同時二軸延伸ナイロン・フィルムの溶接性に関する研究*

木村 博** 山口 拓治*** 坪川 正和**

A Study on the Weldability of Simultaneous
Two-Axis Drawing Nylon Film*

by Hiroshi Kimura**, Takuji Yamaguchi*** and Masakazu Tsubokawa**

Abstract

The purpose of this paper is to clarify the characteristic of simultaneous two-axis drawing nylon film and seek after the possibilities of welding bond, making use of the property of thermoplastics. Namely molecular chain oriented by simultaneous two-axis drawing is considered to be set at random by welding, which causes a great property change on both weld and heat affected zone, and thus the characteristic of simultaneous two-axis drawing nylon film can be considered to be done away with. The focus of the study, therefore, is to obtain the welding conditions without losing the characteristic of simultaneous two-axis drawing nylon film. Welding method used is heating plate welding and suitable conditions are established by studying the interrelation among heating plate shape, heating temperature, welding pressure and welding time. Specimen used was simultaneous two-axis drawing 6-nylon film, 0.025 mm in thickness. First, tensile strength and elongation were recorded from tension tests in machine direction (M.D.), transverse direction (T.D.), and a 45-degree angle direction, and microstructure was examined by X-ray diffraction. Specimen used in the tension test was JIS K6475 type-3 dumb-bell type. The suitable voltage for the desired heating temperature is obtained from A.C. 100 V regulated by slidac, and the temperature was measured from heating plate by thermocouple. Welding pressure was applied based on lever principle and was pricked up by compression load cell and then put into tensile recorder. The pressure was applied quickly, and welding time was recorded just after necessary pressure being obtained. Both up and down sides of specimen surface were covered with 0.18mm teflon film mixed with glass cloth to make me specimen stick to neither heating plate nor rubber plate. Specimen was preheated just before the experiment in the hot air circulating dryer at 50°C for 25hr. for the sake of getting better conditions. Bubbles born at welding time are thus avoided. Heating plate attached to the welding apparatus is made of copper, and 3 different types in shape are shown in fig. 1. Type 1 is for peeling the specimen, type 2 is for manufacturing the tensile specimen, type 3 is for inspecting the differences of joint efficiency resulting from the various shapes of heating plate. Changes of microstructure caused by influences described above were examined by studying the orientation changes obtained from comparison of diffraction degree of X-ray diffraction photographs taken on plain films, by penetration method. In case of 6-nylon, diffraction patterns of (200) (002) side are observed to be relatively strong. X-ray test conditions are as follows. Voltage:55 KV, electric current:10mA, distance between specimens :28 mm, irradiation time:2 hr, X-ray apparatus: SHIMAZU analysis type X-ray apparatus GX-1. The following conclusion can be made from the results of the present experiments. Welding of simultaneous two-axis drawing nylon film is possible without losing its characteristic, by choosing the proper welding conditions.

1. 緒 言

同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性を明らかにし、熱可塑性プラスチックの性質を利用して、同時二軸延伸フィルムの有効な特性を出来るだけとめながら、溶接接合の可能性を求めている。

すなわち、同時二軸延伸により配向した分子鎖が溶接に伴う熱影響により、ランダムになり、溶接部およびその近傍で著しい性質の変化が生じる可能性が大きく、ともに溶接熱影響を受けると、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性が生かされなくなると考えられる。

本研究は同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性を出来るだけそこなわないで、溶接接合をするための溶接条件を求めている。従って、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性を生かした状態での溶接接合の可能性を求め

* 原稿受付 昭和48年5月21日(48年度春季全国大会に発表)

** 正 員 福井大学工学部 Member, Fukui University, Faculty of Engineering

*** 福井大学工学部 Fukui University, Faculty of Engineering

た実験的研究である。

溶接の方法としては、この研究目的のために試作した熱板溶接機によっており、一応の目的を達していると考えられる。

2. 供試材料および実験方法

ナイロン・フィルムの溶接接合は、比較的容易であって、電気的極性をうまく利用した高周波溶接、機械的剛性をうまく利用した超音波溶接といった内部加熱法による溶接も適用出来る。また、一般には熱板溶接や熱器具溶接が利便性の上から使用されている。

