

強靱なる鋼鑄物に就て¹⁾

(日本鐵鋼協會 第9回講演大會講演)

ゼームス・エー・ラビツト²⁾藤原 唯 義³⁾

原價の低廉と、製品の優良といふ事は製造業者が常に最も考慮を拂ふ問題である。殊に現下の状態に於ては一層この感を深くする。この理由に基き鋼鑄物の使用者は少量のニッケルを添加して其強靱性を改善せる鋼鑄物を歓迎して居る。

普通の鋼鑄物は之を鑄鐵に比すれば成程優つて居るが、比較的弱く且衝撃及疲勞抵抗が低いため需要者は尙不滿を感じて居る。尤も之等の缺點は焼鈍すれば或程度迄補ひ得るが之に加ふるに規定の熱處理を行へば一層改善する事が出来る。然し尙最善結果を得んが爲めにはニッケルを使用せる合金鋼鑄物を熱處理する事である。

嚴格に言へば鋼鑄物は古くから知られて居たものであるが、明治の末期に及び主に政府の需要に依つて始めて顯しく需要高が増加した。世界戦争は鋼鑄物の要需を急激に増加せしめたが、其増加高を見るに主として合金鋼鑄物である。其結果合金鋼鑄物は今や市場に確然たる地歩を占むるに至つた。斯る鑄物はニッケル及クロームの添加を主として居るが若干のヴァナヂウム及極く少量のモリブデンも用ひられて居る。

各種元素が鋼鑄物に及ぼす効果

ニッケルは最古くより又最廣く鋼鑄物の改善に用ひられた元素であるが鑄物に及ぼす効果は下記の通り火造及壓延せるものと同様である。

(a) 鋼を強靱ならしめる。(b) 耐疲勞性及衝撃値を高める。(c) 鋼を硬化すると共に他の合金元素の効果を一層顯著ならしめる。(d) 結晶粒子を細かくする。(e) 析出を少からしめる。(f) クロームと併用して最上の効果を與へる。

クロームを單獨に添加すれば鋼を硬くし且強からしめるが、同時に若干脆くする。然し之にニッケルを併用すれば兩元素は互に相援け相補ひ鋼の強度、靱性を増加せしめると同時に硬度を高め且衝撃値及耐疲勞性を優良ならしめる。

ニッケルクローム鋼は其方面に比類なき良結果を與ふる所のニッケル鋼と同等の膚硬性を保有する。永年の經驗上最良の成績を擧げる爲めにはニッケルとクロームの配合はニッケル2若くは21/2に對しクローム1と定められた。

特殊の目的に對し或特殊の性質を得んが爲めにニッケルクローム鋼に僅少のヴァナヂウム或はモリブデンを添加する場合があるが之は寧ろ例外と見て差支へない。マンガンも亦特殊の性質を得る爲めに用ひられる高マンガン鋼(マンガン12%)

1) 本論文は米國インターナショナルニッケル會社研究部に於て爲されたる研究を基礎として作成せるものなり

2) 日本ニッケル情報局アドバイザー

3) 日本ニッケル情報局技師

が特殊の用途に重用されて居る事は周知の事である。然し之をニッケルと併用すれば1乃至1 1/2%のマンガンを鋼の強度と硬度とを増し優秀なる結果が得られる。

合金鑄鋼の規格

以上略述した合金鑄鋼は普通下記の如き成分を有する。

	3% Ni	Ni Cr	Ni Mn
炭素	任意	任意	任意
マンガン	0.40—0.70	0.40—0.70	0.90—1.50
珪素	0.15—0.40	0.15—0.40	0.15—0.40
燐	0.05 以下	0.05 以下	0.05 以下
硫黄	0.05 以下	0.05 以下	0.05 以下
ニッケル	2.50—3.50	1.50—2.50	1.20—1.75
クローム	—	0.50—1.25	—

以上の成分は大體の目標を示すに止り、実際には鑄物の目的用途に應じて成分を變へなければならぬ。特に炭素量の如きは通例・25%乃至・35%の範圍を適宜に變化させるもので強さと硬さとを大ならしむる場合には炭素量を多くし、延性と靱性を要求する場合には之を少からしめる。

