

## 鋼 の 熱 間 衝 撃 押 出 し \*

河田和美\*\*・鈴木正敏\*\*\*・武内朋之\*\*\*\*

隈部智雄\*\*\*\*・池田定雄\*\*\*\*

## Hot Impact Extrusion of Steel.

Tomoyoshi KAWADA, Masatoshi SUZUKI, Tomoyuki TAKEUCHI

Tomoo KUMABE and Sadao IKEDA

## Synopsis:

Hot impact direct extrusions have been carried out to test the workability of steel with high strain rate and large deformation using the high energy rate metal-working machine, Dynapak. The strain rate was up to  $3.6 \times 10^3 \text{ sec}^{-1}$  and the extrusion ratios were from 4 to 25. The extrusion pressure and the relative displacement of punch and die were recorded by synchroscope.

Results obtained are summarized as follows:

(1) Impact energy  $E$  and extrusion length  $x_0$  are approximately proportional, *i. e.*,  $E = S \bar{q} x_0$ , where  $S$  is the cross-sectional area of container and  $\bar{q}$  is the mean extrusion pressure.

(2) Mean extrusion pressure is approximately proportional to the natural logarithm of extrusion ratio  $\gamma$ , *i. e.*,  $\bar{q} = B \ln \gamma$ .

(3) Extrusion pressure  $q$  is proportional to the  $n$ -th power of extrusion velocity  $\dot{x}$ , *i. e.*,  $q = q_0 \dot{x}^n$ .

(4) When the extrusion velocity becomes higher, there appear inertia forces of the form of  $1/2 S \rho \dot{x}^2$  and  $S \rho \dot{x} \ddot{x}$ , where  $\rho$  is the density of materials.

These behaviors are discussed in comparison with those in tension-compression test and hydraulic extrusion.

(Received 21 Dec. 1963)

## I. 緒 言

ここ数年来高エネルギー高速度加工の技術が進歩し、大きなエネルギーを急激に材料に加えた場合の材料の変形の挙動やその際の組織や材質の変化について研究が進められている。

この高エネルギー高速度装置の一つとしてダイナパック加工機があり、高速の鍛造や押し出しに用いられるが、こういった場合の変形の際の挙動についてはまだ十分明らかでない。

著者らは、従来のものより比較的高いエネルギーおよび速度をもつて鋼を熱間で衝撃的に押し出す場合の基礎となるデータを求めるためダイナパック 1220 型を用い、五つの鋼種について変形の際の挙動についての実験を行なったので、これについて報告する。

## II. 衝撃押し出しの力学的考察

著者らは、先に衝撃押し出しについて力学的考察を行なった<sup>2)</sup>が衝撃押し出しを考えるとときに必要なことは、機械

の放出するエネルギーとそれによりなされる仕事の関係である。押し出し中にポンチに働く力は、一般には時間とともに変化するが、次の式で定義される平均押し出圧力  $\bar{q}$  を考えると便利である。

$$\bar{q} = E / S x_0 \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $E$  は機械の放出したエネルギー、 $S$  はコンテナの断面積、 $x_0$  は押し出量 (押し出し中のポンチのダイスに対する相対移動距離) である、

機械の放出したエネルギー  $E$  は、この実験に用いた機械の特性上、衝突した瞬間に機械の持っていた運動エネルギーによるもののほかに、衝突直後から押し出し終了までの間にも数パーセント程度の大きさのエネルギーが与えられる。そのため、 $E$  としてはこれらを合わせたものになる。 $E$  の大きさは、ラムを加速するガスの圧力と押

\* 昭和38年4月本会講演大会にて発表

昭和38年12月21日受付

\*\* 金属材料技術研究所, 理博

\*\*\* 金属材料技術研究所, 工博

\*\*\*\* 金属材料技術研究所

出し終了までのラム・ストロークおよび機械の寸法から計算で求められる。

材料を塑性変形させるに必要な力を考えると、これは普通の押出しで押出圧力  $q$  と言われるものであつて、押出比  $\gamma$  との間には

$$q = Y(a + b \ln \gamma) \dots\dots\dots (2)$$

の関係があることが知られている。ここで  $Y$  は材料の平均変形抵抗で、歪速度および温度の関数であり、 $a$ 、 $b$  は定数である。

温度一定のもとでは、一般にかなり広い歪速度の範囲にわたつて材料の平均変形抵抗は歪速度の  $n$  乗に比例するといわれており、押出しの場合素材内の歪速度の分布は複雑であるが、平均歪速度は押出速度  $\dot{x}$  に比例すると考えられるから、簡単のために、 $Y$  と  $\dot{x}$  との間に次の関係が成立するとする。

