

磁歪式トルクセンサにおける磁歪膜の耐久性評価

Durability Evaluation of Magnetostrictive Film in a Magneto-Striction-Type Torque Sensor

○ 非 大和 亜矢・桑名商事(株)

Aya YAMATO, Kuwana Co., Ltd.

正 鎌腰 雄一郎・群馬産業技術センター

Yuichiro KAMAKOSHI, Gunma Industrial Technology Center

非 穂坂 智宏・桑名商事(株)

Tomohiro HOSAKA, Kuwana Co., Ltd.

非 山川 和廣・(株)吾妻商会

Kazuhiro YAMAKAWA, Azuma Syokai Co., Ltd.

Key Words: *Thin film, Surface Treatment, Torsion, Fatigue, Corrosion Fatigue*

1. 緒 言

磁歪効果を利用した非接触式トルクセンサは制御性に適しており、電動自転車及び自動車用電動のパワーアシスト制御系などへの応用が進められてきている。本方式は、磁歪効果により発生する微小な透磁率の変化を検出するものであるため、回転軸材料の角度依存性の低減や、センサの高感度化が課題とされてきていた。そこで、筆者らは電気めっき法を利用した磁歪膜の開発を行い、回転軸に磁性を有するめっき(磁歪膜)を施すことにより、それらの課題が低減され、実用化に値する性能が得られることを確認している⁽¹⁾⁽²⁾。本方式の実用化を促進するためには、トルク測定精度の信頼性、耐久性の評価が不可欠である。

本研究は、鉄鋼材シャフトに成膜したトルクセンサ用磁歪めっき膜の耐久性評価に関するもので、実際の回転軸の動きを考慮したねじり疲労試験、引張圧縮応力試験、高負荷試験、及び耐食性試験を行い、その耐久性を評価したので報告する。

2. 実験条件

磁歪膜は、電解 Ni めっきにより作製される。金属成分である Ni 及び添加剤等を含むめっき浴を用い、pH は 3.0~6.0、浴温は 40~50°C に調整し、電流密度 5.0A/dm² で電解することで磁歪膜を作製した。皮膜硬度は Hv608、飽和磁束密度は 0.61T と測定された。図 1 にめっき処理を行ったシャフト画像を示す。S45C、SCM435、SUJ-2 の 3 種の φ20×300L 鋼材シャフトの中心 40mm 範囲へ片肉 50μm の磁歪膜を成膜した。

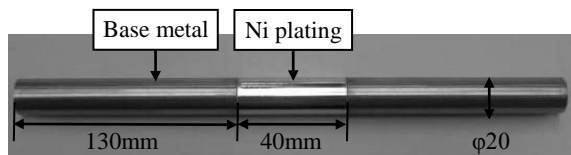


Fig.1 Photograph of cylindrical shaft

図 2 に評価装置の全景を示す。試験機は、圧縮引張試験、ねじり試験とともに油圧サーボ式疲労試験機(島津製作所製、EHF-EM100kN/TM1kNm)を用いた。シャフト両端 75mm の範囲を油圧チャックにて取付け、更に、磁歪膜上に吾妻商会製、非接触型磁歪式トルクセンサを取付け、ねじり疲労試験機により加えられたトルクをセンサによって測定する構造とした。また、キャス試験はキャス試験機(スガ試験機製、CAP-90)、熱弾性応力測定は、赤外線応力測定システム(CEDIP Infrared Systems 社製、Cedip_Silver480M)を用いた。

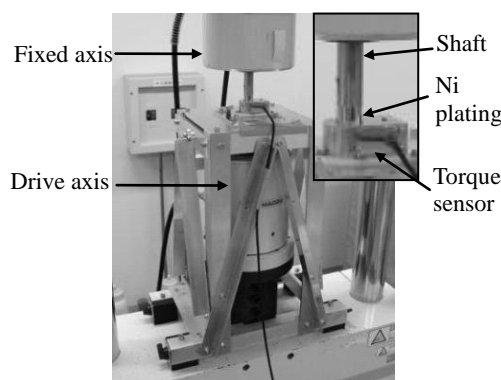


Fig.2 External view of evaluation equipment

2. 実験結果及び考察

磁歪膜の耐久性試験を行うにあたり、静的使用限界(降伏点)の測定を行った。ねじり疲労試験機により徐々にねじり応力を加えながらセンサから得られる電圧を観測した。図 3 に印加トルクに対するセンサ出力を示す。

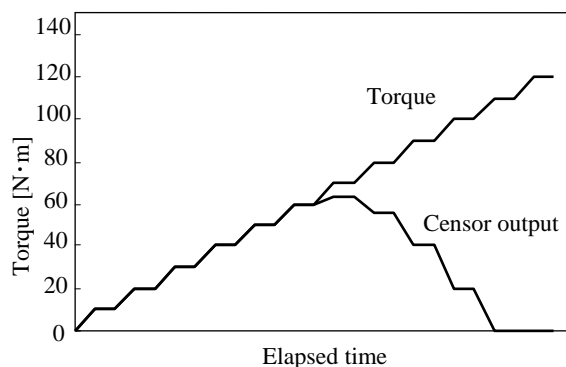


Fig.3 Sensor output corresponding to torque for S45C

印加トルクを加えていくと、約 60N·m のトルク応力を超えると、センサ出力が降伏していくことが分かった。各素材のシャフトを 2 本ずつ測定したが、降伏点は 50~100 N·m の範囲(角変位に換算して約 0.4~0.8°)であった。

磁歪膜の主成分はニッケルであり、ニッケル 99.0% のニッケル合金と同様の降伏点を示すことが分かった。

また、めっき処理を行っていない S45C、SCM435、SUJ-2 のシャフトの引張試験を行った。降伏点は各々 469N/mm²、639N/mm²、318N/mm²、引張強さは 738N/mm²、916N/mm²、

