第 1 表

n	d_n mm	d_0 mm	ϵ_d
0	2.00	2.00	0
1	2.07	2.00	0.072
2	2.17	2.00	0.178
3	2.39	2.00	0.428
4	2.51	2.00	0.574
5	2.81	2.00	0.974
6	3.10	2.00	1.400
7	3.56	2.00	2.170

茲で d_0 は素材の直径 d_n なるものが直径 d_0 にまで引抜かれたことを意味し本実験では一様に 2.00 mm である。

斯くして得られた σ_B と ϵ_d とをプロットしたものが第 9 図である。プロットの符號を異にしたのは材質の相異を示すためであるが大した差異が認められなかつたので 1 本の線で結ぶこととした。同圖の曲線は (23) 式第 2 項の形を以て近似的に表はされるものと考へて常數を求めると、 $A'=184.7 \text{ kg/mm}^2$, $B'=1.7$

第 9 図

となり、(28) 式を用ひて換算すると $A=61.6 \text{ kgmm}^2$, $B=0.97$ なる値が得られる。但し $m=2$ として計算した。

終りに本研究を行ふに當り種々御便宜を與へられた日立研究所吉岡、和島兩博士並に終始御親切なる御指導を戴いた覺前博士に對し心から感謝の辭を捧げる。

(昭和 19 年 8 月 8 日受付)

加工硬化を考慮せる場合の引抜き力近似計算式 (第 3 報)

(加工硬化時の應力が歪と直線的關係にある場合)⁽¹⁾

(昭和 18 年 11 月 8 日 應用力學講演會に於て講演)

正 員 小 河 弘⁽²⁾

1. 緒 言

引抜材の加工硬化時の應力が歪と直線的關係にある場合の引抜き力計算式に就ては既報⁽³⁾の通りである。本報はその計算式がどの程度實際の引抜きと一致するかを知る目的を以て行つた實驗に關するものである。計算式に對する全面的な檢討のためにはやゝ不十分ではあるが、引抜き力とダイス角度との關係に就ては一應の結末を見ることが出來たのでその概要を簡単に報告する次第である。

尙既報にて得られた計算式は次の通りである。

$$P_m = \pi R_a^2 \left\{ \sigma_{rm} + \mu \cot \alpha \left(\sigma_{rm} - p_b \frac{R_b^2}{R_a^2} \right) + p_a \right\} \quad (1)$$

(1) Approximate Calculation Formula of Drawing-force Considering Work Hardening. (3rd Rep.) (When Stress and Strain Vary with Linear Relation during Work Hardening.)

(2) Hiromu OGAWA, Member, Hitachi Laboratory, Hitachi Ltd., 日立製作所日立研究所。

(3) 覺前、小河、機械學會誌、46 卷 316 號 513 頁 (昭 18-7)。

茲で

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{rm} &= p_b + 4 \left\{ \tau_{fb} \log \frac{R_b}{R_a} + 2G' \log \frac{(R_a^3 + R_b^3)^{2/3}}{\sqrt[3]{4} R_a R_b} \right\} \\ p_a &= \frac{2\alpha}{3\sqrt{3}} k_a = \frac{4}{2\sqrt{3}} \tau_{fa} \alpha = \frac{4}{3\sqrt{3}} (\tau_{fb} + \gamma_a G') \alpha \\ p_b &= \frac{2\alpha}{3\sqrt{3}} k_b = \frac{4}{3\sqrt{3}} \tau_{fb} \alpha \\ \gamma_a &= \frac{2(R_b^3 - R_a^3)}{R_b^3 + R_a^3} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

