

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 23 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05763

研究課題名(和文) 環境負荷低減を目指した焼結金属歯車の高強度化

研究課題名(英文) Improvement of strength of sintered metal gear for environmental load reduction

研究代表者

小出 隆夫 (KOIDE, Takao)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：60127446

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、焼結歯車の高強度化により、動力伝達用歯車製造時の環境負荷低減を目指すものである。本研究では、各種表面転造浸炭焼入れ焼結金属歯車を製作して運転試験を行い、荷重伝達能力を調べた。その結果、焼結材料を動力伝達用歯車用材料として使用するためには、密度7.3 g/cm³程度以上の低合金焼結材料を用いて、歯形形状を最適化した転造工具により歯表面の転造を行うことが有効であることを明らかにし、動力伝達用歯車製造に関わる大幅な環境負荷低減ができる可能性があることを示した。

研究成果の概要(英文)：This research aims at reducing the environmental load for manufacturing power transmission gears by increasing the strength of sintered metal gears. In this study, we fabricated various surface-rolled case-carburized and quenched sintered metal gears, tested the operation, and investigated the load carrying capacity. The load carrying capacity was compared with the results for case-carburized and quenched wrought steel gears. As a result, in order to use the sintered material as a power transmission gear material, it is necessary to use a low alloy sintered material having a density of about 7.3 g/cm³ or more, and to form the tooth surface with a rolling tool optimized tooth profile. It is determined that the surface-rolling is effective and showed that there is a possibility of great reduction of environmental load related to manufacturing power transmission gears.

研究分野：機械要素

キーワード：歯車 焼結金属 表面転造 曲げ疲労強度 歯面強度

1. 研究開始当初の背景

国内、海外のいずれにおいても、環境負荷低減が要求されている。種々の機械装置の動力伝達用歯車は一般に、溶製材を用い、表面硬化された高強度歯車が使用され、それらの生産は粗加工 歯切り(ホブ切り) シューピング 表面熱処理 仕上げ加工 歯面仕上げ(歯面研削)という多数の工程よりなる。これらの歯車の材料として焼結材料を用いると、ニヤネットシェーブが可能のため、加工工程を容易に短縮でき、環境負荷低減(材料、加工エネルギーの削減、加工能率増大)が可能になると考えられる。しかし、焼結材料には空孔が存在するため、溶製材よりも強度が低いと考えられており、焼結材料を動力伝達用歯車用材として使用するためには、高強度化する必要がある。本研究は、最近開発された高密度焼結材料と表面転造技術を組み合わせることで焼結歯車の高強度化を図り、現在自動車のトランスミッションなどに使われている動力伝達用歯車の焼結歯車への代替を可能にして、動力伝達用歯車製造に関わる環境負荷低減を目的とするものである。

2. 研究の目的

新しく開発された高密度焼結材料で製作した歯車に各種表面転造を施し、これらの歯車の空孔率分布、硬さ分布を調べることにより、強度増強ができると思われる程度の深さまで転造の効果が現れる転造条件(最適転造条件)を明らかにする。表面転造には転造後の歯形、歯すじ形状を考慮して設計した工具(過去の研究で製作済み)を使用する。また、これらの歯車の荷重伝達能力とそれに及ぼす表面転造の影響について明らかにする。パルセータ試験、運転試験を行い、高密度焼結金属歯車の曲げ疲労強度、荷重伝達能力とこれらに及ぼす表面転造の影響について明らかにする。さらに、これらの実験結果に基づいて、高密度焼結材で製作した歯車の強度に及ぼす表面転造の効果を定量的に明らかにし、浸炭焼入れ溶製材歯車に匹敵する荷重伝達能力(曲げ疲労強度で 1GPa、面圧疲労強度で 1.8~2GPa 程度)を有する焼結歯車の開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 各種表面転造を施した高密度焼結歯車の製作

新しく開発された高密度焼結材料を用いて疲労試験に使用する歯車を製作する。歯車は、焼結円板をホブ切りし、歯元部を含む歯表面に対して表面転造を行った後、浸炭焼入れ、歯面研削を行う。転造量を種々変えて、各種強度に及ぼす表面転造の影響を調べることができる試験歯車を製作する。

