

V. 結 言

高圧筒材料研究の一手段として先づ著者等の工場で製造した材料の實際使用に依る變化程度を調査した。

約 10 數年連続使用した Ni-Cr 鋼製外筒は脱炭、ガス吸収等殆んどなく尙引續き使用出来ることが判つたが之と同様に使用した上部蓋は混合ガスの侵蝕著るしく H₂ 吸収量も驚く程であつた。又内部部品では H₂ の影響の外に N₂ の影響も相當著るしい。従つて材料の選定に當つては使用條件をよく考慮して適材を選ぶべきである。

終りに本研究の發表を許可された日本製鋼所室蘭製作所長小林佐三郎博士に厚く謝意を表すると共に御指導を賜つた萩原巖博士、試験に協力された竹崎伸二君に厚く御禮申上げる。(昭和 25 年 7 月寄稿)

文 献

- 1) J. S. Vanick: Trans. A. S. S. T. 12 1927 167
- 2) N. P. Inglis & W. Andrews: J. Iron & Steel Inst. 128 1933. II. 383
- 3) 小林佐三郎: 鐵と鋼, 25 年 9 號, 745
- 4) 芥川 武: 日立評論, 24 卷 7 號, 27

特殊鑄鋼の研究(VI)

(擴散焼鈍に依る機械的性質の變化に就て)

(昭和 25 年 4 月本會講演大會にて講演)

三ヶ島 秀 雄*

RESEARCHES ON THE SPECIAL CAST STEEL (VI)

CHANGE OF MECHANICAL PROPERTIES BY DIFFUSING ANNEALING TREATMENT

Hideo Mikashima Dr. Eng.

Synopsis:

The author studied on the change of mechanical properties on the diffusion of dendritic segregation by means of high temperature normalizing treatment; and also studied on the repeated normalizing test that were applied to the various specimens, including Cr-Mo cast steels (1% Cr, 0.25~0.35%Mo) added with Si, Ni and Mn.

Whether simple or repeated normalizing was applied, the mechanical properties, especially impact resistance, increased as the dendritic segregation were diffused.

I. 緒 言

著者は第 5 報に於て Cr-Mo 強靱特殊鑄鋼に Si, Ni Mn 等を添加した場合擴散焼鈍のマクロ組織に及ぼす影響に就て述べたが、今回はこの Cr-Mo-Si, Cr-Mo-Mn Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼等に單一焼準、繰返焼準を施した場合機械的性質が如何に變化するかを試験した結果に就て報告する。

II. 實 験 方 法

試料の焼準方法は第 5 報に述べたと全く同様である。機械試験には成分の類似した試料を一は最適温度で焼準處理を施した後、焼入、焼戻操作を行い、他は之を施さ

ず直接焼入、焼戻處理をなし、焼準處理の有無が強靱性に如何なる影響を及ぼすかを試験した。又強靱性の優劣を判定するため縦軸に衝撃値を横軸に硬度を採つて硬度—衝撃値關係曲線を求め強靱性の比較検討をなした。又繰返焼準試料は鐵粉中で 950°C で 2 時間焼準し、之を衝撃試験片に仕上げ調質處理後同様に硬度及び衝撃抗力をを試験した。

III. 實 験 結 果

(1) 單一焼鈍の機械的性質に及ぼす影響

焼準處理を施せば温度上昇と共に樹晶が擴散せられる

* 九州工業大學金屬工學教室 工學博士

が同時に結晶粒も成長し材質の低下を來す懼があるから、適當な温度で焼準することが必要である。焼準處理の機械的性質に及ぼす影響は三因子に支配せられる。

(イ) 焼準温度の影響、(ロ) 焼準時間の影響、(ハ) 焼準温度を一定とした場合の焼戻温度の影響

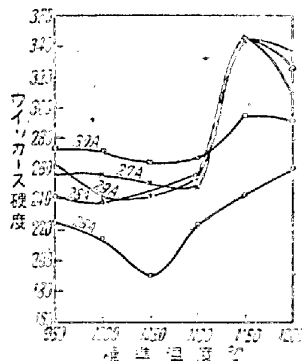
以上三つの場合に就て夫々研究を進め、この焼準處理を施して調質したものが、焼準處理を施さないで調質したものに對して、硬度、衝撃抗力等に如何なる影響を興えるかを比較検討して見た。

