

低合金鋳鋼の研究(第2報)

—低 Mn-Mo 鋳鋼の硬度について—

Studies on Hardness of Low Mn-Mo Steel Castings

真島 卯太郎* 坂戸 義憲* 宮崎 勢四郎* 片桐 一郎*

内 容 梗 概

二三の異つた成分を有する低 Mn-Mo 鋳鋼の焼準および焼戻による硬度の変化を調査し、肉厚大なる試料の内外部の硬度分布について検討した。

0.35% C, 1.7% Mn, 0.3% Mo 鋳鋼は焼準によつて硬度が相当大となるが焼鈍硬度もかなり高く、荒削りが困難である。0.4% C, 1.2% Mn, 0.2% Mo 鋳鋼は焼準硬度がやや低いが、焼鈍すれば軟い組織となり荒削りは容易となる。これを焼準焼戻すれば Hs 30~38 となる。この材質で鋳込んだものの硬度分布は 200 mm 角の試料ではかなりバラッキが大であつたが、内外の硬度差少く、100 mm 角の試料ではバラッキが少いが質量効果が認められた。

0.38~0.45% C, 1.10~1.50% Mn, 0.10~0.30% Mo を含有する低合金鋳鋼は焼準焼戻により硬度 (Hs) 30~38 を出すことができ耐磨耗性を要求される比較的高級な機械部品に利用できることを認めた。

〔I〕 緒 言

筆者らは先に低合金鋳鋼の各種にわたり空冷を主とした熱処理条件の下で機械的性質の調査を行つた⁽¹⁾。その結果、目標たるショアー硬度 33~38 をうるには、0.35% C, 1.7% Mn, 0.3% Mo 鋳鋼を焼準焼戻すればよいことを認め、硬度以外の機械的性質もよいことを認めた。

この材質は Mn 量が比較的大でその自硬性によりかなり遅い冷却速度によらないと焼鈍硬度を下げる事ができない。したがつて現場における焼鈍作業に注意を要し、焼鈍後の荒削り作業に困難を感じることもあるなど現場的の問題が多い。そこで自硬性を十分発揮しない程度に Mn 量を下げ、Mo 量も必要最小限にとどめて合金元素を節約し、焼準硬度を低下させないために C 量を若干高くすることを考えた。第1報⁽¹⁾では 1.3% Mn, 0.25% Mo を一定とし C 量を3通りに変えて機械的性質を調査したが、この場合えられた曲線から推定すると、C が 0.45% 以上あれば焼準と 650°C 焼戻によつて Hs33 以上を維持することができると考えられる。しかし二、三のハンドブックを調べても 1.00~1.35% Mn, 0.10~0.30% Mo を有する鋳鋼のもつとも C% の多いもので 0.40% である⁽²⁾⁽³⁾。これは焼鈍によつて H_B 220 をえている。Mo を含まない鋳鋼では 0.45% C, 1.45% Mn 鋳鋼がやはり焼鈍で H_B 220 をえている。Cr-Mo 鋳鋼では C>0.40% のものはかなり例が多い。炭素鋼鋳物では SAE の推奨する表面硬度を必要とする中炭素鋼鋳物として 0.40~0.50% C のもので H_B>207 という規格が制定されている⁽⁴⁾。

以上のことから 0.40% C, 1.3% Mn, 0.2% Mo を標準成分とし、空冷を主とする各種熱処理条件によつて比較

的高い硬度を維持しうる材質を選定しようと試みた。熔解作業および焼鈍作業ならびに焼準、焼戻の作業も現場でできる範囲を考慮して実験を行つた。

〔II〕 実 験 方 法

(1) 熔解と鋳込

比較のために第1報の結論として推奨した材質 0.35% C, 1.7% Mn, 0.3% Mo 鋳鋼と本実験の目標とする 0.4% C, 1.3% Mn, 0.2% Mo 鋳鋼を各 2, 3 チャージづつ 3 t エル式塩基性電弧炉で熔解した。出鋼は約 1,620°C で行い、底注ぎ取鍋より乾燥砂型の舟型試験片に約 1,550°C で鋳込んだ。舟型試験片のほかに最後の1チャージで硬度分布ならびに鋳造組織調査用として一辺 100 mm および 200 mm の立方体の砂型鋼塊を鋳込んだ。舟型試験片は押湯をガス切断により除去し、1箇所より約 30 mm 角で長さ 250 mm の素材3本づつを採取した。角型鋼塊はそれぞれ 100 および 200 mm 径の押湯をガス切断して試料とした。

(2) 試験片素材の熱処理

試験片素材は 900°C で2時間焼鈍を行つた。焼準温度は変態点がかかなり下つていたので 850°C とした。この焼準は調質の目的で行うものでこのほか第1回に高温で拡散を行なつてから空冷する処理をしたり、第2回と同じ温度で焼準するいわゆる2回焼準も行なつた。高温拡散の温度は 1,000°C 以下とし現場的に困難のないよう考慮した。

焼戻温度は歪取りを考慮して比較的高温の場合のみを実験し、焼戻性能を検討するため 550°C, 600°C, 650°C の3段階にかえ、2時間保持後炉冷または空冷を施した。

以上の熱処理は研究室のシリコン電機マッフル炉を使用して行なつた。

1 辺 100 mm および 200 mm の立方体鋼塊は微粉炭

* 日立製作所亀有工場

焼鈍炉で 870~900°C に4時間加熱後空中放冷した。

(3) 硬度測定

30 mm 角の材料試験片素材は第2回焼準後(1回焼準のみのものはその後)ブリネル硬度およびショアー硬度を測定し、焼戻後ふたゝび同様に硬度を測定した。

200 mm 角の試料は大き過ぎブリネル、ロックウェルともに試験機にかけることが困難だったので、ショアー硬度計で測定した。100 mm 角試料はロックウェル C スケールで測定した。

