



Title	含Cr鋼の焼戻に於けるMn及びMn-Niの影響について（第1報）
Author(s)	萩原, 巖; Hagiwara, Iwao; 金澤, 正午 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 9, 154-167
Issue Date	1953-12-10
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40530">https://hdl.handle.net/2115/40530</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	9_154-168.pdf



# 含 Cr 鋼の焼戻に於ける Mn 及び Mn-Ni の影響について (第 1 報)\*

萩原 巖  
金澤 正午  
太田 守

(昭和 28 年 9 月 30 日 受理)

## The Effects of Mn and Mn-Ni on the Tempering Process of Steels Containing Cr.

Iwao HAGIWARA  
Shōgo KANAZAWA  
Mamoru ŌTA

### Abstract

When the Cr steel containing nearly 4 percent Cr (0.3 percent C) has been tempered at 100°~650°C, its tempering hardness curve shows so called "Temper-hardening Type". But Mn-Cr steels showed the same type curves by the more less Cr contents, and when Ni was added to the low Mn-Cr steels which had not shown this temper hardening type, they were showed also the same hardening type curves.

By means of the electronmicroscopic inspection, we have been able to interpret about these matters to some extents. That is, it is considered by the precipitation of carbides, and we shall be able to say that Mn and Mn-Ni promote the precipitation of Cr carbides.

Also we experimented about this problem by means of Charpy impact tests, and its results showed that the more tendency of temper hardening type the, less Charpy impact value, and we have found mutual relations among the temper hardness, electron-microstructure and Charpy impact value.

These results showed Fig. 1~Fig. 18 and phot. 1~phot. 8.

### 内 容

[I] 緒 言 .....	2
[II] 焼戻硬度曲線について .....	2
(1) 試料及び実験方法 .....	2
(2) 實 験 結 果 .....	2
(A) Mn の影響      (B) Mn と Ni 共存の影響 .....	2
[III] 電子顕微鏡試験 .....	5
(1) 試料及び実験方法 .....	5
(2) 實 験 結 果 .....	6

\* 昭和 27 年日本金属學會秋期講演大會に一部發表.

[IV]	シャルピー衝撃試験 .....	7
(1)	試料及び実験方法 .....	7
(2)	実験結果 .....	8
	(A) Mn の影響 (B) Mn と Ni 共存の影響 .....	8
[V]	総括 .....	13

## [I] 緒 言

構造用特殊鋼即ち強靱鋼として現今広く用いられている所謂中炭素低合金鋼は、一般に多かれ少なかれ Cr を含有しており、これに Ni 又は Mn を配合したものが多い。

然るに吾々は Cr 鋼に Mn 又は Mn-Ni を添加するときは、焼戻硬度曲線に焼戻硬化の傾向を現わし、それに伴つて電子顕微鏡組織に析出が認められる事を見出した。更にそれと共に靱性が低下する。この様な事實は未だ報告されて居らないので茲に報告する次第である。

即ち本研究は Cr 鋼, Mn-Cr 鋼, Ni-Mn-Cr 鋼の多數の試料について、硬度試験, 電子顕微鏡試験, 衝撃試験の三つの方法により Mn 及び Mn-Ni の Cr 鋼の焼戻に於ける影響について基礎的な研究を行つたものである。

## [II] 焼戻硬度曲線について

### (1) 試料及び実験方法

試料はすべて同一の母材を用いて 35 KVA の高周波誘導爐にて約 1 kg を熔製し, Al で脱酸後, 長さ 200 mm, 直径 15 mm の金型に鑄込み, 管状電気爐にて 900°C×3 hr の擴散焼鈍後, 黒皮を削り落し厚さ 3 mm に切り出したものである。これ等の化學成分は第 1 表に示す通りである。P.S は特に分析しなかつたが, 母材の成分より推定するとすべて 0.03% 以下であると見られる。

熱処理は鉛バスを用いて 900°C×1 hr 加熱後水焼入を行い後, KNO<sub>3</sub>-NaNO<sub>2</sub> のソルトバスを用いて 200°~600°C の溫度範圍に 30 分焼戻後水冷した。焼入の際この様な小試片に對して加熱時間を 1 時間としたのは, 特殊炭化物を完全にオーステナイト中に溶け込ませる爲であつた。これ等の試料は油冷で焼入が完全に行われるものが大部分であつたが, 少數のもの (即ち Mn 及び Cr 共に少ないもの) は油冷では完全には焼きの入り難いものであつたので, 條件を一定とするために全試料に水焼入を行つたものである。これにより焼割れを生じた試料は殆ど無かつた。

硬度測定にはロックウェルの C スケールを用い, 厚さ 3 mm の圓盤狀の兩面を中心部及び周邊部を避けて數箇所ずつ測定し, 平均をとつたものである。

### (2) 実験結果

#### (A) Mn の影響

Cr 量が 1% 程度の低 Cr 鋼に對する Mn の影響の結果は, Fig. 1 に示した。1.20% Mn

Table 1. Chemical composition of specimens for tempering hardness tests.

Steel	Specimen No.	C	Mn	Ni	Cr	Si
Cr Steel	No. 5	0.26	0.19	tr	1.22	—
	No. 6	0.28	0.21	"	2.11	—
	No. 7	0.28	0.24	"	2.87	—
	No. 8	0.26	0.21	"	4.10	—
	No. 9	0.27	0.19	"	4.92	—
Mn-Cr Steel	No. 30	0.29	1.20	"	1.08	0.18
	No. 31	0.29	1.64	"	0.98	—
	No. 34	0.28	1.39	"	1.95	—
	No. 35	0.29	1.71	"	1.99	—
	No. 36	0.30	2.20	"	1.89	—
	No. 37	0.30	0.74	"	2.64	—
	No. 38	0.29	1.28	"	2.85	—
	No. 40	0.28	2.12	"	2.94	—
Ni-Mn-Cr Steel	No. 41	0.33	1.73	1.45	0.98	0.20
	No. 42	0.29	1.66	2.79	0.90	—
	No. 43	0.28	1.48	4.67	0.90	—
	No. 45	0.27	1.32	2.97	1.87	—

及び 1.64% Mn のいずれの場合も略同様で、焼戻硬度曲線には特別の變化は認められないが、2% Cr 鋼に對しては Fig. 2 に示した如く 1.39% Mn の添加された試料の焼戻硬度曲線は 300°~500°C 焼戻しの範圍に於て軟化の遲滞が起り、そのため Mn を添加しない場合に較べかなりの硬度の増加を示す。1.71% Mn 及び 2.20% Mn の場合には一層その傾向が激しくなつ

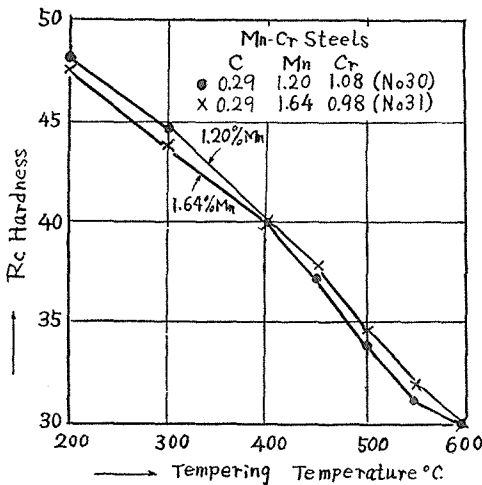


Fig. 1 Effect of Mn on 1% Cr steel.

