

AE法の製品検査への応用

西本重人*

湯山茂徳*

*日本フィジカルアコースティクス株式会社

キーワード: AE, 鍛造, しばり加工, 研削, シリコンパネル

Application of AE method to product inspection

Shigeto Nishimoto and Shigenori Yuyama*

*Nippon Physical Acoustics, LTD.

Key Words : AE, Forging, Drawing, Grinding, Silicon Panel

1. 緒言

自動車業界をはじめ、各製造メーカーでは製造コストを低減するために製造ラインの自動化を推進し、さまざまな取り組みが行われている。ラインの自動化を進める場合にもっとも大きな障壁になるのは検査工程で、人間による検査工程をいかに自動化できるかがライン自動化の要となる。また、自動化が進むと、安価な部品製造過程で、不良品が1個発生した場合であっても、それが後工程に流れると最終的に大きな損失を生むことになる。したがって、各工程における信頼性の高い製品検査が、非常に重要となる。さらに、市場の製品に対する安全性への要求は年々増加し、企業としても製品の品質確保が、焦眉の課題となっている。

本報では製品検査のひとつの手法として、近年、急激に導入が進んでいるAE法をとりあげ、実施例を示すことにより、その応用方法と有用性を紹介する。

2. 実施例

2.1 鍛造加工

鍛造加工は製品のもっとも基本的な形状を形成するものであるため、加工品に亀裂などの欠陥が生じると製品の強度を著しく低下させる。この鍛造後の製品の欠陥検査として、一般的に目視検査や浸透探傷試験、あるいは磁粉探傷試験などが実施されているが、多くは人間の関与した検査となり検査の自動化が切望されている。ここでは、自動車エンジンのコンロッドの鍛造工程後の亀裂検査にAEを応用した例を紹介する。

図1に鍛造したコンロッドのX線透過写真を示す。図中指示部のように、鍛造時に亀裂が発生する可能性がある。このような鍛造時に発生する亀裂は、鍛造後に浸透探傷試験、あるいは磁粉探傷試験などにより検査されているが、検査は人間による手検査となり、さらにサイクルタイムを確保するために抜き取り検査となる場合が多い。本検査ラインの自動化、全数検査を達成する方法として、超音波探傷試験、X線透過試験等の導入が考えられるが、鍛造後の製品の表面形状が悪いことやサイクルタイムが短いこと、さらに製品単価に対する検査装置のコストに制約があること等、従来の非破壊検査手法の導入には困難がともなう。そこで、表面形状の影響を受けにくく、走査等が不必要で全面を一度に検査できるAE法の適用を試みた。

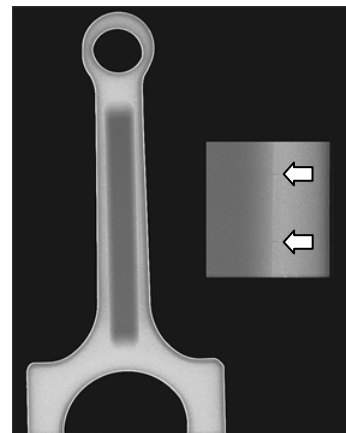


図1 クランクシャフト内の亀裂

AE法の適用方法として鍛造中に亀裂の発生を検知する方法も考えられるが、ノイズの弁別等を考えると製造後の別検査とした方が、検出精度が高いと考えられる。その方法として、図2に示すように鍛造後の製品に荷重を付加し、亀裂が存在する場合に亀裂面の摩擦等によって発生するAEを検出する。AEセンサは製品に直接取り付けるのが理想であるが、試験効率を考慮して図2のように曲げ治具に取り付けている。付加荷重は、製品への影響を考慮して製品の設計荷重の10%以内とした。図3に、荷重の付加中に発生したAEのエネルギーと発生数との関係を示す。亀裂のある製品では、AEの発生数、あるいは検出されるエネルギーに大きな値が観察され、図中に示すように、亀裂の有無を容易に判定できる。



