低速時の布貫通力と針温度の同時測定

京都工芸繊維大学 繊維学部 堀 野 恒 雄 (会員)

武庫川女子大学 家政学部 川 西 定 子 ()

Simultaneous Measurement of Force and Temperature of a Sewing Needle Produced during the Needle Penetration Experiment at Low Operation Speed.

Tsuneo Horino* and Sadako Kawanishi**,

* *Department of Textile Engineering, Kyoto University of
Industrial Arts and Textile Fibers, Kyoto.*

** *Department of Clothing Science, Mukogawa Women's University,
Nishinomiya-shi, Hyogo-ken.*

Abstract

In order to examine the relation between the sewing needle temperature and forces developed during the needle penetration into and withdrawal from a specimen mainly of polymer film and woven fabric, temperature and force have simultaneously been measured by the use of the tester for fabric penetration behavior.

The temperature and the forces of a needle were detected by two thermoelement needles of the same size and shape of needle point, into which a constantan wire of 0.1 mm in diameter were spot-welded near at the needle eye. The one needle clamped on the needle holder and needle was mounted on an upper part of the load cell inside the tester. Then the crank shaft was driven at a fixed revolution of 2 rpm. The forces of the former needle passing through the specimen were measured by the load cell and, at the same time, a needle temperature was determined by the differential thermoelement consisting of two thermoelement needles.

The needle temperature increased in proportion to the area under penetration and withdrawal force curve of the needle. And, after the needle was withdrawn from the specimen, the needle temperature gradually decrease with Newton's law of cooling until the next penetration cycle begins.

(Received September 21, 1979)

摘 要

目 的 ミシン針の試料貫通、引抜き時の針温度と発生力との関連をみるために、この両者の同時測定を目的とする。

成 果 針温度の測定にはサイズおよび先端形状が同じ熱電対針2本を用意し、1本を試料貫通針として用い、他の1本を対照用針として、いずれも布貫通挙動測定器(岩本製作所製)に取付け、駆動軸を2rpmの一定回転数で駆動し、2本の針を示差熱電対として針温度を、試料貫通針で発生力を測定した。

貫通、引抜き力-針の変位曲線から評価した力学的エネルギーに比例して針温度は高くなり、また、次の貫通サイクルが始まるまではニュートンの冷却法則に従って検出針温度は徐々に低下していく結果を得た。

(昭和54年9月21日受理)

1. 緒 言

ミシンの高速化、縫製素材の多様化を反映して、ミシン側で種々の対応がなされている。直接縫合に関係するミシン針では、先端形状、幹部の太さ、針穴の形状、表

面仕上などに考慮がはられている。

ミシン針が布を貫通、引抜く場合に針に印加される力の発生原因は主にミシン針と布との間の摩擦によるものであり、この力学エネルギーが熱エネルギーに変換して針の温度上昇を招く。

従来、ミシン針と布との相互作用に関する実験は、力学的には低回転数域^{1~4)}で、熱的には通常の縫製時と同じ回転数域で行われている場合が多い^{5~10)}。このように力学的測定と熱的測定とはそれぞれ別個に実験が行われている。

本報では低速時のミシン針の貫通、引抜き力と針穴近辺の針温度とが同時に測定できるように、岩本製作所製の布貫通挙動測定機¹¹⁾を利用して行った実験結果について述べる。

2. 測定方法および試料

2.1 測定方法

ミシン針が布を貫通、引抜くときに発生する力は、上述のように布貫通挙動の測定機を用いたが、この時発生する熱エネルギーの針軸方向の熱伝導による損失をなるべく少なくするために、金属製のミシン針固定金具（ピンバイス）をベークライト樹脂製に変更して抵抗力と針温度との測定を行った。この両者の測定法を模式的に図1に示し、その概要を以下に述べる。

