

潤滑剤添加ナイロンの潤滑特性*

前田 寛^{*1}, 石川 義雄^{*2}, 大滝 英征^{*2}

Lubrication Properties of Nylon Mixed with Lubricants

Hiroshi MAEDA, Yoshio ISHIKAWA, and Hideyuki OTAKI

Plastics are used widely as sliding parts. In order to investigate the effect of the varied lubricants mixed in the nylon rollers, experimental equipment was designed and manufactured. In the experiment on the friction of the nylon roller, a nylon roller was rotated contacting with a steel roller in the same direction. From the results of the experiments, it was clarified that the lubrication properties, the friction characteristic and the wear resistance differ with each lubricant mixed in the roller, and the limit for use as the sliding parts could be obtained.

Key Words: Lubrication, Friction, Tribology, Nylon Roller, Mixed Lubricant, Life of Roller

1. はじめに

近年、プラスチックは金属材料にない特性を生かし、広い範囲で使用されてきている。とりわけ、材料に有機あるいは無機の潤滑剤を添加することで、自己潤滑性をもたせ、無潤滑の条件下でのしゅう動が可能となることは、プラスチックならではの特徴である⁽¹⁾。この特徴を生かして歯車へ適用し、金属歯車などと組合せて使用したり、軸受などに用いたりしている。しかし、長時間使用時における耐摩耗性、しゅう動相手材に与える影響などについては、いまだ十分な資料が得られていない⁽²⁾⁽³⁾。

そこで本研究では、それぞれ異なる潤滑剤を添加したナイロンについて、無潤滑状態下での、転がり滑り摩擦試験を行い、添加潤滑剤の違いによる耐摩耗性、相手材に与える影響などを検討し、しゅう動部材として使用した場合の使用限界を求めた。

2. 実験装置および実験方法

2-1 実験装置および実験方法 図1は実験装置

* 昭和62年8月21日 第65期全国大会講演会において講演、原稿受付 昭和62年1月27日。

^{*1} 学生員、埼玉大学大学院 (〒338 浦和市下大久保 255)。

^{*2} 正員、埼玉大学工学部。

の概略構造を示したものである。インダクションモータおよびリングコン減速機付モータにより、それぞれA、B軸を回転させ、各軸端に取付けた試験片間に転がりのほかに滑りを起こさせた。両軸の回転数は、モータにより任意に設定でき、回転方向は、試験片の接触点での方向が同一になるようにした。試験片接触圧は、荷重付加装置におもりをかけることにより調整

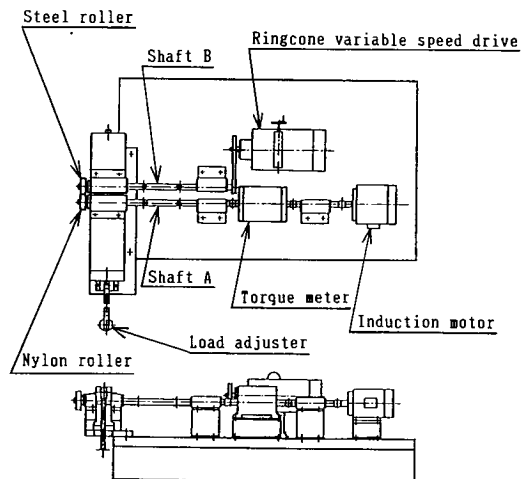


図1 実験装置の概略構造

し得る。駆動時の軸トルクは軸中間に取付けたトルク計により測定した。また試験片の表面温度は、回転停止直後、熱電対により測定した。摩擦量は随時、試験片質量を測定し、試験前の質量と比較して求めた。なお、摩擦係数 μ は、 $\mu = T/WR$ (T : トルク, W : 法線荷重, R : 試験片半径) として求めた。また、試験片の損傷時には、トルクに大きな変動が現れるので、その時点点を損傷時点とした。なお実験条件は、表 1 に示すとおりである。

2・2 試験片の種類 試験片には図 2 に示すようなローラ状のものをを用いた。表 2 に試験片の種類および機械的性質を示す⁽⁴⁾。いずれの試験片もモノマーキャストナイロンに各種の潤滑剤を添加したものである。ここで二硫化モリブデンは、図 3 のように層間で容易にせん断されやすい層状構造をもっているために、潤滑効果が向上すると期待されているものであり⁽⁵⁾、パラフィンはその添加により、素材の分子間力を弱め摩擦を低下させるとともに、摩擦熱により、ナイロンローラ表面より溶け出した高分子の薄膜が潤滑油的効果を発揮すると期待されるものである。なお、スチールローラには、高炭素クロム軸受鋼 (SUJ 2) を用いた。