まづ試料の表面を約 5~10 mm だけ加工し、その仕上面に対して硬度を測定した。この測定面は押湯切断面を上、湯の入った堰の切断面を左側にとつた立方体の側面に当る。測定を1回終つて後 20 mm 仕上加工し(100 mm 角試料は 10 mm づつ加工)その仕上面について第2回の測定を行なつた。これを4回繰返して合計5面につき硬度を調査した。各面における測定要領は10 mm 間隔に基盤目に分割して各1箇所づつ測定した。すなわち 200 mm 角試料は1面につき400箇所、100 mm 角試料は100箇所づつ測定したことになる。

なお硬度以外の機械的性質および耐磨耗性についてはほかに発表したので⁵⁾ここにはそれらのデータは省略する。

〔III〕 実験結果

(1) 試料の化学成分と変態点

試料の化学成分を第1表に示す。又代表的材質について本多式熱膨脹計により測定した変態点を第2表に示す。変態点測定の際の炉冷却速度は約 3°C/min であつた。

(2) 焼準焼戻による硬度変化について

各材質別 各熱処理別に焼戻温度と硬度との関係を図示すると第1図および第2図のごとくなる。硬度はブリネル硬度計にて測定したものを金属便覧の換算表によつてショアー硬度に換算したものを掲げた。

第1図は 1.6% Mn を含有する試料の硬度変化を示す。

まづ焼準硬度はいづれも 550°C 焼戻硬度よりかなり高い値を示す。焼鈍硬度は 650°C 焼戻硬度より高い値を示すが、1,000°C 拡散の場合はあまり差がない。そのほかは第1回の熱処理による差は認められなかつた。

第2図は 1.2~1.4% Mn を含有する試料の硬度変化を示す。一般に焼準硬度と 550°C 焼戻硬度との間に差が少なくなつてゐる。○印の試料が 1.6% Mn の試料と似た硬度変化を示したのは多少 Ni と Mo が多いことに基づくものと想像される。0.52% C の試料は高Cのためにはほかのものよりかなり高硬度となつたが焼鈍によりかなり軟化されるようである。

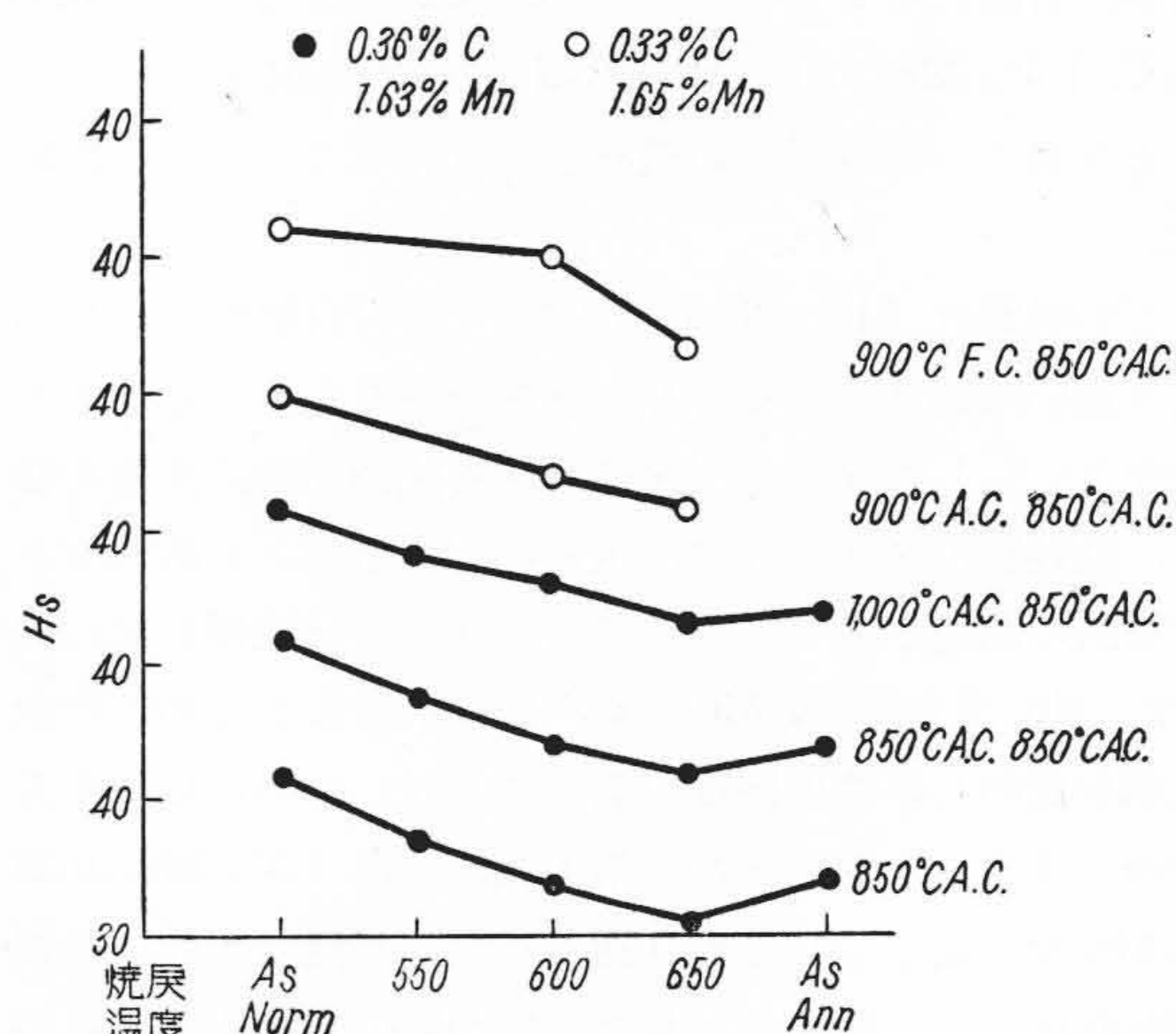
(3) 硬度分布

第1表 試料の化学成分
Table 1. Chemical Composition of Test Pieces

Heat No.	Chemical Composition (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
20398	0.36	0.30	1.63	0.019	0.019	0.14	0.12	0.32	—
20412	0.33	0.35	1.65	0.024	0.019	0.18	0.10	0.36	0.24
10106	0.41	0.43	1.20	0.025	0.018	0.10	0.10	0.22	—
10153	0.41	0.30	1.18	0.016	0.019	0.31	0.08	0.27	0.25
20469	0.52	0.61	1.39	0.016	0.019	0.13	0.08	0.22	0.39
10188	0.40	0.28	1.12	0.020	0.016	0.27	0.19	0.32	0.31

