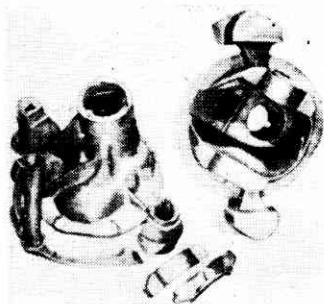


新しい鑄鐵

—球状黒鉛鑄鐵—

千々岩健兒



1. 緒 言

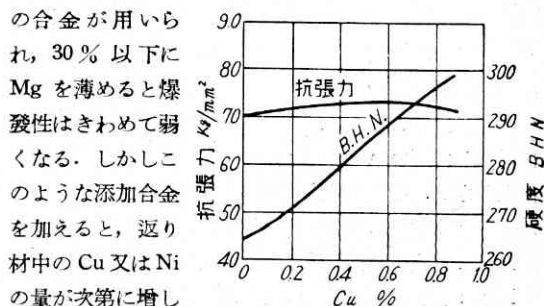
鑄鐵は鑄造性がよく、耐蝕、耐摩耗性等のいろいろすぐれた性質をもっており、機械器具の材料として広く用いられているが、鑄鋼にくらべて脆く、強度も低い。一方鑄鋼は鑄造性が悪く、その加工にも困難が多い。従つて、この兩者の性質を兼ねそなえた材料を得たいという研究は古くから多くの學者、現場技術者によつてなされてきたのである。例えばパーライト鑄鐵、可鍛鑄鐵、合金鑄鐵等はその結果發明されたものである。パーライト鑄鐵は耐摩耗性もよく、強度も相當に大きい(30kg/mm²位)が伸びはごく少ない。可鍛鑄鐵は地鐵をフェライト化して展延性を大きくした(伸び 10~20%、抗張力 30~40kg/mm²)のものであるが、その熱處理に多くの時間(30 時間以上)と費用を要するのである。鑄造のまま、或るいは短時間の熱處理により可鍛鑄鐵のような特性をもつた鑄鐵をつくることができれば非常に便利なわけである。この要求に合うのがこの度發明された球状黒鉛鑄鐵である。この鑄鐵は Nodulite, Ductile Cast Iron, Spheroidal Graphite Cast Iron 等とよばれ、抗張力 40~80kg/mm² 伸び 1~20% を有する鑄鐵界の革命的な發明品というべきものである。

1948 年英國の H. Morrogh が超共晶鑄鐵を金屬 Ce で處理することにより黒鉛を球状化し、その特性のすばらしいことを發表し、また米國でもほぼ同時に Inter-

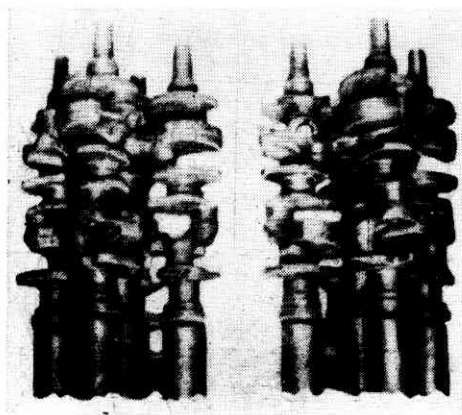
national Nickel Co. の T.H. Wickenden が Mg を使用して Ce の場合よりも成分上廣範圍の鑄鐵の球状化に成功をおさめた。これに刺戟され諸外國はもちろんわが國でも多くの研究所、會社においてきそつて研究、實用化に努力した。米國では既に工業化され、多量の製品が製造されている(第 1 圖參照)。

2. 製 法

球状黒鉛鑄鐵をうまくつくるためにはその素材を選らばなければならない。大體、T.C.* 3.40~4.20%, Si 1.60~2.0%, Mn 0.4 以下、S 0.03~0.05%, P 0.2% 以下(M. Kuniarsky による)の鑄鐵を用いる。低磷鉄がこれに適している。この鑄鐵を適當な方法で熔解する。キューボラを用いればコークスから硫黄が入ってくる傾向があり、また高温の湯が得難いので、あまり好ましくない。高周波爐、鹽基性電氣爐が最も適している。爐で熔かした鑄鐵(湯)を取鍋にとり、Mg または Mg 合金を適當な方法で添加する。添加合金は熔湯を取鍋に注ぐ前に取鍋の底に入れておくこともある。純 Mg は酸素と急激な反應を行うため、鑄鐵に接すればただちに發火し爆發するのではなはだ危険である。従つて、添加合金としては Mg を稀薄にして加えるように Mg 合金が用いられる。通常 Mg-Ni, Mg-Cu, Mg-Si-Fe 等である。Mg-Ni 合金は 50:50 以下に薄めることは困難で、この爆發性は相當にひどい。わが國の現状では Ni が少ないため、主として Mg-Cu 合金を用いている。Mg-Cu 合金はいろいろの割合のものをつくることができ 20:80, 30:70, 50:50