①：試料貫通針 ②：対照用針 ③：ベークライト樹脂製針固定具 ④：ロードセル ⑤：クロスヘッド ⑥：リニアポテンシオメータ ⑦：駆動軸 ⑧：白金測温抵抗体

図1 ミシン針の試料貫通、引抜き時の抵抗力と針温度の同時測定法の模式図

ミシン針の布貫通挙動の測定機では、針の上下運動の駆動機構はミシンと同様にピストン・クランク機構であるが、ちょうどミシンを倒立した形で駆動軸（ミシンの上軸に対応する）⑦は下方に設置されている。クランク $\overline{O_1O_2}$ の一定角速度の回転運動により連結棒 $\overline{O_2O_3}$ と連結したクロスヘッド⑤は、行程 $2 \times \overline{O_1O_2}$ のピストン・クランク運動をする。

クロスヘッド⑤の変位、すなわち、試料貫通針①の先端の変位はリニアポテンシオメータ⑥の1—3端子間電圧として検出する。

ロードセル④はクロスヘッド⑤に、針①の先端が図の上方にある針板相当円板（図示省略）の針板の穴の中心と一致するように取付ける。針①の布貫通、引抜き時の発生力はロードセル④の4ゲージ法によるブリッジの端子間電圧に変換され、増幅器を経てレコーダの Y_2 端子に接続し、記録される。

貫通針①と布との相互作用による針の温度上昇を検出するために、図2に示すように針穴より約1mm離れた針溝部に直径0.1mmのコンスタンタン線をスポット溶接し、熱電対を形成する針¹²⁾を使用した。図2は実験に使用したDB×1 #16と、同じサイズのボールポイント針 #16J およびUの針の針先部の拡大写真である。

図2 使用した熱電対針の先端部分の拡大写真

実験ではこの熱電対針をおおの2本用意し、図1に示すように1本はロードセル④に固定したベークライト樹脂製の針固定具③に、他の1本はロードセル上部に貫通針①の針軸方向と同じ軸方向になるように設置した同手法、同じ材質の針固定具③に対照用針②として固定する。このように2本の針①、②を固定すると、①、②は同じ運動曲線を描き、空気中への放熱の条件は同じとみなされる。

①、②の針の針穴近辺の針溝に接合点を設けたのは、縫製時のミシン針の各部の温度測定では針穴付近が最も高い温度になり針軸に沿って針穴から離れるに従い針温度が低下するという結果^{6), 9)}を参考にし、またミシン糸を使用した実際の縫製に影響を及ぼさない位置として、図2の位置に接合点を定めた。

①、②の2本の熱電対針は図1に示すようにおおの針の幹部を鉄導線で接続し、示差熱電対とし、その出力を大倉電気製マイクロボルトメータで増幅後、レコーダの Y_1 端子に接続して駆動軸1回転当たりの微小な温度変化を検出し、記録した。

ミシン針の周囲温度は100Ωの白金測温抵抗体⑧で検出し、デジタルメータに測定時の環境温度を標示した。実験は環境温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の下で行った。

上述の方法によるミシン針①の布貫通、引抜き時の発生力と針温度の記録紙上の波形を模式的に図1中に示し

た。図の実線の結線は2現象の $X-Y_1$, Y_2 レコーダを用いる場合であり、針先端の下死点よりの変位 L_p が等間隔で記録されるので、針先端の位置および貫通および引抜き時の力学的エネルギーを算出する場合に便利である。一点鎖線のように2ペン型自動平衡型レコーダを用い、クランク O_1O_2 を角速度一定で駆動し、レコーダの紙送りを定速度にすると、クランク角 θ , または時間 t が等間隔で記録され、針温度の時間経過をみる場合に便利である。

実験では針板相当円板の穴径を1.6, 1.8, 2.0 および 2.2 mm と4段階に変化し、駆動軸⑦を2 rpm の一定回転数で駆動した。

このような低回転数では貫通針①の針温度の上昇は微小であるので、針①, ②で構成される示差熱電対は、あらかじめ図3に示す方法で校正した。図1の針固定具と同寸法、同材質の針固定具③をベークライト板④に取付