第2表 試料の変態点
Table 2. Transformation Point of Test Pieces

Heat No.	加熱変態 (°C)		炉冷却変態 (°C)	
	開始	終了	開始	終了
20398	656	707	610	596
10106	657	690	598	556

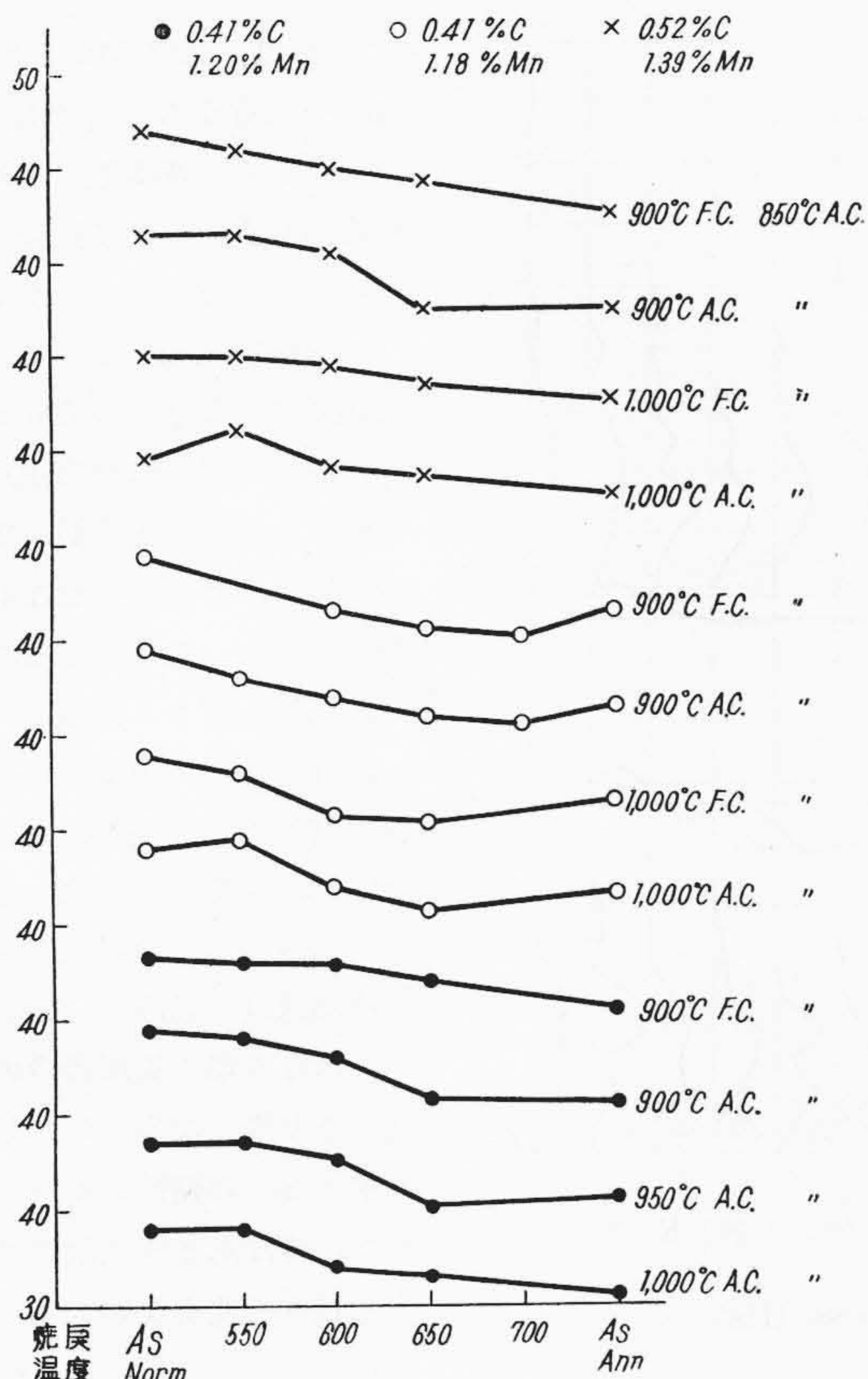


第1図 1.6% Mn の試料における熱処理条件と硬度との関係

Fig. 1. Relation Between Heat Treatment Conditions and Shore Hardness (1.6% Mn Series)

