

# Cr·Mo 鋼並に Ni·Cr 鋼に對する Cb の影響

(日本鐵鋼協會第 21 回講演大會講演 昭和 14 年 4 月)

大 倉 幸 雄\*

大 森 仁 平\*\*

## THE EFFECT OF COLUMBIUM ON THE PROPERTIES OF CHROME-MOLYBDENUM AND NICKEL-CHROMIUM STEELS

Yukio Ōkura and Jinpei Ōmori.

**SYNOPSIS:**—The authors studied the effects of *Cb* on the physical, mechanical, chemical and welding properties of low carbon *Cr-Mo* steels and medium carbon *Ni·Cr* steels.

The compositions of the samples are as follow :—

Sample Mark	C%	Si%	Mn%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%	Cb%
CM·Cb·0	0.09	0.27	0.17	0.10		4.96	0.53	
CM·Cb·1	0.09	0.36	0.32	0.11		5.42	0.45	0.43
CM·Cb·2	0.09	0.23	0.40	0.10		5.44	0.50	0.88
CM·Cb·3	0.11	0.57	0.47	0.06		5.34	0.56	1.57
CM·Cb·4	0.09	0.62	0.52	0.06		5.42	0.55	1.72
NC·Cb·0	0.32	0.51	0.31	0.07	4.10	1.31		
NC·Cb·1	0.30	0.42	0.33	0.07	4.17	1.34		1.10
NC·Cb·2	0.34	0.42	0.38	0.08	4.23	1.54		2.28
NC·Cb·3	0.28	0.38	0.33	0.07	4.24	1.31		3.26

(P, S ≤ 0.03%)

From the experiments, it was concluded that *Cb* is a valuable alloying element for low alloy steels and it has several advantages such as inhibition of air hardening characteristics, increase in strength at high temperature, increase in corrosion and oxidation resistances and improvement of weldability, although it lowers the impact value more or less. But it is questionable how much it may be used in the industrial scale because of its high cost.

### 目 次

#### I 緒 言

#### II Cr·Mo 鋼に對する Cb の影響

1. 試料の調製 2. 物理的性質 3. 機械的性質 4. 耐蝕性並に耐熱性 5. 熔接性

#### III Ni·Cr 鋼に對する Cb の影響

1. 試料の調製 2. 物理的性質 3. 機械的性質 4. 耐蝕性並に耐熱性 5. 熔接性

#### IV 結 論

### I. 緒 論

筆者等の一人\* は本誌第 25 年第 2 號に 18/8 不銹鋼の各種性質に及ぼす *Cb* の影響に關し *Cb* は *Ti* と同様容易に  $Cb_4C_3$  を作り炭素の 5 倍以上の添加に依りて著しく粒間腐蝕を防止する効果があり且同時に 18/8 の他の性質に

及ぼす影響は *Ti* に比して著しく小なる事を報告せり。而して斯る *Cb* の容易に carbide を構成する性質を低合金鋼に應用すれば *Ti*, *V*, *Mo* と同様鋼の自硬性を減少せしむる影響あることは容易に想像せられる處であるが、果して *Cb* が幾何なる程度の影響を有するものなりや更に又 *Cb* の添加に依りて鋼の他の性質が著しく改良せられる如き効果が得られぬか等が問題となる。然るに *Cb* を低合金鋼に添加する研究は極めて最近の事に屬し且 *Cb* は一般に高價なる稀有金屬と考へえられて居るため研究結果の發表せられたるものは極めて少い状態である。即ち主なるものとしては Frededick M. Becket 及 Russel Franks<sup>1)</sup> 兩氏に依る *Cr* 鋼に對する *Cb* の影響及 R. Genders, R. Harrison 兩氏<sup>2)</sup> に依る炭素鋼並びに *Ni* 鋼に對する *Ta* 及 *Cb* の影響, Hans Eggers, Walter Peter 兩氏<sup>3)</sup> に依

1) Transac. of Am. Inst. of Min. & Met. Eng. (Iron & Steel Div.) Vol. 113 (1934) p. 123.

2) Jour. Iron. & steel Inst. No. II (1936) p. 185.

3) Mitt. Kais.-Wiss.-Inst. Eisenforsch., Düsseld., 15 (1938) S. 205.

\* 住友金屬工業會社鋼管製造所

\*\* 同

る  $Fe \cdot Cb \cdot C$  の状態圖等であり是等は共に尙充分なるものとは稱し難い。依て筆者等は低合金鋼として石油分解精製装置に於ける加熱管、輸送管其他として或は石炭液化工業其他の化學工業に於て多量に使用せられる低炭素  $Cr \cdot Mo$  鋼及び構造物材料として代表的の成分を有する  $Ni \cdot Cr$  鋼を選び是等に  $Cb$  を階段的に添加せる場合の物理的性質、機械的性質、化學的性質及熔接性等に就て系統的に研究せる結果を報告する。

## II. Cr・Mo 鋼に對する Cb の影響

1. 試料の調製 試料は 50kg 高周波誘導電氣爐にて熔解せる 50kg 鋼塊を高温鍛造、高温壓延並に常溫壓延に依りて厚 2mm の板状とせるものなり。各試料の化學成分は第 1 表に示す如く 1% C, 5% Cr, 0.5% Mo を含む  $Cr \cdot Mo$  鋼に  $Cb$  を 0.4, 0.9, 1.5, 1.7% と階段的に添加せり。尙上表中“ダツシュ”を附せるものは別に變態點

第 1 表 Cr・Mo・Cb 鋼の化學成分

試料符號	C%	Si%	Mn%	Cu%	Cr%	Mo%	Cb%
CM-Cb-0	0.09	0.27	0.17	0.10	4.96	0.53	—
CM-Cb-1	0.09	0.36	0.32	0.11	5.42	0.45	0.43
CM-Cb-2	0.09	0.23	0.40	0.10	5.44	0.50	0.88
CM-Cb-3	0.11	0.57	0.47	0.06	5.34	0.56	1.57
CM-Cb-4	0.09	0.62	0.52	0.06	5.42	0.55	1.72
CM-Cb-1'	0.10	0.26	0.33	0.08	5.07	0.55	0.60
CM-Cb-2'	0.10	0.28	0.37	0.10	5.00	0.49	0.95

$P, S \leq 0.03\%$

測定並に製管試験に供せるものにして製管試験の結果は何れも容易に管となすを得た。

### 2. 物理的性質

(1) 比重 750°C より空冷せる研磨試料に就き比重を測定せる結果は第 2 表に示さるゝ如く  $Cb$  の増加と共に極め

第 2 表 Cr・Mo・Cb 鋼の比重

試料	CM-Cb-0	CM-Cb-1	CM-Cb-2	CM-Cb-3	CM-Cb-4
比重	7.80	7.79	7.79	7.78	7.78

て僅少の低下が認められるが概して  $Cb$  の影響なきものと考へらる。

(2) 電氣抵抗 750°C より空冷せる研磨試料の電氣抵抗は第 3 表に示す如く 0.4%  $Cb$  の添加に依りて稍々急激に

第 3 表 Cr・Mo・Cb 鋼の電氣抵抗

試料	CM-Cb-0	CM-Cb-1	CM-Cb-2	CM-Cb-3	CM-Cb-4
比抵抗 $\times 10^{-6}$ $\Omega cm$	37.7	43.4	45.3	49.0	50.6

比抵抗増加し更に  $Cb$  の増加と共に略々一定の割合にて増加するを見る。

(3) 變態點 徑 4mm 長さ 80mm の試片を製作し真空中にて 900°C に加熱爐中冷却したる後本多式熱膨脹計を使用して真空中に於て加熱速度毎分 10°C の割合にて温度

を上昇せしめ變態點を測定せり。尙冷却曲線は爐中冷却に依り求めた。其の結果は第 4 表及第 1, 2 圖に示す。即ち

第 4 表 Cr・Mo・Cb 鋼の變態點 (°C)

試料	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>
CM-Cb-0	818	879	796	709
CM-Cb-1	826	898	833	775
CM-Cb-2	891	939	848	774
CM-Cb-3	895	944	826	752
CM-Cb-4	893	950	814	759

Ac<sub>1</sub> は 0.4%  $Cb$  に於て徐々に 0.9%  $Cb$  に於て急激に上昇し 0.9~1.7%  $Cb$  に於ては殆んど差異なし。又 Ac<sub>3</sub> は 0.4%  $Cb$  に於て幾分上昇し更に 0.9%  $Cb$  に於て急激に上昇し其れ以上  $Cb$  を添加するも Ac<sub>3</sub> の上昇は極めて徐々なり。又 Ar<sub>3</sub>, Ar<sub>1</sub> は 0.4%  $Cb$  に於て共に急激に上昇するも更に  $Cb$  が増せば Ar<sub>3</sub> は 0.9%  $Cb$  に於て稍々上昇し其れ以上は徐々に低下し又 Ar<sub>1</sub> も 0.4~0.9%  $Cb$  は變化なく更に  $Cb$  が増せば稍々低下の傾向が認めらる。

