

# 低合金鋳鋼の研究 (第1報)

— Mn, Cr, Mo を含む低合金鋳鋼の機械的性質について —  
 Studies on Mechanical Properties of Low Alloy  
 Steel Castings Containing Mn, Cr, Mo

真島卯太郎\* 坂戸義憲\* 宮崎勢四郎\* 片桐一郎\*

## 内容梗概

0.6~1.8% Mn, 0.1~3.0% Cr および 0.5% までの Mo を含む低合金鋳鋼の機械的性質を調査した。高周波電気炉で熔製した各種の試験片を拡散(1,000 および 1,100°C)後空冷し、焼準(870°C)焼戻(650°C)などを施して材料試験を行いその機械的性質と化学成分(C, Mn, Cr, Mo)との関係を検討した。

その結果、0.35% C, 1.7% Mn, 0.3% Mo 鋳鋼の焼準焼戻のものがショアー硬度 33~38 を出しえてかなり強度を要求される部品に適用されうることを認めた。Cr-Mo 系の伸びと Mn-Mo 系の伸びおよび衝撃値は拡散処理を施したもののの方が良い結果を示したが、他の機械的性質には差がなかった。

## 〔I〕 緒 言

普通鋳鋼は焼鈍状態で使用し、ショアー硬度 20~25 が通常であり、強度や耐磨耗性を要求せられる部品には使用できない。調質すれば硬度は高くなるが作業は困難である。そこで安価な合金元素 Cr, Mn を中心に少量の Mo を加えて、焼入または高周波焼入のごとき方法を用いなくて、空冷を主とした熱処理によつて、ショアー硬度 33~38 程度の比較的強力な鋳鋼の材質をうるべく調査研究を行つた。

## 〔II〕 実験計画と実験要領

### (1) 目標成分

強度を要求される上に靱性もある程度必要なので、低合金鋳鋼として代表的な Cr-Mo 鋳鋼をまづ考えた。

Cr-Mo 鋳鋼は古くから相当研究されているが、焼準、焼戻の際に液冷をしないで、空冷を施したのものとしては鋳鋼関係のハンドブックその他<sup>(1)~(4)</sup>に、0.3~0.4% C, 1% Cr, 0.25% Mo, 程度のものが、650°C 附近の焼戻でショアー硬度(以下 Hs と略記)で 30~38 を出していることが見えている。さらに Cr の多い例では Electromet Data Sheet<sup>(5)</sup>によれば 0.37% C, 2.93% Cr, 0.35% Mo を含有する耐磨耗鋳鋼は 900°C 焼準, 649°C 焼戻でブリネル硬度(以下 HB と略記)275 を出している。Hs に換算して約 41 である。

そこで Cr-Mo 系の実験は Cr を 3% までに止め C 量を増すことによつて硬度を上げるように計画した。その成分変化のわりつけは第 1 表のごとくで一定成分としては Si を 0.3~0.5%, Mn を 0.8±0.1%, Mo を 0.3~0.4% に抑えた。

Cr-Mo 系のほかに考えられるのは Mn-Mo 系である。我国では従来あまり用いられなかつたようであるが、米

\* 日立製作所亀有工場

第 1 表 成分変化のわりつけ  
 Table 1. Plans of Compositive Variation

Series	Composition		→ % C		
			0.25±0.03	0.35±0.03	0.45±0.03
Cr-Mo	<0.1	0.35±0.05	22	23	24
	↓ 1.0±0.1	↓ "	19	20	21
	% 2.0±0.1	% "	16	17	18
	Cr 3.0±0.1	Mo "	13	14	15
Mn-Mo	0.8±0.1	<0.05	28	29	30
	"	0.2 ±0.05	31	32	33
	↓ 1.2±0.1	↓ <0.05	46	47	48
	"	↓ 0.2 ±0.05	34	35	36
	% "	% 0.35±0.05	37	38	39
	% 1.6±0.1	% <0.05	40	41	42
	Mn "	Mo 0.2 ±0.05	25	26	27
		43	44	45	
Mn-Cr-Mo	↓ 1.2±0.1	↓ 1.0 ±0.1	52	53	54
	% 1.6±0.1	% "	49	50	51

国では相当例が多く<sup>(1)(2)</sup> 0.3~0.4% C, 1.0~1.6% Mn, 0.3~0.5% Mo を含有する鋳鋼を 650°C 附近で焼戻して Hs 31~35 をえたことが出ている。このほか、0.4% C, 1.15% Mn, 0.25% Mo の鋳鋼で焼鈍状態のまま HB = 220 (Hs = 33) を出した例もある<sup>(2)</sup>。

また、硬度を出すのみで焼戻脆性を考慮に入れないならば、低 Mn 鋳鋼や低 Mn-Cr 鋳鋼も Hs 33 以上を出す可能性はあると見られる。Mn-Mo 系のわりつけは第 1 表に示すごとくで Cr-Mn 鋼は省略し、Cr% は <0.1% に抑え、Si などは Cr-Mo 系と同様一定とした。

つぎに Mn-Cr-Mo 系を考えて見ると文献<sup>(2)(3)</sup>によれば、0.3~0.4% C, 0.7~1.5% Mn, 0.6~1% Cr のものは 650°C 焼戻で Hs 32~35 となつている。本実験では Mn-Mo 系に 1% Cr を添加してその影響を見ることとした。

わりつけは第1表に示すごとくでそのほかの一定成分はCr-Mo系などと同様とした。

### (2) 熔解と鑄込

熔解は3t エル式電弧炉で熔製したSC46の450kg鋼塊を333kVA、500kg塩基性高周波電気炉にて再熔解し、全熔後赤熱したCr, Mn, Moなどの合金鉄を添加、最高温度1,560~1,580°C(以下全部光高温計のヨミのまま)に昇温した後、Fe-Siを加え徐々に電流を下げて0.5kg/tのAlを添加する。鎮静するのを待ち1,500°Cで出鋼した。

鑄込は取鍋を使用しないで炉から直接300×150で深さ約80(mm)の掛堰兼湯溜から40φの湯口棒を経て4本の押湯付舟型試験片に注湯した。

試験片は1本約20kgで掛堰などを含めて1回の出鋼量は約110kgの計算となり、この量から1回出鋼後の炉内の残湯量を推定した。この残湯推定量に対し加炭材カーブリットを添加して加炭を行つた。第1表の⑬~⑮の番号は鑄込番号であつて、⑬⑭⑮などの3個づつが1熔解に鑄込まれ、C以外の成分は一定で、C%は番号の若い程少くなつてゐる。

熔解に要した時間は約3時間で出鋼温度は鑄込毎に測定したが、1,480~1,540°Cで大半は1,500°C前後で出鋼した。

### (3) 熱処理条件の選定と熱処理要領

鑄鋼の組織を均一にし鑄造組織を破壊するのには、従来長時間の拡散焼鈍を必要としたが、合金鑄鋼でその強靱性を要求される場合や、合金成分の偏析を除く必要上、最近唱えられているHomogenizing(拡散焼準または単に拡散と称すべきか?)を行うべきであると考えられる。低合金鑄鋼をHomogenizeするには通常水冷による。加熱は拡散焼鈍と同様高温長時間が良く、1,200°Cで19時間保持後水冷してはじめてほぼ完全に均一化された例<sup>(5)(6)</sup>もある程である。しかし実際の製品で大物を液冷することがむづかしいことを予想して試験片も空冷を行うこととした。

熱処理条件は第2表に示すごとくで1成分から約30mm角の試験片粗材12本を採取して1~2本づつそれぞれの条件で熱処理を行つた。電気炉を用いたのは、重油炉が1,100°Cの昇温に多少困難を伴うからである。

一般に昇温速度はかなり早く、200~400°C/hであつた。一方650°C加熱後の炉冷降温速度は室温までの合計

第2表 熱処理条件  
Table 2. Condition of Heat Treatment

Fur-nace	Heat treat-ment No.	Homogenizing			Normalizing or Annealing			Stress Relieving or Tempering		
		Temp (°C)	Time (hr)	Cooling	Temp (°C)	Time (hr)	Cooling	Temp (°C)	Time (hr)	Cooling
Heavy oil furnace	①⑩	1,000	2	A.C	870	2	A.C	650	2	F.C
	⑤	"	"	"	"	"	"	"	"	A.C
	②⑪	"	4	"	"	"	"	"	"	F.C
	⑥	"	"	"	"	"	"	"	"	A.C
	⑦	"	"	"	"	"	"	"	"	"
	⑧	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Electric furnace	③	1,100	2	A.C	"	2	A.C	650	2	F.C
	④	"	4	"	"	"	"	"	"	"
	⑫	"	"	"	"	"	"	"	"	A.C

時間から推定すると、約30°C/hとなり、歪取りにはかなり有効であつたと考える。また870°C焼鈍の際の炉冷降温速度は3~4°C/minであつた。

### (4) 材料試験

本実験では磨耗試験は行わなかつた。同一成分12本の粗材の中から2本を予備材として残し、各成分10本宛を熱処理後JIS4号試験片およびU-Notch Charpy衝撃試験片に加工して材料試験を行つた。また顕微鏡組織もその代表的成分のものについて調査した。

