逆張力附加引拔法の研究 (第4報) 炭素鋼線について (その3)

五弓勇雄** 福山榮助*** 岩田 齊**

Isao Gokyu, Eisuke Fukuyama and Hitoshi Iwata : Studies on the Wire Drawing with Back Tension (4th Report). On the Industrial Investigation of Carbon Steel Wire.

Using two sets of the ordinary industrial drawing machine, the drawing of carbon steel wire was carried out through the die having the same hole figure by means of the following four different methods: (A) ordinary method, (B) ordinary die-cooling method, (C) back tension method (D) back tension and die-cooling method. The results obtained were as follows: (1) In the case of the same reduction, die pressure and consumed drawing work are lower in the order of (A), (B), (C) and (D) method. (2) The temperature of die is the highest in (A) method, next in (C) method and about one-third of the former in both (B) and (D) method. (3) The temperature of drawn wire decreases in the order of (C), (D), (A) and (B) method. But the temperature increase in drawn wire is the highest in (A) method, almost

** 東京大學工學部 *** 東京製鋼株式會社

* 1950 年 4 月本會東京大會に發表。

equal in (C) and (B) method and the lowest in (D) method. (4) The tensile strength of drawn wire by this machine is the highest in (C) method, almost equal in (D) and (A) method and the lowest in (B) method. This seems to be due to the effect of strain aging caused by the heat generated in the drawn wire. (5) The amount of the wear of die decreases in the order of (A), (B) and (C) method, and almost none in (D) method when 800kgs of 4 mm wire are drawn.

There will be many advantages in (D) method, using the simple machine, which is easily applicable in practice. We found that this method have the following advantages: (1) Cost of equipment is cheap. (2) The power consumption decreases. (3) The cost of die decreases. (4) deviation of diameter of wire is negligible and mechanical properties of drawn wire are constant. (5) The production can be increased by the possibility of high speed drawing.

(Received September 27, 1952)

I. 実験方針および実験方法

第2報⁽¹⁾および第3報⁽²⁾においては炭素鋼線の逆張力引拔法に關し基礎的研究を報告したが、本報においては工業的装置を用い炭素鋼線を同一孔形のダイスにより次の四方法の引拔試験を行つた。すなわち今まで各工場で行われていたダイスを冷却しない普通法(A法とす)、著者の考案せる特殊水冷装置によりダイスを水冷した普通水冷法(B法)、逆張力を加えたがダイスは水冷しない逆張力法(C法)および逆張力をかけるとともに各ダイスを水冷した逆張力水冷法(D法)である。これら4方法により同一線材を引抜き、引拔力、引拔材の性質、ダイスおよび線の温度上昇および特に工業的に重要なダイス磨耗および線径の増大について比較検討した。

ロッドは神戸製鋼所製鹽基性平爐鋼でその成分はTable 1の如くである。この5"線を4.7 mmφに引抜きこれ

Table 1 The Chemical Analysis of Used Wire Rod.

C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr
0.63	0.41	0.28	0.016	0.039	0.22	0.33	0.08

を原線とし各方法共80 kg 束10束計800 kg 宛引抜いた。この原線を乾燥石鹼を潤滑剤として4.7→4.32→4.00 mmφと二段に引抜き、ダイス磨耗は4.00 mmφダイスと比較した。このダイスは川西製超硬合金カップロイで各方法比較のためダイス孔形、材質の同一のものを用いる必要があるので、製作番號の續いているものを使用した。その孔形は第3報⁽²⁾の場合と同様型をとり50倍に拡大し測定した。その形状はFig.7にその磨耗後の形状とともに示してある。

引拔装置はドラム直径24吋の單式引拔機を用いその引拔速度は60 m/minであつた。このダイス受臺の所に板バネの撓みによる引拔力測定装置および線温度測定装置を附屬した。この全装置圖を示すとFig.1で普通法ではA部のみ、逆張力法ではA,B部を連續して用いBにて4.7→4.32 mmφに落しこの引拔力を4.32→4.00 mmφに引抜く場合の逆張力として加えた。この場合B部の引拔

速度は52 m/minとなる。なお引拔力測定装置は板バネの撓みと荷重の關係を豫め引張試験機で檢定しておきこの撓

Fig. 1 Arrangement of Drawing Apparatus.

みはダイヤルゲージで讀んだ。線温度は小さい銅片に熱電對を埋め込みこの銅片を引拔線に接觸して讀んだ。それ故眞の線温度は示さないが各方法による相對的な値は充分決定出来る。ダイスおよび特殊ダイス水冷装置をFig.2に示

Fig. 2 Die and Die Cooling Apparatus.

