

本邦鋼材鍛鍊の發達

工學士 甲 藤 新*

緒 言

最近 20 年間に於ける我國諸工業の發展は頗る目覺しいものがあるが、各種工業の發達に伴ひ益々鋼材に對する要求が難しくなつて來て、鍛鋼材の製造に就いても可成りの進歩の跡を見ることが出来る。

即ち化學工業用機械、電氣機械、船用機械等には漸次高級の鋼を使用する大型の部品を要求する様になり、兵器、自動車、航空機用の鋼材は、検査法が厳しくなる一方種々な性質を要求する様になつた爲め、製造者は此等の要求を充さんとして絶えず努力しつゝあるのである。

此處には主として筆者の關係してゐる大型鋼材の製造法並に之に關聯した諸問題に就いて簡単に述べたいと思ふ。

I. 鍛鍊の目的

鋼材鍛鍊の目的は鋼材を所要の形狀に成形すると共に、組織を改善して材力を向上せしめるにあること言ふ迄もない。

鋼塊は所謂鑄造組織を有し結晶粒粗大にして材力至つて低いが、之に鍛鍊を加ふれば、結晶粒が破壊せられて細かくなると共に、漸次鑄造組織が變形せられて纖維組織を形成して行く。纖維組織が形成せられると其の方向には材力を向上するので、鋼材は其の使用状態を考へ適當な方向に纖維を形成せしむる如く鍛鍊を行ふことが必要である。

一方鍛鍊により鋼材の組織が變化を受ける深さは鍛鍊の方法によつて異り、同じ變形を考へた場合にも其の影響は廣い面積の金敷を用いた場合には深く内部に及び、狭い面積の金敷を用いた場合には比較的表面の部分に止る。従て大型鋼材の相當内部迄鍛鍊を充分に利かせ様とするには、適當の厚味を有する金敷を用ふることが必要となるので、引いては鋼材の大きさに依り之に適當した容量の鍛鍊機を選ばねばならぬのである。

II. 鋼材規格の制定

先年炭素鋼鍛鋼材に對する日本標準規格が制定せられ、

續いて Ni 鋼、Ni-Cr 鋼等の規格が制定せられんとしてゐる。

此の規格の制定せられる以前には使用者からの要求に統一がなく、製造者は種々な點で不便を感じてゐたが、現在は一般に日本標準規格に則る様になつたので、お互ひに甚だ好都合になつた。

鍛鋼材に對する標準規格が制定せられたことは、鋼材の使用上一進歩をなしたものと云はねばならぬ。

III. 鋼材鍛鍊法の研究

鋼材に對する各種の要求が難かしくなるに従つて、製造上にも種々の問題を生ずるに至つた。製造者は常に實際問題に直面して苦心してゐるのであるが、最近一、二の問題が學會に發表せられ或は鋼材に關する研究會が開かれてゐる。

昭和 7 年 4 月の鐵鋼協會の大會に、吳海軍工廠の佐々川造兵中佐が Ni-Cr 鋼鍛造錨鎖の製造法に就て貴重な研究を發表せられ、從來の錨鎖製造法に新方面を招くに至つた。

昭和 8 年 4 月の鐵鋼協會の大會には、三菱長崎造船所の中村技師が大型曲肱軸の鍛造法に就て實驗結果を發表せられ、筆者も鍛鋼材の鍛鍊係數と材力との關係に就て意見を述べる所があつた。

昭和 9 年 5 月には海軍が主催となり、海軍各方面と民間工場の鍛鍊關係の技術者が舞鶴に會合して、鍛造技術に關する研究會を開き種々討議する所があつた。

昭和 9 年 12 月には日本學術振興會學術部に特殊鋼材の製造に關する小委員會が設置せられ、陸海軍、大學並に民間工場から冶金關係の委員を選出し 3 箇年の計畫で、主として特殊鋼の缺陷に就て調査研究を行ふことになつた。

