軟鋼の内部摩擦と疲勞とに就て*

木 谷 要 一** 井 町 辰 郎**

Yôichi Kidani and Taturô Imati : On the Internal Friction and the Fatigue of Mild-steel. The eccentric statical moment M_0 is released generally by the degree with torsional repetition of torque $\pm\tau$ about the moment. The mode of releasing up to the yield point Y is classified into two sorts, i. e., the quasi-elastic and plastic releasing. The quasi-elastic releasing comes out from the flaws or the dislocations in the crystal grains. The internal friction of Kimball's type occurs in the vibrating specimen of metals by the same cause with the quasi-elastic releasing. The internal friction of large amplitude in the plastic manner has the quadratic form of the amplitude. Thus, the vibration of specimen of mild-steel damps with 3-modes, i. e., the plastic, the quasi-elastic and pure-elastic dampings. The same specimens are used in the testing of fatigue with new bench fatigue-tester. The experiment verified the theoretical relation between the fatigue and the logarithmic decrement caused by the internal friction. The author proposed an adequacy for fatigue testing with constant torsion rather than that with the constant torque. The qualitative relation $N_F\lambda = \text{constant}$ is corresponding to it, referring to the tempered specimens at various temperatures, in which N_F is the number of repetitions to fracture with constant torsion and λ is the logarithmic decrement of torsional vibration of the same specimens.

(Received July 4, 1941)

I. 弾性、擬弾性及び塑性

著者の一人は嘗て次の如き實驗を行つたことがある⁽¹⁾。即ち一方向へ靜的振を豫め與へて置いた試験片をその歪へた状態のまゝで、それに或る大さの $\pm\theta$ なる振角の繰返モーメントを與へて最初與へた靜的振が影響を受けるかどうかを驗べたものである。最初與へた靜的振によるモーメント M_0 は試験片の固定側に装置した應力桿によつて光學的に測定出来る。そのまゝの位置で與へた繰返振角 $\pm\theta$ に相當するモーメント $\pm\tau$ に依つて應力桿の讀みが元の零點の方向へ復帰して行つたとすれば靜的振は影響を蒙つたものと謂へる。用ひた試験片の材料は焼鈍した 0.3% の炭素鋼である。 M_0 なる偏心の靜的モーメントのまゝで $\pm\tau$ なる數百回の繰返しを爲すうちに M_0 は漸次減少して新に M なる偏心の位置で平衡状態に落着く、この M を讀み取つた後、更に τ を増加し尙も M が減少した位置を讀み取る。

斯くして凡そこの材料の降伏點 Y まで τ を増大するときは偏心量 M は零となるものである。而して、この途中に於ては偏心量に著しい變化がある。

Fig. 1 に於て IV なる試験片に於ては最初與へられた靜的振モーメント M_0 は Y に對して 77% の割合の大さであつた——以下示す M と τ との % は總て Y に對

する割合、即ち M/Y 及び τ/Y を謂ふ。今これに $\tau=10\%$ の繰返振を與へれば $M=76\%$ となり、 $\tau=30\%$ を與へれば $M=75\%$ 、斯くて $\tau=40\%$ に於て急激なる低下が

Fig. 1 Effect of Repeated Moment $\pm\tau$ on the Eccentric Moment M ; Y is the Yield Point.

起り始める。このときの τ の値を R とすれば、この R までは比較的安全であるが多少の偏心量の變化する範圍である。 R を越えて $\tau > R$ となれば偏心量は著しく低下するに至る。この低下は明かに塑性的に試片内部に變化を來たしたが爲である。 III の試片は最初 $M_0=52.5\%$ を與へ

たもの、又 II の試片は最初 35.5% を與へたものであつて共に同様の傾向を有してゐる。 I の試片は最初 $M_0=12.5\%$ を與へたものであるが、このときは $\tau \div Y$ に至るまでは何等の偏心量の變化は認められない。元來純粹なる弾性體なれば斯くあるべき筈であつて、弾性的に最初振られて居るものを多少振動した位でその振角に影響を來たすなどと言ふことは弾性學にては肯首出来ないことである。然も IV の如く $\tau < R$ の弾性範圍に於ても尙多少の偏心量變化を來たすのは弾性體の結晶内に多く存在する dislocation その他の缺陷がその因を爲すものであつて繰返し與へられたモーメントの途中で屢々その缺陷の所に豫想外の歪が集中して部分的永久變形を起

** 旅順工科大学物理學教室

* この研究は昭和 15 年 4 月本學會第 7 回東京大會 (日本工學會第 15 部會) と、昭和 16 年 4 月本學會東京大會での講演を纏めたものである。

(1) 著者、日本機械學會論文集、5 (1939), No. 18, 104.