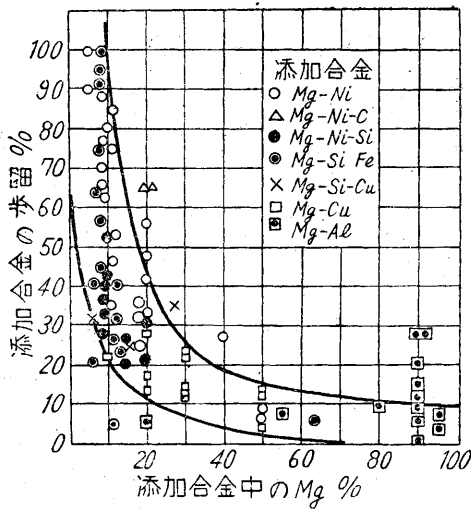


第 2 圖 添加合金 Mg-Cu 使用の際の Cu の影響



第 1 圖 球状黒鉛鑄鐵製クランクシャフト

* 全炭素量



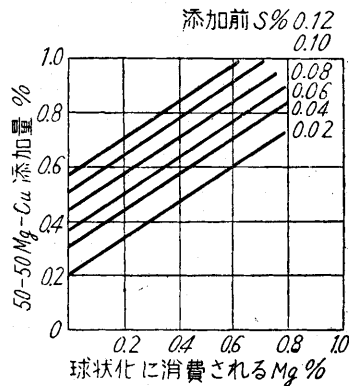
添加合金中の Mg % の相違による歩留りの変化
第 3 圖

悪くなる(第2圖). この缺點をのぞくためには Mg-Si-Fe すなわち 50% フェロシリコンに Mg が 8~10% を加えた合金を添加剤として用いれば後述の Inoculation (接種作用) はかならずしも必要でないが, Si が入り過ぎ抗張力がおちる傾向はある.

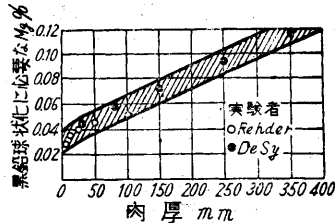
添加合金の添加すべき量は合金中の Mg %, 処理すべき鑄鐵中の S %, 鑄物の肉厚 M, 処理時間 t および処理温度 T によつて異なる(第3~7圖参照).

球状化を完全に行うためには, 鑄鐵中に Mg が 0.05~0.08% 残るよう

に計算して用いねばならない. それには上述の點を考慮して
 $A \cdot Mg_V = Mg_E + 0.75 S + aM + bt + CdT,$
 A : 添加合金中の Mg が鑄鐵中に残る歩留り %
 Mg_V : 全添加合金中の Mg %
 Mg_E : 鑄鐵中に残る Mg %
 S : 鑄鐵中の S %
 M : 鑄物の肉厚 mm



第 4 圖
Mg の歩留りに對する S の影響



第 5 圖 黒鉛球状化に必要な Mg % と肉厚との關係

t : 處理時間 min
 ΔT : 處理溫度と基準溫度(例えば 1150°C)との差 °C
 a : 常數 0.000 22
 b : " 0.001~0.002
 c : "

によつてきめればよい。

Mg はセメントaitを安定化するので, 球状黒鉛を得るためには Mg 處理によつて Si を熔湯に添加し黒鉛核の發生を容易にする必要がある. この操作を Inoculation といつてゐる. 普通フェロシリコン, カルシウムシリサイド等を用い Si の量として 0.4~0.6% 程度を添加する.

時間がたつて鑄込むと片状黒鉛組織になるから, 黒鉛球状化處理を行つたならば, ただ

ることが必要である. また返り材の再溶解では球状黒鉛は發生しないので, 溶解の都度處理をする必要がある. 處理溫度が高すぎるとセメントaitを生ずるため, 處理溫度としては 1430°C 以下がよいといわれている(第1表).

