

AEによる切削工具損傷監視制御システム (第1報)

高浪五男*・吉岡益夫*・酒井義郎**・小林一巳***

A Monitoring and Control System for Cutting Tool's Damage by Acoustic Emission (Part 1)

Itsuo TAKANAMI, Masuo YOSHIOKA, Yoshiro SAKAI and Kazumi KOBAYASHI

Abstract

Some researches on detecting cutting tool's damage have been done by using acoustic emission (AE) occurring on plastic deformation or destruction of tools. However, as long as we know, no good method has been developed. The paper shows experimental results as foundation to construct a system which in real time detects damage of cutting tools and controls stopping of cutting machines. The system consists of an AE sensor unit and microcomputers for data processing and control. Thus, it is expected that the system may be constructed in relatively low cost.

1. 目 的

金属加工において工具損傷が発生すれば、被削材すなわち製品に決定的な損害を与え得る。工具損傷をインプロセスで検出し、さらに工作機械を制御すればこのような問題は解決する。さらに、自動化、省力化、並びに信頼性を向上させる上でも有効である。また、これらのことは工場のFA化のためには是非とも必要なテーマであり従来種々研究されているが、¹⁾十分な成果が得られているとは言い難い。

本研究では、工具の塑性変形や破壊に伴って発生するアコースティック・エミッション (Acoustic Emission, 以下AEとする) に注目し、切削中に放出されるAE信号を計測して工具損傷を検出し、さらには切削を中断するといった工作機械制御をリアルタイムで行う切削工具損傷監視制御システムを確立することを目的とする。この報告では、そのための実験システムとデータ処理法を述べ、本処理法の有効性を示す。

また、データの処理及び制御等にはパーソナルコン

ピュータ等を導入し、比較的安価にこれらのシステムを構成することを目的とする。

2. 原 理

2.1 AEについて²⁾

AEは割れの進行、塑性変形、破壊の時など、ひずみエネルギーが解放される時に発生する弾性波であり、普通は超音波の領域で取り扱われる。AE計測ではこの超音波が材料中を伝搬してくる弾性波、すなわちAE波を対象とする。

AE波そのものは、インパルス状のものと考えられるが、電気的信号として観測されるAE信号は、原波形そのままではなく、伝搬ならびに変換子の性格を経たものとなる。ここで、AE信号とは、AE波を受信したセンサ、すなわちAE変換子の出力あるいはこれが増幅された電気信号のことである。

さらにAE計測では、材料に応力がかかっている状態で行われるので、環境雑音が多い。そのため、周波数スペクトラムによってAE信号と外来の電氣的、機械的雑音等とを区別したり、AE信号の周波数のみを強調することが有効な手段の一つであると考えられているが、本研究では、低雑音増幅器、雑音除去のため

*電子工学科

**生産機械工学科

***宇部興産株

のフィルタを用いる。

2.2 AE信号の処理

AE信号を処理するためにAE信号発生数をデジタル的にカウントする。発生数をカウントするにはもともとなるAE信号の数え方が重要になってくる。AE信号をカウントする方法には、A/D変換して行う方法等があるが、このようにすると複雑な構成となり、目的の一つであるリアルタイム処理が不可能となるので、本研究では以下に示すような処理を行う。

まず、Fig.1(a)に示すAE信号をFig.1(b)に示すように平均値検波した後、単位時間内で、あるしきい値を越えたものについてカウントすることとする。Fig.1(c)に示す弁別器出力は、TTLレベル論理で、Fig.1(b)に示す平均値検波出力がしきい値を越えてい