### 3. 機械的性質 鋼の壓延方向に平行部幅 7mm 厚 2mm

標點距離 50mm の抗張試験片を製作し焼鈍温度と抗張的性質との關係及冷却速度と抗張的性質との關係を求めた。尙本實驗に於ける耐力とは 0.15% の永久變形を生ずるに要する應力の謂なり。

(1) 焼鈍温度と抗張的性質との關係 常溫より 1,200°C 迄の各温度に加熱空冷せるものゝ抗張的性質は第 3~7 圖に示す通りなり CM-Cb-0 は 750°C に於て最軟化し 800°C より硬化し始まり 900°C に於て最大の焼入効果が認められる。次に CM-Cb-1 に於ては最軟化温度は 800°C であり 950°C に於て最大の焼入効果が認められるが CM-Cb-0 に比して其の程度は著しく小なり。更に CM-Cb-2, CM-Cb-3, CM-Cb-4 に於ては軟化温度は更に上昇し何れも 850°C に於て最軟化し 950°C 以上は温度上昇と共に抗張力、耐力の上昇及伸の減少が認められるが CM-Cb-1 以下の  $Cb$  に於ける如き焼入硬化の現象が認められず顯微鏡組織は Ferritic を呈す。今各試料の最軟化温度と

第 5 表 Cr・Mo・Cb 鋼の最軟化温度に於ける機械的性質

試料	最軟化温度 (°C)	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	硬度 (ロツクウェル B)
CM-Cb-0	750	49.3	30.8	22.0	71.7
CM-Cb-1	800	51.5	40.3	28.5	80.7
CM-Cb-2	850	47.6	21.2	28.5	70.8
CM-Cb-3	850	52.4	23.5	23.0	75.0
CM-Cb-4	850	56.1	24.7	21.0	80.6

最軟化點に於ける抗張的性質並に硬度を示せば第 5 表に示す如し。即ち 0.9%  $Cb$  迄は  $Cb$  の増加と共に最軟化温度

が上昇し 0.9~1.7% Cb に於ては何れも 850°C に一定して居る。而して最軟化點に於ける各値を比較するに 0.4% Cb に於て僅かに抗張力増加し且耐力, 伸, 硬度共に増加して居るも 0.9% Cb に於ては前二者に比して抗張力, 耐力, 硬度低く伸は 0.4% Cb に於けると同様なり。更に 1.5% Cb に至ると 0.9% Cb の場合に比して硬度, 抗張力, 耐力増加し伸減少し 1.7% Cb に至りて更に此の傾向が大となる。次に 900°C 空冷に於ける抗張的性質を示せば第 6 表に示す如く CM-Cb-0 は著しき自硬性を示すが

第 6 表 900°C 空冷に於ける抗張的性質

試料	抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	耐力(kg/mm <sup>2</sup> )	伸(%)
CM-Cb-0	123.5	83.7	8.0
CM-Cb-1	82.2	55.1	15.0
CM-Cb-2	53.5	35.0	18.0
CM-Cb-3	64.1	48.5	11.0
CM-Cb-4	67.1	49.0	13.5

CM-Cb-1 に於ては其の程度著しく減じ更に CM-Cb-2 以上は自硬性全く消失す。而して CM-Cb-3~CM-Cb-4 に於て認められる抗張力の増加は Fe<sub>3</sub>Cb<sub>2</sub> の生成に基くものであり Cb<sub>4</sub>C<sub>3</sub> を作るに要する Cb の量は計算上 C の 10 倍なるため本實驗に於ける 0.4~0.9% の範圍の Cb は總て C と結合して Cb<sub>4</sub>C<sub>3</sub> を作ることとなり 0.9% Cb に於て鋼中の全炭素を Cb<sub>4</sub>C<sub>3</sub> として捕捉するため焼入硬化の現象が消失す。而して Cb が 0.9% 以上に増加すれば餘分の Cb は Fe<sub>3</sub>Cb<sub>2</sub> を構成することとなり是が CM-Cb-3~CM-Cb-4 の多少強度を増加する原因をなすものと考えらる。尙 750°C 及 900°C 空冷に於ける衝撃値を示せば第 7 表の如く 750°C に於ては Cb の増加は衝撃値の

第 7 表 750°C 並に 900°C 空冷に於ける衝撃値

試料	アイゾット(kg-m)	
	750°C 空冷	900°C 空冷
CM-Cb-0	11.83	2.72
CM-Cb-1	—	—
CM-Cb-2	—	—
CM-Cb-3	4.83	3.13
CM-Cb-4	6.23	2.89

低下を來す。更に 900°C 空冷に於ては Cb を添加せるものは ferrite 組織であり焼入硬化を防止して硬度, 並に抗張力は Cb を添加せざるものに比して著しく低いが衝撃値は martensite 組織を示す Cr·Mo 鋼と大差を認めぬ。

(2) 冷却速度と抗張的性質との關係 (1) に於けると同一寸法の試験片を使用し 900°C に 60 分間加熱後水冷, 油冷, 空冷, 爐冷の如く冷却速度を變化せしめた場合の抗張的性質は第 8 表に示す如し。尙抗張力の關係を圖示すれば第 8 圖に示す如く Cr·Mo 鋼は自硬性を有するため容易

第 8 表

Cr·Mo·Cb 鋼の冷却速度と機械的性質との關係(900°C)

試料	冷却速度	抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	耐力(kg/mm <sup>2</sup> )	伸(%)	硬度(ロツクウェル)
CM-Cb-0	爐冷	51.4	23.5	21.0	72.3(B)
	空冷	123.5	83.7	8.0	37.0(C)
	油冷	128.2	95.2	7.5	38.2(C)
	水冷	127.9	94.3	6.5	37.1(C)
CM-Cb-1	爐冷	47.6	22.8	26.0	67.2(B)
	空冷	82.2	55.1	15.0	19.5(C)
	油冷	100.7	76.0	6.5	28.2(C)
	水冷	102.2	82.5	6.0	27.7(C)
CM-Cb-2	爐冷	47.2	21.6	25.0	67.6(B)
	空冷	53.5	35.0	18.0	36.8(B)
	油冷	65.3	50.3	9.5	9.8(C)
	水冷	66.0	56.5	8.0	10.8(C)
CM-Cb-3	爐冷	52.1	23.6	22.5	74.3(B)
	空冷	64.1	48.5	11.0	10.4(C)
	油冷	68.7	56.2	10.0	12.3(C)
	水冷	69.4	59.8	6.0	10.2(C)
CM-Cb-4	爐冷	56.2	24.8	21.0	77.5(B)
	空冷	67.1	49.0	13.5	11.2(C)
	油冷	68.8	56.1	10.0	13.6(C)
	水冷	72.4	60.2	7.5	13.5(C)

に空冷に依りて焼入硬化し更に油冷, 水冷と冷却速度を増加せしむるも殆んど硬化の程度に差違なし。次に CM-Cb-1 に於ては 0.4% Cb の添加に依りて自硬性を示す程度は著しく小となり空冷に依りては充分なる焼入効果が認められず油冷~水冷に依りて硬化し得。更に Cb が増加して CM-Cb-2~CM-Cb-4 に於ては最早焼入硬化の現象が認められぬ。而して 0.4~0.9% Cb に於ては Cb の増加と共に急激に抗張力が減少して居り更に 1.5~1.7% Cb に至りて前述の Fe<sub>3</sub>Cb<sub>2</sub> 生成に基く強度の回復が認めらる。尙寫眞 No.1 は 950°C よりの冷却速度の差異に依る各試料の顯微鏡組織にして CM-Cb-0 は完全なる martensite 組織を示すが是に 0.4% Cb を添加すれば著しく ferrite の量を増し CM-Cb-2 に至りて完全なる ferrite 組織を呈す。CM-Cb-3, CM-Cb-4 は ferrite 地に Cb<sub>4</sub>C<sub>3</sub> 及 Fe<sub>3</sub>Cb<sub>2</sub> が多量に存在する組織なり。

(3) 高温度抗張的性質 平行部幅 4mm, 厚 2mm, 標點距離 50mm の抗張試験片を製作し 750°C 焼鈍後常温より 900°C 迄の各温度に 30 分間加熱保持せる場合の抗張的性質を求めた。又降伏點は各荷重に對する伸を 1/100mm 迄求め 加重—伸 曲線を畫いて伸の急激に増加する點を以て表はした。其の結果は第 9~13 圖に示す通りなり。CM-Cb-0 及 CM-Cb-1 は 400°C に於て幾分青熱脆性の現象が認められ更に 600°C 以上より急激に抗張力減少し伸上昇す。然るに CM-Cb-2 以上は温度上昇と共に抗張力は減少し伸は 600°C 迄は大差無く 700°C 以上より急激に上昇す。而して其の値は CM-Cb-0~CM-Cb-2 は著しき差違を認めぬが 1.5~1.7% Cb に於ては何れの温度に

於ても抗張力、降伏點著しく高く伸は低値を示す。今一例として該 Cr・Mo 鋼が最も多く使用せられる温度 600°C

第 9 表 Cr・Mo・Cb 鋼の 600°C に於ける抗張的性質

試料	抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	降伏點(kg/mm <sup>2</sup> )	伸(%)
CM-Cb-0	22.3	14.5	35.0
CM-Cb-1	24.2	16.2	33.0
CM-Cb-2	23.3	15.0	22.0
CM-Cb-3	32.3	28.7	8.0
CM-Cb-4	33.8	28.0	13.0