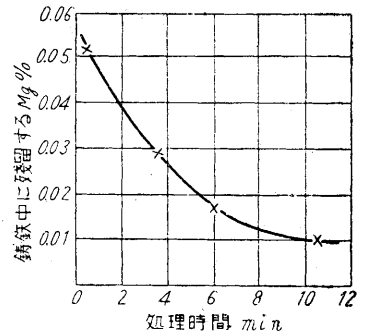
第 1 表 Mg 處理溫度と Mg の歩留りとの關係

處理溫度 °C	Mg の歩留り %	撈み mm	組織
1,740	6.6	8.6	球状黒鉛と初析セメントait
1,630	10.0	6.9	
1,540	18.0	6.4	
1,435	16.0	15.2	球状黒鉛
1,330	19.0	14.5	

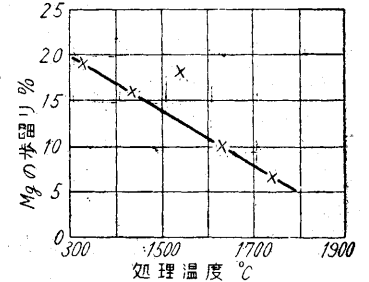
3. 性質

黒鉛の球状化は母材の化學成分によつて影響されるので, 先づ成分と關連してその性質を考へてみよう.

(a) 各成分の影響

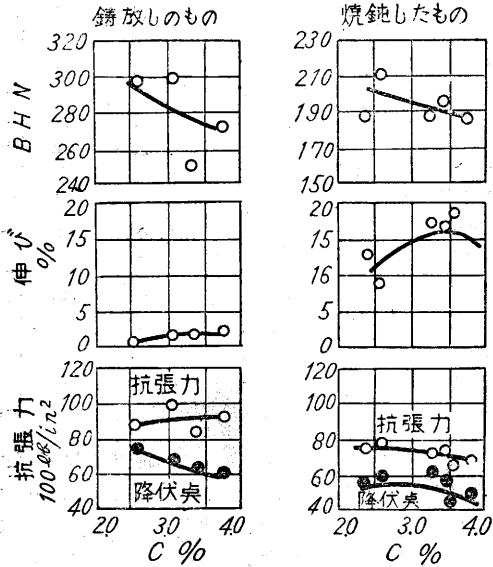


第 6 圖 黒鉛化處理時間が残留 Mg におよぼす影響

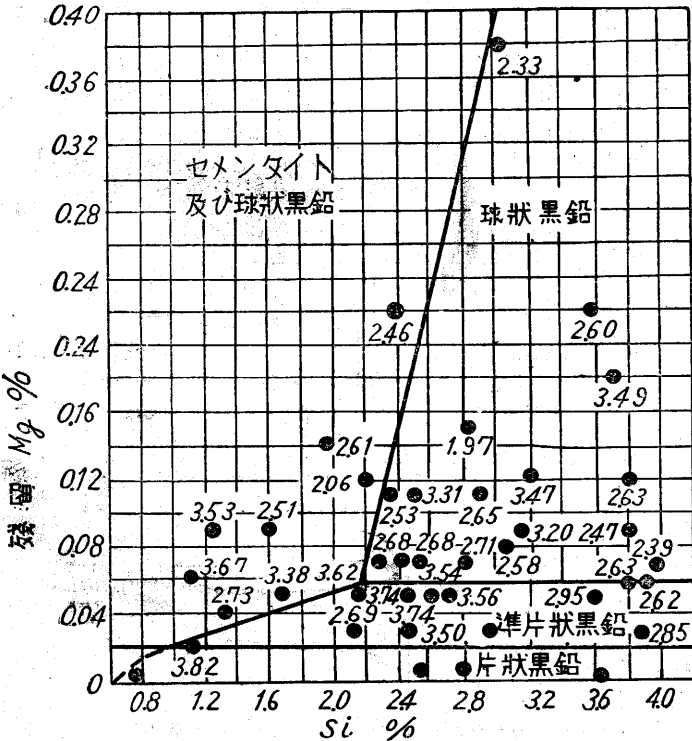


第 7 圖 黒鉛化處理溫度が添加合金中の Mg 効率(歩留り)におよぼす影響

C: C の含有量はある範囲内 (2.5~4.0%) では諸性質にあまり影響をおよぼさない(第8圖). しかしCの高い程球状化は容易であつて引けも少ない. そのため3.5%以上のものが多く用いられる. またあまり多くなると