$$Y = Y_1 \dot{x}^n \dots\dots\dots (3)$$

ここで  $Y_1$  は  $1\text{m/sec}$  の押出速度のときの平均変形抵抗とする。よつて (2) 式は次のようになる。

$$q = Y_1 \dot{x}^n (a + b \ln \gamma) = q_0 \dot{x}^n \dots\dots\dots (4)$$

ただし

$$q_0 = Y_1 (a + b \ln \gamma)$$

次に高速衝撃押出しであるためにあらわれる慣性的な力を考える。押出速度あるいは押出比が大きくなれば押出されたものに無視できない大きさの運動エネルギーを与えなければならないから、これが慣性的な抵抗としてポンチに働き<sup>3)</sup>、一方押出されたものは最後には速度が 0 になり運動エネルギーを失うので、そのために慣性的な引抜き力としてポンチにマイナスの力として作用する。これらは、材料の密度を  $\rho$ 、ポンチの変位  $x$ 、加速度を  $\ddot{x}$  とすれば被加工材を加速するに必要な力、すなわち慣性抵抗力は  $(1/2) \rho S \gamma^2 \dot{x}^2$  で、また慣性引抜き力は  $\rho S \gamma^2 x \ddot{x}$  で表わされる。前者は  $\dot{x}$  の大きいとき、すなわち押出し開始時に大きな値をもち、後者は  $\ddot{x}$  が一定であれば  $x$  の大きいとき、すなわち押出しの最後に大きな値となる。これらの力は押出速度、押出比が大きくなると二乗できいてくるので、先に考えた  $q$  にこれらによる圧力を合わせたものを押出圧力として考えねばならない。前者で材料に与えられた運動エネルギーは後者によつて引抜きのための仕事に使われ、この二つのエネルギーは全体としては等しいので (1) 式は成り立つ。

### III. 実験方法および試料

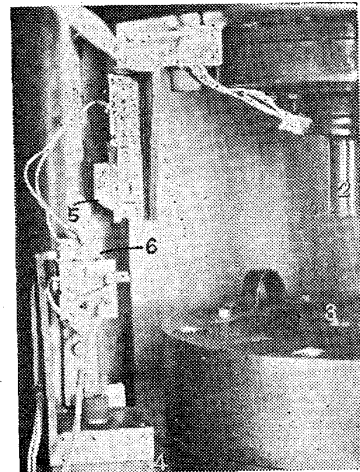
#### 1. 衝撃押出し装置

衝撃押出しに用いた機械はダイナパック 1220 型で、エネルギーは最大  $20\text{ t}\cdot\text{m}$ 、衝撃速度は最高  $20\text{ m/sec}$

である。実験は衝撃速度が  $7.5 \sim 10.0\text{ m/sec}$  (エネルギーで  $2.5 \sim 6.0\text{ t}\cdot\text{m}$ ) の範囲で行なつた。押出しはコンテナ径  $40\text{ mm}$  に対して押出比が  $4, 6.25, 9, 16, 25$  になるような穴径の直角ダイスを使用し、前方押出しを行なつた。潤滑剤としては黒鉛、シリカ、油脂を主成分としたもの (Hot Forging Compound B) を用い、コンテナとダイスの内面に塗布した。

#### 2. 押出圧力と変位の測定装置

押出圧力は、ポンチにストレイン・ゲージをはつて、ブリッジに組み、その出力を二現象観測用のシンクロスコープ (岩崎通信機 DS-5155, プリ・アンプ SP-02 DFH-A) の第 1 チャンネルで観測した。実際の押出圧力とブリッジの出力との間の較正は、 $200\text{ t}$  の万能試験機で静的荷重を加えて行なつた。なおブラウン管面での較正は現象の始まる直前に、既知荷重に相当する一定出力の変化を与えて、押出圧力-時間曲線に一定圧力のマークを入れた。

