

軍艦と鋼材

(同前)

工學博士 平賀讓君

暫時休憩の上(于時午後七時半)新橋停車場樓上東洋軒に於て懇親會を催す出席者は左の諸氏(三十名)なり。

香村小錄	野呂景義	倭國一	鹽田泰介	原田鎮治
桂辨三	種子田右八郎	高洲清二	井上禱之助	堀悌三郎
横堀治三郎	寺野精一	加茂正雄	江藤捨三	日向庄作
中大路氏道	平賀讓	河村驍	濱田彪	野澤正周
東海勇藏	辻嘉六	野長瀬忠男	廣田理太郎	岡本貫一
佐野正三郎	麻生音波	武藤三枝	渡邊三郎	塚本卯三郎
石原米太郎	落合畝三郎	大矢喜兵		

宴會の半に於て香村會長の挨拶あり續て野呂君、江藤君、高洲君、加茂君、横堀君、麻生君等の卓上演説ありて一同歡を盡し午後九時十五分退散せられたり。

合金鑄物の結晶粒子

田口由三

本編は大正九年十一月十日吳海軍工廠造機部に於て講演せるものを言文の儘寄稿せるものにして多少なりとも斯界各位の御參考ともならば幸甚不過之

目次

鑄物の研究

合金鑄物の結晶粒子

合金鑄物の結晶粒子

第一章 粒子の均等と不均等

一、粒子と注湯溫度、冷却程度及熔金重量の關係

二、粒子と湯口の關係

三、粒子と湯滓の關係

第二章 冷却程度と粒子の關係

一、冷却の遲速と粒子の大小

二、冷し金の諸試験

第三章 粒子と常溫に於ける機械的性質の關係——粒子破綻と粒界破綻

第四章 破綻斷面の研究——粒界の性能

一、粒子機械的性質及破綻狀態の關係

二、粒子小なる時機械的性質優良なり

三、粒子破綻面の色と粒界破綻面の色の相異

四、脆性と含有元素の關係

五、實例——軍艦金剛推進器の破壊並に其原因

六、金剛推進器材質の加熱研究

第五章 再び粒界面に就て——非結晶セメント説を論ず

第六章 結論——實用上に及ぼす影響

鑄物の研究

緒言

茲に鑄物と申しますのは勿論吾々の取扱つて居る艦船の機械鑄物を指すので、明治四十二年以來の趣味と最近歐洲に於て瑞、伊、佛、英の鑄物工場竝に實驗所で實習しましたものを參酌しまして公務の傍ら研究したる事項を御話致しますのは誠に愉快に堪へないのであります齋藤博士、大河内博士の御説の通り鐵と鋼第一號、機械學會誌第二〇卷第四七號、工業雜誌第四卷第五八二號鑄物と冶金學竝に物理化學の關係は、どうしても密接に關聯せしめることが必要で、そうでなければ鑄物の發達は到底望まれないのであります。何故かと申しますと御承知でもありませうが學理をよく咀嚼して鑄物に應用しますと必ずきつと合ふので其處には失敗がない、即ち少しもアローヴンスやフアクター、セーフチーがないので實際やつて見ますと面白い様に關聯さるゝからです、例へば元來我國の鑄物は機械鑄物ではなかつたにしろ、古い歴史を持つて居るのですが其後餘り進歩しなかつたのは大部分は科學と關聯することが出來なかつた爲めて今から考へると誠に残念至極に思はれるのであります、殊に將來益々複雑なる鑄物を要求して來る時勢でありますから一層此の考を以て進まなければならぬと思はれます。

近比機械鑄物志望として冶金出の方や理化學出の方が實習として御見へになりますから御話致しますと、此の鑄物と云ふものは一つの技術であり技術であり藝術であります、藝術なるものに全く一致するのであります一寸一例を簡単に申しますと、ディーゼル機關のシリンダー、ライナーとパッキングリングとはブリネル硬度(三、〇〇〇キロ)にて一五乃至二〇の差を附けるのが理想であります、して夫れ等を得る爲めには鑄鐵の配合中の或る元素の高低を要することゝなります、此の各元素量を音樂の調子即ちド、レ、ミ……に合はせまして妙な例ですが三絃の調子を取て見ますと、パッキングリングはライナーよりも音階を一段低くし兩者を「本調子」「三上り」又は「三下り」調子としますれば良

10
いことになり、即ち今パツキング、リングの注文を受けたとしますれば宜しい。三下りの配合でやれと云ふことになるので少々滑稽の様ですが全くそうではありません。

そこで如何によく學理を解されて居つても實地が分らないと活きた鑄物は出來ないので工場としては何の役にも立たないのであります。而して現在吾々のやつて居ります鑄物を完全に危険なく作り出すには右實地技術を基として科學が必要となつて來まして先づ第一に船用機關の感念がないと丸でいけません、一寸書いて見ますと極めて皮相的であります。圖省略の様な關係となつて來るので此の様に進まなければいけないのであります。最も此の内必要なる程度に相違のあることは勿論であります。尙ほ之れを樹木に譬へて見ますと根は科學で幹の太木は實地で枝及葉は理論で而して花を咲かせ實を結ぶといつた風で製圖や機械などは少々違ふのであります。吾々も此の様に研究して行かなければならないことになるので、趣味に生き趣味に終ると云ふ覺悟が必要なのであります。

合金鑄物の結晶粒子

金屬の結晶粒子と云ふことは昨今漸く問題となり來つた事でありまして尙將來は金属材料の性質を判斷するとき從來行はれて居る諸試験の外結晶粒子の大小状態の檢定を待つこととなるであらうと考へられます。ですが之れに關して餘り書いたものがない殊に合金鑄物に就ては此邊迄研究が進んで居ないので誠に遺憾に思ひまして多少なりとも實驗した次第であります。

第一章 粒子の均等と不均等

如何なる鑄物も其各部の成分は精確に同一で従つて粒子は均等でなければなりません。が此の理想に合はせることは頗る非常に困難でありまして且つ複雑極りなき形状のものでは吾々の苦心も亦多大なるものであります。何故かと申しますと其組織を形成します粒子の状態に影響する事項は

非常に澤山有りましたして鑄物なるもの、全體の生命は粒子の均等を得るに在り、換言すれば鑄物は之れさへ完全に出来れば最終の目的は達することとなるからであります、従て砂の配合、瓦斯排除方法、乾燥方法、湯口、揚りの形状等鑄型の製作法、材料の配合、熔解法等數へ來れば澤山の因子を含むもので此の各々に依つて大變化を來たすからであります。

一、粒子と注湯温度、冷却程度及び熔金重量の關係

砂の熱傳導率、濕氣等鑄型各部竝に熔金(以下單に湯と假稱す)の狀態が絶體嚴正に同一であれば湯の凝固後に於ける粒子の大小は各部共絶體に同一でなければならぬ譯であります、が、そう云ふことは人爲的には到底不可能であります、然し今鑄型各部が全く同一狀態であるとしたならば粒子の變化に最も影響するものは注湯温度の高低であります、勿論材料其者の均等組織と云ふことは大に考慮を要するものであります、が精確に云ふと如何なる材料のもので凝固後の内外各部に於ける粒子に多少の不均等のあることは免れないのです。

注湯温度の高低と機械的性質の關係として英國 Longmuir 氏の實驗が往々書物などに出て居りますが(J. F. Baughman: Practical Alloying)大阪工業試験場報告第八回、齋藤博士合金、河合氏金屬材料等)之れを尙吟味して見ますと成程注湯温度が高きに失し又は低きに過ぐるときは機械的性質が悪くなる事は私の二三の材料に就ての實驗でもそれを確認して居り又理屈から考へてもそうあるべき筈です、が普通作業をする範圍に於て粒子の大小に影響する注湯温度の高低なることは結局冷却の遅速といふことになるのであります(第一圖)勿論鑄型各部は同一狀態としての話であります。

又之れに就てよく高、中、低温度としてムンツ、メタルなどの例が載せてあります、が揮發性の元素を含む合金などはそう温度を上げるとは實際上最も注意しますから勢ひ低温度となることが最も恐ろしいので殊に凝固の早いものでありますと餘程注意が肝心で加之一般に鑄込と云ふ立場から

申しますと高温熔融、低温鑄込が良好でありますから尙ほ更低温に失せざる様一層の注意が必要であることなるのです。一方一つの品物の均等粒子を得ると云ふことになりますと注湯温度が高かろうが低かろうが極湯ならざる限り一様平等に湯が同じ時間に各部に行き渡つて冷却が同一であつたらば其品物各部の粒子は凡て均等で(場合に依つては悪い乍ら均等)あります。要するに均等粒子を得る爲には注湯温度は相當で、冷却程度が各部同一であることが必要なる條件となることになります。

實 驗

實際に於ては湯溜内の最初の注湯温度は同一であつても湯の行き渡る通路の状態て各部に於ける湯の凝固前の温度が相違するので換言すれば冷却程度が違つて來ることになるのであります。β多面體組織の滿俺青銅を用ひまして第二圖 A の装置で普通の砂型乾燥型で實驗しまして次の成績を得ました。(三回平均)

(イ) 温度の變化

注湯時に於ける湯溜内の湯温度

九八〇度

「揚り」に湯面の表はれたるとき直ちに湯溜の弁を閉塞したるとき即ち殘湯の温度

九八五度

但殘湯の温度が低下しない様に新湯を注入して湯面を一樣に保つ

「揚り」に湯面が表はれたるとき其湯の温度

八五〇度

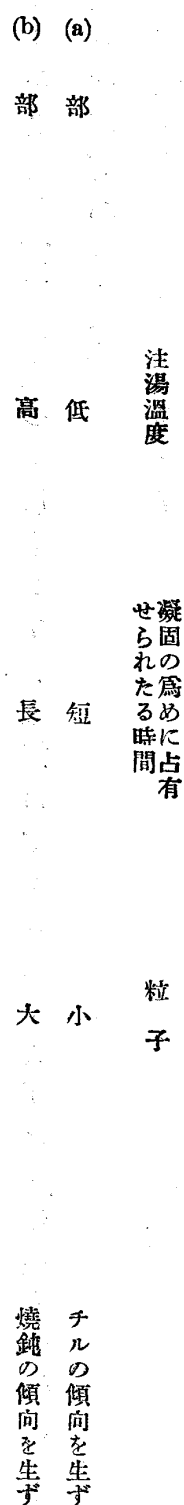
(ロ) 時 間

注湯時より「揚り」に湯面の表はれたるとき迄の時間

二十一秒

と云ふ記録を得ましたので之れに傳導熱の學理を應用して見ますと鑄型各部に於ける凝固前の湯温度は第二圖 B の様に低下して其の算式は對數函數になるのであります。即ち各部に於ける砂の温

度をコンスタントと看做しますと注湯温度は最初同一であつても通過の爲め熱量を放散しますから各部に於ける注湯温度は相違するので結局冷却程度が違ふことに歸着するのであります。第三圖の鑄型でやりましたものも同様の變化はありまして粒子状態は寫眞圖 A (1) — (a) 部に相當するもの、(2) — (b) 部に相當するもの(圖省略)の様な粒子の相異を來たすこととなるのです。(2)は外側が多少焼鈍されて粒子が大きく表はれて居ります。



處が實際の鑄物ではそうは行かないで粒子の大小に最も影響しますものは湯の重量でありまして、(b)部の粒子は折角大きく發生せんとしてあるが全體の重量を受けて上から壓迫されて居りますから却て小さくなるのです。即ち此處で争ひが始つて優勝劣敗の形となるのであります。然し第三圖の様な形状の鑄型でありますと(a)部は却て(b)部よりも凝固が早い爲めに其重量も餘り大した影響とはならないのです。寫眞圖 A (3) — (a)部より取りたるもの、(4) — (b)部より取りたるもの(圖省略)の通り、(3)(4)の粒子の状態は殆んど同一であります。實際の鑄物では此の湯の重量の影響は莫大なるもので之れを省略することは出來ないのであります。第四圖然し此點を利用して比較的均等なる細粒子を得る爲めに「揚り」を附す即ち「揚り」は湯滓を浮遊排出せしむる目的の外、押し湯なる役目を司るのです。例へば第五圖の様に「揚り」を漸次大きくしますと品物の上下に於ける粒子の差は少なくなりまして細密なる均等粒子のものとなるので之れは水力原理と相違するのであります。然しながらそんなに大なる「揚り」を附けることは經濟上許しませんから重要なる部分は其他の方法で調整して行くのであります。

14 二、粒子と湯口の關係——各種湯口

鑄物最終の目的である粒子の均等を得る爲めに必要なる事項の頗る多いことは前述の通りでありまして例へば瓦斯の停滯などは最も影響する所ですがそれ等は他日に譲りまして今日は合金に限らず一般の材質に就て湯口と湯滓除去(後述)の大體を御參考迄に申上ぐることに致しました。鑄型の各部に平等に同温度の湯が同時に注入され肉の厚薄部共一樣に凝固するのが主眼でありまして、をうするにはどうすれば良いか此の理想に合はせる爲めには湯口を鑄型に無數に付けるのが良いことになるのです然しをうすると其他の關係が悪くなりまして茲に衝突して來ることになるので

湯口を定めるには鑄型の種類、形狀、材質の凝固性質等を判断しましてそれに適應する様湯走り、湯廻り、湯壓、平等湯温度、高温度補充等を考慮して制定するのでありますが前に申上げました通り鑄型にそんな澤山のものをつけることは實際上不可能のことと結局之れに適應する理想的湯口は菊押上げ、菊落し湯口といふことになるのであります然し之れも品物に依りましては採用出來難い場合も多く、そこで日常私の取つて居ります各種湯口を擧げて見ますと次の通りで何れも良果を收めつゝある次第であります。

1 押上法——枝湯口——菊押上げ

2 落し込み——兩湯口——菊落し

3 平行式湯口

1 押上法——枝湯口——菊押上げ

第六圖(1)は普通に行はるゝ押上法の簡単な者ですがシャフトのスリーブなどの場合Aの様になりますと湯が○—○線に來ました時は温度が低下しまして○—○線と比べて著しき差が出來て實驗の通り粒子の均等を缺くことになるので此時はBの様に枝を付けるとが必要であります而して(2)の様

に傾斜することを避けて(b)の様に反對にしますと極靜かに平等湯温と高温湯補充を得るのであります。(2)(3)はシリンダーなどに用ひる枝湯口の例ですが平等湯温と高温湯補充の爲には(3)の様なプリンシプルにするのが理想であります。即ち第一に(イ)湯口を抜く、次に湯が σ 線に來たりたる頃を見計ひて(ロ)湯口を抜く第三に(ハ)より高温湯補充をする。(4)はタルビンケーシングなどの湯口であります。が此時(ハ)なる押湯は殆んど何等の効果はないので理想とする處は(3)と同様で(5)の様に判定するのが良好であります。(6)は枝湯口の特別形で湯壓を附けると湯滓除去の點で良好でありまして瓦斯機關壓搾筒其他のものに多く用ひつゝあります。(7)はグイツカーヌ型、ディーゼル機關、ピストン等に用ひつゝある枝湯口の特別形でありまして良果を收めつゝあります。(8)は簡單ですから多く用ひつゝあります。が平等湯温の理想には甚だ不適當でありまして此場合には(9)の菊押上げ法を用ゆるのが最も良いのであります。

2 落とし込み—雨湯口—菊落し

高温の湯が上部から來ますから高温湯補充と湯壓を得るの意義に能く適合して居るので都合の良いものであります。(10)はシャフトのロングスリーブ等に多く用ひまして良結果を得つゝあります。(11)はズルツァー型、ディーゼル機關のライナー等に用ひて居りますが此の方法は此の様な重要物には實は餘り宜しくないものであります。(12)此の雨湯口はシリンダー等にさへ往々用ひて比較的良好(13)は落とし込と雨湯口とを合せたもので湯壓と湯滓除去の點で至極良好、ズルツァー型、ディーゼル機關、ピストン、ライナー等に用ひてあります。(14)はフキアット型、ディーゼル機關、爆發筒等に用ひつゝある菊落し湯口で平等湯温と高温湯補充の意味からして理想的であります。(15)は押し上げと落とし込との中間のものでズルツァー型、ディーゼル機關外筒(鑄鋼)等には此のプリンシプルを用ひて良好であります。

3 平行式湯口

16 第六圖に於て(16)(17)は長き鑄物を土間型などでやりますときに多く用ひまして平等湯温の點からして良好であります。

三、粒子と湯滓の關係—各種湯滓除去法

如何なる金屬も熔解するときは大氣中の酸素を吸収しまして凝固の際鑛滓又は湯滓として鑄物の内に包容せられて粒子組織を不均等のものである例へば寫真圖A(5)はβ組織の滿掩青銅に滯留しました湯滓の寫真であります(圖省略)實際に於て如何なる酸化物其他が湯滓となつて湯の上面に浮遊して居るか云ひますと例へば次の通りです。

(一)湯滓の性質

(イ)鑄鐵熔解のとき

硅	酸	四四〇一〇	礬	土	一五〇三〇
石	灰	二二九八〇	酸化	滿掩	一一〇五
加	里	一四二八	曹	達	〇六五八
硫	黃	〇一六七	磷		〇〇九五
炭	素	〇五一〇	酸化	鐵	一三八六〇

キユボラ使用 銑鐵對石灰石量 三〇〇乃至四〇〇對十二キロ(大正六年八月於佐世保工廠分

析)

(ロ)黃銅熔解のとき

酸化	亞鉛	八五八四〇	硅	酸	曹達	四・五七〇
骸	炭	末	一・二六三	殘	り	金屬削砂等

坩堝爐使用 (大正九年七月 於吳工廠分析)

鑄型に注湯する際は等の湯滓は充分掻き出し又は夫々適當なる脱酸劑を使用しますが其の發生が仲々迅速でありますし亦除去法が宜しきを得せんと鑄型の内に注入されて品物は不均等なる組織のものとなるのであります。

(二)湯滓除去法

日常私の採用しつゝある各種湯滓除去の方法を一寸擧げて見ますと例の弁付取鍋の外第七圖に於て(1)の構造の取鍋を用ひ又湯溜に就きましては(2)乃至(6)の構造としまして除去しつゝあります。(3)は見らるゝ通りてAは湯滓が吸ひ込まれ易く依てBの形狀のものとする必要であります。(4)A、B、Cは何れも湯を旋回させて比重の軽い湯滓を上面に浮遊せしめて清淨なる湯を注入させるのですが實用上は手数が掛かる爲め特種の場合にのみ用ひております。(5)(6)は手数も餘り掛からず實用的でありますから可成り用ひて居ります。

湯口に就きましては(7)乃至(14)に示す通りて日常使用しつゝありまして良果を收めて居ります。此の内(11)Bなどは手数も掛かることなく極めて便利のものですから一般に採用しつゝあるので之れを普通の形狀であるAに比べますと極めて有効のものであります。(12)乃至(14)は大小推進器の鑄込の際の湯滓除去法で(12)は切れ口を有する内筒を入れて各翼に清淨なる湯を注入するのですが(13)の様な形のボツスでありますと此の方法は使用不可能です。此の時には(14)の様なパイプを用ひて居ります。尙ほ此の推進器鑄込の時の湯滓除去には英國ストーン社などにては金網付の棒で靜かに除去しつゝあるのです。右は何れも比重の軽い湯滓を湯面上に浮遊せしめて内部の清淨なる湯を品物に注入する即ち(15)に示すプリンシプルに外ならないのであります。

以上湯口竝に湯滓除去の方法を品物の材質及び狀況に應じて適當なる判斷の下に臨機應用すれば宜しいのであります。

第二章 冷却程度と粒子の關係

工業が發達するに伴はれて益々複雑なる形狀の鑄物を要求することとなり従て計企上鑄物各部の肉の厚さも一樣のものではないけなうこととなりまして鑄造家も益々苦痛を感ずる様な次第であります。左すれば吾々は須くこれに對抗し得る丈けの學理を應用したる細心の考慮が肝要なることとなりまして厚薄部の均等組織を得る爲め冷却程度を加減する方法として昨今漸く用ひられ來つたものは

(イ) 「冷し金」を内外側に當つること

(ロ) 「冷し金」を肉の内部に鑄込むこと

(ハ) 鑄物砂に金屬粉末を混入すること

(ニ) 鑄物の表面に贅肉を突起附帶せしめて放散熱量を加減すること

等が行はれ、要するにプリンシプルとしては熱傳導率を變更して夫れに對抗するのりまゝですが、一般我國の鑄物界を見ますのに未だ此の使用が私の満足する程進んで居ないのみならず其の使用方法の要領が悪い爲に反つて不良の結果を來たすことが多い様であります。其の使用方法が能く理屈に適ひ又繁雜を厭はずして要領能く使用されるれば材質に依りましたは面白い様に良果を收めるのであります。私は鑄鐵にも此の冷し金を當て、差支ない、否良果ありと考へて居るので例へば第八圖に於て(1)はフキアット型六〇〇馬力ディーゼル機關爆發筒で此の中具には極薄鑄鐵製冷し金を當て、良果を得。(2)は同じく一、三〇〇馬力の爆發筒で同様に中具に冷し金を當て(3)は自動車用瓦斯機關爆發筒で圖の通りに冷し金を當て、良果を得つゝある次第であります。但し夫れ等の場合に於て組織の多少變更を免れないのは勿論であります。

一、冷却の遲速と粒子の大小

粒子の生成に關して今日指定されてあるものは中心凝固説でありまして私は常に

デツシの龜の子形

ローゼンハインの寨の目形

チェルノフの槍形

ステッドの樹枝形

Sauvour: The metallography of iron & Steel 1916. p. 87.