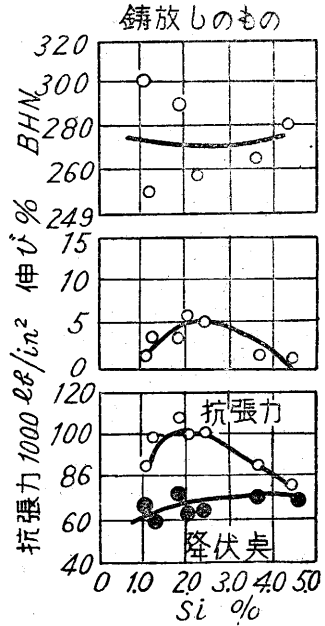
第8圖 機械的性質におよぼすC含有量の影響



第9圖 球状黒鉛の發生に對するMgとSiの關係
圖中の數字はCの量を示す

(4%以上)黒鉛が偏析してくるおそれがあるので好ましくない. 一方3.2~3.4%以下ではレーデブライトが現れやすく, これをなくすることが困難である.

Si: Cの影響とSiの影響とは相關連して考えねばならない. Siが低ければCは比較的多くてもレーデブライトを生じやすいが, Siが高ければCが少くても完全な球状黒鉛組織となる. E. T. Miszkowsky および R. P. Dumphy による Mg と Si との關係を示せば第9圖の通りである. 圖からうかがえることは完全球状化のためには C+Si が大體5.0%以上を必要とすることである. Siの量

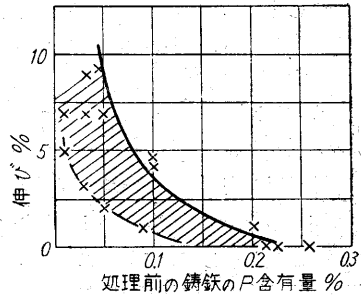


第10圖 機械的性質におよぼすSi含有量の影響

が増せば抗張力, 伸びは減少し, 脆くなることが知られている(第10圖).

Mn: MnはSと結びついてSの害をふせぐが, 一方セメントインを安定化し球状化を困難にするため, あまり多いことは望ましくない. 0.5%以下がよしい.

P: 比較的影響が少なく, 0.05~0.40%で球状化は可能である. しかしPが増すと共にステダイトがでて伸びがいちじるしく減少する. このため低磷鉄を用いなければよい性質を得ることはできない(第11圖).



第11圖 素材中のPの影響

S: Sは普通鑄鐵でも黒鉛化を阻止し, 機械的性質を悪くするのでなるべく少い方が好ましいが, 球状黒鉛鑄鐵ではMgと化合するためこの害を少なくすることができる. しかし

第2表 鑄鐵鑄鋼諸性質の比質

	鑄鐵 SAE 111	合金鑄鐵 Ni 0.8 Cr 0.2 Mo 1.0	可鍛鑄鐵 SAE 35018	パーライト 可鍛鑄鐵 SAE 43010	鋼 SAE 0030	鋼 SAE 0105	球状黒鉛鑄鐵		
							高抗張力性	高延性 鑄したものの	高延性 燃焼したものの
降伏點 kg/mm ²	—	—	24.6	30.2	24.6	59.8	56.3	38.7	31.6
抗張力 kg/mm ²	21.1	49.2	37.3	42.2	45.7	73.8	70.3	56.3	45.7
伸び %	—	—	18	10	24	17	1.5	10	16
断面收縮率 %	—	—	—	—	35	35	1.0	8	20
ブリネル硬度	190	286	130	170	130	217	255	190	160
弾性係數 10 ⁶ kg/cm ²	1.338	1.479	1.760	1.760	2.16	2.16	1.690	1.690	1.690
衝撃値 kg-m 徑 20.27 mm	1.383	2.786	—	—	—	—	5.572	25.074	36.218
溶解爐	キューボラ	キューボラ	キューボラ	キューボラ	電氣爐	電氣爐	キューボラ	キューボラ	キューボラ
熱處理	—	—	焼鈍	焼鈍	焼鈍	焼入, 焼戻	—	—	焼鈍
鑄込み歩留 %	80	75	52	50	50	50	70	70	70
原料費ドル	40.81	70.73	40.40	40.95	31.85	46.86	59.64	63.86	63.86
材料費 溶解費 "	6.75	7.72	14.60	15.18	31.83	31.83	7.71	8.65	8.65
熱處理費 "	—	—	9.00	9.00	9.00	18.00	—	—	6.00
合計 "	47.56	77.45	64.00	65.13	72.68	96.69	67.35	72.51	78.51