631N/mm²と測定された。

前述の降伏点の結果から、3種の鋼材をそれぞれ最大許容変形を角度変位±0.30°とし、その1.5倍及び2.0倍の3段階でトルクを設定し、20Hzの繰り返し速度で2万～1000万回のねじり疲労試験を行った。いずれの条件においても試験開始時から終了時まで一定のセンサ出力であることが確認された。図4にSCM435鋼での1000万回繰り返し試験におけるセンサ出力を示す。角度変位約0.31°基準トルク±37.1N・mで繰り返しねじり試験を行った。試験開始時から1000万回のねじり終了時まで、ほぼ一定のセンサ出力を得られていることが観察できる。

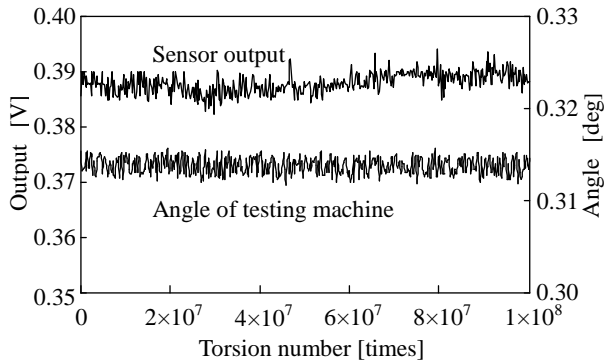


Fig.4 Torsion fatigue test for SCM435

角度の変位に対し、センサ出力に若干のばらつきが見受けられる。本試験は、評価に用いているねじり試験装置の最も低い荷重域で制御しており、試験中の油圧の制御のばらつきが出力に影響を与えていると考えられる。

次に、降伏点以上である200N・mの高負荷を15サイクル与えた後に±37.1N・m相当トルクの繰り返しねじり試験を2～20万回行った。その結果、高負荷を与えたにも関わらず試験開始から終了時まで一定のセンサ出力を得られることが確認された、実用化にあたり十分な強度を有していることが検証された。

次に、腐食後磁歪膜の評価を行うため48時間、96時間のキャス試験を行い、その後シャフトへ2～20万回のねじり疲労試験を行った。尚、両端部はチャック部の為マスキングを行った。48時間のキャス試験後のシャフトの画像を図5に示す。

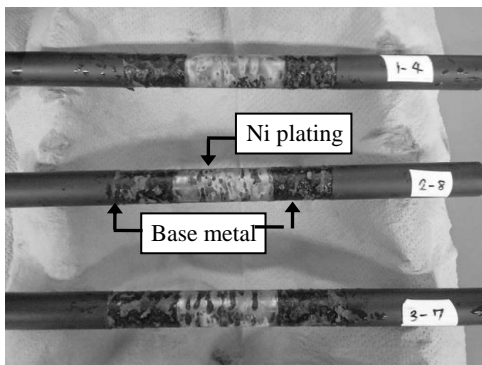


Fig.5 Photograph of cylindrical shafts after CASS test (48hours)

48時間の耐食性試験を行うことで、磁歪膜箇所にも腐食が観察された。これは、Niめっきのピンホールによるものまた、金属素地部の鍍が磁歪膜箇所に付着し、腐食が進行したものと考えられる。試験後のシャフトのねじり疲労試験の結果は、いずれも腐食疲労による特性劣化は観察されず、試験材料間

のセンサ電圧のバラつき以上になるものはないことから、耐久性に優れた膜であることが確認された。

次に、動的使用限界の確認として、赤外線応力測定システムを疲労試験機に併設し、引張圧縮応力を±10～240MPaの範囲で段階的に上げていき、熱弾性応力測定を行った。図6に負荷に伴う温度変化を示す。

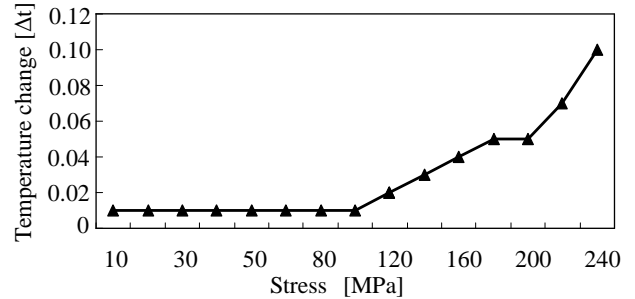


Fig.6 Temperature change with applied

±10～240MPaの繰り返し応力を与えていくと、約120MPa付近からの急激な温度変化が観察された。120MPa以上では、温度変化が大きくなっており、ねじり限界は60MPa以下と推測される。これにより、前述の磁歪膜の静的使用限界に近いことが示された。

4. 結 言

非接触式トルクセンサに用いて開発した磁歪めっき膜は、1000万回のねじり疲労試験、高負荷試験、耐食性試験後においても、試験前と比較し特性劣化はなく、耐久性に優れていることがわかった。また、φ20×300Lのシャフトサイズにおける磁歪めっき膜のねじり限界は50～60MPaであることが示唆された。

謝 辞

本研究の一部は、全国中小企業団体中央会「平成21年度ものづくり中小企業製品開発等支援補助金「ねじり疲労試験機による磁歪式トルクセンサ用磁歪膜(めっき)の性能評価」のプロジェクトとして行われたことを記し、感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 辻澤隆彦, 山川和廣, 阿部一幸, 自動車技術会春季学術講演会前刷集, No20-09 (2009), 7-12
- (2) 辻澤隆彦, 山川和廣, センシングフォーラム資料, 27th (2010), 249-254