

高強度・高減衰能材料評価のための内部摩擦測定装置の改良

玉岡 悟司

名古屋工業大学 技術部技術課

1.背景

県内の某自動車メーカーより、自動車部品の硬度不足に起因する不良品検出方法の再検討に関する相談を受けた。現状では、対象部品の不良品判別にはビッカース硬度試験が採用されており、製造ロットから抜き取り検査を実施して、基準を満たさない場合には当該ロットを一括廃棄する方式が採られている。しかし「良品を含めた過剰廃棄による損失」「抜き取り検査では不良品が見逃される可能性」「試料加工に伴う作業負担および人件費の増加」という課題がある。相談者からは、可能であれば全品検査を非破壊で実施して、不良品のみを選別可能な評価手法の確立が求められた。こうした背景から、内部摩擦測定による非破壊の不良品検出手法の適用について検討を行った。内部摩擦は、材料に与えられた振動エネルギーの一部が熱エネルギーとして散逸する現象であり、結晶欠陥や転位運動など微視的組織変化に敏感であるため、機械的特性や内部欠陥などの非破壊評価に有効な手法である。

2.目的

本研究では、既存の内部摩擦測定装置を改良して、高強度かつ高減衰能を有する自動車部品について、内部摩擦の振幅依存性を測定可能にすることを目的とした。得られた内部摩擦の振幅依存性データから微小塑性変形領域の応力-ひずみ曲線を算出し、非破壊による不良品検出手法の確立を目指した。

3.内部摩擦測定装置の改良

既存の内部摩擦測定装置は、共振法（自由端横振動法）を用いて内部摩擦を測定するものである。Fig.1に示すように試料両端に鉄片を接着して、振動モードのノード（節）の位置でタングステンワイヤーにより懸架する。駆動コイルから鉄片に交番磁場を印加することで試料を励振させ、その減衰挙動から対数減衰率 δ を算出することによって内部摩擦を測定する。

試料に作用する磁気駆動力 $F(t)$ は、式(1)に示すように静磁場 B_0 と交番磁場 $B_1(t)$ の積に比例するため、①静磁場 B_0 の増強および②交番磁場 $B_1(t)$ の増強により、試料の振動振幅を増大することができる。

$$F(t) \propto B_0 \cdot B_1(t) \quad (1)$$

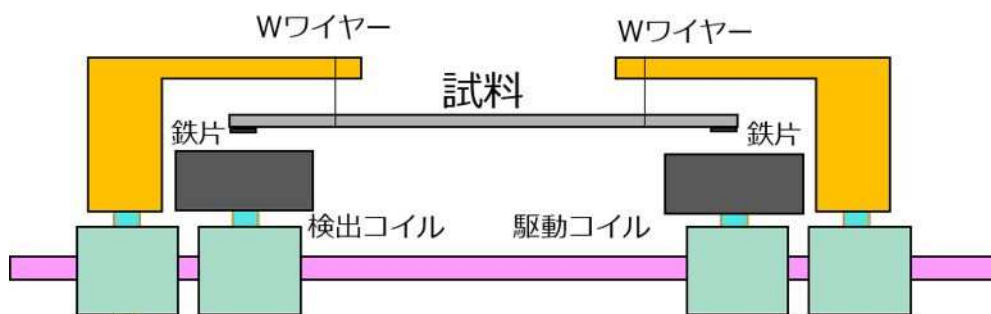


Fig.1 内部摩擦測定装置の測定系概念図

3.1 静磁場の増強

はじめに静磁場を増強する方法として、駆動コイルを構成しているフェライト磁石（約 50mT）をネオジウム磁石（約 400mT）に置換する方法を試みた。しかし磁場強度が過大であったため、試料端部の鉄片が瞬時に磁石に吸着し、Fig.1 に示すようなタングステンワイヤーによる懸架が不可能であった。次にフェライト磁石へ小型ネオジウム磁石を部分的付加する方法を検討した。磁力計による測定では、磁場強度の増加は確認できたが、磁束分布が不均一となったために振動励起効率が低下することが判明した。以上の結果から、静磁場の増強は実用的な手法ではないと判断した。

3.2 交番磁場の増強

次に交番磁場の増強を試みた。駆動コイルの磁束密度 B は式(2)のように表すことができる。

$$B = \mu \frac{NI}{L} \quad (2)$$

ここで μ は透磁率、 N はコイル巻数、 I は電流値、 L はコイル長である。式(2)より、現行装置の構成を維持したまま実験的に変更可能なパラメータは電流値 I であることがわかる。コイルに印加する電流は発信器から出力される交番電流であるため、市販のオーディオアンプ（50W×2）を用いて電流値を増幅することにした。交番磁場を増強した結果、磁気駆動力の増加が確認された。しかし過電流による駆動コイルの発熱が課題となるため、コイル温度を熱電対で連続監視することとした。さらにアンプの増幅率制御および通電時間を制限することにより、コイル温度を 100℃以下に維持するようにした。

