

平成 22 年 5 月 3 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19760106

研究課題名 (和文) MCナイロン歯車ラッピングを施した浸炭焼入れ歯車の負荷能力

研究課題名 (英文) Surface durability of shot-peened carburized gears with MC-nylon gear lapping

研究代表者

森川 浩次 (MORIKAWA HIROSHI)

佐世保工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：90332098

研究成果の概要 (和文)：本研究では、浸炭焼入れ歯車を被加工歯車として、MC ナイロン歯車と砥粒を用いた歯車ラッピング加工を開発した。微粒子ショットピーニングを施した浸炭焼入れ歯車の歯面粗さを低減し、面圧強さを向上させることを目的とする。本研究により、浸炭焼入れ歯車の面圧強さに及ぼすラッピング加工の効果が明らかとなり、以下のような結果が得られた。ラッピング加工によって約  $4\mu\text{mRz}$  の歯面粗さを約  $1\mu\text{mRz}$  にまで低減できた。ラッピング加工によって歯面がわずかに除去されたが、ショットピーニングによって得られた高い硬さと圧縮残留応力はそれぞれ維持された。ラッピング加工で仕上げられたショットピーニング歯車の面圧強さは向上し、その耐久限は最大ヘルツ応力約  $2,200\text{MPa}$  となり、これはラッピング加工前の耐久限と比較して約 10% の向上となった。

研究成果の概要 (英文)：The gear-lapping process with a MC-nylon gear and abrasives for carburized gears was developed by the authors. In order to decrease the tooth flank roughness and improve the surface durability of carburized gears with fine particle shot-peening, the lapping process was applied. The surface durability of carburized gears was studied to clarify effects of the lapping process. The results show that the roughness of the tooth flanks decreased from about  $4\mu\text{mRz}$  by the shot-peening to about  $1\mu\text{mRz}$  during the lapping. The thin surface layer was removed during the lapping, but the hardness and compressive residual stress at tooth flank obtained by the shot-peening were kept, respectively. The surface durability of shot-peened gears finished with the lapping was improved. Its endurance limit was the maximum Hertzian pressure  $2,200\text{MPa}$  and was 10% higher than that of shot-peened gears.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	3,000,000	0	3,000,000
2008 年度	200,000	60,000	260,000
2009 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	150,000	3,650,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：分科：機械工学・設計工学 細目：機械機能要素、トライボロジー

キーワード：機械要素

### 1. 研究開始当初の背景

近年、省エネルギー化や環境負荷低減の観点から、歯車装置の省スペース化・軽量化設計が行われ、浸炭焼入れ歯車のさらなる負荷能力の向上が望まれている。また、機械に用いられている原動機の低騒音・低振動化技術の向上から、相対的に動力伝達用歯車装置の騒音・振動が問題視されている。

このような動向を受けて、研究代表者らは平行軸歯車・ハイポイドギヤを用いた運転試験、オーステンパ処理球状黒鉛鋳鉄・調質材を用いた二円筒試験など、歯車の負荷能力および騒音低減に関する基礎的な研究を行ってきた。

浸炭歯車における「負荷能力の向上」、「低騒音化・低振動化」という目標をクリアするには、熱処理（通常はガス浸炭）後の歯のひずみや浸炭異常層を除去し、歯面粗さを低減させる必要がある。特に、歯面粗さについては鏡面程度まで低減させることが要求されており、簡便で安価に加工できる新たな歯面仕上げ加工法のニーズがあった。このような背景を踏まえたうえで、研究代表者は本研究を実施するに至った。

### 2. 研究の目的

MC ナイロン歯車を用いたラッピング加工をショットピーニング浸炭焼入れ歯車に施すことで、その歯面粗さを低減し、負荷能力を向上させる。また、その歯面性状との因果関係を検討することで、高硬度歯車へのラッピング加工適用の指針を得ることを本研究の目的とした。