す。ダイスには圖の如く軟鋼ダイスホルダー部に3 mmφの小孔を8個、ダイス前面より後面に貫通させ、これをダイスを取りはづし可能な圖の如き水冷装置におさめ、

a→b→c→d→eと水を流す。この水冷装置の特長はb部は斷面積で小孔の總斷面積の20倍以上ある。それ故、小孔内の水流はb部の20倍以上の速さになる。水流が壁から奪う熱量は水流の速さに比例するので、かかる装置は普通の装置より水冷効果が大きく、さらに發熱部に近いところに孔があり、またダイスの前面、後面および側面の一部も同時に冷却されるから水冷効果は特に著しくなる。この装置に通した水量は、平均して2.5 L/minである。ダイス温度は超硬合金に沿ひ孔をあけ、ベアリング直上を熱電對で測定した。

II. 引拔力および仕事量におよぼす引拔法の影響

研究の目的がダイス磨耗の試験にあつたので同一ダイスで相當量の線材を引抜いたために各線径に變化があり、

(1) 五弓, 橋川, 本誌, 16(1952), 674.

(2) 五弓, 大山, 本誌, 17(1953), 40.

特に 4.7 mm ϕ および 4.32 mm ϕ のダイスで引抜いた線に著しかつた。それ故引抜線径の組合せを圖示して加工度を示し論議の基礎にしよう。第一段の引拔の場合を Fig. 3 に、

(A): Ordinary Method
(B): Ordinary Die Cooling Method
(C): Back Tension Method
(D): Back Tension and Die Cooling Method

Fig. 3 Before and After Diameter of Wire at the First Stage of Drawing.

張力水冷法は逆張力法より加工度の大きな点である。

Fig. 4 Before and after Diameter of Wire at the Second Stage of Drawing.

Fig. 5 Die Pressure at the First Stage of Drawing.

比し、ダイス圧力はそれぞれ約 5.4% 高い。逆張力法および逆張力水冷法といえども Fig. 1 を参照すれば明らかに逆張力は第二段引抜にのみかゝるのであつて第一段引抜には逆張力は全然作用しない。しかし引拔速度は普

通法の 60 m/min に對し 52 m/min になつてゐる。それ故上記の引拔力の差は引拔速度の影響と考えられる。また同一引拔速度である普通水冷法は普通法に比し、逆張力水冷法は逆張力法に比しそのダイス圧力はそれぞれ約 20% 低下している。これはダイス水冷により潤滑効果が良好に保たれるためで、ダイス水冷効果の著しい優秀性を示している。

第二段引拔の場合で各線径から 3.99 mm ϕ に引抜くに要したダイス圧力を Fig. 6 に示した。この場合特に普通

Fig. 6 Die Pressure at the Second Stage of Drawing.

法では引抜線径が大であつたので上記線径に相應するダイス圧力に換算して示してある。この圖より同一加工度

Table 2 Percentage of Die Pressure at the 2nd Stage of Drawing on Each Drawing Method.

Ordinary Method	Ordinary Die Cooling M	Back Tension M	Back Tension and Die Cooling M
100 %	85 %	67 %	56 %

法は逆張力を加えた場合と否にかゝらずダイス圧力が 14~15% 減少する。この逆張力効果とダイス水冷効果とを兼ね備えた逆張力水冷法ではそのダイス圧力は普通法の約 1/2 に減少する。

各方法による第二段引抜に要する仕事量の百分率は Table 2 のダイス圧力百分率と全く等しいが 4.77→4.36→3.99 mm ϕ と全引拔工程の原線 1 m に對する仕事量は Table 3 の如くなる。

Table 3 Drawing Work Consumed.

Drawing Method	Ordinary Method	Ordinary Die Cooling M.	Back Tension M.	Back Tension and Die Cooling M.
Drawing work consumed at 1st stage (kg-m)	737	588	767	612
Drawing work consumed at 2nd stage (kg-m)	725	615	487	408
Whole drawing Work consumed (kg-m)	1462	1203	1254	1020
Percentage of ditto	100	82	85	69

これによると普通法に比しダイスを水冷しただけで、仕事量は 18%，簡単な実行容易な方法で逆張力をかけただけで 15%，逆張力とダイス水冷を同時に行えば 31% もそれぞれ仕事量を減じ、消費動力は節約出来る。なお次節で述べる如く逆張力附加の場合第一、第二ダイス間での線が冷却不十分で加熱されたまゝで第二ダイスに入つたがこの冷却が充分であつたなら、逆張力附加の場合はさらに好結果を期待し得る。

III. ダイス温度および引拔線の温度 におよぼす引拔法の影響

ダイスの温度が引抜き開始から時間とともに變化する有様を検べて見ると、各引拔方法共に引拔始めより 3~4 分で發熱と放熱が平衡を保ち温度一定となる。爾後ダイス温度とはこの一定になつた温度を指すことにする。

このダイス温度を示すと Table 4 の如くである。これ

Table 4 Temperature of Die.