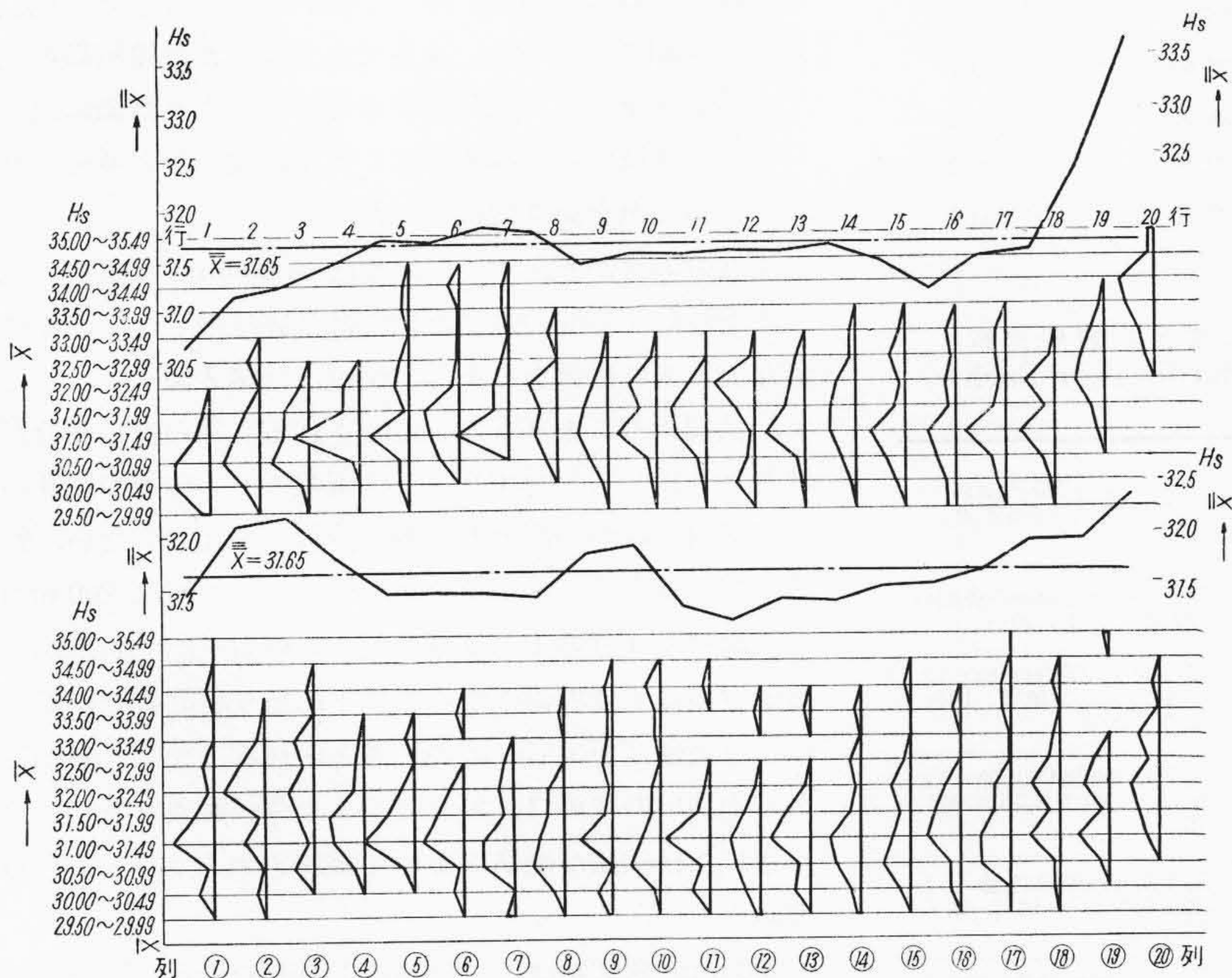
0.4% C, 1.2% Mn, 0.2% Mo 鋳鋼(熔着 10188)を焼準した試料につき硬度分布を調査した結果 200 mm 角の試料の第I面から第V面までの各面400箇所の平均値は第3図に示すような分布状態となつた。またI~V面の間の硬度のバラツキ(最大と最小との差)を各列各行ごとに頻度図として表わしたものが第4図である。

平均値の分布を見ると第3図上方の各行については押湯に近い部分(1~4行)が若干軟く、押湯から遠い底部(19, 20行)がかなり硬いがほかは平均硬度に近く硬度のムラは少い。硬度平均値は頂部(1行)で 30.8, 底部(20



第2図 1.2~1.4% Mn の試料における熱処理条件と硬度との関係

Fig. 2. Relation Between Heat Treatment Conditions and Shore Hardness (1.2~1.4% Mn Series)



第3図 各行列における硬度平均値の分布を示す頻度図(n=20)

Fig. 3. Distribution Histogram for Mean Values of Hardness (Hs)

行)で 33.7 だから焼準硬度としては大きい差ではない。第3図下側の各列について見ると、一定の傾向が見られない。右端が最高で平均値 32.6 に対し、中央部最低値 31.2 となりほとんど差がない。

バラツキの分布は各行間では全平均の $\bar{R}=3.68$ に対し ± 0.7 以内の変動で問題とならないが、なかには 13~17 のバラツキを示す所も二三あつて偏析のごとき感を呈した部分もあつた。列間のバラツキはこの偏析のごとき高硬度部の影響をうけて $\bar{R}$ も 5.6~5.8 となり、ほかの列とかなりの差を生じた。

