

鐵 と 鋼 第二十五年 第九號

昭和十四年九月二十五日發行

論 說

高抗張力鋼鉚の製鉚及び鉸鉚時に於ける加熱溫度、加熱時間及び鉸鉚時間に就て

(日本鐵鋼協會第 22 回講演大會講演 昭和 14 年 9 月)

美馬源次郎*

INFLUENCE OF HEATING- AND CLENCHING- CONDITIONS ON MECHANICAL PROPERTIES AND MICROSTRUCTURES OF HIGH TENSILE STEEL RIVETS.

Genziro Mima.

SYNOPSIS:—In this paper the author describes some of the effects of the operation for rivet-making and riveting on the mechanical properties and microstructures of high tensile steel rivets. The effects on mechanical properties was studied by means of tensile, hardness, and impact tests.

The results of the investigation indicate that (1) the overheating accentuates the blue-brittleness, secondary-brittleness and transformation-brittleness of high tensile steel rivet bar, (2) the high tensile rivets always decrease in tensile strength and elongation with the clenching operation within the blue-brittleness and secondary-brittleness range, and (3) the best temperatures of heating will be as follows:—

For rivet-making, 900°C

For pneumatic riveting, $\left\{ \begin{array}{l} 1,050^{\circ}\text{C}-(10\sim 30 \text{ sec}) \text{ when heated by an electric furnace,} \\ 1,100^{\circ}\text{C}-(1\sim 3 \text{ sec}) \text{ when heated by a coke firing furnace.} \end{array} \right.$

目 次

I 緒 言

- I 緒 言
- II 製鉚時に於ける鉚材の加熱溫度、加熱時間及び冷却速度が其の強靱性、硬度及び組織に及ぼす影響 1) 試験片の調製. 2) 實驗方法. 3) 實驗結果. a) 鉚材の高温抗張力及び高温壓縮試験. b) 製鉚時に於て鉚材の受ける加工度、加工範圍及び顯微鏡組織. c) 加熱溫度、加熱時間及び冷却速度が衝擊値、硬度並びに顯微鏡組織に及ぼす影響.
- III 鉸鉚時に於ける鉚材の加熱溫度、加熱時間及び鉸鉚時間が鉚材の強靱性及び組織に及ぼす影響. 1) 試験片の調整. 2) 實驗方法. 3) 實驗結果. a) 鉸鉚直前及び鉸鉚作業中に於ける鉚材の冷却速度. b) 過熱したる鉚材の高温抗張力試験. c) 鉸鉚時に於て鉚材の受ける加工度及び加工範圍. d) 鉚材の抗張力性質に及ぼす加熱溫度、加熱時間及び鉸鉚時間の影響. e) 鉚材の加熱溫度、加熱時間及び鉸鉚時間が組織に及ぼす影響.
- IV 實際作業に於て破斷したる鉚材及び破斷せざりし鉚材に就いての調査 1) 硬度及び化學組成. 2) 顯微鏡組織.
- V 結論及び結果の考察.

近來船體の建造には軟鋼に代ふるに出来る限り強靱にして輕き材料即ち高抗張力鋼材或は Doucol 鋼材を使用し、鉚接に代ふるに電氣熔接を採用して船體の重量を輕減し、之を利用して目的遂行の能力を増大せしめんとしてゐる。而して電氣熔接は最近著しく進歩したが、高抗張力鋼鉚接或は Doucol 鋼鉚接に代ふるには時期未だ尙早である。從て現在に於ては高抗張力鋼鉚或は Doucol 鋼鉚の素材、製作及び鉸鉚の良否は艦船々體の強弱を左右する一大要件である。然るに高抗張力鋼鉚及び Doucol 鋼鉚に於ては、填隙作業中に往々破斷する。破斷した鉚は之を打ち替へれば構造上の弱點は除かれるが、若し破斷途中にある鉚が未発見のまま残る場合には、船體に弱點を残し、危険である。故に高抗張力鋼鉚破斷の原因を明らかにし、斯る弱點を皆無ならしむる事が必要である。

然し高抗張力鋼鉚に關する研究は少く、特に製鉚及び鉸鉚に就いて冶金的に考察したものは皆無と云てよい。此所に於て製鉚及び鉸鉚時に於ける加熱溫度、加熱時間、冷却速度及び鉸鉚時間と鉚材の強度、脆弱性並びに顯微鏡組織との關係に就いて研究を進めると同時に實際作業に於て破斷した鉚と破斷せざりし鉚とに就いて種々の試験を行た。以

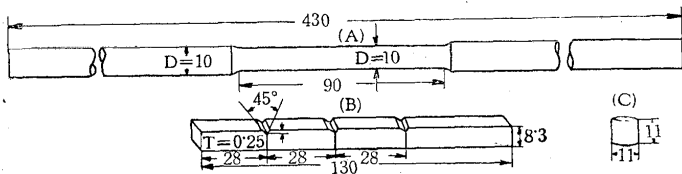
* 藤永田造船所研究部

下は其の結果に就ての簡單なる報告である。

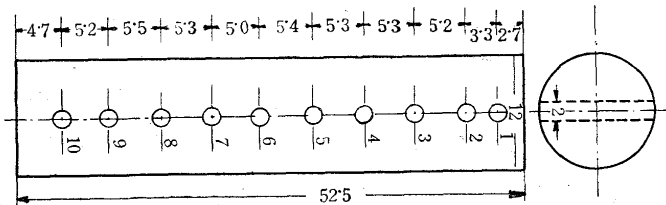
II 製鉄時に於ける鉄材の加熱温度、加熱時間及び冷却速度が其の強靱性、硬度及び組織に及ぼす影響

1) 試験片の調製. 高温抗張力試験片, 衝撃試験片及び高温壓縮試験片は夫々, 第1圖 (A). (B). (C) に示す如き寸法に作た. 而して前二者には第1表に示す A, B 兩試料を用ひ, 又高温壓縮試験片には A 材のみを用ひて製作した. 尙鉄の加工度及び加工範囲を調べるには第2圖に示す様な寸法の鉄材 (A 材を長さ約 53mm に切斷し, 其の中心線上に約 5mm の間隔に徑 2mm の孔を穿ち, 此の中に 2mm の drill rod を嵌込んだもの) を試験片として用ひた.

第1圖 Showing forms and dimensions of specimens.
A. Tensile specimen.
B. Izod impact specimen.
C. Compressive specimen.



第2圖 Initial dimensions of test piece used for testing working degree in rivet making



第1表

Chemical composition (%)

Kind of bar	C	Si	Mn	S	P	Al
A ₁	0.28	0.14	0.91	0.025	0.034	—
A ₂	0.27	0.16	0.88	0.015	0.028	—
B ₁	0.26	0.15	0.70	0.027	0.041	—
B ₂	0.30	0.15	0.64	0.032	0.042	—

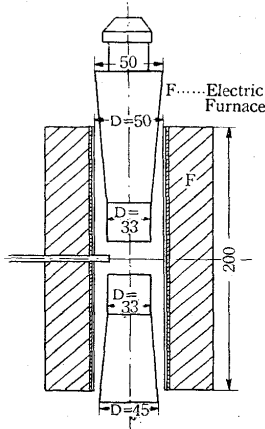
2) 實驗方法. 高温壓縮試験は第3圖に示す如き電氣爐及び壓縮装置を, 高温抗張力試験は前記電氣爐のみを夫々 Amsler 式 50t 試験機に設備して行た. 而して何れの場合に於ても試験片は 30 分間で所要の温度に上昇し, 其の温度に 30 分間保持したる後荷重をかけ始めた. 又試験片の温度は熱電對を試験片の中央部に接觸せしめて測定した. 尙試験時の歪速度は抗張力試験の場合には 7×10^{-3} cm/sec. に, 壓縮試験に於ては 1×10^{-2} cm/sec. に一定した. 又壓縮試験に於ける壓縮比は精度 1/100mm の dial gauge を用ひて測定し, 之を 1/2 に一定した.

製鉄に於て鉄材の受ける加工度を決定するには第2圖に

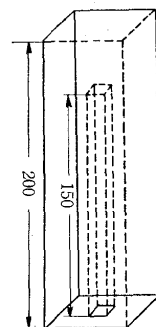
示した試験片を重油爐にて充分加熱し, friction 式製鉄機を用ひて鉄を作り, 鉄材中に嵌込んだ drill rod の直径の變形量を 1/100mm の精確さにて測定して行た.

更に製鉄後に於ける鉄の並行部の強靱性, 硬度及び顯微

第3圖 Schematic arrangement of the elements of the compressive apparatus.



第4圖 Form of copper-brook used for cooling impact specimens.



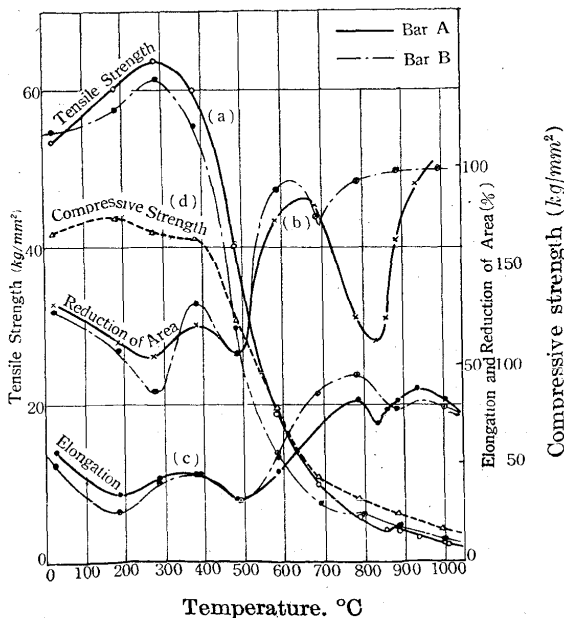
鏡組織に及ぼす加熱温度, 加熱時間, 並びに冷却速度の影響を調べる爲, 種々の處理を施した Izod 試験片に就て衝撃試験を行た. 而して試験片の加熱は總て真空中にて行ひ, 加熱し始めてより, 20分間にて所要温度に

達せしめ, 其の温度に 15 分間保持して後, 種々の冷却法にて冷却した. 即ち 爐中冷却 (石英管に入れて真空のまま), 空中冷却 (真空のまま及び大氣中), 及び金型 (第4圖) 冷却を施行した. 尙, 金型冷却の際には金型を水冷した. 又衝撃試験には 16.6m.kg の Izod 式試験機を使用した.

