

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 9 月 3 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05774

研究課題名 (和文) 硬化歯車の高面圧時表面温度評価手法に関する基礎的研究

研究課題名 (英文) Basic study on measurement of surface temperature at high contact pressure by dynamic thermocouple with dissimilar hardened gears

研究代表者

東崎 康嘉 (TOZAKI, YASUYOSHI)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：60610540

交付決定額 (研究期間全体) : (直接経費) 3,700,000 円

研究成果の概要 (和文) : 動力伝達装置で使用される歯車への要求として、大容量化と省スペース化という項目がある。その結果、使用される歯車は、高回転数と高負荷に耐える必要がある。高負荷および高回転数での歯車の運転においては、歯面温度に関係した損傷が発生するために、運転中の歯車温度を知ることが重要となる。本研究では、硬化した異種金属を用いて高面圧条件下で、歯面の温度計測に成功し、またその予測手法を明らかにすることができた。今後の歯車設計手法の高度化に貢献する。

研究成果の概要 (英文) : Power transmission system using gears require both large capacity and miniaturization. As a result, the gears used in power transmission need to be strong enough to withstand high loads and high engine speeds. Because surface damage and temperature are related, it is very important to know the surface temperature of gears in operation. In this study, we succeeded in measuring the temperature of the tooth surface under high contact pressure by dynamic thermocouple with dissimilar hardened gears, and it was possible to clarify the prediction method also. It was able to contribute to the advancement of the gear design method in the future.

研究分野：機械要素およびトライボロジー関連

キーワード：表面温度 焼付き トライボロジー 歯車 高面圧 動力伝達

1. 研究開始当初の背景

動力伝達装置で使用される歯車への要求として、大容量化と省スペース化という項目がある。その結果、使用される歯車は、高回転数と高負荷に耐える必要がある。高負荷および高回転数での歯車の運転においては、歯面温度に関係した損傷が発生するために、運転中の歯車温度を知ることが重要となる。

歯面の温度上昇は熱電対(鄧鋼ら 日本機械学会論文集 1994)や赤外線温度計(廣垣ら 日本機械学会論文集 2010)などで計測可能であるが、熱電対のある特定点の温度しか計測できず、また、赤外線の場合は回転同期の工夫が必要などの問題点がある。異種金属を用いて歯車自体を熱電対とする方法は反応時間が短く、瞬間的な温度変化を知るには最も適切な方法である。鋳鉄(FC-200)-コンスタントの組合せでの計測事例(池条ら 日本機械学会論文集 2010)や硬質ニッケルめっきと SNCM415 浸炭焼入れの組合せでの計測事例(横山ら 潤滑 1971)が知られている。鋳鉄-コンスタントの組合せでは材質が軟らかいので高面圧での計測が困難であり、硬質ニッケルめっきと SNCM415 浸炭焼入れの組合せでは、ニッケルと鋼の熱伝導率の差異やメッキ厚さのばらつきなどがあり、必ずしも真の歯面温度とは言えない。よって、高面圧でかつ単一素材を用いて歯面温度を計測する手法の開発が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究ではこれらの問題を解決する方法として、歯車の材質に単一素材となる SUS316 と S55C を採用し、それぞれにプラズマ浸炭、高周波焼入れといった表面処理を施すことで硬化し、さらに非常に小さな曲率半径のクラウニングを施すことにより高面圧条件(1.5GPa 程度)で試験を行えるようにした。また、二歯噛み合い領域での並列回路の問題は、交互欠歯歯車(佐々木他、1966)を用いることで計測を可能とした。

3. 研究の方法

(1) 最初に単一金属で硬化が可能で材料入手も容易な SUS316、S55C、SUJ2 の組合せ時の比較を行い、熱起電力の最も大きな材料組合せに関する調査を行った。その後、熱起電力が最も大きかった SUS316 と S55C の組み合わせにそれぞれプラズマ浸炭処理、高周波焼入れの処理を行い、その組合せでの熱起電力を調査し、動的熱電対法による温度変換式の作成を実施した。加えて、歯車歯面温度測定試験において回転体から電気信号を取り出す際に使用するスリップリングの熱起電力への影響も調査した。

(2) 今回の研究では、SUS316 にプラズマ浸炭、S55C に高周波焼入れを施し、その組合せで熱電対とした。プラズマ浸炭を施した SUS316 歯車を交互欠歯車とすることで、二歯領域での計測を可能とした。さらに、歯面にクラウニング加工を施すことにより、高面圧条件(1.5GPa 程度)での試験を可能とし

た。ちなみに、プラズマ浸炭した SUS316 の表面硬さは、1080HV で高周波焼入れした S55C の表面硬さは、630HV であることを別途作製した試験片にて確認を行った。

