

装甲板製造についての回顧録*

佐々川 清**

Memoirs of Manufacturing Technology of Armor Plate

Kiyoshi SASAGAWA

まえがき

攻撃と防禦は軍艦の生命であり、その防禦の主体である装甲板の品質や、製造技術はまったく軍機扱いをされて、写しをとることすら許されず、ことに終戦時において全部焼却するように厳命されたものゆえ、20数年を経た今日、これに関するデータを集めることはほとんど不可能であるが、壮年の大半を装甲板の研究ならびに製造に費やした筆者としては、当時の呉海軍工廠製鋼部の諸氏の努力の結晶ともいうべき、装甲板製造に関する技術的経緯の一端を、なんとか集めてこれをわが国鉄鋼業界の皆様にご紹介しておくことは、今後また何かのお役に立つのではないかと考えていた。

先般、鉄鋼協会誌に“タタラ”吹き製鉄法の貴重な記録が掲載されているのを拝見し、温古知新の格言もあるとおり、新しい技術でなくても、古い記録を識者に見ていただけておくことは、また何かの場合の参考になるかもしれない。いわんや、終戦前において、帝国海軍が衆知を集め、莫大な費用を投じて研究してきた、装甲板製造の記録のようなものは、筆者の記憶と手帖に残った記録以外、この世の中にはないもので、長年帝国海軍に育成された筆者には、これをなんらかの形で、誌上に残す義務があると考えていた。小さな会社の社長として寧日のなかつた筆者にはこれを取りまとめる暇がなかつたのであるが、最近になつて余暇もできるようになつたので、この際と思い記述にかかつた次第である。全くカピの生えたデータかもしれないが、今日の日本でも200tの鋼塊は製造されておらず、高Ni-Cr鋼の420mm厚さの板など、いかにして処理したらよいか。現在ではちよつと手がつかないであろうから、往時のデータを書きつらねるのも、決して無駄ではないと存じ、うる覚えながら、当時の甲板製造に関するデータが、手帖にあつたので、これらをまとめてみた。なおまた、大口徑徹甲弾の製造法に関する変革史、および大口徑弾の熱処理に関するデータもいまだ世に発表されていないので附記することとした。まちがっている点多々あるかと思うが、この点ご容赦いただきたい。

1. 軍艦大和、武蔵の計画以前の装甲板

わが国の装甲板 (armour plate) の製造は完全に官業で、広島県の呉海軍工廠製鋼部だけでつくられた。これは全く機密保持の立場からなされたものである。終戦に近くなつて、呉には設備拡張の余地がなくなつたので、室蘭の日本製鋼所の構内に、海軍工場が設備され、ここで幅広の薄甲板をつくつた。しかし、厚さ20から50mmの均質甲板のみで、また材質的にも、CNC1、CNC2など含銅Ni-Cr鋼の均質で、機密程度の低いもの

みがつくられた。海軍としては、防禦力を察知されるところのある主力艦や重巡洋艦の舷側や弾薬庫、砲塔などの防禦甲板は、絶体に機密保持の必要があるので、甲板は全部呉海軍工廠で製造された。また甲板製造に関する技術は、特に外部に漏れないように注意され、そのため甲板の製造に携さわる技術者も、きわめて少数に限定された。直接責任者となつたのは、故横田栄吉海軍技師が初代で、第2代は故大谷益次郎海軍技師、3代目が筆者であつた。そのうち大和、武蔵級の甲板の製造法の研究は、故大谷氏と筆者との時代にまたがつていた。その後故大畑宇治郎氏、伊木常世氏、中前和夫氏らが担当された。

甲板の製造技術は主として英国から取り入れたもので軍艦金剛が英国へ発注された時、横田技師はピッカース社に入つて、身をもつて甲板の製造技術を体得され、それが骨子となつて、わが国の技術が確立されたものである。

装甲板は軍艦の防禦力の主体であるから、各国共その製造技術を厳秘にしており、絶体に他国に盗まれるのを防止していた。したがつてわが国でも大金を投じて英国へ軍艦を注文し、その際監督官を派遣して技術を習得したのであつて軍備の競争が激しくなるにつれ、相手国の製造技術はもちろんのこと、その耐弾力などを窺知する手段は皆無で、したがつて用兵上の要求を満足させようような耐弾抗力を持つた甲板をつくるには、それぞれ独力で実験研究を行なうほかには方法がなかつた。

わが国の主力艦中、金剛は英国ピッカース社で、大正2年(1913)完成、続いて比叡、榛名、霧島が本邦において建造された。これらの軍艦用の装甲板は皆、呉の製鋼部でつくられたのである。さらに超弩級戦艦である扶桑、山城、伊勢、日向が建造されるにいたつて、わが国の造艦能力は俄然、世界の注目を浴びるにいたつた。大正6年には16inch主砲を有する長門、陸奥の両巨艦が計画され、大正8、10年に完成した。

この時代の装甲板としてはKC甲板(Krupp cemented armour plate)、VC甲板(Vickers cemented armour plate)の両者が、それぞれ、独、英両国海軍の技術水準を表示していた。わが国は英国の技術を全面的に取り入れたため、装甲板としても後者が採用されたのである。その後超厚甲板を製造せざるを得なくなつたことから考えると、やつぱりこれがよかつたのだと思う。

前記戦艦、巡洋戦艦においてはVC甲板は主として、

* 昭和42年3月15日受付

** 東北電化工業(株)社長 工博
元海軍技術少将

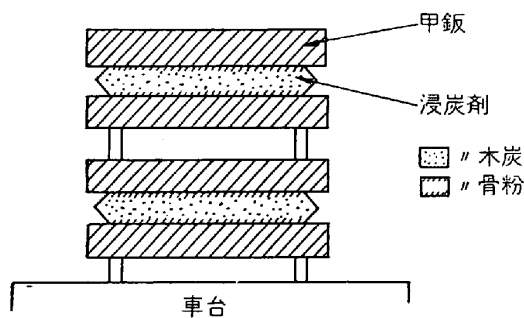
舷側や、弾火薬庫、砲塔、砲楯などの防禦甲鉄として、用いられたのであるが、その後水平防禦用として甲鉄を使用するに及び、撃角の大きな場合の耐弾抗力は、表面硬化甲鉄よりは、均質甲鉄の方が勝るとの結論に到達したため、同じ化学成分のものを、熱処理方法だけを変えてつくつたいわゆる NVNC 甲鉄 (New vickers non cemented armour plate) が採用されるにいたつたのである。

ここで VC 甲鉄および NVNC 甲鉄の製造方法を簡単に説明しなければならない。

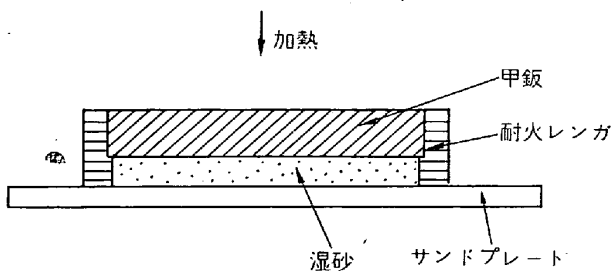
VC 甲鉄はその化学成分が C 0.48%, Ni 4%, Cr 2% の高ニッケル、クロム鋼で、酸性平炉製良質鋼である。主原料は P.S などの不純物の少ないスウェーデン鉄鉄あるいは本溪湖鉄鉄である。厚さ 300 mm (12inch) 甲鉄を例にとると、板幅 3.5m、長さ 5.0m として一枚の重量は 41 t、鋼塊の重さは 70 t 近くになる。鋼塊は扁平形で、これを 12,000 馬力の蒸気機械で駆動される大型二重圧延機で圧延して、前記に近い寸法とし、両端切断後、まず焼ナマン緩冷し、しかる後表面 (1 面のみ) を平削盤によつて機削して酸化被膜を完全に除去する。

