積を大にせば削り圧力が増して切削が困難となつて行くからこれも或る限度がある。

然し所要削り面積は旋盤の大きさにより大体限定されてゐると考へ得る。一削りと一削りとの間で費される削り作業を行はぬ時間を省くためにはなるべく僅かの削り度数を以て仕上削りに対する仕上代を残す所迄削るを有利とする。即ち切込深さなるものは旋盤種類により大体定つてゐると考へる。又送り大きさは普通の旋盤では3段位より数段しか無くこの中で或る材質を荒引するに最適の送りは1段位しか無く自ら決定される。

以上により送り及び切込深さが定まれば図上計算でこれ等の削り面積に対する削り速度を定める。これに依り固定標準を定める。

削り速度指定方法に二つの方法ある。

(i) 第1表の表し方

この方法は削り標準線上の1点が正確に表し得て最も理想的のものである。標準切込である場合は少いので切込が標準

より少い時は表中の上の回轉を採用し切込が多い時は下の回轉を採用すれば適當な削り状態を得る。

第 3 表

機番 M-963		機名 12' GE 旋盤			
レバー位置		本機送り量			
送り mm		1	2	3	4
		0.77	0.89	1.56	2.3

標準荒削り切込表						
	F.C	P.F.C	硬鋼	中硬鋼	軟鋼	真鍮
削り面積	2'1	2'1	1'5	2'3	2'5	3'0
送り	2	2	1	1	2	2
切込	2'5	2'5	2'0	3'0	3'2	3'5

切込少き時は1段上の回轉を用ひよ
切込多き時は1段下の回轉を用ひよ

硬鋼=K7	K8	K12	K17	K20		
中硬鋼=SF	SR	49	59	54	60	
軟鋼=SF	SR	34	39	41	44	
真鍮=黄銅青銅材全般						
アルミ=アルミニウム						

(ii) 第2表の表し方

(i)の方法は各レバー位置に対して理想的直径を指定したのであるが職工は直径を見てレバーの位置を選定するのであるから $V \pm \Delta V$ の変動はあるが第2表の如き方法も亦或る意味に於て合理的である。又この方法に依れば状態の良い機械では $V + \Delta V$ を多く採用し悪い機械では $V - \Delta V$ を多く採用して旋盤の良悪に依る差異を補ひ得る。

以上に依り普通旋盤では必ずしも図式計算を行はずとも

最も普通に起り得る削り状態を固定標準にし、それよりレバーを上下両側に变化させば充分に標準削り状態或はその附近で切削を行はしめ得る。見習工は何等苦しみ事無く旋盤作業第1日よりして少くとも荒削りだけでも完全に熟練工と同じ条件で行ひ得。又指導上の明白な指針を得て非常に便宜を得る。

振り変形における弾性余効に関する研究⁽¹⁾

(昭和 10 年 10 月 17 日 名古屋臨時大會講演會に於て講演)

正員 上田 太郎⁽²⁾

摘 要

低炭素鋼、アームコ鉄、及び銅につき振り変形における弾性余効を測定した。これ等の金属に於ては初め與へた振り変形の大きさに比例して弾性余効は増加し、0.6~0.9% C 鋼に於ては振り変形の初期に於て弾性余効の増加度著しく、変形大となればその度減少して兩者の關係は凹曲線をなしてゐる。然るに超共析鋼に於てはこれと反対の傾向を取り凸曲線を描いてゐる。而して何れの振り変形に於ても 0.9% C なる共析鋼の弾性余効が最大にして炭素量これより増減するにつれ余効は著しく減少する。0.9% C 鋼を除く他の炭素鋼は振りモーメントを零に戻したる後約 30 時間経過すれば平衡の状態に達し、0.9% C 鋼はこれに約 50 時間を要する。

1. 緒 言

一般に金属が外力を受けるときは荷重と同時に変形しその後その柔粘性のため変形は徐々に進行し相當の時間経過した後その変形硬化のために変形抵抗が増加し、これが外力に等しくなつて安定の状態に達するものである。又金属が大なる変形を受けたる後外力を取り去るも変形回復が直ちに完了するものでなく、外力除去の後回復は徐々に進行して長時間経過せる後安定の状態に達するものである。この現象を弾