ニッケル合金鑄鋼の經濟價值は決して實際の生産費丈で何圓何錢と斷定する事は不可能である。最重要なる事は高級鑄物としての聲價を發揮せしむる事及重量輕減に依る經費の節約を行ふ事である。現代鑄造界の趨勢は鑄物の過重を避け、必要量を出でぬ材料を以て強靱、且つ能く衝擊に抵抗する鑄物を求めんとして居る。

「安物買ひの錢失ひ」との諺は眞理である。高い代價を投じても良品を得れば結局益する處が多い。今ニッケル合金鋼に就て之を見るにその價格はさして高からず而も非常に激しい仕事に耐へ得る事が認められるニッケル及ニッケルクローム鋼鑄物は普通炭素鋼鑄物に比して格段の強さを有する故殆どあらゆる種類の鑄物に於て普通炭素鑄物より約40%丈材料を節約し得る。従つてニッケル

合金鋼の材料及其熱處理による費用増加を加算しても尙全經費に於て約10%の節減を見る事が出来る勿論以上の外に運賃を切下げ、修繕費を省き且つ前述せる如く使用者の好評を得る等の點に於て少からざる經濟價值がある。

經 費

今極く代表的の例を示せば低炭素鑄鋼製齒車の重量は約33kgで1kg當り22錢である。若し之をニッケルクローム鋼で作る時は1kg當り27.5錢となり價格に於て25%を増加せしめるが製品の強さは少くとも倍加される。而も合金鋼鑄物は往々にして40%も鑄物の重量を輕減せしめ得る事は前述の通りである。結局此材料費の節減はコスト25%の増加を覆ふて餘りあるのである。

鑄鋼品を以て鍛造品の代用を爲さしむ

ニッケル鋼鑄物の利用は盛になつたのは一に其鍛造物に依つて與へられた優秀なる成績に鑑みて爲されたに外ならぬ。一方鑄造法の進歩發達はニッケル鋼鑄物の利用と相俟つて一般鍛鋼品の代用を爲さしめんとし得る域迄達したのである。

優良なるサウンドニッケル鋼鑄物は屢々鍛造物に優る事がある。例へば鍛造作業が完全に行はれざりし場合の如きは寧ろ鑄物の方が優つてゐる。Giolitti氏は同氏の著書に於てイタリー國軍隊に使用されてゐる武器で相當高價な鍛造品を2%ニッケル鋼鑄物で代用し立派な成績を擧げた實例の幾つかを示して居る。

ニッケル鋼鑄物に依て示された品質の優良さは之等合金鋼鑄物が自動車工業に利用せらるゝに至つた端を發した。即ちアクスル ハウジングデフアレンシヤル スパイダー・ブラケット其他大

なる荷重を受くる部分品は屢々ニッケル合金鋼鑄物で作られる様になつた。尙材料の強さよりも寧ろ剛性を必要條件とするコネクティング ロッド又はフロントアクスル等に此ニッケル合金鋼を利用しつゝある事は注目に値する。

農場用機具としては特にトラクターの部分品即ちシユール、ドライブスプロツケツト、トラックチェーン、軌道用部分品等にニッケルクローム鋼が利用されてゐる。或トラクターシユールの製造者は次の様な成分を有するニッケルクローム鋼を使用してゐる。

炭素 0.35%、ニッケル 1.00%、クローム 0.60% を含有し空中冷却後焼戻を行へるもの、強度は次の通りである。

弾性限 69kg/mm^2 抗張力 88kg/mm^2 延伸率 16.5% 絞搾率 38% ブリネル硬度 222

此製品は薄き部分にも良く熱処理が利くといふ適例を示してゐる。

機關車：—ニッケル合金鋼は運搬用品として著しい用途がある。現今機關車フレームにニッケル合金鋼が用ひられる様になつてから機關車の重量は著しく軽減せらるゝに至つた。之言ふ迄もなく機關車の牽引能力を増大する上に極めて重大要素たる可きものである。殊に日本の如く狭軌を採用する國では一層この感を深ふする。ニッケル鋼が機關車フレームとして成功した所以は、低炭素 2%ニッケル鋼の靱性及衝撃値が頗る高く且其強度も炭素鋼を凌ぐものある爲めである。炭素 0.18%を含む 2%ニッケル鋼フレームの平均材力試験成績は次の通りである。