## 〔III〕 実験結果

### (1) 化学成分

化学成分は第3表にまとめた通りとなつた。鑄込番号24のC=0.56%が目標より0.11%も多かつた。Cr-Mo系ではSi, Mnが熔落までにかかなり酸化されたため失敗したものが多く、目標を下廻つたものが多かつた。Mn-Mo系では一部にMnの酸化があつたが概ね目標に近い成分をえた。Mn-Cr-Mo系は予想通りの成分をえた。

### (2) 化学成分と機械的性質との関係

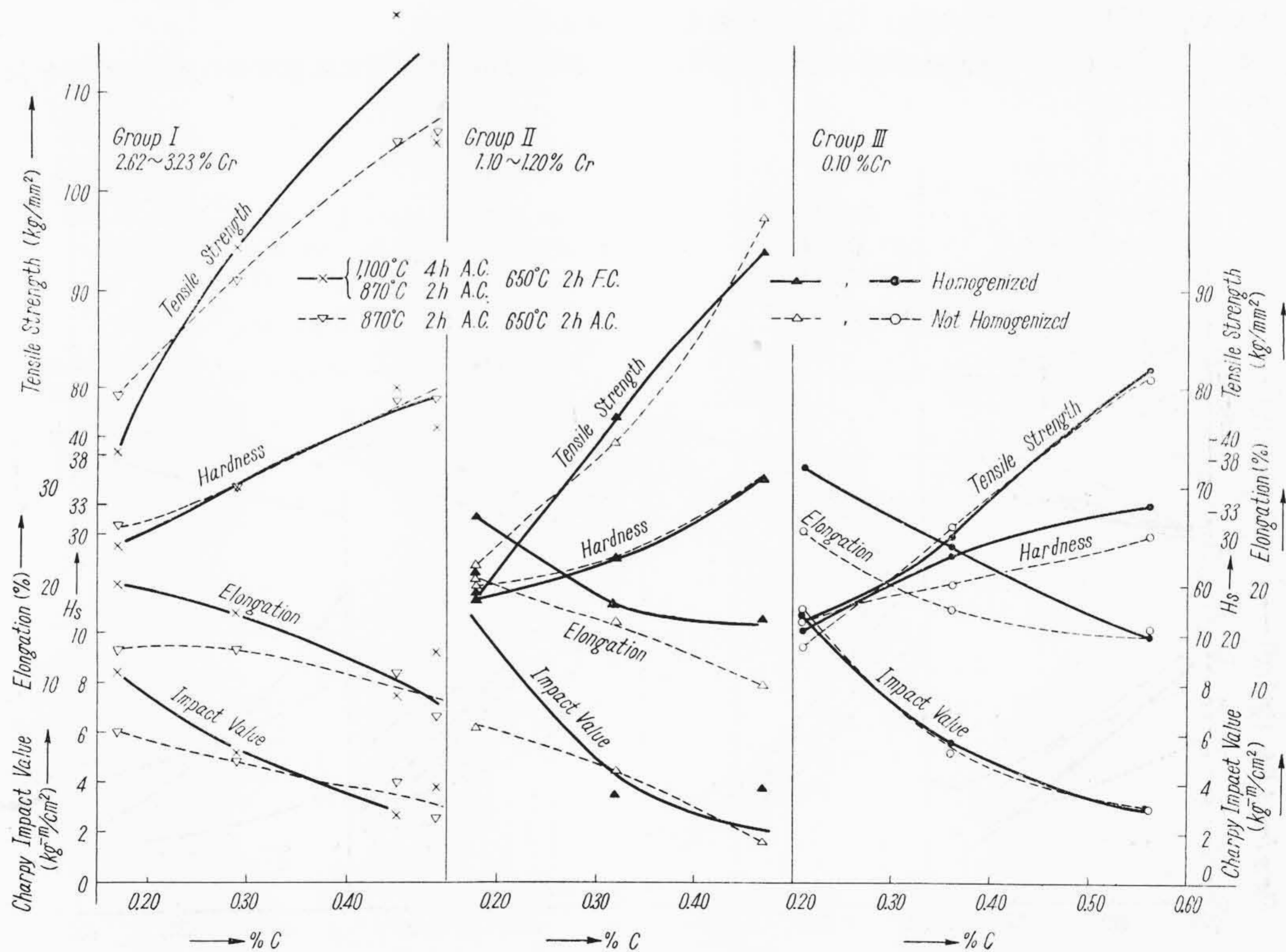
一般に鑄鋼を焼準、焼戻するとすべての機械的性質が焼鈍状態よりよくなる。これは本実験でも明らかにわかつたが、本報には全試料の材料試験結果を掲げることは紙面の都合上不可能なので、各系の焼準、焼戻を行つたものの中で、先に拡散処理を施したものと、行わなかつたものについて、機械的性質におよぼす主要元素の影響を比較検討することにした。

(A) Cr-Mo系の拡散を行つたものを行わなかつたものとの比較

拡散の効果が最も大であつたと考えられる熱処理番号-4(1,100°C, 4時間空冷, 870°C, 2時間空冷, 650°C, 2

第3表 化学成分  
Table 3. Chemical Composition

No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	No.	C	Si	Mn	Cr	Mo
13	0.17	0.21	0.54	3.23	0.48	37	0.24	0.48	1.02	0.06	0.36
14	0.29	0.20	0.52	3.18	0.54	38	0.35	0.42	1.00	0.06	0.34
15	0.45	0.37	0.52	2.62	0.58	39	0.36	0.42	1.02	0.03	0.40
16	0.18	0.14	0.48	2.45	0.54	46	0.26	0.43	1.32	0.12	0.02
17	0.31	0.14	0.41	1.92	0.54	47	0.36	0.46	1.34	0.06	0.02
18	0.49	0.40	0.44	2.63	0.52	48	0.48	0.44	1.32	0.02	0.02
19	0.18	0.12	0.37	1.20	0.50	25	0.20	0.42	1.33	0.08	0.26
20	0.33	0.14	0.42	1.11	0.54	26	0.36	0.42	1.32	0.08	0.25
21	0.47	0.40	0.46	1.11	0.54	27	0.47	0.40	1.24	0.07	0.26
22	0.21	0.15	0.52	0.10	0.50	40	0.23	0.40	1.64	0.02	—
23	0.36	0.15	0.43	0.10	0.52	41	0.37	0.41	1.69	0.06	—
24	0.56	0.42	0.45	0.10	0.48	42	0.49	0.42	1.59	0.01	—
28	0.22	0.47	0.56	0.08	—	43	0.25	0.47	1.74	0.01	0.30
29	0.34	0.44	0.56	0.07	—	44	0.35	0.47	1.75	0.07	0.30
30	0.43	0.46	0.58	0.08	—	45	0.46	0.50	1.80	0.01	0.31
31	0.23	0.50	0.64	0.08	0.20	52	0.19	0.45	1.21	1.13	0.34
32	0.35	0.55	0.67	0.05	0.20	53	0.32	0.45	1.23	1.16	0.40
33	0.46	0.48	0.64	0.06	0.22	54	0.46	0.44	1.24	1.17	0.30
34	0.22	0.48	1.00	0.07	0.23	49	0.20	0.51	1.70	1.05	0.30
35	0.33	0.48	1.00	0.07	0.20	50	0.34	0.51	1.66	1.15	0.32
36	0.44	0.48	1.02	0.05	0.20	51	0.45	0.51	1.67	1.10	0.36



第1図 C, Cr含有量と機械的性質との関係  
Fig. 1. Relation between Carbon, Chromium Contents and Mechanical Properties.

