

# スライスド単板切削における厚さむらと AE 計数値の関係

群馬職業能力開発短期大学校 定 成 政 憲  
東京職業能力開発短期大学校 中 野 裕 之

Relationships between Thickness Deviation and Acoustic Emission Signals in Slicing of Wood  
Masanori SADANARI, Hiroyuki NAKANO

**要約** スライスド単板は表面化粧貼り材やLVL (Laminated Veneer Lumber: 単板積層材; 単板の繊維方向を平行にして数層~数十層積層したもの) のラミナとして多用されている。その単板厚は透かせば見えるぐらいの薄いものから無垢の板材に近い厚いものまでである。0.4 mm 以下のスライスド単板の薄ものについては、一般に裏割れ (刃物のすくい面に接する切り屑の裏側の割れ) が発生しないので切削の問題は少ない。しかし、0.5 mm 以上の厚ものについては単板厚が増すにしたがって裏割れなどの損傷や厚さむらが発生しやすい。

本研究では裏割れの発生を抑えるために被削材を煮沸処理して軟化させたのちに、同一刃物を使用した繰り返し切削で、厚ものスライスド単板の厚さむらを監視するためにAEの計数値と工具の振動波形が有効であるかを検討した。その結果、AE計数値と振動波形の最大振幅値で、単板の厚さむらの変化を監視できる可能性を明らかにしている。

## 1 はじめに

スライスド単板とはスライサーによってフリッチ (大きい角材) をスライスすることによって得られるものである。天然良質材の枯湯にもなつて、木材を有効に利用しようという観点から、スライスド単板は天井板、集成材、建材などの下地材の表面に貼って安価な木材を高級材に見せるための表面化粧貼り材として多用されている。また、スライスド単板はLVLのラミナなどとして用いられている。このようにスライスド単板は表面化粧材として用いられている透かして見えるぐらいの薄いものからLVLなどに用いられている厚いものまで様々な厚さでスライスされている。

スライス切削において、0.4 mm 以下の薄ものの切削は裏割れが発生しにくいなどのために比較的容易であるので切削に関する研究も進み問題も少なくなった<sup>(1)</sup>。しかし、0.5 mm 以上の厚ものの切削は刃物の剛性や刃口間隔の設定などの切削機構上の諸問題や木材の繊維走行などの特有な性質のため、スライス切削する単板厚が増すにしたがって裏割れや工具刃先形状の

変化による厚さむらなどの欠陥が発生してくる。スライス切削中のこのような切削面に生じる欠陥をできるだけ少なくするためには、適切な切削条件を選定することは勿論であるが、スライス切削中の加工状態を正確に知ることができれば有効である。

スライス切削中の加工状態は切削抵抗を測定することによってある程度は監視できる<sup>(2)</sup>が、工具動力計を取り付けるために作業性を損なうなどの問題が生じる。そこで、固体が変形あるいは破壊するときの急激なエネルギー解放によって生じる弾性波であるアコースティック・エミッション (Acoustic Emission: AE)<sup>(3)</sup>を用いて、スライス切削中の加工状態を監視するための技術についての研究<sup>(4)-(12)</sup>が始められた。それらの報告のなかでAEを利用することによって、スライス切削中の流れ型・折れ型・せん断型・むしれ型などの切り屑の生成形態とAE事象率の変化がよく対応すること<sup>(11)</sup>、同一刃物を使用して繰り返しスライス切削を行ったときの工具摩耗状態をAE事象総数の変化によって監視できる可能性があること<sup>(4),(9),(12)</sup>などが明らかにされている。

そこで、本研究ではスライス単板厚として中位程度に属する1 mmを採用し、超仕上げ鉋盤で被削材から単板を繰り返しスライス切削して、工具摩耗による厚さむらとAEの計数値および工具に取り付けた振動センサ出力の最大振幅値を測定し、スライス単板切削中の加工状態との関係について検討した。

## II 実験

### 1 被削材と切削条件

貯木場で1年間保管した飽水材のカラマツ (*Larix leptolepis* GORDON) 丸太からフリッチを木取り、それをドラム缶に入れ水を満たし、100℃で3時間程度の煮沸処理を施した。煮沸処理されたフリッチをドラム缶内で数日間養生した後、フリッチから図1に示した形状の被削材をスライス切削実験に供するために作成した。同図に示されている被削材厚さは初期厚さの寸法である。カラマツの平均年輪幅と煮沸処理後の含水率および気乾比重は、平均でそれぞれ3.5 mm、120%、0.53であった。

