

鐵 と 鋼 第十四年 第十一號

昭和三年十一月廿五日發行

論 說

鋼 の 疲 勞 に 就 て

松 下 德 次 郎

永 澤 清

小 松 桂 之 助

ABSTRACTS

ON THE FATIGUE OF STEELS, By Tokujiro. Matsushita, *Rigakuhakushi* Kiyoshi. Nagasawa and Keinosuke. Komatsu. The first part of this paper contains the results of the fatigue tests made with 7 plain carbon and 5 alloy steels in their various tempered conditions. From the results we discussed the followings;—

(i) Relation between fatigue and carbon content. (ii) Relation between fatigue and tempering temperature. (iii) Relation between fatigue and applied load. (iv) Effect of special elements on fatigue. (v) The merits in adopting lower tempering temperature is also demonstrated for the materials of some construction uses such as machine parts and others.

The second part of this paper deals with the theoretical consideration for the mechanism* of fatigue under alternating stresses, by which we explained the experimental results shown in the first part.

本研究は主として構造用鋼の熱處理に依る耐疲勞性の比較及び疲勞の機構を實驗的に攻究せるものにして研究内容は次の2部よりなる。

第1部は熱處理による耐疲勞性の變化の研究にして此の場合疲勞試験機としては松村式裏返打撃試験機及びオルセン社製回轉式耐久力試験機を用ひ、各種鋼材試料に就き熱處理と疲勞との關係を試験せり。

第2部は疲勞の機構の研究にして試料を裏返し屈曲する場合の彈性履歴曲線 (Elastic Hysteresis curve) の變化に就て考究せるものなり

第1部實驗に使用したる松村式裏返打撃試験は中央部に切込みを有する圓壘形試料を半廻轉しつゝその中央部を交互に打撃し試料を破折する方法にしてオルセン耐久力試験は切込ある圓壘形試験片の一端を機體に取付け其の自由端に一定荷重を吊し乍ら之れに廻轉を與へ試料を破折する方法なり、夫

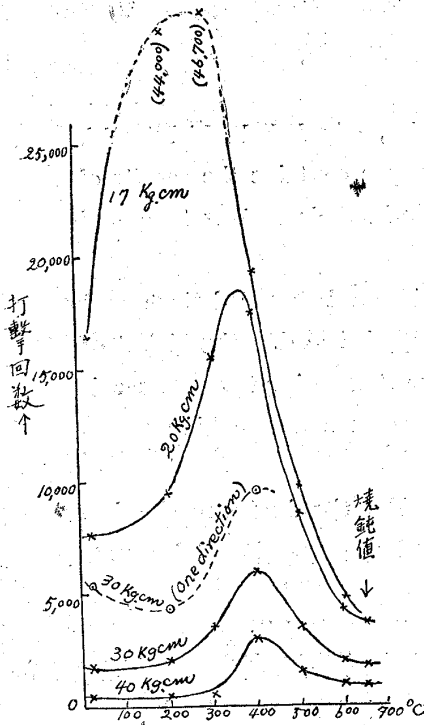
故後者は若し試料に焼曲り等あらば自由端は振動し其の爲め精確なる實驗結果を得難きも松村式裏返試験機に於ては此の影響少し依つて本研究に於ては主として松村式裏返試験機を使用したり。

實驗第 1 疲勞性比較試験

(a) 打撃勢力と疲勞の關係

最初 0.45% 炭素鋼を焼入後種々の温度まで焼戻せる多數試料に就て松村式裏返打撃試験に於ける打撃勢力の影響を實驗したり即ち打撃勢力を夫々 50, 40, 30, 20, 17 kg. cm とせる場合の焼戻温度と破折までの打撃回数との關係を實驗したり。第 1 圖は其の結果にして横軸は焼戻温度を、縦軸は疲勞破折に到るまでの打撃回数を示す。

第 1 圖
焼戻温度と松村式打撃回数
(0.45% 炭素鋼)



此の結果に依れば打撃勢力 40 kg. cm 及び 30 kg. cm の場合には 400°C. 焼戻のものが最大打撃回数を與ふるも、20 kg. cm の場合には其の極大値を與ふべき温度は稍低下し 17 kg. cm の場合には約 300°C 焼戻に於て極大點を示すを知る而して更に打撃勢力を減少する時は極大點も亦更に低下すべき傾向にあり。

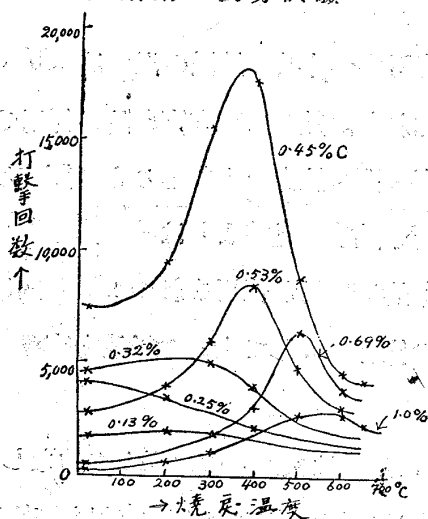
又打撃勢力 30 kg. cm の場合に於て試料を裏返すことなく常に同一方向より打撃したる際の曲線は第 1 圖中點線にて示すが如くにして各温度に於て裏返したる場合の約 2 倍の打撃回数を示し之を同一方向のみの打撃数のみに就て言へば約後者の 4 倍の打撃に耐ゆることとなる。本圖に就て見るに總ての焼戻温度に於て打撃勢力が減するに従ひ破折に到る打撃回数は著しく増加するを見る而して遂に或る一定打撃勢力以下に於ては永久に破折せざるに到る此の極限值が普通に疲勞限界 (Fatigue Limit) として知らるゝものなり。

