大物鍛鋼品の内部欠陥について

On the Internal Defects of Large-sized Forged Steel Products

渡 辺 準 平* 深 井 清 治*
Jumpei Watanabe Seiji Fukai

内 容 梗 概

塩基性電気炉で熔製した 20t および 22t 鋼塊より製造した普通鋼および特殊鋼鍛鋼品の超音波探傷による内部欠陥の性状を調査した。これらのものは鋼塊の凝固偏析と強い関連性をもつており、前者では白点に類似した現象が発生しうること、後者では鋼塊の偏析帯に存在する欠陥が主なる原因であることがわかつた。また供試材による鍛着実験では内部欠陥の改善および消失も可能であることがわかつた。

1. 緒 言

近時鍛鋼品の非破壊検査法としての超音波探傷法の技術の発達に伴い、その適用範囲は次第に拡大される傾向にある。このため従来の検査方法ではマクロ的に製品の外表面に露出しないで内蔵されたままの欠陥、たとえば内部亀裂や砂かみなども容易に検出することが可能となった。したがつてこれまでは良品として扱われたものも廃却となる可能性が増大し、われわれ鍛鋼品の製造にたずさわるものを悩ませる結果となった。この対策を樹立して超音波探傷法によって良品とみなされるものを製造することは目下の急務となっている。

著者らは新しく検出された鍛鋼品の内部欠陥,特に内部亀裂の性状を確めるために欠陥部分を摘出し,マクロおよびミクロ的な方法で調査を進め,さらにこれらのものは適当な加工方法を採用すれば欠陥は消失する可能性があるかどうかについても検討を加えた。本研究では普通鋼および特殊鋼製品についての実例を述べることとする。

2. 普通鋼製品についての調査

2.1 製造工程

本調査の対象とした普通鋼製品に使用した鋼塊は塩基性電気炉製のものを使用し重量は20t, 菊型のものである。鋼塊の化学成分を第1表に示す。

鋼塊は 5,000 t 水圧プレスで鍛造成形するが, 鋼塊の加熱温度は 1,150~1,200°C で作業の順序は鍛伸一据込一

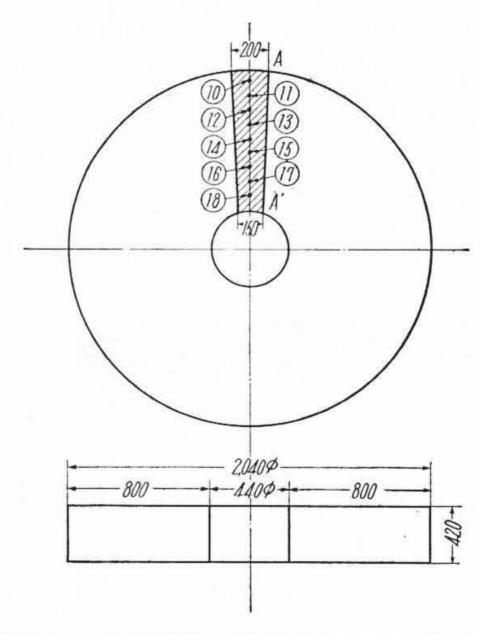
孔あけ一仕上で第1図に示す寸法に完成し、常温まで空冷した。鍛錬係数は 1.1 S(5.6U)となつている。

2.2 調 査

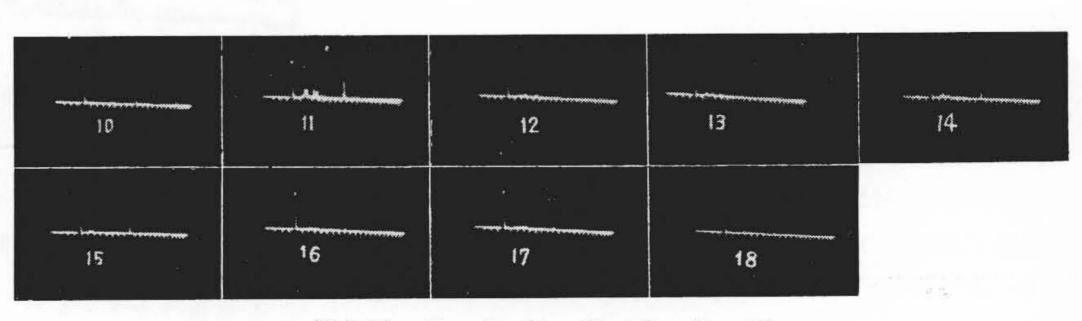
2.2.1 超音波探傷 焼準作業を行う前に 第1図に示す位置について超音波探傷を実施し、内部 欠陥が検出され廃却とした。超音波探傷は鋼塊の底部 側にあたる面について周波数 2 Mc, 学振 I 型 V₁₇ 80% の条件で外周より内孔まで 9 箇所について行い、その 波形を第2図に示す。これからわかるように外周に近 い部分では欠陥波はなく底面反射も十分に見られる が、内部に進むにつれて数箇所に入射波の最大 50% に

第1表 普通鋼製品の化学成分(%)

鋼種記号	C	Si	Mn	P	S
SF-55	0.33	0.29	0.66	0.008	0.010

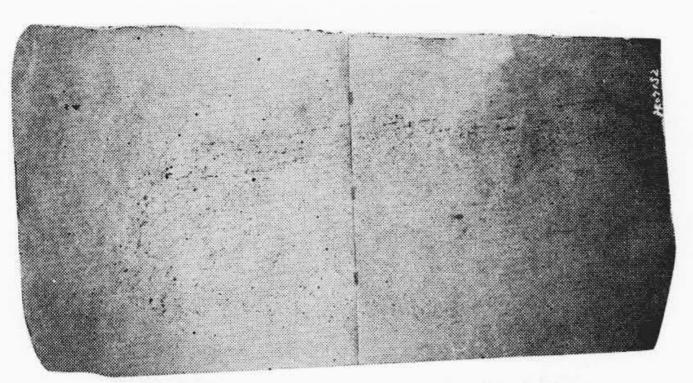


第1図 供試素材の形状寸法および超音波 探傷位置

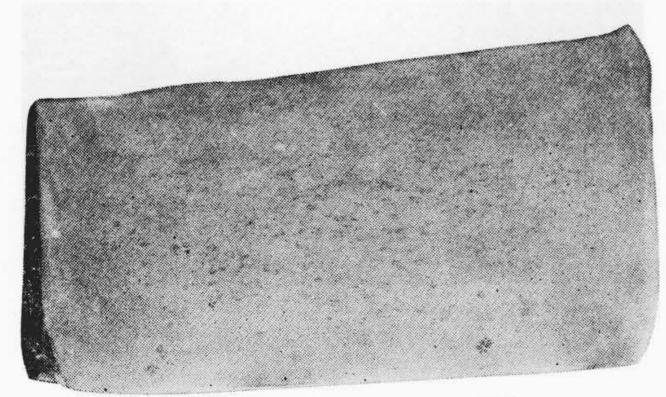


第2図 超音波探傷波形

^{*} 日立製作所水戸工場



第3図 A-A'面のサルファプリント



第4図 A-A'面のマクロ腐蝕

達する欠陥波が見られ底面の反射も次第に低く痕跡を とどめる程度のものもある。

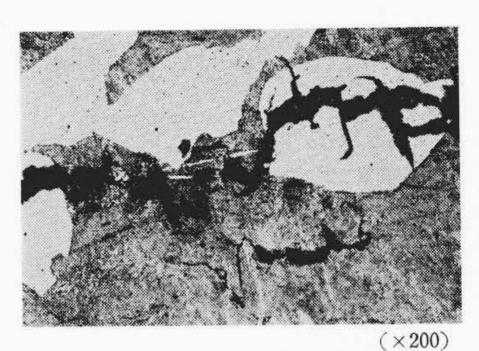
2.2.2 供試材についての調査

(1) マクロおよびミクロ的調査

第1図に示すように斜線を施した部分を断面とし軸 方向に 420mm の厚みを持つ供試材を採取した。供試 材の A-A'面についてサルファプリントおよびマクロ 腐蝕を行つた結果を第3図および第4図に示す。これ らからわかるように原鋼塊の逆V偏析帯,いわゆる輪 状ゴーストは据込による鋼塊内部の変形により横方向 に伸ばされ外周近くでは折れ曲つている。また超音波 探傷により検出された内部欠陥は逆V偏析帯に存在す