Y. Kidani, Mem. Ryojun Coll. Engg., 11 (1938) No. 8, 253.

す機会に遭遇するからである。斯くの如き現象は物質の鋭感性 (Sensitive property) としての著しい例の一つであつて繰返應力試験のときには是非考慮に入れなければならぬ事柄である。故に純粋な弾性的性質と塑性との間に斯くの如き道程を一つ考へて、これを擬弾性 (Quasi-elastic property) とした。勿論斯くの如き鋭感性は物質の本性を論ずる凡ゆる場合に思考するべきものであるが特に今の場合に於ては、これ無しには論じ難い程重要なものである。V と VI との試片に與へた最初のモーメント M_0 は降伏モーメント Y に等しいか若くはこれ以上の大きさのものであるから最初から塑性の範囲⁽²⁾に入り込んでゐる。これに繰返モーメントを與へるときはその偏心量低下の有様は點線で表はされた如く急激であつて然も連続的である。V の場合は $M_0 = Y$ に相當するから、これが擬弾性と塑性との境界であつて前記 IV, III, II の後半の屈線がどれも V に一致してゐることは興味あることである。

以上の實驗の要點は偏心量變化に二種の階梯が有ることであつて、その一つは擬弾性と假稱されたものと、他は塑性に依るものである。塑性的變形に屬する大振幅の繰返しに於ては勿論後者の影響が現はれるが、弾性範囲ではあるが中間振幅の繰返しの場合には擬弾性なる悪化作用が伴ひこれによつて材質中の結晶粒内に永久變形が起り得る。而して繰返應力による材料の疲勞現象には、その繰返振幅の大きさに應じてその兩者何れかが主なる影響を及ぼすことは明かである。

II. 疲勞の内部摩擦的理論

振動體の對數減衰率は材料組織内の僅かの變化に對しても極めて敏感に變化する。これ即ち鋭感性の好例であつて巨視的に見て一樣なる材料であつても内部の極微的な原因の爲めにその振動の減衰能は一々異なるのが當然である。併し自らそこに熱處理その他の影響が統計的に見て織込まれてある筈である。前述の如く繰返應力による疲勞現象に對しても同様であるから以上の兩者の間には何等かの關係が在るべきである。

著者は Al の單結晶板の彎曲減衰振動より得たる知識に依つて振動減衰率は一般に Kimball 型を補足した

$$\lambda = E(\xi + \zeta \varepsilon^2) \dots \dots \dots (1)$$

なる形で表されることを提唱⁽³⁾ し來たつたが、ここに於て E はヤング率で、 ε は歪の大きさである。これを素にし

て振振動の場合を考察して見る

Fig. 2 に於て長さ l , 直徑 d なる圓棒を考へ、その振角

Fig. 2

を θ , 従つて單位長に對する振角 $\bar{\theta} = \theta/l$, 又外周面に於ける剪斷角を ϕ とすれば、單位體積中の歪のエネルギーは

$$U = \frac{1}{4} G \phi^2 \dots \dots \dots (2)$$

であつて、ここで G は剛性率である。故にエネルギーの時間的變化の割合は

$$\frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} G \phi \frac{d\phi}{dt} \dots \dots \dots (3)$$

