

# 針布線用鋼線の逆張力連続伸線試験

鈴木 弘・橋 爪 伸

伸線加工における逆張力の効果については、すでに多くの研究があり、その優秀性が認められている。すなわちその利点をあげれば次の通りであって、実際作業上の利益は大きい。

### 1. 歪の無理が減少するために起る利益

- a. ダイス内部で消費される変形仕事量が減少して、変形中に発生する熱が減少するため、引抜いた材料の機械的性質を悪くする危険がない。
- b. 外層部と中心部の歪の差が減少するため、引抜いた材料の性質が均一になる。
- c. 外層部の附加的剪断歪が減少するため、引抜いた材料の捻回値、屈曲値が向上する。

### 2. ダイス圧力が減少するために起る利益

- a. ダイスの磨耗が減少してダイスの寿命がのびる。
- b. ダイスと材料間の摩擦仕事量が減少するため、この部分で発生する熱が減少する。このため
  - b. 1. 低品位の潤滑材料を使用することができる。
  - b. 2. 引抜速度を速くすることができる。
- c. 消費動力が減少する。

等の利点があげられているが、これらは理論的に推論したものや、実験室において材料試験機等を使用して求めた実験室的研究結果によるものが主であって、実用伸線機を使用して、実際の生産作業条件で逆張力伸線加工法の優劣を検討した研究はほとんどない。

本研究においては、著者がさきに試作した生研式Ⅱ型逆張力連続伸線機を使用して、針布線用鋼線につき逆張力、伸線速度、潤滑剤を種々変えて実験を行い、各条件における個々のダイスに加わる力を測定し、また各条件において引抜いた線材の機械的性質をもしらべ、実際の伸線作業において逆張力、伸線速度が引抜作業、引抜いた線材の機械的性質に及ぼす影響を検討した。

なおこれと平行して、材料試験機を使用して低速度の伸線試験も行ったので、その結果をも併せてのべる。

### I. 低速伸線試験

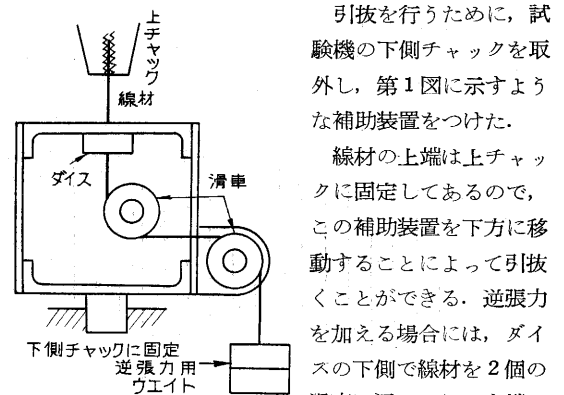
針布線用鋼線の実際の生産機による逆張力連続伸線試験に先立つ基礎試験として、材料試験機を使用し、後に実用機を用いて行う連続伸線試験において使用するダイス、線材、潤滑剤を用いて低速伸線試験を行い、逆張力が引抜抵抗に及ぼす影響を求めた。

本試験では伸線速度以外の伸線条件は、実用機による

試験の条件となるべく等しくなるようにした。しかし伸線速度が相違し、単位時間の伸線量が相違するため、ダイス部分の発熱条件が相違し、伸線温度は実用機による試験の場合と多少相違すると思われる。

### 1. 試験条件

1.1. 試験機 引抜試験には 300kg ショッパー型引張試験機を使用した。しかし本実験の目的には容量が大き過ぎて、全目盛範囲を有効に使用することができないので、荷重測定用のアームの特別に小さいものを製作し、最大目盛が 20kg になるようにして使用した。



第 1 図 引抜試験装置

引拔を行うために、試験機の下側チャックを取外し、第 1 図に示すような補助装置をつけた。線材の上端は上チャックに固定してあるので、この補助装置を下方に移動することによって引抜くことができる。逆張力を加える場合には、ダイスの下側で線材を 2 個の滑車に通し、その末端に適当なウェイトをつけた滑車における抵抗は別に測定し、逆張力の値を補正した。

