

鹽浴焼入に関する研究

(日本鐵鋼協會第 21 回講演大會講演 昭和 14 年 4 月)

阿部三郎*

A STUDY ON THE SALT BATH QUENCHING.

Saburo Abe.

SYNOPSIS:—The heat treatment, which consists of quenching steel from a temperature well over the critical into a salt bath at a temperature between 180 and 400°C and holding it there until it is completely transformed, has aroused considerable interest, because the steel subjected to such heat treatment has a better toughness at a high hardness than that found in the same steel quenched into oil and tempered to the same hardness.

The data so far published by E. C. Bain and E. S. Davenport have referred only to plain carbon steel. The author investigated the effects of various alloy elements, bath temperature and holding time in a salt bath on the effectiveness of this heat treatment. Steels selected for this investigation are carbon steels and alloy steels with contents as shown in the following table.

C steel	C 0.5~1.3%
Cr steel	C 0.7%, Cr 1.0~3.0%
Ni steel	C 0.7%, Ni 1.0~3.0%
Ni-Cr steel	C 0.3~0.7%, Ni 3.0%, Cr 0.5%
Ni-Cr-Mo steel	C 0.3~0.7%, Ni 3.0%, Cr 0.5%, Mo 0.5%

The results of the investigation are outlined below:—

(1) This treatment is very effective for C steels of about 0.7~0.9% C, Cr steels of about 0.7% C, Ni-Cr steels and Ni-Cr-Mo steels of 0.3% C. It is not however, effective for Ni steels of about 0.7% C, Ni-Cr steels and Ni-Cr-Mo steels of about 0.7% C.

(2) The holding time in the salt bath and its temperature are correlative, and it is desirable to hold them in salt bath until the austenite is completely transformed.

(3) In their discussion of the superior toughness of salt-bath-quenched plain carbon steel when compared with oil-quenched samples tempered to the same hardness, Davenport and Bain refer to the presence of micro-cracks in the oil quenched pieces as the probable cause of their inferior toughness.

According to the author's experiments, however, no crack is found in the oil quenched pieces of these alloy steels. The author believes that the superior toughness of the salt-bath-quenched samples is due to the micro-structure which is different from that of steel quenched into oil, and also to the lower stress of transformation.

目次

I 緒言 II 鹽浴に就て. III 試料. IV 實驗結果.

- (A) 各種元素の影響
- (B) 鹽浴中浸漬時間の影響
- (C) 鹽浴焼入せるものを更に焼戻す場合に於ける衝撃値の變化

V 實驗結果に對する考察. VI 總括.

I 緒言

熔融點の低い熔融金屬及鹽浴中^{1) 2) 3) 4) 5) 6) 7) 8)}に焼入し或

は冷却效果の小なる乳化油中⁹⁾に焼入する如き熱處理法は可成り古くから研究せられて居るから、その目的とするところは一回の操作でトルスタイト乃至ソルバイト組織を得るためか、或は焼割を防止するために過ぎなかつた様である。

最近アメリカの Davenport 及 Bain¹⁰⁾の兩氏は炭素量 0.70% の炭素鋼を適當な溫度の鹽浴中に焼入し、この中に或る一定時間浸漬して後冷却せるものは、或る硬度値の範圍に於て油焼入戻せるこれと同一硬度値のものより著しく靱性の大なることを報じて居る。

然し未だ炭素及他の特殊元素、鹽浴の溫度並に鹽浴中浸漬時間等の鹽浴焼入の効果に及ぼす影響に就ての研究報告が全く見當らない。

* 日本製鋼所室蘭製作所

1) Oknoff: Rev. Metal, 22 (1925), Extrats 175

2) 本多, 田丸: 金屬の研究 1927, 第 4 卷

3) Robertson: J. I. & S. I. 1927, Vol. 119

4) Lewis: J. I. & S. I. 1929, Vol. 119

5) Davenport & Bain: A. I. M. E. Iron and steel div. 1930

6) Diergarten: Metal prog. March, 1933

7) Daasch: Metal prog. November, 1933

8) Hughes & Dowdell: A. S. S. T. 1934, XXII

9) 松繩, 鈴木: 機械學會誌 1933, 第 36 卷

10) Davenport & Bain: A. S. S. T. 1934, XXII,

依て著者はこれ等に就て實驗を行た。

II 鹽浴に就て

實驗に使用せる鹽浴は、亞硝酸曹達 $Na NO_2$ 及硝酸加里 KNO_3 の混合鹽で、この状態圖は未だ充分に研究されて居ないが、重量比約 45% : 55% のものは鹽浴として 150~400°C の溫度範圍に使用し得る如く記載¹¹⁾されて居るので、茲ではこの配合のものを採用した。

混合鹽の坩堝には軟鋼を用ひ、電氣爐で熔解した。この鹽浴を夫々 180, 200, 250, 300, 350 及 400°C の各溫度に加熱して保持し、この中に 850°C より焼入せる場合の冷却速度を測定した。冷却速度を求める方法は色々あるが、茲では佐藤式自記焼入¹²⁾試驗器を用ひた。試片は變態點のない $Ni \cdot Cr$ 合金で 5mm 直径 70mm の長さであった。

第 1 圖はこれ等の測定結果にして、鹽浴の溫度の上昇するに従て冷却速度は減少する。これは鹽浴の溫度と焼入溫度との差が次第に減少する以外に、鹽浴の溫度の上昇に伴ひ、次第に氣化し易くなることに起因するものである。

尙第 1 圖に 850°C より靜止せる 25°C の種油中及 830

°C から靜止せる 320°C の水中に焼入せる場合の冷却速度をも示して置いた。

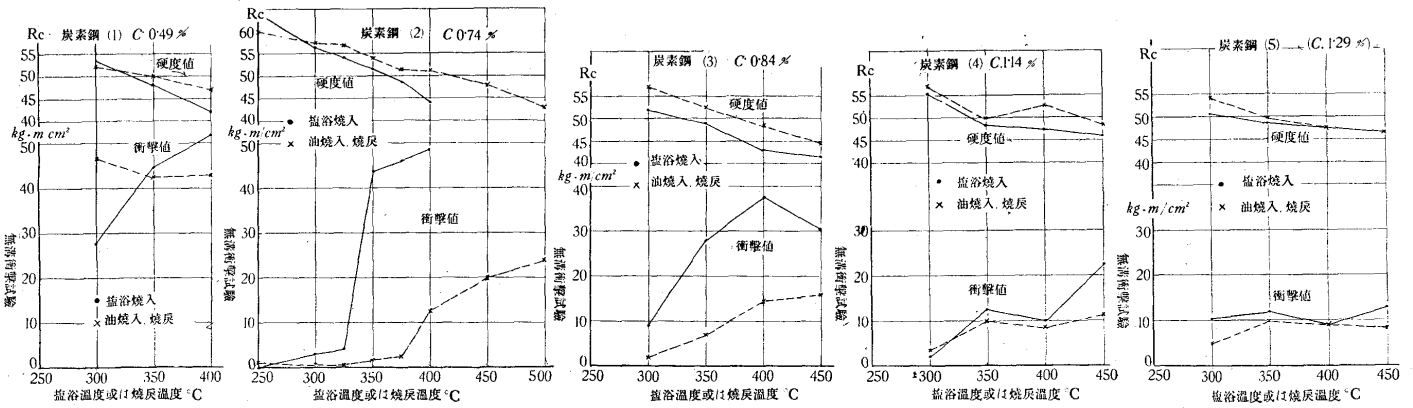
第 1 圖に於て鹽浴、水及種油中に焼入せる各場合の冷却速度を比較して見るに、鹽浴は 400°C の溫度の場合を除いては 800°C から 600°C 位までの冷却速度は水及種油のそれより著しく大であり 600°C 以下の溫度に於ける冷却速度は逆に水よりは勿論種油よりも小である。

