アルミニウム金属繊維の溶融紡糸について

名古屋工業大学 沢 木 汀 二 (会員)
横 田 憲 司
川 上 恒 夫

Aluminium Filament made by the Melt Spinning Method

Teiji Sawaki, Kenji Yokota and Tsuneo Kawakami

Department of Fiber and Polymer Technology, Nagoya Institute
of Technology, Nagoya

1. 緒 言

耐熱性繊維として金属繊維が、宇宙航空資材用に、米ソ両国において開発製造されるようになり注目されてきた。日本においても工業資材として関心が持たれるようになった。金属繊維の製造方法にはいろいろあるが¹⁾、現在最も多く工業的に使用されている米国の金属繊維Brunsnetはダイス法によって製造されている。筆者の一人は日本では余り行なわれていない錫、ハンダの繊維を溶融紡糸法にて製造した²⁾。その後新しい溶融紡糸装置を試作し、この装置にて融点の比較的高いアルミニウムの金属繊維を紡糸製造した。従来行なわれているダイス法では非常に長い工程を要するとともに高価なものとなる。それに対して溶融紡糸法は工程が短く容易に繊維

とすることができる長所がある。ただし強度は低下する。ここで、そのときの紡糸条件ならびに紡糸アルミニウム繊維の特性について報告する。すなわち、射出速度とノズル断面積の関係、縮率とノズル直径の関係、紡糸金属繊維の節珠とノズル直径の関係および紡糸金属繊維の機械的性質について述べる。なお、本研究の最終目的はステンレス スチール繊維の紡糸であり、その条件をうるため融点の低い金属により基礎実験を行なった。十分な理論的考察は今後に述べることとし、最小直径 37μ のアルミニウム繊維を紡糸することができたので、ここに報告する。

2. 実験装置

試作金属溶融紡糸装置の骨格図を第1図に示し、第2図にこの装置の写真を示す。金属加熱溶融部は高周波電

(第1図) 金属溶融紡糸装置骨格図

(第2図(a)) 金属溶融紡糸装置

(第2図(b)) 金属溶融紡糸装置

気炉で、射出加圧部は N_2 ガスボンベと連結しており、装置の下部は紡糸筒からなっている。溶融金属の温度は熱電対によって測定した。なお、ノズルはステンレスの材料で第3図に示す形状のものを用いた。アルミニウム

(第3図) ノズル断面の一例

フィラメント紡糸実験では、紡糸加圧 1.0, 1.5, 2.0 および 2.5 kg/cm^2 (ゲージ圧) を用いた。しかし、紡糸筒の圧力は大気圧とした。なお、アルミニウム素材は市販のものを用いた。純度 99.58 % のものであった。

3. 実験結果と考察

3.1 射出速度とノズル断面積の関係

射出速度とノズル断面積の関係を第4図に示す。この

(第4図) アルミニウム フィラメント紡糸における射出速度とノズル断面積との関係

射出速度は一般にニュートン流体の場合、射出圧力が一定の場合には、ノズルの断面積に比例し、粘度に逆比例するものであるから、ノズルの断面積が大きくなるとともに、射出速度は大となるのが自然である。第4図において、圧力が 2.5 kg/cm^2 のとき、射出速度は正の勾配を示し、 1.5 kg/cm^2 のときは、ほとんど平行状態となった。射出圧力が 2.5 kg/cm^2 のときは、一般理論的考えとよく一致している。しかし、 1.5 kg/cm^2 のときは、射出時の温度による粘度変化などの影響により、このような結果となったと考えられる。なお、今後多くの実験によって検討する必要がある。そこで Kent. R. Van

(第1表) 溶融アルミニウムの粘性係数 (Aluminium Vol. 1 (1967)²⁾ より)

溶融アルミニウムの粘性係数	
温度 (°C)	粘性係数 (Poise)
662	0.01379
669	0.01364
689	0.01317
718	0.01250
768	0.01175
806	0.01102
833	0.01058

