U.D.C. 621.771.252:621.315.51:531.44

銅線の引拔時に於ける摩擦* 久本 方** 柿崎公 男***

Friction in Copper Wire Drawing

By Tadashi Hisamoto, D.S.E., and Kimio Kakizaki Hitachi Wire Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

Following the experimental study on the precise measurement of die hole conducted as a fundamental research in the wire drawing, the writers pursued their study on the friction in wire drawing process, which constitutes a dead point in the wire drawing engineering, from a standpoint of the surface technology.

The writers discuss in the article the problem of the friction at heavy load per unit area giving out the following facts ascertained by experimental study.

There is a close relation between frictional coefficient and surface finish. And (1)when the surface roughness is smaller than the thickness of oil film, the frictional coefficient bears no longer any relationship to the direction of

finishing, and accordingly its force can be handled as a vector.

(2) As load increases, frictional coefficient decreases.

From the results of the preliminary test the writers have induced a measuring method of frictional force in wire drawing and devised a measuring apparatus.

The article further relates of a case of friction measurement by way of example.

[I] 緒 言

引抜伸線法は銅を始め、各種の金属材料の線材製造法 として、古くより全世界に於て広く用いられている作業 法である。

著者等は先に伸線作業条件の研究の基礎固めとして、 伸線用ダイスの精密測定法に就いて検討し、(1) 一応所期 の目的を果したので、いよいよ引抜の実験に着手するこ といなつた。

ところが、その引抜伸線時に於けるダイス孔表面と引 抜材表面との摩擦に就いては、今日迄幾多の諸先輩によ りその研究が行われておりながら、何れの研究もその核

* 昭和27年10月3日、日本機械学会日立地方講演会 (於日立労仂会館)、及び昭和27年11月7日、精機・ 機械・金属・高分子学会連合主催、塑性加工に関す る専門講演会(於日本交通協会、東京)に於て講演 ** 日立製作所日立電線工場、工博 ***

日立製作所日立電線工場

心に触れておらず、摩擦の本質に就いて明快な解答を与 えているものは殆どない。

従つて引抜力近似計算式に於て取扱われている摩擦係 数の多くは、理論的にも実験的にも、根拠の薄弱なもの であることはしばしば識者の指摘するところである。

又実際の作業に就いても伸線能率の向上をはかる場合 摩擦を無視して解決することは出来ない。

このように引抜の重要な因子となつている摩擦が、未 だに引抜伸線法の盲点として残されているのは、引抜時 の摩擦力を実測する方法が確立されていないことに基因 する。

本論文はかような客観情勢に対処し、表面工学†の見

† 面の加工と測定とを対象とする学問の体系であり、 独逸に於ては古くより G. Schmaltz によって Technische Oberflächenkunde として体系づけられてお リ、我国では最近東京大学大越諄教授の指導により 急速な発展を示している。

日

立 評 論

第35卷第5号

地より、銅引抜時に於ける摩擦問題を解明するために、 摩擦力の実測を試みた研究の経過の報告である。この摩 擦に就いて、その本質を究明することは、とりも直さず ダイスの磨耗及び伸線動力の軽減と引抜加工能率の増大 という、技術的にも、経済的にも最も重要な問題に直接 つらなる研究課題であることを確信するものである。

〔II〕 引抜時の摩擦状態

従来摩擦は接触面に存在する無数の凹凸の弾性的・塑 性的変形によつて起るとゆう説――これを凸凹説とゆう ――が行われて来たが、近時摩擦抵抗の原因は接触面間 に於ける分子引力に基くものであり、表面凹凸と摩擦と の間には一義的関係はないとゆう凝着説が提唱され、 Coulomb の法則をめぐつて J. J. Bikerman 一派の支持 する凹凸説と W. B. Hardy や F. P. Bowdon の主張 する凝着説の論争が繰返されて今日に至つているが、大 勢はほぼ凝着説に傾いているようである。⁽²⁾⁽³⁾

これらの基礎的理論は摩擦機構の解明上極めて重要な ものであるが、これより究明しようとする引抜時の摩擦 は潤滑剤の存在する状態であり、問題は更に複雑となる。 これに加えて、この引抜時の摩擦は研究室的に行われて

第	1	表	潤	滑	状	態	٤	摩	擦	係	数(4)
Ta	ble	1.	Sta Coe	te of efficie	Lu ent	brica	tion	and	Fri	ctior	nal

	潤	滑	状	態	摩 擦 係 数
1	完	全	潤	滑	0.001~0.005
	混	合	潤	滑	0.005 - 0.1
	境	界	潤	滑	0.1~0.3
	(固)	体	摩	擦)	0.3 以上