時間炉冷)と拡散を行わず通常の焼準, 焼戻を施した番号-7(870°C, 2時間空冷, 650°C, 2時間空冷)とについてその機械的性質を比較した。

化学成分による分け方は Cr 2.62~3.23% のもの4種(鑄込番号13, 14, 15, 18) Cr 1.11~1.20% のもの3種(同19, 20, 21)および Cr の入らないもの3種(同22, 23, 24)の3群とした。それぞれのC量と機械的性質との関係は第1図のごとくである。

これで見ると抗張力, 硬度, 衝撃値は拡散処理によってもほとんど良くなっていないが, 伸びは明らかに上昇している。衝撃値は低C量の場合, かなり高い値を示すものもあるが, 焼戻後の冷却条件もちがうのではつきりした差を見出すことができなかった。

結局, 1,100°C 4時間の拡散処理によっても組織の微細化, 均一化をはかることができなかったようで, 機械的性質特に衝撃値は向上されなかった。

硬度は焼戻温度が650°Cであったため相当低下し, Cr および C 量の増加によつて漸く目標たる Hs 33 を越えることができた。これは歪取りを完全にするための高い焼戻温度<sup>(7)</sup>であるから画期的な高硬度を維持できないことを示す。Cr-Mo 系で Hs 33 以上を出すには Cr 約3% の時は C 0.3% 以上を, Cr 1% の時は C 0.45% 程度を必要とする。しかしC量の増加は衝撃値の低下を招きあ

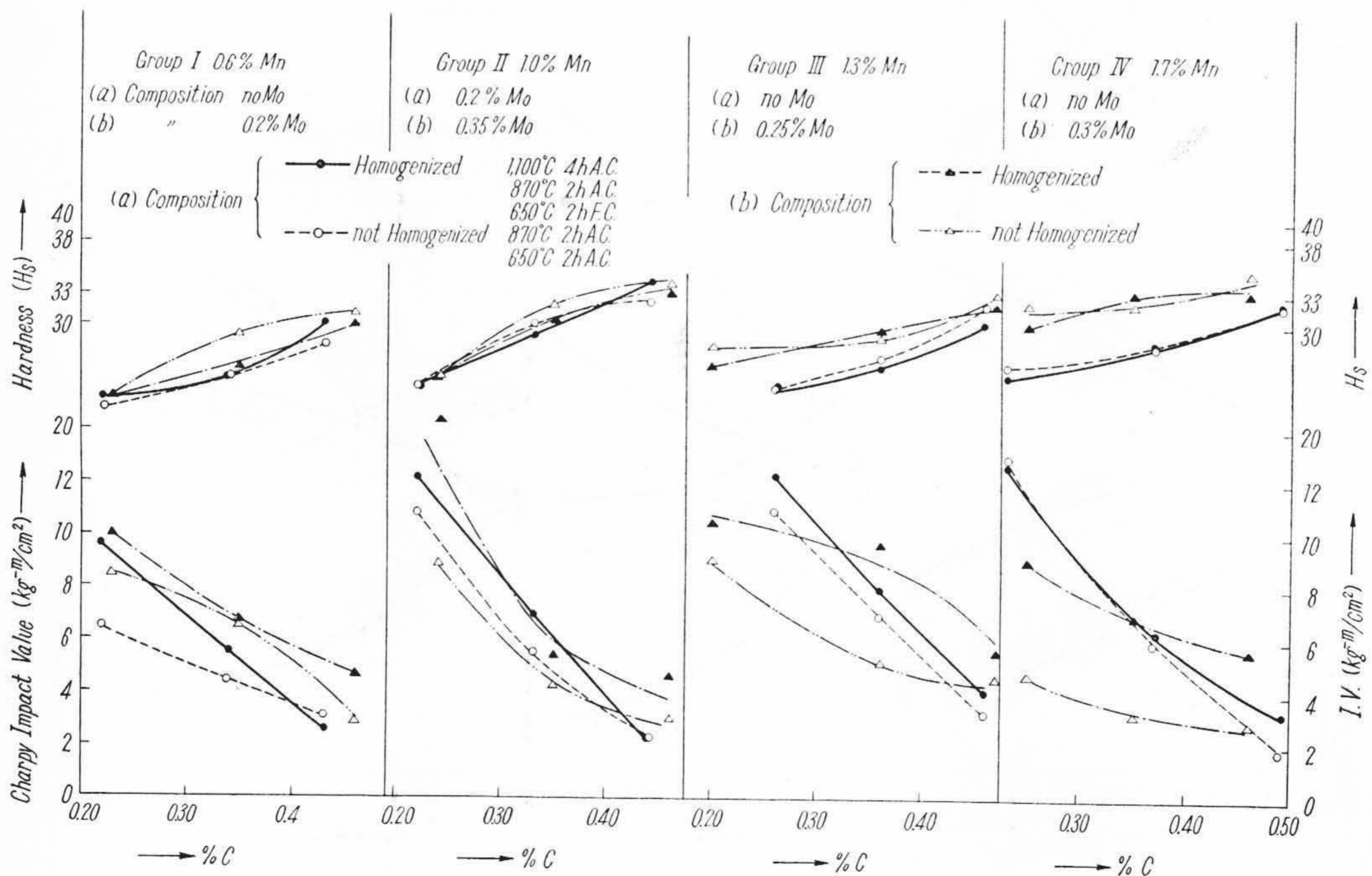
まり好ましい材質とはいえない。したがつて Cr-Mo 系は硬度と衝撃値との点で満足できないことがわかつた。

(B) Mn-Mo 系の拡散を行つたものを行わなかつたものとの比較

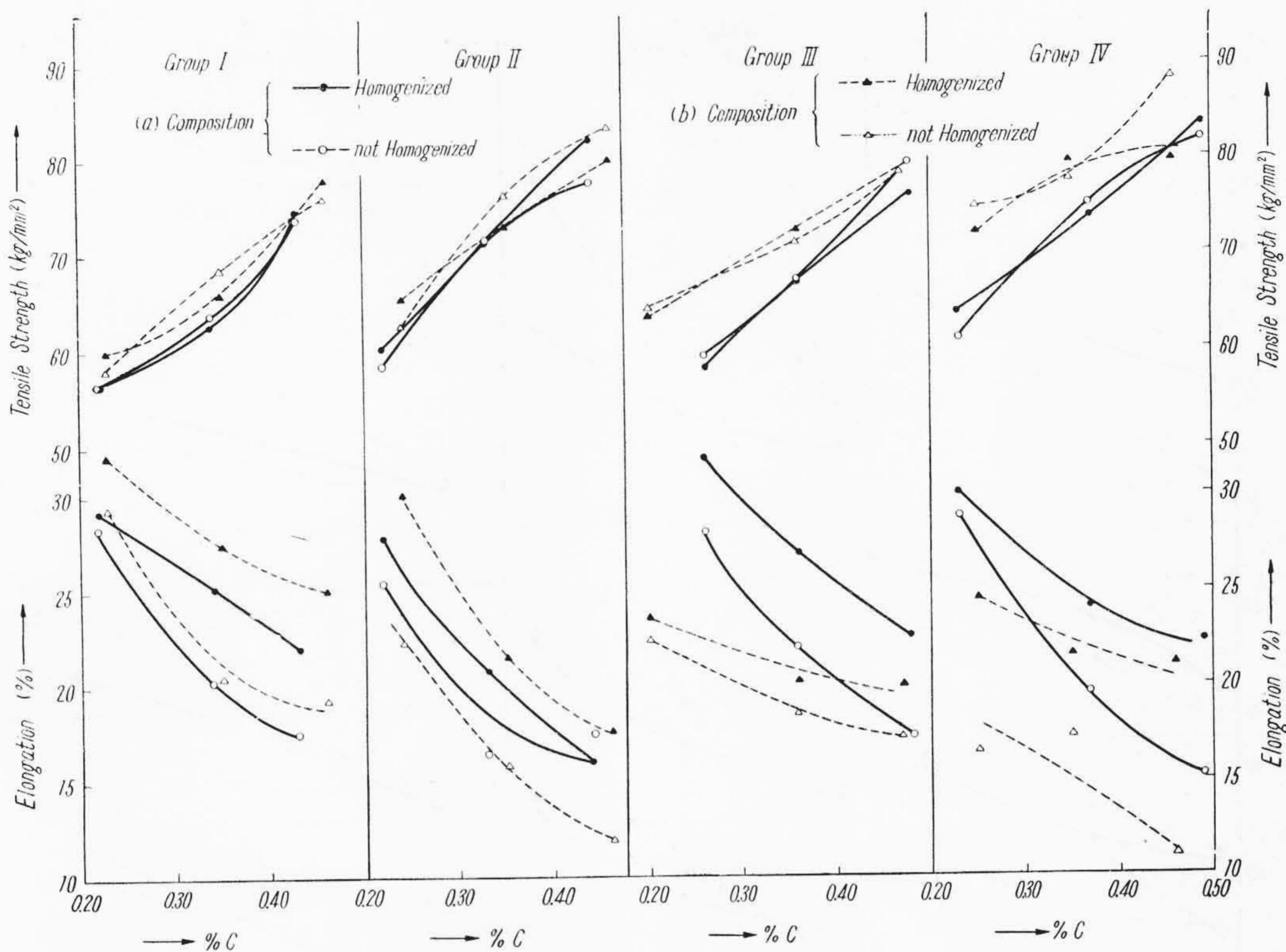
熱処理番号は Cr-Mo 系と同様 -4(拡散) -7(拡散せず)の2種類について比較を行つた。化学成分による分け方は Mn が 0.43~0.67% のもので Mo% のちがうもの2種, Mn が 1.00~1.02% で Mo% のちがうもの2種, Mn が 1.24~1.34% で Mo% のちがうもの2種, ならびに Mn 1.59~1.80% で Mo% のちがうもの2種の4区分間で各C%と機械的性質との関係をグラフに示した。

第2図は硬度と衝撃値をあらわしている。Hs 33 を越えるものは group I では皆無で group II のうち, Mn 1% Mo 0.35% でしかも C 0.4% 以上ではじめて硬くなつている。group III は Mo の入り方が少なかつた故か group II よりもむしろ硬度が下つたようだが, 高Cでやつと Hs 33 に達している。group IV に至つてはじめて硬度の良好な試料をえた。しかし Mo が入らないものは硬度低く, C, Mn が低いと硬度不足となる。C 0.35% 以上, Mn 1.7% 以上, Mo 0.3% 以上が必要と考えられる。