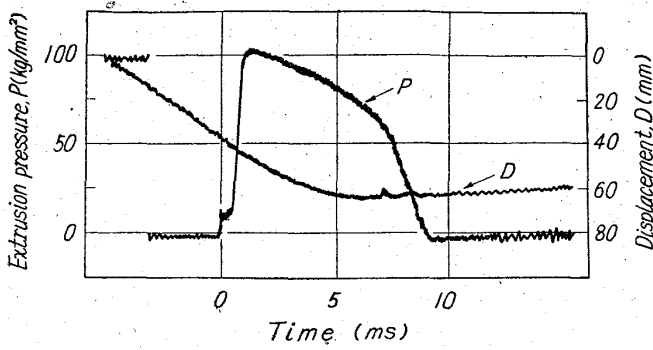


- |               |                   |
|---------------|-------------------|
| 1. Ram weight | 2. Punch          |
| 3. Container  | 4. Bolster        |
| 5. Slider     | 6. Resistant wire |

Photo. 1. Measuring device for relative distance between punch and die.

ポンチとダイスの相対変位は、Photo. 1 に示すような摺動抵抗式の変位計を用いて測定した。すなわちボルスターに固定した台に抵抗線をはつて電流を流しておき一方ラム・ウェイトに二枚の摺動子を固定し、これらが押し出し中に抵抗線をはさんで動くようにした。これら二つの摺動子の両端から電圧変化をとり出し、先に述べたシンクロ・スコープの第 2 チャンネルで観測した。

測定した結果の一例を Fig. 1 ( $S50C, 1150^\circ\text{C}$ 、押出比 = 9、衝撃速度 =  $7.5\text{ m/sec}$ ) に示す。二つの曲線は、衝撃押出しの際の押出圧力およびポンチとダイスの相対変位が時間の関数として記録されている。これらの



0.5% C steel, 1150°C, Extrusion ratio : 9, Impact velocity : 7.5 m/sec.

Fig. 1 Diagrams of extrusion pressure and displacement vs. time.

うちの変位-時間曲線を微分して、ポンチとダイスの相対速度すなわち押出速度-時間曲線を求めた。

3. 押出量

押出量をはじめのピレット寸法、コンテナ径および押残り長さから求めるには、いろいろの因子を考えねばならない。しかしここでは便宜的に次の方法により求めた。すなわち押出されたものの長さ  $l$  を縦軸に、押残り長さ  $L_c$  を横軸にとり、各鋼種について押出比毎の点を結び  $l=0$  に外挿した点の  $L_c$  を、加工距離  $x_0=0$  のピレット長さ  $L_0$  と決め、 $x_0=L_0-L_c$  を押出量とした。さらに熱膨張を考慮にいとこの値は 1% 程度大きくなる。

4. 供試材

押出しに使用した材料は 3 種類の炭素鋼 (S20C, S50C, SK3) と、13Cr 鋼 (SUS22) および 18Cr-8Ni 鋼 (SUS27) の計 5 種類で、それらの成分は Table 1 に示すとおりである。

試料は市販の丸棒から S20C は 39.0mmφ×60.0mm, 他はすべて 38.0mmφ×60.0mm のピレットに仕上げたものを標準とし、その他に長さを 40.0mm および 80.0mm に変えたものをそれぞれ少数用意して比較の対象とした。ピレットの予熱温度は 900°C, 1000°C, 1150°C の 3 通りに設定し窒素ガスを通じた電気炉中で各温度に 30min 保持したのち、炉から取り出し直ちにほぼ室温のコンテナに投入し押出しを行なった。押出しは各場合ともほぼ 1/1000 sec. 以内に完了した。

Table 1. Chemical composition of steels used, (%).

Steels	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
S20C	0.25	0.26	0.60	0.021	0.011	—	—
S50C	0.49	0.21	0.49	0.010	0.016	—	—
SK3	1.11	0.23	0.50	0.022	0.009	—	—
SUS22	0.15	0.60	0.48	0.028	0.011	—	12.40
SUS27	0.07	0.65	1.18	0.020	0.010	8.86	18.67

IV. 実験結果

1. エネルギーと押出量

機械の放出したエネルギーと押出量とは、平均押出圧力が一定であれば、(1)式からわかるように比例する筈である。そこでまずそれを確かめるために、S20C は 1000°C と 1150°C で、S50C は 1150°C で押出比を 16 と一定にとりエネルギーをいろいろ変えて押出しを行なった。そのときのエネルギーと押出量および平均押出圧力との関係をグラフに示したものが Fig. 2 である。この図から押出量がエネルギーにほぼ比例していることがわかる。エネルギーが増すと押出し開始時の押出速度も大きくなり、平均押出圧力も増すが、この実験の範囲ではその大きさは計算すると約 5% であり、あとの実験結果でわかるように平均押出圧力の値は 5~10% ばらついている。したがってこの程度の測定精度のときには、平均押出圧力は一定とみなし、エネルギーと押出量の関係は比例関係にあるとして、ある量を押出すに必要なエネルギーを求めてよいと考えられる。