引抜時の摩擦を推定するならば、完全潤滑狀態でないこ とだけは確かである。しかしその狀態が混合潤滑か境界 潤滑かに就いては論議がある。何れにしても油膜(潤滑 剤)の形成する厚さが問題となるので、この辺に引抜時 の摩擦を究明する鍵がひそんでいるようである。

〔III〕 摩擦の予備実験

本研究に於ては、銅線引抜時の摩擦を検討することに しているが、一般に銅の伸線用ダイスとしては、次の3 種のダイスがそれぞれの用途によつて使い分けられてい る。

ダイヤモンド	ダイス	細物伸線用
カンドマニン	み ごくじ ボイフ	山,一份仙焰田

いる一般の摩擦実験と異なり、その適切な実測法が知られていないので、極めて難解な問題として残されている。

他方一般の摩擦に於ける潤滑の状態に就いては、E. Kindscher と H. Stäger は、その摩擦係数より区分し て第1表のように述べている。⁽⁴⁾

そこで G. D. S. MacLellan らの文献⁽⁵⁾より求めた引 抜時の摩擦係数を示すと第2表のようになり、これより タングステンカーバイド系ダイス 中・太物伸線用 ダイス鋼製ダイス* 異形伸線用 しかし本実験に於ては、試験片の成形加工が容易なこ と、実験条件を一様にする点より均等な材質のものが得 やすいこと**等の点を考慮して、CRD ダイス鋼を用い * 例えば日立・安来工場製の CRD 鋼はこれに当る。 ** 同一溶解及び加工工程を径た材料に就いて、熱処理

* 同一溶解及び加工工程を住た材料に訊いて、熱処者 条件を一定にする。

第2表銅線の逆張力引抜時に於ける摩擦係数(5)

		ダイス				
研 究 者	潤滑剤	材質	ダイス角度 (半角)	平行部の長さ (mm)	摩擦係数	
	D. T. D. 417 A	WC	5°	2.0	0.06	
Lunt et al.	D. T. D. 417 A	WC	5°	1.2	0.06	
	種油	WC	$6^{1}/_{2}^{\circ}$	0.2	0.16	
	褐 色 石 鹼 液	WC	$6^{1/2}$ °	0.2	0.12	
	パルミチン酸エチルエステル	ダイヤモンド	5°	0	0.075	
	ステアリン酸エチルエステル	ダイヤモンド (3 ダイス)	$8^{1/2}^{\circ}$	0	0.075	
		WC	6°	0.3	0.16	
		ダイヤモンド (3 ダイス)	12°	0.2	0.21	
MacLellan	ひまし油	ダイヤモンド	$5^{1}/_{2}^{\circ}$	0.4	0.10	
		鋼 (割ダイス)	$5^{1}/_{2}^{\circ}$	0.3	0.15	
		WC(割ダイス)	6°	0.4	0.08	
		WC(割ダイス)	$11^{1}/_{2}^{\circ}$	0.4	0.10	

Table 2. Frictional Coefficient in Copper Wire Back Tension Drawing

第 3 表 CRD & イス鋼の組 成(6)

Table 3. Composition of CRD Die Steel

JIS	分類	日立		化	学	成	分((%)			
種別	記号	(安米) 記号	C	Si	Mn	Р	S	Ni	Cr	用途	
ダイス鋼 第 1 種	SKD 1	CRD	1.80 .~2.40	< 0.40	< 0.60	< 0.30	< 0.03	< 0.50	$^{12.00}_{\sim 15.00}$	冷間線引用 抜型用	



第1図 止摩 擦 静 の実 験 要 領 Principle of Experiment on Static Friction Fig. 1.

ることゝし、又銅摩擦片は圧延された同一硬銅板より切 取つたものを成形使用することゝした。参考迄に CRD ダイス鋼の組成を示すと第3表のようになる。

本節にはこれらの材料を用い、摩擦の予備実験として、 単位接触面積当りの荷重が極めて大きい場合の摩擦の本 質に就いて検討するのが目的である。

荷 重: 2.2 kg (16 kg/mm², 後述第8 図参照) 潤滑剤: ベンゾール洗滌後、TCP* 塗布 ばねの引張速度:約1m/min 表面仕上の方向と摩擦方向との角度:

著者の簡単な予備実験の結果によると、大気中の固体 摩擦ではどんなに清浄に処理した試料面でも、その加工 度による表面吸着層の違いが大きく現れることがわかつ たので、同一加工法による表面仕上を行い、一定の潤滑 剤を塗布して要因を単純化し、且実験の引抜作業条件に 一歩でも近ずけることに留意した。又ダイス孔表面の粗 さを考慮して、CRD ダイス鋼試験片の仕上方向に粗さ の方向性をつけ、これに関連する摩擦の性質を究明して、 引抜時に於ける摩擦力の実測法確立の基礎資料とするよ う心掛けた。

(1) 静止状態に於ける摩擦

一般に表面粗さが摩擦と一義的関係がないといわれる のは、摩察面相互の性質にもよるが、比較的低荷重の場 合であつて、高荷重の際に摩擦が果して無関係であるか どうかは明かでない。

そこで先ず第一に、単位面積当りの荷重が比較的高い 場合の静止狀態に於ける摩擦に就いて、第1図の要領で 実験を行つた。

なお静止狀態に於ける摩擦実験の条件を示すと次のよ うになつている。

試験片: CRD 鋼 25 mm 丸×10 mm 厚(第4表、

次頁参照)

銅 板 30 mm 丸、接触部 3 mm R (第 1図参照)

 0° , 30° , 60° , 90°

本実験法によると静止摩擦係数 μ1 は(1)式のよう になる。

但し P: 荷重

F: 試験片の滑り出すときの引張力

このようにして求められた静止摩擦係数と仕上面の粗 さ及び方向性との関係をわかり易く図示すると第2図 (次頁参照)のようになる。

(2) 運動状態に於ける摩擦

単位接触面積当りの荷重を大きくとつた場合の運動狀 態に於ける摩擦を検討するために、第3図(次頁参照)の ような振動法による運動摩擦試験装置を組立て、次の条 件によつて実験を進めることゝした。

試験片: CRD 鋼、25 mm 丸×5 mm 厚 (第4表 参照) 銅摩擦円板、73.5 mm 丸、接触部 $3 \,\mathrm{mm} \,\mathrm{R}$

荷 重: 3.65, 5.5, 8.6, 16 kg

(後述第8図の測定法による接触面積を算 入すると、単位面積当りの荷重は、13.3~ $32 \text{ kg/mm}^2 \geq t_s \mathcal{Z}_o)$

潤滑剤: 種油 (機械油・スピンドル油・DOP・TC

P・ガソリンに就いては後述第10図参照) 表面仕上の方向と摩擦方向との角度:

 0° , 30° , 60° , 90°

* TCP は Tricresyl Phosphate の略

850	昭	禾口	28	伍	5	
000	HH	TH	20		C	

月

評論. 77. 日

第 35 卷 第 5 号

擦の実験に用いた試験片 第 4 表 摩

Test Piece for Experiments of Friction Table 4.

試験片		表 面	表面仕上の状態			/#* =**	
番 号	表面加工法*	表面粗さ** (µ)	JES 表示	方向性	- 粗さの測定法	俯 考	
1	C ・ 60・H (研 削)	2.5	4 S	あり	AL AL 2+		
2	C · 120 · H (手仕上)	1.1	4 S	あり	1 一班 一	熱止労能の	
3	A · 800 · H (手仕上)	0.17	0.2 S	あり		市にひたり	
4	WA・1,000・H (手仕上)	0.12	0.2 S	あり	顕 微	摩 撥 実 願 用	
5	WA・1,500・K(手仕上)	0.09	0.1 S	あり	干涉計		
6	WA・1,500・M(手仕上)	0.06	0.1 S	あり			
7	WA · 1,000 · H (手仕上)	0.52	1 S	あり			
8	WA・1,500・K (手仕上)	0.08	0.1 S	あり	顕 微	運動状態の.	
9	WA • 1,500 • M (手仕上)	0.04	0.04 S	あり	干 渉 計	摩擦実験用	
10	WA・1,500・M (手仕上)	0.01	0.01 S	あり			
北 涌	材 質 CRD ダイス鋼 (日立・安来工場	易製)				
<u></u> 开	熱処理 950°C 30 分保持	、油燒入					
事項	7番 時 マ 700						

坝 度 ショアー 70° 硬

銅摩擦試験片としては圧延硬銅板を使用。



第2図 表面仕上と静止摩擦係数

Fig. 2. Relation between Surface Finish and Coefficient of Static Friction

本装置によつて得られる記錄の減衰狀態は、ほぼ直線 的であるが、実験を繰返していると不規則な減衰を示す 場合がある。そこで摩擦力は次の方法で求めることゝし た。

本実験では振子自体の減衰が、摩擦した場合の減衰に 比較して無視出来る程度(1/200~1/400)なので、振動開



第3図 振動法による運動摩擦の実験要領

- Fig. 3. Principle of Experiment on Dynamic Friction by Oscillation Method
- * 同一砥石による粗さの違いは潤滑剤を変えたためで ある。
- ** 表面粗さは方向性に対し直角に測定した。