焼入冷却劑としては 800°C から 600°C 位までの冷却速度が出来る丈大きく 600°C 以下に於ける冷却速度が成可く小なるものが理想的と普通考へられて居る。焼入冷却劑として油が水より優るのは 600°C 以下の溫度に於ける冷却速度が著しく小であり、從て變態歪が小なることによるは今更述べるまでもないことである。

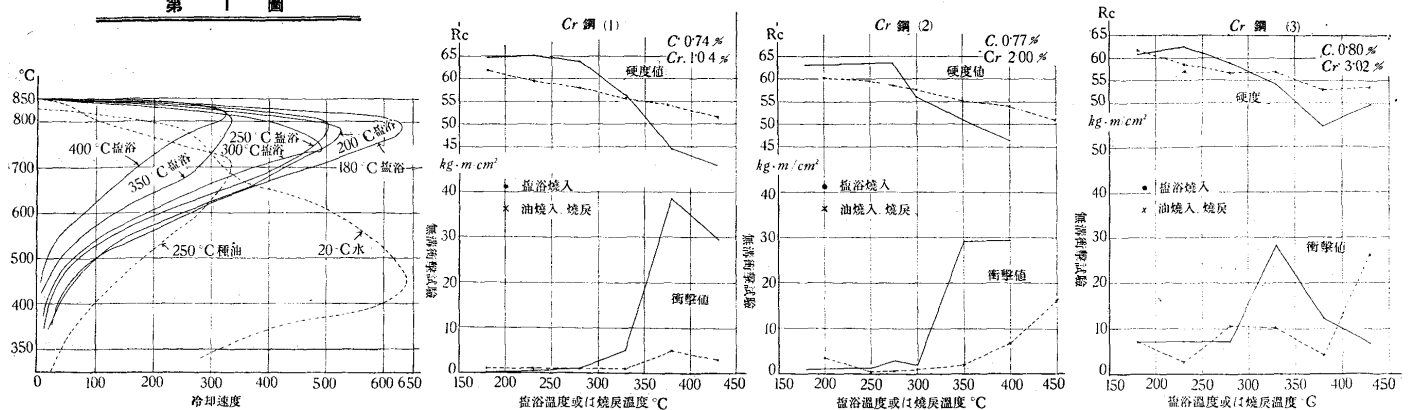
鹽浴は本論文に述べるが如き特別な熱處理に用ふる以外に、單に焼入冷却劑としても、以上の見地から見るならば優れたものと云へやう。

尙鹽浴は所定の溫度に保持し易く、又鹽浴中各部分に於ける溫度差も僅少である。從て溫度を嚴密に調節する必要のある如き材料の焼戻は、ガス爐或は電氣爐によるよりも鹽浴による方が、加熱し過ぎたり、ムラ焼けの虞が大いに

第 2 圖



第 3 圖



¹¹⁾ Goerens: Einführung in die Metalle, 5 Auflage 1926

¹²⁾ 佐藤: 金屬の研究 第9卷 第4號

軽減せられる。品物を鹽浴中に浸して曳出すと薄い皮膜を表面に生ずるが、これは水に浸すと容易に溶解するにより心配は無用である。

III 試料

實驗は第1表に示せる如き化學組成の炭素鋼, Cr 鋼, Ni

第1表 化學組成及試片の寸法

鋼種	符號	化學組成%				衝擊試驗片の寸法	溝の有無
		C	Ni	Cr	Mo		
炭素鋼	1	0.49	—	—	—	5mm直徑, 70mm長さ	無溝
	2	0.74	—	—	—	6mm角, 70mm長さ	同上
	3	0.84	—	—	—	5mm直徑, 70mm長さ	同上
	4	1.14	—	—	—	同上	同上
	5	1.29	—	—	—	同上	同上
Cr 鋼	1	0.74	—	1.04	—	7mm角, 70mm長さ	同上
	2	0.77	—	2.00	—	同上	同上
	3	0.80	—	3.02	—	同上	同上
Ni 鋼	1	0.7L	0.96	—	—	同上	同上
	2	0.76	3.04	—	—	同上	同上
Ni・Cr 鋼	1	0.29	3.33	0.55	—	10mm角, 60mm長さ	有溝
	2	0.75	3.48	1.04	—	7mm角, 70mm長さ	無溝
Ni・Cr・Mo 鋼	1	0.28	2.80	0.67	0.37	同上	同上
	1	同上	同上	同上	同上	10mm角, 60mm長さ	有溝
	2	0.50	2.64	0.62	0.54	同上	同上
	3	0.75	3.51	1.04	0.51	7mm角, 70mm長さ	無溝

鋼, Ni・Cr 鋼及 Ni・Cr・Mo 鋼等に就て同表第4欄に示せる如き寸法の試験片で、無溝及有溝シャルピー衝擊試験並に硬度試験等を行った。衝擊試験片を 5mm 直徑或は 6~7mm 角と細くせるは Bain 及 Davenport が斯如き寸法のものに就て實驗を行ったので、これに倣たのである。斯如く細い試験片に溝を刻むと溝の影響が著しく大きくなるため、この點を考慮し、標準の寸法より小なる試験片には特に溝を刻まずに實驗を行った。炭素鋼に於ては試片の寸法及形状等が異なるものがあるので、衝擊値を直接比較出来ないことを附記して置く。

IV 實驗結果

(A) 各種元素の影響 850°C に 20 分間加熱後鹽浴中に焼入し、この中に 10 分間 (Ni・Cr・Mo 鋼 (2) のみは 30 分間) 浸漬せる後水中冷却 (炭素鋼以外の特殊鋼は總て空中冷却を行った) せる場合及 850°C より種油中に焼入し 1 時間焼戻後油中冷却を行った各場合の衝擊及硬度試験等の結果は次の如くである。