ここでは同時二軸延伸フィルムの特性を出来るだけ、とどめた状態で強力な溶接接合を得るための研究であって、同時二軸延伸フィルムの特性を出来るだけとどめるということと、出来るだけ強力に溶接接合するということは、本質的に、相反する事象を生じ、相入れざる要素の問題を持っている。

すなわち、同時二軸延伸フィルムの特性は、二軸方向の延伸によって分子配向を有し、二軸方向に対する強度に優れている。ちなみに、無延伸ナイロンの引張強度は 5.20 kg/mm^2 (東レ・ナイロン CM 1001, 比重 $1.13 \sim 1.15$, 融点 $210 \sim 220^\circ\text{C}$, 引張強度の試験方法は ASTM-D638)¹⁾ であり、本実験に使用した同時二軸延伸ナイロン・フィルムに引張強度は $11 \sim 12 \text{ kg/mm}^2$ の範囲にあって、さらに、同時二軸延伸であるために (フィルムで使用するに際しては、第3軸方向の強度はほとんど必要としない)、二軸についての分子配向が有効に活用され、もとの無延伸のものに対して、はるかに大きいメリット (本実験に使用したものでは、 $2.12 \sim 2.31$ 倍の強度) が、ほとんど、実際の使用 (25°C , RH $65 \sim 90\%$) に当って活かされることになる。

一方、溶接に伴っては、加熱・昇温・溶融・圧縮という過程をへて、合体されるのであるから、ミクロ的にはこの過程の進行とともに、ミクロ・ブラウン運動からマクロ・ブラウン運動を励起し、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの分子配向に変動を生じることが、さけられないことである。溶接部全体に何等考慮することなく、加熱・溶融せしめると、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの二軸分子配向は解消する方向に進み、延伸フィルムの特性は消失してしまうことになる。従って、分子配向のミクロ的構造をとどめるといふことと、溶接に伴う加熱・昇温・溶融ということとは相反する事象であって、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性をできるだけとどめながら、必要とする溶接強度を有する接合をおこなうことは難しいことである。

すなわち、フィルムの接合面 (溶接面) のできるだけ

局部のみを加熱・昇温・溶融せしめ、すばやく被溶接面を圧縮せしめて合体を終了するように基本的に考えられる。

急激な昇温ということは、接合面と加熱板との温度差が大きい程、効果は大きいが、接合面は有機材料であって、高温においては熱分解を容易に発生し、低分子物の介在することとなって、のぞましくない。

一方、ナイロンは有機材料であって熱伝導率 $0.18 \text{ kcal/mhr}^\circ\text{C}$ ²⁾ と低く、局部のみの加熱・昇温・溶融について瞬間的範囲において、ある程度可能であると考えられる。

この場合、間髪をいれず両接合面を圧縮して接合・合体をおこなえば、ナイロン・フィルムの溶着部以外は、ほとんど同時二軸延伸ナイロン・フィルムの分子配向の構造をとどめることの可能性がある。

以上のような諸条件などを考慮して、溶接方法としては、この目的のために試作した熱板溶接機による熱板溶接を採用した。まず、熱板の形状、加熱温度、加圧力、溶接時間等の相関関係により、適正条件を設定している。

供試材料は厚さ 25μ の同時二軸延伸 6 ナイロン・フィルム (ユニチカ製) であった。

試作した溶接装置の主要部は、電気ヒーターを内蔵した熱源に、装着自由な熱板を有しており、溶接時の加圧は、てこの原理を用いた機械力によっている。その加圧力の検出は圧縮用ロードセルでおこない、テンシロン・レコーダーに挿入している。

溶接時間は、溶接局部が溶融状態に達すると、すばやく加圧をおこない、所定の加圧力が得られた時から計測している。一方、溶接温度は、熱板温度をコントロールするため、ヒーターを内蔵した熱源の電圧をスライダックによって調整し、温度は熱板より熱電対によって検出している。

試料の上下には厚さ 0.18 mm のガラス・クロス入りテフロン・フィルムを用い、試料が熱板と、試料を受けるゴム板に付着するのを防いでいる。ここで、ガラス・クロス入りのテフロン・フィルムを用いているのは、融点が 327°C ³⁾ で、被溶接材料のナイロン・フィルムの融点 $210 \sim 220^\circ\text{C}$ に比較して高く、かつ剛性が大きいためであった。

試料は溶接直前に熱風循環乾燥機中で、 $50^\circ\text{C} \cdot 24\text{hr}$ 予備乾燥をおこない、溶融部分に気泡ができるのを防ぐなどの状態調整をおこなっている。

溶接装置の熱源に取付けた熱板は銅製で、Fig. 1 に示す三種類の形状のものを使用した。1型は剝離試験片を製作、2型は引張試験片の製作、3型は同時二軸延伸フ

Fig. 1 Heating plate used on the welding.

