

K11200

動力伝達用歯車の歯面強さ向上を目的とした材料と加工法の開発について\*  
(所属の大学研究室で得られた実験結果)

中西 勉\*<sup>1</sup>

Developments of Material and Manufacturing Method for Increasing Surface Durability  
of the Power Transmission Gears\*  
(Experimental Results Obtained at the University Laboratory)

Tsutomu NAKANISHI \*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> University of Miyazaki, Faculty of Engineering  
Gakuen Kibanadai-nishi 1-1, Miyazaki-shi, Miyazaki 889-2192 Japan

In order to meet the social demands for environmental protection and resource conservation, it is necessary to improve the load-carrying capacity of power transmission gears and to make the gears lightweight. From the standpoint of these requests, not only the gear materials but also the gear manufacturing methods including heat treatment are required to study. First, the phenomena of gear failure for the through-hardened gears and the surface-hardened gears were summarized. Secondly, the allowable contact stress numbers for gear material and the roughness factors in calculation of surface durability (pitting) of spur and helical gears were shown. Thirdly, from the test results obtained at the university laboratories, the new alloy steels were developed to increase the surface durability of carburized and hardened gears. Furthermore, the effect of surface texture on endurance limits for power transmission gears and the tooth surface-finishing method using volcanic-ashes were shown and discussed.

**Key Words** : Gear, Failure, Surface Durability, Material, Manufacturing Method, Surface Hardness, Surface Texture

## 1. 結 言

省資源・省エネルギー・環境保全などの社会的要請に応えるために、動力伝達装置に組み込まれる歯車を高性能化する必要や小型化・軽量化する必要がある、その歯車の素材はもちろんのこと、熱処理を含む加工工程を検討する必要<sup>(1)~(4)</sup>がある。ここでは、動力伝達用歯車の高負荷容量化・小型化・軽量化を図る際に考慮すべき全体硬化(中硬度)歯車と表面硬化(高硬度)歯車の損傷形態<sup>(5)~(6)</sup>について概説するとともに、円筒歯車の強さ計算式における材料の許容接触応力値と歯車の加工との関連で考慮すべき許容接触応力値の修正係数<sup>(7)~(9)</sup>について解説する。次に、これまでの所属の大学研究室における基礎的な研究結果を基に、歯車の歯面強さ向上を目的とした材料の開発例<sup>(10)</sup>、並びに、歯面加工と密接な関係の歯面粗さに着目した歯面強さの向上例<sup>(11)~(14)</sup>、さらに、歯面強さ向上を目的とした火砕流堆積物を用いた歯面仕上げ法<sup>(15)</sup>を、紹介する。

## 2. 動力伝達用歯車の損傷領域と歯面疲れの特徴

### 2・1 歯車の損傷領域

歯車の損傷のない領域のトルクは、ごく低速な場合を除き、全体硬化(中硬度)歯車の場合、歯面疲れのピッチングで限界となること、表面硬化(高硬度)歯車の場合、歯の疲労折損で限界となること<sup>(16)</sup>が知られている。一方、歯車の高負荷容量化・軽量化・小型化のニーズに対応して、表面硬化歯車の使用が増加するとともに、その歯元の曲げ疲労強度の向上策として歯車材や歯元への加工法が開発<sup>(17)</sup>され、損傷のない領域が、歯の疲れ折損から歯面疲れへ移行する傾向<sup>(3)</sup>にある。また、歯車の強度設計によると歯車の最大許容荷重は、歯の大きさ(モジュール)が大きくなると曲げ強さ(歯元の曲げ疲労強度)が増大するため、歯面の熱的損傷であるスコアリングの限界荷重が向上すると歯面強さ(歯面の接触疲労強度)によって制限されること<sup>(18)</sup>が示されている。

\*<sup>1</sup> 永年会員、フェロー、宮崎大学(〒889-2192 宮崎市学園木花台西1丁目1番地)  
E-mail: t0d115u@cc.miyazaki-u.ac.jp