始時より振子が静止する迄の自 由・摩擦両振動に於けるそれぞ れの重心の平均加速度を求め、 その差をなとすれば、平均の運 動摩擦力Fは(2)式で与えられ 30

 $F = m \cdot \alpha \cdot \frac{l}{r} \dots \dots (2)$ 但し1:回転中心より振動体 の重心までの距離

r: 銅摩擦円板の半径

m: 振動体の質量

従つて荷重をPとすれば、平 均運動摩擦係数 μ2 は(3)式に よつて与えられる。

 $\mu_2 = \frac{F}{P} \cdot \frac{1}{g} \dots \dots \quad (3)$ 但しg: 重力の加速度 参考迄に自由振動と摩擦時に 於ける振動の加速度とを求めた 例を第4図に示す。(共に絶対値





851

のみをとつてある)。かようにし て得られた摩擦係数と荷重との 関係を示すと第5図となり、こ れより表面仕上と摩擦係数との 関係を求めると第6図となる。 又粗さ及び方向の綜合平均摩擦 係数と荷重との関係を導き出す と第7図となる。

(3) 表面状態と摩擦

以上述べて来た静止及び運動 狀態に於ける摩擦に関する二つ の実験結果を、表面狀態と摩擦 との関係に就いて、総括すると 次のようになる。

i) 表面粗さが大きくなれば、 摩擦係数も大きくなる。又静止 摩擦では表面粗さが 0.17 µ, 運 動摩擦では 0.1 μ 附近で急に摩 擦係数が低くなる。

ii) 表面仕上の方向性は摩擦係 数に大きく影響する。しかし本

実験に於ては静止摩擦では表面粗さが 0.06 μ, 運動摩擦 では 0.04μ 附近で方向性とは無関係となる。

iii) 荷重が高くなると、運動摩擦係数は減少する。 次にこれらの結果に就いて考察しよう。

荷重と運動摩擦係数(I) 第5図 Relation between Load and Coefficient of Fig. 5. Dynamic Friction (I)

> 本実験に於けるような摩擦は、その接触面に就いて考 えると、完全に固体接触をする部分、油の単分子層を隔 て、接する部分、及び数十乃至数千Åの油膜を挾んで摩 擦する部分等の組合されたものだと想像される。この中

852

0.020 -

昭和28年5月

日 立 評 論

第35卷第5号



Fig. 6. Relation between Surface Finish and Coefficient of Dynamic Friction

この場合銅と CRD 鋼の硬度 を比較すると、CRD 鋼が高く、 その融点は銅の方が低いので、 この両物体の相対滑りによる表 面層の塑性変形(乃至は破壊) は主として銅表面に起る。この ことは本実験に於て銅の磨耗が 著しいこと、或は実際の引抜伸 線時に銅線の表面が摩擦熱によ つて鏡面仕上されていることに よつて証明される。⁽⁹⁾

又表面仕上の方向と摩擦係数 との関係も、全く同様にして明 かにされる。即ち、方向性があ るということは、仕上面に対す る角度によつて摩擦される見掛 けの粗さが異り、同時にその頂 角も違うことに外ならないから である。

次に静止・運動両摩擦共或る表面粗さに於て、摩擦係 数が低下するのは、それぞれの条件によつて形成する油 膜の厚さに比較して、表面凹凸が小さくなれば、油膜を 破断することは少く、もし局部的に破断したとしても、 表面の破壊に要するエネルギーは少くて済むものと考え られる。この点より推論すると、本運動摩擦実験に於て、 主として摩擦力に影響した油膜の厚さは 400~1,000 Å (0.04~0.1µ) 程度であると推定される。



第7図 荷重と運動摩擦係数(II)

Fig. 7. Relation between Load and Coefficient of Dynamic Friction (II)

固体及び単分子層を介して接触する部分は、表面の完全 塑性変形領域に属している。

一般に金属表面に吸着された油分子の耐荷重値は 100 ~250 kg/mm² といわれているが⁽³⁾,表面凸部の局部的 荷重値ははるかにこれをこえるものである。同一加工面 では表面粗さが大きくなれば、凸部の頂角は鋭くなり⁽⁷⁾ ⁽⁸⁾,そこに生ずる応力も大きくなる。従つて凝着の可能 性も必然的に増し、発熱も大きくなる。 引続き、荷重の増加に伴つて運動摩擦係数が低下する 現象を説明するため、接触圧力と接触面積との関係を第 8図の要領で測定した。その結果を第9図に示す。

