

氏 名 ^{かね} 金 ^こ 子 ^{こう} 孝 ^{じろう} 治 郎

授 与 学 位 工 学 博 士

学位 授与 年月日 昭和 53 年 3 月 8 日

学位 授与 の 根拠 法規 学位 規則 第 5 条 第 2 項

最 終 学 歴 昭和 27 年 3 月

東北大学工学部工業力学科卒業

学 位 論 文 題 目 圧延機用歯車のピッチングに関する研究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 戸部 俊美 東北大学教授 酒井 高男

東北大学教授 藤井 康治 東北大学教授 植川 武男

東北大学助教授 加藤 正名

論 文 内 容 要 旨

1. 緒 論

動力伝達用歯車の損傷は、歯の折損とピッチングやスコアリングなどの歯面損傷に大別される。本研究は、圧延機用歯車にみられる損傷のうち、とくに多く発生するピッチングに関するもので、歯面強さ設計上の指針を得ることをおもな目的としている。

圧延機では、圧延目的などによって使用される歯車の寸法諸元、材料、仕上げ方法および運転方法を異にするが、圧延機用歯車は、上下一組の圧延ロールを同期運転させるためのピニオンスタンド用ピニオンと、圧延ロール駆動用モータの回転速度を減速するための減速歯車に大別することができる。

すなわち、圧延機用歯車は使用目的によって歯車諸元、運転条件などが異なるが、動力伝達用

歯車のなかでは、モジュールが大きく、比較的大形で、潤滑油として高粘度の極圧潤滑油を使用し、またホブ切りのままの歯車が多く用いられているなどの特徴がある。

この圧延機用歯車のピッチングについては、従来ほとんど明らかにされておらず、ピッチングによる事故発生もみられた。しかし、ピッチングに影響する因子の数は多く、各因子の作用が複雑であるので、効果的な対策を確立することは容易ではなかった。

本論文は、圧延機用歯車材について、実際に近い条件での歯車負荷運転実験により、面圧強さやピッチングに関連する諸特性を求めるとともに、各因子がピッチングにおよぼす影響をローラ実験により明らかにし、さらにピッチング生成機構のなかで、とくに重要とみられる歯面き裂の進展について検討を行なうことにより、圧延機用歯車の設計資料を求めたものである。

2. 炭素鋼歯車材の面圧強さとピッチング特性

炭素鋼歯車材は、材料価格が比較的低廉であるが、機械強度が低く、信頼度が劣るとみられ、一般に使用されていないのが現状である。しかし、信頼度がどの程度か不明確であり、また近時熱処理法や歯切工具の進歩とあいまって、調質材とともに高周波焼入れ材なども圧延機用歯車に使用されるようになってきている。したがって、炭素鋼歯車材について、圧延機用歯車材としての面圧強さに関する基礎資料を得るために、実機の圧延機用歯車にできるだけ近い大モジュール（モジュール16）の大形歯車（ピッチ円径414mm）を用い、炭素鋼（S45C）における、調質、炎焼入れおよび高周波焼入れの各熱処理材での各面圧強さおよびピッチングに関連する諸特性を求めた。試験機には動力循環式歯車試験機を用い、潤滑油は実機の場合と同じ極圧潤滑油とした。一方、ローラ実験により調質材のピッチングについて検討した。

実験の結果、歯車の場合では炎焼入れ材において測定値がばらつき、ローラ実験でも一部にばらつきがあり、したがって炭素鋼材を用いる場合は高目の安全率を考慮したほうがよいが、それを考慮に入れても面圧強さは高く、実用上有用であることがわかった。そのほか、調質材の場合、ピッチングが発生し出すと進行しやすいことや、駆動被動の歯車の別により、発生したき裂のはく離までの進行しやすさが異なることなどのピッチングに関連する諸特性が明らかになった。この諸特性は、炎および高周波各焼入れ材の場合についても求められた。

3. 合金鋼歯車材の面圧強さとピッチング特性

圧延機用歯車においては、一般に動的荷重が加わることから、歯車材に高いじん性が要求され、合金鋼歯車材が多く使用されている。しかし、同じ合金鋼歯車材であっても使用目的によって材種や熱処理条件などを異にしている。本章では、合金鋼歯車材を圧延機用歯車材として使用する場合に、とくに必要な項目について検討を行なった。すなわち、前章の炭素鋼歯車材と歯車諸元