①: 試料貫通針 ②: 対照用針 ③: ベークライト製針固定具 ④: ベークライト板 ⑤: ビーカ ⑥: 攪拌子
⑦: マグネチック スターラ ⑧: 白金測温抵抗体

図3 示差熱電対針の温度較正方法の模式図

け、⑧にそれぞれミシン針①, ②をねじで固定する。針の先端部分をそれぞれ温度 T , $T + \Delta T$ に保った 2 l のビーカ⑤の水中に挿入する。所定温度の水はマグネチック スターラ⑦の攪拌子⑥でたえず攪拌しておく。

示差熱電対の出力端子 aa' は図1中の aa' 端子に接続し、 ΔT 変化した場合の Y_1 目盛を記録し、100 Ω の白金測温抵抗体⑧で検出した温度差 ΔT と較正した。

2.2 試料

試料として織物、編地を用いると、これらは一種の多孔体であり、前報でも述べたようにミシン針の先端が織、編組織のどの部分を貫通するかにより貫通力曲線の形状、最大貫通力の値が変化する^{2), 3)}。

本報では貫通ごとの貫通力曲線の形状が針の先端の貫通位置にほとんど依存しない試料として、市販の0.1 mm 厚の軟質ポリ塩化ビニル フィルム (以下 PVC-S と略す) を主として用い、重ね枚数 n を1~5枚として実験した。

また、織組織、織糸の番手が同じで仕上加工の異なった織物などの二、三についても同時測定を行った。

使用した試料の諸元をまとめて表1に示す。

3. 実験結果および考察

まず PVC-S を用いて行った結果について述べる。図4はいずれも PVC-S の重ね枚数 $n=2$ 枚、針板相当円板の穴径 2.0 mm とし、環境温度 $T=20 \pm 1^\circ\text{C}$ の条件下で、図2の3種類の針について、 $X-Y_1$, Y_2 レコーダ上に貫通、引抜き力 W_p , W_d-L_p 線図および針温度 $\Delta T-L_p$ 線図を描き、 Y_1 , Y_2 の記録ペンの L_p 方向のずれを0にして示した測定例である。いずれも $L_p \div 0$ (クランク角 $\theta \div 0^\circ$) の位置から記録し始め、再び $L_p \div 0$ ($\theta \div 360^\circ$) になるまでの記録である。

前報²⁾と同じ針の位置を示す番号を用い、この針の番号位置がフィルムを貫通、引抜くときの力も前報と同じ記号で示す (前報、図2参照)。

$W_{p,1}$ の値は針の先端形状に大きく依存し、ボールポイント径が大きくなるほど $W_{p,1}$ の値は上昇する。 $W_{p,1}$

表1 試料の諸元

種 類	記 号	材 質	厚 さ (mm)*	目 付 け (g/m ²)	組 織	織密度 (本/cm)	
						た て	よ こ
高分子フィルム	PVC-S	軟質ポリ塩化ビニル	0.10	117	—	—	—
織 物	Flano-1	毛	0.69	300	綾織 $\frac{2}{2}$ ↗	30	30
〃	Flano-2	毛	0.75	297	〃 〃	30	30
〃	Gabazin	綿	0.77	382	〃 $\frac{2}{1}$ ↗	27	17

* 布厚み計による測定値

図4 3種類の針の W_p , W_a-L_p , $\Delta T-L_p$ 線図の測定例

に達するまでは、フィルムは曲げ変形をうけ、 $W_{p,1}$ に達するとフィルムの貫通により針穴が形成され、 W_p の値はいったん低下する。その後、針の先端部分の貫通により、 W_p は L_p の増大とともに上昇し、 $W_{p,2}$ に達する。針のえぐり部が貫通し始めると、 W_p は次第に低下し、 $W_{p,3}$ に達した後再び上昇し、幹部が貫通し始め、 $W_{p,4}$ および段付部の貫通力 $W_{p,5}$ が出現した後に引抜き過程に移る。図では $\theta=0^\circ$ の場合を $L_p=0$ として示した。