## 2・2 歯車の歯面疲れの特徴

全体硬化(中硬度)歯車の歯面疲れは、小歯車と大歯車のかみ合う全歯に負荷の繰返しとともにピットが生じ、その数が増加する特徴<sup>(5)</sup>がある。一方、表面硬化(高硬度)歯車の歯面疲れは、小歯車と大歯車のかみ合う全歯に負荷の繰返しとともに面積が増加する歯面くもりが生じ、小歯車の数枚に歯幅に対して大きな寸法割合の破壊性ピットが生じる特徴<sup>(6)</sup>がある。なお、歯面くもりは、き裂・微小ピットの集まりで、様々な用途の表面硬化された実機歯車においても確認<sup>(3)</sup>され、歯形の変化や破壊性ピットの起点となる無視できない歯面損傷形態<sup>(19)</sup>として知られ、マイクロピッチングの損傷用語<sup>(20)</sup>で取扱われている。

## 3. 歯車の歯面強さ計算式における歯面の許容接触応力

### 3・1 歯面の許容接触応力

円筒歯車の歯面強さ計算式では、小歯車並びに大歯車について、歯面の接触応力 $\sigma_H$ が歯面の許容接触応力 $\sigma_{HP}$ を越えないこと( $\sigma_H \leq \sigma_{HP}$ )<sup>(8)</sup>としている。ここで、歯面の接触応力 $\sigma_H$ は、基準円筒上の呼び接線力 $F_t$ を用いて計算した最悪荷重点における接触応力であり、歯面の許容接触応力 $\sigma_{HP}$ は、材料の許容接触応力値 $\sigma_{Hlim}$ とその修正係数で構成<sup>(8)</sup>されている。

### 3・2 材料の許容接触応力値

材料の許容接触応力値 $\sigma_{Hlim}$ は、歯車の歯面硬さで整理すると、 $\sigma_{Hlim} = (1.3 \sim 2.7) HV \text{ MPa (N/mm}^2)$ 、もしくは $\sigma_{Hlim} = (1.5 \sim 3.0) HB \text{ MPa (N/mm}^2)$ となること<sup>(8) (9)</sup>( $HV \cdot HB$ : ビッカース硬さHV・ブリネル硬さHBW)がわかった。なお、ISOにおける材料の許容接触応力値 $\sigma_{Hlim}$ は、同じ硬さにおいても、歯車材の品質等級で異なり<sup>(9)</sup>、その選択で増加できることを示している。

### 3・3 許容接触応力値の修正係数

許容接触応力値の修正係数は、寿命係数 $Z_N$ ・潤滑油係数 $Z_L$ ・潤滑速度係数 $Z_V$ ・歯面粗さ係数 $Z_R$ ・硬さ比係数 $Z_W$ ・寸法係数 $Z_X$ ・材料の安全率 $S_{Hmin}$ で構成<sup>(7) (8)</sup>されている。なお、歯車の歯面加工と関連する歯面粗さ係数 $Z_R$ は、全体硬化歯車の場合、 $Z_R = 0.80 \sim 1.20$ 程度、表面硬化歯車の場合、 $Z_R = 0.88 \sim 1.09$ 程度<sup>(7) (8)</sup>となっている。このことは、歯車の歯面加工に着目することで、歯面の許容接触応力 $\sigma_{HP}$ を1.1~1.2倍増加できること、すなわち、同一材料・同一熱処理(硬さ)においても許容接線力を1.2~1.4倍増加できることを示している。

## 4. 歯面強さ向上を目的とした材料の開発例

### 4・1 歯車材の開発の目的

浸炭焼入れ焼もどし材の二円筒面圧疲労実験では、転がり滑り接触面の表面温度が473Kまで上昇する例<sup>(21)</sup>や自動車用トランスミッション歯車を対象とした実機歯車の実験では、歯車の歯面温度が450Kまで上昇する例<sup>(22)</sup>