次にこの板を 2 板、表面が向かい合わせになるように重ね、この間に浸炭剤 (木炭および骨灰) を置き、これを普通 2 組宛車台引出し式の加熱炉に入れて、930°C に約 4~5 昼夜加熱して、表面に浸炭させる (第 1 図参照)。浸炭深さは約 7 mm ないし 10 mm でクロムカーバイトが析出し、すこぶる硬い。次にこれに焼入れ、焼戻し作業を施して鉄全体にソルバイト組織の強靱な性質を与えるようにする。この際圧延加工、浸炭作業などの高温長時間加熱による結晶粒子の成長に対し、十分な精整を行なわなければならないので、焼入れ焼戻し作業は数回となくくり返す必要がある。

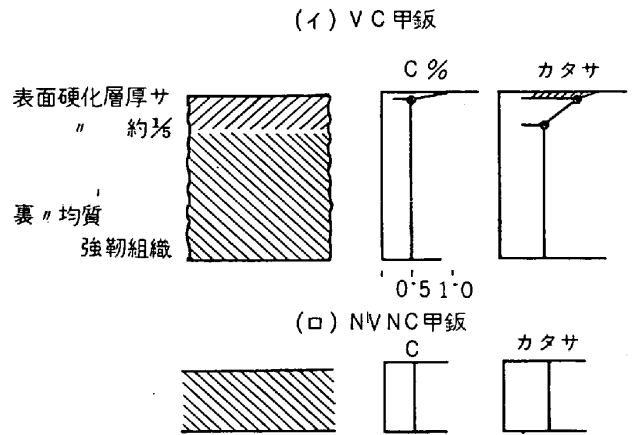
本成分は高ニッケル、クロム鋼で下手をすると、表面に亀裂を生じることが多分にあるので、熱処理に際しては特に十分な注意が必要である。熱処理作業が終つて中



第 1 図 浸炭作業



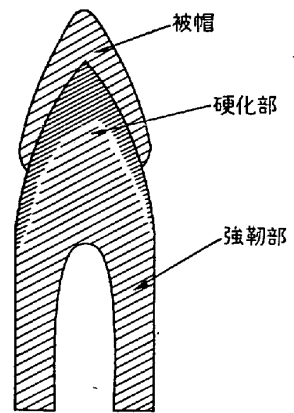
第 2 図 表面焼入れ作業



第 3 図 甲鉄、断面における C 量および硬度曲線

間試験に合格すると、表面焼入れ作業を施す (第 2 図参照)。板の表面を上にして裏面は湿つた砂に接触させ、軟鋼製の厚板の上に乗せて、加熱炉内に装入する。表面から高熱ガス焔で急激に加熱し、表面のみを本鋼の変態温度以上に赤熱した後、炉から取り出して、板の表裏面から噴水 (sprinkler) を掛けて急冷する。かくして甲鉄は裏面部はソルバイトの強靱な組織を保ち、しかも表面部は焼入組織となり、さらに最も表面部にはクロムカーバイトの析出したガラスに近い硬度を持つた組織のものになる (第 3 図参照)。

このようにしてできたものが VC 甲鉄であつて、1 枚の甲鉄を製造するのに少なくとも、約 1 カ月の時日を要する。装甲鉄の製造にはかくのごとく多額の経費と、莫大な設備、卓越した技術が必要とするのであるが、かくせねばならない理由は、闘争相手である弾丸が、その形状が尖頭形で、頭部は硬化してあり、さらにその上に、被帽がおおつてあつて、この弾丸を破碎して鉄の裏面まで通過するのを完全に防止しなければ、防禦の目的を達成しえなかつたからである (第 4 図参照)。

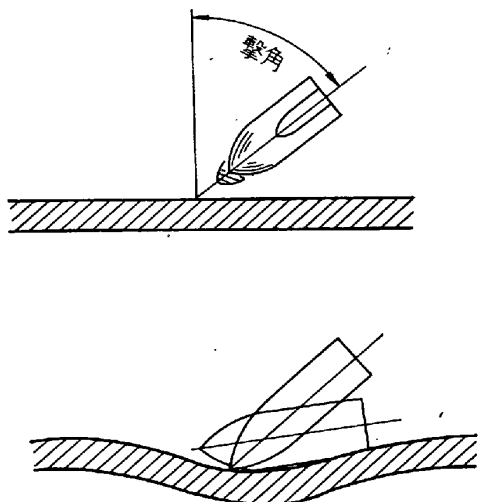


第 4 図 被帽徹甲弾

NVNC 甲鉄は、前記 VC 甲鉄製造過程において、表面浸炭を省き、かつまた最終の表面硬化作業を行なわず鋼塊圧延後、直ちに焼入れ、焼戻しの熱処理を数回くり返して、鉄全体を均質なソルバイト組織化したものである。水平防禦の場合は撃角が大きく (撃角とは鉄面への垂直線と弾丸の衝撃線とのなす角度)、弾丸が肩部で鉄を敲く形となり、鉄があまりにリジッドで、変形し難い場合は、大きく割れてかえつて損害が大となるところがある。もし鉄がタフで容易に変形すれば、弾丸はますますその入射角を変え、鉄面を滑りさる傾向となり、鉄ならびに艦の受ける損害は著しく減少するからである (第 5 図参照)。戦闘距離が大となるにしたがいこの傾向が

第1表 装甲板製造法変革史

- 1900年: 150 mm厚さの KC 甲板 (Krupp cemented armour plate) が射撃された。これが日本で初めての甲板射撃実験である。
- 1905年: 戦艦生駒の KC 甲板がつけられた。(約 2000 t)
- 1910年: VC 甲板が Vickers Armstrong 社に発注された。
- 1915年: 200 mm厚さの VC 試験板 No. 1 が日本でつけられた
- 1925年: Ni 4% の NVNC 試験板がつけられた。
- 1926年: 450 mm厚さの VC 試験板がつけられた。
- 1928年: 傾斜甲板がつけられ、重量軽減に役立つ。
- 1931年: CNC 甲板 (Ni-Cr-Cu 甲板) の試験板がつけられた。その性質は 35, 44, 64, 100 mm厚さの板は NVNC と同等であつたが 215 mmは靱性において劣つた。CNC 甲板は 75 mm 厚さ以下の板に採用された。
- 1932年: CNC 甲板が秘密特許となつた。
- 1937年: 燃料の節約と生産能力増大のために、新たに、VH甲板が研究され、その性能は VC 甲板に優るとも劣らざることが明らかとなり、VH甲板が採用された。
- 1940年: MNC 甲板ができ、均質甲板として良好な成績を出した。
- 1941年: 入手困難な Ni, Cu, Moなどを節約すべく CNC 1, CNC 2 などが研究され次の結果を得た。すなわち CNC 1 は 25, 50, 100 mm 厚さは CNC と同じ、CNC 2 の 100 mm 厚さは CNC より劣つた。この結果 CNC 1 は 38~100 mm, CNC 2 は 37 mm 以下に採用された。