### 3. 研究の方法

まず、試作した歯車ラッピング加工機の調整を行うと同時に、歯切りから熱処理・歯面研削加工・ショットピーニングまでの試験歯車製作を行った。

本研究では、試験歯車としてSCM415 浸炭焼入れ歯車を用い、さらにショットピーニングを施した。その試験歯車諸元を表1に示す。

ホブ切り後の熱処理は、歯面硬さが750 HVとなるよう浸炭焼入れを行った。その後、歯面研削を行い、歯面粗さ $2\mu\text{m}Rz$ とした。以下、この歯車をG歯車と呼ぶこととする。表2参照。

G歯車に微粒子ショットピーニングを施した(以下、GS歯車)。ショットには平均粒径 $200\mu\text{m}$ の鋼球を用い、空圧で30秒間投射した。アークハイトは $0.160\text{mm}A$ 、目視カバレッジ100%以上とした。

次に、各種ラッピングパラメータを変化さ

せた加工試験によるラッピング適正加工条件の調査を行った。そしてラッピング加工後の歯面性状を考慮に入れた最適加工条件の検討を行った。

試験歯車のラッピングに用いたラッピング装置を図1に示す。各ラッピングパラメータを変化させてG歯車を加工し、その歯面性状から浸炭歯車に対するラッピング適正条件(表3)を求めた。この条件でGS歯車にラッピングを施した歯車をGSL歯車と呼ぶ。この歯面の一例を図2に示す。

最後に、最適ラッピング加工条件下で加工されたショットピーニング浸炭焼入れ歯車を試験歯車として、動力循環式歯車運転試験機を用いた運転試験を実施した。この運転試験を行うことにより、本研究で開発したラッピング技術が負荷能力に及ぼす影響についての調査・検討を行った。

表1 試験歯車諸元

	Driver	Follower
Tooth profile	Full depth tooth (Spur)	
Module m	4	
Pressure angle $\alpha_0$ [deg.]	20	
Number of teeth z	22	23
Face width b [mm]	10	7
Pitch circle diameter d [mm]	88	92
Coefficient of modification x	0.158	0.151
Amount of tip relief [ $\mu\text{m}$ ]	30 (at Tip)	

表2 用いた表面処理

	Tooth grinding	Shot-peening	Lapping
G gear	done	-	-
GS gear	done	done	-
GSL gear	done	done	done

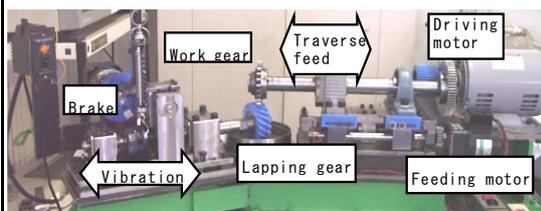


図1 ラッピング装置

表3 ラッピング適正条件

Abrasive grain	WA1000
Rotating speed of work gear [min <sup>-1</sup> ]	2000
Traverse feed rate [mm/min]	300
Stroke of work gear [mm]	10
Lapping load [N]	3.8
Number of strokes [-]	4
Frequency of vibration [Hz]	88
Stroke of vibration [mm]	0.7

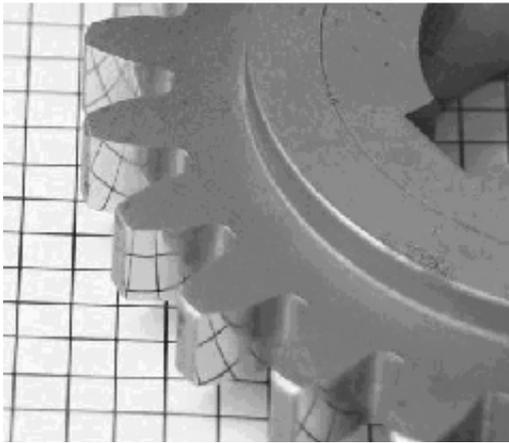


図2 ラッピング後の歯面

#### 4. 研究成果

以下に、本研究で得られた研究成果を記し、最後にまとめを示す。

GS および GSL 歯車歯面を図3に示す。研削歯面に微粒子ショットピーニングを施したGS歯車歯面(同図a)は、ラッピングによってほぼ鏡面に仕上がっている(同図b)。この歯車の歯形方向歯面粗さを測定したところ、図4(a)、(b)に示すように  $3.9\mu\text{m Rz}$  から  $0.9\mu\text{m Rz}$  まで低減できることが明らかとなった。