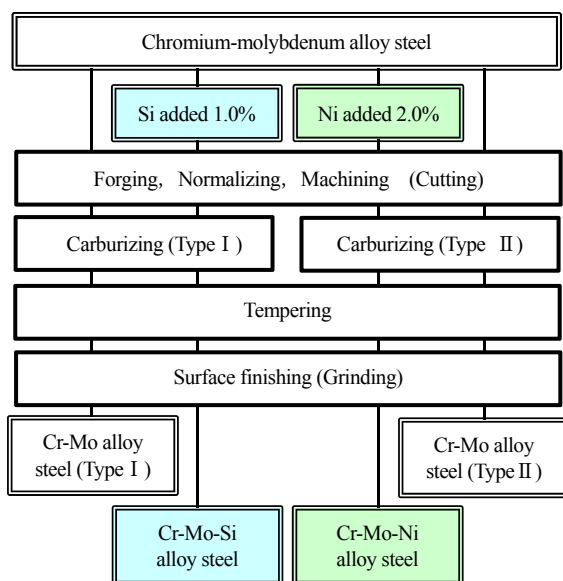


Fig.1 Manufacturing process of test rollers in developed alloy steels

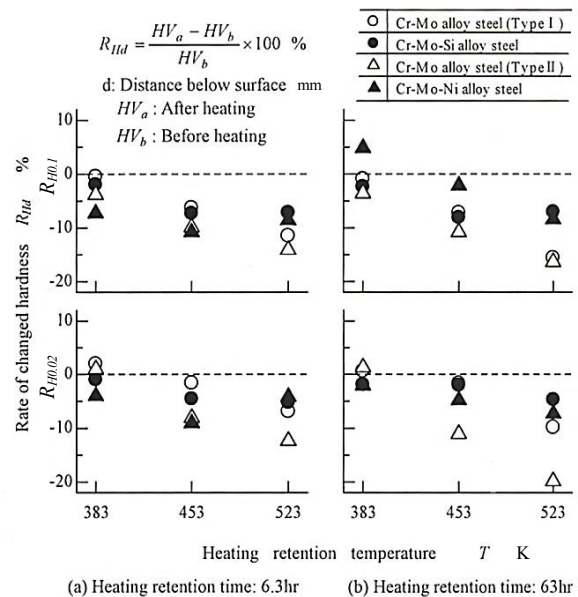


Fig.2 Relationship between heating temperature and rate of changed hardness in developed alloy steels

がある。そこで、動力源の増加や装置の小型化に対応して、過酷な運転条件で用いられる高負荷容量の歯車材の開発を目的とした。具体的には、開発した低酸素真空溶製浸炭合金鋼（含有酸素量は10ppm以下）の機械的性質と転がり滑り接触面の許容接触応力値について考察・検討<sup>(10)</sup>した。

#### 4・2 開発浸炭合金鋼の加工工程と熱履歴による硬さの変化

図1に、開発浸炭合金鋼の加工工程<sup>(10)</sup>を示す。また、図2に、開発浸炭合金鋼の加熱保持温度とその表面付近における硬さの変化率 $R_{Hd}$ <sup>(10)</sup>を示す。図2などから、加工時の熱処理工程における焼もどし温度(443 K)以上の熱履歴による開発浸炭合金鋼の表面付近における硬さの低下量は、マルテンサイトの軟化抵抗を増大させる性質のシリコンを1wt%増量したCr-Mo-Si合金鋼(タイプI)と合金元素Crとの合成効果によるじん性の向上と焼入れ硬化性を増大させる性質のニッケルを2wt%増量したCr-Mo-Ni鋼(タイプII)において、それぞれCr-Mo鋼(タイプI)とCr-Mo鋼(タイプII)に比べ少ないことがわかった。