(2) 空孔率分布、硬さ分布の測定

試験歯車を切断し、断面の写真撮影を行っ

て、各種転造量で転造した歯車の空孔写真の撮影を行い、空孔写真から空孔率分布を測定する。また断面の硬さ測定を行って、硬さ分布を調べる。これらの結果に基づき、表面転造条件と転造の効果が現れる表面からの深さの関係を明らかにする。

(3) 疲労試験

曲げ疲労試験 上記(1)で製作した歯車に対してパルセータ試験を行って曲げ疲労強度を調べ、曲げ疲労強度に及ぼす表面転造の影響について明らかにするとともに、上記(2)の結果に基づいて表面転造による曲げ疲労強度向上のメカニズムを検討する。

運転試験 上記(1)で製作した歯車の運転試験を行い、焼結金属歯車の損傷形態を明らかにするとともに、荷重伝達能力に及ぼす表面転造の影響について明らかにし、上記(2)の結果に基づいて表面転造による強度向上のメカニズムについて検討する。

(4) 低密度焼結金属歯車に対するパルセータ試験、運転試験

高密度焼結金属は一般的な焼結金属歯車に比べて成形圧力が高く、製品を金型から取り外す際に、加圧成型時に蓄えられた応力が開放され、製品が弾性変形して破損してしまうことがある。そこで 7.2~7.3g/cm³ 程度の低密度で製作した焼結金属歯車に対して表面転造、ショットピーニングを施し、パルセータ試験、運転試験を行って低密度焼結金属歯車の荷重伝達能力を明らかにする。

(5) 低合金焼結金属歯車に対するパルセータ試験、運転試験

従来の高強度焼結金属に多く含まれている合金成分は高価であり大幅な価格変動が起こるため、焼結歯車に対して低合金化の要求が高まっている。ここでは、低合金焼結金属歯車に対してパルセータ試験、運転試験を行って荷重伝達能力を明らかにし、従来の高合金焼結金属歯車の強度と比較検討する。

(6) 歯研レス焼結金属歯車に対する運転試験

焼結金属歯車の実用化を目指すため、浸炭焼入れによる変形を考慮した歯面転造工具を用いて歯研レス表面転造浸炭焼入れ焼結金属歯車を製作し、運転試験を行って、研削焼結金属歯車、溶製材歯車の強度と比較検討を行い、実用化の可能性について検討する。

4. 研究成果

(1) 各種表面転造を施した高密度焼結歯車の製作

新しく開発された焼結材料(密度 7.4, 7.5g/cm³)を用いて疲労試験に使用する歯車を製作した。歯車は、焼結円板をホブ切りし、浸炭焼入れ、歯面研削を行ったものと、ホブ

切り後表面転造あるいは各種ショットピーニングを行って、浸炭焼入れ、歯面研削を行ったものを製作した。

(2) 空孔率分布、硬さ分布の測定

試験歯車を切断し、断面の写真撮影を行って、焼結まま歯車、表面転造歯車、ショットピーニング歯車の空孔写真の撮影を行い、空孔写真から空孔率分布を測定した。また断面の硬さ測定を行って、硬さ分布を測定した。これらの結果に基づき、表面転造、ショットピーニングが表面近傍の空孔率分布に及ぼす影響、転造、ショットピーニングの効果が現れる表面からの深さの関係を明らかにした。

(3) 疲労試験

曲げ疲労試験 上記(1)で製作した歯車に対してパルセータ試験を行って曲げ疲労強度を調べた。結果を図 1, 2 に示す。記号中の数字が密度を表し、A, B, W はショットピーニングを、R は表面転造を行ったことを示す。密度 7.5g/cm³ の歯車では、焼結ままでも溶製材浸炭焼入れ歯車に匹敵する曲げ疲労強度を有するが、7.4g/cm³ 歯車では強度が不足すること、いずれの歯車も表面転造、ショットピーニングによって溶製材歯車と同等以上の強度が得られることを示した。