(1) 炭素鋼 第2圖に示せる炭素鋼の實驗結果をみるに、炭素量 0.49% の炭素鋼に於ては鹽浴熱處理を行ふも焼入焼戻せるものの衝擊値と大差が認められない。

然し炭素量 0.74% 及 0.84% の炭素鋼は 350°C 以上の鹽浴中に焼入せるに、油焼入、焼戻せる同一硬度値のもの、衝擊値より大なる値を示して居る。

炭素量 1.14% 及 1.29% の炭素鋼に於ては、炭素量 0.49% の炭素鋼に於けると同様に、鹽浴焼入せるも、その衝擊値は焼入焼戻せるものと大差がない。

以上の實驗結果より鹽浴熱處理の効果は、炭素量 0.74% 及 0.84% 程度の炭素鋼に於て最も著しく大なることが認められる。

(2) Cr 鋼 Cr 鋼に於ては、第3圖に示せる如く大體 330°C 以上の温度の鹽浴中に焼入せるに Cr 鋼(1) 及 (2) は何れも焼入、焼戻せる同一硬度値のものより可成大なる衝擊値を示し Cr 鋼(3) は鹽浴温度が大體 330°C に於ては鹽浴熱處理の効果が認められるも、これ以上の温度の鹽浴の場合には油焼入焼戻せるこれと同一硬度値のものより小なる衝擊値を示す。故に Cr 含量の相違に従て鹽浴の温度を適當に撰ばねばならない。第3圖と第2圖 (炭素鋼(2)) とを比較するに Cr 元素を添加するも略同一炭素量の炭素鋼に於ける鹽浴熱處理の効果と餘り相違が認められない。然し Cr は鋼の自硬性を著しく増大する爲め Cr を添加せる鋼に於ては炭素鋼に於けるよりも大なる寸法の材料に本熱處理方法を應用し得る譯である。

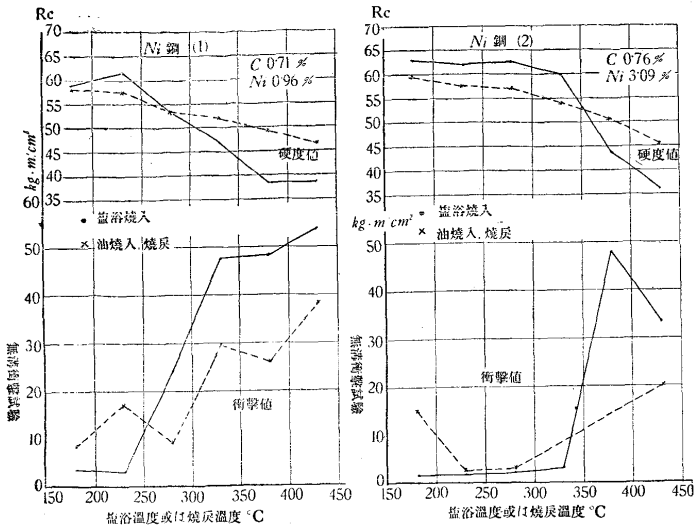
(3) Ni 鋼 Ni 鋼に於ては第4圖に示すが如く Ni 鋼(1) は大體 330°C 以上 Ni 鋼(2) は大體 380°C 以上の温度の鹽浴中に焼入すると、鹽浴熱處理の効果が認められたが、然しその効果は炭素鋼(2) 及 Cr 鋼に於けるが如く顯著ではない。

第3圖及第4圖に示せる Cr 鋼及 Ni 鋼に就ての實驗結果は、何れも鹽浴中浸漬時間が 10 分間の場合であつたが、浸漬時間を増すことにより、鹽浴熱處理の効果が稍増大するが、これ等に就ては後に述べることにする。

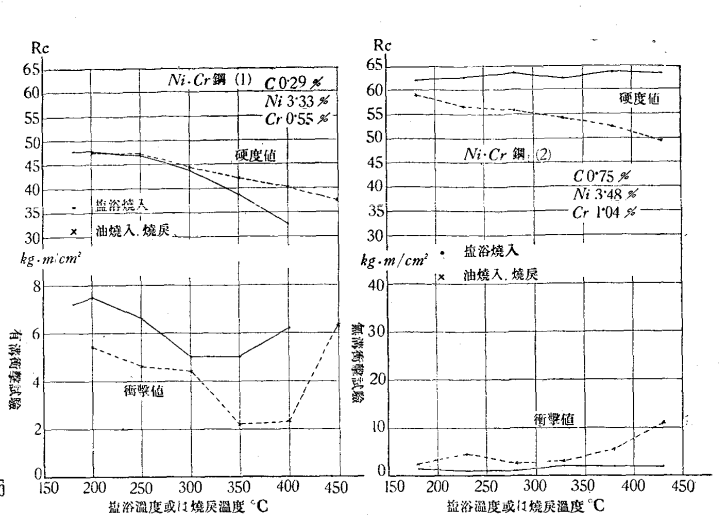
(4) Ni・Cr 鋼 Ni・Cr 鋼に於ては、第5圖に示すが如く、含炭量の小なる Ni・Cr 鋼(1) は鹽浴焼入するに、油焼入焼戻せるものより衝擊値は稍大なるも、炭素鋼或は Cr 鋼等に於けるが如く鹽浴熱處理の効果は顯著ではない含炭量大なる Ni・Cr 鋼(2) も鹽浴焼入の効果は認められないが、然し硬度値は油焼入、焼戻せるものより大なるにより、硬度値を要求する如き場合に應用し得る譯である。

(5) Ni・Cr・Mo 鋼 第6圖に示せる如く Ni・Cr・Mo 鋼は Ni・Cr 鋼と大體同様な傾向を示す。即ち Ni・Cr・Mo 鋼(1) 及 (2) は鹽浴熱處理するに油焼入、焼戻のそれより