またラッピング前後における歯形・歯すじ形状の変化を図5に示す。歯面研削によってGS歯車では歯形・歯すじ誤差とも良好に仕上がっている。ラッピングを施したGSL歯車においても、ラッピングによって歯形・歯すじ誤差は悪化することなく、良好な形状が維持できている。

歯面はラッピング工程で遊離砥粒を用いてわずかに除去される。そのためショットピーニングで得られた高い歯面硬さ、歯面における圧縮残留応力の低下が懸念される。しかし、図6に示す硬さ分布の変化によると、歯面硬さはラッピング後も低下していな

い。また、図7にX線回折法を用いて測定した圧縮残留応力の変化を示す。測定上の誤差を考慮すると、GSL歯車の圧縮残留応力はGS歯車の場合と同等またはそれ以上得られていることがわかる。

運転試験には一部改良したFZG動力循環式歯車運転試験機(図8)を用いた。試験条件は駆動歯車回転数を  $1900\text{min}^{-1}$  とし、潤滑油は粘度  $32\text{mm}^2/\text{s}$  ( $40^\circ\text{C}$ )のタービン油基油を用い、油温を  $45\pm 5^\circ\text{C}$  に保持した。運転試験中には、摩耗量・ピッチング面積率・歯面粗さ・歯形・歯すじ形状を適時測定し、駆動歯車繰返し数  $N_D=1\times 10^7$  まで試験を行った。さらに試験前後で歯面硬さおよび歯面における残留応力を測定した。

GS歯車とGSL歯車を用いて、最大ヘルツ応力  $\sigma_H=2000\sim 2250\text{MPa}$  の下で運転試験を行い、疲労寿命を判断するため、各種測定結果を分析した。以下は、GS歯車とGSL歯車の歯面損傷の違いが顕著に現れた  $\sigma_H=2100\text{MPa}$  における疲労寿命についての考察である。

前出の図3(c)(d)は、試験後( $N_D=1\times 10^7$ 時)の歯面の様子を示す。GS歯車にはスポーリングが発生しているが、GSL歯車にはほとんど損傷は見られない。試験前後の歯面粗さの変化を示す図4(c)を見ると、GS歯車歯面にはスポーリングが発生したため、歯面粗さの著しい増大が見られる。しかし、図4(d)のGSL歯車では試験前後における歯面粗さの増大は見られない。

歯面性状の変化だけでなく、繰返し数による摩耗量およびピッチング面積率の推移などを考慮し、各試験歯車の疲労寿命をまとめると図9になる。

この図を見ると、G歯車の耐久限は  $\sigma_H=1800\text{MPa}$  であるのに対し、GS歯車の耐久限は  $\sigma_H=2000\text{MPa}$  となり、 $200\text{MPa}$  増加している。これは、ショットピーニングで得られた歯面硬さの増加および圧縮残留応力の付与によって、疲労き裂の発生・進展が妨げられたためと考えられる。

さらにラッピングを施したGSL歯車の耐久限は  $\sigma_H=2200\text{MPa}$  となり、GS歯車よりも約10%増加している。これは、高い歯面硬さと圧縮残留応力を維持しつつ、ショットピーニング後の増大した歯面粗さがラッピングによって低減できたため、耐久限が向上したと考えられる。

