

氏 名	白 石 彦 一
授 与 学 位	博 士 (工 学)
学位授与年月日	平成 5 年 2 月 10 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項目
最 終 学 歴	昭 和 23 年 3 月 宮城県工業高等学校機械科卒業
学 位 論 文 題 目	粗紡機用線接触プラスチックねじ歯車に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 加藤 正名 東北大学教授 江村 超 東北大学教授 庄司 克雄

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

インボリュート歯形のねじ歯車は、理論的には点接触かみあいであり、はすば歯車の組み合わせとして製作が容易である。また中心距離や軸角が多少変化してもかみあいを正しく保つという利点がある。歯すじ方向に大きな滑りを伴うため、噛み合い効率が低く歯面の摩耗が激しい。従って、おもに回転運動伝達および軽荷重の動力伝達用歯車として用いられる。

この種の歯車は、一般に軸角が 90° で用いられることが多く、紡績機械の粗紡機には金属 (FC20) 製のねじ歯車が数多く (一台の粗紡機に約200個) 使われている。また、粗紡機の使用現場においては、油による繊維の汚染を嫌うため、ねじ歯車の歯面に極く少量のグリースを塗布して運転している。しかし、歯面に塗布したグリースの油膜が切れ、両歯面が直接金属同士の点接触かみあいになり易く、その結果歯面の摩耗が激しくなり、かみあい騒音が増加し、さらにかみあい効率の低下を招いている。

研究の目的

近年、国際的にも低騒音環境の重要性が強調されるようになり、紡績工業界においても、多数使用される粗紡機用ねじ歯車に対して、耐摩耗性の向上のみならず、より一層の低騒音化が要望されるようになった。

従って、この要望を把握して、無潤滑運転においても現在使用されている歯車より低騒音で耐摩耗性に優れ、高効率で実用性の高いねじ歯車を開発することを目的とし、線接触プラスチックねじ歯車を提案した。

研究経過の要旨

(1)プラスチック材には自己潤滑性に富み摩擦が少ないものがあり、これを用いれば無潤滑運転に

においても低騒音化が期待される。したがって、現在使われている金属同士のねじ歯車の片方をプラスチックに換えて騒音・摩耗試験を行った。その結果、著しい騒音減少効果が期待できる結果を得た。

(2)現在使用されている粗紡機用ねじ歯車では、点接触により生ずる応力は滑り速度を加味するとプラスチックの許容値よりはるかに高く、近い将来のプラスチック材料の進歩によって克服されることは期待し難い。従って、従来通りの点接触かみあいでは、プラスチックねじ歯車の耐摩耗性の抜本的な向上は望めないと判断した。

本論文では歯形の改良に関する研究を主要な部分としている。即ち、従来の点接触かみあいのねじ歯車を、次に述べるように耐摩耗性に有利と考えられる線接触かみあいのねじ歯車に置き換えることを企画し、そのために創成歯形理論ならびにその歯面の歯切り法（線接触ねじ歯車の組付けを容易にするクラウニング歯切り法）を研究した。試作したねじ歯車の性能測定を行った結果、実用性の高い粗紡機用線接触プラスチックねじ歯車を開発し得たことを確認した。

第2章 プラスチックねじ歯車の騒音と耐摩耗性の検討

本章の研究は、粗紡機のねじ歯車材に、プラスチックを用いることにより、現在粗紡機に使われている金属（FC20）同士のかみあいに較べて、如何にかみあい騒音と歯面の摩耗が減少するか実験的に確かめることを目的とした。歯車材として、駆動車にポリアセタール、6ポリアミド、M・Cポリアミドの3種類のプラスチック材を用い、被動車には鋳鉄を用いて、無潤滑運転で速度と負荷を変化させて騒音測定を行った。その結果、片方にプラスチック歯車を用いた方が金属同士のかみあいよりも、軽負荷（ $0.069\text{N}\cdot\text{m}$ ）において4～7dB、高負荷（ $0.98\text{N}\cdot\text{m}$ ）で6～11dBの騒音減少効果が認められた。

