

## 特殊鑄鋼の研究 (V)

(擴散焼鈍に依る鑄造組織の變化に就て)

(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 (V)

(ON THE CHANGE OF MACROSTRUCTURE BY  
DIFFUSION ANNEALING TREATMENT)*Hideo Mikashima, Dr. Eng.*

Synopsis: The change of macrostructure on the diffusion of dendritic segregation were studied by means of normal annealing and high temperature normalizing treatment. Repeated normalizing test were applied to the various specimens, among which were contained Si, Ni Mn and Cr-Mo cast steels (1% Cr, 0.25~0.35% Mo).

The dendritic segregation is not affected by the normal annealing or quenching at just above the  $A_{c3}$  transformation point, but is diffused and destroyed by the normalizing treatment at higher temperature.

Though the rate of diffusion of dendritic segregation increases rapidly as the normalizing temperature elevates, it has some difficulties in diffusion according with the degree of coarseness or refinement of it.

In general the addition of Si to Cr-Mo cast steel gives a considerable difficulty upon the diffusion of dendritic segregation. The larger the Si content, in these cast steels, the more difficult will be the diffusion, on the contrary the addition of Ni to these steels does not shows any significant change.

Though the diffusion are easy in a finely dendritic structure, it shows a remarkable difficulty, when the dendrites are developed. In such case the high temperature normalizing must be carried out, though it is undesirable, lest grains should grow and toughness should rapidly decreases. Therefore repeated normalizing is preferable to high temperature normalizing.

## I. 緒 言

筆者は第1報<sup>1)</sup>に於て Cr-Mo 強靱特殊鑄鋼の鑄造組織と Si 含量との關係並びに焼鈍に依る樹枝狀品の擴散現象に就てその一部を發表したが、今回は更にこの Cr-Mo-Si 鑄鋼及び Cr-Mo-Mn 鑄鋼, Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼等に就て單一燒準, 繰返燒準のマクロ組織及び顯微鏡組織に及ぼす影響等に就て研究した結果を報告する。

鑄塊は多くの場合樹枝狀品を形成するが、之は機械的性質を害する一因となるから、適當な温度で燒鈍を行い樹品の擴散を圓る必要がある。この擴散燒鈍は鋼種に依て難易があり、同一鋼種でもその成分の添加量に應じて擴散狀態が異なる。熔鋼が凝固して一旦鑄物となれば之を

再加熱しても熱抵抗が極めて大きいため、普通の方法では鑄造組織の擴散除去が甚だ困難である。例へば鑄造した儘のものを何等特別の熱處理を施すことなく燒入、燒戻しても樹品が相當殘存するから機械的性質が害せられる。併し調質處理前に樹品の擴散を圓れば機械的性質が向上する。この擴散燒鈍はマクロ組織の形態或は樹品の粗密の程度に依て難易があり、或ものは比較的低温で燒鈍しても相當樹品は擴散せられるが、或ものは更に高温で燒鈍を行わなければ充分擴散が行われぬ。従て樹品擴散の難性と機械的性質との關係を究明せんとして本研

\* 九州工業大學金屬工學教室, 工博

1) 谷村 照, 三ヶ島秀雄: 鐵と鋼, 30 (1944) 166

究を企てたのである。本報告では単一焼鈍或は繰返焼鈍に依る樹晶の擴散状態に就て述べその機械的性質に關しては第6報で述べることにした。

## II. 實 験 方 法

本研究に於ては低温焼鈍及び高温焼鈍のマクロ組織に及ぼす影響に就て試験したが、低温焼鈍法としては試料を一定温度に加熱し爐冷する普通焼鈍法を、又高温焼鈍法としては試料を所要温度に加熱後空冷する所謂焼準法を採用した。その焼準方法としては単一焼準法と繰返焼準法の兩者に就て試験し、前者には 800°~1200°C の各種温度に2時間加熱(真空中又は鐵粉中)後空冷する方法を後者には 950°C の一定温度に2時間加熱後空冷する操作を5~6回反覆する方法を採用した。之等の焼鈍試片を研磨後 1:1 の溫鹽酸溶液中に 30~60 分間浸漬し、水洗乾燥後軽く表面を研磨してマクロ組織の變化状態を調査した。