3) 實驗結果.

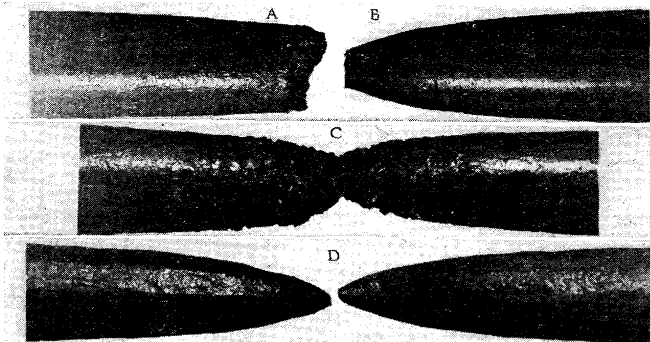
a) 鉄材の高温抗張力及び高温壓縮試験. 高温抗張力試験は, 第5圖に示す如く約 300, 500°C 及び 830°C

第5圖 Tensile strength elongation, reduction of area and compressive strength versus temperature.



に青色脆性、第2脆性及び變態脆性を夫々明瞭に現はす。又試験温度が 830°C より更に上昇すれば断面収縮率は温度の上昇と共に次第に増加するが延伸率は約 950°C で一度最大値を示した後、温度の上昇と共に減少する。尙試験後試験片を検するに 880°C の試験片には、第 6 圖 (c) に示す如く、其の表面に著しく龜裂が現れた。

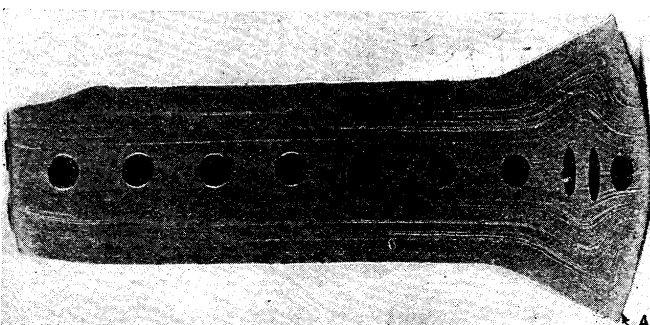
第 6 圖 Photograph of typical tensile specimens
A. testing temperature, (700°C) B. testing temperature, (830°C) C. testing temperature, (880°C) D. testing temperature, (1,00°C)



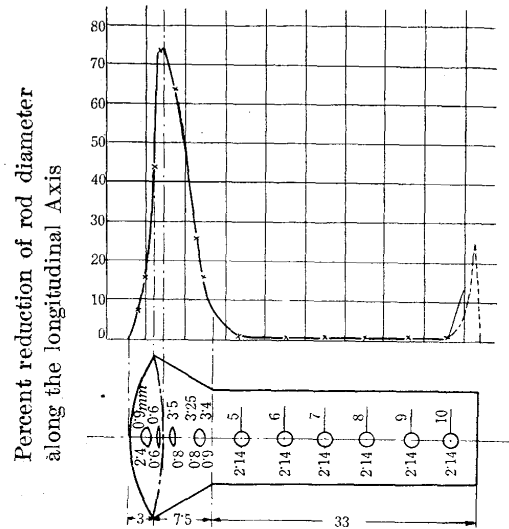
次に壓縮試験結果は最大壓縮應力を縦軸に、試験温度を横軸に取て現せば 第 5 圖の曲線 (d) の如くなる。又試験後に於ける壓縮試験片の表面は抗張力試験の場合と良く一致し、880°C の試験片には網状の龜裂が見られた。尙 300 及び 500°C の試験片には縦軸に約 45° の方向に直線状の龜裂が微かに現れた。

b) 製鉚時に於て鉚材の受ける加工度、加工範囲及び顯微鏡組織。第 2 圖に示した試験片を用ひ、普通の方法にて皿鉚を作り、試験片の中に嵌込んだ drill rod に直角に、且つ中央より切斷し、肉眼的腐蝕を行へば第 7 圖に示す如く、其の加工度と加工範囲の關係が明瞭に判る。今 drill rod の直径の減少量にて、鉚の中心線上に於ける加工度を算出圖示すれば、第 8 圖の如くなる。圖に依て明かなる如く、生鉚の中心線

第 7 圖 Photograph Showing the working degree of rivet.



第 8 圖 Working degree on the center line of rivet in rivet making,

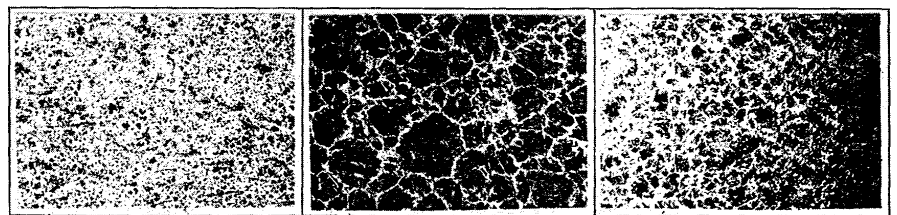


上に於ける加工度は、鉚頭の A 部第 7 圖に於て最大であり、夫より首の方へ行くに従て急激に減少し、首より約 3mm. 下方に於て殆んど零となる。即ち生の皿鉚の場合には其の首の附近に於て製鉚による加工度に著しき變化が起る。尙上記試験片に就て組織を検鏡したるに第 9, 10 及び 11 圖の如き結果を得た。第 9 圖は頭部の組織を、第 10 圖は首より少し下部の組織を、第 11 圖は並行部の最下部の組織を示したものである。即ち頭部及び最下部は並行部に比し非常に細かく、且つ地鐵の多き組織となつてゐる。此の差異は前者の變態點附近に於ける冷却速度が

第 9 圖 Head

第 10 圖 Neck

第 11 圖 Bottom



後者の其れより緩慢なりしために生じたのである。

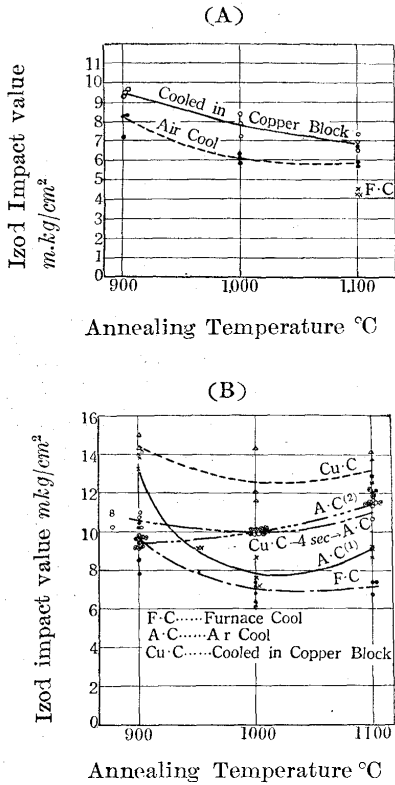
c) 加熱温度、加熱時間及び冷却速度が衝擊値、硬度並に顯微鏡組織に及ぼす影響。前項に述べた如く、製鉚時に於て鉚材の受ける加工範囲は概して頭部のみに限られ、並行部は殆んど加工されない。従て鉚の並行部の材質は製鉚時の加工温度、加工時間及び冷却速度等のみの影響を受け、加工には無關係であると考へらる。故に本項の試験により生鉚の平行部の脆弱性、硬度及び組織に及ぼす製鉚條件の影響を明にする事が出来る。

加熱温度の衝擊値に及ぼす影響に就ての試験結果は第 12 圖 (A) (B) に示す如く、又加熱時間及び冷却速度に對

する結果は第 13 圖 及び第 14 圖 (A. B) の如くなる。
尙第 14 圖 (A. B) に於て加熱時間 0 分—0 秒とあるは

第 12 圖 Effect of annealing temperatures on the toughness.

A. Rivet bar B. Rivet bar.



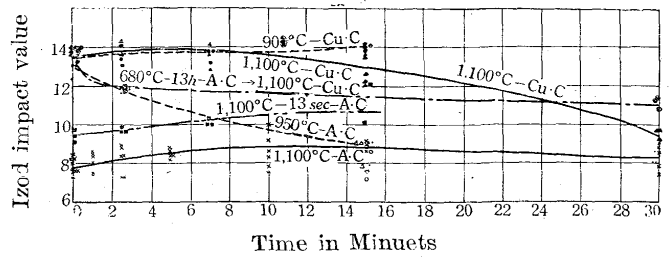
試験片の温度が所要温度に達したる時、直ちに冷却したる事を意味するものである。

温度と衝撃値との関係は第 12 圖 (A), (B) に明らかなる如く、温度が 900~1,100°C の範囲に於ては冷却速度に依て變化する。A 材即ち第 12 圖 (A) に於ては加熱温度の上昇と共に衝撃値は低下するが、B 材に於ては概して 900, 1,100°C 及び 1,000°C の順に其の値は低下する。又冷却に際し、石英管より取出し、

空氣中に吊したものは加熱温度の上昇と共に其の値を増加してゐる。(曲線 A. C (2)) 又金型に入れたる後 4 秒を経て空冷したるもの (曲線 Cu. C—4 sec—A. C) は真空の石英管に入れたるまゝ空冷したるもの (曲線 A. C (1)) 及び爐冷したるもの (曲線 F. C) より其の衝撃値は大である。尙本結果より見れば A 材は B 材より常に衝撃値が小である。

第 13 圖は衝撃値と

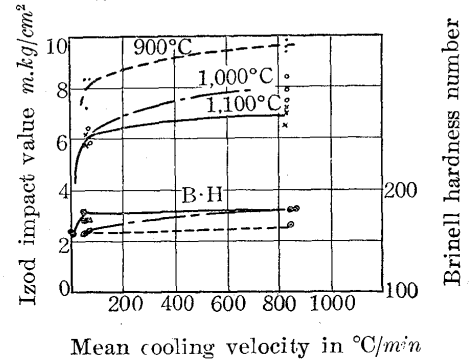
第 13 圖 Effect of annealing intervals on the toughness of rivet bar (B) at 900~950°C and 1,100°C.