以上の運転試験結果から、SCM415鋼浸炭焼入れ歯車に微粒子ショット

ピーニングを施し、さらに歯面粗さ低減の目的でラッピングを施すと、耐久限が向上することが明らかとなった。

まとめ

(1) ラッピング加工によって歯面粗さを約  $4\mu\text{m}R_z$  から約  $1\mu\text{m}R_z$  にまで低減できた。

(2) ラッピング加工による歯面除去後も高い歯面硬さと圧縮残留応力を維持できた。

(3) ラッピング加工前に比べて加工後の耐久限を最大ヘルツ応力約  $2200\text{MPa}$  (約 10% 向上) にまで向上できた。

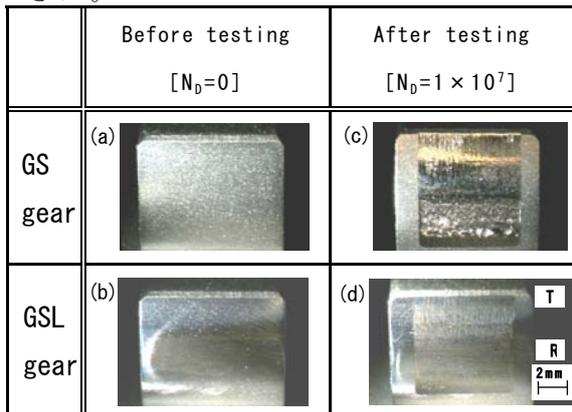


図3 歯面の様子

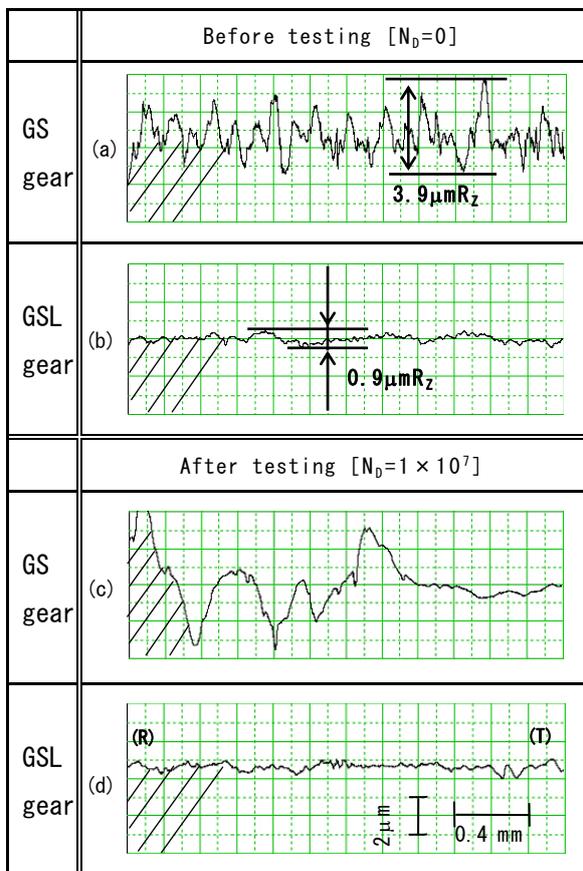


図4 歯面粗さ

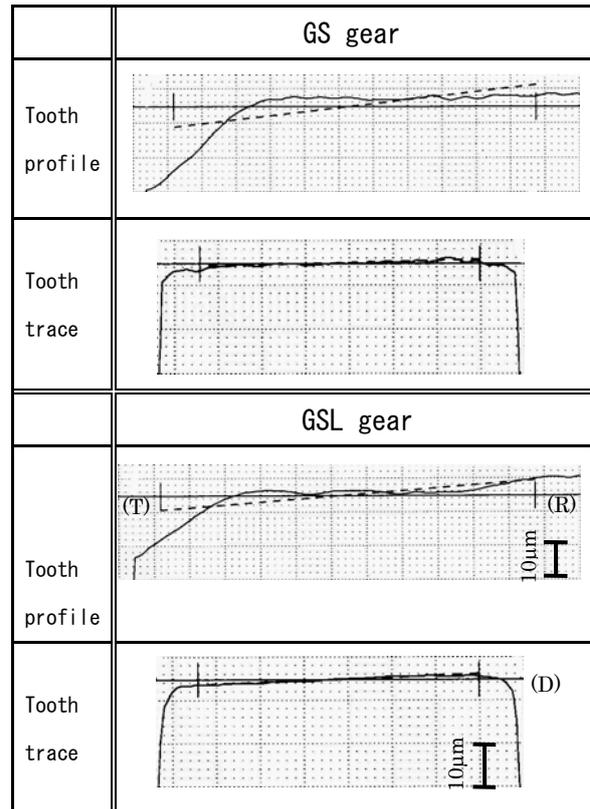


図5 歯形・歯すじ誤差

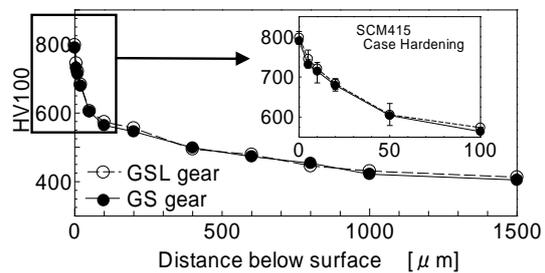


図6 歯面近傍の硬さ分布

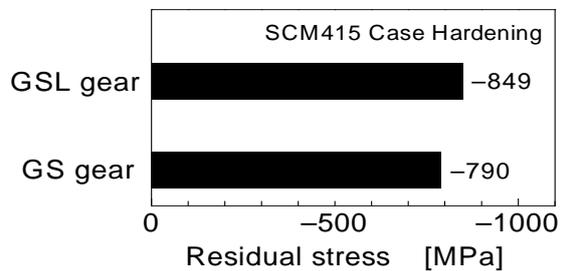


図7 歯面における残留応力