100 mm 角試料の測定値は省略するが、各面の全平均値は 200 mm 角試料とともに第3表に掲げた。

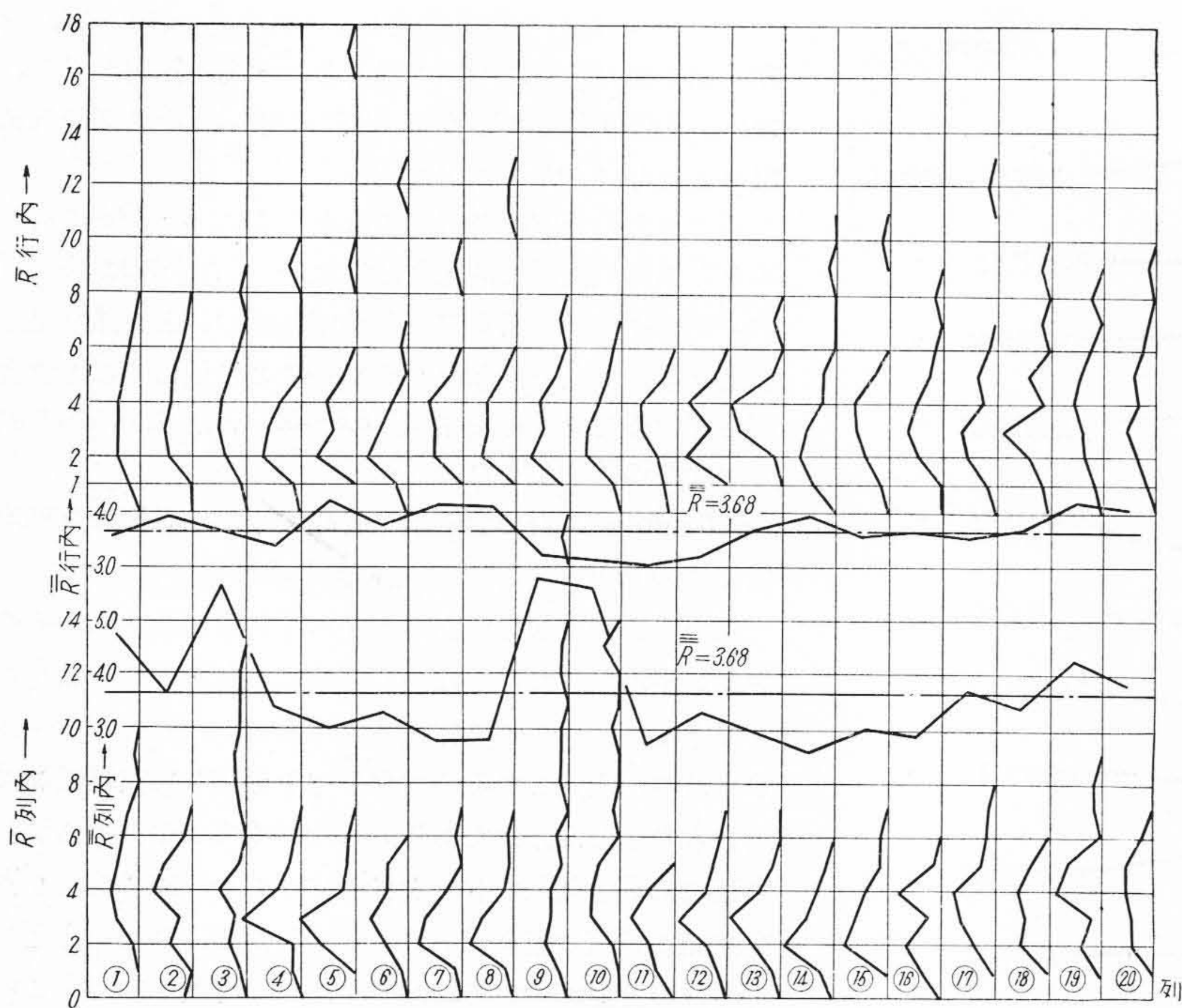
以上の測定方法は各面でかならず周辺部を含み、その硬度が平均された形となつて完全に質量効果の有無を判定できない。しかし丸棒にすれば縦割りにして硬度を測定するのが困難となるので立方体を採用して実際製品に近いものとしたわけである。したがつてこの立方体試料で正確に質量効果の有無を検討するためには外側より漸次内側に5箇の箱を「いれこ」にしたような殻を考えてその殻の各面について硬度を平均する必要がある。この層別された方法によつて計算した値を第4表に示した。摘要欄には硬度測定をした際の I~V 面における測定位置を記した。

第3表、第4表を比較すると 100mm 角試料は質量効果が明確に認められる。200mm 角試料は層別法によつた場合内層に高硬度部が存在したためその平均値が上り、内外の差が少くなつた。しかし一辺 200 mm の立方

体ともなれば空中放冷の冷却速度はかなり遅いので質量効果は減ずるものであると考えられる。

〔IV〕 考 察

低 Mn-Mo 鋳鋼は, Mn, Mo によつて焼準硬度を上げることが特徴であるが, Mn は 1.6% 附近より急激に焼入性を増して焼鈍によつても硬化するようになる。Mo は空冷によつてベーナイト変態を起して硬化しやすい。C も勿論焼入性を増す元素である。これらのことから本実験結果を考察すると焼鈍によつて硬度をあまり上げないで焼準硬度もかなり高いという材質



第 4 図 各行列における硬度 (Hs) の範囲 (最大値と最小値との値) R の分布を示す頻度図 (n=20)

Fig. 4. Distribution Histogram for Ranges of Hardness (Hs)

第 3 表 各面の硬度平均値
Table 3. Mean Values of Hardness on Each Planes

面	200 角試料 Hs	100 角試料 HRC	同 Hs 換 算
I	30.84	25.60	38.0
II	32.40	26.67	39.0
III	32.05	26.60	39.0
IV	31.02	22.80	36.3
V	31.48	21.44	35.1

第 4 表 層別法による硬度平均値の比較
Table 4. Comparison of Hardness on Each Layers

層	200 角試料		100 角試料		摘 要 (200 角試料の測定位置)
	測定数	平均値 (Hs)	測定数	平均値 (Hs換算)	
外	684	31.49	234	37.5	第 I 面全体とほかの各面の第 1, 20 列. 第 1, 20 行
2	428	31.80	148	38.2	第 II 面 (外周 2 列を除く) と第 III-V 面の第 3, 18 列. 第 3, 18 行
3	112	31.20	76	37.3	第 III 面 (外周 4 列を除く) と第 IV-V 面の第 5, 16 列. 第 5, 16 行
4	44	31.52	28	34.0	第 IV 面 (外周 6 列を除く) と第 V 面の第 7, 14 列. 第 7, 14 行
内	16	31.56	4	33.2	第 V 面の第 9, 10, 11, 12 列と第 9, 10, 11, 12 行の平均値

は 0.4% C, 1.2% Mn, 0.2% Mo を含有する試料であつたといえる。第 5 図に焼鈍組織の写真を掲げて比較したが、上記成分のものがもつとも軟い組織を示した。変態点はかなり下つているから液冷の場合は相当注意を要する材質であるが、空冷の場合はさほど困難なものではない。焼準による場合、拡散を行うと組織が均一に近づくが、第 2 回の調質を目的とした焼準によらなければ組織は微細化しない。拡散後は空冷以上の速い冷却速度で急冷しないと均一になり難く焼戻後の硬度が下り難くなる。しかし衝撃値などの靱性を要求されない時はあまり拡散に考慮を払う必要もないと考えられる。

硬度分布について考えると質量効果は一応問題となる。

100 mm 角以上の試料についての拡散焼鈍に関しては別途研究せねばならないが、小試料についてさえ、拡散の効果は顕著に上らないようであつた。顕微鏡組織の上でも拡散後空冷した試料が炉冷したものより微細になつただけで硬度のムラは減らないのではないかと考えられる。この一例を第 6 図に示した。