第5図 水平防禦図解

大きくなつてきたので、防禦設計には VC および NVNC 両甲板が併用されるようになった。

さらに各国の軍備競争に対応してわが国でもいわゆる 8-8 艦隊計画ができ、これにより建艦に着手したものに 4 万 t 級の戦艦加賀、土佐、巡洋戦艦の天城、赤城があつた。このうち加賀、土佐は装甲板の製造も完了、艦に取付けられた。しかし軍拡の競争に堪えかねた結果は、大正10年(1921年)のワシントンにおける軍備縮小会議となり、その結果、加賀、赤城は航空母艦に改造され、土佐はむなく、亀ヶ首射場における、実験射撃の標的に使用されるにいたつた。その後十数年間は質的改善を目標として、土佐による実験結果を基礎にして、主力艦の大改装が行なわれた。この間装甲板も板厚などを増加され、また砲戦距離の増加に伴い、水平防禦を強化し大落角弾に耐えるようにするとともに、爆弾防禦に資するため、甲板甲板を厚くした。しかし材質的には VC 甲板、NVNC 甲板以外のものの採用はなかつた。

附記: 参考のため装甲板製造法の変革の歴史を第1表に記述しておく。

2. 軍艦大和、武蔵の装甲板

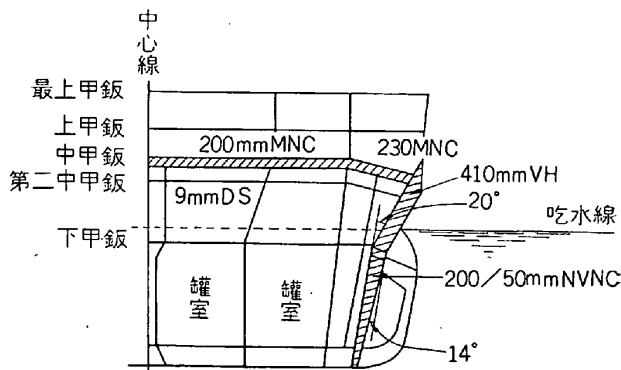
2.1 概要

8-8 艦隊計画以来14年ぶりの昭和9年(1934)にいたつて、無条約時代に対処する新主力艦の設計が着手された。その結果は、主砲 46 cm 砲、防禦は対 46 cm 弾、2~3 万 m に耐えるものとし、また防禦は集中かつ完全ならしめることとして、第6図に示すような形の防禦計画がなされた。

新主力艦の公試排水量 69100 t に対して甲板のみの重量が 21,266 t、すなわち艦重量の 30% が装甲板である。軍艦金剛の場合は 17.4% が装甲板重量であつたのに比較し、新艦がいかに防禦力の増強に力を入れられたかがわかる(第2表参照)。

大和、武蔵2艦の甲板重量は、金剛級の7隻分に当たる。これを短時日に従来と同一設備で製造せねばならなかつたのであるから、呉工廠製鋼部の責任がいかに重かつたであつたか、諒解できると思う

大和は呉工廠、武蔵は三菱長崎造船所で、それぞれ昭



第6図 軍艦大和、武蔵の防禦計画

第2表 大和と金剛との排水量と甲板重量の比較

	大和	金剛
公試排水量	69,100 t	36,314 t
装甲板重量	21,266 t	6,310 t
同 %	30	17.4

和12年11月および12年3月に起工、16年12月および17年8月に完成した。これに要した装甲板、砲身、徹甲弾などは全部、呉工廠製鋼部で製造したのである。

第 3 表 15000 t 水圧機の諸元

最大能力	15000 t
能力段数	15000 t, 10000 t, 5000 t
製作者	ヒドロリック (Hydraulik)
最大衝程	3200 mm
使用圧力	300 気圧
主柱 中心距離	6600 mm × 3500 mm
外 径 (内径)	1100 mm (700 mm)
ネジ形状	45 鋸歯形
ネジピッチ	25・4
最小直径	1100 mm
主ラム 径	1460 mm
数	3
クロスヘッド最大衝程	7000 mm
シフティングテーブル	
長 × 巾	11000 mm × 4200 mm
衝程	4000 mm × 4000 mm
移動力	340 t + 46 t
水圧機本体重	3075 t
三連式水圧ポンプ	
製作所	ヒドロリック
型式	横型
台数	4
吐水量	1500 l / min
圧力	300 気圧
回転数	125 回転 / min
プランジャー (数)	88 φ (3)
衝程	700 mm
電動機回転数	885
ク馬力	1500 × 4
蓄 勢 機	
有効水容量	7000 l
全 容 量	63250 l
圧 力	300 気圧
鍛 造 能 力	
鋼塊直径 (最大)	2800 mm
経済的鋼塊直径	2500 mm
床面ヨリノ高サ	16980 mm
全 重 量	3897 mm
プレフィルタンク	
径 × 高	2960 mm × 10000 mm
圧 力	4・5 気圧
容 量	70000 l
水 槽	
巾 × 長	2500 mm × 11000 mm
高 容 量 (有効)	3000
リフティング装置	70000 l
引揚押上式	
ラム径 × 数	340 × 2
	400 × 2
上 昇 力	1298 t
起 重 機	300 t × 1, 250 t × 1

を大きくしようというのが、造船計画者の考えではあつたが、かくすれば甲鉄の厚さが弾径より小になり、敵弾の破砕が困難になる。敵の弾丸を壊すには、甲鉄の表面硬化層についてはある程度の厚さを必要とするが、硬化層を厚くすれば、必然的に裏面の強靱部の厚さが少なくなり、鉄が折損するところがでてくる。かかる矛盾をいかに解決するか。

2.2 設備の改善

前記大量生産にマッチさせるためにとられた対策の 1 つは製鋼設備で、第 3 製造工場 (70 t 酸性平炉 3 基) が新設された。これにより 3 基の合わせ湯造塊法を採用して、本邦最大の 200 t 鋼塊が作られた。また鉄厚の増大に伴い、鉄厚の中心部までに鍛錬効果を与えるため、15,000 t の水圧プレスが新設された。これはドイツのヒドロリック (Hydraulik) 社から購入したもので、ソ連を除いては当時、世界最大の水圧機であつた。従来の甲鉄は圧延のみで成形したのであるが、圧延のみの場合は鉄の表裏面のみで効果が現われ、中心部が強くないので、どうしても水圧機で鍛錬しなければよい鉄はできない。それで海軍省艦政本部で一大会議を開いてもらい、呉からは工廠長にも出席していただき、水圧機を新設してもらわなければ、自分としては責任がとれないことを強調し、ついに莫大な国費を投じて、本水圧機を新設することになったのである。ヒドロリックの水圧機は当時世界的に定評があつたが、同社の設計としても未経験の大容量のもので、しかもドイツから、日本へ運搬するには、調査した結果、100 t 以上の重量物は運搬途上の吊上設備能力の関係上、輸送が不可能であるので、各ピースの重量を最高 100 t に限定し、たとえば上部金物は 3 つ割、下部金物は 5 つ割にして、日本でこれらを組み立てることとした。ドイツからはレーム (REHM) およびシュワルツ (SCHWALTZ) の両技師が来邦、筆者が主務担当者として組立てに従事した。これに対する機密保持には随分苦勞した。幸い完成後の使用成績は、きわめて良好であつた。本水圧機の全重量は約 4000 t である。(その後日本製鋼所の室蘭工場にもヒドロリック社製の能力 10000 t のものが設置され、シュワルツ氏が組立てを指導し、筆者も呉の経験を生かすためしばらく室蘭に滞在してその設立を手伝った。呉のは終戦後駐留軍の指令でガス切断をしてしまい、完全にスクラップ化されてしまつたが、室蘭のはそのまま残置され、日本製鋼所では、これを 100% 有効に使用している。なお、伝え聞くと、ここではシュワルツ氏は終戦直後、死亡、レーム氏は健在でヒドロリック社の技師をしており、一昨昨年渡独の際、デュッセルドルフ市で再会した。当時を思い浮かべて二人感慨無量であつた。本水圧機のような大型のものは差し当たり日本では設置するようなことはないであろうが、今後の設計の参考になる機会もありうると思ひ、本機の諸元を第 3 表に記載しておいた。