次に、粗紡機を通常運転している速度（駆動車で630rpm）で、負荷トルクのみを変化させて摩耗の実験を行った結果、無潤滑運転における金属同士のかみあいのねじ歯車より、6ポリアミド樹脂、M・Cポリアミド樹脂のねじ歯車の方がかなり摩耗の進度が小さい結果を得た。しかし実用試験として採用される総回転数 10^7 の負荷運転に対する摩耗の進度はなお大きく、実用にはなお不十分な結果を得た。

よって、従来より使われている点接触かみあいの歯形では摩耗強度を増すことに限界があると判断されるので、接触応力の著しい減少から耐摩耗性向上が期待される線接触かみあいの歯形をねじ歯車に取り入れることとした。

第3章 線接触かみあいねじ歯車の創成歯面

線接触かみあいの創成歯形理論を誘導するために、駆動車を歯車1と被動車を歯車2として次の要件を設定した。すなわち、歯車2の歯形は従来通りのインボリュート歯形とし、これとかみあう歯車1の歯形は、歯車2を工具としてピッチ円筒上で s だけ歯車1に切込ませて創成されるものとする。また、創成歯形の歯車1と歯車2のかみあいでは常に両歯車の角速度比は一定であるという条件のもとで、歯車2により歯車1が創成される歯面を、歯車1の任意の位置の軸直角断面内の歯

形として微分幾何学で求めた。この結果は厳密な解を与えるものである。

ピッチ円筒と共通垂線の交点すなわちピッチ点における歯車1の歯面と歯車2の歯面のかみあいを位相の基準状態とする。共通垂線を含む歯車1の軸直角断面内で、さらにピッチ円筒上で歯車2の歯車1への切込み量を s とし、この s を創成の進度量とする。

従って、 $s=0$ における歯車1の創成歯形は、インボリュートはすば歯車の歯形そのものであるが、 s が増加するにつれて創成による新しい線接触の断面が得られ、これと元来の歯車1インボリュート歯面との境界線（つまり交線）が s に対応して計算で求められる。これを s の増加に対して三次元で表示した結果、歯車2によって歯車1に新しい線接触の歯面が創成されてゆく過程が容易に考察できた。

また、ねじ歯車の軸角を 90° として、その軸角でかみあう歯車1と歯車2のピッチ円筒上のねじれ角の組み合わせは無数に存在する。そこで、歯車1及び歯車2のピッチ円筒上のねじれ角をそれぞれ β_{p1} および β_{p2} として、両車とも右ねじれ角をもった次の3種類の歯車対の比較を行うと、歯車対Ⅰ（ $\beta_{p1}=35^\circ$ ， $\beta_{p2}=55^\circ$ ）の場合は歯車1の創成歯形は凸歯形となり、歯車対Ⅱ（ $\beta_{p1}=45^\circ$ ， $\beta_{p2}=45^\circ$ ）の場合は直線に近い僅かに凸の歯形となり、歯車対Ⅲ（ $\beta_{p1}=55^\circ$ ， $\beta_{p2}=35^\circ$ ）の場合は凸歯形となる。

従って、歯車対のねじれ角の方によって、線接触の創成歯形が大きく変わることが明らかになった。軸角 90° においては歯車対Ⅱ（ $\beta_{p1}=\beta_{p2}=45^\circ$ ，ともに右）が、かみあい効率の点からも、また本論文第4章のかみあい線接触の推移からも最も良いねじれ角の取り方と考えられ、点接触ねじ歯車に於けるねじれ角の選定の研究ですでに述べられていることと共通する。

