高周波縫製技術と問題点*

会 員 万 代 昭 次**
明 石 淳 子

1. はじめに

昨今、縫製の自動化とか高速化が論議され、高周波とか超音波の縫製への導入が叫ばれている。また、昭和42年繊維加工技術の革新に関する勧告においてもこのことが指摘された¹⁾。

一方、織らない布—不織布—が市場に出始めてから十数年、部分的に使われていた不織布が1966年春頃からジャーナリズムの脚光を浴びてペーパードレスの形でアウトウェアとして華々しく登場した。ここで従来の糸使いによるミシン縫製とは趣を異にして、縫わない仕立—ノンソーイング（高周波、超音波、接着剤などによる特殊縫製）—がペーパードレスの縫製に一躍クローズアップされてきた。というのはペーパークロスの価格に比べ縫製賃が割高となること、また針穴がふさがらないという技術面からも、部分的にでも融着または接着により能率をあげ、コストを引下げ、ペーパークロス独自の仕立技術を確立したいためである。²⁾

たしかに高周波、超音波などによる縫製は一定長、一定形状をもつ織布の縫製が数秒で行なえるので、実用化への努力がなされるのは当然であり、各社においてもすでに研究が進められているようであるが、いまだにこれらに関する文献は皆無に近い、わずかに Enkalon 社の A. Slade³⁾ によって高周波融着の概論と、衿、ボタンホールを縫製するために融着法の応用が述べられているにすぎない。また、実用段階にきているものとしては超音波および高周波によるボタンホール機（融着融断）が市場に出されたところである。そこで今回は高周波縫製と

はどのようなことを意味するのかという概論を説明し、さらに高周波融着を縫製加工へ適用するために行なった2～3の実験を述べて参考に供したい。

2. 高周波融着の分類について

a. ノンソーイング上の分類

高周波融着を先述のノンソーイング上で分類すると第1表のとおりである。

（第1表）高周波融着のノンソーイング上の分類

○物理的方法

高周波融着法

超音波融着法

○化学的方法

熱化学的接合法

熱化学的結合剤として抱水クロラールを用いる^{5~6)}

融着剤による方法

ポリエチレンを粒状につけておく⁷⁾

融着剤液を塗布乾燥しておく⁸⁾

接着剤による方法^{9~10)}

○物理的方法、化学的方法の併用

b. 融着法上の分類

高分子物質（広義には合成繊維を含む）の融着（接着）加工は、その高度の生産性と性質、形状、用途などの多様性からあらゆる目的にふさわしい種々の融着技術が開発されている。これら高分子物質の融着法としては原理的にも実際的にも種々の方法が考えられるが、これらを整理紹介する意味でまとめたのが第2表の高分子物質の

* Technics of High Frequency Sewing and Its Problem.

** S. Mandai, Member, J. Akashi, 大阪府立繊維工業指導所 加工部 繊維化学課

(第2表) 高分子物質の融着法の分類

¹¹⁾ 密な定義はないが、一般に第1図のように分類される。すなわち電磁波のなかには光、X線、その他も含まれるが現在、国際電気通信条約によって電波と定められているものは10 KHz から 300 GHz までの電磁波である。この中、今回取上げる高周波ウエルダーおよびミシンの周波数は短波および超短波領域内の特定の周波数を取り出して使用している。

VLF (very low frequency), LF (low freq.), MF (medium freq.), HF (high freq.), VHF (very high freq.), UHF (ultra high freq.), SHF (super high freq.) および EHF (extremely high freq.)

(第1図) 電波の分類

3. 高周波融着の原理および方法

さきにも述べたように高周波電力を加熱の目的に使用するいわゆる高周波加熱を高周波融着に応用する誘電加熱の発熱機構は、つぎのように理論づけられている。

すなわち、自由電子の存在しないこれらの物質(総称して誘電体)は分子のなかに極性基(両端がそれぞれ⊕と⊖に帯電することができる分子の部分)を持っていて、この極性基が高周波の烈しい極性交換によって両極が電氣的振動を起こし、この電氣的エネルギーが熱エネルギーに変り誘電体物質自体が発熱することになる。このため、1 sec 間に発生される熱量は周波数に比例する。通常発熱に必要な周波数は1 MC 以上とされている。いま、第2図のように誘電体を2枚の平行電極間にはさみ、