引抜き過程では、針の貫通による針穴と針との間の摩擦であるので、引抜き力 W_a の値は小さくなり、貫通によるフィルムの曲げ変形のために、図中の貫通開始位置矢印 $L_{p,0}$ と引抜き終了位置矢印 $L_{d,0}$ とは一致しない。

針とフィルムとの相互作用を上述のように考えると、 $W_{p,1}$ に達するまでのほぼ直線と L_p 軸とで囲まれた面積は、フィルムの曲げ変形に要する力学エネルギーを、 $W_{p,1}$ 以後の W_p 曲線、 W_a 曲線と L_p 軸とで囲まれた面積は、主として針とフィルムとの間の摩擦エネルギーを表わすと考えられる²⁾。

針の先端から約5.5mmの位置にスポット溶接した熱電対の温度検出端は、上述の摩擦エネルギーが熱エネルギーに変換した結果の針温度を検出する。それぞれの針の針温度 $\Delta T-L_p$ 線図の記録は、いずれも W_p , W_a 曲線の下方に示した。

図中の矢印 T_p は、 $L_{p,0}$ を針の先端とした場合、温度検出端と試料との接触位置を示したものである。いずれの針も ΔT は $W_{p,2}$ に達した貫通位置近辺から上昇し始

め、 $W_{p,4}$, $W_{p,5}$ の貫通力のほぼ中間の貫通位置で最高針温度 ΔT_{max} になり、引抜き過程でいったんやや低下し、 $L_{d,0}$ 近辺で引抜き過程における極大温度 ΔT_1 を示す。以後は針全体が空气中に露出するために $L_p=0$ に達するまで徐々に温度が低下する。

図5はPVC-Sの重ね枚数 n を1~5と変化した場合の n の増加にともなう W_p , W_a の上昇の模様と、これを反映した ΔT の測定例である。

図5 試料の重ね枚数を変化した場合の W_p , W_a-L_p , $\Delta T-L_p$ 線図の測定例

次に2ペンの自動平衡型のレコーダを用いて記録したミシン針 #16J, #16U の W_p , ΔT -時間 t (クランク角 θ) 曲線の測定例を図6に示す。

図6は貫通、引抜きサイクルが終わるとに4枚重ねのPVC-S フィルムを約15mmずつ移動し、連続して測定した4サイクル分の W_p , W_a-t , $\Delta T-t$ 曲線である。

図6 フィルム試料の場合の W_p , W_a-t , $\Delta T-t$ 線図の測定例

1回目の曲線に付した矢印 $T_{p,1}$ は温度検出端が貫通する時間位置であり、検出端が貫通すると直ちに ΔT が急上昇し、 $\Delta T_{\max}$ に達する。図6では針の先端が貫通し始めて約4 sec後に $\Delta T_{\max}$ に達し、その後針温度検出端がフィルムと離れている間は徐々に ΔT が低下し、引抜き時の再びフィルム層と接する矢印 $T_{d,1}$ 近辺で極大温度 ΔT_1 を示し、針が空气中に引抜かれるとともに ΔT は次の貫通サイクル開始まで徐々に低下し、 ΔT_2 に達し、次の貫通サイクル開始により再び上昇する。

図6の試料では各貫通、引抜きサイクルの W_p , W_d-t 曲線の形状、大きさはほとんど変化せず、2rpmの駆動回転数では2回目以後の各サイクルの $\Delta T-t$ 曲線はほぼ同一の曲線を描く。

図7は織物試料1枚について、図6と同じ針駆動条件での測定例である。織物の場合は繊維組織のどの部分を針の先端が貫通するかにより、貫通ごとの貫通力-時間曲線の $W_{p,2}$ の値が異なり、 $W_{p,2}$ の値の大きいほど $\Delta T-t$ 曲線の温度が高くなる。