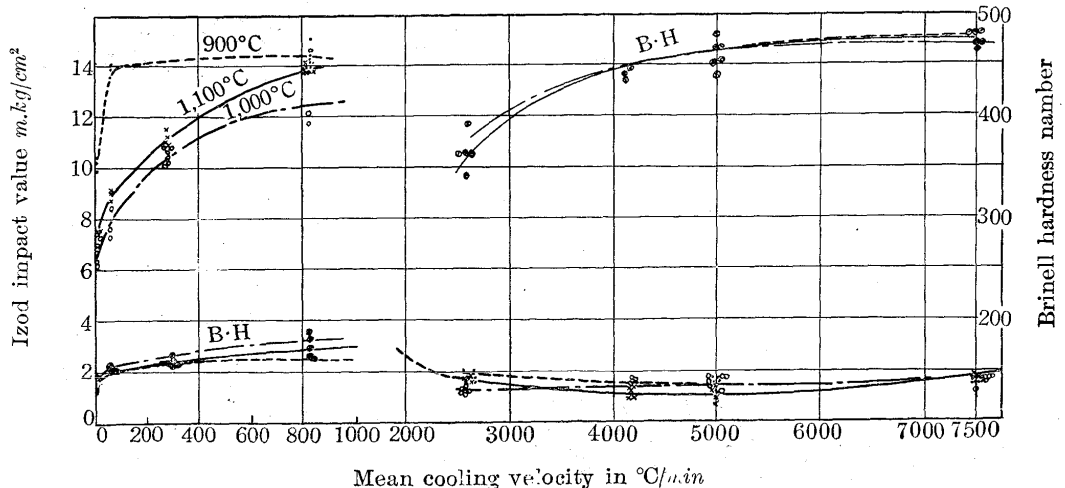
加熱時間との關係を示したるもので、圖に明らかなる如く、真空の石英管に入れたるまゝ冷却したる試験片 (曲線 A. C) は加熱温度が 950°C の時には時間と共に衝撃値を減少するが、1,100°C の場合には約 15 分迄其の値を増加し、夫れ以上に於ては概して 950°C のものと同様の割合で値を減少する。又金型冷却 (曲線 Cu. C) に於ては加熱温度が 900°C なる時には殆んど時間に影響されないが、1,100°C の時には相當影響され、時間が約 5 分の時に値は最大となり、其れ以上時間が増せば衝撃値は次第に低下

し 30 分に至れば、石英管に入れたまゝ空冷したるものとの差は著しく減少する。然し乍ら 1,100°C に加熱する前に

第 14 圖 (A) Rivet bar A.

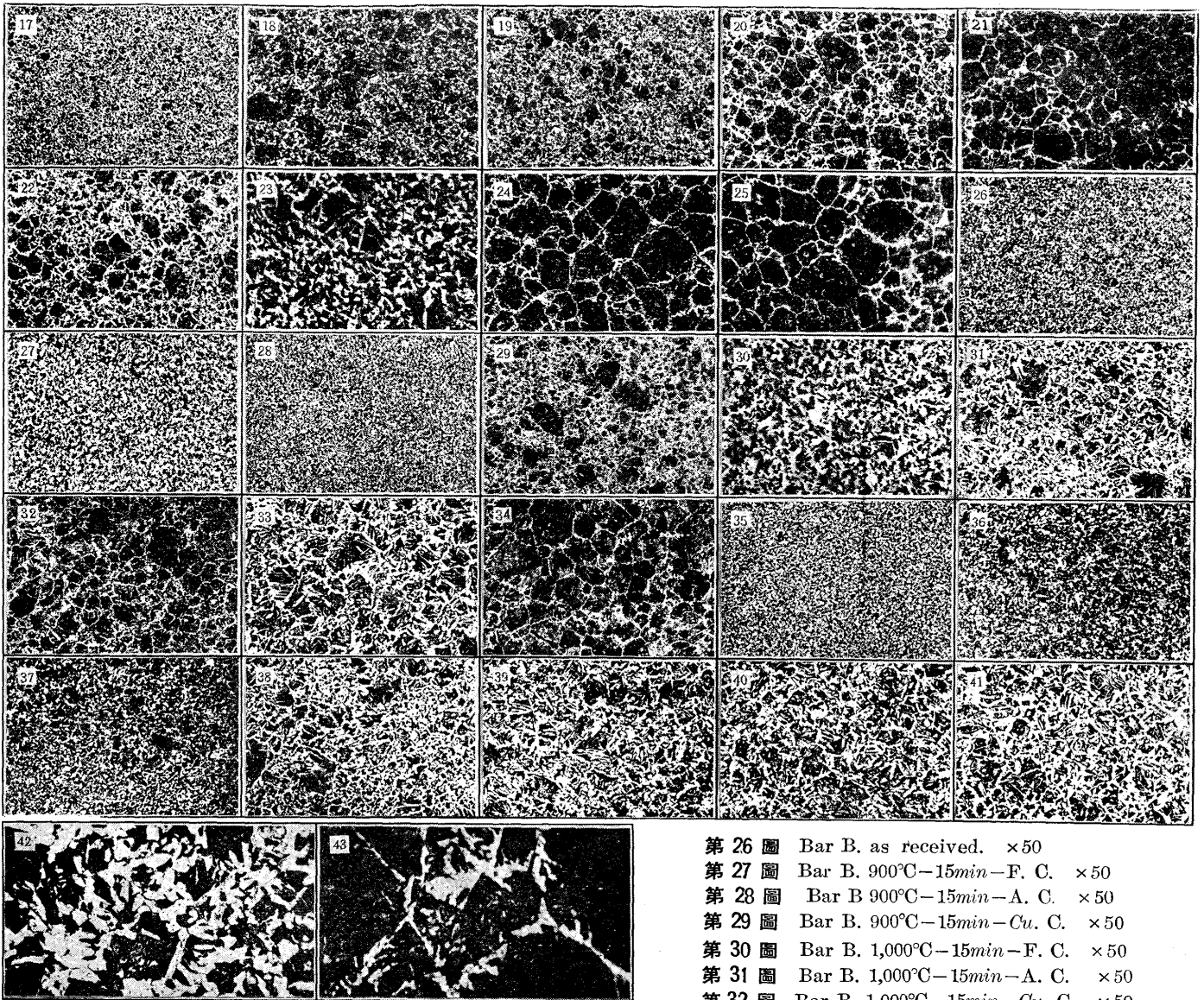


第 14 圖 (B) Rivet bar B.



Effect of mean cooling velocity within the range between 600 and 850°C after annealed at various temperatures on the toughness and hardness of rivet.

第 17~43 圖



- 第 17 圖 Rivet bar A as received. $\times 50$
 第 18 圖 Bar A. $900^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -air Cooled (A.C) $\times 50$
 第 19 圖 Bar A. $900^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -cooled in copper block. (Cu. C) $\times 50$
 第 20 圖 Bar A. $1,000^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -A. C $\times 50$
 第 21 圖 Bar A. $1,000^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -Cu. C $\times 50$
 第 22 圖 Bar A. $680^{\circ}\text{C}-2\text{hr}$ -A. C $1,000^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -A. C $\times 50$
 第 23 圖 Bar A. $1,100^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -Furnace Cool (F. C) $\times 50$
 第 24 圖 Bar A. $1,100^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -A. C $\times 50$
 第 25 圖 Bar A. $1,100^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -Cu. C $\times 50$

- 第 26 圖 Bar B. as received. $\times 50$
 第 27 圖 Bar B. $900^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -F. C. $\times 50$
 第 28 圖 Bar B. $900^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -A. C. $\times 50$
 第 29 圖 Bar B. $900^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -Cu. C. $\times 50$
 第 30 圖 Bar B. $1,000^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -F. C. $\times 50$
 第 31 圖 Bar B. $1,000^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -A. C. $\times 50$
 第 32 圖 Bar B. $1,000^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -Cu. C. $\times 50$
 第 33 圖 Bar B. $1,000^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -A. C. $\times 50$
 第 34 圖 Bar B. $1,100^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -Cu. C. $\times 50$
 第 35 圖 Bar B. $950^{\circ}\text{C}-0\text{min}-0\text{sec.}$ -A. C $\times 50$
 第 36 圖 Bar B. $950^{\circ}\text{C} 2\text{min}-30\text{sec.}$ -A. C. $\times 50$
 第 37 圖 Bar B. $950^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -A. C. $\times 50$
 第 38 圖 Bar B. $950^{\circ}\text{C}-30\text{min}$ -A. C. $\times 50$
 第 39 圖 Bar B. $1,100^{\circ}\text{C}-0\text{min}-0\text{sec.}$ -A. C. $\times 50$
 第 40 圖 Bar B. $1,100^{\circ}\text{C}-5\text{min}$ -A. C. $\times 50$
 第 41 圖 Bar B. $1,100^{\circ}\text{C}-30\text{min}$ -A. C. $\times 50$
 第 42 圖 Bar A. $900^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -A. C. $\times 600$
 第 43 圖 Bar A. $1,100^{\circ}\text{C}-15\text{min}$ -Cu. C. $\times 600$