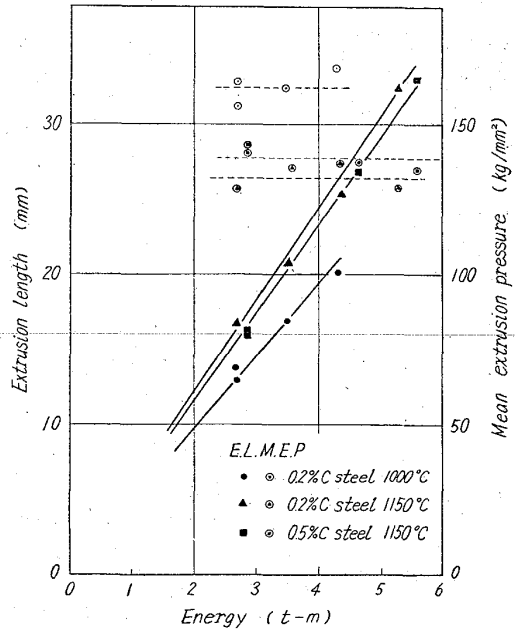


Fig. 2. Relation between extrusion length, mean extrusion pressure and energy, (extrusion ratio : 16).

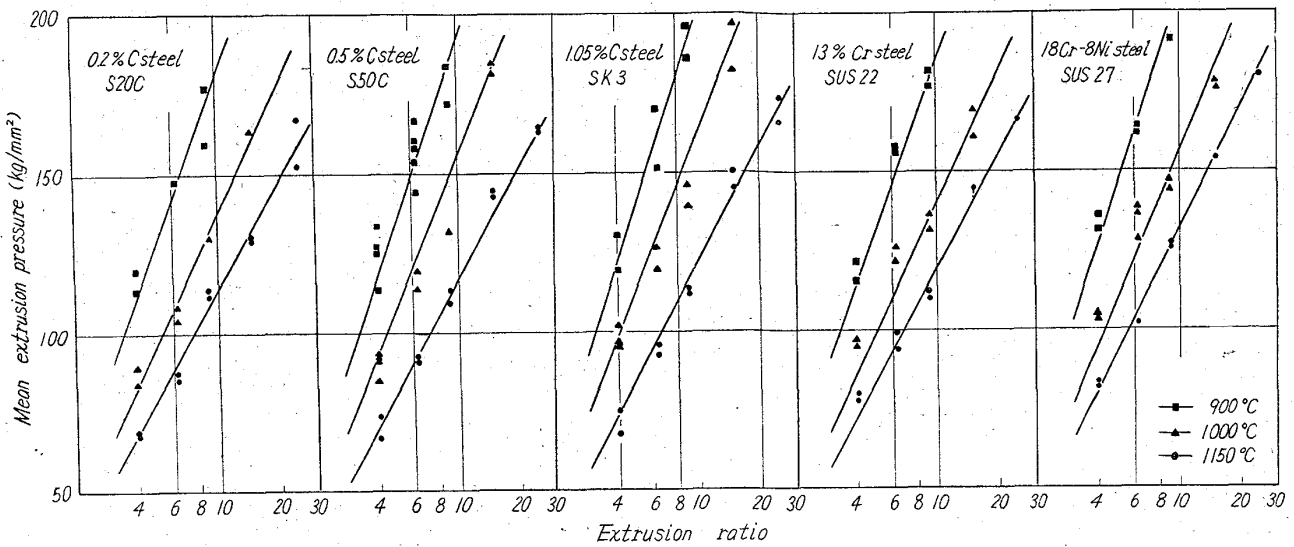


Fig. 3. Relation between mean extrusion pressure and extrusion ratio.