図7 織物試料の W_p , W_d-t , $\Delta T-t$ 線図の測定例

また、繊維組織、糸の番手が同じで織密度もほとんど同じフラノ1、フラノ2試料を比較すると、布の仕上加工の相違を反映して高級品のフラノ2の場合は各貫通時の $W_{p,2}$ の値の変動幅が小さく、値自身もフラノ1よりも小さくなり針の通りの良い織物といえる。

以上に低速時の貫通、引抜き力と針温度の同時測定結果について述べた。次に両測定結果の関連について若干の考察をしておく。

$X-Y_1$, Y_2 レコーダに記録した W_p , W_d-L_p 曲線よりミシン針が PVC-S 試料になした全仕事として、曲線で囲まれた面積部分を切り取り秤量してそのエネルギー値 E_T を算出し、 $\Delta T-L_p$ 曲線より $\Delta T_{\max}$ 値を読み取り試料枚数依存性の結果例を図8に示す。

図8 最高温度針 $\Delta T_{\max}$ と力学的エネルギー E_T の重ね枚数依存性の例

前述の $\Delta T-t$ 線図では $\Delta T_{\max}$, ΔT_1 の極大値が観測されるが、針の貫通では最高温度が問題になるので $\Delta T_{\max}$ の n 依存性を求めた。

針の太さは同じ #16 であるが針の先端形状により n 依存性が異なるが、 E_T , $\Delta T_{\max}$ の n 依存性はいずれも指数関数で表わされる。そこで、針板の穴径が 1.6, 2.2 mm の場合の E_T と $\Delta T_{\max}$ の n 依存性を両対数用紙にプロットした結果を図9に示す。いずれの針の場合も直線となり E_T , $\Delta T_{\max}$ はそれぞれ次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} E_T &= a \cdot n^\epsilon \\ \Delta T_{\max} &= a' \cdot n^{\epsilon'} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 a , ϵ および a' , ϵ' は実験結果から求まる定数である。

いま、力学的エネルギー E_T が全部熱エネルギーに変換し、試料を貫通した部分の針の断熱の温度上昇 ΔT_a に寄与すると仮定すると

$$\Delta T_a = \frac{E_T}{J \cdot C_p \cdot m} \dots\dots\dots (2)$$

となり¹⁾、(1)式を代入して

$$\Delta T_a = \frac{a}{J \cdot C_p \cdot m} n^\epsilon \dots\dots\dots (2')$$

とも表わされる。

図9 ΔT_{max} と E_r の n 依存性の実験結果の例と (2') 式による計算結果の例 (細実線)

ここで、 J : 熱の仕事当量, 4.17 (joule/cal) C_p : 針の比熱, 0.12 (cal/°C · g)¹⁾ m : 試料貫通部分の針の質量, 0.058g (g)

(2') 式で算出した結果を図9にそれぞれ細実線で記入した。なお、 m の値は DBx1 #16 の針で針先より 15 mm の位置で針を切断し秤量した値である。

PVC-S-#16 針系では、実測値は計算値より相当低い値を示すので ΔT_{max} を次式のように表す。

$$\Delta T_{max} = \frac{\eta \cdot E_r}{J \cdot C_p \cdot m} \dots\dots\dots (3)$$

ここで η は熱変換効率である。

図9では針板の孔径 1.6 と 2.2 mm の結果を示したが、孔径 1.8 および 2.0 mm の場合の結果とともに ΔT_{max} - E_r 関係図として図10に示す。いずれの針の場合も直線関係となる。したがって (1) 式の指数の定数は $\epsilon = \epsilon'$ となり、また η の値は試料の重ね枚数、針板の孔径に依存せず、試料が定まればある値をとる。

PVC-S-#16 ミシン針系の場合の ϵ および η の値を表2に示す。この系では η の値はいずれも 50% 弱であり、

図10 針板の孔径を変化した場合の E_r - ΔT_{max} 線図

表2 実験結果より求めた ϵ , η および σ の値

針の種類	DBx1 #16	DBx1 #16J	DBx1 #16U
ϵ	1.29	1.26	1.20
η (%)	46	48	49
σ (cal/sec)	6.35×10^{-4}	6.35×10^{-4}	6.35×10^{-4}