(第2図) 高周波融着の原理

高周波電圧を発振させた場合、誘電加熱により単位体積中に発生される熱量 P はつぎの形で表わされる。

$$P = 0.556 \cdot \epsilon \cdot \tan \delta \cdot f \cdot E^2 \times 10^{-12} \text{ (w/cm}^3\text{)}$$

ϵ ; 物質の誘電率

$\tan \delta$; 物質の力率

f ; 周波数

E ; 電界強度

ここで、 $\epsilon \cdot \tan \delta$ は物質によって定まる値でこの両者の積を損失係数 (Loss Factor) と呼び、この式から発熱量 P は周波数と電界強度の2乗に比例することがわかる。

それゆえ、一定の周波数では P を増大するには電界強度を増大する必要があるが、この値が被加熱物の絶縁破壊電圧以上にまで E を増大することができないことは明らかである。したがって、ある物質を加熱融着するのに周波数および電界強度が定まれば、 $\epsilon \cdot \tan \delta$ すなわち損失係数の大なるものほど発熱量は大となり、したがって融着しやすいことになるが、同一物質でも損失係数を増大する方法もある。

いま、塩化ビニルを例にとると、前述の発熱式 P より、一般に高い周波数を使用することが望ましいが、真空管およびその他の点で上限がある。つぎに電界強度は塩化ビニルの化学的配合によって破壊電圧値が大体定まるのでそれ以上の電圧を発振することは被加工物を火花放電によって損傷するおそれがある。そこでビニルシートの ϵ , $\tan \delta$ の値を10~50 MC の周波数について測定した結果の一例を第3図に示す。これより ϵ は周波数にはほとんど無関係であるが $\tan \delta$ は周波数の高いほど増大する傾向を示す。

(第3図) PVC の ϵ , $\tan \delta$ の f に対する変化

つぎに、 $\tan \delta$ の値はPVCに充填される可塑剤の量によって第4図のように影響され、DBPの充填量の増加とともに損失係数は急速に増加し、さらにその増加は周波数が高いほど急激である。

以上のような見地から高周波による物質の誘電加熱に対する適応性を示せば第3表のとおりである。つぎに高周波融着の方法について述べると、第2表に示したよう

(第4図) DBPの充てん量の損失係数に及ぼす影響

(第3表) 高周波による物質の誘電加熱に対する適応性

水	}	Good
軟質塩ビ		
ナイロン		
塩化ビニリデン		
硬質塩ビ		
アセテート フィルム	}	Fair
ブチレート		
アクリル		
ポリエステル	}	Poor
トリアセテート		
レーヨン	}	Effect Little
シリコン樹脂		
フッ素樹脂		
ポリプロピレン		
ポリエチレン		
空気		

に高周波ミシンによる連続融着と高周波ウエルダーによる一定の形状の電極を用いて反覆融着するものとに大別されるが、いずれの場合もその原理には変わりなく、2枚の熱可塑性の繊維品（織物、編物、不織布など）を第2図のように電極間にはさみ、上下の電極間に高周波電圧を共振させることによって、繊維品自体がその誘電体損失によって均一に発熱し、加圧、冷却とあいまって融着するもので、ミシンは上下電極がローラーによって構成されている。

一般に熱融着はこのような内部加熱のほか、加熱された熱板を電極の代わりに用いてシートの表面から熱伝導によって加熱する外部加熱法でも融着は可能である。しかし、この場合のシート中の温度分布は第5図に示すように熱板に接する部分の温度が最も高く、内部に向かって低下し、融着しようとする中心の融着面の温度が最も低くなる。この時、融着を可能にするために、

(第5図) 外部加熱と内部加熱の融着面における温度の相異

その温度の最も低い融着しようとする接合部を融着可能の軟化温度にしなければならないので、熱板の温度はそれより相当高くすることが必要である。しかも融着所要時間を短縮するためには熱板の温度をさらに高くしなければならない。このために金属性熱板は変化を起こしやすく、融着物の表面は過熱されて熱板の面に付着したりして融着部の仕上がりの美観をそこない、しかも融着個所の強度を弱くする欠点がある。これに対して高周波加熱による場合には、融着物自体はその誘電体損失によって均一に発熱するが電極は発熱しない。このため、外部加熱とは逆に融着物自体の内部で発生した熱が熱伝導により電極に逃げ、融着物の温度は第5図に示したように融着部で最も高く電極に接する部分で最も低く融着に対しては理想的な温度分布が得られる。すなわち、この場合には融着しようとする接合部だけを軟化温度にまで加熱すればよいので過熱の憂いもなく、融着時間は加熱電力さえ増せば短縮できるという特長がある。