フィルムの特性をできるだけとどめながら、溶接が得られるように考案したものである。試験片形状は、剝離試験 8×60 mm の短冊状で、 8×10 mm の溶着部を有しており、引張試験は 10×95 mm の短冊状で、Fig. 1 の2型と3型の熱板による溶着部を有している。なお、母材の引張試験は JIS K 6745 1型試験片の形状を採用した。

また、引張試験は、剪断引張法、剝離試験は、合掌形剝離法を採用した。

次に、溶接熱影響が、ミクロ的構造に変化を与え、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性が変る状態を検討するために、X線回折実験をおこなっている。すなわち、同時二軸延伸ナイロン・フィルムのミクロ構造の変化を、平面フィルムを用い、透過法によって得られたX線回折写真の変化より検討している²⁾。なおX線回折写真撮影の条件は、電圧 55 KV、電流 10 mA、試料間距離 28 mm、照射時間 2 hr で、島津分析用X線装置 GX-1 を使用した。

Fig. 2 Directional properties on the stress and strain of the simultaneous two-axis drawing Nylon film.

3. 実験結果および考察

Fig. 2 は、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの方向性を引張強度で考察したものである。同時二軸延伸の効果が明らかに認められ、 $11 \sim 12$ kg/mm²で、無延伸ものの2倍強の大きさに強化していることは、前述の通りである。また、破断時の歪、応力ともに方向性は少なかった。

Photo. 1 は、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性を明らかにするため、Thru., Edge, End の3方向についてのX線回折写真である。Thru. 方向のX線回折像はリング状になり、Edge, End はほとんど同じ配向X線

Photo. 1 X-ray diffraction pattern on the three direction.

図を示しており、弧状の回折像の円周方向の強度分布から、配向度を求めることができる。これらのX線回折図から、同時二軸延伸ナイロン・フィルムのミクロ構造を考察することができる。すなわち、Fig. 2の実験結果と比較すると、ナイロン・フィルムの通常の使用で要求されるフィルム面での強度は、同時二軸延伸によって十分に強化されており、そのミクロ的な裏付けが、Photo. 1で立証せられたことになる。

以後のマクロの実験は、Photo. 1に示したに M.D (Machine Direction) についておこない、ミクロの実験は Edge 方向からおこなっている。

Fig. 3 Heat effect on the Noyln film.

Fig. 3は、同時二軸延伸ナイロン・フィルムを溶接した場合に受ける溶接熱影響を、あらかじめ雰囲気温度を溶接近傍の温度に設定し、加熱時間の経過によっていかに変化するかということを、検討したものである。すなわち、200°Cの雰囲気中で、0より160 secに至る間の加熱時間において熱影響を与えた試料の M.D と、それに直角方向 T.D について、引張試験をおこない、破断時の応力と、最大歪を示したものである。破断応力については、40 sec までの熱影響では変化はみられず、80 sec, 160 sec と加熱時間が長くなると、熱影響が明らかに見られる。もちろん、溶接に際しては、加熱とともに被溶接部が昇温・軟化・溶融した瞬間に、圧縮力を加えて合体するのであるから、溶融状態が、溶融に近い温度で外力が作用するのであるから、単に加熱・昇温・軟化、さらに溶融に近い状態にもっていった、溶接熱影響を考察したのであるから、特に溶融状態あるいは、そ

れに近い状態での外力の影響が加味されなくてはならない。一方、最大歪についても、加熱時間 40 sec までの熱影響による歪の減少は見られず、80 sec, 160 sec において急に歪の減少を来している。さらに詳細に考察すれば、加熱時間が 40 sec までにおいて、荷重方向により、最大歪に相違を示しており、加熱時間が 0, 5, 10, 20 sec のものでは、最大歪量が M.D に荷重した場合よりも、T.D 方向に荷重した場合の方が、10~15% 大きい値を示している。これは、M.D よりも、10~15% T.D の方が、熱影響を明らかに受けるようになるまでは、配向効果が出ていることを意味している。加熱時間が 80 sec, 160 sec で M.D の歪の値と、T.D の歪の値が等しくなっており、熱影響を受け、配向効果が減少したか、解消したかを意味しているものと考えられる。従って、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの溶接では、その特性を生かしながら接合することが肝要であって、Fig. 3の実験において、熱影響の受ける状態などの大体的様子が見定められたことになった。

Photo. 2 X-ray diffraction pattern on the heat affected Nylon film.