一方この振り振動體の毎秒の振動數を f 回とすれば、内部摩擦の方より考へたる毎秒のエネルギー消耗の大きさは求むる單位體積中に $-G^2(\xi \phi^2 + \zeta \phi^4)f$ なりとして (3) 式と對照して

$$\frac{1}{2} \frac{d\phi}{dt} = -G(\xi + \zeta \phi^2)f \dots \dots \dots (4)$$

となる。ここに於て ξ は Kimball-Lovell の内部摩擦係數、 ζ は振幅の大いときに利く項であつて剪斷角 ϕ の影響が加はつたものである。この ζ を假に第二摩擦係數と言つておく。(4) より對數減衰率を求めれば

$$\lambda_G = 2G(\xi + \zeta \phi^2) \dots \dots \dots (5)$$

となる。これは (1) 式と對照して振振動のときに關する對數減衰率の式である。前述中に於て

$$G^2(\xi \phi^2 + \zeta \phi^4) \equiv W \dots \dots \dots (6)$$

は $\pm \phi$ なる 1 回の振繰返しに於けるエネルギーの内部摩擦的消耗を與へる。振りのときの疲勞の内部摩擦的理論を求めるにはこの式を利用し、Boltzmann 確率の式を考慮して ϕ なる振角にて破壊さるべき粒子數を計算し、殘餘の粒子數に就て耐久力を求め出せばよい。その方法⁽⁴⁾ は著者の前論文を參考としてこれより二種の結果を得る。即ち (6) 式第 1 項に該當する擬弾性疲勞の場合と、第 2 項に該當する塑性的疲勞の場合とである。

(a) 擬弾性的疲勞の場合には内部摩擦の式は (5) 式の右邊第 1 項のみに相當し、對數減衰率は

$$\lambda_G = 2G\xi, \dots \dots \dots (7)$$

これは Kimball-Lovell の場合と同様にして、これに相當して、1 回の振繰返により單位體積中に存在する 1 個の結晶粒中に消耗されるエネルギーは (6) より

(2) 以下本論文に於ける塑性の意味は單結晶的の塑性を謂ひ、試験片の外形の永久變形を指すにあらずして主に個々の結晶粒内にひり面を生ずる程度に大振動したる状態を示す。
(3) 著者、東京帝國大學工學部紀要、第 19 冊、110。

(4) 著者、日本機械學會論文集、前出。
Y. Kidani, Sc. Pap. I. P. C. R., No. 825, 34 (1938), 1042.

$$W = \frac{G^2 \xi (\phi - \phi_0)^2}{n}, \dots \dots \dots (8)$$

ここに於て n は単位體積中の結晶粒子の數⁽⁵⁾である。これより求めた擬弾性的疲労の理論式は

$$\frac{G^2 \xi (\phi - \phi_0)^2}{kT} = \frac{\alpha}{N_F} \dots \dots \dots (9)$$

である。ここで ϕ は前の如く剪断角, ϕ_0 は疲労限界に相當する剪断角, k は Boltzmann の常數, T は絶對溫度, α はその物質及びその熱處理に關係した耐久力を表す特有常數, N_F はこの ϕ なる剪断角にて繰返振を與へたときの破断迄に至る繰返數を與へる。

(b) 塑性的疲労の場合には内部摩擦による對數減衰率は (5) 式の第 2 項に相當し

$$\lambda_G = 2G\xi\phi^2 \dots \dots \dots (10)$$

である。故に結晶粒子の數⁽⁴⁾を n' とすれば前の W に相當して (6) 式より

$$W' = \frac{G^2 \xi (\phi - \phi_0)^4}{n'} \dots \dots \dots (11)$$

を得る。これを用ひて求めた塑性的疲労の理論式は

$$\frac{G^2 \xi (\phi - \phi_0)^4}{kT} = \frac{\alpha}{N_F} \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{或は } \phi = \phi_0 + \left(\frac{\alpha k T}{G^2 \xi} \right)^{1/4} \left(\frac{1}{N_F} \right)^{1/4} \dots \dots \dots (13)$$

となる。故に繰返振モーメントの式は

$$\tau = \tau_0 + G^{1/2} \left(\frac{\alpha k T}{\xi} \right)^{1/4} \left(\frac{1}{N_F} \right)^{1/4} \dots \dots \dots (14)$$

となり, Dalby-Stromeyer の實驗式と同形のものを得たわけである。ここで τ は剪断應力であり τ_0 は $N_F \rightarrow \infty$ の場合即ち疲労限界に相當する剪断應力である。勿論 (14) は塑性的繰返に相當する疲労の式であつて, (9) に就て計算すれば他に (14) に相似なる擬弾性的場合の式を得る筈である。上式中 (13) は振角に關する疲労の式であり (14) は繰返モーメントに關する式であるから, 一定の振角で實驗した場合には (12) 又は (13) 式を, 一定モーメントで實驗した場合には (14) 式を使用すればよい。