今日迄理論的研究から割合に縁遠かつた鋼材製造の實際作業が、此等の機會に論ぜらるゝに至つたのは甚だ喜ぶべき現象である。殊に民間の技術者は他工場の技術を知る機會に乏しいので、此等の機會を利用して相互に智識の交換を行へば獲る所甚だ多いと信ずるものである。

* 日本製鋼所

IV. 鍛錬係數

日本標準規格によれば炭素鋼鍛鋼材は主體の斷面積が原鋼塊の斷面積の 1/4 以内なることと規定せられて居るが、Ni 鋼、Ni-Cr 鋼鍛鋼材に對しては 1/3 以内と規定せらるゝものの如く、更に炭素鋼材に對しても同様に改めらるゝ意向がある様である。

鍛錬係數は普通の軸、丸棒等の鍛鋼材に於て問題となることはないが、發電機の高轉子、大型の曲軸等、特に斷面大なる部分を有する鍛鋼材に於ては、其部分に對し充分な鍛錬係數を與へることが困難なるため屢々問題となることがある。

即ち斷面大なる部分に對し 1/4 乃至 1/3 の鍛錬係數を與へんとすれば、極度に大なる鋼塊を必要とし甚しく不經濟となるのみならず、稀には之を満足すべき鋼塊大に過ぎ製作を不可能ならしめる場合がある。

鋼塊は大きさを増すに従て偏析著しく内部の不良部を増大する爲め、此の如き鍛鋼材に對し充分なる鍛錬係數を與へる鋼塊を使用すれば、過度に大なる鋼塊を使用することゝなつて製品の表面に濃厚なるゴースト其他の缺陷を現出する懸念がある。

更に鍛錬係數と材力との關係に就き筆者の工場に於て實驗した結果次の如き結論を得て居る。

a) 鋼塊の儘の状態では試験片採取方向の如何に關らず靱性に乏しい。

b) 鍛錬係數 1/2 内外に鍛錬すれば各方向の試験片共降伏點、抗張力は鋼塊の状態と大差がないが、伸、絞、衝擊値は甚しく増大する。而して縦方向の成績と切線乃至放射方向の成績とを比較すると前者の方が稍優れてゐる。

c) 鍛錬係數 1/2 以下に鍛錬すれば降伏點、抗張力には變化がないが伸、絞、衝擊値は縦方向には鍛錬の程度を増すと共に増大し、切線乃至放射方向には鍛錬の程度を増すと共に漸次低下する。

即ち或程度以上に鍛錬するときは軸方向には材力を向上するが切線乃至放射方向には材力を低下するに至るので、高轉子、曲軸の如き軸方向以外の材力を必要とするものに在つては過度に鍛錬を行ふことは不利である。

三菱の中村技師の意見は、此の如き大型の鍛鋼材に對しては特に直徑大にして寸の短い鋼塊を使用すると云ふのであるが、充分な鍛錬係數を與へる程度の大きい鋼塊は偏析

の程度も著しいと考へらるゝので、必しも材質的に優良なるものを得るとは云へないと思ふ。

筆者は決して凡ての鍛鋼材に對し鍛錬係數小なる方がよいと主張するものではないが、前記の如き特に斷面大なる部分を有する大型の鍛鋼材にして而も軸方向以外の材力を重要視するものに在つては、鍛錬係數を幾分犠牲にしても偏析の少い稍小型の鋼塊を使用する方が良品を得らるゝと考へてゐる。

即ち斯の如き場合には一般の鍛鋼材とは別箇に考ふ可きであつて、良質の鋼塊を使用すれば斷面大なる部分に對しては必しも一般に規定せらるゝ如き鍛錬係數を考へなくても差支へなく、成る可く偏析の少い鋼塊を使用して出來得れば軸方向に据込み、一旦直徑を大ならしめて置いて然る後に所要の形狀に鍛錬を行ふ方が有利であると考へてゐる。