抗張力 55kg/mm^2 降伏點 34kg/mm^2 弾性比 61.0% 延伸率 (5 cm) 30.4% 絞搾率 55.8%

ブリネル硬度 145 アイゾット衝撃値 7.2 kg/m ニッケル鋼は 18 節の表に記載する様な大なる強度を有する故近來機關車構造用ホイールセンター、シリンダー、ブラケット、ドライビングボックス等、フレーム以外の鑄造物にも用ひられる様になつた。之が爲鑄物の大き及重量は、材料の強さに餘剰を生ずる爲 15% も軽減されるに至つた。即ち鑄物にニッケル合金鋼を用ふるときは炭素鋼鑄物と同一價格で之よりも軽く更に強い鑄物を得る事が出来る。

ニッケルクローム鋼は、スキッチブロッグ、クロスオーバーの如く間斷なく車輪の衝撃が繰返され劇しい作用を受ける鐵道用品に使用されて良好な成績を擧げて居る。

第 20 節に述ぶる如き目的に用ひられる鋼の成分は次の通りである。

炭素 0.49% ニッケル 2.86%
クローム 0.84%

低温空氣冷却 (空氣焼入とも言ふ) 及焼戻を行ふ。試験成績は平均弾性限 47kg/mm^2 抗張力 76kg/mm^2 延伸率 16.6%、絞搾率 26%、ブリネル硬度 219、

鐵道軌條用品、ボールミル等の如く、ハンマリング作用の爲めに硬度と磨耗抵抗とを同時に望む場合には Hadfield マンガン鋼の如き成分を採るがよい。然し磨滅のみを考慮する研削機、混砂水揚用セントリフューガルポンプ等の如く特に高速度に運轉する機械部分品に就てはニッケルクローム鋼鑄物を推奨する。之は在來のマンガン鋼の代りに銅鑄破砕機のロール及スリーブ等に利用して好成績を揚げて居る。高炭素ニッケルクローム鋼鑄物は顎表面を硬化すればクラッシュャージョー

として最良く利用する事が出来る。

第 22 節に記載せる灰搔シヨベルに用ひた鋼の代表的成分は次の通りである。

炭 素 0.70% ニッケル 1.33%

クローム 1.33%

本鋼の試験成績は次の通り

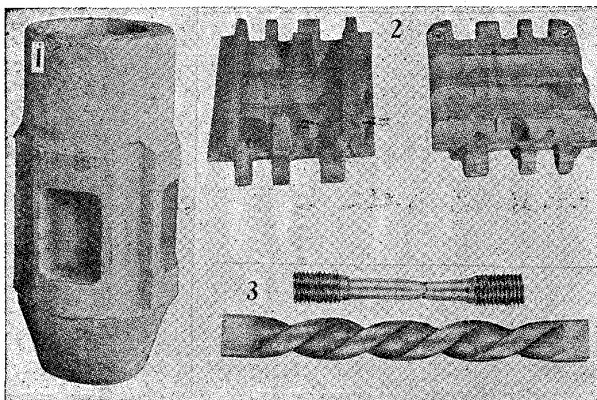
弾性限界 108kg/mm^2 抗張力 115kg/mm^2

延伸率 10% 絞搾率 12% ブリンネル硬度

500

注意 必要硬度を得る爲敢て延性と靱性とを犠牲に供した。

第 1 圖



寫眞 1. 油井浚渫機 熱處理せるニッケルクロム鋼
 $\text{Ni}=1.5\%$ $\text{C}=0.40\%$ $\text{Cr}=0.6\%$

寫眞 2. トラクター シュー ニッケルクロム鋼
 $\text{C}=0.35\%$ $\text{Ni}=1.5\%$ $\text{Cr}=0.60\%$

熱處理せるものは 88kg/mm^2 の抗張力を興へてゐる。

寫眞 3. 熱處理ニッケルクロム鑄鋼の常温振り引張試験片 抗張力 86kg/mm^2 弾性限界 53kg/mm^2
延伸率 (破斷直前) 25%

上記成分の鋼を截炭機に用ひて立派な成績を収めた。截炭機は截刃の付いた鎖を運轉するもので此鎖及之を運轉するスプロケツトは石炭及頁岩を截る爲めに大いなる應力を受くるばかりでなく著しく磨耗される。此の種の用途に對しては、25%ニッケル鋼の表面硬化せるものを推奨する。