図2 コンロッドのAE試験

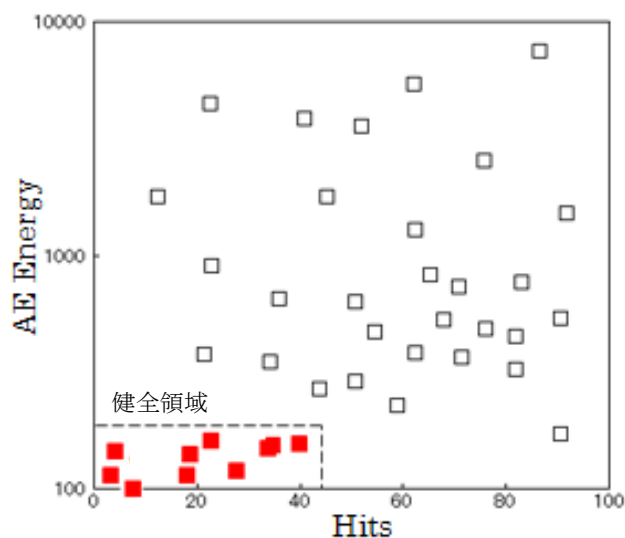


図3 試験結果 (AEエネルギー分布)

2.2 しぼり加工

金型を用いる絞り加工は、自動車や鉄鋼業界、また家電業界をはじめ、さまざまな分野で使用されている。金型による絞り加工は、他の加工方法と同様に生産性を向上させるために加工速度の改善が行われているが、反面、絞り加工により製品に欠陥が発生すると大量の不良品を発生させる危険性がある。現状では、絞り加工後の製品検査は、検査面が広範囲であることや、製品の形状が複雑なものが多いことから、人間による目視検査が中心となり自動化が遅れている。下記に、自動車ボディの絞り加工における製品の亀裂検出にAE法を適用し、加工後の自動化を成功させた事例を紹介する。

図4に、加工後の製品形状と発生した亀裂の例を示す。図中指示部に示すような形状の変化部に亀裂が発生しやすいが、常に決まった位置に発生するとは限らない。図4では、一例として大きな亀裂発生を示したが、通常は目視では認識が困難な、小さな亀裂の場合が多い。



図4 金型絞り加工中に製品で発生した亀裂

AEセンサは、亀裂が製品中で発生するため、製品に直接取り付けることが最良であるが、通常は製品にAEセンサを設置するような治具や機構の追加加工は難しい。そこで、製品と直接接する金型にAEセンサを設置し、金型中を伝搬するAE信号を検出する。また、上金型は上下に稼働してノイズを発生しやすいので、下金型にAEセンサを設置するほうが良好な結果が得られる。

図5上部に、加工中に検出されたAEの包絡線検波波形を示す。加工中には各種のAEが発生するが、これらは加工状態が一定であれば常に同一パターンで発生する。図5下部に、製品に亀裂が発生した際に検出されたAE信号の包絡線検波波形を示す。正常な加工の場合と比較して、異なるAE発生が観察され、亀裂の発生を評価できる。

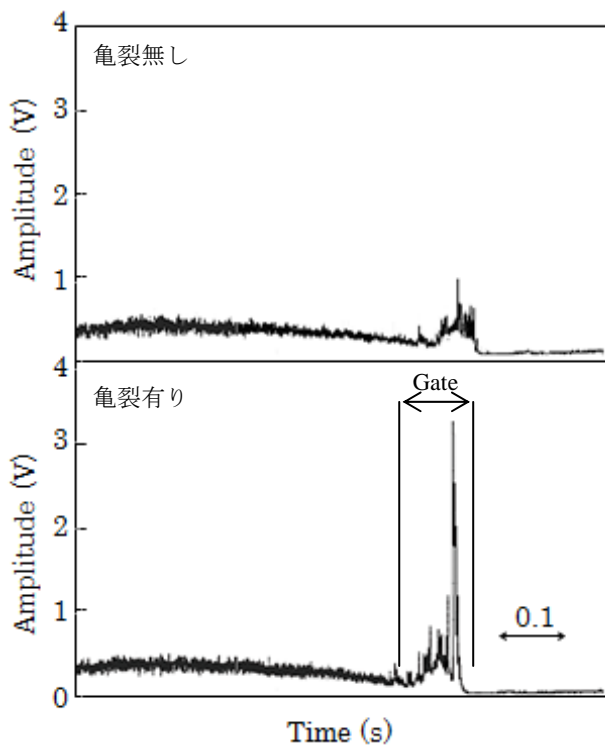


図5 絞り加工中に観察される包絡線検波波形

図5のGateで示す範囲で発生するAEのエネルギーを算出し、生産開始直後からの変化を検討した結果を図6に示す。亀裂発生時にAEのエネルギーが増加し、製品の亀裂発生を評価できることがわかる。