#### 4・3 開発浸炭合金鋼の許容接触応力値

表1に、二円筒面圧疲労実験(外径:70 mm・有効接触幅:8.5 mm・表面粗さ:4~5  $\mu\text{mP}_z$ <sup>(23)</sup>(Rmax)・回転数:3190  $\text{min}^{-1}$ /2630  $\text{min}^{-1}$ ・滑り率:17.6%/-21.3%, 滑り速度:2.05m/s・潤滑油:SAE30 基油)から得られた開発浸炭合金鋼の許容接触応力値(繰返し数 $N_2=1.0 \times 10^7$ で破壊性ピットの生じない最大接触応力)<sup>(10)</sup>を示す。表1などから、Cr-Mo-Si合金鋼の場合、Cr-Mo合金鋼(タイプI)に比べ、高負荷条件で破壊性ピットが生じないこと、並びに、許容接触応力値は向上すること、Cr-Mo-Ni合金鋼の場合、Cr-Mo合金鋼(タイプII)に比べ、破壊性ピットの発生寿命が長いことなど<sup>(10)</sup>がわかった。したがって、開発浸炭合金鋼の熱履歴による表面硬さの変化と転がり滑り接触面の許容接触応力値との関連が明らかになり、高負荷条件で用いられる浸炭焼入れ歯車用の材料として、Cr-Mo-Si合金鋼を用いることが、歯面強さ向上の点から有効であることを見出した。

### 5. 円筒歯車の歯面強さに及ぼす歯面粗さの影響

#### 5・1 円筒歯車の加工工程例

円筒歯車において、全体硬化歯車(中硬度)の場合、ギヤブランクを機械加工・焼入れ焼もどし・仕上げ機械加工・歯切りして、そのまま、あるいは、歯面仕上げして使用されている例<sup>(11)</sup>がある。一方、表面硬化(高硬度)歯車の場合、ギヤブランクを機械加工後歯切り(場合によってはさらにシェービング)し、浸炭焼入れや高周波焼入れなどで歯部を硬くしてブランク部分の仕上げ機械加工後そのまま、あるいは、歯面仕上げして使用されている例<sup>(14)</sup>がある。したがって、円筒歯車の歯面強さは、歯切り後、あるいは、歯面仕上げ後の歯面状態に影響されることになる。

#### 5・2 円筒歯車の歯面強さに及ぼす歯面粗さの影響

図3に、全体硬化(中硬度)歯車と表面硬化(高硬度)歯車の歯面強さに及ぼす歯面性状の影響<sup>(12)(13)</sup>を示す。ここで、全体硬化歯車と表面硬化歯車の歯面強さは、繰返し数 $10^7$ でほとんどピットの生じない( $\bar{p}=0.1\%$ )最大接触応力 $\sigma_{Hlim}$ と歯面くもり(マイクロピット)の生じない( $\bar{s}=0\%$ )最大接触応力 $\sigma_{Hlim}$ とし、破線と実線は、 $m$ 値( $=\sigma_{Hlim}/HB$ ,  $HB$ :歯面のブリネル硬さHBW)と初めの(歯形方向の)断面曲線における最大高さ $P_{20}$ <sup>(23)</sup>( $R_{max0}$ )との関係を表す。なお、ピッチ点における $D$ 値<sup>(24)</sup>( $=\Sigma R_{max}/h_{min}$ ,  $h_{min}$ :EHL理論に基づくピッチ点における最小油膜厚さ<sup>(25)</sup>)は、それぞれの潤滑油(油温313K)において、全体硬化歯車0.5~6.5  $\mu\text{mP}_z$ の場合 $D$ 値=0.7~6.5、表面硬化歯車0.5~4.0  $\mu\text{mP}_z$ の場合 $D$ 値=0.9~5.0となる。図3から、全体硬化歯車の許容接触応力 $\sigma_{Hlim}$ (耐ピッチング)と表面硬化歯車の許容接触応力 $\sigma_{Hlim}$ (耐マイクロピッチング)は、同一材料で同じ歯面硬さにおいても、歯面を滑らかにすることで条件によっては3倍程度向上することがわかった。なお、このことは、伝達荷重が一定であれば、歯幅を狭くすることができ、歯車の軽量化・小型化が可能になることを示している。