運転試験 上記(1)で製作した歯車の運転試験を行った。結果を図 3, 4 に示す。歯車記号は図 1, 2 と同様である。焼結金属歯車の損傷形態はピッチングが支配的であっ

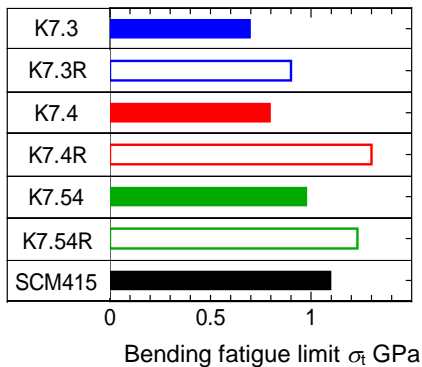


図 1 曲げ疲労強度に及ぼす表面転造の影響

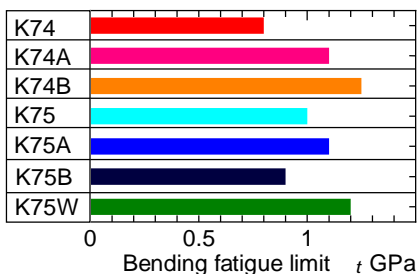


図 2 曲げ疲労強度に及ぼすショットピーニングの影響

た。密度 7.4, 7.5g/cm³ の焼結まま歯車の面圧強度は溶製材歯車の場合よりも低いが、表面転造あるいはショットピーニングを施すことにより、溶製材歯車に匹敵する強度が得られることを示した。

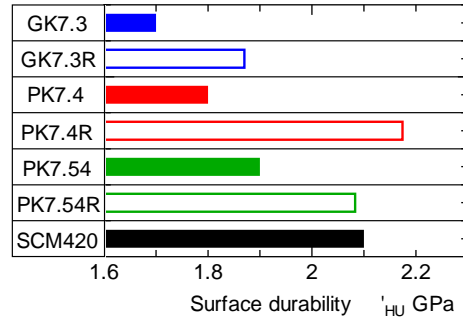


図 3 歯面強度に及ぼす表面転造の影響

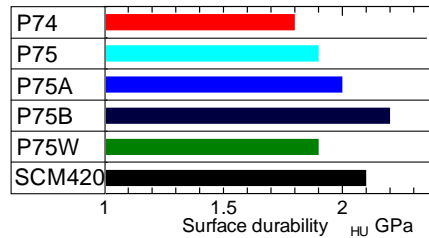


図 4 歯面強度に及ぼすショットピーニングの影響

(4) 低密度焼結金属歯車に対するパルセータ試験、運転試験

7.2~7.3g/cm³ 程度の低密度で製作した焼結金属歯車に対して表面転造を施し、曲げ疲労試験、運転試験を行って低密度浸炭焼入れ焼結金属歯車の荷重伝達能力を明らかにした。図 5, 6 は、それぞれ低密度低合金焼結金属歯車の曲げ疲労強度、歯面強度を示す。図 1~6 より、曲げ疲労強度は、母材の密度が低くても歯面に表面転造を施すことにより、一般に良く用いられる溶製材浸炭焼入れ歯車と同程度になることが分かった。また、歯面強度に関しては、密度 7.3g/cm³ 程度以上の歯車では歯面に表面転造を施すことにより溶製材浸炭焼入れ歯車と同程度になったが、密度 7.2g/cm³ の歯車では表面転造を施しても溶製材浸炭焼入れ歯車よりはやや低いことが分かった。

(5) 低合金焼結金属歯車に対するパルセータ試験、運転試験

低合金焼結金属歯車に対してパルセータ試験、運転試験を行って荷重伝達能力を明らかにした。結果を図 5, 6 に示した。曲げ疲労強度は、母材の密度が 7.2g/cm³ 程度以上の歯車に表面転造を施すことにより溶製材浸炭焼入れ歯車と同程度になるが、歯面強度に関しては、密度 7.3g/cm³ 以上の歯車に表面転造を施す必要があることが分かった。