2. 平均押出圧力

各鋼種について、押出圧力におよぼす押出温度、押出比の影響を検討するために、衝撃速度を7.5m/secと一定にして、ピレットの予熱温度、押出比を変えて押出しを行ない、機械の放出したエネルギーEと押出量x<sub>0</sub>とから、(1)式により平均押出圧力 $\bar{q}$ を求めた。各鋼種ともポンチやダイスを破損しないようにするために、押出比が、900°Cでは9以下、1000°Cでは16以下、1150°Cでは25以下でしか押出しができなかつた。この実験の結果を各鋼種別に、各温度について片対数グラフの対数軸に押出比 $\gamma$ をとり平均押出圧力 $\bar{q}$ との関係をプロットしたものがFig. 3である。この図から両者の関係は

$$\bar{q} = A + B \ln \gamma \quad \dots\dots\dots (5)$$

の形の式で整理することができる。ここでA、Bは材料および温度に依存する定数であり、いま $\bar{q}$ に対応する押出速度として実効平均押出速度 $\bar{x}$ を考えると(4)式のa、bとは次の関係にある。

$$A = a Y_1 \bar{x}^n, B = b Y_1 \bar{x}^n \quad \dots\dots\dots (6)$$

Fig. 3に引かれた直線は $\gamma = 1$ で $\bar{q} = 0$ になるように引いたものである。すなわちこの図から判断してAは $B \ln \gamma$ に比べて小さく無視してよいと考えた。したがって実用的には、

$$\bar{q} = B \ln \gamma \quad \dots\dots\dots (7)$$

として差し支えない。この図から求めたBの値はTable 2に示すとおりである。

このようにして求めたBの値を用いれば(7)式から、任意の押出比に対する平均押出圧力を概算することができ、1.の結果と合わせて任意の量だけ押出すに必要なエネルギーを求めることが可能である。

ただしここで求められた平均押出圧力 $\bar{q}$ は、機械の放出したエネルギーがすべて押出しに使われたとして求めたために多少大きめになっていると思われる点に留意すべきではある。すなわち実際にはエネルギーの一部は、押出し開始前にピレットをコンテナに充填するために使われており、また押出し終了時にポンチなどが弾性的に歪んで貯わえているために使われている。これらの大きさはともに押出温度が低い程大きく、後者はまた押出比が大きい程大きくなる。この実験の範囲では、900°C、 $\gamma = 9$ のときこれらの値は一番大きくなるが、その平均押出圧力におよぼす影響は約8%で、実際の値は先に求めたものよりそれだけ小さくなっている筈である。

3. 押出圧力の押出速度依存性

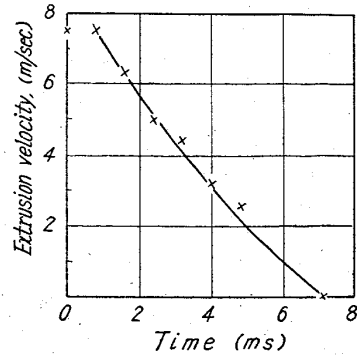
Fig. 1によると押出圧力は時間とともに減少している。一般に前方押出しにおいて押出圧力は、ピレット

Table 2. Values of B in  $\bar{q} = B \ln \gamma$ , (kg/mm<sup>2</sup>).  
(Effective mean extrusion velocity  $\approx 4.9$ m/sec)

Steels	S 20C	S 50C	SK 3	SUS22	SUS27
Temperature					
900°C	79.4	83.8	87.7	81.9	90.5
1000°C	59.7	67.3	70.8	61.2	68.4
1150°C	49.5	50.8	53.4	51.9	58.2

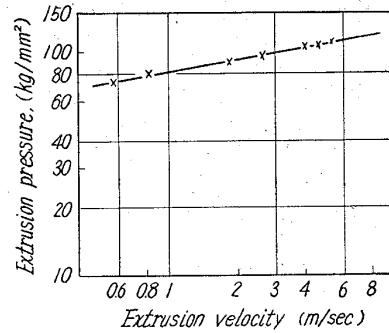
とコンテナの間の摩擦が押しが進むにつれて減少するために、次第に減少すると言われている。そこでこの実験での押し圧力の減少が摩擦の影響であるかを検討するために、ピレットの長さを 40・0, 60・0 および 80・0 mm に変えて、S50C と SK3 について各温度、押し比で押しを行なった。この際衝撃速度は 7・5m/sec と一定になるように機械を加速するガスの圧力を調節した。ピレットとコンテナの間に摩擦が働いていれば、ピレット長さが異なることによつて押し圧力に差が生じてくる筈であるが、実験の結果すべての場合について測定された写真上でその差はほとんど認められなかつた。この結果からピレットとコンテナの間の摩擦は無視し得る程度に小さく、押し圧力の減少はこれによるとは考えられない。