Table1 Changed surface hardness in heating retention tests and endurance limit at  $10^7$  cycles in roller tests of developed alloy steels

Material (Alloy steel)	Carburizing	Before heating		After heating (453~523K・63hr)		Endurance limit at $10^7$ cycles $\sigma_{Hlim}$ GPa					
		Surface hardness	HV	Rank A	Rate of changed hardness ( $R_{Hd0.2}$ ) %	Rank B	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Cr-Mo	Type I	770		2	-2 ~ -10	3					
Cr-Mo-Si		770		2	-2 ~ -5	1					
Cr-Mo	Type II	950		1	-11 ~ -20	4					
Cr-Mo-Ni		720		4	-5 ~ -7	2					

## 6. 歯面強さ向上を目的とした歯面仕上げ法の開発例

### 6.1 火砕流堆積物を用いた歯面仕上げ法の開発の目的

小型の浸炭焼入れ歯車を対象として、歯面強さの向上を意図とした歯面性状の改善を簡便な歯面仕上げ法の開発で実現することを目的とした。具体的には、浸炭焼入れ歯車の材料と歯切り工程並びに熱処理条件を同一とし、天然資源の火砕流堆積物（ $\text{SiO}_2$ ：約 80 wt%， $\text{Al}_2\text{O}_3$ ：約 10 wt%， $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ：約 2 wt% 含有）を用いた歯面仕上げ法（歯面上に火砕流堆積物混入の可塑性材料を強制的に流動させ、歯面を滑らかにする加工法）<sup>(26)</sup> を、シェービング浸炭歯面と浸炭超鋼仕上げホブ切り歯面に適用し、それぞれの歯面性状について比較・検討<sup>(15)</sup> した。

### 6.2 火砕流堆積物を用いて仕上げられた歯面の三次元歯面性状と歯面の評価

図 4 に、仕上げ歯面の代表的な三次元断面曲面並びに三次元断面曲面パラメータ ( $SPz \cdot SPz_{10}$ )<sup>(15)</sup> を示す。また、図 5 に、仕上げ歯面の断面曲面から算出された断面曲面パラメータを用いた歯面評価の  $r$  値 ( $r_{SPz}$  - ratio  $\cdot r_{SPz_{10}}$  - ratio)<sup>(15)</sup> を示す。ここで、用いた試験歯車は、浸炭焼入れ平歯車（モジュール：2.5，圧力角： $20^\circ$ ，歯数：32 枚，歯幅：14.2 mm，歯面硬さ：500HV・750HV）で、ホブ切り後、シェービング仕上げ・浸炭焼入れ・焼もどし工程を経たシェービング浸炭歯車（[SV]），シェービング浸炭歯車を火砕流堆積物で歯面仕上げした 3 種類の浸炭歯面仕上げ歯車（[SF150]，[SF250]，[SF590]），浸炭焼入れ・焼もどし・超硬仕上げホブ切りの工程を経た浸炭仕上げホブ切り歯車（[FH]），仕上げホブ切り歯車を火砕流堆積物で歯面仕上げした歯車（[HF250]）である。図 4・図 5 などから、簡便な火砕流堆積物を用いた歯面仕上げ法を適用することで、歯面のランダムな高い突起が消失すること、歯面上の凹凸の高低差が小さくなることなどを見出した。これらのことから、浸炭焼入れ歯車対の歯面接触において局所的な接触応力が緩和され、歯面損傷が生じにくくなり、同一材料・同一熱処理（硬さ）で表面加工に着目した歯面強さの向上が期待できる。