(a). 焼準温度の影響:— 鑄鋼は普通焼入、焼戻等の調質處理を施して後使用するが、調質前に適當な焼準處理を施して樹晶の擴散微細化を圖り、然る後調質すれば機械的性質を向上させることが出来る。先づ各種温度で焼準した儘のものに就て、硬度を測定して見た。

第1表に示す様な Cr, Mn, Si 各 1% を含む Cr-Mo-Mn-Si 鑄鋼を 950°~1200°C に2時間焼準して硬度を

第 1 表

番號	C%	Cr%	Mo%	Mn%	Si%	P%	S%
25A	0.34	1.06	0.35	1.09	1.11		
27A	0.45	1.06	"	1.21	1.09	0.004	0.014
28A	0.44	1.08	"	1.09	1.09		
29A	0.44	1.04	"	1.11	1.03	0.006	0.017
30A	0.54	1.05	"	1.03	1.10		



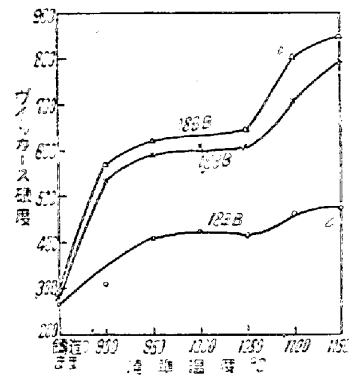
第 1 圖

測定した結果は第1圖の様に 1100°C 以上では空冷のため焼が入り易く焼準後の硬度が高い。2の中 27A, 28A 及び 29A は何れも成分が類似している關係上焼準後の硬度も大體一致している。

第2圖は第2表の様な成分の Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼を 900°~1150°C で2時間焼準したものの硬度を示したものである。183B は C, Cr, Mn の何れも低い (C 0.26%, Cr 0.84%, Mn 0.63%) ため硬度も低い、188B 及び 189B は Cr 及び Mn が高い (C 0.26%, Cr 1.52%, Mn 0.92%) ため焼準後の硬度も高い。更に

第 2 表

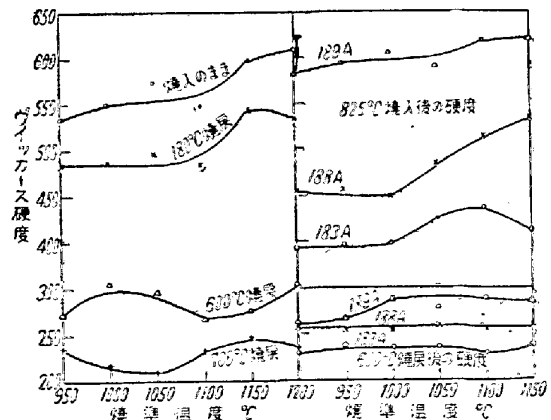
番號	C%	Ni%	Cr%	Mo%	Mn%	Si%
183B	0.26	2.06	0.84	0.25	0.63	0.25
188B	0.26	2.18	1.52	"	0.92	"
189B	0.31	2.15	1.63	"	0.90	"



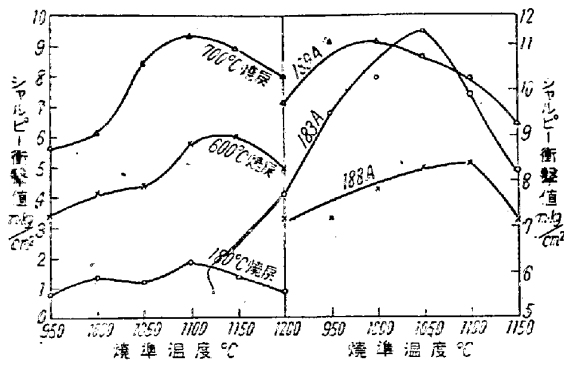
第 2 圖

189B は 188B よりも C 含量が高い (C 0.31, Cr 1.63%, Mn 0.90%) ため焼準後の硬度も 188B より幾分高い。尚焼準温度の影響に就て見れば 183B は 1050°C 以上では幾分硬度は増加するが左程著しくはない。併し 188B 及び 189B は 1050°C 以上では急激に硬度を増加する。この原因は高 Cr のものは變態速度を遅延させるから、高温焼準を施すと自硬性を示し空冷に依て硬化されるものと考えられる。