および熱処理の種類とも同じで、かつ実験条件も同じ場合について、合金鋼（クロムモリブテン鋼，SCM1）歯車材の歯車負荷運転実験を行ない、調質の炎焼入れおよび高周波焼入れの各熱処理材の場合とも、合金鋼歯車材の面圧強さは前章の炭素鋼歯車材の場合と同等であること、しかし時間強度では合金鋼材のほうがすぐれていることを明らかにした。また、浸炭焼入れ材の面圧強さを歯車実験により検討し、ニッケルクロム鋼（SNC22）材がニッケルクロムモリブデン鋼（SNCM25）材よりもすぐれている結果を得た。一方、鋳鋼を含む各種合金鋼調質材の面圧強さをローラ実験により求めた。さらにローラと歯車との実験結果の関連を調べ、両表面あらしの和と最小油膜厚さとの比（D値）が等しい条件では、よい相関々係が得られ、ローラ実験が有効であることを明らかにした。そのほか、炭素鋼と合金鋼各歯車材におけるピッチングに関連する諸特性を比較し、類似点および相異点を明らかにした。

4. 歯車材のかたさ、あらしおよび残留応力が面圧強さにおよぼす影響

前章までにおいて、ローラ実験の有効性が確認できたことから、実験効率を上げるために、ローラ実験により圧延機用歯車材の面圧強さに関して細目にわたり検討を行なった。実験条件は前章までのものとほとんど同じである。

実験の結果、調質材の場合、熱処理条件を変えて表面をかたくするだけでは面圧強さの大幅な向上は望めず、表面焼入れによって表面に圧縮残留応力が付加されたときに、高い面圧強さが得られることがわかった。また調質材の場合、炭素鋼歯車材では、かたさが高くなると測定値がばらつきやすくなり、面圧強さは反対に低下する結果が得られた。

一方、相手材とのかたさの差が面圧強さにおよぼす影響は実験条件によって大きく異なり、表面あらしが小さく、両表面あらしの和と最小油膜厚さとの比（D値）が1以下程度の小さい値の場合では、たとえば相手材が試験材よりも高いかたさのとき、相手材とのかたさの差が大きいほど試験材の面圧強さは高くなるが、あらしが大きく、D値も大きい場合では、反対に試験材の面圧強さは低くなる傾向のあることがわかった。

また、表面あらしが面圧強さにおよぼす影響についても、材種によって結果が異なることが確かめられた。

5. 歯面き裂の進展機構に関する一考察

圧延機用歯車におけるピッチングの生成機構については、現象が複雑なため、他の一般の動力伝達用歯車の場合と同様に、まだ明確にされていない。しかしながら、圧延機用歯車のピッチングについて考察を加え、ピッチングの生成機構を解明することは、圧延機用歯車の負荷性能を高める方法を検討するためには、きわめて重要なことである。したがって、前章までに得られてい

るピッチングに関連する諸特性を利用し、ピッチングの生成機構のうち、とくに重要とみられる歯面き裂の進展機構について考察を行なった。

歯面き裂の進展機構については、従来は定性的な考察にとどまるものが多く、定量的な説明はほとんどみられなかった。本章では、歯面上にき裂が発生した場合、かみあい部に生じている油膜から、き裂内に流入したときの潤滑油の油圧を算出し、それに歯面上に作用している油膜圧力から、有限要素法を用いて、き裂の応力拡大係数を求めた。つぎに、その値と疲れき裂の進展限界を示す材料固有の応力拡大係数の振幅値と対比することにより、歯面に発生した塑性流動層に沿って、その流動層深さまで進展したき裂を初期き裂とした場合、初期き裂がさらに進展するかどうかの判定、また進展する場合では、き裂の進展速度およびき裂が停留する限界き裂長さを求める解析法を導いた。さらにそれによる解析結果を、すでに得られた実験結果と比較した結果、両者はかなりよく一致し、歯面き裂の進展機構に関して定量的解析の可能なことがわかった。本方法はまだ未完成のものであるが、この考え方をもとにして、さらに厳密な検討を加えてゆけば、面圧強さの設計資料、ならびにピッチングの事故防止対策および事故原因判断上の資料として有用であるとの見通しが得られた。

6. 面圧強さ推定の一方法

本章では、前章までにおいて得られた結果を整理の上、さらに拡張して圧延機用歯車の設計資料を作成し、工業上への活用をはかった。すなわち、負荷運転による歯面かたさの上昇値について、運転前に推定が可能であれば、前章の方法によって、おおよその面圧強さが予測でき、この歯面かたさの上昇値の推定はマイヤ指数を利用すれば有望であることを述べ、歯面に発生したき裂の進展機構の解析結果から得られた新しい考え方にもとづく、面圧強さの設計方法について提案を行なった。つぎに前々章までの実験結果から圧延機用各種歯車材について、材料の面圧強さを求め、またそれを面圧強さ設計式における規格値と比較し、筆者が求めた値との関連を明確にした。さらに圧延機用歯車材の一選定方針について提案するとともに、面圧強さを向上する方法について述べた。