Photo. 2は、Fig. 3に示した実験結果から、200°Cで 80 sec, 160 sec の加熱によって熱影響が見られ、M.D の歪と T.D の歪に差違が見られなくなっており、配向効果が減少しているか、解消したかを検討するため、X線回折試験をおこない、配向 X線図の変化を検討したものである。その結果、Photo. 1の熱影響を受けていない配向 X線図と比較すると、ほとんどミクロ的な変化は認められなかった。従って、Fig. 3の加熱時間が 40 sec までの範囲における M.D の破断歪と、T.D の破断歪が相違したのが、加熱時間が 80 sec 以上において解消しているのは、フィルムの極く表面が加熱・昇温・軟化・溶融に伴って平滑となり、一方では低分子の発生、劣化が進み、脆化をもたらし、両者の差違が認められなくなったものと考えられる。

Fig. 4~6は、Fig. 1に示した Type 1の熱板で、溶接温度が 230°C, 250°C, 270°C で、それぞれ溶接した場

Fig. 4 Relation between peeling strength and welding condition at welding temperature 230°C.

Fig. 5 Relation between peeling strength and welding condition at welding temperature 250°C.

合、溶接時に熱板を圧縮して、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの試験片に熱を供給した時間と、溶接部の剝離強度との関係を示したものである。なお、この場合、加熱・昇温・軟化現象をへて溶融する瞬間、溶接局部をさらに圧縮することによって強力な溶接が得られるので、その圧縮力についても、20, 10, 5 kg/cm² (Fig. 4) と 10, 6, 4, 2 kg/cm² (Fig. 5 & 6) で、その影響を考察している。

これらの実験結果を考察すると、溶接温度が 250°C、

Fig. 6 Relation between peeling strength and welding condition at welding temperature 270°C.

溶接加熱時間が 5 sec、溶接圧縮力が 10 kg/cm² で、充分な剝離強度 1,000 g/cm が得られることが明らかになった。

加熱温度と加熱時間との間には関係があって、加熱温度が低い場合は、加熱時間を長くすれば、圧縮力が高い場合 (10~20 kg/cm²)、700 g/cm 程度の剝離強度が得られ、一方、加熱温度が高い場合 (Fig. 6) は、加熱時間が比較的短い 4~5 sec で、圧縮力も比較的小さい 6 kg/cm² において 950 g/cm 程度の剝離強度が得られている。従って、加熱温度を中心に溶接条件を決定することや、加熱温度は低い目よりも高い目の方が優れた溶接が得られることも明らかになった。なお、充分な溶接を得るためには、溶接温度、溶接加熱時間、溶接加圧力の順に、適切な条件を選定することが必要であることも明らかになった。なお、図中・印のものは溶接部境界で破断している。

Photo. 3~5 は剝離試験片の X 線回折写真で、配向 X 線図の弧状の回折像の円周方向の強度分布から、配向度を中心に考察して見ると、Photo. 3 の溶接温度 230°C の場合、溶接加熱時間、溶接加圧力にかかわらず、分子配向の変化はほとんど見られない。Photo. 4 は、溶接温度

Photo. 3 X-ray diffraction pattern at each welding conditions.

Welding pres. : 10, 2, 10 kg/cm²
 Welding time : 2, 5, 5 sec
 Welding temp.: 250, 250, 250 °C

Photo. 4 X-ray diffraction pattern at each welding conditions.

Welding pres. : 10, 2, 10 kg/cm²
 Welding time : 2, 5, 5 sec
 Welding temp.: 270, 270, 270 °C

Photo. 5 X-ray diffraction pattern at each welding conditions.