本試験機を使用した場合、引抜速度は 103mm/mim に

第 1 表 使用ダイス

ダイス号	パラフィン		モビール油	
	ダイス孔径 mm	断面積減少率 %	ダイス孔径 mm	断面積減少率 %
1	0.541	5.4	0.527	10.1
2	0.502	13.9	0.497	11.0
3	0.473	11.2	0.472	7.8
4	0.450	9.5	0.449	11.5
5	0.429	9.1	0.427	9.5
6	0.409	9.1	0.404	10.5
7	0.388	10.0	0.380	11.5
8	0.365	11.5	0.363	8.8
9	0.346	10.2	0.346	9.1
10	0.330	9.0	0.328	10.1

原線 0.550 mm

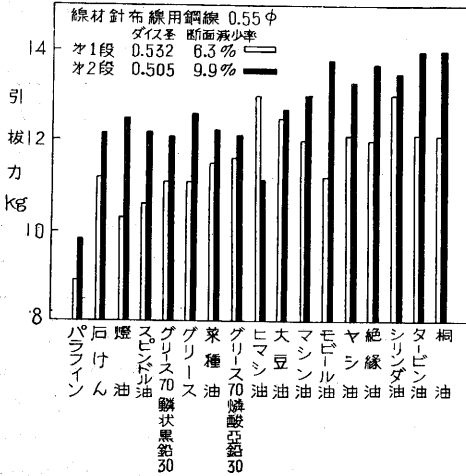
なった。

1.2 使用ダイス 本試験に使用したダイスはすべてタングステンカーバイト製合金ダイスで、その寸法は第1表に示してある。ダイス孔径は軟鋼線を引抜き、その直径をマイクロメーターで測定して求めたものである。

1.3 供試線材 試験に使用した線材は 0.57% C の針布線用鋼線で、直径 0.550mm、Patenting 処理を行ったものである。またその成分は次の通りである。

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
0.57	0.25	0.75	0.011	0.009	0.04	0.05	0.13

1.4 潤滑剤 実用機による試験に使用予定の2種の潤滑剤、パラフィン(150°C)(括弧内は溶解温度を示す)、モビール油について実験を行った。この2種の潤滑剤をえらぶに当っては、伸線に使用可能と思われる潤滑剤17種をえらび、各潤滑剤について予備的引抜き実験を行い、上記2種の潤滑剤を選択した。予備的引抜き実験の結果は第2図に示してある。直径 0.550mm の原線を第1



第2図 潤滑剤と引抜き力との関係

回直径 0.532mm のダイスに、第2回直径 0.505mm のダイスを通して引抜き、この両回の引抜き抵抗が小さい程潤滑剤の潤滑能が良好であると判断した。図は左より潤滑能のよい順に示してある。

2. 試験方法

引抜きを行う前に、ダイス、線材および実験中ダイス、線材が接触すると思われる部分は、トルオールで洗滌し、アセトンで清浄にし、他の潤滑剤の影響をうけないように注意した。

次に第1ダイスおよび線材に充分潤滑剤を塗布し、逆張力を種々変えて引抜きを行い、各逆張力の値で引抜き力を測定した。逆張力は線材の末端につけたウェイト(第1図)を増減して加減した。