に於ける各試料の値を示せば第 9 表の如し。即ち CM-Cb-0~CM-Cb-2 は伸が Cb の増加と共に稍低値を示す外は抗張力、降伏點に著しき差異無く更に CM-Cb-3 及 CM-Cb-4 に於ては Cb の影響可成り著しく抗張力、降伏點の増加並に伸の減少が認めらる。

#### 4. 耐蝕性並に耐熱性

(1) 耐蝕性 寸法 50×30×2mm (上部に徑 4mm の穴を穿つ) の試験片を製作し 750°C 焼鈍後表面を 02 番エメリー紙にて研磨仕上げせるものに就き第 10 表に示す如き

第 10 表 Cr・Mo・Cb 鋼の腐蝕媒介

腐蝕媒介	温度	實驗期間
蒸溜水乾濕繰返(隔日)	常溫	2 週間
蒸溜水の空氣攪拌	"	"
飽和硫化水素水	"	"
3% 食鹽水空氣攪拌	"	"
3% 食鹽水硫化ガス攪拌	"	"
3% 食鹽水炭酸ガス攪拌	"	"
交番浸漬(30分)		
N/100 硝酸, 鹽酸, 硫酸	50°C	1 週間
N/100 醋酸, 蓆酸	"	"
N/100 鹽化マグネシウム, 鹽化安門	"	"

條件の下に腐蝕試験を行へり。即ち該 Cr・Mo 鋼は石油分解精製装置用としても最も多量に使用せられるものなる故腐蝕媒介も斯る條件を考慮して決定せり。又交番浸漬試験は特殊なる間歇式腐蝕試験装置を使用し恒温槽にて液温を

第 11 表 Cr・Mo・Cb 鋼の腐蝕試験結果

腐蝕媒介	腐蝕減量mg/cm <sup>2</sup>				
	CM-Cb-0	CM-Cb-1	CM-Cb-2	CM-Cb-3	CM-Cb-4
蒸溜水乾濕繰返	0.304	0.175	0.156	0.138	0.132
蒸溜水空氣攪拌	0.909	0.660	0.058	4.051	0.045
飽和硫化水素水	3.235	1.542	1.401	1.611	1.198
3% 食鹽水空氣攪拌	14.581	12.361	12.822	13.446	13.660
3% 食鹽水硫化ガス攪拌	2.988	2.928	2.325	2.015	1.551
3% 食鹽水炭酸ガス攪拌	3.063	2.627	2.503	2.669	3.524
N/100 硝酸	2.154	2.157	2.012	2.268	2.470
N/100 鹽酸	4.479	4.801	4.241	4.786	4.617
N/100 硫酸	3.515	3.527	3.389	3.521	3.383
N/100 磷酸	0.650	0.485	0.319	0.316	0.241
N/100 醋酸	2.260	0.575	0.328	0.726	0.479
N/100 蓆酸	1.816	1.747	1.265	0.997	0.699
N/100 鹽化マグネシウム	1.967	1.160	2.578	4.756	4.247
N/100 鹽化安門	7.870	7.331	6.913	7.560	7.280

50°C に保ちつゝ時計仕掛に依り 30 分間液中に浸漬し次に 30 分間水蒸氣の飽和せる空氣中に曝露する操作を 1 週間繼續せり。各腐蝕試験結果を一括して示せば第 11 表に示せる如し。尙試験後の試料状況を寫真 No.2 に示す。上表より蒸溜水乾濕繰返及蒸溜水空氣攪拌に對しては 0.4~1.7% Cb を添加せるものは何れも同一程度に著しく耐蝕性を増加す。飽和硫化水素水に對しては Cb の増加と共に耐蝕性を増加す。3% 食鹽水空氣攪拌に對しては 0.4% Cb に於て稍良好なるも更に Cb の増加と共に耐蝕性は徐々に減ず。3% 食鹽水の硫化水素ガス攪拌に對しては Cb の増加と共に耐蝕性を増す。3% 食鹽水の炭酸ガス攪拌に對しては 0.9% Cb 迄は耐蝕性を徐々に増加せしめるが其以上 Cb が入れば耐蝕性は徐々に減ず。N/100 硝酸に對しては Cb の増加と共に幾分耐蝕性を減ずる傾向あり N/100 鹽酸, 硫酸に對しては著しき影響を認めぬ。N/100 磷酸, 及蓆酸に對しては Cb の増加と共に耐蝕性を増し N/100 醋酸に對しては 0.4~1.7% Cb を添加せるもの何れも良好なり。又 N/100 鹽化マグネシウムに對しては 0.4% Cb に於て幾分耐蝕性を増すが 0.9% Cb 以上は耐蝕性を減じ N/100 鹽化アンモンに對しては著しき影響無き様なり。要之 Cb は硝酸, 鹽酸, 硫酸の如き無機酸及食鹽, 鹽化アンモン, 鹽化マグネシウムの如き鹽類に對しては効果無きも稀薄なる有機酸, 硫化水素含有腐蝕液, 大氣曝露等の如き主として Cr・Mo 鋼が使用せられる範圍の腐蝕媒介に對しては相當耐蝕性を増加せしむる效果あり。

(2) 耐熱性 豫め 750°C より焼鈍せる前記腐蝕試験に於ける同一寸法の研磨試験片を使用し本多式熱天秤に依り 600°C より 1,100°C 迄の各温度に 20 分間加熱保持せる場合の酸化に依る重量の増加を連續的に測定せり。但し温度の上昇は 10 分間に 100°C の割合とせり。其の結果は第 14 圖に示す通りにして Cb の増加と共に耐熱性が改良せられるが著しき效果は 0.9% Cb より認められ 1.5~1.7% Cb に於て極めて良好なる耐熱性が認めらる。

5. 熔接法 各材料より幅 40mm 厚 2mm 長さ 100mm の試験片を採取し同鋼板より採取せる幅 3mm の棒を熔接棒とせり。熔接は酸素アセチレンガス熔接法を行ひ僅にアセチレン過剰焰を使用し熔接劑としては弊所 KS フラックス No.1 を使用せり。而して熔接操作の難易に就ては CM-Cb-0 は他よりも稍操作困難の感有り其他は殆んど變らぬ。次に熔接棒を中心とせる平行部幅 25mm, 厚 2mm 標點距離 50mm の試片 (日標 A5 號試片に相當す) を採取し熔

接の儘及熔接後 750°C 焼鈍して抗張試験を行へり。其の結果は第 12 表に示す如し。熔接の儘のものは CM-Cb-0, CM-Cb-1 及 CM-Cb-2 は先づ熔接部及夫れに接した部

第 12 表 Cr-Mo-Cb 鋼熔接部抗張試験結果

熱処理方法	試験種目	CM-Cb-0	CM-Cb-1	CM-Cb-2	CM-Cb-3	CM-Cb-4
熔接の儘	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	74.4	69.0	63.0	66.0	62.8
	伸 (%)	3	4	5	5	5
	破断位置	熔接部外	同左	同左	同左	熔接部
750°C 空冷	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	52.1	55.0	50.9	55.9	65.4
	伸 (%)	17	19	20	18	18
	破断位置	熔接部外	同左	同左	同左	同左

分が硬化し次に軟化部を生ずるため破断は軟化部に於て起る。CM-Cb-0 は軟化部と硬化部との強度差が大で軟化部は殆んど伸の無い儘に切断す。CM-Cb-3 及 CM-Cb-4 は熔接部の近く或は熔接部にて破断せり。是は軟化部と熔接部とは強度差無きため伸は他よりも大なり。即ち熔接の熱影響に依り軟化部と硬化部の著しく強度異なるは熔接性の悪き事を示すものにして此の點 Cb の添加は有效なり。次に 750°C 焼鈍せるものは總て熔接部外にて切断し其の抗張強度は凡そ母材の性状を示し Cb の添加は母材の場合と概ね等しき性質を與ふ。

### III. Ni-Cr 鋼に對する Cb の影響

1. 試料の調製 試料の調整方法は Cr-Mo-Cb 鋼の場合と全く同様にして其の化學成分は第 13 表に示す如く

第 13 表 Ni-Cr-Cb 鋼の化學成分

試料符號	C%	Si%	Mn%	Cu%	Cr%	Ni%	Cb%
NC-Cb-0	0.32	0.51	0.31	0.07	1.31	4.10	—
NC-Cb-1	0.30	0.42	0.33	0.07	1.34	4.17	1.10
NC-Cb-2	0.34	0.42	0.38	0.08	1.54	4.23	2.28
NC-Cb-3	0.28	0.38	0.33	0.07	1.31	4.24	3.26
NC-Cb-0'	0.30	0.33	0.25	0.11	1.40	4.25	—
NC-Cb-1'	0.30	0.40	0.29	0.06	1.37	4.42	1.07
NC-Cb-2'	0.35	0.49	0.56	0.08	1.43	4.16	2.09
NC-Cb-3'	0.32	0.67	0.47	0.12	1.40	4.29	3.03

(P, S ≥ 0.03%)