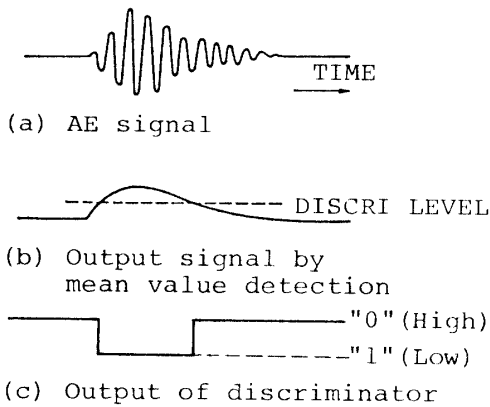


Fig. 1 Counting method for AE signal

る間、“1”(Low)となり、越えていない間は“0”(High)となる。

カウントは、弁別器出力を一定のサンプリングタイムでみて、“1”であれば1回とカウントし、“0”であればカウントしないということとし、これらを単位時間内で繰り返し、その時間内のカウントの合計を一つのデータとする。AE信号の検出は以上のようなアルゴリズムで行う。これらの処理系は、インテリジェント化したインターフェースとパーソナルコンピュータとをRS-232Cを用いた通信回線で接続したもので構成し、データの処理、収集はすべてプログラム化して行うため、リアルタイム処理が可能である。

3. システム構成

本システムの構成をFig.2, Fig.3に示す

Fig.2は、市販されているAEセンサ及びAE信号検出装置にデータレコーダを接続したものである。尚、Fig.2(a)の出力とFig.2(b)の人力は接続している。

今回使用したAEセンサは、共振周波数1(MHz)、周波数帯域10(kHz)~1(MHz)、検出した信号はプリアンプを通した後、メインアンプ内でカットオフ周波数300(kHz)、1(MHz)のハイパス、ローパスフィルタを通して電気的雑音あるいは機械的震動雑音の不要な信号成分を除去している。