同一潤滑剤については、第10番ダイスまで、同一の線を順次細くしつつ試験した。

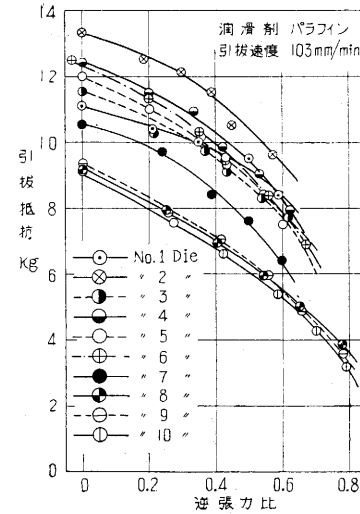
潤滑剤がモビール油の場合には、モビール油を各ダイ

スごとにダイスおよび線材に充分塗布して実験を行ったが、パラフィン(150°C)の場合には、最初線材に塗布したのみで第10番ダイスまで引抜きを続けた。

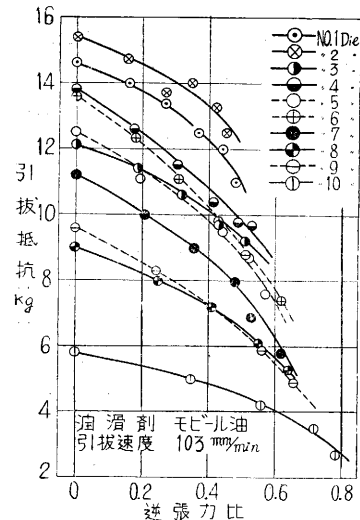
3. 試験結果

以上のようにして求めた結果を、潤滑剤がパラフィン、モビール油の場合について、それぞれ第3、4図に示してある。

潤滑剤としてパラフィン、モビール油を使用した両場



第3図 引抜き抵抗—逆張力比曲線



第4図 引抜き抵抗—逆張力比曲線

合とも、逆張力比(逆張力/引抜き力)が増大するにつれて、すなわち逆張力が増加するに従って、引抜き抵抗が減少する一般的傾向を示している。

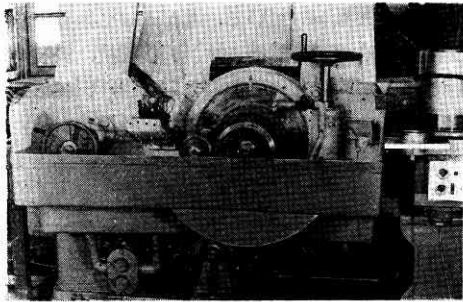
しかしパラフィン、モビール油の両場合を比較してみると、ダイスの断面減少率に多少の相違はあるが、引抜き抵抗は一般にパラフィンの方が、モビール油の場合よりもはるかに小さく、第2図の場合と同じくパラフィンの方が潤滑能がすぐれていることを示している。しかし第6番ダイスあたりからは両場合の引抜き抵抗の差が少なくなり、第10番ダイスではモビール

油の場合の引抜き抵抗の方がダイスの断面積減少率が大きいにもかかわらず逆に小さくなっている。これはパラフィンの場合には、初めパラフィンを線材に塗布したのみで最終ダイスまで引抜きを行ったので、後段のダイスでは潤滑剤が不足したためであると思われる。また各ダイスにおいて逆張力の影響が相違するのは、断面積減少

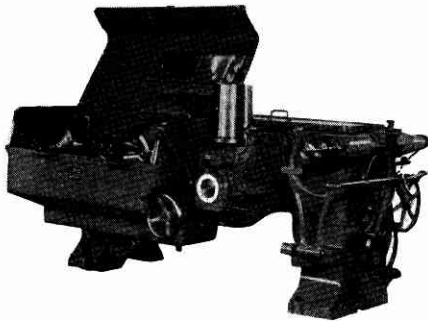
率, ダイス角度等が相違するためであると思われる。

II. 実用伸線機による伸線試験

著者がさきに設計, 製作した生研式 II 型逆張力連続伸線機を使用して, 逆張力, 伸線速度を広範囲に変えて実験を行い, 逆張力, 伸線速度が引抜抵抗および引抜線材の機械的性質に及ぼす影響を求めた。本試験に使用した試験機が実用機と異なる点は, 駆動用モーターが変速モーターであり, 仕上り線速を 0~500m/min の範囲に自由に調節できることと, 全ダイスに電気式の引抜抵抗測定装置が装備してあって, 伸線中各ダイスの引抜抵抗が別個に測定できる点との両点のみであり, 本質的に実用機と相違する点はない。第 5 図は供試試験機であり, 第 6 図は実用機中の 1 型式である。