今例へば同種の數個の試験片に就て各々種々なる大きさの振角 ϕ にて塑性範圍の疲労試験を爲したとすれば全く同じ物質に就ては耐久力 α 及び第二内部摩擦係數 ξ は一定であるから, (12) 式より ϕ が大きいとき程 N_F は小, 即ち早く破断する。又試験片の溫度 T が低い程早く破断する。これに反して同じ材料でもその熱處理を異にした場合には假令等しい ϕ で實驗しても内部摩擦係數 ξ の大きいもの程早く破断する筈である。以下に記述する研究はこの内部摩擦と疲労との關係を示すものである。

III. 内部摩擦の實驗

内部摩擦の測定裝置は前論文⁽⁶⁾にて説明したものと同様である。只この場合は減衰波形を撮影するカメラの位置を變換出来る如くなし, 彈性範圍の小振幅を實驗する爲めには距離を

Fig. 3 The Specimen for Damping Vibration and Fatigue.

1865mm となし, 擬彈性又は塑性範圍の大振幅を實驗する爲めには距離を 775mm とした。前者に於ては感光紙上の 1cm の全振幅は $\theta = \pm 4.6'$ に當り, 後者に於ては $\pm 11'$ に當る。試験片は Fig. 3 の如きものであるから θ を radian で表はしたものを $l=1.2$ cm で割れば試験片の長さ 1cm の振角 $\bar{\theta}$ を得, 尚

$$\phi = \bar{\theta} \frac{d}{2} \dots \dots \dots (15)$$

に於て $d=0.3$ cm と入れば ϕ を得る。又 ϕ_0 の値は疲労限界 τ_0 を他の實驗より求めて

$$\phi_0 = \frac{\tau_0}{G} \dots \dots \dots (16)$$

により算出する。故に (12) に (10) を代入して得たる式

$$\frac{G\lambda(\phi - \phi_0)^2 N_F}{kT} = \alpha \dots \dots \dots (17)$$

の左邊中の對數減衰率 λ を感光紙上より求めておけば (17) により疲労との關係が明瞭となる。

本研究に於て用ひた材料は 0.13% 炭素鋼であつて, これを 850° で 6 時間熱して水中に焼入したるものを 100~700° の範圍の各溫度で焼戻したものである。

Fig. 4 は彈性及び擬彈性の範圍に於ける内部摩擦に依る對數減衰率を測定したものである。カメラ距離は前述の如く 1865mm であるから彈性振の範圍に於ける充分小さい振幅で減衰振動する状態を撮影することが出来た。彈性範圍に於ては對數減衰率は振角と共に増加する傾向にあるが後次第に増加の割合が少くなる。Fig. 4(a) は焼入れした試験片よりこれを 100~500° の範圍で焼戻したものの對數減衰率を示す。何れも前記の通りの傾向にある。然るに 550° 以上に焼戻した Fig. 4(b) に於ては振幅によつて λ は一般に急増してゐる。殊に 600° 並に焼鈍のものは急増甚だしい以外に或る振幅以上となれば減少の傾向を示すことは意外の事實である。

元來, 彈性範圍の振動に於て内部摩擦の機構を探索すれば原子又は電子の偏位等にまで考へを及ぼさなければ

(5) このときの結晶粒子の意味は繰返荷重の間, 勵動されてゐる結晶粒子の最小單位を示す。

(6) 木谷, 山本, 本誌, 4(1940), 153.

ならぬと思ふが、振動のとき不均一な歪の分布によつて熱弾性的のエトロピー増加を伴ひ多少の内部摩擦の因を爲すがこの影響は僅少で、結局は結晶生成の際、不安定

Fig. 4 (a) Elastic and Quasi-elastic Damping.

Fig. 4 (b) Elastic and Quasi-elastic Damping.