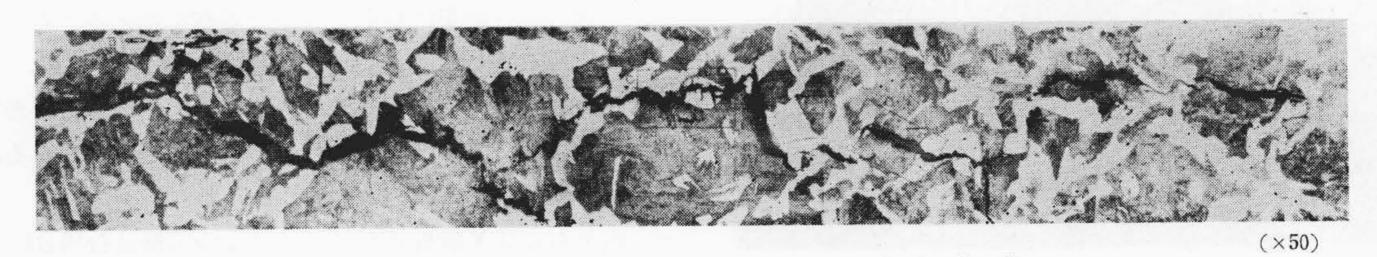


第7図 パーライト粒を貫通する亀裂

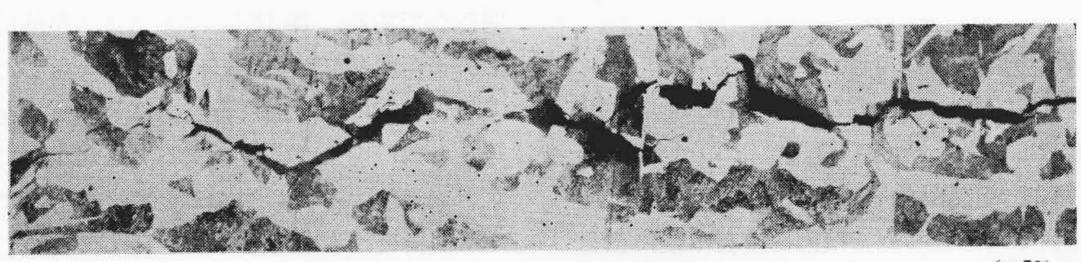


第8図 連鎖状の非金属介在物

る多数の内部亀裂とそれよりも内側に見られる小さい 亀裂であることがわかる。第5図は前者,第6図は後 者をミクロ的に調査した結果を示す。欠陥の性状はい ずれも大同小異で亀裂と非金属介在物が連鎖状に存在 している。第7図はパーライト粒を貫通している亀 裂,第8図は非金属介在物が鎖状に連なつている状況 を示す。また逆V偏析帯より内部には第9図に示すよ うに複雑な組成の非金属介在物がより多く見られた。 C. R. E. Wohrman氏⁽¹⁾ の方法と形状から判断すると 第8図は FeO-MnO-SiO₂ 系,第9図は SiO₂-MnO₂ 系の基地に Al_2O_3 系の介在物を含んでいることがわか つた。第2表は逆V偏析帯およびこれより内部の位置 から試料を採取し温硝酸法により行つた非金属介在物 の分析結果を示したものである。

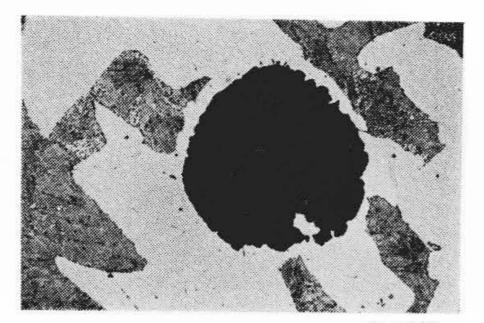


第5図 逆 V 偏 析 帯 に 存 在 す る 内 部 亀 裂

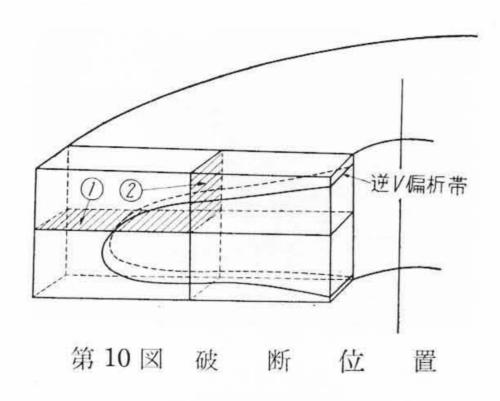


第6図 逆V偏析帯より内側に存在する内部亀裂

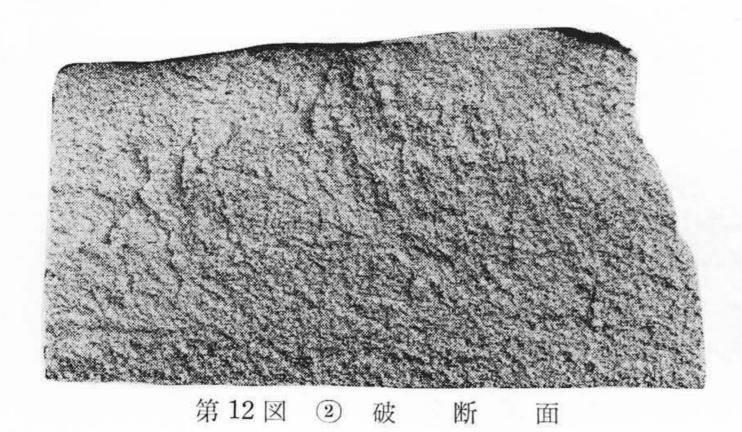
 $(\times 50)$



(×200) 第9図 複雑な組成の非金属介在物

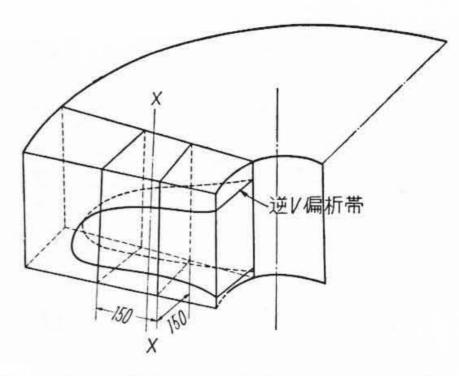




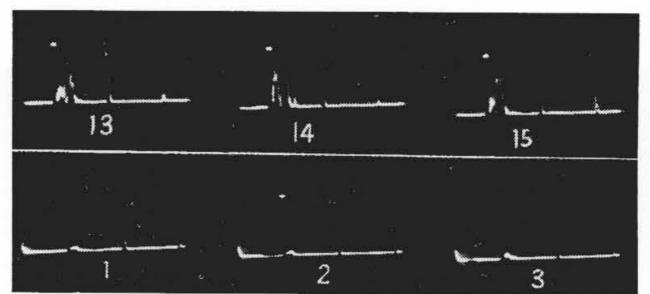


(2) 破断寒験

亀裂のマクロ的な様相をみるために第10図のように供試材を破断した。破断面①および②の外観を第11図および第12図に示す。これによると弯曲した逆V偏析帯に一致した①破断面では内部亀裂は銀白色をした楕円形の斑点として現われ、②破断面では亀裂は



第13図 供試材の形状および採取位置



第 14 図 鍛着実験前後の超音波探傷波形 (上段: 再鍛前, 下段: 再鍛後)

線状となつて現われている。

(3) 鍛着実験

内部亀裂がさらに鍛造加工を行うことによつて鍛着,消失しうるかどうかについて実験を行つた。第13 図は偏析帯を含む供試材の採取位置および大いさを示す。

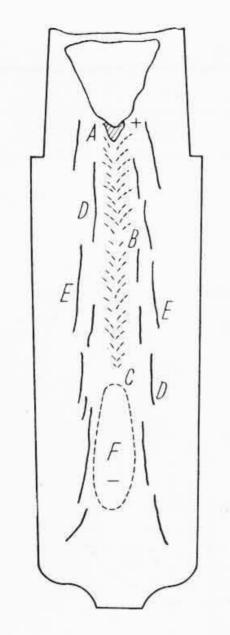
供試材は $1,150^{\circ}$ C に加熱し 1,000 t 水圧プレスによってまず X-X 方向に高さ 1/2 まで据込み,次に原形に復するように鍛伸した。したがつて鍛錬係数は(2 U) 2 Sである。鍛着実験前後に X-X 方向に行つた超音波探傷波形を 第14 図 に示す。これによつて再鍛錬前に欠陥の存在の認められたものが完全に鍛着しているものと考えられる。

