

氏 名	藤 尾 博 重 ふじ お ひろ しげ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1163 号
学位授与の日付	昭 和 54 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Untersuchungen über die bei den Zahnrad-Härtungsverfahren auftretenden Änderungen der Zahnprofile und Eigenspannungen (焼入れ歯車の歯形の変形と残留応力に関する研究)

論文調査委員 (主 査) 教 授 會 田 俊 夫 教 授 遠 藤 吉 郎 教 授 山 田 敏 郎

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、各種鋼製平歯車及びはすば歯車をすば焼入れ、高周波焼入れ、浸炭焼入れした際に生ずる歯部の焼入れ変形及び残留応力の大きさを理論的解析計算により予測する方法を示した研究結果についてまとめたもので、11章からなっている。

第1章は緒言で、歯車の焼入れ変形及び残留応力は歯車精度を低下させ、その強度に大きい影響をもつので、従来から多くの研究がなされているが、歯車の形状が複雑なことなどのためにそれらを定性的、実験的に調べることにとどまり、定量的、理論的に取扱った研究はほとんど見られないことを指摘して、本研究を行なった意義と目的を述べている。

第2章は本論文に用いられる記号と単位の一覧である。

第3章では、平面ひずみ問題に熱ひずみが付加された場合の弾性、塑性状態での力学系に有限要素法を適用して焼入れ変形、内部応力を求める計算方式を示し、さらに、焼入れ時の温度を得るために有限要素法を用いた漸化式を導き、円柱を焼入れた場合にこの方法を適用して理論計算による解と比較し、本章で示した温度計算方法の有効性を確認している。

第4章では、計算機により焼入れ変形、内部応力を求める手順をフローチャートを用いて示している。

第5章では、第3章の計算式における熱伝達係数、熱膨脹係数、降伏応力などの主な係数を実験的に求める方法とその実験結果を示し、焼入れ過程でのそれらの値の適用方法を説明している。さらに、焼入れにより生ずる金属組織を推定する方法を求めるために、種々の直径の炭素鋼製円柱について焼入れを行ない、焼入れ後の硬さ分布から、生成するマルテンサイト量が最大冷却速度によって一義的に決定できることを見出している。

第6章では、S 45 C 製円柱の水焼入れの場合に生ずる残留応力の分布について、Sachs 法を用いての実験結果と第5章で得た諸係数を用いての理論計算結果を比較して両者がよく一致することを示し、歯車に対する本計算方式の適用の可能性を述べている。

第7章では、歯先円径に比し歯幅が十分大きい平歯車を、ずぶ焼入れ、高周波焼入れ、浸炭焼入れしたときに生ずる焼入れ変形、残留応力の実験結果と計算結果を比較し、それらがほぼ一致することを示している。また、それぞれの焼入れ方法による変形の特徴を明らかにし、圧力角の変化と歯先円径の変化との間に強い相関性があることを指摘している。

第8章では、まず、有限幅円柱の焼入れ時の温度を求める計算方法を示している。つぎに、歯幅の異なる数種の S45C 製平歯車の焼入れ変形量を測定して、歯幅の減少とともに変形量が大きくなり、とくに両端面付近での歯先円径の増加が著しいことから、端面からの冷却が歯車の焼入れ変形に大きく影響することを明らかにしている。さらに、歯車の歯先円径と等径の円板を歯車とともに浸炭焼入れした実験結果において、それらの変形がよく似た傾向を示すことより、上述の温度計算式を使つての円柱の焼入れ変形の計算結果によって歯幅の大きい歯車の変形を大略推定しうることを確めている。なお、実用歯車の焼入れ変形に関する調査結果より、材質によって著しく変形特性が異なり、それが材料の焼入れ性ともある程度関連していることを指摘している。

第9章では、熱伝達係数が歯面上の各位置で異なる場合の圧力角の変化と残留応力の変化を理論計算結果によって示している。また、浸炭深さを変えた歯車についての残留応力の計算結果から、歯元すみ肉部圧縮残留応力を最大にする最適浸炭層深さが存在することを明らかにしている。

第10章では、はすば歯車の焼入れ時の温度を2次元問題として解析する方法を導いた後、この計算法を用いて SCM21 製はすば歯車を浸炭焼入れした場合のねじれ角の変化を計算して実験結果と比較し、定量的には不十分であるが、同様の傾向が得られることを示している。

第11章は以上の結果をまとめて結言としたものである。

論文審査の結果の要旨

歯車の強度を増大させる方法として各種の歯面硬化熱処理法が近年広く採用されるに到っているが、これに伴って生ずる焼入れ変形によって歯車の精度が著しく低下するとともに、発生残留応力の大きさによって歯車強度の増大が左右され、大きい問題となっている。しかし、歯車の形状が複雑なことなどのため、それらの発生機構については従来ほとんど解明がなされていない状況であった。

本論文は各種の鋼製平歯車およびはすば歯車を、ずぶ焼入れ、高周波焼入れ、浸炭焼入れした際に生ずる焼入れ変形および残留応力の大きさを理論的解析計算により予測する方法を示して、それらの発生機構を明らかにすることを試みた研究結果をまとめたもので、得られた主要な成果を要約すれば次のようである。

(1) 平面ひずみ問題に熱ひずみが付加された場合の弾性、塑性状態での力学系に有限要素法を適用して焼入れ変形、内部応力を求める計算式を示し、さらに、焼入れ時の温度分布を得るために有限要素法を用いた漸化式を導き、平歯車に対してこの方法を適用し、実験結果によりその有効性を確認して、外径に比し歯幅の十分大きい平歯車に対する焼入れ変形、残留応力を予測する方法を確立することにはじめて成功した。

(2) 焼入れ時の水、油などの冷却媒質と歯の表面間の熱伝達係数、歯車材の熱伝導係数、マルテンサイ

ト組織生成等による熱膨脹係数の変化，高温時の歯車材料の降伏応力などの主要係数と焼入れ過程でのそれらの値の適用方法を示して上述計算方式の確立に資するとともに，焼入れ過程における変形，残留応力の発生機構を解明した。

(3) 歯車材料，焼入れ方法による歯車の焼入れ変形，残留応力発生状況の特徴を明らかにした。

(4) 有限幅をもつ平歯車においては両端面よりの冷却が焼入れ変形に大きい影響を及ぼすことを明らかにし，歯幅の大きい歯車の歯先円径の変化が等径の円板の外径の変化と同一傾向を示すことを実験的に確め，円板の焼入れ時の温度を求める理論計算方式を示して，この計算結果より歯幅の大きい歯車の変形を大略推定しうることを明らかにしている。

(5) 熱伝達係数が歯面上の各位置で異なる場合の圧力角，残留応力の変化，浸炭深さを変えた場合の歯元すみ肉部圧縮残留応力を最大にする最適浸炭深さの存在などについて理論計算結果より解明した。

(6) はずば歯車の焼入れ時の温度分布を2次問題として解析する方式を導き，この計算法を用いて浸炭焼入れ歯車のねじれ角の変化を計算して実験結果と同様の傾向が得られることを示した。

以上，要するに本論文は，各種鋼製歯車をずぶ焼入れ，高周波焼入れ，浸炭焼入れする場合に生ずる焼入れ変形，残留応力の発生機構を解明し，それらの予測方法を示して，歯面硬化歯車の設計上，製作上の有力な指針を与えたもので，学術上，工業上，寄与するところが少なくない。

よって，本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。