2.3 甲鉄製造方法の改善、新甲鉄の発明

画期的な戦艦大和、武蔵の建造に際し、装甲鉄も従来のもものでは用兵者の要求を到底満足させることができないので、何とか画期的な考案をと、苦心に苦心を重ね、

i) 舷側甲鉄、砲楯前鉄のようなはなはだしく厚い甲鉄については、鉄厚が増すにつれて、単位厚さ当たりの耐弾抗力の減少がないよう、むしろ増大するよう考慮する。

ii) 戦闘距離の増大に伴い、甲鉄に当たる弾丸の撃角が増すので、弾丸は体当たりとなり、鉄が破損するところがでてくる。これに対しては甲鉄が絶体に割れないようにせねばならない。重量軽減と防禦力の低下防止とを考へて、鉄厚を薄くして艦の舷側への甲鉄の取付け角度

iii) 弾丸の撃角が増し、弾丸の形状についても平頭弾の発明があり、また爆弾の威力も増大してきた。これらに対しては、水平防禦甲板をも強靱にせねばならない。

iv) 一定の設備で大量の甲板をつくるに際しては、極力1枚1枚の製造期間の短縮を計って、製造能力を増大するのは勿論、経費の節約をも計らなければならない。また資源に乏しいわが国としては、国内資源の活用を計った甲板の製造をも考えねばならない。かつまた重量の制限を受ける軍艦に取り付けるのであるから、できるだけ不要の重量をなくさねばならない。

これらの諸問題の解決のために、研究に研究を重ねてようやく採用になつたのが

砲塔、砲楯、舷側用などとして：VH甲板

舷側下部用甲板として：NVNC 傾斜甲板

甲板用(水平防禦用)として：MNC 甲板

水平防禦用甲板として：CNC, CNC 1, CNC 2 甲板

煙路防禦用甲板として：蜂巢甲板

などである。これらの甲板の名称、用途、成分ならびに機械的性質は第4表、第5表、第6表に示すとおりである。

以下順を追って、これらの甲板について説明する。

2.4 VH 甲板

(i) 最大の特徴はVC甲板においてこのような表面浸炭を施さない点にある。前述したように従来のVC甲板は表面に、最大10mm厚さくらいの浸炭層が施されているのであるが、この浸炭層を得るためには3日から1週間も甲板を加熱炉に入れて高温度に保熱せねばならず、VC甲板を大和、武蔵に採用するとこれらの甲板製造のために新たに膨大な設備をしなければならない。一方敵の弾丸を破砕するには、舷側甲板の厚さを410mmとした場合、その1/3すなわち135mmは表面硬化層にしなければならない。この部分は高Ni-Cr鋼の焼入れ組織であるから、すでに相当の硬さであるゆえそのまた表面にわずか10mmの超硬化層があつても、これが弾丸の破砕に著しく有効であるとは考えられない。むしろ長時間浸炭作業をすると、表面硬化処理に際して、飯面に亀裂を発生する原因をつくりやすく、かえって飯の表面に罅裂ができて、耐弾抗力を減少する場合がありますので、思いきつて浸炭をやめた。当初は非常な危惧の念をもつて見られたが、射撃実験の結果はきわめて良好で、表面の罅裂は全然なくなり、耐弾抗力はかえって向上し、一方、製造に要する時間は、約2/3に短縮でき、したがって同一設備での生産は1.5倍に増し、製造原価をも著しく低下することができた。この結果甲板は艦の建造期限内に完成することができたのである。

第4表 軍艦大和級に採用された各種甲板の名称ならびに用途

名称
イ) VH甲板(表面硬化甲板) 成分はピッカース社(Vickers)製と同じであるが、浸炭を行わず、また表面が硬化(hardened)してある甲板の意。
ロ) NVNC甲板(均質甲板) 成分はピッカース社製と同じであるが、浸炭を行わない(non cemented)均質甲板を意味する。
ハ) MNC甲板(均質甲板) モリブデン(molybdenum)入りの成分で浸炭を行わない(non cemented)均質甲板の意味。
ニ) CNC甲板(均質薄甲板) 銅(copper)入りの成分で、浸炭を行わない(non cemented)均質甲板。

註

- イ) は従来のVC甲板、NVNC甲板と同じ成分であるが表面浸炭を施さず、板の表面部に板厚の約30%の焼入れ組織を有し、裏面部は柔軟、強靱ならしめたもので、舷側、砲塔、砲楯など直撃に近い撃角で来る弾丸の防御を主目標とする。
- ロ) はVH甲板の不合格品の再圧延利用をも考慮し、従来どおり採用された。主として、主舷側の下部に傾斜甲板として用いられた。
- ハ) はNi-Cr鋼にMoを加えた成分で、強靱性の大きい均質甲板である。水平防御甲板(蜂巢甲板を含む)、砲楯天井板などに使用された。主として180mm以上の個所に用いられた。
- ニ) はNi-Cr鋼のNiの一部を銅(Cu)を以つて置換したもので、やはり均質甲板として75mm以下の部分に使用した。
さらにNiを減じたものにCNC1, CNC2がある。前者は50mm以下、後者は25mm以下の厚さの防御甲板として使用された。

(ii) 従来の甲板は舷側用で約300mm厚さ程度であつたから、もつぱら圧延機だけで鋼塊を延ばして所要寸法のものをつつていた。しかるに大和級の舷側甲板は410mm、砲楯前板にいたつては実に560mm厚さという超厚板なので、圧延だけでは鋼塊の表裏面は延びても厚さの中心部まで鍛錬効果を与えることは不可能なのでそのために大形の水圧機で鋼塊をまづ鍛錬し、しかる後圧延機にかけて、所要寸法に成形する方法が採用された。第7表は410mm厚さの舷側甲板の製造に使用した鋼塊の寸法、鍛錬および圧延方法に関する実施例を示した。これはVH甲板の特異点としてあげべき性質のものではないが、厚い甲板の製造方法として、新たに

第5表 甲板の材質名称と成分

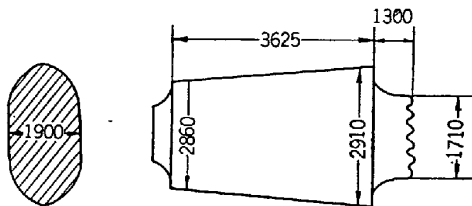
主成分 名称	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
VH	0.43~0.53	0.05~0.25	0.30~0.45	0.035>	0.035>	3.7~4.2	1.8~2.2	—	0.20>
NVNC	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	—	〃
MNC	0.30~0.38	〃	〃	〃	〃	3.3~3.8	〃	0.25~0.40	0.25>
CNC	0.38~0.46	〃	〃	〃	〃	2.5~3.0	0.8~1.3	—	0.9~1.3
CNC 1	〃	〃	〃	〃	〃	1.8~2.8	1.5~2.0	0.10~0.20	0.6~1.0
CNC 2	〃	〃	〃	〃	〃	1.3~1.8	〃	〃	〃