2.3 考 察

上述の調査結果に対して若干の考察を加えることとする。

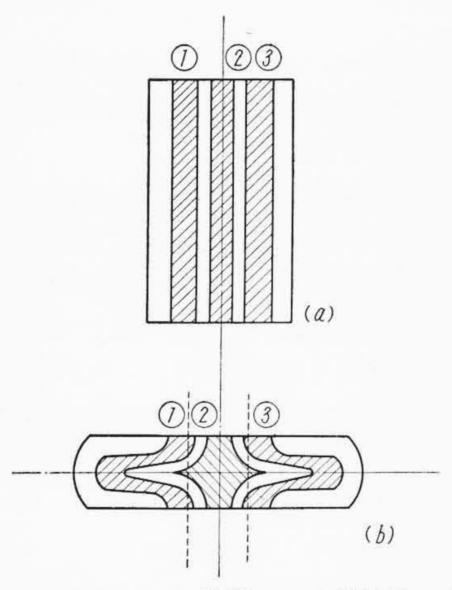
キルド鋼塊の偏析帯について鋼塊の大いさおよび形状によって偏析の程度と偏析帯の形状も少し変つてくるが 図解的に示すと第15図のようになる。

逆VおよびV偏析帯をプレスによつて据込む場合にどのように変形するかについては武市氏 $^{(2)}$ の実験によつて明らかである。 第 16 図はV の 文を使用した据込時の偏析帯の変形についての模型実験を示したものである。 ①および③は逆V偏析帯,②はV偏析帯を示し(a)を据込むと(b)のように変形する。したがつて据込後のパイプポンチによる孔あけによつて点線で示すように中心部のV偏析帯はもちろんのこと孔径によつては逆V偏析帯の両端の一部が除外されるものと考えられる。したがつ



- A: 最大正偏析部
- B: V 偏析帯
- C: 鋼塊中心
- D: 內部逆V偏析線
- E:外部逆V偏析線
- F: 負偏析部

第15図 キルド鋼塊の偏析形態



第16図 ワックス模型による据込時の変形

てサルファプリントは(b)の点線部分を削除した形となるわけでその濃淡は鋼塊の頂部側ほど濃く現われる。

軸方向の超音波探傷の波形を見ると外周はマクロ腐蝕によつてもわかるように弯曲偏析帯よりはずれているので欠陥波もなく底面反射が十分にみられるけれども偏析帯では内部亀裂によつて欠陥波がみられ底面波は減衰するか、まつたく消失する。さらに中心部では重欠陥部をはずれるので欠陥波はでないが底面波の減衰または消失がみられる。

内部欠陥はマクロ腐蝕によれば逆V偏析帯にその方向

が一致しており、破断実験によつてもわかるように大体において鋼塊の軸方向にある大きさの面積を持つたものが据込作業によつて軸方向の超音波探傷にほぼ直角の面を持つようになつたものか、据込後に弯曲偏析帯に沿つて発生したものかを明らかにする必要がある。逆V偏析帯よりも内部に見られものは方向が一定でないものもあるが前者に比較してその大きさは小さいものが多い。

武市氏によれば鋼塊の偏析帯は据込の場合は剪断応力によるすべり変形をおこし、その局部鍛錬係数(切線方向変形率×半径方向変形率)は据込比4の場合中心部で約27.5,½半径部で9.0にも達する。したがつて今回調査した素材のように据込比の大きいものは変形率の不均一性に対して特に注意を払う必要がある。

内部欠陥は亀裂と非金属介在物が連つているものと考えられるが、この非金属介在物はその組成とミクロ的な形状からみると外的源泉によるもので脱酸生成物の凝集したものではなく、いわゆる砂疵である。これは偏析帯にも存在するが、第2表に示すように本調査ではむしろ中心部に近い部分に多いように思われる。これは外来非金属介在物の浮揚または捕捉については偏析帯の生成とは別に関連性はないからである。

第7図の亀裂の一部をみるとその両側のパーライトは同一のものであるから、パーライト変態後に発生したものと考えざるを得ない。本素材は前述のように鍛造後空冷した状態で超音波探傷を実施しており、特殊鋼における白点と発生機構を同じくするものと思われる。しかし多数の内部亀裂を全部調査することは不可能に近いので亀裂のすべてを一律に考えることはできない。ということは鋼塊の内部(主として偏析帯)にはある大きさの容積を持つミクロキャビティが存在することは認められており、これが鍛造加工工程においても鍛着し得ないで、そのまま亀裂として残ることが考えられる。

しかし上述のような白点類似の亀裂やミクロキャビティの残存したものも据込後にほぼ軸に直角方向になつたものはさらに据込,鍛伸を行えば超音波探傷による欠陥 波形は見られない程度に鍛着が可能である。

3. 特殊鋼製品についての調査

3.1 製造工程

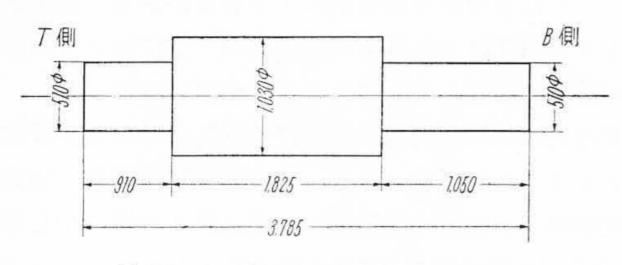
本調査の対象とした特殊鋼製品は塩基性電気炉によつ て熔製した重量 22 t の菊型鋼塊より製造したものであ

第2表 非 金 属 介 在 物 分 析 (%	第2表	非	金	属	介	在	物	分	析	(%)
------------------------	-----	---	---	---	---	---	---	---	---	-----

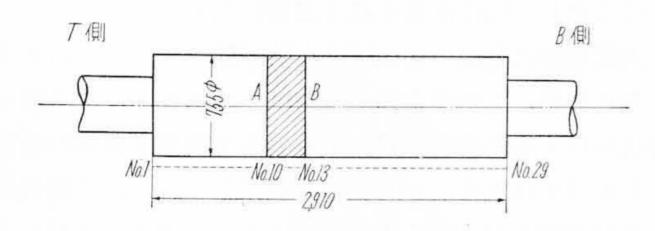
					知 4 五 五	1 717 124	11 11	10 75 1	1 (707			
= b Jol	ь т	· /.L.	pprt.		試 料	中の含	有 率			組	成	
試科	採取	(M.	直	全 量	SiO ₂	FeO	Al_2O_3	MnO	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	MnO
逆 V	7 偏	析	带	0.0042	0.0002	0.0001	0.0030	0.0005	5.6	2.8	72.1	11.1
中	心		部	0.0100	0.0003	0.0001	0.0083	0.0012	2.6	1.3	83.5	11.5

第3表 特殊鋼製品の化学成分(第3表	特	殊	錮	製		0	化	学	成	分	(%
-----------------	-----	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	----

鋼	種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
Ni-Cr-l	Mo-V鋼	0.39	0.31	1.00	0.012	0.006	0.13	2.54	0.67	0.50	0.10



第17図 完成黑皮寸法図



第 18 図 再鍛造後の胴体寸法および超音 波探傷位置

る。鍋塊の化学成分を第3表に示す。

鋼塊は鍛造温度を $1,150\sim1,200$ °Cとして5,000t 水圧プレスにより鍛伸一据込を2回繰り返えして 第17 図 に示す形状とした。鍛錬係数は $(1.46\,\mathrm{U})\cdot1.66\,\mathrm{S}\cdot(1.6\,\mathrm{U})\cdot1.66\,\mathrm{S}$ となつている。次に焼準, 戻しを行い完成した。 T , B側はそれぞれ鋼塊の頭部および底部側を示す。