日常鋼材の使用に於ては比較的小なる荷重を受くるものにして従て上記實驗に於て比較的小なる打撃勢力に依る打撃を繰返さるゝことに相當す。而して第 1 圖曲線より知らるゝ如く打撃勢力の小なる場合には打撃回数の極大點は次第に低温度焼戻の試料に移るを以て従て其の疲勞限界に就ても亦同様の傾向を示すべきは當然なり、此の事實より見る時は鋼材疲勞の點よりして焼戻温度は餘り高からざることが必要とせらる。

(b) 含有炭素量と疲勞の關係

次に打撃勢力を 20 kg. cm に一定し炭素量を異にする各種炭素鋼に就き松村式裏返打撃試験を行ひたり。其の結果は第 2 圖に示すが如し。

第 2 圖
炭素鋼の疲勞試験 *



圖に見る如く各焼戻温度に於て炭素量と共に初めは打撃数を増加し 0.45% 炭素鋼に於て其の値極大に達し夫れ以上の炭素量に於ては再び減少す。又最高打撃数を與ふべき焼戻温度は炭素量と共に次第に高温度に移動するを見る。

0.25% 炭素鋼及び夫れ以下の低炭素鋼に於ては最大打撃数を與ふるは焼入の儘のものにして焼戻温度の上昇と共に其の値を減ず、此等炭素鋼は炭素量低く假令水中焼入を行ふも充分なる焼入状態が得られざるに依る。

尙第1圖各曲線中 650°C の値は焼鈍状態の結果にして此れによるも焼鈍鋼は 650° 乃至 700°C 程度の焼戻鋼と同程度のものにて到底低温焼戻鋼に匹敵せざるを知る。

以上の結果より耐疲勞性に富むものは適當なる焼入及び焼戻を施せる状態にして其の焼戻温度は高炭素鋼を除いて約 500°C 以下を可とすることを知る。尙其の炭素量に關しては半硬鋼程度を最良と焼入效果不充分なる軟鋼以下のもの及び焼入硬度著しく高き高炭素鋼は適當ならず。

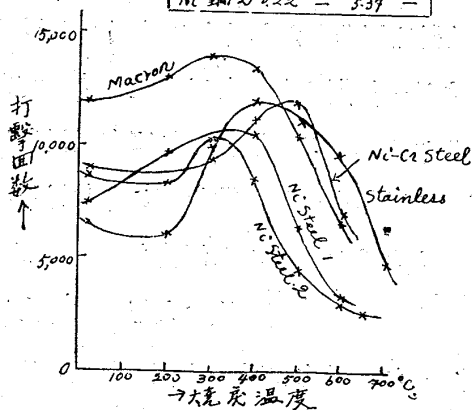
此の點より考察する時は、從來相當強激なる打撃力を繰返さるゝ機關の部分に表面硬化鋼を使用するも此れは結局耐疲勞性悪しき極軟鋼及び高炭素鋼の組合せに過ぎざるを以て餘り適當なるものにあらざるべし。

(c) 合金鋼の疲勞試験

第3圖は現在最も多く知らるる合金鋼 5 種に就ての疲勞試験の結果を示す。

第 3 圖
合金鋼の疲勞試験

鋼種	C	Mn	Ni	Cr
Macron	0.27	1.35	-	0.84
Ni-Cr	0.33	0.36	2.54	0.84
Ni鋼1	0.27	-	3.60	-
Stainless	0.17	-	0.47	11.43
Ni鋼2	0.22	-	5.37	-



此の結果を同一炭素量の炭素鋼 (半軟鋼以下) と比較するに何れも其の成績良好なり。之れ合金鋼に於ては同一炭素量の此等炭素鋼よりも其の焼入状態が完全なるが爲めなり。

尙又殆ど同程度の硬度及び抗張力を有するものとして第2圖に於ける水焼入せる 0.45% 炭素鋼と第3圖に於ける油焼入せるニッケルクローム鋼及びマクロン (渡邊本誌十三年第六號) を比較するに最高打撃回数に於ては意外にも半硬鋼の優れるを見る、然れ共之を稍太き試料に就て比較すれば半硬鋼は最早焼入效果不充分に陥り遠く兩者に及ばざるに到る。

以上の結果よりして構造用鋼材として比較的細き場合には炭素鋼を用ひて可なれ共稍々太き場合には必ずやニッケル鋼、ニッケルクローム鋼又はマクロン等

の合金鋼を使用して充分其の眞價を發揮せしむるに如かざるを知る。

(d) 衝擊試験

以上の結果にて耐疲勞性の見地よりは鋼は焼入焼戻の状態にて使用すべく其の焼戻の温度は 500°C 以下にて寧ろ 400°C 、 300°C 等稍低き場合に於て成績良好なるを知れり。然るに現在實際的に採用せらるゝ焼戻の温度範囲は多く 500°C 乃至 650°C にあり、此れ等専ら衝擊抗力の大なることを期するが爲めなり。然る時は疲勞試験の見地よりは低温度焼戻を可とし衝擊試験の見地よりは其の高さを欲することとなり其の採擇に窮することゝなるも以下述ぶる如く實際的に鋼材が使用されつゝある間に故障の爲め其の機能を失ひ廢棄に陥るべき機構を考ふるときは他の條件よりして上記の矛盾を容易に解決することを得るなり。

即ち一般的に鋼材が機關の一部として働く場合、其の機能を失ふに到るは次の3つの場合の他なし、(1) 折れる場合、(2) 曲がる場合、(3) 摩耗する場合、依つて吾人は此等の條件に對して焼戻温度の高低何れが適合するかを吟味するを要す。先ず摩耗性に對しては明に硬度の高き状態即ち焼戻温度の低きを可とすることは論なかるべし。