第 6 表 甲 板 裏 面 の 機 械 的 性 質

甲板名称	板 厚 (mm)	弾 性 限 (kg/cm ²)	抗 張 力 (kg/cm ²)	伸 び (%)	収 縮 (%)	衝 撃 値 ft-lb	
						最低	平均
VH	>180	>40	75±10	>20	>40	>30	35
NVNC	180~75	>45	80±8	>19	〃	>28	33
	>180	>40	75±10	>20	〃	>30	35
MNC	180~75	>45	80±8	>19	〃	>28	35
	75>	>50	85±6	>18	〃	>25	30
CNC	>180	>40	75±10	>28	〃	>35	40
	180~75	>50	85±6	>20	〃	>30	35
CNC	75~50	>60	85±6	>19	〃	>30	
CNC 1	50>	〃	80~90	〃	〃	>30	
CNC 2	25>	〃	〃	〃	〃	>30	

第 7 表 軍艦大和級の舷側甲板に使用された 410 mm VH 甲板の製造に関するデータの一例

- (イ) 溶 解
酸性平炉製, 70 t 平炉 3 基の合せ湯
鋼塊の形状
重 量 160 t
寸 第 図面の通り
上 注 式



- (ロ) 鍛 錬
粗 鍛 錬
加熱方法 32hr×1200°C×7.5~10hr
水圧機使用による鍛錬寸法
厚サ 1900 mm→1550 mm 縦方向
1550 →1350 横方向
両端切断
仕上鍛錬
加熱方法 25hr×1200°C×8~10hr
水圧機による鍛錬 厚サ 1350 mm→1100 mm
- (ハ) 圧 延
粗 圧 延
加熱方法 25hr×1200°C×8hr
圧 延 850 mm幅×4100 mm長サまで
軟 化
加熱方法 28hr×650°C×32hr 空冷
〃 20hr×650°C×30hr 〃
仕上圧延
加熱方法 20hr×1200°C×8hr
圧延(仕上げ圧延寸法)
410 mm×4100 mm×6500 mm 重量86500 kg
軟 化
加熱方法 20hr×650°C×22hr 空冷
〃 18hr×650°C×20hr 〃
- (ニ) 表面削

大和級から採用されたもので、しかもかくのごとき厚板は、全部 VH 甲板が使用されたから、結果的に見て、V

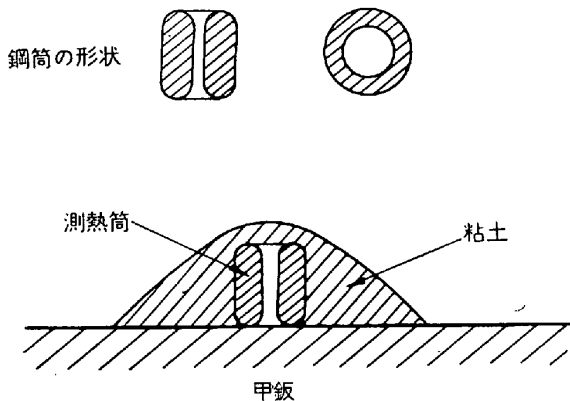
H 甲板の特徴ともいいうるのである。これにより、かくのごとき超厚板も、中心部まで十分に組織の改善ができ表裏面、中心部とも一様な強度、靱性を得るにいたつたのである。

(iii) 超厚板の熱処理は最も苦心したもの一つである。第 9 表には 410 mm 厚さの板の熱処理に関し、熱処理方法、昇熱、保熱時間、加熱温度および冷却方法を、とりまとめて示した。ニッケルクロム鋼にはいわゆる、クルップ病 (krupp krankheit) と称する脆性が現われるところが多分にあるので、これが絶体に発生しない熱処理方法の研究は、最も重要な課題の一つであつた。新熱処理方法実施の結果は、かくのごとき厚甲板でも、より薄い甲板に比し、なんら遜色のない均質の機械的性質を示すことができるようになったのである。

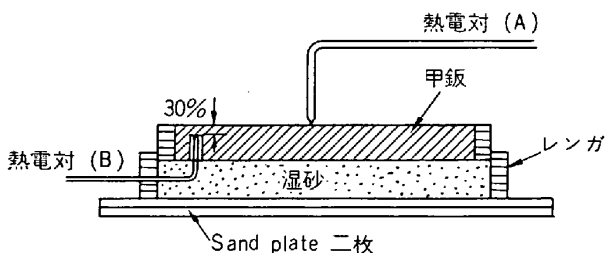
甲板は最終熱処理完了後、板の両端からガス切断によつて、全厚にわたる試験片をとり、水圧機で破断して、板厚全体にわたつての組織を肉眼で見、その後その裏面から規定どおりの試験片をとつて、その機械的性質を検査するのであるが、この板厚全体の破断面に少しでも脆弱な組織の断面が現われた場合は、直ちに再熱処理を行なうのである。したがつて完全なる熱処理方法を得ることは、甲板の均質性を得る意味において、最も重大事であつた。

(iv) 従来の VC 甲板は表面硬化層の厚さが、全体の約 1/5 位であつた。しかし大和級では 46 cm 弾に対し 410 mm 厚さの甲板で防御しようというのであるから、この弾丸の被帽や弾頭を破壊して、防御の目的を達成するには、どうしても 33% 程度の表面硬化層が必要で、しかも表面硬化層が厚くなれば、必然的に裏面の強靱層が薄くなり、弾丸の撃突に際し、甲板が破損する心配が出てくるので、硬化層の厚さは 33% 以上にはしたくない。すなわち表面硬化層の厚さは必要最小限度に常に正確ならしめる必要があつた。

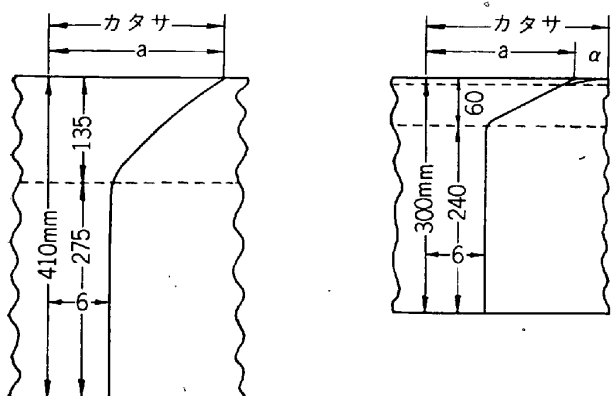
表面硬化作業は甲板製造上最も技術を要するもので、従来は前述したとおり、板の表面中心部に熱電対の尖端を当て、その温度と、急熱時間と板厚との実績曲線から板の取出し時期を決定するほか、板の表面数カ所に粘土でおおつた鋼製測熱筒を置き、これを順次取り出して、ウォーターピロメーターでその熱量を測定して、板面の温度を推定して、取出し時期の決定資料とした。したがつて全く経験による以外方法がなく、筆者が甲板工



第7図 測熱筒



第8図 表面焼入れに際する甲板の加熱方法



VH甲板 (410mm厚)

VC甲板 (300mm厚)

第9図 甲板厚さと硬度との関係

場に勤務した当時は、熟練者である半原工手以外、何人といえども表面焼入れ作業に際し、甲板を加熱炉から取出す時期の決定はできないことになっていた。これではまことに不都合で、半原工手が病気の時には作業を中止するという始末だったので、何かもつと学術的な方法と考へ出したのが第8表ならびに第8図に示すような方法であつた。後から考へれば、全く当たり前のことではあるが、当時は、全くこの方法が考案されたので、ようやく表面焼入れ作業が順調に進むようになったのであつて、この方法は海軍の秘密特許になつた。これを簡単に図によつて説明すると次のようになる。すなわち甲板の前後両端部の裏面から板厚の約2/3までドリルで穿孔しこれに熱電対の先端を装入密着させ、その温度を炉外で測定し、この接点温度が甲板材の変態温度に到達した時甲板を加熱炉から取り出して、急冷する方法である。かくすることにより板の表面部は鋼の変態点以上、裏面部