但し上式の記號は次の如き内容を持つ。

P_m = 最大引抜き力

σ_{rm} = ダイス出口に於て引抜材の變形に要する最大應力 (ダイス圓錐の頂點方向に働く)

p_a, p_b = 引抜材纖維がダイス出入口に於て方向變化をなすための應力増加

γ_a = ダイス出口における引抜材の剪断歪

第 1 表

2α deg $2R_a$ mm	10		15			20	
7.0	Aa-1	Aa-2	Ba-1	Ba-2	Ba-3	Ca-1	Ca-2
5.7	Ab-1	Ab-2	Bb-1	Bb-2	Bb-3	Cb-1	Cb-2
4.7	Ac-1	Bc-2	Bc-1	Bc-2	Bc-3	Cc-1	Cc-2
4.0	Ad-1	Ad-2	Bd-1	Bd-2	Bd-3	Cd-1	Cd-2

R_a, R_b =ダイス出入口におけるダイス孔半径

k_a, k_b =ダイス出入口における引拔材の塑性変形應力

τ_{fa}, τ_{fb} =ダイス出入口における引拔材の剪断降伏應力

G' =引拔材の加工硬化時における剪断弾性率

μ =引拔材とダイス壁との間の摩擦係数

α =ダイス角度の $1/2$

2. 実験の方法

実験に用いたダイスは第1圖に示す如き形状のもので、 $2\alpha \cong 10, 15, 20^\circ$ なる3種類、且各角度毎に $2R_a \cong 7 \sim 4$ mm の範囲にある4箇所計12箇所を用いた。

その材質は日立安来工場製ダイス鋼と呼ばれる高炭素高クロム鋼であり、その製作は所謂“叩きダイス”の方法によるものである。 2α の測定はダイス孔に流し込んだ熔融パラフィンのプロフィールを2.5倍の拡大写真に撮って行つた。

次に引拔材はC含量約0.1%、直径約8mmなる低炭素鋼を用ひ、各角度毎に順次径を小にするダイスにかけて引拔を行ひ、夫々の引拔力を測定した。即ちこの測定は20tアムスラ一材料試験機により、約400mm長さの引拔の平均値を以て引拔力とした。潤滑剤は機械油、引拔速度は20~30mm/minの範囲で成るべく一定に保つよう注意した。

第1表は引拔力測定を行つた各実験を表はす符號を表にしたものである。

引拔力計算には引拔前の引張降伏應力 $\sigma_{fb}(=2\tau_{fb})$ を知らねばならぬが、明確なる降伏限度を知ることが出来なかつたので便宜上 σ_{fb} の代りに引張強さ σ_B を

以てこれに代へた。(尚0.2%の永久歪を生ずる點の應力を σ_f とし、9箇の実験に就て σ_f/σ_B の比をとつて見た結果平均97.6%となり、 σ_f の代りに σ_B を以てする誤差は僅小なることが判つた(註釋の項参照)。

3. 引拔力の測定値と計算値

A. 摩擦係数 (1)(2)式の計算を行ふには μ の値を知る必要がある。然るにこの場合の μ は甚だ大なる直圧力下における値であつて簡單にはこれを決定することが出来さうにもない。永島氏の力嵌めに関する研究⁽⁴⁾によれば直圧力が大なる程 μ は小さくなることが知られてゐる。又日立研究所鈴木氏の焼嵌めに関する研究⁽⁵⁾に於ても同様のことが知られてゐる。即ち直圧力2~25kg/mm²の範囲における μ は(0.10

第 2 圖

~0.15)~(0.07~0.10)であると云ふ。本実験にて取扱ふ μ は兩氏の實驗よりも更に高い壓力下におけるものであり、従てこれが決定にだけでも相當の努力と時日を要するものと思はれる。

以上に鑑みやむを得ず兩氏の實驗を參考として(1)(2)式による引拔力計算値と實際の實驗値とが概略一致するやうな直圧力と μ との關係を二三探し求めた結果、一先づ第2圖の如く假定することとした。