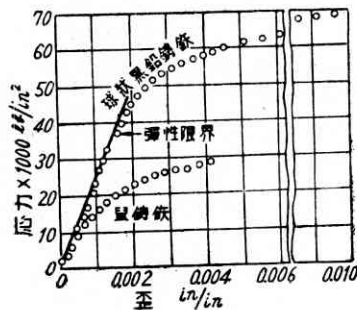
そのため多量の Mg を必要とし (多量に添加すれば S 0.15 % 位でも球状化ができるが) 経済的でない。従つてできるだけ少い方がよい。

Mg: 第9圖によつてわかるように鑄鐵中に残留する Mg が 0.06 % 以上必要である。これ以下になると片状黒鉛を混在することになる。しかしあまり多くなり過ぎると、セメントタイトを安定化し、レデブライトを生ずるから 0.1 % 以下がよいといわれる。

(b) 機械的性質

球状黒鉛鑄鐵の機械的性質は成分および熱處理の有無によつて影響をうけることは前述の通りであるが、その一例をとり他の鑄鋼材、可鍛鑄鐵等と比較してみよう (第2表)

普通鑄鐵に比し、伸びはきわめて大きく抗張力もいちじるしく増していることが知られる。應力—歪曲線をとつてみると第12圖のように、弾性限界が高くなり鋼に近くな



第12圖 應力—歪曲線

つてきたことを示している。F.R. Morral による球性黒鉛鑄鐵と普通鑄鐵の諸性質の比較は第3表のようであつて、この鑄鐵のすぐれた點がわかる。球状黒鉛鑄鐵には地鐵の種類によりパーライト型のもの、フェライト型のものがある。前者は抗張力が大で 70~80 kg/mm² を有するが伸びは少ない (1~5 %)。これに對し後者では、硬度は 170 B.H.N. 前後、伸びは 10~20 % であるが、

抗張力はやや低く 50~60 kg/mm² である。パーライト型のもも 700~750°C で 1~5 時間焼鈍すればフェライト化し伸びは高くなる。これ等の顯微鏡組織ならびに性質を第13圖に示してある。

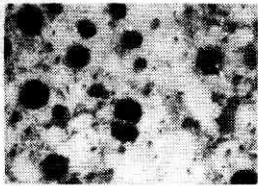
第3表 球状黒鉛鑄鐵と普通鑄鐵との性質の比較

	球状黒鉛鑄鐵	普通鑄鐵
抗張力 kg/mm ²	45~81	<35
壓縮抗力 kg/mm ²	88~127	56~154.7
剪斷抗力 kg/mm ²	抗張力の2倍	12~19
伸び (鑄込のまゝ) %	1~18	0
硬度 B.H.N.	150~650	150~270
疲勞限	抗張力 × 0.4~0.59	抗張力 × 0.40~0.55*
減衰能	普通鑄鐵の 1/4	
耐磨耗性	普通鑄鐵とほぼ同じ	
切り欠き感度 (靜的)	普通鑄鐵に勝る	
(動的)		
衝擊値	より高い	球状黒鉛鑄鐵に勝る

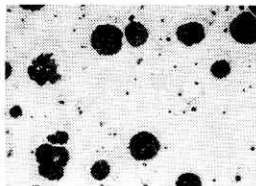
第13圖 以下5枚は黒鉛鑄鐵の顯微鏡組織を示す。



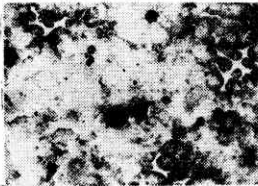
普通片状黒鉛鑄鐵



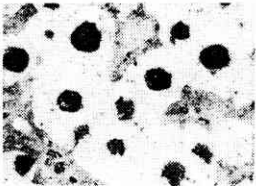
パーライト型球状黒鉛鑄鐵
(燐含有量の低いもの)



フェライト型球状黒鉛鑄鐵
(焼鈍したもの)



パーライト型球状黒鉛鑄鐵
(燐含有量の高いもの)

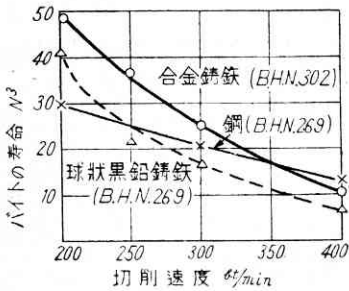


フェライト型球状黒鉛鑄鐵
(鑄放しのもの)

