(昭和34年7月18日受理)

繊維材料のヒステリシス損失の測定

第3報 合成繊維タイヤコードについての2,3の測定

東京工業大学 白 樫 侃・石 川 欣 造

中 島 伸 浩*・久須木 速 男**

HYSTERESIS AND RELATED ELASTIC PROPERTIES OF TEXTILES

(III) SOME MEASUREMENTS ON TIRE CORDS

By Kan Shirakashi, Kinzo Ishikawa, Nobuhiro Nakajima and Hayao Kusuki

(Textile Dept. Tokyo Institute of Technology, Ookayama, Meguro-Ku, Tokyo, Japan)

By combining an 8 mm movie camera with the counting tube resilience meter, the energy loss per cycle of of nylon, Terylene, and rayon yarns and cords are measured at the neighbourhood of initial several cycles, 10, 100, 500 and 1 000 cycles. The strains are 1 % and 3 %. The applied strain is of constant rate of deformation type, while the speed is cycle per second. The results are obtained as follows.

1. Except Terylene, others show decrease of hysteresis loss with an increase of repeated number of elongation. The decrease is rapid at 2~3 cycles, and if the repeated number of cycles are converted to logarithm, this may be shown by an approximate straight line. At several cycles, the fibers and cords are stabilized considerably.

2. With the increase of temperature, the hysteresis loss decreases in the case of nylon and this is in opposite to the result, derived by Wakeham. As the effect of humidity is large in rayon, the result is not definite, due to its mutual effect with temperature. Terylene showed a little decrease with the increase of temperature.

3. Comparing the stabilized and unstabilized nylon cords, the effect of stabilization is low at 1 % of strain, but at 3 % the property of recovery is high in the case of treated cord. The treated cord is also stable in respect to the change of temperature.

4. The minimum point of the hysteresis loss of Terylene appears at 2~3 cycles. This is explained as due to the change in the internal structure.

5. Though the effect of twist is complicated due to the change of strain for twisting and the friction with inter fibers, the decrease of hysteresis loss is observed as nylon twisting is increased.

This change in rayon is complicated.

(Received July 18, 1959)

緒 言

タイヤコードは綿からレーヨンコードにおきかえられ、さらに近年では合成繊維コードの使用量が次第に増大しつつある。レーヨンコードと綿コードとの比較測定が多数行なわれ、現在の変換への裏付けとなつた。合成繊維コードに関しても同様に各種の基礎的な測定が行なわれつつある。

各種タイヤコードにおいて動的な性能のうち、使用時の発熱にある程度の対比をするものとして発熱量の測定¹⁾が行なわれて来た。しかしこの種の測定は Wake-

ham ら²⁾の広般な実験を除けば比較的低歪量の振幅で線型の微分方程式が成立つ範囲において論議が行なわれている。われわれは先に報告したリジリエンスメータ³⁾を利用して、動的振動実験に比較するとかなり大変形において、ナイロン、テリレン(テトロン)などの合成繊維原系およびコード、これを対比するための強力レーヨンおよびコードについてヒステリシス損失の測定を行なつた。

実験方法および試料

測定装置としては電子管式のリジリエンスメータを利

用したが、この装置では繰返し伸長を試料に与えた際に、各サイクルのエネルギー値が総和として求まる。総エネルギー値を求めて、与えた繰返し回数により除して平均のエネルギー損失値等を求めて論ずることもできるけれども、Wakeham らの結果との対比、繰返し回数によるヒステリシス損失値の変化を検討するには都合が悪い。このために本測定ではリジリエンスメータに 8 mm 撮影機を併用した。デカトロン（十進法計数管）に各繰返し回数時の伸長、回復のエネルギー値が積算して表示される。8 mm 撮影機で 1~2 秒（本測定では 1 サイクル/秒）で等速伸長、等速回復の変形方式を用いた。デカトロンの光点を撮影し、伸長時の値と回復時の差をとれば、撮影時の 1 サイクルのヒステリシス損失値を読みとることができる。長初の 1~4 サイクルおよび 10, 100, 500, 1000 サイクル付近を撮影し、繰返し回数によるヒステ

リシス損失値の変化を求めた。試料としては第 1 表に示すような構成および性能を有するものを使用した。電気炉で加熱して温度を変化した際は炉の性能上試料長は 30 cm にとり他は 1 m にした。与えた歪量は繰返し数 1000 回までにクリップ切れなどを起した時は 1%，他は 1% と 3% で測定した。初期荷重としては 200 g 与えた。これによりリジリエンスメータの不感部分も一応回避することができる。またコード試料の繰返し伸長による成長量も同時に測定した。