Horn³⁾ が求めた溶融アルミニウムの粘度係数を第1表に参考資料として示した。

3.2 縮率とノズル直径の関係

縮率はつぎのように定義する。

縮率 = (凝固完了時のフィラメント径 (D_f) / 射出ノズル径 (D)) $\times 100\%$ 。

すなわち、ノズル径に対するフィラメント直径の減少を示す。なお固化によっても直径は減少する。いま、実験結果を第5図に示すと射出圧 1.5 kg/cm^2 にてアルミニウム フィラメントを紡糸した場合、ノズル径に反比例して負の勾配を示した。この原因は1つには、紡糸時

(第5図) アルミニウム フィラメントのノズル径と縮率の関係

のフィラメントに重力の影響が作用したものと考えられる。すなわち、紡糸されたアルミニウムフィラメントが太いほど固化するまでの時間が長く、その間に重力の影響を受けて延伸されると推察される。

3.3 フィラメント断面積と強度の関係

アルミニウムフィラメントの荷重伸度曲線は第6図のようになる。この図より、この程度のフィラメントの断面積では、細いフィラメントが太いフィラメントより強度（単位当たり強力）が大であることを示している。この点は一般合成繊維と同じ特性がある。アルミニウムは一般にははっきりした降伏点をもたない延性のある金属

(第8図) アルミニウムフィラメント断面積と降伏点強度の関係

ト断面積と強度の間には最低点が存在することを示している。この点はポリマー繊維と同じ性質を示した。すなわち、 $5 \times 10^{-5} \text{cm}^2$ 以下の断面積のアルミニウムフィラメントは次第に強度を増している。この特性は、錫、ハンダのフィラメントにおいても $(1.5 \sim 2.0) \times 10^{-5} \text{cm}^2$ 当たりで最低点を示した。しかし、ダイス法により製造されたものより弱いのは、アルミニウム金属が溶融し、

A: 断面積 $7.8 \times 10^{-5} \text{cm}^2$ のフィラメント

B: 断面積 $3.85 \times 10^{-5} \text{cm}^2$ のフィラメント

(第6図) アルミニウムフィラメント荷重-伸度曲線

である。アルミニウムフィラメントも同じように降伏点をはっきり示さないで、降伏点の決定法として Coptan⁴⁾ の方法を用いた。この降伏点における強度を降伏点強度とした。後述のフィラメントに節珠がある場合には、節珠のところに応力が集中して破断していると考えられる。

第7図はアルミニウムフィラメントの断面積と破断強度および伸びとの関係を示す。第8図は降伏点強度とアルミニウムフィラメント断面積との関係を示す。この強度は節珠の影響が相当関係している。しかし平均値を考えるとこれらの図よりアルミニウムフィラメン

(第7図) アルミニウムフィラメント断面積と強度および伸度の関係

(第9図(a)) アルミニウムフィラメントの節珠 ($\times 300$)

(第9図(b)) アルミニウムフィラメントの節珠表面 ($\times 4500$)

ノズルより射出冷却される短時間にあらゆる方向に結晶化がすすむため、結晶面をある一方向に配列させれば強くなるものと考えられ一度ダイスにて延伸すればよい結果が得られると思う。

3.4 アルミニウム フィラメントの節珠について

アルミニウム フィラメントは紡糸条件によって第9図(a)のような節珠ができる。第9図(b)は節珠表面の拡大写真を示す。この節珠はポリマーを熔融紡糸するとき条件によって発生するメルトフラクチャーとは異なるように考えられる。著者らの実験結果によればこの節珠は、紡糸時における圧力および粘度の影響が大きく左右するように推測される。

3.4.1 アルミニウム フィラメントの節珠とノズル径の関係

第10図にアルミニウム フィラメント節珠の径 a と節珠のフィラメント軸方向の長さ b との比 b/a と紡糸ノ

(第10図) アルミニウム フィラメントの節珠長と節珠径の比とノズル直径との関係

ズル径 D との関係を示す。ノズル径が大なるに従がい b の長さが大となる傾向を示している。ただし、 2.0 kg/cm^2 のときはノズル径 70μ のときは 90μ のときより大となった。この原因は不明である。しかし一般に説明できるのは熔融金属が紡糸され固化するときの固化時間が影響するものと考えられる。すなわち、節珠発生時節珠の軸と直角方向の径 a の冷却時間が太いフィラメントほど大となり重力の影響によって延伸され b が大となるためと考えられる。なお、ノズル径が大きくなるにつれて、いずれの圧力でも b の値が大となっている。