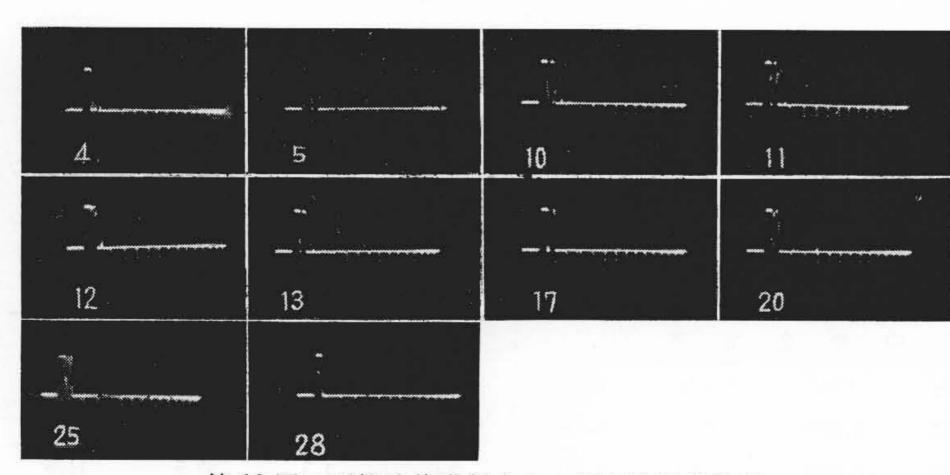
3.2 調 査

3.2.1 超音波探傷

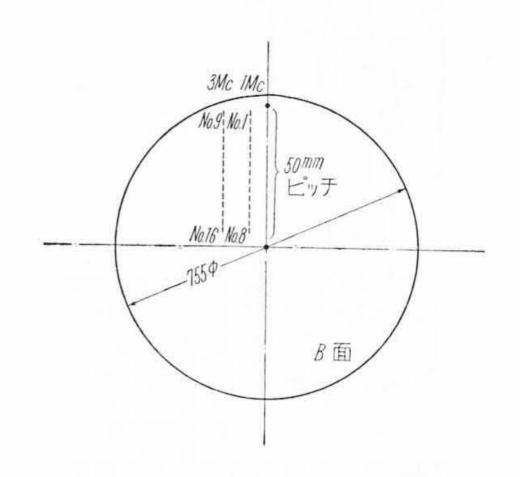
調質完了後胴部を半径方向に周波数 1.5 Mc,学振 I型 V_{17} 80%の感度で超音波探傷を実施したところ,欠陥反射波の高さが送信波の $50\sim100\%$,底面反射波が $0\sim10\%$ のものが多く,欠陥の推定範囲は表面より約 $180\sim300$ mm であることがわかつた。

3.2.2 再鍛造試験

再鍛造による内部欠陥の改善を期待して 1,200℃で



第19図 再鍛造後半径方向の超音波探傷波形



第20図 B面軸方向の超音波探傷位置

胴部の再鍛造を行つた。鍛造完了後は常温まで緩徐冷した。 第18 図 は再鍛造後の寸法を示す。 胴部の再鍛錬係数は 1.86 S となつた。

次に胴部を荒削して周波数 1 Mc でほかの条件は前回同様にして超音波探傷を行つた。探傷の位置は第18 図に示すように胴部を約 100 mm ピッチで 29 等分して半径方向に実施して側より No.1~No.29 とした。第19 図に代表的な波形を示す。これから 明らかなように再鍛造作業によつても内部欠陥を改善することは不可能であつた。

3.2.3 供試材についての調査

(1) 供試材 No.1 の採取方法

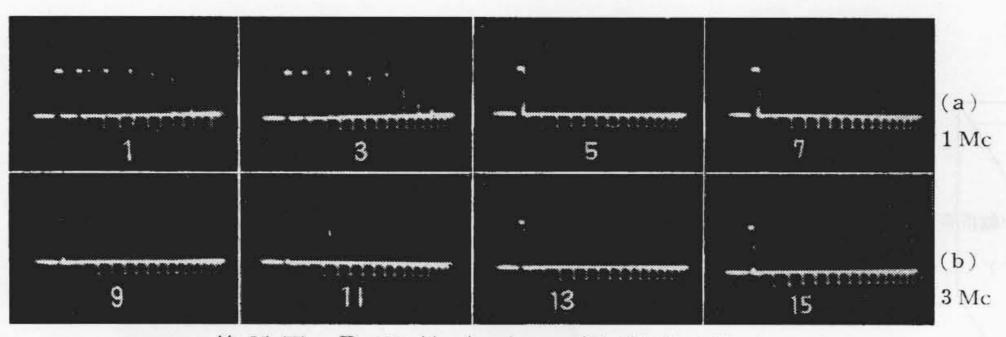
第19図に示す探傷波形より欠陥の多いと思われる No. $10\sim13$ を含む厚み 300mm の円板を採取すること としT側の端面をA面,B側のそれをB面とした。これを原鋼塊の位置に引き直すと鋼塊本体のT側よりその高さの約 33% にあたり重量は約 1,050 kg となる。

(2) 超音波探傷

第20図に示すようにB面の外 周より約30mmの位置から中心 に向い50mmピッチで軸方向に 1 Mc および3 Mc の周波数,そ のほかの条件は前述と同様にし て探傷を行つた。第21図(a), (b)に代表的な探傷波形を示す。

(3) マクロ的調査

次にA面について染色探傷,サルファプリントおよびマクロ腐蝕を行つた。 第 22~24 図 にそれらの結果を示す。



第21図 B 面軸方向の探傷波形

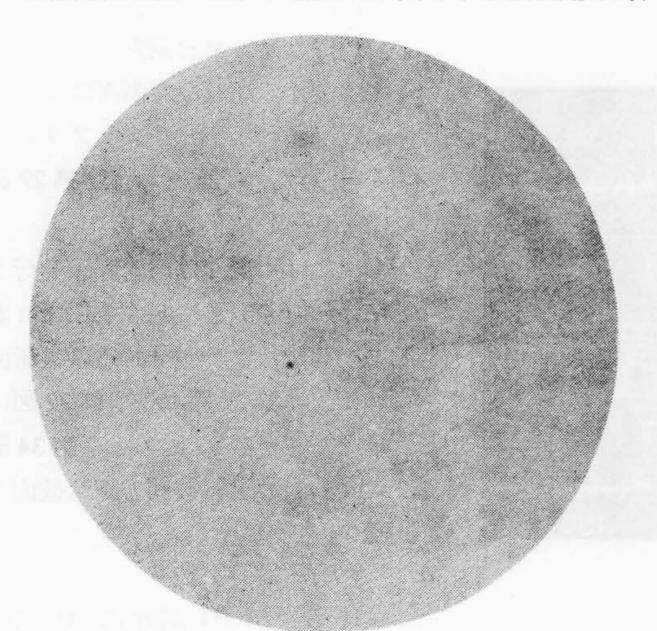
線 X-Y (供試材 No.1 の半径)を4 等分した3点と第25図の矢印を つけた面について試片の高さ300 mmを75mmピッチで4等分し, 幅250mmを50mmピッチで5 等分した。それらの交点について 周波数1 Mcで探傷した。第27図 に探傷波形を示す。

(4) 供試材 No.2の採取方法

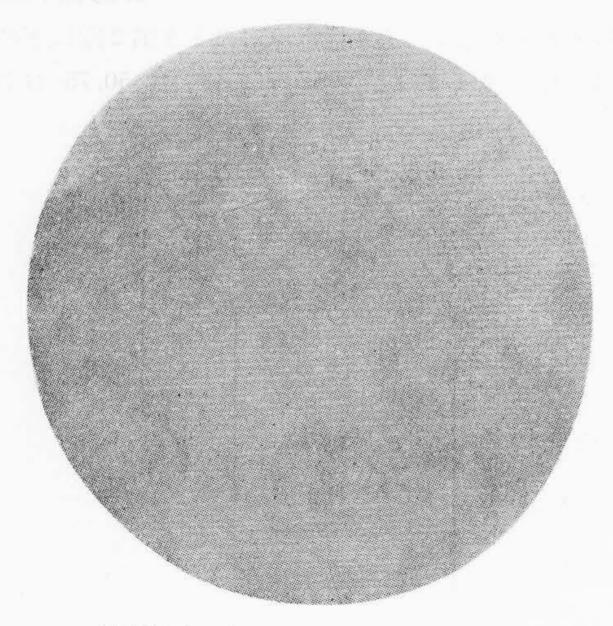
供試材 No.1 より 第 25 図 に示す要領で 250×250×300mm の大きさの鍋片 4 個を採取した。