V. 鍛鋼材用の鋼塊

鍛鋼材には普通酸性又は鹽基性の平爐或は電氣爐製の鋼塊を使用するが、何れにしても壓延用の鋼塊とは異り充分脱酸法を施したものでなくてはならない。

大型の鍛鋼材には製鋼爐の容量の關係から普通平爐鋼が使用せられる。平爐鋼は一般に酸性鋼の方が鹽基性鋼よりも品質良好であると考へられてゐるので、特殊鋼の鋼塊は勿論、炭素鋼の鋼塊でも重要部品に使用せらるゝものは多くは酸性平爐で造られる。

鋼塊は斷面八角形のものを用ひ、頂部に充分大なる押湯を附する。鋼塊の大きさは製品の形狀寸法によつて一樣でないが、稀には 100t 以上の重量を有するものを用ふことがある。

VI. 鍛錬設備

大型鋼材の鍛錬には常に水壓鍛錬機を使用する。

水壓鍛錬機は古い型のもは鍛錬機に水壓唧筒を直結したものがあつたが、多くは蒸氣増壓機を使用して居り、又最近には空氣蓄力機を用ふものが造られて居る。

水壓鍛錬機には縦型と横型の二種がある。普通の鍛鋼材の鍛錬には縦型の鍛錬機を使用し、同一形狀の圓筒形の製品を多數に造る場合には横型の鍛錬機を使用して所謂搾出を行ふ。

近來製品の形狀益々大型となる爲めに大型の鍛錬機を必

要とする様になつて來た。最近獨逸に於て空氣蓄力機を使用する容量 10,000t の縦型水壓鍛鍊機 2 基を製作したと云ふ。

大型鋼材の加熱には多くは發生爐瓦斯又は骸炭爐瓦斯を使用する蓄熱式或は半蓄熱式の加熱爐が用ひられてゐる。又大型の加熱爐は鋼材の取扱ひに便ならしむる爲め、爐床を曳出し得る構造としたものがある。

特殊鋼の鍛鋼材は鍛鍊の途中に於て屢々焼鈍を施し或は爐中に徐冷せしむる必要があるので、特殊鋼を多量に取扱ふ工場では鍛鍊工場に充分な焼鈍の設備を有する方が便利である。

VII. 鍛鍊方案圖

筆者の居る工場に於ては製圖室から工場に出す製作圖面に、部品毎に鍛鍊形狀圖を記入してゐる。之は製品の仕上形狀に對し適當に仕上代を附し又試験材を要するものは其の位置形狀を書き込んだ略圖であつて、製品の寸法に無頓着に勝手な形狀に鍛鍊を行ひ或は試験材の位置を誤つて截落したりする弊害を除く上に非常に役立つてゐる。

鍛鍊工場に於ては更に鍛鍊形狀圖に基いて鍛鍊方案圖を作製して居る之は鍛鍊形狀の略圖に使用鋼塊の大きさ、鍛鍊後の處置等必要な事項を記したもので、又多くの工程を経て鍛鍊するものは各工程に於て何れの部分を如何に鍛鍊すべきかを圖示してある。

鍛鍊工場の現場では凡て此の方案圖に従つて作業を行つて居り、一方鍛鍊の各工程毎に寸法を實測記録し、常に此等を對比して鍛鍊作業の正確を期すると共に他日の參考としてゐるのである。

鍛鍊の仕上代は焼鈍後直ちに仕上ぐる鋼材と、一旦粗削を行ひ焼入焼戻を施して後仕上ぐる鋼材とに於て異なること勿論である。

Ni 鋼、Ni-Cr 鋼等特殊鋼の鋼材は黒皮を附した儘焼入を行ふ時は焼割を生ずる危険があるので、凡て粗削を行つた後熱處理を施す。従て此の場合には粗削寸法に對し更に仕上代を附することになる爲め、單に焼鈍後仕上げをなす鋼材に比べると仕上代が 2 倍に近いものとなる。