Mn, Mo 量の増加は衝撃値の急激な低下を防ぎ,



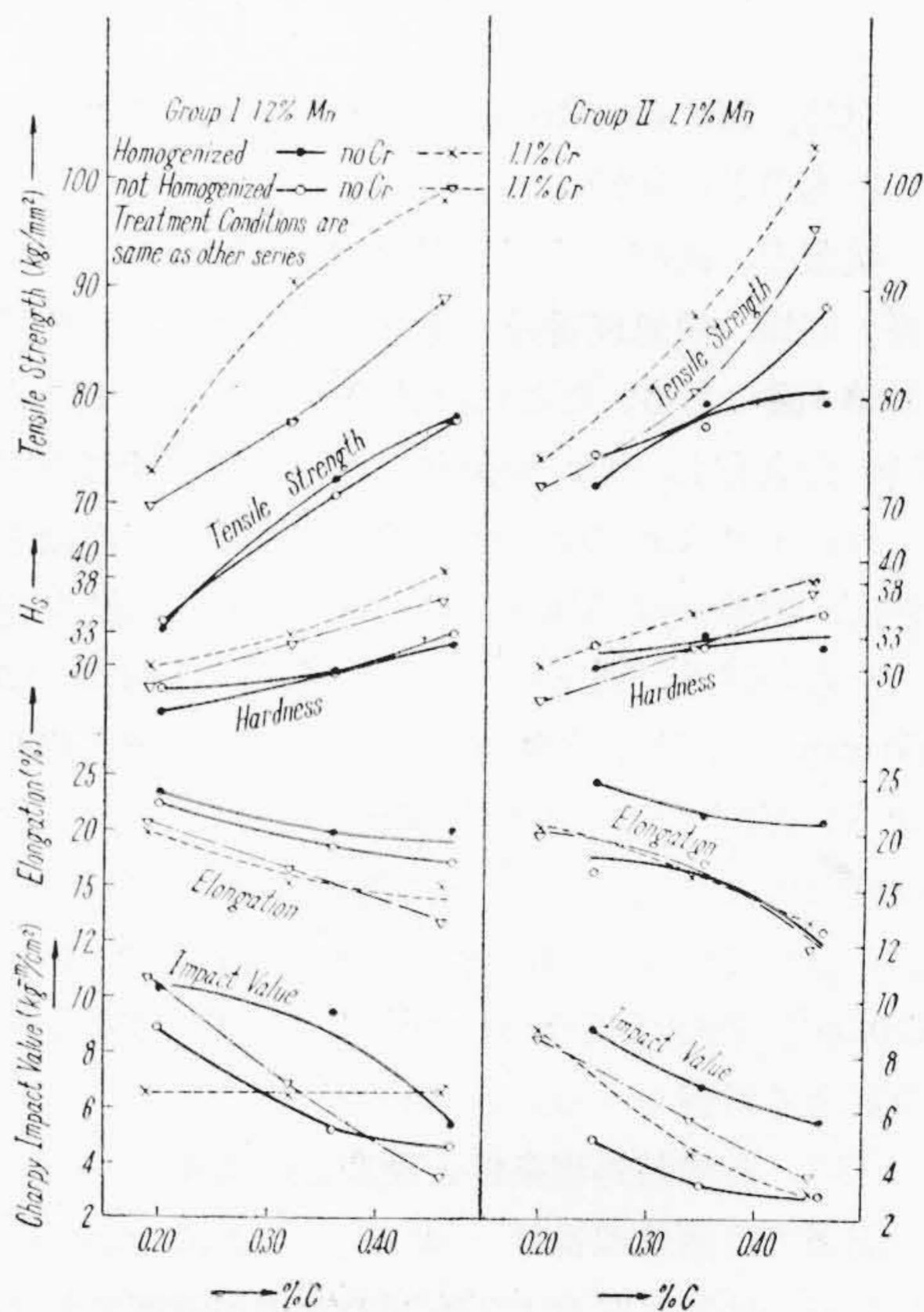
第2図 C, Mn, Mo 含有量と硬度および衝撃値との関係  
Fig. 2. Relation between Carbon, Manganese, Molybdenum Contents and Hardness, Impact Value



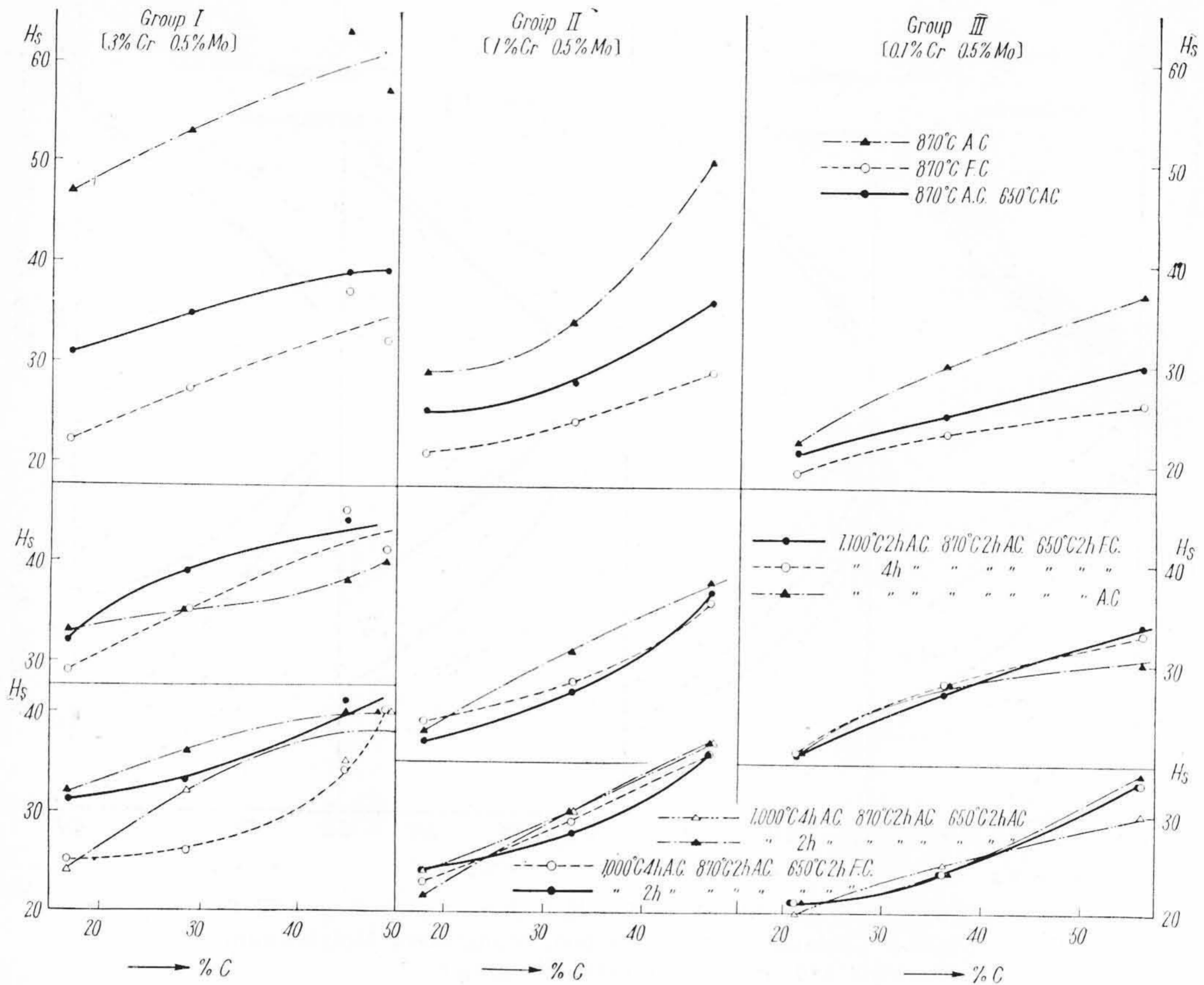
第3図 C, Mn, Mo 含有量と抗張力および伸びとの関係  
 Fig. 3. Relation between Carbon, Manganese, Molybdenum Contents and Tensile Strength, Elongation

C 0.35% 程度では各 group ともかなりよい値を示した。特に拡散処理を行ったものは Mn, Mo の増加するにしたがい。その効果を歴然と現わし, group III, IV の中の Mo の入ったものでは, いずれもが拡散を行わなかったものに比し 1~4 kg-m/cm<sup>2</sup> も高い値を示している。この場合ほとんど硬度が変っていないので, 明らかに靱性を増したものと判断できる。

第3図は抗張力と伸びを表している。抗張力は硬度と同様の傾向を示し, Mn が低い時は単に C% が増すことによつてのみ抗張力が増し, 他の因子 (Mn, Mo 拡散など) は影響していない。Mn が 1.3% から上となると, Mo の入ることにより抗張力を増している。しかし拡散処理の効果は全然わからない。伸びの場合は衝撃値と同様の傾向を示したが, これよりさらに顕著であつて, 低 Mn, Mo の場合でも歴然と拡散処理の好影響を裏書きしている。