(4) 永島、機械學會論文、3巻、283~289頁(昭12)。

(5) 鈴木、日立研究所報告、第2A~26號(昭14-7)。

同圖横軸 (σ_t) は引拔材とダイス壁面との間に働く平均直壓力を示し、茲では既報⁽³⁾(19) 式より得られる次式を以て計算することになる。[(σ_t) はダイス出入口の直壓力の平均値]

$$(\sigma_t) = \frac{4}{3\sqrt{3}} \tau_{fb} \alpha + 2 \left[\tau_{fb} \left(\log \frac{R_b}{R_a} - 1 \right) + G' \left\{ 2 \log \frac{(R_a^3 + R_b^3)^{2/3}}{\sqrt[3]{4} R_a R_b} - \frac{R_b^3 - R_a^3}{R_b^3 + R_a^3} \right\} \right] \quad (3)$$

B. 測定値と計算値 第 1 表 28 箇の引拔力測定値並に (1) (2) 式による計算値を一括して表はせば第 2 表の通りである。但し計算式中の G' には別に引拔加工度を異にした多くの試料の引張強さを測定す

ることにより得られた $8/3 \text{ kg/mm}^2$ なる値を用いた。又同表中 k_b は引張試験による測定値 ($=\sigma_{fb}=2\tau_{fb}$)、 P_e は引拔力測定値、 A_r は断面減少率、 n は引拔力測定回数を表はしてゐる。

4. 考 察

上記の如く得られた P_e と P_m とをダイス出口面積 πR_a^2 にて除して得られる引拔應力を σ_e , σ_m とし、夫々を横、縦軸にとつて兩者の表はす座標で以て兩者の一致の程度を見ようとしたものが第 3 圖である。同圖中プロットの記號を異にしたのは主として引拔材の直径による差異の有無を確かめんとしたものであり、○×△□の順に径の小なるものに該当する。第 3 圖を

第 2 表

實 驗 符 號	R_a mm	R_b mm	A_r	α deg	k_b kg/mm ²	(σ_t) kg/mm ²	μ	P_m kg	P_e kg	n
Aa-1	3.40	3.815	0.204	5.00	43.2	37.73	0.1155	1 016	1 015	3
Ab-1	2.81	3.40	0.317	4.75	54.3	43.45	0.108	1 294	1 040	3
Ac-1	2.34	2.81	0.306	5.75	67.6	53.77	0.097	925	908	2
Ad-1	1.86	2.34	0.367	5.00	72.3	55.02	0.096	814	765	1
Aa-2	3.40	3.86	0.224	5.00	43.2	37.11	0.116	1 033	1 090	4
Ab-2	2.79	3.40	0.326	4.75	54.3	43.10	0.108	1 321	1 500	2
Ac-2	2.345	2.79	0.292	5.75	67.6	54.52	0.107	917	820	2
Ad-2	1.86	2.345	0.371	5.00	72.3	54.36	0.098	826	765	2
Ba-1	3.58	4.025	0.209	6.75	60.5	51.57	0.099	1 362	1 925	4
Bb-1	2.895	3.58	0.346	6.50	70.2	53.58	0.097	1 615	1 648	3
Bc-1	2.352	2.895	0.342	7.00	77.2	58.63	0.094	1 124	1 085	2
Bd-1	1.985	2.352	0.280	6.75	81.0	64.73	0.090	684	774	2
Ba-2	3.58	4.003	0.199	6.75	53.8	46.35	0.104	1 112	1 425	3
Bb-2	2.903	3.58	0.218	6.50	70.7	53.76	0.097	1 635	1 690	2
Bc-2	2.355	2.903	0.34	7.00	77.2	58.57	0.094	1 098	1 108	2
Bd-2	2.018	2.355	0.264	6.75	87.7	71.27	0.0875	698	716	2
Ba-3	3.59	4.015	0.200	6.75	57.9	49.60	0.101	1 189	1 248	3
Bb-2	2.902	3.59	0.347	6.50	70.2	53.33	0.0975	1 630	1 478	2
Bc-2	2.351	2.902	0.342	7.00	77.8	58.97	0.0935	1 126	1 105	2
Bd-3	2.025	2.351	0.256	6.75	84.8	69.33	0.088	661	746	2
Ca-1	3.50	3.94	0.211	6.25	77.2	65.57	0.090	1 496	1 640	4
Cb-1	2.79	3.50	0.364	9.25	80.6	58.63	0.093	1 644	1 696	3
Cc-1	2.41	2.79	0.251	9.50	79.5	64.19	0.0905	841	1 058	3
Cd-1	2.02	2.41	0.294	11.75	91.8	69.36	0.088	776	717	1
Ca-2	3.50	3.94	0.210	6.25	77.2	65.54	0.090	1 543	1 672	3
Cb-2	2.79	3.50	0.364	9.25	80.6	58.52	0.093	1 648	1 577	2
Cc-2	2.39	2.79	0.265	9.50	79.5	62.92	0.091	864	1 002	3
Cd-2	2.04	2.39	0.270	11.75	91.8	70.90	0.088	728	726	1

