく先行して寿命を終わる場合が多くみられる。またこれら逃げ面摩耗の進行と同時に、クレータ摩耗も著しくあらわれ、そのため切れ刃稜が弱められて折損しやすくなる。
- 5) 送りが大きいほど逃げ面摩耗が著しく、またクレータ摩耗もあらわれやすい。しかし送りがとくに小さい場合には、切れ刃先端が特異な摩耗形態を示し、送りが大きい場合よりもむしろ早く寿命に達することがある。

以上の各結果より、限界摩耗幅・限界クレータ深さ

は切削条件によりそれぞれ適した値があるもので、また、切れ刃損傷形態も切削条件によって大きく左右されることが明らかである。

終わりに、本研究遂行に際し、終始ご懇切なご教示を賜った名古屋大学土井静雄教授および常にご指導ご鞭撻下さった同大学加藤仁教授に深く感謝致すとともに、本実験の実施に熱心なご助力をされた名古屋工業大学生(当時)間瀬喜夫・安井勝利両君に厚くお礼申上げる。

(1964, 10月29日受付)

文 献

- 1) O. W. Boston: Tool Life Testing, Machining Theory and Practice, ASM, (1950) 377.
- 2) 奥島啓式, 長富修吉, 大草喜太雄: 超硬工具の試験法に関する研究 (損傷の種類について), 日本機械学会論文集, 21巻110号 (1955) 738.
- 3) 奥島啓式, 長富修吉, 大草喜太雄: 超硬工具の試験法に関する研究 (簡易試験法について), 日本機械学会論文集, 23巻130号 (1957) 347.
- 4) 奥島啓式, 長富修吉, 大草喜太雄: 超硬工具の試験法に関する研究 (限界摩耗量について), 日本機械学会論文集, 23巻130号 (1957) 354.

- 5) 大越 諄, 佐田登志夫: 切削工具逃げ面における摩耗現象, 精密機械, 23巻 8号 (1957) 404.
- 6) 竹山秀彦, 村田良司: チタンの被削性に関する研究, 精密機械, 28巻 6号 (1962) 331.
- 7) 竹山秀彦, 谷戸勉, 糟谷梅太郎, 吉川悌二: 炭素鋼 S55C, S45C, S35C, S25C, S15C (焼鈍状態) の旋削作業標準, 精密機械, 28巻 6号 (1962) 338.
- 8) 竹山秀彦, 山田皓一, 草岡則行: 合金鋼 SNCM8 (熱処理) の超硬正面フライス削り, 精密機械, 29巻 6号 (1963) 452.
- 9) 奥島啓式, 人見勝人: 切削工具の逃げ面摩耗と切削力の変化, 精密機械, 29巻 4号 (1963) 304.
- 10) 竹山秀彦, 谷戸勉, 糟谷梅太郎, 吉川悌二: 炭素鋼 S55C, S45C, S35C, S25C, S15C (焼準状態) の旋削作業標準, 精密機械, 29巻12号 (1963) 929.
- 11) H. Opitz, E. Salje: Die Auswirkung von Schwingungen auf Verschleiß und Standzeit von Drehmeißeln, Ind.—Anz., 76—45 (1954) 690.
- 12) R. Weilenmann: Die Beeinflussung der Standzeit spanabhebender Werkzeuge durch Schwingungen, Werkstatt u. Betrieb, 89 (1956) 529.
- 13) 土井静雄, 栗田肇: 光切断法の吟味およびその測定装置の試作, 名古屋産業科学研究所研究報告, No.2 (1951) 1.