第 5 図 試作伸線機



第 6 図 実用機の 1 型式

1. 伸線試験用試験機

1.1 試験機 生研式 II 型逆張力連続伸線機で, その主要目は次の通りである。

- 最適線径 銅線 1~0.4mm, 鋼線 0.8~0.3mm
- ダイス数 12
- 最大線速 1000m/min
- 所要動力 10HP
- 逆張力調節範囲 引抜力の 20~100%

逆張力調節方式は純機械式であり, その原理は第 7 図に示す通りである。引抜線材は案内コーンよりダイスを通り, 動力コーン, 逆張力調節コーンを経て次段の案内

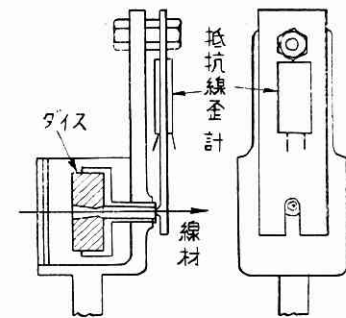
コーンに至る。伸線時においては, ダイスと動力コーンとの間の線の張力を  $T$ , 線材と動力コーンの接触角および摩擦係数をそれぞれ  $\alpha, \mu$  とすれば, 動力コーンと逆張力調節コーンとの間の線の張力  $T'$  は, 次式によって求めることができる。

$$T' = Te^{-\mu\alpha} \quad (e \text{ は自然対数の底})$$

逆張力調節コーン, 案内コーンの各滑車は, それぞれ独立に自由に回転することができ, しかも回転の抵抗は特に小さくなるように考慮を払ってあるので, この張力  $T'$  はそのまま減殺されないで伝わり, 次段のダイスの逆張力となる。逆張力調節コーンを動力コーンの周りの任意の場所に移動して, 接触角  $\alpha$  を変えて  $T'$  を変化することができるので, 逆張力調節コーンを移動する簡単な動作で, 全ダイスに加える逆張力を任意に変えることができる。

1.2 使用ダイス, 供試線材 使用ダイス, 供試線材は, 低速伸線試験に使用したものと同じである。

1.3 引抜抵抗測定装置 伸線中の引抜抵抗を測定する

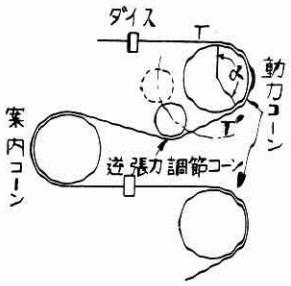


ため, 第 8 図に示すダイス受けを各ダイスに使用した。ダイスは抵抗線歪計を両面に貼付けた強い板パネによって支えられている。伸線中ダイスに力が加わると板パネが変形, 板パネの両面に貼付けた抵抗線歪計の電気抵抗が変化し, この抵抗変化を増幅装置によって増幅し, 指示メーターの振れから引抜抵抗を求めた。第 9 図は引抜抵抗測定装置を伸線機に取付けた状態を示すものである。

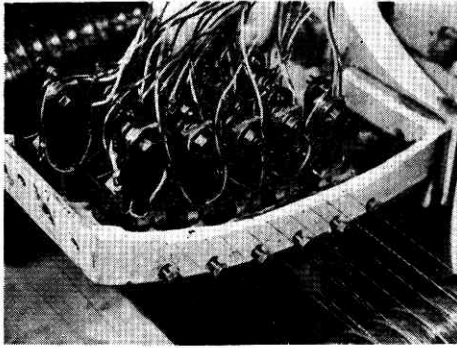
指示メーターの振れと引抜抵抗の関係はダイスに荷加重を加えて求めた。

1.4 潤滑剤 低速伸線試験の場合と同様に, パラフィン (150°C), モビール油を使用し, モビール油の場合はダイスと動力コーンに充分そそいで, 潤滑と冷却を兼ねて行うようにしたが, パラフィン (150°C) の場合には素線に塗布したのみで最終ダイスまで引抜を行った。

