

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560161

研究課題名(和文) 複雑構造薄肉はすば歯車の強度設計法

研究課題名(英文) Bending Strength Design of Thin-Rimmed Helical Gears with Various Web Arrangements

研究代表者

宮近 幸逸 (MIYACHIKA, Kouitsu)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30157664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：薄肉ウェブ構造はすば歯車に対して、まず歯元応力測定を行い、かみ合いの進行にともなう歯元応力の変化、最大歯元応力と最悪かみ合い位置に及ぼすリム・ウェブ厚さおよびウェブ構造の影響について明らかにし、次に最悪かみ合い位置でかみ合わせて曲げ疲労試験を行い、曲げ疲労強度を求めた。その結果、以下の点が明らかになった。(1)最悪かみ合い位置は、ねじれ角が小さい場合は、外の一組かみ合い点付近に、ねじれ角が大きい場合には、かみ合い始め側の歯幅端のピッチ点から少し歯元に戻ったかみ合い点になる。(2)曲げ疲労強度は、薄肉ウェブ構造になるとウェブ構造の影響は小さく、また、ねじれ角の影響も歯元応力の変化に比べて小さい。

研究成果の概要(英文)：Root stresses of thin-rimmed helical gears with web arrangement were measured, and then effects of rim and web thicknesses and web structure on root stress in meshing process, the maximum root stress and the worst meshing position were determined. Bending fatigue tests were carried out for the thin-rimmed helical gear meshed at the worst meshing position, and then S-N curves and bending fatigue limit loads were obtained. The main results obtained are summarized as follows. (1) The worst meshing position of thin-rimmed helical gear is near the outer point of single tooth pair contact in the case of small helix angle and is the backward position a little from the pitch point of the end of face width of leading side in the case of large helix angle. (2) The bending fatigue strength of thin-rimmed helical gear has not a influence of web position in the case of thin rim and web, and the effect of helix angle is also considerably small compared with the case of root stress.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：はすば歯車 歯元応力 曲げ疲労強度 薄肉構造 機械要素 ねじれ角 かみ合い率 リム・ウェブ厚さ

1. 研究開始当初の背景

はすば歯車は、平歯車に比べてかみ合い線（一对の歯の接触線）が、軸に対して傾いているため、かみ合い率を大きくとることができ、動荷重が小さく、また振動・騒音も小さくできるなどの多くの利点を有するため、自動車を始め多くの産業用機械の動力伝達装置に用いられている。近年、地球環境における CO₂ 削減の推進とこれらの動力伝達装置の軽量化や高速化にともない、リム厚さ（歯の基礎部）が薄く、薄いウェブ部（歯幅よりも幅の狭い歯元部とボス部を接続する部分）を有する薄肉ウェブ構造はすば歯車が広く採用されている。しかし、それらの歯元曲げ強度設計は、厚肉はすば歯車の歯元応力計算法に基づいて行われているため、当初の軽量化が十分に達成できていない。このため、より精密な歯元曲げ強度設計法の確立が強く望まれている。

はすば歯車の歯対のかみ合い線は、歯車軸に平行な平歯車の場合とは異なり、歯車軸に対して傾いている。このため、薄肉ウェブ構造はすば歯車の歯元応力は、薄肉ウェブ構造平歯車の場合と大きく異なり、また、厚肉はすば歯車の場合とも大きく異なるので、はすば歯車の薄肉化をはかるための強度設計に厚肉はすば歯車の設計法を適用することは、きわめて厳しい結果につながる事が予想される。

研究代表者は、1982年より、「薄肉歯車の曲げ強度に関する研究」を開始し、薄肉平歯車（外・内歯車）の歯元応力と曲げ疲労強度について、有限要素法による歯元応力計算、歯元応力測定、熱処理シミュレーションによる焼入れ過程の温度・応力、硬化層と残留応力計算および曲げ疲労試験を行って、歯元応力に及ぼすリム・ウェブ厚さの影響、熱処理による残留応力と硬化層に及ぼす焼入れ条件、リム・ウェブ厚さの影響、曲げ疲労強度に及ぼす焼入れ条件、リム・ウェブ厚さの影響について明らかにし、熱処理された高負荷用平歯車の曲げ疲労強度の最適化について多くの設計資料を提示し、薄肉平歯車の曲げ強度設計法について明らかにしている。