第4図 Mn-Cr-Mo および Mn-Mo 鑄鋼の C 量と機械的性質との関係比較図  
 Fig. 4. Relations between Mechanical Properties and Carbon Content (Mn-Cr-Mo and Mn-Mo series)



第 5 図 各種の熱処理条件における C 量と硬度との関係 (Cr-Mo 系)  
 Fig. 5. Relation between Shore Hardness Number and Carbon Content (Cr-Mo Series Several Heat Treatments)

(C) Mn-Cr-Mo 系の拡散を行つたものと行わなかつたものとの比較

抗張力, 硬度, 伸び, 衝撃値と C% との関係を他の系と同様, 熱処理番号 -4 と -7 について比較したのが第 4 図である。ここには比較のためにほぼ同量の Mn, Mo を含有し, Cr を含有しない試料の性質を掲げた。これにより Cr の入つた場合, 抗張力, 硬度は上昇し, 伸び, 衝撃値は Mn の多い Group で拡散を行わなかつたもの以外は低下している。特に Mn 1.2~1.3% の Group における抗張力の大幅な増加と衝撃値の比較的低下しないこと。および Mn% を増加しても抗張力, 硬度はさほど増加せず, 衝撃値のみがやや低下する事実から見て Mn-Cr-Mo 系では Mn, Cr 共に 1% 程度, C 0.35% 程度で所期の目的たる Hs 33~38 を出し靱性を有する材質をうる事がわかつた。

(3) 各種熱処理条件と硬度との関係

前節では熱処理番号 -4 と -7 についてのみ検討したが, 拡散温度および時間の変化が硬度におよぼす影

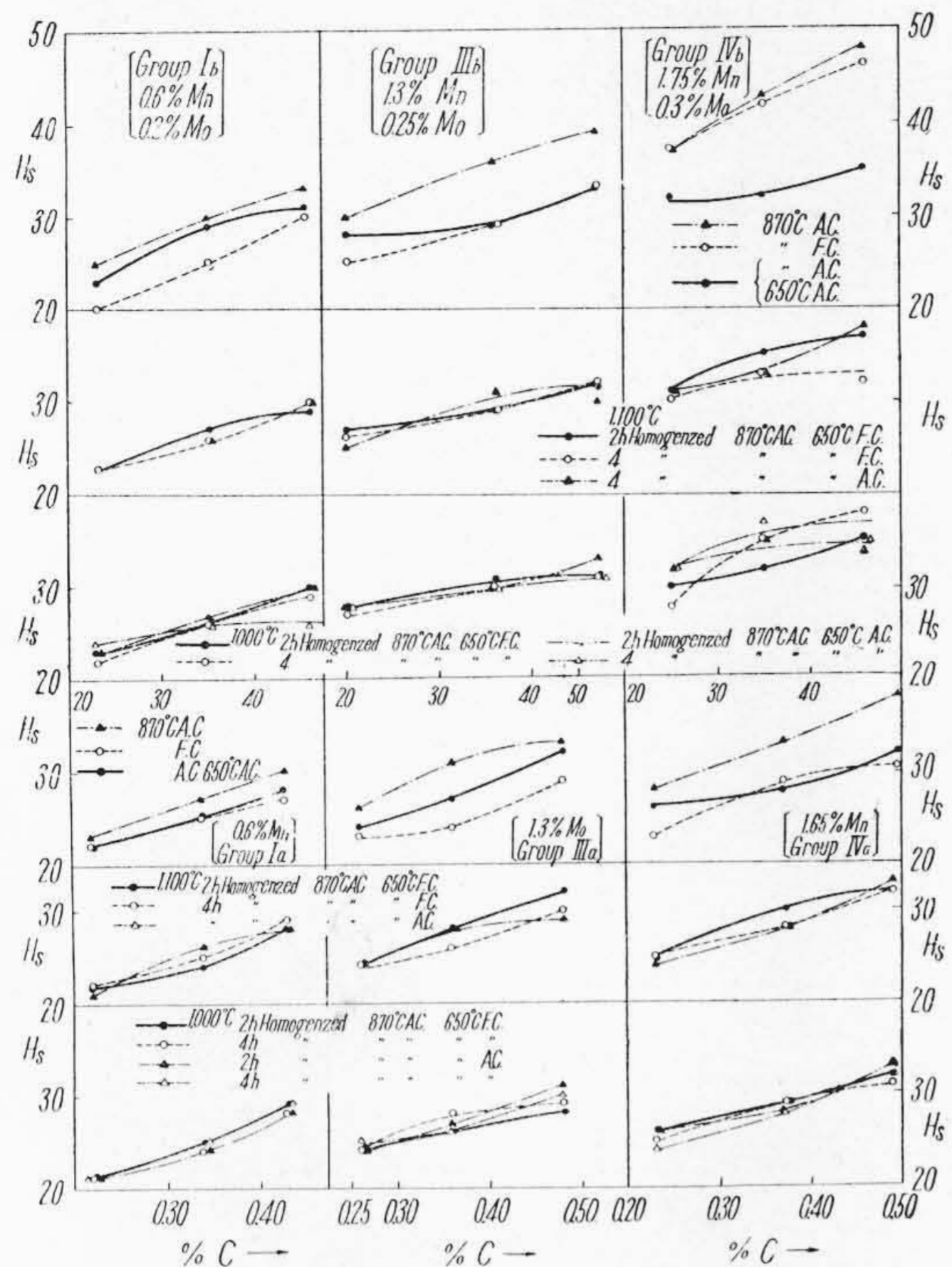
響や焼準, 焼鈍状態などの硬度が化学成分の変化によつてどれ程影響されるかということなどを検討した。

(A) Cr-Mo 系

第 5 図に示したのは各種の熱処理条件がショアー硬度におよぼす影響であつて, 第 1 回の焼準はすなわち拡散を意味している。図中下段のグラフはそれぞれ 1,000°C および 1,100°C の拡散温度における保持時間ならびに焼戻の冷却方法の差(空中放冷か炉内冷却か)が硬度におよぼす影響を比較したものである。左の 3% Cr の Group では 1,000°C 拡散の場合は 2 時間保持が若干硬くなつてゐることと焼戻空冷がやや硬度を増すように見受けられる。

1,100°C の場合も大体において 2 時間保持の方が硬度が大である。1% Cr と Cr なしの Group は拡散温度, 時間によつて硬度に顕著な差を見出すことはできない。特に Cr なしの場合 C が高くなつたために硬度にバラツキを生じた程度で全く差がなかつた。

上段のグラフは焼準のままおよび焼準焼戻ならびに焼



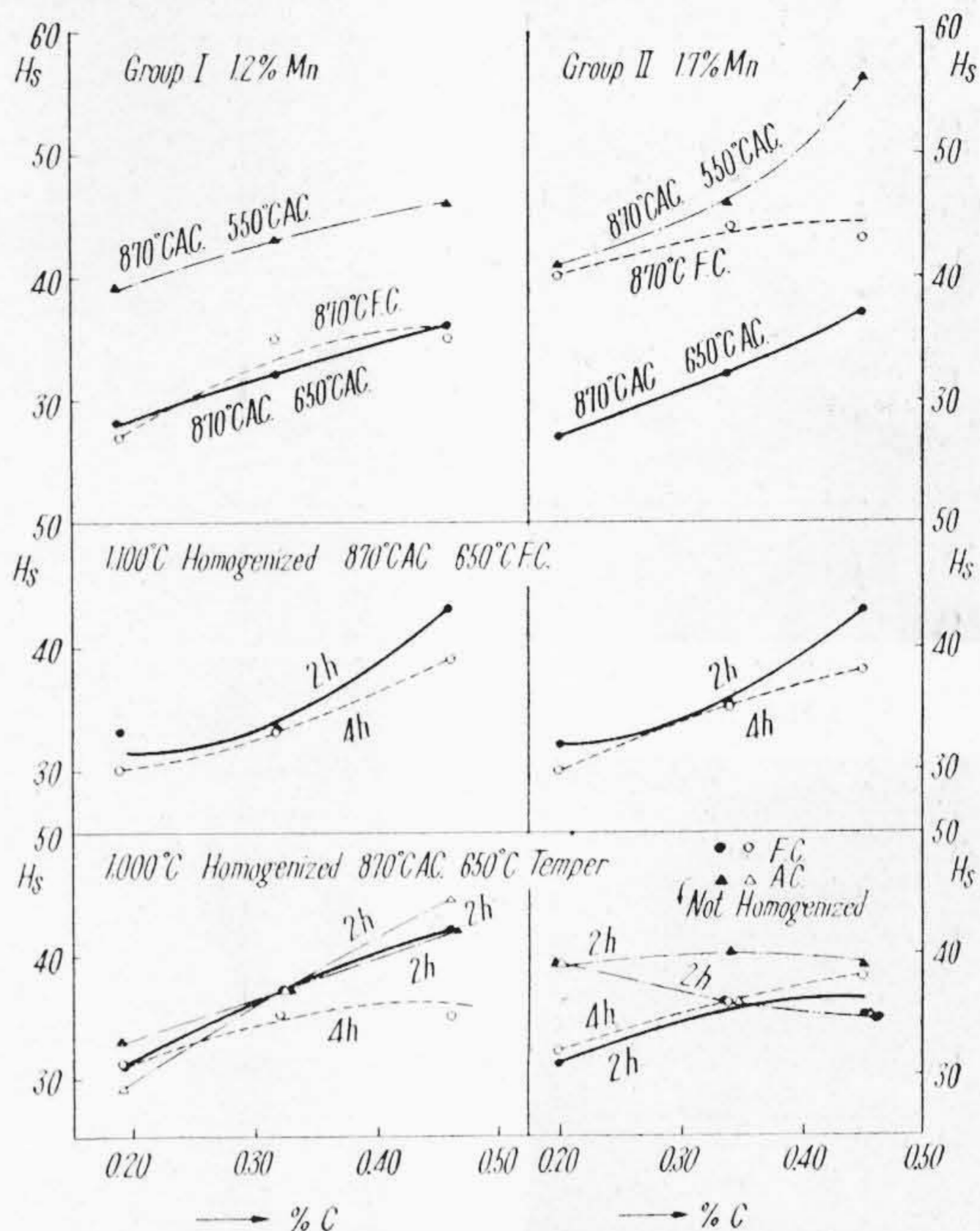
第6図 各種の熱処理条件におけるC量と硬度との関係 (Mn-Mo系)  
 Fig. 6. Relation between Shore Hardness Number and Carbon Content (Mn-Mo Series Several Heat Treatment)