同図の接触面積と真実接触面積とは、絶対値は異ると しても同一傾向にあると考えられる。

しかもその大きさは接触部の形狀・材質・圧力によつ て定まるものとすれば、こゝに起る凝着部分を剪断する に要する力はその面積に比例することになる。従つてこ の接触面積を摩擦圧力で除した商は、摩擦係数と同一傾 向になるものと考えられる。計算の結果は、第7図に点 線で示したように、実線の係数と比較すれば、全く同一 傾向にあることがわかる。そこでこの現象は凝着説の立 場より説明されるものといえる。

以上の運動狀態に於ける摩擦の実験は、種油を潤滑剤 とした場合であるが、潤滑剤の種類によつて、摩擦係数 の絶対値は違つても、これらの傾向が変るものとは考え られない。そこで種油の代りに機械油・スピンドル油・ DOP*・TCP・ガソリン等を用いてその検討を行つてみ

* DOP は Dioctyl Phosphate の略

長短軸の長さを 測定する



铜摩擦門板





and Friction

853

第9図 荷重と接触面積及び比荷重との関係 Fig. 9. Relation between Load and Contact Area or Specific Load

た。実験の結果は第10図に示すように、所期の成果を收 めた。なお同図に於て、摩擦力が大きければ振子の減衰 は早いから、その静止する迄の時間によつて、摩擦力の 大小を判定内来るので、縦軸には振子が静止する迄の時 間をとつてある。

〔IV〕引抜時に於ける摩擦

前節の実験は高い荷重に於ける摩擦の基礎的性質を予 備的に検討したもので、その結果得られた摩擦係数を直 ちに引抜時の摩擦に当嵌める訳には行かない。やはりそ の正確な値は実測にまたなければならない。しかし従来 引抜時に於ける摩擦を実測した論文は少く、実測の方法 も極めて困難なものとされている。

即ち E. Siebel, A. Pomp, G. Sachs⁽¹⁰⁾, 覚前⁽¹¹⁾, 小 河⁽¹²⁾ 氏等の方法は何れも一応引抜力式を正しいものと して実験を行い、その結果と照し合せて摩擦係数を逆算 して出す方法であり――摩擦力の実測法が知にれていな い今日止むを得ないものとされている――この方法では 与える摩擦係数によつて大きな違いが生れ、その理論式 の近似度を検討することが出来ないとゆう共通した欠点 をもつている。又鈴木氏の方法⁽¹³⁾ は銅の圧縮理論及び その実験より求めるもので、その値 µ=0.20~0.22 は比 較的近似度の高いものと考えられるが、実際の銅線引に 当嵌めることは早計のように思われる。

そこで著者は引抜時の摩擦を測定する方法について研究し、次に述べる方法を実用化した。

(1) 摩擦測定法の考え方

引抜に於ける外部摩擦は一般の平面や曲面のように、 直接測定することは困難なので、特殊な方法を講じなけ ればならない。

そこで予備実験より明かなように、ある粗さより精密 な面では摩擦係数が仕上面の方向に無関係になる点を考 えると、ダイス孔のような仕上面――著者の測定結果に よると、0.05µ以内の粗さに仕上げられている――では、 その摩擦力も一般の力と同様にベクトルとして、2方向 以上に分解出来るものと考えられる。これを確めるため に 0.04µに仕上げた方向性のある平面に就いて実験を行 い、この考え方の正しいことを確めた。*

これらの結果より、引抜時の摩擦をダイス回転法によ

* この実験では無視出来る程度の誤差はあるが、この 誤差が摩擦履歴によるものかどうかは不明である。

---- 103 -----

昭和28年5月 日

日 立 評 論

第35卷第5号



線径の平均に於ける周辺速度――この回転に要する力f1 を測定することによつて、引抜時に於ける摩擦力 fo を 求めることが出来る。

即ち、第11図に於て

 $\triangle ABC \circ \triangle abc$

 $\therefore \alpha = \beta$

次にダイス壁と線材面との摩擦係数を求めるには、ダ イス孔の壁圧を知らなければならない。

今全引抜力を o とすれば、

$$\sigma = \sigma_0 + f_0 \sec \frac{\theta}{2} \quad \dots \quad (5)$$

但し fo: 外部摩擦力

00: 外部摩擦力以外に要する力

そこで の によつて生じる壁圧と、 fo によつて起る壁 圧とに分けて考えると、第12図より次の式が成立つこと がわかる。

Ρσ	$\sigma_0 = \sigma_0 \cdot -$	<i>i</i>	•••••••••••••••	(6)
Pf_0	$=f_0 \cdot t$	$n \frac{\theta}{2} \dots$		(7)
但し	$P\sigma_0$:	外部摩擦力以	外の力によつて	生ずる壁圧