ニッケルクロム鋼は、鑄造の容易さと加工に適合して居る點で多くの場合、高滿俺鋼よりも寧

ろ經濟的である。高滿俺鋼は機械に掛け得ざる故精密に仕上ぐるためには研削を必要とする。

高壓及過熱蒸汽

動力室の現況は高度の過熱蒸汽壓を用ひんとする趨勢に在るが此方面にもニッケルクロム鋼は多大の成果を齎らし需要の増加を見て居る。或動力室の如きは 840kg/mm^2 にも及ぶ蒸氣壓を使用する爲め、必然的にパイプ用具、ヴァルヴ等にニッケル・クロム鋼を用ひて居る。此材料の高熱試験成績は下記の通りである。

400°C に於て

弾性限界 47kg/mm^2 結局抗張力 58kg/mm^2

延伸率 23% 絞搾率 49%

此鋼の同温度に於ける強さは常温に於ける普通炭素鑄鋼の 2 倍以上に相當する事は注目に値する。已ならず腐蝕及浸蝕に對する抵抗も炭素鋼に比すれば著しく優れて居る。

上述のヴァルヴは、精油用にも利用され且つ下記状況の下に試験を行つたが漏洩の徴候さへなかつた。

壓力 560gr/mm^2 温度 540°C

此温度に於ける鋼は赤熱状態に在るけれども尙 35kg/mm^2 以上の弾性限界を保有して居た。

傳導齒車類にニッケル合金鋼を使用すれば經濟的である。此ニッケル鋼を使用すれば高價の鍛鋼製ギヤが鑄物を以て代用出来るから一層經濟的となる譯である。ニッケル合金鋼で大體の型に鑄造する事が出来るから仕上加工丈すれば済む。

衝撃及疲労が加はる齒車類には是非ニッケルクロム鑄鋼を使用する必要がある。熱處理せるニッケルクロム鑄鋼齒車は壽命長く且つ強さも鍛鋼齒車に匹敵し而も之より著しく低廉である。

以上の外ニッケルクローム鋼鑄物の重要な用途は、壓延機のピニオンとカツプリング、ボックス等である。此等の部分品は上下ロールに動力を傳へると同時に非常な壓力と衝撃とを受ける此の作用は特に大分塊ロールが全速度で逆回轉するとき に於て甚だしい。

合金鋼の機械的性質

鋼の機械的性質を左右する要素は多種多様に亘る爲め此の各々の場合に就いて之を論ずる事は難事である。今其主なる要素を挙げれば次の通りである。

- (a) 鑄物の大きさ (b) メタルの状態 (c) 熱處理 (d) 合金元素、特に炭素含有量の變化 (e) 所要の強度及硬度 (f) 靱性 (g) 價格

特殊な用途に供する適當な鋼を撰擇する爲めには次の如き指針に従へばよい。

- (a) 大なる強さと硬さを望む場合にはニッケルとクロームとの合金鋼を採用する。
- (b) 弱い衝撃力のみを望む場合にはニッケル合金鋼により満足する結果が與へられる。
- (c) 價格低廉にして高き抗張性を必要とするものにはニッケル滿俺鋼を使用すれば好結果が得らる。

次の表は各種鋼の機械的性質を示し其値は普通の狀況で容易に得られる平均値にして炭素含有量 0.30% 乃至 0.40% の焼鈍鋼を基準としたものである。

	彈性限 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 %	絞搾率 %
炭素鋼	18—25	38—46	20—25	30—35
高炭素鋼	20—28	45—50	15—20	25—30
3% ニッケル鋼	38—46	60—63	23—28	33—38
ニッケルクローム鋼	38—46	63—70	18—28	28—33
ニッケル滿俺鋼	35—42	56—63	18—23	28—33

鋼を熱處理すれば上記の機械的諸性質は夫々其の數値の割合に増加する。

合金の添加法

ニッケル添加法は鹽基性法、酸性法の如何に關らず、平爐に於ても電氣爐に於ても極めて容易である。

普通押湯又は鑄物屑等のニッケル鋼スクラップの適量を原裝入物中に加へる、斯くしてこの合金鑄物中のニッケルを回収するのである。

裝入物中のニッケル含有量を所要量に達せしむるには新に金屬ニッケルを添加する事が必要である。而してこれは日本市場に於て得られる生子型ニッケル、電解ニッケル、粒狀ニッケルの何れかを用ひても宜しい。

