

工具寿命に及ぼす工具動特性の影響 (第1報)

—ゴム敷板とその動特性について—

(昭和60年5月31日 原稿受付)

大分大学教育学部 池 崎 八 生
 黒崎 燦 業 (株) 川 辺 秀 明
 機 械 工 学 科 竹 内 芳 美
 坂 本 正 史

Effect of Tool Dynamics upon Tool Life(1st Report)

—Rubber Plate under a Tool and its Dynamic Characteristics—

by Yatsuo IKEZAKI
 Hideaki KAWABE
 Yoshimi TAKEUCHI
 Masafumi SAKAMOTO

Abstract

The study deals with a tool wear due to the vibration of tool, which is one of the essential factors to decrease a tool life. From the standpoint of setting up a mechanism to restrain the vibration of tool in continuous cutting, a metal plate to fix a tool is exchanged for a rubber plate. The relationship between tool dynamics and tool life is investigated, measuring the mechanical impedance and analysing frequency spectrum of tool. As a result, the study led to the following conclusions:

- (1) Rubber plate makes the damping of tool increase more than metal plate.
- (2) Rubber plate has the frequency range, between which the tool wear is most affected, shifted to the lower side than metal plate.
- (3) Rubber plate can restrain a tool wear, especially flank wear. Consequently it has been confirmed that a tool life gets longer under the adequate condition.

1. 序 論

加工中に発生する振動は、製品の形状精度・表面あらさを低下させるのみならず、多くの場合、工具寿命の低下や工具破損の原因となる。防振あるいは耐振対策によって工具寿命の延命が可能になれば、工具コストの節約という観点からも非常に望ましいことである。

工具摩耗が振動に及ぼす影響については、松原らの研究¹⁾があるが、振動の存在が工具摩耗にどのような影響を与えるか、さらに工具の動特性が変化した場合、工具寿命特性はどうかなどに関しては、まだ定量的な取扱いがなされていない。

加工中に発生する振動は、周知のように再生効果に基づく自励振動や変動切削力による強制振動が原因で生じるので、工具系の動特性を改善すれば振動を低下させることができると考えられる。工具における動特性の改善とは、工具自体か、または工具系の減衰能を増大させ、振動を吸収させる方向にもっていくことである。

工具自体の減衰能の増大に関しては、材料面からの研究²⁾や工具ホルダーをサンドイッチ構造に改良した研究³⁾、また、工具突き出し長さを変え、または摩耗を軽減させる適当な突き出し長さの存在を確認した報告⁴⁾がある。工具突き出し長さを長くするのは実用的ではないが、長さを変えないでも工具を固定する際に減衰を増加させ

るような工夫を施せば同様の効果が得られると思われる。その例として、通常、使用される金属敷板に替わり弾性敷板を断続切削に適用し、工具寿命の改善を定性的に扱った報告⁵⁾がある。本研究でも同様に弾性敷板を用いるが、本研究では、連続切削に適用し、工具系の動特性の変化、すなわち、減衰能の増大や周波数のシフトが工具摩耗に及ぼす影響を定量的に検討し、工具寿命の延長を動特性との関連において考察することを目的とする。

2. 弾性敷板の工具摩耗への影響

連続切削における弾性敷板の工具摩耗進展に及ぼす影響についての実験結果を示す。ここで、弾性体としては表1に示すような物理的・化学的性質をもつゴム板を用いて、表2に示すような条件で切削実験を行なう。このとき、ゴムは加わる圧力によりその特性を変えするという性質から、特に工具締め付けトルクには注意をし、トルクレンチにより常に280 Kgf・cmの同一トルク値を与えている。

実験には、山崎鉄工所製 NC 施盤 MAZAK M2, 工具ホルダーにタンガロイ N11 R-33, 工具にはイゲタロイ ST 20 E 432 (P 20種) スローアウェイ型を用いた。