次にこの減少の理由として押し速度もまた時間とともに減少しているのでその影響が考えられる。そこでまず相対変位-時間曲線から押し速度-時間曲線を求めた。その結果を Fig. 4 に示す。このときの衝撃速度は当然のことながら、機械を加速するガスの圧力、衝突までのラム・ストロークなどから計算で得られた速度と一致している。次にこの押し速度-時間曲線と押し圧力-時間曲線とから、押し圧力  $q$  と押し速度  $\dot{x}$  の関係を求めこれを両対数グラフにプロットすると Fig. 5 のようになる。これから両者の間には、 $q \propto \dot{x}^n$  の関係が成立していることがわかる。一例として示した Fig. 4, 5 は Fig. 1 の S50C を 1150°C,  $r=9$ , 衝撃速度 = 7・5m/sec の条件で押しした場合のものであるが、この  $n$  の値を求めると 0・17 である。同様の解析を各鋼種につき、衝撃速度を 7・5m/sec と一定にして、押し比、ピレットの予熱温度を変えて押しを行なった場合について行ない  $n$  の値を求めた。その結果を Table 3 に示す。これらの  $n$  の値はばらついてはいるが、材料の変形抵抗と歪速度との関係における  $n$  の値<sup>4)</sup> とかなりよく一致しており、押し圧力と押し速度の関係は変形抵抗の歪速度依存性によるものと考えられる。この結果から押し



0・5% C steel, 1150°C, Extrusion ratio:9, Impact velocity:7・5m/sec.

Fig. 4. Diagram of extrusion velocity vs. time.



0・5% C steel, 1150°C, Extrusion ratio:9, Impact velocity:7・5m/sec.

Fig. 5. Relation between extrusion pressure and extrusion velocity.

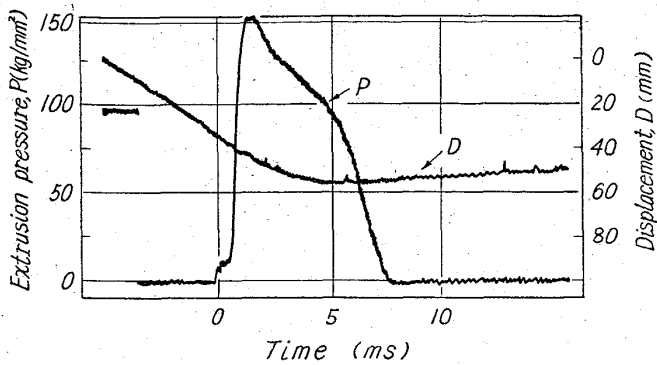
圧力が時間とともに減少するのは、押し速度が減少するためであることがわかつた。なお表中で押し比 4, 1150°C のものについては押し圧力-時間曲線の形が他のものとかなりちがつておりさらに検討を要するので押し速度との関係は求めなかつた。他の空欄は実験が困難な条件であつたので行なつていないところである。

4. 慣性抵抗力と慣性引抜き力

押し速度、押し比が大きくなると慣性的な力が働いてくる。Fig. 6 は Fig. 1 と同じ条件で押し比のみ 25 に変えて押しを行なったものについて測定された写真

Table 3. Values of  $n$  in  $q=q_0 \dot{x}^n$ . (Impact velocity=7・5 m/sec)

Steels		S20C			S50C			SK 3			SUS22	SUS27
Temperature (°C)		900	1000	1150	900	1000	1150	900	1000	1150	1150	1150
Extrusion Ratio	4	0・10	0・12	—	0・17	0・19	—	0・18	0・18	—	—	—
	6・25	0・09	0・14	0・14	0・13	0・13	0・17	0・18	0・20	0・19	0・17	0・18
	9	0・11	0・14	0・16	0・15	0・15	0・17	0・19	0・18	0・18	0・16	0・10
	16	—	0・13	0・17	—	—	0・15	—	—	0・16	0・11	0・10
	25	—	—	0・14	—	—	0・14	—	—	0・17	0・15	0・13
Mean value		0・10	0・13	0・15	0・15	0・16	0・16	0・18	0・19	0・18	0・15	0・13



0.5% C steel, 1150°C, Extrusion ratio:25, Impact velocity:7.5m/sec.

Fig. 6. Diagrams of extrusion pressure and displacement vs. time.