のまゝに残された原子群(又はイオン群)即ち flaw⁽⁷⁾又は dislocation⁽⁸⁾と稱せられるものにその因を歸すのが順當であると思ふ。dislocating line を挟む原子又はイオンは line の兩側の何れにも確なる隸屬を爲さずに残されてあるから弾性振動の振幅に應じてこれ等原子又はイオンの或る部分は離脱又は定着する如き變化を起し、この間、エネルギーの非可逆的消耗を誘起する原因となる。斯かる現象は 1 個の dislocation に就て考へても又固體

内に各處に散在してゐる intensity の異なる dislocations を考へても、その起るや必ず或る種の確率によつて代表されるものであるから、特に原子偏位の最も旺盛に起る即ち確率の最大なる如き振幅は考へ得られる。この偏位の旺盛に起る振幅を超過すれば各處の dislocation は一途に緊張された状態を繰返すこととなり原子偏位の度数も減少し従つて、若し個々の dislocation が危険状態にあるものから順次に failure する如き新たな現象が追加されないとすれば、寧ろエネルギー消耗は減少するから減衰率も小さくなるべき筈である。前述の 600° 焼戻鋼及び焼鈍鋼に於て見る如き、振幅によつて寧ろ λ が減少して居る傾向に在るのはこの消息を物語るものではないかと思はれる。即ち共に結晶粒が充分に發達してゐる比較的均一なる組織であるから dislocation の特性がよく現はれたのであらうと想像してゐる。これに反し低温で焼戻した内部歪の残つてゐる組織は各所に微細な齟齬を來してゐるから試験片の振幅が増大すれば容易に内部的歪の集中點より failure を生じ後説する塑性的内部摩擦との區別が判然しなくなる。然らば一般に弾性と擬弾性との劃然たる區別があるかどうか。これに對しては以下の如く提案したい。即ち弾性振動中 dislocation 内のエネルギー消耗が原子偏位等によつて行はれてゐる間は dislocating line は未だ不緊張な状態にあるから、これ位の振幅では束ねた護謄糸の振動の様なもので failure 等は絶対に起らない。この範圍は弾性である。然るにこの護謄糸束を緊張する如き大振幅で繰返振動をなせば長時間の間には糸は 1 本 2 本と failure して行く機會に遭遇する。斯くの如き危険を伴ふ振動範圍はこれを擬弾性なりと見做す。併しこの兩者の移り變りは劃然たるものは無いが λ -曲線の飽和値に近づいた所を境と見做したならばどうかと思はれる。

Fig. 5 は擬弾性より塑性に入る道程に於ける内部摩擦の關係を測定したものである。この場合のカメラの距離は 775mm であつて小なる振幅より可成り大振幅の減衰振動まで撮影することが出来た。これに依れば擬弾性範圍の λ は略々一定なる如き傾向を示し Kimball-型の $\lambda G = 2G\xi$ で表はされる内部摩擦係數を求めることが出来る。然るにこの道程を過ぎたる後 λG の急増する振幅がある。二、三の試験片に就いて靜的振試験を行ふと、この振幅に相當する振角は略々降伏點に等しいから、この點より塑性變形に入りたるものと見做すことが出来る。Fig. 5 (a) は焼入鋼と 100~300° の焼戻鋼であつて Kimball 型の擬弾性範圍(水平部分)とその後の塑性範圍(急増部分)とが比較的判然と見えてゐる。Fig. 5 (b) 中 400~550° 熱處理によつては吐粒状より粗粒状に變化する道程であるから、この温度で焼戻を受ければ内部歪

(7) A. Smekal, Pap. International Conf. Physics, London, 2 (1924), 93.

(8) J. M. Burgers, Proc. Phys. Soc., 52 (1940), 21.

Fig. 5 (a) Quasi-elastic and Plastic Damping.

Fig. 5 (b) Quasi-elastic and Plastic Damping.

Fig. 5 (c) Quasi-elastic and Plastic Damping.

を残す。故に failure が早期に到来してこの爲めに擬弾性と思はしき範囲は極めて不明瞭となる。さて Fig. 5 (c) 中 600° ~ 700° の熱処理によつてはフェライト地は充分に成熟して来るので dislocation の性質は著明に現はれることとなり弾性の終りの点では原子偏位の爲めに起るエネルギー消耗は最大となり従つて λ -曲線には最高點が現はれる。焼鈍された試験片に於てはこの傾向は特に著しい。塑性範囲に入つて後の λ は二次曲線的に振幅と共に増大する。従つて前述の (10) 式 $\lambda_g = 2G\zeta\phi^2$ の如く第二内部摩擦係数 ζ を含んだ関係は有意義となる。

Fig. 6 は以上の各 λ -曲線を集合したものである。これ

Fig. 6 ϕ & λ Relation of Tempered Specimens. Fig. 7 λ with Temperature of Tempering. Fig. 8 λ with Temperature of Tempering.