L. Guillet et A. Portevin: Précis de métallographie microscopique 1918. p. 78.

C. H. Desch: metallography etc.

など、呼んで居るので之に依て冷却の遲速で粒子の大小を生成するの理は明白であります。

二、「冷し金」の諸試験

(一) 試験の目的

第九圖に於て(1)の形状のものを其儘平等温度の湯にて鑄込みますと必ずAの様に收縮孔が出來ますがB及びCの様にしますと良果を得るので此場合「冷し金」の厚さは厚さに失するとも一向に差支ないのです、亦(2)の形状のものを其儘鑄込みますと必ずAの様に收縮孔が出來ますが適當なる冷却を行ふと恰も此の凸部を除去したるものと同様のものとなりましてCの如く良果を得るので

B ——— 薄さに失す D ——— 厚さに過ぐ

の如く不良の結果となる次第であります。

以上は何れも至極簡單なる例でありまして(2)B、Dの場合に於ては「冷し金」の當て方は合理ですが其の厚さが適當でない爲め不良となつたので「冷し金」の使用に就て私が不満足であると云ふのは蓋し此の邊の事を指すのでありまして、此研究が吾々鑄造家に取つて如何に必要であるか、分るのであります。要するに本試験の目的は結局

「冷し金」の厚さ即ち冷却程度の決定

と云ふことになるので、勿論傳導熱の關係から來るのですから極く大體の判断は附いて居るのですが果して實際に於ては何うであるかを知つて其判断を強固にして日常の作業中判断を迅速確實に

20 なさしむるのが本試験を施行しました目的であります。

(二) 試験材質の選擇

鑄鐵の「冷し金」の厚さの判断即ち冷剛鑄鐵の試験は往々實驗もされ又米國の故 Thomas D. West 氏は Engineering July 5, 1912 へ New Process for Chilling & Hardening Cast iron と云ふ表題で發表して居ります。

一寸一例を申し上げて見ますと此の通りでありまして軍艦の灰放射管、鎧板などの製作には必要であります(含有元素と冷剛の厚さに就て二、三の實驗例の實物を示す)が合金に就ては從來單に金型では此の位、砂型では此の位と云ふ顯微鏡寫眞の二、三に止まり粒子の變化狀況に就て満足する程度のものは未だ出て居りません。何故かと申しますと合金の粒子數を検定するに好都合なる要素は

(イ) 單相組織なること

(ロ) 普通の寫眞にて表示され得ること即ち腐蝕面の組織を明瞭に肉眼にて窺知し得る程度のものなること

が必要でありましてそうでないと一々各部を澤山に顯微鏡で寫眞を取らなければならぬので到底容易のことではないのみならず明瞭に行きません。加之單相組織のものでないと粒子の數は實際分り悪いのであります。

そこで私は以前から此の合金の粒子面積の檢出に就て苦心して居りまして私の工場で用ひて居ります材質に就て色々物色して見ました。先づ鑄鋼はどうも都合が悪い鑄鐵は前述の通りであります。又其粒子と云ふことに就ては殆んど意義をなさないし、青銅も上の要素に適合しないし、アルミニウム合金やニッケル合金も何うも都合が悪いので困り切りでしたが、即ち此の通りで之れではどうにもならないのであります。(各種材質の腐蝕面及其顯微鏡寫眞の實例を示す)

で色々考へたる結果之れには銅、亞鉛のβ多面體組織のものが良い而して之を硝酸にて腐蝕し

ますと上の第二要素にも適合することを現出しまして殊にβ組織の満俺青銅は工場では青銅に亞で使用範囲が多いのですから實用上便利極めて多く亦此の材質で試験して置きますれば他のものにも推定することが出來ますから非常に好都合のものであると云ふ處からして此の材質を撰用したのであります。

粒子の大小面積を見るの便宜上即ち熔解の際β組織が崩れない爲め脆性の多いものを撰びましたので材質としては餘り良くないのであります又茲で満俺の量を減じましてマンガン、スポットなどを全然出現させない様にしますれば顯微鏡寫眞は奇麗になるのですが後章に述べる機械的試験の際の破綻断面の状態を見る都合などもありますから殊更此様な配合のものを用ゆることと致しました。以後此の材質のものを「B」合金と假稱す。

(三)使用「冷し金」の種類

(イ)砂型

青銅に用ひます砂型乾燥型を用ゆ。

(ロ)鑄鐵(普通のもの)

分析

硅素	二・三	滿俺	〇・四
黒鉛炭素	二・八	化合炭素	〇・六
硫黄	〇・〇五	磷	〇・三

合金類を取扱ふ鑄物場では大抵は鑄鐵は出來ますのと又任意の形狀の鑄型に合はせ得るの便利がありますから極めて實用的で日常多く使用しつゝあるのであります。材質は氣胞のない均等組織のものを撰用しました。

(ハ)軟鋼(普通のもの)

分析

硅素	〇・三	滿	〇・四五
炭素	〇・二二	硫	〇・〇三五
磷	〇・〇二八	黄	

これは實用上は餘り使用することはありませんが鑄鐵に比べて見る爲めに用ひたのです。(The

foundry jan, 1917. p. 28.)

(ニ)金屬砂

合金用鑄物砂、純銅粉末等分混合

合金用鑄物砂、鑄鐵粉末等分混合

之れは餘り一般には使用されては居りませんが鑄物の材質と鑄物の形狀に依つて至極適當のもので私は好んで使用しつゝあります尤も純銅粉末の方は用ひません。

(ホ)純銅(鑄造のもの)

分析

銅	九九・七二
錫	〇・〇三
殘部	鐵其他

不經濟である爲めに實用上餘り使用しません。

(ヘ)青銅

分析

銅

八七八七

錫

一〇〇二

亜鉛

二二一

アルミニウム鑄物などには日常多く使用しつゝあります。以上各々の材質に就ては其熱傳導率の如何は分つて居るのですが果してどの位のチルがあるかを比較試験する爲めに使用したのであります。

(四) 粒子の變化に影響する事項

鑄型の状態を全く同一としますと粒子の大きさは「冷し金」材質、厚薄、溫度、注湯溫度、冷却時間に依て其々變化するものですから次の様に心配して施行しました。

(イ) 冷し金材質、冷し金溫度、注湯溫度、冷却時間を同一として「冷し金」厚さを變更す。

但し鑄鐵を用ひたるもの

試片二一六

第十圖

軟鋼を用ひたるもの

試片七一八

(ロ) 冷し金厚さ、冷し金溫度、注湯溫度、冷却時間を同一として「冷し金」材料を變更す。

試片四及九一十二 第十圖及十一圖

(ハ) 冷し金材質、冷し金厚さ、冷し金溫度、注湯溫度を同一として冷却時間を變更す。

試片四及十三一十四 第十圖及十一圖

(ニ) 冷し金材質、冷し金厚さ、冷し金溫度、冷却時間を同一として注湯溫度を變更す。

試片十五一十六 第十一圖

但し「冷し金」溫度、冷却時間は前の場合とは相違するものとす。

右の各々の場合に於ける粒子の變化状態は寫眞圖(一)乃至(三)に載せてある通りであります。

(五) 試験の方法

前述の試験材及各種の「冷し金」を使用して鑄型は砂型で完全に濕氣を除去し又塗料も特種のものを用ひまして、湯量、溫度其他凡てのものを人為的になし能ふ丈け同一のものとし少しでも過誤のない様にしまして第十圖及第十一圖に示す様な鑄型に湯を注入したのであります。試験片の試験面は何れも第十二圖に示す様な表面を取り即ち其表面を研磨の上硝酸で腐蝕して寫眞及顯微鏡寫眞を撮寫したのです。硝酸で腐蝕しました爲め顯微鏡寫眞は少々汚ないですが之れは参考として二枚丈け第十三圖に掲げて置いたので何にも組織を檢查するのではないから差支ないのであります。

(六) 粒子數の計測方法

精確に云ひますと立體に就て計出するのが至當ですが複雑となつて來ますから平面で計測したのであります (Engineering, april. 19. 1918, p. 441 鐵と鋼 第二年第五號 第四年第四號)

試験面の各位置に於ける一平方耗の粒子數の計測は寫眞圖に示す様に三・三倍の寫眞に撮りました第十三圖 A の様に各々の位置に三つ乃至四つの十耗の正方形を畫きまして其粒子數を計へて平均を取つて換算したので、粒子の極細密の部丈けは別に十倍の寫眞に撮して換算しました、三・三倍と云ふことは別に何等の意味はないのであります。

粒子數の數へ方は

a.....十耗正方形内に正味包容せられたる粒子の數

b.....此の正方形の周圍の線に跨る粒子の數

とすれば實際十耗正方形内に包容せらるゝ粒子數は $a + \frac{b}{2}$ でありまして $n = \text{Const} \parallel 0.5$ と取りました。

(七) 粒子面積の計測方法

(イ)公式に依るもの

次の式に依つたものですが、つまり此の場合では一平方耗内の粒子数で一を除いたものと同じことになるのです。

全面積	F	平方耗
粒子數	n	
擴大倍數	v	
所要平均粒子面積	ψ	ミクロン
單位	μ	

$$\mu = \frac{1}{1000} \text{ m. m.} = 10^{-3}$$

$$\mu^2 = 10^{-6}$$

$$\frac{F}{\mu^2} = \frac{F}{10^{-6}} = F \times 10^6$$

$$\psi = \frac{F}{n} \times \frac{10^6}{v^2}$$

(ロ)プラニメーターに依るもの

寫真機械のピント、ガラスに五五倍の顯微鏡の像を寫しまして夫れに薄紙を當て、鉛筆で粒界面の周圍を畫き各々の位置で少し宛移動して三つ乃至四つ丈け取て其薄紙の粒子面積をコフイネ式プラニメーターで計測の上換算して平均値を出したのであります。第十三圖B)

五五倍と云ふことも別に何等の意味はないのであります。但し以上何れの計測に當りましても粒界面の線面積はネグレクトしました。

(ハ)結果

寫眞圖及び第一表に示せる通りでありまして大體に於ては先づ豫期せる通りの結果を得たのですが試片七、八即ち軟鋼は案外冷しの効力が多いのであります。試片九は側方が非常に多く熱を奪はれて居ります。試片一乃至十二は燒鈍の傾向となるので試片四、十三、十四などは殆んど同一の結果であります。チルを最も有効にするには熱傳導率の高い純銅を用ひて短時間接觸せしめて置くが良いのであります。寫眞圖及第一表に就て御覽を願ひますと「冷し金」のヒントが附くのであります。尙ほ茲に日常最も多く起り易い場合に於ける冷し程度の決定として第十四圖の様な形狀の品物に於て「冷し金」の厚さを變更しました四種の試片を切斷して粒子の狀態を見ますと收縮孔の出來具合は第九圖(2)と同じく結局此の場合の冷し程度は「冷し金」材質は鑄鐵にては厚さは $3/8$ "乃至 $7/16$ "を適當とする、丁度此の時厚薄部の粒子の狀態は均一となるのであります。

試験材質

前と同様「B」地金

「冷し金」材質

鑄鐵

「冷し金」溫度

一一〇度(華氏)

注湯溫度

九八〇度(攝氏)

冷却時間

常溫迄

寫眞圖(四)

- (1) は品物の肉 $1/2$ "即ち薄き部を切斷せるもの
 - (2) は品物の肉 1 "即ち厚き部を切斷せるもの
 - (3) は品物の肉 1 "即ち厚き部に厚さ $3/8$ "の鑄鐵
- 「冷し金」を用ひたる場合に於ける粒子の比較であります。

る爲めに前章で用ひました“B”合金に就て試験を施行した成績は第二表、寫眞圖(五)(六)に示す通りで、同じ分析の材質のもので粒子の大小は如何に機械的性質に變化を及ぼすかが分るのであります。第二表は五十八個の試片から強力の順に選擇計上したものでありまして之れを見ますと多少特別の場合も有るのですがそれは分子の結合状態等が相違するので即ち粒子を生成せしむる鑄造方法の相違に依る爲であります。一般には粒子の大小は機械的性質の良否に反比例をすることを知らず。而して茲に最も面白いのは破綻の相異即ち粒子破綻と粒界破綻を起すこととであります。

第四章 破綻断面の研究——粒界面の性能

金相學は他の學科に比べて極めて遅く發達したものである爲めに材料の性質に就て未だ解決されて居ないものは澤山ありまして此の粒界面の状態なども亦其の一つであります。

一、粒子、機械的性質及破綻状態の關係

“B”合金に就ては稀には粒子脆性の爲め粒子破綻を起し緊張力大、伸度極小の成績を示す場合もありますが一般には左表が得られました。決して粒子大なる時粒子破綻を又粒子小なる時粒界破綻を起すことは無いのを見出しました。

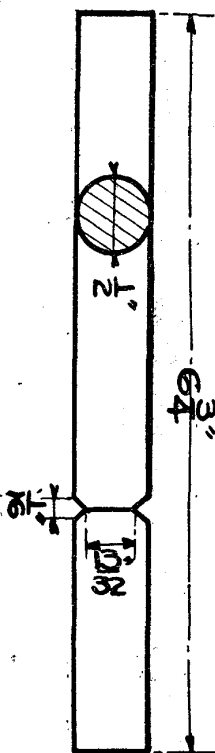
粒子の大小	冷却程度	緊張力	伸度	緊張力/伸度	粒子強力	粒界強力	断面の色	破綻の種類
小	大	大	大	小	小	大	白、黃乃至白、黃、褐	粒子破綻
大	小	中	小	大	大	小	白、薄紅、少灰色	粒界破綻

β多面體組織の範圍に於きまして韌性、脆性を増減したるものを試験しますと韌性比較的大なるものは粒子の大小に不拘必ず粒子破綻を起し脆性比較的大なる者は粒子大なる時に於て粒界破綻を、粒子小なる時に於ては粒子破綻を起しまして之れ畢竟粒界は其性能の相異の爲め韌強ともなり又脆弱ともなり要するに兩種の破綻の起る所以は

粒子強力 粒界強力
 の大小關係で尙ほ詳言すれば
 粒子靱性 粒界脆性
 の程度如何によるのであります。

第二表 “B”銅、亜鉛合金の組織(滿庵青銅)粒の大きさ、機械的諸性質及破綻狀態表

附號	粒の大きさ(一) 粒界(平均數) (耗平方)	機械的試驗		破綻面	備考
		彈性限 E _{0.2}	緊張力 E _{0.2}		
3-D	〇、一三〇	一九、九二八	四五、一二五	一六、四一	二、七五 二、一七
3-A	〇、一二七	二三、〇四五	四四、〇三〇	二〇、三一	
3-B	〇、一三〇	二〇、三六五	四三、五五〇	一七、九七	二、四二 一、五一
3-E	〇、一七一	二一、三三五	四二、四二五	二八、一二	
1-H	〇、一三〇	二二、四二〇	四一、四三五	二三、四四	一、七七 二、二三
M4 MB	〇、一三九	永久伸長 _{12,100'} 二七、五〇〇	四〇、〇七〇	一七、九七	
15	〇、四二七	二二、四六〇	三九、七二〇	一五、六二	二、五四 二、九一
13	〇、四二七	二〇、九七〇	三八、八四〇	一三、二八	
5-A	〇、二五二	二〇、五七〇	三三、五五〇	六、二五	二、六三 五、三七
7	〇、四二七	一一、四九〇	三二、七四〇	七、〇三	
M4 SA	〇、一八五	永久伸長 _{30,100'} 一七、五〇〇	二〇、五七五	三、九〇	五、二八 四、六六
M4 SB	〇、一九九	永久伸長 _{20,1000'} 一七、五〇〇	一九、二七五	三、一二	



繰返し打撃試験試料

- (一) 寫真圖五参照
- (二) 抗張強試験に對する試験片の寸法
直径 = 0.564"
- (三) 寫真圖六参照
- (四) 破綻面の色は繰返し打撃試験の者と抗張強試験の者と同一なり

ケムブリツヂ器具
 會社製機械に依る

合金鑄物の結晶粒子

結局鑄造方法次第で粒子、機械的性質、並に破綻状態は何うにでもなるのであります。
二、粒子小なる時機械的性質優良なり。

(一)分子の状態同一なる場合

粒子が嚴正なる固溶状態にあるか或は分子の結合、粘着等の状況全く同一でありまして粒子の大小を來たし而して各々が粒子破綻を起したとしますれば至極簡單に考へられ粒子の大小何れの時にも各々の粒子強力、粒界強力は夫々同一でありますから第十五圖 a、b、c、d の各々の或る位置に於て一つの切斷面積を取りますと(實際は立體に就て云ふのが當然ならんが)單位面積間に於ける粒界面積の總和は粒子小なる方が多いので非結晶セメント説に従ひますと第十六圖の A に示す様な破壊の状況となりますから強いものが同じ單位面積内に多く存在することとなり又此の説に關係することなく考へますと粒子小なる時は粒界面の凹凸なる交叉状が多いから強力並に伸度大なりと云ひ得るのであります、即ち

粒子内の結合が粘着力等同一なる時に於ては粒子の大小は機械的性質の良否に全く反比例す。
となるのであります。

(二)分子の状態不同なる場合

粒子の大小は鑄造處置法の相異に依て始めて起るものですから其各々の粒子内の状態の全く同一なる場合は同質の固溶體の時のみで爲めに漫然と粒子小なる時機械的性質良好である丈けでは満足は出來ないのであります。例へば第二表中 5-A, MASA, MASB の如きは粒子比較的小なるも其の機械的性質は良好ではなく夫等は其粒子の大小を生成せしめたる鑄造處置法の相異するが爲めの分子結合力の微弱、粒界又は粒子脆性に因るのであります。合金鑄物に於きましては概して粒子になる時分子は緻密でありますから

適當なる方法に依て生じたる粒子の小なる時機械的性質は優良なり。
となるので結局

優良なる鑄物を作らんとするには適當なる鑄造法に依て粒子を適當に小とするにあり。
と云ふに歸着するのであります。

三、粒子破綻面の色と粒界破綻面の色の相異

本研究中發見しました面白き現象は“B”合金に於きまして兩破綻面の色に著しき相異のあること
て之れは切斷の際に發生したる熱の相異の爲に起つたものとは思はれないのであります。第二表及
第十七圖(粒子破綻面の色は白黄乃至白黄褐色、粒界破綻面の色は白薄紅、少灰色を呈して黄色を混へ
ないのは殊に奇妙であります。(實物を示す)私は以前から此種材料の脆性多く粒界破綻を起したも
に就ては此の事實を認めて居つたのであります。

四、脆性と含有元素の關係

銅、亞鉛及び其他元素の含有せる合金に於て亞鉛の量を増すと脆性を伴ひ其脆性は單に亞鉛の一
手專賣である様に思はるゝが實際は亞鉛の増加による脆性増加の度よりも反つてアルミニウムや
錫などの方が其の割合は多いこととなるのであります。

亞鉛に對する元素の換位値　ギエー氏に依る換位係數を用ひまして

Guillet et. Portevin: *Brevis de métallographie* 1918. p. 240.

Desch: *Metallography*. 1913. p. 192.