前述の構想に従つて完成した実験装置及び機構を第13 図及び第14図に示す。この装置の主要部は全引抜力・引 抜速度・ダイス回転速度・温度等を自動的に記録する機 構より成立つている。ダイスの回転には、重錘の落下エ ネルギーをダイスの周辺に一列に卷き附けた紐を介して 利用し、その落下速度を速度計によりオシログラムに記 錄するようにした。

最初、引抜開始前に重錘を落下させ、落下開始後任意 の時間 t に於ける加速度を記録より求め α₁ とする。次 にその時間 t に対応する引抜中の重錘の落下加速度を α₂ とすると、引抜時の擦摩力は (10) 式によつて計算出来 る。







Fig. 14. Principle of Measuring Method of Frictional Force by Falling Body

$$f_0 = \frac{R}{r} \left\{ m(\alpha_1 - \alpha_2) - Bf \right\} \cdot \frac{\sqrt{V_0^2 + V_1^2}}{V_1} \dots (10)$$

但し R: ダイス保持円筒の半径



第15図 ダイス壁に沿うP点の軌跡の長さ Fig. 15. The Locus of Point P around Die Hole Surface

となり、これより潤滑剤及び線材表面の狀態が摩擦に及

855

r: 引抜前後に於ける引抜線の平均半径

Bf: スラスト軸受の摩擦抵抗

V₀: 任意の時間 t に於ける引抜方向の摩擦速度

V1: 任意の時間 t に於けるダイス孔周辺の平均

速度

次にこの方法を用いて測定した銅線引の一例を述べよう。

引抜条件

ダ イ ス: CRD ダイス鋼、角度 (全角) 14°

. 30′, 平行部なし

潤 滑 剤: 種油

引 抜 速 度: 3.4 m/min

引 抜 線 材: 2 mm 丸硬銅線

引抜後の線径: 1.82 mm 丸

断面縮少率: 17.2%

実 測 値

全 引 抜 力: σ=52.0 kg

摩 擦 力: f₀=21.8 kg

摩擦係数: μ=0.18

以上の実験は銅線表面を清浄にしない場合であるが、 引抜銅線の表面をアセトンで清浄にした後、潤滑剤とし て濾過した種油を使用した場合について実測した結果

全 引 抜 力: σ=47.0 kg

摩 擦 力: f₀=16.3 kg

摩擦係数: µ=0.13

ぼす影響を知ることが出来る。

なおタングステンカーバイド系ダイスの摩擦係数は、 概ね 0.05~0.1 の間にあるが、ダイス孔の形状と表面仕 上狀態に左右されることが大きい。

(3) 摩擦測定法の検討

摩擦力の分解に関する実験は、平面について行つたもので、引抜の場合に適用出来るかどうかについて以下検討してみよう。

今第15図のような直線ダイスの模型を考え、ダイスが ダイス孔の中心軸の周りに一定の角速度で回転している ものとし、線は矢印の方向に引抜かれているものとすれ ば、その相対運動により、ダイス孔壁の一点 Pは同図に 示すような軌跡を画くと考えられる。この軌跡の長さを lとし、時間 δt の間に引抜かれる線材の移動距離を δh , ダイスの回転角を $\delta \theta$ とすると、 $\triangle ACM$ 及び $\triangle APC$ に於て、

従つてダイスを回転しながら引抜く場合は、第16図の ように、ダイスの形狀を変えて引抜いたのと同じ結果と

昭和28年5月

日 立 評 論



- 第16図 ダイスの回転による変形効果
- Fig. 16. Deformation Effect in Wire Drawing by Rotation of Die

なり、線の引抜方向とダイスの回転方向との合成された 方向に線材が塑性変形を受けるのではないか。換言する とダイスを回転するに要する力には、回転方向の摩擦分 力だけでなく、線材の塑性変形応力も含まれているので はなかろうかという疑問がある。

そこで先ず第一に、このようにして引抜いた線を電解 研磨しながら、引抜材中の酸化物の流れを顕微鏡によつ て観察してみた。その結果、引抜材の表層 10 µ 位迄で



- 第17図 ダイス回転方向の力と引抜力の減少量と の関係
- Fig. 17. Relation between Force of Die Rotating Direction and Decreasing Amount of Drawing Force