3. 実験結果および考察

3・1 総滑り距離に対する表面温度の変化 図 4 および図 5 は、法線荷重 150 N, 滑り速度 1.9 m/s の条件下での、ナイロンローラとスチールローラとの滑り距離 (滑り速度×接触時間) に対する両ローラの表

面温度の変化を示したものである。ここで、Nylon B と Nylon D, および Nylon C と Nylon E とは同じような傾向を示したので、潤滑剤無添加の Nylon A と二硫化モリブデン添加の Nylon B, そしてパラフィン添加の Nylon C についての結果を示し、それらについて考察する。

図 4, 5 によると、回転開始後、両ローラともに、表面温度は急激に上昇し、その後若干の変動はあるものの、ほぼ平衡に達する。その際、ナイロンローラの表面温度に比べ、スチールローラのそれはかなり高くなっている。これは、熱伝導率の差異により、スチールローラはナイロンローラよりも熱を発散しやすいが、それ以上に摩擦熱を吸収しやすいためと思われる。

	Outside diameter ϕ mm	Inside diameter d mm	Roller width b mm
Nylon roller	72.4	25.4	14.8
Steel roller	72.4	25.4	20.0

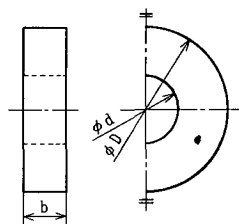


図 2 試験片の形状

表 1 実験条件

Speed of nylon roller rpm	1500
Speed of steel roller rpm	500, 1000
Sliding velocity m/s	3.8, 1.9
Normal load N	150, 200, 300
Hertz's maximum contact stress MPa	20, 23, 28

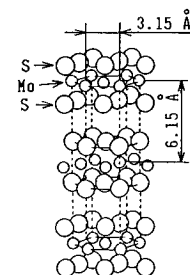


図 3 二硫化モリブデンの分子構造

表 2 試験片の種類および機械的性質

Test piece	Mixed lubricant	Volume proportion of mixed lubricant %	Tensile strength MPa	Young's modulus GPa	Rockwell Hardness HRR
Nylon A	No lubricant	—	91	3.5	120
Nylon B	MoS ₂	2	83	3.3	118
Nylon C	Paraffin	10	70	2.6	112
Nylon D	Mica	20	86	4.0	119
Nylon E	Machine oil	10	65	2.8	114

3.2 総滑り距離に対する摩擦係数の変化 図6の摩擦係数の変化は、表面温度の変化と傾向が同じになっている。総滑り距離が小さい区間で摩擦係数の変動が大きいのは、材料の初期表面における凹凸の影響によるものと考えられ、これが摩耗粉として脱落（初期摩耗）した後は、ほぼ一定値に落ち着いている。ただ、摩耗量測定のため、随時試験を中断した後、試験再開直後には回復現象がみられ、摩擦係数は高くなるようである。なお、ナイロンローラの表面温度がガラス転移点以上になっていることが予想できることから、スチールローラとの接触面間には、摩擦熱によりナイロンローラ表面より溶け出した高分子による薄膜が形成されており、それによって摩擦係数が一定値に落ち着くものと思われる。よってこの接触状態は、境界潤滑領域から流体潤滑領域へかかる点にあるものと考えられる。

二硫化モリブデンが添加されている Nylon B では、前述したように、二硫化モリブデンの分子が、分子間距離の長い層間でせん断されやすいが、高温下で酸化され、酸化モリブデンを発生し⁽⁶⁾、溶融高分子はメチレン結合が切れるなどして、その結果薄膜が途切れることとなる。そのため、流体潤滑領域から境界潤滑領域へ移行しやすく、摩擦係数が大きくしかも早くに摩

耗してしまう。これに対して、パラフィンが添加されている Nylon C では、その組成のため、摩擦熱により溶け出した溶融高分子は、メチレン結合が他分子と吸着しにくいために、途切れにくく、薄膜が継続して維持されやすく、したがって流体潤滑状態が長く続くものと考えられる。