Drawing Method	Ordinary Method	Ordinary Die Cooling M.	Back Tension M.	Back Tension and Die Cooling M.
Temperature of die at 1st drawing stage	180°	60°	150°	62°
Percentage of ditto	100%	33%	82%	34%
Temperature of die at 2nd drawing stage	190°	60°	162°	58°
Percentage of ditto	100%	31.5%	85%	30.5%

によると何れの場合でも水冷せるダイスは 60° 内外で普通法のダイス温度の約 30% 位にまで低下しよく冷却効果を現わしている。また第一ダイスにおいて逆張力法が普通法よりダイス温度の低いのは他の條件は全く同じでも引拔速度が前者の方が低く単位時間當りの發熱量が少いからである。さらに普通法において第二ダイスの方が高温であるのは第二段引拔の方が第一段引拔より加工度が大なるためであり、逆張力法における同様な關係はこれに加ふるに第一段引拔で加熱せられ、普通法よりも高温の線を引抜くことによると考えられる。この逆張力引拔法で第二ダイスに入る線の温度は 87° であつた。

引拔線の温度は引拔線の材質にも影響をおよぼすので重要であり、二、三の測定結果もある。特に A. Eichinger と W. Lueg⁽³⁾ がよく研究している。著者の場合は前記 4 種の引拔法での差異を明らかにすることを目的としたので、I で述べた如き簡単な方法で第二ダイス出口より 4 cm, 11 cm および 16 cm の位置の線温度を測定比較した。これによるとダイス出口より 4 cm 以上 16 cm 以内では各場合とも線温度はわずかに低下するのみであり、外部摩擦により生じたダイスとの接觸面の高熱はダイスおよび外気にすぐ放熱されてしまうものと考えられる。ダイス出口より 4 cm のところの線温度を Table 5 に示す。

この結果では逆張力を附加した方が附加しないものより

線温度が高いが、これは普通法および普通水冷法はダイスに入る線の温度は實驗時の氣温 25° であり、逆張力法およ

Table 5 Temperature of Drawn Wires at 4 cm from Die Exit.

Ordinary Method	Ordinary Die Cooling M.	Back Tension M.	Back Tension and Die Cooling M.
102°	80°	150°	129°

び逆張力水冷法では前述の如く 87° である故、これを考慮に容れ各方法による引拔線の温度上昇を比較すると Table 6 の如くなる。これによると引拔線の温度上昇には明らか

Table 6 The Elevation Percentage of the Temperature of Drawing Wire

Ordinary Method	Ordinary Die Cooling M.	Back Tension M.	Back Tension and Die Cooling M.
100 %	75 %	80 %	50 %

に逆張力の効果およびダイス水冷の効果が現われている。

IV. 引拔線の性質におよぼす 引拔法の影響

5 番ロッドより 4.7 mm φ ダイスで引抜いた原線と、これを 4.32 mm φ に第一段引拔を行つた線および 4.40 mm φ に第二段引拔をも終えた線の各束について抗張力および捻回値を測定した。この際原線および第一段引拔後の各束の線径は相當なばらつきがあるため、それらの抗張力の結果も相當ばらついていたが大體線径と比例的關係にあつた。第二段引拔後の各束の線径は大體同一であり加工度も相當大きくなつたので各方法による引拔線の抗張力はいくまともなつてきた。それらの各 10 束づきの抗張力の平均値を Table 7 に示す。

Table 7 Tensile Strength of Wire After the 2nd Stage of Drawing.

Ordinary Method	Ordinary Die Cooling M.	Back Tension M.	Back Tension and Die Cooling M.
119.5 kg/mm ²	116.5 kg/mm ²	125.0 kg/mm ²	120.0 kg/mm ²

これによると逆張力法が最も高く、逆張力水冷法および普通法はほとんど同一で最低は普通水冷法である。この順序は大體 Table 5 の引拔線の温度の順序と一致していて温度の影響が大なることを思わせる。その原因は主として第二段引拔では相當加工度が大になつてから温度上昇によるいわゆる strain aging によるものであろう。なおこの他ダイスを水冷しない方法は II でも述べた如く摩擦力は大きく、その結果としてダイス内での不均一剪断變形を多く受け、それだけ餘分に硬化する故普通法、逆張力法がそれぞれの水冷法より抗張力大なることもうなづける。

一般に捻回値はロッドより 40% 内外の加工度までは非

(3) A. Eichinger and W. Lueg, K. W. I. Eisenforsch., 23-2(1941), 21.