次に鋼材が打撃を受くる場合の折斷及び屈曲は如何なる有様に起るかを一層分析的に吟味せんが爲に 0.45% 炭素鋼に就て以下述ぶるが如き衝擊試験を行へり。試験はシャルピー衝擊試験機に依り之を行ひ、試料の型式は Mesnager 型とし其の熱處理は焼入後夫々 200° 、 300° 、 400° 、 500° 、 600°C に焼戻したるものなり。實驗は特にシャルピー機の打撃ハンマーの高さを變じて其の打撃勢力の値を夫々 $10\text{ kg}\cdot\text{m}$ 、 $5\text{ kg}\cdot\text{m}$ 及び $3\text{ kg}\cdot\text{m}$ の3様とせるものにして衝擊試験後試料の折斷屈曲の状態を検したり。第4圖 a, b, c. は其の實物寫眞を示す。

寫眞に見る如く打撃勢力 $10\text{ kg}\cdot\text{m}$ 及び $5\text{ kg}\cdot\text{m}$ の打撃に於ては低温度焼戻試料は總て折斷し、又高温度焼戻試料は折斷せざるも其の屈曲著しく従て總て前に述べたる缺陷 (1) 若しくは (2) に該当し其の機能は失はれ用を爲さざるを知る。依つて斯の如き強大なる打撃は既に本試料に對しては到底耐へ得る程度のものにあらずして著しく過大なるものなり。然るに打撃勢力 $3\text{ kg}\cdot\text{m}$ の打撃に於ては焼入の儘のものは折斷し、殘餘のものゝ内 500°C 以上の焼戻試料は屈曲甚だしく共に缺陷 (1) 及び (2) に陥り用を爲さざるも 200°C 、 300°C 焼戻試料は殆ど屈曲せず且つ折斷せざるを以て此の値及び夫以下の總ての打撃に對しては元形を失ふことなく使用に耐え得ることを知る。換言すれば本試料を以て耐え得る程度の打撃に對しては高温度焼戻のものよりも低温度焼戻のものが適當なることを見る。從來機構用鋼材としては多くの場合高温度焼戻を施し衝擊抗力の大なることを尊ぶ傾向あるも此等の試料は衝擊を受くる場合には全然元形を止めざる程度に變形するものにして衝擊値の大部分の勢力は此の變形の爲に費さるゝものなれば若し元形を保存し得る範囲での打撃抗力に就て比較するならば却て低温度焼戻鋼の優越を認むるものなり。

以上の考察に依つて折斷及び屈曲を許さざる範囲に於ける打撃抵抗力と言ふ點から見ても低温度焼

(a)

10 kg. m. 衝擊試驗

0.45% 炭素鋼

燒戻
溫度

屈曲
角度

燒戻
溫度

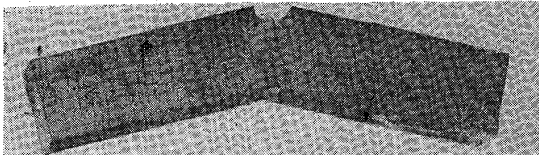
(b)

5 kg. m. 衝擊試驗

0.45% 炭素鋼

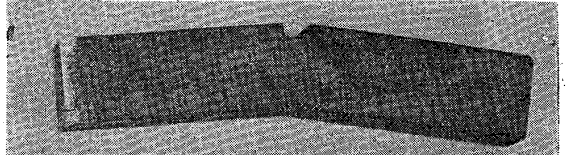
屈曲
角度

600°C



25°

600°C



12°

500°



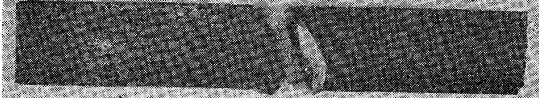
21°

500°



10°

400°



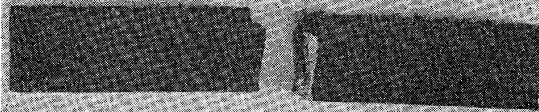
9°

400°



6°

300°



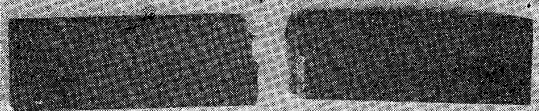
4°

300°



6°

200°



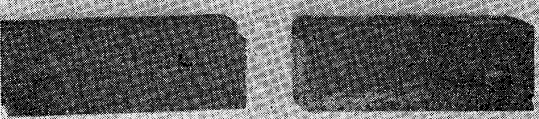
2°

200°



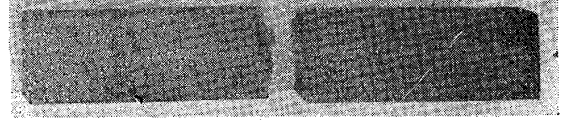
2.5°

燒入



1.5°

燒入



12°

(c)

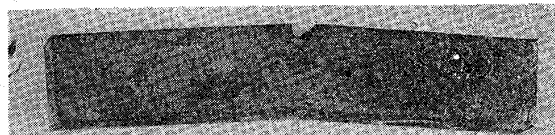
3 kg. m. 衝擊試驗

0.45% 炭素鋼

燒戻
溫度

曲屈
角度

600°C



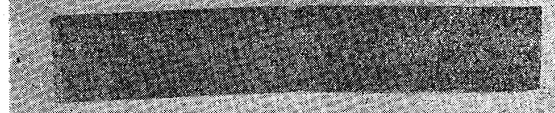
8°

500°



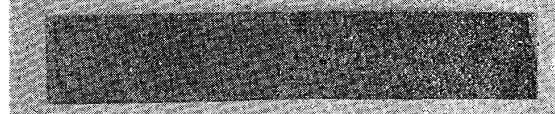
6°

400°



3°

300°



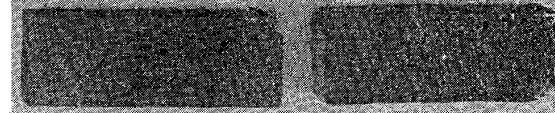
2°

200°



1°

燒入



1°

戻のものが良結果を示すことを知る。

一方實際的問題としては焼戻温度低き場合には硬度高き爲め切削加工困難となるべきも是は切削用バイト鋼の進歩及び簡單なる仕上用グラインダーの使用に依つて此の困難を切抜け得べしと信ず。