2. 伸線実験



第 7 図 逆張力調節方式

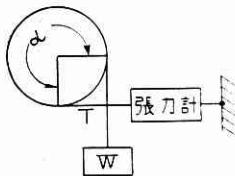


第 9 図 伸線機につけた引抜抵抗測定装置

伸線実験は以下の3項目について行った。

- a. 動力コーンと線材との間の摩擦係数の測定
- b. 逆張力による引抜抵抗の変化の測定
- c. 伸線速度による引抜抵抗の変化の測定

2.1 摩擦係数の測定 線材と動力コーンの間の摩擦係数を求めるため、第 10 図に示すように、線材を動力コーンに 270° 巻付け、一定荷重  $W$  で張力を加えておいて動力コーンを低速で回転し、張力  $T$  を張力計で求めた。  $T$  と  $W$  の間には次式に示すような関係がある。



第 10 図 摩擦係数測定装置

$$T = We^{\mu\alpha} \quad \mu = \ln \frac{T}{W} / \alpha$$

$\mu$ : 摩擦係数,  $\alpha$ : 接触角

以上の関係から摩擦係数  $\mu$  を求めることができる。

このようにして求めたコーンの各位置における摩擦係数は第 2 表に示す通りである。表のコーン位置番号はダイス番号に対するものである。

2.2 逆張力が引抜抵抗に及ぼす影響 逆張力が引抜抵抗に及ぼす影響を求めるため、伸線速度を一定にして

第 2 表 線—動力コーン摩擦係数

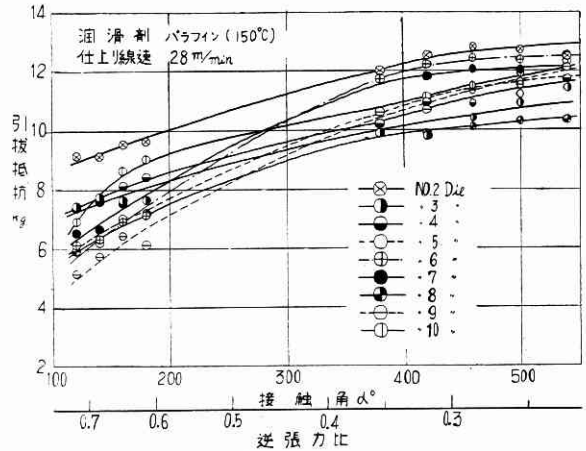
コーン位置	線—動力コーン摩擦係数		コーン位置	線—動力コーン摩擦係数	
	パラフィン	モビール油		パラフィン	モビール油
1	0.149	0.171	6	0.157	0.194
2	0.147	0.171	7	0.162	0.189
3	0.144	0.180	8	0.166	0.197
4	0.164	0.194	9	0.171	0.190
5	0.150	0.148	平均	0.157	0.187

逆張力調節コーンの位置を種々変え、逆張力を変化して実験を行い、各ダイスの引抜抵抗の値を同時に測定した。伸線速度は仕上り線で 28m/min にした。比較的低速を採用したのは、伸線条件の安定が容易にえられるためであるが、伸線速度の影響は後で求めるので、この結果から高速伸線の場合も推測することができる。

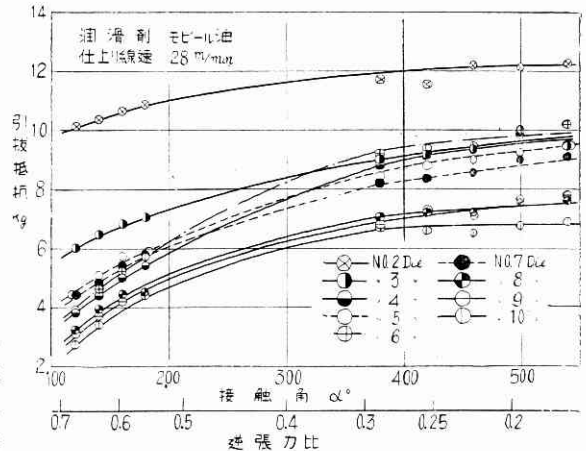
実験は接触角 120°~180°, 380°~540° の間を行った。接触角 380°~540° の場合は線材を動力コーンに一巻巻いて行ったものである。