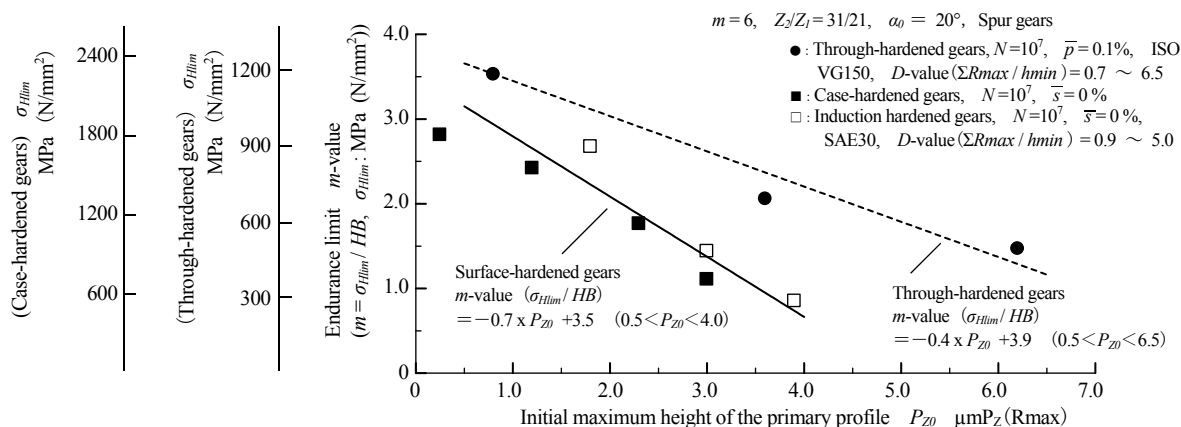


Fig.3 Effect of surface texture on the endurance limit of power transmission gears ( $\sigma_{Hlim}/HB - P_{z0}$  curves in gear tests)

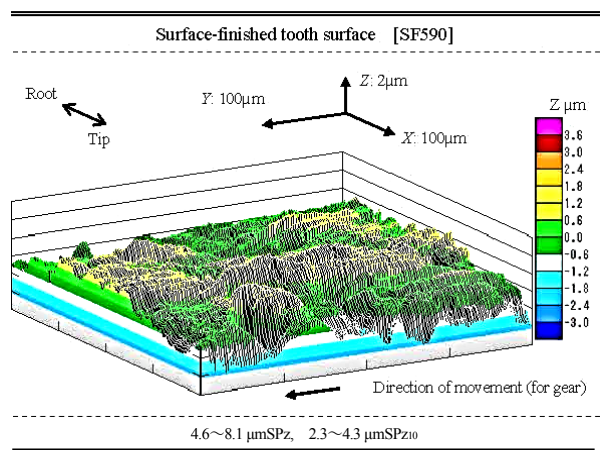


Fig. 4 Bird's eye views and three dimensional profile parameters of the test tooth surface ( $m=2.5$ ,  $Z=32$ ,  $\alpha_0=20^\circ$ , spur gear)

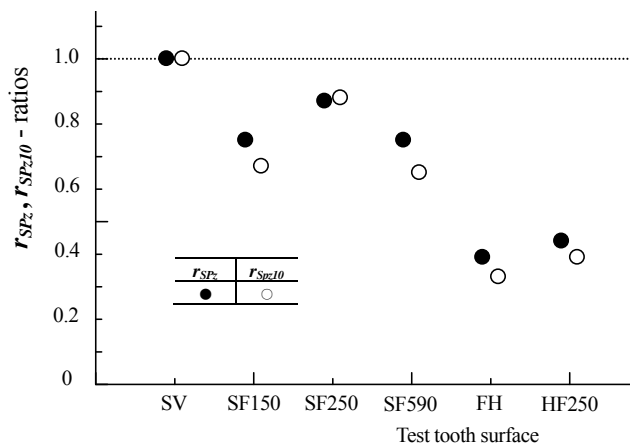


Fig. 5 The  $r_{SPz}$  and  $r_{SPz_{10}}$  - ratios of three dimensional P-parameter on test tooth surface ( $m=2.5$ ,  $Z=32$ ,  $\alpha_0=20^\circ$ , spur gear)

