

機関番号：12101

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560065

研究課題名 (和文) DLC/SRIQ 複合表面改質による精密歯車の疲労寿命改善

研究課題名 (英文) The Improvements of rolling contact fatigue Properties of Steel modified Hybrid Surface Modification combined DLC coating and Super Rapid Induction Heating &amp; Quenching

研究代表者

鈴木 秀人 (SUZUKI HIDETO)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：30090369

研究成果の概要 (和文)：歯車に DLC (ダイヤモンドライクカーボン) /SRIQ (超急速加熱処理超急速高周波焼入れ) を施し、疲労信頼性を飛躍的に改善させることを目的とした。すなわち、熱処理により強靱化させた表面に優れた摩擦摩耗特性を持つ DLC 薄膜をコーティングさせて、安心・安全なオイルレス歯車を創製し、環境に優しい「テラーメイド」表面改質法を構築した。

研究成果の概要 (英文)：Recently, the energy saving of machine is advanced from the viewpoint of the global environmental protection on the world scale as for the power transmission mechanism that composes a lot of machine parts such as cars. Especially, demands of the gearwheel of the power transmission mechanism that composes the machine concerning a mechanical characteristic, strength are also severe every year. Then, the surface reforming processing is given as a technology to fill such high demands. In this study, we evaluated the influence of hybrid surface modification which was combined DLC(Diamond Like Carbon)coating that creates low friction and excellent wear properties on rolling contact fatigue properties and SRIQ(Super Rapid Induction Heating & Quenching) that created high strength by gear test. The obtained conclusion is shown below.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：DLC (ダイヤモンドライクカーボン)、SRIQ (超急速加熱処理)、複合表面処理、疲労寿命、信頼性設計、疲労損傷機構解析

## 1. 研究開始当初の背景

近年、自動車など多くの機械製品が地球環境保全の観点から世界規模で機械の省エネルギー化・クリーン化が進められている。特に、機械を構成する動力伝達部品である歯車には、機械的特性や強度に関するニーズが年々と過酷なものとなっており、このような

高いニーズを満たす方法として様々な表面処理が施されている。本研究では優れた疲労強度を有する SRIQ(Super Rapid Induction Heating & Quenching)と優れた摩擦摩耗特性を有する DLC(Diamond Like Carbon)被膜を複合表面改質処理することにより、疲労信頼性を飛躍的に改善させる表面改質技術の構築を

目指した。

## 2. 研究の目的

DLC/SRIQ 複合表面改質による安心・安全な高機能化機械部品の創製である。特に、SRIQ 処理はもともと「輪郭焼き入れ」と称されて小型歯車への実用化に成功していることを考慮して、本研究では機械部品の具体的なモデルとして歯車を取り上げる。すなわち、応募研究では、モデル歯車に DLC/SRIQ 複合表面改質処理を行って、その性能向上と疲労信頼性改善に取り組む。

## 3. 研究の方法

転動疲労試験は動力循環式歯車試験機を用いて疲労試験を行った。また、破壊形態を観察するため、試験後の試験片を走査型電子顕微鏡(SEM)で歯面観察を行った。

## 4. 研究成果

疲労試験結果を図 1 に示す。同図より SRIQ/DLC 材は疲労寿命の向上がみられた。次に破面観察を行なう。図 2 に SRIQ 歯車(a)、SRIQ/DLC 歯車(b)のマクロ観察損傷図を示す。同図より、DLC 被膜を成膜することにより、歯の欠損数が激減していることがわかる。また、図 3 のミクロ観察結果と照らし合わせてみると、ピッチ点付近に発生した表面疲労を起点とした疲労き裂による破壊形態を示していた。また、更に図 4 に詳細な表面性状の SEM 観察を行なうと、SRIQ 歯車では起点となったピッチング以外にも、多くのマイクロピッチングが発生していたが、DLC 被膜の残存部においてはマイクロピッチングの発生は見られなかった。更に、図 5 に示すような FEM 解析を行なったところ、摩擦係数が下がることで最大せん断応力が下がり、ピッチングの発生が抑制できたことで、疲労寿命の向上したと考えられる。

本研究は、優れた疲労強度を有する SRIQ (Super Rapid Induction heating & Quenching) と優れた摩擦摩耗特性を有する DLC (Diamond Like Carbon)被膜を複合することにより転動疲労寿命環境下において、小型歯車等の動力伝達機構に及ぼす影響について実証的試験を通して評価した。得られた結論を以下に示す。