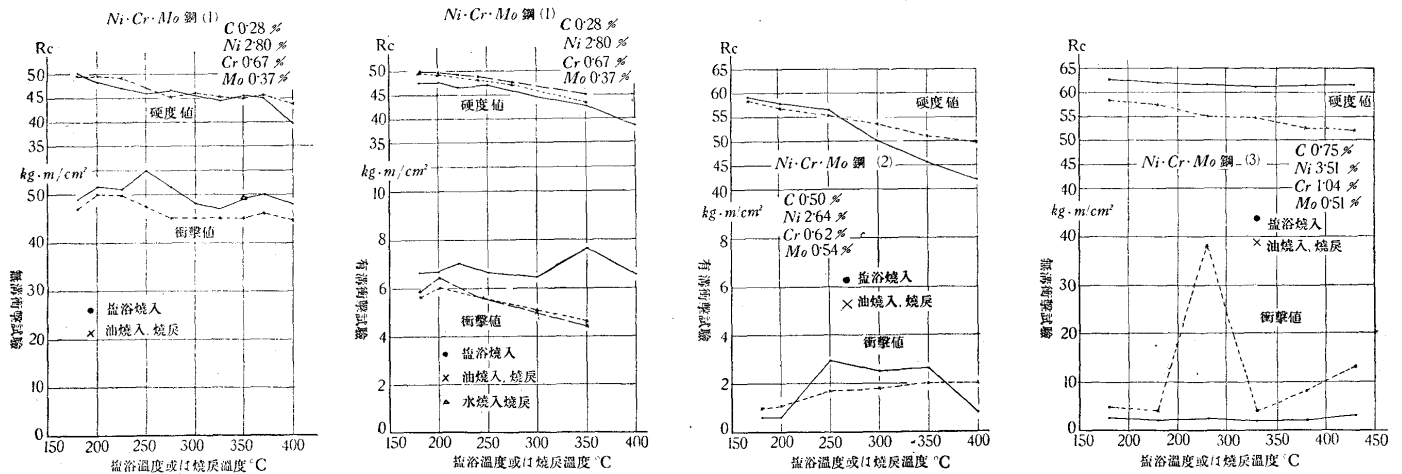
第 4 圖



第 5 圖



第 6 圖



衝撃値は若干大なるも $Ni \cdot Cr \cdot Mo$ 鋼(3)の如く炭素量の大なる場合は鹽浴熱處理の効果が殆んど認められない。同一 $Ni \cdot Cr \cdot Mo$ 鋼に就て、無溝及有溝の状態で衝撃試験を行へるに、溝の有無に拘らず大體同様な傾向を示すことが判た。

Cr 鋼及 Ni 鋼に於けるが如く Cr 或は Ni の各元素を單獨に添加する場合には、鋼種により多少相違はあるも鹽浴焼入により油焼入焼戻せるものよりも靱性が大であるが Ni 及 Cr を同時に添加した $Ni \cdot Cr$ 鋼、更に Mo を添加した $Ni \cdot Cr \cdot Mo$ 鋼等に於て含炭量大なる場合に焼入鹽浴の効果が認められざるは興味ある現象と思考する。

(B) 鹽浴中浸漬時間の影響 炭素鋼、 Cr 鋼、 Ni 鋼、 $Ni \cdot Cr$ 鋼 及 $Ni \cdot Cr \cdot Mo$ 鋼等を様々の溫度に保持した鹽浴中に焼入し、その中に 10 分間浸漬後冷却する場合の衝撃値及硬度値は前項に示せる如くであるが、尙鹽浴中

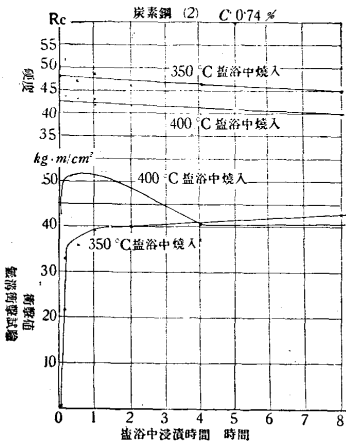
浸漬時間の衝撃値及硬度値に及ぼす影響を確める必要が認められたらによつて、これ等に就て實驗を行た。

(1) 炭素鋼の場合 炭素鋼(2)の 7mm 角、70mm* の長さの試験片を 850°C より 350 及 400°C の鹽浴中に焼入し、その中に浸漬する時間を夫々 2 分間、10 分間、30 分間、1 時間、2 時間、4 時間並に 8 時間と様々に變化せしめ、後水冷した各場合の衝撃値及硬度値を測定したその結果は第 7 圖に示せる如くである。

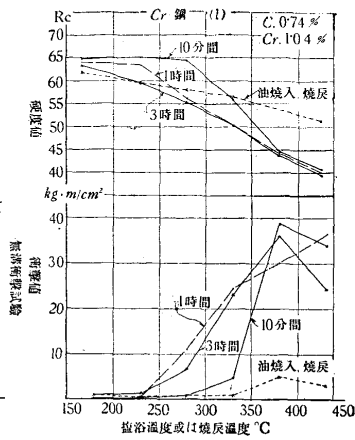
350°C の鹽浴の場合には、鹽浴中浸漬時間 2 分間の時は衝撃値小なるも 10 分間浸漬するに衝撃値は著しく増加し、浸漬時間がこれ以上の場合には、衝撃値に及ぼす時間の影響は極めて僅少である。一方硬度値に就て見るに、浸漬時間の増加に伴て微少なながら減少の傾向を示して居る。

* 第 2 圖に示せる炭素鋼(2)に就ての實驗は 6mm 角、70mm の長さの試片に就てのものであつたが、茲では 7mm 角、70mm の長さの試片に就て實驗を行たので特にこの寸法を示した。