Fig.3は、今回製作したシステムの処理系のハードウェアである。尚、Fig.3(a)の出力とFig.3(b)の人力は接続している。

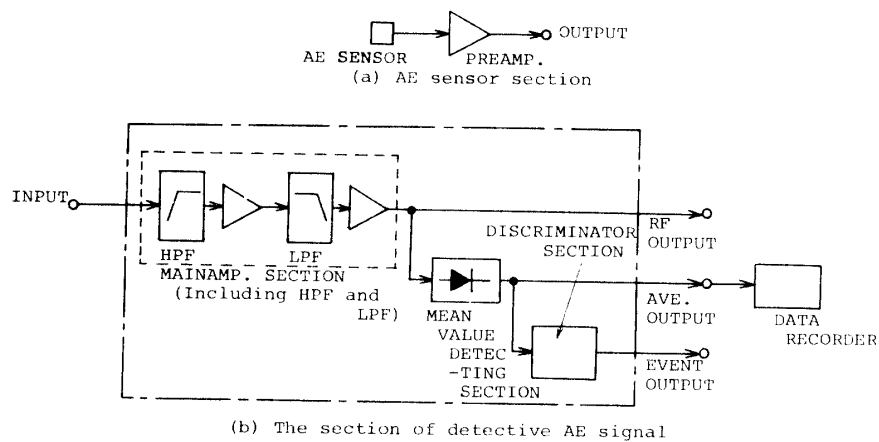


Fig. 2 A unit of detecting AE signal

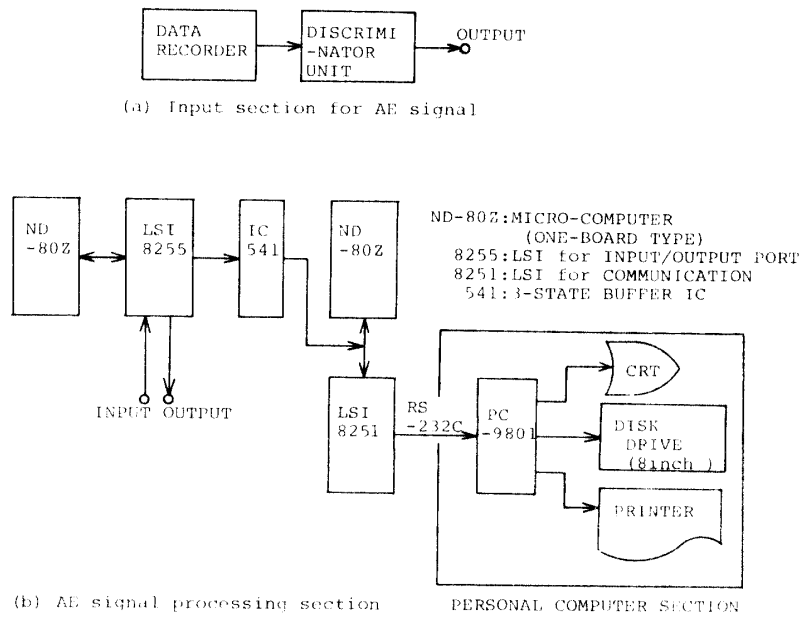


Fig. 3 AE signal processing unit

本システムはプログラマブルなシステムなので、ソフトウェアを作成すれば、工作機械を制御可能のようにハードウェアが構成されている。現在はAE信号をパーソナルコンピュータ側へ取り込み、そして、処理、検討する段階であるので、工具損傷監視システムが内部に持っている増幅器の利得等を制御するにとどめている。この機能を用いれば6.2でも述べるようにAE検出のパラメータを動的に制御できる。

4. 実験方法

4.1 データ収集

工作機械として旋盤を用いた。

Fig.2を構成して、AEセンサを旋盤の工具の下側に固定した。

切削時におけるプリアンプ、メインアンプの総合利得は60 (dB)とした。被削材は円筒材として炭素鋼S45Cを用いた。円筒材は、AE信号が出やすいよう、また、工具が破損しやすくするために、Fig.4のよう

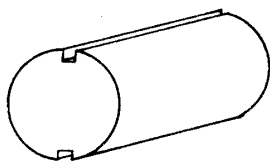


Fig. 4 Shaved material

にミゾを設けた。切削工具は超硬工具のP20種及びP25種を使用した。工作機械の設定は、切削速度

50 (m/min), 切込み2 (mm), 送り0.3 (mm/rev), 回転数P20種において189 (rpm), P25種において200 (rpm)として円筒材を切削した。

切削中に得られたAE信号は平均値検波し、その波形をデータレコーダに記録した。

4.2 データの処理

Fig.3の構成とする。データレコーダに取り込んだAE信号を自作した弁別器に入力し、しきい値を1.3V~1.8V間とし、0.1Vステップで、それぞれのカウント値を測定した。カウントの周期は33 (μsec)で、これを256回カウントする毎にそのデータをパーソナルコンピュータに送り、パーソナルコンピュータのディスクに一旦記録し、後でそれを解析した。

5. 実験結果と考察

5.1 P20種における結果

超硬工具P20種を用いて、切削速度50 (m/min), 切り込み2 (mm), 送り0.3 (mm/rev), 回転数189 (rpm)で炭素鋼S45Cを断続切削し、しきい値を1.3V~1.8Vに変化させ、それぞれ検出したAE信号のカウント値グラフをFig.5, そのカウント値を15サンプリングデータ毎平均化したグラフをFig.6に示す。

