

塑性加工中の素材／工具間における摩擦形態の AE法によるオンラインモニタリング

東京都立大学 工学部 機械工学科

助教授 若山修一 助手 楊明

(平成5年度研究開発助成AF-93031)

1. 研究の背景

素材／工具間の摩擦は、塑性加工における成形限界や成形精度を支配する重要な因子である。しかしながら、摩擦力の大きさやその変動等の摩擦形態は大変複雑であり、正確に同定することは困難である。特に、実際の加工中に摩擦形態を把握することはほとんど不可能であった。

摩擦形態のAE法によるオンラインモニタリングの試みは、アメリカ合衆国のデンバー大学を中心とした研究グループや韓国の国立非破壊評価研究所などで始まっている¹⁻³⁾。しかしながら、摩擦形態は供試体や摩擦速度などにより様々に変化し、摩擦力が一定であっても発生するAE信号は様々に異なる。特に、摩擦速度のAE発生挙動に及ぼす影響は大きいと考えられるが、従来の研究ではそれらの相関は明らかになっていない。

そこで、本研究では素材／工具間での摩擦により生じる弾性波を利用して、アコースティック・エミッション(AE)法によりそれを検出し、摩擦力のオンラインモニタリングを試みた。また、微視的な摩擦過程の解明のため、表面粗さや実際の摺動面積の調査も行い、発生したAE信号との相関についての考察を行った。

2. 実験方法

2・1 供試材

供試材には深絞り用冷間圧延鋼板SPCEを用い、板厚は0.7mm、表面はショットダル仕上げとした。表面粗さは $Ra = 1.03 \mu m$ である。また、試験片は、幅20mm、長さ400mmの短冊形とし、圧延方向(L方向)と摺動方向が平行となるように切り出した。

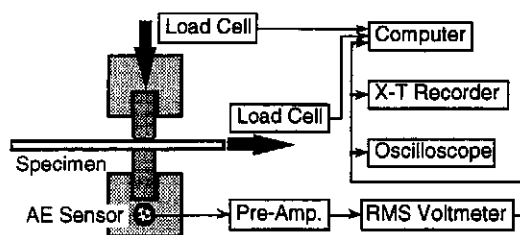


図1 AE計測システム

2・2 摺動試験

試験は川崎製鉄千葉技術研究所の摺動試験機を使用して、摺動時の摩擦により発生するAEの計測を行った。試験装置の概略を図1に示す。試験はすべて無潤滑状態で、試験片表面の汚れを除去した後に行った。押付け荷重は196～1960N(20～200kgf)、引抜き速度は実際の塑性加工時と同程度の20および100mm/sで一定とし、この摩擦過程での摩擦力(平均引抜き荷重)および平均摩擦係数を測定した。

AE信号は摺動開始直後に発生するピークの実効値電圧(RMS)を測定して評価に用いた。AEセンサは共振周波数150kHzのものを使用し、AE信号はプリアンプを通して53dBで増幅した。

2・3 摺動面積の測定

摩擦力の要因と考えられる新生面の凝着について調査するため、摺動試験後の試験片表面状態を光学顕微鏡で観察し、写真撮影を行った。この写真をCCDカメラを用いてパーソナルコンピュータへ取り込み、画像処理プログラムにより二値化して実際の摺動面積を測定した。