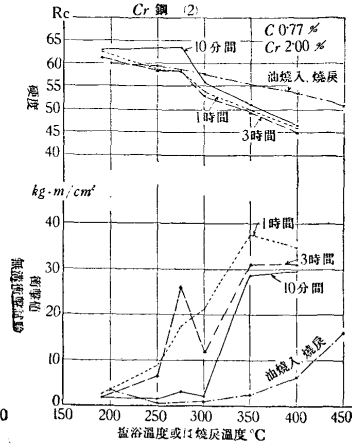
第 7 圖



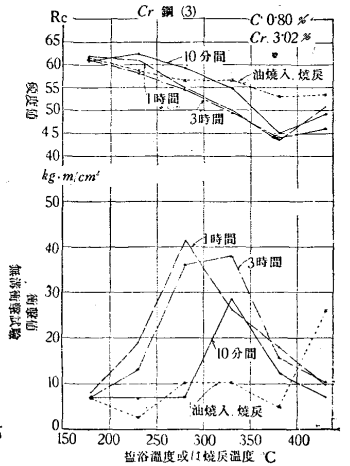
第 8 圖



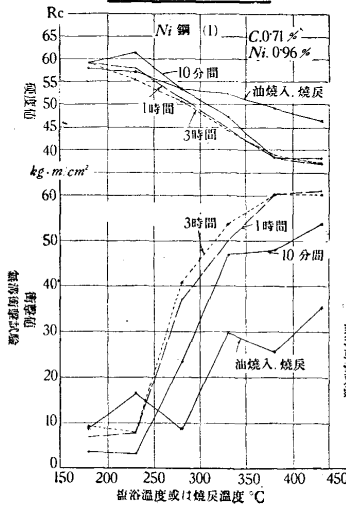
第 9 圖



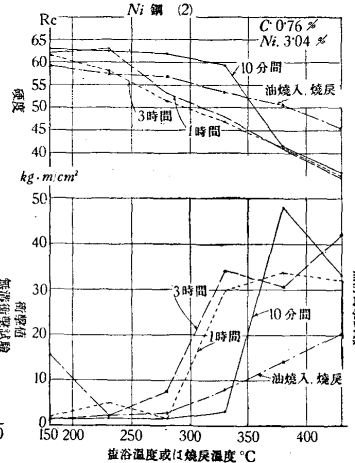
第 10 圖



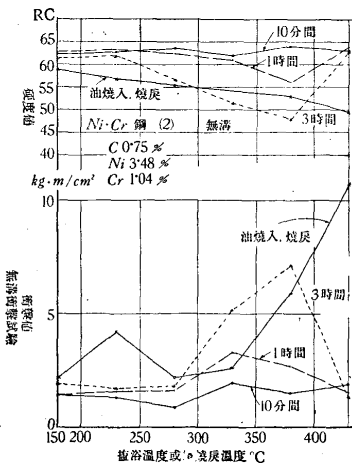
第 11 圖



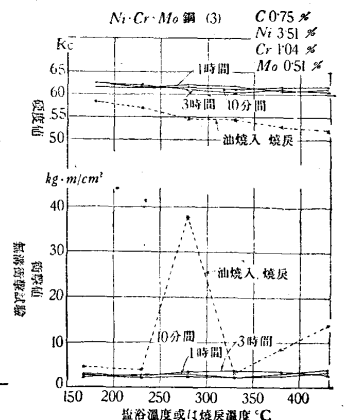
第 12 圖



第 13 圖



第 14 圖



400°C の鹽浴の場合、鹽浴中浸漬時間が 2 分間の場合に於ても大なる衝撃値を示し、浸漬時間 1 時間位までは、時間の増加に伴い衝撃値は増し、浸漬時間がこれ以上の場合には却て減少の傾向が認められる。

硬度値と浸漬時間の関係は 350°C の鹽浴の場合と同様で、時間の増加に伴て次第に減少する。

(2) Cr 鋼の場合 Cr 鋼(1),(2) 及 (3) を 850°C より各温度の鹽浴中に焼入し、この中に夫々 10 分間、1 時間並に 3 時間浸漬して後、空冷せる各場合の衝撃値及硬度値は第 8, 9 及 10 圖に示すが如くである。これ等の圖より Cr 鋼(1),(2) 及 (3) の各鋼は何れも鹽浴中浸漬時間が 1 時間以上の場合には 10 分間浸漬の時より硬度値は稍低い、衝撃値は可成大なるのが認められ、浸漬時間 1 時間及 3 時間では硬度値及衝撃値に餘り相違がない。

(3) Ni 鋼の場合 Ni 鋼(1) 及 (2) を 850°C より各温度の鹽浴中に焼入し、夫々 10 分間 1 時間及 3 時間浸漬して後空冷せる各場合の衝撃値及硬度値は第 11 圖及第

12 圖に示せる如くである。

Ni 鋼に於ても Cr 鋼に於けると同様に 10 分間鹽浴中に浸漬せる場合よりも 1 時間以上浸漬する方が鹽浴焼入の効果が顯著であるが 1 時間と 3 時間とではその差は僅少である。

(4) Ni·Cr 鋼の場合 Ni·Cr 鋼(2) を 850°C より鹽浴中に焼入し、浸漬時間を様々に變化せる場合の結果は第 13 圖に示せる如くである。この場合は浸漬時間の増加に伴い硬度値は減少し、衝撃値は多少増大するも焼入焼戻せる同一硬度値のものと比較せるに衝撃値は却て小さく、鹽浴熱處理の効果が認められない。

(5) Ni·Cr·Mo 鋼 Ni·Cr·Mo 鋼(3) を鹽浴中に焼入し、浸漬時間を變化せるに第 14 圖に示した如き結果を得た。この場合は Ni·Cr 鋼に於けると同様に鹽浴中浸漬時間を増加するも鹽浴焼入の効果が認められない。

第 15 圖は低炭素 Ni·Cr·Mo 鋼(1) を 850°C より 180 及 200°C の温度の鹽浴中に焼入し、浸漬時間を 10

分間1時間、3時間並に6時間と様々に變化せしめ、浸漬時間の衝撃値及硬度値に及ぼす影響を示したものである。

V 實驗結果の考察

Bain 及 Davenport¹⁰⁾の兩氏は炭素量 0.70% の炭素鋼を鹽浴中に焼入し、この中に一定時間浸漬後冷却せるに油焼入焼戻した同一硬度値のものより著しく靱性の大きなることを報じ、この現象を次の如くに説明して居る。

即ち油焼入せる試片には倍率 2,000 倍位の顯微鏡下で見える程度の微少な割疵(兩氏はこれを micro-crack と呼んで居る)を生ずるも、鹽浴焼入を行へるものには、この種の割疵が全く現はれないので、兩者の靱性に著しい相違を生ずるのであらうと述べて居る。

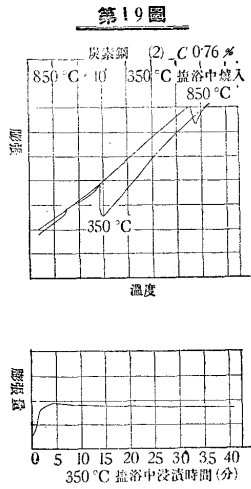
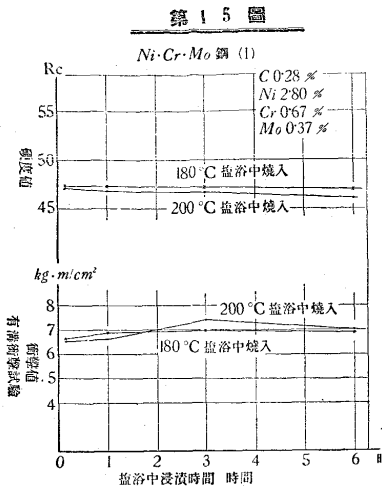
著者は先づ炭素鋼(2)(炭素量 0.74%)に micro-crack が實在するか否かを確めた。

油焼入及鹽浴焼入せる衝撃試験片を研磨した儘の状態並に研磨後硝酸溶液で腐蝕した状態に於て 2,000 倍の顯微鏡下で極めて綿密に檢したが、油焼入及鹽浴焼入の何れの場合にも micro-crack は全く現はれなかつた。

著者の場合には micro-crack が全く認められざるにも拘らず前述の如く衝撃値に著しい相違を生じた。

炭素鋼(2)に就て色々熱處理を行へる各場合の顯微鏡組織を第3表に示した。

第2圖[炭素鋼(2)]と第3表とを對照し、鹽浴焼入したものと油焼入、焼戻したものに就て、略同一硬度値に於て衝撃値に著しい相違の認められる時の兩者の顯微鏡組織



同圖より鹽浴溫度 180 及 200°C の 何れの場合に於ても浸漬時間 3 時間位の時が他の場合より稍大なる衝撃値を示し、硬度値は時間の増加に伴て次第に減少する傾向が認められる。