硬度のムラが多かつたのはやはり 200mm 角試料であつて 900°C 4 時間の焼準だけでは到底拡散しない。硬度分布頻度図に影響を与えた高硬度部は第 7 図に示すごとく結晶偏析のごときものと推定される。図の濃い部分だけをとり出して分析することは困難で、大体その辺りからの試料とほかの部分の試料を分析して比較したが、顕著な差を見出すことができなかった。この図は 200 mm 角の試料を 4 分の 1 に切断したうちの右上部であるから高硬度部は丁度押湯の中心の真下に当り結晶状態の異状により高硬度を生じたものと考えられる。底部と右端部がやや硬いのは湯口、堰より遠く、冷たい鑄型に当つて急冷された柱状晶が焼準によつて破壊されなかつたためであろう。

200 mm 角試料はこのほかに 1 箇所やや硬い部分があつたが、高硬度部が内層にあつたため平均値としての硬



0.36% C, 1.63% Mn, 0.32% Mo

0.41% C, 1.2% Mn, 0.22% Mo

0.52% C, 1.39% Mn, 0.22% Mo

第5図 低 Mn-Mo 鋳鋼の焼鈍組織の例 ×400

Fig. 5. Annealed Structure of Low Mn-Mo Steel Castings ×400

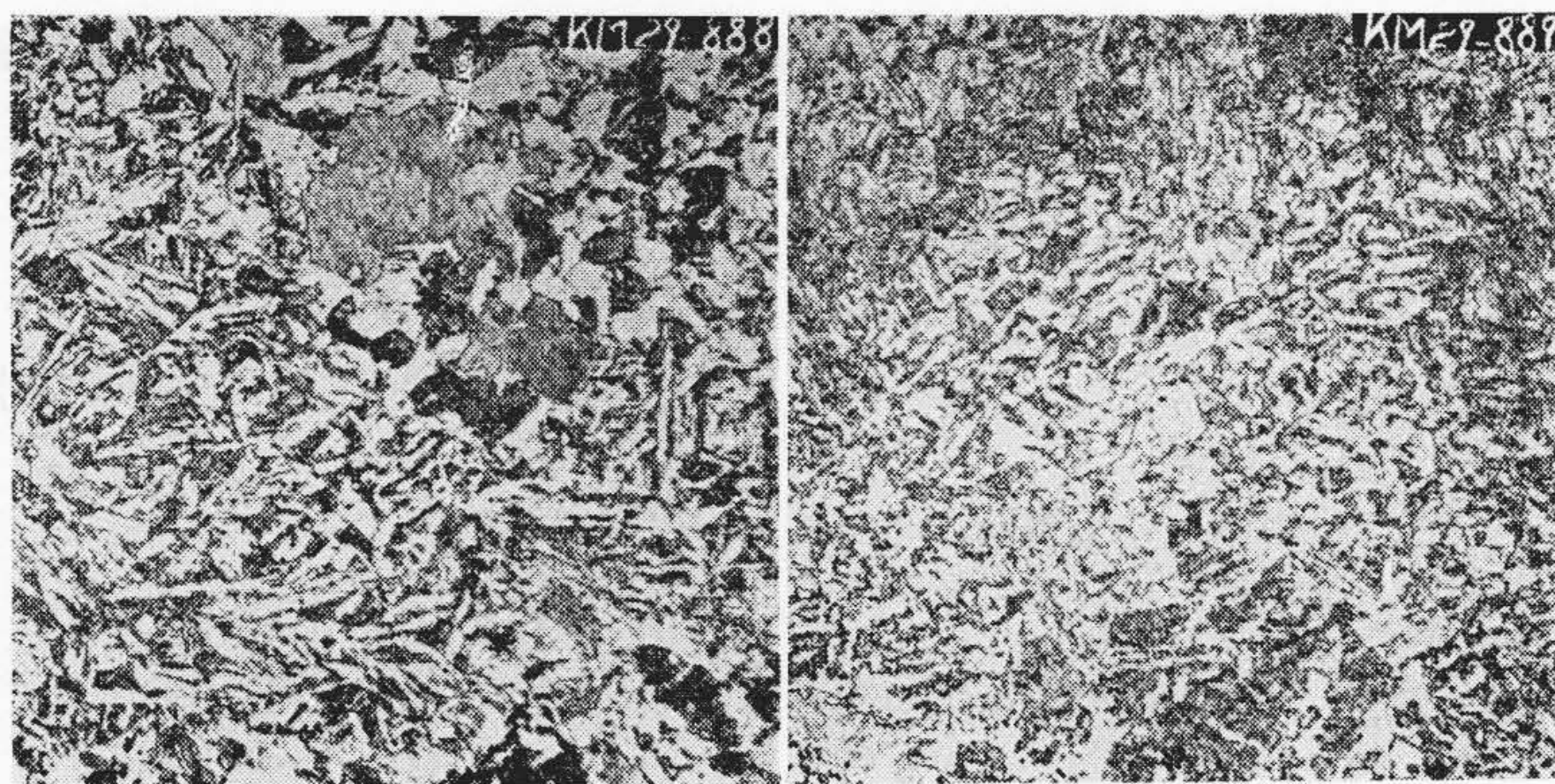
度分布が比較的均一に見える結果を示した。このほか 200 mm 程度の肉厚では冷却速度もおそくなるので焼準効果が少いとも考えられる。100 mm 角試料はバラツキも少なかったのではつきりと質量効果を示した。ただ最外層はいつでも多少軟い数値を示したのは測定が難しいことによる誤差も含まれている、と考えられる。平均の硬度差が Hs で 5 程度あるのは目標たる硬度 33~38 という狭い範囲に対しては不適当であると考えられる。本実験では 200 mm 角試料の方が多少低目であつたが、この試料を小分割してロックウェル A 硬度で測定し 100 mm 角試料と比較して見たところ、200 mm 角で 59.6, 100 mm 角で 60.2 という値をえた。ほとんど差がなかつたことはショアー硬度実測値はロックウェルより換算したものより多少低目に出ていたためであると思われる。

以上のことから考えて 100 mm 角程度の試料を空中に放冷する際は質量効果に注意することが必要で、硬度を目標内に止めることはかなり困難である。このため Hs 30~38 程度に範囲を拡大する必要があることが認められた。