一度 680°C で 13 時間時効した試験片には加熱時間の影響が殆んど認められない。

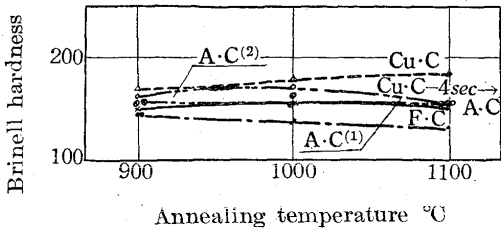
次に、 $850\sim 600^{\circ}\text{C}$ の間の平均冷却速度と衝撃値との関係を示せば第 14 圖 (A), (B) の如く、加熱温度が 900 , $1,000$ 或は $1,100^{\circ}\text{C}$ の何れなるに關せず、衝撃値は冷却速度 $6^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ なる場合より冷却速度の増加と共に衝撃値も或る程度迄増加する。然し此の関係は、或る冷却速度より逆轉し、其れ以上の速度に於ては速度の増加と共に衝撃

値は急激に減少する。

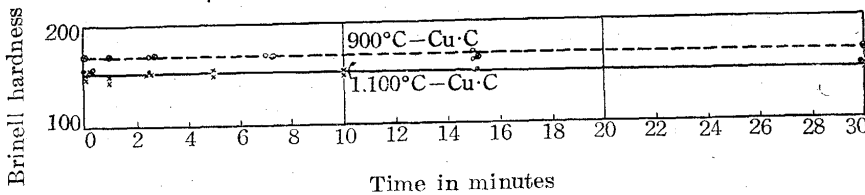
上記衝撃試験片に就いて硬度試験を行ひたるに第 14 圖 (A), (B) 15 圖及び 16 圖に示す如き結果を得た。

第 15 圖は加熱温度と Brinell 硬度との関係を示したもにして圖に明らかなる如く、爐冷の場合には加熱温度の上昇と共に硬度は多少低下し、金型冷却の時には多少増加するが、空冷のもの及び金型に入れたる後 4 秒を経て空冷したるもの等に於ては、其の硬度は加熱温度には無関係

第 15 圖 Effect annealing temperature on the brinell hardness.



第 16 圖 Effect Annealing interval on the brinell hardness.



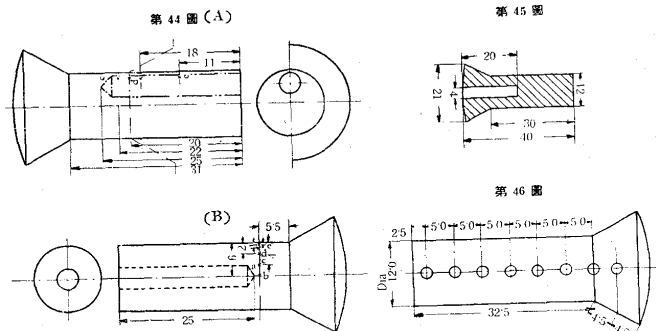
である。又第 16 圖は加熱時間と Brinell 硬度との関係を示すものにして加熱時間 30 分以内では硬度と時間とは全く無関係である。尚冷却速度と硬度の関係は第 14 圖 (A), (B) に示す如く、冷却速度の増加と共に硬度も増加する。而して約 1,000°C/min. 以下の冷却速度に於ては、其の増加は僅少である。

最後に前記衝撃試験片に就いて検鏡したるに第 17~43 圖に示す如き結果を得た。之等の結果は衝撃及硬度試験結果とよく一致して居る。即ち (A) (B) 何づれの鉄材に於ても加熱温度の上昇は其の結晶粒子の大きさに著しく影響するが、加熱時間が 30 分以下の場合には時間の影響は殆んど見られない。又 1,000°C/min. 以下の冷却速度に於ては冷却速度の早いもの程結晶粒子は粗大である。尚同一金型冷却の場合に於ても、加熱温度が 900°C の場合には尚ほ層状のパーライトが認められるが、1,100°C に加熱したものはパーライトの殆んど全部が、ソルバイトになつてゐる。而して受理状態以外の何づれの場合に於ても A 材の結晶粒子の大きさは B 材の夫れよりも大である。即ち A 材は B 材よりも加熱による粒子粗大化の傾向が大である。

III 鉸鉄時に於ける鉄の加熱温度、加熱時間及び鉸鉄時間が鉄の強靱性及び組織に及ぼす影響

1) 試験片の調製。鉸鉄試験には A, B 兩材各 1 本を用ひ、鉄は總べて前記製鉄機にて作た。又鉄材の加熱には重油爐を使用し、加熱方法、加熱時間、加熱温度等は別に之を規定せず總べて普通の方法程度に作業を行ふ事に最大の注意を拂た。

以上の如くにして作た鉄を用ひて第 44 圖 (A), (B), に示す如き試験片を作り、之を鉸鉄直前、即ち鉄を鉸孔に挿入したる時の鉄各部の冷却曲線測定用試験片とした。鉸鉄中に於ける鉄の首部中心の冷却曲線を求める爲に第 45 圖に示す如き試験片を作た。尚鉸鉄時に於て鉄の受ける加工状態を調べる爲には、第 46 圖の如き試験片を用ひた。一度加熱した鉄材の高温抗張力試験片は夫々所要の熱処理を施したる後、前記高温抗張力試験片と同様の寸法にて作た。而して之に使用した材料は A 材 1 本と B 材 4 本で各処理のものは夫々 1 本のものより採取し、之等素材の強度を比較する爲未処理の短き試験片 (把持部の長さを短くした) を 1 本宛作た。

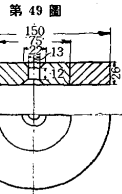
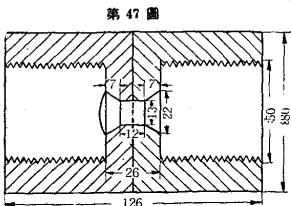


第 44 圖 Dimensions of specimens used for measuring cooling. A. longitudinal measuring hole. B. transversal measuring hole.

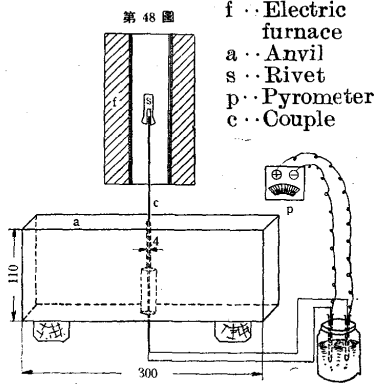
第 45 圖 Dimension of specimen used for measuring cooling velocity in clenching.

第 46 圖 Initial dimensions of test piece used for testing working degree in the clenching.

2) 實驗方法 鉸孔に挿入した冷却曲線を求めるには、豫め熱電對を孔中に挿入した鉄を電氣爐にて加熱し、所要温度に達したる時、直ちに取出し、被鉸接鋼片第 47 圖の鉸孔に挿入して、温度降下を測定した。又鉄の鉸孔への挿入を速かならしめる爲には、豫め熱電對を被鉸接鋼片の鉸孔に通じて、鉄の孔に挿入した。更に鉸鉄時に於ける鉄の冷却速度を測定するには第 48 圖に示す如く熱電對を定盤の中央に設けた徑 4mm の孔を通じ、其の端を鉄に設けたる孔中に挿入し、鉄を定盤面より約 300mm 上方に支へ之を長さ約 200mm の電氣爐中に挿入した。鉄の加熱中は定盤面が電氣爐の爲に暖まらぬ様に充分注意した。次に鉄の温度が 1,100°C に達したる時、鉄を電氣爐と共に定盤に近づけ速かに電氣爐を取り除き、第 49 圖に示す如き鋼片に設けた鉸孔に挿込み直ちに鉸鉄した。而して其の間に於ける温度變化を記録した。



第 47 圖 Dimensions of tensile specimen.
 第 48 圖 Diagrammatic sketch of clenching apparatus used for measuring cooling velocity of rivet.
 第 49 圖 Dimensions of riveting apparatus used for measuring working degree of rivet.



鉋鉋時に於ける鉄の加工度は上記第 46 圖の試験片を第 49 圖の鉄孔に挿入して鉋鉋し、後之を取出して加工度を調べた。

又一度加熱した鉄材に就いての高温抗張力試験は鉄素材の高温抗張力試験と同様に行た。

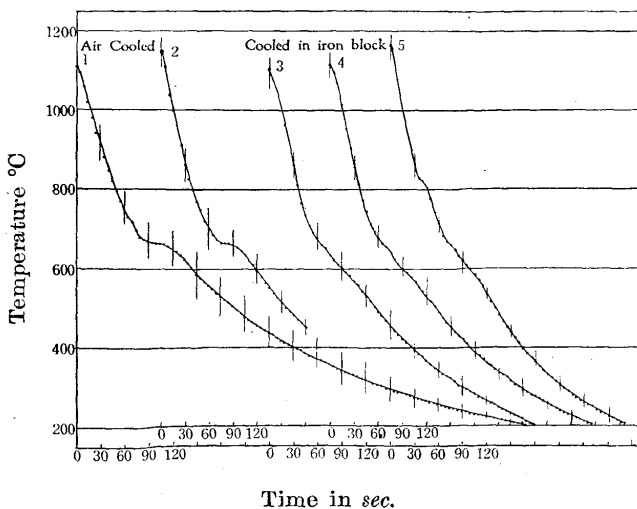
鉋鉋した鉄の抗張力試験には第 47 圖の如き被鉄接鋼片を鉋鉋し、其の兩端に bolt を捻込み、之を試験機に取付けて試験した。又抗張力及び伸の算出には夫々鉄孔の直径と兩底部の距離とを使用した。尙檢鏡は冷却速度測定試験片及び抗張力試験片に就いて行た。

3) 實驗結果.

a) 鉋鉋直前及び鉋鉋作業中に於ける鉄の冷却速度.