このニッケルは酸化の爲めに損失せられぬ故加熱中何時添加しても宜しい。然し乍ら充分鋼中に擴散せしむるには少くとも湯出しの 30 分前にニッケルを熔鋼中に投入する事が望ましい。

ニッケル合金鋼は標準製鋼法の何れに依つても製造される。鑄造用ニッケル合金鋼は普通平爐或は電氣爐の何れにても製造されるが多少坩堝爐からも産出される。然し電氣爐法が益々盛になる傾向は見える。現に日本の實例に徴するも 1923 年より 1930 年までの 7 年間に電氣爐鋼は 768% の増額を示して居る。¹⁾

平爐法では酸性法が鹽基性法よりも遙かに優つて居るが電氣爐に於ては酸性法の製品の方が優れて居るか如何かは疑問である。然し操作が比較的容易で且つ迅速である點からしても²⁾ 亦鋼滓の

¹⁾ 日本ニッケル情報局編輯パンフレット「ニッケル及ニッケルクローム鋼製造用電氣爐」No. C-2.

²⁾ The Iron Age. 1922 年 9 月號所載 L. J. Barton 氏「電氣爐製合金鑄鋼」
Trans. A. S. S. T. 1924 年 4 月號所載
L. J. Barton 氏「一般鑄物用酸性電氣爐鋼の製造」

粘性如何から見ても、酸性法の方が實用的と考へられる。之電氣鋼中酸性電氣爐鋼が最大の産額を占める所以であらう。

クロームは添加せる後酸化して損失を生ずる故其添加法はニッケルよりは難かしい、故に容易に且つ正確なる結果を得るには少しく経験を必要とする。

平爐の場合、クロームを含むスクラップを爐に投ずれば鋼が全く熔解する迄にクロームの大部分は酸化して消失する。

望み通りのクローム含有量を得るには、普通 60%乃至 70%のクロームを含み且つ炭素含有量に依りて 3種に分類されて居るフェロクロームの所要量を製鍊の終りに投入する。

平爐にクロームを添加する場合は酸化損失を見越す必要がある。損失量は経験に依らなければ判らないが普通 5%—25%である。

電氣爐では此の酸化損失が極めて僅少な爲、適當に爐の操業を行ふ時は損失量を無視し得る程度に減少せしめ得る。

クロームは鋼滓の粘性を増し操作を幾分困難ならしめるが熟練した熔鋼係員は斯かる場合の對策を良く心得て居る。

合金鑄物の主要なる目的は、壓延又は鍛鍊せる鋼と同等の性質を得るにある。

而して合金鋼鑄物の組織を鍛鍊又は壓延された鋼と同等のものに爲さんとするには熱處理を行ふ事が絶対に必要である。それ故合金鋼鑄物を作る場合には必ず熱處理を行はなければならぬ。

合金鋼に熱處理を行ふ事は其加工度を良くする上に非常なる効果を有するもので例へば熱處理を行はざるものでは一回の研磨で 2—3 個しか仕上

げ出来ぬものが熱處理を行ふときは一回の研磨で 40—60 個を仕上げ得ると稱せられて居る。

上記の如き結果よりして直接の影響として單に工具の壽命を長くすると言ふのみでなく生産額を 30% も増加せしむるのである。

燒鈍調質法

合金鋼の古い熱處理法では鋼を變態域より少し高い溫度で燒鈍し、然る後爐或は燒鈍爐中で緩漫に冷却せしむればよかつた。

進歩せる鑄造工場では、舊式方法を棄て、燒鈍調質法を採用して居る。

小型鑄物及簡単な鑄物を燒鈍調質する溫度は 840°C 乃至 925°C であるが時には 980°C にも溫度を高める事がある。

本調質操作が完全に行はるゝならば上記の溫度で鑄放しの粗い組織は破壊され之に代つて均齊組織が出来る。中炭素鋼の場合はパーライトとフェライトが密接に混合した均齊組織が得らる。