又仕上代は鍛鋼材の形狀寸法によつて一樣でなく、凡て鋼材の直径及び長さを増すに従つて大きく見込む必要があり、段、鏑等直径の異なる部分を有する鋼材には更に長さの方向にも仕上代を附する必要がある。

鍛鍊の仕上代の標準は一般的に定つたものはないが海軍に於ては艦本普報第 13 號に軸及び管鏑に對する仕上代標準を定め實施して居る。

VIII. 加 熱

鍛鍊温度の標準は大體鋼材の成分によつて定めることが出來大體下の如きものである。

低炭素鋼 (C 0.3% 以下) 1,300°C

Ni 鋼、Ni-Cr 鋼、炭素鋼 (C 0.3-0.5%) 1,250°C

高炭素鋼 (C 0.5% 以上) 1,200°C

加熱時間は加熱すべき鋼材及加熱爐の大きさ、装入時の温度等により一定せぬが、筆者の居る工場の例を示せば 300°C 内外に豫熱した鋼塊を爐中に加熱する總時間は下の如きものである。

| | | | | |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| 鋼塊 大 小 (t) | 10 | 20 | 30 | 40 |
| 平均 直 徑 (mm) | 760 | 360 | 1,110 | 1,200 |
| 加 熱 時 間 (hr) | 12~15 | 20~25 | 25~30 | 30~35 |

筆者の工場に於ては測熱の正確を期する爲めに研究室の一部に測熱班を置き工場全部の測熱計の管理を行ふと共に各工場に測熱班から派遣された測熱工が居て測熱を行つて居る。此の組織に改めてからは各工場間の測熱作業の統制がとれ且信頼すべき記録を得ることが出来るので、他日問題を起した時等調査するのに都合がよい。

IX. 鍛 鍊 法

鋼材の鍛鍊は大體實體鍛鍊、中空鍛鍊及び擗出鍛鍊の 3 つに分つことが出来る。

鍛鍊の方法は炭素鋼と特殊鋼に於て餘程趣を異にし、炭素鋼は高温度から空中に冷却しても龜裂其他の缺陷を生ずる危険が少ないので餘程樂である。

炭素鋼の場合に於て述べると鋼塊は凡て鑄型内で常溫迄冷却したものを用ふる。

實體鍛鍊の場合には之を適度に豫熱した後加熱爐中に於て鍛鍊温度に加熱し、一端から漸次鍛鍊成形して行く。1 回の鍛鍊で仕上らぬ場合は残つた部分を再び加熱爐に入れて加熱し、成形を終つた部分は爐外の空中に冷却せしめるのが常である。丈の長い製品では中央から一端に向つて鍛鍊を行ひ、更に中央から他端に向つて鍛鍊を行ふ場合がある。

鋼塊の兩端部は鍛鍊中適當の時期に鑿を以て切り捨てる。切捨量は普通の製品に於ては鋼塊重量に對し頂部に於て押湯を含み、25%、底部に於て 8% 程度である。

直徑大なる製品を造る場合には鋼塊の兩端を鋸にて切斷した後加熱し、鍛錬機の中央に直立せしめて軸方向に壓縮し、更に周圍から鍛錬して成形する。直徑甚しく大なる場合には數回之を繰返して製作する。

中空鍛錬を行ふ場合には鋼塊の兩端を切捨てた後、中心に適當の直徑の中心孔を穿孔し加熱して、長い心金を中央の孔に挿入して鍛錬を行ふ。心金は孔の徑、製品の長さに応じて適當のものを準備して置かねばならない。心金を入れた儘上下の金敷によつて鍛錬すれば長い中空の圓筒が得られるし、心金の兩端を支へ上金敷のみを用ひて鍛錬すれば孔を擴げることが出来る。