表一 実験に使用したゴム板の物理的・化学的性質

	rubber90	rubber70
specific gravity (kgf/cm ³)	1.10	1.15
hardness (JIS A) (°)	86	74
tensile strength (kgf/cm ²)	400	180
extension (%)	460	200

	rubber90	rubber70
rubber (%)	100	58
oil (%)	-	3
carbon (%)	-	35
etc. (%)	-	4

表二 本実験における切削条件

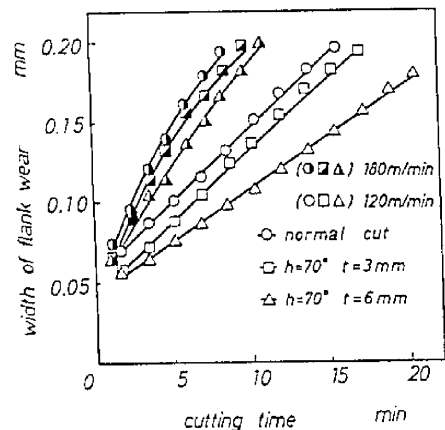
cutting speed	120 m/min, 180 m/min
thickness of rubber	3 mm, 6 mm
hardness of rubber	70°, 90°
depth of cut	1.0 mm
feed	0.2 mm/rev
tool overhang	40 mm
tool clamping torque	280 kgf·cm

被削材としては炭素鋼 S55C を用い、工具摩耗測定には、ニコンメジャースコープを使用した。工具摩耗の測定は、クレータ、フランク摩耗の両者について行なったが、クレータ摩耗については弾性敷板による摩耗進展特性に顕著な変化が見られなかったことから、ここではフランク摩耗に関する実験結果のみに着目する。

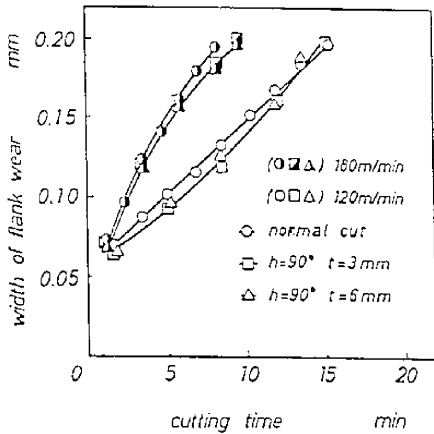
図1は、金属敷板、厚さ3 mm 硬度70°のゴム敷板、厚さ6 mm 硬度70°のゴム敷板を使用したときのフランク摩耗幅進展特性を切削速度別に比較したものである。この図によると、同一フランク摩耗幅（ここでは0.2 mm に設定）に達するまでの切削時間は、切削速度120 m/min では3 mm のゴム敷板で約1分、6 mm のゴム敷板では約8分の延長が見られ、180 m/min では3 mm のゴム敷板で約1分、6 mm の場合で約2分延びていることが分かる。

これらの実験は、同一条件下で4回づつ繰り返し、最終的なデータとしては、それらの平均値をとっているが、同一条件下で行なわれた実験データにはかなりの再現性があった。

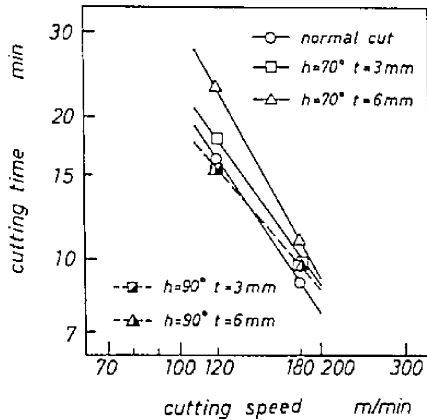
図2は、金属敷板、厚さ3 mm 硬度90°と厚さ6 mm 硬度90°のゴム敷板を用いた切削実験におけるフランク摩耗進展特性を切削速度別に比較したものである。図から分かるように、120 m/min の切削速度では、厚さ3 mm, 6 mm のどちらの敷板にも摩耗進展に変化がない。180 m/min の速度において両方ともわずかながら摩耗進展が遅れる。図1, 図2の結果をもとにしてV-T 曲線を描いたものが図3である。