(C) 鹽浴熱處理せるものを更に焼戻す場合に於ける衝撃値の變化 炭素鋼(2)の 7mm 角 70mm の長さの衝撃試験片を 850°C より 350°C の鹽浴中に焼入し 10 分間浸漬後水中冷却したものをも更に第2表に示すが如き各温度で 30 分間焼戻し水冷した各場合の衝撃値及硬度を測定せるに第2表に示せる如き結果を得た。第2表より鹽浴焼入

第2表 C. 0.74% 炭素鋼を鹽浴焼入した後焼戻す場合に於ける機械的性質

熱 處 理	衝 撃 値 kg-m/cm ²	硬 度 値 Rc
350°C 鹽浴焼入10分間浸漬後水冷	32.1	48.3
350°C 鹽浴焼入10分間浸漬後水冷 350°C 30分間焼戻後水冷	35.1	45.9
油焼入 350°C 30分間焼戻後水冷	2.7	52.6
350°C 鹽浴焼入10分間浸漬後水冷 450°C 30分間焼戻後水冷	38.0	40.6
油焼入 450°C 30分間焼戻後水冷	15.0	44.0
350°C 鹽浴焼入10分間浸漬後水冷 550°C 30分間焼戻後水冷	34.9	34.4
油焼入 550°C 30分間焼戻後水冷	21.0	38.6
350°C 鹽浴焼入10分間浸漬後水冷 650°C 30分間焼戻後水冷	45.8	30.1
油焼入 650°C 30分間焼戻後水冷	36.4	30.4

せるものを更に焼戻すに、焼戻温度の上昇に伴て衝撃値は増加するのが認められる。

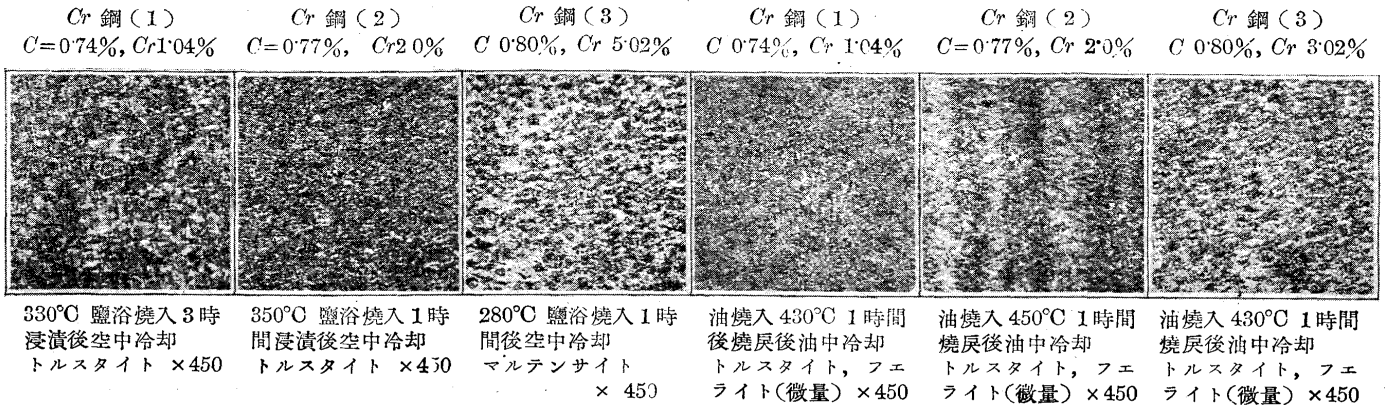
鹽浴焼入せるものを焼戻すに、その焼戻温度の低い場合は油焼入、焼戻した略同一硬度値のものより衝撃値は著しく大であるが、然し焼戻温度の上昇するに従て、その差は減少するに至る。

第3表 C. 0.74% の炭素鋼を鹽浴焼入及油焼入焼戻せる場合の顯微鏡組織

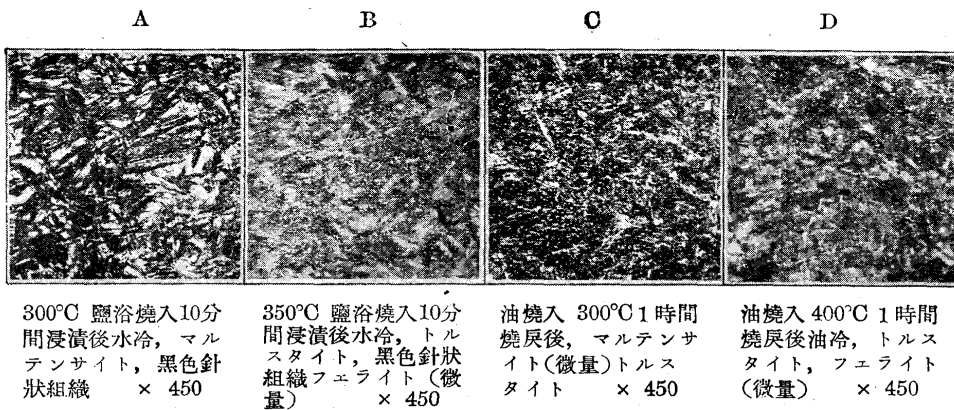
記號	焼入温度 °C	鹽浴溫度 又は焼戻溫度 °C	顯 微 鏡 組 織
B 200	850	200	マルテンサイト
O 200	"	"	マルテンサイト+微量トルスタイト
B 250	"	250	マルテンサイト
O 250	"	"	マルテンサイト+微量トルスタイト
B 300	"	300	マルテンサイト+黑色に腐蝕せられる針狀組織
O 300	"	"	トルスタイト+微量マルテンサイト
B 325	"	325	トルスタイト+黑色に腐蝕せられる針狀組織
O 325	"	"	トルスタイト
B 350	"	350	トルスタイト+黑色に腐蝕せられる針狀組織+微量フェライト
O 350	"	"	トルスタイト+微量フェライト
B 370	"	370	トルスタイト+黑色に腐蝕せられる針狀組織+微量フェライト
O 370	"	"	トルスタイト+微量フェライト
B 400	"	400	トルスタイト+黑色に腐蝕せられる針狀組織+微量フェライト
O 400	"	"	トルスタイト+微量フェライト
O 450	"	450	トルスタイト+多量フェライト
O 500	"	500	ソルバイト