250°C の場合、溶接加熱時間が少ない 2 sec の時は配向 X 線図を明確に示しており、弧状の回折像の円周方向の強度は変っていない。溶接温度 250°C においても、溶接加熱時間が 5 sec になると、配向 X 線図の弧状の回折像がうすらいであり、弧状の回折像は円周方向の強度は低下している。次に、溶接時の圧縮力の影響が見られ、その大きさが、2 kg/cm² の場合よりも、10 kg/cm² のものの方が配向 X 線図に変化が見られる。以上の配向 X 線図の変化からして、溶接温度 250°C、溶接加熱時間 5 sec、溶接時の圧縮力が 10 kg/cm² で、配向 X 線図はうすらいでくるが、弧状の回折像の円周方向の強度を有した状態で溶接がおこなわれている。これは、Fig. 4~6 で示した溶接部のマクロ的性質と一致しており、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性をとどめながら、溶接をおこなうという目的にかなった溶接の可能性を明らかにしたものであるといえる。

次に Photo. 5 は、溶接温度が 270°C の場合の溶接部の X 線回折写真で、溶接加熱時間の短い 2 sec の場合、配向 X 線図をとどめており、弧状の回折像の円周方向の強度が見られる。溶接温度が 270°C の場合でも、溶接加熱時間が 5 sec になると、配向 X 線図は見られなくな

り、ほとんど分子配向は解消していることを示している。なお、この場合、溶接時の圧縮力の影響は、溶接温度、溶接加熱時間に次いでおり、溶接温度と溶接加熱時間が同じである場合、溶接時の圧縮力は、配向 X 線図の解消に寄与しており、溶接熱影響を与えている。

以上の X 線回折試験によって溶接熱影響を考察したが、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの溶接したものの配向 X 線図について、弧状の回折像の円周方向の強度と溶接条件との関係をまとめると、Table 1 のごとくなった。この Table 1 と Fig. 4~6 の結果より、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの適切な溶接条件として、溶接温度 250°C、溶接加熱時間 5 sec、溶接時の圧縮力として 10 kg/cm² が与えられた。

Fig. 7~8 は Fig. 1 で示した Type 3 の形状の熱板で溶接しものの、引張試験の結果である。Fig. 7 は、溶接温度 250°C におけるもので、溶接加熱時間 5 sec、溶接時の圧縮力が 4 kg/cm² で、溶接継手効率 90% と優れた溶接が得られている。なお、溶接時の圧縮力がきわめて小さい時は、他の溶接条件がととのっていても、その溶接継手効率は、60% と低下しており、圧縮力についても、溶接温度、溶接加熱時間に次いで考慮すべきことを

Table 1 On the welding heat affect in orientation X-ray diagram.

		Orientation degree in X-ray diagram			
		Large	Middle	Small	Non
Welding temperature 230°C	Welding time 5sec Welding pressure 20 kg/cm ²	○			
	Welding time 15sec Welding pressure 5 kg/cm ²	○			
	Welding time 15sec Welding pressure 20 kg/cm ²	○			
Welding temperature 250°C	Welding time 2sec Welding pressure 10 kg/cm ²	○			
	Welding time 5sec Welding pressure 2 kg/cm ²		○		
	Welding time 5sec Welding pressure 10 kg/cm ²		○		
Welding temperature 270°C	Welding time 2sec Welding pressure 10 kg/cm ²			○	
	Welding time 5sec Welding pressure 2 kg/cm ²				○
	Welding time 5sec Welding pressure 10 kg/cm ²				○

Fig. 7 Relation between tensile strength and welding condition at welding temperature 250°C.

意味している。

また、溶接温度が270°Cになると、その溶接温度での最高の溶接強度の得られる溶接加熱時間は、わずか2sec程度に短縮されるが、その最大強度は、溶接時の圧縮力が10 kg/cm²で80%の溶接継手効率が得られ、2~6 kg/cm²の圧縮力では溶接加熱時間が3 secとなり、溶接継手効率75%を示している。

以上の結果、引張試験においても、前におこなった剝離試験およびX線回折試験の結果と同じ溶接条件で、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの溶接を得ている。

Photo. 6 は引張試験に用いた試験片についてのX線回

Fig. 8 Relation between tensile strength and welding condition at welding temperature 270°C.