図一 ゴム敷板の厚みの変化とフランク摩耗一切削速度曲線



図一2 ゴム敷板の厚みの変化とフランク摩耗一切削速度曲線



図一3 ゴム敷板の変化によるV-T曲線の比較 ($V_R=0.2\text{mm}$)

3. 弾性敷板の工具動特性と工具摩耗

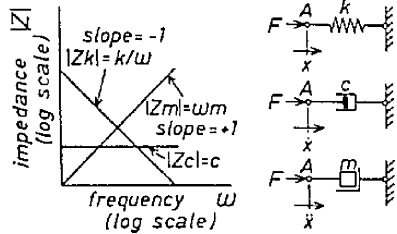
3.1 弾性敷板による工具動特性の変化

3.1.1 工具動特性の測定

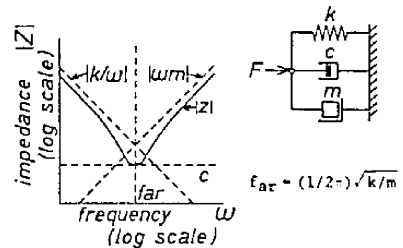
ゴム敷板による工具摩耗進展状況の変化は、ゴム敷板による工具動特性が変化することに帰因すると考えられる。そこで、工具動特性の解析を試みるが、解析に際し、加振力とそれによって生じる速度の比であるメカニカルインピーダンスを測定することが、動特性を知るために有意義となる⁶⁾。メカニカルインピーダンス曲線より、工具の見かけの質量、バネ定数、減衰状態および共振周波数などを知ることができる。

ここで、メカニカルインピーダンスについて簡単に説明する。どんな複雑な系でも、それらはダンパー・バネ・質量の3要素の組み合わせで表されるとする。ダンパー・バネ・質量が単独で存在する場合のメカニカルインピーダンスは、図4(a)に示すように、また、3者が並列に存在する場合は、図4(b)のように、直列に存在する場合は、図4(c)に示すようになる。これらを要約すると次のようになる。

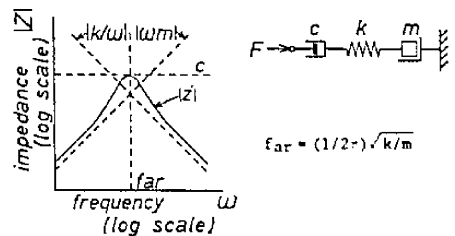
- i) インピーダンス曲線が、+1の傾斜を示す周波数範囲では、その系は質量として働く。
- ii) インピーダンス曲線が、-1の傾斜を示す周波数範囲では、その系はバネとして働く。
- iii) インピーダンスが極大となる周波数では、その系は直列共振をしており、その点の速度は極小である。



(a) Mass, spring and damper



(b) parallel connection of mass, spring and damper



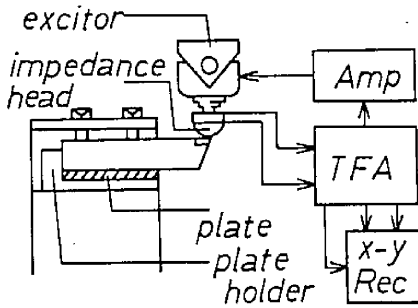
(c) Serial connection of mass, spring and damper

図一4 工具系のメカニカルインピーダンス曲線

iv) インピーダンスが極小となる周波数では、その系は並列共振をしており、その点の速度は極大である。

3.1.2 測定装置およびその方法

ゴム敷板による工具動特性の変化を知るためのメカニカルインピーダンス測定装置の概略を図5に示す。伝達関数測定器から発したある周波数正弦波信号は、増幅器により増幅され、加振器に送られる。加振器は、工具と接触したインピーダンスヘッドを振動させる。このとき、ヘッドに加わる加振力とその結果生ずる工具の加速度が計測され、メカニカルインピーダンスが計算される。