第8表 表面焼入れ作業

使用炉 ジーメンス(Siemens)反射炉 (チェッカー付) ガス加熱

炉内をあらかじめ1100°~1150°Cに加熱しておき、あらかじめ準備していたサンドプレート上に乗せた甲板を、台車に乗せて炉内に装入し、ガスにより炉壁、天井を焼いたその反射熱によつて、表面から急熱し、表面から板厚の30%に当たる部分が730°Cになつた時(この時の板の表面温度は約830°C)炉から取出し、板の表裏面に噴水を掛けて急冷する。

は変態点以下の温度であるから、これを水中急冷をすれば、表面全厚の約1/3は焼入れ組織となり、裏面部の全厚の残り2/3が本作業前の状態すなわち、強靱なソルバイト組織のままで残る。この方法は別段熟練工を必要としないので、甲板の表面焼入れ作業はきわめて簡単かつ確実となりどの甲板をとつても、できばえが均一になり1/3という従来にない厚さの表面硬化層をつくつても、弾丸の撃突に際しての甲板の破損するところは全くなり、甲板の防弾抗力は一段と向上し、かつ安定化した。

VC 甲板とVH 甲板との比較を板厚と断面硬度との関係曲線で表わすと第9図のようになる。

VC 甲板も VH 甲板も化学成分的には同じである。この種成分(高ニッケルクロム鋼)のものは、熱処理後の質量効果(mass effect)は実に良好で、甲板の厚さがこのように増大しても、裏面部と肉厚さ中心部との機械的性質の差違は、それほどひどくなく、本成分は全く厚甲板用としては適当であり、その点本成分を選定したピーカース社の技術陣に対して特段の敬意を表したのである。

ここに参考のため表面硬化甲板について、その熱処理に関するデータを一括して第9表とした。なおついでに検査方式、機械的試験規格など一括表示した。

2.5 舷側甲板および砲楯前板

VH甲板を使用した主な位置は、主舷側上部および砲塔、砲楯などである。主舷側は第6図に示したとおり上下部に分かれ、水線以上は410mm VH甲板、下部は200~50mmの傾斜甲板でNVNCを用いた。410mm板の取付け角度は<20°、200~50mmのNVNC傾斜甲板の取付け角度は<14°であつた。(傾斜甲板については後述する)。砲楯甲板で最も問題になつたのは前板である。前板は4枚からなり、主砲が3連装なので中央部の2枚は幅がきわめて狭く、わずか2.5口径しかなかつた。板の厚さは実に560mmであつた。これに対しての撃角は零度、すなわち弾丸は直撃と想定された。直径46mmもある大な被帽徹甲板弾が、直撃でわずか2.5口径の幅しかない甲板の中央に撃突した場合に、この弾丸を破碎反跳させ、しかも甲板を損傷することなく、次の弾丸の撃突を待ち受けうる状態に保つためには、板厚を思い切り厚くするか、あるいはまた、特殊な形状にするしか方法はない。このため鼻形甲板をも試作したが、結局は560mm厚さの平らなVH甲板に到着した。これは前述のVH甲板ができたため、どうやら目的の達成ができたのであつて、大和級戦艦用甲板としては、特記すべき事項の一つである。

第 9 表 軍艦大和級に使用された甲板の熱処理に関するデータならびに検査規格

熱 処 理	昇熱時間	加熱温度	加熱保持時間
空中冷却	22hr	860°C	20hr
水中冷却	18hr	650°C	16hr
	22hr	650°C	16hr
	18hr	670°C	20hr
油中焼入	22hr	850°C	20hr
曲り直し	18hr	700°C	22hr
水中冷却	20hr	650°C	18hr
	20hr	640°C	18hr
	20hr	640°C	16hr

表面焼入れ

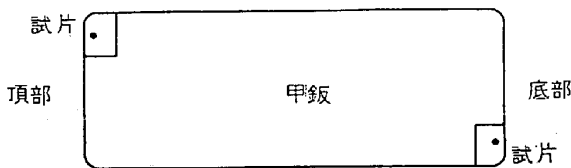
加熱炉：シーメンス型の蓄熱室を有する反射炉使用，発生炉瓦斯使用

鉄の前処理：焼入れ焼戻しの熱処理を完了した鉄を表面削りを施し，周辺を切断し，前後部に試験片に相当する部分だけを残しておく。

操 作：加熱炉をあらかじめ 1100°~1150°C に加熱し，第 8 図に示すとおり準備してある甲板をできる限り早急に加熱炉内の床に乗せ，加熱炉の台車を炉内に引き入れて，加熱し，裏面から挿入したパイロメーターが鋼の変態温度たる約 730°C になつた時，（この場合の表面温度は 850°C 位）甲板を取り出し，噴水装置（sprinkler）内で急激に冷却する。

検査方式

- a) 化学分析（取鍋試料による）
- b) 破断検査 熱処理終了後，鋼塊の頂，底両端部に相当する部分より，6~8 inch×15~25 inch の試料を瓦斯で切断して，中央に瓦斯切断面を入れ（ノッチ）水圧プレス下で破断して，その破断面検査を行なう。
破面は深灰緑色のファイブラス断面でなければならない。
表面硬化甲板については，表面硬化の深さが断面から測られる。なお抜取り検査として抜取り式に検査した破断面を研磨し，表面から裏面にかけて詳細な硬度曲線を取る（シヨアの硬度）



第 10 図 試験片採取位置図

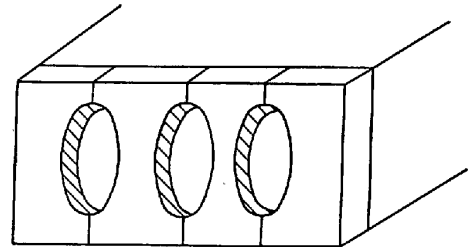
c) 機械的性質の試験

前記破面検査試験片から，次の機械的性質試験用試片が採取され試験に供される。

- 1) 牽引試験片 径 14.7 mm 長さ 25 mm
その規格は第 5 表に記した。
- 2) 衝撃試験片 アイゾッド規格
その規格は第 5 表に記した。
- 3) 大型衝撃試験片 200 mm を越える厚さの甲板については，25 mm 角で 2 mm 深さの V ノッチを入れた衝撃試験片が採取されて 30 kg m 能力のシャルピー（Charpy）試験機で試験される。衝撃値は 90 kg m/mm² 以上なること，またファイブラス組織（fibrous）なることを絶体条件とする。

d) 検鏡試験

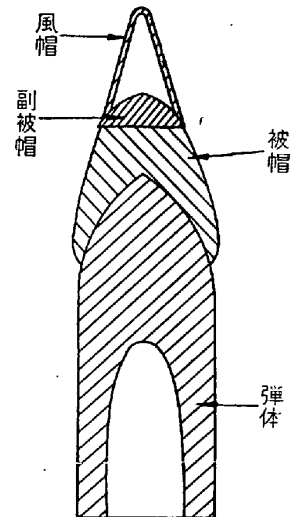
- 1) 均質甲板については均一なソルバイト（sorbite）組織なること。
- 2) 表面硬化甲板については表面はマルテンサイト（martensite）組織，裏面ならびに中心部はすべて均一なソルバイト（sorbite）組織なること。



第 11 図 砲楯前鉄の図

2.6 水平防御用厚甲板

従来は NVNC 甲板（ニッケルクロム鋼均質甲板）が使用されていたのであるが，新造艦においては，相手の弾丸がはなはだしく強力なので，一応撃角 55 度で最終撃速の弾丸に耐えうるといふ条件で研究された。新造艦用の弾丸を敵もまた所有しているとの想定であるのは勿論である。この弾丸は第 12 図に示すように，被帽が主被帽と副被帽とに分かれており，着弾によつて副被帽が飛び去り主被帽と弾丸本体とが一体となつた甲板に当たること