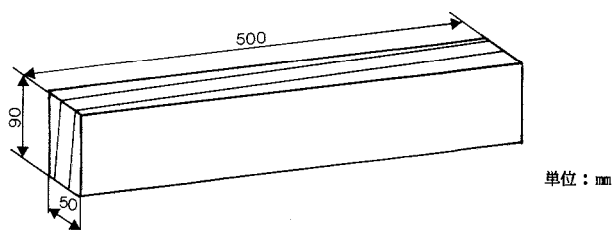


図1 試験材の形状

スライス単板切削には、超仕上げ鉋盤を使用した。超仕上げ鉋盤は仕上げ用の手鉋を機械化したもので、家具や建材の部材の表面仕上げを行うために用いられている。その主要構造部は刃物を取り付けるナイフストックとそれを装填するターンテーブル、前後のテーブル、送り装置および送り駆動部から構成されている。超仕上げ鉋盤は母材表面の仕上げを行うことが本来の機能であるため、一般的な使用に際しては刃口と表刃の垂直間隔である刃口垂直距離を0.04~0.06 mm、刃口と表刃の水平距離である刃口水平距離を0.4~0.5 mmに設定する。

本実験では刃口垂直距離を1 mmに設定してスライス単板を切削するために、切り込み量の増大によって切削された母材が滑らかに送材されないことや切削後半部の切り込み量の減少などの問題が発生する。これらに対する簡易な対処方法として、ターンテーブルのナイフストックを除いた半円部1箇所と後部テーブルに、1 mm厚のアルミ板を所定の形状に加工

して取り付けた。なお、使用した超仕上げ鉋盤の仕様は、バイアス角度を最大にした60°で最大幅が165 mm、最大厚が180 mmまで加工でき、バイアス角度は0°~60°まで可変である。

スライス単板切削においては、切削された単板品質に及ぼす切削条件の影響が大きいので、切削条件の設定が重要である。本実験では既往の報告<sup>(13)</sup>を参考にして、表1に示した切削条件を用いた。切削方式は3次元切削で柁目面の縦切削を行い、刃物材質はSKH4を使用した。

表1 切削条件

設定条件	設定値
刃口垂直距離	1 mm
刃口水平距離	2 mm
逃げ角	2°
刃先角	18°
切削角	20°
バイアス角	50°
送り速度	75 m/min
圧縮量	3 mm

### 2 測定方法

被削材から未摩耗状態の刃物でスライス単板を3枚切削し、それぞれについて図2に示した6箇所単板厚をマイクロメータで測定した。引き続き所定の切削材長に達するまで同じ厚さのスライス単板を繰り返し切削した後、スライス単板を3枚切削し、前記と同様にそれぞれの単板厚の測定を行った。この単板厚測定を単板厚の平均値が1 mm以下になるまで繰り返した。スライス単板の厚さは被削材の早材部と晩材部の相違、刃物のバイアス角による被削材の切削幅方向への影響、圧縮量と木材のスプリングバックの関係、更に工具摩耗による切削面の悪化などによって必ずしも一様でない。そこで、所定の切削材長でのスライス単板の厚さは3枚の単板厚の平均、つまり18箇所の単板厚の平均値とした。