図一五 工具のメカニカルインピーダンス測定装置概略

工具系メカニカルインピーダンスの測定には、次の機器を使用した。

伝達関数測定器：DA-62 MC (国際振動研究所)

加振器：MS-VE-01 (同上)

増幅器：VA-ST (同上)

インピーダンスヘッド：IH-02 (同上)

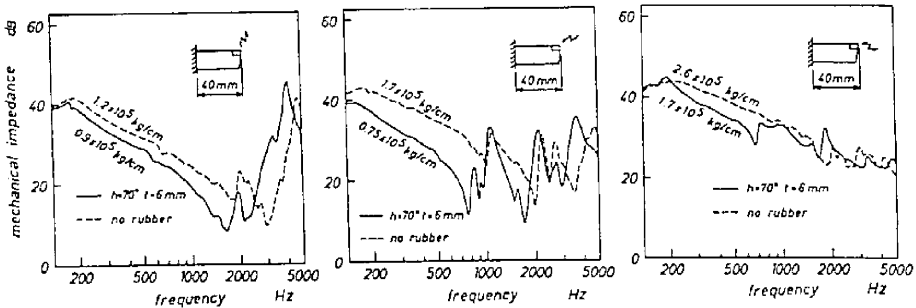
X-Yレコーダ：VP-6432 A (National)

3.1.3 測定結果

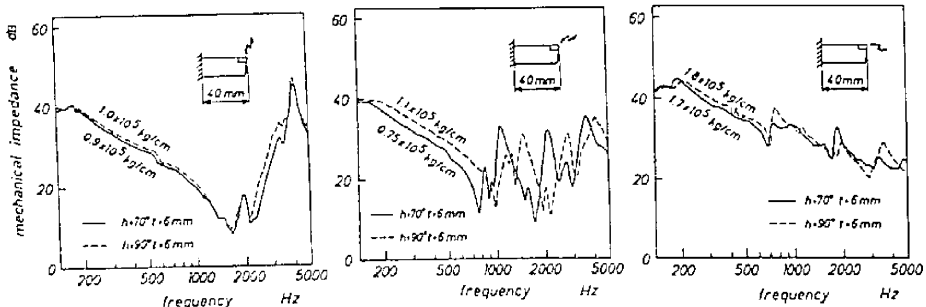
工具系メカニカルインピーダンス測定に際し、工具の突き出し長さは、切削実験と同一とし、メカニカルインピーダンスを工具の上下・送り・切込み方向の3方向について測定した。

図6に厚さ6mm 硬度70°のゴム敷板を用いた場合と金属敷板を用いた場合の工具系インピーダンス曲線の比較例を示す。減衰が増すと共振周波数は低い周波数方向に移行し、並列共振を表すインピーダンス曲線の谷底部と直列共振を表す山頂部が共に低くなることから、ゴム敷板の存在が、工具系の減衰能の増大をもたらしたことが分かる。

同一厚さ6mmで硬度70°、90°のゴム敷板を用いて、工具動特性に及ぼす硬度の影響を比較したものが、図7



図一六 金属敷板とゴム敷板における3方向のメカニカルインピーダンスの比較



図一七 硬度の異なるゴム敷板における3方向のメカニカルインピーダンスの比較

である。この図から、上下・送り・切込み方向ともに硬度70°のゴム敷板の方が、90°の敷板に比べて減衰能が大きいことが分かる。硬度の低いゴム敷板の方が減衰効果が大なのは当然、予想されることである。

次に、同一硬度でのゴム敷板の厚さによる減衰能の変化を調べる。硬度70°のゴム敷板の厚さによる動特性の変化を図8に示す。この図より、同一硬度であれば、厚さの増加により減衰能も増大することが分かる。硬度90°のゴム敷板に関しても同様な結果が得られている。