0.3% C, 4% Ni, 1% Cr に Cb を 1, 2, 3% と階段的に添加せるものなり。表中“ダツシュ”を附せざるものは高温鍛造, 高温壓延に依り, 厚 4mm の板状にせるものであり“ダツシュ”を附せるものは製管試験及衝撃試験に供せり。尙製管試験の結果は何れも良好に製管せられた。

2. 物理的性質 900°C より爐中冷却し標準化せる研磨試料に就き比重及電氣抵抗を測定せり。

第 14 表 Ni-Cr-Cb 鋼の比重

試料	NC-Cb-0	NC-Cb-1	NC-Cb-2	NC-Cb-3
比重	7.82	7.83	7.83	7.84

(1) 比重 第 14 表に示す如く Cb 増加に依りて著しき影響なし。

(2) 電氣抵抗 第 15 表に示す如く Cb の添加と共に電氣抵抗は増加す。

第 15 表 Ni-Cr-Cb 鋼の電氣抵抗

試料	NC-Cb-0	NC-Cb-1	NC-Cb-2	NC-Cb-3
比抵抗 × 10 <sup>-6</sup> Ω <sub>cm</sub>	37.0	38.3	40.8	41.3

(3) 變態點 Cr-Mo-Cb 鋼に於けると全く同様の方法に依り變態點を求めし結果は第 15~16 圖及第 16 表に示す如く A<sub>1</sub> 及 A<sub>3</sub> は共に Cb の添加に依り順次上昇し NC-Cb-3 に於て特に著しき上昇が認めらる。

3. 機械的性質 Ni-Cr 鋼の機械的性質に及す Cb の影響としては焼鈍温度と機械的性質, 冷却速度と機械的性質 焼入後焼戻温度と機械的性質等の關係に就て實驗を行へり

第 16 表 Ni-Cr-Cb 鋼の變態點 (°C)

試料	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>
NC-Cb-0	693	759	325	234
NC-Cb-1	704	779	415	327
NC-Cb-2	710	788	437	337
NC-Cb-3	741	807	607	524

(1) 焼鈍温度と機械的性質との關係 試験片は Cr-Mo-Cb 鋼に於けると同様板の壓延方向に採取せる平行部幅 7mm, 厚 4mm, 標點距離 50mm のものにして 600~1,200°C の各温度に加熱空冷せり。其の結果は第 17~20 圖に示す如し。本圖より明らかなる如く NC-Cb-0 は 675~700°C に最軟化點があり 725°C 以上より焼入効果が現はれ 800~850°C にて最大となる。NC-Cb-1 も亦 675~700°C にて最軟化し 725°C より硬化し 850°C にて最大となるが焼入硬化の程度は NC-Cb-0 に比して相當小なり。次に NC-Cb-2 は 700°C より稍硬化する傾向を認め 850~900°C にて多少最大となる點が認められるも其の程度は前二者に比較して遙かに小であり NC-Cb-3 に於ては焼入硬化の現象を認めず唯 900°C より温度上昇と共に僅かに抗張力及硬度が高くなるのみなり。即ち Cb の添加に依りて焼入効果は減少し 3% Cb 即ち C の 10 倍以上に到りて焼入効果が消失す。

(2) 冷却速度と機械的性質との關係 試験片は日標規格第 4 號(14mm 徑, 標點距離 50mm)を使用し 850°C に 40 分間加熱後爐冷, 空冷, 油冷, 水冷と冷却速度を變加せしめた。其の結果は第 17 表に示す通りなり。尙抗張力及衝撃値を圖示せるものは第 21 圖なり。NC-Cb-0, NC-Cb-1 及 NC-Cb-2 は夫々冷却速度の大なるに従ひ抗張力,

第 17 表 Ni・Cr・Cb 鋼の 850°C よりの冷却速度の影響

試料	冷却速度	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	硬度		アイソット 衝撃値 (kg-m)
					ブリ ネル	ロックウ エル (C)	
NC-Cb-0	爐冷	144.7	70.3	10	346	29	2.09
	空冷	154.6	103.6	—	420	36	1.80
	油冷	184.4	118.8	—	444	39	1.21
	水冷	—	—	—	477	43	0.59
NC-Cb-1	爐冷	118.2	55.5	14	323	28	2.91
	空冷	132.5	79.9	14	361	34	2.69
	油冷	155.7	104.2	12	405	35	2.23
	水冷	162.0	115.1	11	423	39	1.46
NC-Cb-1	爐冷	111.9	53.2	13	320	33	1.59
	空冷	117.4	67.2	11	331	34	1.90
	油冷	136.8	99.5	9	387	40	1.54
	水冷	138.6	103.0	9	393	39	1.36
NC-Cb-2	爐冷	76.4	54.1	21	224	17	1.50
	空冷	74.5	52.6	22	222	17	1.82
	油冷	72.3	52.3	23	215	14	1.90
	水冷	71.6	53.2	22	213	15	2.14

耐力, 硬度を増し伸及衝撃値を減するが NC-Cb-3 は逆に抗張力, 硬度は冷却速度を増すに従て低下し伸及衝撃値を増加す。尚 850°C 焼準化せるもの, 機械的性質は第 18 表及第 22 圖に示す如し。抗張力, 耐力, 硬度は Cb の増

第 18 表 850°C 焼準状況に於ける機械的性質

試料	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	耐力 (kg/mm <sup>2</sup> )	伸 (%)	絞 (%)	硬度 HR(C)	硬度 HB	アイソット 衝撃値 (kg-m)
NC-Cb-0	144.7	70.3	10	25	29.6	347	2.09
NC-Cb-1	118.2	55.5	14	31	28.5	323	2.91
NC-Cb-2	111.9	53.2	13	29	33.1	320	1.59
NC-Cb-3	76.4	54.1	22	53	17.2	224	1.50

加と共に減少し伸及絞りは 1~2% Cb に於て僅かに 3% Cb に於て著しく上昇するが衝撃値は 2~3% Cb に於て Cb を添加せぬもの及 1% Cb に比して低値を示す。尙寫真 No.3 は 850°C よりの冷却速度を變加せる場合の顯微鏡組織を示すものなり。

(3) 焼入後焼戻温度と機械的性質 (2) に於けると同様平行部幅 7mm の試験片を使用し 850°C より空冷焼入後 100~700°C の各温度に焼戻(空冷)試験せり。第 23~26 圖は是等の結果を示す。圖より NC-Cb-0 は焼戻温度の上昇と共に抗張力, 硬度は低下し耐力は 200~300°C にて最高となり夫れより漸次低下す, NC-Cb-1 も同様の傾向を有するが其の値は焼入試験の場合と同様 NC-Cb-0 に比して低い。NC-Cb-2 も NC-Cb-1 と同様なるも唯耐力の最高點が NC-Cb-0 が 200°C, NC-Cb-1 が 300°C, NC-Cb-2 が 400°C となつて居る點が異なる。NC-Cb-3 は焼戻温度 600°C 迄は全く變化なく 700°C にて稍強度低下す。即ち焼入効果無きため焼戻温度に依る變化なし。次に 850°C 空冷後 600°C に焼戻せる場合の機械的性質を表示すれば第 19 表に示す如し。

第 19 表 850°C 空冷焼入後 600°C 焼戻に於ける

試料	抗張的性質		
	抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	耐力(kg/mm <sup>2</sup> )	伸(%)
NC-Cb-0	99.8	89.9	11
NC-Cb-1	92.1	86.5	12
NC-Cb-2	88.0	75.5	12
NC-Cb-3	69.6	52.6	16

次に焼戻温度に依る衝撃値の變化を求めめるために NC-Cb-0', NC-Cb-1', NC-Cb-2' 及 NC-Cb-3' の各材料より日標規格第 2 號アイソット試片を採取し 850°C より空冷焼入後 100~700°C の各温度に 40 分間焼戻(空冷)せるものの衝撃値を求めた。第 27 圖は本結果にして NC-Cb-0' 及 NC-Cb-1' は共に焼戻温度 400°C にて最低値を示し夫れより上昇して 650°C にて最高となる。即ち焼戻温度 400°C に於て最も脆弱なり。尙衝撃値は NC-Cb-1' の方が一般に大なり。次に NC-Cb-2' 及 NC-Cb-3' は焼戻温度の相違に依る衝撃値の著しき變化を認めぬ。

## 4. 耐蝕性並に耐熱性

(1) 耐蝕性 900°C より爐中冷却し標準化せる寸法 50×30×2mm の試験片を 02 番エメリー紙にて研磨仕上後

第 20 表 Ni-Cr-Cb 鋼の腐蝕試験結果

腐蝕媒介	腐蝕減量(mg/cm <sup>2</sup> )			
	NC-Cb-0	NC-Cb-1	NC-Cb-2	NC-Cb-3
N/100 硫酸	10.157	9.476	9.738	9.605
N/100 鹽酸	8.732	9.108	8.820	8.304
N/100 硝酸	7.364	7.102	6.846	7.467
0.5% 硫酸	76.316	75.120	75.232	69.488
0.5% 鹽酸	86.645	70.925	49.253	34.1.4
0.5% 硝酸	43.500	44.488	42.051	44.416
N/100 含鹽水	2.729	2.645	2.352	2.780
N/100 鹽化マ グネシウム	2.458	2.123	2.075	2.211
3% 食鹽水	2.470	2.166	2.533	2.524
3% 食鹽水空氣攪拌	33.858	24.229	21.036	18.747
蒸溜水空氣攪拌	0.196	0.108	0.127	0.078
蒸溜水乾燥繰返	3.350	3.410	2.413	2.690

N/100 及 0.5% 硫酸, 鹽酸, 硝酸 N/100 食鹽水, 鹽化マグネシウム, 3% 食鹽水, 3% 食鹽水空氣攪拌, 蒸溜水空氣攪拌及蒸溜水乾燥繰返等の腐蝕媒介に對する試験を各常温に於て 4 週間行へり。其の結果は第 20 表に示す通りなり。又試験後の試料状況は寫真 No.4 に示す。即ち N/100 硫酸, 鹽酸, 硝酸, 食鹽水, 鹽化マグネシウムに對しては著しき影響無く更に 0.5% 硫酸, 硝酸に對しても著しき影響が認められぬが 0.5% 鹽酸に對しては Cb の増加と共に耐蝕性を増す。又 3% 食鹽水に對しては影響無く 3% 食鹽水空氣攪拌に對しては Cb の増加と共に耐蝕性を増し更に蒸溜水乾燥繰返に對しては 2~3% Cb を添加せるもの良好なり。要之 Ni・Cr 鋼の各種腐蝕媒介に對する耐蝕性に及ぼす Cb

の影響に関しては蒸溜水の如き侵蝕性の甚しからざる場合に稍効果が認められるが多くの無機酸及鹽類に對しては著しき影響を與へぬ。

(2) 耐熱性  $Cr \cdot Mo \cdot Cb$  鋼の場合と同様の方法にて耐熱試験を行へり。第 28 圖は常溫より  $900^{\circ}C$  迄の酸化に依る重量の増加を示すものにして耐熱性は  $Cb$  の増加と共に増し 3%  $Cb$  を添加せるものは著しく良好なり。

5. 熔接性 熔接試験は厚 4mm の鋼板より  $Cr \cdot Mo \cdot Cb$  鋼の場合と同様の試験片を採取し同一鋼板より採取せる共金熔接棒に依り曩と全く同様の方法を以て施行せり。熔接操作の難易は弊所 KS フラックスの使用に依り著しき差

第 21 表  $Ni \cdot Cr \cdot Cb$  鋼熔接部抗張試験結果

熱處理方法	試験種目	NC-Cb-0	NC-Cb-1	NC-Cb-2	NC-Cb-3
900°C 爐冷軟化	抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	76.2	90.3	56.1	76.6
	伸 (%)	1	2	1	5
	破斷位置	熔接部	熔接部	熔接部	熔接部
850°C 空冷燒入	抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	57.1	92.9	116.4	69.6
	伸 (%)	1	2	4	6
	破斷位置	熔接部	熔接部	熔接部	熔接部
850°C 空冷後 550°C 空冷燒戻	抗張力(kg/cm <sup>2</sup> )	75.9	97.1	91.0	67.3
	伸 (%)	1	5	3	4
	破斷位置	熔接部	熔接部外	熔接部外	熔接部

異無きも  $Cb$  の添加に依り幾分健全性を増す感あり。熔接後は試片工作に便ならしめるため先づ  $900^{\circ}C$  よりの爐冷に依りて標準化し然る後 A5 號抗張試験片を採取せり。而して抗張試験は熱處理を施さざるもの、 $850^{\circ}C$  空冷及  $850^{\circ}C$  空冷後  $550^{\circ}C$  燒戻の三種に就て行へり。其の結果は第 21 表に示す如し。表より NC-Cb-0 は熔接の儘  $850^{\circ}C$  空冷  $550^{\circ}C$  燒戻の何れに於ても NC-Cb-1 よりも抗張力及伸共に低値を示す。是は熔接部が脆く健全性に乏しき爲なり。NC-Cb-1, NC-Cb-2 及 NC-Cb-3 の  $Cb$  を添加せるものは健全性大にして伸も稍増加して居る。即ち  $Cb$  の添加に依り熔接性を改良する事明らかにして NC-Cb-3 の如き硬化せざるものは一層熔接性が良好なりと稱し得。

#### IV. 結 論

1. 低合金鋼としての化學工業用  $Cr \cdot Mo$  鋼並に構造用  $Ni \cdot Cr$  鋼の各種性質に及す  $Cb$  の影響に就て研究せり。

2.  $Cr \cdot Mo$  鋼に對する  $Cb$  の影響を總括すれば次の如し。

(1) 物理的性質に關しては比重は著しき變化無く電氣抵抗は  $Cb$  の増加と共に上昇し又  $A_1$  及  $A_3$  變態點は 0.4%  $Cb$  に於て徐々に  $C$  が全部  $Cb_4C_3$  となる。0.9%  $Cb$  に於て急激に上昇し其以上に著しき變化なし。

(2) 機械的性質に關しては燒鈍溫度と抗張的性質との關

係より最軟化溫度は 0.4~0.9%  $Cb$  の添加に依り  $750^{\circ}C$  より  $850^{\circ}C$  迄上昇し更に其以上  $Cb$  の添加は影響無し。而して最軟化點に於ける機械的性質は 0.9%  $Cb$  迄は著しき差異無きも其以上は  $Fe_3Cb_2$  生成に基く多少の硬化が認められ且衝撃値は  $Cb$  の添加に依りて低下す。更に air hardening の傾向は plain  $Cr \cdot Mo$  鋼は著しき自硬性を有して  $900^{\circ}C$  にて最硬化するに反し  $Cb$  の添加は 0.9%  $Cb$  迄は  $Cb$  の増加と共に燒入硬化の程度減少し 0.9%  $Cb$  以上は ferrite base の組織を示して燒入効果は消失す。而して燒入溫度より空冷して ferrite base を示す 0.9%  $Cb$  以上のものは同一熱處理に依りて martensite を示す plain  $Cr \cdot Mo$  鋼と伸及衝撃値に於て大差を認めぬ。更に高溫度抗張的性質は 0.4~0.9%  $Cb$  は著しき差異無きも 1.5~1.7%  $Cb$  に於て抗張力、降伏點の増加及伸の減少が認めらる。

(3) 耐蝕性に關しては  $Cb$  の添加は硝酸、鹽酸、硫酸の如き無機酸及食鹽、鹽化アンモン、鹽化マグネシウムの如き鹽類に對しては効果無きも硫化水素水、磷酸、醋酸、蓆酸及水の如き主として該  $Cr \cdot Mo$  鋼が使用せられる範圍の腐蝕媒介に對する耐蝕性を増加せしむ。又耐熱性は  $Cb$  の増加と共に改良せられるが著しき影響は 0.9%  $Cb$  以上に於て認めらる。

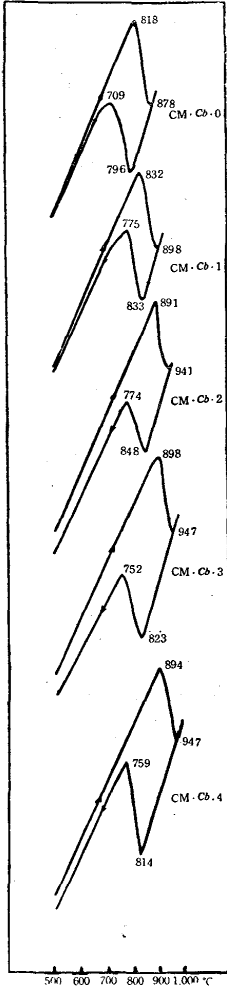
(4) 熔接性に關しては  $Cb$  の添加に依り熔接操作が容易となり且熔接の熱影響に基く熔接部と其附近との強度差僅少となる効果あり。

2.  $Ni \cdot Cr$  鋼に對する  $Cb$  の影響を總括すれば次の如し。

(1) 物理的性質に關しては比重は著しき變化無きも電氣抵抗は  $Cb$  の増加と共に上昇し又  $A_1$  及  $A_3$  變態點は  $Cb$  の増加と共に上昇するが著しき影響は  $C$  が全部  $Cb_4C_3$  となる 3%  $Cb$  に於て認めらる。

(2) 機械的性質に關しては燒鈍溫度と抗張的性質との關係より  $Cb$  の増加と共に燒入硬化の程度が小となり 3%  $Cb$  に於て燒入効果は消失す。次に冷却速度と機械的性質との關係より 2%  $Cb$  以下は冷却速度を増すと共に硬度、強度の上昇及伸、衝撃値の低下が認められるが 3%  $Cb$  に於ては冷却速度増加と共に硬度、強度の減少並に伸、衝撃値の増加が認めらる。又燒入後燒戻に依る衝撃値は 1%  $Cb$  以下は  $400^{\circ}C$  燒戻に於て最小値を示し  $650^{\circ}C$  に於て最高値を示すが 2~3%  $Cb$  は燒戻溫度に依る著しき變化なし。尙標準化せるもの及燒入後燒戻せるもの、機械的

第1圖 Cr-Mo-Cb 鋼の熱膨張曲線



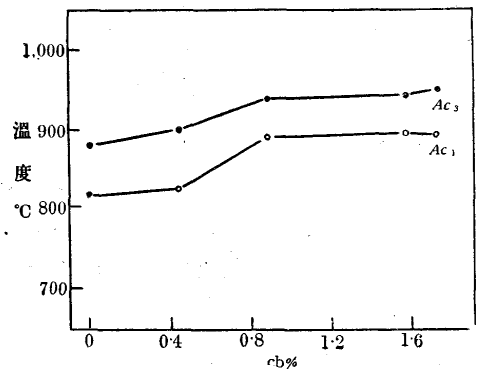
性質はCbの低下に依りて硬度、強度は低下し。伸、絞りは1~2%Cbに於て徐々に、3%Cbに於て著しく高値を示すが衝撃値は何れもCbを添加せざるものに比して低い。

(3) 耐蝕性に関しては多くの無機酸、鹽類等に対しては効果無きも大氣、水の如き侵蝕性甚しからざる腐蝕媒介に対して稍々効果が認めらる。又耐熱性はCbの増加と共に良好となり特に3%Cbに於て著し。

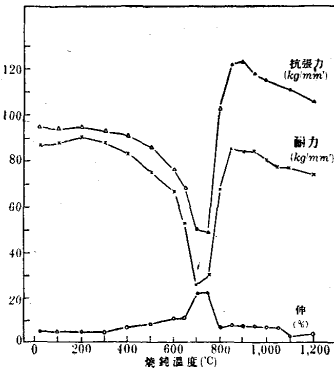
(4) 熔接性に関してはCbを添加せざるものは熔接線に沿ふて龜裂を生じ且熔接部が著しく脆化して完全なる施工は困難なるもCbの添加量1~2%に依りて夫等の缺陷が除かれ熔接後は焼入處理を施し得。更に3%Cbに於ては熔接性良好なるも母材と同様焼入効果が現れぬ。

要之Cbは低合金鋼に添加せられた場合幾分衝擊値を低下せしめる影響を有するが焼入硬化を防止する、高温度強度を増す、耐蝕性及耐熱性を増す、熔接性を改良する等多くの長所を擧げ得る有效なる元素なり。但しCbの價格が相當高きため(55%Cbを含むFerroalloyとして1kg約30圓見當)工業的にどの程度迄實用し得るかが問題である。終りに臨み本研究を指導せられた絹川博士に深甚の謝意を表す。

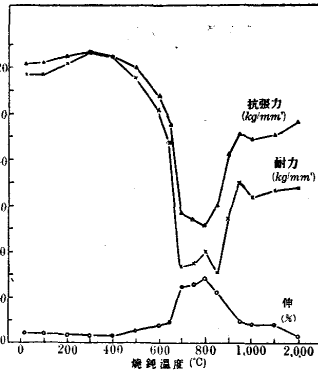
第2圖 Cr-Mo-Cb 鋼の變態點



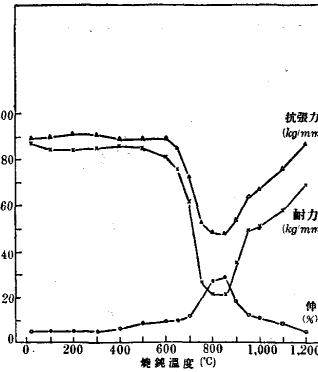
第3圖 CM-Cb-0



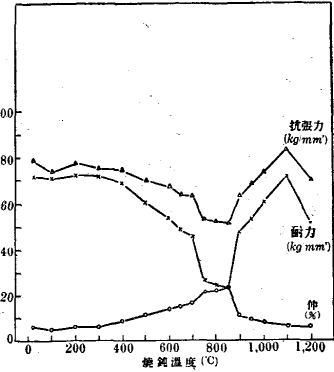
第4圖 CM-Cb-1



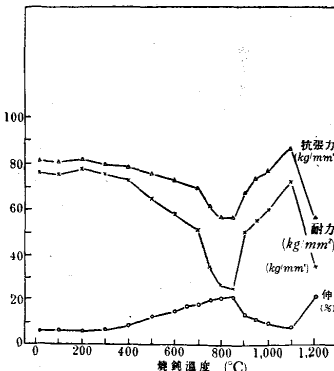
第5圖 CM-Cb-2



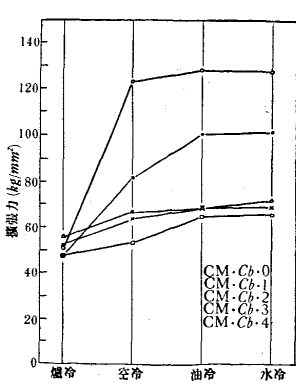
第6圖 CM-Cb-3



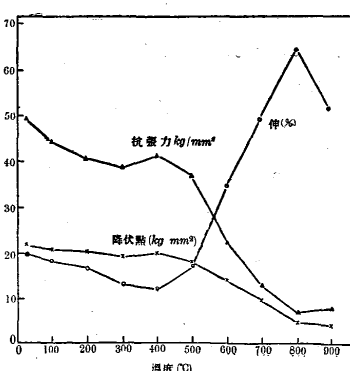
第7圖 CM-Cb-4



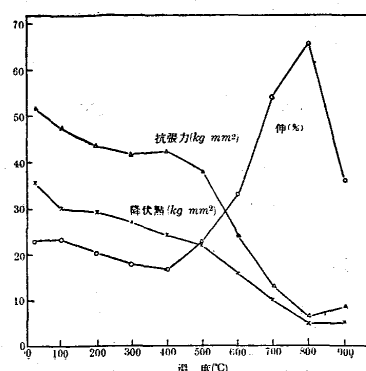
第8圖



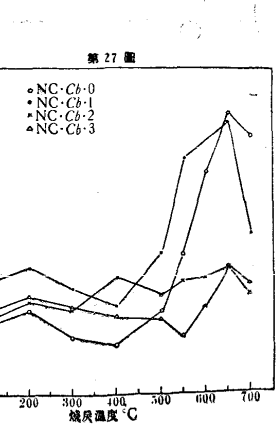
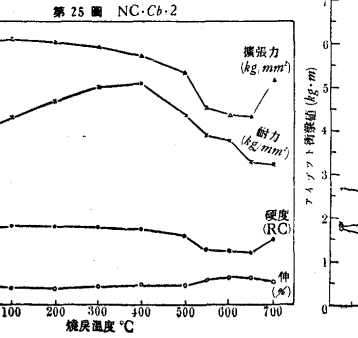
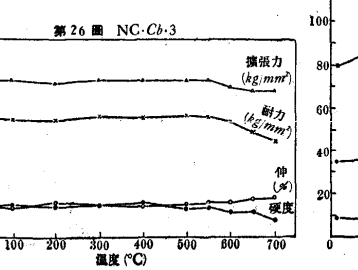
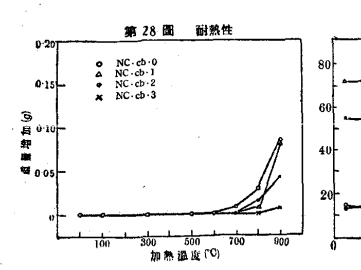
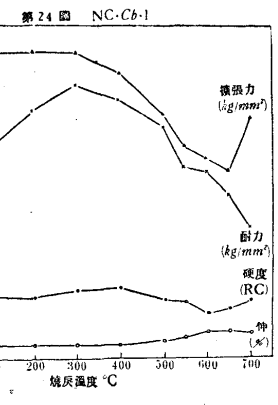
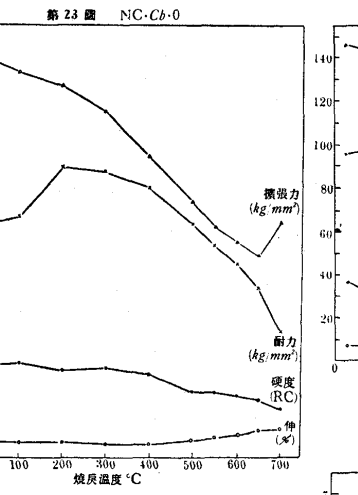
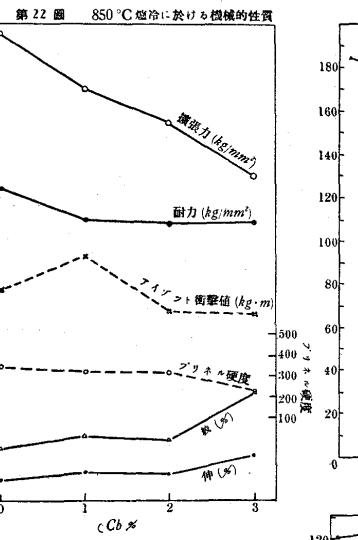
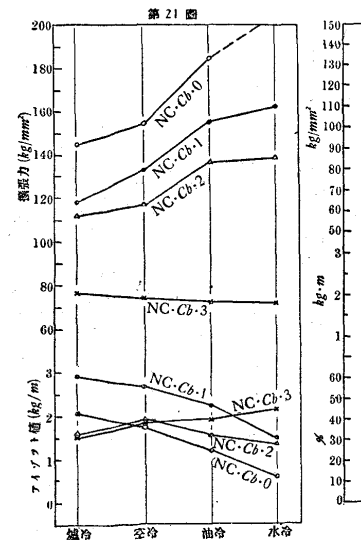
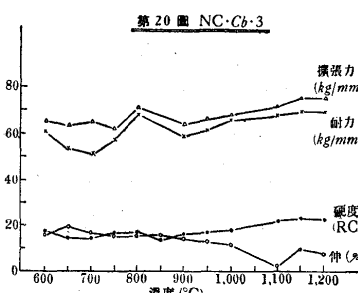
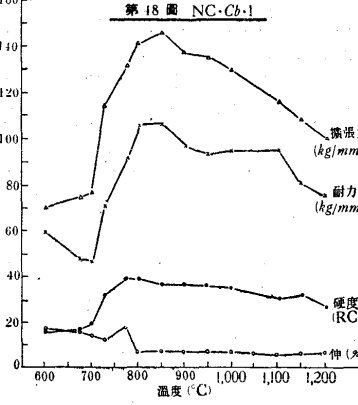
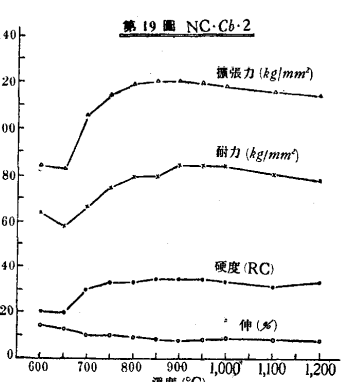
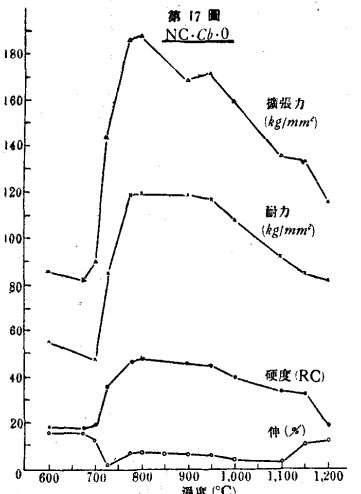
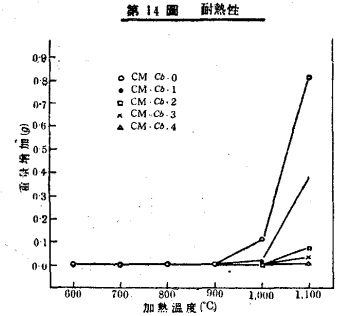
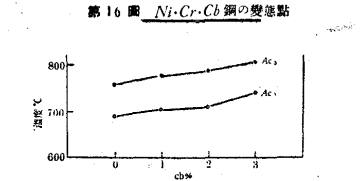
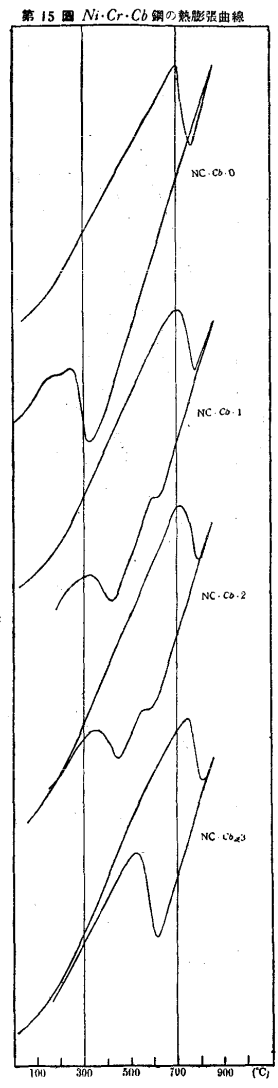
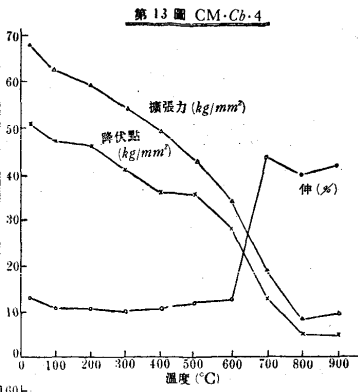
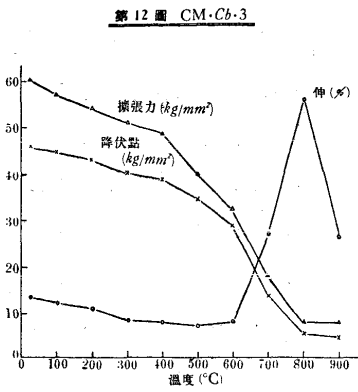
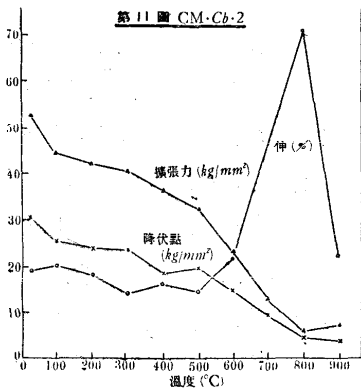
第9圖 CM-Cb-0



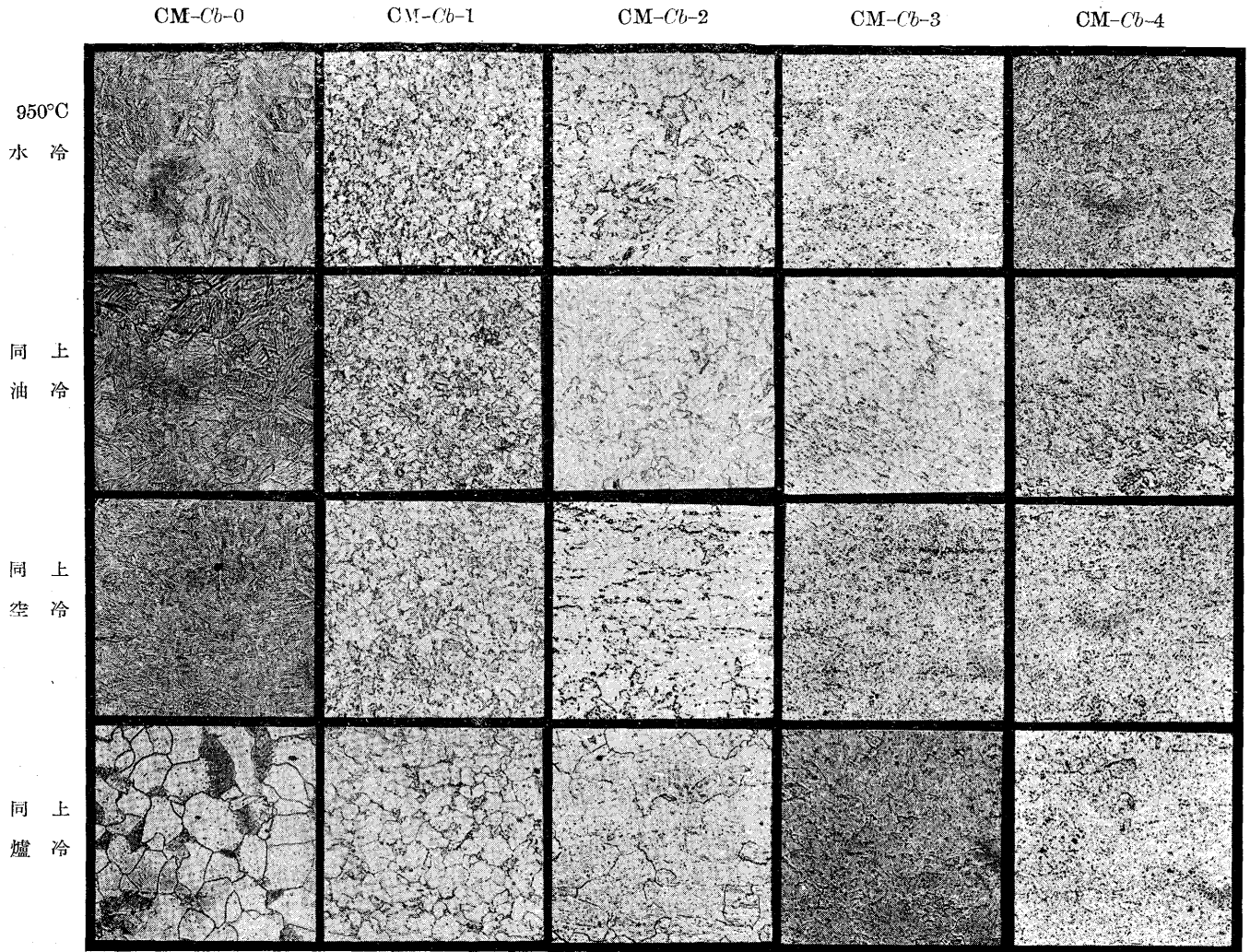
第10圖 CM-Cb-1



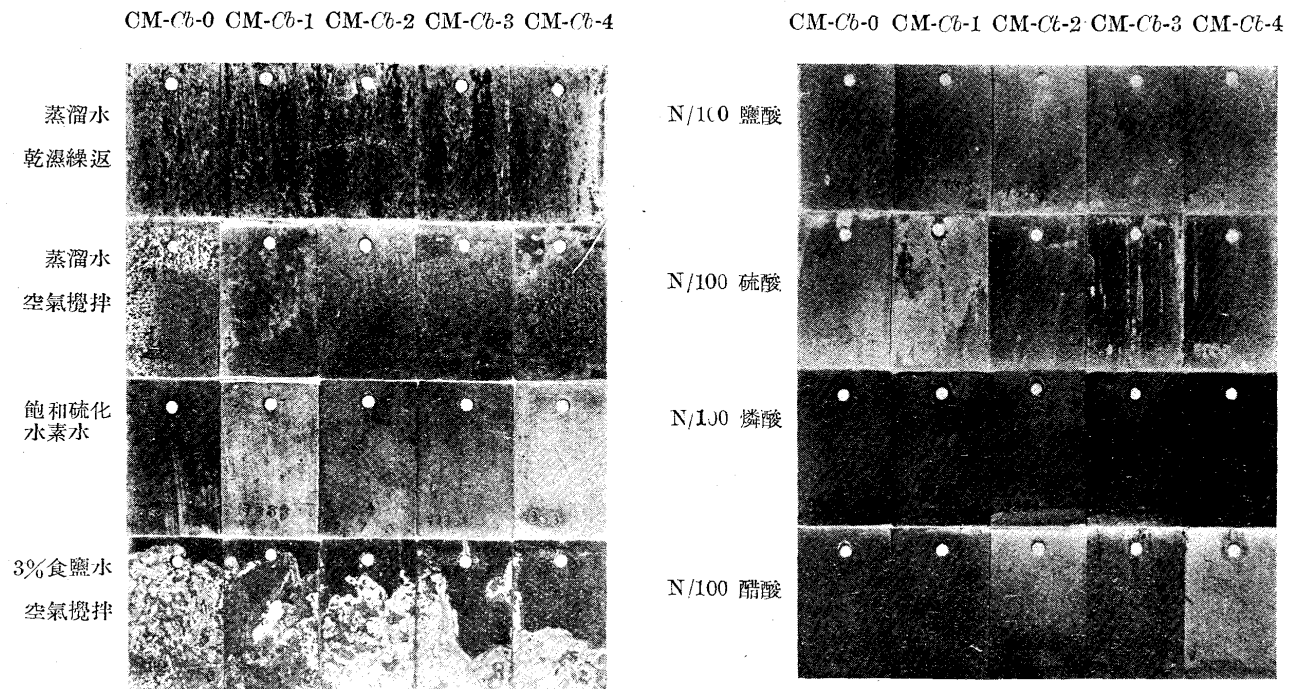




No. 1 Cr-Mo-Cb 鋼の顯微鏡組織 1% 硝酸腐蝕 200 倍



No. 2-a



No. 2-b

CM-Cb-0 CM-Cb-1 CM-Cb-2 CM-Cb-3 CM-Cb-4

CM-Cb-0 CM-Cb-1 CM-Cb-2 CM-Cb-3 C-MCb-4

3%食鹽水  
硫化水素攪拌

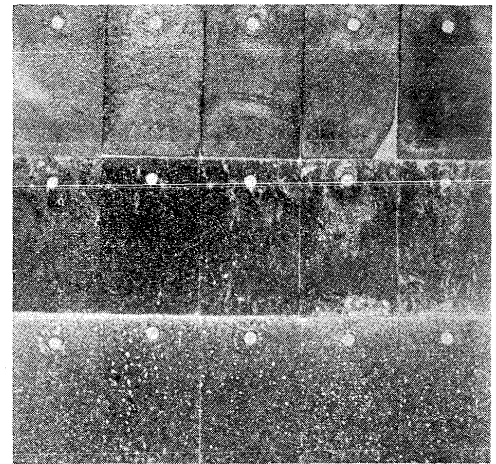
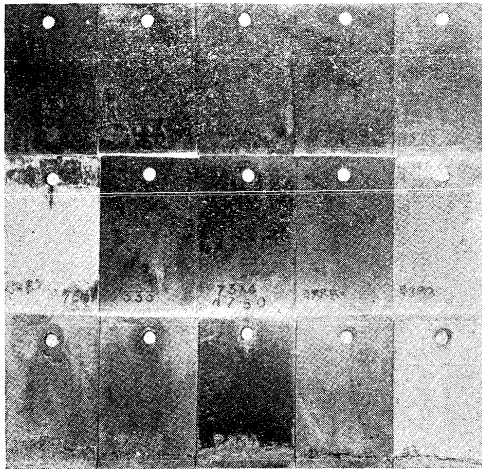
N/100 稀酸

3%食鹽水  
炭酸ガス攪拌

N/100 鹽化マグネ  
シウム

N/100 硝酸

N/100 鹽化アンモ  
ン



No. 3 Ni-Cr-Cb 鋼の顯微鏡組織 1% 硝酸腐蝕 200 倍

MC-Cb-0

MC-Cb-1

MC-Cb-2

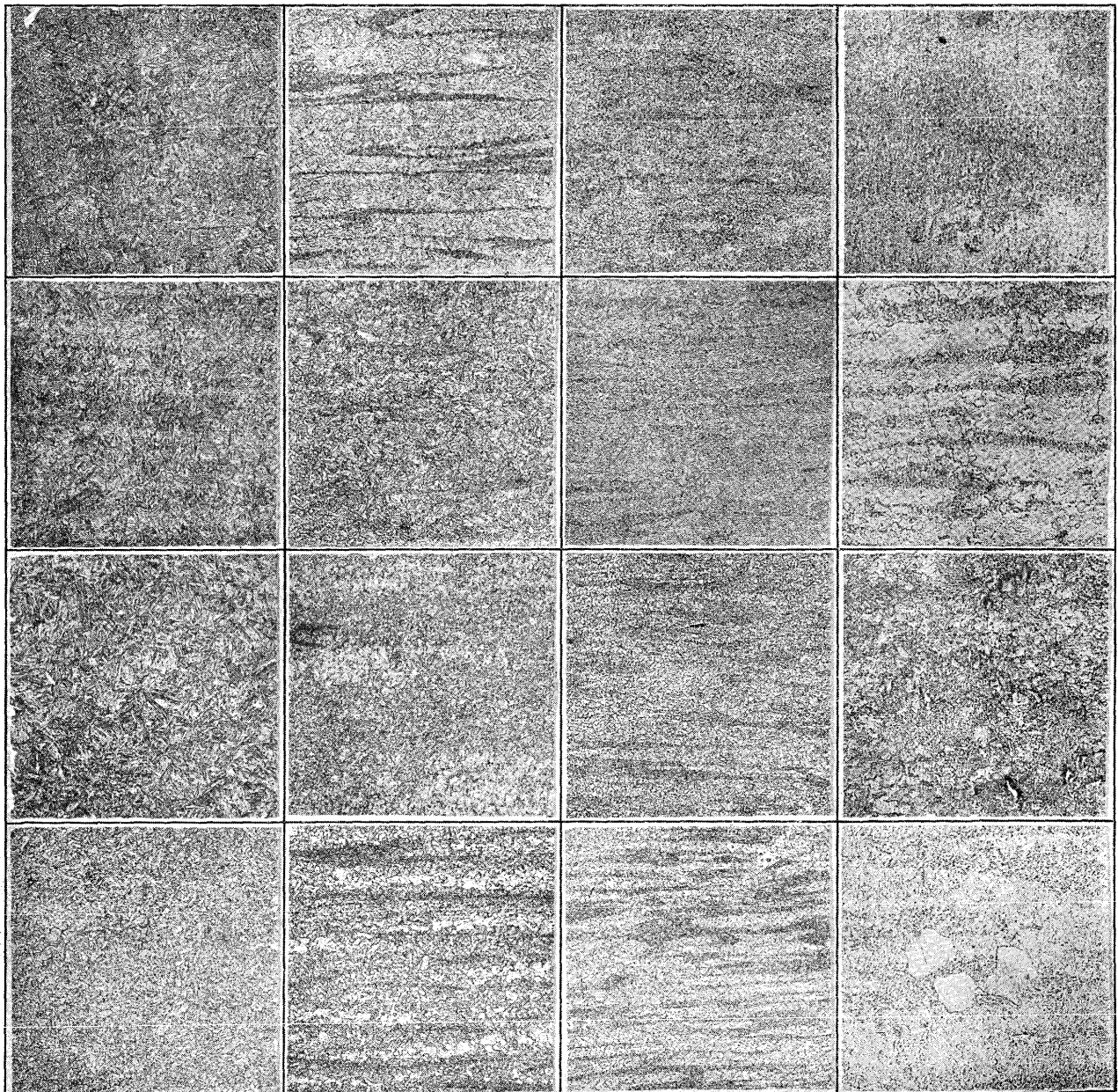
MC-Cb-3

850°C  
水冷

同上  
油冷

同上  
空冷

同上  
爐冷





No. 4 Ni・Cr・Cb 鋼の腐蝕状況