4. 実験結果

オーディオアンプによる増幅の有無について、内部摩擦の振幅依存性を比較測定した結果を Fig. 2 に示す。アンプ未使用時の最大歪振幅 $\epsilon_{\max}$ は 6×10^{-5} であったのに対して、アンプを用いて増幅した場合には $\epsilon_{\max}$ は 1×10^{-4} で約 1.7 倍となった。図から明らかなように、 $\epsilon_{\max}$ が大幅に拡大したことにより、浅野[1]が提唱する現象論的モデルによるフィッティング解析が可能となった。

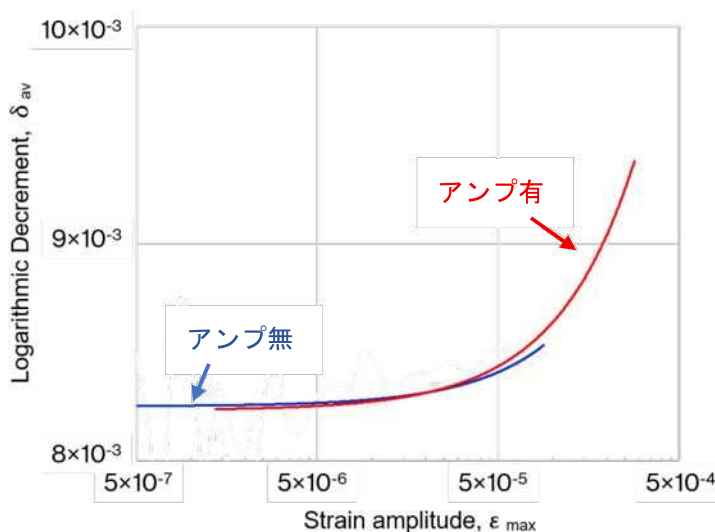


Fig. 2 供試材の内部摩擦の振幅依存性データの比較

5.考察

Fig. 2 からわかるように供試材の平均対数減衰率 δ_{av} は 10^{-2} のオーダーを示しており、供試材が高減衰能材料に分類されることが確認された。一般に、高減衰能材料は振動エネルギーが熱エネルギーに変換される傾向が顕著であるため、高ひずみ領域の安定した振動状態を維持することは困難である。そのため、現行の内部摩擦測定装置では内部摩擦の振幅依存性の評価範囲が制限されて、顕著な振幅依存性を検出することができなかった原因が、高減衰能材料に対する振動振幅不足にあったことを裏付ける結果となった。

今回の装置改良によって、内部摩擦の振幅依存性測定可能範囲を大幅に拡大することができた。その結果、従来では評価が困難であった微小塑性変形領域までの内部摩擦変化を取得することが可能となり、内部摩擦の振幅依存性から明瞭な応力-ひずみ曲線を導出することができた。

また、本研究対象である高強度かつ高減衰能を有する自動車部品において内部摩擦変化を高精度に検出できたことは、本手法の有用性を示す重要な成果と言える。従来のビッカース硬度試験では硬さ評価は可能であるが、微小変形過程における力学的応答を詳細に評価することは困難である。一方、本手法では内部摩擦の振幅依存性を活用することで、硬さ試験では取得できない微小塑性領域における応力-ひずみ特性を非破壊的に評価することが可能となった。

内部摩擦法による応力-ひずみの評価は、弾性変形領域における厳密な材料定数の決定には一定の制約が存在するものの、不良品検出や品質保証の観点から言えば、微小塑性変形挙動の差異を高感度に検出できる点は大きな利点となる。さらに本手法は非破壊評価が可能であるため、将来的には自動車部品の全数検査への適用も期待できる。

6.まとめ

内部摩擦測定装置の改良として、交番磁場の増強を目的として出力アンプの導入を行い、熱暴走を抑制しながら振動振幅の増大を実現した。その結果、高強度かつ高減衰能を有する自動車部品（供試材）の内部摩擦の振幅依存性測定が可能となり、現象論的モデルを用いた微小塑性変形領域における応力-ひずみ曲線の算出に成功した。本手法は、高硬度かつ高減衰能を有する材料の非破壊評価および不良品検出への応用の可能性を示しており、将来的な自動車部品の全数検査技術の実現に向けた新たな試験技術として有望である。今後は良品と強度不足の不良品について、内部摩擦の振幅依存性と応力-ひずみ曲線を比較して不良品検出指標としての有効性について検証していく予定である。

文献

[1]浅野 滋：内部摩擦の振幅依存性と微小塑性の現象論，日本金属学会会報，20 (1981)，21–28.