力学的エネルギーの約 1/2 が針温度の上昇に寄与している。

次に針の温度低下過程について考察しておく。試料との摩擦により環境温度 T より温度が上昇した針は、試料との接触が終ると T の空气中に露出するので次第に冷却する。

この引抜き後の針の温度はニュートンの冷却の法則に従って低下すると考えられ次式で表わされる。

$$\Delta T(t) = \Delta T_1 e^{-\frac{\sigma}{m C_p} t} \dots\dots\dots (4)$$

$\Delta T(t)$: 引抜き後の検出針温度

ΔT_1 : $W_d=0$ 以後の検出針温度の極大値

σ : 熱電対針の放熱定数

t : $W_d=0$ 以後の時間

図6, 7の W_p , W_d - t , ΔT - t 線図を記録中は環境温度が一定であるとし、比較的 ΔT - t 線図の値の大きい場合について $\log \Delta T(t)$ - t 線図を描いた結果を図11に示す。

図11 $W_d=0$ の時刻を $t=0$ とした場合の検出針温度の時間依存性の例

いずれの場合も直線で近似でき、しかもその傾斜はほぼ同じである。したがって #16 の針では針の先端の形状によらず σ の値は同じとなり、図11から求めた σ の値を表2に示す。

なお、#16J-PVC-S ($n=4$) の場合は、1回目および2回目の引抜き後の冷却線図を示した。いずれも $\log \Delta T(t)$ - t 線図は直線となり、2回目の直線の温度は1回目と比較してやや高温になるが、 T との差が小さく両者の直線の傾斜は同じである。

4. 総括

ミシン針の運動曲線がミシンの場合と同じ運動曲線を描く布貫通拳動測定機に熱電対針を取付け、駆動軸を2rpmの一定回転数に保ち、貫通、引抜き力曲線と針穴近辺の針温度とを同時に測定した。ミシン針の温度は熱電対針2本を用いて、示差熱電対として測定した。

試料として貫通ごとの曲線の形状がほとんど変化しない高分子フィルムを主な試料として用い、その重ね枚数を1~5枚と、また、針板相当円板の穴径を1.6~2.2mmと4段階に変化して実験を行った。

針軸方向の針温度の分布は計測していないが、実験結果では針穴近辺の最高温度 $4T_{max}$ と針が試料になす力学的エネルギー E_T との関係は、(3)式で表わされ、熱変換効率 η の値は針の先端形状にあまり依存せず50%弱の値である。また、針の先端が試料から引抜かれた後は、ほぼニュートンの冷却法則に従って針温度は時間経過と

ともに徐々に低下する結果をえた。

(本報の概要は昭和54年6月29日、繊維学会昭和54年年次大会研究発表会で発表した)。

文 献

- 1) R. A. Khan, S. P. Hersh, P. L. Grady: *Text. Res. J.*, **40**, 489 (1970)
- 2) 堀野, 西島, 川西: 繊維論文集, **30**, T1 (1977)
- 3) C. A. Leeming, D. L. Munden: *Clothing Res. J.*, **6**, 91 (1978)
- 4) M. Braun: *Melliand Textilber.*, **58**, 734 (1977)
- 5) G. M. Howard, D. Parsons: *Text. Res. J.*, **38**, 606 (1968)
- 6) R. D. Laughlin: *ibid.*, **33**, 35 (1963)
- 7) G. M. Howard, J. J. Sheehan, E. R. Mack, D. R. Virgilio: *ibid.*, **41**, 231 (1971)
- 8) G. M. Howard, D. R. Virgilio, E. R. Mack: *ibid.*, **43**, 651 (1973)
- 9) S. P. Hersh, P. L. Grady: *ibid.*, **39**, 101 (1969)
- 10) 鎌田, 原田, 木下, 志村: 繊維誌, **32**, T102 (1976)
- 11) 堀野, 岩本: 繊維工学, **31**, P182 (1978)
- 12) 江口: 同上, **32**, P423 (1979)