本実験では、硬度70°、厚さ6mmのゴム敷板の場合が、最もフランク摩耗の進行が遅れ、硬度90°の場合は、摩耗進行にあまり変化がなかった。以上のように、工具系の減衰能がフランク摩耗進展の重要な因子となることが分かったが、これは逃げ面をこする長さが、減衰能の増加により減少し、そのため摩耗が低下するのではないかと思われる。

3.2 加工中での工具系周波数特性の変化

周波数分析は、図5で示したメカニカルインピーダンス計測システム中のインピーダンスヘッドを加速度ピッ

クアップに置き換えて行う。加速度ピックアップを工具先端部に取り付け、フランク摩耗測定のための切削実験と同一加工条件で切削を行いながら、その時の工具の周波数スペクトルを上下・送り・切込みの3方向について測定する。測定には、

加速度ピックアップ：VP-500 (国際振動研究所) を使用した。

図9に、切削速度120 m/min (主軸回転数770 rpm) で金属敷板と厚さ6 mm 硬度70°のゴム敷板を用いた場合の、それぞれ上下・送り・切込み方向の工具系のスペクトル分析した結果の比較を示す。図中で斜線が金属敷板の、白ぬきで示したものがゴム敷板を用いたときのスペクトル分布である。上下方向に関しては、金属敷板のとき、3000 Hz、ゴム敷板では2000 Hz 近傍でピークがある。送り方向では、金属敷板で2500 Hz、ゴム敷板で2000 Hzに、切込み方向では、金属敷板で3000 Hz、ゴム敷板で2000 Hz 近辺でそれぞれピークを示す。切削中に工具に高い割合で作用すると考えられる周波数が、このようにゴム敷板を用いることにより、3方向とも500~1000 Hz 程度低下している。

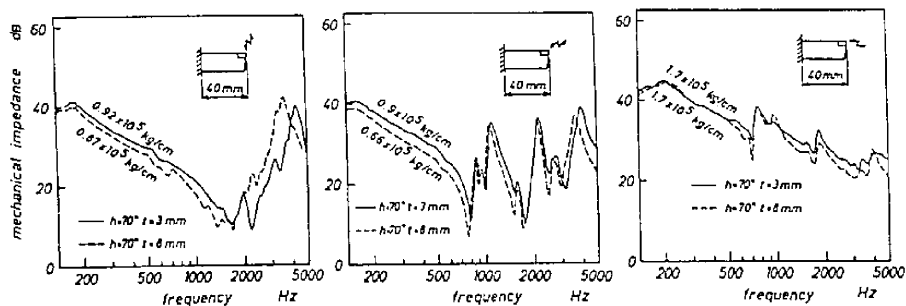


図-8 厚さの異なるゴム敷板における3方向のメカニカルインピーダンスの比較

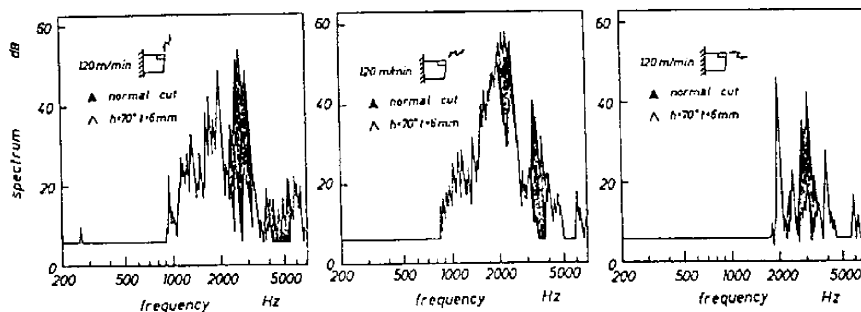
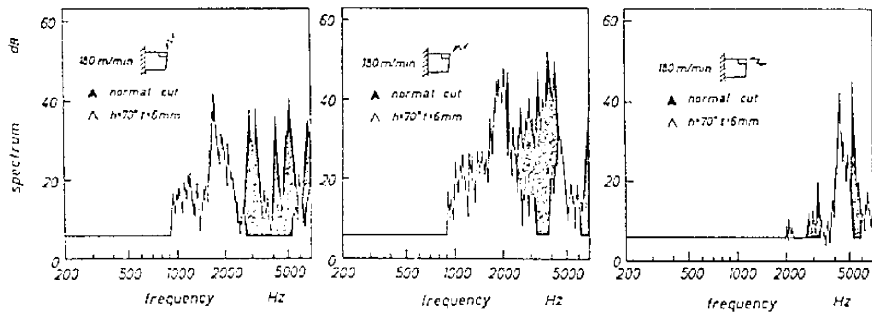