4. 研究成果

(1) SUS316 にプラズマ浸炭、S55C に高周波焼入れを施し、さらにスリップリングを装着した状態で熱起電力の計測を行った。結果より、プラズマ浸炭を施した SUS316、高周波焼入れを施した S55C の熱起電力と温度の関係は線形的に比例することが確認された。

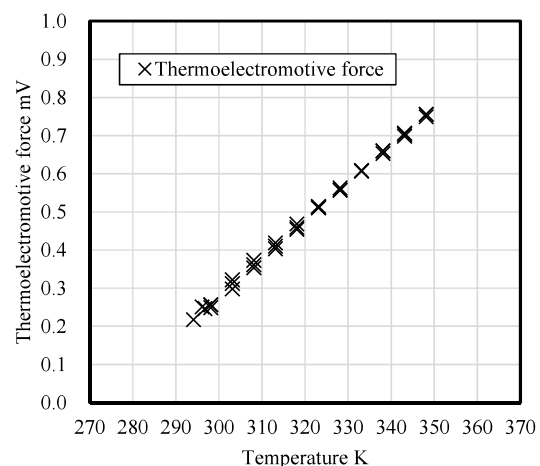


図1. 熱起電力較正試験結果

(2) 動的熱電対法と交互に歯を欠けさせた2枚の歯車と絶縁材で構成された交互欠歯車(図2、図3)を組合わせた歯車歯面温度計測試験装置の図を示す。ギアードモータで駆動し、パウダーブレーキで歯車に負荷トルクを与えた。駆動側歯車にプラズマ浸炭 SUS316 交互欠歯車、従動側に高周波焼入れ S55C 歯車を用い、セラミックス玉軸受と樹脂カップリングを用いることでプラズマ浸炭 SUS316 交互欠歯車の A 側歯車と B 側歯車を完全に絶縁し、軸端に取り付けたスリップリングを用いて回転体から熱起電力を取り出しデータレコーダで計測した。



図2. 交互欠歯車外観図

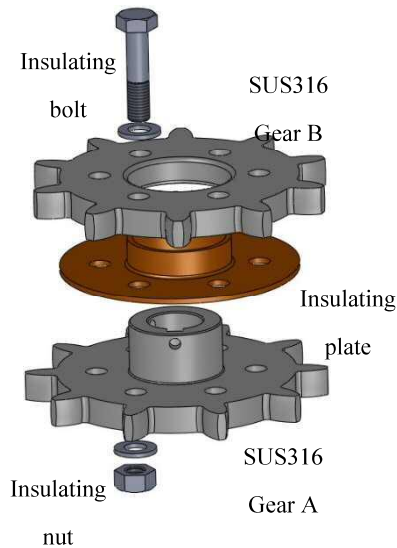


図3. 交互欠歯車組立図

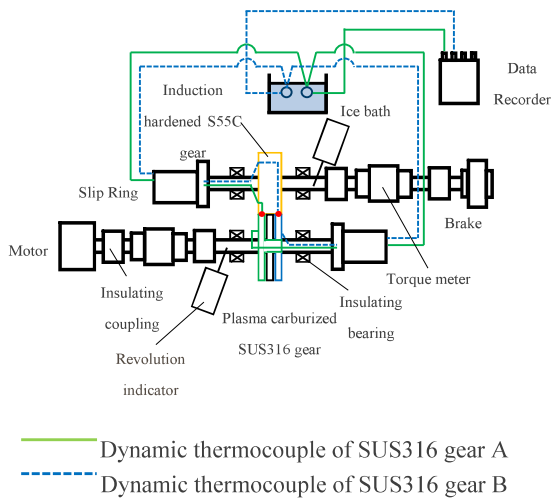


図4. 歯車歯面温度計測試験装置

(3) 作成した温度変換式に基づき、動的熱電対法による高面圧下（1.47GPa）での計測を行った。今回試験を行った条件の中で最も厳しい条件の 20Nm、60min⁻¹の条件となる。なお、試験は室温 293K の条件下で実施し、図は基準設定温度 273K からの上昇値を示している。Blok の式 (Blok 1937) に表面粗さと形成される油膜厚さを考慮して算出される歯面摩擦係数の式 (朝鍋、松本 1986) を適用した結果、試験結果と計算結果が良好に対応していることが判明した。また、試験は2回行っており、両者の差は無く再現性のあることも確認できた。図から、IIのピッチ点ではすべり速度がゼロのために温度上昇が無く、また I、IIIの歯元、歯先ではすべりが大きいため温度上昇が大きくなっていることが分かる。