折写真で、配向X線図で弧状の回折像の円周方向の強度は、溶接していない同時二軸延伸ナイロン・フィルムのもので、ほぼ同程度であるが、溶接温度が270°Cのものは、弧状の回折像に乱れが見られ、ばやけている。これは溶接熱影響を受けて分子配向に変化をきたしていることを意味している。Photo. 6の2つのX線回折写真は、溶接温度が相違し、他の溶接条件は同じ場合のものであるが、溶接温度付近では、わずかな温度差が溶接部の微細構造に相当の差異を生じている。これらを剝離試験の試料についての配向X線図と比較すると、溶接条件のほぼ同様のPhoto. 4の250°Cの溶接温度の場合は、配向

Welding pres.: 4, 4 kg/cm²

Welding time: 5, 5 sec

Welding temp.: 250, 270 °C

Photo. 6 X-ray diffraction pattern at each welding conditions.

X線図の大きい相違が見られ, Photo. 5 の 270°C の溶接温度の場合は, もはや, もとの配向 X線図をとどめず, リング状回折像となってしまう。これらは引張試験用試料からとった X線回折写真と相違しており, その理由は, 熱板の形状を, 剥離試験用溶接試験片のためのものと, 引張試験用溶接試験片のためのものと, 相違しており, 剥離試験用の熱板 (Type 1) は, 溶接面がフラットで蓄熱効果が大きく, 一方, 引張試験用の熱板 (Type 3) は, ピッチ 1mm の波形面で溶接しており, そのために溶接熱影響も相違するためであろう。

Table 2 は, 剥離試験用溶接試験片の溶接部の結晶化度, 溶接部の弧状の回折像の円周方向の変化を, 溶接熱影響を受けていないものの, それらと比較している。溶接部の結晶化度は³⁾, 密度勾配管法⁴⁾によって密度を求め, 結晶化度が高くなると, 密度が増加し, 両者の間には比例的な関係があるから, 次の式によって結晶化度を求めている。

$$x = \frac{d_c(d - d_a)}{d(d_c - d_a)}$$

但し, x : 試料の結晶化度

d_c : 結晶質の密度

d_a : 非晶質の密度

d : 試料の密度

これらの計算結果から, 溶接部の結晶化度は, 溶接温度 230°C のグループの平均値で 38.4%, 250°C の平均値で 36.8%, 270°C の平均値で 32.5% と, 非溶接部で溶接熱影響を受けないものの 46.7% の結晶化度と比較すると, 溶接 230°C のグループの平均値では 82%, 250°C の平均値では 79%, 270°C の平均値では 70% と, 溶接熱影響を受けて結晶化度は多少低下している。これは, 同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性をとどめながら, 十分な溶接をうるためには適当な程度であって, 溶接部は全く溶接熱影響を受けないで, 十分な溶接を得ることは, 全

Table 2 Drystalline degree and change of X-ray diffraction pattern on the welded zone (peeling test).

Welding condition			Peeling strength (g/8mm)	Crystalline degree on the welded part (%)	Change of orientation for M.D on the welded part (%)
Temperature (°C)	Pressure (kg/cm ²)	time (sec)			
230	20	5	80	40.4	100
	5	10	610	40.6	100
	20	15	680	38.4	100
250	10	2	650	43.5	87
	2	5	610	33.2	68
	10	5	990	33.6	49
270	10	2	750	34.0	69
	2	5	780	32.0	20
	10	5	950	32.5	0

Base material.....Crystalline degree: 46.7%

Change of orientation for M.D on the welded part: 100%

Table 3 Crystalline degree and change of X-ray diffraction pattern on the welded zone (tension test).

Welding condition			Tensile strength (kg/mm ²)	Joint efficiency (%)	Crystalline degree on the welded part (%)	Change of orientation for M.D on the welded part (%)
Temperature (°C)	Pressure (kg/cm ²)	Time (sec)				
250	4	5	12.2	90	40.3	95
270	4	5	9.1	67	39.0	89

Base material.....Tensile strength for M.D: 13.6 kg/mm²

Crystalline degree: 46.7%

Change of orientation for M.D: 100%

く不可能なことである。従って、この程度の溶接部の結晶化度の低下はやむを得ないものであろう。

一方、配向 X 線図の弧状の回折像の円周方向の ϕ 角の変化は、溶接温度が 230°C の場合、その他の溶接条件にかかわらず、非溶接部の溶接熱影響を受けていないものと同じ ϕ 角を有しており、全く溶接熱影響はみられない。