高い所では共にその傾向が似てゐる。殊に 500° ~ 600° の所に λ の最高點が存在することは著しい。この温度範囲ではセメンタイトの小粒が大粒に集合しつつある組織であるから、内部的混亂状態に置かれてあり内部摩擦が多いと同時に疲勞に對して弱い焼戻組織である。

IV. 疲 勞 試 験

以上の試験片をそのまま Fig. 9 (小型疲労試験機⁽⁹⁾) の S の所へ咥へて振り疲労試験を行ふことが出来る。圖中 T はモーメント桿を収めた箱であり、これの振動振角は凹面鏡によつてカメラ K の目盛硝子板の上に現はれる。尚試験片の有効振角は特殊の光學振計によつて、これも目盛硝子板上に現はれる。振動の回数は電氣カウンター C 上で読み取る。ことが出来る。而して試験片が繰返振の内に終に破断すれば總ての電源は切斷してカウンター C はそれまでの繰返數 N_F を指示したままで停止する。電源としては 30 V の蓄電池を用ひてある。

Fig. 9 Torsional Fatigue Tester.

本機は一定モーメント又は一定振角何れの状態に於ても試験する事が出来るが著者の考へでは、「一定モーメントによる試験は強度の弱い試験片に對しては餘りに苛酷であり又強い試験片に對しては寛大過ぎる試験法であつて疲労試験よりも寧ろ強度試験になる恐れがある」様に思ふ。故にここでは常に一定振角にて實驗する事にした。

目盛硝子板上に振れる M より反射した光像の長さを 70 mm 一定とするときは光挺子の腕は 500 mm であるから有効長 1.2 cm 直径 0.3 cm の試験片に就ては

$$\theta = 70 \text{ mm} / 4 \times 50 \text{ mm} \times 1.2 \text{ cm} = \pm 0.030 \text{ rad.}$$

故に $\phi = 0.03 \times 0.15 = 0.0045 \text{ rad.}$

である。故に實際の振角は $0.03 \times 1.2 \times (180/\pi) = \pm 2^\circ$ である。即ちこの疲労試験は塑性範圍に於て行はれたものである。その結果を圖示すれば Fig. 10 の如し。

これを塑性的内部摩擦を代表する Fig. 8 に比較するに明かに相逆關係にあることが判る。即ち Fig. 8 にて減衰率の大なる如き所は Fig. 9 にて N_F は小である。550° 焼戻の試験片にてはこの傾向が著しい。その他の温度でも

(9) 著者、日本機械學會論文集、6 (1940) No. 22, I, 36.

この傾向は正に成立する。これは既に前述の (17) 式にて示されたものであつて、同じ材質なれば剛性率 G は各々相等しく耐久力 α も略々同様なりとすれば試験温度 T が一定で又有効剪断角 $(\phi - \phi_0)$ も等しくしたとすれば (17) より

$$\lambda N_F \approx \text{Const} \dots \dots \dots (18)$$

Fig. 10 Fatigue Test at Constant Torsion.

この軟鋼の疲労限界は $\tau_0 = 10.2 \text{ kg/mm}^2$ であり、 $G = 9 \times 10^3 \text{ kg/mm}^2$ であるから、 $\phi_0 = 10.2/9 \times 10^3 = 0.0011 \text{ rad.}$ 、故に $(\phi - \phi_0) = 0.0034 \text{ rad.}$ 。然るに Table 1 により $\lambda N_F = 1.26 \times 10^3$ 又 $k = 1.37 \times 10^{-18} \text{ C.G.S.}$ であるから (17) より耐久力 α を求めれば $\alpha = 0.64 \times 10^{24} \text{ C.G.S.}$ となる。この α は材質によつて一々異なるものである。兎に角上の實驗によつて λ の大きい組織程 N_F は小さく即ち疲労に對しては弱いものであることを確め得たと思ふ。