(1) Fig.5のグラフについて

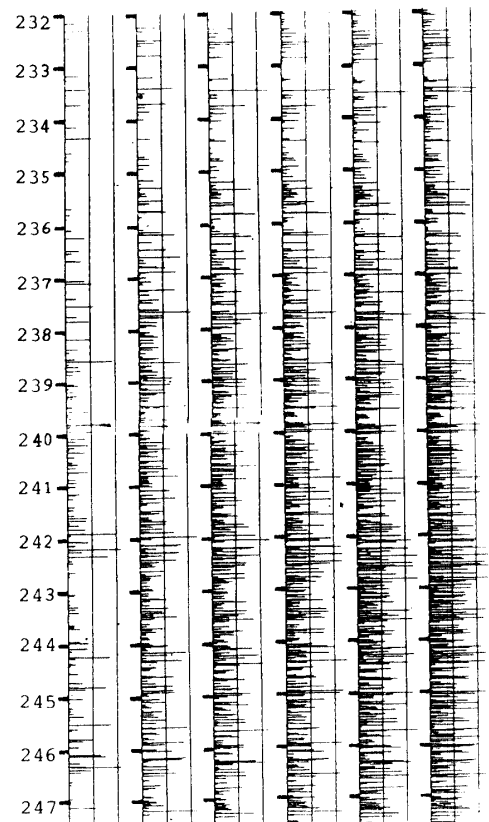
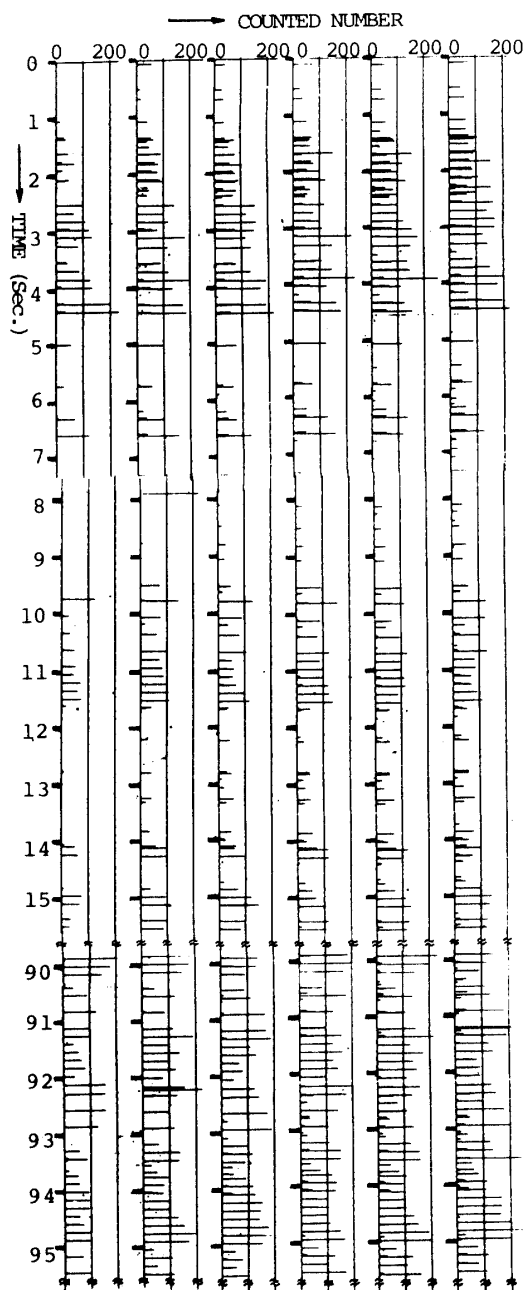
切削初期においてAE信号を検出している部分は散発的で、しきい値1.6V, 1.7V, 1.8Vと各々比較し

てみるとしきい値1.8Vでは、全体的にその部分が少なくなっている。これは、検出されなくなった部分の波形の振幅は1.7V~1.8V以下でその電圧レベルのAE信号が多くあることを表わしている。しかし、しきい値1.8Vにおいても周期的に大きな値を検出している部分がある。これは旋盤の回転周期と信号の周期が等しいことから、工具と被削材のミゾが衝突する際に発生した高レベルのAE信号と判断される。

切削中期において、工具と被削材のミゾが衝突する部分ではほとんど1.7V以上の信号が検出されるが、

それ以上の部分の切削時においては検出されていない。これは工具に損傷がなく正常な切削を行っていると判断される。

切削周期において、ミゾとの衝突時はもとより、切削時においても多くAE信号が検出され、しきい値1.6V以下ではそれまでの状態と比較して明らかに検出されるAE信号が多くなっている。この現象は、工具が損傷した状態で切削を続けたために発生したと考えられるがFig.5から工具損傷時(損傷の直前)のAE信号を検出することは難しい。



(a) DISCRI LEVEL 1.8V
 (b) DISCRI LEVEL 1.7V
 (c) DISCRI LEVEL 1.6V
 (d) DISCRI LEVEL 1.5V
 (e) DISCRI LEVEL 1.4V
 (f) DISCRI LEVEL 1.3V

Fig. 5 Counted number of AE signal on the tool P20

(2) Fig. 6 のグラフについて

しきい値 1.3V~1.6V までにおいては信号のカウント値の変化は少ないが、しきい値 1.8V では大きく減少している。これは多くの AE 信号のレベルは 1.6V~1.7V であることを示している。