次に、これらの ϕ 角を 100% とし、弧状の回折像がリング状になった場合 ($\phi=180^{\circ}$) を 0% とし、弧状の回折像の円周方向の ϕ 角の変化を、溶接熱影響について考察すると、溶接温度 250°C の場合の平均値では 69%、 270°C の場合の平均値では 30% となっており、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの分子配向に変化をもたらしており、適切な溶接条件では、分子配向度にも大きな変化を起させずに溶接できることの可能性が明らかになった。

Table 3 は、Table 2 と同様の溶接熱影響について、引張試験用溶接試験片の結晶化度の変化と、配向 X 線の弧状の回折像の円周方向の変化について考察したものである。

溶接温度が 250°C の場合は、結晶化度は 40.3% と、溶接熱影響を受けていないものの 46.7% と比較すると、86%、また、 270°C の場合は、39.0% で、溶接熱影響を受けていないもの 46.7% と比較すると、84% となっており、いずれも、剝離試験のために用意した溶接試験片のそれらより、結晶化度の低下は小さく、ミクロ的にも、もとの同時二軸延伸ナイロン・フィルムの結晶化度に近い状態で溶接されていることが明らかになった。

一方、配向 X 線図の弧状の回折像の円周方向 ϕ 角の変化は、同時二軸延伸ナイロン・フィルムのもとの ϕ 角を 100% とし、弧状の回折像がリングになった場合 ($\phi=180^{\circ}$) を 0% とし、求めると、溶接温度が 250°C の場合は 95%、 270°C では 89% と、分子配向には溶接熱影響がわずかに作用した程度にとどまっていることが明らかになった。この場合も、剝離試験のために用意した溶接試験片の方が、溶接熱影響が少ないことが明らかになった。

すなわち、両者の相違は、熱板の形状によるところが多く⁵⁾、ミクロ的にも、同時二軸延伸ナイロン・フィルムの分子構造をできるだけとどめながら、十分な溶接が可能であることが明らかになった。

4. 結 言

以上の実験結果をまとめると、次のごとくなる。

- 1) 同時二軸延伸ナイロン・フィルムの特性をとどめながら、比較的充分な溶接の可能性が明らかになった。
- 2) 同時二軸延伸ナイロン・フィルムの 25μ 程度の厚さのものの熱板溶接条件としては、溶接温度 250°C 、溶接加熱時間 5 sec、溶接時の圧縮力 $4\sim 10\text{ kg/cm}^2$ が適当であることが明らかになった。なお、その場合の剝離強度は 1000 g/cm 、引張試験による溶接継手効率は 90% が得られている。
- 3) 同時二軸延伸ナイロン・フィルムの配向 X 線図の弧状の回折像の円周方向 (ϕ 方向) の解析から、もとの分子構造をとどめながら、比較的充分な溶接が得られることが明らかになった。なお、ミクロの解析から得られた溶接条件と、上記のマクロ的に得られた溶接条件は同様であった。
- 4) 同時二軸延伸ナイロン・フィルムの適切な溶接条件で得られた溶接部のミクロ構造は、もとのものとほぼ同様であって、結晶化度では、もとのものを 100 とすれば、86% にとどまっており、配向 X 線図の弧状の回折像の円周方向 ϕ 角の変化は、もとのものを 100 とすれば、95% にとどまっている。
- 5) 同時二軸延伸ナイロン・フィルムの熱板溶接における熱板の形状は、溶接結果に重要な影響をもつ要因であることが明らかになった。

5. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、実験に協力いただいた福井大学学生・毛利範之君に厚く感謝いたします。

また、実験材料を提供していただいたユニチカ株式会社に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 日本プラスチック工業連盟：プラスチック性能便覧，p. 317 (1969)
- 2) 角戸正夫，笠井暢民：高分子 X 線回折，p. 187 (1968)
- 3) 福本 修：ポリアミド樹脂，p. 46 (1970)
- 4) 密度勾配管法：ASTM D 1505 "Density of Plastics by the Density-Gradient Technique"
- 5) 木村 博，山口拓治，坪川正和，豊浦信章："A Study on the Welding of Textile", Memoirs of the Faculty of Engineering, Fukui University, Vol. 21, No. 1, 155~163 (1973)