

Ni ナノコンポジットセラミックスの Hertz 接触下における磁性挙動

光洋精工(株) ○小熊規泰 山川耕志郎 石井秀明

大阪大学 関野 徹 新原皓一

1 はじめに

機械システムの安全性確保の観点から、機械構造用部品のインテリジェント化が重要視されている。例えば、自己き裂治癒材の開発¹⁾などは、機械部品の疲労破壊の抑止が期待される。インテリジェント化の一端として、自己応力検知機能材料の開発も重要なアプローチの一つである。その開発事例として、磁性機能を有するセラミックスの創製が試みられている²⁾。これは母相の特性を低下させることなく、第2相にナノサイズの磁性金属粒子を分散させて磁性機能を発現させるナノコンポジットセラミックスである。このような材料の機械部品への適用で、破壊のリモートセンシングの可能性があることも指摘されている³⁾。

そこで本報告では、磁性機能セラミックスの応力検知特性の一環として、Hertz 接触下における負荷荷重に対する磁気特性について検討した結果を述べる。また、FEM 解析を用いて Hertz 接触下での磁性挙動について理論的考察を行った。

2 磁化の強さの測定

2.1 供試材 応力検知材料として用いた磁性機能セラミックスは 3Y-TZP/Ni である。第2相に Ni ナノ粒子を分散させコンポジット創製⁴⁾したものである。なお、Ni の含有量は 10vol%とした。Fig.1 に本材料の TEM による組織観察例を示すように、Ni ナノ粒子は 100nm 以下で

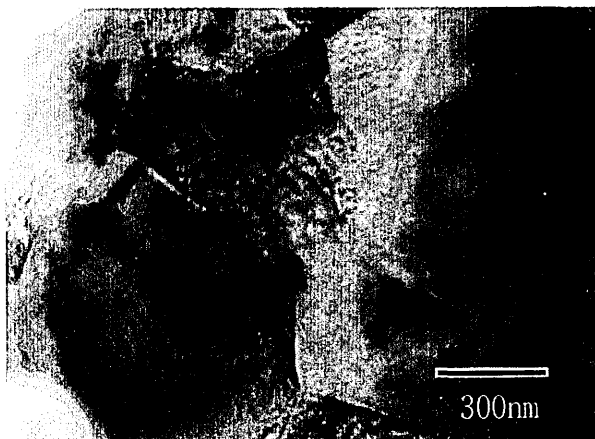


Fig.1 TEM image for 3Y-TZP/Ni nanocomposites.

Table 1 Specimen size and mechanical properties.

Material	3Y-TZP/10vol%Ni
Size	Plane contact: 3.955×3.531×2.945mm Hertzian contact: 3.992×2.868×2.592mm
Young's modulus	204.2GPa
Poisson's ratio	0.31

あり ZrO₂ の母相および粒界に分散している。用いた試料のサイズおよび機械的特性を Table 1 に示す。

2.2 実験方法 キュリー-点測定装置を用いて、負荷荷重に対する試料の磁化変化量を測定した。測定装置の概略を Fig.2 に示す。試料の周りにはサーチコイルとピックアップコイルが配置されており、これにより磁気を検出される。Hertz 接触の方法は、試料の上部に直径 9.525mm の窒化けい素球を置き、圧縮荷重を負荷させることにより行った。また、Hertz 接触時の磁性挙動と比較するために、窒化けい素球を用いずに平面接触での測定も行った。

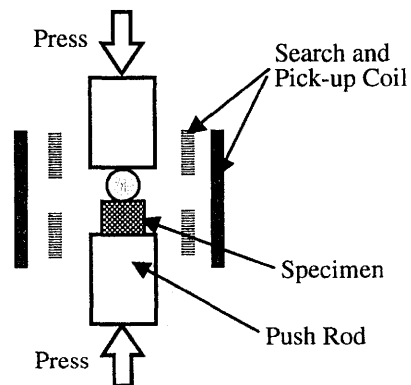


Fig.2 Magnetization measurement under Hertzian contact.