分析成績を次のものと假定したる一例を示しますと

銅 = 55

亞鉛 = 35

鐵 = 2

錳 = 4

アルミニウム = 3

錫 = 1

$$\text{(換算) 亞鉛} = \frac{35 + 4 \times 0.5 + 3 \times 6 + 2 \times 0.9 + 1 \times 2}{55 + 35 + 4 \times 0.5 + 3 \times 6 + 2 \times 0.9 + 1 \times 2} \times 100 = 51.6$$

故に銅四八・四、亞鉛五一・六に相當する性質を有つこととなりまして此式を見ますと脆性の増加にはアルミニウムや錫が大なる影響を有つことになるのです。ニッケルは換位係数が負號でありますから脆性を反て減少する傾向となります。"B"合金の分析から此の値を計算して見ますと

銅 五三・三

亞鉛

四六・七

となりまして此の脆性は亞鉛から來て居るのであります。(第二章(二))

五、實例——軍艦金剛推進器の破壊竝に其原因

大正四年四月軍艦金剛の推進器左舷内側材質滿俺青銅がボツス部から破壊して居ることを入渠の際發見しまして分析及機械的試験を施行しましたが原因は單に材料の脆弱の爲であるとしたる以上追究しませんで終りましたのを私は非常に残念に思つて尙ほ研究を進める積りでしたが其後公務極めて多忙でありました爲め時間を得ませんでした内に歐洲に實習派遣を命ぜられたるため空也無也に今日迄經過した次第であります。

(一)破壊の狀況竝に製造所

寫真器 E, F, G に示す通り(圖省略)ボツスのセレッスの部を通じて一ヶ所縦に龜裂が貫通して居りました其の破壊は粒界破壊で粒子は非常に大きく發生して居るのには少なからず驚いた次第であります。製造所は英國ストーン社で其當時英國海軍で屢々推進器にエロージョンを起した爲めそれが救済策としてβ組織の適材を使用したかその材質が案外不適當であつた爲めかと同社の技師は話してあつたのであります。

(二)破壊の原因調査

(イ)分析竝に機械的試験

翼部から八ヶ所、ボツス部から六ヶ所の試料を取つて分析しました成績は此の通りです、何れも能く一様の成分を持つて居て燐などの不純物は含みませんがアルミニウムで力を出さんとしたる爲其の含有量が極めて多いのであります、此の試料と同一個所から採取試験しました合計十四個の緊張力試験成績は此の通りで何れも過不足なく一様に我海軍の規格に合格して居るのには感心する程ですが推進器製造の私の経験から申しますと少々危険であると思はれます。

一寸其の内一、二の成績を書いて見ますと

緊張力試験(每平方吋噸)

伸度(二吋)

試片直徑

三三、四〇〇

一七・一九

〇・七九八吋

三四、一九〇

一五・〇六

〇・五六二吋

繰返し打撃試験(ケンブリッジ、インストルメント會社製機械使用)

打撃數

錠の高さ

試片直徑

七一二

六〇耗

三十二分十三吋

右の兩試験に於ける折れ口の状況は何れも粒子破綻が大部分で其一部竝に折れ口から奥の二、三ヶ所は粒界破綻を起して居るのです、粒子が大きいから極めて鮮明に分ります、又緊張力、試片の外側には粒界面の迂りを表はして居りまして肉眼で容易に見ることが出来るのであります。(寫真圖九)

(ロ)換位亞鉛値

分析成績から此の値を計算して見ますと

銅

五一・五乃至四七・六

亞鉛

四八五乃至五二四

て此の脆性は重にアルミニウムから來たものであります。

“B”合金に比べますと此の方が脆性は多いことになるのですが材料としては遙かに“B”合金よりも良好で、それは亞鉛とアルミニウムの差異から起るのであります。

(ハ)常溫にて鎚撃を加へたる時の破壊

材料の一片を常溫にて強大なる數回の鎚撃を加へますと始めて折損しまして其の破綻面は前の兩試験と殆んど同様で其大部分は粒子破綻で僅かの所丈け粒界破綻を起して居ります。断面の色は前の試験の時も此の場合も同様に白薄紅鶯色でアルミニウムの多い滿俺青銅固有の色を呈して居ります。(寫眞圖十一)

以上を綜合して破壊は次の原因に依るものと斷定するのであります。

(一)材質の脆弱なること

換位亞鉛值、機械的試験成績竝に断面状態から見まして元々の材質が脆弱のものであります。

(二)構造上材質の受ける應力に變化あること

重量輕減の爲めボツス部にレセスを附けることは粒子の均等を得んとする爲には鑄造上非常に困難でありまして、従て鑄造の際不同の内應力を生ずる場合が多いのです。加之使用中此の附近に受ける應力は平等でも肉の不同の爲め或る粒子は彈性限界以上の應力を受けることもなりまして破壊の線が此のレセスを貫通して居ることから判斷すれば此の事實を確認するに足るのであります。

(三)粒界の狀況平滑なること

粒界の状態は規則正しき多面體を呈し單位長さに對する引き懸り凹凸は少なく即ち平滑であり

ますから粒界は移動離開し易いのであります。

繰返し打撃試片の断面から見ますと先づ打撃の爲め或る粒界は移動離開を來したが他の粒界は未だ離開しない内に粒子の方が力を失ひたるものと信ぜられまして假りにこの打撃が一樣に緩漫に起つたとすれば粒界の離開は迂廻連續して起つて來ることと思はれます然らば全體を通じて粒界破綻を起すこととなりまして實例の破壊は丁度之に相當したるものと信ぜられます。

要するに推進器は車軸にキーされて居れば車軸と一體のものと思はれ得まして使用中常に比較的強大なる力が肉の異なるボス部に加はりましたりは脆性なる粒界に起り纒行離開したるものなること先年軍艦三笠推進軸折損の際調査報告しました原因と同一の理由であると結論するのであります。

(爲參考、材料の疲勞性から凹凸の渦卷狀スリップバンドを生ずる軍艦推進軸の寫眞圖七、八を示す)

六、金剛推進器材以後この材質のものを“K”合金と假稱すの加熱研究

(一)加熱にて鎚撃を加へたる時の破壊——柘榴狀破綻

本合金の小片を加熱して鎚撃又は第十八圖に示す装置で打撃を加へますと第十九圖に示す通りの結果となるのです。常溫にては前に述べました通りの破壊狀態で断面は極めて密であります。華氏四〇〇度附近にては一、二回の極輕き鎚撃にて極めて容易に粒界破壊を起し恰も柘榴の實をもぐ如き現象を呈します。(寫眞圖十一)而して溫度の上昇と共に破壊力は多少の相異を來しますが華氏一〇〇〇度位迄此の現象は續きましてそれ以上となると如何に鎚撃を加ふるも決して破壊することはなく只だ屈曲するのみです。又右の溫度に加熱したものを一旦緩冷しますと此の様なことは起りません。此の現象は其の當時實驗したので其後中絶しまして今回同一實驗を繰返して見ますと同様の結果を得たのであります。前章の實驗に供したる“B”合金も之れに近き現象を現はしますが私の今日

使用して居ります、 β 組織の良好なる材質のもの(適當なる鑄造法による試片にては最高緊張力四六三・五〇噸、伸度二四・二%)にては之と殆んど正反對で決して粒界破壊を起すことなく打撃を加ふれば加ふる程單に屈曲するのみであります。(常溫にては強大なる數回の鎚撃にて初めて粒子破綻を起す)以上は粒界面の性能の相異によるものと信ぜられまして想像されたるセメントは前者は低溫にて忽ち凝着力の缺乏を來すこととなるのであります。

(二)右の現象を起すべき配合

先年、驅逐艦推進器のエロージョン問題の起りました當時並に今回の實驗中此種材料の約一五〇種程の異つた配合に就て研究しました處右の現象を起し易き爲め配合は次の通りであることを確認したのであります。

(イ)亞鉛、錫及アルミニウムの含有量何れか多きとき

(ロ)磷の含有量多きとき

(ハ)以上の元素含有量同時に多きとき

(三)粒界面の色

常溫鎚撃にて破壊されたる時の破綻断面の色は白、薄紅、鳶色、混合色ですが低溫加熱鎚撃にて破壊されたるよきの粒界柝榴狀破綻面の色は全然相違しまして黄色であります。(寫眞圖十一)之は破壊後瞬時に檢視確認したので、此の色は常溫破壊のものを加熱したるものと全く同色でありまして又此の表面を鑢削して見ますと内部は常溫破壊のものと同色を呈してあります。

(四)粒子及粒界面の變形

常溫のものを漸次加熱しますと粒子は變形を來し即ち各粒子は自己の勢力擴張の爲茲に相互に争鬭が起りまして或るものは擴張し他のものは消滅し又は新らしき粒子の發生を見る様な現象を

起します、同一の試片を順次に連続的に試験しましたものは寫眞圖(十二)の通りで誠に面白い變化であります、之は全く再結晶の爲め結晶方位の變化する結果であります、偶然にも昨日入手致しました Engineering Sept. 17, 24, 1920 に Prof. Carpenter は Crystal growth & recrystallization in metals, なる表題の下に錫アンチモニー合金に就て此の現象を發表して居りました、私の本合金に就ての研究と全く一致して居りますのには誠に愉快を感じた次第であります、寫眞圖(十二)の4, 6などの粒界面の起伏變形の状況などは同教授の事實と寸分違はず一致して居ります、7は特に6のA部を擴大したのです。

次に寫眞圖(十三)は加熱したるものを水中に急冷しましたもので此の時粒子は小粒子に分裂されました、是等は鋼などの熱處理に對すると異様なものであります、試に緊張力試験片と同寸法のものに此の處理を行ひ試験して見ましたところ張力を加へるや直ちに破斷しまして強力は全く無いのであります、其試片破綻面の外周側の輪形周圍を除く内部全體には水が停滯して其粒界は何れも黒薄鼠色を呈して居りました、之は蒸気が分裂せる粒界間に壓入して一種の瓦斯を發生して粒界に作用し後凝固停滯したるものと思はれます、是等は實用上避くべき處理であるのは勿論であります、誠に面白い現象であります。

(五)劈裂面破壊の好適例

本材料を熔解に近い程度迄加熱しますと分子相互の凝着點は極めて少なくなりまして粒界は離開し分子は分裂するのであります、粒子が大きいかから最も鮮明に此の状態を知ることが出来ますので御覽の通り劈裂が粒子内に起りましたものや、粒界が全く離開したもので、又は將に離開せんとして僅に一、二の線で粒子が連絡して居るものなどの有様は實に奇觀であります、(實物を示す)蓋し之れは想像されたる劈裂面から破壊を起したるもの、模範的の好例でありまして此の瞬秒後には熔解してしまふので之れを得ますには仲々の困難でありました、寫眞圖(十四)は其状態の寫眞であります

て(1)(2)(3)は同一のものを各方面から見たものであります。

〔附言〕“K”合金の粒子は何故に斯く大きく發生したるものなるやと云ひますと勿論冷却が遅かつたには違ひありませんが然らば何故に左程迄冷却が遅かりしやと云ふことになりして試に加熱冷却曲線を取て變態を他の同種のものと比較して見ましたが殆んど差異はありませんでした然らばアルミニウムの含有量の多い爲に熱量が多く従て注湯温度が高かつたかとも思はれるのです。

第五章 再び粒界面に就て——非結晶セメント説を論ず

粒界の性能に就て諸大家の説は區々でありますが今日一般に首肯されて種々の議論の基をなして居るものは Rosenhain, Ewen 及 Stead の諸博士其他多數の唱ふる非結晶セメント説であります。Howe 博士其他は之に疑問を以て居りました又我が本多博士は至極簡單に此の説を否定されて居られます。是等は何れも多くフェーライトに就て想像されておるのでありますが私は從來の經驗と今回の試験に徴しまして前述の合金に之を應用して吟味して見ますと

“K”合金の緊張力試片の折れ口に於ては大部分は粒子破綻ですが一部分及び其の入り込んだ奥の方の二三のものは粒界破綻を起して居るのみならず其試片の外側を見ますと大部分は粒界に迂りを現はして居ります。(寫眞圖九)及び實物を示す凡そ粒界破綻を起したるものは同様の迂り状態を呈します。此の状況から見まして粒界強力は比較的少く加之其状態は平滑なる爲に張力を受けて粒界は先づ迂りを起したが何分にも四周は石崖を作られて居る爲に破壊は未だ全粒界を縫行して進むに至らない内に粒子は其張力に耐へなくなつたものと思はれます。實例の破壊(第四章五)は粒界強力の少なきことを證明して居りました然らざれば粒子破壊となる譯であります。然しながら緊張力試片の折れ口附近に於ける粒界の變形は少く粒子は多く引き伸ばされて又切斷の際に於て多少無理

に引き裂かれ摩擦されたる形跡の粒界あるに徴しまして(寫眞圖十)粒界も亦相當の強力を有つことと思はれます。此の事は海軍用青銅などにも見受けらるゝのであります。

Technologic Papers of the Bureau of Standards, S. W. Stratton, Director, Washington.

Standard test specimens of Zinc bronze P. 61.

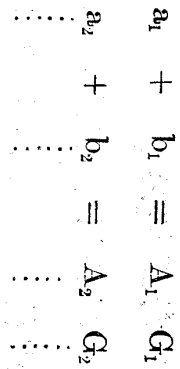
元々¹⁾K合金は脆性の材料でありますれば此の場合の粒界強力の少なきは結局粒界脆性に因るので即ち尙ほ是以上の脆性のものでありますれば全然粒界破綻となり言替ふれば「モロサ」が少々なかつたが爲試験に於ては上述の状態を呈したので之れに反して尙ほ「ネバサ」が多かつたらば全く粒子破綻となるであらうと思はれます。右の事實からK合金の粒界は所謂「モロ強イ」ものであると思はれます。尙茲に申上たき事は右試片の狀況から見まして粒界は鋸齒狀の破面を呈する爲めに強力を増すに至れるので即ち破壊の通路は第二十圖に示す如く抵抗の少なき粒子に向ひ其防禦の薄弱なる部分を貫通して居ることが明らかに分るのであります。(寫眞圖九)第四章一で申上ました通りβ多面體組織の發生から消滅迄の間に於ける組織の順序的變態から見まして其範圍にては七圖に示す通り事實を認めて居りますから即ち粒界は「ネバ強イ」場合と「モロ強イ」場合とありまして従て破壊を異にします。言替ふればセメントは常に相當なる強力を有つものであるが「ネバイ」時と「モロイ」時で其強力は相違するものであると同時に又全體としての強力は鋸齒狀の爲に相當に附加せらるゝものと思はれます。例へば假りに粒子粒界全く同一の強力であると思はれますれば鋸齒狀の影響を蒙りまして全體としての粒界強力は可成り大となる理であります。尙ほ詳しく申しますと

a 粒界固有の力

b 鋸齒狀の爲に附加さるゝ粒界の力

としますれば粒界全體としての力は $a + b = A$ であり又Gを粒子強力としますれば鋸齒狀の爲に粒子強力

40 も従て多少は増加するのですがそれは面積に比べて極僅少のものでありますからネグレクトして
 差支ありませんから結局破綻は一般に



の各々の種々の場合で相異しまして一つの材質に就ては單に $a + b = A \cdot G$ の關係に依ることと思はれま
 す次に“B”合金又は夫れ以上脆性の材質のものは粒子の大小に應じて破綻を異にする(第四章一)は何
 故であるか

結晶方法の相異なるに依るか

冷却の遅速より化合物停滯の相異なるに依るか

右の聯合作用に依るか

要するに此の何れかに外ならないのであらうと思はれます。

前者はフエーライトに就てステッド博士の唱ふる説でありまして粒子小なる時粒子内の劈裂面
 は相互に平行し易いこととなりますから破壊は全體として強く且つ通路の彎曲する粒界を避け平
 易なる粒子内に向ひ易しとは考へられますが然らば β 多面體組織の範圍に於て“B”合金よりも尙ほ
 比較的靱性に富む材料でも粒子大なる時に粒界破綻を起しそうなものであるが事實そうでないの
 は何の爲めであるか之れ前述の様に粒界の「ネバ強イ」に因する爲であらうと思はれます。

何分にも粒子小なる時には必ず粒子破綻を起し従て其場合に於ける粒界の色を窺知することが
 出来ませんが粒子大なる時に於ける粒界の色(第四章三)を見まして“B”合金の粒界には化合物が停滯
 することと信ずるのであります。然らば粒子小なる時化合物は粒界には全然停滯せざるか又は停滯

するもの鋸齒狀の多い爲に粒界は全體として強力を増し爲に悪性を發揮し得ない内に粒子は破壊するに至るか或は粒子大なる時は粒界の單位長に對して停滯する脆性フェルムの量多き爲であるかと云ふとになります。兎に角第四章三で申上げました通り、粒界破綻面の色は普通の黄銅又は青銅に亞鉛、錫又はアルミニウムを増加したるもの、斷面の色と相似することから冷却遅き時は此等に依て相互に生成されたる化合物は粒界に反撥集中(第十七圖)せられ爲に粒界脆性を起す因をなすものであると信ずるのであります。不純物等の粒界に停滯すると云ふとは往々想像又は時に實證されて居り又中心凝固説に依りましても、粒子大なる時は其の傾向を多く有つことなる、加之鋸齒狀の爲全體として粒界強力の多きに不拘粒子は依然たる前述の事實からも粒界には化合物が停滯するものと想像さるゝのです。私は色の發見からして斯く論ずるものであります。序に本合金に於て化合物は何故に粒界に停滯するやと申しますと從來數千の寫眞を見まして、此の種材料のβ組織は僅かの配合の相違で粒子内は均等なる固溶體を保たず固溶體、共晶體及び不溶體或は化合物の相互關聯結合したる所謂混合體となるのが多いのであります。銅亞鉛以外の各元素は夫々相當限度迄は固溶體中に包容熔解さるべき筈ですが元より夫れ等は固溶體に溶解することを衷心から熱望するものではありませんから、即ち親和力と冷却の關係から僅かの増加があつても分離し易いのであります。一例を申しますと黄銅に於ける固溶體中に錫の溶解する量は銅の分量に依て變更しまして

銅(パーセント)

錫の溶解量(パーセント)

七〇

二〇

六四

〇・五

五五

一・七五

であると云ふ位であります。

“B”合金中に含む各元素の各々相互の平衡線圖を見ましても分量の具合で脆性なる化合物を生成することゝなりまして且つ夫れ等は溶解溫度が低いから冷却遅きときは特に自己の棲家を粒界に求め従て脆性なるフェイルムを生ずるに至ると思はれます。

次に第四章六の(一)(三)及び第十九圖で申上りました通り“K”合金を加熱輕打して破壊せる粒界面の狀貌を熟視しますと所々に極微の突起せる粟粒を生じ恰かも或るものゝ溶解變形して凝着の缺乏を來したることを示して居りまして、分り易く言ひますと此の場合のセメントは「ニカワ」なのであります又粒界の變色となりましたのは粒界間に空氣の透浸されて酸化せられた爲めと思ひます。

此の事實はフェーライトに對するローゼンハイン、ハンフレー博士の實驗竝に硅素鋼に對するルーダー博士の發見と對照して誠に面白い事實と思はれまして私は後者の Intergranular “Chondritic” Fracture に對して茲に Intergranular “Zacritic” Fracture として御紹介したる次第であります。

(Howe: Metallography of Steel & Cast Iron 1916, Plate 40.A)

以上各場合に於ける事實を凝視熟考の上繰り返して申しますと粒界に存するフェイルムは配合又は鑄造方法の微小の相違で違ひ即ち其強力は粒子の性質の變化に應じて生ずる「ネバサ」と「モロサ」の附隨で著しき相異を來すと同時に Strong Contact metal theory に基く交叉の爲にアクセシブリティさるゝものでありますから必ずしも常に α/β であるとは限らず又 β/α のとき必ずしも常に α/β であると斷言することも出来なからうと思はれます、勿論“K”合金などは其形狀を其儘擴大即ち β/α としたならば α/β となるであります。

要するに β 多面體合金に就て明瞭なる事實の上から非結晶セメント説と本多博士説を奥深く論じたのであります。

フェーライトの場合も其の關係が右に述べました β 多面體組織の範圍に於ける滿庵青銅と同一

であり而して或る極々微妙なる範圍を連續的に吟味することが出来ましたならば此の様な状態となるであろうと思はるゝのであります。

〔附言〕“K”合金に對する前述の凡てのものは勿論同種の合金に就ては同様でありまして只だ“K”合金は粒子大きく爲めに便宜上之れに就て實驗考察したものであります。

第六章 結論——實用上に及ぼす影響

本編は凡て實用を主眼としたるものですから今更改めて述べる迄もないのですが總括して申上ますと第一章に於ては粒子の大小を生ずるは結局冷却程度の如何と熔金重量に依る然らば實際に於て冷却程度は如何に粒子の大小に變化を來すや(第二章)其の粒子の大小は機械的性質に如何に影響を及ぼすや(第三章)續て第四、五章で最後に於ける破綻断面は如何なる状態なるか即ち結晶粒子の生立から死滅迄を秩序的に述べたのであります。尙ほ重ねて申しますと、

第一章に於きましては吾々鑄造家は鑄物最終の目的たる各部の均等粒子を得る手段を日常念頭に置いて瓦斯拔、湯口制定、湯滓除去法等總てのものを適當にしなければ決して優良なる製品は出來難いのでありますから本章で一寸プラクチースの一端丈けを申述べた次第であります。

第二章に於きましてはよし、冷し金を使用するとも其の方法が要領を得て居ないか或は冷し程度等の判断が不充分でありますと反つて不良の品物が出來るのであつて鑄造家はこのヒントを常に腦底深く藏めて置くのが最も必要でありますから殊更詳細に試験したのであります。實例を申しますと

第一例

第二十二圖に於て(1)に示す品物を鑄込む場合に假りにこの位置にて鑄込むものとして(2)Aの様な方法を致しますと圖の通りの收縮孔が出來ます、之をBの様に致しますと必ず良果を得るので寫

44
眞圖P(圖省略)Iは(2)Aの方法でやりました不良の實物で御覽の通り何うです、リップなどを澤山に附けまして如何に汚ないことを、寫眞圖2は(2)Bの方法で鑄込みましたものでリップなどを少しも附けることもなく至極奇麗に出来て居るのであります、職工の使用する冷し方法は、大抵前者の様なもの、一寸油斷を致しますと此様なことをされるので誠に困り切つて居ります。

第二例

第二十三圖A、Bなる鑄物は中々の難物でありまして、從來困難として居りました魚雷放射管などよりも六ヶ敷いのであります、何故かと申しますと本品は英國ウエヤ社の計畫に基きまして御覽の通り兩面仕上の上チューブ、ネストとしてピッチの極細かい大穴を兩面に無數に明けらるので其上比較的高い壓力に曝露されるからであります。