### (1) 焼鈍及び焼入の影響

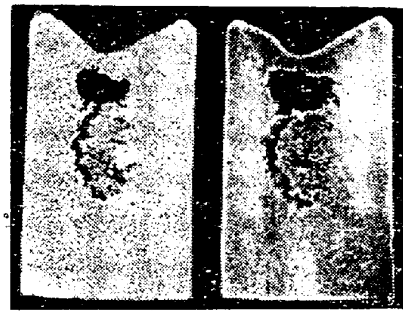
鑄鋼は調質前に高温焼鈍を施すことなく焼入操作を行う場合が多いので、焼入温度附近に於ける熱處理がマクロ組織に如何なる影響を及ぼすかを試験した。試料は第1表に示す Cr-Mo-Si 鑄鋼 82A を使用し、之を變態

第 1 表

番號	C%	Cr%	Mo%	Mn%	Si%	P%	S%
81A	0.35	1.01	0.35	1.15	1.47	0.008	0.018
82A	0.41	1.10	"	1.13	1.28	0.010	0.014
83A	0.41	1.06	"	1.19	2.47	0.009	0.015

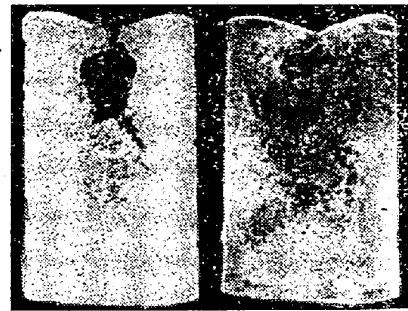
點附近 (Ac<sub>3</sub>+30°C=820°C) に2時間真空加熱後一は爐冷し他は油冷してマクロ組織の變化状態を検し再び同一熱處理を繰返す方法を數回試みた。この結果に依れば爐冷、油冷の冷却速度の差異も又繰返に低る影響も殆ど認められなかつた。即ち特殊鑄鋼は焼入温度附近に加熱しても尙樹晶は鮮明に残存する。従て更に高温で焼鈍を施す必要がある。

故に第1報に示す Cr-Mo-Si 鑄鋼中から樹晶の比較的微細な 81A 及び極めて粗大な 83A の二個を 950°C に4時間焼鈍してマクロ組織の變化状態を試験した。第1圖は樹枝狀組織の比較的微細な 81A(C 0.35%, Si 1.47%)の鑄造した儘の組織を、第2圖は之を 950°C で4時間焼鈍した組織を示す。之に依れば鑄造状態に於ける樹晶は焼鈍に依て肉眼的には殆ど認められない程度に擴散せられる。然るに 83A の鑄造した儘のものは第3圖の様樹晶が粗大であるが、同一温度で焼鈍しても第4



第1圖 第2圖  
81A 鑄造のまゝ 81A 950°C 4時間焼鈍

(寫眞1mmに若干以下同じ)



第3圖 第4圖  
83A 鑄造のまゝ 83A 950°C 4時間焼鈍

圖に示す様にまだ充分擴散せられず尙相當鮮明に樹晶を残存するのである。

以上の實驗に依り Cr-Mo-Si 鑄鋼のマクロ組織は添加成分の多少に依て擴散に難易があり、一般に樹晶の微細なもの程擴散が容易であるが、樹晶が發達粗大化すれば擴散が困難となる。斯るものは更に高温で焼鈍を施す事が必要である。

### (2) 単一焼準の影響

第1報第1圖に示した L 型試料の薄肉部(肉厚17mm)から切取つた試片を一端封じの石英管中に入れ、真空中で 800°~1200°C に2時間加熱後大氣放冷して焼準後のマクロ組織を試験した。第5圖は第1表に示した Cr-Mo-Si 鑄鋼 82A(C 0.41%, Si 1.28%) の 800°~1200°C 焼準試験の結果を示すもので 800°C 焼準では鑄放し状態と大差ないが 900°C で焼準すれば既に樹晶の擴