最近、浸炭焼入れはすば歯車の熱処理シミュレーションと曲げ疲労試験を行って、歯元応力と曲げ疲労強度・き裂伝ばに及ぼす硬化層深さ、浸炭部およびねじれ角の影響について詳細に検討し、結果を国際会議にて公表したところ、この種のデータの必要性和重要性を ISO 規格作成の観点（海外の研究者）よりご指摘いただき、より広いねじれ角の範囲まで継続して研究を行うよう依頼された。はすば歯車の曲げ強度に関する研究の必要性の認識をますます強くすることができた。

2. 研究の目的

本研究では自動車をはじめ船舶、建設機械ならびに多くの産業機械に用いられる変速装置の小形化・軽量化・高速化のために用い

られる薄肉はすば歯車を対象として、まず種々のリム厚さ・ウェブ厚さの薄肉対称・非対称ウェブ構造はすば外・内歯車対の静的負荷かみ合い試験を行って、かみ合いの進行にともなう歯元応力の変化を求め、最悪かみ合い位置（最大歯元応力の発生するかみ合い位置）について明らかにし、歯元応力に及ぼすリム・ウェブ厚さおよびウェブ位置の影響について明らかにする。次に、浸炭焼入れ薄肉ウェブ構造はすば外・内歯車の熱処理シミュレーションを行って、残留応力に及ぼすリム・ウェブ厚さおよびウェブ位置の影響などについて明らかにする。さらに、種々の薄肉ウェブ構造はすば歯車の曲げ疲労試験を行って、曲げ疲労強度に及ぼすリム・ウェブ厚さおよびウェブ位置の影響についても明らかにする。これらの歯元応力、残留応力および曲げ疲労強度に対する結果を総合して、環境対応型省エネルギー変速機用薄肉はすば歯車の曲げ強度設計法を確立することを目的としている。

3. 研究の方法

次のような項目について実験を行って検討した。

- (1) はすば歯車の歯あたり調整法の開発。
- (2) 同一かみ合い状態で、薄肉の影響のみを取出すことができる歯車形状の工夫。
- (3) ねじれ角 $\beta_0=20^\circ$ の薄肉対称ウェブ構造はすば歯車のかみ合いの進行にともなう歯元応力の変化、最大歯元応力、最悪かみ合い位置に及ぼすリム・ウェブ厚さの影響。
- (4) $\beta_0=20^\circ$ の薄肉非対称ウェブ構造はすば歯車のかみ合いの進行にともなう歯元応力の変化、最大歯元応力、最悪かみ合い位置に及ぼすリム・ウェブ厚さの影響。
- (5) $\beta_0=10, 30^\circ$ の薄肉ウェブ構造はすば歯車の最大歯元応力、最悪かみ合い位置に及ぼすリム・ウェブ厚さの影響。
- (6) 薄肉ウェブ構造はすば歯車の最大歯元応力、最悪かみ合い位置に及ぼすねじれ角およびウェブ構造の影響。
- (7) $\beta_0=20^\circ$ の薄肉ウェブ構造はすば歯車の曲げ疲労強度に及ぼすリム・ウェブ厚さおよびウェブ構造の影響。
- (8) 薄肉ウェブ構造はすば歯車の曲げ疲労強度に及ぼすねじれ角およびウェブ構造の影響。