元々之は海軍用青銅でも差支なしとしてありますが、そうすれば鑄型は極簡單になるのですが、海軍造機用青銅の規定を無視しませんと水壓に耐ゆることは覺束ないのであります、から已むを得ず鑄型の困難なるを省みず指定通りの材質のもので鑄造したのであります、考慮の末第二章の實驗の要領に基きまして夫々適當なる形状、厚さ、材質の澤山の冷し金を使用し、粒子の變化に影響する各事項を精確なる判斷の下に定めました爲、第二十四圖A(初回にて優良なる製品を得たのであります)、尙ほ第二十四圖Bは第二十三圖Bなる鑄物の方法に就て御參考迄に追加して置いたのであります。

以上は例として申した迄のことですが、此れ以外の材質例へばニッケル青銅鑄物などの如き殊に凝固の早い收縮の多いものであります、最も好都合でありまして尙ほ材質に依りましては此の實驗からの判斷を以て適當なる處置を採りますれば如何に肉の厚薄不同の複雑極りなきものでも均等粒子のものが得らるのであります、から従て試験片と實物と少しも差異がなく安全なる品物が出来上るのであります。

茲に一寸申し上げておきたいことは完全なる鑄物を作らんとせば其鑄物に誠實なれ、親切なれと云ふことが最も肝要でありまして以上の如く面倒なる手段を厭はず所謂「我が敵を愛せよ」とても云ひませうか或は「我が親友を愛せよ」と云ふ方が寧ろ穩當かも知れませんが要するに常に斯様な考を以て作業に當りますれば鑄物の靈も亦た我が赤心を嚮けることゝなるので有ります

第三章に就きましては同じ材質のものにて粒子の大小は斯く迄機械的性質に變化を及ぼすかを見ますと徐ろに慄然たるものがあります、而して夫れは亦鑄造方法に倚賴すること多きを思ひますと吾々は日常是れ等を念頭に置いて適切なる方法に依つて作業に當らなければならぬことが分るのであります。

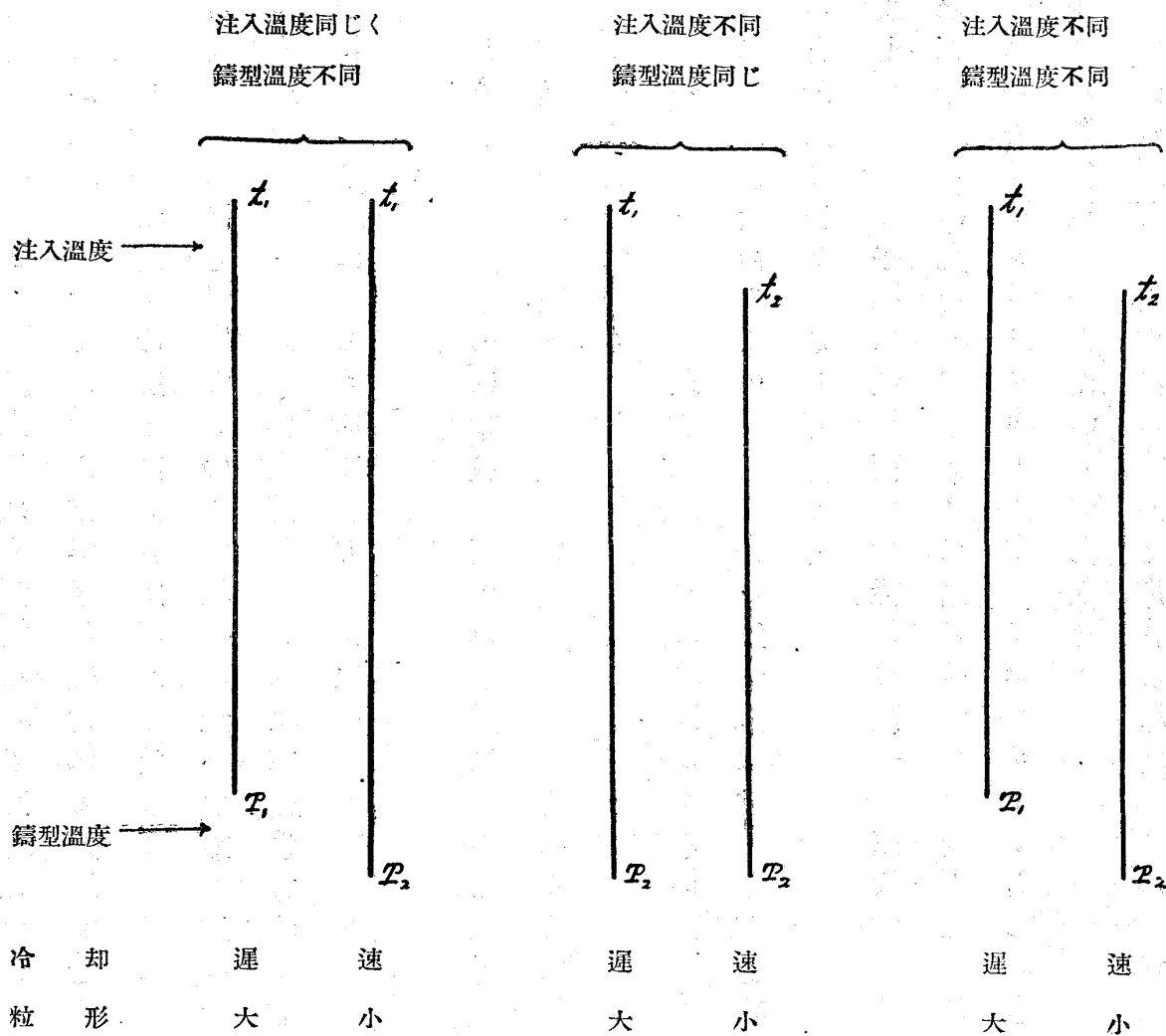
第四、五章に於きましては断面の状態、粒界面の色、加熱に依つて粒界強力の薄弱となる事實、粒子粒界の變形、擴大、再結晶及分裂、劈裂面の破壊、非結晶セメント説等を從來餘りトリートされて居らない合金に就て最も明瞭に實證、又は事實から論及したものでありまして、要するに粒子及粒界は斯くの如く變態を起すものでありまして最も注意しなければならぬ而して粒界面なるものは教育次第で善とも惡ともなるべき面白きものである。吾々鑄造家は宜しく之を善導し常に其の良性を發揮せしむべきであると云ふに結論するのであります。

終りに臨みまして結晶粒子、殊に粒界面の性能等は歐米の諸大家も複雑したる原因に依つて來るものにして將來充分なる研究を要すと云ふて居る位でありまして是れ等に没頭致しますると腦裡は結晶粒子の夫れの如くデンドリチカリーにオリエンテートして行きまして益々煩悶する次第であります、何卒諸賢の御指導を仰ぎたいのであります。

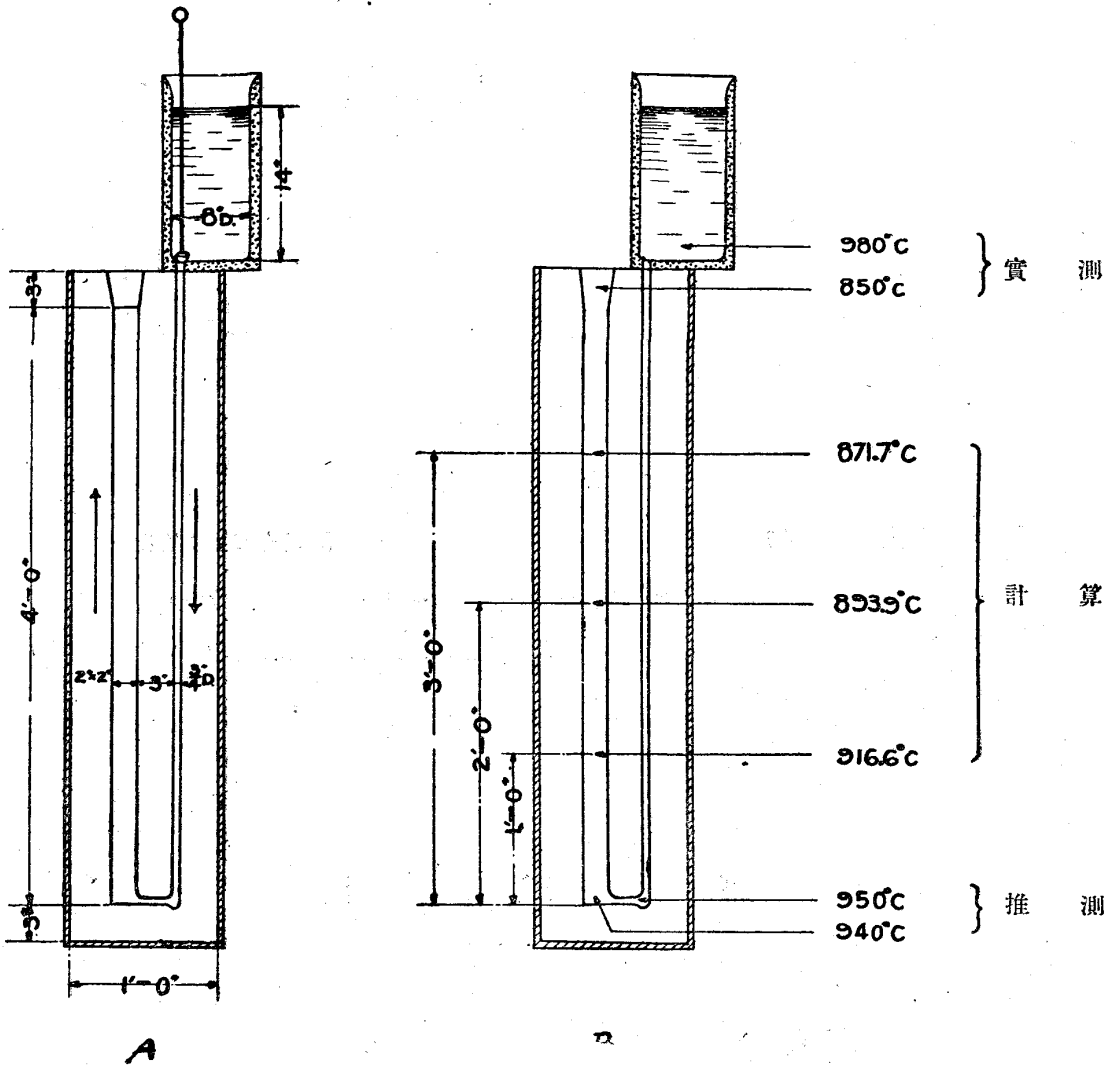
以上貧弱なる研究に對して貴重なる時間を消費されましたのは誠に痛み入つた次第であります

(終)

第一圖

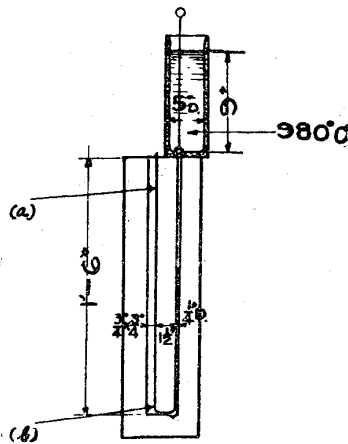


第 二 圖

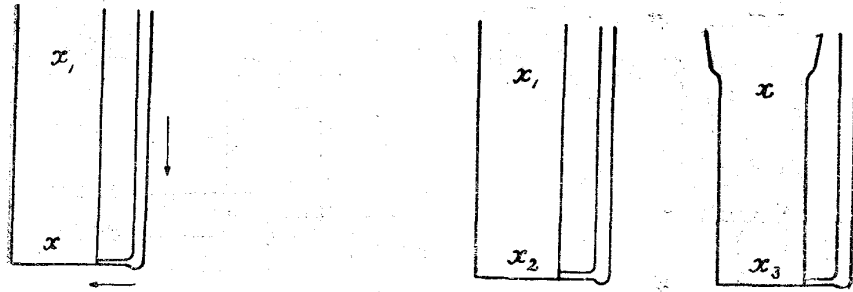


熱傳導の學理を適用す

第 三 圖



第 四 圖



粒 の 大 さ の 變 化

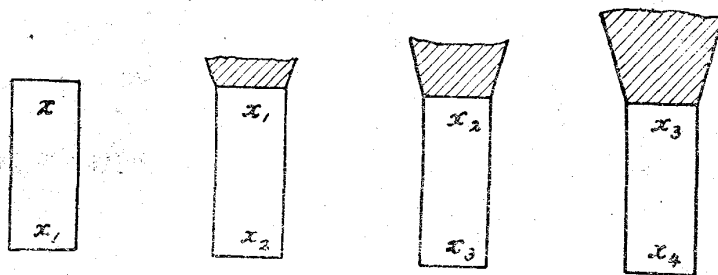
溫度のみに因る

溫度及重さに依る

x, x_1, x_2, x_3, \dots 粒の大きさ

$x > x_1 > x_2 > x_3$

第 五 圖

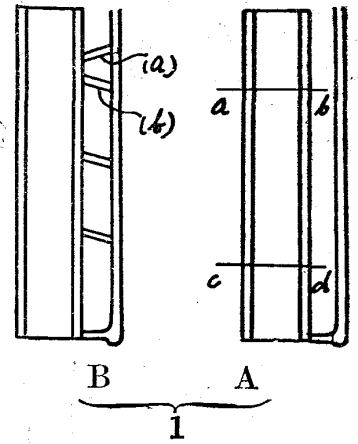
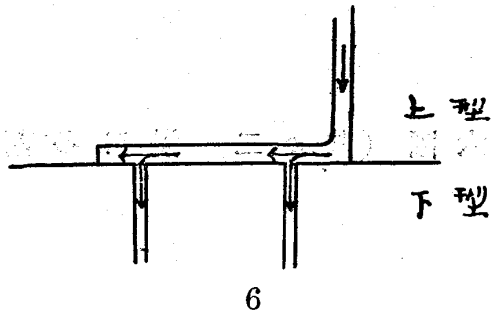
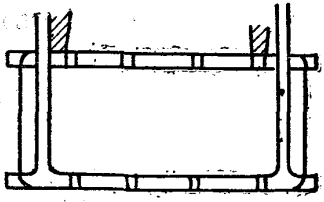


x, x_1, x_2, x_3, \dots 粒の大きさ

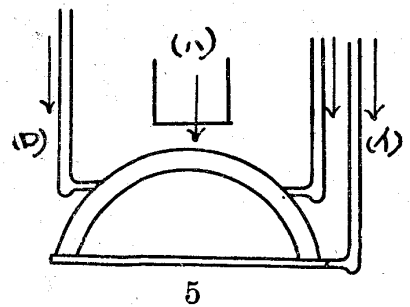
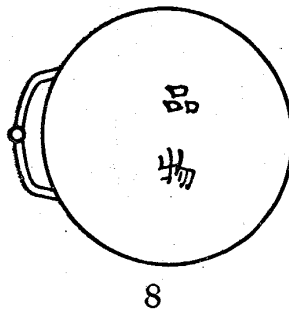
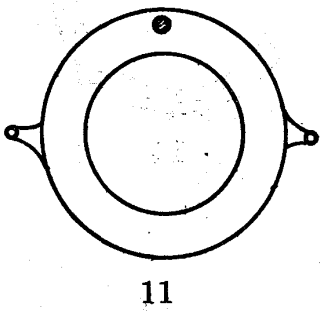
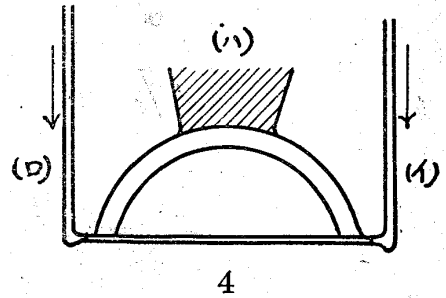
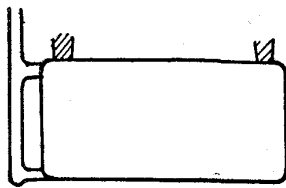
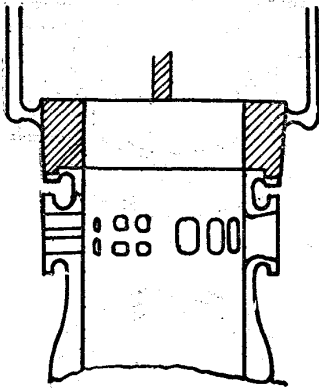
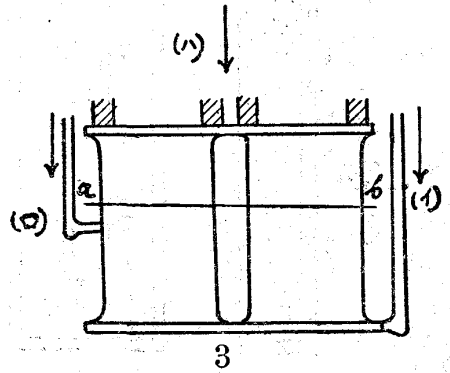
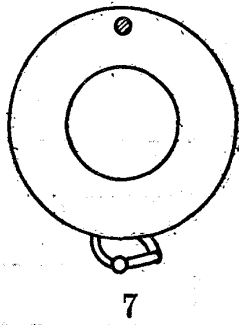
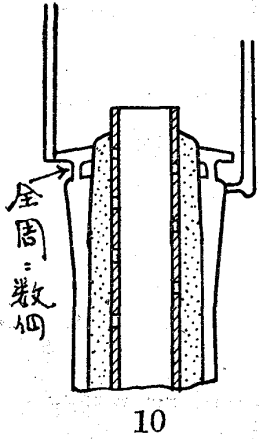
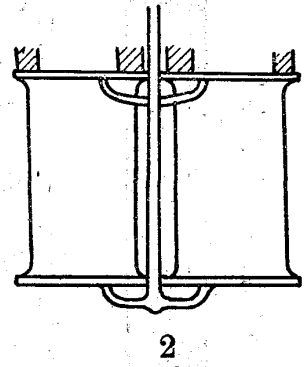
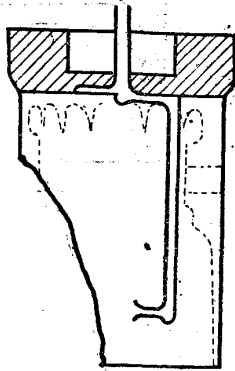
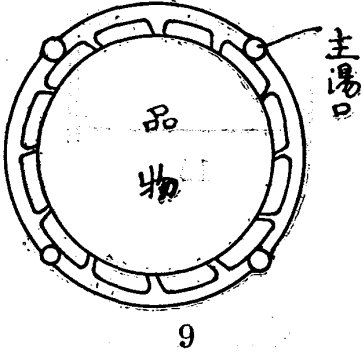
若し $x > x_1 > x_2 > x_3$

$x - x_1 > x_1 - x_2 > x_2 - x_3 > x_3 - x_4$ 凝固の差より

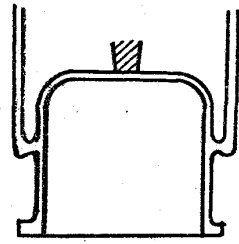
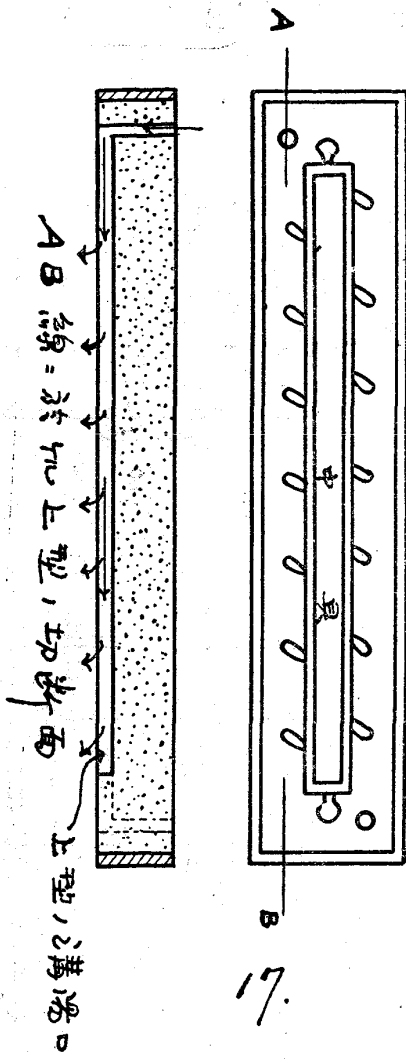
第六圖 (其の一) 湯口の諸形