次に、AEと振動波形はスライス単板切削において、単板厚測定を行ったそれぞれの3回の切削中にデータレコーダに記録した。その測定系の概要を図3に示した。

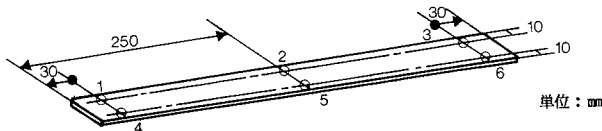


図2 単板厚の測定位置

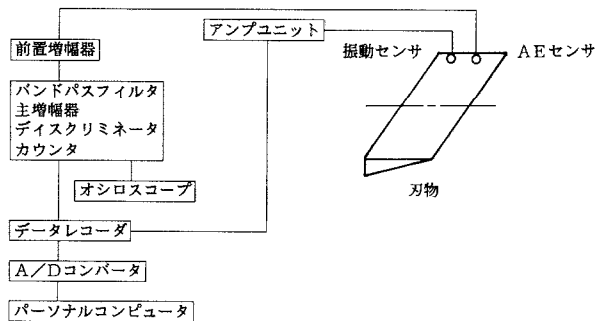


図3 AEと振動波形の測定系

AEの測定については、まずAEセンサとして100 kHz~1 MHzの範囲内でフラットな周波数特性を持つ超小型のものを使用した。このAEセンサを表刃の刃物（長335 mm×巾66 mm×厚8 mm）の中央から160 mm離れた送材側から見て右側の位置にホットメルト型接着剤で固定した。このAEセンサからの出力信号をプリアンプ（遮断周波数15 kHzのハイパスフィルタを含む）で40 dB、メインアンプで40 dB増幅し、機械的な振動やノイズ除去のために100 kHz~1 MHzのバンドパスフィルタにかけて包絡線検波し、二弁別法によってしきい値（ $V_h=500$ ,  $V_l=495$  mV）をよこぎったものをAE事象としてサンプリング間隔0.1秒でカウンタを用いて計数し、データレコーダに記録した。このAE計数値はAE事象率と呼ばれている。また、AE事象率を合計してAE事象総数を求めた。

振動の測定については、振動センサとして10 kHzまでの振動を検出できる小型のものを使用した。この振動センサを刃物に取り付けられたAEセンサから約1 cm離れた位置にマグネットホルダで固定し、アンプユニットで振動センサ出力を増幅して振動振幅波形をデータレコーダに記録した。なお、振動センサの感度は、超仕上げ鉋盤の送り駆動装置を作動させたときにセンサが振動を検出しないように調整した。

これらのすべての測定が終了した後に、刃物の逃げ面に前もって印を付けておいた4箇所の基準点から刃先先端までの距離を読み取り顕微鏡で測定し、未摩耗状態で測定しておいた距離からの差として刃先後退量を計算した。

### III 結果および考察

#### 1 工具摩耗にともなう厚さむらの変化

スライスド単板を繰り返し切削したときの切削材長とスライスド単板の厚さの関係を図4に示した。同図の矢印の上端と下端は3枚のスライスド単板の18箇所の単板厚の最大値と最小値を示している。同図の切削材長200 mまでの単板厚が刃口垂直距離（1 mm）よりも厚いのは、主に木材のスプリングバックが影響していると考えられる。スライスド単板切削では樹種や材の木取り方向によって、絞り率（刃口垂直距離/単板厚）を変えて単板厚を調整するが、本実験では刃口垂直距離で単板厚を代表させた。

図4で切削材長の増加にともなってスライスド単板の厚さには減少傾向が見られ、特に切削材長が300 m以上になると設定した刃口垂直距離の1 mmより薄

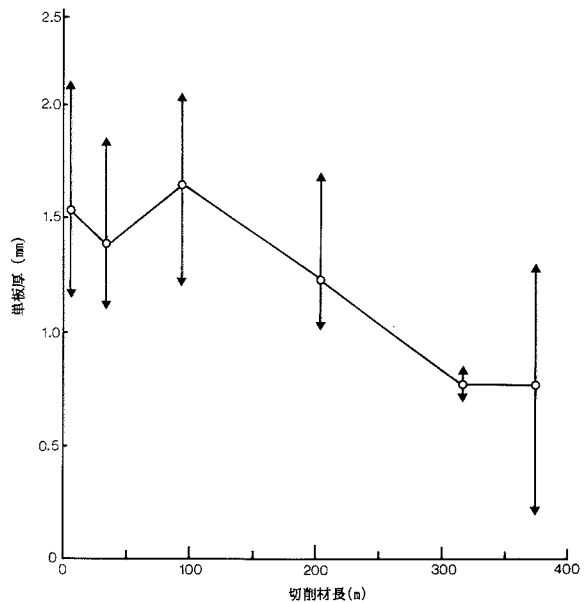


図4 切削材長とスライスド単板厚の関係

くなり、未摩耗状態の刃物でスライスした単板厚の50%近くまで減少した。

工具摩耗量を刃先の切れ刃線の後退量で表すと、切削初期に鋭利な切れ刃に切削抵抗が集中的に加わり刃先後退量が急増する初期摩耗の段階を経て、続いて刃先後退量が緩やかに増加する定常摩耗期間をむかえ、その後刃先後退量が急激に増加して刃先は寿命にいたると考えられている。また、P. HrrisとW. Mangによって中期以降の刃先の摩耗はすくい面摩耗よりも逃げ面摩耗が進行することが明らかにされている。