3.3 総滑り距離に対する摩耗量 図7は総滑り距離と摩耗量との関係を示したものである。同一の滑り距離に対し、Nylon B は摩耗量が非常に大きくなっている。これは境界潤滑領域に近い状態で摩擦が行われたことをうかがわせる。

試験終了後、スチールローラの表面を観察すると、高分子薄膜が吸着しているのがわかる。一般にナイロンは分子式が $[-NH-(CH_2)_5-CO-]_n$ であり、極性物質であるため、高温になると、活性化度の高いメチレン結合が切断してできたカルボニル基が、スチールと結合しやすくなるため吸着が起こったものと考えられる。このように、スチール側に吸着が起こると、溶融高分子の薄膜が途切れた場合には、吸着分子とナイロン分子とが直接接触することとなり、同種材同士の摩擦となり、摩耗が極めて激しくなることが予想される。このような状態になると、試験中にも振動を生じ、

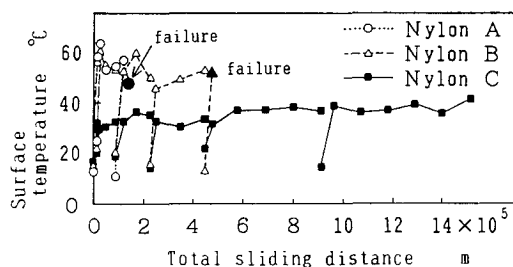


図4 総滑り距離とナイロンローラの表面温度

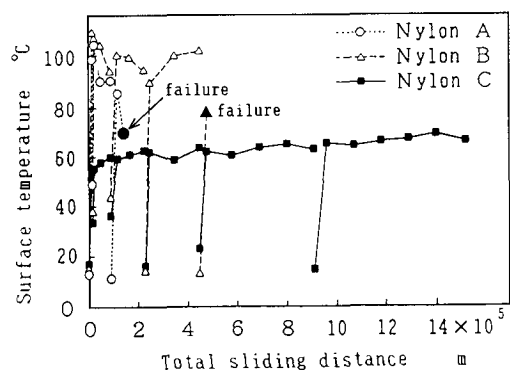


図5 総滑り距離とスチールローラの表面温度

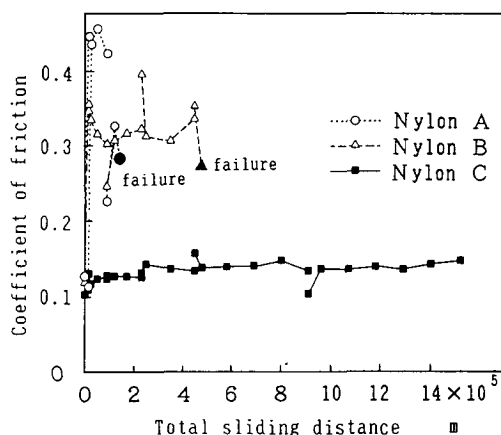


図6 総滑り距離と摩擦係数

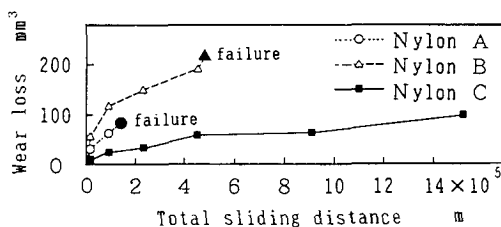


図7 総滑り距離と摩耗量

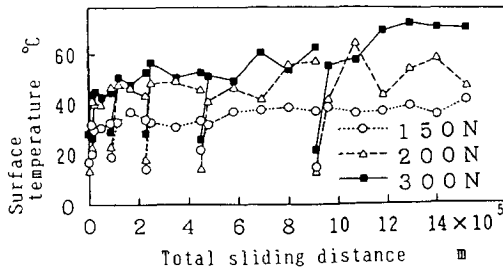


図8 総滑り距離とナイロンローラの表面温度

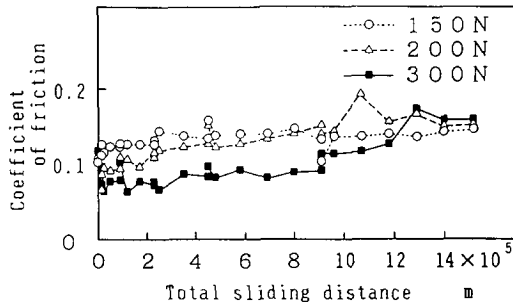


図9 総滑り距離と摩擦係数

ナイロンローラの使用限界を示すものとなる。

3.4 荷重および滑り速度の影響 図8および図9は、滑り速度1.9m/sのもとで、法線荷重を変えたときのNylon Cの表面温度、ならびに摩擦係数の変化のようすを比較したものであるが、これより定常状態となった領域での表面温度は、荷重が大きいほど高くなり、逆に摩擦係数は小さくなる傾向のあることがわかる。この傾向は滑り速度に関しても同様で、これは荷重や滑り速度を大きくすることで、摩擦熱により表面温度が高くなり、溶融高分子による潤滑作用が増すためと考えられるが、酸化、熱劣化などにより、使用限界は短くなった。