又強力な鍛錬機を有する工場に於ては鋼塊を其儘加熱し、兩端を鑿で切斷した後鍛錬機の中央に直立せしめ、ポンチを押込んで穿孔し、然る後に中空鍛錬を行ふ事もある。

一定形状の圓筒類を多數製造する場合には、一々中空鍛錬を行ふ事は手間を要するので擗出鍛錬を行ふ。殊に底付の圓筒類は此の方法に據らねば製作出来ない、砲彈の如き小型のものは縦型の水壓鍛錬機を用ふこともあるが、大型の壓搾空氣瓶、蒸汽罐の如きものは横型の水壓鍛錬機を使用する。

即ち鋼塊を鍛錬して適當の直徑の圓壘形の荒地を造り、之を鍛錬機の臼の中に入れポンチを押込んで成形する。普通内徑大なるもの或は肉薄のもの等は1回の擗出で成形すること困難な爲め、數個のポンチ及び臼を準備し漸次大型のものに取換えて孔擴げを行ひ、所要の内徑に達すると更に數個のダイスを通し押抜いて肉厚及び長さを調整する。

凡て鍛錬の仕上温度は別に限定して居る譯ではなく、表面が900乃至800°Cに冷却せらるゝ間に加工を行ふのである。

炭素鋼の鍛鋼材は形状甚しく大なるもの或は複雑したものを除いては鍛錬後空中に冷却せしめ、特に徐冷の方法を講ずることはない。鍛錬を終つた鍛鋼材は焼鈍を施し材料試験と合格せしめた後機械加工を行ふ。

Ni鋼、Ni-Cr鋼等特殊鋼の鋼材は急速に加熱冷却を行ふ時は龜裂、毛割れ、白點等の缺陷を生ずる危険があるので、其の鍛錬方法は炭素鋼の場合よりも複雑な工程を経るのが普通である。

即ち鋼塊は鑄型内で常溫迄冷却せしめると往々にして龜裂を生ずることがあるので、尙赤熱状態に在る間に鑄型か

ら抜取つて鍛錬工場に運び、直ちに加熱爐に挿入して加熱する。

充分鍛錬温度に加熱した後所要の形状に鍛錬を行ふのであるが、1回の鍛錬により成形を終らず引續き鍛錬を行ふ場合に鍛錬済の部分が加熱爐の外に出る様になると、焼鈍爐に装入して常溫迄冷却し、更に残りの部分を加熱して再び鍛錬を續けるのである。

又複雑した形状の鍛鋼材は一先づ荒地に鍛錬して直ちに焼鈍を施し更に加熱して鍛錬を行ふことがある。

凡て特殊鋼の鍛錬に當つては加熱し過ぎぬこと、鍛錬を丁寧に行ふこと、低温度に於て鍛錬を行はぬこと及び加熱冷却を急速に行はぬこと等の注意が大切で、鍛錬の途中屢々爐冷或は焼鈍を差し挿む爲め、鍛錬を完了する迄に要する時は炭素鋼材に比して遙に長くなること止を得ない。

中空鍛錬を行ふ場合には鋼塊を僅か鍛錬して荒地となし、兩端を鑿にて切斷した後焼鈍爐中に於て充分に焼鈍する。かくて常溫に冷却したものを穿孔し然る後に中空鍛錬を行ふのである。此の際炭素鋼の場合に述べた如く鍛錬機を用ひて穿孔出来れば、途中常溫迄冷却せしめる必要がないので工程を著しく短縮出来る。

鍛錬を完了すれば直ちに焼鈍爐中に於て變態以下の温度迄徐々に冷却し再び加熱して焼鈍を施す。

特殊鋼の鍛鋼材は焼鈍後粗削を行ひ焼戻熱處理を施して材料試験に合格せしめた後、機械加工に附することは前に述べた通りである。

X. 鍛鋼材の實例

筆者の勤務してゐる工場で作した鍛鋼材中其の代表的なもの二、三に就いて述べる。

1) 合成爐 アムモニア合成工業の發達に伴ひ大型の合成爐を多數製作した。合成爐は半硬鋼、Ni鋼、或はNi-Cr鋼製の肉厚の圓筒で、何れも兩端に鏑を有し蓋を其の部分にボルトで締め付ける構造を有し、本體は何れも中空鍛錬法に依り製作する。