は、引抜方向とダイスの回転方向との合成方向に僅かに 流れているような傾向が認められたが、これは全く摩擦 によるものと考えられ、それより深い方では普通の引抜 と全く同様な流れを見せており、予想されたような線材 の変形は行われていないようである。

次にダイスを回転しながら線引をすれば第17図のよう に、ダイス壁の摩擦力は、ダイスの回転方向と線引方向 とに分解されるから、引抜方向の摩擦力は減少し、全引 抜力は小さくなる。落体を用いた摩擦力の測定例第18図 は、落下速度——ダイスの回転速度——の増加と共に引 抜力が減少することを示している。若しダイスの回転に 要する力が摩擦分力のみであるなら、その回転速度に対 応する引抜力の減少量を測定することにより、引抜時の 摩擦力は(13)式によつて求められ、それと(10)式によつ て得られる値は一致する筈である。第17図に於て、

この全引抜力の減少量の逆算値をX軸に、実測値をY 軸にとつて図示してみると、完全に45°の線にのること がわかつた。但しダイスの回転速度が引抜速度に比較し て速くなると逆算値が幾分大きくなるが、これは油膜厚 の変化に基くものと考えられ、測定に当つてはダイス孔 第18図 銅線引抜時に於ける摩擦力の測定例

Fig. 18. Measuring Example of Frictional Force in Copper Wire Drawing

周辺の平均速度を引抜速度より大きくしないことが肝要である。

他方 F.C. Thompson⁽¹⁴⁾ らは G. Sachs のダイス回転の考え方について、

その方法はあやふやであり、低速度の線引に於

ては、ダイスが回転している時の全引抜力の減

少量は極めて大きく、それは恐らく簡単に摩擦

の減少によるものとすることは出来ない。 と述べ、その反証として高速引抜時のダイス回転は全引 抜力を増加させる原因となる点を挙げている。

しかし著者の実験結果より、全引抜力の減少が全く摩 擦分力のみによるものであることが立証されたことゝ、 引抜速度が増大すれば単位時間の摩擦による発熱量は著 しくなるので、引抜時の摩擦が純粋の固体摩擦でない限 り構成油膜の熱的降伏を考えなければならない。この時 に於てダイスが回転すれば、ダイス孔面に於ける摩擦の 合成速度は更に大きくなり、摩擦力はむしろ増大するこ ともあり得ることは当然で、F.C. Thompson らの論ば くが正しいとはいえない。

なお高速度引抜時に於ける摩擦力は、摩擦以外に要す る力がダイス条件によつて定まり、引抜速度に関係しな

第5表引抜時の摩擦に関する研究結果の総括

Table 5. Summarized Results related to the Friction in Wire Drawing

番号	引抜時の摩擦と その関連事項	理 論 面	実 用 面
1	粗さと摩擦	高荷重下の摩擦ではダイスの表面粗さは重 要な条件であり、形成される油膜を破断す る一因子となる。	ダイス孔面の粗さは少くとも 0.04µよりも よく仕上げなければならない。
2	方向性と摩擦	表面仕上の方向性により摩擦力が異り、現 在の引抜は最も摩擦の多い方向に引抜かれ ていることになる。	出来る限り方向性のないダイス孔の仕上法 を考える必要がある。
3	高荷重下の摩擦	引抜時のような高荷重下の摩擦の性質は凝 着説に従う場合が多い。	潤滑剤の適否の検討が必要である。
4	摩擦力の力学的 取 扱	ベクトルによる力の合成分解の考え方を応 用し、引抜時の摩擦力を測定出来ることを 立証した。	摩擦力の実測結果は伸線機設計上の資料と なる。
5	全引抜力と摩擦	伸線時にダイスを回転することにより全引 抜力を小さくすることが出来る。	全引抜力の減少の点より、回転ダイス引抜 法は実用化の可能性がある。
6	摩 擦 測 定 の 応 用 面	引抜力近以計算式の正否の判定の一助とな る。	伸線機の所要馬力決定の資料として応用出 来る。

いものとすれば、同一ダイス条件によつて低速度引抜時 の摩擦力を測定すれば両者の全引抜力より高速度引抜時 に於ける摩擦力を求めることは容易であると考えられ る。

以上考察した結果、本測定法は全く摩擦力についての

精密機械 18 (10) 321~329 (昭 27)

- (2) 久田: 精密機械特集号(表面粗さとその測定法)
 6~8(昭 23.10)
- (3) 曾田: 科学 21 (6) 270~277 (1951)
- (4) W. Lueg · K. H. Treptow: Stahl u. Eisen 72