切削開始から 235秒以降においては値が徐々に増加する傾向があり、237秒以降ではそれまでの値と比較して 2倍以上になっているのが容易にわかる。その原因は前述したように、工具が損傷した状態で切削を行っているためと思われる。Fig. 6 から正常切削時と異常時との境界点、すなわち工具損傷時を発見することは可能であり、現データでは切削開始から 235秒後付近である。

また、Fig. 6 においてしきい値 1.7V 以上になると、全体的に検出される AE 信号が少なくなり、特に異常

時に検出される AE 信号値が下がっているため正常切削時と異常状態の境界を発見するのは難しい。よって、現データからはしきい値 1.6V が最適と言える。

工具損傷時に突発的に大きな AE 信号が発生しない場合においても、工具が損傷した状態で切削を続行するとレベルの高い AE 信号の発生が増加する。このような現象を検知するためには Fig. 6 のように検出した AE 信号の平均値で判断すればよいと思われる。

本実験で使用した工具 P 20 種の写真を Fig. 7 に示す。写真を見ると工具の損傷は、小さなチッピングを繰り返して、大きな損傷となっていることがわかる。



Fig. 7 State of damage of the tool P 20

このように小さな損傷の繰り返しの場合は、突発的な高レベルの AE 信号を検出するより特定レベル以上の AE 信号の発生頻度で検出する方が有効である。

5.2 P 25 種における結果

超硬工具 P 25 種を用いて、切削速度 50 (m/min), 切り込み 2 (mm), 送り 0.3 (mm/rev), 回転数 200 (rpm) で炭素鋼 S45C を断続切削し、しきい値を 1.3V~1.8V に変化させ、それぞれ検出した AE 信号のカウント値グラフを Fig. 8 に、そのカウント値を 15 サンプルデータ毎に平均化したグラフを Fig. 9 に示す。

(1) Fig. 8 のグラフについて

Fig. 8 を見ると各しきい値とも、切削中期において検出されている AE 信号は周期的であり工具が被削材のミゾに衝突した時に発生したものであることを表わしている。つまり切削時には AE 信号を検出していない。

切削開始から 123.5秒後を見ると AE 信号が減少し 123.5~124秒後では急激に増加し、124~125秒でまた急激に減少している。このような変化はそれ以前には全く見られなかった現象で、特に 123.5~124秒で検出された AE 信号は、それまでに検出されているレベルより遙かに高くなっている。その理由としては、本実験の原理から検出したカウント値が 255 で連続する場合は、ひとつの検出波形を山と例えれば、この山における麓の部分が多いので、山の高さすなわち振幅も高いと推測できるからである。

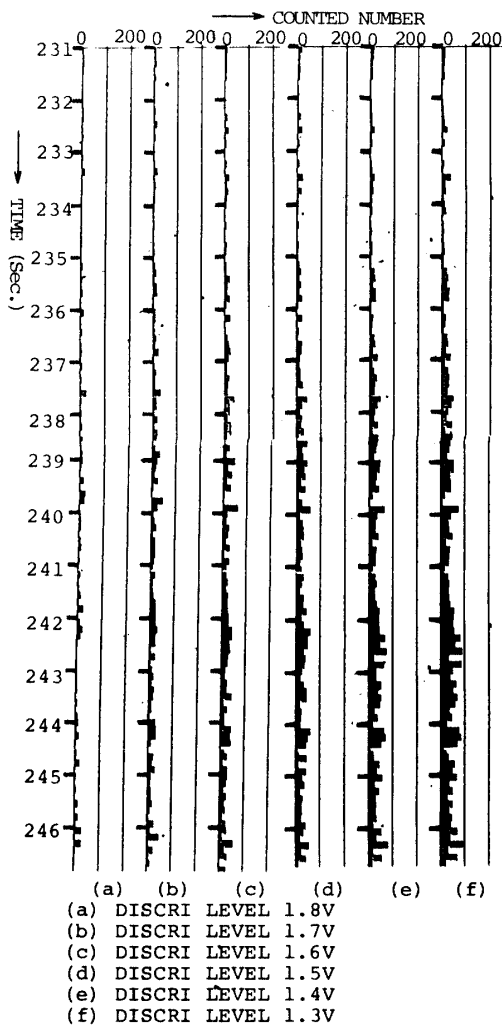


Fig. 6 Counted number averaged by every 15 data of AE signal on the tool P 20

以上により、工具は切削開始から123.5~124秒後に大きく損傷したと推測される。また、125秒以降でも非常に大きなAE信号を連続して検出しているが、これは工具が大きく損傷した状態で切削を続行したため