図-9 ゴム敷板の有無によるスペクトル分布の比較 (切削速度120m/mm)



図—10 ゴム敷板の有無によるスペクトル分布の比較
(切削速度180m/mm)

さらに、切削速度を180 m/min（主軸回転数1100 rpm）に変えた場合のスペクトル分布を図10に示す。この図からも工具に作用するスペクトルのピークがゴム敷板により左へシフトしていることが分かる。

3.3 加振切削による工具寿命の変化

ゴム敷板の利用で工具に作用する周波数の低下という現象が認められたが、周波数の低下がフランク摩耗の進行の遅れとどのように関連があるかを明らかにするには周波数と摩耗進展の間の関係を調べる必要がある。しかし、工具形状・寸法や突き出し長さを変えずに工具に作用する周波数を変化させることは不可能であり、直接に周波数のシフトと摩耗進行の関係を調べることは困難である。そこで、工具を強制加振し、その加振周波数を変えて切削を行い、一定のフランク摩耗幅に達するまでの時間を検討する。

強制加振の方向として、刃物台を加振する場合と、心押台を加振する2通りがあげられる。

(i) 刃物台加振の場合

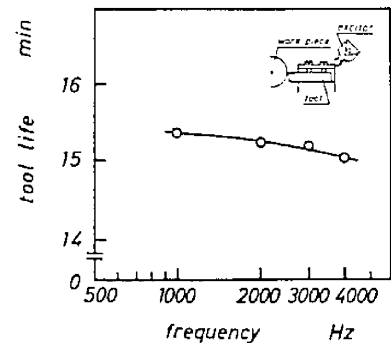
加振切削においては、強制加振力が工具先端部に直接加わることが望ましいが、なるべく実際の加工状態に近い状態で行なうということから、工具突き出し長さを長くできない。そこで、工具と刃物台が一体で動くと考え、刃物台の加振で工具の加振の代用とする。

切削速度を120 m/minとし、強制加振周波数を1000, 2000, 3000, 4000 Hzに設定して切削実験を行った。フランク摩耗幅0.2 mmに到達するまでの切削時間をそれぞれの周波数でプロットした結果が図11(a)である。このとき、加振器は図中に示すように、斜め上方から刃物台に押し付けられており、工

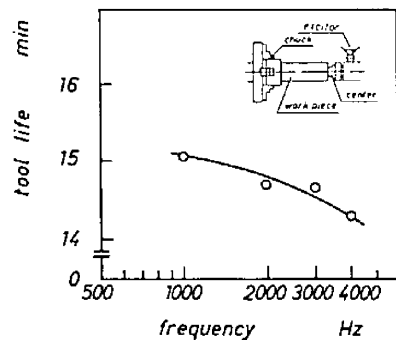
具は上下・切込み方向に同時に加振されていることになる。図より、周波数が低くなると工具寿命がわずかながら増える傾向にあることが理解できる。

(ii) 心押台加振の場合

刃物台加振の代わりに、心押台を加振して、工具と被削材間に相対的振動を生じさせ、工具を加振した状態と同じ状態を作り出す。この方法を用いて、刃物台加振と同様の実験をしたときの結果を図11(b)