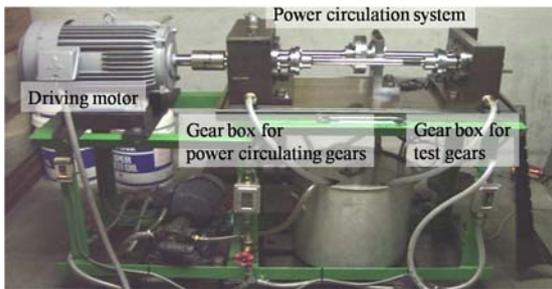


図8 動力循環式歯車運転試験機

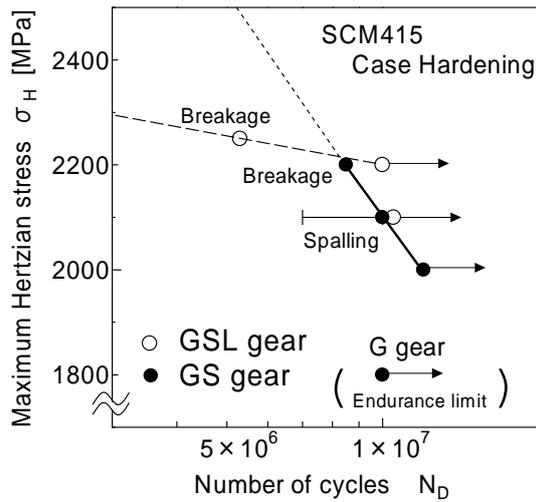


図9 ラッピングが負荷能力に及ぼす影響

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計1件）

Hiroshi Morikawa, and Masahiko Nakae, "Application and effect of the gear-lapping for shot-peened carburized gears", The JSME International Conference on Motion and Power Transmissions, Sendai, Japan, (May 2009), pp.323-328.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

森川 浩次 (MORIKAWA HIROSHI)

佐世保工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：90332098