800°C焼準 900°C焼準 1000°C焼準 1200°C焼準  
82A C 0.41%, Si 1.28%  
第5圖 焼準温度のマクロ組織に及ぼす影響 ×1.3

第6圖 82A 900°C 焼準 ×5

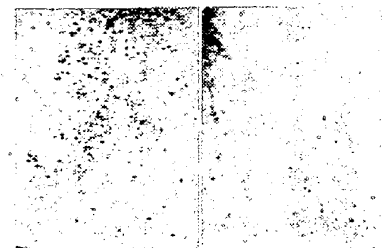


(1) (2) (3) (4) (5) (6)

(1) 鑄造のまま (2) 800°C 焼準 (3) 900°C 焼準  
(4) 1000°C 焼準 (5) 1100°C 焼準 (6) 1200°C 焼準

第7圖 焼準温度のマクロ組織に及ぼす影響 (83 A) ×1.3

散がよく行われる。第6圖は 900°C 焼準の試料を5倍に拡大したもので、樹晶が殆ど擴散せられて粒状となつた状態を示したものである。第7圖は既に第3圖に示した粗大鑄造組織試料 83A(C 0.41%, Si 2.47%) の 800~1200°C 焼準試験の結果を示すもので、1000°C で焼準してもまだ擴散が充分行はれず、1200°C で漸く樹晶が殆ど見えない程度に擴散せられる。第8圖 (a), (b) は 1000°C 及び 1200°C で焼準したものを5倍に拡大した組織を示すもので、1000°C 焼準の (a) では樹晶の幹や枝は細くはなるがまだ樹枝状を呈する。又 1100°C で焼準しても幾分まだ樹晶の痕跡を残存するが、1200°C で焼準すれば (b) の様に殆ど樹晶が擴散せられる。又同様の方法で Cr-Mo-Mn 鑄鋼及び Ni-Cr-Mo-Mn 鑄鋼を 900°~1150°C に2時間焼準してマクロ組織の變化を試験した。第2表はその試料の成分を、第3表は焼準後のマクロ組織の變化状態を示したものである。この結果に依れば何れも 950°C 焼準迄は幾分樹晶が残存する



(a) (b)

83A 1000°C 焼準 ×5 83A 1200°C 焼準 ×5

第8圖

が大體 1000°C 以上で樹晶は擴散せられて微細組織となる。

(3) 繰返焼準の影響

以上の結果は試料を 800°~1200°C に各2時間焼準する操作を1回行つた場合であるが、斯る高温焼準の場合には結晶粒が粗大化する傾向があり、特に Mn を多量に含有する場合にはその懸念が大である。従て若し低温焼準を繰返すことに依て樹晶が擴散せられるならば強靱性の向上が期待し得られるわけである。従て高温焼準の代りに低温で數回焼準處理を施して繰返焼準に依るマクロ組織の變化状態を試験した。その繰返焼準の方法は單一焼準の場合と同様真空石英管中で行つたが、真空加熱では焼準回数を重ねると共に脱炭を起す懸念もあるので、鐵粉中に試料を埋めて脱炭を防止しつゝ 950°C に2時間加熱後空冷する方法を5~6回繰返した。試料は Cr-Mo-Si 鑄鋼にしてその成分及び繰返焼準後のマクロ組織の状態は第4表に示す通りである。この結果を見るに擴散焼鈍の難易は C 及び Si 含量の多少に依て支配せられるが特に Si に依る影響が大である。先づ真空焼準の場合に就て見るに C 0.35% 程度の 80A, 81A, 77A では Si 1% 附近迄のものは1回焼準で相當擴散が行われているが、Si 1.47% のものでは5回焼準を繰返して漸く擴散が起る。更に之以上 Si が多くなれば焼準回数を重ねても斯る低温では樹晶の擴散が困難である。又 C 0.41% 程度の試料に就ても同様に Si 1% 以下のものは1回の焼準でよく擴散が行われるが、Si 1.28%