鈍のままの硬度を示す。Crの多い場合は焼きが入りやすいので焼準硬度がきわめて大となつている。これでは焼準焼戻したものと下段の拡散後焼準焼戻した場合の硬度とがほぼ同様となるが(第5図参照)結局拡散は硬度を上昇せしめるための処理ではないことが明らかとなる。

(B) Mn-Mo系

第6図において1,000°C拡散の場合はGroup IV<sub>b</sub>のMnもMoも高いものについてバラツいた結果を示すほかはいつでも拡散時間や焼戻の冷却条件のいかんにかかわらずCの上昇にしたがい硬度は増している。

1,100°Cの場合はGroup IV<sub>a</sub>, IV<sub>b</sub>のMnの高い所では2時間保持の方が若干硬くなる傾向を示しているが他は顕著な影響が認められない。またGroup III<sub>a</sub>では1,000°C2時間が硬くなつている。この現象はMoの入ったGroup III<sub>b</sub>では顕著でなくなる。これはMoの影響と見られ、拡散のみの影響が少なくなつたと見られる。Group IV<sub>a</sub>は拡散条件の影響をうけていないが、Group IV<sub>b</sub>がGroup III<sub>a</sub>と同様の傾向を示しているのは注目し値する。これは焼きの入りやすい成分なので拡散後の空冷の際の硬化の影響もあり、1,000°C2時間では拡散不十分だが焼準の効果は確実にあがつて硬度が増し、



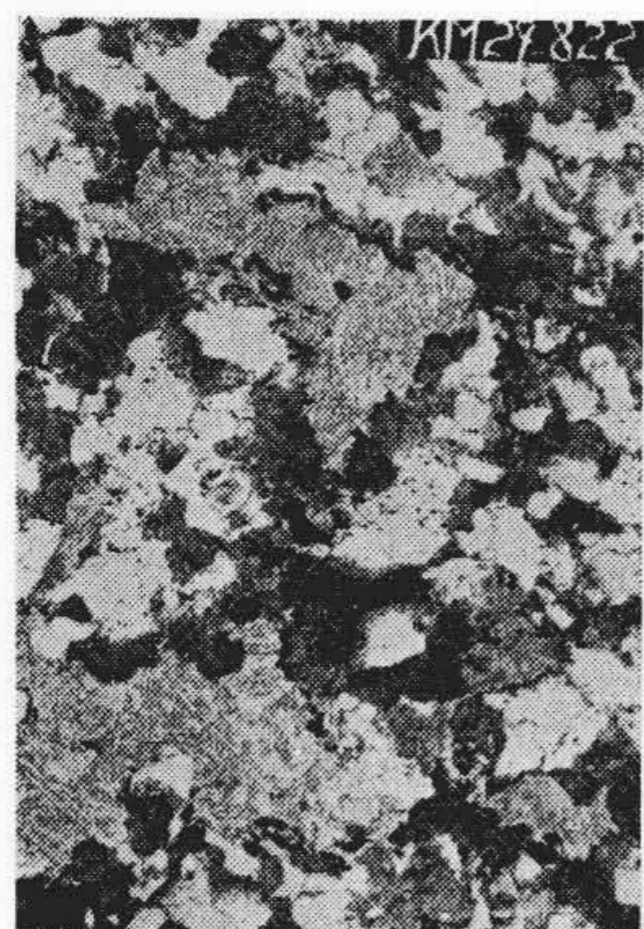
第7図 各種の熱処理条件におけるC量と硬度との関係 (Mn-Cr-Mo系)  
 Fig. 7. Relation between Shore Hardness Number and Carbon Content (Mn-Cr-Mo Series Several Heat Treatments)

1,100°C4時間では拡散がかなり利くので硬度は反つて下がるが一樣な組織に近づくのではないかと考えられる。以上のようにMn, Moなどの拡散の容易でない元素をある程度多く含む場合は拡散を温度、時間共に十分かけることにより硬度は低下するが、一樣な組織になるものと見てよい。

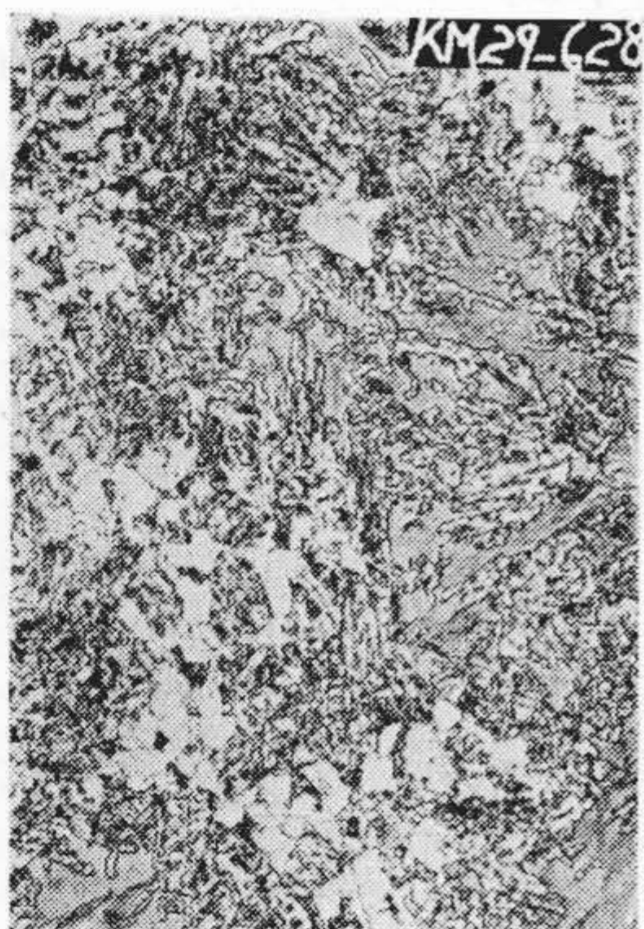
つぎにMn 1.6%附近から上は焼鈍硬度が上昇し、Group IV<sub>a</sub>では焼準焼戻のものに匹敵する。さらにMo 0.3%の添加により急激に硬化し焼鈍のまま焼準硬度と匹敵するに至つている。これは冷却速度が3°C/min程度でも焼きが入ることを示したものである。