実験結果は第 11, 12 図に示してある。第 1 番ダイスには逆張力が加わらないようになっており、したがって接触角による引抜抵抗の変化がないのでぞいである。なお横軸の逆張力比はさきに求めた線材と動力コーンの間の平均摩擦係数より計算したものである。

潤滑剤がパラフィン、モビール油の両場合とも、逆張力の増加に伴って引抜抵抗が大巾に減少している。第 3 表に接触角 540° の場合に対して、接触角 120° の場合の引抜抵抗減少率を示してある。ダイスによっては 1/4~1/2 に減少している。しかも第 11, 12 図にみられるように、接触角 540° においても逆張力比は、パラフィンの場合 0.22, モビール油の場合 0.17 であり、なお 22%, 17% 程度の逆張力が加わっている。したがって逆張力をぜんぜん加えない在来の伸線機では、引抜抵抗は接触角 540° の場合よりもさらに大きくなると思われ、引抜抵抗の減少率もさらに大きくなり、ダイスの磨耗防止、ひいては



第 11 図 引抜抵抗—接触角曲線



第 12 図 引抜抵抗—接触角曲線

第 3 表 引抜抵抗減少率

120°/540° 引抜抵抗減少率%		
ダイス番号	パラフィン	モビール油
1	0	0
2	34.9	17.2
3	39.3	38.8
4	44.8	60.8
5	57.3	53.7
6	61.0	60.6
7	55.9	51.0
8	53.5	58.9
9	68.0	59.2
10	51.0	60.3

寿命延長の効果が期待される。

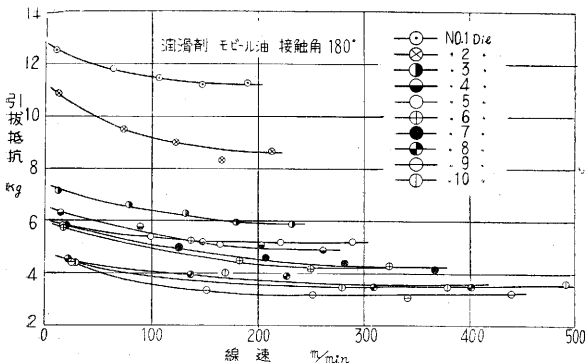
第 11, 12 図および第 3 表において, 各ダイスで接触角度の影響がかなり相違するが, これは断面積減少率が均一でないこと, 機械の機構が任意のダイスの引抜力はそれ以後のすべてのダイスの逆張力と引抜力に影響を及ぼすようになっていることに原因があると思われる。

第 13, 14 図は連続引抜時の各ダイス出口における引抜力および許容引抜力を示したものである。図の許容引抜力曲線はダイス出口における軸方向引張応力が, 材料の破断応力に等しいとの条件から求めたものである。曲線 I, II はそれぞれ接触角 120°, 540° の場合の各ダイス出口における引抜力の実測値である。

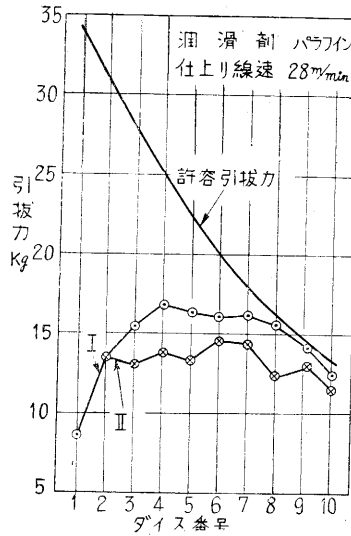
図において実測引抜力曲線が, 許容応力曲線の上に出れば, 伸線機は断線を起すことになる。