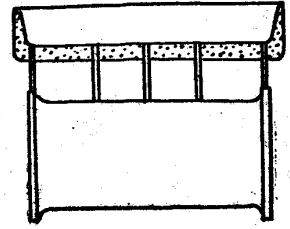
合金鑄物の結晶粒子



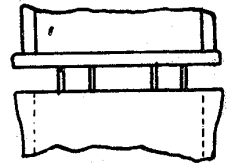
第六圖 (其の二) 湯口の諸形



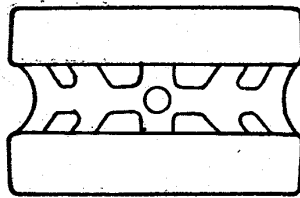
15



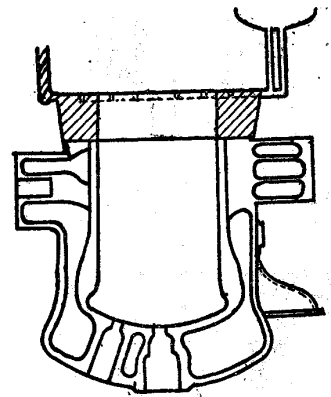
12



13



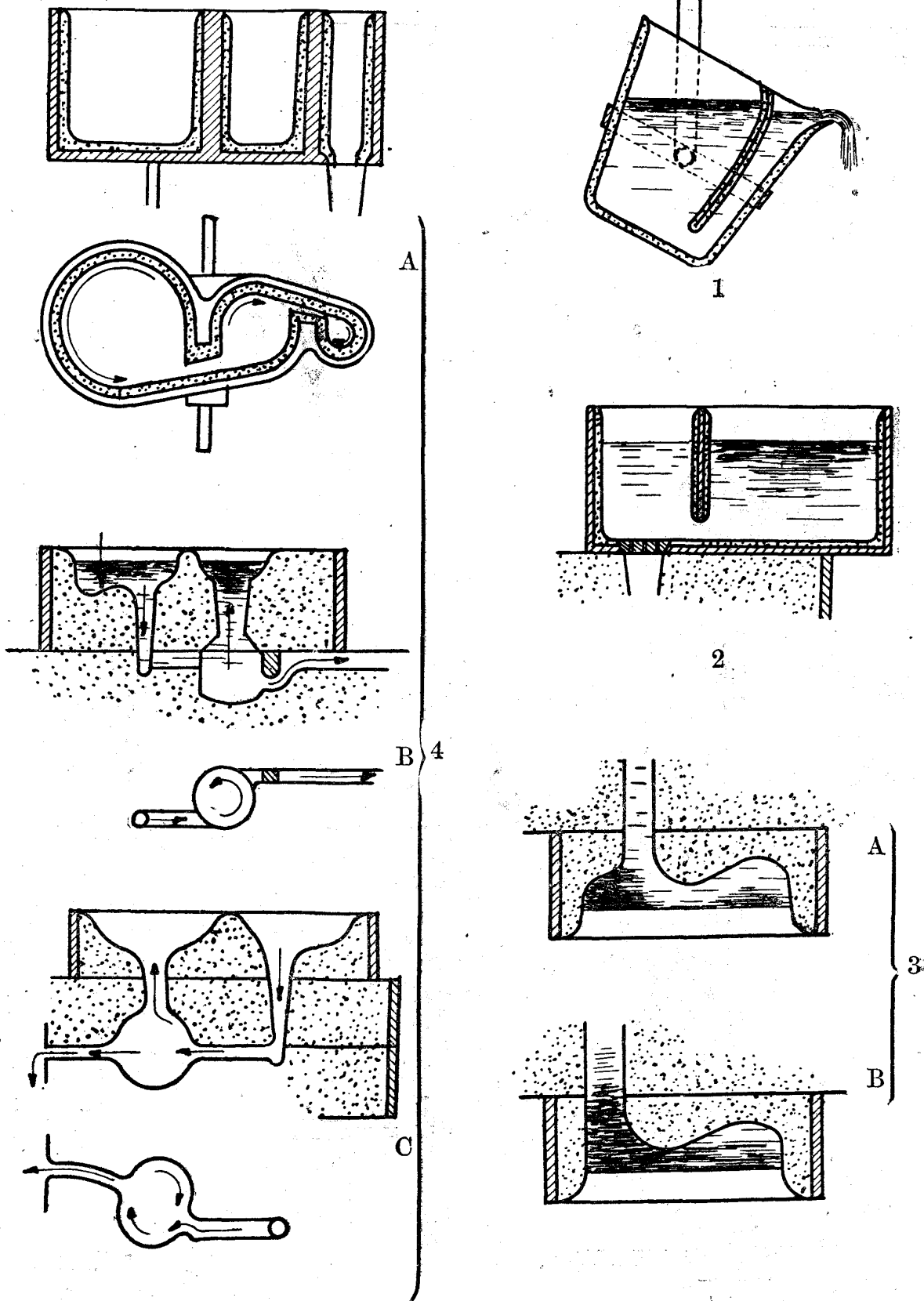
16



14

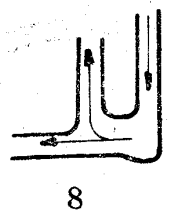
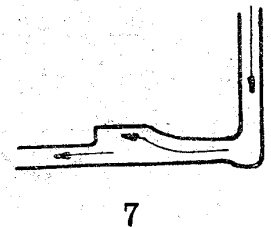
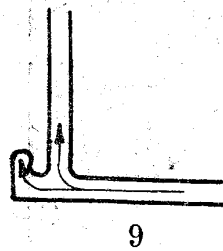
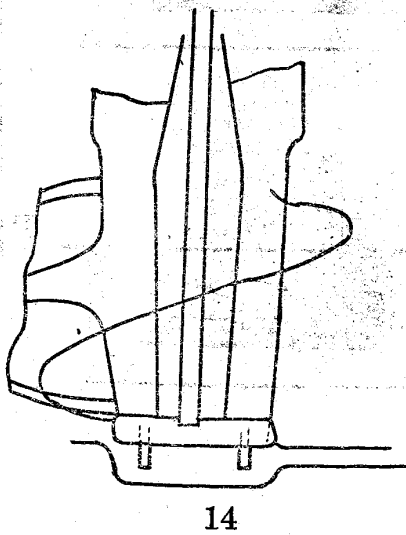
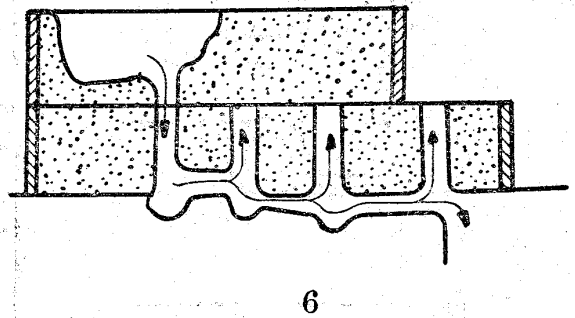
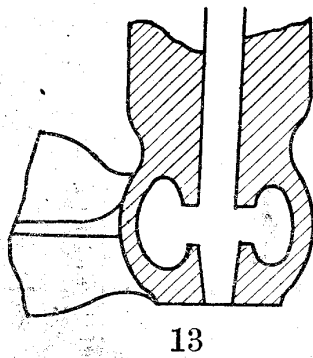
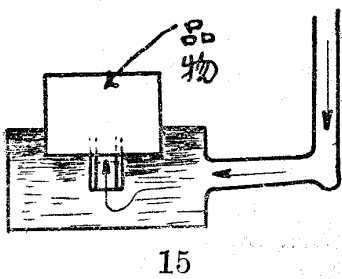
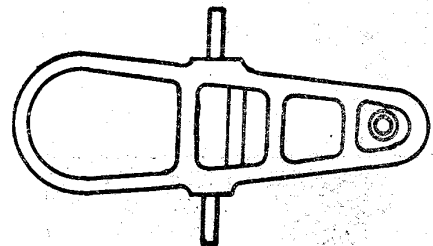
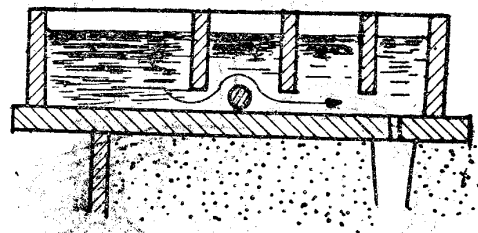
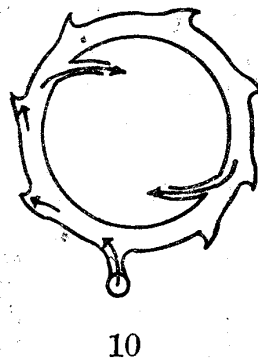
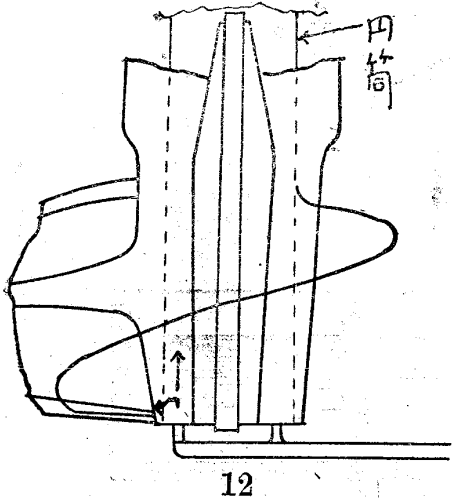
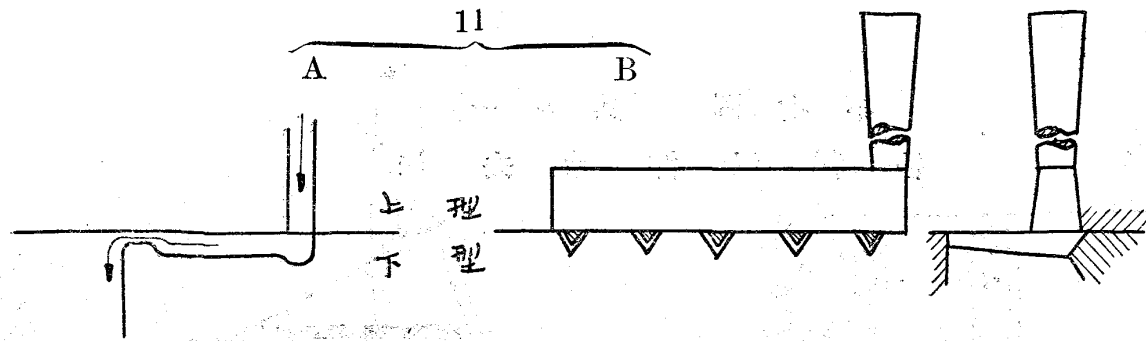
第七圖 (其の一)
各種湯滓除去法

合金鑄物の結晶粒子



第七圖 (其の二) 各種圖滓除去法

鐵と鋼 第七年 第四號

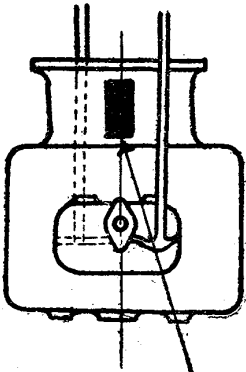


三三二

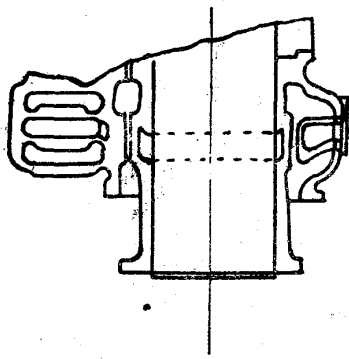
第八圖

合金鑄物の結晶粒子

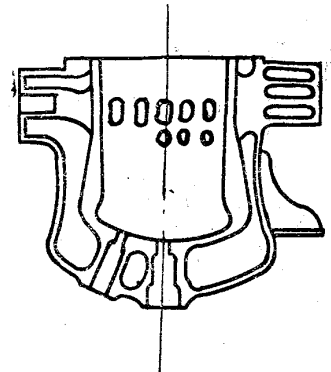
3



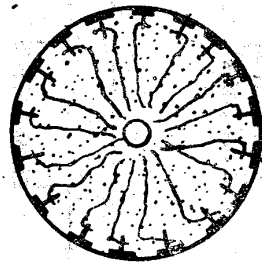
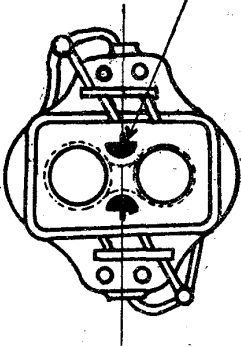
2



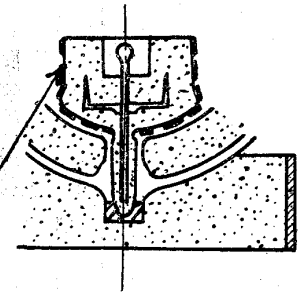
1



鑄鐵冷し金

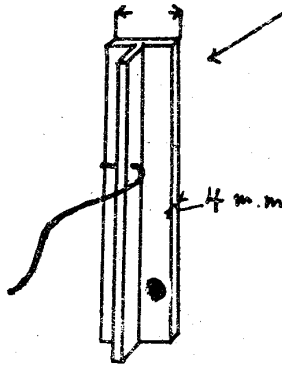


鑄鐵冷し金



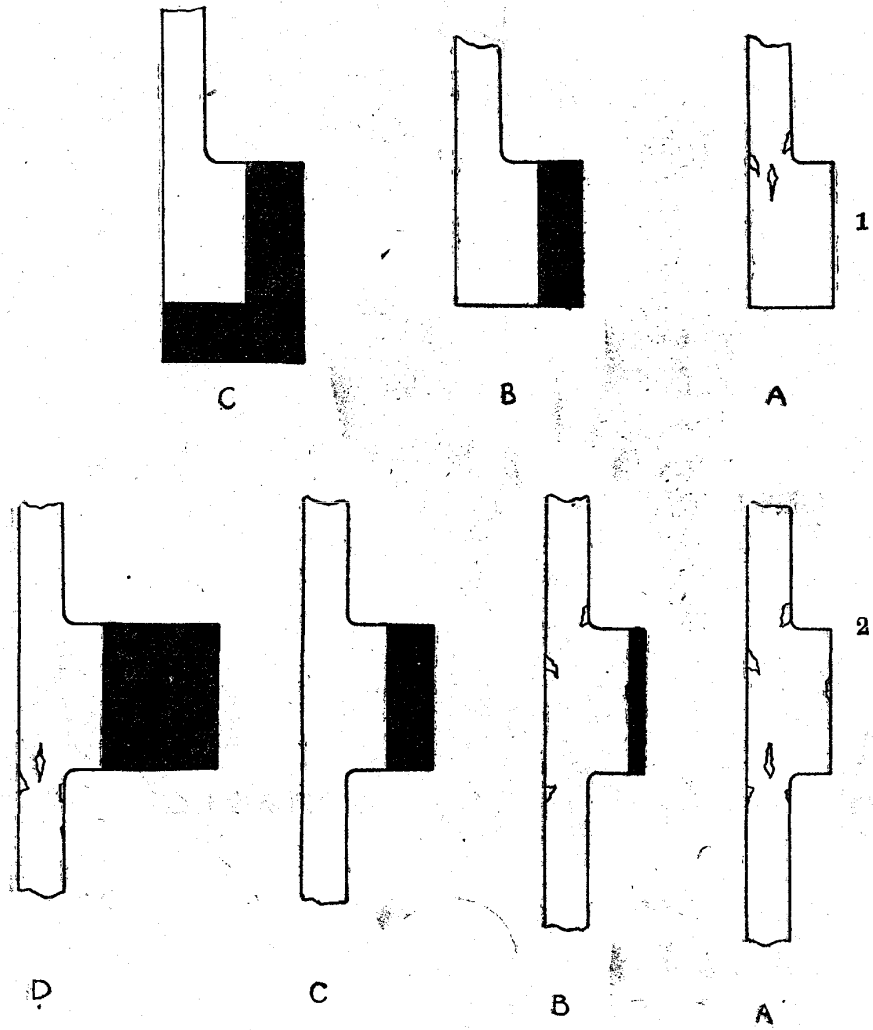
35mm.

冷し金の寸法



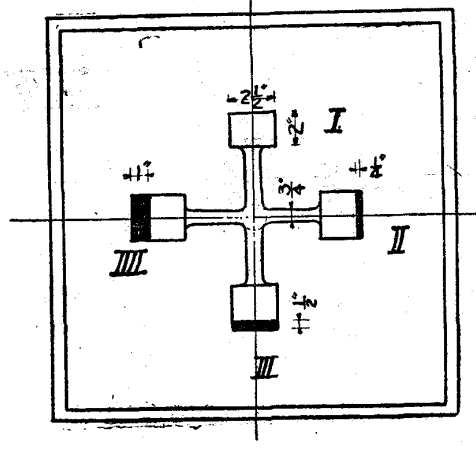
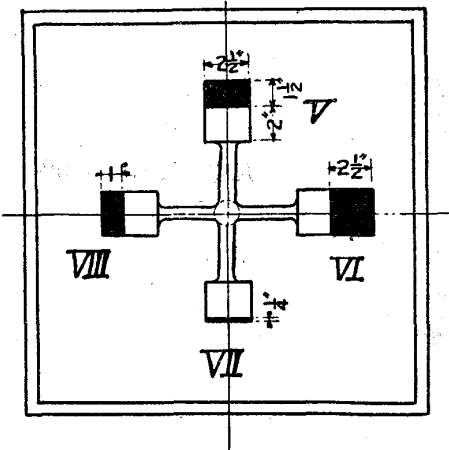
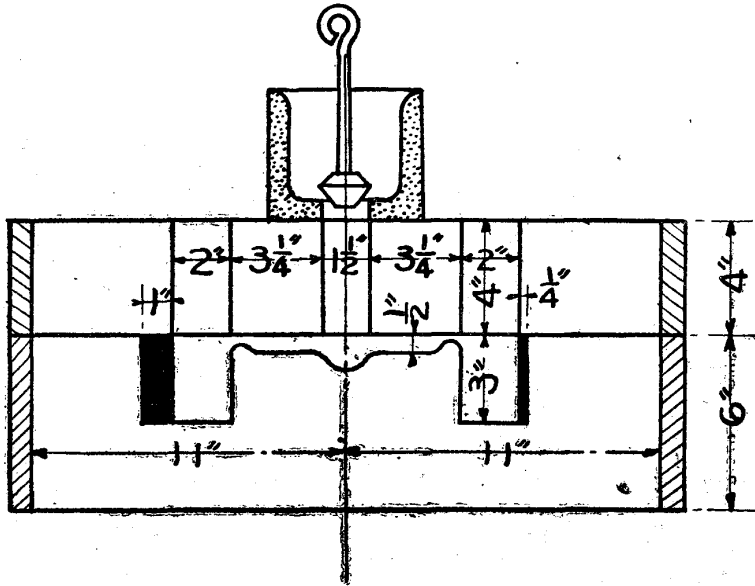
20x30x2. mm.