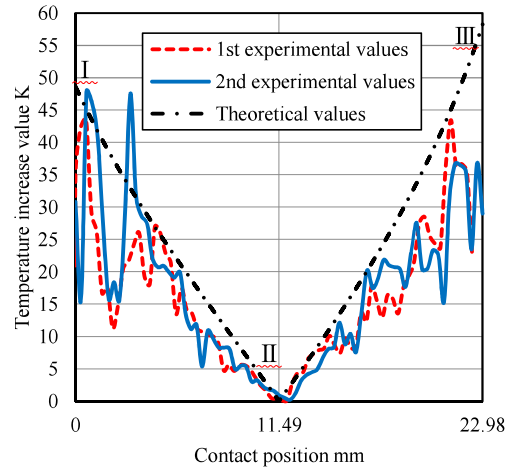


図5. 試験結果と計測結果の比較

(4) 今回は高面圧下（1.47GPa）での計測を行ったので、試験前後の歯すじ形状や歯面粗さの変化の調査も行った。対象はプラズマ浸炭 SUS316 交互欠組合せ歯車とした。交互欠歯車としたことで歯形測定装置での計測ができないため、メタクリレート樹脂による型取り計測を行った。そのために、歯車実体の上下位置が通常と逆になる。クラウニング半径 R_v 46mm とすると、図6の 0mm の位置から 2mm 移動すると約 40 μ m 上方に曲線が移動するが、ほぼ一致している。試験前後の歯すじ形状すなわちクラウニング形状を示す。試験前後でクラウニング半径は面圧に影響するほど変化していないと言える。試験前後の表面粗さも示すが、 $R_a=0.43\mu$ m となり値の変化は見られなかった。硬化処理した歯車を用いて試験を行うことで、高面圧下の条件でも歯すじの形状や表面粗さなどの歯面の状態が変化することなく歯面温度計測試験を行えることが確認できた。

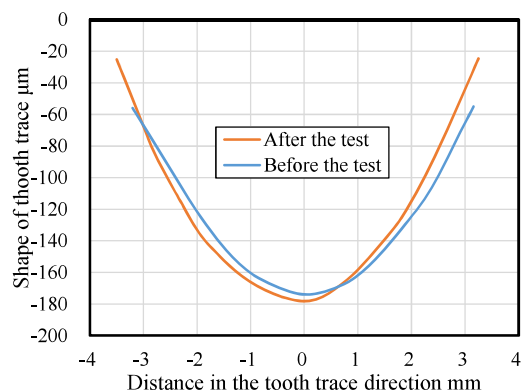


図6. クラウニング形状の確認

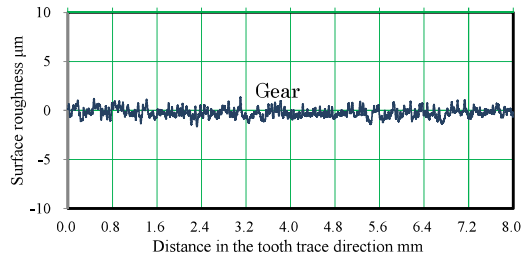


図7. 歯面粗さ (試験前 $R_a=0.43\mu\text{m}$)

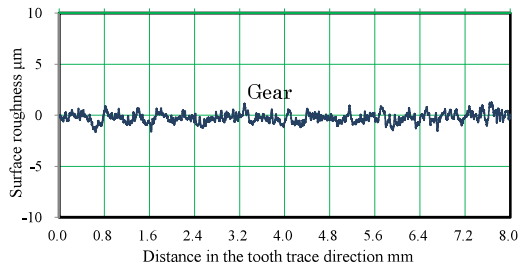


図8. 歯面粗さ (試験後 $R_a=0.43\mu\text{m}$)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1件)

- ① 東崎康嘉、松下直矢、隅谷悠司、後藤卓也、田中智之、硬化歯車の高面圧時表面温度評価手法に関する基礎的研究、日本機械学会論文集、査読有、83巻、854号、DOI:10.1299/transjsme.17-00272 (2017)、2017

[学会発表] (計 3件)

- ① 東崎康嘉、後藤卓也、松下直矢、隅谷悠司、硬化異種金属歯車の動的熱電対法による高面圧時瞬間歯面温度測定に関する研究、トライボロジー会議2017秋 高松 予稿集、C46、2017

- ② Yasuyoshi Tozaki, Naoya Matsushita, Takuya Goto, Yuji Sumitani, The Measurement of Surface Temperature on Gear Teeth during High Surface Pressure with Dissimilar Hardened Gears, Proc. of The JSME International Conference on Motion and Power Transmissions 2017, 429-434, 2017

- ③ 東崎康嘉、松下直矢、後藤卓也、隅谷悠司、硬化異種金属歯車による高面圧時歯面温度計測法の研究、トライボロジー会議2016秋 新潟 予稿集、C7、2016

[その他]

ホームページ等

<http://www.mec.kindai.ac.jp/mech/lab/to-uzaki/study.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東崎 康嘉 (TOZAKI Yasuyoshi)
 近畿大学・理工学部・教授
 研究者番号： 60610540