

3 (1911) 320. A. Sauveur. Proc. of the Intern. Assoc. for Test. Mat., 2 (1912) C. Chappel. Jour. of the Iron & Steel Inst., 1 (1914) 460. (6) 松下、本誌、第十二年第二號 177 (7) 前掲。

緊張力試験に於ける試験片切斷の徑路に就て

絹川武良司

目 次

第一章 緒 言

第二章 局部面積縮少を起せる試験片の金相學的觀察

第一節 局部面積縮少を起せる試験片の内部 第二節 結晶の永久變形

第三章 試験片切斷の機構

第一節 棒狀試験片に於ける横斷面積の大小と面積縮少率の關係 第二節 棒狀及び管狀試験片に於ける面積縮少率 第三節 板狀試験片に於ける局部面積縮少 第四節 試験片切斷の機構

第四章 緊張力試験の際に起る各種現象の説明

(I) 切斷後の破面 (II) 板狀又は方形横斷面の試験片に於ける局部面積縮少 (III) 管狀試験片に於ける面積縮少率 (IV) 外力による應力に直角に應力を加ふる場合の緊張力試験 (V) 常溫引拔きを加へたる材料の緊張力試験

第五章 壓縮試験

第六章 結 論

以 上

第一章 緒 言

多結晶 (Poly grain) の靱性に富む金屬 (Ductile metal) 試験片が緊張力試験 (Tensile test) に際して受くる力學的關係に就ては既に多くの學說が發表せられておる。

これ等の學說の多くのものに於ては試験片全體を一つの均質體 (Isotropic body) と見做し其金屬に固有な弾性限 (Elastic limit) 内だけでそれ等の力學的關係が成立するものとして實際的に重要な多くの法測が導かれておる。然しながら事實は有方向的 (Unisotropic) な多數の結晶が集合して一つの試験片を構成しておるのであるからかゝる試験片の緊張力試験の際に起る現象を吟味する場合には Mohr が其の著書の中にも言へるが如く個々獨立して存する結晶の特性を考ふると同時に結晶相互が共存する爲めに發生する性質をも考へなければならぬ場合もあるであらう。

F. C. Thompson の說に従へば個々の結晶の弾性限は金屬の種類によりて異なるは勿論、試験片の大小並びに考ふる結晶の試験片内に於ける位置にも關係するとのことである Thompson の説明する處によれば試験片の表面に於て自由表面 (Free surface) を有する結晶では加へられたる力に應じて比較的自由に滑行面 (Slip plane) に滑行 (Slipping) が起り得るが試験片の内部の結晶はこれに隣接する他の結晶の境界 (Grain boundary) の爲めに滑行が牽制 (Restrained) せらるゝが故に表面に於ける結晶よりもより大なる應力 (Stress) を生ずるに至りて始めて滑行が起るから試験片の内部の結晶の弾性限は表面の結晶の弾性限よりも大であると

Tammann によれば金屬の所謂彈性限は結晶に始めて Slip band のあらはるゝときの應力の 2 倍乃至 14 倍位大である場合があるとのことである。

T. Bolton の研究によれば緊張力 (Tensile strength) と試験片の直徑の間には次の式にて示される様な關係があるとのことである。

即ち $T = a - bD$ 茲に $T = \text{tensile strength}$ $D = \text{diameter of test piece}$ $a, \text{ and } b = \text{constant}$.

又緊張力試験片に切斷が起るときに試験片が單結晶 (Single Crystal) よりなるときには切斷は試験片の外部から始まり多結晶よりなる場合には試験片の中心部から始まることは既に知られておる現象である。

上述諸現象は孰れも従來の學說で説明することは困難なものであるが F. C. Thompson の説を以てしても必ずしも充分であるとは考へられぬ。

何故なれば多結晶よりなる試験片の内部の結晶の滑行が隣接する結晶の境界によりて牽制せらるゝが爲めに内部の結晶の彈性限が大であるとするならば分離面 (Bruch ebene) の分離即ち切斷も亦同様に隣接結晶の境界によりて牽制せられるものと考へねばならぬが故に内部の結晶の緊張力も亦外部の結晶の緊張力より大となりて試験片は外部から切斷せられ始めねばならぬであらう。

兎も角緊張力試験に於ける試験片切斷の問題は未だ解決せられざるそれ自身甚だ興味あり、且つ重要なものであるが其理論の基礎となるべき實驗特に金相學 (Metallography) 的見地に立ちての實驗は未だ必ずしも充分であるとは言へない。

又、棒、針金及び管等の引拔作業 (Cold drawing) の如き工場的操作の中には緊張力試験に於ける變形操作によく似たものが少くない様に思はれる例へば棒又は管の或種類の引拔きの際に頻發することある蛇腹 (Trichter formige Brüchen) の現象の如きは一般に其原因を過度の引拔き (Over drawing) に歸してゐるが著者は此の現象の如きも緊張力試験に於ける試験片の切斷の現象の研究から得られる理論で容易に説明し得るものと考へてゐる。

本報文に於ては主として蛇腹の現象の説明の基礎となる緊張力試験に於ける試験片切斷の徑路並びに其理論を取扱つてゐる。

第二章 局部面積縮少を起せる試験片の金相學的觀察

第一節 局部面積縮少を起せる試験片の内部 多結晶の金屬試験片に充分なる緊張力 (Tension) を加ふる時は個々の結晶は彈性變形 (Elastic deformation) に續いて永久變形 (Plastic deformation) を起し其結果試験片は局部面積縮少 (Local necking) を起す。更に次第に大なる力を加ふる時は試験片は内部から分離せられ始めて遂ひには全く切斷せられる。

靱性に富む金屬にありては試験片の破斷面は所謂 cup and cone をなし其中央部は粒狀 (Körnig) 破面を外縁部は筋狀 Sehnig 破面を呈するのが普通であるが扱て切斷の初期に於ては如何なる徑路を踏みつゝ分離は進行するのであらうか、此の點を明かにする爲めに今

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al
0.008	trace	nil	0.015	0.008	0.041	trace

なる成分を有する Armco iron を用ひて Fig 1. の如き同様の試験片を多數に作りこれに大凡そ 30.5 kg/mm² 前後の各異なる力を加へ切斷し了らしむることなしに大凡そ 67 %位の局部面積縮少を起さしめたるものより切斷し終れるものに至るまで切斷の各階級の試験片を作り局部面積縮少を起せる部分を中心より縦斷して断面を十分に磨き Etching を加へて内部の状態を検するに切斷の初期に於ては寫眞(1)乃至(3)よりも明かである様に次の諸事實を知ることが出来る。

1. 適當なる外力を加へられた Armco iron の試験片の局部面積縮少を起せる部分には中心に近く數個の小腔が発生してゐる。

2. これ等の小腔は互に不同の間隔を保ちながら大凡そ同一横断面附近に並んで発生してゐる。

3. これ等の小腔の相隣れるものは同一横断面上にあることは極めて希れで寧ろ多少隔れるものが同一横断面上に発生してゐることが多い。

4. 加へられたる外力が比較的小にして局部面積縮少の程度の稍小なりし試験片に発生せる小腔は其數少く主として中心部にのみに偏在してゐるが加へられたる外力の大となるに従ひ発生せる小腔は次第に大きく其數も増加し外縁部に近き部分まで廣く散在してゐる。

5. 稍大なる中心に近き小腔は往々割れ目 (Crack) によりて連結せられてゐることがある。

6. 稍小なる小腔は往々其横に割れ目を有することがある。

7. 小腔と小腔の中間部に往々微小なる割れ目の発生してゐる場合がある。

8. 上述の割れ目は多くの場合甚だ屈曲してゐる。

9. 上述の割れ目は一部分結晶の境界を走ることもあり又一部分結晶の内部を走ることもある。

10. 小腔は多くの場合數個の結晶に亘りて発生すれども微小なるものは一つの結晶の内部に発生することもあり又結晶の境界に発生することもある。

11. 小腔又は割れ目の上下の結晶は變形の程度が比較的小であるが小腔と小腔の間の結晶は往々大なる變形を受けてゐる場合がある。

12. 試験片の外縁部には切斷の後期まで割れ目は発生せぬ。

同様の研究を直徑 6mm 前後の針金を用ひて試験片を作つて行へるに切斷面は全く太き試験片の場合の徑路と同様の徑路を踏み内部から始まるらしいが内部に小腔を発生せる程度に止むることは甚だ困難なりき。

上述の試験は棒狀試験片につきて行へるものであるが管狀試験片に於ても Fig 2. の如き寸法の Armco iron の試験片につきて行へる實驗によれば寫眞 4 及び 5 に示してある様に分離の發生の初期の状態は殆んど全く棒狀試験片に於ける場合と同様である管壁の中央部に先づ切斷の基點となる小腔を発生し外力が大となりて局部面積縮少の程度進むに従ひ次第に内外兩面近くまで不同の間隔を保

てる多數の小腔を發生す。其他の切斷進行の徑路も全く棒狀試験片の場合と同様であるが只だ管狀試験片に於ては切斷の基點となる小腔は幾分内面に近く多く偏在し且つこれ等の小腔を連結する割れ目も亦幾分内面に近き中央の小腔を先づ連結し往々内面に早く開口する様である。

猶ほ管壁の薄しき管狀片に於ては細き棒狀試験片の場合と同様管壁の中央部に小腔を發生せる程度に止まらしむることは甚だ困難なりき。

これ等の研究結果によれば靱性に富む金屬試験片の緊張力試験に於ては少くとも試験片の中央部の初期の切斷は滑行のみによりて起れるものと見ることは困難であらう。

第二節 結晶の永久變形 Armco iron のよく焼鈍(Anneal)せられたる試験片内の個々の結晶は Equiaxial であるから例へ或特殊の方向の軸は幾分これと直角の方向の軸よりも長いとしても其方向は各結晶毎に全く at random である筈であるから今試験片を中心より縦斷し其斷面を十分に磨きたる後 Etch して個々の結晶の斷面を作り其斷面につきて試験片の軸の方向の長さ l とこれに直角の方向の幅 b を測定し個々の結晶につきて $\frac{l}{b}$ の値を求めるときは其値は 1 の前後に變化するも多數の結晶につきての此の値の平均値を求むるときは大凡そ 1 に近き値を示すべきことは蓋然率 (Theory of Probability) の要求する處である。

試験片が弾性變形の範圍を超過して外力を加へられた場合には各結晶は加へられたる外力に應じて滑行を起し力の方向に長く伸ばされこれと直角の方向に横斷面積を減少して永久變形を起す、一般に永久變形の際には同時に弾性變形を伴ひ永久變形の大なる程これに伴ふ弾性變形も大なるものであるが弾性變形は永久變形に比して遙かに小なるものである上に試験片を局部面積縮少を起せる部に於て短かく切斷せる場合に於ては一層小くなるが故に上述の如き $\frac{l}{b}$ の平均値で永久變形の程度を示すことも出来るであらう。

多數の結晶につきての $\frac{l}{b}$ の平均値は試験片に局部面積縮少が起りたる後に於ては其部に於て 1 よりも大なる値をとり永久變形の程度の大となるに従ひ益々大となるであらう。

$\frac{l}{b}$ の平均値はよく焼鈍せられたる試験片に於ては中心部に於ても外縁部に於ても全く同様であらうが緊張力試験に於て局部面積縮少を起せる後に於ては此の部分の中心部と外縁部に於ては必ずしも同一の値をとるとは限られないであらう。

今この $\frac{l}{b}$ の平均値の切斷の進行によりて受くる變化及び試験片の内外部に於ける差の有無並びに其程度を見る爲めに前節の試験に用ひたる試験片の中心にて

1. 全々外力を加へざるもの
2. 適當の外力を加へて少しく局部面積縮少を起さしめたるもの
3. 内部に切斷の小腔を發生せる程度に外力を加へたるもの及び
4. 全く切斷せられ了りたるもの

を選び局部面積縮少を起せる部分の中心部と外縁部の $\frac{l}{b}$ の平均値を各別に測定せるに Table(I) 乃

至 (IV) 及び寫眞 (6) 乃至 (9) に示せるが如く次の結果を得られたり。

Remark	$\frac{l}{b}$ at Central Part	at Exterior Part.
試験前	1.02	1.06
局部面積縮少を起せるもの	1.92	3.59
切斷の小腔を發生せるもの	2.77 (?)	4.04
全く切斷せられたるもの	7.34	10.0 (?)

此の結果の中にて切斷の小腔を發生せるものに於ては既に前節にも述べたるが如く切斷の小腔或は割れ目に接する結晶の伸びは甚だ不同であるから上の結果を絶対に正確なるものと言ひ難きも大體切斷の進行するに従ひ結晶の永久變形の量も次第に大となるが試験片の中心部に於ける結晶は常に外縁部のものよりも受けたる永久變形の程度は遙かに小なることを知る。

上述の結果の中にて特に重要な點は試験片の中心部の結晶は僅かに $\frac{l}{b} = 2.8$ 程度の永久變形を受けて既に切斷せらるゝに反し外縁部の結晶は $\frac{l}{b} \div 4.0$ 程度の永久變形を受くるも切斷せられざることなり。

著者の經驗によれば Armco iron の棒に捻回 (Twist) を加へたる場合には更に一層大なる永久變形を加へるも切斷を起さしめざるを得たり。

これ等の事實によれば緊張力試験に於ては試験片は索引操作の爲めに大なる永久變形を受け Arbeitsfähigkeit を失ふが爲めに切斷せられ而も内部の結晶が外縁部の結晶よりも同一外力によりて大なる永久變形を受けるが故に中心部から切斷が起るとする説は成立困難である、著者の想像する處によれば試験片の内部の結晶も外部の結晶も結晶それ自身の性質には始めは大差はないが索引操作なる一種の變形操作の際には試験片の内部の結晶には外部の結晶よりも滑行を起すに必要な應力は小さく切斷を起すに必要な應力は大きく働くが爲めに寧ろ外部の結晶には大なる永久變形が起りて大いに伸ばされると同時に硬化せられるに反し内部の結晶は伸びの程度も硬化も小さいから内部の結晶に早く切斷が起るものである。即ち滑行と切斷とは理論上異なる現象とせねばならぬ。

而して斯の如く試験片の内外部に於ける結晶に働く應力に變化を與ふるものは多く結晶相互が共存するが爲めに發生せる新しい應力の影響であらうと考へられる。

同様の考へは壓縮試験の場合にも適用せられる例へば直徑 20mm 高さ 30mm の Armco iron 圓筒を水壓によりて高さ 15mm に壓縮し底の直徑と圓筒の軸を含む平面によりて縦斷し Fig 20 に於ける(1)及び(3)なる位置につきて結晶の永久變形の程度を測定するに Table (V) 及び寫眞(10)及び(12)よりも明かなるが如く中心部に於ては $\frac{l}{b} \div 7.0$ に至るも猶ほ且つ切斷は發生せざりき壓縮試験は勿論緊張力試験と全く同様に論ずることは困難ならんもこれによりて結晶の永久變形の程度は單に F. C. Thompson の説の如く隣接結晶の境界による滑行牽制の程度の差のみによりて説明することの極めて困難なるを知る。

此の場合に於ても亦結晶相互の共存關係によりて生ずる新しき應力の影響で内部の結晶には滑行を起す應力が大きく働き外部の結晶には少く働く爲めと考ふることが適當であるまいか。

第三章 試験片切斷の機構

第一節 棒状試験片に於ける横斷面積の大小と面積縮少率との關係 緊張力 (Maximum strength) 弾性限 (Elastic limit) 伸張等率 (Elongation) 等が試験片の横斷面積の大小によりて其値を異にすることは相當注意せられた問題であるが特に面積縮少率 (Area contraction) に對する影響を見ることは重要なことである。

著者は 3 % Sn 及び 9 % Sn の Phosphor bronze, Monel metal, 炭素鋼, 5 % Ni-nickel steel, 及び 70 : 30 Brass 等のよく焼鈍せられたるものを以て各横斷面積の異なる 2 種の試験片を作りて試験せるに Table (VI) に示すが如く總てこれ等の金屬に於ては

横斷面積の小なる試験片を用ひたるものはその大なる試験片を用ひたるものに比し常に面積縮少率大なり。

第二節 棒状及び管状試験片に於ける面積縮少率 横斷面積を一定にせる試験片に於て試験片が棒状なるときと管状なるときに於て緊張力試験値 (Tensile properties) に差異を與ふることなきやを見ることは重要なことである。

よく焼鈍せる電氣銅を以て Fig(1) 及び Fig(2) の如き形狀の試験片を作りて試験せる結果によれば Table (VIII) に示せるが如く

1. 横斷面積の等しき試験片に於ては管状試験片の面積縮少率は棒状試験片の面積縮少率よりも小なり。
2. 横斷面積の等しき管状試験片相互に於ては管の内徑の大なる程面積縮少率小なり。

同様の實驗を管の外徑を一定にして内徑を變化せる試験片につきて行へるに Table (VII) に示すが如く内徑の大なるもの程面積縮少率小なり。

第三節 板状試験片に於ける局部面積縮少 第一節に於ける試験片の横斷面積の大小と面積縮少率の關係並びに第二節に於ける棒状試験片と管状試験片及び寸法を異にする管状試験片相互の間の面積縮少率の關係によれば、今假りに一つの大なる棒状試験片を、より小なる多數の棒状試験片の集合よりなるものと思ふ場合にも或は又互に内接する多くの管状試験片と中心の棒状試験片の集合よりなるものと思ふ場合に於ても其形成分子たる個々の小試験片が互に何等の影響を與へないものと假定するならば此の大試験片に弾性限を超過して大なる緊張力を加へ局部面積縮少を起さしむるときは局部面積縮少を起せる部分に於て個々の小試験片の間に空隙を發生しなければならぬことは容易に想像せられる處である。

此のことを實驗的に證明することは手數を要するを以て著者は Fig (4) 乃至(6)の如き板状試験片を用ひてこの實驗に代へたり。

即ち炭素含有量 0.15 乃至 0.20 %前後の軟鋼板の厚さ 4mm なるものを用ひて試験片を作り試験片の内部に1本乃至2本の切り目を入れこれと全く切り目なき普通板状試験片とをとり同様の状態に於て試験せるに

切り目なき試験片に於ては試験片の中央部に於て大いに幅を減少するも切り目ある試験片に於ては切り目によりて境せられたる部分は2個又は3個の各獨立せる試験片の如く切り目を堺として各別に面積縮少を起し切り目の幅を擴大して空隙を發生す。

又切り目を2本入れたる數個の試験片につきての經驗によれば、

切り目の間の幅が同一なる場合には切斷は必ずしも中央のものから起るとは限らないで、ある場合には寧ろ兩側のものが先づ切斷せられて中央のもののみ残れる場合もありき。

又

切り目の幅が異なるときは幅の小なるものに先づ切斷が起る様である。

此の事實によれば大なる棒状試験片又は板状試験片が緊張力試験の初期に於て局部面積縮少を起しながら猶ほ内部に空隙を發生しないのは試験片内の各部分は外的に加へられたる力による應力と直角の方向に互に強く引き合ひ試験片の外側部を内側部に變形移動せしめ内部に發生する筈の空隙を填充せしめ其結果試験片の外面に大なる局部面積縮少を起すものと考へねばならぬ。即ち外力と直角の方向の新らしい緊張應力 (Tensile stress) が誘導せられこのものが大なる影響を與ふるが爲めに従來の學說によつて説明の困難なる種々の現象があらはれるものではあるまいか。

第四節 試験片切斷の機構 前節の處論と同様のことは試験片が多くの結晶よりなるものと考ふる場合にも成立しないであらうか？ 試験片中の個々の結晶をば假りに正多角筒と考へこれ等の結晶相互の間に外力と直角の方向には力學的關係がないものとするならば永久變形の際に受ける結晶の體積 (Volume) の變化は微小なものであるから試験片に於て最大應力を生ずる横斷面附近の結晶は其上下の結晶よりも大なる永久變形を受けるから局部面積縮少を起せる後に於ては Fig 3 に示してある様に此の部の結晶相互の間に空隙を發生しなければならぬ筈である、而も此の部の内側の結晶も外側の結晶も全く同様の條件の下にあるから若し此の部の結晶に切斷が起るときには内外部に全く同一頻度で起らねばならぬ筈である。

然るに事實斯様の空隙が發生しないで試験片が全體として外面に局部的面積縮少を起すが故に前節の議論と同様に結晶相互は互に外力の方向に直角に働く大なる誘導應力によりて引き合ひ外側の結晶を内部に變形移動せしめて結晶相互の間に發生する筈の空隙を填充するものではあるまいか即ち

多結晶の靱性に富む金屬試験片内の結晶には局部面積縮少を起せる後には外力に直角の方向に新しい緊張應力が誘導せられる此の應力は個々の結晶の永久變形によりて結晶間に發生する筈の空隙を外側の結晶を内側に變形移動せしめて填充するに足る大きさを有する。ものと假定することが真相に近きものと思はれる。

此の誘導せらるゝ第二の應力は勿論結晶が外力によりて受くる變形の度によりて異なるべきであるが
 又第一節にも述べたるが如く試験片内に於ける考ふる結晶の位置によりても異なるものと假定するを適
 當とすることは此の應力は考ふる結晶の外側の結晶に變形移動を與へて結晶間に發生する筈の空隙を
 填充するに足る應力なりとする、上述の機構 (mechanism) より導かるゝ當然の結果である、従つて
 此の第二の應力は試験片の表面の結晶に於ては微小で表面より内部に進むに従つて大となるものと假
 定せられる。

此の外力によりて誘導せらるゝ第二の應力の影響で試験片の内部の結晶は外側の結晶よりも同一の
 外力によりて小さき永久變形を受くるに過ぎざるにもかゝらず早く切斷せられるものと考えふこと
 は出来ないであらうか。

これ等の關係を數學的に示さんに問題を簡單にする爲めに、考ふる結晶を假りに圓筒形のものとし
 外力による應力を T として T は圓筒の底面に直角に働くものとす、結晶の底面積を A_0 とし任意の斜
 面 A 上に於ける應力 T の垂直分應力 (Normal component) N_1 を求むるに T と A の方線 (normal)
 との間角を θ とすれば Fig 7 に於て $N_1 A = T A_0 \cos \theta$ 然るに $A_0 = A \cos \theta$ であるから $N_1 =$
 $T \cdot \cos^2 \theta$ (1)

茲に A_0 及 A は結晶の底面積及び結晶内の考ふる任意斜面の面積である。

同様にして斜面 A 上の T の平行分應力 (Tangential component) S_1 は $S_1 A = T A_0 \sin \theta$

$$\therefore S_1 = T \sin \theta \cos \theta \text{(2)}$$

次に試験片内の結晶に一定の外力による應力 T が働いて居るときこれによりて誘導せらるゝ第二
 の應力を P とするときは、 P は其發生の機構に關する假定から當然導かるゝ様に試験片の形狀、大
 小、及び試験片内に於ける考ふる結晶の位置の關係によりては一つの結晶に於ても其表面上の部分に
 よりて大さを異にすべき筈であるが今假りに一つの結晶の全表面上では方向に關係なく一定の値を有
 するものと假定し先づ比較的簡單なる場合をとり結晶の長さを單位長さ (unit length) として圓筒形
 の結晶の表面を軸に平行なる面 AB にて限り此の限られたる表面 ABC 上に直角に働く P の平面
 \overline{AB} 上の垂直分應力 N_2 を求むるに Fig (8) に於て $N_2 \times \overline{AB} = \int_{\rho_1}^{\rho_2} P \cdot r \cdot d\phi \cdot \sin \phi = 2Pr \int_{\phi_1}^{\phi_2} \sin \phi d\phi$
 $2Pr \cos \phi_1$ 然るに $\overline{AB} = 2r \cos \phi_1$ であるから $N_2 = P$ (3)

即ち \overline{AB} 面上に一定應力 P が均一に働く場合に等しい平面 \overline{AB} 上の P の平行分應力 S_2 は互に消し合
 ふが故に明かに $S_2 = 0$ (4)

でなければならぬ。

上述の場合に於て考ふる圓筒の表面を ACB ととり代りに $AA'B'B$ ととり此の表面に直角に働く
 P の平面 AB 上の垂直分應力を求むるに此の場合には Fig 9 に於て AEA' 表面及び BFB' 表面に
 働くものは相互に消し合ひ分應力を有しないから明かに(3)及び(4)式で示される。

次に問題を一般化して圓筒形の結晶表面を底に直角なる平面にて限る代りに底と任意の角 θ をなす

平面にて限り此の限られたる表面上に働く P の上の斜面上の分應力を求むるに Fig. (10) に於て圓筒を底に平行なる面にて單位高さに切り此の小圓筒を平面 \overline{ABOC} にて限り此の限られたる表面上に働く P の圓筒の底に直角なる平面 \overline{FBCG} 上の分應力は容易に(3)及び(4)式で求むることが出来るから平面 \overline{ABOC} 上の P の分應力を求むるには直接に求むる代りに先づ平面 \overline{FBCG} 上の分應力を求め更に其分應力から計算してもよい筈である、今圓筒の側面を平面 \overline{ABC} にて限り此の限られたる部分に働く P の平面 \overline{ABC} 上の分應力を N_s 及び S_s とすれば $N_s \times \overline{ABC} = P \times \overline{A'BC} \times \sin\theta$. 然るに $\overline{A'BC} = \overline{ABC} \times \sin\theta$. であるから $N_s = P \cdot \sin^2\theta$ (5)

茲に $\overline{A'BC}$ は斜面 \overline{ABC} を底の直徑 BCO を通り底に直角なる平面 \overline{FBCG} 上に投射せる面積である。

全く同様にして平行分應力 S_s は $S_s \times \overline{ABC} = P \times \overline{A'BC} \times \cos\theta \therefore S_s = P \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$ (6) で與へられる。

故に今 P 試験片内の考ふる結晶に外力による應力 T とこれによりて誘導せられたる結晶の表面に直角に働く P なる應力が同時に働くときは結晶内の T と θ なる角をなす方線を有する任意の平面上に於けるこれ等の應力の垂直及び平行分應力は Fig 11 に於て上の (1)(2)(4)及び (5) 式を組合はせて得られるが故に $N = T \cdot \cos^2\theta + P \cdot \sin^2\theta$ (7) $S = (T - P) \sin\theta \cos\theta$ (8)

で示されねばならぬ。

茲に P は T の函数 (Function) であると同時に金屬の性質試験片の大小、試験片内に於ける考ふる結晶の位置及び結晶の大小等によりて變化することは其發生の機構から當然導かれねばならぬことである。

此の式を試験片が緊張力試験によりて切斷せられる際に適用して考ふるに試験片内の個々の結晶の性質及び滑行面、分離面の向き等は全く at random で結晶の位置によりて變る筈がないから試験片に永久變形が起り始むる初期に於ては $P \div O$ T は試験片内至る處同一であるから (8)式に於ける S を極大ならしむる向きの滑行面を有する結晶に先づ滑行が起る S を極大ならしむる向きは明かに $\theta = \frac{\pi}{4}$ の方向であるが若し試験片内の $\theta = \frac{\pi}{4}$ なる或特殊なる平面上に配列せられて居る結晶が多數に $\theta = \frac{\pi}{4}$ なる方向の滑行面を有するときは其間に介在する小數の $\theta = \frac{\pi}{4}$ なる方向の滑行面を有する結晶にも滑行を起さしむることになる、一般には斯の如き場合は穿れて多くは試験片の中央部の或横断面附近に局部面積縮少を發生するも往々 $\theta = \frac{\pi}{4}$ なる特殊の方向に局部面積縮少を發生する場合もある。

或横断面附近に局部面積縮少を起せる後に於ては T の値も此の部に於て極大となると共に P も次第に大となるが故に問題は複雑となる。

試験片の内部の結晶と外側部の結晶を比較するに内部の結晶に働く P は大きく外部の結晶には P が小さく働くが故に同一の外力による應力 T に對して外側部の結晶の滑行面には大なる平行分應力が働き内部の結晶の滑行面には小なる平行分應力が働くことになる。

従つて外側部の結晶は内側部の晶よ結りも同一外力によりて大なる永久變形を受けることになる。

又試験片の内外側部に於ける結晶に分離面を考へ分離面の垂直分應力を求むる時は(7)式で與へられるから一般に内部の結晶の分離面には大なる垂直分應力が働き外側部の結晶の分離面には小なる垂直分應力が働くことになる。

今緊張力試験片に局部面積縮少が起りたる後に次第に大なる外力を加ふる時は試験片の外側部の結晶の中にて $\theta = \frac{\pi}{4}$ なる方向の滑行面を有する結晶に先づ滑行が起る外部の結晶に滑行が起れるときに更に外力を大にするときは始めに滑行を起せる外側部の結晶に滑行が繼續せられると同時に外側部の結晶の中にて $\theta = \frac{\pi}{4}$ なる向きの滑行面を有する結晶に新しく滑行が起る外力を一定に止むるときは一度滑行せる結晶には滑行が起り難くなるが故に間もなく滑行が停止せられるも更に外力を大ならしむるときは外部の結晶に滑行が繼續せられると同時に次第に内部の結晶の $\theta = \frac{\pi}{4}$ の方向の滑行面を有する結晶に滑行が起る次第に斯の如くして外力を増大するに従ひ内部の結晶の $\theta = \frac{\pi}{4}$ なる滑行面の向きを有する結晶にも滑行が起るが外側部の結晶に起る滑行の頻度は常に内側部のそれよりも大である。

結晶に永久變形が起るときは仕事硬化 (Work Hardening) の影響で變形移動が困難になるから外側部の結晶に起れる滑行は益々内側部の結晶に働く應力 P を大ならしめて内側部の結晶に滑行を起り難くす。

斯の如くして外力を次第に大ならしむるときは益々結晶の滑行の度は大となるも或程度以上に T を大ならしむるときは結晶の分離面に働く垂直分應力は分離を起すに充分なるに至る。

分離面に働く垂直分應力は(7)式で與へられるが故に内部の結晶の分離面には大きく働き外部の結晶の分離面には少く働く。のみならず外側部の結晶は内部の結晶よりも大なる仕事硬化を受けて居るから外力を充分に大ならしむるときは滑行は益々起ると同時に試験片の内部に於て N を極大ならしむる方向の分離面を有する結晶か又は滑行の程度の最も小にして仕事硬化の影響の最も小なる結晶に先づ分離が起らねばならぬ。

而して斯の如き条件の下にある結晶は試験片の内側部に at random に存在する筈であるから最初に起れる結晶の分離は不同の間隔を保ちて略ぼ同一横斷面上に發生する筈である。

斯様にして試験片の内部に數個の分離を發生するときは此の分離によりて力學的關係が中斷せられ此の分離に隣接する結晶は容易に變形移動し得るに至るが故に P の値は小となり(8)式に於けるの値が大となりて容易に滑行し得ることになる此の結果切斷面の間が擴大せられて所謂切斷の小腔を形成す。

内部に數個の小腔を發生せる試験片に於ては外力による。應力 T によりて誘導せらるゝ第二の應力 P の値の小腔を含む横斷面上に於ける配布は小腔を發生せざりしと前とは異なるものとなる即ち P の値は小腔附近に至りて急に小となる外に全體としても其値は幾分小となるが故に試験片に更に滑行が起ることになる。

更に外力も増加するときは再び分離面の垂直分應力は分離を起すに充分なる値に到達す、かくして発生する分離は最初に発生せる分離と同一横断面上に於ては P は小であるが、故に之れより少しく上下に位する横断面上で而も最初に発生せる小腔の中間部に及び最初に発生せる分離と同一横断面上で最初に発生せる小腔よりも幾分外側に近き結晶の中にて分離面の垂直分應力が最大なる方面を有するもの或は仕事硬化の最小なりし結晶に分離が起る。

斯の如くして試験片の内部には不同の間隔を有する小腔が最大應力を生ずる横断面の上下に多少の出入をなして多數に発生す。

斯の如き状態に至れる試験片に更に大なる外力を加ふる時は小腔間の部分及び外側部には更に滑行が繼續せられるが小腔間の部分は滑行を起し得る部分の長さも小さく又横断面積も小さいから滑行は局部的に起り間もなく滑行が阻止せらるゝが故に分離面に分離が起りて小腔は連結せられる。斯の如くして試験片の内部には大なる切斷腔が発生して第一段の切斷が完成せられる、此の状態は Fig 12 に示してある。

内部に大なる切斷腔を発生せる Fig 12 の如き試験片の外側部は内外部に自由表面を有し P が小となるが故に更に滑行を繼續し得る P の小なる部分の長さは微小であり横断面積も小さいから滑行は間もなく阻止せられて第二段の切斷が起る。

第二段の最初に発生する分離は P の大なる部分で而も仕事硬化の最小なる結晶の中にて分離面の向きが(7)式の N を最大ならしむる様な結晶に起る筈であるから内部の第一段の切斷腔に近き部分に於て第一段の切斷腔を含む横断面よりは稍上下に Fig 12 の實線又は點線上に発生す。

更に外力を増加するときは更に分離を生ずるも其分離は上述の場合と全く同様の條件の結晶に発生する筈であるから第一の分離に近く而も第一の分離よりは更に上又は下の位置の結晶に発生す、何故なれば第一段の切斷腔を含む横断面と第二段の最初の分離面を含む横断面の間の部分は P は小であるから分離は大體 Fig 12 に於ける實線又は點線上に内部から次第に外側部に発生す。

此の場合にも分離と分離の中間部には滑行は起り得るも滑行を起し得る部分の長さは小さく又横断面積も小であるから間もなく滑行が阻止せられて分離が起る。

即ち第二段の切斷に於ける分離の連結は大體内部の切斷腔に近き部分より始められ遂ひに全く分離せられて全部の切斷を完了す。

斯の如くして甚だ靱性に富む金屬試験片が大なる、局部面積縮少を起したる後に切斷せらるゝ場合には切斷は二段に起り而も分離は結晶に起る滑行とは無關係なるものである。

上記の場合は第一段の分離を発生する面積が比較的大なる場合であるが金屬の種類によりては第一段の分離の起る面積が微小であるものもあるであらう極端な場合には第一段の分離は中心の數個の結晶のみに起り第二段の分離が Fig 12 に於ける實線の方に起るときは往々切斷は一つの斜面上に起る斯の如き場合には切斷は第二段のみに起れるが如く見ゆ、斯の如き状態は結晶の小なる局部面積縮

の程度の小なる間に切斷せらるゝ、金屬試験片に往々見らるゝ所である。

金屬が脆弱にして局部面積縮少を起さざるが如き場合には第一段の分離は互に接近して試験片の外側部まで廣く發生し最初の分離と分離の間の部分も滑行の程度が微小なる間に切斷せられるが故に試験片は外見上唯だ第一段の切斷のみによりて切斷せられたるが如くに見ゆ。

第四章 緊張力試験の際に起る各種現象の説明

上述の理論によれば既に第二章に述べたる試験片切斷の徑路並びに試験片の内外側部に於ける結晶の永久變形の程度の差等は容易に説明せられる外に E. G. Coker 氏等が光弾性學的方法 (Photo Elastic method) によりて得たる結果も亦容易に了解せられるが更に切斷の際に起る各種現象は次の如く説明せられる。

(I) 切斷後の破面 :— 靱性に富む金屬試験片の中心部に於て初期に切斷の起れる部分は滑行を起せる程度小さくして切斷せらるゝが故に粒狀を呈して小腔間の部分は相當に滑行を起せる後に切斷せらるゝが故に筋狀を呈す、故に甚だ靱性に富む金屬試験片の中心部は粒狀並びに筋狀破面が交錯すべき筈である寫眞(15)に示せる C=0.08% 炭素鋼の破面は此の例である。

靱性に富む試験片の外側部は大いに滑行を起せる後に切斷せらるゝが故に全體として筋狀を呈し而も切斷は斜に起るが故に或場合には所謂 Cup-and-cone をなす、切斷面が斜面となす場合が第一段の切斷の起れる面積の小なるものなることは斜面切斷を起せる金屬につきて多數の試験を行ふときは第一段の切斷面の廣狹種々なるものを得らるゝによりて知らる。

金屬が脆弱の度を加ふる時は第一段の切斷の初期の分離の發生する面積も廣く相互の間隔も小となるが故に小腔間の部分も滑行を起す程度の小なる間に切斷せられるが故に内部は全體として粒狀を呈し第二段の切斷の起る面積も小となる寫眞(15)に於て炭素鋼の炭素含有量の増加する程第一段の切斷の面積の大となるは此の例なり。

金屬が甚だ脆弱なるときは第一段の切斷は益々廣くなり遂ひには第二段の切斷の面積は微小となるときは外見上全體第一段の切斷面のみとなる、従つて破面も一つの横斷面上に起り Cup and cone をなすことなし Cast Iron の場合は此の例なり。

(II) 板狀又は方形横斷面の試験片に於ける局部面積縮少 :— 第三章に於ては問題を簡單にする爲めに外力による應力によりて誘導せらるゝ第二の應力は一つの結晶表面に於ては全く一定の値を有し單に試験片の内部の結晶程其値が大となるものと假定しおいたが考ふる結晶の中心と試験片の表面との距離が方向によりて異なるときは勿論 P の値も方向によりて異なるべく考ふる結晶と試験片の中心を結ぶ直線上に於て試験片の表面からの距離の大なる結晶程其上に働く第二の應力の値は大となるであらう。

今試験片の横斷面上に $P = \text{const}$ 則ち試験片の中心と表面とを結ぶ直線上に表面より等距離にある點を求めて結べる曲線を書くときは互に接近せる二つの $P = \text{const}$ なる曲線間の部分は大體同様に滑

行を起すものと見られやう、従つて試験片に局部面積縮少を起さしめたる後には此の部の外面は $P = \text{const}$ なる曲線に接近して来る筈である。方形又は板状試験片に於ける $P = \text{const}$ なる曲線は大體 Fig(13)及び(14)の如きものであるがこれを Duralmin の試験片につきて實驗するに

Mark	Thickness	Breadth	Area	Strength	Elongation on 5 cm
1	14.22mm	18.15mm	258.0mm ²	42.0kg/mm ²	27 %
2	14.31	18.12	25.95	41.0	25

なる成績を與へたるもの、横断面は Fig(15)に於て

mark	t ₁	b ₂	t ₂	b ₂
1	11.35mm	13.95mm	11.18mm	14.214.20mm
2	11.65	14.26	12.09	14.52

なる結果を與へ大體理論の要求に一致するを見る、又板状試験片の表面に横に引きたる平行線が試験後 Convex をなすこと及び板状試験片が幅の中央部から切斷せられることも容易に此の理によりて説明せられる。

(III) 管状試験片に於ける面積縮少率：一第三章の實驗によれば同一横断面積を有する場合に於ては管状試験片の面積縮少率は、棒状試験片の場合よりも小さく又管状試験片相互に於ては内径の大なる程面積縮少率小なりき、此の事實は次の如く説明せられる、管状試験片は一種の變形せられたる板状試験片と考へられる此際に板状試験片と異なる點は幅の方向の面積縮少が妨げられる、點のみである従つて例へ管壁が薄くとも幅の方向には P は大で滑行を妨げらるゝが故に径の減少は小さく面積縮少率小である。

(IV) 外力による應力に直角に應力を加ふる場合の緊張力試験：一第三章に於ては局部面積縮少を起せる試験片には外力による應力 T によりて第二の應力 P が誘導せられ其結果滑行を起す應力が小となることを論じた、此の事を證明するには P の方向に更に外的に大なる應力を加ふる時は滑行が一層起り難くなることを見ればよし。

前項によれば管状試験片は一種の板状試験片と考へらるゝが管状試験片の内部に Plug を挿入するときは幅の方向の滑行は大いに阻止せられ結極大なる外力を加ふるまで切斷せられぬ筈である。

Table XII に示せる結果は $C = 0.15\%$ の軟鋼管につきての試験であるが大體理論の要求する結果に一致するを見る。

(V) 常溫引抜きを加へたる材料の緊張力試験：一常溫引抜きを加へたる金屬に於ては引き抜き方法によりては多少の相異あらんも大體表面の部分は内部よりも大なる永久變形を受けで硬化の度も大である、従つて斯の如き棒にて作れる試験片に牽引を加ふる時は一定の外力による應力 T によりて誘導せらるゝ應力 P は、試験片の表面に近き部分を除けば相當大である従つて内部には容易に切斷を生じ第一段の切斷の發生する面積も引抜きの度の進むに従つて大となる寫眞(15)及び Table (IX) 乃至 (XI) は此の關係を示すものである。

第五章 壓縮試験

第三章に述べたる緊張力試験片切斷の理論は又壓縮試験 (Compression test) の際にも成立する筈

である、靱性に富む金屬壓縮試験片内の個々の結晶が受くる眞の應力は試験片の底に加へらるゝ外力による壓縮應力 T とこれによりて結晶が變形する爲めに隣接結晶に變形移動を起さしむるが爲めに隣接結晶によりて T と直角に加へらるゝ誘導壓縮應力 P とである、従つて結晶内の任意の面に働く分應力は(7)及び(8)式で與へられる即ち $N = T \cos^2 \theta \times P \sin^2 \theta \dots\dots\dots (7)$ $S = (T - P) \sin \theta \cos \theta \dots\dots\dots (8)$

但し此の際にも P は結晶表面上の部分によりて其値を異にする筈であるが問題を簡單にする爲めに第三章の場合と同様に一つの結晶上では一定で結晶の位置が試験片の内部に進む程大となるものと假定す。

壓縮試験の際の滑行は緊張力試験の場合の如く簡單でない壓縮試験片内の一つの結晶に滑行が起り得る爲めには其滑行面の方向の次々の結晶にも滑行が起らねばならぬ即ち(8)式に於て S を極大ならしむる方向即ち $\theta = \frac{\pi}{4}$ の方向の表面上に配列せらるゝ結晶に滑行が起りて外側部の結晶が移動せしめられる。

Fig 17 に於て \overline{AFGD} 及び \overline{BECH} の間の平面の中にて $\theta = \frac{\pi}{4}$ の方向の平面上に存在する結晶は全く同様の關係にあるが故に滑行に對する抵抗は等しく又これ等の平面上に存在する結晶に働く外力による應力 T 及びこれによりて誘導せらるゝ應力 P は全く同様の關係にあるが故に上記の範圍内の $\theta = \frac{\pi}{4}$ なる方向の平面上の結晶は全く同一頻度で滑行を起すことが出来る。次に $\theta = \frac{\pi}{4}$ なる方向の平面の中にて Fig 18 に於ける XY と BE とを比較するに、これ等の兩平面上に配布せられて居る結晶それ自身の性質は全く at random であるから同様であるがこれ等の平面上の結晶に働く應力は同様の關係にない、何故なれば XY 平面が XX' まで伸びて居つて始めて BE と同様の關係に立つ即ち XY 平面上に配列せられる結晶は面積の割合に試験片の表面に近き結晶が少くして中心に近き結晶が多いから XY 平面上の結晶には P の大なるものが多い従つて一定の外力による壓縮應力に對して XY 平面上の總ての結晶に働く滑行面の平行分應力は BE 平面上の總ての結晶に働くものよりも小であるから XY の如き平面上の結晶に起り得る滑行の頻度は BE 平面上の結晶に比して小である、 XY 平面の位置が BE に接近する時は其滑行の頻度も次第に接近す、 XY 平面が BE を遠ざかりて底の中心 O を通る時は總ての關係は BE 平面と同様になるが故に滑行の頻度も等しく O を通過して A に近づくに従ひ益々滑行の頻度大となる、何故なれば XY が O を通過して A に近づくときは其上に配列せられる結晶には小なる P の働くものが多くなるが故なり。

即ち XY の位置が B と O との間に来るときに其上に配列せられる結晶の滑行の頻度が極小なる場合がある其位置は Fig 18 に於て大體面積 $O'MN$ も極大ならしむる附近であるからであるから

$\Delta OMN = \gamma \cdot \sin \phi \times \gamma \cdot \cos \phi = \gamma^2 \cdot \sin \phi \cos \phi$ であるから $\phi =$ なる位置である然るに $h = \gamma \sin \phi$ であるから $h = \frac{\gamma}{\sqrt{2}}$ なる位置に於ては XY が底を切るとき即ち X, Y に一致せるときに此の上の結晶に起り得る滑行の頻度は最小である。

此の理論によれば壓縮試験片内に於て最も多く永久變形を受くるは Fig 17 に於ける $IJKL$ の範

圓の結晶と試験片の底の外周 A, B, C, 及び D に近き結晶で次に多くの永久變形を受くるものは \overline{AGIL} , \overline{CEIJ} , \overline{DFKJ} 及び \overline{BHKL} の範圍の結晶である。これに反して最も少く永久變形を受くるは \overline{EGI} 及び \overline{KHF} の範圍のもので次に少きは L の上方及び J の下方の部分であるべき筈である、尤も \overline{GEI} 及び \overline{KHF} の部分は試験片の底面積と高さの關係によりて或は廣くなり或は狭くなることあるは當然の理である。

壓縮試験に於ては分離面の垂直分應力は分離面を密着せしむる方向に働くが故に此の分應力によりて分離の起ることは無いであらうが Fig 17 に於て \overline{GEI} 及び \overline{HFK} の部分は滑行の程度小さくして内部に滑行の程度の大なる \overline{IJKL} なる部分を有するが故に壓縮試験後圓筒の周の方向に緊張應力を受ける、従つて若し分離が起るとすれば此の部である割れ目は縦に發生しなければならぬ、此の理論が實際と一致するや否やを見る爲めに直徑大凡そ 20mm 高さ 30mm の Armeo Iron の試験片を水壓によりて高さ 15mm に壓縮せるものを底の中心を通る平面にて切斷し斷面を磨きて Etch せるに大凡そ Fig 19. に示すが如き結晶の永久變形の配置をなし大體理論の要求と一致するを見る寫眞(10)乃至(14)は Fig 20 に於ける 1, 2, 3 及び4の位置の組織を示すものなり。

又上記の理論に従ひば壓縮試験後試験片が太鼓腹となることも極めて容易に了解せられる即ち Fig 17 に於て試験片を底に平行に切りて考ふる時は中央部に於ては大なる永久變形を受くる結晶が廣く配布せられて居るが其上下に至るに従ひ其配布せらるゝ面積次第次第に小となり且つ永久變形の程度も小となるが故に試験後に太鼓腹となるのであらう。

又上述の理論に於て底の中心より大凡そ $\frac{r}{\sqrt{2}}$ の距離に永久變形の程度の最小なる結晶が存在することも往々壓縮試験の際に感知せらるゝ處なり。

結晶の滑行と分離とは全く無關係なることは壓縮試験によりても證明することが出来る。

第六章 結 論

以上研究の要點を總括すれば次の如し。

1. 多結晶の金屬試験片が緊張力試験に際して受くる內的變化を金相學的に研究した。
2. 緊張力試験片が切斷せらるゝ際の徑路を明かにした。
3. 試験片に切斷が起るまでの間にあらはるゝ現象の考察から局部面積縮少を起せる試験片内の結晶には外力による應力と直角に新しい應力が誘導せられることを假定し此の應力は外側部の結晶に變形移動を與へて内部に發生する管の空隙を填充せしむるに足る値を有するものとして緊張力試験に於ける試験片切斷の機構に關する新らしい理論を提出した。
4. 此の新理論によりて試験片切斷の際にあらはるゝ諸現象を説明し猶ほ新理論より推理せらるゝ現象が實際存在することを實驗した。
5. 新理論によりて壓縮試験の機構を説明し實際とよく一致することを見た。
6. 緊張力試験の際の切斷に分離面の垂直分應力によりて起り滑行面の平行分應力によりて起るが故

に此兩者は直接無關係にして滑行によりて分離が起る場合は無いものと考へてゐる。

本研究は棒又は管の冷間引抜きの際に發生する蛇腹 (Trichter formige Brüchen) の現象を説明する豫備として行へるものであるから獨立しては多くの不備の點を有すると同時に比較的重要ならざるが如き事項に亘れる點もあるがこれは後に發表する蛇腹の現象の説明に引用せんとする用意に出でたるものなり。

終りに臨み著者は本研究に際し色々と御指導を賜つた、京都帝國大學教授工學博士松村鶴造、種々有益な助言を賜つた本社技師長工學博士杉浦稠三、理學博士松田孜、並びに本研究に多大の興味を有せられ發表を許可せられた支配人古田俊之助諸氏に篤く御禮を申し上げる。

住友伸銅鋼管株式會社研究室にて 15-10-30

TABLE. I.

Armco Iron の緊張力試験片に於ける $\frac{l}{b}$ 、試験前、焼鈍状態

$l \times 200$ cm	Central Part		$\frac{l}{b}$	$l \times 200$ cm	Exterior Part		$\frac{l}{b}$
	$b \times 200$ cm	\bar{b}			$b \times 200$ cm	$\frac{l}{b}$	
3.55	6.90	0.52		3.35	2.70	1.24	
3.15	3.55	0.89		4.60	3.75	1.22	
4.55	7.10	0.64		2.85	3.20	0.49	
5.60	3.50	1.65		3.35	6.80	0.49	
2.85	2.45	1.16		3.20	4.80	0.67	
2.65	2.35	1.13		2.45	2.10	1.15	
3.15	3.15	1.00		2.10	2.35	0.90	
2.35	1.95	1.21		2.60	1.95	1.33	
3.10	3.10	1.00		2.40	1.95	1.23	
3.45	3.45	1.00		1.00	1.30	0.77	
3.75	4.10	0.92		3.45	1.30	2.66	
2.85	2.85	1.00		2.70	2.00	1.35	
3.45	3.20	1.08		3.20	6.05	0.53	
3.10	3.10	1.00		1.55	2.55	0.61	
5.40	4.35	1.24		2.10	3.00	0.70	
3.40	4.50	0.76		2.75	2.10	1.31	
4.15	3.75	1.11		2.05	2.05	1.00	
5.05	6.70	0.75		1.15	1.60	0.73	
4.75	4.35	1.09		2.80	5.80	0.48	
4.45	5.50	0.81		2.00	4.15	0.48	
1.95	2.35	0.83		1.50	2.50	0.60	
4.00	4.00	1.00		1.10	4.00	1.77	
4.15	3.20	1.30		2.35	1.80	1.30	
3.30	6.00	0.55		4.15	2.75	1.51	

3.70	5.75	0.64	2.50	2.50	1.00
5.25	2.00	2.63	3.40	3.00	1.13
5.95	5.25	1.13	2.13	2.35	0.89
3.25	3.45	0.94	5.55	2.90	1.91
4.55	3.60	1.26	2.60	2.35	1.11
1.80	3.20	1.56	2.50	3.15	0.79
		<u>1.02</u>			<u>1.06</u>

TABLE II.

Armco Iron の緊張力試験片に於ける $\frac{l}{b}$ 局部面積縮少を起せる状態

Central Part			Exterior Part		
$l \times 200$ cm	$b \times 200$ cm	$\frac{l}{b}$	$l \times 200$ cm	$b \times 200$ cm	$\frac{l}{b}$
13.35	5.50	2.4	17.15	2.95	5.8
3.55	0.95	3.7	11.70	5.35	2.2
6.35	2.55	2.5	8.50	3.80	2.2
4.40	3.30	1.3	7.35	3.20	2.3
3.00	1.85	1.6	12.30	2.30	5.3
6.90	4.40	1.6	12.00	3.50	3.4
11.60	7.20	1.6	12.55	3.20	3.9
9.00	4.20	2.1	8.40	2.25	3.7
7.00	4.75	1.5	9.80	2.40	4.1
5.10	2.85	1.8	5.10	0.85	6.0
8.25	3.85	2.1	12.10	5.40	2.2
4.15	2.70	1.5	8.85	3.20	2.8
7.60	3.80	2.0	7.55	4.20	1.8
4.30	2.70	1.6	6.30	1.60	3.9
9.05	6.15	1.5	8.85	2.06	4.3
<u>6.90</u>	<u>3.78</u>	<u>1.92</u>	<u>9.90</u>	<u>3.08</u>	<u>3.59</u>

TABLE III.

Armco Iron の緊張力試験片に於ける $\frac{l}{b}$ 内部に切斷の小孔を發生せる状態

Central Part			Exterior Part		
$l \times 100$ cm	$b \times 100$ cm	$\frac{l}{b}$	$l \times 100$ cm	$b \times 100$ cm	$\frac{l}{b}$
6.90	2.65	2.6	10.80	2.80	3.9
5.20	2.20	4.4	4.70	0.85	5.5
3.35	1.35	2.5	5.20	1.75	3.0
5.50	1.75	3.1	5.15	1.10	4.7
8.20	2.80	2.9	6.95	1.90	3.7
6.35	2.05	3.1	5.40	1.65	3.3
		<u>2.77</u>	2.30	0.55	4.2
					<u>4.04</u>

TABLE IV.

Armco Iron の緊張力試験片に於ける $\frac{l}{b}$ 切斷後の試験片の中央の状態

At Fracture			1 cm distant from fracture		
$l \times 200$ cm	$b \times 200$ cm	$\frac{l}{b}$	$l \times 200$ cm	$b \times 200$ cm	$\frac{l}{b}$
15.0	1.6	9.4	9.3	6.3	1.5
12.5	2.4	5.2	11.2	6.9	1.6
8.6	3.2	2.8	10.6	3.9	2.7
17.9	1.8	10.0	9.6	2.6	3.7
16.4	1.4	11.7	15.0	5.8	2.6
14.4	3.1	4.7	9.8	5.6	1.7
18.3	2.1	8.7	14.6	5.7	2.6
26.1	3.6	7.3	8.1	7.1	1.1
16.0	4.5	3.6	7.9	4.2	1.9
8.3	1.8	10.0	13.4	5.1	2.6
		7.34			2.00

TABLE V.

Armco Iron の壓縮試験片に於ける $\frac{l}{b}$ 、30 m/m より 15 m/m に壓縮せる内部

Central Part Fig 20 に於ける位置(3)			Fig 20 に於ける位置(1)		
$l \times 200$ cm	$b \times 200$ cm	$\frac{l}{b}$	$l \times 200$ cm	$b \times 200$ cm	$\frac{l}{b}$
9.80	1.30	7.5	6.60	3.60	1.8
10.95	2.90	3.8	6.50	5.10	1.3
5.20	0.90	5.8	6.50	2.70	2.4
8.60	1.45	5.9	4.20	2.10	2.0
9.65	0.75	12.8	7.90	3.30	2.4
16.50	1.95	8.5	3.80	1.90	2.0
12.70	1.75	7.3	5.20	2.20	2.4
18.10	2.10	8.6	6.40	4.20	1.5
10.20	1.55	6.6	9.20	3.00	3.1
10.60	1.40	7.6	7.10	5.70	1.2
9.30	1.60	5.8	7.10	9.80	0.7
15.40	2.50	6.1	6.80	4.10	1.7
15.30	2.60	5.9	3.70	2.80	1.3
12.20	1.20	10.1	4.80	3.20	1.5
9.60	1.70	5.6	4.20	1.60	2.6
		7.19			1.86

TABLE VI.

Relations between Tensile Properties and Sectional Area of Test Pieces.

Material	Rod	Gage	Tensile-	Elongation	Area
	Dia.	leng.	strength		contraction,
	In.	In.	T/sq.In.	%	%
3% Sn. Phosphor Bronze....	0.563	2.00	20.3	61.0	71.0
	0.397	1.41	20.6	68.1	75.1
9% Sn. Phosphor Bronze....	0.562	2.00	24.0	46.0	44.0
	0.398	1.41	26.4	63.7	58.7
Monel Metal	0.563	2.00	41.2	41.0	65.6
	0.397	1.41	41.3	43.2	67.9
70:30. Brass	0.554	2.00	32.3	....	60.8
	0.398	1.41	31.7	....	63.7
Carbon Steel	0.564	2.00	35.2	28.0	49.3
	0.368	1.41	35.7	27.6	49.2
5% Ni. Nickel Steel	0.565	2.00	30.6	35.0	72.2
	0.398	1.41	31.0	33.5	72.9

TABLE VII.

Tensile Properties of Annealed Copper

Dimension of Test Piece							Breaking Part		
Gage	Aut.	In.	Sec.	Maximum	Elon-	Reduc-	Aut.	In.	Remarks
leng.	Dia.	Dia.	area,	strength	gation	tion of	dia.	dia.	
mm	mm	mm	sq.mm.	kg/sq.mm.	%	Area,%	mm	mm	
50	20.00	....	314.2	21.93	62	72.7	10.45	....	Rod
"	19.97	5.25	291.6	22.17	52	63.9	12.25	4.00	Tube
"	19.88	10.75	219.7	22.67	51	62.4	12.80	7.65	"
"	19.77	15.20	131.4	13.18	46	59.4	14.15	11.50	"

TABLE VIII.

Tensile Properties of Annealed Copper

Gage	Aut	In.	Sec.	Maximum	Elongation	Reduction	Breaking	Part	Remark
leng.	Dia	Dia.	Area	strength.		of Area	Aut.	In.	
							dia	dia	
50	17.31	....	235.4	22.05	60	71.4	9.25	....	Rod
"	17.30	....	235.1	22.00	62	71.1	9.30	....	"
"	18.02	5.10	234.6	22.00	55	63.9	11.10	3.9	Tube
"	18.02	5.15	234.6	22.09	53	64.2	11.10	4.0	"
"	18.68	7.15	233.9	22.20	52	61.9	11.90	5.3	"
"	18.68	7.15	233.9	22.16	53	65.1	11.50	5.25	"
"	19.99	10.33	230.4	22.40	50	60.2	13.25	7.85	"
"	19.99	10.33	230.4	22.20	51	62.3	12.96	7.55	"

TABLE IX.

Carbon Steel C=0.07~0.09

Mark	Test Piece					Cold drawing to Dia. in m/m
	Gage	Aut	Sec.	Reduction%	of Area at Fracture.	
	leng mm	Dia mm	Area, sq. mm			
1	50	14.31	160.8	71.0	40.00	annealed
1	"	14.31	160.8	70.3	"	
2	"	14.30	160.6	69.5	38.95	
2	"	14.31	160.8	67.2	"	
3	"	14.31	160.8	63.1	37.90	
3	"	14.32	161.1	63.1	"	
4	"	14.32	161.1	63.9	36.76	
4	"	14.32	161.1	62.3	"	
5	"	14.31	160.8	58.6	35.78	
5	"	14.31	160.8	55.0	"	

TABLE X.

Carbon Steel C=0.19~0.23%

Mark	Test Piece					Cold drawing to Dia. in m/m
	Gage	Aut	Sec.	Reduction%	of Area at Fracture.	
	leng mm	Dia mm	Area, sq. mm.			
1	50	14.32	161.1	59.6	40.06	annealed
1	"	14.31	160.8	61.3	"	
2	"	14.31	160.8	57.8	33.00	
2	"	14.31	160.8	56.8	"	
3	"	14.31	160.8	53.1	37.94	
3	"	14.27	159.9	53.8	"	
4	"	14.31	160.8	48.2	36.78	
4	"	14.31	160.8	47.2	"	
5	"	14.31	160.8	46.1	35.80	
5	"	14.32	161.1	47.3	"	
6	"	14.31	160.8	40.9	34.65	
6	"	14.31	160.8	40.9	"	
7	"	14.32	161.1	36.6	33.50	
8	"	14.31	160.8	30.9	33.22	
8	"	14.32	161.1	32.1	"	

TABLE XI.

Carbon Steel C=0.58%

Mark	Gage leng. mm	Test Piece		Reduction % of Area at Fracture.	Coldrawing to	
		Aut Dia mm	Sec. Area, sq.mm.		Dia. in m/m	
1	50	14.31	160.8	56.8	40.24	annealed
1	"	14.31	160.8	58.6	"	
2	"	14.29	160.4	54.8	39.12	
2	"	14.31	160.8	55.0	"	
3	"	14.30	160.6	51.1	38.07	
3	"	14.31	160.8	49.2	"	
4	"	14.28	160.2	46.0	36.90	
4	"	14.31	160.8	46.1	"	
5	"	14.32	161.1	43.1	35.92	
5	"	14.32	161.1	36.6	"	
6	"	14.32	161.1	33.3	34.80	
6	"	14.32	161.1	34.4	"	
7	"	14.32	161.1	29.1	33.58	
8	"	14.31	160.8	27.3	32.32	
8	"	14.31	160.8	27.3	"	

TABLE XII.

Dimension of Test Piece						
Gage leng. mm	Aut Dia. mm	In. Dia. mm	Sec. Area, sq. mm.	Maximum strength kg.sq. mm.	Elon- gation %	Remark
50	18.75	14.75	106.0	50.0	3	plug.
"	18.75	"	104.0	56.4	3	"
"	18.75	"	106.0	64.0	2	"
"	18.74	"	105.0	52.5	3	"
"	18.75	14.75	106.0	47.6	29	no plug
"	"	"	"	42.6	31	" "
"	"	"	"	40.1	38	" "
"	"	"	"	51.7	22	" "

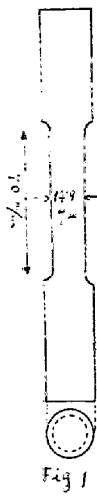


Fig 1

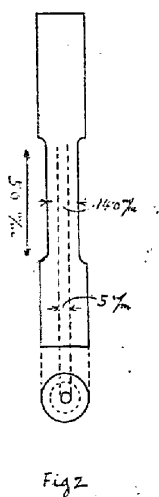


Fig 2

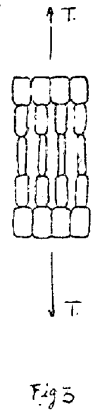


Fig 3

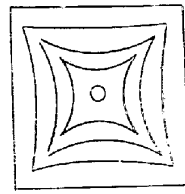


Fig 13



Fig 14

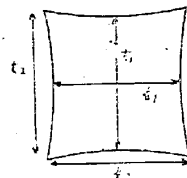


Fig 15

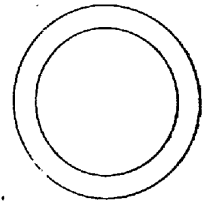


Fig 16

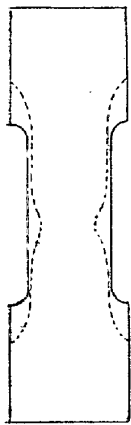


Fig 4

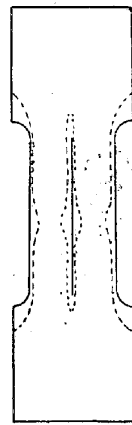


Fig 5

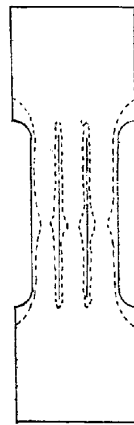


Fig 6

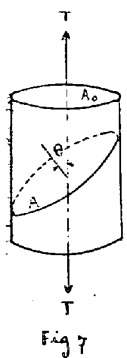


Fig 7

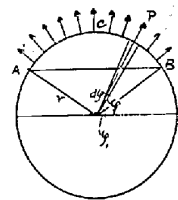


Fig 8

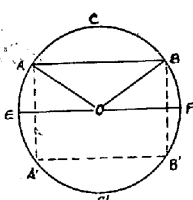


Fig 9

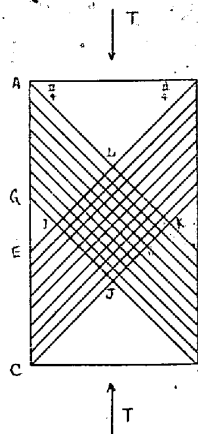


Fig 17

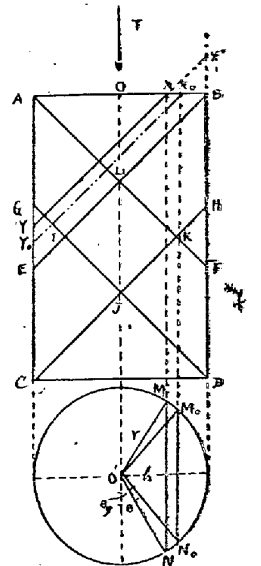


Fig 18

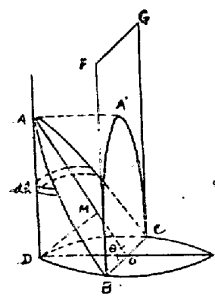


Fig 10

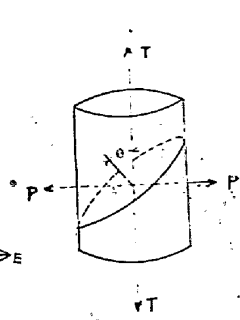


Fig 11

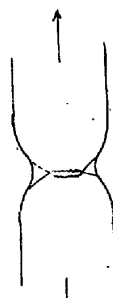


Fig 12

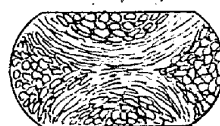


Fig 19

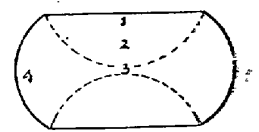
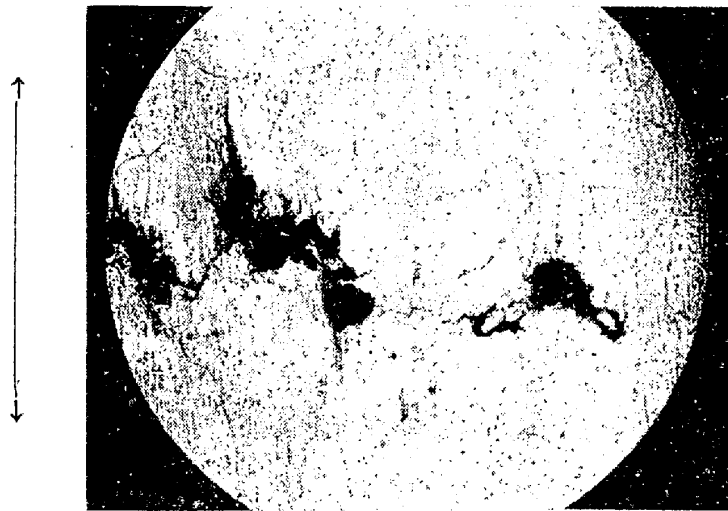


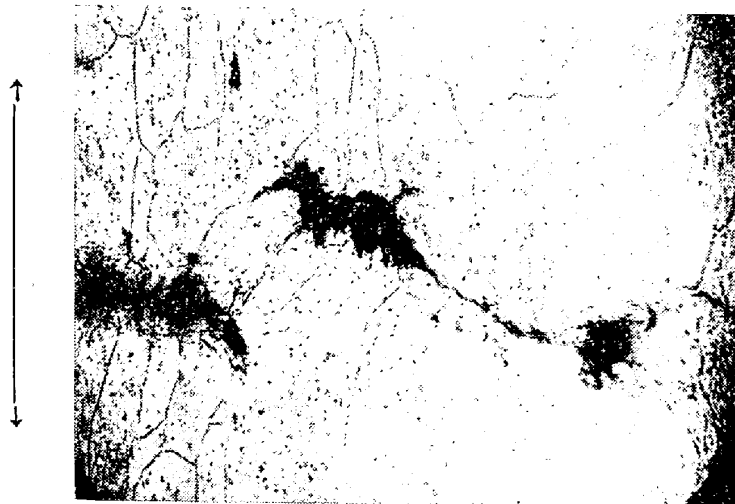
Fig 20



PHOT. 1 緊張力試験片の中心部 mag 約25

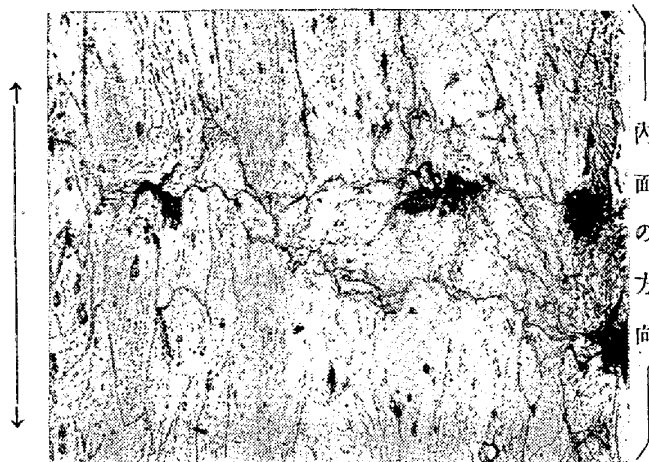


PHOT. 2 緊張力試験片の中心部 mag 約25



PHOT. 3 緊張力試験片の中心部 mag 約25

PHOT. 4 管状試験片 mag 約 45

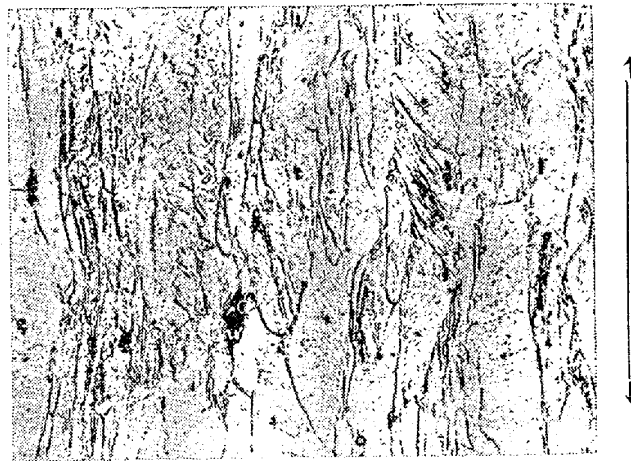
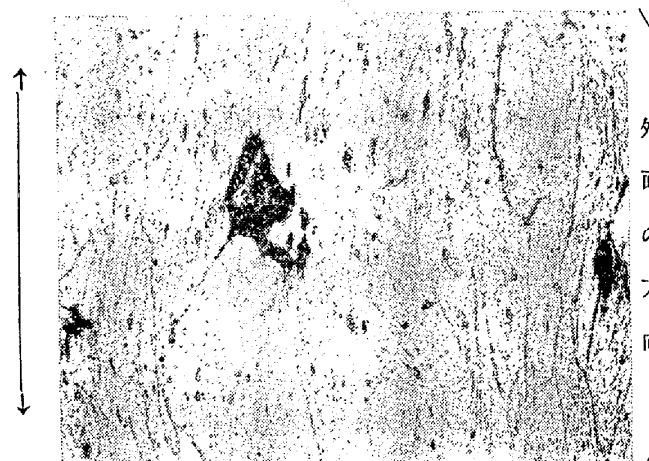


PHOT. 6 Armco Iron 緊張力試験片局部面積縮小を起せるものの中心部 mag約45



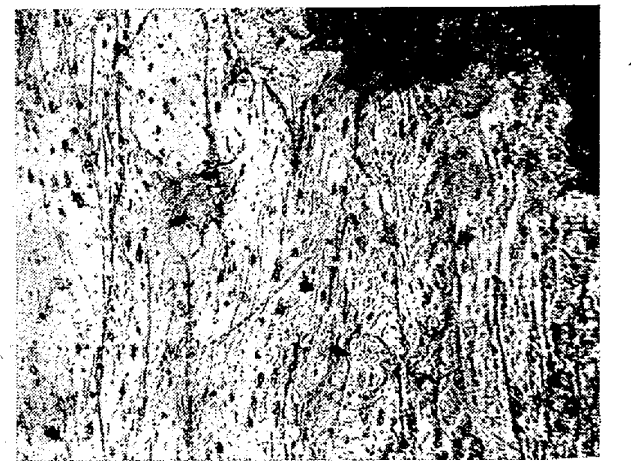
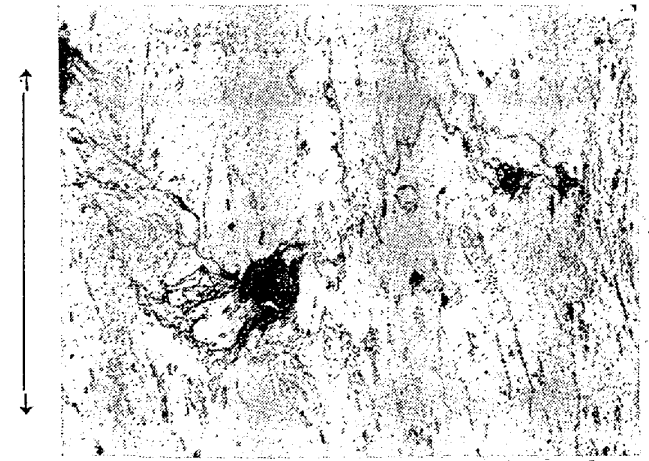
PHOT. 4 mag 約 45

PHOT. 7 同上外側部 mag 約 45

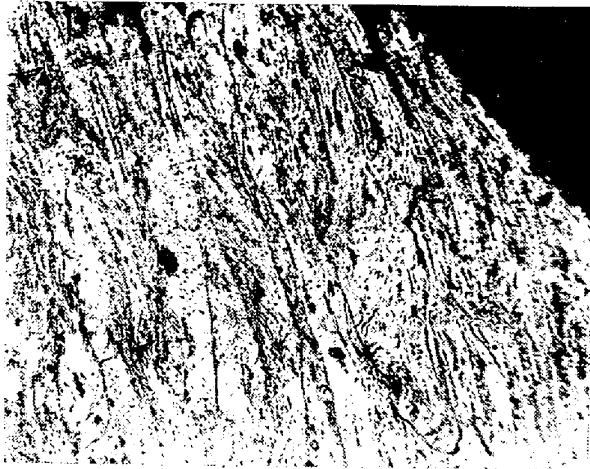


PHOT. 5 管状試験片 mag 約 45

PHOT. 8 緊張力試験片切斷部中央 mag 約 45



PHOT. 9 緊張力試験片切斷部中央 mag 約 45

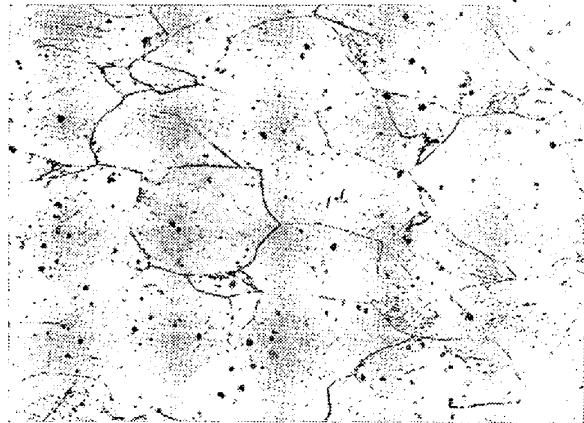
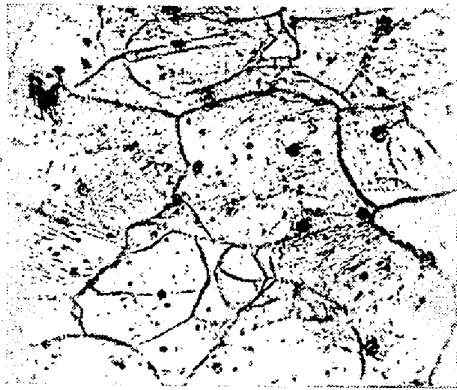


PHOT. 12. Fig 20に於ける位置(3)mag 約 90

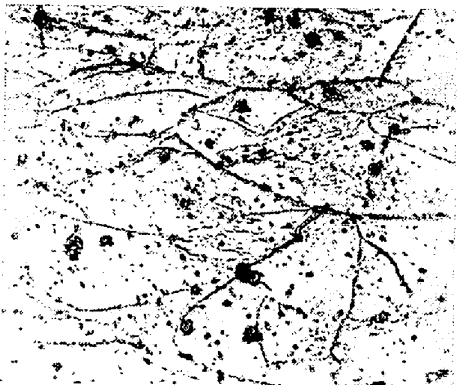


PHOT. 13 Armco Iron 壓縮試験片
Fig 20 位置(4)mag 約 45

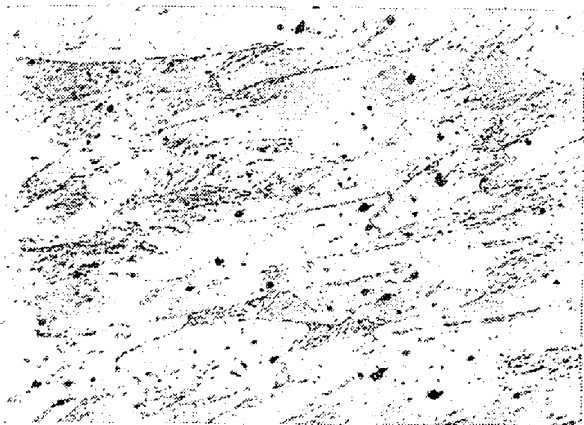
PHOT.10 に於ける位置 3 mag 約 90



PHOT.11 Fig20に於ける位置(2)mg約90

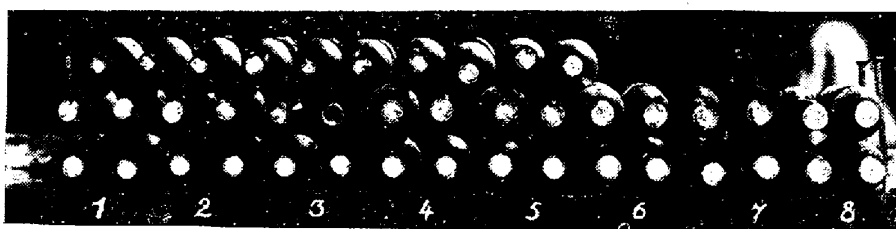


PHOT. 14 同上位置(4) mag 約 45



PHOT. 15 Cold Drawingを加へたる炭素鋼試験片の破面

Tobl IX.X.XI 参照



C=0.08%

C=0.20%

C=0.58%