低温における合成繊維の機械的性質

群馬大学工学部 書 上 誠 之 助 (会員)

山 賀 幸 二 (会員)

笹 井 哲 之 (会員)

Mechanical Properties of Synthetic Fibers at Low Temperature

Seinosuke Kakiage, Kohji Yamaga and Tetsuyuki Sasai

Faculty of Engineering, Gunma University, Kiryu, Gunma-ken

Abstract

We have built a low-temperature tensile tester and used it to test the tensile strength, breaking elongation and toughness of synthetic fibers.

The strength and elongation curve of synthetic fibers at a temperature of $-50^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ can be expressed by a quadratic curve for strength-temperature and by a nearly straight line for elongation-temperature.

The products of these two equations can be expressed by a cubic curve as a function of the work of rupture versus temperature, and generally they have maximum and minimum values.

It seems that the cubic equation deduced from these two equations almost coincides with experimental results.

The maximum value of a nylon fiber is obtainable at a temperature of about -20°C .

The work of rupture of 70d nylon yarn, 15cm in gage length is given by the following equation:

$$W_2 = 9.7 \times 10^{-3} T^3 - 7.95 T^2 + 2150 T - 191000$$

where W_2 : work of rupture ($\text{g}\cdot\text{cm}$)

T : absolute temperature ($^{\circ}\text{K}$)

(Received August 29, 1967)

摘 要

目 的 比較的簡易な低温実験装置を試作し、主として合成繊維の引張強伸度と破断仕事量の温度との関係について検討する。

成 果 $-50^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ の範囲において強度—温度曲線はだいたい2次曲線で、伸度—温度曲線はだいたい直線でそれぞれ表わすことができる。

各温度におけるこれら2つの積の関数は破断仕事量とみなされ、温度との関係において3次式で表わされる。これは極大値と極小値を持つ。

これから誘導した式は、おおむね実験値と一致した傾向を示す。この極大値はナイロン糸にあって -20°C 、極小値は $+30^{\circ}\text{C}$ 付近である。

ナイロン糸 70d の場合の破断仕事量の目安は、おおむね次式で表わされる。

$$W_2 = 9.7 \times 10^{-3} T^3 - 7.95 T^2 + 2150 T - 191000$$

W_2 : 破断仕事量 ($\text{g}\cdot\text{cm}$), T : 絶対温度 ($^{\circ}\text{K}$)

(昭和42年8月29日受理)

1. 緒 言

合成繊維の熱的性質を研究する場合に、温度範囲を広く検討することによって、その特性をさらに具体的に把

握することができる。この研究では、その測定範囲を $+70^{\circ}\text{C}$ から -50°C まで行なって高温領域の性質との関連性を求め、低温の場合にみられる特別な現象について検討していく。

この研究に用いた低温装置は、いわゆるペルチェ効果を応用したもので、この装置の特色は比較的小規模でできること、温度の設定が簡単であることである。ただし本装置は -20°C 以下の温度設定はできなかったが、温度下降速度が遅いために予定される温度における測定は可能であった。

一般に合成繊維は低温になるにつれて強度は増大し、伸度は減少する傾向がある。これは一般に強度を支配する分子鎖の引力、すなわち、主原子価力と副原子価力に対する温度の影響といわれている。特に後者は静電的な引力として分子鎖間の距離と温度に逆比例して強度に影響を与えるものとされている。

その結果、引張破断仕事量と温度の関係は、温度低下の場合、強度の増加と伸度の減少から、その傾向は単純ではない。この研究では、この点に重点をおき、低温時における合成繊維の実用性の点から検討を行なったものである。

2. 実験装置

実験装置の要部を第1図に示す。冷却槽は前述のようにペルチェ効果を利用した電子冷却装置である。

この冷却槽に試料を取り付けるには⑥のレバーを持ちあげて、槽の外部で試料②を両チャック間に取り付

- ① 低温槽 ($300 \times 115 \times 115 \text{ mm}$)
- ② 試料
- ③ 温度感知部
- ④ 寒剤 (氷またはメチルアルコール+ドライアイス)
- ⑤ 引張装置
- ⑥ 試料取換レバー

(第1図) 低温実験装置

ける。取り付けが終われば槽内に挿入し、⑤の引張装置のハンドルを回してアームの先端に取り付けられたストレインゲージによって引っ張り応力を測定する。この装置は手動で行なったので引張速度に若干の変動があったが、強伸度曲線から切断仕事量の計算においては、⑤の移動距離とオシログラフの記録紙上の時間目盛によって補正した。