鉋鉋直前の鉄即ち、鉄孔に挿入した時に於ける鉄の冷却曲線は第 50, 51 及び 52 圖に示す如くなる。第 50 圖は鉄の中心部にて測定したる空冷及び鉄孔に挿入し、冷却

第 50 圖 Cooling curves of the rivets.

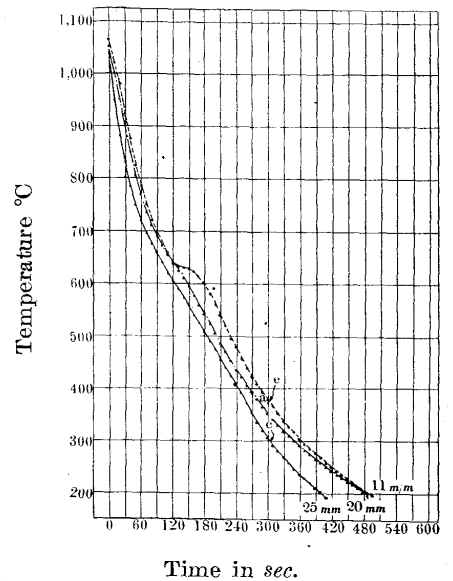


したる時の冷却曲線にして第 51 圖は第 44 圖 (A) に示す如く測面に近く穿ちたる縦穴に就て、第 52 圖は横穴に就ての測定結果である。

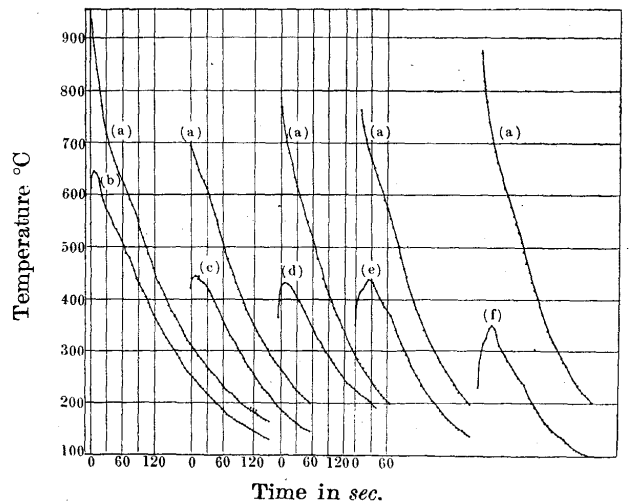
鉄を空冷したる時の中心部に於ける冷却曲線は第

50 圖の曲線①, ②に明らかなる如く, A_{r1} は明瞭に認められるが、之を第 47 圖に示す鉄孔に挿入すれば曲線③, ④

第 51 圖 Cooling curves of rivet



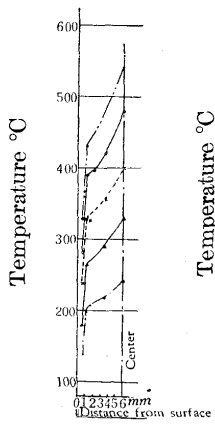
第 52 圖 Cooling curves of rivet.



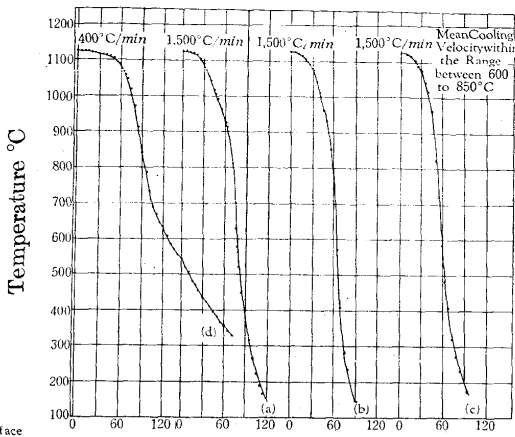
及び⑤の如く, A_{r1} は非常に不明瞭になる。而して冷却時、特に鉄孔に挿入した時に於ける鉄の冷却速度は其の個所によつて相當異なる。例へば第 51 圖の曲線 c, d, e に示す如くである。圖に於て曲線 c, d 及び e は夫々第 44 圖 (A) の孔, c, d 及び e の位置に就て求めた冷却曲線であつて e, d 及び c と測定點が鉄孔の内方に進むに従ひ其の冷却速度は早くなる。又第 52 圖に示した横の測定穴 (b), (c), (d), (e) 及び (f) (第 44 圖 B) に就ても同様の關係が存在する。即ち此の場合には鉄の中心點より外方に進むに従て冷却速度が速かになる。然し此の時には鉄を鉄孔に挿入したる後、熱電對を測定孔に挿入したる爲縦孔に就ての測定結果より多少温度の遅れがあると考へられる。

今中心部〔(a) 孔〕の温度が 660, 600, 500, 400, 及び 300°C. なる時の横断面の温度勾配を示せば第 53 圖の如

第 53 圖 Temperature distribution across a rivet in its cooling.



第 54 圖 Cooling curves of the rivets. a. b and c. in the clenching d. no clenching.



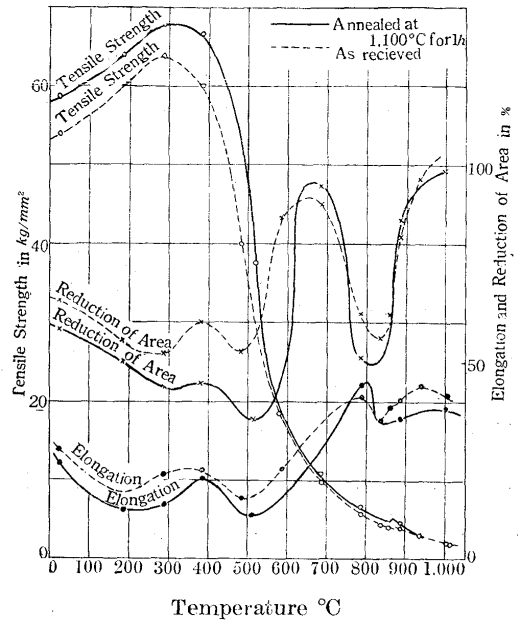
くなる。此の結果より考ふれば被鉸接物に接觸してゐる表面層の温度は中心部に比し著しく速かに降下せる事が判る。即ち鉸の中心部の温度が尙高温なる時に於ても表面層は第 2 脆性或は青色脆性等の鉸の加工には避くべき危険なる温度範囲に入る事が判る。

次に鉸鉸時に於ける鉸の冷却曲線を示せば第 54 圖の如くなる。圖に於ける曲線 (d) は同一装置を用ひて鉸孔に挿入したる儘の鉸に就いて測定した結果である。之等の結果より考ふれば鉸鉸作業は鉸の冷却速度を著しく増加し、降雨、其の他の特別なる悪條件を伴はずとも硬化現象を起すに充分である。而して此の冷却速度増加の原因は次の理由に依るのである。即ち鉸孔に挿入したる儘では鉸と被鉸接物との間に多少の間隙がある爲、鉸の冷却速度は比較的緩慢であるが、鉸鉸すれば其の間隙は殆んど無くなり、兩者は密着し、熱の傳導は著しく良好となる。従て冷却速度は著しく増加するのである。尙其のほか、鉸と被鉸接物との接觸面が大となる事及び hammer の接觸によつても多少其の速度は増加される。

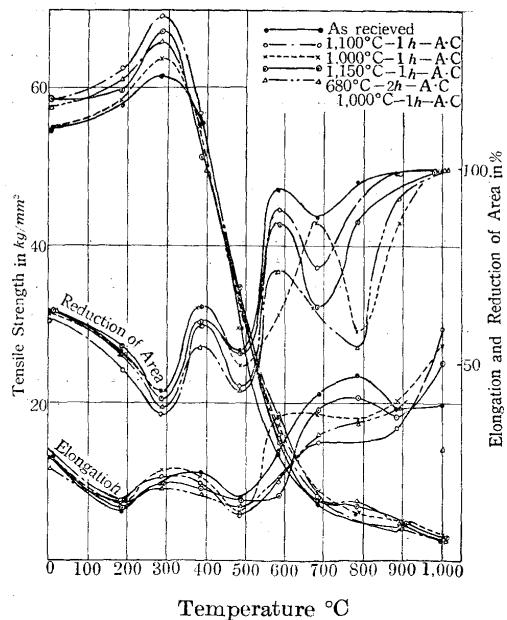
b) 過熱した鉸材の高温抗張力試験。過熱した鉸材の高温抗張力試験結果は第 55 及び 56 圖の如くである。即ち圖に明らかなる如く抗張力は (A) (B) 兩材共に、1,000°C 以下に於ては受理状態のものに比し、其の値、常に大きく、且つ兩者の差は試験温度の低い程大である。又延伸率及び断面收縮率は過熱鉸材の方が小さい。尙高温度に於ける被加工性は過熱せざるものと同様約 600~700°C 及び、900°C 以上の温度に於て大であり、約 250, 500 及び約 750~850°C に於て小である。就中

500°C の第 2 脆性は過熱に依て相當増加する。而して過熱の影響は概して温度高き程、大である。

第 55 圖 Tensile strength, elongation and reduction of area versus temperature.