第九圖



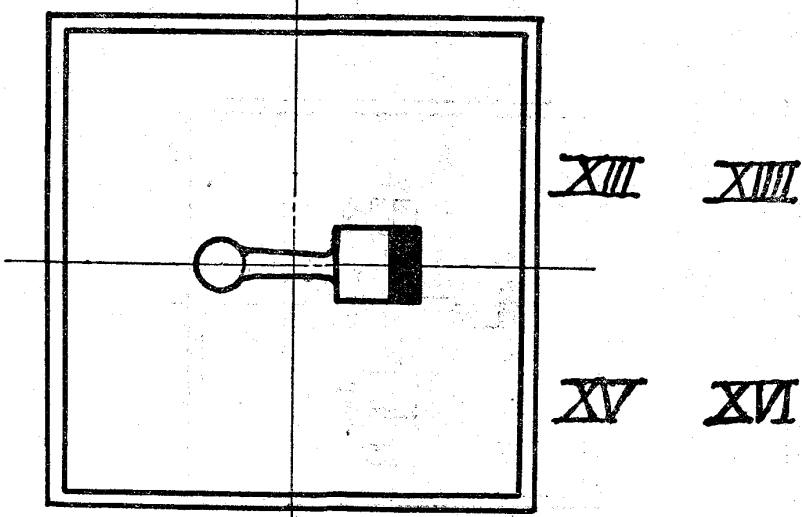
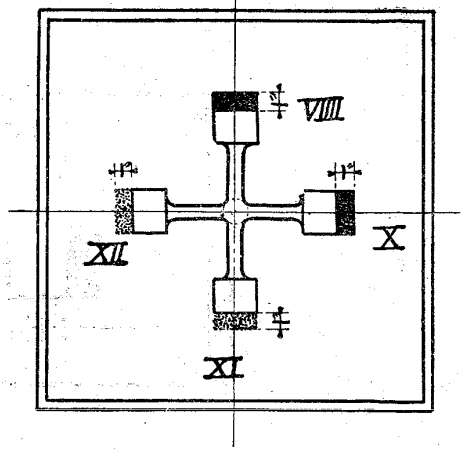
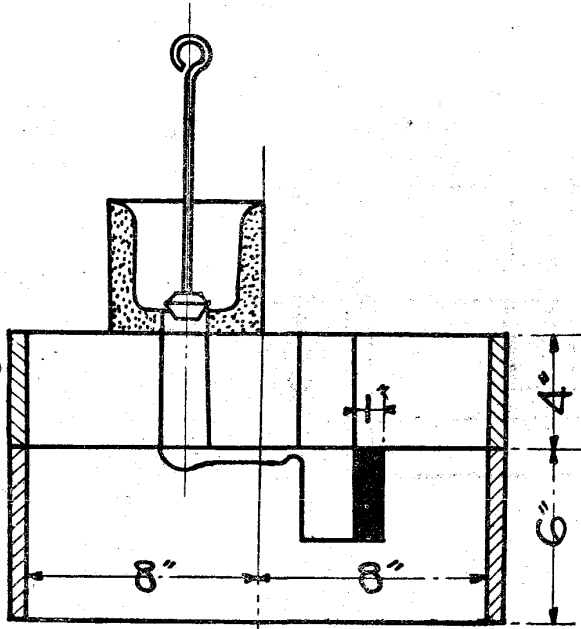
第十圖

合金鑄物の結晶粒子



尺度 1 1/2" = 1' - 0"

第 十 一 圖

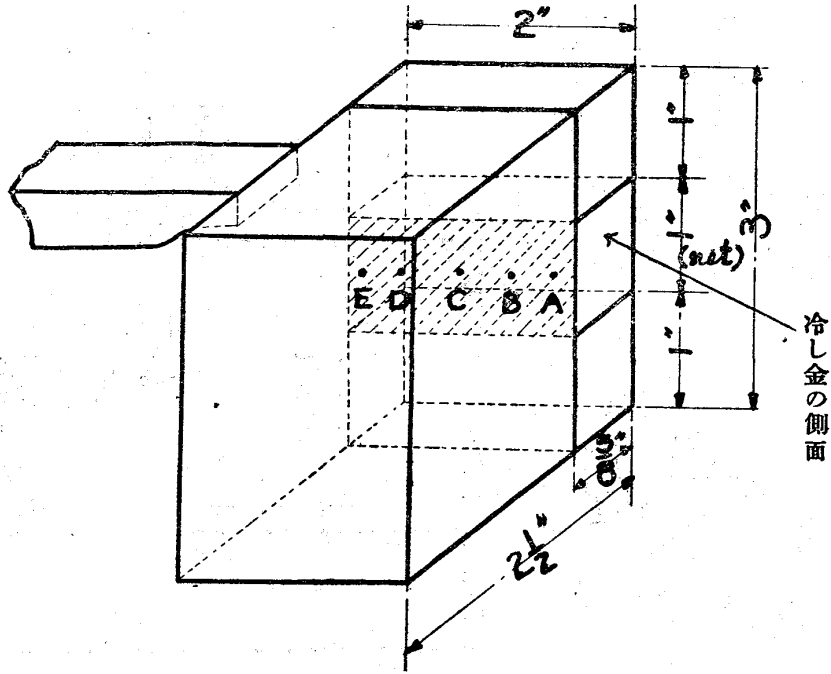


尺度 1 1/2" = 1' - 0"

鐵 鋼 第 七 年 第 四 號

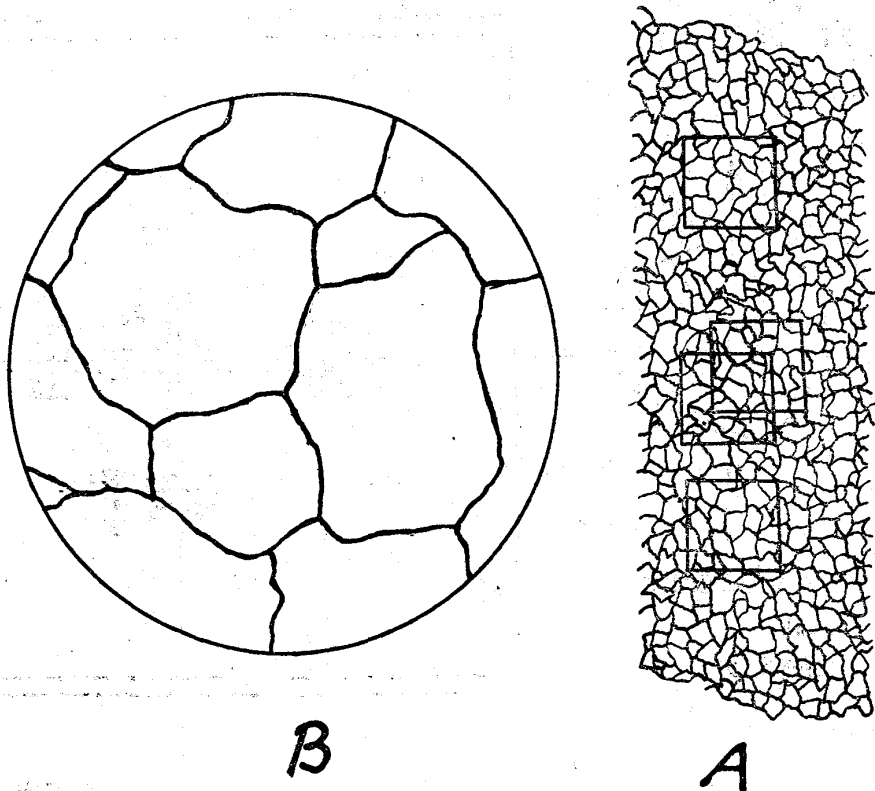
三 三 六

第十二圖



尺縮 $\frac{1}{2}$

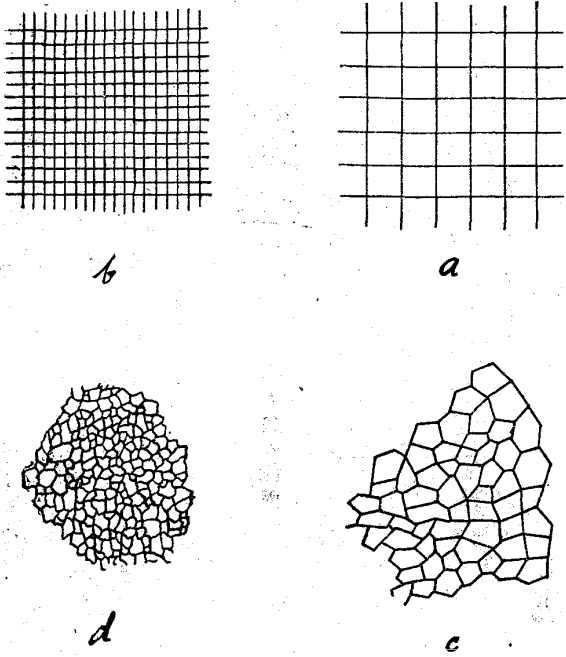
第十三圖



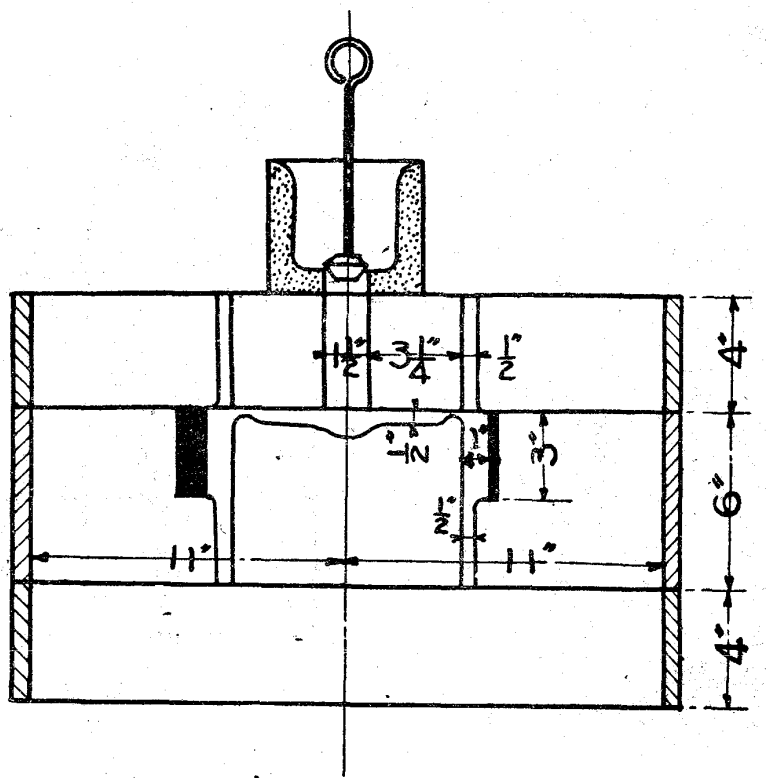
合金鑄物の結晶粒子

三三七

第十五圖

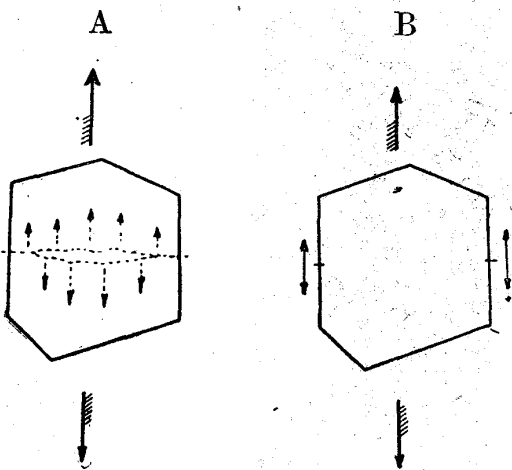


第十四圖



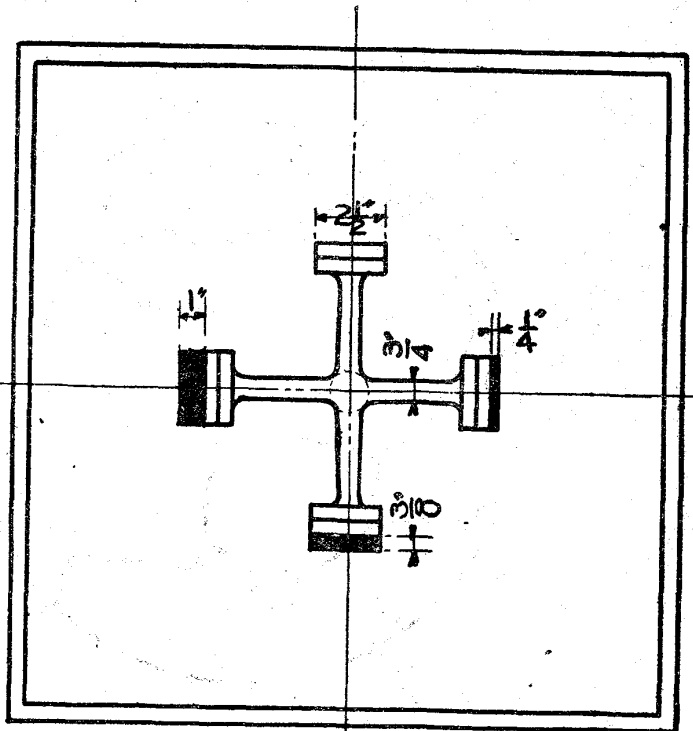
鐵と鋼 第七年 第四號

第十六圖



粒子境界を破壊す
強(靱)
粒子先づ破壊し後
境界に及ぶ

粒界境界を破壊す
弱(脆)
境界破壊す

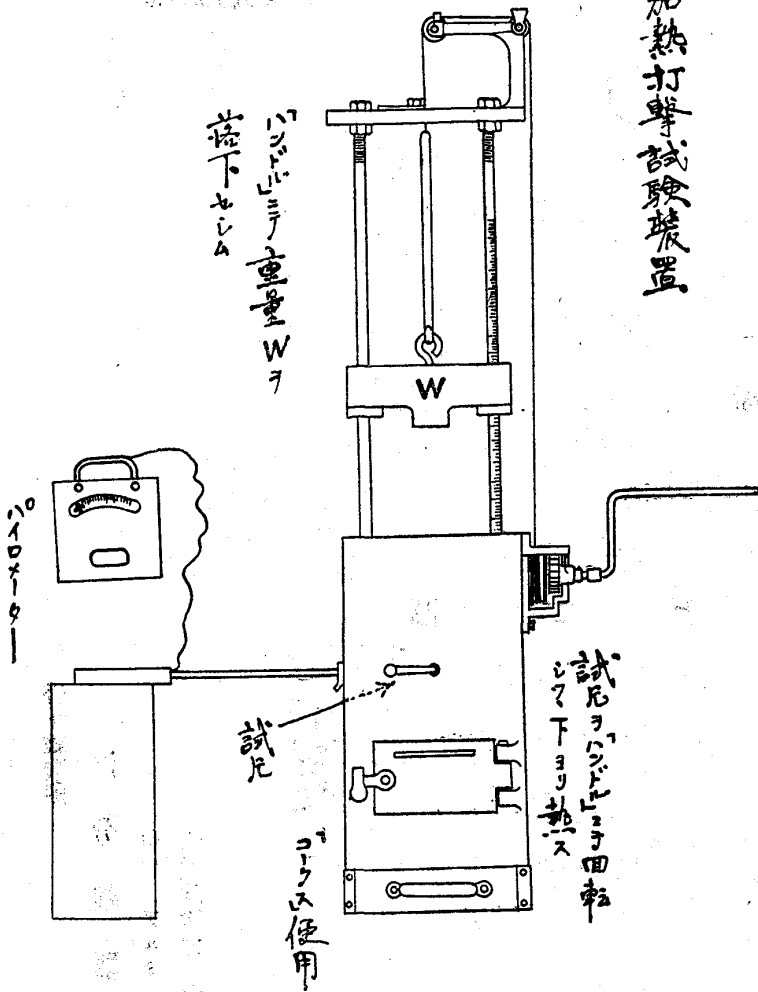


尺度 1 1/2" = 1'-0"

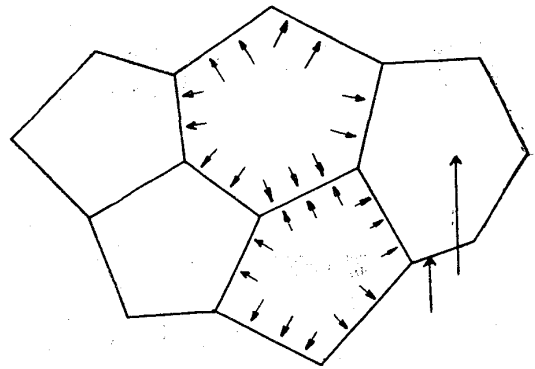
三三八

第十八圖

合金鑄物の結晶粒子



第十七圖

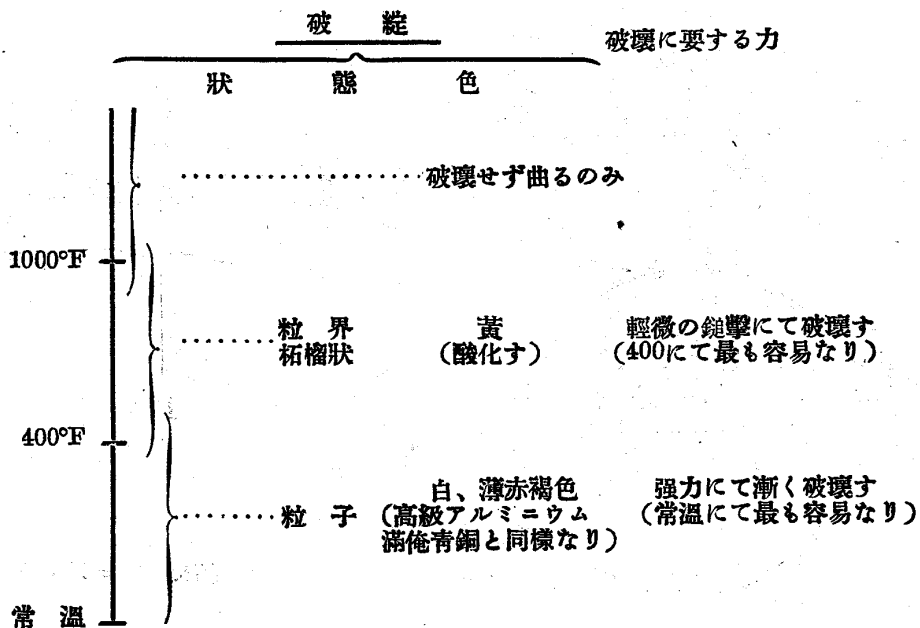


結晶 白、黄褐色

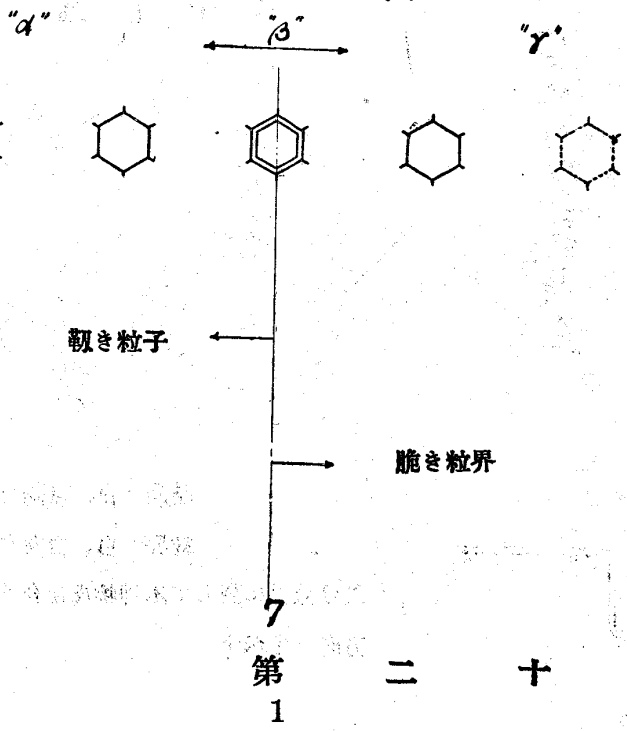
粒界 白、白灰色

矢は粒界に對して不純物及化合物の方向を指示す

第十九圖

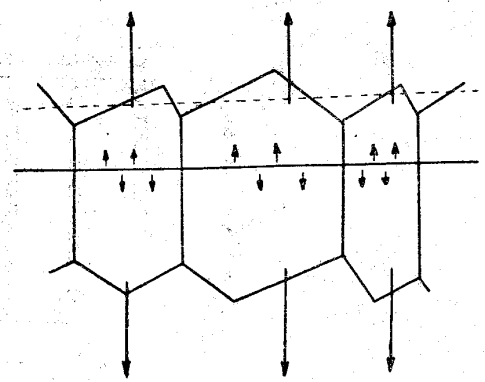


第二十一圖



第二十圖

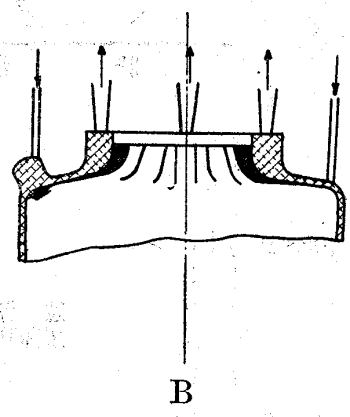
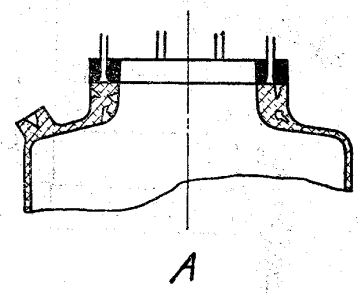
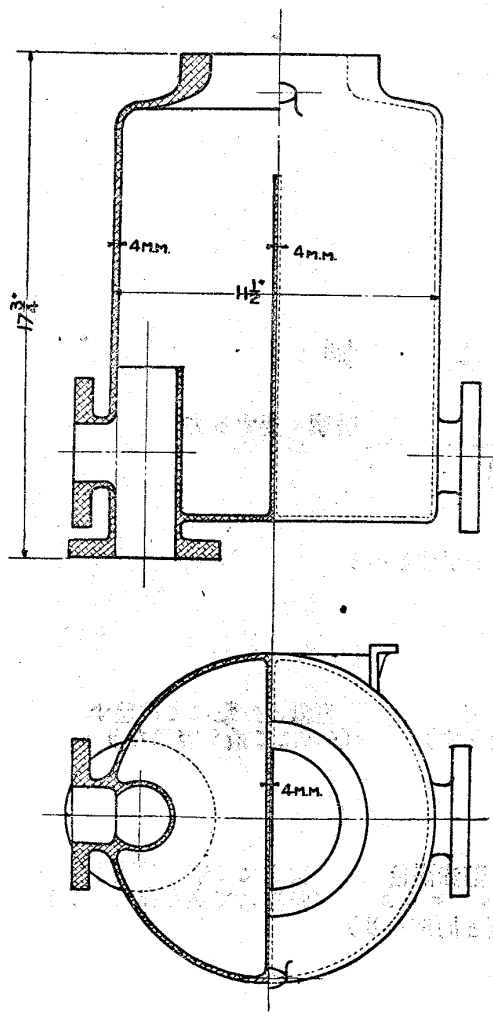
粒子破壊の経路の差