3. 実験結果

この実験に使用した試料は市販のポリエステル系の普通糸、ナイロン糸およびその各種延伸熱処理糸である。試料長は15 cmである。

(第2図) 低温実験装置

3.1 ナイロン糸とポリエステル糸の比較

第3図はナイロン糸の実験結果で、オシログラフに記録された強伸度曲線から求めた数値である。強度は温度の低下とともに上昇するが、その傾向は上に凹の曲線である。伸度は温度の低下とともに、ほぼ直線的に減少する。点線は五酸化燐 (P_2O_5) で乾燥した試料にシリコンオイルを表面に塗布して測定中に吸湿しないように

(第3図) ナイロン糸の強伸度と温度との関係

テトロン 75 d, 36 fil

(第4図) ポリエステル糸の強伸度と温度の関係

した試料について行なった実験結果で、いずれも処理しない糸より低い値を示している。

第4図はポリエステル糸(テトロン)について行なったものであるが、全般的な傾向はだいたいナイロンに類似していることがわかる。

以上の実験結果を切断仕事量として整理してみる。これはオシログラフによって得られた強伸度曲線を切りぬき秤量した数値(mg)をタフネスとして示したものが第5図である。このタフネスに係数を掛けて仕事量(g・cm)とすることもできるが、これは後で考察することにする。

この結果によると、ナイロン糸、テトロン糸ともタフネスは温度が低下するにつれてやや減少するが、0°C付近から上昇に転じ、さらに低温になると急激に減少し、-20°C付近に極大値がみられる。ナイロン乾燥糸については-20°C以下において異常な低下の傾向がみられる。

3.2 伸縮率と処理温度の異なるナイロン糸の実験

この実験における試料の作成は第6図以下に示したように、伸縮率は-20, -10, -5, 0, +5(%)の5種で、-は延伸, +は収縮を意味する。

処理温度は160°C, 180°Cおよび200°Cで非接触式赤外線ヒーターによったもので、温度は周囲の空気温度で示してあるため必ずしも試料の真の温度とはいえない。ヒーター長60cm, 糸速30m/minであるからヒ

(第5図) 温度とタフネスの関係

ーター通過時間は1.2秒である。第6図では基礎データとしてセット効果を確認するため、デニールを測定したもので温度と延伸率に対して、おおむね一定の傾向を示している。参考として、この延伸処理した試料を水中で約10分間煮沸した後のデニールを点線で示した。

第7図は、この試料について測定した複屈折率の値である。熱処理効果として複屈折率は高温になるほど高く

(第6図) 伸縮率と織度

ナイロン 70d, 34 fil

(第7図) 伸縮率と複屈折率との関係

ナイロン 70d, 34 fil

(第8図) 複屈折率(処理後、水中で煮沸したもの)

なり、延伸率に応じて直径(デニール)は細くなる。この試料を水中で煮沸した場合の複屈折率を第8図に示した。

-20% 延伸のものは強伸度曲線で降伏点を大幅にこえて延伸したことになり、繊維の内部構造を一部改変していると考えた試料である。

以上の測定結果により、これらの試料は予定した熱処理効果が与えられたものであることがわかる。

これらの試料について前と同様の要領で、強伸度曲線を書いてタフネスを測定したものが第9・a～c図である。各点は5回測定の実値である。

測定温度 20°C

(ナイロン 70d, 34 fil, 引張速度 5 cm/min)

(第9・a図) ナイロンの延伸熱処理条件とタフネスとの関係

(第9・b図) 測定温度：1°C

(第9・c図) 測定温度: -10°C

全般に延伸率の増加とタフネスの低下はだいたい直線的関係がみられる。熱処理温度についてみると、実験の温度範囲ではいくぶん高温処理系の場合にタフネスは低く、低温処理のとき高い傾向がみられる。第9図中a, b, c図に示されるように、測定時の温度の差はあまりみられないが、わずか -10°C が全般に高い値が現われている。これは第5図の -10°C 付近の極大値を示すことと一致している。

4. 考 察

第10図および第11図は、それぞれ第3図に示した各温度($-50^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$)における強伸度—温度曲線より書きかえた強度—温度および伸度—温度曲線を示す。直接仕事量($\text{g}\cdot\text{cm}$)を表示するため(第12図)、便宜上、縦軸の目盛をそれぞれ $\text{g}\cdot\text{cm}$ で表わした。