と判断できる。

Fig. 9のグラフについて

Fig. 9を見ると、しきい値とも切削開始初期から123秒付近まではほとんど変化は見られないが、124秒付近では急激に大きな値になっている。この減少はFig. 8について述べた理由と同じである。

検出したデータを15サンプリング毎に平均化しているので、正常な切削時において、AE信号は工具がミゾと衝突する時のみ検出されているということは発見出来ない。

本実験で使用した工具P25種の写真をFig. 10に示す。写真を見ると工具は大きく損傷している。このように工具が大きく損傷する直前にはFig. 8で示されるような非常に高いレベルのAE信号が発生している。このことから、工具が大きく損傷したことを容易に検出することができる。

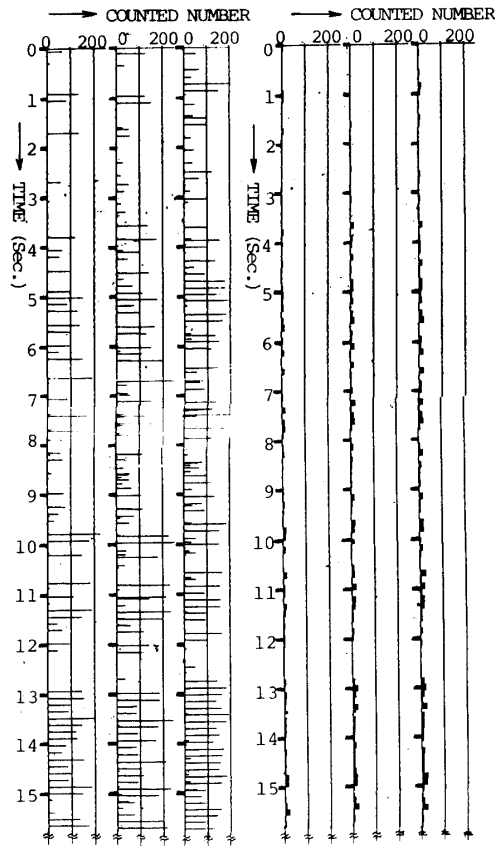


Fig. 10 State of damage of the tool P 25

6. 検 討

本実験は、切削工具の損傷を検知するために、その時発生するAE信号を検出することを目的とするものであったが、以下、本実験の方法、得られた結果、及び今後の方針について検討を行った。

6.1 実験装置及び方法の検討

本実験は、AEセンサによって検出されたAE信号の電圧レベルがある定められた電圧レベル(しきい値)を越しているか否かを、マイクロプロセッサでカウントしデジタル化するものであり、実際にAE信号の電圧レベルを測定するという方法ではない。(AE信号の電圧レベルを正確に測定する方法は、非常に高価な装置を必要とするし、リアルタイムの監視が難しい。) そのため、しきい値を種々変化させカウント値を測定しなければ実際のAE信号の電圧レベルはわからない。しかし、電圧レベルを正確に測定しなくても工具損傷時に発生する高レベルのAE信号が検出できれば工具損傷を検知できるので実際原理としては問題なく、実験結果からもFig. 8で示されるように高レベルのAE信号を検出していることにより実証されてい