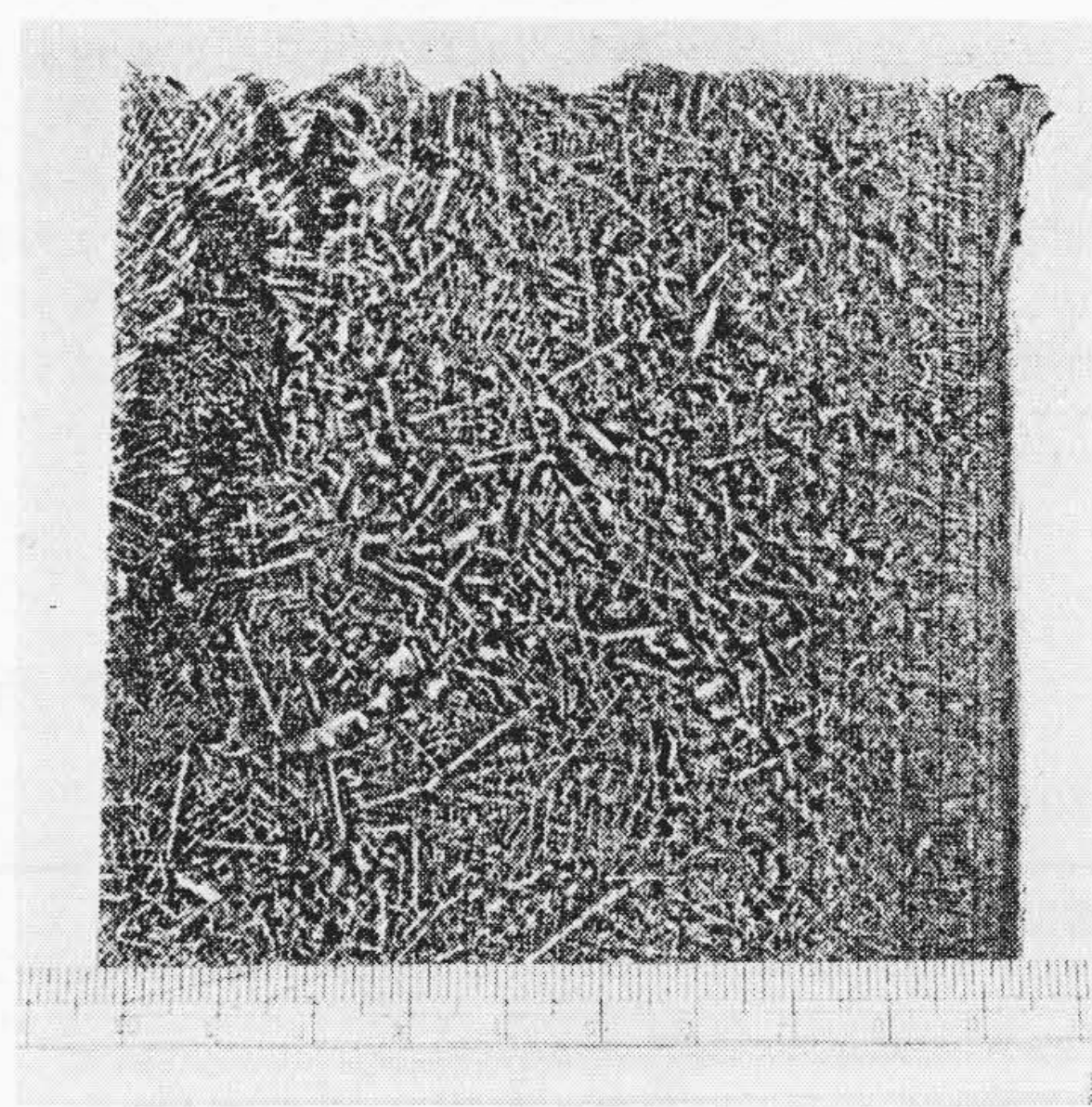
〔V〕 結 言

塩基性電弧炉を用いて熔製した二、三の異つた成分を有する低 Mn-Mo 鋳鋼の試料を、空冷を主とする各種の熱処理を施して硬度を調査した。

0.36% C, 1.63% Mn, 0.32% Mo を含有する鋳鋼は焼準によつてかなり硬化し、焼鈍によつてもあまり軟化しない。0.41% C, 1.20% Mn, 0.22% Mo の試料は焼準によつて相当硬化するが焼鈍すれば軟化する。したがつ



900°C F.C., 850°C A.C., 650°C F.C., 900°C A.C., 850°C A.C., 650°C A.C.

第6図 拡散後の冷却条件と焼戻組織との関係 ×400
(0.41% C, 1.20% Mn, 0.22% Mo 鋳鋼)Fig. 6. Relation between Tempered Structure and Cooling Condition after Homogenizing
(0.4% C, 1.20% Mn, 0.22% Mo Steel Casting)第7図 200mm 角試料の断面組織の一部(ほぼ実物 $\frac{1}{2}$ 大)
Fig. 7. A Part on Sectional Structure of 200 mm Square Test Piece (Approximately $\times \frac{1}{2}$)

て焼鈍—荒削—焼準—焼戻という工程を困難なしに進めることができる。この材質についてさらに肉厚の大なる試験片を鋳造して硬度分布を調査した。

1 辺200mmの立方体では空中放冷による質量効果はその冷却速度がかなり遅いため顕著にあらわれなかつた。

1 辺100mmの立方体の試料は内外層の最大硬度差 H_s で 5.0 をかぞえ、かなりの質量効果を認めた。したがって焼準焼戻状態の硬度範囲の規格は製品に対しては30~38 の程度とする必要があることが認められた。

以上要するに普通鋳鋼に比べて、熱処理作業も比較的困難でなく、そしてより高い硬度を有する低合金鋳鋼の材質は、0.38~0.45% C, 0.30~0.60% Si, 1.10~1.50% Mn,

P.S. それぞれ $<0.03\%$, 0.10~0.30% Mo の成分で850°C 焼準, 650°C 焼戻したものである。そのショアー硬度は30~38となり、耐磨耗性を要求される比較的高級な機械部品に利用することができる。