¹⁰⁾ Bain & Davenport: 前掲

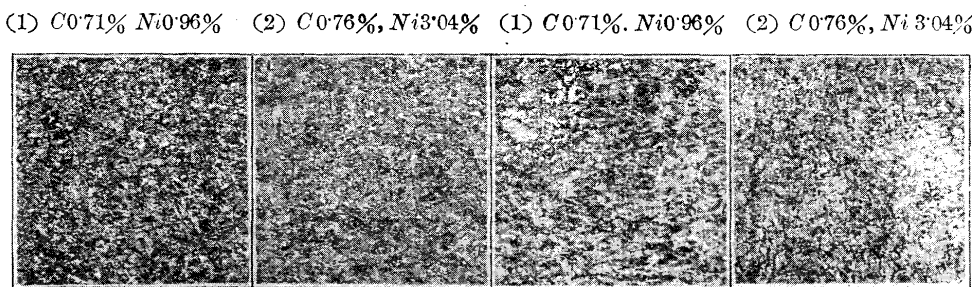
第 17 圖 (寫眞は凡て記入倍率を 0.63 に縮寫す)



第 16 圖 炭 素 鋼



第 18 圖 Ni 鋼



を比較するに、鹽浴焼入せるものには、特有な針状を呈せる黑色に腐蝕される組織が現はれる。その二、三の例を第 16 圖(A) 及 (B) に示した。

第 16 圖(C) 及 (D) は同一鋼を油焼入、焼戻した場合の組織である。

鹽浴焼入と油焼入、焼戻の兩者の組織間に於て黑色に腐蝕される針状組織の有無による相違は勿論なれども、綿密に觀察すればこれ以外に結晶の大きさ及形状等に相違のあるのが認められる。

針状の黑色に腐蝕される組織は鹽浴の温度の上昇に従て、次第に短くなり、又輪廓は壞れる傾向がある。

高炭素鋼(4)及(5)を 850°C より 300°C 以上の温度の鹽浴中に焼入した場合に、炭素鋼(2)に於けると同様に特有な針状の黑色に腐蝕せられる組織が現はれ、又この種の炭素鋼には鹽浴焼入及油焼入の如何を問はずフリーセメンタイトが現出した。

炭素鋼(1)は鹽浴焼入を行ふに針状の黑色に腐蝕せられる組織は認められざるも、焼入、焼戻のそれとは多少異た組織を呈する。

高炭素 Cr 鋼及 Ni 鋼等に就て顯微鏡組織を検するに、鹽浴焼入したもので、油焼入、焼戻せるものと同一硬度値に於て衝撃値の異なるものには針状の黑色に腐蝕さ

れる組織は認められざるも、焼入、焼戻のそれとは異た組織を呈して居る。二、三の例を第 17 及 18 圖に示した。

低炭素 Ni-Cr 鋼, Ni-Cr-Mo 鋼及高炭素 Ni-Cr 鋼を鹽浴焼入した場合及油焼入、焼戻せる場合に、兩者の同一硬度値に於ける顯微鏡組織を比較するに、低炭素の Ni-Cr 鋼及 Ni-Cr-Mo 鋼に於ては鹽浴焼入と油焼入、焼戻とでは結晶粒の大きさ及その形状等に相違があり。高炭素 Ni-Cr 鋼に於ては、高炭素 Cr 及 Ni 鋼に於けると同様に鹽浴焼入及焼入焼戻の熱処理によつたものゝ組織に相違

があるのが認められる、炭素 0.74% の炭素鋼以外に含炭素量の異なる炭素鋼夫々 *Cr* 及 *Ni* 含量の異なる *Cr* 鋼及 *Ni* 鋼及含炭素量の異なる *Ni*・*Cr* 鋼並に *Ni*・*Cr*・*Mo* 鋼等に就ても micro-crack が存在するか否かを綿密に檢したが、全く現はれなかつたが、前述の如く油焼入焼戻したものと及鹽浴焼入した兩者組織間に相違のあるのが明かに認められた。

次に鹽浴中に焼入し、この中に浸漬し置く場合に於けるオーステナイトの變態状態を檢することにした。

第 19 圖は炭素量 0.74% の炭素鋼を 850°C より 350°C の鹽浴中に焼入した場合に於けるオーステナイトの變態状態を佐藤式自記焼入試験器に自記せしめたものである*。尙同圖に時間對オーステナイトの變態に起因する試料の膨脹量の關係曲線をも示した。

第 19 圖の膨脹量——鹽浴中浸漬時間曲線を見るに、オーステナイトの變態は 350°C の鹽浴中では極めて徐々に進行し、變態完了に約 5 分間を費して居る。

村上、八田兩氏¹²⁾は炭素量 0.92% の炭素鋼ではあるが直徑 8mm、長さ 200mm の試験片を 850°C より油焼入せるに、オーステナイトは約 170°C 前後の温度で變態を開始し、變態完了までに約 30 秒の時間を要したと報じて居る。

著者の鹽浴焼入せる試験片の寸法は直徑 5mm、長さ 70mm であるから、この寸法の試験片を油焼入する場合には變態完了までに要する時間は村上、八田兩氏の場合よりも尙小なる譯である。

以上より 350°C の鹽浴中焼入の場合は、油焼入に於けるよりも、オーステナイトは高温で然も徐々に變態するにより變態歪は著しく小なるものと思ふ。

第 13 圖及第 14 圖の *Ni*・*Cr* 鋼及 *Ni*・*Cr*・*Mo* 鋼等に於ける硬度値對鹽浴中浸漬時間の關係曲線並にこれらの顯微鏡組織等を觀察するに、浸漬時 1 時間に於ては、オーステナイトは殆んど變態を開始して居らざることが推知され、變態速度が著しく小なることが首肯出来る。

Ni 或は *Cr* 等の元素を單獨に添加せる鋼に於ては *Ni*・*Cr* 鋼或は *Ni*・*Cr*・*Mo* 鋼に於けるが如く高温度に於けるオーステナイトの變態速度は小ならざるも、炭素鋼(2)に

於けるよりも、變態速度の小なることは Upton¹³⁾ の實驗結果より明かである。

村上、八田¹⁴⁾兩氏の *Cr* 鋼[(*C* 0.75%, *Cr* 0.99%) 及 (*C* 0.72%, *Cr* 2.07%)] 並に *Ni* 鋼 [(*C* 0.97%, *Ni* 0.90%) 及 (*C* 0.92%, *Ni* 1.91%)] の直徑 8mm、長さ 200mm の試験片を油焼入せる場合に於ける實驗結果によればオーステナイトの變態開始温度は大體 150°C 前後にして、變態完了までに 2 分間以上を要せるものは殆んどない。

以上より *Cr* 鋼、*Ni* 鋼、*Ni*・*Cr* 鋼及 *Ni*・*Cr*・*Mo* 鋼等を適當な温度の鹽浴中に焼入し、適當なる時間浸漬して後空中冷却する場合には *C* 0.74% の炭素鋼(2)に於けると同様に油焼入したものよりオーステナイトの變態開始温度は高く、然も變態速度が小なるため變態歪が著しく小なるものと思ふ。