以上の結果を綜合するに現在普通に使用する構造用鋼材は耐疲労性に對しても、耐摩耗性に對しても亦耐折斷屈曲性に對しても低温度焼戻を推奨するものなり。

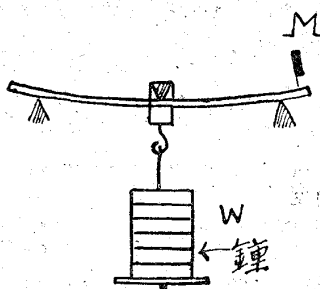
實驗第 2 疲勞機構の研究

次に疲勞機構を明にする爲め鋼材試料の弾性履歴現象を研究したり。

(a) 焼戻温度と弾性履歴曲線

本實驗用鋼材としては 0.45% 炭素鋼をとり其の試料寸度は 5 mm 角長さ 22 cm にして實驗方法は上記試料を 20 cm の距離に相對立せる上向のナイフエッジ上に支へ其の中央に錘 W を吊し又一端に鏡 M を固定すること第 5 圖の如くし W の爲めに起る M の廻轉角を尺度と望遠鏡とに依つて觀測するものなり。

第 5 圖
弾性履歴曲線實驗圖



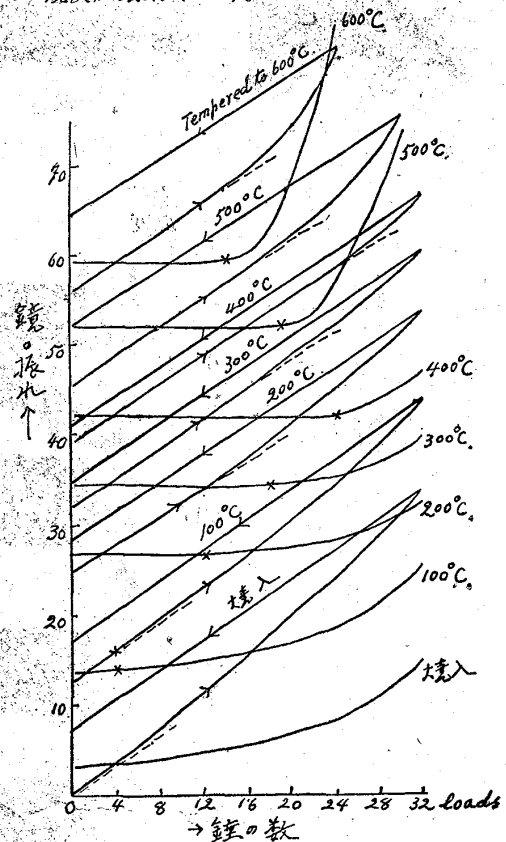
第 6 圖は種々焼戻温度を異にせる試料に就て實驗上得たる荷重と撓みの角との關係を圖示するものにして圖に於ては荷重を零より次第に増し或る一定値に達せる後再び次第に之を減じて零に到る間の過程を示し所謂弾性履歴曲線と稱せらるゝものなり。(完全なる履歴曲線は更に荷重の符號を逆にして實驗を連續せるもの従つて曲線はループとして得らるるものなれ共今の目的には其の必要なきを以てループの半分を得るに止めたり。)

尙同圖中に各履歴曲線に就て錘 1 個を増す毎に起る撓の増加を示す曲線を記入したり、此の曲線に於て最初の横軸に平行なる直線部分は Hooke の法則が成立することを示すものにして従つて直線が彎曲し初むる點(×印)

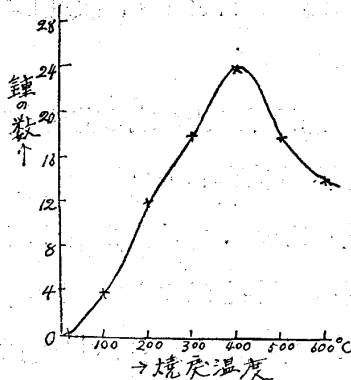
は試料の弾性界に相當するなり。第 7 圖は斯の如くして知らるゝ弾性界の焼戻温度に依る變化を示す。

第 6 圖に見る如く焼入の儘の試料に就ての加重曲線に於ては最初より變形の量が荷重に比例せず。

第 6 圖
焼戻炭素鋼 (0.45% C) の弾性履歴曲線



第 7 圖
焼戻温度と弾性界の關係



即ち Hooke の法則に従ふ部分なし。換言すれば焼入鋼には最密な意味に於て弾性界なきを知る。

次に 100°C 及び 200°C 焼戻試料に於ても略同様な傾向を有す。以上の 3 つの場合には鋼材は未だ焼入状態に在るを以て著しき内部歪を保有し後に説明する如く此れが弾性界を著しく低下せしむる原因なるを知る。

然るに 300°C 焼戻試料に於ては明瞭に Hooke の法則が成立する荷重の範圍現れ、従つて試料の弾性界が確認せらるゝこととなる。而して 400°C 焼戻試料に於ては弾性界最も高く、500°C 600°C 焼戻試料に於ては再び急速に弾性界低下す。

今上掲諸曲線に於て錘 1 個の重量は約 5 封度なる故此れより試料の表面に於ける張力を計算すれば 1 mm² に就き約 4 kg となる。依つて此の値を用ひ此等の曲線上より觀測せらるゝ弾性界を算出するに其の値は略々抗張力試験に於て得らるゝ結果に近きものとなることを知る。

扱て材質の弾性界と疲勞との關係を考へんに材質は其の弾性界以下の應力に依る變形即ち弾性的變形に依つては決して其の内部に應力の影響を残すことなく従て疲勞を起すことなかるべき筈なり、然るに材料學上所謂疲勞限界即ち材質に疲勞を與へ得べき最小荷重は材質の弾性界より遙かに小なるを普通とす、此の事實は次の如く考ふることに依つて解釋することを得べし。

即ち 200°C, 300°C 曲線よりも知らるゝ如く所謂弾性界は確然と決定し得るものに非ずして實驗の精密度の高まるに従つて次第に低下し得るものなり。何となれば現今の金相學の見地よりして金屬の組成は無數の結晶粒の集團であり且つ其の個々のものゝ結晶軸の方向は金屬全體として凡ての方向に一様に分布されおるものなり。従つて或る方向に作用せられたる外力に對する各結晶粒の迂り抵抗 (Slip Resistance) は外力の方向に對する各結晶粒の軸の方向に依つて種々異り、従つて其の最も迂り易きものより逐次に内部迂りを生ずるものなり、而して嚴密なる意味に於ては上述の最も迂り易き結晶粒に初めて内部迂りを與ふる場合の外力を以て弾性界とせざるべからず、然るに實際的に觀測せらるゝ弾性界は更に外力の強さを増し相當多數の結晶粒が迂りを起すべき値なること明なり、此れ即ち普通の意味での弾性界以下の外力に依つても多少の永久變位は起り材質内に影響を残すこととなり疲勞が現れる所以なり。

夫故材質の疲勞限界に相當する荷重とは該物質内の如何なる結晶粒にも内部迂りを生ぜざる範圍の最大荷重を指すべきものなり。

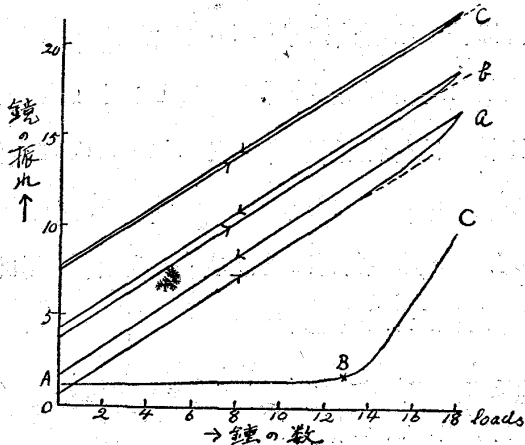
近時單一結晶體に就ての實驗に依れば結晶體の或る面に添ふては比較的弱い外力に依つても容易に迂りを生ずるものなるを知る、金属材料が疲勞を起すは此の性質あるが爲めなり。

(b) 裏返荷重による履歴曲線

次に第1部の實驗に於ける焼戻鋼の反覆打撃試験による疲労の機構を説明する爲めに次の實驗を行ひたり。即ち彈性履歴曲線の實驗に於て荷重の符號を交互に變化せしむる爲め試料を交互に裏返して屈曲せる場合の曲線を畫かしめたり。

先づ第1に 650°C 焼戻の試料に就て第8圖曲線 *a, b, c* に示す如く其の彈性界以上の或る荷重を同

第 8 圖
同一方向の屈曲を繰返せる場合の履歴曲線
(650°C 焼戻)



方向に加へた場合の履歴曲線を畫かしめたり。

同圖最下部の ABC 曲線は *a* の曲線に於て錘1個を加ふる毎に起る鏡の振れの増加を示すものにして曲線上 B 點は其の彈性界に相當し試料は更に C 點まで荷重を受けたるを知る。次に曲線 *b* は曲線 *a* を畫き終りたる試料を再び同一方向に同一荷重まで屈曲したる場合の曲線にして圖に見る如く彈性界は遙かに上昇せるを見る。更に引續き同一實驗を繰返せるものが曲線 *c* にして彈性界は殆ど最高荷重に近く従つて此の荷重範圍に於て試料は彈性的變位を行ふのみとなる。以

上の如く彈性界の上昇と共にループの面積は次第に減少することは勿論なり。以上の事實は既によく知られたるものにして其の原因は此の最高荷重が同一方向に繰返さるゝと共に試料内には同一内應力が繰返さるゝ爲め此の内應力に耐え得ざる結晶粒の部分は迂りを生じて、より迂り難き状態に移り従つて逐次斯の如き不安定な結晶粒の數を減じ最後には最早同一荷重の爲には決して迂りを生ずることなく單に彈性的變位を起す如き状態に到るが爲なり。

次に *c* の如き状態にある試料を裏返して同一荷重を加へ屈曲せる場合の履歴曲線を畫かしむる時は第9圖 *d* 曲線の如くなり其の彈性界は著しく低下し従つてループの面積は増加す。更に試料を裏返して實驗を行ふ時は *e* 曲線が得られ、追つて斯の如く試料の表裏に就て交互に實驗を繰返す時は夫々曲線 *f, g, h, i, j, k,* 及び *l* 等が得らる。

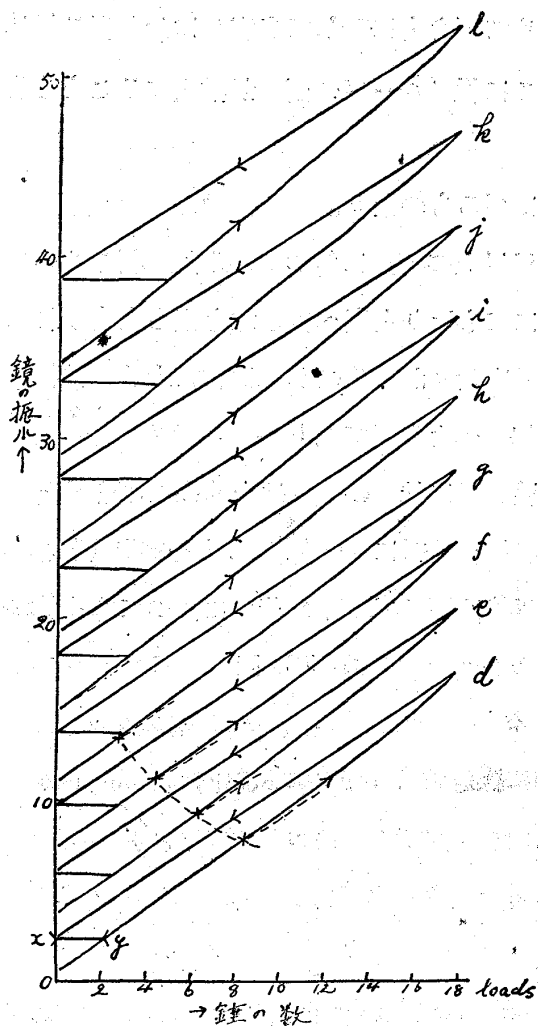
本實驗に於ては更に多數の曲線を得たるものなれ共便宜上9曲線を圖示するに止めたり。

圖に見る如く此等の曲線に於ては次第に其の彈性界 (×印) が低下すると同時にループの面積は増加するものなり、(xy 直線の長さより直に知らる) 而してループの面積は外力に依つて爲されたる仕事のエネルギーを表す故試料は漸次疲労して屈曲の度を増し遂に破斷に導かるゝものなり。

上に述べたる實驗結果より裏返荷重に依る材質疲労の機構は次の如く考へらる

今材質を構成する一結晶粒に就て考へんに第10圖 (a) は荷重を被らざる自然の状態とし *pq* 線は其の迂りの面の位置を示すものとすべし。今試料に第1回の荷重を行つた爲め結晶粒は同圖 (b) に示す如く内部迂りを起して外力を支へたりとせん、此の迂りの際兩半圓部の運動は相對的故便宜上その下半部を固定し上半部のみが圖の如く右方に移動せるものとすべし。

第 9 圖
表裏に就て屈曲を繰返せる場合の履歴曲線
(650°C 焼戻)

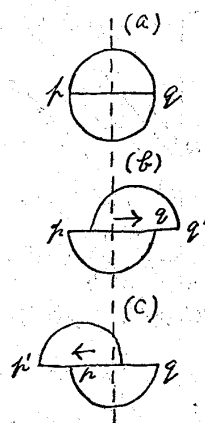


勿論實際には pq 面以外に於ても ϵ りを生じ従て結晶粒の外形も複雑に變化するものなれ共個々の ϵ 面に就ての現象は總て同様である故今は問題を簡單にする爲め pq 面のみに就て考へ他は考慮の外に置くことゝすべし。

次に試料を裏返し第1回と方向反對にして強さ相等しき第2回の荷重を行ひたりとせん此の場合 (b) の状態にある結晶粒は如何なる面に於て ϵ りを生ずべきやと言ふに決して pq 以外の新しき ϵ り面に於てのみ ϵ るものとは考へられず、何となればも

第 10 圖

裏返荷重に依る ϵ りの機構

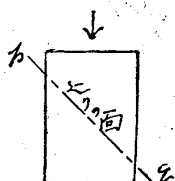


し既に ϵ りを生じたる ϵ り面に於ては全然 ϵ ること能はざるものとし常に他の新しき ϵ 面に於てのみ ϵ るものとせば試料を交互に裏返しつゝ實驗を繰返す場合に於ても同一荷重に對しては次第に ϵ り得べき面の數を減じ其の結果第7圖曲線 a, b, c に於ける同一方向の荷重を繰返す場

合同様に弾性界は次第に上昇しループの面積は順次に

縮小せざるべからず、然るに第9圖曲線に依れば全然之に反し弾性界は次第に下降しループの面積は順次増加するものなり。依つて第2回の荷重の場合には是非とも同圖 (c) に示す如く (b) の場合の ϵ 面 pq に沿ふて前と反對に左方に ϵ るものとせざるべからず。此の考へ方は決して不自然なるものにあらずして第11圖に見る如く矢の方向の荷重に依つて pq 面の ϵ りを生じて硬化せる結晶粒は更に

第 11 圖
結晶粒に於ける ϵ 面



矢の方向の荷重に對しての抵抗は大なるべきも此れに正反對の方向の荷重に對しては却て抵抗を減ぜるは想像に難からず何となれば pq 面に添ふては結晶粒は原子的に空間格子の歪める攪亂状態にあり、又多少の不定形原子の存在もあるべきを以て多少原子力を減殺すべきを以てなり。

扱て一結晶粒に交番應力が作用した場合上記の如く同一 ϵ り面に於て ϵ りが繰返さるゝ時は其の摩擦に依り ϵ 面間の原子的攪亂の度を増し漸次不定形原子の數を増加すべく従て次第にその兩部分の接觸性を悪しくして ϵ りの量を増すことゝなるべし即ち第10圖に於ける pp' 及び qq' の間には常に

$$pp^{(n+1)} > qq^{(n)}$$

なる關係あり但し (n) は裏返荷重を行ひたる第 n 回目之實驗を示す。

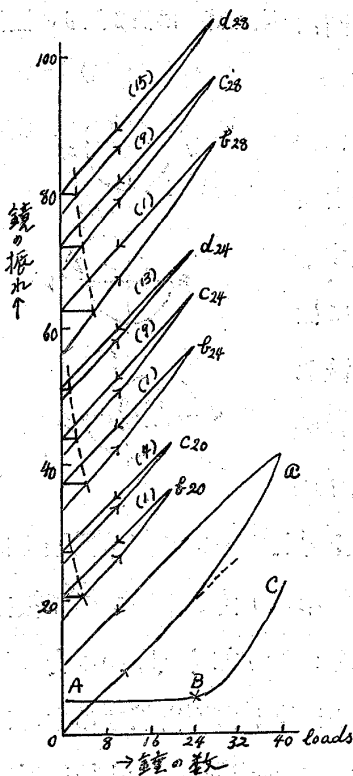
斯の如くして上面之接觸が不良となるに従ひ結晶粒は極めて弱き力に對しても容易に迂り得る様に成り即彈性界は次第に低下すべく、又迂りの距離の増加するに従ひループの面積が増大することも容易に考へ得らるべし。

以上の如き機構に依り材質は次第に疲勞し遂に破折するに到るものなり。

上に述べたる如き疲勞の現象は必ずしも前記の如く彈性界以上の荷重に依つてのみ起り得るものに非ずして疲勞限界以上即ち結晶粒の最も弱きものに極微量にても迂りを與へ得る如き強さを有すれば

足るものなり。何となれば一度迂りが發生せし後は常に上述の機構に従つて材質は次第に疲勞を起すべきを以てなり。

第 12 圖
強力荷重後の履歷曲線 (其の 1)
(400°C 焼戻)

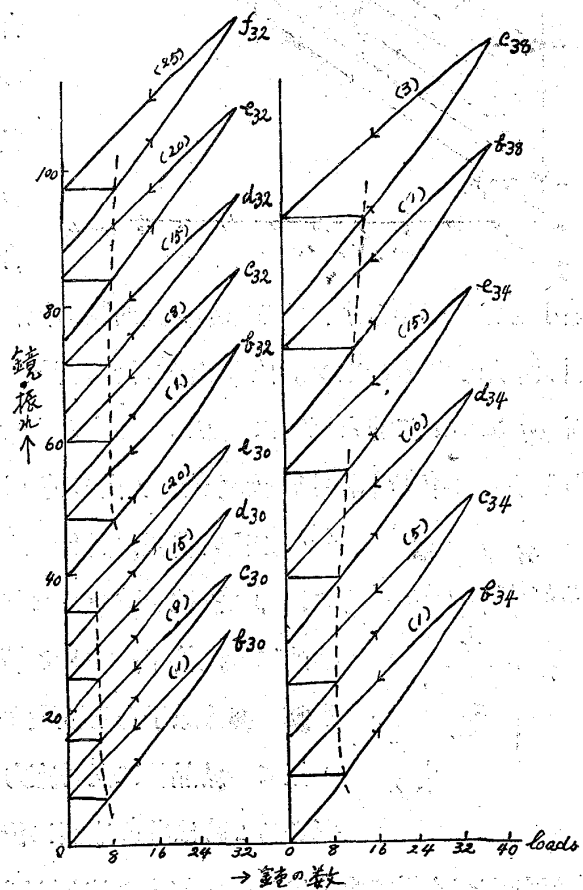


以下に述べる 400°C 焼戻試料に就ての實驗は上述の事項を證明する爲めに行ひたるものにして最初試料に其の彈性界以上の荷重を加へて迂りを發生せしめ置けば以後は彈性界以下の荷重に依つても疲勞の進行し得ることを示せるものなり。

第 12 圖其の 1 曲線 a は試料を最初其の彈性界を越えて遙かに強く荷重 (錘數 40) せるものにして其の際振れの進行と錘數との關係は AB C 曲線の如し。次に該試料に其の彈性界

以下の荷重即ち錘數 20 個を表裏交互にのせた場合の曲線は b_{20} , c_{20} の如くにして b_{20} は第 1 回目、 c_{20} は第 7 回目之實驗に於て得たるものなり。次に同一熱處理(焼入及び焼戻)を施せる別の試料に就て前と同様に先づ強力荷重(錘數 40)を行ひし後前より少しく強き最大荷重即ち錘數 24 個を以て實驗を繰返せる場合の曲線は夫々 $b_{24}(1)$, $c_{24}(9)$, $d_{24}(13)$ 等にして括弧内の數字は該曲線を得たる實驗番號なり。

第 12 圖
強力荷重後の履歷曲線 (其の 2)
(400°C 焼戻)



同様にして鍾數 28 個の場合の曲線は夫々 $b_{28}(1)$, $C_{28}(9)$, $d_{28}(15)$ 等なり。

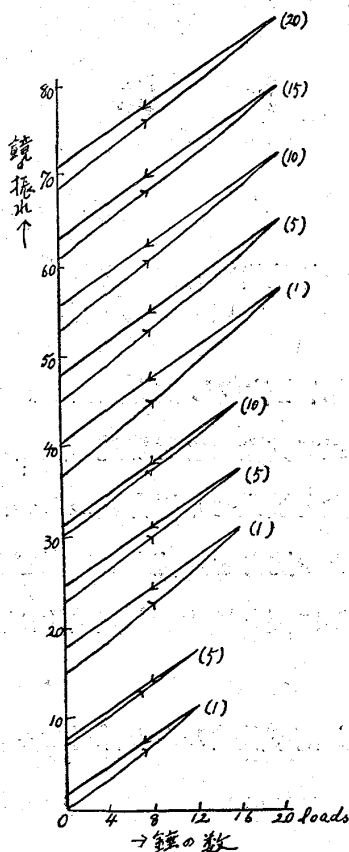
上に述べたる場合は總て實驗を繰返すと共にループの面積は縮少を起すものにして最大荷重の小なる程縮少速度大なるを見る。

次に最大荷重を鍾數 30 個とせる場合の曲線は夫々第 12 圖其の 2 に示せる $b_{30}(1)$, $c_{30}(9)$, $d_{30}(15)$, $e_{30}(20)$ 等にして此の場合にはループの面積は最初第 9 回まで縮少するも以後第 20 回まで殆ど變化なきを知る。

次に最大荷重 32 個の場合には圖に見る如くループの面積は最初第 15 回まで縮少を示すも夫以後は逆に増大に轉ず、最大荷重 34 個の場合にも同様なれ共此の場合には増大に轉ずること前の場合より早し。而して最大荷重を一層増して最初の強力荷重の値に極く接近せしめる 38 個とせる場合には圖に見る如く單に増大のみを示すことを知る。

以上の實驗よりしてループの面積の變化は荷重の小なる間は單に收縮し荷重の大なる場合は單に増大すれ共中間の荷重に於ては初めは收縮し後に増大に轉ずるを知る。而して此の變化は全く連続的に行はるゝことも圖より明なり。夫故以上の事實より次の如く推論するを得べし。即ち一度強力なる荷重を受けたる材質は後により小なる荷重を表裏に就て繰返るゝ時、後者の強さが其の疲勞限界以上なる場合には多數實驗の後には總てループの面積は次第に増大する一方となり従つて疲勞を起すものなり、

第 13 圖
燒入鋼の履歴曲線
(0.45% C)



但し後の荷重が小なる場合には最初の間はループは縮小すれ共後には總て増大に轉すべきものなり。此の場合後の荷重の強さが前のものに比し比較的小なれば小なる程最初の間ループの收縮は急激に行はれ然かも其の收縮は長く繼續するものなり。

以上の實驗に依つて最初 1 回弾性界以上の荷重に依つて迂りを與へたる場合には爾後弾性界以下の荷重を繰返すことに依つても疲勞を起し得ることを知るべし。従つて嘗て弾性界以上の荷重を被らざる自然の儘の材質もその疲勞限界以上の荷重を繰返す場合には同様に疲勞は進行すべきこと明なり。但し此の場合には内部迂りは前者に比し小なるべき筈故疲勞の進行は極めて遅々たるものなるべし。

此の事實は重要なものにして吾人が日常屢々行ふ所の諸機械類の過負荷試験 (Over-load Testing) に於ては其の實際機械の諸部分は強大なる荷重に働かるゝ爲め若し其の一部に非弾性的變位の發生するあらば該部は爾後使用中著しく疲勞を早めらるゝものなり。

次に第 13 圖は燒入鋼に就て前同様の試験をなしたる結果を示す。此の曲線を見るに燒入鋼に於ては或る相當の高荷重に到るまでループは次第に面積を縮小することを知る、此れを既に述べたる 400°C 燒

戻鋼に就ての第 12 圖の實驗結果に照合するに焼入鋼は相當大なる内部歪を藏することの證明にして宛も既に 1 回強大なる荷重を受けたると同一状態にあるものと見るを得るなり。100°C 焼戻及び 200°C 焼戻の試料に於ても同様な現象は見らるゝものなれ共ループの縮小の程度は焼入の儘のものより多少劣るを知る、此等の曲線圖は略すことゝしたり。

以上履歴曲線に依る結果から焼戻鋼の裏返打撃試験結果を説明せん此の試験に於ては打撃勢力は常に同一履歴曲線の場合の同一荷重を裏返しつゝ實驗したることゝ相當すべし。

さて第 7 圖焼戻温度と弾性界との關係圖を見るに弾性界は 400°C 焼戻試料の場合に最高を示し夫以上及び以下共に次第に低下することを知る依つて同一荷重に依る履歴曲線に於ては其のループの面積は逆に 400°C 焼戻試料に於て最小となり夫以上及び以下共に次第に増大すること第六圖の如し、而してループの面積は 1 回の打撃に依り試料の吸収する勢力を表すもの故其の大なるもの程急速に疲勞を起すべき筈なり、而して第 2 圖の實驗の結果も亦然り。

尙又第 1 圖に見る如く打撃勢力の小なる場合には打撃數の極大點は次第に低温度に移動するは前に述べたる如く低温度焼戻のものは比較的強大なる焼入歪を藏し著しく硬度高き爲め此れに比し比較的小なる荷重を繰返す場合にはループは最初次第に縮小し後に増大に轉するもの故其の疲勞は比較的遅く起る結果に他ならず。

耐 鋳 鋼 に 關 す る 研 究 (II)

川 上 義 弘

第 四 節 研 究 の 結 果

(VII) 抗 力 試 験

本試験にありては耐鋳鋼を各種の目的に供するため常温、熱間及低温の各状態に於て其抗力に就き試験を実施せるものとす。

各製造所より得たる材料は其を以て以下の各項に示す如き寸法の試験片を作成し抗力試験を行へり、但し素材の硬度大にして其儘試験片を作成し得ざる場合ありたるを以て其際は之を焼鈍し試験片を作成せり、之を以て常温に於ける抗力試験は供試材を焼鈍せし場合と之を焼入せし場合との二つに分ちて之を実施し、熱間試験にありては常温の場合と熱間に於けるものとの抗力を比較するに過ぎざりしを以て試験片作成の状態に於て抗力試験を実施し其必要なるものみに限り焼入せし試験片に就き之を実施せり。

低温度に於ける試験は實際の場合を顧慮し各種試験片に就き之を実施し衝撃試験のみを採用せり。

其一、常温抗力試験

本試験を分ちて抗張試験及衝撃試験の 2 種となす。