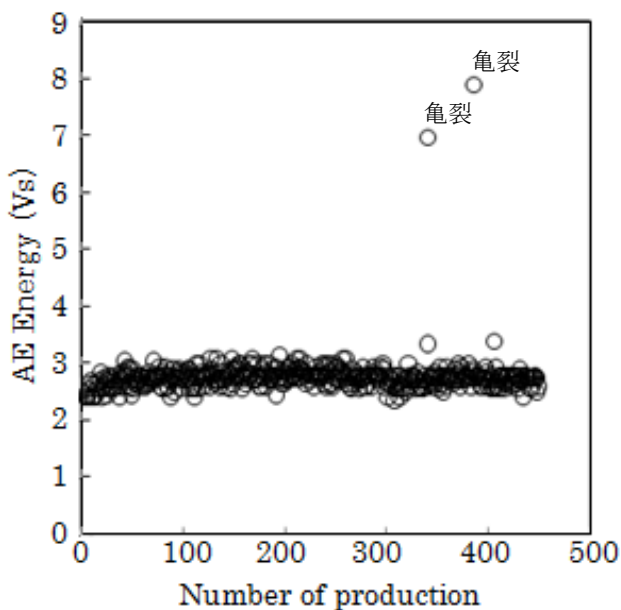


図6 検出されるAEエネルギーの時間履歴

2.3 研削加工

研削加工は、切削加工とともに製品加工のもっとも基本的な加工方法であり、さまざまな分野で使用されている。研削加工における製品不良は、主に砥石の切れ刃の低下や目づまりによって発生するが、切れ刃の低下や目づまりを直接測定することは困難で、ラインにおける連続加工においては、一般的に定期的に砥石表面をドレッシング(ダイヤモンドの刃物で砥石表面を削って新しい研削面を生成させる)する方法が行われている。しかし、この方法では砥石がまだ使用できる状態でもドレッシング作業を行うので生産コストが高くなり、さらに突発的な目づまりが発生して研削焼けが発生すると、大量に不良品が発生する。そこで、図7に示すようなクランクシャフトの研削加工にAE法を適用し、研削状態を評価した例を紹介する。

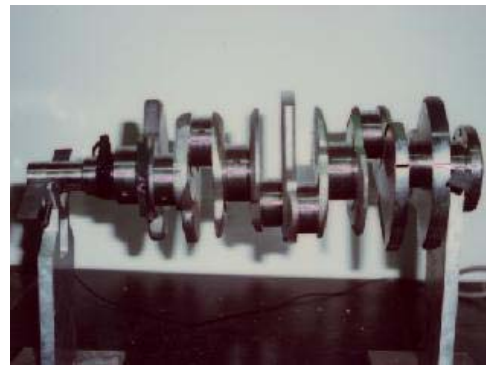


図7 AE計測を行うクランクシャフト

研削時に発生するAEを検出するために、AEセンサを設置する必要がある。ただし、クランクシャフトは回転するためAEセンサを直接取り付けることができない。AEセンサの設置位置としては、クランクシャフトを支えるセンター、あるいは金属シューがある。クランクシャフト内を伝搬するAEの減衰と、ノイズの評価を行った結果、AEセンサは金属シューに取り付けるのが有効であることが確認された。図8に、ドレッシング直後のAEの包絡線検波波形と、目づまりが発生した場合の波形、さらに研削焼けが発生した場合の波形を示す。研削加工において、砥石の接触面は一種の摩擦摩耗現象が生じていると考えられ、目づまりが発生すると摩擦力が増加する。これを裏付けるように、目づまり発生時にはAE振幅値が上昇することが観察される。また、研削焼け発生時に振幅値が著しく上昇し、研削焼けの発生を検知できる。従来、研削焼けの検出には、研削後に磁粉探傷などが実施されているが、AE法を利用することにより、加工中に判断することができる。