性余効と呼んでゐる。

弾性余効に就ては Vicat⁽³⁾の研究がある。續いて Weber⁽⁴⁾は蜘蛛の糸に張力を加へたときの弾性余効を測定し、Kohlrusch⁽⁵⁾は銀の針金に降伏点以下の振り変形を與へ、その荷重時間を種々に變じた場合の弾性余効を測定し、次の如き実験式を得てゐる。今弾性余効を x 、荷重除去後の経過時間を t とすれば

$$x = x_0 e^{-at^m}$$

茲に a, m は材料についての恒数、 x_0 は荷重を取去つた瞬

(1) On the Elastic After Effect in Torsion. (2) Tarô Ueda, Member. The Ôsaka Imperial University, The Research Institute for Metal Industry. 大阪帝国大学金属工業研究室

(3) Vicat, Ann. Ponts. Chauss. 1834. (4) W. Weber, Pogg. Ann. 34 (1835), 247; 54 (1841), 1. (5) F. Kohlrusch, Pogg. Ann. 119 (1863), 337.

時の長さである。又庄司氏⁽⁶⁾は鉛、亜鉛、錫及びアルミニウムの針金に降伏点を僅かに超えた捩り変形を與へたときの弾性余効を測定し、永久変形の位置より測つた捩れ角 x と経過時間 t との間に次の関係あることを見出した。即ち

$$x = \frac{c}{t^a}$$

或は $x = a - b \log t$

又 Neesen⁽⁷⁾ は実験結果に基づいて弾性余効を e -函数の和を以て表し次の如き実験式を與へてゐる。即ち

$$V - V_0 = \sum c e^{-kt},$$

茲に V は荷重を零にしたときの変形量、 V_0 は一定状態に達した後の永久変形量、 c 及び k は恒数である。

以上の測定結果は変形の極めて小なる場合に限り、著しい粘性変形の場合にはこれ等の実験式を應用することは出来ない。大なる粘性変形の場合における弾性余効に就ては Körber 及び Rohland⁽⁸⁾ が種々の炭素鋼に引張外力を加へて 10% の延伸率を與へたものにつき測定し、炭素量と弾性余効による長さの収縮量との関係を研究し、又加工度と収縮量との関係を測定し、引張加工に於ては 0.55% C のものが最大の弾性余効を生ずるのを見た。

上述せる如く加工変形を受けた金属には弾性余効なる現象があるがこれ等の文献を見るに捩りによる粘性変形を受けた棒の弾性余効を測定せるものなく、又捩りモーメントを零に戻して後幾何の時間経過すれば棒が安定状態に回復するや不明である。著者は大なる捩り変形を與へた金属棒における剪断内力の分布、潜在エネルギー、並に加熱によるそれらの減衰状況を研究するに當り、この弾性余効が必要となり先づこれを測定した。

2. 材料並に試験片

測定に供した材料は第 1 表に示されてゐる。第 1 図に示すは試験片で平行部の直径 8mm、長さ 200 mm、両端の太い部分の直径 17 mm である。尚この両端には直径 3.1 mm、深さ 10 mm のねじ孔が作られてゐる。試験片を機械仕上げした後、工作中における内力を除去して標準組織とするため高度の真空となれる直立せる電気抵抗炉中で焼鈍した。この焼鈍に用ひた電気抵抗炉の長さは 60 cm でこれを製作するに當り温度の均一に就て充分留意した故中央部約 30 cm 間の温度差は僅かに 2° を超えない程度であつた。各材料の標

準組織化はアームコ鉄では 930°, 各炭素鋼では 900° で各 1 時間加熱した後炉中冷却した。かくして標準組織となれる試験片を 5,000 kg-cm 能力を有する捩り試験機にかけ、0.9 及び 1.1% C 鋼以外の金属には 0.05, 0.2 及び 0.4 π/cm の

捩り変形を與へ、又 0.9~1.1 % C 鋼は 0.2 π/cm 以上となれば破断する故何れも 0.2 π/cm までの捩り変形に止めて置いた。尚捩り変形を與へるに際し一般に金属は降伏点を超えて捩るときはその柔粘性のため時間の経過するにつれて変形が次第に進む故所要の角度だけ捩つた後も尚荷重をそのまま 2 時間放置して捩れの進行するを許し安定の状態に達せしめるようにした。