最後に本研究に当り御指導を賜った日立製作所顧問東北大学名誉教授村上武次郎博士、日立製作所亀有工場吉田驥副工場長はじめ幹部諸氏に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 真島他：日立評論 38 971 (昭31-7)
- (2) S F S A : Steel Casting Handbook 1950 年版
- (3) Hoyt : Metal data 1952
- (4) S A E 規格 : 1952 年度 日本語版
- (5) 宮崎 : 鉄と鋼 42 No. 3 P. 252 (講演大会前刷)

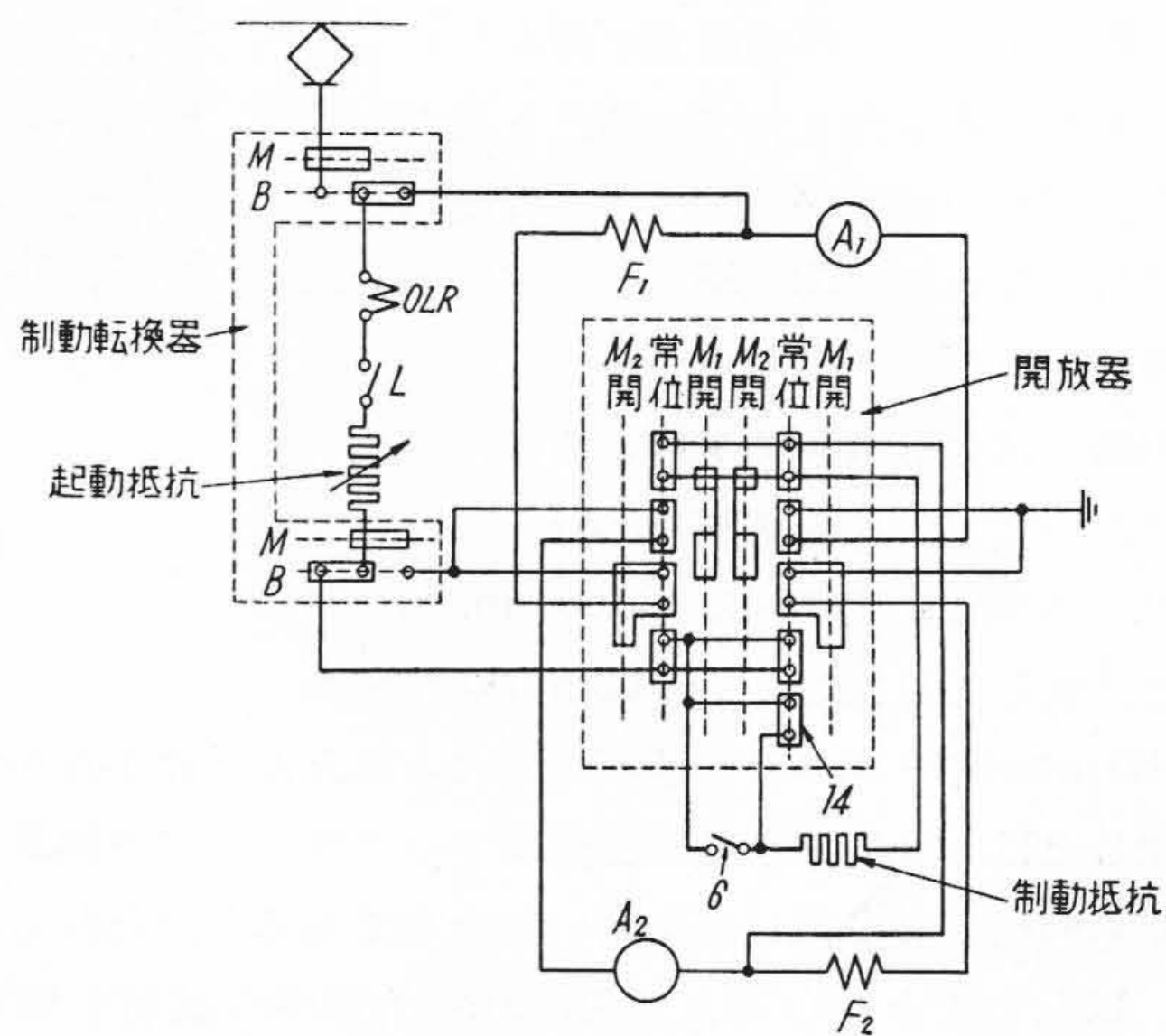
実用新案 第 442227 号

高 橋 健 造

路 面 電 車 用 非 常 制 動 装 置

近時の路面電車は大型化するとともに、間接制御方式および常用発電制動方式を採用する傾向にある。また主回路配線はこれを車輛の床下にのみ配置するため、機器は複雑化し、一方路面電車としての特殊の要求もなされており、たとえば故障電動機を開放器により開放した状態でも非常用発電制動をかけうる点もその一つである。この考案はこの要求に応じて、故障電動機開放時にも、運転室において補助開閉器を操作することにより非常用発電制動をかけうるようにしたものである。

図は常用発電制動時の主回路つなぎを示すもので、主電動機 A_1 , A_2 は起動抵抗および制動抵抗を直列につないだ回路に互いに並列に挿入されている。一般に路面電車では故障電動機たとえば M_1 を開放器の操作により開放した場合は、セグメント 14 により前記制動回路が開かれるので、発電制動はかけられないのであるが、この考案ではセグメント 14 により開放される接点に並列に補助開閉器 6 を設け、この補助開閉器を運転室より遠方操作して閉合せしめることにより、この開閉器 6 および制動抵抗を通して残存する電動機 M_2 の制動回路を閉成することができるから、故障電動機開放中においても非



常用発電制動をかけることができ、運転上の安全を期することができる。(滑川)

日 立 製 作 所 社 員 社 外 講 演 一 覧

(70頁よりつづく)

(昭和31年 7 月受付分)

講演月日	主 催	演 題	所 属	講 演 者
9. 6	日本物理学会	トランジスタの物理	中央研究所	伴 野 正 美
8. 9	日本規格協会	実験計画	中央研究所	島 田 正 三
7. 28	日本非破壊検査協会	蛍光探傷法の鋳放し面への利用の実例	深川工場	江 上 種 一
11. 上旬	電気通信学会	映像周波数成分の影響を考慮した鉱石変換器の中間周波インピーダンス	本 社	南 野 幸 雄