最も普通に使用せらるゝものはNi-Cr鋼製の内徑700mm、肉厚150mm全長8m内外のもので、更に大きいものを製作したこともある。

合成爐は高温高壓の還元瓦斯に接觸して使用せらるゝ爲め、材質材力規格等の點で可成り喧しいものであるが、今日迄製作したものは何れも異状なく使用せられてゐる。

2) 發電機の回轉子 發電機の回轉子は従來燒鈍炭素鋼を以て製作するのを例として居たが、最近は發電機の容量を益々増大した結果、材力高きものを要求せらるゝに至り燒入燒戻熱處理を施した特殊鋼にて製作するに至つた。

回轉子は軸の中央に直径甚しく大なる胴部を有する爲め、特殊鋼にて製作する場合は、胴の内部に毛割れ或は白點を生ずること多く、胴部に溝を切り或は軸の中心に穿孔すると屢々此等の缺陷を現出するので、製造甚だ困難である。

特殊鋼にて製作する場合には鋼塊を一旦軸方向に据込んだ後胴部の徑に等しく丸めて荒地を造り燒鈍を施し、一端の軸部を成形して爐中に冷却せしめ、更に他端の軸部を成形して燒鈍を施す。次で表面を粗削し中心孔を有するものは粗孔を穿孔して燒入燒戻熱處理を施し、更に内部歪を除去する目的にて燒戻温度以下の低温度にて燒鈍し、材料試験を行ふ。普通は試験片を軸端に於て縦方向に採取した外、胴部の兩端に於て放射及び切線方向に採取して試験を行ふので可成り面倒なものである。

特に大型の回轉子は普通中心に相當大なる中心孔を有する爲め、鋼塊又は荒地の中心に小なる孔を穿孔して鋼塊中心の不良部を除去した後成形する場合がある。即ち鋼塊或は其の荒押ししたものの中心に穿孔し、孔を潰す如く鍛鍊して胴部の徑に等しく成形し、更に前記と同じ方法で兩端の軸部を製作する。尤も此の場合には中心孔が完全に潰れぬ危険がある爲めに、中心孔の仕上徑は 150mm 以上なるを要する。

回轉子の胴部の徑を増大し、一方使用時に於ける回轉數が速くなつて強力な材料を要求する様になると益々製作に困難を感じるので、最近には回轉子を一體に製作せず胴部と軸部を切放つて三體となし、或は胴部を數個のディスクに分つて此等を適當な方法で締付ける様な設計をしてゐる所もある。

今日迄製作した回轉子中最大のものは、芝浦製作所の註文で關西共同火力の尼ヶ崎發電所に据付けた 62,500 K. V. A の發電機の高轉子である。此の高轉子は Ni-Cr 鋼に日本製鋼所獨得のニセコ熱處理を施したもので運轉の結果良成績を得てゐると云ふ。此の如き大型の鍛鋼材は燒入燒戻熱處理を施すときは燒割を生ずる危険があり、燒鈍の状態では靱性を缺く恐があるので、ニセコ熱處理は、靱性に富み内部歪少き點で甚だ適當してゐると思ふ。

3) ボイラードラム ボイラードラムは従來鐵板をリベットして製作するのを例としてゐたが漸次高壓の蒸汽を使用する様になり鍛鋼材にて製作する様になつた。現在造つてゐるものは軟鋼製の中空の圓筒で、蒸汽ドラムは徑が大きい爲め中空鍛鍊により、水ドラムは中空鍛鍊或は横型の鍛鍊機に依る擗出鍛鍊によつて製作してゐる。