以上のように高周波融着法は内部加熱効果と電極の冷却効果をたくみに応用した理想的な方法といえる。

いま、高周波ウエルダーおよびミシンの電極として使用する金型の形状を例示すれば第6図のとおりである。

(第6図) 金型の形状

さらに、高周波加熱電源としては多くの場合、周波数が高い関係もあり、その簡単さと保守の容易さ、しかも十分良好な能率などの点で特長を持つ真空管発振機が用いられている。

4. 高周波融着の問題点と2, 3の実験

以上のように高周波誘電加熱による発熱は物質そのもので、いわゆる内部加熱式であるから、物質の内部まで均一に加熱でき、しかも、加熱の速度が早いという特長があり、先述の外部加熱式の欠点は全く除かれる。

一方、高周波融着が縫製面に実際に応用されている現状をみると

- (1) おむつカバーに塩ビシートを高周波融着して部分的に縫目のないものを市販している
- (2) ボンディングとキルティングを兼ねた感じのものとして、塩ビスポンジまたはウレタンスポンジとメリヤスまたは織物との高周波加工品が市販されている
- (3) シー スルー ルックの流行と使捨て時代の到来を反映して、高周波縫製した塩ビの婦人用レインコートが市販されている
- (4) 高周波ボタン ホール成型機が市販されている
- (5) スーツの前身頃の接着にPVCをコートした布をはさみ高周波融着している^{13~14)}
- (6) イギリスの **Radyne Limited** で自動車のシートカバーを52 sec間に一組の割合で製造できる高周波誘電プラスチック溶接機を開発した¹⁵⁾
- (7) 先述したように、ペーパードレスの仕立てに適用されんとしている

このように高周波融着は外部加熱法と比較した場合、種々の特長があるにもかかわらず縫製面に現在あまり応用されていないのは技術面においても経済面においても種々の問題を有して、いま技術上の問題点を例示すればつぎのようである。

- (1) 融着部分の融着強さが原布の引張強さと比較して低下する
- (2) 融着部分が硬くなる
- (3) 融着する際、時々スパークして融着せんとする物質を損傷する
- (4) 融着部分が変色する
- (5) 高周波ミシンは糸使いのミシン縫製と比較した場合、その縫製速度が遅い
- (6) 融着すべき物質のすべての部分が等しい厚さで

なければならない

- (7) 高周波加熱装置では総合効率が約50%である
- (8) その他

この中でも(1), (2)は高周波融着が縫製加工に適用されない技術上のひとつの大きな原因になっているため、これの対策のために行なった2, 3の実験についてつぎに示す。

素材は誘電加熱に特に適し、しかも加工性のよい塩化ビニル繊維(融着繊維)を選び、この繊維で不織布を作成したところ、融着部分が著しく硬く弱くなるので非溶融繊維(レーヨン)を何%ぐらい混用すれば融着部分の接点を減らし、融着部分の補強に適するかを混用率を変えた不織布を作成して実験を行なった。

また、融着部分が非常に硬くなるので可塑剤を添加し融着後もその部分が柔軟性を持つようにする実験を塩化ビニル繊維、塩化ビニリデン繊維よりなる布を用いて行なった。

さらに、繊維の融着部分が弱くなる原因を知る手がかりとして、塩化ビニル、塩化ビニリデン、ナイロンの繊維について、それぞれ原試料と融着部分のX線回折写真の比較検討を行なった。

以上の結果をつぎに示す。

- (1) 塩化ビニル繊維(融着繊維)にレーヨン(非溶融繊維)を混用することにより、融着部分を非溶融繊維によって補強するには、第7図に示すように、レーヨン混用率40%の場合に融着強さのピークがみられた。

(第7図) 塩化ビニル繊維混用率(レーヨン混)と融着強さおよび各種接着剤(不織布用)と融着強さ

- (2) 塩化ビニル繊維, 塩化ビニリデン繊維を融着するに際し, 融着部分に可塑剤を添加して融着することにより, 第 8, 9 図に示すように融着部分に柔軟性を付与することができた。可塑剤フタル酸ジエステルはエステルのアルキル基の炭素数が小さいほど融着部分に入りやすく, 特に炭素数が 2 の場合に最も高い含有量を示した