第 12 図 大口徑微甲弾の形状

を予想し，かつまた撃角が大きいので体当たりの形となるから，甲板は余程粘くなければ，折損してしまう。このため従来の NVNC 甲板では効果が足りないというので研究の結果，新たに MNC 甲板が案出された。これはモリブデン入りのニッケルクロム鋼で，それに特殊の熱処理を施したものであつて，その化学成分および機械的性質は第 4，5，6 表に示した通りである。なおその熱処理に関するデータを第 10 表に一括した。

本甲板は著しく靱性が大きしかも強力であつた。主として中甲板甲板，砲楯の天井鉄などに使用し，大口徑弾に対してのみならず，大型爆弾に対しても新威力を発揮

第 10 表 MNC 均質甲板の熱処理に関するデータ

熱処理	(1)	650°C	空中冷却
	(2)	850°C	油中焼入れ
	(3)	650°C	水中焼戻し
	(4)	650°C	水中焼戻し
	(5)	840°C	油中焼入れ
	(6)	690°C	曲り直し，水中焼戻し
	(7)	650°C	水中焼戻し
	(8)	150°C	水中焼戻し

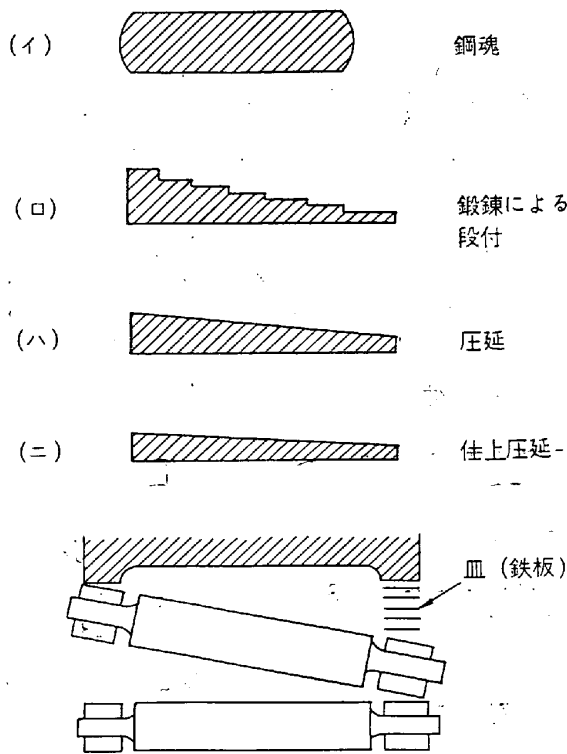
した。

2.7 下甲板防御用薄甲板

従来は NVNC 甲板が使用されていたのであるが、NVNC 甲板は弾性限が低く、大口徑の撃突による変形が大口過ぎ、また中小口径弾に対しても、平頭弾を受けた場合は変形があり過ぎて、容易に貫徹されることになるので、特に銅を加えて弾性限の向上を計つたのである。従来の NVNC 甲板鋼はニッケルを 4% も含有する。ニッケルは本邦に産出せず、多量の甲板の製造に際しては資源的に行きづまるので、これを銅で置換し、しかも機械的性質の向上を計つた含銅甲板は正に一石二鳥の名案で、これはわが海軍の秘密特許となり、これも画期的な発明であつた。これは CNC 甲板と名付けられた。その後ニッケルの入手難を考慮し板厚の小さいものに対しては含有ニッケル量を減じることとして、板厚ならびに用途に応じて CNC, CNC 1, CNC 2 など各種の甲板規格が制定された。これらの化学成分ならびにその機械的性質は第 4, 5, 6 表に示すとおりである。

2.8 傾斜甲板の製造

艦の重量を減じ、しかも防禦力を増大するためには、不要個所の板厚は極力減少しなければならない。このためたとえ舷側甲板でも上部水線上は厚く、下部水線下は薄く計画されたのである(第 6 図参照)。水線下でも下部に行くにつれて薄くするのが妥当であつて、従来はまず均一の厚さの板をつくり、これから不要部分を削つていたのであるが、これでは機械が沢山いるのみならず、工数、材料、経費などすべての点において不利であるので圧延に際して板をテーパ形に、整形することを考案した。すなわちまず鋼塊を水压机で横方向に大きな傾斜に段付鍛錬する(第 13 図参照)。次にロールの片側の軸受

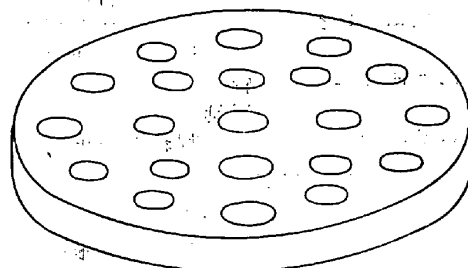


第13図 傾斜甲板の製造法

台の上に数枚の鉄板を重ねておき、毎回の圧延ごとにこの鉄板を1枚ずつ取り去ることによつて、毎回のロールの傾斜角度を変更して板を長さの方向に延ばす。この製造方法は圧延加工の際にはかなり面倒、かつ技術を要するのであるが、機械加工を行なわないですむので、費用は普通の平板とたいして変わらず、材料の損失はなく、きわめて能率のよい製造法であつた。この方法も新艦建造に当たつて採用され、艦の計画にはすくなからぬ利便を与えた。これも画期的な甲板製造法である。

2.9 蜂巢甲板の採用

大落角弾あるいは対空防禦能力の増大対策として考えられたものの一つに蜂巢甲板がある。すなわち煙突とか艙口とかいうものは空中に対しては無防禦に等しく、これに爆弾や徹甲弾が飛び込んだ場合は全く処置なしである。ことに煙突のように煙の吐出し口はこれを塞ぐことができない。それに対して考えられたのがいわゆる蜂巢甲板である。これは甲板に多数の穴をあけて通風に便ならしめ、しかも、弾丸や爆弾の侵徹を防禦しようとするものである。これがためには甲板材質が余程強靱でなければならぬ。幸いにして前記の MNC 甲板の発明と熱処理法の改善などによつて所期の目的を完遂しえたのであつて、これは新造艦技術の特長の一つである。



第14図 蜂巢甲板

附記 2 厚甲板射撃試験規格

当時の甲板製造に際し最も重要なのは、ピックアップされた領収甲板に弾丸を撃突させてその能力を試験するいわゆる射撃試験規格である。現在では何の益にも立たないであろうが、幸いノートにあつたので参考のため表にした。

第11表 厚甲板射撃試験規格

(イ) 垂直防禦				
板厚 (mm)	弾径 (cm)	撃角 (\angle)	FM(factor of merit)	
>410	45	30	1.4	
410~380	40	20	1.53	
379~165	36	20	1.53	
164~95	20	20	1.53	
94~75	15.5	20	1.53	
74~65	15.5	55	2.1	
64>	15.5	15	2.5	
(ロ) 水平防禦				
板厚 (mm)	弾径 (cm)	撃角 (\angle)	FM	
>200	45	55	2.1	
200~160	40	55	2.1	
195~95	36	55	2.1	
150~80	20	55	2.1	

100~65 15.5 55 2.1
 65> 15.5 65 2.5

備考 $FM = \frac{V}{Vd} \quad Vd = 1530 \frac{D^{0.75} T^{0.7}}{P^{0.5}}$

D=弾径(dm), T=板厚(dm), P=弾重(kg)