本実験では接触角 120° 以下ではしばしば断線を起したので, 実験範囲は 120° までにとどめた。第 13, 14 図によればパラフィンの場合には接触角 120° で, 第 9 番ダイス出口の引抜力はほとんど許容引抜力に達している。実験においても断線はほとんど第 9 番ダイス出口で起り, 第 13 図の結果と一致している。

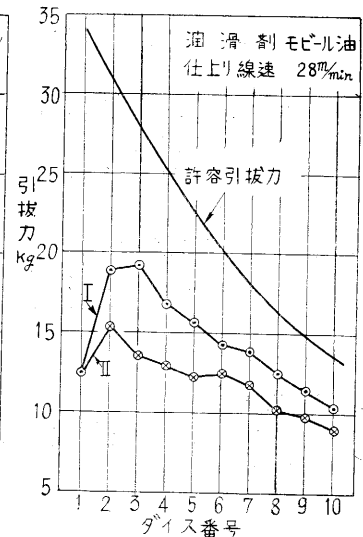
2.3 伸線速度が引抜抵抗に及ぼす影響 接触角は



第 15 図 引抜抵抗—線速線図



第 13 図 各ダイスにおける引抜力



第 14 図 各ダイスにおける引抜力

180° に一定にし, 駆動用モーターを 5 種の速度に変速して実験を行ったが, 潤滑剤がパラフィンの場合には冷却効果がなく, ダイスおよび動力コーン部分の温度が相当上昇すると思われるので, 実験はモビール油の場合のみにした。最高仕上り線速は, 493 m/min まで実験を行った。

実験結果は第 15 図に示す通りである。図から線速が速くなるにしたがって引抜抵抗が低下する傾向が見られるが, 線速がある程度以上になるとその影響は少なく, 仕上り線については線速が 150 m/min 以上ではほとんど一定値になっている。各ダイスにおける引抜抵抗の減少は, ほぼ 15~20 % である。初段のダイスでは伸線速度は遅いが, 変速比はすべてのダイスで等しい。

線速が速くなるにしたがって引抜抵抗が減少する原因としては, ダイス部分の温度上昇による材料の変形抵抗の変化が考えられる。一般に金属材料の変形抵抗は, 変形速度が速くなるにしたがってわずかながら増大し, 変形温度が高くなると低下する。

伸線速度を速くすると, 単位時間にダイスを通る線量が増し, ほぼ線速に比例して発熱量も増大する。しかし一方ダイスの放熱量はこれに比例しては増大しないので, 伸線速度を増すにしたがって線の温度が高くなり, このため変形抵抗が低下し, 引抜抵抗が減少したと思われる。

引抜温度が高くなるにしたがって, 材料とダイス間の摩擦係数, 材料と動力コーンの間の摩擦係数も当然変化するものと考えられるが, 材料とダイス間の摩擦係数については, 著者がアルミニウム, モビール油を使用して高温引抜試験を行った結果では, モビール油は温度が上昇するにしたがって潤滑能が低下する傾向がみられ, また材料と動力コーンの摩擦条件の変化は, 後にのべる引抜線材の捻回試験結果から間接的に判断されるが, 動

力コーンの温度上昇により線材とコーンの摩擦係数が低下し、逆張力が大きくなり引抜抵抗が減少したような傾向はみられない。

したがって伸線速度上昇による引抜抵抗の減少は、温度上昇によって変形抵抗が低下したためであり、線速が速くなると、発熱と放熱が平衡し一定温度を保つと結論するのが妥当であると思われる。

Ⅲ. 引抜線材の機械的性質

モビール油を使用して、各接触角、各伸線速度で伸線を行った仕上り線について、捻回試験および抗張力試験を行った。

1. 捻回試験

伸線速度 28m/min で接触角を種々変えて伸線を行った

第4表 接触角—捻回値

接触角 α°	捻回値	向上率 %
540	36	0
500	39	8.2
460	42	16.6
420	38.5	6.9
380	39.3	9.1
180	41	13.8
160	41.5	15.2
140	41.5	15.2
140	42.5	18.0