次に之等の特殊鑄鋼を焼準處理後焼入、焼戻した場合の硬度及び衝撃抗力の變化に就て試験した。第3圖(a) 及び第4圖(a) は成分の略等しい Cr-Mo-Si 鑄鋼 (C 0.44~0.45%, Si 1.03~1.09%) を 950°~1200°C で2時間焼準後 860°C (Ac₃+50°C) に20分間加熱油焼入し、180°, 600° 及び 700°C に各1時間焼戻したものゝ硬度及び衝撃値を示したものである。硬度は第3圖 (a)



第3圖 (a) Cr-Mo-Si 鑄鋼 (b) Ni-Cr-Mo-Mn鑄鋼



第 4 圖

(a) Cr-Mo-Si 鑄鋼 (焼入温度 860°C) (b) Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼 (焼入温度 825°C, 600°C 焼戻)

の様に焼入のまま及び 180°C 焼戻では焼準の影響が未だ残存するために 1110°C 迄は殆ど変化はないが、それ以上焼準温度を高めると調質後の硬度も高くなる。然るに 600°C 及び 700°C 焼戻のものは調質前の熱処理の影響が殆ど消失して、何れの加熱準温度のものも調質後に於ては大差不い様になる。又焼準試料の焼戻後に於ける衝撃値は第 4 圖 (a) の様に焼準温度の上昇と共に増加するが、1110°C を最高としてそれ以上では却て低下する。尙この様な傾向は他の特殊鑄鋼に於ても大體同様の傾向が認められる。例えば第 3 表に示す様な Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼を 900°C~1150°C に 2 時間焼準後 825°C に 20 分間加熱油焼戻し之を 600°C で 1 時間焼戻し

第 3 表

番號	C%	Ni%	Cr%	Mo%	Mn%	Si%	P%	S%
183A	0.21	2.10	0.72	0.25	0.38	0.58	0.007	0.013
188A	0.26	2.18	1.23	0.25	0.84	0.32		
189A	0.31	2.13	1.51	0.24	0.93	0.31	0.005	0.015

たもの、硬度及び衝撃値は第 3 圖 (b) 及び第 4 圖 (b) に示す通りである。183A は C, Cr, Mn の低い鑄鋼, 188A は中炭素, 中 Cr 鑄鋼である。硬度は第 3 圖 (b) の様に焼入した儘では未だ焼準の影響が相當残存し、1000°C~1050°C 以上の焼準では硬度は高いが、600°C で焼戻すれば殆ど焼準の影響が消失し、何れの焼準温度のものも大差不い様になる。又衝撃値は第 4 圖 (b) の様に焼準温度の上昇と共に増加し、1000°C~1050°C で最も優秀な性質を示す。尙この様な現象は Cr-Mo-Mn 鑄鋼の場合にもほぼ同様の傾向を示す。即ち衝撃値は Cr-Mo-Si 鑄鋼では 1110°C, Ni-Cr-Mo 鑄鋼では 1050°C, Cr-Mo-Mn 鑄鋼では 1000°C で最高を示す。

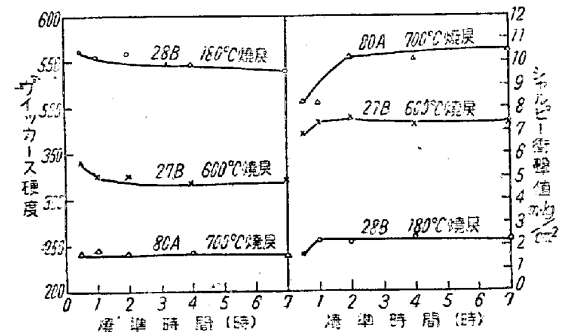
以上の結果を綜合すれば焼入した儘では硬度は多分に熱処理の影響を受け、焼入前の焼準温度が或程度以上の

ものは空冷硬化のため之を焼入しても硬度が高いが、高温で焼戻を行えば顕微鏡的には殆ど差異のないソルバイト組織となり、硬度に対する焼準処理の影響が消失するのである。然るに衝撃値は或温度で焼準すれば最高を示すが、更に焼準温度を高むれば却て低下する。之は焼準温度の上昇と共に樹晶が擴散されて微細化し、不純物が結晶粒界から擴散を起して組織が均一化するため靱性が向上するが、或温度以上に焼準温度が高くなれば結晶粒が成長粗大化するため衝撃値を低下するものと考えられる。