潜水艦機械

油分离器

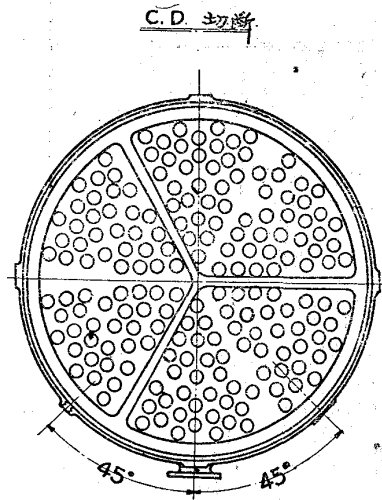
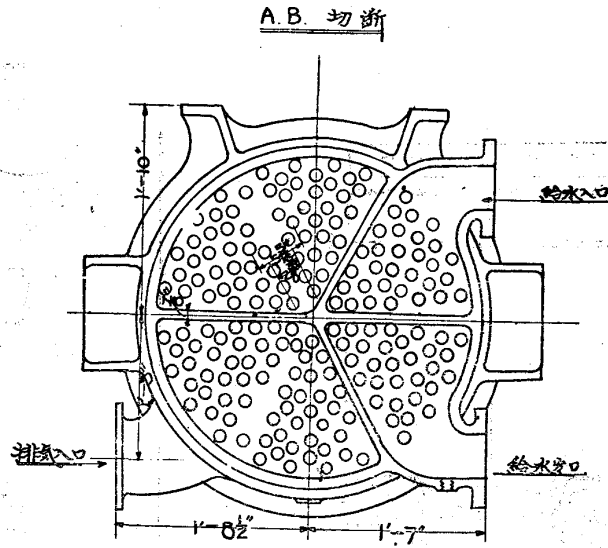
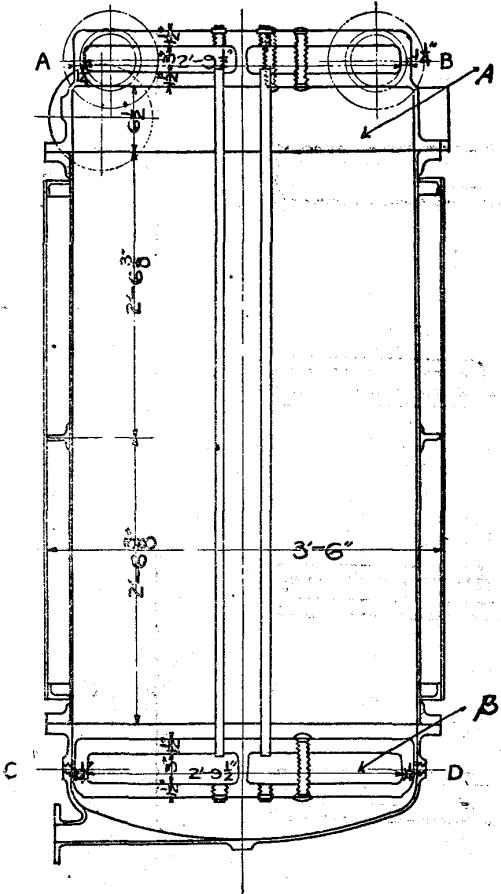
材質 アルミニウム
水圧試験力 十噸



縮尺 3''=1'-0''

第二十三圖

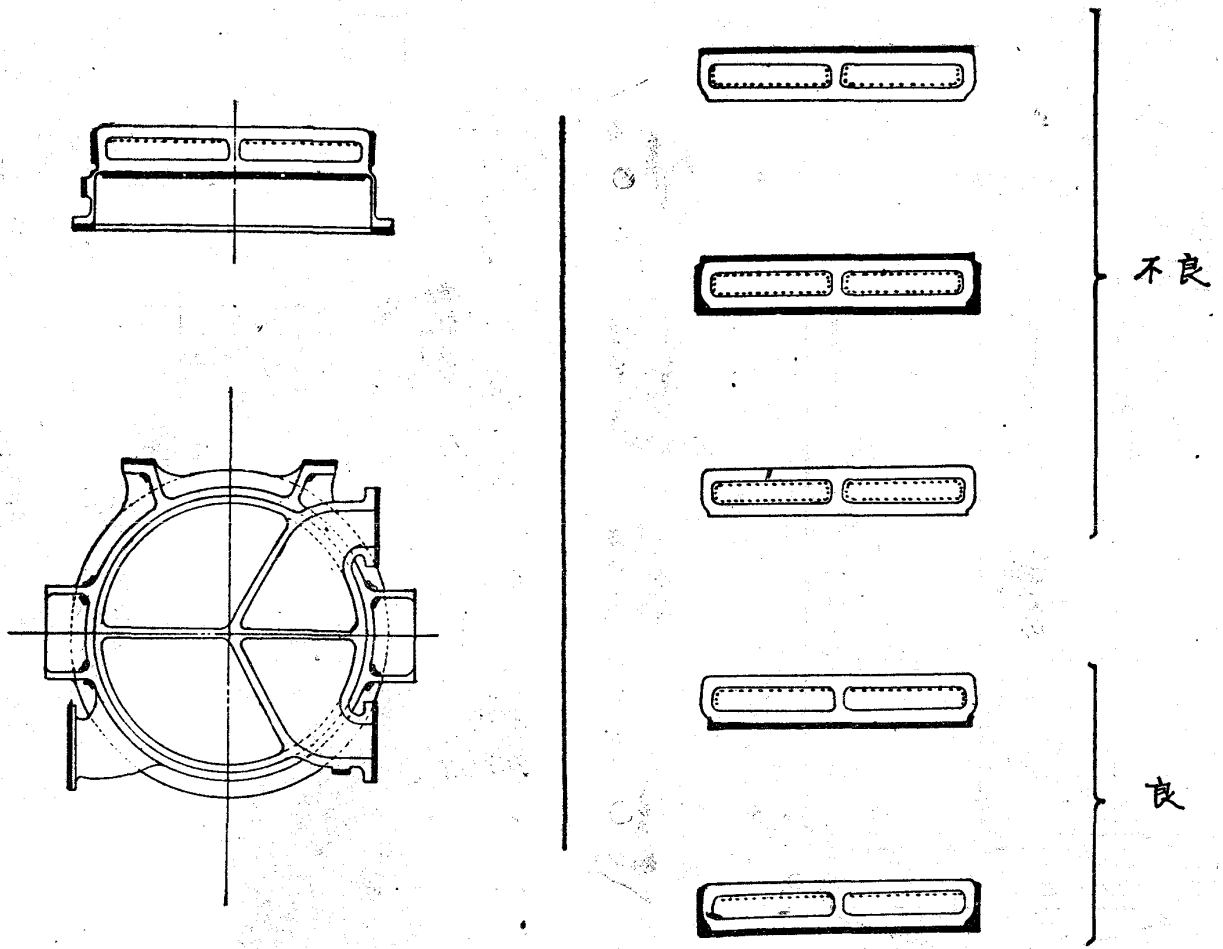
合金鑄物の結晶粒子



戦艦專焼缶用
給水加熱器
材質 マンガニース、ブロンズ
水壓試験力 八五〇斤

尺度 1''=1'-0''

第二十四圖

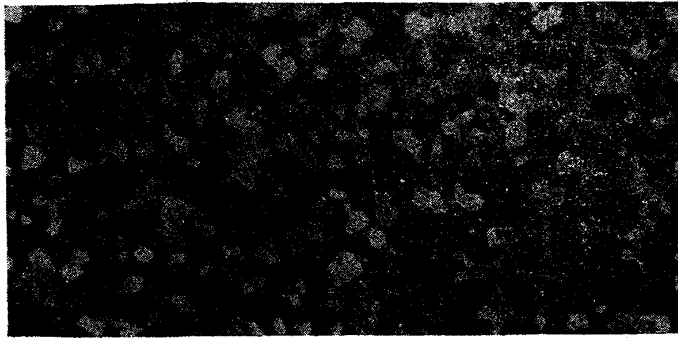


鐵と鋼 第七年 第四號

三四二

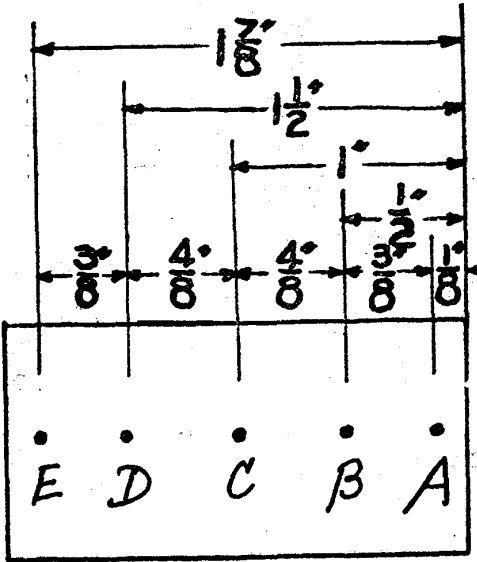
寫 眞 圖

冷し金を使用せるもの
種類 普通の砂型
厚さ 冷し金を使用せざるもの

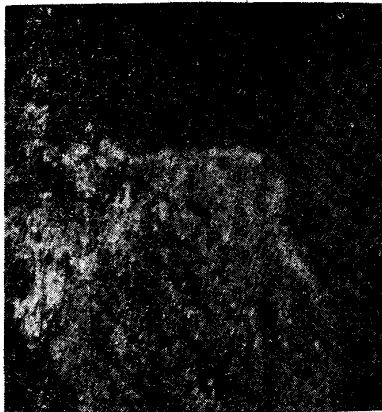


3.3倍

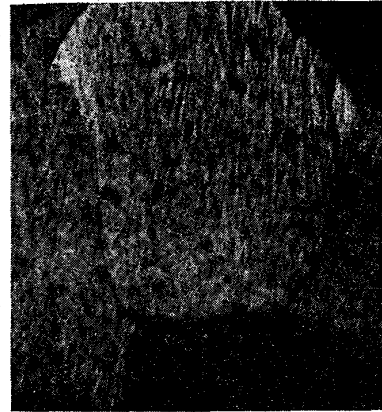
合金鑄物の結晶粒子



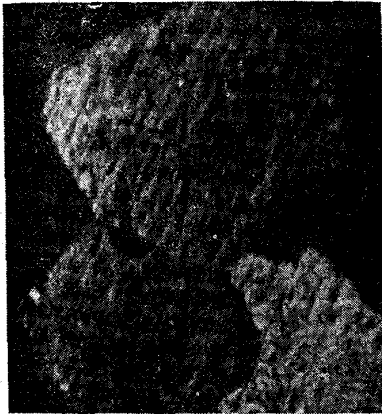
A	B	C	D	E	試料の位置
2.34	2.18	2.45	2.34	2.18	粒子数 (每平方耗)
0.427	0.459	0.408	0.427	0.459	公式により 粒面積
0.426	0.383	0.447	0.405	0.393	側面器により (平方耗)



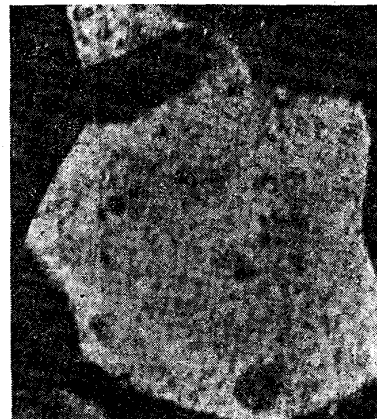
A
55倍



D
55倍



B
55倍

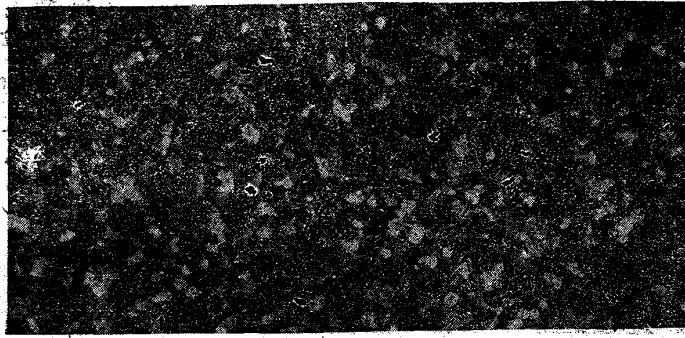


E
55倍



C
55倍

寫 眞 圖 二

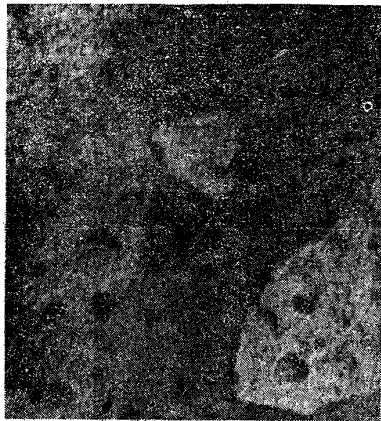
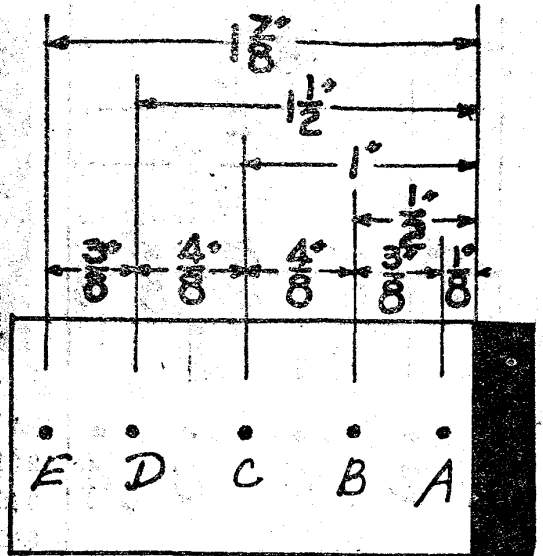


3.3倍

A	B	C	D	E	試料の位置
5.45	5.12	4.30	4.08	4.25	粒子数 (每平方耗)
0.183	0.195	0.233	0.245	0.235	公式により 粒面積
0.160	0.105	0.192	0.181	0.170	測面器により (平方耗)

冷し金を使用せるもの
厚さ 1/16

種類 普通の鑄鐵



A
55倍



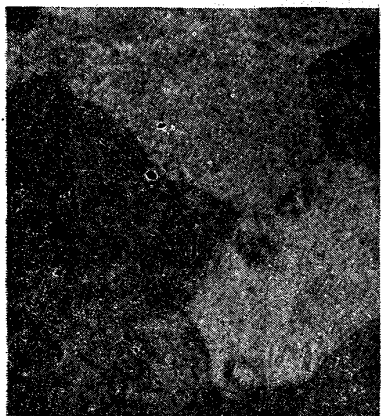
D
55倍



B
55倍

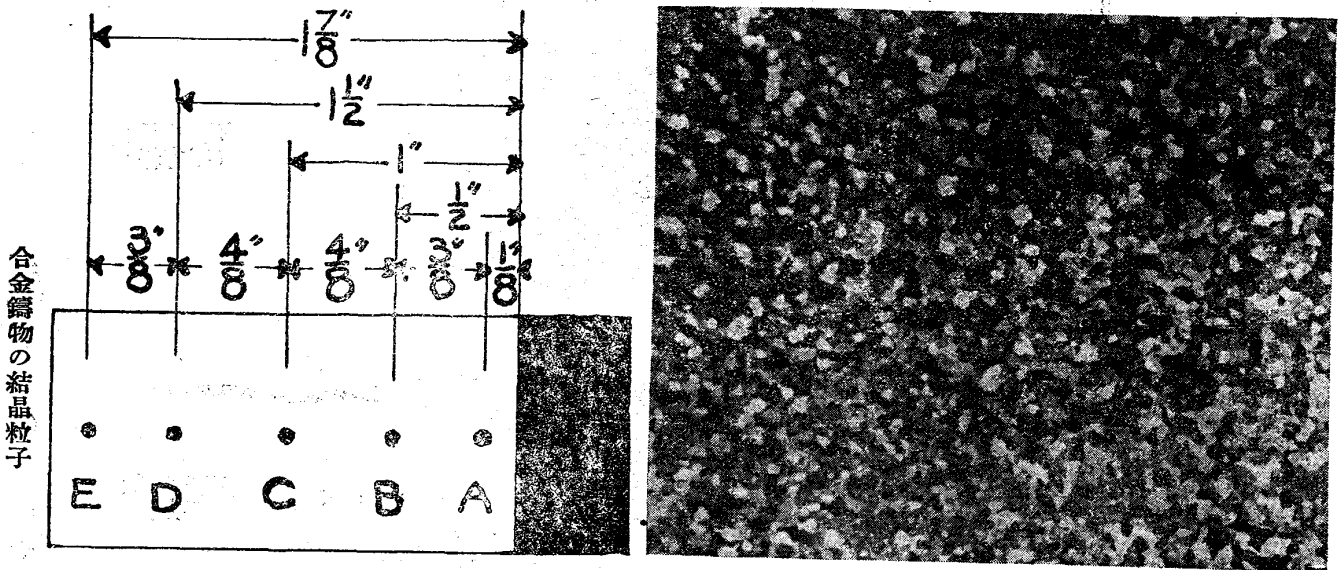


E
55倍



C
55倍

寫 眞 圖 三

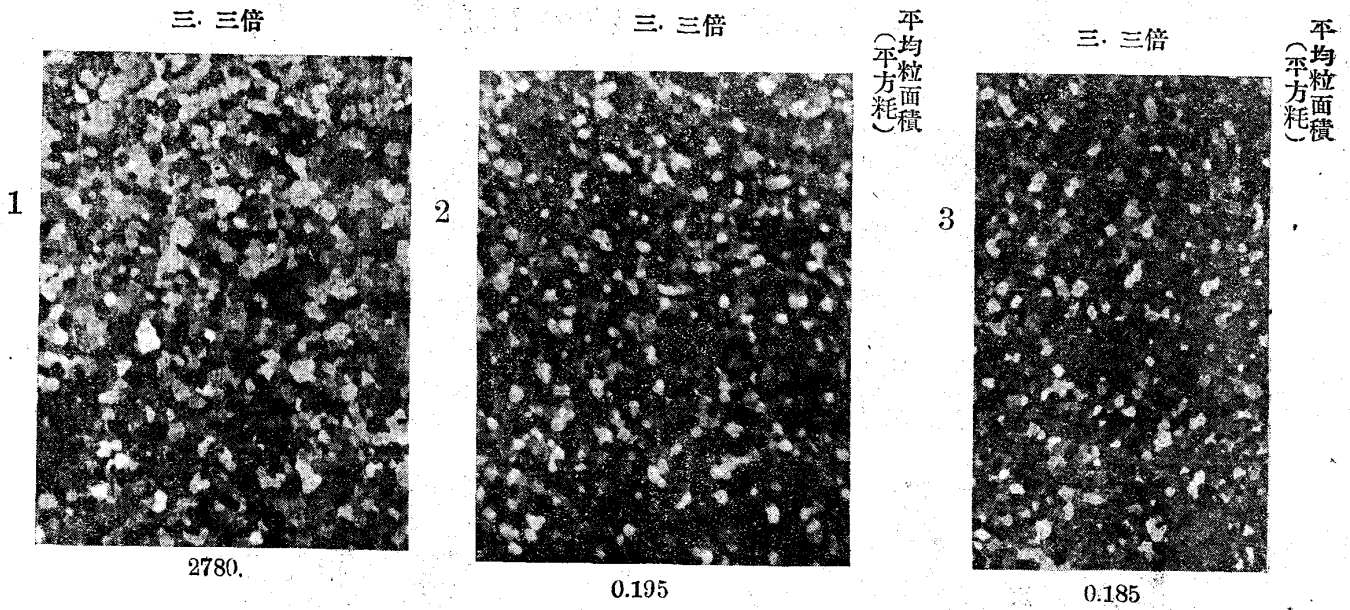


A	B	C	D	E
6.37	4.57	4.25	4.30	4.68
0.157	0.219	0.235	0.233	0.21
0.150	0.160	0.170	0.213	0.192

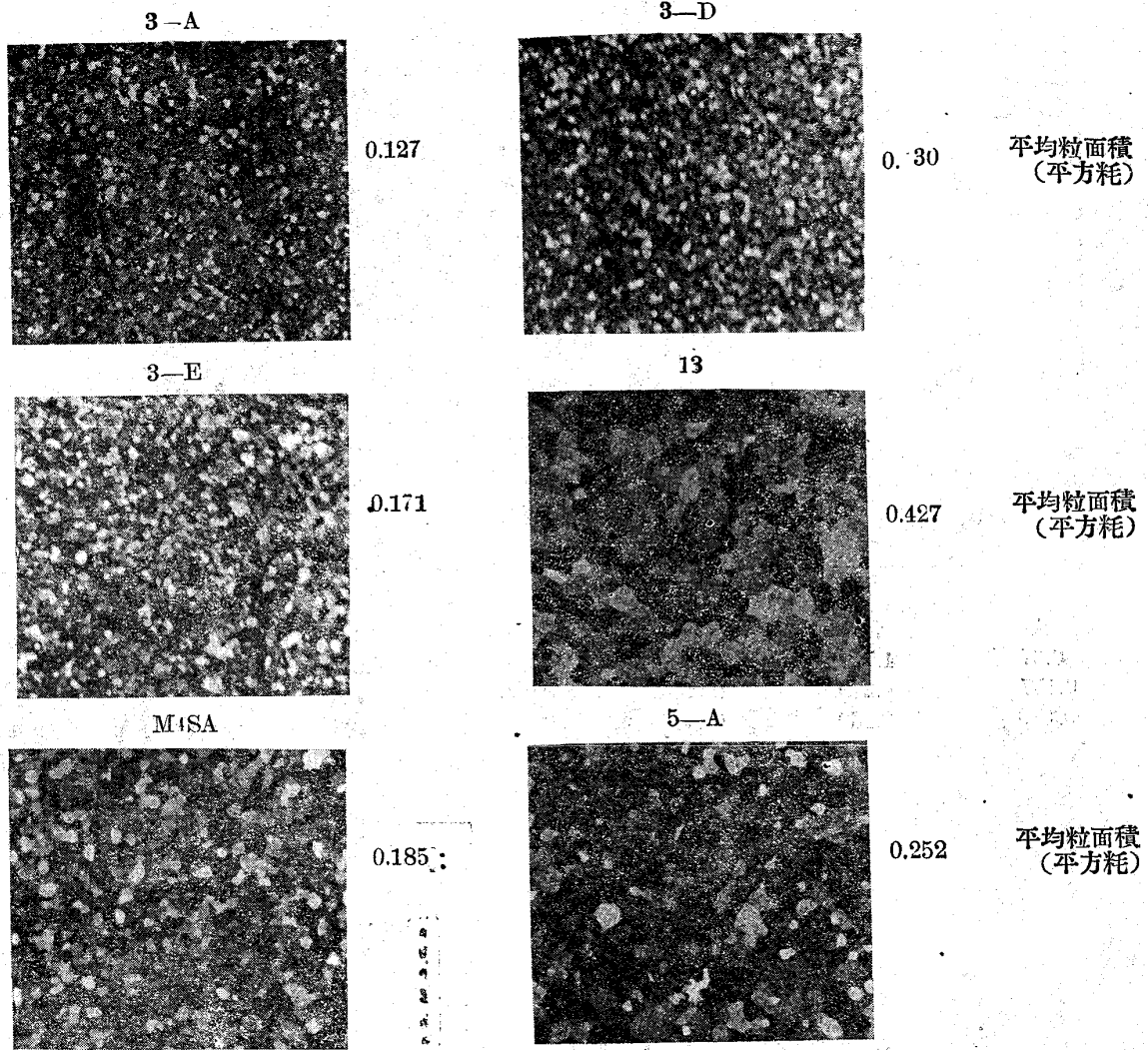
三. 三 倍

試料の位置
 粒子數
 (每平方耗)
 公式により 粒界面積
 側面器により (平方耗)