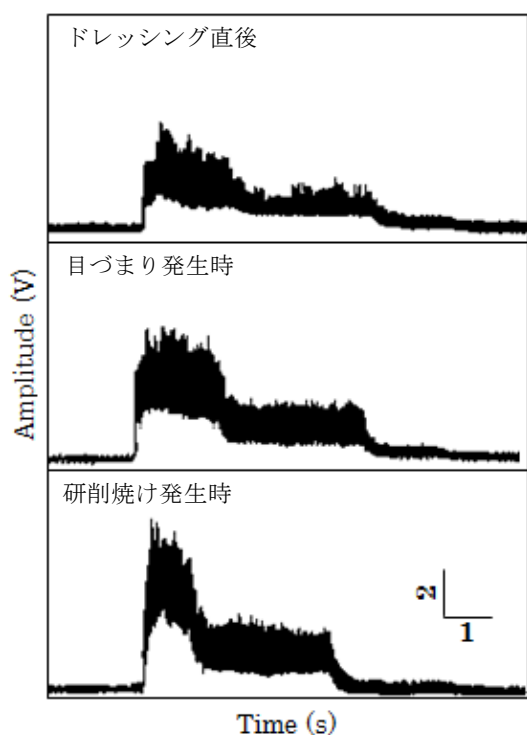


図8 研削加工中に観察される各種包絡線検波波形

図9に、研削回数とAE平均振幅値との関係を示す。研削回数の増加とともに振幅値が増大し、切れ歯の低下あるいは目づまりの状態が把握できる。このように、振幅値を管理することにより適切なドレッシング時期を判断できる。

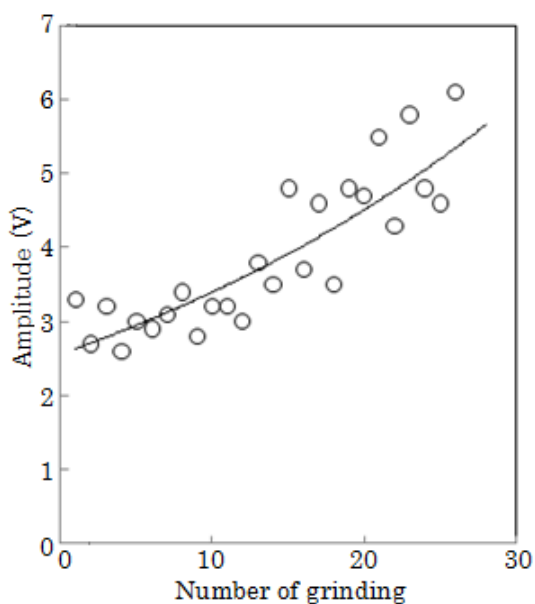


図9 研削回数と検出されるAE信号の平均振幅値との関係

2.4 特殊材料

金属材料だけでなく、近年さまざまな材料が使用されるようになり、あらたな検査方法が求められるようになってきた。そこで、最近特に生産量が急激に増加し精度の高い欠陥検査の需要が急増している、太陽光発電用ソーラーパネルの欠陥検査にAEを適用した事例を紹介する。

ソーラーパネルの材料であるシリコンは、金属などに比べ吸収係数が低いことに加え、検出対象のクラックはX線透過厚の差が生じにくくコントラストが得にくいのためにX線検査が適用されていない。またシリコンパネルの生産ラインでは、スループットやコストなど生産性の面から、超音波探傷やX線検査が適用されていないとされる。したがって、ソーラーパネルの製造工程におけるシリコンに存在する欠陥の検出は、最終の発電試験の工程で、所定の発電力が得られないことにより初めて認識される。しかし、この時点ではパネルは最終製品に近く、手直しには多大な工数を要する。さらにソーラーパネルのコストは、その材料であるシリコンの材料費が大半をしめる。したがって、コストダウンとしてシリコンの厚みの薄肉化が進んでいる。しかし、シリコンの厚みが薄くなるほど亀裂の発生する確率が高まり、シリコンパネルの欠陥検査の重要性はますます増加することになる。

図10に、AEによるシリコンパネルの欠陥検査装置を示す。シリコンパネルを両端から支持し、支持後に揺動指示部(B)を傾けることにより、パネルにねじり力を加える。もちろん、ねじりの大きさはパネルの設計強度に対し、十分