現用の粗紡機用ねじ歯車は、歯車対Ⅱのねじれ角で歯幅は15mmである。接触線がほぼ歯幅全域にわたるようにするため、先の線接触創成歯面の三次元表示から切込み量 $s=200\mu\text{m}$ が選定された。その結果、接触応力は点接触かみあいの場合に較べてはるかに小さくなると考えられる。また単に接触応力を軽減して耐摩耗性を向上させるだけでなく、点接触かみあいにおいて起こりがちな各歯面の摩耗量のばらつきに起因する騒音の増加を防ぐ効果も期待できる。

第4章 線接触ねじ歯車の接触線

本章では、歯車1の線接触歯形と歯車2のインボリュート歯形のかみあいのある位相における接触線を求める方法と計算結果について述べている。

創成歯面とインボリュート歯面との線接触状態を三次元表示するには、ある位相における接触線を計算するの必要があり、そのために歯車1の軸直角断面と創成歯面および歯車2の歯面との交線を高次方程式で表現し、その係数の差を係数とする方程式によって両歯面の間隔を表現する近似法を採用した。

両歯面間隔が0になる座標を（計算では $1\times 10^{-4}\text{mm}$ 以下）求めれば、その断面における接触点の位置が表わされる。前記の3種類のねじれ角をもったねじ歯車対について数値計算を行い、その結果を歯車1および歯車2の軸直角断面歯形に図示した。その結果、歯車1の歯幅を15mmとするとそれとかみあう歯車2の歯幅は、歯車対Ⅰでは約10mm、歯車対Ⅱでは15mm、歯車対Ⅲでは約25mmとす

る必要があることが判った。

従って、線接触かみあいの性能を重視するには、歯車対のねじれ角の取り方によって適切な歯幅を選定する必要があると考えられる。

第5章 線接触ねじ歯車の歯切り用特殊ホブの製作とホブ切り歯車の精度

特殊ホブの形状諸元は、現在、粗紡機に使われている歯車2のインボリュートねじ歯車と同一 ($m_n=1.75$, $\alpha_n=20^\circ$, $\beta_{p_2}=45^\circ$ 右, $Z_2=32$) である。特殊ホブのねじれ角と口数は、標準ホブと大きく異なるため放電加工機を用いて二番取りを施し、そのホブで歯切盤を用いて歯切りした歯車1の歯形と、創成歯形理論で得られた歯形とを対比した。

その結果、特殊ホブの切込み量 $s=200\mu\text{m}$ による歯車1の軸断面歯形と創成歯形の三次元表示とは両者が殆ど一致することを確認した。よって、線接触かみあいの創成歯面を得る歯切り法を確立した。

第6章 線接触かみあいのねじ歯車に対するクラウニング歯切り法

前述のように、歯車1および歯車2がインボリュート歯形をもつねじ歯車対においては、かみあいの中心距離や軸角が多少変化しても、正しいかみあいを保つという利点があるが、本研究の線接触創成歯形を取り入れた場合、特に切込み量 s を大きく取ると、ウォームギヤと同様に、駆動車と被動車との正しい組付けが必要とされる。

この組付けの煩わしさを避けるために、独自のクラウニング歯切り法を適用した。すなわち、特殊ホブで歯車1を $s=200\mu\text{m}$ の切込み量で歯切りした後、歯車2と線接触歯形をもつ歯車1の共通垂線上で、特殊ホブをホブ軸方向に約 $50\mu\text{m}$ 後退してから、軸角の $0.5\sim 1\%$ 程度特殊ホブを左とさらに右に傾けて歯切りすることにより、両歯車の厳しい組付けの煩わしさを避けることができる。ホブ軸のシフトに用いた s' と傾け角 ε' は、軸角 90° の線接触創成歯形理論を 90° 以外の軸角に拡張してその適正值を求めた。

第7章 線接触形プラスチックねじ歯車の性能測定とその評価

本章では、現在粗紡機に使われている歯車対IIの歯車諸元で、従来の点接触ねじ歯車および本論文の線接触歯形でクラウニングを施した歯車を用いて、騒音、効率、摩耗試験を行った結果について記述した。