(5) 超音波探傷

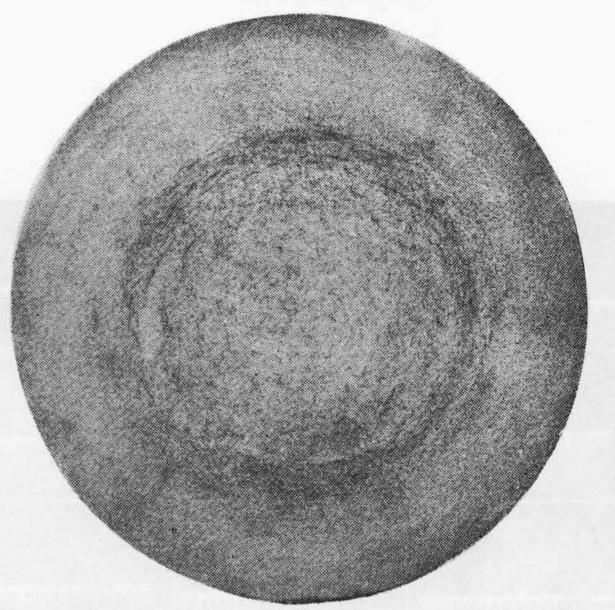
第24図(a)より各試片における欠陥の分布はほぼ同じであると考え I 試片について 第26図 の要領で超音波探傷を行つた。すなわち A 面の中心孔を通る対角



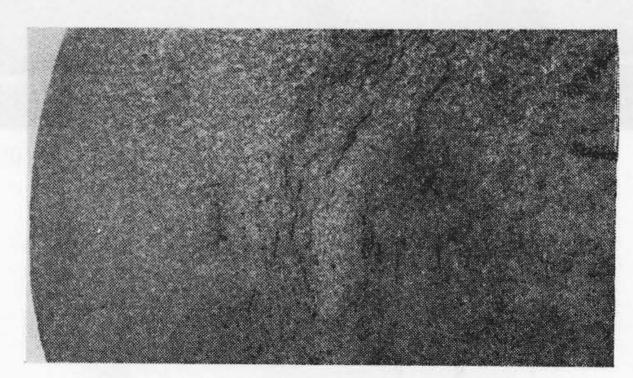
第22図 A面の染色探傷による欠陥の分布



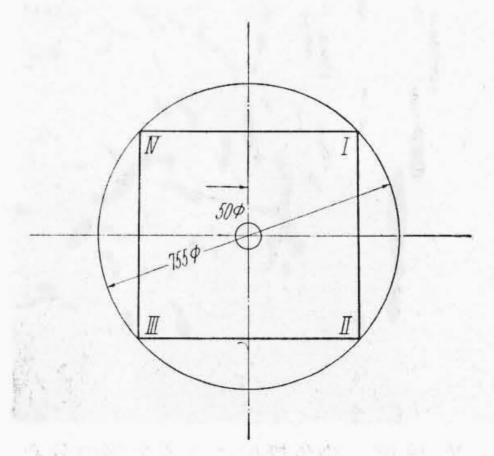
第23図 A面のサルファプリント



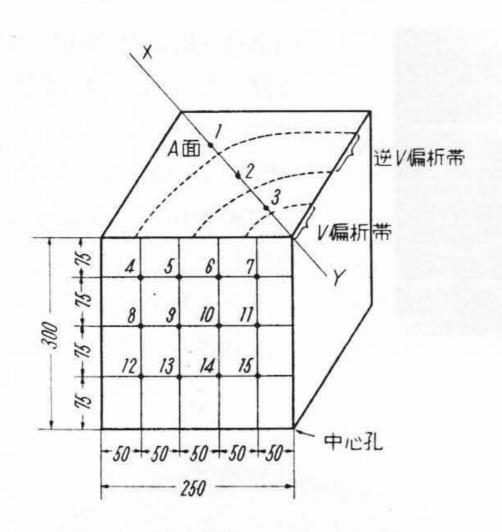
第24図(a) A面のマクロ腐蝕



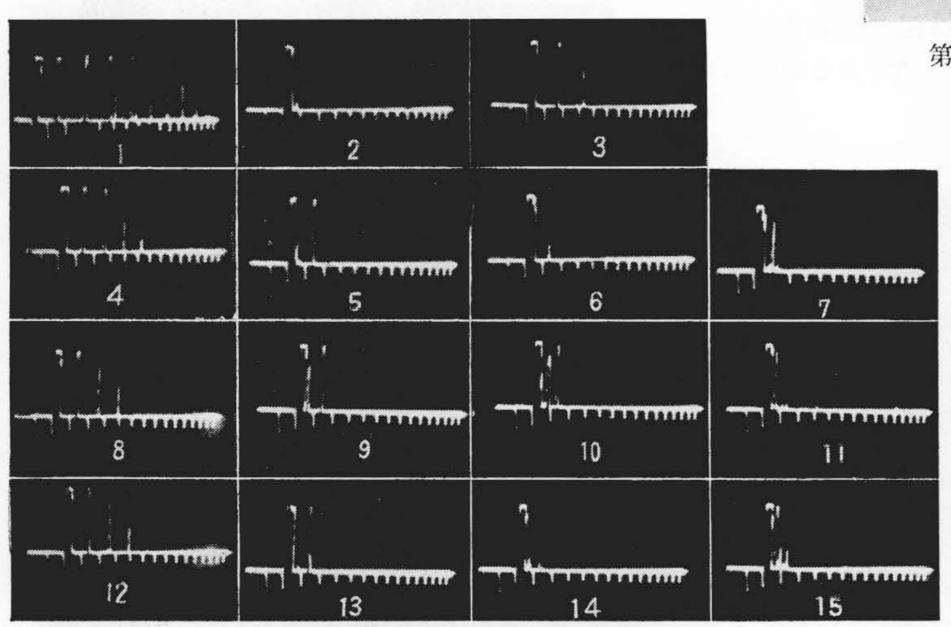
第24図(b) A面のマクロ腐蝕の一部



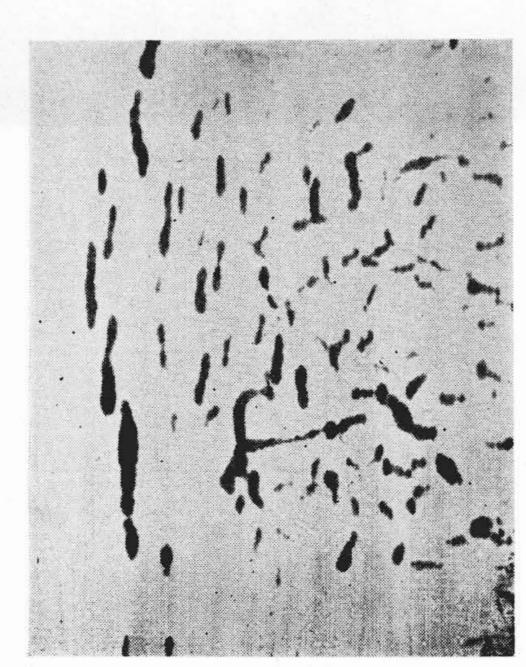
第25図 供試材 No.2 の採取方法



第26図 Ⅰ試片の超音波探傷位置



第27図 Ⅰ 試片の超音波探傷波形



第28図 染色探傷による欠陥の分布



第29図 サルファプリント

(6) マクロ的調査

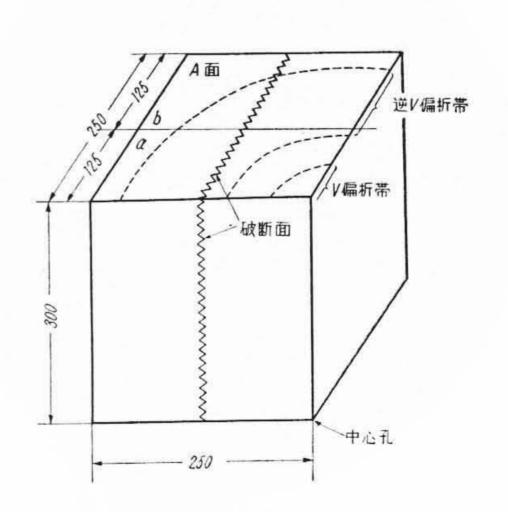
I試片の超音波探傷面について 染色探傷およびサルファプリント を行つた。第28図および第29図 にそれらの結果を示す。