測定結果および考察

(1) ナイロンコードについての結果

繰返し回数との関係は第 1 図に示した如くである。繰返し伸長が加えられると、1 サイクル/秒の間に回復できぬ量は次第に巻きとられて行く。コードは糸軸方向に次第に伸長されることになり、繊維内部の分子配列は次第に上昇をきたす。その変化は最初の数サイクルが大きく表われるのは当然である。分子配列の上昇の結果として、遅れ弾性的な要素の減少を来す。このためヒステリシス損失値は次第に減少する熱処理試料の 3% 歪量の結果を比較すると、処理コードでは比較的強固な結合を作り、安定な位置に分子相互があるためか、流動変形がかなり少い。また分子運動がかなり束縛され、この程度の変形速度では遅れ、変形を起す領域が相当に減少したため、エネルギー損失量も未処理コードと比較するとかなり少なくなっている。

第 2 図に未処理 6 ナイロンコード 3% 歪量の結果を示す。

Wakeham 等のコードに関する結果⁵⁾によると、コードのエネルギー損失量は温度が 25~145°C の間では温度上昇と共に増大している。一方 Eyring らの比較的 low サイクルにおける繰返し伸長時のエネルギー損失値は 0~65°C の間で温度上昇と共に次第に減少

第 1 表

試料	デニール	撚 (T/inch)		切断強度 (g/d)	切断伸度 (%)	ヤング率 (g/d)
		下	上			
6-ナイロンコード	1930	12.18 (Z)	12.36 (S)	6.4	21.5	27.2
" 未処理コード	1950	12.63 (Z)	12.73 (S)	6.4	27.5	17.4
" 原糸	834			7.9	16.0	56.0
66-ナイロンコード	1960	12.0 (Z)	11.0 (S)	6.9	25.0	24.7
レーヨンコード	3860	11.98 (Z)	12.73 (S)	2.6	16.5	17.4
" 原糸	1680			2.7	7.0	111.0
テトロンコード	2175	12.0 (Z)	11.0 (S)	5.4	11.5	55.0
テリレン原糸	250			6.4	9.6	96.0

Fig. 1. Hysteresis vs. cycle number at various temperatures for 6 nylon cord. (treated, strain 1%)

第 2 図に未処理 6 ナイロンコード 3% 歪量の結果を示す。

Fig. 2. Hysteresis vs. cycle number at various temperatures for 6 nylon cord (untreated strain 3%)

Fig. 3. Hysteresis vs. cycle number at various temperatures for H. T. rayon cord (strain 1%)

を示している。Wakeham らはわれわれと同様に流動伸長量だけ巻きとっている。一方 Eyring らはその種の操作は行なっていない。この点に差異はあるが、温度依存性は全く相反する結果を示している。われわれの変形的方式は Wakeham らと同じであるが、結果は Eyring らと同一の傾向を示している。本実験のような大きな歪量では線型性は成立たぬけれども、一応線型性を仮定して考え、応力が変位に比例するものと速度に比例するものの和として表示されたと考えたとエネルギー損失値は $\omega\eta$ (ω : 角周波数, η : 内部粘性) に比例する。周波数が一定であるから、内部粘性 η に比例する筈である。一方内部粘性は分子セグメント内の相互作用、運動の自由度に密接な関係を有しているので、温度上昇によつて一般的には減少することが予想される。この点からも Wakeham らの測定結果より Eyring, および著者らの結果の方が妥当であると考えられる。このことは含湿量が増加した際にも同様なことが考えられる。これらの点からしても Wakeham らの含湿量の増大と共に損失量の増加する結果はよく理解ができない。温度によるエネルギー損失値の低下は 3% 歪量、処理コードでは 80°C 付近まであまり差が現われなく (20~80°C まで殆んど一致するので図示していない), 100°C で大きく差が現われる。

この処理コードの処理条件は明確ではないが、3%程度の伸長を繰返されると、100°Cでは若干の構造変化を来すことは明らかである。未処理コードでは温度の影響も大きい。100°Cではかなりの低下を示し、更に120°Cでは更に低下する。高温時を除いてはその変化がやや大きい。いずれの場合も湿度調整を行なっていないので、高温になるに従って、含有水分量の減少が考えられる。しかし、この湿度の減少効果はエネルギー損失値に対してWakehamらと異つて、増大する方向に寄与するであろうが、ナイロンコードの場合には温度効果による粘性の低下が有効に併用しているものと思われる。歪量1%の結果は6ナイロン処理コード、未処理コード、原糸、いずれの場合も20、40、60°Cはエネルギー損失量〜繰返し回数曲線は比較的接近しており、80、10、120°Cの曲線が一群をなして比較的接近している。いずれも60〜80°Cの間で比較的大きな差異がみられる。多分1%程度の変形量の時には転位温度の影響が出ているものと考えられる。