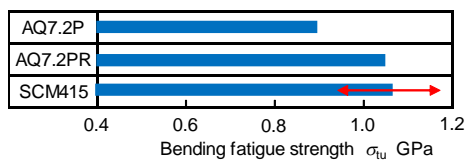


図5 低密度低合金焼結歯車の曲げ疲労強度

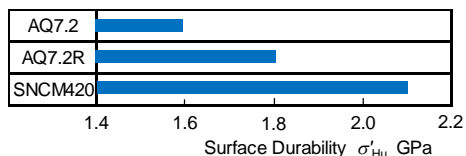


図6 低密度低合金焼結歯車の歯面強度

(6) 歯研レス焼結金属歯車に対する運転試験

焼結金属歯車の実用化を目指すため、歯研レス焼結金属歯車を製作し、運転試験を行って、研削焼結金属歯車、溶製材歯車の強度と比較検討を行い、実用化の可能性について検討した。当初製作した歯車では、歯面研削歯車と歯研レス歯車の荷重伝達能力（歯面強度）は同程度であった。これは歯車の歯形、歯すじ形状が、浸炭焼入れによって好ましい歯面修整形状になっていたためであると考えられた。このため、浸炭焼入れによる変形を考慮した歯面転造工具を用いて、新たに歯研レス表面転造浸炭焼入れ焼結金属歯車を製作し、運転試験を行った。図7は、得られた歯面強度を比較して示す。図7中、P7.5Rは表面転造を行ったままの歯車、P7.5RGは表面転造後歯面研削を行った歯車を示す。図7より、浸炭焼入れ後の歯面形状が適切になるような表面転造を行うことによって、必ずしも歯面研削を行わなくても研削歯車と同程度の歯面強度を得ることができると分かった。

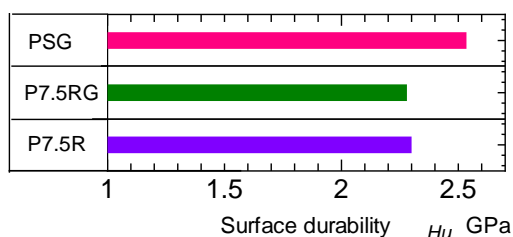


図7 歯研レス焼結金属歯車の歯面強度

以上の結果より、焼結材料を動力伝達用歯車用材料として使用するためには、密度 7.3 g/cm^3 程度以上の低合金焼結材料を用いて、歯形形状を最適化した転造工具により歯表面の転造を行うことにより、現在動力伝達用として用いられている溶製材浸炭焼入れ歯車と同程度の荷重伝達能力を有する歯車を低コストで製造することができるようになり、大幅な環境負荷低減が達成できるものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計4件)

藤山隼輔, 小出隆夫, 本宮潤一, 田村篤敬, 竹増光家, 西田 智, 谷口祐司, 歯面研削を施さない表面転造焼結金属歯車の荷重伝達能力, 日本機械学会中国四国支部第56期総会・講演会, 2018年3月7日, 徳島大学常三島キャンパス

Junichi Hongu, Takao Koide, Teruie Takemasu, Atsutaka Tamura, Takaaki Yasugi, Norimitsu Hirose, Fatigue strength of lean alloyed sintered metal gears with surface-rolling, The 7th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, April 19-22, 2017, RAMADA PLAZA JEJU HOTEL, JEJU, KOREA

小出隆夫, 竹増光家, 田村篤敬, 安木崇朗, 廣瀬徳豊, 低合金焼結金属歯車の疲労強度, 日本機械学会 2016年度年次大会, 2016年9月11~14日, 九州大学伊都キャンパス

安木崇朗, 小出隆夫, 竹増光家, 田村篤敬, 西田智, 焼結金属歯車の疲労強度に及ぼす密度とショットピーニングの影響, 日本機械学会中国四国支部第54期総会・講演会, 2016年3月9日, 愛媛大学城北キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小出 隆夫 (KOIDE, Takao)
鳥取大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 60127446

(2) 研究分担者

田村 篤敬 (TAMURA, Atsutaka)
鳥取大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 30394836

本宮 潤一 (HONGU, Junichi)
鳥取大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 80781690