これらの実験結果から、低摩擦、耐摩耗性などの摩擦特性を向上させるために、ナイロンに何らかの潤滑剤を添加する際には、金属の場合によく使われる二硫化モリブデンのような、分子構造の特徴を利用したものよりも、パラフィンのように、摩擦熱による溶融高分子が潤滑油のような効果を発揮することを助けるもののほうが望ましいことがわかった。すなわち、Nylon Bでは、二硫化モリブデンが層間でせん断されるよりも先に、ナイロンの分子構造がくずれることが予想され、潤滑剤の効果が現れない。これに対して、Nylon Cでは、パラフィンの添加によりナイロン内部の分子間力が弱まり、せん断抵抗が小さくなるし、また、溶融高分子が金属と吸着しにくいメチレン結合を

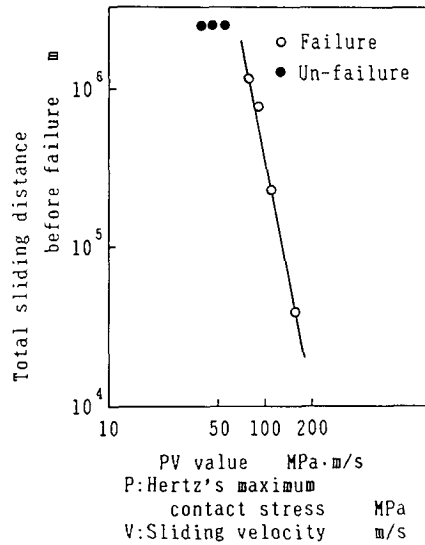


図10 Nylon Cの使用限界曲線

有しているので、摩擦は小さくなり、摩耗も少なくなると考えられるためである。

また、低摩擦、耐摩耗性の点で特に優れた結果を示したNylon Cにおいて、ヘルツの最大接触圧と滑り速度との積と、損傷までの総滑り距離との間に、図10に示すような関係があることがわかった。すなわち、本実験におけるような、転がりと滑りとを伴うような状態でナイロンローラを長時間使用する際には、図10の使用限界曲線により、法線荷重と滑り速度とから、あらかじめ使用限界を予想することができる。これを応用することにより、いろいろな使用状態、条件での材料の長時間耐久性を予測することも可能となり、軸受などの各種の機械部品に適用した場合にも効果的である。なお、Nylon Cはパラフィンの添加により、機械的強度が減少している。よって歯車などの曲げ強さを必要とする箇所での使用にはまだ問題が多く、低摩擦、耐摩耗性と機械的強度との兼ね合いを考慮する必要がある。

4. ま と め

本実験によって、次の結論を得ることができた。

(1) 摩擦特性向上のために、ナイロンに添加する潤滑剤としては、分子構造の特徴を利用したものよりも、摩擦熱による溶融高分子が潤滑油の効果を発揮することを助けるようなもののほうが望ましい。

(2) 優れた摩擦特性を示した、パラフィン添加のNylon Cについて、使用限界曲線を求めることができた。

文 献

- (1) 荻野・磯村, 工材, 26-12 (昭53), 90.
 - (2) 塚本, 機講論, No. 803-6 (昭55-7), 67.
 - (3) 山口, 工材, 28-3 (昭55), 103.
 - (4) 日本ポリベンコ(株), 技術資料 (昭60), 2.
 - (5) 木村・岡部, トライボロジー概論 (昭59), 141, 養賢堂.
 - (6) 浅原・ほか3名, 新しい燃料・火薬・潤滑剤, (昭40), 194, 共立出版.
-