図10 ソーラーパネル検査装置

に小さい。なお、本方法では AE センサの設置方法とパネルの支持力、そしてねじり角度が重要であるが、秘密保護事項に該当するため、本稿では記載を控えることとした。

図 11 に、検出された AE 振幅値と、信号発生数の履歴を示す。亀裂が存在すると、ソーラーパネルにねじりを加えることにより、亀裂面同士で摩擦が生じて AE が発生する。

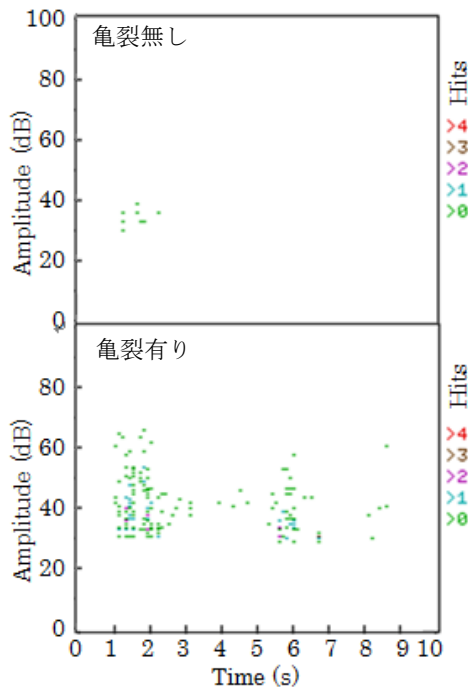


図 11 AE 振幅値の履歴

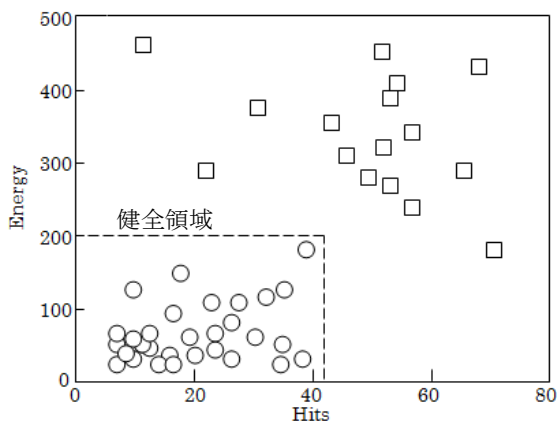


図 12 検出された AE エネルギーの分布

図中に示されるように、亀裂が存在する場合には、亀裂のないパネルと比較して検出される振幅値が大きく、さらに多くの AE 信号が観察される。

図 12 に、検出された AE エネルギーと、それに対応して発生した AE 信号数の分布、すなわちエネルギー分布を示す。亀裂のあるパネル (□) と亀裂のないパネル (○) で AE の発生分布が異なり、図中に示すように亀裂の有無を、領域分けすることにより、両者を識別できる。

3. 結言

製品検査として AE 計測を実施するのにはしばしば問題となるのは、製造現場と管理者のいる制御室が離れている場合が多く、検査・管理のために、往復に多くの時間を費やさなければならないことがある。この問題は、LAN を通じて構築されるイントラネット監視 AE システムを導入することにより、容易に解決できる。すなわち、ターミナルとなる AE 計測システムを各製造装置近くに設置し、それらとホストとなるコンピュータを LAN によって接続することにより、中央制御室で、刻々変化する現場の AE 発生状況をモニターできる。異なる複数の装置が並列で稼働している場合には、それぞれの過程ごとグループ化し、グループごとにモニタリングを実施する。

既にこのようなイントラネット監視 AE システムが市販されている。こうした装置では、標準ネットワーク用ソフトウェアを利用することにより、製造現場に置かれたターミナル AE 装置と全く同じディスプレイ画面を、制御室のホストコンピュータ上で、実時間的にモニターし、AE 計測条件の変更や、データ管理、アラーム信号の出力などが行える。

製造現場における自動化によるコストダウン、品質管理の高度化、そして省エネ化への要求は、ますます高まっている。こうした要求を満たすためのオンライン検査方法として、AE 法の製品検査への応用は、今後ますます増大していくものと考えられる。