## 7. 結 語

動力伝達用歯車に対して、歯車の歯面損傷、並びに、歯車の強さ計算式における材料の許容接触応力値と歯車の加工との関連で考慮すべきその修正係数などを解説した。次に、これまでに当方が関与した歯面強さの向上を目的とした材料の開発例・歯車の歯面粗さに着目した歯面強さの向上例・火砕流堆積物を用いた歯面仕上げ法を紹介した。これらの項目が、今後の歯車の強さ設計の検討や歯車材料・加工技術・運転技術などの研究・開発に対して何らかの指針になれば幸いである。終わりに、所属の大学研究室において実施した研究では、公的研究資金や産業界から多大な奨学寄附金並びに研究資料などのご支援を賜った。また、九州大学・宮崎大学の教職員の皆様をはじめ、多くの大学院生・学部生・学部研究生・研究留学生の皆様からご協力を賜った。ここに、感謝の意を表す。加えて、基調講演の機会を与えていただいた関係各位の皆様には感謝申し上げる。

## 文 献

- (1) たとえば、吉田 誠, “(2) 熱処理と表面処理”, 日本機械学会講習会教材・最新の機器設計に必要な歯車技術の基礎から応用まで—応用編—, No.98-48, (1998), pp.9-21.
- (2) たとえば、松本 将, “第1章 歯車性能から見た歯車加工”, 日本機械学会講習会教材・歯車製造技術の基礎と応用, No.04-55, (2004), pp.1-12.
- (3) たとえば、鈴木義友, “トランスミッションと歯車技術動向”, 日本機械学会講演論文集 (機素潤滑設計部門 MPT2004 シンポジウム < 伝動装置 > 講演論文集), No. 04-17 (2004), 基調講演 pp.1-4.
- (4) たとえば、東川隆英, 最近の歯車加工機と加工技術, (日本機械学会) P-SCD359 歯車の高機能化と加工技術に関する調査分科会研究成果報告書, (2010), pp.35-40, 日本機械学会.
- (5) たとえば、上野 拓, 有浦泰常, 中西 勉, 宮本義則, “中硬度調質歯車の負荷能力に関する研究 (第1報 転がり疲労に及ぼす表面粗さの影響およびホブ切り歯車の性能)”, 日本機械学会論文集 (C編), 45 巻 394 号, (1979), pp.718-726.
- (6) たとえば、有浦泰常, 上野 拓, 中西 勉, “高硬度歯車の負荷能力に関する研究 (浸炭歯車に生じる歯面くもりについて)”, 潤滑, 第24巻, 第10号, (1979), pp.662-669.
- (7) ISO, “ISO 6336-2:2006 (E), Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears – Part2: Calculation of Surface Durability (Pitting)”, (2006), pp.1-33, ISO.
- (8) 日本歯車工業会歯車規格委員会編, “JGMA 6102-02 (2009) ,平歯車及びはすば歯車の歯面強さ計算式”, (2009), pp.1-29, pp.参 1-4, pp.解 1-42, 日本歯車工業会.
- (9) ISO, “ISO 6336-5:2003 (E), Calculation of Load Capacity of Spur and Helical Gears - Part5: Strength and Quality of Materials”, (2003), pp.1-43, ISO.
- (10) たとえば、Tutomu NAKANISHI, Tilahun Daniel REDDA, Gang DENG, “Relation between Changed Hardness and Surface Durability in the Rolling-Sliding Contact of Developed Case-Carburized Alloy Steels”, *Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions (ICMT'2006)*, Chongqing, CHINA, Vol. II, (2006), pp.868-873, (ISBN:7-03-017974-9) .
- (11) 中西 勉, 上野 拓, 有浦泰常, 村田 等, “中硬度調質歯車の負荷能力に関する研究 (第4報 面圧強さに及ぼす歯面仕上げの影響)”, 日本機械学会論文集 (C編), 46 巻 406 号, (1980), pp.660-667.
- (12) 中西 勉, 有浦泰常, 上野 拓, “高硬度歯車の負荷能力に関する研究 (面圧強さに及ぼす粗さの影響)”, 日本機械学会論文集 (C編), 52 巻 477 号, (1986), pp.1649-1655.
- (13) 中西 勉, 有浦泰常, 上野 拓, “中硬度調質歯車の負荷能力に関する研究 (第5報 歯面強さに及ぼす歯数比と粗さの影響)”, 日本機械学会論文集 (C編), 52 巻 483 号, (1986), pp.2892-2898.