2.3 実験結果および考察 Fig.3 に無負荷状態での磁化の値を基準として負荷荷重に対する磁化の変化量の測定結果を示す。図中におけるプロットマークは、□印が平面接触の場合であり、○印が Hertz 接触の場合である。

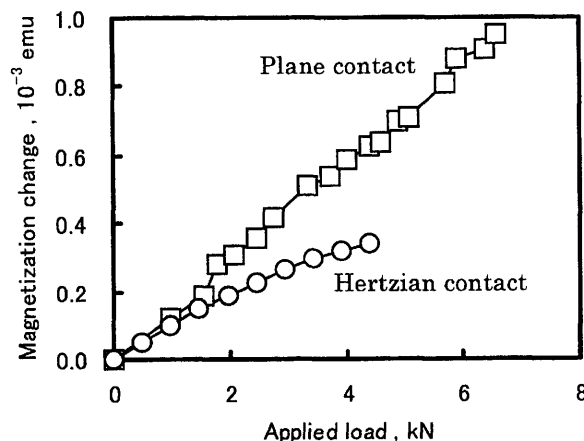


Fig.3 Relationship between applied load and magnetization change for 3Y-TZP/10vol%Ni nanocomposites.

なお、各プロットにおける最大荷重を越えたところで試料は破壊した。すなわち、平面接触の場合は 6.57kN を越えた荷重で破壊に至り、Hertz 接触の場合は 4.41kN を越えた荷重で破壊に至った。破壊荷重の違いは、Hertz 接触の方が面圧が大きいので、当然の結果であると考えられる。磁化変化量を比較すると、平面接触の場合、荷重の増加に伴って磁化変化量は直線的に増加していくのに対し、Hertz 接触の場合の増加傾向は放物線状に増加していくことが分かる。また、同一荷重での磁化変化量を比較すると、試料に与えるエネルギーが等しいにも関わらず、Hertz 接触の方が小さい。

試料の磁化変化量は Ni 量に依存することから、Ni 単位質量当りの磁化変化量で考察する。さらに負荷荷重を試料の断面積当りの応力に置き換えて平面接触と Hertz 接触の比較を行った。Fig.4 は応力と Ni 単位質量当りの磁化変化量の関係として示したものである。同図から分かるように、基準化した評価量の関係においても Fig.3 と同様な傾向が認められる。この挙動の主要原因となる因子を特定するために、有限要素法（以下、FEM と略す）による解析を行った。

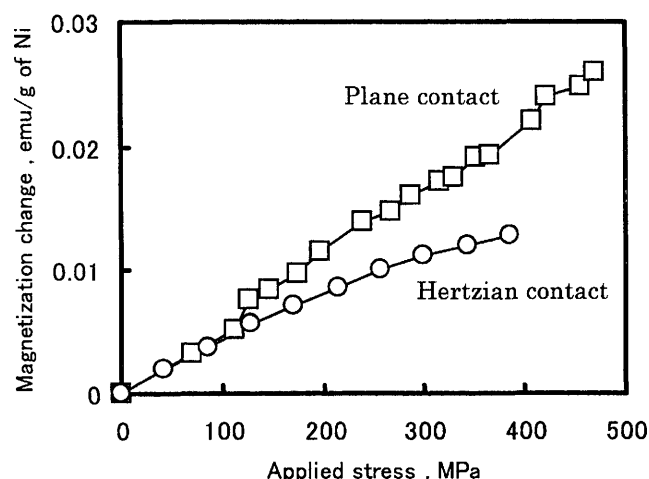


Fig.4 Relationship between applied stress and magnetization change for 3Y-TZP/10vol%Ni nanocomposites.