7. 結 論

本研究による成果をあげると、つぎのとおりである。

- (1) 動力循環式歯車試験機およびローラ試験機により、できるだけ実機に近い条件で圧延機用歯車材について負荷運転実験を行ない、面圧強さおよびピッチングに関連する諸特性が、材種および熱処理条件によって、どのように異なるかを明らかにした。ついで、表面かたさ、相手材とのかたさの差、表面あらさおよび表面の圧縮残留応力が面圧強さにおよぼす影響を求め、そ

れらの影響の材種および熱処理条件による違いについても調べた。一方、歯車とローラとの各実験結果の関連について検討し、ローラ実験が有効であることを明らかにした。

(2) 上述の実験結果から得られたピッチングに関連する諸特性を利用して、ピッチングの生成機構のなかで、とくに重要とみられる歯面き裂の進展機構について検討を行なった。その結果、応力拡大係数を取り入れた新しい考え方にもとづく歯面き裂の進展、停留を判定する方法が提案でき、また本方法により歯面き裂の進展速度およびき裂が停留するときの限界き裂長さも求められることが明らかとなった。

(3) 上述の諸結果の圧延機用歯車設計上への活用をはかった。まず面圧強さに関する新設計方法を提案し、ついで圧延機用各種歯車材における材料の面圧強さを推定した。さらに圧延機用歯車材の一選定基準について提案を行なうとともに、面圧強さ向上の方法について述べ、圧延機用歯車設計上の有力な資料を与えた。

ご指導を賜わった戸部俊美教授ならびに御助言をいただきました藤井康治教授、酒井高男教授、加藤助教授に深甚の謝意を表します。

審査結果の要旨

圧延機用歯車では、歯の折損をさけるために大きなモジュールが用いられ、またスコーリングを防止する目的から極圧ギヤ油で潤滑されることが多い。このようにしても、なおピッチングを生じ、その進行のために歯が折れることもまれではない。従って、圧延機用歯車では、耐ピッチング設計が最も重要である。しかしながら、極圧ギヤ油で潤滑された大モジュール歯車の耐ピッチング設計に役立つ研究成果は、現在のところ非常に少ない。

本論文は、各種の熱処理を施した炭素鋼、合金鋼および鋳鋼につき、極圧ギヤ油（JIS 2種6号）を主体とした潤滑油を用い、主として歯直角モジュール16、歯数25のはすば歯車について、大型動力循環式歯車試験機ならびに二円筒試験機による実験を行い、それらの結果とピッチングの進行性に関する考察とをまとめたもので、全編7章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章は主として炭素鋼（S45C）を対象として、調質、炎焼入れ、高周波焼入れされた歯車を各熱処理ごとに実験し、面圧強さを定めた結果である。また、ピッチングの状態、き裂、塑性流れ、加工硬化、残留応力などを詳細に観察、測定している。

第3章は合金鋼（SCM1、SCM4、SNC1、SNC2、SNC22、SNCM6、SNCM8、SNCM25）および鋳鋼（SCCrM3）を対象として、調質、炎焼入れ、高周波焼入れ、滲炭焼入れされた歯車対の面圧強さを定めた結果であり、圧延機用歯車材の選定に役立つ資料を提供している。また、各材料におけるピッチングの特徴と差異を明確にし、ピッチング発生機構の解明に重要な手がかりを与えている。

第4章は歯車材の硬さ、相手材との硬さの差、表面粗さおよび圧縮残留応力が面圧強さに及ぼす影響を二円筒試験により検討した結果である。表面粗さの減少、熱処理による圧縮残留応力などが面圧強さの向上に有効であることを示しているが、これらは設計上有用な知見である。

第5章はピッチングの進行性を歯面き裂の進展に関係するものと考え、応力拡大係数に着目してこれを検討し、第2章、第3章の実験結果との比較検討を試みたものである。その解析は幾つかの仮定により単純化されたものではあるが、ピッチングの進行性に対し新しい判断を示唆するものと言える。

第6章では、圧延機用歯車の耐ピッチング設計の便に供するために、本実験で定めた各種歯車材の面圧強さを整理し、現在一般に用いられている歯車強度計算式の面圧強さとの関連につき比較検討している。

第7章は結論である。

以上要するに、本論文は圧延機用歯車を対象とし、極圧ギヤ油を用い、主として大型動力循環

式歯車試験機による実験を行い、各種歯車材の面圧強さを定めると共に、ピッチングの諸特性を明確にし、その発生機構について知見を加え、圧延機用歯車の耐ピッチング設計に関する基礎的資料を与えたもので、歯車工学はもとより精密工学に寄与するところも少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。