857

み測定しているものであることが立証され、その測定精 度も高く、今後の研究に重要な手掛りを与えるものとい える。引続き、引抜時の潤滑油膜の厚さについても検討 してみたいと思う。

〔V〕 結 言

従来至難とされていた引抜時に於ける摩擦力の実測 は、本研究の結果得られた測定法により一応解決された ものと考える。そこでこの測定法を導き出す迄の予備実 験と新測定法の確立に伴つて得られる種々の利益を綜合 し、これを理論及び実用面より考察すると**第5表**のよう になる。

本研究を終るに当り種々御討論を戴いた日立製作所取 締役馬場博士・水谷電線事業部長・東京大学教授鈴木博 士・日立製作所小河博士、種々御激励を戴いた日立製作 所日立電線工場斎藤工場長・内藤・岩田両部長、貴重な 御助言を戴いた山本・市川両主任、実験に便宜を与えら れた関係現場の方々、実験に協力された藤田・茂木・横 井の諸君に深謝して筆をおく。

参考文献

(1) 久本・柿崎: 日立評論 34(4) 595~602 (昭 27)

(8) 399~416 (10. April, 1952)

- (5) G. D. S. MacLellan: J. Inst. Metals. 81 (1)
 1~13 (Sept. 1952)
- (6) 小柴: 特殊鋼 132 (昭 27.11.日立評論社)
- (7) J. J. Bikerman: Rev. Mod. Phys. 16 53~68
 (1944).

(抄録)久田: 精密機械 14(3~4) 43~44 (昭 23)

- (8) 久本: 日立評論 32 (3) 189~204 (昭 25)
 久本: 精密機械 17 (3) 104~107 (昭 26)
- (9) 久本: 応用物理 20 (1) 10~14 (昭 26)
- (10) 森永: 金属 21 (6) 346~349 (1951)
- (11) 覚前・中村: 機械学会論文集 15 (50) 50~55(昭 24)
- (12) 小河: 機械学会論文集 11 (41) 35~38 (昭 20)
- (13) 鈴木: 東大生産技研報告 1 (3) 73~118 (昭 25.12)
- (14) H. G. Baron F. C. Thompson: J. Inst.Metals
 78 (4) 415~462 (Dec. 1950), Wire Industry 18
 (210) 543~546, 549~551 June, 1951), 18 (211)
 629~635 (July, 1951), 18 (212) 695~698, 700
 ~702 (Aug. 1951)



第35卷 日 立 評 論 第	多 6	5 4	号
----------------	------------	-----	---

\bigcirc	北海道電力株式会社納班溪発電所用		
	12,000 kVA 傘型交流発電機 齿立製作所·日 立 工 場 佐 藤	文 故	隹
\bigcirc	北海道電力株式会社納班溪発電所用		
	10,600 kW カプラン水車の製作並びに据付に就いて日立製作所・日 立 工 場 照 沼	美知夫	Ę
Ô	色彩調節を施した国鉄豊橋変電所水銀整流器制御装置日立製作所・日立国分分工場 {液 田	正一自 朋 引	耶尔
\bigcirc	断路器の電動操作器日立製作所・日立国分分工場小林	正爹	没
\bigcirc	水力発電所用圧油槽の容量決定に就いて日立製作所・日 立 工 場 田 中	暢故	隹
\bigcirc	東北電力株式会社納沼沢沼揚水発電所用		
	ポンプのウオーターハンマーに対する研究日立製作所・亀 有 工 場 小 堀	废	拔
\bigcirc	卷上機の空気ブレーキに関する一実験(第一報)日立製作所・亀 有 工 場 {渋 谷 渡 部	英宣治	百台
\bigcirc	4 号ダイヤルの速度に就いて(その一)日立製作所・戸 塚 工 場 {軽 部 (北 条	政旗	隹衷
0	冷蔵庫の騒音に就いて日立製作所・栃木工場{松清	え 泰 生	室主
\bigcirc	スパイラル粘性ポンプの研究日立製作所・栃木工場吉田	稲次自	ß
\bigcirc	プロパンー空気混合ガスの爆発現象日立製作所・日 立 研 究 所 岩 淵	芳龙	隹



"AAAR

「日立評論」綴込みカバー発売(別製綴込み紐付) 特価1組 ¥100 (郵送料共)

「日立評論」の綴込み用として写真に示すような堅牢美麗 な綴込みカバーを発売致しております。

御希望の方には特に実費にてお預ち致しておりますから、 直接下記に御申込下さい。

> **発売所 日 立 評 論 社** 東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地 (新丸の内ビルディング 7 階) 振 暦 口 座 東 京 7 1 8 2 4