(c) 切削性

焼鈍しないものは普通鑄鐵とほぼ同等の切削性を有し、焼鈍したものは地のフェライトの増加とともによくなる。

バイトの壽命と切削速度の關係は第14圖の通りである。切屑は前者の場合は鑄鐵と同じくぼろぼろしてでるが、後者の場合は鋼と同じように連続している。



(d) 耐熱性
普通鑄鐵は500~900°Cの反復加熱を行うといちじ

るしく成長する。この原因は成分中のセメントタイトの分解およびA₁變態點の體積變化によつて片状黒鉛にそつて空隙ができ酸化が内部に進むためであると考えられる。球状黒鉛では體積に對する表面積の割合が小さいため酸化が内部に進まず成長は減少し、耐熱性は耐熱鑄鐵 (Ni-Cr 鑄鐵) よりも優秀である (第4表)。

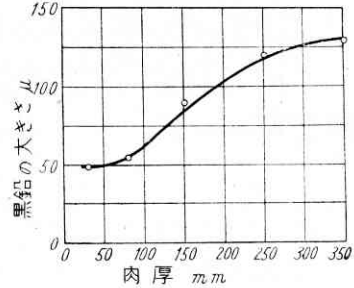
(e) 鑄造性

流動性はほぼ普通鑄鐵と同程度であるが、收縮率は相當に大きく、鑄鋼にほぼ等しい。従つて引けは大きく大きな押湯をつけて之をふせぐ必要がある。大體において、鑄鋼または可鍛鑄鐵の場合に準じて鑄造方法を決めるのがよい。またMgを添加する時、その氣化潜熱を奪つて溫度をさげるから、この點を見越して湯の溫度をきめねばならない。

第 4 表 耐熱性の比較

	黒鉛形状	分析値				生長率酸化の	
		T.C.	Si	Ni	Cr	%	深さ mm
普通鑄鐵	片状	3.5	2.5	—	—	12.1	12.7
クロム "	"	3.6	1.9	0.9	1.3	2.8	2.1
球状黒鉛 "	球状	3.5	2.4	1.8	—	2.1	0.66

鑄物の肉厚の相違による抗張力、伸び等の變化は普通鑄鐵に比して少ない(第15圖)。しかし肉厚があまり薄いと冷却速度が早くなり、レデブリライトを生じ完全な球状化は困難となる。



第 16 圖 肉厚と球状黒鉛の大きさとの關係

S. Desy による肉厚と黒鉛の大きさの關係を示せば第16圖のようになる。

(f) 熔接性

普通鑄鐵と同じ方法で容易に電弧熔接ができる。熔接部分はやや硬度が増すがこの部分も球状黒鉛組織が得られる。

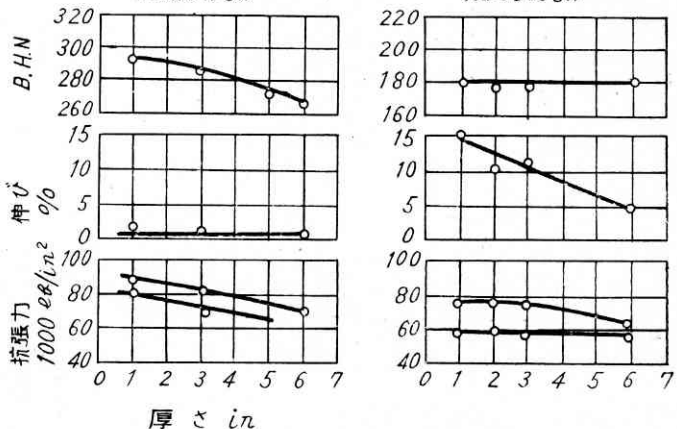
4. 用途

まだ研究中であるのでその範圍ははつきりしないが、従来用いられた特殊鋼の領域にまで使用範圍が擴大されるであろうと思われる。現在の主な用途は以下の通りである。

- 動力機械——エンジンのクランクシャフト、カムシャフト、ポンプ、バルブ、コンプレッサー等。
- 車輛關係——ブレーキシュー、車軸、フレーム、其他鐵道、自動車部品。
- 工作機械——ベッド、コラム、齒車。
- 鑄造用品——インゴットケース、金枠、金型。
- 産業機械——纖維機械、ミシン部品、農機具。
- 其他——鐵管、電氣機器部品、耐衝擊部品。

鑄放しのもの

焼鈍したもの



第 15 圖 肉厚による性質の變化