本実験で、工具摩耗量として実験終了後に測定した

刃先後退量は最大で40  $\mu\text{m}$ 、平均値で24  $\mu\text{m}$ となり、刃先には刃こぼれが生じていた。この実験終了後の刃先形状と前述の工具の摩耗傾向から、200 mあたりまでの単板厚の減少は刃先の鈍化にともなってスライズ単板切削時における切れ刃線がすくい面側に逃げてしまい実質的な切り込み量が減少したため、切削材長が300 mを超えたときの単板厚の減少は逃げ面からの摩耗も加わり刃先後退量が急増したためと推測することもできる。しかし、これらの点に関しては詳細な実験を行って検討する必要がある。

また、図4に示されている所定の切削材長での厚さ変動からも分かるように、各スライズ単板においても厚さ変動が大きくなった。このことはスライズ単板の厚さに影響する種々の因子があるけれども、単板表面の早材部のえぐれが多く観察されたことから被削材の軟化処理が不十分であったことが主な原因ではないかと考えている。

## 2 工具摩耗にともなう厚さむらと AE 計数値の関係

スライズ単板を繰り返し切削したときの切削材長と AE 事象総数の関係を図5に示した。同図の AE 事象総数は、単板厚測定を行ったそれぞれの3回の切削

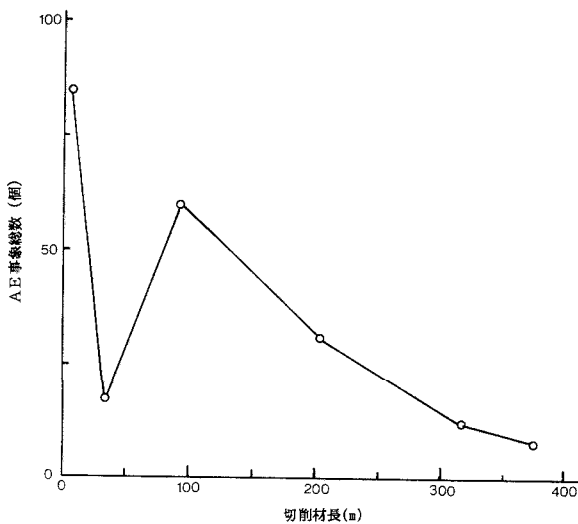


図5 切削材長と AE 事象総数の関係

中の AE 事象総数を平均したものである。AE 事象総数は切削材長が35 mのところでは低下しているが、切削材長の増加にともなって全体的に減少する傾向を示した。切削材長が35 mのところでの AE 事象総数の低下についてはなお検討を要するが、スプールの柁目面縦切削<sup>(4)</sup>、ホワイトファーの旋削<sup>(9)</sup>、スギの平削り<sup>(12)</sup>に

おいて、AE 事象総数は工具摩耗が進行すると減少傾向を示すという報告結果と一致した。木材切削での工具摩耗過程と AE 事象総数の関係は、金属切削の報告<sup>(14),(15)</sup>と逆の傾向を示した。金属切削では工具摩耗が進行するとチップと工具、工作物と工具の摩擦が、AE の活動を増加させ AE 事象総数は増加する。木材切削においても、金属切削と同様な現象はもちろん起こるが、工具摩耗の進行にともなって木材切削特有のチップ形成過程によって AE 事象は低下すると考えられている<sup>(4),(9),(12)</sup>。

ところで、これまでの研究においては<sup>(4)-(12)</sup>、被削材の母材側の切削面粗さや切り屑形態および設定切り込み量と AE の関係を検討したものはあるが、スライズ単板厚さに相当する切り屑厚さと AE の関係を検討したものはなさそうである。そこで工具摩耗にともなう単板厚と AE 事象総数の関係を図6に示した。AE 事象総数は切削材長：35 m に相当する単板厚が1.4 mm のところで低下するが、全体的には単板厚の増加にともなって増大する傾向を示した。平削りにおいて、切り込み量を増加させるほど AE 事象総数は増大する傾向があることから<sup>(12)</sup>、切削材長の増加にともなう AE 事象総数の減少は工具摩耗によるスライズ単板厚さの減少によって説明できそうである。スライズ