4. 研究成果

本研究において得られた主な結果を要約すると次のようになる。

- (1) 薄肉ウェブ構造はすば歯車（駆動歯車）の場合には、リム部の変形量が大きくなるため、かみ合い始めよりもかなり前から、かみ合い始め側の歯幅端から歯幅中央の広い範囲にわたって応力が生じるが、反対側の歯幅端の歯元にはほとんど生じない。また、両歯幅端のリム厚さが薄いため、厚肉歯車の場合

に比べて両歯幅端の応力が大きくなる。

(2) 薄肉ウェブ構造はすば歯車(ねじれ角 $\beta_0=20^\circ$)の最大歯元応力が発生するかみ合い位置(最悪かみ合い位置)は,ピッチ点から少し戻った(約 $1\sim 2^\circ$)かみ合い位置になる。

(3) 薄肉非対称ウェブ構造はすば歯車のウェブ側(鋭角側,歯面と側面のなす角が鋭角になる)の歯幅端の最大歯元応力 $\sigma_{\max. (A. side)}$ は,反ウェブ側(鈍角側)の歯幅端の最大歯元応力 $\sigma_{\max. (Ob. side)}$ よりも大きく, $\sigma_{\max. (A. side)}$ は,リム厚さ l_w ,ウェブ厚さ b_w の厚さの減少とともに増大するのに対し, $\sigma_{\max. (Ob. side)}$ は,逆に減少する。

(4) 薄肉ウェブ構造はすば歯車では($\beta_0=20^\circ$), $l_w=2m_n$ (m_n :歯直角モジュール), $b_w/b=0.25$ の場合には, $\sigma_{\max.}/(\sigma_{\max.})_{solid}$ は,対称ウェブでは1.08,非対称ウェブでは1.27, $l_w=1.5m_n$, $b_w/b=0.25$ の場合には, $\sigma_{\max.}/(\sigma_{\max.})_{solid}$ は,対称ウェブでは1.37,非対称ウェブでは1.96とかなり大きくなるので,歯の曲げ強度設計において注意を要する。

(5) 薄肉ウェブ構造はすば歯車の最悪かみ合い位置は,対称ウェブ構造の場合には, $\beta_0=10^\circ$ では,かみ合い始め側の歯幅端の外の一組かみ合い点付近に,リム・ウェブ厚さが薄くなると歯幅中央の外の一組かみ合い点より少し歯先に移動した点に, $\beta_0=20^\circ$ では,かみ合い始め側の歯幅端のピッチ点から少し歯元に戻った点に, $\beta_0=30^\circ$ では,歯幅中央の外の一組かみ合い点より少し歯先に移動した点になる。非対称ウェブ構造の場合には, $\beta_0=10^\circ$ では,かみ合い始め側(ウェブ側)の歯幅端の外の一組かみ合い点付近に, $\beta_0=20^\circ$ では,かみ合い始め側の歯幅端のピッチ点から少し歯元に戻った点に, $\beta_0=30^\circ$ では,かみ合い始め側の歯幅端のピッチ点とより少し歯元に戻った点になる。

(6) 最大歯元応力は,対称,非対称いずれの場合も, $\beta_0=10^\circ$ が最も大きく, $\beta_0=20$ と 30° ではほぼ同じである。また,対称より非対称の場合のほうが大きい。

(7) 本研究で用いたような薄肉ウェブ構造はすば歯車の曲げ疲労強度は,ウェブ構造の影響は小さく,また,ねじれ角の影響も歯元応力の場合に比べて小さい。これは,はすば歯車特有のかみ合い状態が生じ,平歯車で生じやすい片あたりが生じにくく,このことと薄肉ウェブ構造による柔構造などが,強度低下防止に有効になると思われる。

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 6 件)

Kouitsu Miyachika and Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris, Effects of Helix Angle on Root Stresses of Thin-Rimmed Helical Gears with Various Web Arrangements, Proc. of ASME

2013 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, 査読有, 2013, DETC2013-12853 on CD-ROM.