第 1 表

鋼 種	C %	Mn %	Si %	P %	S %
アームコ鉄	0.011	0.017	0.02	0.008	0.025
0.2% C 鋼	0.18	0.36	0.02	0.02	0.02
0.4 „	0.39	0.35	0.25	0.03	0.02
0.6 „	0.61	0.27	0.22	0.02	0.02
0.7 „	0.71	0.18	0.23	0.03	0.02
0.9 „	0.89	0.21	0.26	0.03	0.01
1.1 „	1.09	0.17	0.25	0.03	0.02
1.3 „	1.28	0.18	0.28	0.03	0.02

第 1 圖

第 2 圖

3. 実験装置並に測定法

試験片を捩り試験機に取りつける前その一端に 3.1 mm のねじを切りたる太さ 4 mm のピンを試験片の両端の頭部に固くねじ込み、一方のピンには平面鏡がその面を試験片の中心軸に平行にして固着してある。かかる試験片をこのまゝ捩り試験機のチャックに取付けて所要の角度で捩り、2 時間そのまま保ちたる後荷重を零に戻して手早く試験片をチャックより取りはずし、第 2 図に示す如く上部のピンをドリルチャック D に噛ませて垂直に吊るした。然る後鏡の前 d の距離に水平尺度を置き望遠鏡で試験片の捩れの角の変化を読んで弾性余効を測定した。第 2 図の FF は鋼製の強固な枠で下はコンクリートの床上に固定されてゐる。この場合荷重を取り去り試験片を第 2 図の装置に取付けて尺度の読みを取るまでに要する時間は約 30 秒以下であつた。

今測定を開始して後任意の時間 dt の間の尺度の振れを l 、これに相當する棒の捩れの角を θ' とすれば

$$\tan 2\theta' = \frac{l}{d}$$

$d = 205.7$ cm で尺度の振れは小さい故

$$\begin{aligned}\theta' &= \frac{l}{2d} \\ &= \frac{l}{411.4} \text{ rad} \\ &= l \times 0.139,2 \text{ deg}\end{aligned}$$

今試験片の長さを 20 cm、単位の長さに対する回復角を θ とすれば、

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{\theta'}{20} \\ &= l \times 0.000,121 \text{ rad/cm} \\ &= l \times 0.006,96 \text{ deg/cm}\end{aligned}$$

(6) H. Syoji, Sci. Rep. Tôhoku Imp. Univ. 13 (1925), 300.
(7) F. Neesen, Pogg. Ann. 153 (1874), 498. (8) F. Körber u. W. Rohland, Mitt. K. W. I. Eisenforschung. 5. (1924), 44.

而して尺度の読みは 1/10 mm まで取れる故振れの回復角は 10^{-5} deg/cm まで測定することが出来る。

4. 測定結果

上記の方法に依つて測定した結果は第 3~6 図に示す通りで横軸には荷重を零に戻してから経過時間、縦軸には回復角が取つてある。前にも述べた如く荷重を零にして尺度の読みを取るまでに約 30 秒の時間を要する故この結果はこの時間経過せる後の値である。これ等の曲線を見るに試験片の回復角の増加の割合は何れも荷重を取去つた直後に於て最も大きく時間の経過と共に減少してゐる。而して振り変形

諸種の炭素鋼における炭素含有量と経過時間と振れの回復度との関係を求めると第 7 及び 8 図に示す様な山型曲面が得

られる。1.3%C 鋼の焼鈍温度が 900° なる故粒状セメントライトが発達し標準組織と見られない故 1.1%C と 1.3%C との間は何れも点線にて結んだ。第 7 図なる θ の小なる場合を見るに炭素鋼の振り変形における弾性余効は炭素含有量の増加につれて大となり、 t が 20 時間以上なるときは 0.9%C 鋼即ち共析鋼に於て最大に達し、これを超ゆれば却つて減少する。 t が 20 時間より小なるに従ひ極大に相當する炭素量は次第に増加し、回復の初期に於て

第 3 図

第 4 図

第 5 図

第 6 図

の大なる程、回復角の全量も亦大きく、且安定な状態に達するまでに長時間を要する。アームコ鉄、0.2%C 鋼、銅等の如く柔軟性に富める物質では回復角は小さく、且約 10 時間

経過すれば見掛上安定の状態に達してゐる。その他の炭素鋼に於ても 0.9%C 鋼を除いては何れの加工度に於ても 24 時間後には大体安定状態に達する。その中でも 1.1% C 鋼の回復は最も急激で、その回復角の大なるに係らず割合早く安定状態に達してゐる。

然るに 0.9% C 鋼では第 5 図に示す如く振り変形 $\theta = 0.03 \pi/cm$ のものでは 25 時間後に大体安定状態に達してゐるが θ の値がこれよりも大きくなるときは安定状態に達するまでに 40~70 時間を要する。

昭和 11 年 8 月]

第 7 図

第 8 図

る歪を受けるときは回復は最も困難で徐々に進行し平衡状態に達するまでに多大の時間を要する。これに反し波来土が地鉄或は粒状セメントライトと共存するときは歪の回復は比較的容易で短時間内に平衡状態に復帰し、殊に地鉄の量が著しく大きい場合には回復時間及び弾性余効の量は最も小である。

第 9 図は安定状態に達した後の回復角と振り加工度との関係を示すものである。即ち振り加工度が増加すると共に回復角は増加し、銅、アームコ鉄、0.2~0.6% C 鋼に於ては加工

は回復角は 1.1% C 鋼で最大となる。第 8 図なる θ の大なる場合に於ては t が 5 時間以上なるときは弾性余効の極大は常に炭素量 0.9% の處にある。この現象より見るに波来土鋼は最も大なる弾性率を有し、一度強大な

度に比例してゐる。Körber 及び Rohland⁽⁹⁾ は 0.07% C, 0.5% C 及び 1.05% C 鋼に就て引張加工度と弾性余効による長さの変化とを測定してゐるが著者と同一の結果を得てゐる。炭素鋼における含有炭素量と弾性余効による振れの回復

振れの回復角 θ と経過時間 t との関係曲線は第 3~6 図の如き形を有する故次の実験式で現はすことが出来る。即ち

$$\theta = \frac{a}{b^n} - \frac{a}{(t+b)^n},$$

第 9 図

第 10 図

第 11 図

角との関係を示せば第 10 図となる。これによれば加工度の小さいときは炭素量 0.6% 位までは回復角は次第に増加し、これより更に炭素量が増せば急激に増大して 0.89% C に於てその最大値を取りそれ以上では減少するやうである。振り加工度が增大しても変化の様子は同様である。Körber 及び Rohland の測定せる引張加工による弾性余効は含有炭素量 0.55%, 即ち波未土含有量 65% の處で最大となり、これより炭素量の増減につれて余効は急激に減少して振り加工における結果と少しく異つてゐる。

以上炭素鋼における振り加工度と弾性余効と含有炭素量との関係を表せば第 11 図の如き山型曲面が得られる。0.89% C の處は峰となり、それより炭素量の増減により急に降下し、且 0.6% C 以下に於ては緩やかな傾斜をなしてゐる。

この曲面を振り加工度と炭素量と残留剪断内力との関係曲面⁽¹⁰⁾と比較するに何れもよく似た形を有してゐる。

茲に a , b 及び n は材料の性質及び振り加工度による恒数である。

5. 總 括

(1) 炭素鋼、アームコ鉄及び銅の振り変形における弾性余効は受けた変形度と共に増大した。

(2) 0.9% C 鋼を除く他の金属に於ては荷重を除きたる後約 30 時間も経過すれば安定状態に達した。0.9% C 鋼は約 70 時間を要した。

(3) 種々の炭素鋼の同一振り変形に対する弾性余効は炭素量の増加と共に増大し共析鋼に於て最大となり、超共析鋼となれば却つて減少した。

(4) 大なる振り変形を受けた材料の弾性余効による振れの回復角 θ と経過時間 t との間の実験式を求めた。

終りに本研究に対し御懇篤なる御指導を賜つた東北帝大総長本多光太郎先生に厚く感謝の意を表する。

(9) Körber 及び Rohland, 前掲 2 (1936), 413 頁

(10) 著者、機械学会論文集