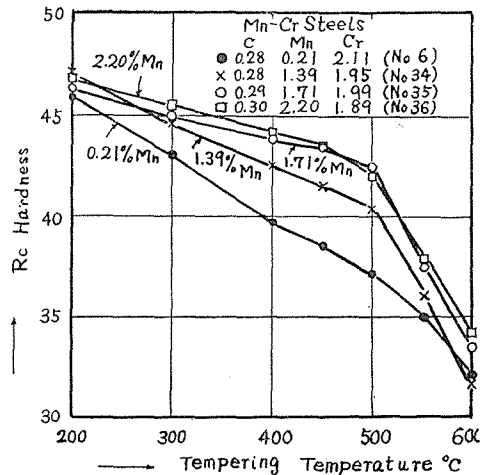


Fig. 2 Effect of Mn on 2% Cr steel.

ている。以下この様に或る温度範囲に於て、軟化度の減少を持つた焼戻硬度曲線を便宜上焼戻硬化型曲線と呼ぶ事にする。

更にCrが3%になるとFig. 3に示した如く、0.74% Mnで早くも焼戻硬化型がみられ、Fig. 2と同じくMn量の増加と共にその硬化型が著しくなっている。かくてCr鋼にMnが添加された場合、1% Cr鋼ではその影響は殆んど認められないが、2%以上の場合はMnの添加量に従つて激しく焼戻硬化型曲線を示し、これに対して単純Cr鋼ではFig. 4に示した如く、

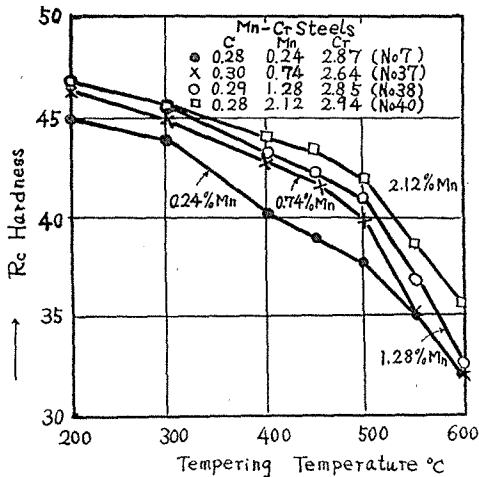


Fig. 3 Effect of Mn on 3% Cr steel.

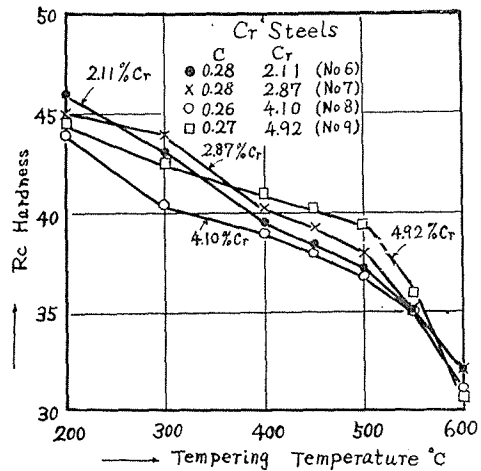


Fig. 4 Effect of Cr on 0.3% C steel.

4% Cr以上でないとは明瞭な硬化型曲線を示さないものである。(Fig. 4の4.10% Cr鋼の曲線が全体として硬度の低いのはC量が低いためである)。Fig. 5は焼戻硬化型となるに要するCr量とMn量との関係を示したもので、同の曲線は焼戻硬化型と非焼戻硬化型との大体の境界線を示したものである。なをまたFig. 2及びFig. 3によれば一定Cr量に対して、焼戻硬化の傾向を興えるMn量には或る限度があり、それ以上添加しても焼戻硬化には影響が少ないことが判る。

(B) MnとNi共存の影響

CrにMnとNiが共存した場合の實驗としてMn-Cr鋼に対するNiの影響とも云うべき實驗を行つた。即ちFig. 6は1% Cr, 1.5% MnのCr-Mn鋼にNiを添加した場合であるが、これによると先にFig. 1に示した様にCrが1%程度のCr-Mn鋼はMnが1.64%あつても焼戻硬化型曲線を示さなかつたが、

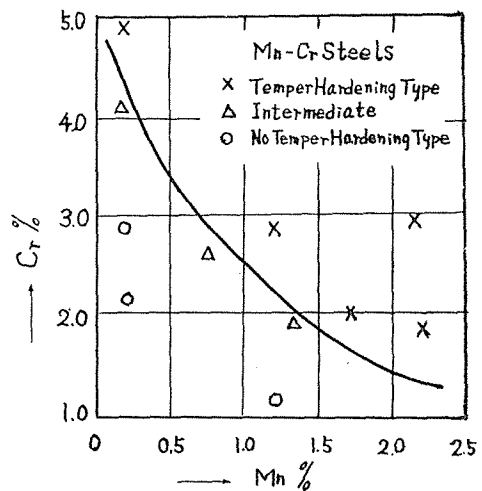


Fig. 5 Relation of Cr and Mn for temper-hardening type.

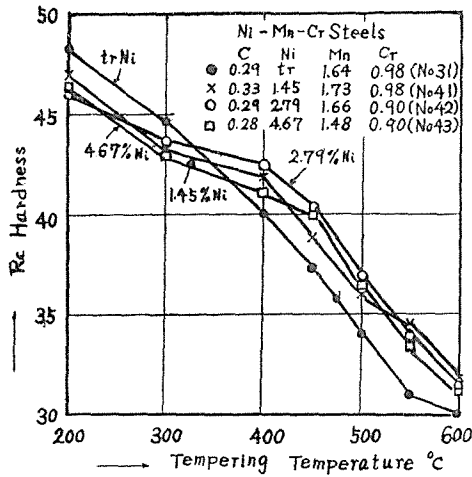


Fig. 6 Effect of Ni on 1.5% Mn-1% Cr steel.

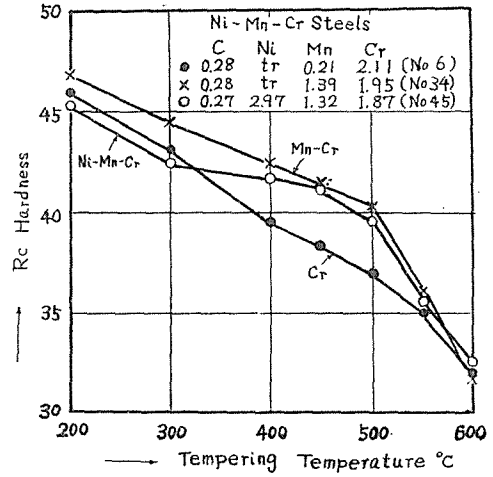


Fig. 7 Comparison of Cr steel, Mn-Cr steel and Ni-Mn-Cr steel which are containing 2% Cr.

Ni の添加により明らかに焼戻硬化型になる事が知られる。即ち 1.45% Ni の添加によつて明瞭な焼戻硬化型の傾向を示し、2.79% Ni 及び 4.67% Ni も亦同様に硬化型を呈している。Fig. 7 は、いずれも Cr 含有量が 2% の Cr 鋼、Mn-Cr 鋼、Ni-Mn-Cr 鋼の焼戻硬度曲線を比較したものであるが、単純 Cr 鋼は焼戻硬化型を示しておらず、Mn が 1.39% 添加されたものは、かなり顕著な焼戻硬化型を呈し、更に Ni が 2.79% 添加された場合はその傾向を強くしている。但しそれは 200°C 及び 300°C に於ける硬度が低いことによつて注目すべきである。かくして Ni の添加により Mn-Cr 鋼はより少ない Cr 含有量に於て、焼戻硬化型を示すことが判る。また Fig. 6 によれば、Mn の場合と同様 Ni もその添加量が焼戻硬化傾向に與える影響には或る限度が見られる。

以上含 Cr 鋼の焼戻硬度曲線に對して Mn 及び Ni-Mn 共存の影響を述べたのであるが、Mn の添加によつて焼戻硬化の傾向が助長されること、更にこれに Ni が加わると一層その傾向が著しくなること、及びそれ等の添加量の影響に限度があること等が明らかとなつた。

### [III] 電子顯微鏡試験

焼戻硬度曲線が前述の如き硬化型を示す事に對しては、次の如き原因が挙げられる。

- (i) 残留オーステナイトの分解による軟化の遅滞
- (ii) 特殊炭化物の析出 (その析出量と分散状態) による析出硬化

残留オーステナイトの影響は、今後磁氣分析、subzerotreating 等を用いて試験を行う事とし、先ず電子顯微鏡を用いて焼戻温度 450°C に於ける炭化物の析出状態について實驗して見た。

#### (1) 試料及び實驗方法

試料はすべて硬度試験に用いた試料をそのまま、硬度穴の消えるまでサンドペーパーにて

研磨し、これを電子顕微鏡試験に供したものである。

検鏡試料作成法はメチルメタクリルアルミニウム法の二段レプリカ法を採用し、45° の Cr シャドウィングを行つたものである。腐蝕は 2% 硝酸アルコール溶液で行い倍率は 7200 倍で撮影し、これを引伸ばして 12500 倍にしたものである。本試験に供した試料は第 1 表中の Cr 鋼 (No. 5, No. 6) Mn-Cr 鋼 (No. 31, No. 34), Ni-Mn-Cr 鋼 (No. 42, No. 45) の計 6 個である。いずれも焼戻硬化を激しく示している 450°C 焼戻のものについて研究した。各焼戻温度の場合も撮影したが、これについては次の機会に発表する。

## (2) 実験結果

先ず Cr 含有量がいずれも約 1% の Cr 鋼, Mn-Cr 鋼, Ni-Mn-Cr 鋼の 3 種について比較してみる。

phot. 1 は 1.22% Cr の単純 Cr 鋼であるが、これには微粒子状又は小板状の析出物が見られる。これは所謂  $\theta$  相炭化物 ( $\text{Fe, Cr})_3\text{C}$  であると考えられる。

Phot. 2 は 1% Cr 鋼に 1.64% Mn が添加された場合であるが、これは phot. 1 と明瞭な差異を示している。即ち phot. 1 に見られた微粒子状又は小板状の析出物はなく、それよりもかなり大きな球状粒子の析出が明らかに認められる。この球状粒子は Cr の特殊炭化物、恐らく  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  に Fe 及び Mn の溶けこんだものではなかろうか。Cohen<sup>1)</sup> は 0.67% C, 4% Cr 鋼に於ける同様の析出粒子を (phot. 8) 残渣分析により、 $(\text{Cr, Fe})_7\text{C}_3$  である事を確めているので、この球状粒子もその様な特殊炭化物と推定するものであるが、その確認の研究は今後譲る。

phot. 3 は更にこの Mn-Cr 鋼に Ni が添加された場合の組織であるが、これは phot. 2 より更に析出が進行し、球状の粒子が一層大きく発達している。従つて Mn-Cr 鋼に更に Ni が加わつた場合は特殊炭化物の析出が助長されるとみてよいであろう。この様な組織に於て明らかに析出硬化型を呈する様になる。(Fig. 6)

次に Cr 含有量 2% の Cr 鋼, Mn-Cr 鋼, Ni-Mn-Cr 鋼について比較してみよう、

phot. 4 は 2.11% Cr の単純 Cr 鋼の場合であるが、これは phot. 1 と同じく未だ微粒子状又は小板状の析出物のみで、特殊炭化物と思われるものの析出は見られない。

phot. 5 はこれに 1.39% Mn が添加された場合であるが、これは特殊炭化物の球状粒子が多量に析出したと見られる組織を示している。

phot. 6 は更に Ni が添加された場合であるが、これは Mn-Cr 鋼よりやや多くの析出物が見られ、又その発達も認められる。然し 1% Cr の場合に比べると Ni の影響がそれ程顯著でないのは、Cr が多いため Mn の添加のみで大部分の特殊炭化物が析出しているからである、それにもかかわらず Fig. 7 に於て含 Ni 鋼が著しい硬化型を示しているのは、200°~300°C に於ける組織変化によるもので、これについては次の機会に発表したい。

Cohen<sup>1)</sup> の研究によれば、0.67% C, 4.0% Cr の単純 Cr 鋼に於て特殊炭化物の析出温度は

640°C である。即ち 540°C で小板状のみを示した組織 (phot. 7) が 640°C に於ては、これが地質に溶けこむ一方  $(Cr, Fe)_7C_3$  なる球状炭化物が析出し、705°C (phot. 8), 760°C と温度の高くなるにつれて大きく粒子が発達して行く事を示している。吾々の研究に於ては 0.3% C の 1% Cr, 2% Cr の場合で、C と Cr 量が異なる爲、その析出温度は Cohen の場合と異なると考えられるが、これ等の単純 Cr 鋼の場合とはともかく 450°C に於ては、特殊炭化物と思われぬ析出物は全く認められなかつた。この事からも Mn 及び Mn-Ni の共存は Cr の特殊炭化物の析出を助長して、その析出温度を低下させるものと考えられる。

以上 Cr 含有量 1% 及び 2% の Cr 鋼, Mn-Cr 鋼, Ni-Mn-Cr 鋼の 450°C 焼戻の場合の組織を電子顕微鏡によつて観察したのであるが、Mn 及び Mn-Ni の共存は、Cr の特殊炭化物の析出を助長し、これが焼戻硬度曲線に硬化型の傾向を興える原因となるものと考えられる。而して析出する特殊炭化物の量は、C 量と Cr 量によつて限度があり、従つて Mn 又は Mn-Ni の特殊炭化物の析出を助長する作用にも限度が認められるのであり、この事は焼戻硬度曲線と一致するものである。一方もし硬化の傾向が残留オーステナイトによるものであるとすれば、Ni 及び Mn の添加量に従つてその傾向を激しくする筈である。かくして焼戻硬化の傾向は主として特殊炭化物の析出に起因するものであり、残留オーステナイトの影響は、それがあつたとしても輕微なものと考えられる。

#### [IV] シヤルビー衝撃試験

前述の如き焼戻硬化型の傾向及び組織の變化が、鋼の靱性に對して如何なる影響を興えるものか、即ち硬度の増加に伴つて靱性の低下するのは當然としても、その低下の程度が硬度増加に相應したものであるか否かについて、實驗を行つて見たものである。

##### (1) 試料及び實驗方法

本實驗に用いた試料は、クリプトル爐を用いて熔製した 4 kg の特に P.S の少ない小型鋼塊より作製したものである。この様な小型試料に對する實驗結果は、實用上の價値に疑問が抱かれ易いのであるが、平爐鋼、電氣爐鋼との比較試験によつて然らざる事を既に著者の一人が確めている。<sup>2)</sup>

鋼塊はこれを 12~13 mm 角に鍛造しこれより、標準型シヤルビー衝撃試験片を仕上げ後焼入、焼戻の處理を行つたものである。ノッチは高硬度のもの實驗の便宜のため、熱處理前にこれをつけたものである。熱處理は  $Ac_3$  上 30°~50°C に 30 分加熱し、油焼入を行つた。[II] の硬度試験に供した試料は、水焼入を行つたのであるが、本試験片は衝撃試験に供するものである爲、焼割れは絶対に避けねばならず、又成分的に殆どすべて油冷で完全に焼入され得るのであつたので油焼入を採用した。焼戻は 100°, 200°, 300°, 400°, 500°, 550°, 600°, 650°C の各温度で、40 分加熱した後水冷した。シヤルビー衝撃試験は同一熱處理のものに對して、2 個宛

の試料を用いてその平均値をとつたが、その差は一般に極めて少なかつた。更に本試料について硬度試験をも行つたが、これはロックウェル C スケールを用いて測定したものである。

本実験に用いた試料の化学成分は第2表に示す。

Table 2. Chemical composition of specimens for Charpy impact tests.

Steel	Specimen No.	C	Mn	Ni	Cr	Si	P	S
Mn-Cr Steel	No. S 6	0.29	0.60	—	1.18	0.29	0.010	0.017
	No. S 7	0.29	1.13	—	1.07	0.26	0.010	0.010
	No. S 8	0.31	1.20	—	1.01	0.13	0.011	0.008
	No. S 9	0.27	1.63	—	1.08	0.27	0.011	0.011
	No. S 15	0.31	0.48	—	2.12	0.22	0.010	0.015
	Ne. S 16	0.28	1.00	—	2.18	0.30	0.010	0.013
	No. S 17	0.31	1.10	—	1.83	0.10	0.013	0.011
	No. S 18	0.32	1.76	—	2.36	0.34	0.019	0.012
	No. S 19	0.29	0.44	—	3.24	0.24	0.013	0.015
	No. S 20	0.32	1.18	—	3.28	0.38	—	0.014
	No. S 21	0.32	1.74	—	3.31	0.36	0.020	0.015
	No. S 22	0.28	2.12	—	3.38	0.39	0.023	0.021
Ni-Mn-Cr Steel	No. S 31	0.29	1.13	—	1.07	0.26	0.010	0.010
	No. S 32	0.28	1.28	1.18	1.10	0.27	0.009	0.011
	No. S 33	0.26	1.18	2.16	1.07	0.26	0.012	0.010
	No. S 34	0.28	1.16	3.04	1.09	0.28	0.011	0.010

## (2) 実験結果

本実験に於ては Fig. 8 に示した如く、すべて各焼戻温度に於ける衝撃値の曲線と共に [II] の実験と同じく焼戻硬度曲線をも求めたが、この結果は Fig. 8~Fig. 17 に示した如く [II] の実験結果と同じ様な傾向を示しており、その実験結果を更に確めた事になる。(試料の成分、大きさ、焼入の冷却方法等が異なるので、その硬度には多少差がある)。故にここでは圖の焼戻硬度曲線に対する説明は省略する。又靱性の程度を知るために焼戻温度—シャルピー衝撃値の曲線の他に、硬度—衝撃値曲線を求め Fig. 9, 11, 13, 15, 18 に示した。

### (A) Mn の影響

Cr 量が 1% 程度の低 Cr 鋼に対する Mn の影響は、Fig. 8 及び Fig. 9 に示した。Mn の添加によつて焼戻硬度曲線は殆ど焼戻硬化の傾向を示さないが、衝撃値は Mn の添加によつて次第に低下してゆく事がわかつた。即ち 0.6% Mn では 300°C 附近に所謂低温焼戻脆性の谷を生じた後は、殆ど直線的に衝撃値が上昇しているのに對し、1.13% Mn 添加のものは 450°C 附近即ち硬度 40 附近からわずかに衝撃値の低下を示し始め、以下 1.20% Mn, 1.63% Mn とその傾向を増加し、550°C 即ち硬度 35 附近に於て最も低下を示している。

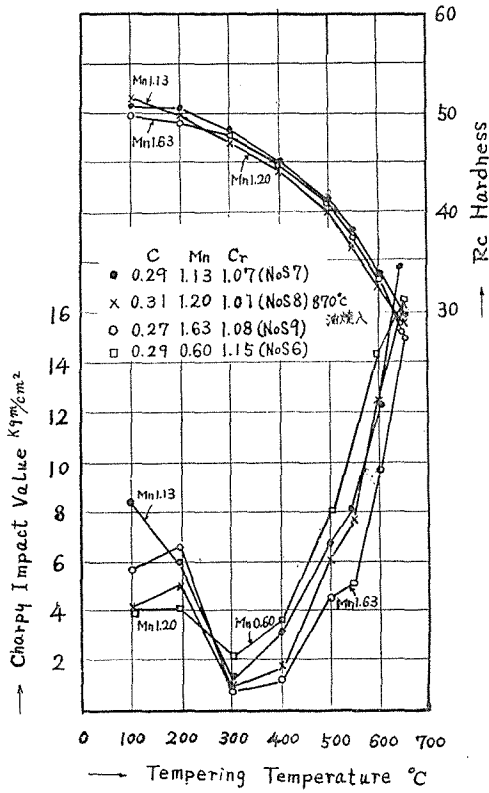


Fig. 8 Effect of Mn on 1% Cr steel.

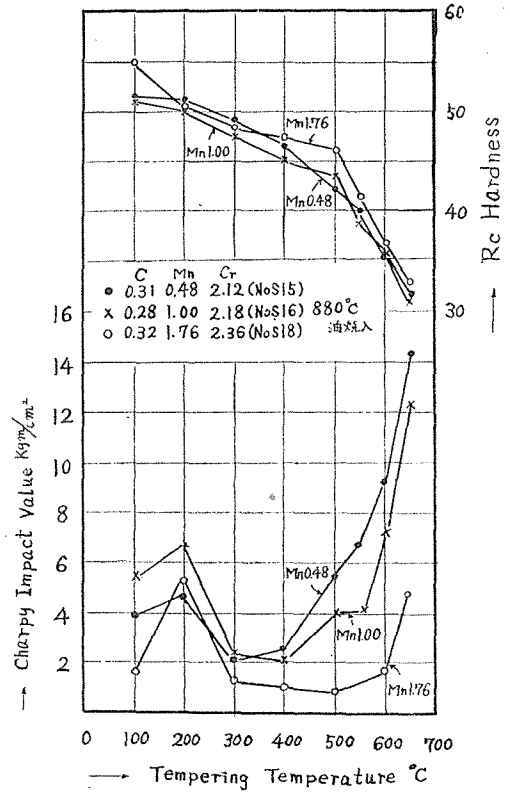


Fig. 10 Effect of Mn on 2% Cr steel.

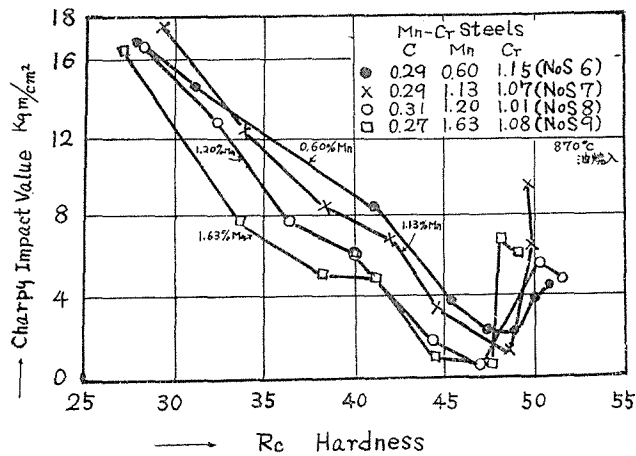


Fig. 9 Effect of Mn on 1% Cr steel.

2% Cr 鋼に対する Mn の影響は Fig. 10 及び Fig. 11 に示した如く、0.48% Mn では、殆ど靱性の低下を示さないが、1.00% Mn ではかなりの脆化を示し、1.76% Mn では300°C 附近に於ける低温焼戻脆性が、そのまま600°C まで続いた様なはげしい脆化を示している。3% Cr 鋼の場合は更にその傾向が、はげしく Fig. 12 及び Fig. 13 の如く 0.44% Mn ではそれ程の脆化を示さないが、Mn 量が増加するとそれと共に極端な脆化を示している。

かくて Cr 鋼に Mn が添加された場合 1% Cr 鋼から早くも Mn の添加により脆化を示し、2% Cr、3% Cr と Cr 量が増加するにつれて、Mn の影響が大になつている。一方単純 Cr 鋼

の場合は Fig. 14 及び Fig. 15 に示した如く、2.12% Cr、3.24% Cr ではいくらか脆化の傾向は認められるが、明確な脆化を示すのは 4.11% Cr からである。

Fig. 16 は HRC 35 に於て、一定 Cr 量に対する Mn の添加量の影響を示したもので脆化に対する Mn の影響が明瞭に示されている。即ち Cr の多い鋼ほど僅かの Mn によつて脆性が始まる。

以上の結果を [II] の焼戻硬度曲線と [III] の電子顕微鏡試験の結果と比較してみると Cr 含有量が 1% の場合 Mn 添加によつて硬化型にならないに拘らず靱性の低下が示されているのは、phot. 2 に示す如く僅かではあるが特殊炭化物が析出しているのに相應している。一方 2%、3% Cr の場合は、いずれもその焼戻硬度曲線が硬化型の傾向を激しくしている鋼程、脆性も亦激しくなつている事が分かる。又 Fig. 18 の如く Cr の多い鋼程わずかの

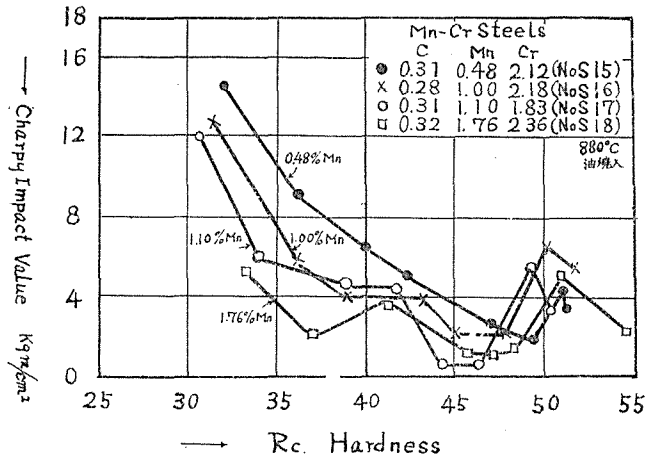


Fig. 11 Effect of Mn on 2% Cr steel.

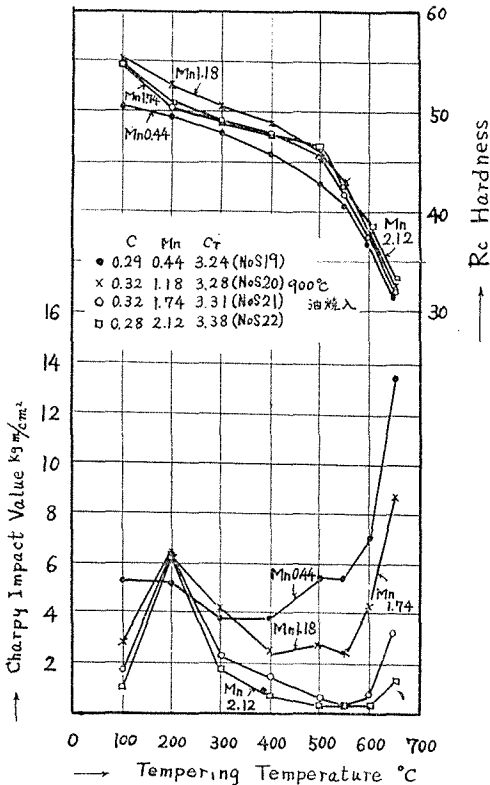


Fig. 12 Effect of Mn 3% Cr steel.

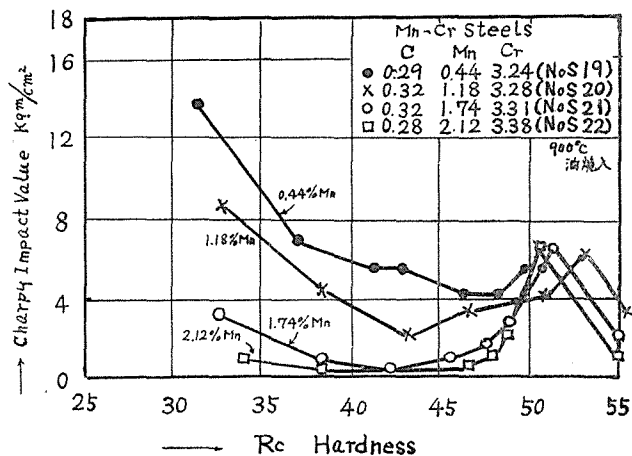


Fig. 13 Effect of Mn on 3% Cr steel.

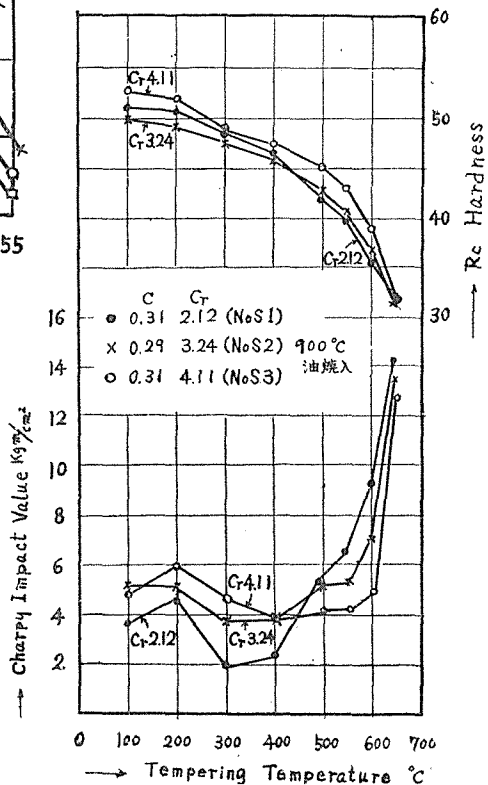


Fig. 14 Effect of Cr on 0.3% C steel.

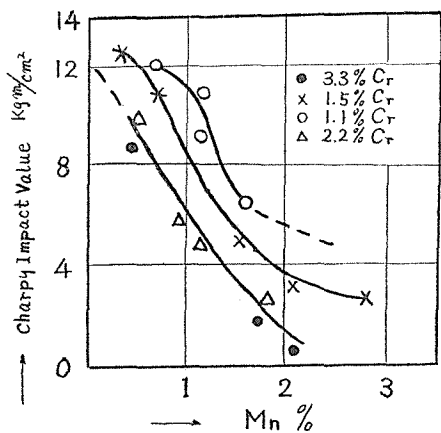


Fig. 16 Relation of Mn % and Ni % for Charpy impact value.

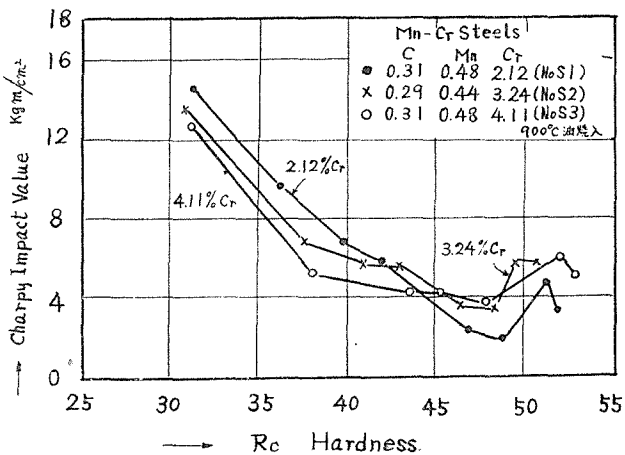


Fig. 15 Effect of Cr on 0.3% C steel.

Mn によつて脆性が始まる事は Fig. 5 の焼戻硬度曲線が、Cr のの多い程わずかの Mn で脆化型を示し始める事と一致している。

従つて焼戻硬化と脆性とは密接な関係のある事がわかる。[II] に於て述べた如く Mn 添加による焼戻硬化は Mn が Cr の炭化物の析出を助長する爲であつたが、衝撃値に對する Mn の影響は Mn そのものの影響、即ち地鉄の脆化或は Hollomon<sup>3)</sup> の稱える窒化物への影響等が推測される爲、當然この影響も考えに入れねばならぬ。衝撃試験に於ては焼戻硬度試験の場合と異なり、Mn の添加量の影響に限度がなく、その添加量の増加と共に脆化を増す事はこの事より理解出来る。又焼戻硬化が 650°C に於ては恢復するのに對して、脆化は 650°C に於てもなお激しく起つて

いる事は、これも Mn そのものの影響と考えられるが、然し前述の如く焼戻硬化の傾向と靱性低下の傾向と密接な関係のある事、又一定 Mn 量に於ては Cr 量の多いもの程脆化が著しい事、更に Mn は Cr の炭化物の析出を助長すると見られる事實より考へて、Fig. 8~Fig. 15 に示した脆化は「Mn そのものの影響」に「Mn による Cr 炭化物の析出助長」が加えら

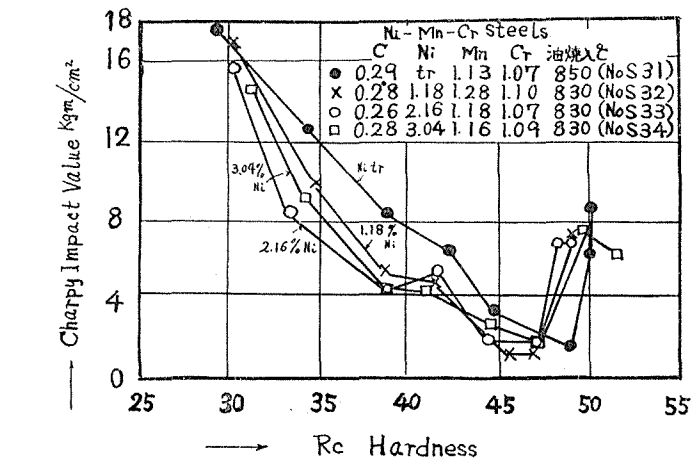


Fig. 18 Effect of Ni on 1% Mn-1% Cr steel.

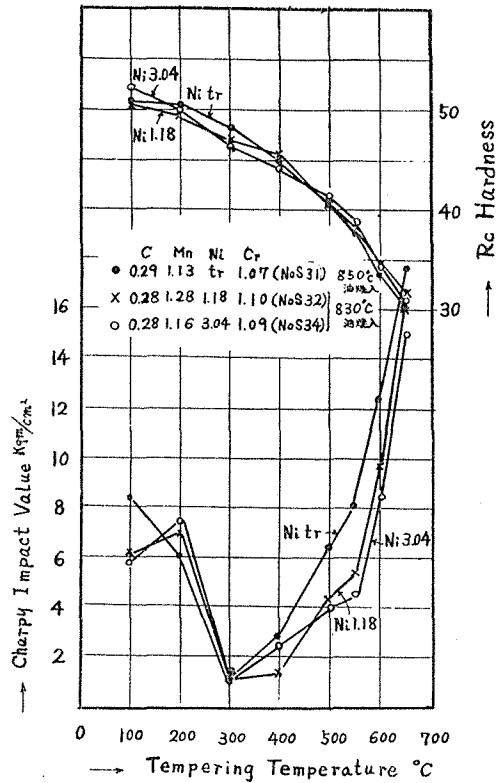


Fig. 17 Effect of Ni on 1% Mn-1% Cr steel.

れたものと考えられる。

(B) Ni-Mn 共存の影響

Fig. 17 及び Fig. 18 は、1% Cr-1% Mn 鋼に Ni を 1~3% 添加した場合の結果である。Ni のない場合は Fig. 8 及び Fig. 9 にも示した如く、1% Cr-1% Mn ではほんの僅かの脆化しか現わなかつたのであるが、これに 1.18% Ni が添加されると 550°C 附近を谷としてかなりの脆化が示されている。而して 2.16% Ni (この場合は圖の

繁雑を避ける爲に (Fig. 18) のみに示した) 3.04% Ni 添加の場合と殆ど差がない。即ち Mn の場合は Fig. 8~Fig. 9 に示した如くその添加量の増加に従つて脆化を増したが, Ni の場合はその添加量の影響は焼戻硬度曲線の場合と同じく, ある一定量以上は影響しない事が認められた。この事は前に述べた焼戻硬度曲線に対する Ni の添加量の影響と一致している。即ち Ni 添加による焼戻硬化型の傾向の原因は, Cr の炭化物の析出によるものであり, 而してその析出量は Cr 含有量により, 決定される爲に Ni の添加量の影響には限度がある事を示したが, 衝撃試験の結果もこれと一致する事と, 又 Ni は Mn と異なり, Ni そのものの脆性は考えられない事よりしてこの脆化の原因は, 焼戻硬化の原因と同じく Cr の炭化物の析出によるものであると考えるものである。

以上含 Cr 鋼に対する Mn 及び Ni の影響を衝撃試験によつて研究したが, これ等の脆化現象は永澤氏<sup>(4)</sup>の稱えた所謂第一次焼戻脆性に属するものである。

## [V] 總 括

以上含 Cr 鋼の焼戻過程に對して Mn 及び Ni が如何に影響するかを, 多數の Cr 鋼, Ni-Cr 鋼, Ni-Mn-Cr 鋼について焼戻硬度試験, 電子顯微鏡試験及び衝撃試験を行つたが, 以上を總括すると次の如くである。

(1) Cr 鋼に Mn が添加された場合は添加する Mn 量の増加に従つて, より少ない Cr 量に於て焼戻硬度曲線に硬化型の傾向が現われた。

(2) 焼戻硬化型を示さない低 Mn-Cr 鋼に Ni が添加されると同じく焼戻硬化型曲線を示した。

(3) 以上の焼戻硬化の原因は電子顯微鏡試験の結果から, Cr の特殊炭化物と考えられる析出物によるものであり Mn 及び Ni はこれ等の特殊炭化物の析出を助長する作用があることを認めた。

(4) Mn 及び Ni の添加量の影響は Cr の炭化物の析出量が, C と Cr 含有量により決定される爲におのずから限度がある事, 従つて一定量以上は焼戻硬度にも影響はしないことを認めた。

(5) 衝撃試験の結果は一般に焼戻硬化の傾向が激しい鋼程激しく脆化を示した。

(6) Mn 添加の場合はその添加量の増加に従つて脆化も激しい事が示されたが, これは Mn そのものの脆化作用を考えに入れねばならない。

(7) Ni-Mn 共存の場合は焼戻硬化と脆化とは, 全くその傾向を同じくしている。

(8) 従つて吾々は Mn 添加による脆化は Cr の炭化物析出と Mn そのものの脆性が, 相重なつたものであり Ni 添加による脆化は, この特殊炭化物の析出の影響と考えた。

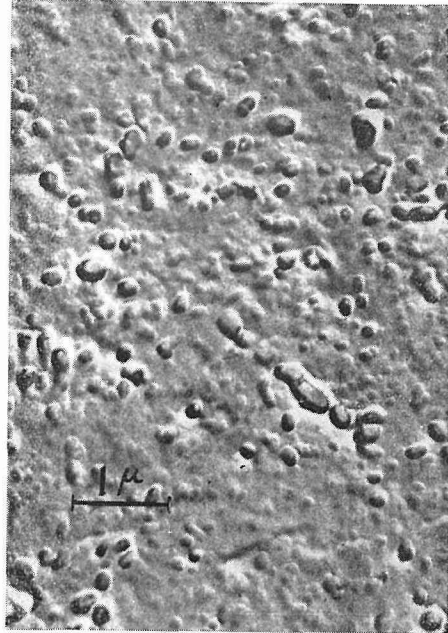
最後に本研究の電子顕微鏡撮影に際して、種々御便宜を賜つた北大電子顕微鏡研究室に深謝する。

### 文 献

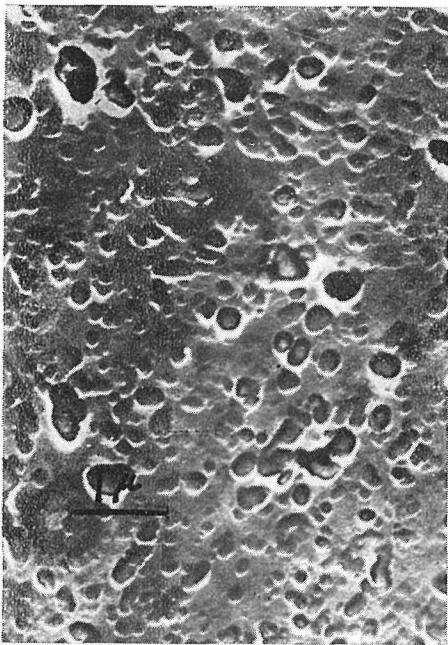
- 1) R. W. Balluffi, Morris Cohen and B. L. Averbach: "Tempering of Cr Steel" Transaction, American Society for Metals. 1951. Vol. 43 p. 497.
- 2) 萩原巖: "特殊鋼の衝撃抗力 (P. S 及び特殊元素)" 鐵と鋼 昭和 16 年 第 28 年 第 11 號 p. 1209.
- 3) J. H. Hollomon: "Temper Brittleness" Transaction, American Society for Metals. 1946. Vol. 36 p. 423.
- 4) 永澤清: "鋼の焼戻脆性について" 鐵と鋼 昭和 8 年 第 10 年上 p. 174.



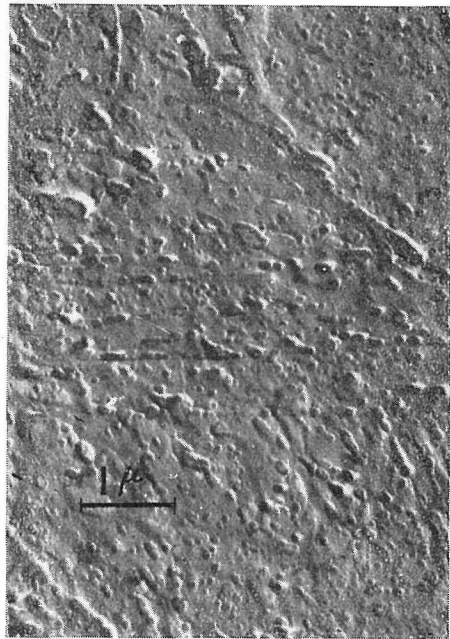
Phot. 1. C 0.26%, Cr 1.22%, Specimen No. 5. ×12500



Phot. 2. C 0.29%, Mn 1.64%, Cr 0.98%, Specimen No. 31. ×12500



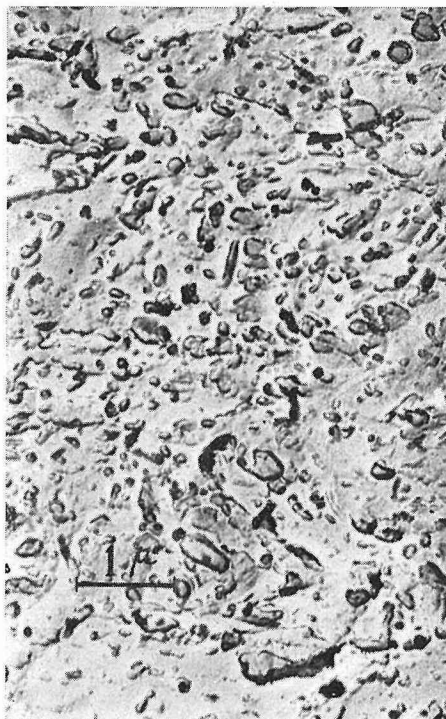
Phot. 3. C 0.29%, Ni 2.79%, Mn 1.66%, Cr 0.90%, Specimen No. 42 ×12500



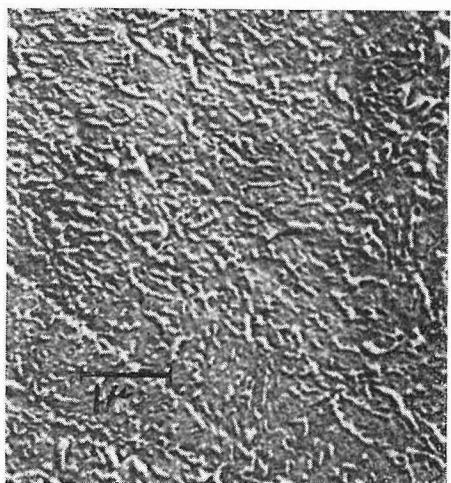
Phot. 4. C 0.28%, Cr 2.11%, Specimen No. 6. ×12500



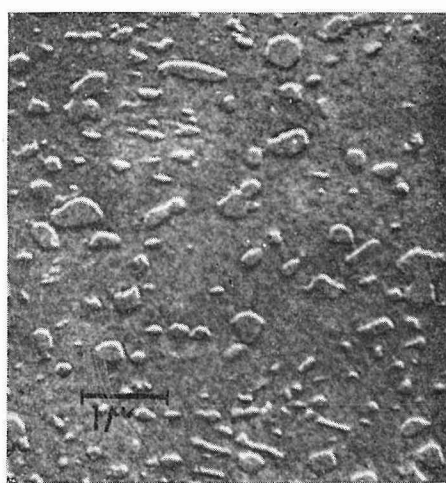
Phot. 5. C 0.28%, Mn 1.39%, Cr 1.95%,  
Specimen No. 34.  $\times 12500$



Phot. 6. C 0.27%, Ni 2.97%, Mn 1.32%,  
Cr 1.87%, Specimen No. 45.  $\times 12500$



Phot. 7. C 0.67%, Cr 4.0%, 540°C  
Tempered  $\times 12000$   
(by M. Cohen)



Phot. 8. C 0.67%, Cr 4.0%, 705°C  
Tempered  $\times 12000$   
(by M. Cohen)