(第 8 図) 塩化ビニル繊維のフタル酸ジエステルによるアルキル基の炭素数と融着試料の可塑剤含有率および柔軟度

(第 9 図) 塩化ビニリデン繊維のフタル酸ジエステルによるアルキル基の炭素数と融着試料の可塑剤含有率および柔軟度

- (3) 融着部分の X 線回折写真によると繊維内では第 10, 11, 12 図に示すように, 繊維内の分子鎖が乱れ配向性が悪くなり非晶化が起きた

融着前 融着後
(第 10 図) ナイロン繊維の X 線回折写真

融着前 融着後
(第 11 図) 塩化ビニリデン繊維の X 線回折写真

(第 12 図) 塩化ビニル繊維の X 線回折写真

このように 40% のレーヨンを混用した不織布を作成することにより, 融着部分の融着強さの低下を防止することができたが, 根本的には融着しても配向性のあまり乱れない繊維の開発が望まれる。

また, スパーク防止の対策として現在研究されている方法にメーター リレー およびスパーク防止機が取り付けよう工夫されているが, これらはいずれもスパークが起こった場合の損傷を最少にとどめるための方法であって, さらに根本的にはスパークを起こさせないような機械の開発が望まれる。

5. お わ り に

衣服は現在縫針と縫糸で縫製されているが、衣服の機能から検討して必ずしも糸と針による縫製は必要としない。このような観点から、最近高周波および超音波あるいは接着剤を使用したプレス接着などの特殊縫製による衣服製造が考え始められ、今回は高周波によるものの現状を紹介した。特殊縫製の中、超音波についても現在実験中であり、高周波にない長所、短所を持っているが、詳細についてはまたの機会にしたい。

特殊縫製の長所はなんといっても縫針と縫糸を使用しないことであって、さらにいっそう能率面と品質面の研究を進め、一般に普及する日の近からんことを願う次第である。

引用文献

- 1) 科学技術庁資源調査会勧告第 20 号
- 2) 化繊月報; 21, 51 (1968-7)
- 3) A. Slade; Text. Inst. Ind., 2, 131 (1964)
- 4) 芳賀; 繊維と工業, 3, 123 (1970-2)
- 5) 特公 昭 40-19 460 (モンサント コンパニー)
- 6) 特公 昭 41-14 624 (モンサント コンパニー)
- 7) 特公 昭 41-14 623 (東洋レーヨン)
- 8) 倉橋; Bonded Materials, 1, 4 (1962-9)
- 9) Text. Wky., 618 (1969-5)
- 10) Text. Manuf., 95, 280 (1969-7)
- 11) 遠藤ほか; アンテナ工学 (1969)
- 12) 山本; 最新の高周波応用 (1954)
- 13) Text. Manuf., 95, 239 (1969-6)
- 14) Text. Month., 106 (1969-6)
- 15) 英国工業ニュース, 12, 5 (1969-10)
- 16) 万代, 明石; 消費科学, 11 (1970-10)

書 籍 案 内

新 刊

繊維工学年鑑

B 5 判 300 ページ 上質紙上製本, 定価 1 500 円 (〒160 円)

「繊維工学年鑑」刊行の意義は、これが国内および海外における繊維工学に関する 1 か年の総まとめであり、毎年定期的に刊行されることなどであろう。それによって繊維工学に関係するものが、いつでも必要ときに、わが国の繊維工学の研究技術の状況、内外の研究技術の文献および特許などについて適確に引用資料として利用できる点にある。これは刊行の年月が重なるにしたがって重さを増すであろう。

— 内 容 —

I 繊維工学の研究・技術展望	V 国内繊維特許
II 繊維業界の回顧と展望	VI 海外繊維特許
III 国内繊維文献	VII 繊維 3 学会関係報告
IV 海外繊維文献	

— 編 集 委 員 —

田 中 道 一 (日本女子大)	井 谷 和十郎 (京工織大)
藤 本 枝 太 (滋賀女子短大)	軍 司 敏 博 (日東紡績)
村 上 文 男 (東洋紡績)	堀 川 明 (大阪大学)
塩 見 昭 (京工織大)	三 浦 義 人 (京工織大)
川 端 季 雄 (京都大学)	細 川 重 三 (京工織大)