である。Fig. 1 の場合押出比が 9 と小さいので慣性力は無視し得る程小さく、したがって押出圧力-時間曲線にもその影響はあらわれていない。しかし Fig. 6 でわかるように押出比が 25 にもなると慣性抵抗により押出圧力は 10 kg/mm<sup>2</sup> 程度増加し、押出し初期にそれによるピークがあらわれる。また慣性引抜力もかなり大きくなり、そのために押出圧力は押出しの末期でやや減少しているのがわかる。

V. 考 察

これまで実験の結果を述べてきたが、Fig. 2, 3 からわかるようにこの実験の精度は必ずしも高いとは考えられない。結果の解析においては、摩擦、熱膨張などを省略し、ピレットのコンテナ径までの圧縮に使われたエネルギー、押出し終了時にポンチなどに貯わえられているエネルギーも押出しに使われたとして平均押出圧力を計算した。これらを考えると得られた平均押出圧力は最高 10% 程度高くなっている場合もあると考えられる。また押出比が大きい程ポンチなどに貯わえられているエネルギーは大きく、平均押出圧力への影響も大きくなるので得られた  $B$  の値は多少高めになっているものと思われる。

IV. の実験結果において、まず衝撃押出しの場合にも押出圧力が押出速度の  $n$  乗に比例しているが、その  $n$  の値は引張・圧縮試験における変形抵抗と歪速度との関係における  $n$  の値とかなりよくあつている。すなわち、たとえば 13Cr 鋼では本実験では 0.15、引張・圧縮試験では 0.14 である。

次に、この実験の結果から、鋼を熱間で衝撃的に押出しする場合の平均押出圧力は、

$$\bar{q} = B \ln \gamma \dots\dots\dots (7)$$

なる形で、さらに  $x_0$  だけ押出すに必要なエネルギーは、

$$E = S \bar{q} x_0 = S x_0 B \ln \gamma \dots\dots\dots (8)$$

の形で概算される。この  $B$  の値をユージン・セジュール法や引張・圧縮試験の結果と比較検討してみよう。本実験の押出しでは前者と比べて歪の大きさは同程度であるが押出速度すなわち歪速度ははるかに大きく、また後者とは歪速度は同じ程度であるが歪ははるかに大きい。したがってこの実験の結果を両者と直接比較することはできないが次のような方法で比較を行なつた。

まずユージン・セジュール法では押出圧力  $q$  は

$$q = Y_u e^{2fL/R} \ln \gamma \dots\dots\dots (9)$$

で計算されている<sup>5)</sup>。ここで  $Y_u$  は変形抵抗、 $f$  はコンテナとピレットの間の摩擦係数、 $L$  はピレット長さ、 $R$  はコンテナ半径である。このときの押出速度を  $\dot{x}_u$  とすれば、 $Y_u e^{2fL/R}$  は本実験の  $B$  に  $(\dot{x}_u/\bar{x})^n$  をかけたものに相当すると考えられる。

一例として 13Cr 鋼を 1150°C で押出した場合を考えると Table 3 において、このときの  $\bar{x} \approx 4.9$  m/sec で  $n = 0.15$  また  $B$  は Table 2 から 51.9 kg/mm<sup>2</sup> である。ユージン・セジュール法での正確な値は発表されていないが  $Y_u$  として 18 kg/mm<sup>2</sup>、 $f$  として 0.02、押出速度としては 0.1 m/sec のオーダーと考える。よつてユージン・セジュール法で  $R = 20$  mm、 $L = 60$  mm をかりに押出すとすれば、 $Y_u e^{2fL/R} = 20$  kg/mm<sup>2</sup>、またダイナパックでかりに 0.1 m/sec で押出すとすれば、 $B \times (\dot{x}_u/\bar{x})^n = 29$  kg/mm<sup>2</sup> となる。

次に引張・圧縮試験のときの変形抵抗と歪および歪速度の間には次の関係があると言われている。

$$Y = \alpha \epsilon^m \dot{\epsilon}^n \dots\dots\dots (10)$$

そこでこの実験の押出しでの歪および歪速度を

$$\epsilon = \ln \gamma, \quad \dot{\epsilon} = (3 \bar{x}/R) \ln \gamma \dots\dots\dots (11)$$