次に IV 試片は破断実験を行うために 第30 図 に示す要領で a および b 試料に分割し、その破断面の状況を第31 図および第32 図に示す。また第33 図および第34 図に a 試料の異常破面と正常破面を示す。

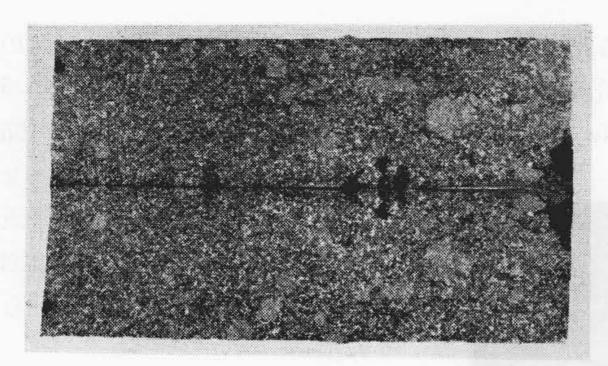
(7) 鍛着実験

II および III 試片については

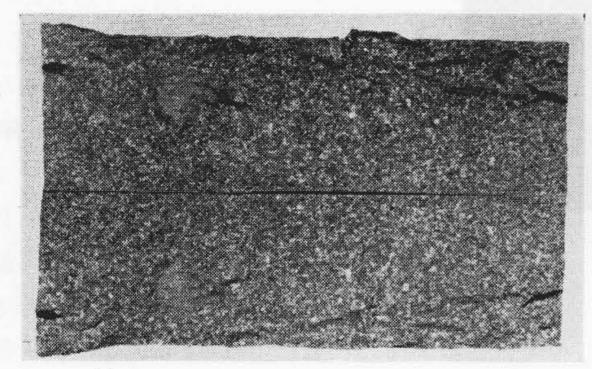
1,200°C に加熱後 1,000 t 水圧プレスおよび 2 t ハンマにより 4 面鍛造加工を行い徐冷した。 第 35 図 に鍛造後の外観を示す。第 1 段は原形のまま第 2 段以下の鍛錬係数は 2,4 および 8 S,加工率⁽²⁾は 50,75 および



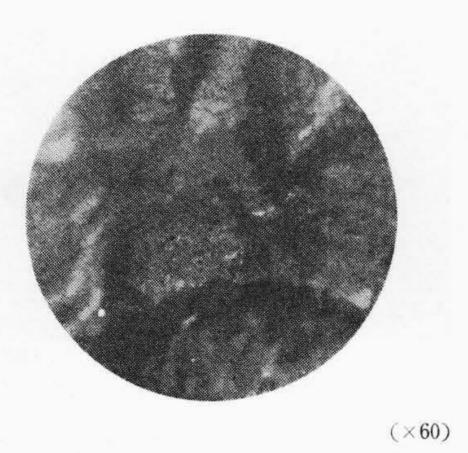
第30図 IV 試片の破断実験法



第31図 a 試験片の破断面



第32図 b 試験片の破断面



第33図 異常破面

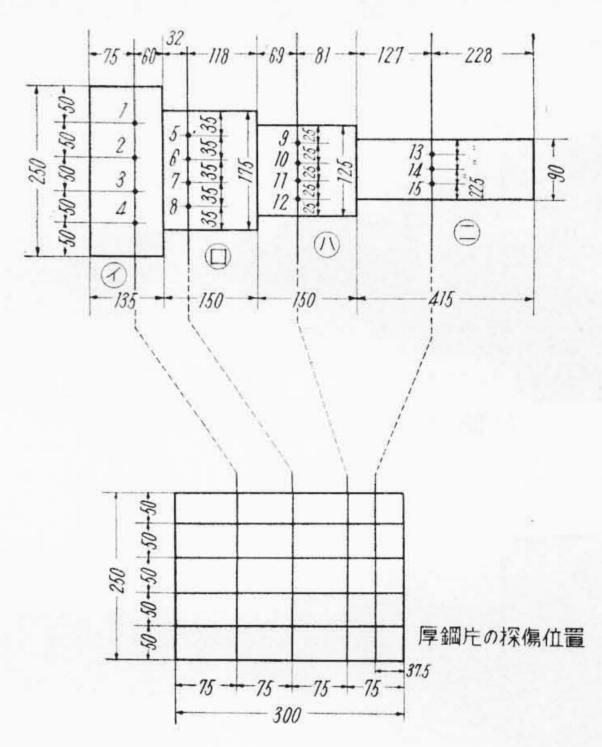
87.5%となつている。

次に第26図の超音波探傷面に見合う面とその反対面を全面機械加工を行い第36図(下図は原鋼片の探傷位置を示す)に示す位置について周波数3Mcで超音波探傷を行つた。第37図にII試片についての探傷波形を示す。III試片の探傷波形も同様の傾向を示す。

各試片は 第 24 図 の X-Y を含む面でそれぞれ 2 分割してマクロおよびミクロ的に鍛造効果を調査した。 第 38 図 および 第 39 図 に II 試片の染色探傷およびマクロ腐蝕の結果を示す。 III 試片の結果も同様の傾向を示す。

次に内部亀裂の性状と組織を見るためにII試片の原形の部分(イ),鍛錬係数2S(加工率50%)の部分(ロ) および鍛錬係数8S(加工率87.5%)の部分(ニ)より試料を採取した。第40図および第41図は(イ)部分の割





第36図 鍛造寸法と超音波探傷位置

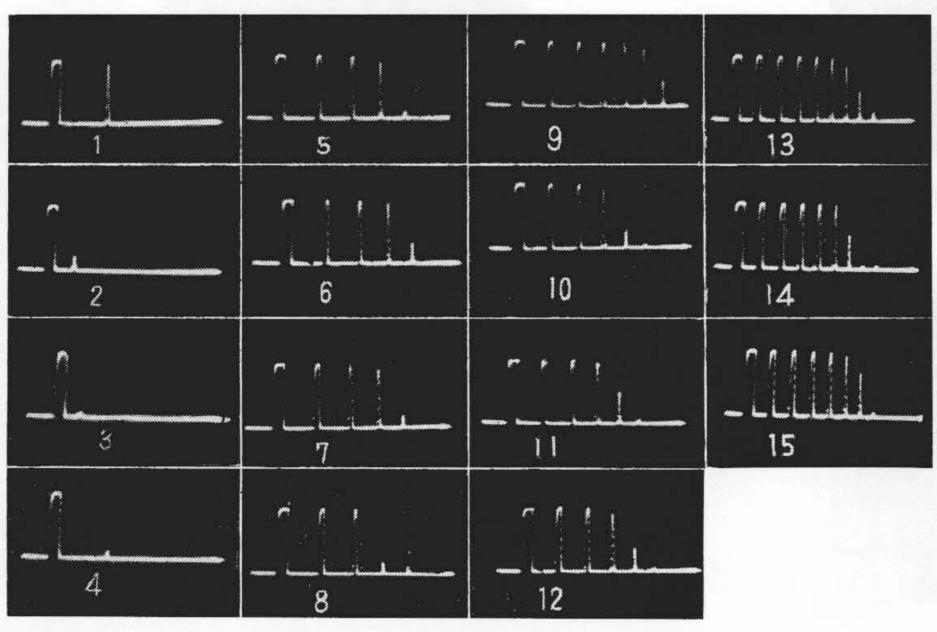
れ,第42回は(ロ)部分の割れと非金属介在物,第43 図および第44回は(ニ)部分の縞状組織と非金属介在 物を示す。

3.3 考 察

上述の調査結果に対して若干の考察を加えることとする。

3.3.1 内部欠陥の性状と超音波探傷結果に対する 考察

供試材 No.1の採取位置はすでに述べたように原鋼 塊のT側で本体の高さの約1/3にあたる。著者の一人は 鋼塊の凝固偏析について調査した結果,上述の位置は 鋼塊として逆VおよびV偏析の著しいことを報告して いる。このことは 第19図 の再鍛造後の供試素材の超