鑄物は第一次加熱後かなりの急速冷却を行ひ次いで 540°C 乃至 700°C に焼戻するのである。之は結晶粒子を微細化し且つ冷却に伴ふ内力を逃す爲めである。

或冶金の大家は變態域を急速に冷却し後常溫迄緩漫に冷却すればよいと言ふて居るが之は再加熱の手續を省く爲めである。

歪や、龜裂等を生じ易い、大型鑄物並に込み入つた型の鑄物に對する最良の燒鈍調質は次の通りである。

840°C 乃至 925°C 迄緩漫に加熱し、然る後之を數時間爐中で保熱する。

而して之を爐より取出して空氣中で常溫迄冷却せしめ、更に又徐々に數時間加熱し 540°C 乃至

700°C に至らしむ。

540°C 乃至 700°C に再加熱後は、緩漫、急激何れの冷却法を採つても差支ないが、冷却を速くすれば好成績が得らる。

時に最終冷却の場合に焼入を行ふ事がある。

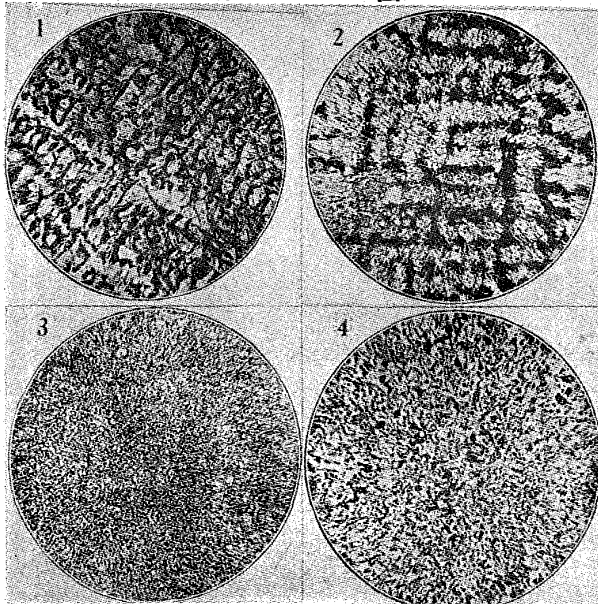
小型鑄物の焼入

龜裂及屈撓の惧れなき小型鑄物及簡単な鑄物は最初の加熱温度 (840 乃至 925°C) より水又は油中に焼入れを行ひ 然る後 540 乃至 700°C に加熱するのである。

此操作中焼入後全く冷却せざる中に鑄物を再熱爐に入れれば龜裂を生ずる傾向を減少せしむる事が出来る。

普通鑄物の機械的性質は油焼入及再加熱處理に依り著しく向上せらるゝものなるが又第 44 節及 45 節に略述せる如き 焼鈍調質法は下に示す如き効果を齎すものである。

第 2 圖



- 1. ニッケル鑄鋼熱處理前の檢鏡寫眞 ×37
- 2. ニッケル鑄鋼焼鈍後の檢鏡寫眞 ×40
- 3. ニッケル鑄鋼焼鈍及空中焼入後檢鏡寫眞 ×40
- 4. 3 の試験片焼戻後の檢鏡寫眞 ×40