見るに σ_e と σ_m との表はす點は概ね原點より 45° の方向にひいた線の上に均等に分布してをり、線の徑その他の大きさには關係なく概ねよく兩者の一致を見ることが判る。

第 3 圖

上述の通り第 2 圖の如く μ を假定することにより σ_m はよく σ_e に一致するが、同圖の關係は飽くまでも假定であることに變りはなく、この點更に何等かの方法により究明されねばならぬ問題を殘してゐる。又同圖の假定は本報の如き實驗條件の場合にのみ適用され得るものなることも亦注意を要するところである。

尙 (1) (2) 計算式に對する全面的檢討のためには、 α の變化の外に R_a/R_b , k_b の變化並に潤滑劑の相異等にも實驗を行ふ必要があるものと思はれる。

5. 結 論

以上を要約すれば次の如くなる。加工硬化時の應力と歪とが直線的に變化する場合の引拔力計算式がどの程度實際と一致するかを確かめるため、主として引拔力とダイス角度との關係に就て實驗した。その結果 μ と直壓力との關係を假定すればよく兩者の一致を見ることが判つた(茲で假定された μ は一般に知られてゐる程度の値である)。但し本計算式に對する實驗による全面的檢討を行ふには尙殘された多くの問題があるものと思はれる。

6. 註 釋

引拔力計算式に含まれる塑性變形應力 k に對す

る具體的數値としては、理論的には引拔材の降伏應力 σ_f を以てするのが正しい考へ方とされてゐる。然るに低炭素鋼引拔材の引張應力-歪曲線では、明確なる降伏點を見ることが出來ないとの理由により引張強さ σ_B を以てこれに代へることとした。この點に關して少しく考察を加へることしよう。

日本標準規格によれば降伏應力とは引張試験經過中荷重の増加なくして伸を始むる以前の最大應力を云ひ、明確なる降伏限界を示さない材料にありては 0.2% の永久歪を起す時の應力をとることになつてゐる。

第 4, 5 圖は夫々ダイス角度 $2\alpha \cong 15, 20^\circ$ で各角度毎に出口直徑 $2R_a$ を順次小にするダイスによつて引拔かれた低炭素鋼材の引張應力-歪曲線である。同圖を見るに何れの曲線に於ても歪の小なる間の應力と歪とは直線的に變化するが、或點を過ぎて後は曲線となり、それより後は歪が増加しても應力は増加せず略一定の値を保つやうである。この時の應力を引張強さ σ_B とした。又同圖に見る如く 0.2% の永久歪を生ずる點 f の應力を降伏應力 σ_f で表はすこととした。第 3 表はかくして得られた σ_B , σ_f を比較したものである。

第 3 表を見るに σ_B と σ_f との差は僅少で σ_f/σ_B の

第 4 圖

第 5 圖

第 3 表

2α deg	$2Ra$ mm	σ_B kg/mm ²	σ_f kg/mm ²	σ_f/σ_B %
約 15	7.85	67.0	64.5	96.2
	7.18	66.8	64.5	96.5
	5.79	77.5	75.5	97.4
	4.71	80.5	79.5	98.8
	3.88	90.5	88.5	97.8
約 20	7.00	74.6	72.0	96.6
	5.50	86.3	85.5	99.1
	4.80	87.0	86.0	98.9
	3.92	98.3	95.0	96.7