性能測定には、動力吸収式ねじ歯車試験機を用いて最も苛酷な無潤滑運転で粗紡機械での使用速度と負荷（通常運転の粗紡機の1.6倍のトルク）をかけ実験した。

歯車材に摩耗強度の高い M・C ポリアミド樹脂を用い、点接触歯形を線接触歯形に置き換えることによって、騒音が $2\sim 4\text{dB}$ 減少し、またかみあい効率が $5\sim 8\%$ 上昇する結果を得た。摩耗の実験では、 10^7 回転の耐久試験にも十分耐え、点接触歯車の 20% 以下の摩耗の進度に留まった。

第 8 章 結 論

本章では、各章で得られた結果をまとめて結論とした。

よって現在、粗紡機に使われている鋳鉄製駆動ねじ歯車のみを、線接触かみあいのプラスチックねじ歯車に置き換えることで、低騒音化、高効率化、耐摩耗性向上などの著しい改善が認められ、研究目的とする実用性の高い粗紡機用の線接触プラスチックねじ歯車を開発することができた。

また、本研究では用いた計算法やねじ歯車製作法は、 90° 以外の軸角すなわち一般の食違い軸ねじ歯車用に拡張することも可能である。

審査結果の要旨

ねじ歯車ははすば歯車で構成するので高精度かつ比較的安価であり、繊維機械に多用されている。機械の低騒音化のためにプラスチック製歯車の使用が求められているが、ねじ歯車はかみあい点接触であるので負荷容量の面からこれを線接触にする必要がある。本論文は、線接触ねじ歯車の歯形とその歯切り法を提案し、線接触プラスチックねじ歯車の静粛性と耐摩耗性を実験により明らかにして、粗紡機用歯車のプラスチック化を可能にしたので、全編8章よりなる。

第1章は緒論であり、従来の研究を総括し、本論文の立場と目的を述べている。

第2章では、3種の工業用プラスチック製歯車と鋼製歯車とを組合せたねじ歯車対を負荷運転し、材質の面からは相対的にMCポリアミド樹脂が静粛性と耐摩耗性に優れているが、粗紡機用歯車として使用するには線接触歯形を開発しさらに耐摩耗性を向上する必要があることを述べている。

第3章では、ねじ歯車の一方を工具として他方を創成すると創成された歯面と工具としたねじ歯車とは線接触することに着目して、プラスチック歯車の歯面を創成歯面とする鋼-プラスチックねじ歯車対を提案し、わずかの工具切込量で広い創成歯面が得られることを理論的に明らかにしている。ねじ歯車対が定回転速比を保って運転されれば、創成歯面で摩耗が進行しても歯面は線接触創成歯面を保持することを述べているが、これはプラスチックねじ歯車の実用化を可能にする優れた着想である。

第4章では、線接触創成歯面とインポリュート歯面とを高次方程式で表して接触線を計算し、提案した線接触ねじ歯車のかみあい特性を提案した図示法により分かりやすく表示している。

第5章では線接触歯面を創成するための特殊ホブの設計と製作およびこれによる試作歯切りについて述べている。

誤差を有する歯車を組み合わせて有効な線接触歯当りを実現するためには歯面にクラウニング加工を施す必要がある。第6章は創成歯面のクラウニング歯切り法の提案と試作歯切りの結果である。

第7章では、創成歯面を有する樹脂歯車と鋼製焼入れ歯車との組合せによるねじ歯車対を負荷運転し、MCポリアミド樹脂歯車は粗紡機用歯車として高い効率、十分な静粛性と耐摩耗性とを有することを実証している。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、粗紡機の低騒音化を目的としてそのねじ歯車のプラスチック化を試み、線接触創成歯面を提案、採用することによりこれを可能にしたもので、歯車工学ならびに精密工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。