附記 3 VC 甲鉄と VH 甲鉄の射撃試験による比較ならびに VH 甲鉄が採用された主な理由

第12表 VC対VH甲鉄の射撃試験成績の比較

板厚さ (mm)	板種	撃角 (<°)	使用弾種	射撃速度 (m/sec)
427	VH	36.5	36 cm91型	520
"	VC	"	"	510
305	VH	20	36 cm91型	420
"	VC	"	"	395
330	VH	20	36 cm91型	445
"	VC	"	"	440
254	VH	55	40 cm91型	520
"	VC	"	"	520
150	VH	45	20 cm91型	550
"	VC	"	(変形)	565

VH 甲鉄の採用は主として次の種由によつたものである。

- 1) 燃料節約: 発生炉瓦斯製造用石炭の大幅な節約
- 2) 炭和用材料の使用中止: 木炭ならびに骨炭
- 3) 同一設備においての生産容量の増大
- 4) 製造所要時間の大幅な節減
- 5) より厚い甲鉄の再圧延の可能
- 6) 表面硬化後の表面ヒビ割れの防止

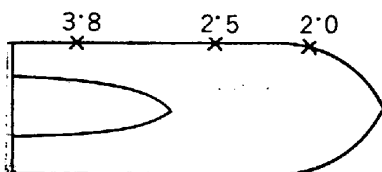
附記 4 大口徑徹甲弾製造法の変革史

甲鉄と弾丸とは矛と盾との関係と同じく、切つても切れない因果関係にあるもので、甲鉄の進歩は当時の弾丸を対象としなければ考えられない。弾丸に関して素人である筆者ではあるが、徹甲弾の製造技術は終戦前、極秘中の極秘であつた関係上、学界の誌上に発表されたものは皆無なので、自分の手元にあつたものを基本として、大口徑徹甲弾製造法の変革史をつくつてみた。あるいはまちがっている個所があるかもしれないが、ご容赦をいただきたく、もしできれば、どなたかにご修正をお願いしたい。

第13表 大口徑徹甲弾製造法の変革史

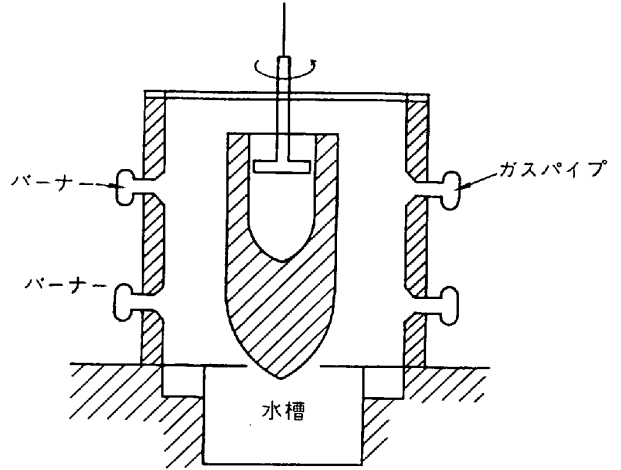
1914 呉工廠で徹甲弾の製造開始

溶解: 酸性手炉による。
 化学成分: C=0.68% Ni=1.9% Cr=1.8%
 旋削: 弾型鋼塊から旋削りおよび穿孔
 熱処理: 焼入れ法の実施: これにより弾丸の全長にわたる硬度変化が可能になつた。すなわち全弾丸を加熱後、弾底部は空冷し、弾頭部は 980°C のマッフル炉内におく。次に全体を油に入れて焼入れする。この場合の硬度は次のようになる。

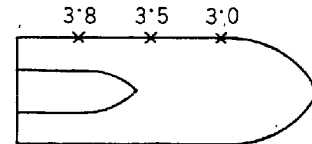


数値はブリネル球による圧痕の直径

- 1915 酸性操業が熔解法として採用された。
- 1918 鍛錬に際し穿孔法が採用された。
- 1919 熔解法として、塩基性電気炉操業が採用され、ま新たな分析成分が採用された。
C=0.70% Ni=2.5% Cr=2.5%
- 1921 転炉と酸性平炉の使用が中止された。
- 1922 新たな熱処理方法が研究されN.K.と称した。この方法により弾体の硬度変化が焼入れ後の焼戻しにより得られた。焼入れ設備は次の形である。



得られる硬度の例

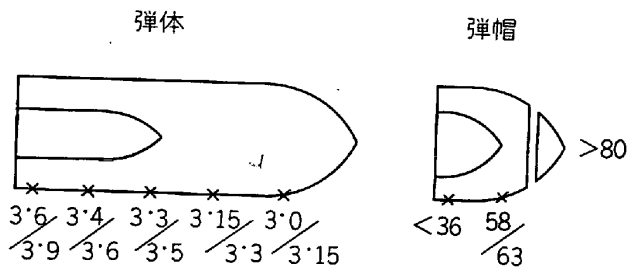


数値はブリネル球による圧痕の直径

1924 新たな成分 SL4 が制定された。

C	Si	Nm	P
0.45/0.55	<0.35	<0.45	<0.025
S	Ni	Cr	Mo
<0.025	3.5/4.0	0.6/1.0	0.5/0.8

- 1925 a) 弾帽に対し新熱処理法の採用
旧法: 弾帽の頂部のみ金属浴中に加熱。油中急冷、底部は焼鈍されノッチングに対し軟い。
新法: 弾帽全体を加熱後、頂部は水中急冷、底部は空冷、次に底部のみを焼戻す。
- b) 硬度の次のとおり定められる。



数値はブリネル球による圧痕の直径 (荷重 3000kg)

数値はショア-硬度

- 1927 弾幅と弾丸頂部との接着にハンダ付けが採用される。ハンダの成分は Bi, Sn, Pb
- 1931 カドミウムを含む新ハンダ採用。
- 1932 36cm弾と40cm弾の熱処理設備として、量産方式が採用され、同時に4個宛の弾丸が熱処理された。
- 1944 20cm 弾用として新化学成分が採用された。
- | | C | Si | Mn | P, S |
|---|-----------|---------|-----------|--------|
| 旧 | 0.55/0.65 | <0.35 | <0.45 | <0.025 |
| 新 | 0.45/0.55 | <0.35 | 0.8/1.2 | <0.025 |
| | Ni | Cr | Mo | |
| 旧 | 2.5/3.0 | 2.0/2.6 | — | |
| 新 | 1.5/2.0 | 2.0/2.6 | 0.25/0.55 | |

附記 5 大口径徹甲弾の製造方法

第14表 大口径徹甲弾の製造方法

1) 溶解

炉の型式: 電気炉エルー型 6t
 鋼塊: タテ型鋼塊, 一個宛鑄込む
 化学成分: C=0.45/0.55 Ni=3/4 Cr=0.5
 Mo=0.5~0.8

2) 鍛錬

鋼塊の頂部を切り棄てた後水圧機で穿孔。

3) 機械作業

4) 熱処理

- a) 加熱炉の円形の直立形で、炉の外周にバーナーがあり、都市ガスで加熱する。
- b) 850°Cに2~4hr加熱(弾径により異なる)後水中で冷却する。次に特殊形状の炉内で焼戻す。この場合弾頭の水槽中に入れておく。弾体の表面温度は680°Cから500°Cと場所により異なる。(680°Cは弾底部, 500°Cは弾肩部)。弾頂部は水中で冷却する。冷却に際しては水面も一定の速度で次第に下げていく。
- 弾頭は底部を焼入れした後、溶けた鉛浴中に入れて軽く焼戻す。

- 5) 熱処理後、すべてに対して硬度試験を行なう。規格は次のとおりであった。