3.4.2 アルミニウム フィラメントの節珠径とフィラメント径の比 (a/D_f) とノズル径の関係

2 kg/cm^2 の圧力でアルミニウム フィラメントを紡糸した場合のアルミニウム フィラメントの節珠の径 a とフィラメント径 D_f の比 (a/D_f) とノズル径 D の関

係を第2表に示す。ノズル径が大なるのに従い a/D_f の値が小となった。この原因は前述のごとく紡糸金属フ

(第2表) ノズル直径とアルミニウム フィラメントの節珠径 (a) とフィラメント径 (D_f) との関係 (2 kg/cm^2 にて紡糸)

ノズル直径 D (μ)	a の 径 (μ)	D_f の 径 (μ)	a/D_f
70	184	62	2.97
90	184	75	2.45
110	200	94	2.13

ィラメントの固化時間に関係があるものと考えられる。すなわち、太いフィラメントほど固化時間が大であり、重力の影響を受けるため a/D_f が小となる。

3.4.3 アルミニウム フィラメントの節珠の間隔と射出圧力の関係

アルミニウム フィラメントの節珠間隔と射出圧力の関係を第11図に示す。射出圧力が大なるにつれて節珠間隔は次第に大となる。

この原因は射出速度が大となり節珠ができ、つぎの節珠発生までの移動距離が射出速度に比例するため間隔が大となるものと考えられる。しかし、あまり射出圧力を

(第11図) アルミニウム フィラメント射出圧力と節珠間隔との関係

(第12図) 節珠間隔と強度の関係

大にすると紡糸不可能な場合が生じた。

3.4.4 アルミニウム フィラメントの節珠間隔と強度の関係

アルミニウム フィラメントに生じた節珠間隔と強度の関係を第12図に示す。節珠間隔が大なるにつれて強度が大となっている。この原因は節珠のところで応力が集中して破断を起こしやすくなり、なお、単位長当たりの節珠数が多いのでこれが影響して強度が落ちるものと推測した。

4. 結 言

溶融紡糸法によって、比較的高溶融点のアルミニウム材より、アルミニウム フィラメントを製造した。この溶融紡糸アルミニウム フィラメントについて検討し、つぎの結果が得られた。

1) 射出速度とノズル断面積の関係は、射出圧力 2.0 kg/cm^2 の一定圧力のときは、ノズルの断面積に比例して大となった。しかし、 1.5 kg/cm^2 のときは、ノズル断面積が大となっても射出速度は一定となった。これは射出時の温度による粘度変化などの影響によって、一定となったものと考えられる。すなわち、射出速度は粘度に逆比例するので、この間の関係ではないかと推測し

た。

2) 縮率とノズル断面積の関係は、ノズル断面積に比例して負の勾配を示した。

3) アルミニウム フィラメントの強伸度は、フィラメントの断面積と強度との間に、最低点の存在することを示した。これは、一般ポリマー繊維に見られるのと同じ結果で、錫、ハンダでも同じ傾向を示した。

4) 紡糸条件によって均一なアルミニウム フィラメントに節珠が発生した。この発生原因はよく説明することはできないが、射出圧力や溶融金属の粘度の影響が作用するものと考えられる。

本研究にあたり、よき御教示を受けた長野教授に感謝の意を表すとともに、実験に協力を得た堀江教官にお礼申上げる。なお、本研究の一部は繊維機械学会年次大会（昭和45年5月27日）に発表した。

文 献

- 1) 沢木：織機誌，22，p. 278（1969）
- 2) 長野，沢木，谷口：織機誌，26，283（1970）
- 3) Kent R. Van Horn, Aluminium 1（1967）
- 4) M. J. Coplan, W. A. D. C. Technical Report, 53-21, U.S. Air Force.

（昭和45年5月27日 受理）

「研究速報」設定について

非常に急速な「繊維工学」の進歩にかんがみ、長期にわたる研究も、その論文としての完成の前に研究の内容を会員に御知らせするのを感じています。そこで新たに「研究速報」を「寄書」より独立させました。研究速報として御投稿いただいた原稿は、報文としてまとめて再投稿いただけます。