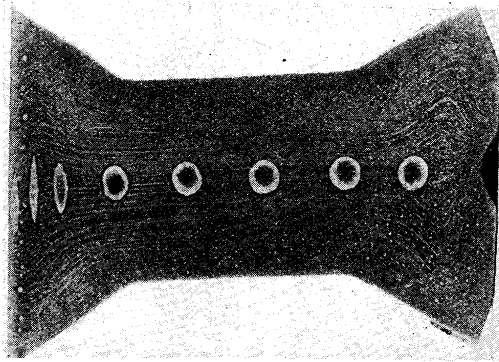
第 56 圖 Tensile strength, elongation and reduction of area of rivet bar B at elevated temperatures.



又 680°C で長時間時効せしめたる後、過熱したる試験片は青色脆性、第 2 脆性及び變態脆性を増加する。又 1,000°C で 1 時間焼鈍したる試験片は他の處理を施したる試験片に比し、變態脆性を著しく増加する。

c) 鉸鉸時に於ける鉸の加工度及び加工範囲。鉸鉸時に於ける鉸中心線上の加工度は第 57 圖及び第 58 圖より明らかである。第 58 圖は製鉸時に於ける加工度の算出

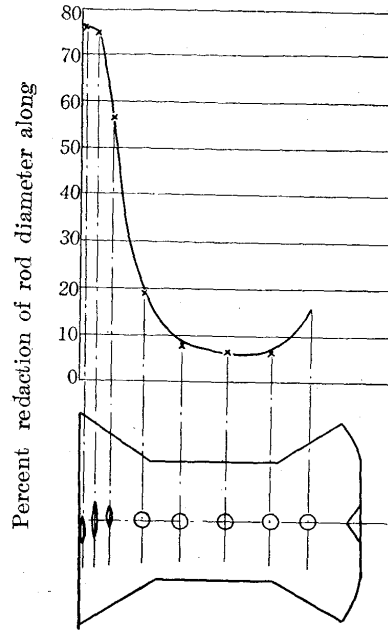
第 57 圖 Photograph showing the working degree of rivet by clenching



と同様に求めたるもので、其の結果は概して製鉄時に於けると同様であるが、只頭部の頂點に於ける加工度が製鉄時と異なり、著しく大である。勿論此の加工度は鉄皿の形状及び鉄の長さ等に関係して變化する。

d) 鉄の抗張力性質に及ぼす加熱温度、加熱時間及び鉸鉄時間の影響。 鉸鉄後に於ける鉄の抗張力性質と加熱

第 58 圖 Working degree on the center line of rivet at clenching.



温度及び加熱時間の關係は第 2, 3 表及び第 4 表に示す如くなる。第 2 及び 4 表は B 材、第 3 表は A 材に就ての結果である。又第 2 表は電氣爐、第 3 及び 4 表はコークス爐にて加熱したる鉄に就ての結果である。今第 2 表及び第 3 表の抗張力、加熱温度及び加熱時間の關係を圖示

第 2 表

Heating temperature (°C)	Heating time	Clenching time (sec.)	Tensile strength kg/mm ²	Elongation in %	Number of test piece	Heating temperature (°C)	Heating time	Clenching time (sec.)	Tensile strength kg/mm ²	Elongation in %	Number of test piece
750	0' - 0''	24	71.1	60.0	1	950	5' - 0''	15	116.5	20.8	38
	1' - 30''	27	76.5	45.9	2		"	15	112.6	25.0	39
	3' - 0''	21	80.9	41.7	3		"	35	105.6	10.8	40
	5' - 0''	23	81.3	45.9	4		1,050	0' - 0''	—	118.8	12.5
850	0' - 0''	17	80.1	50.0	5	"		15	111.5	15.0	42
	"	26	88.6	43.8	6	"		35	94.5	29.2	43
	"	15	80.9	52.5	7	"		32	103.3	20.8	44
	"	35	88.8	50.0	8	0' - 30''		16	124.3	13.4	45
	"	30	86.7	54.2	9	"		15	108.0	29.2	46
	0' - 30''	15	87.5	52.1	10	"		30	119.6	6.7	47
	30	84.8	45.8	11	1' - 30''	—		106.5	20.8	48	
	1' - 30''	25	84.8	47.9	12	"		15	123.5	14.1	49
	"	15	86.7	46.7	13	"		15	117.7	16.7	50
"	35	96.4	47.9	14	"	30		100.3	25.0	51	
950	3' - 0''	15	91.4	48.3	15	3' - 0''		—	108.0	39.2	52
	"	15	91.8	43.3	16	"		15	122.0	15.0	53
	"	35	90.6	51.7	17	"		15	118.9	12.5	54
	5' - 0''	23	92.9	40.8	18	"	35	108.8	24.2	55	
	"	15	95.6	41.7	19	5' - 0''	17	120.0	16.7	56	
	"	35	94.1	45.8	20	"	15	120.8	12.5	57	
	"	35	94.1	45.8	20	"	25	106.0	25.0	58	
	0' - 0''	35	104.1	unbroken	21	1,150	0' - 0''	—	115.4	12.5	59
	"	13	98.4	"	22		"	15	112.6	8.3	60
	"	15	91.0	37.5	23		"	32	114.5	15.0	61
"	30	108.4	50.0	24	"		35	98.0	20.8	62	
"	35	94.8	36.7	25	0' - 30''		14	114.6	29.2	63	
0' - 3''	—	94.0	unbroken	26	"		36	109.5	8.34	64	
"	15	96.4	41.6	27	1' - 30''		—	111.5	18.4	65	
"	30	104.5	37.5	28	"		15	103.7	12.5	66	
1' - 30''	—	102.4	unbroken	29	"		16	103.3	20.8	67	
"	15	107.2	25.8	30	"		32	103.0	16.7	68	
"	15	94.5	35.0	31	3' - 0''		—	106.8	10.0	69	
"	35	102.5	unbroken	32	"		35	94.9	20.8	70	
3' - 0''	—	96.0	unbroken	33	5' - 0''		14	113.8	16.7	71	
"	15	96.2	31.7	34	"		15	102.5	12.5	72	
"	15	109.2	25.0	35	"	34	92.9	20.8	73		
"	35	105.2	22.5	36							
5' - 0''	—	118.3	22.5	37							

第 3 表

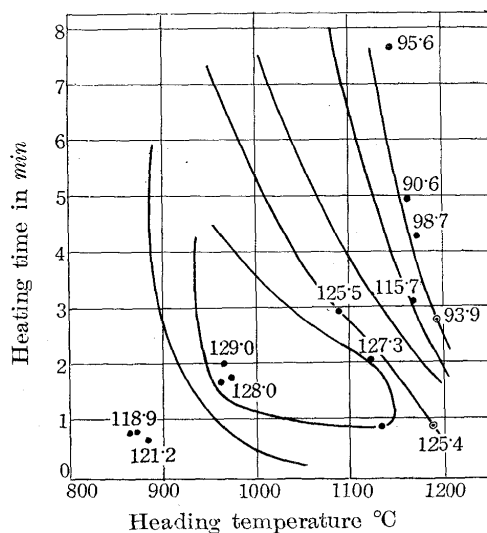
第 4 表

Rivet bar A						Rivet bar B					
Heating temperature (°C)	Heating time	Clenching time (sec)	Tensile strength kg/mm ²	Elongation in %	Number of test piece	Heating temperature (°C)	Heating time	Clenching time (sec)	Tensile strength kg/mm ²	Elongation in %	Number of test piece
865	0'-45''	11 $\frac{3}{5}$ '	118.9	14.2	A 1	880	2'-45''	20 $\frac{1}{2}$ '	80.0	50.0	B 1
870	0-45	12 $\frac{1}{5}$	121.2	18.3	" 2	960	0-45	12-	97.9	50.0	" 2
960	1-45	13 $\frac{1}{5}$	128.0	16.7	" 3	960	4-25	17-	104.5	37.5	" 3
965	1-55	13 $\frac{1}{5}$	129.0	16.7	" 4	980	1-15	12-	88.6	58.3	" 4
1,090	2-55	13 $\frac{3}{5}$	125.5	12.5	" 5	1,010	2-00	14-	93.2	45.8	" 5
1,120	2-03	13.0	127.3	20.8	" 6	1,090	2-01	13 $\frac{3}{5}$	97.0	12.5	" 6
1,135	1-30	"	127.3	20.8	" 7	1,090	2-20	"	88.5	33.3	" 7
1,140	7-45	"	95.6	12.5	" 8	1,125	1-00	"	93.2	22.5	" 8
1,160	5-00	"	90.6	12.5	" 9	1,140	2-05	"	111.8	12.5	" 9
1,165	3-05	"	115.7	14.2	" 10	1,200	3-00	"	95.1	19.1	" 10
1,170	4-20	14.0	98.7	8.4	" 11						
1,190	1-01	13.0	125.4	16.7	" 12						
>1,200	2-45	13.0	93.9	8.4	" 13						
1,200	2-00	35.0	90.0	8.4	" 14						

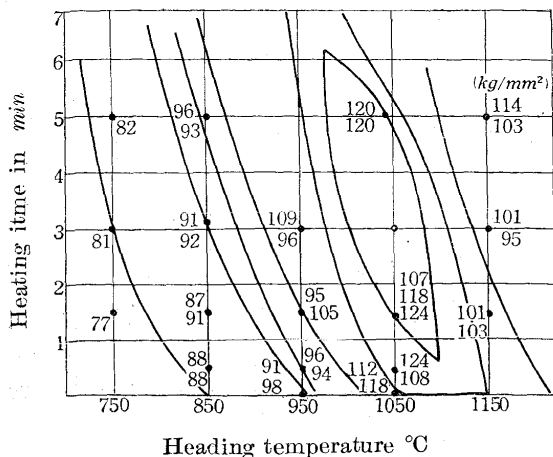
すれば夫々第 59 及び 60 圖の如くなる。表に於て明らかな如く、鉄の抗張力は加熱温度が 750~1,050°C の範圍に於ては温度及び加熱時間の増加と共に其の値を増加するが、1,150°C. に於ては抗張力及び延伸率は共に、1,050°C の場合より低下する。又田路氏¹⁾は H. T 鉄の強度は、clenching operation の増加と共に常に増加すると言はれてゐるが著者の實驗に於ては、加熱温度が 850°C. の場合には、鉸鉄時間の長きものは短きものよりも抗張力が大であるが其れ以外の加熱温度の場合には、概して逆に鉸鉄時間の長い方が抗張力が低い。尙 950°C. に加熱した鉄に限り第 61 圖に示す如く、鉄は切断されず、槌打ちせざる鉄頭の方が鉄孔より抜けた。又第 2 及 3 表に示す結果に於ても過熱及び長時間の槌打ちが鉄の材質を