- (1) SRIQ と DLC 被膜を複合表面改質処理することにより、転動疲労寿命が向上した。
- (2) 試験後の歯面観察より、両試験片ともにピッチ点付近に発生した表面疲労を起点とした疲労き裂による破壊形態を示した

が、SRIQ と DLC 被膜を複合表面改質処理することにより、その数が激減した。

以上より、転動疲労寿命の向上には DLC 被膜の優れた摩擦摩耗特性により、試験片表面にかかる接線力の低減効果が働き、疲労き裂の進展が遅延され疲労寿命の向上につながったと考えられる。

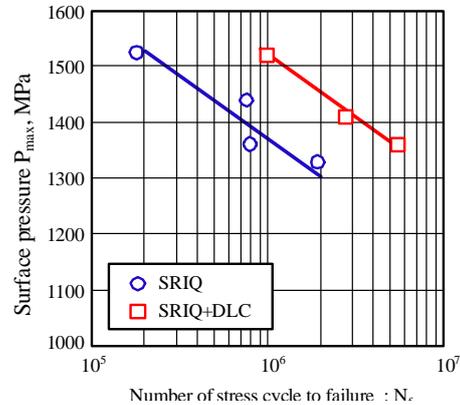


図 1 動力循環式歯車試験結果



図 2 (a)SRIQ 歯車 破面全体図



図 2 (b)SRIQ/DLC 歯車 破面全体図

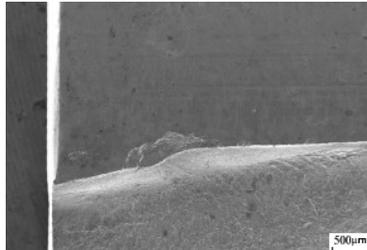
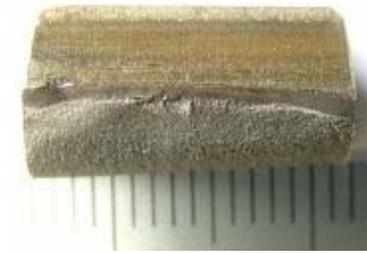