3 FEM 解析

3.1 解析方法 FEM 解析は 3 次元ソリッド 1/8 モデルとし、ソルバーに ABAQUS を用いて非線形静解析を行った。要素の境界条件は試料の底面を荷重方向に拘束した。

平面接触時の磁性挙動を基に、Hertz 接触時の磁性挙動を推定する方法は以下の手順で行った。

- ①平面接触時の応力と磁化変化量の関係を線形近似
- ②平面接触時の破断荷重における最大せん断応力以上の応力場では磁化変化量は一定と仮定
- ③Hertz 接触における応力解析を行い、各要素の磁化変化量を算出
- ④Hertz 接触における全要素分の磁化変化量を積分して試料全体の磁化変化量を算出

3.2 解析結果および考察 上述のようにして行った

Hertz 接触における磁化変化量の解析結果を Fig.6 に示す。同図において、実線は平面接触時の応力と Ni 単位質量当りの磁化変化量との関係の近似直線であり、○印は Hertz 接触時の測定結果である。そして、一点破線は FEM による Hertz 接触時の磁化変化量の解析結果である。解析結果は実測値とはほぼ一致していることが分かる。このことから、Hertz 接触時の Ni 単位質量当りの磁化変化量が平面接触時のそれより小さく放物線状になる原因は、破壊応力を越える微小領域における磁化変化量が飽和するためと考えられる。詳細には、破壊応力を越えた母相領域に微小き裂が発生し、Ni に加わる応力が緩和されているためではないかと考えられる。ただし、現状では微小き裂の存在を確認していない。

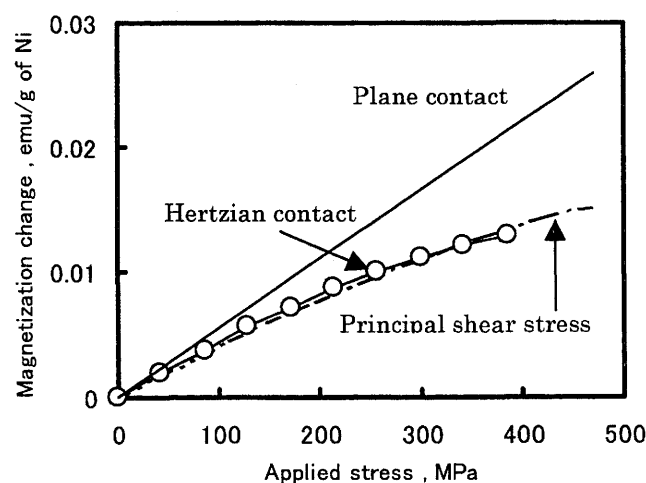


Fig.6 Analytical results of magnetization change under Hertzian contact by FEM.

4 まとめ

強磁性体金属である Ni ナノ粉末を非磁性体セラミックスであるジルコニアにコンポジットした材料 3Y-TZP/Ni の Hertz 接触下における磁気特性を測定するとともに、その特徴的現象を FEM 解析により推定した。その結果、以下の結言を得た。

- (1)本材料の負荷応力に対する磁化の変化は、平面接触時には破壊まで線形に増加し、Hertz 接触時には放物線状に増加する。
- (2)磁化変化量は Hertz 接触時の方が小さく、その原因は、微小領域での Hertz 応力が破壊応力を越えると母相に微小き裂が発生し、Ni に加わる応力が緩和されるためと推定される。

参考文献

- 1) 安藤 柱ら、機論、**A-64**, 1936 (1998).
- 2) T.Sekino, S.Etoh, H.Kondo, Y.-H.Choa and K.Niihara, Key Eng. Mater., **161-163**, 489 (1999).
- 3) 淡野正信ら、ニューセラミックス, **11**, 15 (1998).
- 4) H.Kondo, T.Sekino, Y.-H.Choa, T.Kusunose, T.Nakayama, M.Wada, T.Adachi and K.Niihara, J. of Nanoscience and Nanotechnology, **2**, 485 (2002).