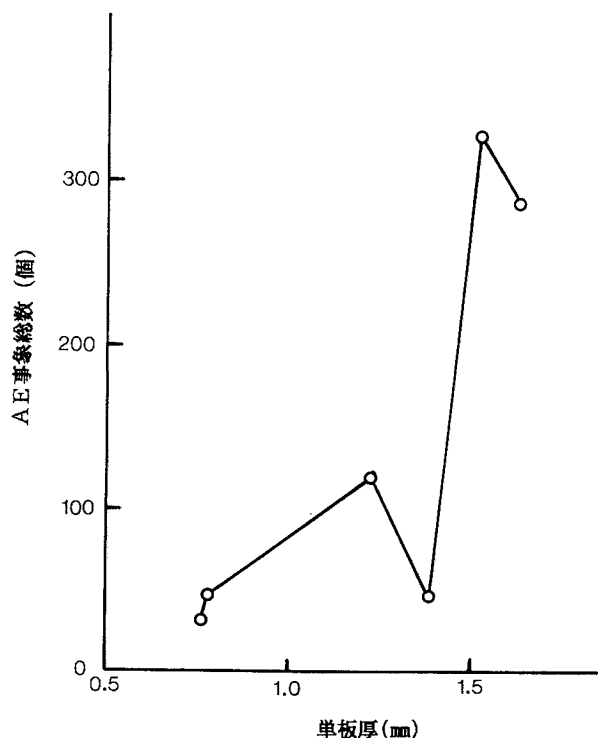


図6 単板厚と AE 事象総数の関係

単板切削においては切り屑側を必要とするので、スライド単板厚さの変化（工具側からみれば工具摩耗量の変化）をAE事象総数で監視できそうである。

次に、スライド単板切削中のAE事象率の変化を図7に示した。切削材長が少ないときのAE事象率は切削期間中連続して見られるが、切削材長が多くなるとAE事象率は不連続な変化を示した。AE事象率の変化は個々のスライド単板の切削状態と対応していると考えてもよさそうである<sup>(11)</sup>。

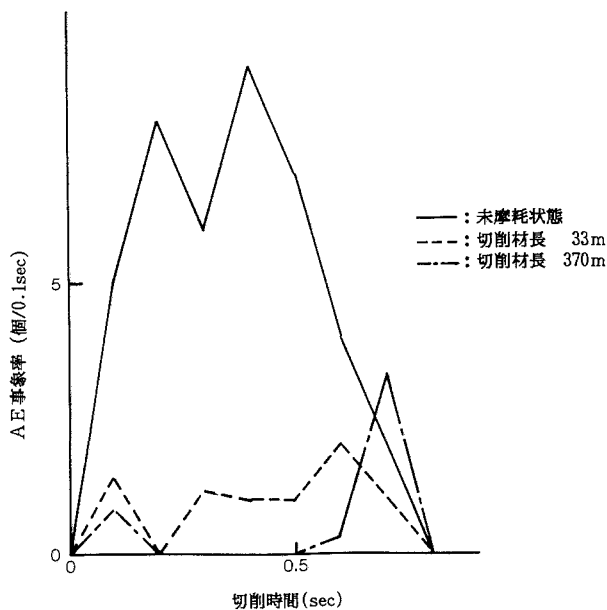


図7 AE事象率の変化

### 3 工具摩耗にともなう厚さむらと振動波形の関係

スライド単板を繰り返し切削したときの切削材長と工具振動の最大振幅値との関係を図8に示した。同図の最大振幅値は、単板厚測定を行ったそれぞれの3回の切削中の最大振幅値を平均したものである。振動の最大振幅値は切削材長の増加にともなって、全体的に減少する傾向を示した。金属切削においては、基本的に工具摩耗が進行すると工具振動の最大振幅は増加するが、本実験のスライド単板切削においてはそれと異なる傾向を示した。このことは工具摩耗による実質の切り込み量の減少に起因すると推測している。