(2) レーヨンコードについての結果

繰返し回数の増加と共にエネルギー損失値の減少がみられるのはナイロンコードの場合と同様である。また最初の数サイクル間におけるエネルギー減少はかなり急激であつて、1%歪量でも相当量の流動過程をとまなつてゐることが明らかである。第3図に歪量1%の例を示す。500回付近から1000回付近までの変化割合はかなり小さいもので、繰返しにより相当に構造が安定化されることを示唆している。温度の影響はナイロンの場合と同様に、湿度の調整を行なうことができなかった。20°Cでは65%RHであるが、測定温度が次第に上昇するにつれて、含有水分の減少がみられる。含有水分量の減少はヒステリシス損失の増加を一般的にはきたす。一方温

度上昇効果はセルロース繊維ではナイロンと比較すると少ないであろう。このためにレーヨンコードの場合には温度によりあまり明確な差異がみられなかつた。一方原糸の場合には40°C付近で最少値を示しているのは、温度上昇効果と水分減少効果の相殺の結果になるものと考えられる。しかし明確にこの点を論ずるには、含有水分量と温度との分離した実験を行なうべきであろう。

(3) テトロンコードについて

ナイロンコードの場合と比較すると、繰返し時の損失量変化挙動は類似しているが、温度に対する変化は若干異なっている。テトロンコードは未処理の試料であるが、120°Cでやや低下がみられるが、他の温度では必ずしもその差異が明確でなかつた。温度効果がナイロンの如く単調に粘度低下に寄与しないために起るものと考えられる。他の実験によれば130〜140°C付近に転位域があるとの報告もあり、より高温で測定が行なわれれば更に明確な差がみられたかも知れない。テリレン原糸の場合を第4図に示す。この場合には最初の数サイクルでエネルギー損失値の減少をみて、次いで上昇をして更に平衡状態になり、除々に低下して行くのがわかる。このような挙動を示す原因としては、テリレンの分子間力はナイロンなどと比較すると小さいので、初期の繰返し伸長によつて、伸長配列した分子間力が切断されるものがかかりある。強度に行なわれている分子配向に乱れが生じ、見掛の繊維の収縮過程において、それを増進する作用を有するためにエネルギー損失の低下をきたすのであろう。しかし更に繰返し伸長が行なわれると、順次伸長方向への分子配向が起り、再配列化が次第に進行するにつれて、ややエネルギー損失が増加する。一方流動過程も生じて次第に損失エネルギー値は減少を示すようになる。このようなテリレン繊維の特異性はクリープ測定を行なつた

Fig. 4. Hysteresis vs cycle number at various temperatures for Terylene yarn (strain 1%)

際にもかなり明瞭に表われる。クリープ伸長後回復挙動をみると、回復曲線の方が変形量が大きくなって、原長よりかえって収縮する。伸長過程において比較的弱い分子間力が破壊されて、エントロピー的な収縮力がより強い分子間力の部分を結目として発現するものと思われる。このような現象は再度クリープ測定を行なった際にはあまりみられない。これと類似の現象が繰返し伸長時にも

初期の段階で発現しているものと考えてよいであろう。

第5図 a, b は今までに測定した各種の繊維について 20°C および 100°C の値を同一エネルギー損失目盛で現わしたものである。66-ナイロン(未処理が最もこの値が大きく、6-ナイロンでは処理と未処理の差は3% 歪量で明確にみられる。しかし1% 歪量ではその差はあまり明確ではない。歪量が大になるに従って処理効果が有

Fig. 5. a Hysteresis vs. cycle number at 20°C for various cords and yarns.

Fig. 5. b Hysteresis vs. cycle number at 100°C for various cords and yarns.

効になつている。歪量 1% ではテリレン、レーヨン、ナイロンともに原糸のときにエネルギー損失値が大きく、コードになると著しく少くなる。コードについての比較では、歪量 1% において、ナイロン、テトロン、レーヨンいずれもあまり差異がみられなかつた。コードになるとエネルギー損失が急激に減少するのは、本測定方式が固定歪伸長であるため試料繊維に与えられる歪量が小さくなり、この場合繊維間の摩擦よりも歪量の影響が大きく寄与するためと考えられる。