3. 実験結果及び考察

3・1 摺動試験におけるAE信号の特性

図2に摺動試験におけるAE RMSの変化の概略を押付け荷重、引抜き荷重の変化とともに示す。図のように、摺動開始直後や引抜き荷重(摩擦力)に変化が生じた際にAE

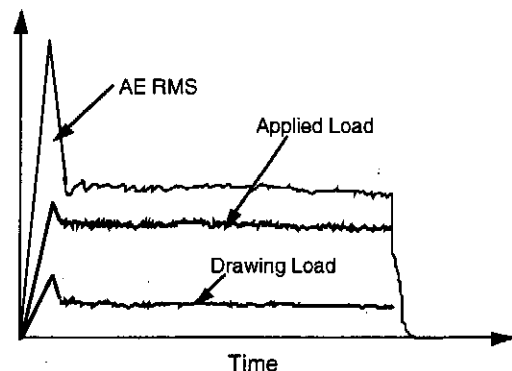


図2 押し付け荷重、引き抜き荷重及びAE RMSの変化

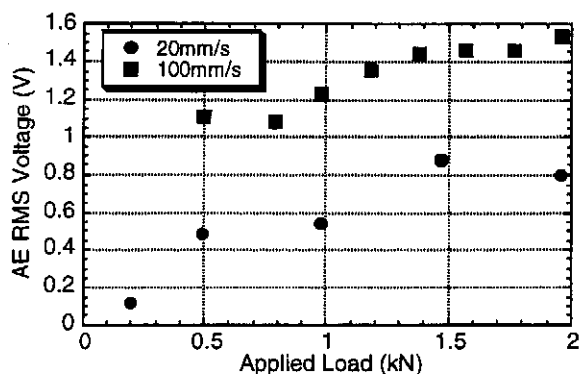


図3 AE RMSに及ぼす押し付け荷重の影響

信号のピークが現れる。このことは以前にCarpenter¹⁾らによって示された摩擦力等の変化時にAE信号においてピークが現れる現象と同傾向を示した。したがって、AE信号において摩擦状態の変化を把握するために最も特徴を有しているのは初期のピーク値であるものと考え、本研究では摺動開始直後のAE RMSピーク値を種々の評価に用いることにした。

3・2 AE信号と引抜き荷重の相関

図3に引抜き速度が20および100mm/sのときのAE信号と押し付け荷重の関係を示す。荷重増加に伴ったAE RMSの増加傾向が観察され、引抜き速度が大きいほどAE RMSが大きいことが理解される。したがって、塑性加工中において摺動速度を把握することにより摩擦力の変化を直接AE RMSによって検出できる可能性が示唆された。

3・3 引抜き速度の影響について

固体どうしが摺動する際に、表面の微視的な塑性変形を伴って新生面が生成され、凝着が生じる。それらの個々の凸部で生じた凝着を離脱させる際に必要となるせん断応力により摩擦力が生ずる。

凝着を生ずることにより試験片表面の微視的な凸部はせん断応力を受けて変形し、ひずみエネルギーが蓄えられる。このエネルギーは凝着の離脱時に解放され、AE信号として放出されるものと考えられる。したがって、この凝着の離脱する量の増大に伴いAE信号が増大するものと推察される。また、図3のようにAE RMSが引抜き速度が大きいほど高くなったのは、単位時間当たりの凝着の離脱量が引抜き速度の増加に伴い増大したためであることが理解できる。

本研究では、試験後の試験片表面の観察により、凝着を生じた新生面、すなわち真の摺動面積を測定した。図4にAE信号と引抜き速度から求めた単位時間当たりの真の摺動面積との関係を示す。ここで調査した摺動面積はAE信号でピークの現れた部分に対応する摺動開始直後の部分のものである。図より、引抜き速度によらず、AE信号と単位時間

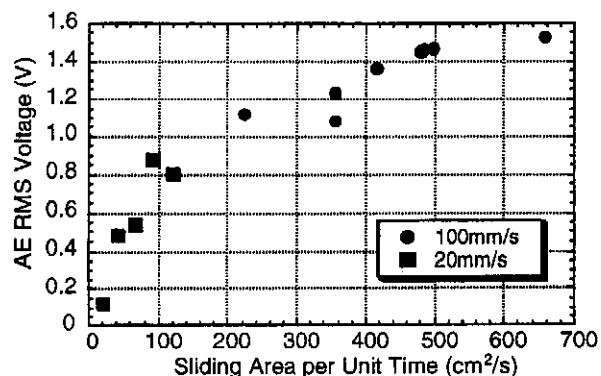


図4 AE RMSに及ぼす単位時間当たりの摺動面積の影響

当たりの真の摺動面積には1対1対応があることが理解される。したがって、AE信号による摩擦力検出に関する引抜き速度の影響を定量的に扱うことのできる可能性が示された。

また、これらの結果は固体接触と流体潤滑膜の共存する境界摩擦状態、あるいは完全な流体潤滑状態等の摩擦メカニズムの解明に対するAE法の有用性を強く示唆しているものといえる。

4. 結 び

本研究において、摩擦過程の評価に対して、AE法により摩擦力をオンラインモニタリングできる可能性が示された。また、摩擦力検出の際には単位時間当たりの真の摺動面積について整理することにより、定量的に扱うことのできる可能性が示された。この結果をもとに、将来的には塑性加工時の摩擦過程をオンラインモニタリングし、時事刻々変化する加工環境に対して検出したAE信号をフィードバックすることによる加工条件の最適化への応用が期待される。

5. 謝 辞

摺動試験機の使用に多大なるご尽力をいただいた川崎製鉄千葉技術研究所の阿部英夫氏、比良隆明氏、関野喜信氏、磯野和人氏に深く感謝の意を表す。また、本研究は、天田金属加工機械技術振興財団の研究助成により遂行されたことを記し、ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) S. H. Carpenter et al; PROGRESS in AE VI, The JSNDI, (1992), p353 - p360
- 2) Yasuhiko MORI; PROGRESS in AE VI, The JSNDI, (1992), p77 - p82
- 3) 朴俊緒ら; 第8回AE総合コンファレンス論文集, (1991), p99 - p104