(a) In case of exciting tool-post



(b) In case of exciting tail-stock

図—11 工具寿命と加振周波数の関係
($V_B=0.2\text{mm}$)

に示す。強制加振周波数が低くなると工具寿命が長くなり、しかも、刃物台加振と比べて工具寿命の延長がより顕著になっている。これは、刃物台加振よりも心押台加振の方が、加振力が直接伝わり加振の効果がより現れるためと考えられる。

以上の加振切削実験から、ゴム敷板の使用が、工具に作用する周波数帯を低周波側へ移動させ、逃げ面が被削材とすりあう回数を減らしたため、フランク摩耗進展が遅れる、つまり工具寿命が延びると考えられる。このように周波数の低下もまた工具摩耗特性を変える重要な因子となる。

4. ゴム敷板使用による加工誤差

ゴム敷板を用いると、工具系の減衰能増大と周波数帯の低周波側への移行から、工具摩耗進行が遅れることが判明したが、ゴム敷板を使用する際にバイトのたわみを検討し、加工精度への影響を考慮する必要がある。

そこで、金属敷板とゴム敷板にバイトを置き、先端に荷重を加え、そのたわみ量を測定した。測定結果を図12に示すが、切削抵抗(主分力)が50 kgfとすると、金属敷板とゴム敷板のたわみの差は $10\mu\text{m}$ 程度である。これは上下方向の値であるから、切込み方向に換算するとその量は微小で無視してもかまわない。加工精度への影響においても、ゴム敷板の使用は問題がないと言える。

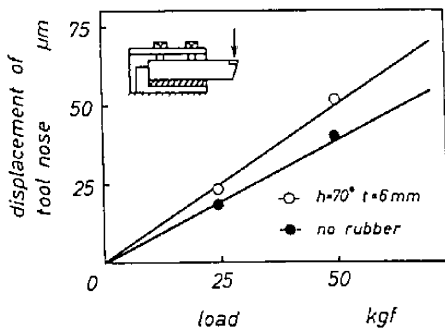


図12 ゴム敷板の有無による工具刃先の変位

5. 結 論

工具摩耗を工具系の振動との関連において考察し、工具寿命改善を目指して行なった本研究から次の結論を得た。

- 1) 通常用いる金属敷板に替え、弾性敷板(ゴム敷板)を使用することにより、工具系の減衰能は増加する。この効果は、同一硬度の敷板では厚さの増加とともに、同一厚さでは硬度の低下とともに増す。
- 2) ゴム敷板を使用すると、工具系が最も影響を受ける周波数帯は、金属敷板に比べ低周波側へ移行する。
- 3) ゴム敷板を使用した連続切削では、工具のフランク摩耗進展速度は金属敷板より遅くなり、工具寿命の増加が認められる。これは、工具系の減衰能の増加と工具に作用する周波数帯の低周波側への移行によるものと考えられる。

今後、生産現場に実際に導入するにあたって加工精度上、どこまで減衰能を増加できるか、減衰能の増加に伴い摩耗進展速度は単調に減少するのか、さらに減衰能と適切な加工条件の関係などを検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 松原十三生、小田 哲：バイト振動発生限界の実験的解析—工具摩耗によるバイト振動の研究(第1報)、精密機械、41—10(1975)965
- 2) 竹山秀他：高減衰材料によるツールホルダの動剛性向上に関する研究(第2報)—中ぐりバイトの場合の実験結果—、精機学会講演論文集(55年秋)571
- 3) 稲見 靖、井川直成：工具摩耗に及ぼす耐振動工具の効果—断続切削の基礎(第3報)、精密機械、41—6(1975)598
- 4) 北川武揚他：旋削工具の振動が逃げ面摩耗に及ぼす影響、精機学会講演論文集(55年秋)577
- 5) 真島 晃：弾性敷板を用いた工具のトラブル防止、機械技術、25—10(1979)100
- 6) 佐藤寿芳：剛性測定とその応用、日本機械学会第411回講習会教材('75—6—9、10、東京)