著しく低下せしめる事を明瞭に現して居る。之等の中、抗張力及び延伸率が共に低きものは材質に著しき缺陷、即

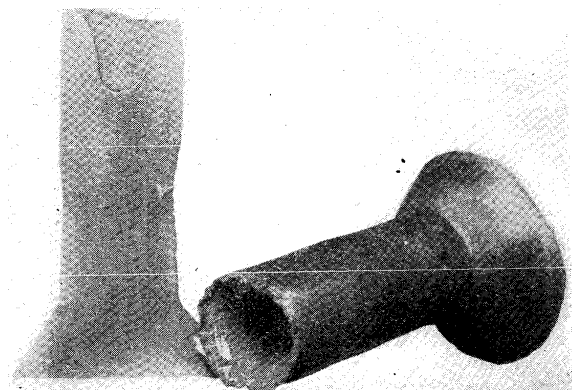
第 60 圖 Showing the influence of heating temperature and time on tensile strength of rivet. Graph showing the influence of heating temperature and time on tensile strength of rivet



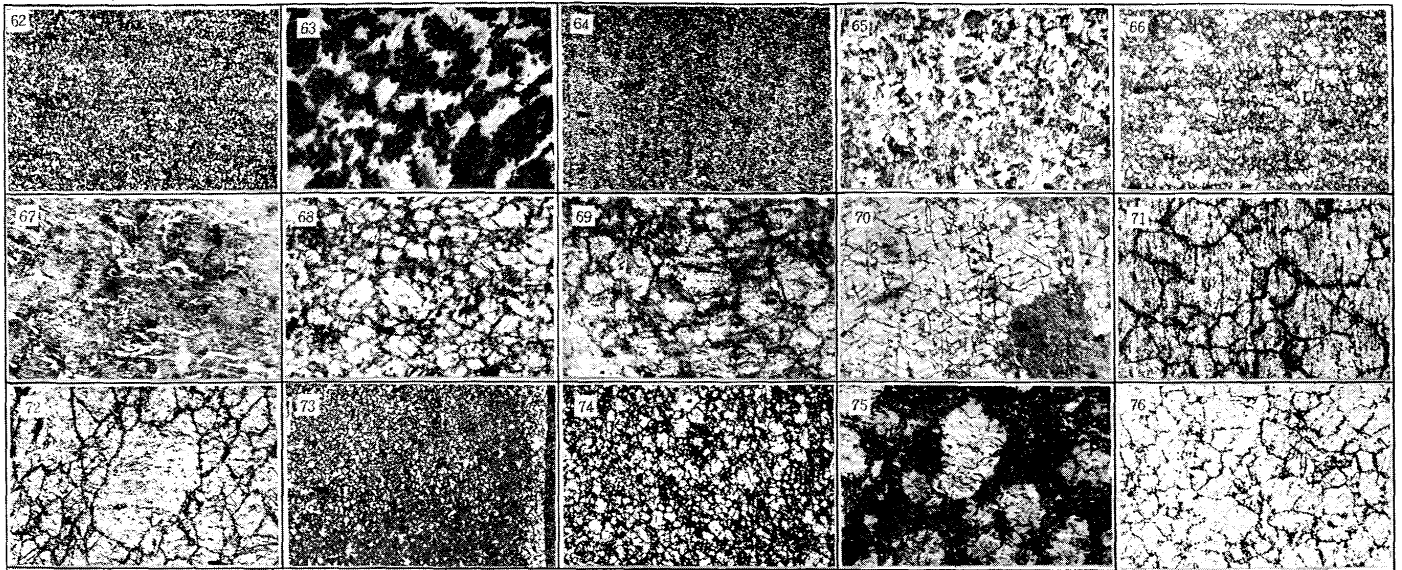
第 59 圖 Showing the influence of heating temperature and time on tensile strength of rivet. Graph showing the influence of heating temperature and time on tensile strength on rivet



第 61 圖 Tensile specimens of unbroken rivet



第 62 ~ 77 圖



第 62 圖 Bar B. No. 4. neck.
(750°C-0 min-0 sec) electric
furnace. ×50

第 63 圖 Bar B. No. 4. neck.
×600

第 64 圖 Bar B. No. 8. neck. (850°C-0 min-0 sec)
electric furnace. ×50

第 65 圖 Bar B. No. 8. neck. ×600

第 66 圖 Bar B. No. 24. neck. (950°C-0 min-0 sec)
electric furnace. ×50

第 67 圖 Bar B. No. 24. neck. ×600

第 68 圖 Bar B. No. 42. neck. (1,050°C-0 min-0 sec)
electric furnace. ×50

第 69 圖 Bar B. No. 60. neck. (1,100°C-0 min-0 sec)

electric furnace. ×50

第 70 圖 Bar B. No. 60. neck. ×600

第 71 圖 Bar A. No. 13. neck. (>1,200°C) coke fu-
rnace. ×50

第 72 圖 Bar A. No. 11. neck. (1,170°C) coke furnace.
×50

第 73 圖 Bar A. No. 11. head. ×50

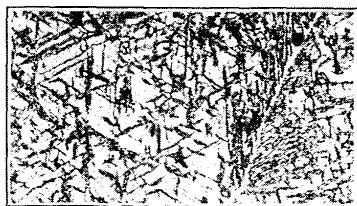
第 74 圖 Bar A. No. 2. neck. (870°C) coke furn-
ace. ×50

第 75 圖 Bar A. No. 2. Neck. ×600

第 76 圖 Bar B. No. 2. neck. (960°C) coke furn-
ace. ×50

第 77 圖 Bar B. No. 2. neck. ×600

第 78 圖



Rivet used in test for wor-
king degree, in the clen-
ching bar B(1,100°C) electric
furnace

ち毛状龜裂が生じて居た事を暗示するものである。尙第2表と第3表とを比較すれば明らかなる如く、A材はB材よりも過熱によって其れ等の缺陷が生じ易い

著しく微細となる。然し此の組織は頭部の加工度によって變化するものなれば、鉸皿の寸法と鉸突出部の寸法との關係並に槌打ちによる變形量の多少に依て變化する。

加熱温度の高いものに於ては、粒界に地鐵が析出し、其の周りがソルバイト（或はトルースタイト）となり、粒子の中央が、マルテンサイトになって居る。之は冷却速度が始めは比較的緩慢で鉸鉄の開始及び進行と共に急激に速かになった爲で、鉸鉄時の冷却状態とよく一致する。

のである。然し加熱及び鉸鉄が適当なれば鉄の抗張力性質はA材のものが著しく良好である。

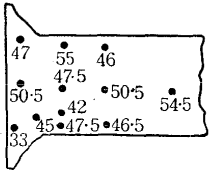
e) 鉄の加熱温度、加熱時間及び鉸鉄時間が組織に及ぼす影響。加熱温度及び加熱時間と結晶粒子の大きさとの關係は、第 62~78 圖に示す如く、製鉄時に於けると同様、温度の上昇及び時間の増加と共に粒子は粗大となる。又加熱温度 1,050 及び 1,150°C. のものでは、マルテンサイトが現はれ、加熱温度が低くなるに従て地鐵量が多くなつて居る。尙頭部頂點の組織は一般に第 73 圖に示す如く

IV 實際作業に於て破斷したる鉄及び破斷せざりし鉄に就ての調査

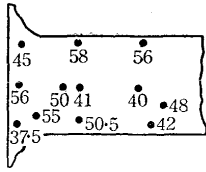
高抗張力鋼鉄の填隙操作中に破斷するもの多くは、鉄径の小なるものである。從來の経験によれば破斷するものは多く径 9mm の鉄にして、13mm のもの之に次ぎ、径 13mm 以上の鉄に於ては殆んど破斷したるものは無い。

今填隙作業中に破斷したる鉄につき化學組成、硬度、及び顯微鏡組織を調べたるに次の結果を得た。

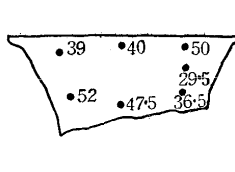
第 79 圖
Broken rivet



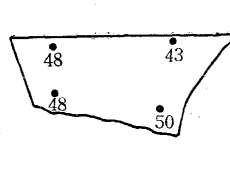
第 80 圖
Broken rivet



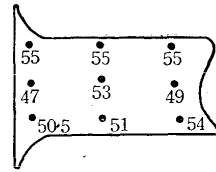
第 81 圖
Broken rivet



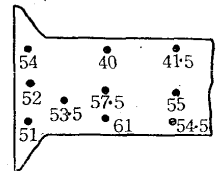
第 82 圖
Broken rivet



第 83 圖
Broken rivet



第 84 圖
Broken rivet



1) 硬度及び化學組成. 破斷鋁及び非破斷鋁に就ての硬度試験結果の中、數個のものに就て示せば第 79~84 圖の如く、何づれも硬度は大で兩者の間に殆んど差異を認める事は出来ぬ。