常にばらつくのが通例であるが、この実験でもその例にもれず、10 乃至 40 の値に分散が多かつたので論外とする。

V. ダイス磨耗および引拔線径に及ぼす引拔法の影響

第二段引拔にて各引拔法とも 800 kg 宛の原線を加工し、その前後のダイス孔形を求めたのが Fig. 7 である。

Fig. 7 Die Hole Figures before and after Wire Drawing of 800 kg.

なおダイスの片ベリを防ぐため一束を引抜く毎にダイスを約 35° づゝ廻して引抜いた。Fig. 7 の測定結果より磨耗量を計算した値とその百分率を Table 8 に示す。これらの結果によると豫想通り普通法が最も磨耗大で次に普通水冷法、逆張力法の順で、逆張力水冷法はほとんど磨耗が認められなかつた。

Table 8 Amount of Wear of Die.

Drawing Method	Ordinary Method	Ordinary Die Cooling M.	Back Tension M.	Back Tension and Die Cooling
Amount of wear (mm ³)	1.75	1.55	0.67	0
Percentage of ditto	100	88	38	0

普通水冷法が普通法に比較して割合磨耗が大きかつたのは Fig. 4 に示された如くこの第二段引拔においては加工度が普通法の平均 13.5% に比し、普通水冷法は平均 16% と大であつたため、加工度が同一ならさらによい成績を示すものと考えられる。逆張力法は未だベアリング部が完全には磨耗していないので、ダイス孔径の擴大はなく逆張

Fig. 8 Diameter of Drawn Wire at the 2nd Stage of Drawing.

力水冷法と同様に引拔線径は一樣である。引拔線の各束の先端および末端の線径の値を引拔順に示したのが Fig. 8 である。ただしマイクロメーターで測定した故、投影擴大して測定場合よりやや精度は悪い。この圖からも工業的に重要な線径を一定に引抜くことに對し逆張力附加が如何に有効であるかが知られる。

VII. 総 括

工業的装置を使用し高速で炭素鋼線を同一孔形のダイスを用いた普通法、普通水冷法、逆張力法および逆張力水冷法で引拔実験した結果次の諸點を見出した。

(1) 逆張力の加わらぬ第一段引拔では同一加工度で逆張力法は普通法に比し、逆張力水冷法は普通水冷法に比しダイス壓力が高い。これは引拔速度の影響である。

(2) 第二段引拔では同一加工度でダイス壓力は普通法、普通水冷法、逆張力法、逆張力水冷法の順序に低くなる。これはダイス水冷効果および逆張力効果による。

(3) 第一段および第二段引拔の全仕事量は普通法が最も大で、普通水冷法および逆張力法はほとんど等しく逆張力水冷法は最小である。

(4) ダイス温度は普通法最も高く、次いで逆張力法で普通水冷法および逆張力水冷法は前者の約 1/3 程度である。

(5) 引拔線の温度はこの実験装置では逆張力法、逆張力水冷法、普通法、普通水冷法の順に低い。しかし線の温度上昇は普通法が最大で、逆張力法、普通水冷法はほぼ等しく、逆張力水冷法が最小であり、ダイス水冷効果および逆張力効果が現われている。

(6) 引拔線の抗張力は逆張力法が最高で、逆張力水冷法および普通法はほぼ等しく普通水冷法が最低である。これは線温度による strain aging に起因すると考えられる。

(7) ダイス磨耗量は普通法、普通水冷法、逆張力法の順に少く逆張力水冷法は実験範囲ではほとんど磨耗しない。ダイス磨耗に對しダイス水冷効果および逆張力効果が現われているが特に後者が著しい。

(8) 従つて引拔線の線径の増大は普通法、普通水冷法、逆張力法、逆張力水冷法の順に少くなる。

以上要するに簡単な装置でダイスを水冷することにより種々の利益が得られ、また二段引拔という工場ですぐに實行出来る逆張力水冷法を實施すれば、以上の結果として次の工業的利點が發揮される、すなわち

(i) 設備費僅少, (ii) 動力の節減, (iii) ダイス費用の節減, (iv) 品質 (線径および材質) の一定, (v) 高速引拔可能による生産量の増大などである。なお第一段引拔後の線の冷却方法をはかればさらに以上の効果は大となる。

最後に本研究遂行に當り助力を與えられた當時學生の氏家信久、石坂哲郎、中川和三君に感謝の意を表する。