図 3 (a) SRIQ 歯車  
起点部のマイクロ観察図

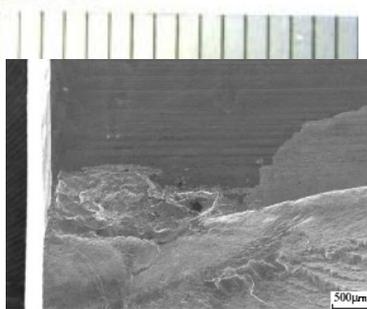


図 3 (b) SRIQ/DLC 歯車  
起点部のマイクロ観察図



図 4 詳細な表面性状の SEM 観察結果  
(a) SRIQ 歯車

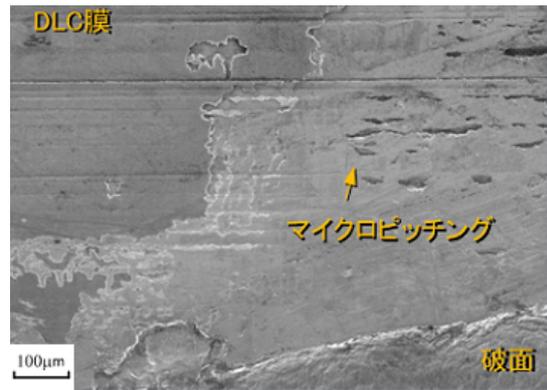


図 4 詳細な表面性状の SEM 観察結果  
(b) SRIQ/DLC 歯車

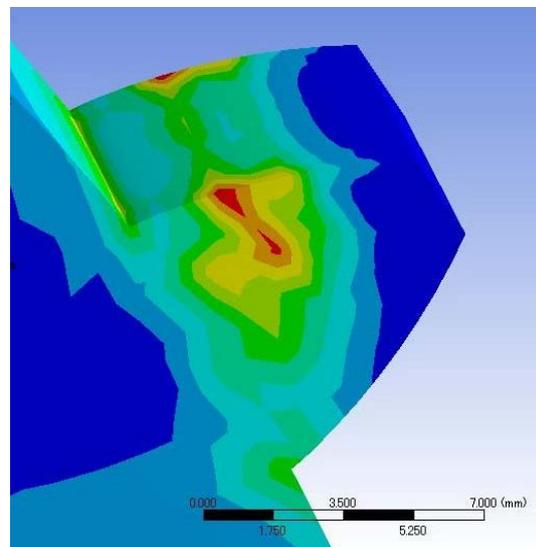


図 5 FEM 解析 (a)  $\mu = 0.8$  の場合

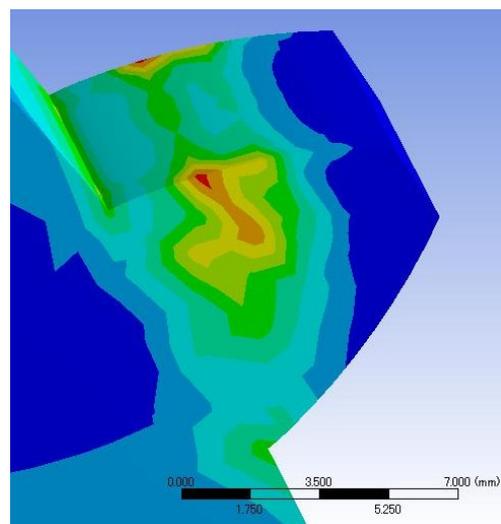


図 5 FEM 解析 (b)  $\mu = 0.1$  の場合

## 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4件)

- ① 笹田哲男、鈴木秀人、DLC/FPB複合表面改質処理によるマグネシウム合金の摩擦摩耗特性と疲労寿命の改善、表面技術、62巻、2号、121-126、2011、査読有
- ② 高岡徳義、三阪佳孝、川寄一博、鈴木秀人、超急速加熱高周波焼入れとDLC成膜との複合表面改質による摺動部品の高機能化、表面技術、61巻、11号、763-767、2010、査読有
- ③ 鈴木健一郎、曙紘之、鈴木秀人、マイクロディンプルによるメゾフック現象を用いたDLC被膜の摩擦係数制御、表面技術、59巻、9号、621-626、2008、査読有
- ④ 三尾淳、川口雅弘、青木才子、森河和雄、鈴木秀人、メタンプラズマを用いてイオン注入した高速度工具鋼の表面特性、表面技術、59巻、3号、185-189、2008、査読有

[学会発表] (計3件)

- ① Noriyoshi Takaoka、High Performance of Tribological Components by SRIQ/DLC Hybrid Surface Modification (SRIQ/DLC複合表面改質による摺動部品の高機能化)、2010 M&M International Symposium for Young Researchers、2010.3.1、California USA
- ② Sasada Tetsuo、Optimization of Tribological and Fatigue Characteristics for Magnesium Alloy with DLC/FPB Combined Surface Treatment (DLC/FPB複合表面改質によるMg合金の摩擦特性と疲労寿命の最適化)、The 4th Asian Conference on Heat Treatment and Surface Engineering、2009.10.29、Beijing, China
- ③ Kenichiro Suzuki、The control of friction coefficient of DLC coatings using micro-dimpled substrate(基板表面へのマイクロディンプル形成によるDLC被覆材料の摩擦係数制御)、World tribology Congress 2009、

2009.9.9、Kyoto JAPAN

[その他]

ホームページ等

<http://btl.dse.ibaraki.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

鈴木 秀人 (SUZUKI HIDETO)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：30090369

### (2)研究分担者

崎野 純子 (SAKINO JUNKO)

茨城大学・工学部・教務職員

研究者番号：40272116

### (3)研究協力者

野村 博郎 (HIROROU NOMURA)

松山技研(株)・技術開発室・室長

逢澤 俊勇 (TOSHIO AIZAWA)

(株)日立製作所・日立事業部・主任技師

三尾 淳 (ATSUSHI Mitsuo)

(独)東京都立産業技術研究センター・研究開発部第二部・主任研究員

鈴木 健一郎 (KENICHIRO SUZUKI)

茨城県警察本部・刑事部科学調査研究所・物理係研究員

笹田 哲男 (TETSUO SASADA)

(株)日立製作所・日立事業部・事業主管

高岡 徳義 (NORIYOSHI TAKAOKA)

高周波熱錬(株)・技術本部・研究員