(1) 事實上破損を來たす事なし。

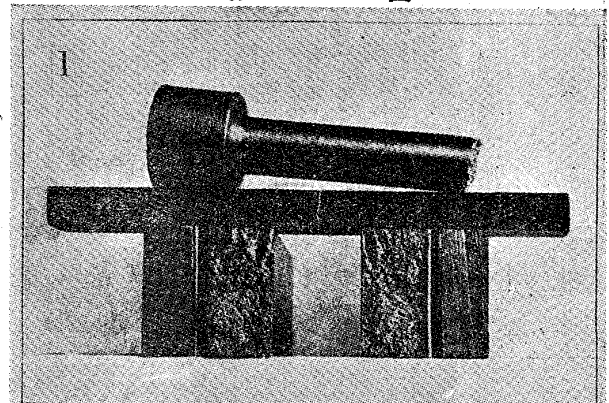
(2) 屈撓度が極めて少い。

(3) 方法簡單なる爲舊式の焼鈍法よりも操作の時間と經費とが節減される。

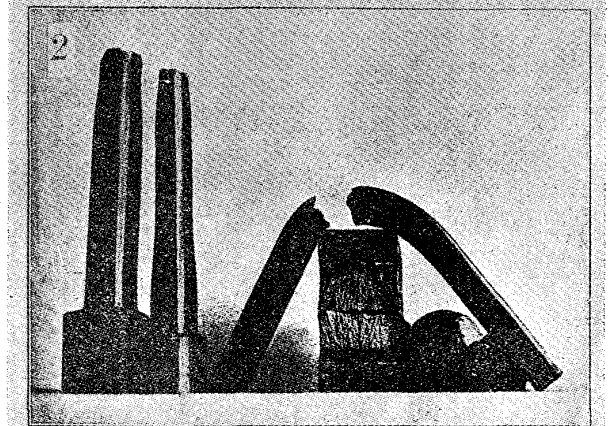
(4) 此處理法は現今大型鍛造物に適用されてゐる。

第 2 圖に示す檢鏡寫眞 (1—4) は Giolitti 博

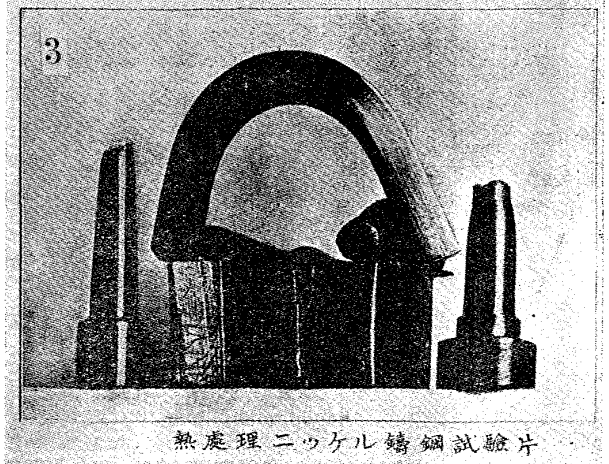
第 3 圖



熱處理前のニッケル鑄鋼試験片



焼鈍ニッケル鑄鋼試験片



熱處理ニッケル鑄鋼試験片

軟ニッケル鋼鑄物の試験成績表

分 析 表				靜的抗張試験				衝撃試験		弾復性	
C	0.26	Ni	1.76	弾性 限界 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 %	絞挫率 %	衝撃抗 張力 kg-m	衝撃延 伸率 %	シャビー kg-m/cm ²	屈撓 試験
Mn	0.90	S	0.02								
Si	0.18	P	0.04	熱 處 理							
No. 1.	800°Cに4時間加熱したる 後空中にて1時間を要して 充分冷却せるもの			40	18	15.0	14.4	106	12	5.1	良好
No. 2.	第1法を行ひたる後700°C に1時間焼戻し後6時間を 要し冷却せるもの			37	61	21.0	22.5	117	27	7.5	良好
No. 3.	800°Cに4時間加熱し後爐 中にて18時間冷却せるも の			37	65	28.5	39.3	145	35	8.22	良好
No. 4.	第3法の如く加熱、冷却を 行ひ後700°Cに1時間焼戻 し緩慢冷却(6時間)す			37	64	33.0	52.8	142	33	9.31	良好
No. 5.	比較の爲鑄物を鍛錬と熱處 理を施したる試験片				70	17.0					

士の著書「軟鋼及中軟鋼」中より採擇せるものであるが各ステーチに於ける熱處理の効果が最良く示されてゐる。

第3圖 1—3 に示す試験片の寫眞はニッケル鋼を熱處理せる場合如何に優秀なる結果が得らるゝかを示すものである。寫眞に於て明なる如く鑄放しの儘の試験片は屈曲を受けた時眞直の儘で折れてゐるが焼鈍後は 90°C の屈曲を行ふて始めて折れ又熱處理を行へる物は 160°C 屈曲しても尙破碎せざるを見るのである。

衝 撃 値

次の表は熱處理せる鑄物の試験成績を示すもので Giolitti¹⁾ 博士の著書より摘録せるものであ

る。

本表中の衝撃値は最重要である。即ち試験値の眞の意味を知る爲めには抗張試験に於ては衝撃値を考慮に入れねばならぬからである。

ニッケルを種々の割合で他のメタルに添加すれば、新性質を生ずるから如何なる用途にも適せしめ得る。或場合には強さの増加を望む事もあらふし又大なる靱性を望む事もあらふ。又他方腐蝕抵抗を必要とする事も亦以上三者を兼ね備へしめんとする事もある。或は主として外觀の美を望む事もある、が如何なる場合でも冶金技術者は、醫師の治療に於ける場合の如く各々の場合に應じ處法箋を書く事になつてゐる。

¹⁾ 著書「Heat Treatment of Soft and Medium Steel」中より抜萃