図8の工具振動の最大振幅値の変化は図4に示した工具摩耗による単板厚の変化と比較的よい対応関係が認められる。このことから工具摩耗による単板厚の変

化を工具振動の最大振幅値を測定することで監視できる可能性があると考えられる。

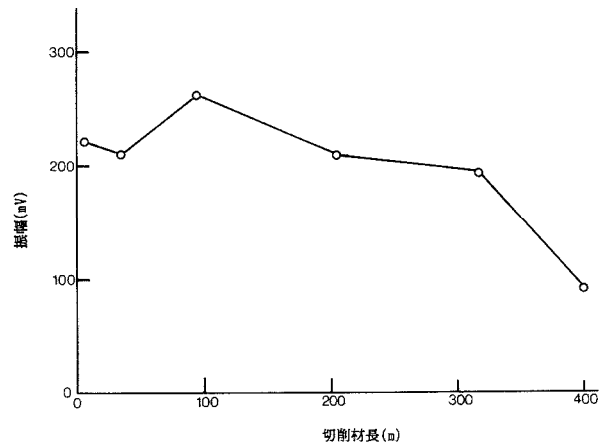


図8 切削材長と振動の最大振幅値の関係

## IV まとめ

スライド単板切削中の加工状態を監視する方法を見いだすために、刃口垂直距離を1 mmに設定して超仕上げ鉋盤でスライド単板を繰り返し切削し、単板厚とAEならびに工具の振動を測定した。

その結果、以下のようなことが分かった。

- 1) 切削材長の増加にともない単板厚は減少する傾向を示した。刃物の刃先後退量が最大で40  $\mu\text{m}$ に達するころの単板厚は未摩耗状態の刃物で切削した単板厚の50%近くまで減少した。また、各スライド単板でも厚さ変動が大きいものが多かった。
- 2) AE計数値は工具摩耗による単板厚の変化にある程度対応して変化した。AE計数値を切削状態の監視に利用するためには、切削材長:35 mで測定したAE事象総数の低下について検討する必要がある。
- 3) 工具振動の最大振幅値は単板厚の変化によく追従した変化を示したので、切削状態の監視に利用可能である。

### 謝辞

本研究を行うにあたり、有用なご助言を頂いた東京農工大学の喜多山繁教授に感謝致します。

### 参考文献

- (1) 枝松信之、森 稔：製材と木工、森北出版、1964、p. 210-211
- (2) 栃木紀郎他2名：木材切削における工具の摩耗および鈍化に関する研究、木材学会誌、24、

- 85-90 (1978)
- (3) 尾上守夫他 5 名：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、p. 1
  - (4) 村瀬安英他 2 名：AE 信号による木材切削工具の摩耗検出、木材学会誌、34、207-213 (1988)
  - (5) 村瀬安英他 2 名：AE 信号に及ぼす繊維傾斜角の影響、木材学会誌、34、271-274 (1988)
  - (6) 村瀬安英他 2 名：縦及び横切削の AE 特性に及ぼす切削角の影響、木材学会誌、36、269-275(1990)
  - (7) 村瀬安英他 2 名：超仕上切削の AE 特性に及ぼすバイアス角、刃先摩耗および節の影響、38、241-246 (1992)
  - (8) 村瀬安英他 2 名：縦および横切削の AE 特性に及ぼす切削速度とバイアス角の影響、39、724-728 (1993)
  - (9) Lemaster, R. L ; Tee, L. B: Monitoring Tool Wear during Wood Machining with Acoustic Emission, Wear, 101, 273-282 (1985)
  - (10) Lemaster, R. L ; Klamecki, B. E ; Dornfeld D. A: Analysis of Acoustic Emission in Slow Speed Wood Cutting, Wood Science, 15, 150-160 (1982)
  - (11) 定成政憲、喜多山繁他 2 名：平削り中に発生する AE とチップ生成過程との関係、木材学会誌、37、424-430 (1991)
  - (12) 定成政憲、喜多山繁：平削りにおける工具鈍化過程とアコースティック・エミッションの関係、木材工業、44、424-428 (1990)
  - (13) 山森明浩：縦突き平削りによる切削履歴と積層材の強度、東京農工大学農学部卒業論文、1993
  - (14) Iwata, K ; Moriwaki, T: An Application of Acoustic Emission Measurement to In-Process Sensing of Tool Wear, Annals of the CIRP, 25, 21-26 (1977)
  - (15) Roget, j: Use of Acoustic Emission for In-Process Monitoring of Tool during Turning and Milling, Progress in Acoustic Emission III, 94-101 (1986)