(4) 燃 の 影 響

前記した如く、加熱数によりエネルギー損失量は変化するのでこの点について若干の検討を加えた。引揃えフィラメントに燃を加えると、外周部では繊維が若干伸長されるために側圧力を生じ、繊維間の摩擦力が増大する。繊維間の摩擦力の増大は、当然エネルギー損失量を増大する筈である。しかし一方燃られた繊維に対し糸軸方向の一定歪を加えた場合に、構成繊維に与えられた歪量は無燃の場合より小になる。また繊維が十分に強く加熱され、加熱によつて繊維にかなりの歪が既に与えられた際にはかなり事情が異ってくる。燃が与えられると幾何構造的な歪量の因子と繊維間の側圧による摩擦因子が混在してくるために、繊維の種類によつて複雑な挙動を示すことも予想される。6-ナイロンの場合には(第 6 図) 0 と 4 回/インチではあまり差がない。8~14 回/インチでは除々に加熱数の増加と共に減少する。これは 6-ナイロンの場合には弾性変形領域がセルロースなどに比較すれば大きいことにも起因して、摩擦的な損失因子よりも歪量の減少因子の方が効果的であると見られる。レーヨ

ンの場合にはセルロース繊維が小さな歪でも比較的流動変形を起し易いことと相まつて、減少関数的に表示される因子と、増加関数的に考えられる両因子が、それぞれ有効に作用するためかエネルギー損失は 4 回/インチで一度低下するが、8 回/インチで上昇し、次いで 12 回/インチで再び低下する(第 7 図にレーヨンの例を示す)。なお 12 回の燃数のときには繰返し、伸長回数に対して比較的安定した変化挙動を示している。14 回/インチでは燃数が強度であるために応力の分布が一様でなく、エネルギー損失値も大きくばらつた。テリレンの場合には、デニール数もナイロン、レーヨンとかなり異なるためその効果を同一視することはできないが、加熱による幾何的な構造因子がむしろ大きく表われて、無燃の繰返し伸長い最切の部分にあつたエネルギー損失値の極小は見掛上消去した。また 14 回/インチに加熱されたテリレンではエネルギー損失値が小さく殆ど測定不能であつた。

総 括

1. リジリエンスメータに 8 mm 撮影機を併用して最初の数サイクルおよび 10, 100, 1000 サイクル付近の一回当りのエネルギー損失値をナイロン、テトロン、テリレン、レーヨンの原糸、コードについて求めた。歪量は 1% および 3% で、1 サイクル/秒の定速伸長形式の繰返し伸長を与えた。

2. テリレンを除いた各実験を通じてエネルギー損失値は繰返し伸長の回数が増加するに従つて減少する。減少の程度は 2~3 回で急激であり、10 回目を過ぎると繰返し回数を対数でとれば近似的に直線で示されるような

Fig. 6. Hysteresis vs. cycle number at various twists for nylon yarn. (1% strain)

Fig. 7. Hysteresis vs. cycle number at various twists for H.T. rayon yarn. (1% strain)

ものが多かった。数サイクルでかなり構造が安定化するものとみられる。

3. 温度の影響としてはナイロンでは温度上昇によってエネルギー損失値は減少した。これは Wakeham らの結果とは反対であつた。レーヨンでは湿度の影響が大きく、温度と相互作用を及ぼすために結果はあまり明瞭ではなかつた。テリレンではあまりはつきりした結果は出なかつたが僅かに減少を示した。

4. 6-ナイロン処理コードと未処理コードを比較すると 1% では処理効果はあまり現われないが、3% 歪量では処理した方が回復性がよくなっている。温度変化に対しても処理コードの方が安定性がよい。

5. テリレン原糸は最初エネルギー損失値の減少をきたし、2~3 サイクルで極小値を示した。内部構造変化によるものと考えられる。加撚した際にはこの現象は明瞭でなかつた。

6. 撚の影響は加撚による歪量変化と繊維間摩擦のために複雑であるが、ナイロン、テリレンでは撚数の増加

と共にエネルギー損失値の減少がみられた。レーヨンではその変化は複雑であつた。

本実験に使用した試料は東洋レーヨン横浜ゴムの両社に載いたものであり、ここに厚く感謝する。実験遂行に種々協力された石橋渡氏に感謝する。本研究は文部省科学研究費により行なわれた。また大部分は繊維学会昭和34年度春期研究発表会で講演した。

文 献

- 1) J. H. Dillon, I. B. Prettyman; *J. Applied phys.*, 16, 159 (1945) など。
- 2) 藤野, 河合, 堀野; 織機誌4, 241 (1951)
- 3) H. Wakeham, E. Honold; *J. Applied phys.*, 17, 698 (1946)
- 4) 白樫, 石川, 石橋, 洪沢; 織学誌, 15, 863 (1959)
- 5) H. Wakeham, E. Honold; *J. Applied phys.*, 17, 702, 708 (1946)
- 6) H. Eyring, M. G. Alder, C. J. Christensen; *Text. Res. J.*, 22, 223 (1952)

※ 現在旭化成KK勤務

※※ 現在東邦レーヨンKK勤務