(b). 焼準時間の影響: 一上述の様に適當な温度で焼準を行えば優秀な衝撃抗力が得られるが、焼準時間も亦影響を及ぼすものと考えられる。試料は第 4 表に示す様な Cr-Mo-Si 鑄鋼 (Cr1%, Mo 0.35%, Si1%) で 1100°C に 0.5~7 時間焼準し、之を焼入、焼戻した後硬度

第 4 表

番號	C%	Cr%	Mo%	Mn%	Si%
28B	0.36	1.08	0.35	0.67	1.08
27B	0.37	1.09	〃	0.69	1.08
80A	0.37	1.20	〃	1.14	1.03



第 5 圖

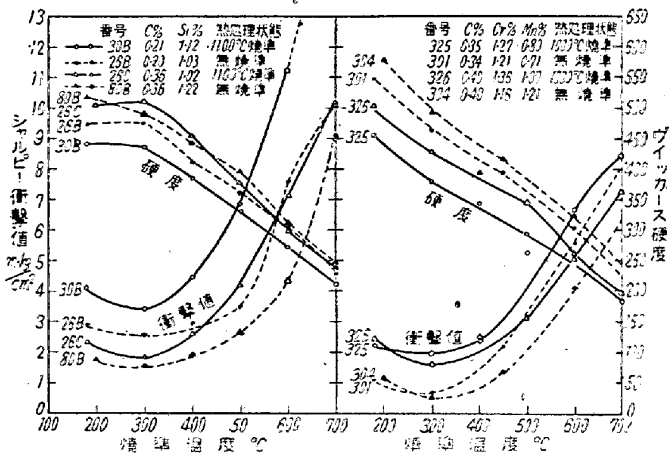
及び衝撃値を試験した。その結果は第 5 圖の様に 2 時間焼準迄は硬度は幾分減少するが、靱性向上の効果は極めて大である。併しそれ以上焼準時間を長くしても硬度、衝撃値共に殆ど影響が認められない。但し本実験に使用した試料の大きさは肉厚 10mm 程度の小片であるが、厚肉となれば幾分時間も変化させる必要がある。併し薄肉特殊鑄鋼の焼準時間としては 2 時間程度で充分である。

(c). 焼準処理による強靱性の向上: 一特殊鑄鋼をして優秀な性質を發揮させるには焼準処理に依て樹晶を擴散して強靱性を附與するにあるが、一般に強度を増加すれば靱性が低下し強度と靱性とは兩立し難い。然るに強靱鋼としては強度を低下せずして靱性を向上させること

が望ましい。そのためには次の様な事項に注意を要する。

- (イ) 成分を適當に配合すること。(ロ) マクロ組織の微細化を図ること。(ハ) 擴散焼鈍を徹底させること。
- (ニ) 調質温度を適當に調整すること。

勿論樹晶は焼準に依り擴散させることが必要であるが過熱焼準は結晶粒の粗大化を伴い却て材質の低下を招く懼があるから最適温度で焼準を行う必要がある。この擴散がどの程度進んだかを判定することは極めて困難であるが、マクロ組織と衝撃値の變化を調査すれば擴散の進行状態を或程度察知することが出来る。この焼準處理を施したものがどの程度強靱性の向上に効果的であるかを見るために焼準處理を施さないものと比較検討してみた。



第 6 圖

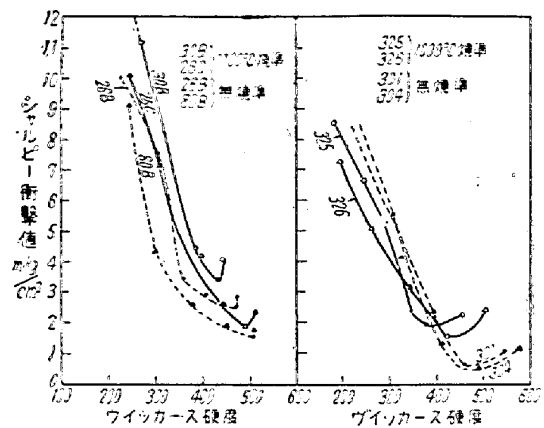
(a) Cr-Mo-Si 鑄鋼

(b) Cr-Mo-Mn 鑄鋼

第6圖 (a) は Cr-Mo-Si 鑄鋼に就て一は 1100°C で 2 時間焼準し、他は之を行わず何れも 870°C に 30 分間加熱油焼入し、180°~700°C に 1 時間焼戻を行つたもの、機械試験の結果を示したものである。その試料の成分は第 5 表に示す様に Si は何れも 1.03~1.22% に略々一定し、C 量を 0.20~0.21% 程度の低炭素鑄鋼と 0.36% 程度の中炭素鑄鋼の二種類に分けて試験した。之に依れば焼準處理を施したものは之を施さないものに比較して何れも焼戻後の衝撃抗力が大である。その硬度—衝