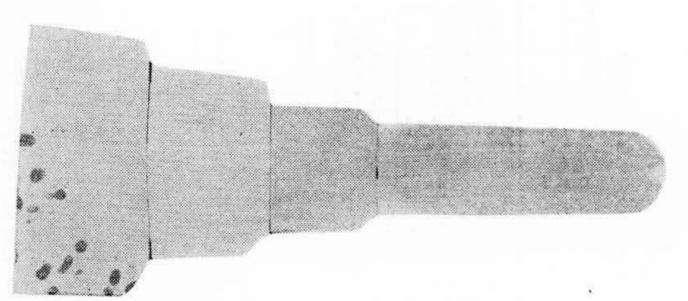


第37図 II 試片鍛造後の超音波探傷波形

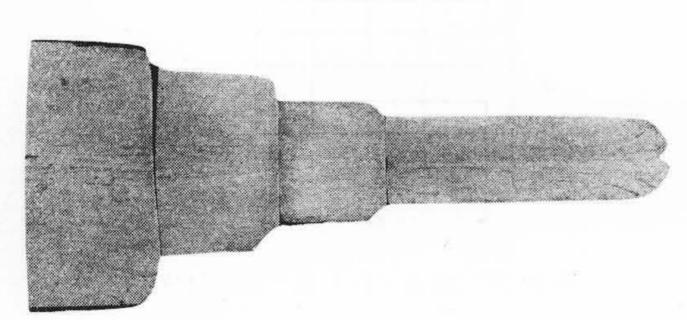
音波探傷結果をみれば鋼塊のT側は欠陥波の高さが送 信波の100%で底面反射がまつたく見られず(No.5~ No.17), B側に近づくにつれて底面波がでて、欠陥波

があつても底面波が 100% となり (No. 20~No. 25), 胴体の端部近く で欠陥波は見られず底面波も2回を 記録する (No. 28) ことからも明らかである。

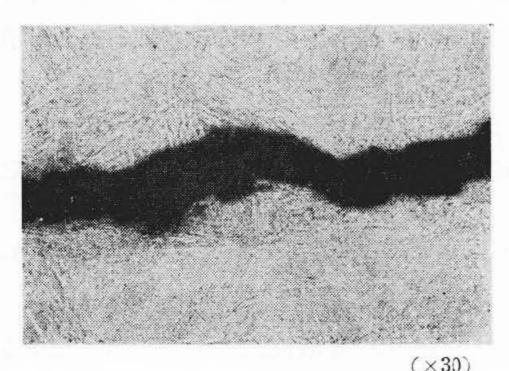
供試材 No.1 および 2 に適用している染色探傷は渗透しうる欠陥の幅が 10 μ以上 (3) という制限はあるが、それらの位置を検出するにはかなりすぐれていると思う。これと 第 23 図および 第 24 図 のサルファプリントおよびマクロ腐蝕の様相から見ると、欠陥の分布は逆 V 偏析帯に最も多く、中心部の V 偏析帯にも若干見られる。これにより欠陥は偏析帯に共存する亀裂であり、その方向は自



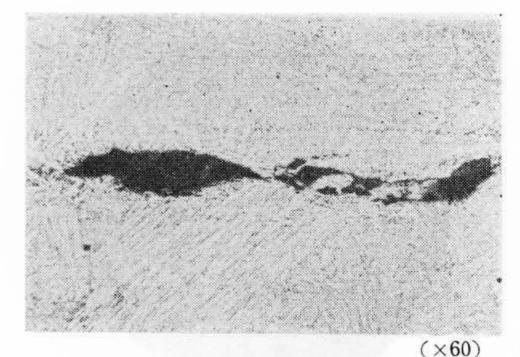
第38図 II 試片縦断面の染色探傷



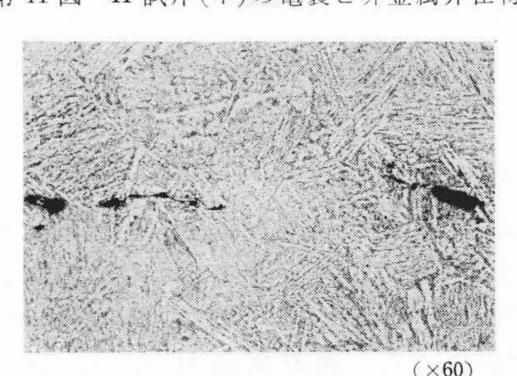
第39図 II 試片縦断面のマクロ腐蝕



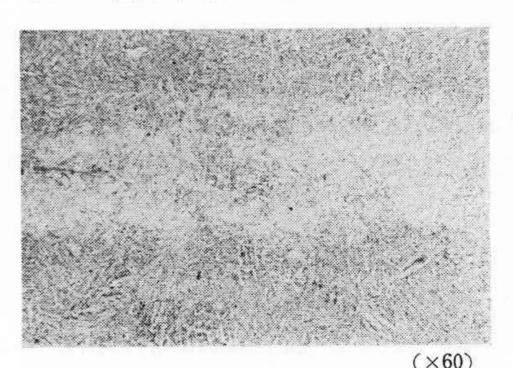
第40図 II 試 片 (イ) の 亀 裂



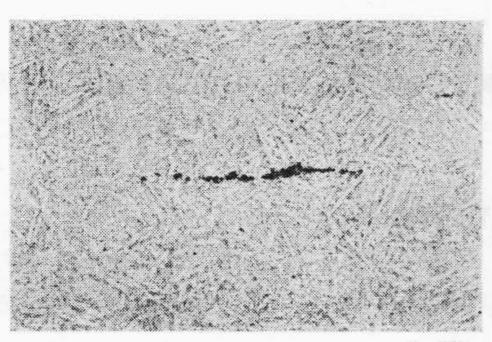
第41図 II 試片(イ)の亀裂と非金属介在物



第42図 II 試片(ロ)の残存亀裂と非金属介在物



第43図 II 試片(=)の縞状組織と非金属介在物



(×60) 第 44 図 II 試片(ニ)の紐状非金属介在物

点状欠陥が方向性がないのに比べて, 明らかに切線方 向で、いわゆる輪状ゴーストに沿つていることがわか る。これらの亀裂が第19図の欠陥波形となつて現わ れたものである。次に凝固組織の結晶帯別の超音波探 傷波形は第20図によつて示されている。外周部のチ ル晶および柱状晶の部分 (No. 1, No. 3) では欠陥波は 見られず, 底面反射回数も多いが粗大樹枝状晶および 自由晶中心部(No.5, No.8)は底面反射波が見られず, 超音波の減衰がはげしい。第19図に比べて欠陥波が 見られないのは、前述したように亀裂の方向性の問題 で超音波が亀裂面に直角に当らないためと考える。 供試材 No.1の I 試片について行つた超音波探傷波形 についても同様のことがいえる。すなわち第27図と 第28図および第29図を関連させて考えると、軸方向 に探傷した No. 1~No. 3 は 第 21 図 と同じ傾向を示 し、逆V偏析帯の外部偏析線に近く柱状晶にわたる No. 4, 8 および 12 では探傷方向が偏析線に対して切 線方向になる理由も加わつて, ほかの位置に比べて超 音波の減衰や欠陥波も見られない。これらに対して中 心に向うにつれて、減衰と欠陥波の現われることは中 心ほど探傷の方向が亀裂に対して直角方向、すなわち 偏析帯に対して半径方向となるためである。

第31 図および第32 図にみられる亀裂の様相は破断 面が偏析帯をきる方向によつて異なる。すなわち第 31図は破断面が偏析帯に対して切線方向となるため に亀裂のほとんどが外形をそのまま示し、第32図で は半径方向に近いためにほぼ線状に現われる。これら の破面は新しく破断された面に比べて色相と粒の粗さ が異なる。このことは第33図および第34図に示すと おりで, 異常破面は鋼塊の一次晶の粒界で割れている ものと考えられる。この亀裂はその外形が著しく不整 であり、いわゆる銀白点とは形状、 粒度および色相も 異なり, これと区別して粒白点, 初晶粒界割れ, 異常 偏析疵などと呼ばれているものである。これらのもの はすでに鋼塊製造中に生成するか、または鋼塊製造中 より遺伝された弱点が鍛造その後の加工作業中の応力 によつて発生したものと考える。逆VおよびV偏析帯 中に存在するミクロキャビティを源泉として発展した ものであろう。