外國に於てはドラムの兩端を絞り込んだ形状のものを製作してゐるが、本邦ではまだ此の種のものを製作した例がない。

4) タルビン翼車及軸車 タルビン翼車も最近特殊鋼を用ひた大型のものが使用せらるゝに至つた。

炭素鋼の場合には圓壘型の荒地を軸方向に壓縮してボスの厚さとなし、更に鍛鍊機を中心を外して荒地を支へ回轉し乍ら鍛鍊してリム部を成形するのであるが、特殊鋼製の直径大なるものはボス孔の周圍に龜裂を出現するので、荒地の中心に穿孔して鍛鍊することがある。

特殊鋼製の翼車は Ni 鋼製の直径 2.5m に及ぶものを製作したことがあり、最近 Ni-Cr 鋼製 Ni-Cr-Mo 鋼製の翼車を多數製作し良成績を得てゐる。

回轉數の多い小型のタルビンには翼車と心棒とを一體に製作した軸車を用ふるに至つた。之は翼車部と心棒との徑に大なる差異がある爲め製作容易でない。特に特殊鋼にて製作する場合には翼車部の内部に龜裂、白點等の缺陷生じ易い。

軸車は低 Ni 鋼にて製作し又最近には Ni-Cr-Mo 鋼にて相當大型のものゝ製作に成功してゐる。

5) 曲肱軸 曲肱軸の従來の製法は曲肱部を一體の平板に鍛鍊し、之を機械に掛け各個に切放ち且軸部を粗削した後軸部を局部的に加熱して曲肱部を所要の角度に捻り、更に機械加工によつてアーム部とピン部を成形するのである。

海軍に於ては軸部を局部的に捻ることに不安を感じ且鋼塊中心の不良部の影響を避くる爲め、曲肱部に對照に餘肉を附し且角度を與へて鍛造し、然る後に餘肉を切取つて機械仕上を行ふ方法をとつてゐる。

然し海軍に於て採用してゐる鍛鍊方法も實施に不便な點があるので、昨年5月鍛造技術研究會議に於て種々討論した結果、本年の會議迄に各製造所に於て適當と認むる鍛造方法に就き試験の上更に審議することになり、筆者の工場に於ても實驗中である。

逓信省船舶機關規格及び海事協會鋼船規格には曲肱軸の鍛錬法に對する制限はないが、大型の曲肱軸に對しては試験方法が甚だ難しいので其の製作は容易でない。

曲肱軸の鍛錬法に關しては尙研究を要する多くの問題が残されてゐる。

XI. 鋼材の缺陷

鋼材の缺陷は鋼塊不良、鍛錬及熱處理法の不適當による3つの場合がある。

鋼塊不良に基く缺陷としては收縮管、氣泡、龜裂、偏析ゴースト、砂疵等があるが、大型鋼材用の重要な鋼塊に收縮管、氣泡、龜裂を有することは稀である。偏析は何れの鋼塊にも存在し其の程度は鋼塊の大きと共に増大するが之が問題となることは殆どない。偏析の結果として現出するゴーストは成形法の如何により外部に露出することがあ

る。然し之は或程度止を得ぬので著しく濃厚にして龜裂を伴ふ場合の外は使用上差支へなしとしてゐる。砂疵は鋼材の隨所に存在する様な場合には鍛錬により如何ともなし難い。

鍛錬の際生ずる缺陷に龜裂がある。加熱冷却を急速に行つた場合には大なる龜裂を生じ、過度に高温に加熱した場合には表面一體に細い龜裂を生ずる。

更に毛割れ、白點、横目等の缺陷がある。其の原因に就ては種々説があつて日本學術振興會に於ても調査中であるが、毛割れ、白點は肉厚の特殊鋼材を高温より比較的急速に冷却した場合に其内部の偏析甚しき部分に發生する傾向がある。横目は炭素鋼、特殊鋼何れにも起り鍛錬係數大なるもの程著しい。之は鋼塊中の不純物の影響と考へられてゐる。

熱處理によつて起る缺陷に就ては略する。