第 5 表

番 號	C%	Cr%	Mo%	Mn%	Si%	P%	S%	焼 準 の 有 無
30B	0.21	1.09	0.35	0.65	1.12	0.004	0.012	1100°C, 2 時間焼準
26C	0.36	0.94	"	0.66	1.03	0.004	0.036	
26B	0.20	1.07	0.35	0.68	1.03	0.008	0.014	無 焼 準
80B	0.36	0.95	"	1.28	1.22	0.005	0.012	

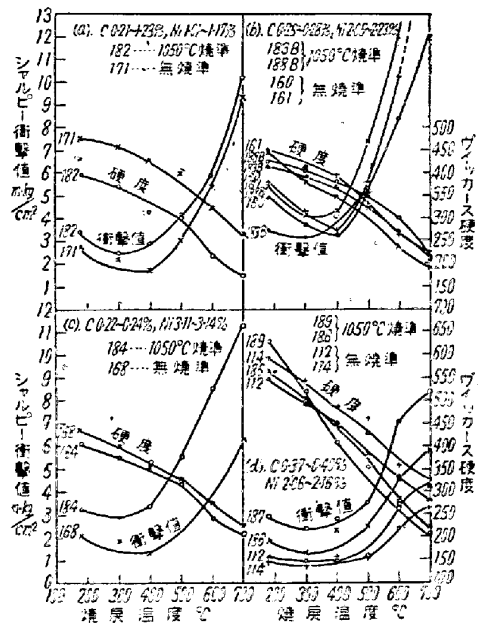


第 7 圖

(a) Cr-Mo-Si 鑄鋼

(b) Cr-Mo-Mn 鑄鋼

撃抗力關係曲線は第7圖 (a) の様に焼準處理を施したものは之を施さないものに比較して何れも強靱性が大である。例えば低炭素鑄鋼に就て焼準を行つた 30 B. と之を行わない 26 B. とを比較すれば、焼準處理を施したものは硬度は低いが衝撃抗力が大である關係上全體的に強靱性が大となる。即ち同一硬度が要求せられる場合には焼準したものが遙かに衝撃値が大であり、又同一衝撃値



第 8 圖

第 6 表

番 號	燒準溫度 °C	C %	Cr%	Mo%	Mn%	Si%	P %	S %
325	1000	0.35	1.27	0.25	0.80	0.22	0.006	0.014
326	1000	0.40	1.36	〃	1.07	0.31		
301	—	0.34	1.21	0.25	0.71	0.25	0.007	0.015
304	—	0.40	1.16	〃	1.20	0.31	0.007	0.012