平均値は 97.6% である。従て計算式の k に對して σ_B

の代りに σ_f を用ひたとしても引拔力計算結果に及す影響は極めて僅少なものである。尚引拔の塑性變形は k が必ずしも上記の如くして得られた σ_f に等しくなつた時に起るものとは斷定し難く、この點から云つても k に對して σ_B を用ひることはあながち不合理なやり方ではないものと考へる。

實際問題として多くの引拔實驗の引拔前における材料の σ_f を精密に求めることは頗る煩雜なる手數を要することとなり、結局上述したところにより σ_B を用ひても差支へなからうかと考へてゐる。

終りに本研究を行ふに當り種々御便宜を與へられた日立研究所吉岡、和島兩博士並に終始變らぬ御激勵を戴いた覺前博士に厚く御禮を申し上げる次第である。

(昭和 19 年 8 月 11 日受付)

金属材料の疲労と内部摩擦に関する研究 (第 1 報)⁽¹⁾

(軟かい金属の疲機構に就て)

(昭和 19 年 7 月 22 日 第 471 回講演會に於て講演)

正 員 榎 本 信 助⁽²⁾

摘 要

繰返振りを受ける金属材料の、疲の進行に伴ふ減衰能、弾性及び塑性的性質の變化の狀況を實驗的に觀察し、これを X 線的及び顯微鏡的觀察と照し合せて、結晶内外におけるり、割れとの關係、及び疲機構につき考察したものである。特に疲に主要な影響を及す塑性的性質に注目して實驗した。

1. 緒 言

繰返荷重を受ける金属材料は、結晶内に發生したり線、又は結晶間に於て内部摩擦エネルギーの消耗が行はれ、この狀態が著しく發達して疲の狀態を現はし、従て非可逆的性質である塑性に著しい變化が現はれる。疲狀態の測定對象として、減衰能はその著しい例であるが、材料自身に関する限り未だその性質に不明瞭な點が存在する。又弾性限は降伏發生の限界點として、塑性に關聯するものであり、疲限度と密接な關係があり、Hempel 及び Plock⁽³⁾、Körber 及び Hempel⁽⁴⁾ 等の鋼材についての實驗によると、疲限度との間に或比率が見られる。Bauschinger も自然弾性限が兩振

疲限度と一致すると主張してゐる。併し乍ら弾性限は、精密な測定によると、疲限度より遙かに小さい場合が多く、降伏點との間にかなりの開きが見られ、且いづれも繰返負荷により變動する。従て疲機構の觀察には、單に弾性限、降伏點の測定に止らず、り歪の變動狀況を對象とする方が望ましく考へられ、且り歪と内部摩擦との間には密接な關係が期待されるのである。只それらの振動時、及び繰返負荷時における性格が問題として殘される。この點については第 2 報で論ずることとし、こゝには如上の見地から、殘留歪の變化狀況に注目して行つた繰返負荷實驗結果に照して、疲機構の考察を行つた。

2. 實驗方法

繰返負荷はシェンク型繰返振り試験機により、従て減衰能及び殘留歪の測定も同一試験片につき、振りによつて行つた。第 1 圖は本試験片の標準寸法を示す。

(1) Study on Fatigue and Internal Friction of Metals.
(2) Nobusuke ENOMOTO. Member. Imperial Research Institute for Aeronautics. 中央航空研究所。
(3) M. Hempel u. C. H. Plock, Mitt. K. W. Inst., Eisenforsch. Dusseld. 17 卷 19 頁 (1935).
(4) F. Körber u. M. Hempel, 同誌 17 卷 247 頁 (1935), 18 卷 15 頁 (1936).