鹽浴焼入せるものと油焼入、焼戻せるものが、同一硬度値に於て衝擊値に著しき相違を生ずる現象に對する Davenport 及 Bain¹⁵⁾ 兩氏の micro-crack 説には、以上に述べた如き諸點より考察すれば同意出来ない。

著者はこの現象に就ては次の如くに考へる。鹽浴焼入に於ては、オーステナイトの變態は鹽浴中で開始するにより油焼入の場合に於けるよりも變態開始温度が高く然も徐々に變態するため組織に差異を生じ、又變態歪も鹽浴焼入の場合は油焼入に於けるよりも著しく小である。從て鹽浴焼入を行つたものと、油焼入焼戻せるものに於て衝擊値に差異を生ずるものと思ふ。

C 0.49% の炭素鋼(1)に於ては鹽浴焼入したものと、油焼入焼戻した兩者の衝擊値間に大なる相違の認められざるは含炭量少なきため油焼入するも焼が充分に入らず、オーステナイトは高温で變態を開始し、兩者間に於ける組織及變態歪等に著しい差異を生ぜざるためである。

炭素鋼(4)及(5)の如く含炭量 1.14% 及 1.29% の如きものに於ては、鹽浴焼入、油焼入の如何を問はず、本實驗に於ける焼入温度からの焼入では、脆弱なるフリーセメント組織が出現し、この影響のために兩者の衝擊値間に差異が認められないのであらう。

高炭素 *Cr* 鋼(3)を 380°C 以上の鹽浴中に焼入した場合及高炭素 *Ni*・*Cr* 鋼(2)を 330°C 及 380°C の鹽浴中

* この場合に於ける試験片の寸法は直徑 5mm、長さ 70mm であつた。

¹²⁾ 村上、八田：金屬の研究 1935 第 12 卷第 4 號

¹³⁾ Upton: A. S. S. T. 1934 Vol. XXII

¹⁴⁾ 村上、八田：前掲

¹⁵⁾ Davenport 及 Bain: 前掲

に焼入し、この中に3時間浸漬せる場合等に、オーステナイトは鹽浴中で徐々に變態を行ふに拘らず、油焼入焼戻したものより衝撃値の大ならざる原因に就ては次の如くに考へる。即ち鹽浴中に浸漬して置く間に析出する特殊炭化物の影響によるのであらう。

高炭素 $Ni \cdot Cr$ 鋼(2) を $430^{\circ}C$ の鹽浴中に焼入した場合及高炭素 $Ni \cdot Cr \cdot Mo$ 鋼(3) を様々な温度の鹽浴中に焼入せる場合等に鹽浴焼入の効果が認められないのは、本實驗に於ける浸漬時間の範囲内では、未だオーステナイトが殆んど變態を開始せざるため、鹽浴より曳出し空中冷却する間に硬化するためである。

VI 總 括

以上の實驗を總括すれば大體次の如くである。

(1) 炭素鋼, Cr 鋼, Ni 鋼, $Ni \cdot Cr$ 鋼及 $Ni \cdot Cr \cdot Mo$ 鋼等を様々な温度の鹽浴中に焼入し、この中に浸漬する時間を様々な變化し、後冷却せる場合と、油焼入焼戻せる場合の衝撃値及硬度値を比較した。

(2) 炭素鋼に於ては、含炭量 $0.7 \sim 0.9\%$ の場合は、適當な温度の鹽浴中に焼入し適當な時間浸漬して後冷却することにより油焼入焼戻せる同一硬度値のものより靱性が著しく優り、含炭量がこれ以下或はこれ以上の場合には、鹽浴熱處理の効果が認められない。

(3) Cr 鋼に於ても鹽浴熱處理の効果が認められるが、

然し Cr 元素を添加せるために鹽浴熱處理の効果が特に増大するといふ様なことはない Cr 含量 3% 以上になれば寧ろその効果が平炭素鋼に於けるよりも小なる傾向がある。

(4) Ni 鋼も適當なる鹽浴熱處理により、焼入焼戻せる同一硬度値のものより靱性大なるも、その効果は、炭素鋼及 Cr 鋼に於けるが如く顯著ではない。

(5) Ni , Cr , 及 Mo の各元素を同時に2種或は3種を添加せる $Ni \cdot Cr$ 鋼及 $Ni \cdot Cr \cdot Mo$ 鋼に於ては

(イ) 含炭量小なる場合は鹽浴熱處理の効果が認められるが餘り顯著ではない。

(ロ) 然し含炭量大なる鋼に於てはその効果が認められない。

(6) 鹽浴中浸漬時間は鹽浴温度と相關的のもので、又鋼種により差異はあるが、大體1時間以上浸漬し、鹽浴中でオーステナイトを徐々に變態せしむべきである。

(7) 鹽浴焼入及油焼入焼戻せる兩者間に於ける衝撃値の相違を顯微鏡組織及變態歪等の差異により説明を試みた。

終りに本研究の發表を許可された日本製鋼所及所長打越光保氏に敬意を表すると共に終始御指導下された改良部長黒川慶次郎氏及萩原巖氏に感謝の意を捧げる。又有益なる御助言を賜た石原寅次郎博士に謝意を表すると共に、實驗を援助された土江太郎、生田目順三、小川祐之助、菊池良三君、其他實驗室各位に厚く御禮申上げる。以上

鐵と鋼 第25年 第11號

熔鋼温度測定に関する二三の研究

菅野 猛

正 誤 表

頁	箇所	誤	正	頁	箇所	誤	正
1	Synopsis 下より 15 行目	does not depend	does depend	6	右列上より 10 行	一般的廣く	一般的に廣く
"	" " 8 行目	emissivits	emissivity	8	右列上より 14 行	K. Korber	K. Körber
"	左列上より 3 行	測 熱 I	測 熱 工	"	" " 15 行	Hare	Hase
2	" " 14 行	"	"	9	" 下より 11 行	$\kappa = k_1/\rho c$	$\kappa^2 = k_1/\rho c$
"	" " 16 行	Emissivitiy	Emissivity	10	左列上より 16 行	(1) 式を (2) なる	(1) 式を (3) なる
"	" " 21 行	校 正	較 正	10	左列上より 20 行	$k_2 a/k_1 D J_0(x)$	$(k_2^2/k_1 D J_0(x))$
3	" " 6 行	抗 抵 器	抵 抗 器	"	" 下より 8 行	$T_0(x_n)$	$J_0(x_n)$
4	右列下より 6 行	0.56μ	0.65μ	11	脚 註	10)	14)
5	左列上より 14 行	輝 度	輝 度 温 度	12	右列下より 8 行	なるであらう	なるであらう
5	左列上より 17 行目	$E\lambda b$	$E\lambda 6$				
"	" " 22 行	Emissivity Power	Emissive Power				
"	" " 24 行	$E\lambda$	$e\lambda$				
"	" 下より 9 行	Planck	Planck				