又硬度試験終了後、之等の化學組成を調べた結果は、第 5 表に示す如く、組成に於ても兩者の間に差を認める事は出来なかつた。

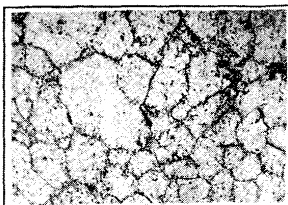
5 表

Kind of rivet.	Chemical composition. (%)					
	C	Si	Mn	S	P	
13mm	broken	0.23	0.20	0.72	—	—
	not broken	0.27	0.21	0.77	—	—
10mm	broken	0.33	0.25	0.75	—	—
	not broken	0.31	0.24	0.74	—	—

2) 顯微鏡組織. 硬度測定試験片に就いて檢鏡したるに何れも同様な結果が得られた。今其の二、三に就て示せば第 85~89 圖の如くである。即ち圖に明らかなる如く、填隙作業に依て破斷したる鋁も、又破斷せざりし鋁も同様に結晶粒子は粗大で、組織は、マルテンサイトになつてゐて、兩者の間に殆んど差異を認める事は出来ない。然し破斷した鋁の周りには第 89 圖に示す如き結晶粒界に沿ふた龜裂が認められた。

鋁に於ける種々の狀況が不明なる爲、以上の結果の

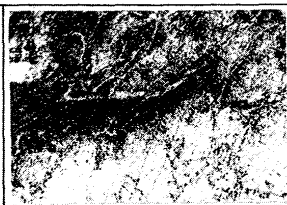
第 85 圖
Unbroken rivet



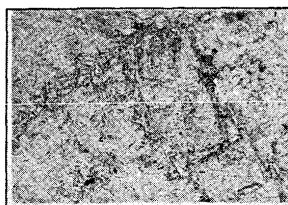
第 86 圖
Broken rivet



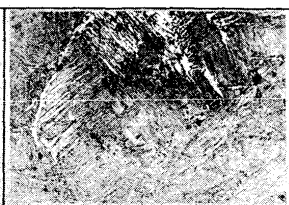
第 89 圖
Broken rivet



第 87 圖
Unbroken rivet



第 88 圖
Broken rivet



みにて破斷原因を確定する事は困難なるが、前述の結果より次に示す如き事項は事實として認める事は出来る。

- (1) 鋁は過熱されてゐる事。
- (2) 鋁に就ける冷却速度は相當大であつた事。
- (3) 鋁の破斷は地鐵が析出してゐる結晶粒界より始まつた事。
- (4) 従て地鐵が脆弱な温度に於て加工、即ち槌打が行はれたる事。

故に被鋁接物の合せ方、鋁孔の仕上げ程度、及び其の他の諸狀況が正常な場合に、鋁に就ける槌打が行はれたるものと假定すれば、破斷は次に述べる様に進行したるものと考へられる。

即ち過熱して結晶粒子が粗大となつた脆弱な鋁を、第 2 脆性²⁾ 3) 4) 或は青色脆性範圍に迄槌打を連續したる爲、鋁の外周に現れて居る結晶粒界に龜裂を生じ、之が填隙操作による激しい振動と、硬化したる組織とが相俟て急速に内部に進み遂に破斷するに至つたものである。

V 結論及び結果に對する考察

以上の研究結果より考ふれば、次の如くに結論する事が出来る。

- (1) 高抗張力鋼の鋁材を過熱すれば、青色脆性、第 2 脆性及び變態脆性が増加する。就中第 2 脆性の増加は著しい。従て製鋁及び鋁に就ける過熱は出来るだけ避くべきである。
- (2) 鋁に就ける時間は短く、且つ其の間に於ける温度降下は緩慢なる故、製鋁時に於ては變態脆性範圍に注意すべきである。
- (3) 製鋁に際し、第 2 脆性²⁾ 3) 4)

及び青色脆性範圍内に於ける激しい槌打は材質に毛狀龜裂を生ぜしむる恐れがある。

(4) 鋼材の化學組成、製鋼法(主に脱酸劑の種類及び脱酸法)及び熱處理法等の差異は結晶粒の成長^{5) 6) 7) 8)} 第 2 脆性等の強弱に影響する故、將來此の方面より高抗張力鋼鋁材に就いて研究を進める事が緊要である。

實際の製鉄作業に於て、加熱した材料を爐より取出し、製鉄機に掛けて鉄頭を形成し終る迄に要する時間は約9秒である。又鉄材の加工される部分は空氣中に露出してゐる爲冷却速度は比較的緩慢で且つ其の加工は非常に短時間に行はれる。従て加工中に起る温度降下は少い。従て變態脆性範圍内に於ける加工は避けるべきである。以上の事項より考へ、製鉄時に於ける加熱温度は約900°C.が適當である。今、900°C.に加熱した材料にて製鉄を行ふとすれば、本研究結果より考へ、頭部の形成は變態脆性範圍以下の約700°C.の温度で成され、且つ加工は極めて短時間で完了される爲、第2脆性範圍に至らぬ、被加工性の大きな温度範圍で加工終了される事になる。

鉸鉄時に於ても勿論過熱は出来る丈に避くべきであるが、鉸鉄時に於ける鉄の温度降下は急激で且つ温度の降下と共に加工に要する力、従て鉸鉄時間は増加す。又他方に於て、槌打は鉄の温度が第2脆性範圍に達する迄に終了せしめなければならぬ。故に鉸鉄時に於ける鉄の加熱は製鉄時よりも高温に加熱しなければならぬ。本實驗結果より考ふれば、1,050°C.に10~30秒(長くも1分-0秒以下)に加熱する事が適當である。然しコークス爐等を以て加熱し、適當なる温度に達するや直ちに取出すならば加熱温度は約1,100°C.(橙色)が適當である。1,050°C.の加熱温度は田路氏¹⁾の研究結果と一致してゐる。

鉸鉄時に於ける加熱温度を1,050°C.とすれば、變態脆性を起すべき約830°C.が槌打ち期の中央に来る事になるが之は次に述べる如き理由に依り、鉸鉄時に於ては鉄に悪影響を及ぼさない。

鉸鉄時に於ける槌打ちは鍛錬時に於ける槌打ちとは、全く異なる。即ち鍛錬時に於ては被加工物の温度降下は非常に緩慢なるが鉸鉄時に於ては槌打ちの開始と同時に急激なる温度降下を起す。従て高抗張力鋼鉄の鉸鉄に於ては鉄の殆んど全部がAr'變態を起す。換言すれば鉄の大部分がオーステナイトである中に槌打作業は完了する。之は實驗結果より明らかである。粒界には少量の地鉄が析出するが之は冷却速度の比較的緩慢なる時、即ち槌打開始前及び開始直後に析出する。而して槌打開始直後に於ては、其の加工度が非常に少い爲鉄には悪影響を及ぼさない。

然し乍ら第2脆性及び青色脆性範圍は高抗張力鋼鉄の鉸鉄に於ては絶対に避くべきである。槌打開始前及び開始直後に、若し地鉄が析出すれば其の地鉄は約250°及び約500°C.附近に於て著しく脆性を現はす。其の脆弱な地鉄は粒界に存在する爲、其の脆弱は一層助長される。尙Ar'

變態は青色脆性範圍附近(約200°C.)に於て起り、此の時相當な體積の増加を起す爲、Ar'を起さざる地鉄の存在する粒界に於て著しき應力を生じ鉄に悪影響を及ぼす。以上の理由により之等の温度範圍は槌打作業中最も危険な範圍で、鉸鉄に於ては絶対に避くべきである。

製鉄及び鉸鉄時に於て過熱を避け、槌打ちを適當にさへ行へばA材による鉄接が、B材による鉄接よりも優秀である事は實驗結果の示す所であるが、A材はB材より、Mn含有量が多少多く、従て第2脆性及び硬化性大にして、結晶粒子の粗大化に敏感である。故にA材がB材よりも製鉄及び鉸鉄時に於ける適當なる加熱範圍が狭い。然し乍らA. B 何れの材料に於ても其のMn含有量は日鐵の高抗張力鋼材の組成規格に於けるMn最低量には尙少い。従て高抗張力鋼鉄、Ducol鋼鉄材の化學組成に就ては尙充分研究する必要がある。

良好なる鉄接を作る爲には上述した如き理由により、槌打作業が速かに完了する事が必要條件である。故に鉸鉄時に於ては鉄が充分軟質なると同時にRiveterの槌打効果の大きな事が必要である。

一般に鋼材の青色脆性、第2脆性、變態脆性及び結晶粒子の成長の難易等は鋼材の化學組成、製鋼法(特に脱酸剤の種類及び脱酸法)、熱処理及び結晶粒子の大きさ等を變化せしめる事に依て全く消失せしめる事は出来ぬが之を弱めたり、強めたりする事は出来る。従て鉄材に就ても之等の關係を研究し、製鉄及び鉸鉄作業を容易ならしめ、且つ機械的性質の良好なる新しき鉄材を得る事が目下の急務である。

終りに臨み、本研究の遂行に當り懇切に御助力下された造船部係員、石川、松本兩技師に深く感謝の意を表す。

文 獻

- 1) 田路 垣：造船協會々報、第13號 p. 127.
- 2) S. Freemann and G. W. Quick: A. I. E. E. 1930. p. 225.
- 3) G. W. Quick: Bureau of Standard Research Paper 403. 1932.
- 4) G. W. Quick: Bureau of Standard Research Paper 409. 1932.
- 5) C. H. Herty, Jr., D.L. McBride, and S. O. Hough: Co-operative Bulletin 65, Mining and Metallurgical Boards, 1934, p. 46
- 6) M. A. Grossman: Trans. Amer. Soc. Steel Treat., Vol. 21, 1933, p. 1,079~1,111.
- 7) M. A. Grossman: Trans. Amer. Soc. Metal. Vol. 23, 1934, p. 861~878.
- 8) J. E. Dorn and O. E. Harder: Trans. Amer. Soc. Metal, Vol. 26, 1938 p. 106~125.