(C) Mn-Cr-Mo系

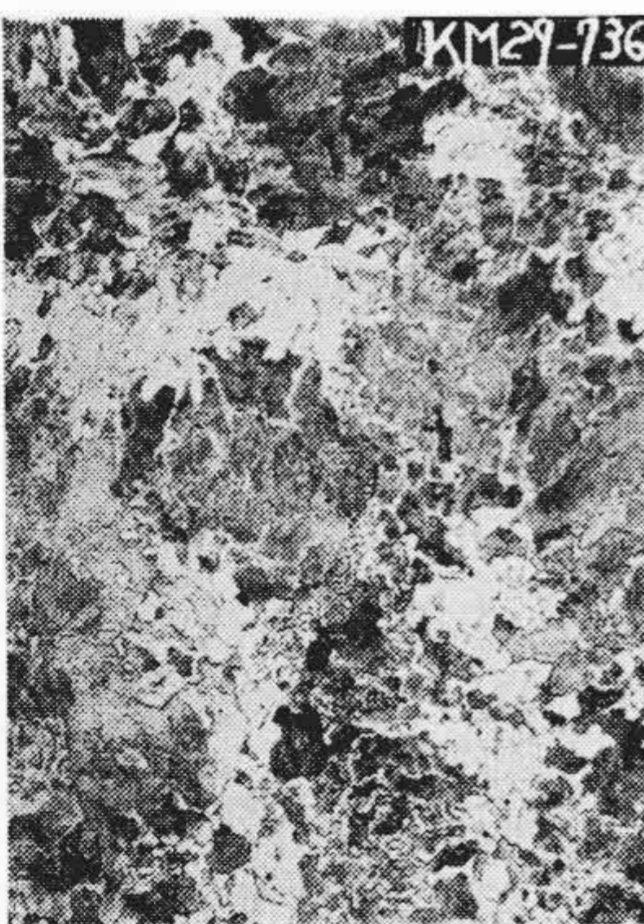
第7図で1,000°C拡散の場合Group IIが正常の硬度変化(C%の増すにしたがい硬度が増す)を示していないのは試験片の欠陥によるものだろう。傾向としてはGroup I, II共に拡散後ただちに焼戻を行つたものが、拡散後再び焼準を行つたものより硬度が高くなつている。これは硬度以外の性質(数字省略)があまりよくないから問題とならない。4時間拡散が硬度の低下を見たのはMn-Mo系同様の理由と考えられる。以上は1,100°C拡散の場合も同様である。ただ1.7%Mnのものが1,000°C4時間の場合に2時間の場合より硬くなつたが、



0.37% C  
1.69% Mn



0.35% C  
1.75% Mn, 0.30% Mo

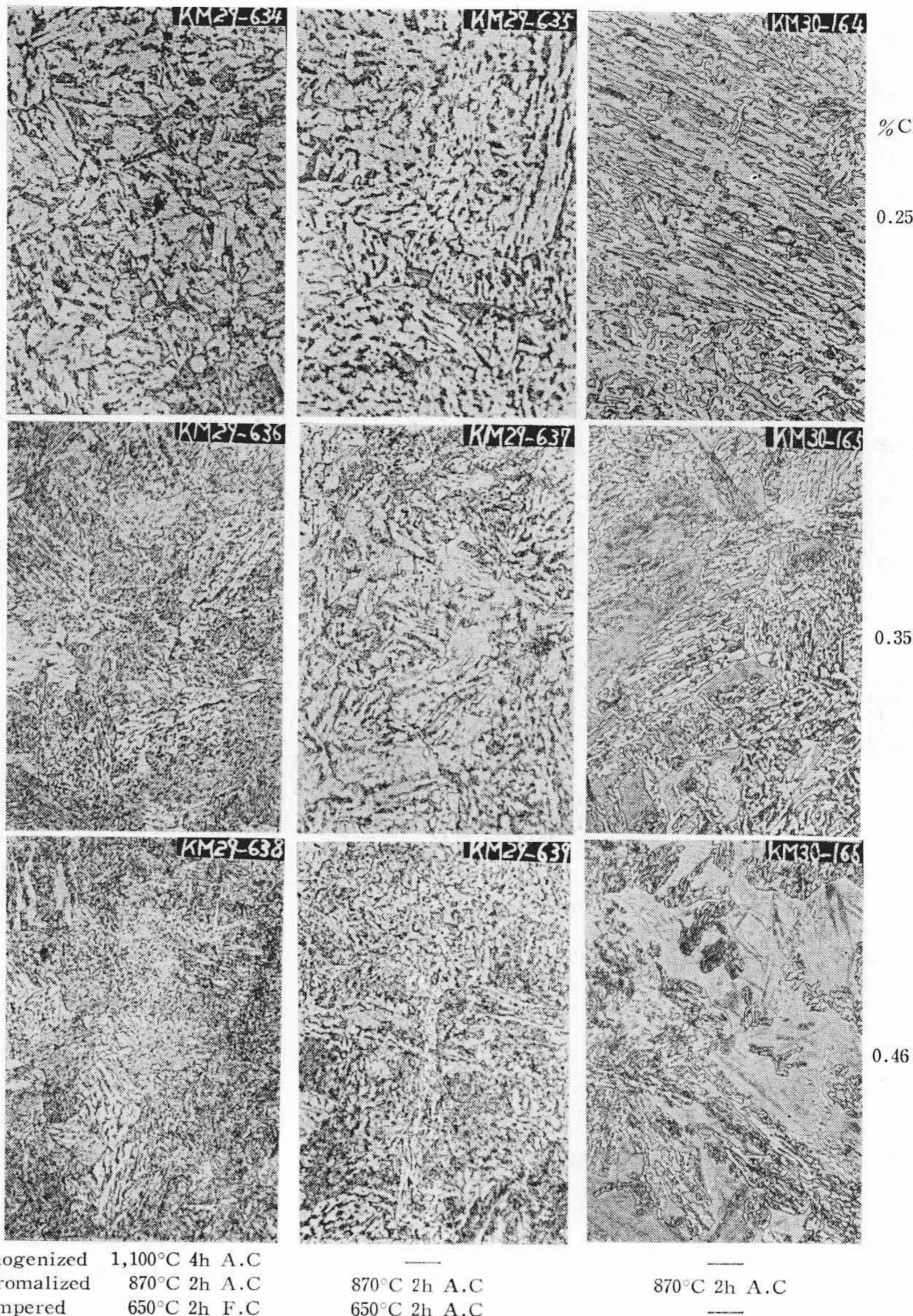


0.32% C, 1.23% Mn  
1.16% Cr, 0.40% Mo

第8図  
低合金鋳鋼の焼鈍組織  
(×100)

Fig. 8.  
Annealed Structures  
of Low Alloy Steel  
Castings (×100)

Mn-Mo 系の Group IVb と同様の傾向と見られる。  
1% Cr の添加がさらに拡散をむづかしくしたためと考えられる。

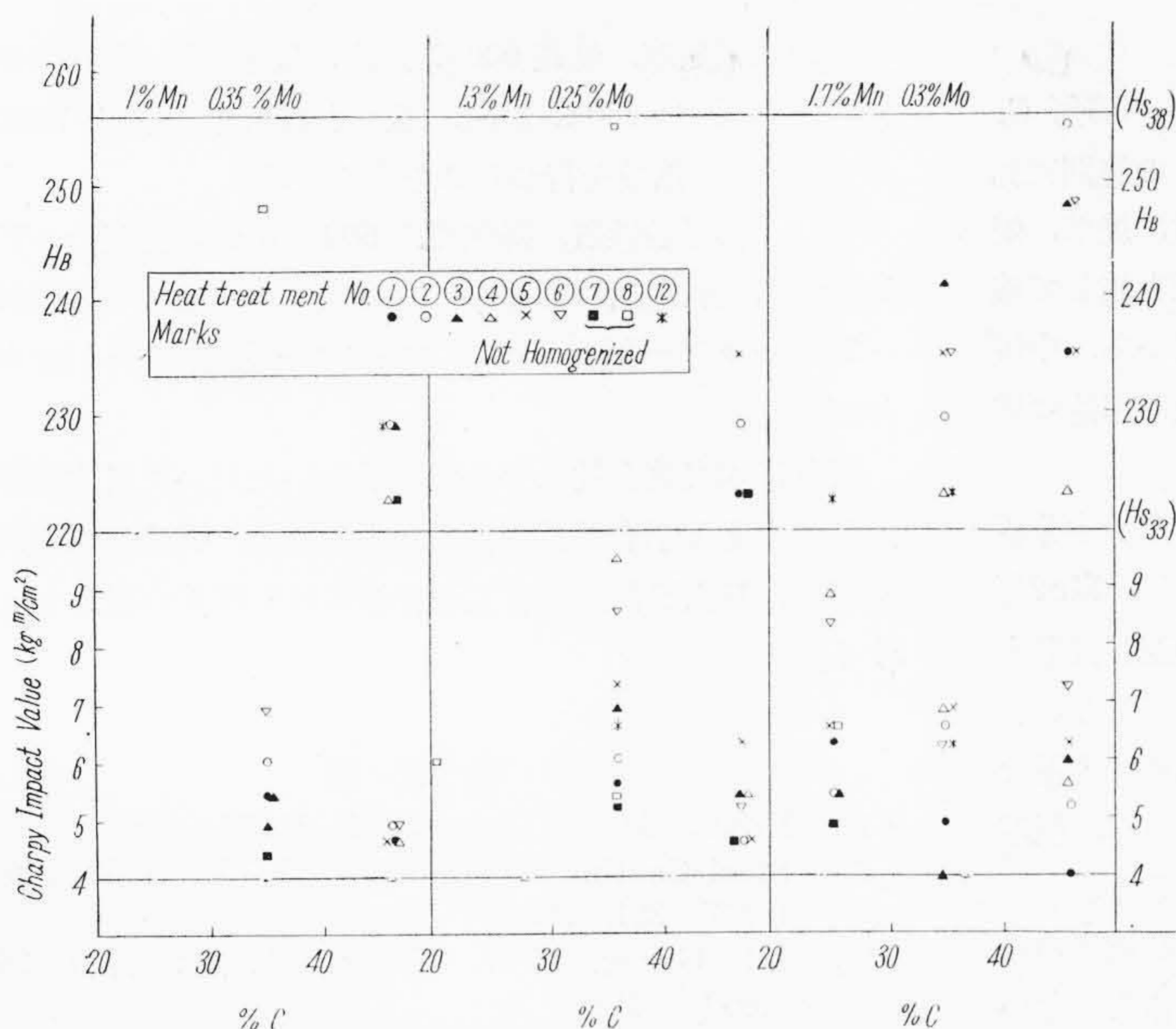


第9図 1.7% Mn 0.3% Mo 鋳鋼の C 量の変化と組織(×400)  
Fig. 9. Relation between Microstructure and Carbon  
Content in 1.7% Mn, 0.3% Mo Steel Castings at  
Several Heat Treatments (×400)