鍛着実験を行つた II および III 試片の超音波探傷波 形をみると、原形のままの位置(イ)に比べて鍛造加工 した(ロ), (ハ)および(ニ)では探傷距離が短くなつた ことを考慮しても欠陥波もみられず, 超音波の透過も 非常に改善されていることがわかる。第38回および 第39図に示す II 試片の調査結果では切断対角線は偏 析帯を半径方向にきり中心部に凝集していることがわ かる。またすでにこれまで述べてきた偏析帯に現われ る亀裂は鍛錬係数28ではわずかに残るが、48以上 に鍛伸することにより完全に鍛着し得たことがわかつ た。第40図は肉眼的にも検出可能な大きい亀裂で第 41 図は染色探傷により検出されたもので一部に Al₂O₃ を含む珪酸塩系の介在物が共存している。これらのも のが鍛着し得たことについては後節で詳しく考察を加 えることとするが(ロ)の部分ではわずかに残存亀裂が 見られるが(ニ)の部分では毛割れ程度のものも見られ ず、縞状偏析部に硫化物や Al₂O₃ を含む珪酸塩系の 介在物の連鎖が見られるのみである。また第43図が 鍛伸方向に縞状組織を示すことは内部まで十分に加工 されたことを示すものであり、第40図および第41図 の原形部分では再鍛造でも加工効果が十分でなかつた ことを示している。

3.3.2 内部欠陥の成因に関する考察

第22~24 図によれば内部欠陥の大部分が逆V偏析帯に分布しており、それらの生成機構に関連性をもつているものと考られる。逆V偏析帯の生因については現在もなお多くの説があるが、鋼塊の凝固過程中に柱状晶より排出された不純物を多量に含有している熔融点の低い熔鋼の局部偏析帯であることには一致している。ここにはPおよびSなどの不純物元素の偏析はもちろん、各種の非金属介在物および水素ガスの凝集が著しい。その偏析の程度は熔鋼の成分にもよるが、造塊条件たとえば鋳込温度、速度などによつて大きく左右される。しかし本研究の供試材だけで内部欠陥の成因を明らかにすることはむつかしいが、上述したように逆V偏析帯の生成機構と熔鋼中のガス特に水素の凝固偏析に関連性をもつことは考えられるので、偏析帯の軽減と水素ガスの低減が重要な課題である。

3.3.3 鍛造効果に関する考察

回転体のように半径方向に応力をうける大物鍛造品では半径および切線方向の靭性値に対して厳格な規格が定められており、また超音波によつて綿密な内部検査が行われる。したがつて使用する鋼塊は健全で均質度の高いものが望ましいが、実際には鋼塊が大きくなればなるほど凝固偏析が大きくなり、欠陥発生の可能性が増大する。切線方向の靭性値を改善するためには

据込、鍛伸をくり返えすこと、すなわち材料を十分に 鍛錬することが有効である。このときの据込比は通常 2 Uまでは不均一変形にもとづく亀裂は起らないもの と推定される⁽²⁾。

実験に供した素材は第1回鍛造後の超音波探傷では大きい欠陥反射が認められた。鋼塊の凝固組織の中で最も弱点と考えられるものは第31図および第32図に示すように逆V偏析帯に存在し、鋼塊の高さの方向にある大きさの面積をもつたものである。このような形状のものに据込鍛伸を繰り返えすことは正負の効果が交互に現われて鍛着を期待することは困難であろう。再鍛造の場合の鍛錬係数は1.86Sであつたが、内部欠陥はほとんど改善されていなかつた。

供試材 No.2 について行つた鍛着実験における鍛造 効果については欠陥の性状によつて定まるある限度を こえれば欠陥は線状となり、それ以上では鍛着が開始 され終に消失するものと考えられる。また本実験は素 材より欠陥の多い偏析帯より試片をきり出したもので あり, 主要原因の一つである水素の拡散逸出について は好条件であることが鍛着を可能にし、新しい白点状 欠陥の発生を防止し得たものと考えられる。上述のよ うに内部欠陥を鍛着せしめるためには鋼塊の軸方向の 鍛造加工が望ましい方法であつて, そのために鍛錬係 数を大きくするためには鋼塊は必然的に大直径のもの を選ぶことになる。このことは凝固偏析が大きくなる ことであつて, このために鍛造品は不均質のものとな り, 切線方向の靭性値はきわめて低くなるであろう。 これは本供試素材のような回転体にとつては最も不利 な条件であつて, 内部欠陥を鍛着せしめることによつ て救い得る製品にはおのづから限度があることを物語 るものである。

次に水圧プレスはハンマに比較すれば変形速度が小さく、一方ハンマは衝撃であるから変形速度は大きい。このことは加工速度の大小に関連するが、これが大きければ内部摩擦熱の発生量は増大する。すなわちプレスでは内部摩擦熱の発生は小さくハンマでは大きいと考えられる。これが内部欠陥の鍛着に有効に働く要素の一つと考える。

内部変形率は使用する工具の形状によつて著しく変化するとともに、同一形状の工具であつても、その工具の幅と被加工材料の直径との比率によつて変化する。また同じ幅の平金敷を使用した場合に鍛錬係数が1.56Sではプレスおよびハンマともに変形率はほとんど差異はないが2.04Sになると中心部の変形率は前者の方がはるかに大きくなる⁽²⁾。したがつて鍛着効果は内部摩擦効果と変形効果の総合された結果として現われるものと考える。

4. 結 言

普通鋼および特殊鋼製品の超音波探傷による内部欠陥 をマクロおよびミクロ的に調査した結果つぎのことがわ かつた。

4.1 普通鋼製品について

- (1) 超音波探傷により検出された内部欠陥の発生位 置は原鋼塊の逆 V 偏析帯から V 偏析帯にわたる範囲で ある。
- (2) 鋼塊の偏析帯は据込加工により弯曲し、内部欠陥のほとんどがこれに沿つており、これよりも内部にあるものは欠陥の方向が一様でなく、その大きさも小さい。
- (3) 内部欠陥は外部に源泉を有する砂疵と亀裂が連っているもので、この亀裂の発生機構は特殊鋼の白点と同じものもある。
- (4) 本供試材のように据込比の大きいものは鋼塊内部の不均一変形が大きく欠陥の鍛着は望めないが,欠陥を含む供試材を鍛伸,据込を行つて欠陥を消失し得た。

4.2 特殊鋼製品について

- (1) 超音波探傷により検出された内部欠陥は鍋塊の両偏析帯に発生した亀裂であり、粒白点と呼ばれるものである。欠陥波形の強度は鍋塊の凝固偏析と密接な関係があり、健全鍋塊の製造が第一の要締である。
- (2) 亀裂の破面はその外形が著しく不整で大きさもまちまちであり、いわゆる銀白点と称するものとはその様相をまつたく異にしている。この成因については本研究のみで軽卒に断定することはできないが、鋼塊製造中に生成するかまたは製造中より遺伝された弱点が鍛造その後の加工作業中の応力によつて亀裂を生じたものと考えられる。
- (3) 欠陥を内蔵した供試素材そのままの形でプレスによる鍛造を行つても内部欠陥の改善は望めなかつた。また欠陥部分のみをきり出したものについてはプレスおよびハンマ作業で軸方向の鍛伸のみの場合は鍛錬係数 2 S (加工率 50 %) で欠陥はほとんど消失し、4 S (加工率 75 %) 以上では完全になくなる。
- (4) 本研究は内部欠陥を鍛着するには最も有利な条件を集めた傾向があり、今後据込作業を加味してさらに検討の必要がある。また供試材中の欠陥は条件さえ整えば十分改善される性質のものであつたが実際に使用する鋼塊と製品の大きさとの関連性から考えると採用しうる製造方案には一定の限度がある。

参考文献

- (1) C. R. E. Wohrman: Inclusion in Iron (Amer Soc. Steel Treat.)
- (2) 武市: 日立評論 37, 1575 (昭 30-11)
- (3) 牧浦,岩崎: 金属 28,2,(1958)