Table 1

Temp. of Tempering	λ	N_F	λN_F
100°	40×10^{-4}	35×10^4	1.4×10^3
200	58	18	1.04
300	60	12.5	0.75
400	60	11	0.66
500	74	8	0.59
550	120	5	0.60
600	90	15	1.35
650	60	40	2.40
700	50	54	2.50
			mean 1.26×10^3

V. 顯微鏡並びに X 線試験

以上は本論文の主なる目的と結果を述べたが、内部摩擦試験及び疲労試験に於て 550° 焼戻の試験片は特に減衰率は大きく疲労には弱いことを示してゐるので組織の上で如何なる特殊性があるかを調べて見るのも無駄ではなからうと思はれる。

顕微鏡写真はウルトラパークで撮つたもので250倍である。Fig. 11 は400°焼戻のもの、Fig. 12 は500°焼戻のもの、又 Fig. 13 は600°焼戻のものであるが400°に於ける吐粒組織より600°の場合のフェライト地が結晶粒として集まりセメントイトが境界に凝集するまでに至る途中 Fig. 12 の如き組織の混亂した状態を通過する筈であつて、この場合には flaw 又は dislocation 等の散在も夥しくこの爲めに内部摩擦が増加し同時に疲労に對して強い組織となるのであらう (Fig. 14 は焼鈍試

Fig. 11 Tempered at 400°,
× 250

Fig. 12 Tempered at 500°,
× 250

Fig. 13 Tempered at 600°,
× 250

Fig. 14 Annealed at 700°,
× 250

料である)。

Fig. 15 は高角反射法で撮つた各種焼戻試験片の Debye ring の擴がりの度合を示す。このとき用いた對陰極は Fe であつてその β_1 線による (013) 面に及ぶ焼戻の

Fig. 15 Breadth of Debye Ring, Back side Reflection; Fe anti-Cathode.

影響が殊に著しい。その擴がりは主に内部歪に起因するものと思はれるが、この内部歪の變化の傾向は Fig. 8 の内部摩擦

の傾向と良く似通つてゐる。要するに軟鋼では擬弾性を起す原因がこれ等と相聯し疲労の因も亦主にここにあると考へられる。

以上は軟鋼に関する内部摩擦と疲労との密接なる關係を理論及び實驗の方面より研究し、軟鋼に於ける擬弾性の物理的意味を探索して、これが疲労に及ぼす影響をも考究して見たものである。疲労を試験するには一般に長時間を要するものであつて、これに對し何等か他の物性を測定することに依つて見當を付け得れば便利この上もないことと思ふ。本研究によつて内部摩擦との聯關性を確め得たから、これを以て疲労耐久性を代表せしめ得るとなれば上の要望の一端に應へることとも成るであらう。この研究は著者の一人が日本學術振興會より補助された「金屬の疲労と内部摩擦に関する研究」の一部であることを爰に記して同會に對し深甚なる謝意を表する次第である。

Al-Si 合金の内部摩擦と疲労とに就て*

木 谷 要 一**

Yōiti Kidani: The Internal Friction and Fatigue of Al-Si Alloy. In the previous paper, the author described the hardness and internal friction of Al-Si alloys. In the present paper, the origin of the internal friction of tempered Al-Si alloy of 1.1% Si will be explained. Pure aluminium plate always shows so-called the plastic internal friction. Since the plasticity is increased by the grain size, the internal friction of Al-plate of larger crystal-grains predominates than that of microcrystals. The plastic damping has the quadratic mode as to the amplitude of the oscillation. On the other hand, so-called the quasi-elastic damping has the mode of independency on the amplitude. α -solid solution of the Al-Si alloy takes the quasi-elastic mode of damping, similar to the virgin state (before-yielding) of single crystal of aluminium. While, by an excess amplitude it takes suddenly the plastic mode, similar to the after-yield-state of the single crystal of aluminium. The tempering causes the solid solution to precipitate Si-granules, and it proceeds to the plastic state. The tempered specimen at 300°

** 旅順工科大学物理學教室

* この研究は本誌本號掲載の「軟鋼の内部摩擦と疲労」と聯關し共通の題目の下に昭和15年4月本學會第7回東京大會(日本工學大會第15部會)で講演した。