た線材の捻回値を向上率とともに第4表に示している。

接触角が減少するにつれて捻回値も上昇し、接触角 120° では 540° の場合に比べて 18% の向上率を示している。

第5表は線速による捻回値の変化を示したもので、接触角180°で線速を種々変えて伸線した仕上

第5表 線速—捻回値

線速 m/min	捻回値
28	41
170	40.3
280	40.3
380	39
490	38

り線について、捻回試験を行ったものである。捻回値は線速が増大するにしたがって低下している。この原因については明確にはわからないが、引抜温度上昇によってこのような結果を生じたのではないかと思われる。

2. 抗張力試験

捻回試験に使用した線材と同条件の線材について抗張力試験を行った。結果は第6、7表に示してある。接触角が減少するにつれて、すなわち逆張力が増大するにつれて抗張力も低下し、接触角 120° では 540° の場合とくらべて 3.8% 低下している。また線速が増大しても抗張力は低下し、その減少率は 2.7% である。

第6表 接触角—抗張力

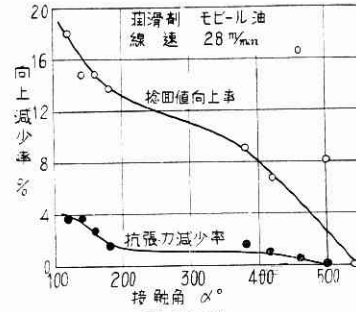
接触角 α°	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	減少率 %
540	182	0
500	183	0
460	182	0.5
420	181	1.1
380	180	1.6
180	180	1.6
160	178	2.7
140	176	3.8
120	176	3.8

線材の捻回値は線の柔軟性を示す規準として重要視され、線材の性質を

第7表 線速—抗張力

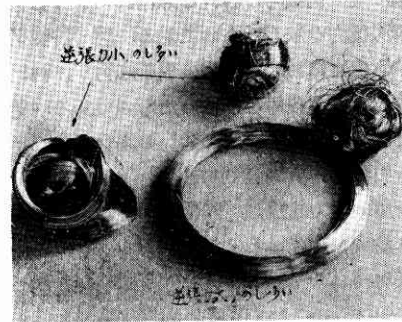
線速 m/min	抗張力
28	180
170	180
280	176
380	176
493	175

のべるには不可欠の値であり、捻回試験は実用試験として重きをなしている。引張強さを減殺しないで、捻回値を高める加工法があれば、その利用価値は非常に大きい。逆張力伸線加工法により捻回値が向上することは、かねてから指摘されていたことであるが、本実験ではこれが確認された。すなわち第16図に示すように接触角の減少、



第16図 捻回値向上率・抗張力減少率

すなわち逆張力の増大により捻回値がいちじるしく向上するにもかかわらず抗張力の低下はわずかであり、接触角 120° において捻回値の向上率は18%、一方抗張力の減少率はわずか 3.8% である。この結果からわかるように、逆張力伸線加工法によれば、抗張力にほとんど影響を及ぼさな



第17図 逆張力による仕上り線材の相違

捻回値を相当向上することができ、この点からも逆張力伸線加工法の利用価値は高いといえることができる。

また第17図は逆張力を多く加えた場合およびほとんど加えない場合にえられた線を示すもので、逆張力伸線製品には残留応力が少なく、線の形状(のし)が容易に改善される事実を示している。

あとがき

逆張力伸線加工法の最大利点の一つであるダイス寿命の延長に関する研究については、多額の経費を要するので、研究室における実験を行うことができなかった。

しかし本試作機もすでに実用機として数十台生産工場において使用中であり、実用結果から在来の伸線機と比較して、同じ条件で使用すればダイス寿命は 3~5 倍に延長することはすでに判明している。(1955. 4. 30)