Kouitsu Miyachika, Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris, S. Oda and Kazuaki Ando, Root Stress and Bending Fatigue Strength of Thin-Rimmed Helical Gears with Web Arrangement, International Conference on Gears VDI-Berichte 2119, 査読有, Vol. 1, 2013, pp.609-620.

Kouitsu Miyachika, Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris, Root Stresses of Thin-Rimmed Helical Gears with Web Arrangement, Proc. of The 2nd Asian Conference and Mechanisms and Machine Science (ASIAN-NMS2012), 査読有, 2012, ID119 on CD-ROM.

Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris, Kouitsu Miyachika and Takao Koide, Effects of Rim and Web Thicknesses on Root Stresses of Thin-Rimmed Helical Gears with Web Arrangement, Proc. of the 4th Joint Symposium Mechanical and Materials Engineering between Northeastern University, Dalian University and Tottori University, 2012, pp.113-119.

宮近幸逸, Daing Mohamad Nafiz Bin daing Idris, 小出隆夫, Imaduddin Hermi Bin Wan Nordin, 安藤和彰, 薄肉はすば歯車の歯元応力に及ぼすリム・ウェブ厚さの影響, 日本機械学会論文集(C編), 査読有, 第77巻, 775号, 2012, 597-603頁。

Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris, Kouitsu Miyachika, Imaduddin Hermi Bin Wan Nordin and Takao Koide, Root Stresses of Thin-Rimmed Helical Gears with Asymmetric Web Arrangement, Proc. of 4th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, No.28, 2011, pp.23-24.

[学会発表](計 7 件)

宮近幸逸, Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris, 浅野隆宏, 小野勇一, 薄肉ウェブ構造はすば歯車の曲げ疲労強度に及ぼすねじれ角の影響, 日本機械学会第14回機素潤滑設計部門講演会, 平成26年4月21日, 信州松代ロイヤルホテル。

宮近幸逸, Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris, 浅野隆宏, 小野勇一, 薄肉ウェブ構造はすば歯車の歯元応力と伝達トルクに及ぼすねじれ角の影響, 日本機械学会中国四国支部第52期総会・講演会, 平成26年3月7日, 鳥取大学。

宮近幸逸, ダインモハマドナフィズビン
ダインイドリス, 薄肉ウェブ構造はすば
歯車の歯元応力に及ぼすウェブ構造およ
びねじれ角の影響, 日本機械学会
MPT2013 シンポジウム(伝動装置), 平
成 25 年 11 月 16-18 日, 宮日会館(宮崎).
宮近幸逸, ダインモハマドナフィズビン
ダインイドリス, 薄肉ウェブ構造はすば
歯車の歯元応力と曲げ疲労強度に及ぼす
リム・ウェブ厚さの影響, 日本機械学会
2013 年度年次大会, 平成 25 年 9 月 10-13
日, 岡山大学.

Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris
and Kouitsu Miyachika, Effects of
Helix Angle on Root Stresses of Thin-
Rimmed helical Gears (Cases of $\beta_0=10$
and 20°), Proc. of 5th International
Conference on Manufacturing, Ma-
chine Design and Tribology, May 22-25,
2013, Busan (Korea).

Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris,
宮近幸逸, 小出隆夫, 薄肉対称ウェブ構
造はすば歯車の歯元応力と曲げ疲労強度
に及ぼすリム・ウェブ厚さの影響, 日本
機械学会第 12 回機素潤滑設計部門講演
会, 平成 24 年 4 月 23-24 日, 愛媛県民
会館.

Daing Mohamad Nafiz Bin Daing Idris,
宮近幸逸, 菱川浩平, 薄肉ウェブ構造は
すば歯車の歯元応力に及ぼすねじれ角の
影響, 日本設計工学会, 平成 23 年 6 月 3
日, 広島工業大学(広島市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮近幸逸 (MIYACHIKA Kouitsu)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号: 30157664

(2) 研究分担者

小出隆夫 (KOIDE Takao)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号: 60127446

(3) 連携研究者

(なし)

研究者番号: