

# 金屬並に合金の折れ口 (Fracture) の型式に就て

(第1報 單相の部)

(日本鐵鋼協會第八回講演大會講演)

飯 高 一 郎

ON THE TYPES OF FRACTURES OF METALS AND ALLOYS.  
(PART I. PURE METALS AND MONO-PHASE ALLOYS.)

By Ichirō Itaka, Kōgakuhakushi.

*SYNOPSIS:*—Fractures of metals and alloys are technically very important. They differ from each other according both to kinds of materials and applied forces. I have classified all these fractures into 4 types according to the path and mechanism of rupture. The types for poly-phase alloys may be considered as combinations of those for mono-phase ones.

Type 1. Transgranular. Separation occurs along cleavage planes or "Spaltfläche". Fineness of fracture coincides with grain size. Very rough fracture.

Type 2. Transgranular. Slipping occurs along slip planes. Fracture is generally very much finer than grain size, fineness is equal with slip band size. Very fine fracture.

Type 3. Transgranular. Breaking occurs along dendrite boundaries. Fineness is quite indifferent with grain size and coincides with dendrite size. Very fine fracture.

Type 4. Intergranular. An abnormal fracture breaking along grain boundaries. Fineness coincides with grain size. Very rough fracture.

Type 3 was discovered by my experiments. Many common metals and alloys belong to this type, other three types being met with rather in rare cases. The reasons for proposing the new type are described in this paper. Test pieces were always broken by bending with shock force. Fractures, when viewed by naked eyes, give a feeling of fineness or roughness which of course is due to the zigzags on the surface. The characteristic features of type 3 are as following:

(a) The width of zigzags which determines the fineness is far smaller than grains but of equal size with dendrites. The fineness of fracture in natural size of  $\alpha$  brass is smaller than  $1\frac{1}{10}mm$ . The grains are  $1mm$ . or so wide and  $10mm$ . or more long while the dendrites are about  $\frac{1}{30}mm$ . thick and correspond just to the zigzags of the fracture.

(b) The path of fracture runs mostly along the trunks and big branches of dendrites, and even when the force acts so as to cross them they project (or sink) a little resulting in both cases the unevennesses of their sizes on the fracture.

(c) Dendrites are revealed in most fractured surfaces and contribute directly to the feeling of fineness. They are of equal size with the dendrites shown in the photomicrographs of the polished and etched surfaces.

(d) Is the grain size proportional to the dendrite size and consequently proportional also to fineness? That the answer is negative and the fineness is quite independent of grain size was proved by photomicrographs of gun metal ingots cast at various temperatures. Even the specimens of the same grain size give quite different finenesses when the dendrite sizes are different. Besides, specimens of larger grains have finer fracture than specimens of smaller grains when the dendrites of the former are smaller. That the fracture is exceedingly fine as compared with grain size was clearly proved by many photographs. Fracture of large dendrites is coarse and that of small ones is fine. Even different alloys are of the same fineness when their dendrite sizes are equal. These results were confirmed on fractures of steels, various copper alloys, light alloys and pure metals. Examples of the fractures belonging to the other three types were also given on steels, non-ferrous alloys and pure metals.

内 容

緒言——折れ口の 4 型式——單相第 1 型式——  
單相第 2 型式——單相第 3 型式——單相第 4  
型式

1. 緒 言

鑄物工場に於ては試験片又は製品を鑄造するや、直ちに其の一部を採りて折り挫き、破壊面の粗密等を観察し、以て品物の良否を判定するを常とする。壓延、引き抜き、鍛造した材料も、折り又は引張りて切りたる破壊面を見て、其の良否を判定するものである。破壊面を見て材質を判定する事は、甚だ簡單にて日常茶飯事なれ共、實際は最も根本的に重大なる實用的意義を持つものである。

破壊の原因たる力の種類 (Tension, Compression, Shock, Bending, Alternate bending etc.) に依りては、同一材料と雖も必しも同一の破壊面を現はすとは限らない。又破壊の仕方、通路も必しも同一ではない。例へば Tension で切つた破壊面は非常に緻密で Ductile に見えるが、Alternate bending で折れば、Brittle で粗い面を現はす如くである。されど破壊力の加へ方を大體同一に保てば、乃ち Tension で切つた破壊面だけを比較するか、或は Shock で折つた破壊面だけを比較すれば、同一材料は常に同一の破壊面を現はすものである事は云ふ迄もない。

次に述ぶる研究は衝撃的力 (Shock) を用ひて Simple bending で折つた破壊面に就てなされたものである。斯の如く力の種類に依つて破壊面は多少變るけれ共、破壊の仕方、破壊面の通路 (Path of fracture) には多くの種類は無いのである。あらゆる種類の力に依る破壊の仕方を文献に依つて調査綜合すれば、單相合金に就ては後に述ぶる如

き 3 つの型式以外に出ない事が分る (余の發見を加へれば 4 型式となる)。

余は多くの金屬並に合金に就て研究したる結果、新に 1 型式を發見した。而も普通の金屬並に合金は主として此の新型式に屬するものであつて、從來の 3 型式は寧ろ稀に見られる型と思はれる位である。依て從來の 3 型式と合せて 4 型式に分類するの極めて適當なるを信ずるものである。

2 相以上の多相合金の場合は、その組織を形成する各相に就て單相合金に関する議論や、型式を適用すればよい。組織全體としては單相合金の 4 型式の Combination と見做すべきである。

2. 折れ口の 4 型式

破壊面 (Fractured surface) を肉眼で見た場合の粗密度 (Fineness 又は Roughness) は勿論表面に存在するギザギザの凹凸の粗密に依るもので、之は又破壊の仕方及び破壊が如何なる通路をとるかに依つて支配されるものであるから、この仕方 (折れ方、割れ方又は切れ方) と通路に依つて破壊面の型式を分類する事としよう。

Metallography, Alloys, Material Testing 等に関する 10 數冊の書籍を涉獵したるに Fracture に関して記述しあるは附記の文献にあげたる 10 冊であつた。之等の記述を綜合するに、あらゆる種類の力に依る金屬及び合金の Fracture は單相合金に就ては次の 3 型式 (1, 2, 4) 以外に出ない事が分る。此の分類は著者自身の作つたもので、從來の諸學者はかく明瞭には分類して居らないけれ共、その意圖を察すれば、この分類法の極めて妥當なるを信ぜしめる。第 3 型式は余の新に提唱したもので、全く樹枝狀晶 (Dendrite) に起因する型式である。[Fracture を論ずるに當つて

Dendrite を考慮に入れたる學說、型式は寡聞なる余の未だ知らざる所である。而も通常の金屬並に合金は主として此の型に屬し、1、2、4 型は寧ろ稀なる位であるから新型式を提出する事は極めて正當である。次に單相なる語の意義に就て少しく注釋を加へよう。固溶體合金の Dendrite は濃度の不均一に起因するのである。乃ち濃度を異にする固溶體が連続的に相接して居るのである。恰もよく攪拌しない食鹽水溶液が場所によつて濃度を異にする如きものである。濃い部分から薄い部分に向つて絶えず擴散が進行しつゝあるのだ。非常に遅くはあるが變化が進行しつゝある状態であつて、平衡状態には存在しないのだから相律を適用する事は出来ない。相律で用ふる相の概念から云へば、固溶體合金の濃度の少しく異なる相接した部分は異相とは云へないのである。かゝる意味からして Dendrite 合金をも單相合金と見做さう。(假令顯微鏡下に見る Dendrite は一見多相合金の如くに見えるにも拘らず)。

Cu-Ni 系の如く全濃度に互つて固溶體を作る系でも、實際の合金は Dendrite を成し、熔融點附近の高温度で非常に長時間焼鈍せねば單相とはならないけれ共、通常平衡圖から考へて單相合金と見做して居るのである。合金に非ざる純粹の金屬の Dendrite も勿論單相と見做すべきである。

又少量含まれて居る物質が Grain や Dendrite の境界に沿つて集合する場合がある。例へば純銅中に含まれておる 0.05% 位の酸素の爲めに現はれる Cu と  $Cu_2O$  との共晶 (Eutectic) の如きものである。此の場合には、嚴格に云へば勿論多相合金であるけれ共、集合した第二相が僅少の場合には單相合金と見做して差支ない。何となれば、

實際問題としては不純物の少しも含まれない金屬は存在しないからである。第二相がもつと多くて多相合金なる事が明瞭であつても、全體の面積の數%以下であつて、破壊面の状態に少しも影響を及ぼさない場合(例へば炭素鋼の  $C=0.15\%$  以下の如し)には單相合金として論すべきである。

次に單相金屬並に合金の折れ口の 4 型式を擧げよう。

1) 結晶を横切り (Transcrystalline, Transgranular, Across the Grains) 劈開面 (Cleavage, Spaltfläche, Reitzfläche) に沿つて割れる。多數の小さい平面を露出する爲に Fracture はキラキラ光る。Fracture の Fineness は Grain size と一致する。粗大の折れ口である(第 1 圖)。

2) 結晶を横切り (Transcrystalline, Transgranular, Across the Grains)、滑り面 (Slip plane) に沿つて滑り、結晶が延びた後に切れる。延び方が多い場合、或は種々の方向に滑つた場合には、Grain は粗くても Fracture は非常に緻密にもなる。第 1 型と違つて劈開面は現はれない。Fracture の Fineness は Grain size と一致する場合もあるが、多くは Slip band size と一致する(第 2 圖)。

3) 結晶を横切り (Transcrystalline, Transgranular, Across the Grains)、Dendrite の幹や大枝の境界に沿つて折れる (Along the dendrite boundaries)。Fracture の Fineness は Dendrite size と一致し、Grain size とは何の關係も無い(第 3 圖甲、乙)。

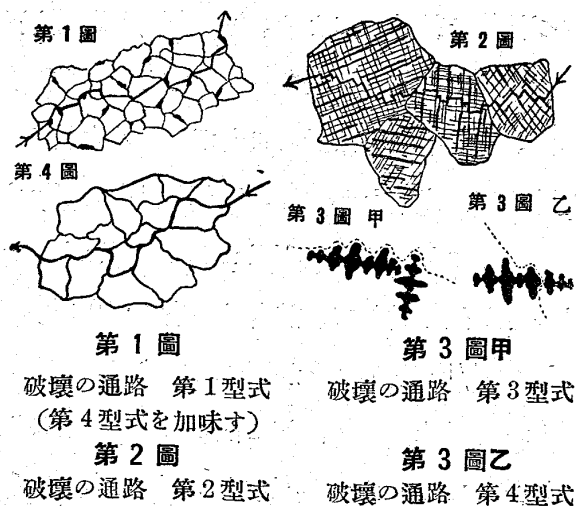
4) 結晶の境界に沿つて (Intercrystalline, Intergranular, Along the Grain boundaries) 割れる。Fracture の Fineness は Grain size と一致する粗大の折れ口である(第 4 圖)。

1 と 4 は多く不良の折れ口で、brittle のものは之等の型に屬する。良好の Ductile のもの、折れ口は大抵 2、3 の型である。勿論 1 型でも多小滑る事もあり、2、3、4 型でも多小劈開面を現はす事もある等、純粹に一つの型式に従はずして、いくつかの型式を同時に表はす場合もある。

### 3. 單相第 1 型式

此の型は brittle の金屬に見る Fracture で、不良の部に屬する。寫眞第 1、3 は Bi と Zn との折れ口を示す。第 2、4 は同じ倍率の Grain を示す。この型では Fracture と Structure とは全く一致して Fracture の Fineness は Grain size それ自身である。折れ口には Grain と同大同形の細長い平面が現はれて、キラキラ光つて居る。之は劈開平面である。劈開面は Grain の端から端迄横切つて之を兩分するから劈開面の大きさは Grain の大きさと同じである。各 Grain 毎に劈開面の傾斜が異なる。

顯微鏡で見れば多小の Slipping をも起して居る事が分る。Bi の Grain には多數の平行せる線條が存在するけれ共、之等は折れ口 Fineness の大勢には關係を持たない。



### 4. 單相第 2 型式

此の型は Ductile の金屬に見る良好の折れ口である。先づ炭素鋼(C=0.15%)の壓延焼鈍したものに就て述べよう。肉眼で見ると折れ口の Fineness は Grain size と同大らしい。蟲眼鏡及び顯微鏡で見ると此の事實が明かである(寫眞第 5、6、7)。寫眞第 7 に明かなる如く、破壊の通路は第 1 圖に示した様に大體 Ferrite Grain を貫通して滑り面に沿つて居るから、一つの Grain は一つの凸所又は凹所となり、従て Fracture の Fineness は Grain size と一致するのである。通路が Grain boundary の Pearlite に突き當れば、之を横切らずして、之に沿つて走る。かゝる箇所でも Fracture の Fineness は Grain size と同大となる(第 4 型)。此の例では第 1 型と區別がつかないけれ共、滑り方が多くなり、又は種々の方向に滑る場合には第 1 型と違つて来る。

次に 7:3 の眞鍮に就て述べよう。金型に鑄込んだものを 700°C に 3 時間焼鈍したるに、擴散が行はれて Dendrite は消失し、完全の  $\alpha$  單相となつた。非常に Ductile で折れにくい。肉眼で見た Fracture の Fineness は炭素鋼と同じである(寫眞第 5、8)。Grain size は之の數十倍の幅を持ち、Fracture とは全く異なる(寫眞第 8、9)。蟲眼鏡で見ると Fracture の Fineness を與へる條が Slip band と同じ太さである事が分る。顯微鏡で見ると一つの Grain 内に數 10 本乃至 100 本以上の平行せる Slip band が見え、2 つの方向に走つて互に交つて居る(寫眞第 11、12)。Fracture の Fineness は 1 本又は數本の Slip band の幅に等しい。肉眼で見た際に Fineness が Grain size の數 1/10 である事實と對照して考ふれば、Fineness を決定するものは Slip band

size に外ならない事が分る。寫眞第 10 には Fineness を與へる條が現はれて居る。之は Slip band と同じ幅である。寫眞第 11、12 に明かなる如く、Fracture の通路は Grain を横切る事第 1 型と同じだけ共、Fineness は Grain size と等しからずして其の數  $1/10$  に過ぎない。乃ち第 2 圖の太い線の如き通路をとるから、Fracture の Fineness は Grain size の數  $1/10$  に緻密となり、Slip band の幅と同じ程度になるのである（圖に於ては band の幅は Grain の直徑の  $1/10$  程度に畫いてある）。

次に青銅に就て述べよう。Sn 5%、Cu 95% 合金の砂型に鑄込んだものを、 $800^{\circ}\text{C}$  に 2 時間焼鈍すれば、Dendrite は全く消失して模型的の單相となる。之も勿論 Grain を横切つて折れるけれ共、折れ口の Fineness を與へる凸凹は Grain size よりも遙かに小さい。眞鍮の様 Ductile ではなくて折れ易いから、Slip band は少なく、且つ一方向にのみ走つて居る。凸凹の幅は Slip band の幅と等しい。Twin の所はその平行せる面に沿つて滑ると同時に、其の幅を横切るから、その幅だけの凸凹を作る。結局折れ口の Fineness は Grain size の數  $1/10$  で、Slip band の幅と等しいのである。

次にアルミニウム青銅 (Al 6%、Cu 94%) の金型に鑄込んだものを、 $800^{\circ}\text{C}$  に 3 時間焼鈍して Dendrite を消失したものに就て述べよう。

折れ口の Fineness は Grain size の數  $1/10$  である。

Grain の直徑は 1 乃至數 mm で、Fineness を與へるギザギザの凸凹の幅は  $1/10$  或は數  $1/10\text{mm}$  である。折れ口に Slip plane を露出する箇所は

非常に平滑である。第 1 型の劈開面の部分も平滑であつて、共に酷似するけれ共、第 1 型は滑らないで劈開面に沿つて割れるに反して、第 2 型は著しく滑つた後に折れるのであるから、材質は根本的に違ふのである。第 1 型の露出した劈開面と第 2 型の露出した滑り面とが共に平滑で（理想的の場合は平面になる筈）外見や形が酷似して居ると云ふに過ぎない。顯微鏡で見れば Fineness を決定する凸凹が Grain の數  $1/10$  である事、Slip band の方向と凸凹の方向とが一致する事、凸凹の幅が 1 本乃至數本の Slip band の幅と等しい事等が明かである。眞鍮と同じく大抵 2 つの方向に平行に走る Slip band が認められる。折れ口の Fineness を與へるものは Grain size ではなくて Slip band の Size である。

### 5. 單相第 3 型式

此の型も良好の折れ口である。大體は第 3 圖甲の如く Dendrite に沿つて折れるけれ共、力の具合では Dendrite を横切らねばならぬ事もある。かゝる際にも第 3 圖乙の様に幹又は枝だけ凸出（又は陥没）するから、矢張り折れ口の Fineness は Dendrite の太さと一致するのである。

先づ純銅に就て述べよう。電氣銅を黒鉛坩堝に入れ、木炭の粉末にて覆ひつゝ熔融し、金型に鑄造した。寫眞第 13 は折れ口を示す。小氣泡の存在を防ぐ事は出来なかつた。寫眞第 14 の Grain と比較するに Fracture の Fineness と Grain size とは大きさが全く異りて、前者は後者の 10 數分の 1 乃至數  $1/10$  なることが明らかである。然らば Fracture の Fineness は何に依つて定まるか。試片を縦斷して Fracture を側面から見た寫眞第 15 を見るに 1 個の Grain は數 10 個或は 100 個以上

の Net work に分割されて居る。之は Dendrite であつて、Dendrite boundaries には  $Cu$  と  $Cu_2O$  との共晶が集つて居るのである。此の試片は  $O_2 = 0.04\%$  位であつて共晶は辛うじて認められる程度に少ない例である。Fracture の通路は Dendrite boundaries に沿つて走つて居る事が明かである。折れ口の Fineness を定める所の凸凹はこの Dendrite size である。Dendrite の直径は Grain の直径の 10 数分の 1 乃至数 1/10 であるから、肉眼又は蟲眼鏡で見た寫眞第 13、14 の結論とよく一致する。Fracture の寫眞第 16 を見るに Fineness を與へる凸凹は第 15 の Dendrite と大きさが全く等しい事が分る。第 15 から明かなる様に Fracture の通路は Grain を横切つて居る。

熔融する際に木炭を以て覆はなければ、含有酸素が増加し、従て共晶が多くなり Dendrite 組織は頗る明瞭となる。Fracture が Grain よりも十數倍緻密である事は肉眼觀察で明瞭する。顯微鏡組織は模型的の Dendrite で、Fracture の通路は常に Grain を横切り、主として Dendrite boundaries に沿つて走り、時々之を横切る事あるも Fineness は常に Dendrite size と一致する。折れ口の表面に現はれて居る凸凹は Dendrite それ自身である。滑つて Dendrite が延びて細くなり、或は表面を平滑に均らす爲に、Fracture は Dendrite size よりも緻密になる箇所もある。

寫眞第 17—20 は純アルミニウムの金型インゴットに就ての結果である。

折れ口の Fineness は Grain size の 10 数分の 1 乃至数 1/10 の幅ある事は明かである。寫眞第 19 を見れば 1 個の Grain は切斷面に於て數 10 個乃至 100 個以上の小さい細胞 (Net work)

に分れて居る。之は Dendrite である。

Fracture の側面なる寫眞第 20 を見るに Dendrite boundaries に沿つて折れて居る。此の故に Fracture の Fineness は Dendrite size と一致し、従つて Grain size の數 1/10 となるのである。Ductile である爲めに Dendrite が延びて細長くなり、又表の凸凹を平滑に均らすから、折れ口が Dendrite よりも緻密になる箇所もある。

次に砂型に鑄込んだ儘の鑄鋼 ( $C = 0.2\%$  位) に就て述べよう。肉眼で見た折れ口は非常に粗くて、直径  $0.2 - 0.6mm$  に及ぶ大きな劈開面をも多數に露出して居る。之を Macrostructure と比較するに、Fineness は兩者全く同一である。顯微鏡で見るに主として Dendrite boundaries に沿つて折れて居るけれど、大きな劈開面は Dendrite の 1 個の節 (細胞 Net work) に非ずして、數ヶの節に亘つて共通の一平面に沿つて割れて居るのである。又 boundaries に析出した Pearlite は時に帶狀をなし、その平行の直線に沿つて割れるから、Dendrite の一節だけの幅 ( $0.1 \sim 0.3mm$ ) の劈開面を露出する。結局 Fracture の Fineness は Dendrite size に等しい個所とその數倍粗い箇所とある事になる。

次に砂型鑄鋼の一片を採り  $900^\circ C$  で焼鈍した。炭素量は前と同じく  $0.2\%$  内外であつた。肉眼又は蟲眼鏡で見た折れ口は鑄込んだ儘のものより數倍緻密である (寫眞第 21)。凸凹の幅は  $0.1mm$  内外らしい。

Fineness は Macrostructure (寫眞第 22) と全く等しい。寫眞第 23 を見るに折れ口が Dendrite boundaries に沿ふ事は明かである。従つて Fineness は Dendrite size と一致すべきである。

實際に Dendrite の太さを測るに 0.06—0.16mm であつて蟲眼鏡で見た Fineness の幅と全く一致して居る。

鑄込んだ儘のものゝ Dendrite size は略等しいけれ共、折れ口が數倍緻密である原因は、Dendrite の數節一所になつた劈開面並に帶狀 Pearlite が存在しない爲である。

次にコンスタンタン (Ni 40%、Cu 60%) に就て説明しよう。Ni-Cu 系は全濃度に亘つて固溶體  $\alpha$  を作る系であつて、如何なる組成に於ても多相合金を作る事はない。

寫眞第 24 は砂型に鑄造したインゴットの Fracture を少しも損傷しない様に注意して、此の面に直角に切斷した側面の組織を示す。之に依れば Fracture の通路は Grain を横切るけれ共 Dendrite の幹や枝の境界に沿う事を示して居る。従つて Dendrite の太い程 Fracture は粗く、細い程緻密であるべきだ。Grain の大きさは直徑 0.5 乃至數 mm であるが、此の程度の粗い凸凹は肉眼で見た Fineness とは別物であつて、Fineness はもつと遙かに緻密で、1mm の數 1/10 程度の幅である事は疑もない。

次には之を 1,000°C に 6 時間焼鈍したるに、寫眞第 25 の如く Dendrite は全く消失した。其の代りに Dendrite の節々が細胞の形をした小さい Grain に變形して、結局元からの大きな Grain の内部は澤山の小さい Grains に分割された。Fracture の通路は大きな元からの Grain を横切り、小さい Grain の境界に沿ふ。この小 Grain の size は寫眞第 24 に見る Dendrite の Size と同じであるから Fracture は焼鈍しないものと大體同じ緻密さでなければならぬ。實際の折れ口を

見れば焼鈍したものゝしないものゝ同じ Fineness を示して居る。

寫眞第 26 は金型に鑄込んだコンスタンタンに就て同様の事實を語つて居る。只全體として細かいだけである。

次に青銅に就て説明しよう。Sn 5%、Cu 95% の青銅を砂型に鑄込んだものゝ Fracture は寫眞第 27 その側面は第 28 である。第 27 の上縁は Fracture の側面を示して居るが、此の部分を見れば、Fineness を與へる所のギザギザの凸凹は Dendrite 自身である事が明かである。第 28 も Fineness の凸凹が Dendrite size と一致する事を示して居る。

Grain は寫眞に現はれて居ない程大きいから Fineness とは全く異なる。之を焼鈍して  $\alpha$  單相となしたるものと比較するに、肉眼及び顯微鏡的の Fineness が同一である。其の原因は焼鈍したものの Fineness を與へる所の Slip band と鑄込んだ儘のものゝ Fineness を與へる所の Dendrite とが略同じ幅を持つ事に存するのである。猶ほ寫眞第 24 のコンスタンタンの Dendrite と第 28 の青銅の Dendrite とは同じ大きさであり、又肉眼で見た Fracture の Fineness も全く同一である。乃ち違つた合金でも Dendrite size さへ同一であれば Fracture の Fineness も同一となるのである。

次には砲金に就て述べよう。砂型に鑄込んだものゝ折れ口に見える多數の平行線は Dendrite の幹である。これを直角に切斷した側面の組織を見るに、折れ口の Fineness を與へるギザギザの凸凹は組織に於ける Dendrite の幹や枝であつて、之等に沿つて折れる事は明かである。Grain の直徑



は Dendrite の太さの數10倍であるから Fineness には關係が無い。Grain は直徑 2mm 内外であるが、肉眼で見た折れ口の Fineness は到底かくの如く粗大のものではなくて、數 1/10mm 程度である。金型に鑄込んだ砲金に就ても全く同様の事が觀察された。

次に同じ湯を用ひて色々の條件の下に鑄造した砲金に就て述べよう。

寫眞第 29、30、31 の Fracture には已に Dendrite が現はれて居るから、Dendrite に沿つて割れた事は確かである。第 32、33、34 は之等の Grain を示す。倍率は 117.5 にして見たにも拘らず、Grain size は Fracture の Fineness よりも遙かに大きいから、Fineness は Grain size とは全く違ふ事が明かである。然らば Grain の大小が Dendrite の大小に比例する結果、Grain size が間接に Fineness に比例すると云ふ様の事があるかと云へば、かゝる事實もないのである。その證明は次の如くである。第 33 は第 34 よりも Grain は遙かに大きいにも拘らずその Fracture たる第 30 は第 31 よりも緻密である。これその Dendrite 第 36 が第 37 よりも小さい爲である。第 32 と第 33 とは Grain の大きさは殆ど同一であるにも拘らず、Dendrite の大きさが著しく違ふ爲めに Fracture の Fineness は著しく違つて來て、Dendrite の大きい第 29 は Dendrite の小さい第 30 より遙に粗いのである。

第 35、36、37 の Dendrite の Size は全く Fracture の Fineness 第 29、30、31 と一致して居る。乃ち Fracture の通路は常に Dendrite に沿つて走る結果、その Fineness は全く Dendrite size と等しいもので Grain size とは一致しない

許りでなく、實に何等の關係をも認められないのである。

最近發明の特殊青銅たる所謂シルジン、ブロンズ (Zn 15%、Si 4.5%、Cu 殘部) の金型及び砂型インゴットに就ても全く同じ事が觀察された。

次には  $\alpha$  眞鍮に就て説明しよう。寫眞第 38、39、40 は 7:3 の  $\alpha$  固溶體眞鍮の金型インゴットである。第 38 の Fracture は肉眼で見た所砲金の金型インゴットと同じ緻密さで非常に細かい。シルジンよりも遙かに細かい。且つ伸長率大きい爲めに延びて滑つて居る。Grain は第 39 の如く大きくて Fracture の Fineness とは全く程度を異にする。第 40 を見れば Grain を横切りて折れる事と Dendrite に沿つて折れる事を示して居る、Dendrite size は砲金と略等しく、折れ口の Fineness が兩者相等しい事實とよく一致する。違つた合金でも Dendrite size さへ等しければ折れ口の Fineness が等しくなると云ふ實例は此所に示された。

寫眞第 38 の折れ口は焼鈍した眞鍮の折れ口(寫眞第 8) と同じ Fineness である。其の理由は之の Dendrite の幅(寫眞第 40)が彼の Slip band の幅(寫眞第 11) と同一で、之の Fineness は Dendrite size と一致し、彼の Fineness は Slip band size と一致する爲である。

最後に數種のアルミニウム輕合金の折れ口を論じて見よう。總て金型インゴットに就て研究した。純アルミニウムに就ては已に述べた所である。シルミンは Modify しても折れ口最も粗大である。デュラルミンと Y 合金とは相當緻密であるが、クルミン (Cr 1.2%、Mg 3.5%、Fe 1.5%) は之等よりも更に幾分緻密である。Grain は第 42 に



見る如く Fineness とは全く關係無く非常に大きい。第 41, 44 では Grain は見えないけれども、非常に大きいのである。Etching が浅ければ Grain だけ現はれ、深くなれば Dendrite も現はれる。第 41, 43, 44 に示す如く Fracture は Dendrite boundaries に沿つて走る。Dendrite の稍大きいデュラルミンと Y 合金とは Dendrite の稍小さいクルミンよりも Fracture が稍粗い事實とよく一致する。Fracture の Fineness は Dendrite size それ自身に外ならないのである。之等はいづれも單相合金の新型式第 3 型に屬するものである。實際は 2 相或は 3 相合金であるけれども、 $\alpha$  以外の相は極めて少ないから Fracture を論ずるに當つては單相合金の如く取扱つて差支ない。

#### 6. 單相第 4 型式

此の型は Abnormal fracture である。Normal の Fracture は必ず Transcrystalline の型である。溫度を上げて熔融點の近くで折れば、如何に Ductile の金屬でも (Pb, Cu の如く) 皆この型に従ふ。

又不純物や brittle の物質が Grain boundaries に集つた場合、Solidus line 以上に熱せられた Burnt metal の場合、極端に brittle なる事恰も岩石の如き場合等にも此の型に従つて破壊する。寫眞第 45, 46 は飯高メタル (Ni 5%, Al 6%, Cu 殘部) の金型インゴットを高溫度で折つたものである。Fracture と Grain size とは完全に一致し、Grain boundaries に沿つて折れて居る事が明かである。龜裂が Grain boundaries に沿つて走る事も見えて居る。

軟鋼の壓延棒(寫眞第 5)金型に鑄込んだ眞鍮(寫眞第 38)、砲金、輕合金及び焼鈍した眞鍮(寫眞第

8)、鑄造した儘及び焼鈍したコンスタンタン、アルミニウム青銅等は折れ口の Fineness が皆略同じである。Grain の直徑を測るに、鋼は他のものゝ數 1/10 に過ぎないにも拘らず同一の Fineness を呈するは何故か。その理由は鋼の Grain と之等の合金の Dendrite とが同じ程度の大さであつて、合金は Dendrite size と等しい Fineness を與へ、鋼の Fineness は Grain size と等しいからである。

焼鈍した眞鍮やアルミニウム青銅には Dendrite は存在しないが、Slip band の幅が鑄込んだ儘の合金の Dendrite の幅と同じであるから同じ Fineness を與へるのである事は前にも述べた。又違つた合金が同じ Fineness を呈するのは、Dendrite size が互に等しい爲である。この事も前に屢々述べた所である。

折れ口の Fineness は第 1 型と第 4 型とでは Grain size と一致し、第 2 型では多くは Slip band size と一致し、第 3 型では Dendrite size と一致するのである。故に Dendrite, Grain, Slip band の size さへ等しければ、折れ方の型式如何に拘らず、又合金の種類如何に拘らず、折れ口は全く同じ Fineness を與へる筈である。而して實驗の結果も之を證明して居る。

昭和 7 年 1 月

三菱造船株式會社研究所に於て稿

#### 文 獻

- 1) An Introduction to the Study of Physical Metallurgy. W. Rosenhain, 1915
- 2) Moderne Metallkunde in Theorie und Praxis. J. Czochralski, 1924
- 3) Metallic Alloys: Their Structure and Constitution. G. H. Gulliver, 1919
- 4) Metall- und Legierungskunde. F. M. Schwarz, 1929
- 5) A. Text Book of Metallography G. Tammann, 1925
- 6) Physical Metallography. E. Heyn, 1925

7) The Fatigue of Metals. H. J. Gough, 1924

8) The Fatigue of Metals. H. F. Moore & J. B. Koppers, 1927

9) The Metallography of Steel and Cast Iron. H. M. Howe, 1916

10) Metallography. C. H. Desch, 1918

寫 眞 説 明

Photo 1. Bi as Chill cast Fracture ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 2. " " grains ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 3. Zn as Chill cast Fracture ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 4. " " grains

Photo 5. Mild Steel as Rolled and annealed Fracture ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 6. " " grains ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 7. " " grains and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 8. Zn 30% Cu 70% Chill cast (Annealed 3 hours, 700°C Fracture) ( $\times 3$ )

Photo 9. " (" ) " grains ( $\times 3$ )

Photo 10. " (" ) " Fracture ( $\times 100$ )

Photo 11. " (" ) " (" ) Grains Slip bands and Fracture ( $\times 30$ )

Photo 12. " (" ) " Grains Slip bands and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 13. Cu as Chill cast Fracture ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 14. " " Grains ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 15. " " Grains Dendrites and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 16. " " Fracture ( $\times 100$ )

Photo 17. Al as Chill cast Fracture ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 18. " " Grains ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 19. " " Grains and Dendrites ( $\times 100$ )

Photo 20. " " Dendrites and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 21. Cast Steel Sand Cast (Annealed) Fracture ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 22. " (" ) " Macrostructure ( $\times 3\frac{1}{2}$ )

Photo 23. " (" ) " Dendrites and Fracture ( $\times 30$ )

Photo 24. Ni 40% Cu 60% as Sand Cast Grains Dendrites and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 25. " " (Annealed, 6 hours, 1,000°C)

Grains, Dendrites and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 26. " as Chill cast Dendrites and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 27. Sn 5% Cu 95% as Sand cast Fracture ( $\times 100$ )

Photo 28. " " Dendrites and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 29. Gun Metal as Sand cast at high temperature Fracture ( $\times 30$ )

Photo 30. Gun Metal as Chill cast at high temperature Fracture ( $\times 30$ )

Photo 31. Gun Metal as Chill cast at low temperature Fracture ( $\times 30$ )

Photo 32. " Same as 29 Grains ( $\times 4$ )

Photo 33. " Same as 30 Grains ( $\times 4$ )

Photo 34. " Same as 31 Grains ( $\times 4$ )

Photo 35. " Same as 29 Dendrites ( $\times 30$ )

Photo 36. " Same as 30 Dendrites ( $\times 30$ )

Photo 37. " Same as 31 Dendrites ( $\times 30$ )

Photo 38. Zn 30% Cu 70% as Chill cast Fracture ( $\times 3$ )

Photo 39. " " Grains ( $\times 3$ )

Photo 40. " " Dendrites, Graing and Fracture ( $\times 30$ )

Photo 41. Duralumin as Chill cast Dendrites and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 42. Chlumin as Chill cast Fracture ( $\times 30$ )

Photo 43. " " Dendrites and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 44. Y-Alloy as Chill cast Dendrites and Fracture ( $\times 100$ )

Photo 45. Iitaka Metal as Chill Cast Frcture ( $\times 1\frac{1}{2}$ ) (near melting point)

Photo 46. " " Grains ( $\times 1\frac{1}{2}$ )

(寫眞説明に記入倍率のものを豎横 60/100 に縮小せるものとす以下同)