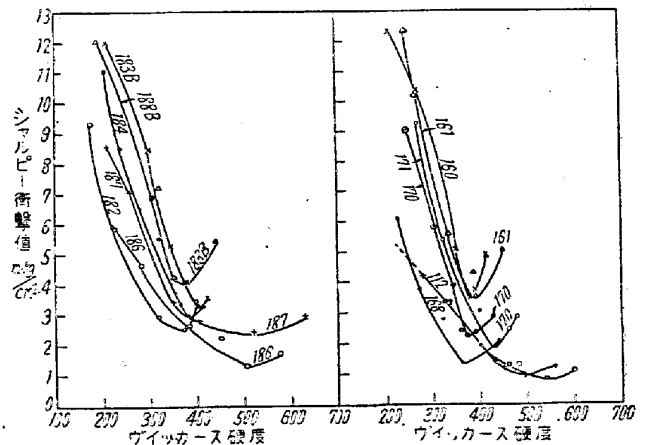
第 7 表

類 別	番 號	燒準溫度 °C	C %	Ni%	Cr %	Mo %	Mn%	Si%	P%	S%
I 類	182	1050	0.23	1.01	1.14	0.25	0.88	0.63	0.007	0.014
	171	—	0.21	1.17	1.25	〃	0.62	0.62	0.004	0.013
II 類	183B	1050	0.26	2.06	0.84	0.23	0.63	0.58	0.006	0.011
	188B	1050	0.26	2.18	1.52	0.25	0.92	0.27	0.009	0.015
	160	—	0.27	2.21	1.73	0.40	0.75	0.27		
	161	—	0.28	2.23	1.75	〃	1.01	0.25	0.012	0.019
III 類	184	1050	0.24	3.14	1.00	0.25	0.45	0.65	0.005	0.012
	168	—	0.22	3.11	1.12	〃	0.66	0.67		
IV 類	187	1050	0.37	2.16	1.57	0.25	0.96	0.31	0.005	0.012
	186	1050	0.39	2.12	1.58	〃	0.85	0.37		
	112	—	0.39	2.04	1.82	0.40	1.14	0.37	0.009	0.018
	114	—	0.40	2.00	1.83	〃	1.80	0.36	0.010	0.019

が要求せられる場合には高い硬度を示すことになる。この関係は高炭素鑄鋼の 26 C 及び 80 B の場合にも同様である。第 6 圖 (b) は第 6 表の様な Cr-Mo-Mn 鑄鋼を 1000°C で 2 時間燒準したものと然らざるもの、強靱性を又第 7 圖 (b) は之に硬度—衝撃値關係曲線を示すものである。之でも燒準したものは、しないものに比較して衝撃抗力が著しく向上する。従て燒準處理を施すことは上述の諸實驗からも明かな様に極めて効果的であるから、出來得る限り燒準處理を施して材質の向上を圖ることが望ましい。

第 8 圖は (a)~(b) は第 7 表の様な Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼を一は 1050°C で 2 時間燒準し、他は之を行わず 825°C に 20 分加熱油燒入し、180°~700°C に各 1 時間燒戻したものと、硬度及び衝撃値を示したものである。Ni 1% を含む a (I 類) では燒準處理を施したものは施さないものに比較して衝撃値が優秀であるが、Ni 2% を含む b (II) では燒準をしたものとしらないものとの差が少い。この中燒準處理を施した 183B の衝撃値が低いのは、Cr 及び Mn が他のものに比較して著しく低いため、188B は Cr 及び Mn が多いため衝撃値が優秀である。又 Ni 3% を含む c (III 類) は燒準したものとしらないものとの衝撃値の差が大であり、d (IV 類) は Ni, Cr 及び

Mn 含量が II 類と殆ど同一であるが、C 含量が高いため全體として衝撃値は (b) よりも著しく低下を示す。この様に Ni 2%, Mn 1% 程度の適量を添加したものは格別燒準處理を施さずとも充分優秀な性質を附與せしめる事が出来るが、添加成分が適當でない場合には燒準處理の有無が強靱性に大きな影響を及ぼすのである。



9 第 圖

(a) 燒準處理を施したもの (b) 燒準處理を施さないもの
尚第 9 圖 (a), (b) は燒準處理を施したものと之を施さないものとに就て硬度—衝撃値關係を示したもので、燒準處理を施した (a) は之を施さない (b) に比較して

強靱性が大である。特にこの傾向はC含量の高い試料或は過剰のNiを含有するものに於て著しい。

以上の結果に依り Ni-Cr-Mo 鑄鋼は配合成分を適當に選擇すれば、焼準處理の有無に拘らず或程度迄優秀な成績を示すが、成分が適當でない場合例えばC含量が高いか Ni 含量が過剰或は過小の場合には焼準處理が極めて効果的に作用するのである。結局 Ni-Cr-Mo 鑄鋼として優秀な成績を示す成分範囲は C 0.22~0.26%, Ni 2%, Cr 1.0~1.5%, Mn 0.8~1.2% 附近に得られ、Mo は 0.25~0.35% 程度を添加すれば充分であると考えられる。

(2). 繰返焼準の機械的性質に及ぼす影響

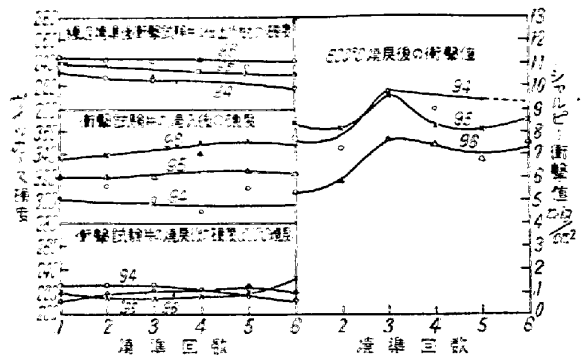
單一焼準の場合には Cr-Mo-Si 鑄鋼では1100°C, Ni-Cr-Mo 鑄鋼では1050°C, Cr-Mo-Mn 鑄鋼では 1000°C で焼準處理を施せば、擴散焼鈍に依り材質の向上を示すことは既に述べた通りであるが、鋼種に依ては結晶粒の粗大化を來す懸念もあり又爐温を斯る高温に上昇させることが困難な場合も多い。従て比較的低温で焼準を繰返す場合機械的性質が如何に変化するかを検討する必要がある。第8表に示す Cr-Mo-Si 鑄鋼を鐵粉中に埋めて、

第 8 表

番號	C%	Cr%	Mo%	Mn%	Si%	P%	S%
94	0.23	1.01	0.35	0.60	0.53	0.010	0.012
95	0.19	1.01	〃	0.63	1.00	0.008	0.013
96	0.24	1.01	〃	0.72	0.56	0.011	0.012
97	0.20	1.01	〃	0.65	0.98	0.012	0.014

脫炭を防止しつゝ 950°C で2時間焼準する操作を 5~6 回繰返した。この焼準試料を衝撃試験片に仕上げ、焼入焼戻處理を施して硬度と衝撃値を測定した。第10圖はその結果を示すもので、硬度は焼準回数を重ねても格別影響がないが、衝撃値は3回返は増加するが、それ以上

焼準回数を重ねると減退する傾向を示している。



第 10 圖

IV. 結 言

第9表は高温焼鈍に對する機械的性質の變化状態を表示したもので、之を要約すれば大體次の通りである。

(1) 焼準温度が或範囲内では焼準處理を施しても硬化しないが、それ以上焼準温度が高まれば急激に硬化する。その温度は Cr-Mo-Si 鑄鋼では 1100°C, Ni-Cr-Mo 鑄鋼では 1050°C, Cr-Mo-Mn 及び Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼では 1000°C である。而して之等の温度で焼準したものは調質後衝撃抗力が最も優秀な値を示した。

(2) 焼準處理を施して調質したものは之を施さず直接調質したものに比較して強靱性が大である。Cr-Mo-Si 及び Cr-Mo-Mn 鑄鋼では何れの場合でも焼準處理を施したものが然らざるものより強靱性が大であるが、Ni-Cr-Mo 又は Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼では配合成分を適當に選べば焼準處理の如何に拘らず相當優秀な強靱性を示すが、Cが高いか Ni が過少又は過大に失する時は焼準處理の効果が顯著に現れる。

(3) 繰返低温焼準を行えば硬度には影響が左程現れないが、衝撃値は焼準回数が三回返は増加するがそれ以上繰返回数を重ねると却て減退する。(昭和25年6月寄稿)

第 9 表

研究成分		Si の 影 響		Ni の 影 響		Mn の 影 響	
		鋼種	Cr-Mo-Si 鑄鋼	Ni-Cr-Mo 鑄鋼	Cr-Mo-Mn 鑄鋼	Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼	
單 一	焼準温度の影響		1100°C 以上で焼準すれば空冷により硬化する			1000°C 以上で焼準すれば空冷により硬化する傾向あり	1050°C 以上で焼準すれば空冷により硬化する傾向あり
	最良焼準温度		1100°C		1050°C	1000°C	1000°C
焼 準	焼準後の焼戻に依る機械的性質の變化	硬 度	低温焼戻のものは焼準の影響が現れるが高温焼戻をすれば焼準による硬度の差消失す	同 左	同 左	同 左	同 左
		衝 撃 値	焼準處理を施せば著しく靱性を改善す。特に低温焼戻に於て著し	Ni 1% 及び 3% のものは焼準により著しく衝撃値増大す	焼準處理に依り著しく衝撃値を増大す	同 左	
繰 返 焼 準	硬 度		焼準回数を重ねても格別影響を受けず				
	衝 撃 値		3 回返は衝撃値を増加するがそれ以上回数を増加すれば減退す				