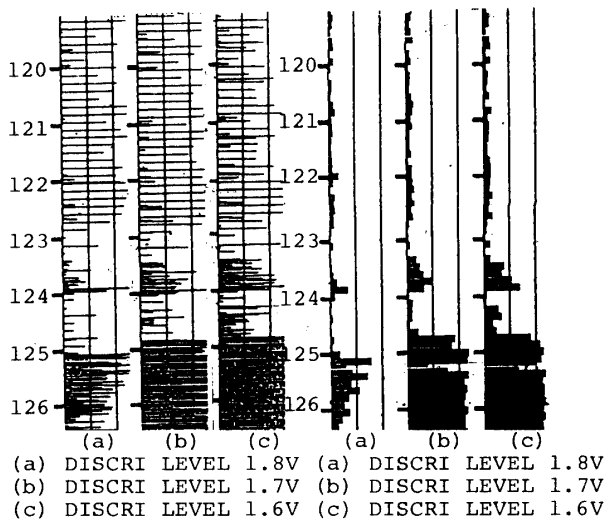


Fig. 8 Counted number of AE signal on the tool P 25

Fig. 9 Couted number averaged by every 15 data of AE signal on the tool P 25

る。

実験は円筒形でミゾが対象に2つに付けられている被削材を旋盤で切削し、発生したAE信号をデータレコーダへ記録して解析を行った。AE信号をデータレコーダに記録する際に入力の電圧レベルが大きかったため、入力電圧レベルがデータレコーダの出力電圧レベルを越えている部分がある。そのため、工具損傷時のAE信号と工具が被削材のミゾと衝突する際のAE信号の電圧レベルが、データレコーダの出力レベルの最大値で等しいという箇所があり、工具損傷時の判定を難しくしている。しかし、入力の電圧レベルを適切に設定すれば、工具損傷時の判定は容易にできる。

6.2 実験結果の検討

今回の実験により、切削工具の損傷は小さなチップングを繰り返し、徐々に大きくなる場合と、急に大きく欠ける場合の二つに大別される。

前者の場合、検出されるAE信号は極端に高いものはないが、損傷が大きくなるにつれ全体的に高くなる。よって現検出装置で最適なしきい値を定め、それにより検出されるAE信号の値の平均値で工具損傷を判定でき、後者の場合、正常な切削では信号を検出しない程しきい値を高くし、損傷時に発生する高レベルの信号のみを検出することによって、工具損傷を検知できる。

現検出装置で工具損傷を検知するには、上述した2通りの方法を組み合わせ、両方の論理和をとることにより可能である。

6.3 実用化するためには

実験結果より、現装置で工具損傷時に発生するAE信号の検出は可能であるが、より正確な検出を行うためには以下の点について考慮しなければならない。

(1)工具損傷時のAE信号の電圧レベルがどの程度かを明確にする。

正常切削時に検出されるAE信号と損傷時に検出されるAE信号の出力レベルの差を明確にしなければ損傷時の判定はできない。しかし、AE信号の電圧レベルはAEセンサの増幅率、被削材の種類及び形状、切削の方法等で変化するので、種々の場合において基本的なパターンのデータを収集する必要がある。また、実用化においては、そのデータを基にして、AEセンサの電圧増幅率及びしきい値を動的に変化させ、その切削条件に最適な値を自動的に設定する機能と、マイクロプロセッサが工具損傷の判定を行う際、6.2で述べた2種の判定方法を用いるようなソフトウェアが必

要である。

(2)実際の作業場における雑音の影響を受けないようにする。

本実験は、実験室の中(雑音の少ない場所)で行った場合であり、実際の作業場において同様の結果が得られるか定かではない。それは、本装置が音を検出するものであり、雑音の影響を直接受けるからである。実用においては雑音の多い所での動作を確認することが必要不可欠である。

(1)、(2)のような問題点が解決すれば実用化は可能である。実用化されれば、各工作機械に1台ずつ本装置を設置してその機械の異常な切削を監視し、異常を検出した場合は機械の停止を行うようにすることが可能である。また、各々の装置をパーソナルコンピュータ等処理能力の高いプロセッサと接続することにより、集中的に工作機械の監視をするなどの、自動化を行うことができる。

謝 辞

本研究について、いろいろ御便宜をはかって頂いた山口大学工学部生産機械工学科北川亮三助教授、並びに実験を手伝って頂いた同研究室の学生諸氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 岩田一明, 森脇俊道, 橋本英文, 柴坂敏郎: アコースティックエミッションによる切削工具損傷の検出: 精密機械, 46, No. 7, (1980)
- 2) 尾上守夫: アコースティック・エミッションの基礎と応用, コロナ社, (1976).
- 3) 工具損傷検出器 (Model S-6100) 取扱説明書, 株式会社 エヌエフ回路設計ブロック

(昭和60年4月15日受理)