〔IV〕 考 察

前章ではいづれも C% についてその機械的性質におよぼす影響を検討したものである。結果としては C は 0.35% 附近とし Mn, Mo, Cr などの効果によつて硬度を上昇せしめ衝撃値をある程度高目に維持せしめなければならないことが判明した。しかし Cr-Mo 系では Cr を 1% 程度に抑えたとき、硬度衝撃値ともに満足すべき性質を示さなかつた。そこで Mn-Cr-Mo 系として Mn-Mo 系





第10図 Mn-Mo 鋳鋼の熱処理条件が硬度と衝撃値とに及ぼす影響 (硬度 Hb 220~256 と衝撃値 4 以上のもの)  
 Fig. 10. Relation between Shore Hardness Number, Impact Value and Carbon Content (Mn-Mo Series Several Heat Treatment)

の 1.3%Mn と 1.7%Mn のものに、それぞれ Cr を 1% と Mo を 0.3% 添加したものおよび添加しないものなどの 6 つの群について、顕微鏡組織を検査し、考察を試みた。

Mn は最も硬度を上昇させる元素である。Fe-Mn-C 系状態図および 900°C 空冷の Mn 鋼の組織図を見ても (8)Mn% の上昇は Ar<sub>3</sub> 点の急激な下降を促し、0.3% C、1.7% Mn で明らかに空冷によるマルテンサイトの析出を見ることがわかる。1°C/min のきわめて徐冷を行うことによつてはじめて 0.7% C、2.7% Mn 附近までの範囲でマルテンサイトを析出しないようになるものであるから、本実験の焼鈍炉冷速度約 3°C/min は普通鋳鋼から低 Mn における場合と、低 Cr 域においては下部臨界冷却速度以下であつても、1.7 Mn の中炭素部ならば明らかに下部臨界冷却速度を上廻るものとなりリマルテンサイトの析出による硬化は明白と考えられる。

Mo は本実験では焼戻脆性の防止のために添加したもののだが、もちろん結果は 0.30% 程度の添加により顕著な硬度上昇を示し、焼準組織の微細化に役立った。

0.30% C、1.75% Mn、0.3 Mo 鋳鋼の変態点を測定したところ

AC <sub>1</sub> 678°C	Ar <sub>3</sub> 578°C
AC <sub>3</sub> 727~747°C	Ar <sub>1</sub> 524~539°C
Ar' 約 450°C	Ar'' 約 350°C

であつた。この実験の冷却速度は 3°C/min の程度であつた。したがつて組織は第 8 図に見られるようにトルースタイト、マルテンサイトの混合組織となつている。

上記成分以外の Mn-Mo 系では焼鈍組織はいづれも鋳造組織の完全に破壊されないフェライトとパーライトないしトルースタイト組織である。また Cr が入つても Mn が低いと上と同様の組織となる。これは Mn の自硬性におよぼす影響が最も大なることを証明したものである。

つぎに拡散を行つた組織について検討すると、1.7% Mn、0.3% Mo 鋳鋼では第 9 図に示すごとくであつた。拡散したものの組織は微細化して、伸び、衝撃値の向上を裏付けているが、なお均一でない部分をのこして拡散の容易でないことを物語っている。Cr が入つても組織は顕著な変化を示さずソルバイト中のフェライトが多少微細化して

硬度上昇の因をなしたように解される。(写真略)

本報で機械的性質の変化を論じてきた際、常に対称となつたのは C であつた。事実上 C% の増加は抗張力、硬度を上昇し、伸び、衝撃値を低下せしめることが明瞭である。顕微鏡組織を見ても (第 9 図) 0.25% C の No. 43 が焼準状態で微細なやや細長いフェライト、パーライトの混合組織を示すのに対し、0.35% C、0.46% C と増加するにしたがい、ベーナイト的さらにマルテンサイト的な組織に漸次移行することが見られ、機械的性質におよぼす C の影響の大なることが立証された。それゆえ特に硬度の増加を主目的とした本実験においては C% の適当なる選定こそ最も重要となつたのである。

Mo が 0.3% 前後添加された場合、各 Mn% において C% を変えた場合、どの程度に C% を上げれば所期の目的たる硬度 Hs 33 以上を出し、しかも衝撃値 4kg-m/cm<sup>2</sup> 程度を維持できるかを検討した。第 10 図は熱処理条件毎に打点したもので、1.3% Mn 程度ではどうしても C% を増してやらねばならないこと。この場合は高温拡散が特に必要とは思えないことなどがわかる。また 1.7% に Mn が増加した場合は C 量は 0.35% で十分なこと。C 量が増しても十分拡散することによつて衝撃値の低下を見ないこと一般に拡散は必要であることなどがこの図から理解できた。

## 〔V〕 結 言

500 kg 塩基性高周波電気炉を用いて 0.15~0.5% C, 0.5~1.7% Mn, 0~3.0% Cr, 0~0.35% Mo の範囲にある各種鋳鋼を熔製し, その試験片を高温拡散, 焼準, 焼戻ならびに焼鈍などの液冷によらない熱処理を施して機械的性質を検討した結果, 硬度と衝撃値の点から, 中炭素低マンガン, モリブデン鋳鋼が比較的高級な用途に使用できる鋳鋼であるとの結論に達した。

熔解操業上から見ても C 0.35% 程度ならば炉中分析と現場的判定法の両面から確実に調整できるし, Mn2% までならば押湯等の戻屑を随時使用できて繰返し操業も可能である。勿論成分調整にさほどの困難を感じない。鑄造上もこの程度では鑄型の侵蝕は普通鋳鋼と大差なく, 熱処理も拡散をした方がより完全ではあるが, 極端に高温長時間でなくともある程度目的を達しうる。

砂落とし, ガス切断などの作業も支障なく, 高炭素のものが熔接性, 切削性においてやや劣るといふ報告をきいたのみである。これらの現場における作業上の諸問題についてならびに耐磨耗性などについては調査の結果後報することとし, ここに本報の結論として, つぎのごとき Mn-Mo 鋳鋼の材質を推奨する。

(1) 化学成分, C 0.33~0.38%, Si 0.3~0.5%, Mn 1.7~1.9%, Mo 0.3~0.4%, P.S それぞれ <0.03%, Cr

<0.10%。

(2) 熱処理, 焼鈍 900°C 炉冷, 焼準 850~900°C 空冷, 焼戻 600~650°C 炉冷, 要すれば焼準の前に 1,000~1,100°C の拡散を行つたのち空冷する。

(3) 機械的性質, 降伏点 >60 kg/mm<sup>2</sup>, 抗張力 >75 kg/mm<sup>2</sup>, 伸び >15%, 絞り >30%, ブリネル硬度 220~256, ショア-硬度 33~38 シャルピー衝撃値 >4 kg-m/cm<sup>2</sup>。

終りに本実験全般につき御指示をいただいた日立製作所顧問東北大学名誉教授村上武次郎博士, 御指導御援助を賜つた日立製作所亀有工場幹部に対し深甚の謝意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) Hoyt; Metal Data 1952 P 256~258
- (2) Steel Casting Handbook SFSA 1950 年版 P 317~321, P 359
- (3) J.L. Gregg, H.W. Gillet; 三ヶ島: 鑄物 26 (1954) P 267
- (4) Climax Molybdenum Co. of Europe; 三ヶ島 鑄物 26 (1954) P 267
- (5) M.T. Aktutay and P.C. Rosenthal; Foundry 79 (1951) 3 P 100~105
- (6) J.G. Kura, and P.C. Rosenthal; Trans AFA 54 (1946) P 154~183
- (7) 長島; 鋳鋼資料 1953 P 98
- (8) 小柴; 特殊鋼 1952. P 57. 58.

難燃性を誇る

# スタンドライトの 積層板

乾燥が速い  
絶縁用  
コイルワニス

火気を警戒する船舶・建築物・車輛等の構成材料として特に注目されております。

## サーモセツトワニス

### 日立電気絶縁材料

スタンドライト (フェノール樹脂製品) タガライト (ユリア樹脂製品)  
ワニスクロス ワニス・コンパウンド マイカナイト

東京 大阪 名古屋 福岡 仙台 札幌

日立製作所