第10図および第11図のそれぞれの曲線の実験式を求めると、図から明かなように、前者は2次曲線を、後者は1次曲線とみなされ、それぞれ次式で示される。すなわち、第10図は

$$\sigma_b = 0.01 T^2 - 7.43 T + 1631.1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

および第11図は

$$\epsilon = 0.016 T - 1.368 \quad \dots\dots\dots (2)$$

で与えられる。ここで σ_b は強度(g)、 ϵ は伸度(cm)、 T は絶対温度($^{\circ}\text{K}$)である。

(1)式と(2)式の積 W_1 を求めると

(第10図) ナイロン糸(70 d, 34 fil)の強度—温度曲線

(第11図) ナイロン糸(70 d, 34 fil)の伸度—温度曲線

$$W_1 = 1.6 \times 10^{-4} T^3 - 0.133 T^2 + 0.469 T - 1670$$

..... (3)

(3)式について温度(T)と W_1 の値は第12図の実線のような関係になる。

ここに示された W_1 は、それぞれの強度 σ_b におけるオシログラフのチャートに描かれた強伸度曲線の底辺(伸度: cm)と、高さ(強度: g)の積で長方形の面積に相当し、その中に含まれる曲線で囲まれた面積、すなわち真の仕事量にだいたい比例した量とみなすことができる。

第12図の各点(右側目盛)は第5図のナイロン糸のチャートに描かれた曲線から求められたタフネスを仕事量($\text{g}\cdot\text{cm}$)で示し、各温度($-50^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$)に対する値を示してある。

(第12図) 破壊仕事量と温度との関係

これらの測定値と第12図に示される(3)式の曲線を比較すると、その極大値と極小値についてだいたい同様な傾向を示している。

この曲線を第12図の仕事量の右側の目盛に合わせた式にすると(4)式となる。

$$W_2 = 9.7 \times 10^{-3} T^3 - 7.95 T^2 + 2150 T - 191000 \quad \dots\dots\dots (4)$$

したがって、(3)式 W_1 と(4)式 W_2 の関係は

$$W_2 = 51.1 W_1 - 106000 \quad \dots\dots\dots (5)$$

として与えられる。

すなわち、ナイロン糸(70 d, 34 fil)の引張破断仕事量 W_2 は $-50^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ の範囲においては、だいたい(4)式で示されるような3次式で与えられる。さらに、強度と伸度との積としての仕事 W_1 と W_2 との関係は(5)式で与えられる。

第12図の極大値は第10図の曲線の傾斜と曲率によって微妙な変化を与えるもので、極値は顕著に現われ、あるいは不明瞭となる。

一般に低温実験では本研究の温度範囲を詳細に調べたものは少なく、第10, 11図ともに直線(1次式)に近い結果が出ている場合が多く、その場合は両直線の方程式の積は中高の放物線となり、中央に1つの極大値を持

つことになる。

以上のような繊維の引張破断仕事量は、極寒地における繊維の使用上、重要な問題に関係する。すなわち、低温になるにつれて、繊維の強度が増しても伸度が低下すれば、実用上、破損しやすいことになる。

この場合、織物生地についていえば引張試験よりも引裂試験のほうがより实际的で、伸度を加味した結果が得られるはずである。前記試験の結果と織物引裂強度との関係は後の研究にゆずる。

5. 結 言

- i) 低温における合成繊維の引張試験によって、その破断仕事量は $-50^\circ\text{C} \sim +70^\circ\text{C}$ 範囲において3次曲線として与えられ、 -20°C 付近で極大値を持ち、 -50°C 以下になると急激に減少することがわかった。
- ii) この傾向は極寒地における衣料、その他産業資材繊維の破壊仕事量に関する重要な意味を持つもので、特に -50°C 以下においては実用上注意を要する。この対策としては、延伸および熱処理の適当な組み合わせにより、ある程度改良される。
- iii) 本実験のために試作した低温装置は比較的簡単であるが、おおむねその研究目的を達成する機能を持つものと思われる。

本研究は昭和42年5月、本学会年次大会で発表したものである。

実験装置試作について、新日本電工(株)、中浅測器(株)のご協力を深謝する。また、実験について中島、設楽両君のご協力に謝意を表する。

参考文献

- 1) B. Farrow; J. Text. Inst., 47, T 58 (1956)
- 2) B. Farrow; J. Text. Inst., 47, T 650 (1956)