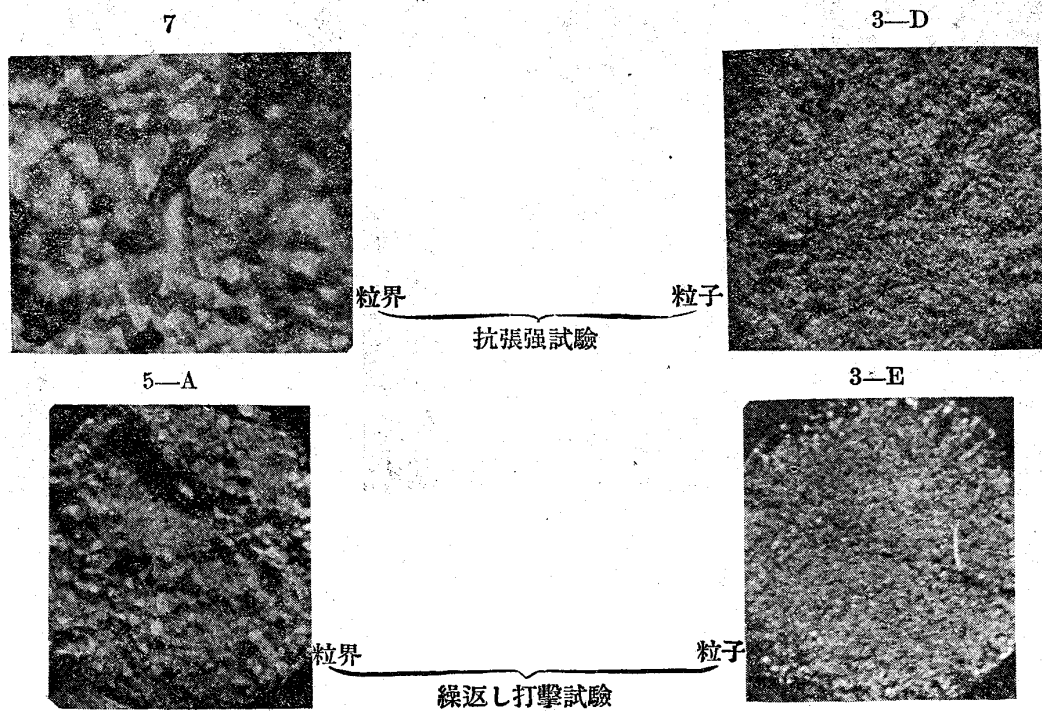
寫 眞 圖 四



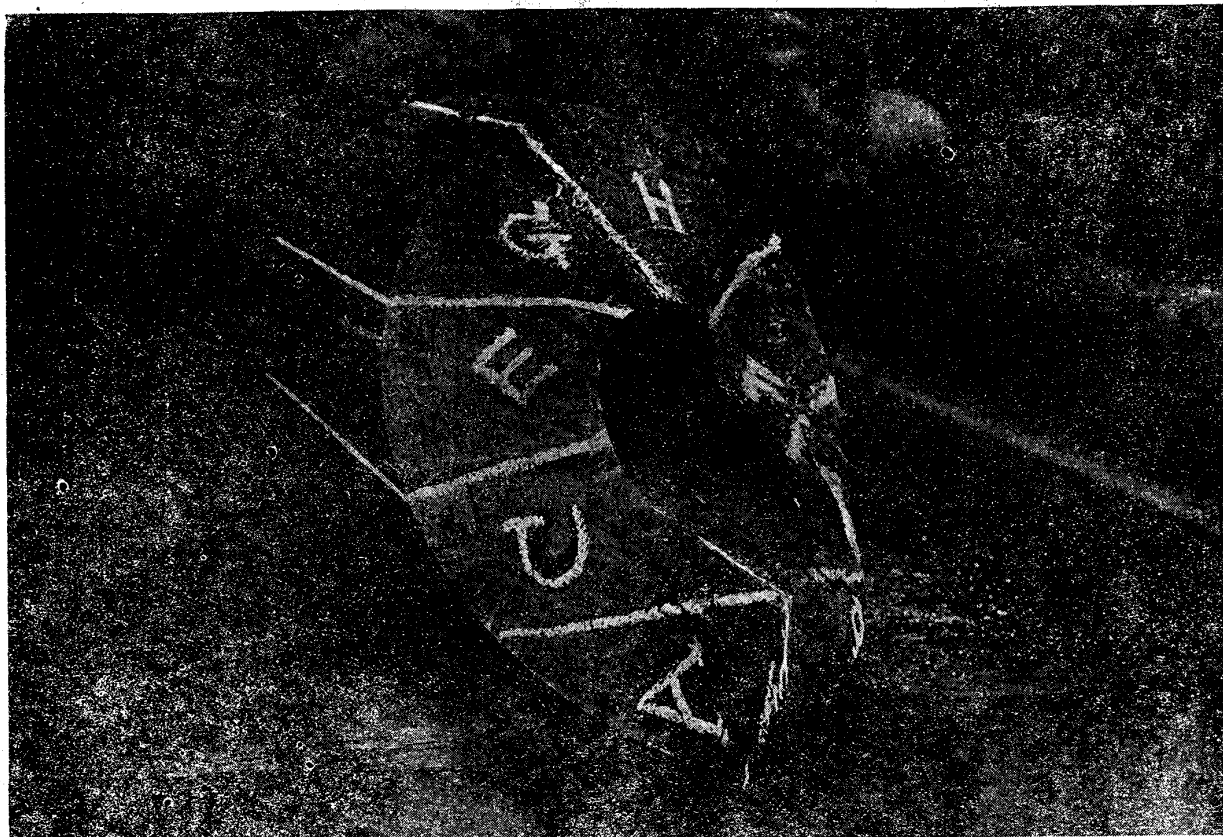
寫真圖五 五十八個より選擇せる試料の粒の大きさ
三.三 倍



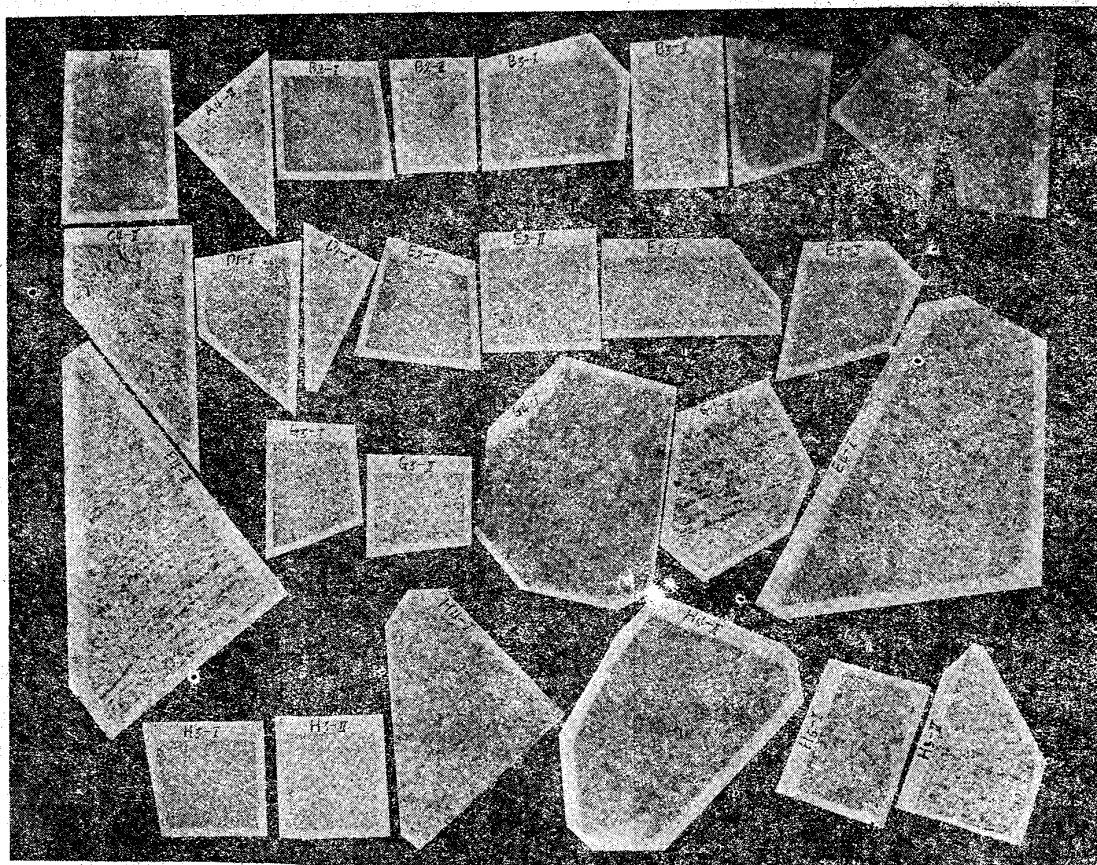
寫真圖六 試料の破綻
三.三 倍



寫真圖七 破損推進軸のスリップバンド

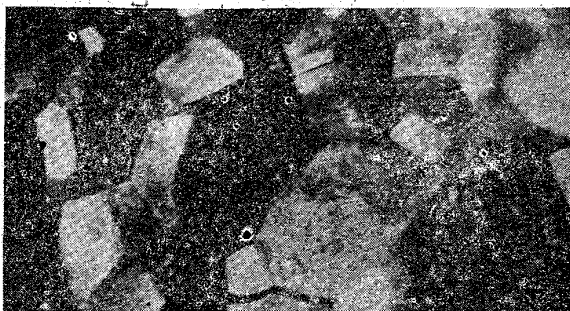


寫真圖八 破損推進の欠點調査 (硫黄印刷)



合金鑄物の結晶粒子

寫眞圖十一 “K”合金の試験
三.三倍

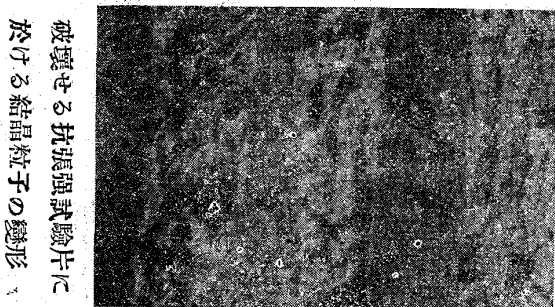
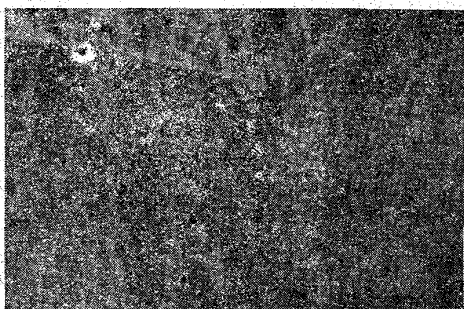


加熱に於ける粒界の破種(完全黄色)粒界鋸鋸状の破綻



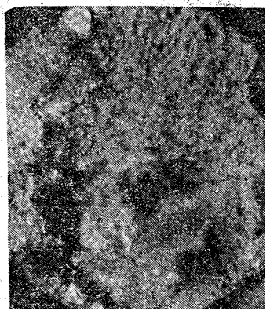
打撃を受けたる粒界の如り

寫眞圖十 “K”合金の試験
五.五倍

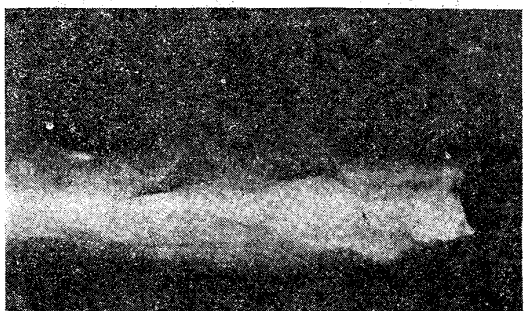


破壊せる抗張強試験片に於ける結晶粒子の變形

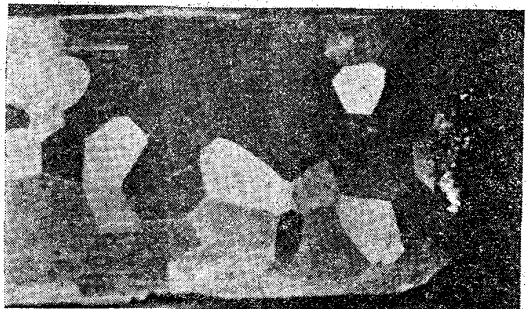
寫眞圖九 “K”合金の試験
三.三倍



繰返し打撃試験片試料の破綻



抗張強試験片の破壊外觀



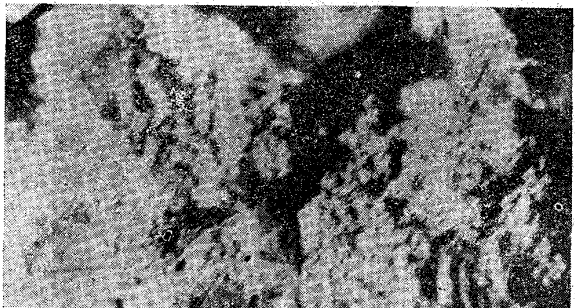
破壊せる部分の縦断面



繰返し打撃試験片

抗張強試験片

標準温度に於ける粒子の破種(白、赤、褐色)

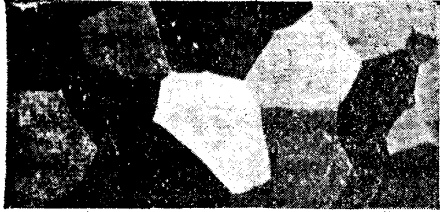


寫真圖十二

“K”合金結晶粒子の變化 三.三倍

合金鑄物の結晶粒子

1



標準状態

5



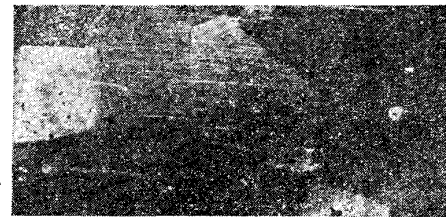
4に同じ、少しく磨き腐蝕せり

2



1に同じ、攝氏約三五〇度に於て五時間焼鈍し徐々に冷却し少しく磨き腐蝕せり

6



5に同じ、攝氏約六〇〇度に於て三時間焼鈍し徐々に冷却し少しく磨き腐蝕せり

3



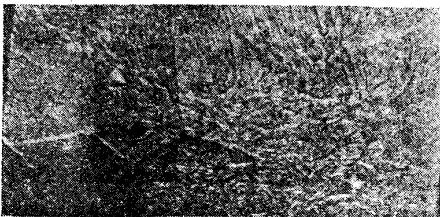
2に同じ、攝氏約六〇〇度に於て二時間焼鈍し徐々に冷却し少しく磨き腐蝕せり

7



5に同じ、其A部を擴大せるものなり

4



3に同じ、攝氏約六〇〇度に於て四時間焼鈍し徐々に冷却せり

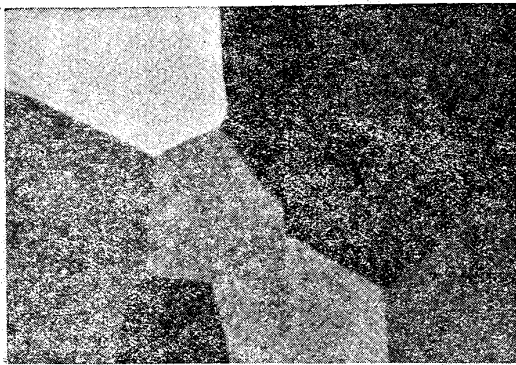
十 倍

變形 成長及再結晶

寫真圖十三

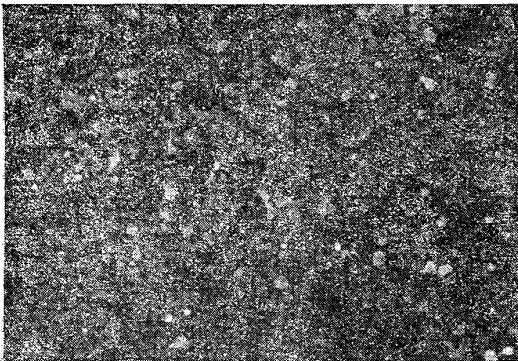
“K”合金結晶倍子の變化
三三倍

1



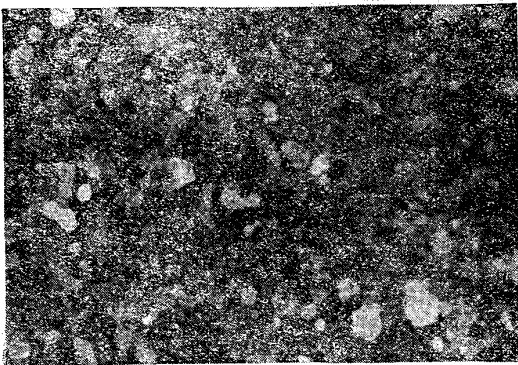
標準状態

2



1に同じ、焼鈍及水冷却せるもの

3

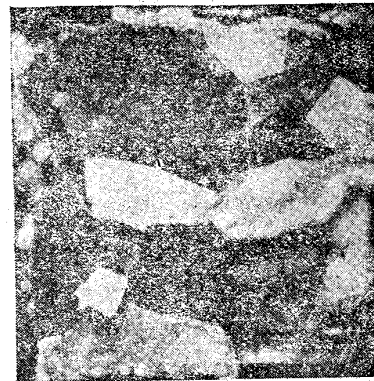


其一部

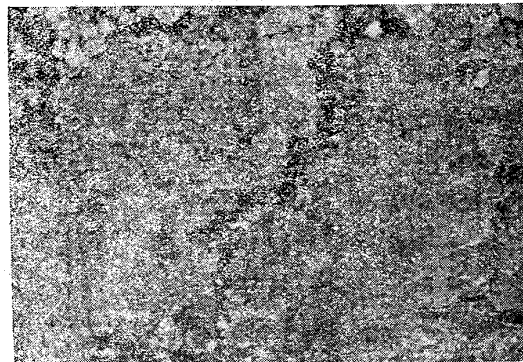
寫真圖十四

“K”合金結晶粒子の變化
三三倍

1



2



鋸齒状

3



熔解に先ち劈裂より破壊す(代表的)