とおき、押出比を与えて  $\epsilon$ 、 $\dot{\epsilon}$  を求め発表されている歪の小さい場合の変形抵抗値と (10) 式からこの歪および歪速度における  $Y(\bar{x})$  の値を計算した。一方ダイナパックの場合は (6) 式から

$$B/b = Y_1 \bar{x}^n = Y(\bar{x}) \dots\dots\dots (12)$$

の関係がある。この  $b$  の値としては、非鉄金属の押出しの場合  $b$  に相当するものが 1.45 ということが報告<sup>6)</sup> されているので、かりに 1.45 の値をとることにする。そして両者の場合の  $Y(\bar{x})$  を比較する。

一例として先と同じく 13Cr 鋼を 1150°C で押出す場合、引張・圧縮試験では  $Y(\bar{x}) = 30$  kg/mm<sup>2</sup> である。またダイナパックの場合では  $B = 51.9$  kg/mm<sup>2</sup> であるから  $B/b = 35.7$  kg/mm<sup>2</sup> となる。

以上、ユージン・セジュール法および引張・圧縮試験の結果と比較検討したが、この実験の結果の  $B$  の値を用

いて計算したもののの方が両者に比べ大きくなっている。先に平均押出圧力は 2, 3 の理由でその数値が高めに出ており, 押出比が大きくなる程その影響も大きくなるので  $B$  の値も多少高めになると考えられると述べたがこのことを考慮すればユージン・セジュール法および引張・圧縮試験との比較の結果はあまり矛盾しないものと考えられる。

#### IV. 結 言

衝撃速度  $7.5 \sim 10.0$  m/sec (エネルギーで  $2.5 \sim 6.0$  t-m (の範囲で, 3 種類の炭素鋼 (S20C, S50C, SK3) と 13Cr 鋼 (SUS22) および 18Cr-8Ni 鋼 (SUS27) について熱間衝撃押出しを行なった。

その結果は次のとおりである。

平均押出圧力  $\bar{q}$  と押出比  $r$  の関係は, 従来の押出しにおける関係と同じように次の式により与えられる。

$$\bar{q} = A + B \ln r$$

ここで  $A, B$  は材料, 温度に依存する定数であるが実験の結果によると,  $A$  は  $B \ln r$  に比べて無視し得る程小さく, したがって平均押出圧力はほぼ押出比の自然対数に比例するものと考えられる。

押出圧力は時間とともに減少している。この現象が押

出速度の減少によるものと考えて解析すると, 押出圧力は押出速度の  $n$  乗に比例していることが分かった。各条件の場合について  $n$  の値を求めたが, 変形抵抗と歪速度との関係における  $n$  の値とかなりよく一致した。このことから押出しにおける歪速度が押出速度に比例し, 押出圧力が材料の変形抵抗に比例しているとの考えは正しいと考えられる。

本実験は, 総合研究として行なわれたもので, 御指導いただいた金属材料技術研究所長橋本宇一博士に深く感謝の意を表す。

#### 文 献

- 1) P. G. SHEWMON and V. F. ZACKAY: Response of metals to high velocity deformation, Interscience Publishers, (1961).
- 2) 河田和美, 武内朋之, 隈部智雄: 塑性と加工, 4 (1963) 24, p. 877~884
- 3) J. W. WALLACE: Journal of the Institute of Metals, 90 (1961~62) 2, p. 38~41
- 4) 鉄鋼技術共同研究会編: 圧延理論と変形抵抗, 誠文堂新光社, (1960), p. 104~169
- 5) 川村宏矣: 鉄と鋼, 43 (1957) 8, p. 826~848
- 6) C. E. PEARSON and R. N. PARKINS: The extrusion of metals, CHAPMAN and HALL LTD. (1960).

## 鉱物油, 菜種油および脂肪酸エステル の混合油の焼入効果について\*

(油の鋼に対する焼入効果に関する研究—V)

藤 村 全 戒\*\*・佐 藤 知 雄\*\*\*

### On the Quenching Effects of the Mixture of Medium-Fraction Mineral Oils, Rape Seed Oil and Fatty Acid Ester.

(A study on the quenching effects of oil for steel—V)

Yoshinori FUJIMURA and Tomo-o SATO

#### Synopsis:

In the present study, the following points were revealed with regard to the quenching effects of several kinds of oil mixtures:

(1) The relation between blending proportion and degree of quenching effect of the mixture composed with mineral oil and rape seed oil is like that of the mixture composed with fatty acid ester and fatty oil. Mineral oil in the former mixture will display a similar

\* 昭和27年4月本会講演大会にて発表 昭和38年12月13日受付

\*\* 静岡大学工学部, 工博 \*\*\* 名古屋工業大学, 工博