- (14) Tutomu NAKANISHI・Yasutsune ARIURA, “Effect of Surface-Finishing on Surface Durability of Surface-Hardened Gears”, *Proceedings of the International Conference on Motion and Power Transmission (JSM)*, Hiroshima, JAPAN, (1991), pp.828-833.
- (15) たとえば、中西 勉, 福間絵理香, 加藤聖也, 鄧 鋼, “浸炭焼入れ歯車の歯面仕上げと歯面性状に関する基礎研究 (火砕流堆積物を用いた歯面仕上げ法の適用)”, 日本機械学会講演論文集 (運動及び動力伝達機構 (Motion and Power Transmission) 2013 シンポジウム < 伝動装置 > 講演論文集), No.13-17, 1205, (2013), pp.212-216.
- (16) G. Niemann, H. Winter, “21.6 Getriebeschäden und Abhilfe, Entwicklungstendenzen”, *Machinenelemente Band 2, (Zweite Auflage)*, (1983), pp.123-138, Springer-Verlag.
- (17) たとえば、井上克己, 前原利之, 山中 将, 加藤正名, “浸炭歯車の曲げ強度に対するショットピーニングの効果”, 日本機械学会論文集 C編, Vol.54, No.502 (1988), pp.1331-1337.
- (18) 近畿歯車懇話会編 (會田俊夫監修), “第3章 円筒歯車の強度設計”, 円筒歯車の設計 (歯車の設計・製作①), (1980), pp.117-118, 大河出版.
- (19) Taku Ueno, Yasutsune Ariura, Tutomu Nakanishi, “Surface Durability of Case-Hardened Gears (On a Phenomenon of "Grey-Staining" of Tooth Surface)”, *ASME, Paper 80- C2/ DET-27 presented at the Century 2 International Power Transmissions & Gearing Conference*, San Francisco, California, USA, (1980), pp.1-8.
- (20) 日本機械学会, “7.2 マイクロピッチング (Micropitting)”, 歯車損傷図鑑, (2006), pp.177-191, 丸善株式会社.
- (21) 中西 勉, 竹内 隆, 鄧 鋼, “高負荷容量用浸炭焼入れ歯車の開発に関する基礎研究 (高負荷条件下における転がり滑り接触面の変化)”, 日本機械学会論文集 C編, Vol.69, No.684(2003), pp.2194-2199.
- (22) 森 淳弘, 後藤 正, 永見浩康, “自動車用トランスミッション歯車のピッチング寿命の予測”, 日本機械学会講演論文集 (MPT2013 シンポジウム < 伝動装置 > 講演論文集), No.04-17, (2004), pp.167-169.
- (23) 日本工業規格, “製品の幾何特性仕様 (GPS) — 表面性状: 輪郭曲線方式 — 用語, 定義及び表面性状パラメータ”, JIS B0601-2013, (2013), pp.1-13, 日本規格協会.
- (24) P. H. Dawson, “Effect of Metallic Contact on the Pitting of Lubricated Rolling Surfaces”, *Journal of Mechanical Engineering Science*, Vol.4, No.1, (1962), pp.16-21, Plates1-4.
- (25) D. Dowson, “Session3: Hertzian Conditions, Paper 10, Elastohydrodynamics”, *International Conference on Lubrication and Wear: Fundamentals and Application to Design, Proceedings of Institution of Mechanical Engineers*, Vol.182, Pt3A (1967-68), pp.151-167.
- (26) 国立大学法人 宮崎大学, 歯車の歯面研磨剤及びこれを用いた研磨方法, 特願 2010-44814, (2010), 特開 2011-177840 (P2011-177840A) .