第 2 表

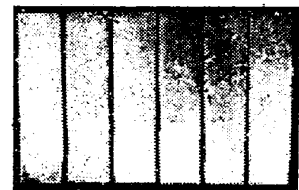
鋼 種 番 號	化 學 成 分 %								
	C	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	P	S	
Cr-Mo-Mn 鑄 鋼	327 B	0.38		1.28	0.25	0.96	0.32	0.008	0.017
	328 B	0.38		1.32	"	1.24	0.42		
Ni-Cr-Mo-Mn 鑄 鋼	183 B	0.26	2.06	0.84	0.25	0.63	0.58	0.006	0.011
	188 B	0.26	2.18	1.52	"	0.92	0.27		
	189 B	0.31	2.15	1.63	"	0.90	0.25	0.007	0.013

第 3 表

鋼 種 番 號	鑄造の儘	燒 準 温 度 - °C						
		900	950	1000	1050	1100	1150	
Cr-Mo-Mn 鑄 鋼	327B	樹枝狀晶稍 發達す	多少樹枝狀 多品の氣味あ り	同 左	殆ど擴散せ られら微細組 織となる	同 左	同 左	幾分粗大化 する傾向あ り
	328B	樹枝狀晶な れど細し	同 左	樹枝狀晶多 少擴散せら る	擴散せられて 樹枝狀晶殆ど 認められず	同 左	幾分粗大化 する傾向あ り	同 左
Ni-Cr-Mo-Mn 鑄 鋼	183B	樹枝狀組織 發達大	樹狀晶細く なれど尙鮮 明	相當擴散せら れるも尙樹枝 狀晶幾分殘る	殆ど擴散せ る微細組織 となる	同 左	同 左	幾分組織粗 なる氣味あ り
	188B	樹枝狀組織 をなせど稍 微細	殆ど鑄造の もの大差なし	擴散せられ るも樹枝狀 晶殘る	擴散せられ て微細組織 となる	同様なれど 幾分粗大化 する傾向あ り	同 左	同 左
	189B	樹枝狀組織 細し	同 左	同 左	樹枝狀晶擴 散せらる	同 左	幾分粗大化 の傾向あ り	同 左

第 4 表

燒 準 方 法	番 號	化 學 成 分 %							繰返燒準後のマクロ組織の状態
		C	Cr	Mo	Mn	Si	P	S	
眞 空 中 燒 準	80A	0.37	1.20	0.35	1.14	1.03	0.009	0.013	1回目より擴散行わる。3回目で相當擴散進む。5回目は4回目より幾分組織微細
	81A	0.35	1.01	〃	1.15	1.47	0.008	0.018	1回目は鑄放し状態と同様樹枝狀晶鮮明、2回目より稍擴散するも4回迄は大差なし、5回目にて微細となる。
	77A	0.34	1.03	〃	0.68	2.99	0.008	0.015	2回目は鑄放し状態と同様樹枝狀晶鮮明、3~4回幾分擴散するも1~2回と大差なし、5回目幾分樹晶細くなる。何れも總じて大差なし。
	79A	0.41	0.94	0.35	1.01	0.58	0.007	0.010	1回目より極めて微細。
	82A	0.41	1.10	〃	1.03	1.28	0.010	0.014	2回目迄は鑄放し状態と同様樹晶鮮明、3回で大分擴散せらる。4回目で大體微細となる。6回のものは全く微細。
	83A	0.41	1.06	〃	1.19	2.41	0.009	0.015	1回目迄は樹晶鮮明、2回目より樹晶細くなる。
	84A	0.45	1.08	〃	1.21	2.68	0.009	0.011	1回目は樹枝狀鮮明、2回目稍擴散すれど太き樹枝狀處々に殘る。3回目もほぼ同様
鐵 粉 中 燒 準	94	0.23	1.01	0.35	0.60	0.53	0.010	0.012	1回目より極めて微細。2~3回もほぼ同様。4回目幾分成長し粗けて見ゆ。5~6回稍微細
	95	0.19	1.01	〃	0.63	1.00	0.008	0.013	1~2回目は微細。3回目幾分組織粗し。4回以上は全面粗けて見ゆ。
	96	0.24	1.01	〃	0.72	0.56	0.011	0.012	No.95に比し幾分組織粗けて見ゆれど微細。3回目幾分粗し。4回目以上その傾向更に大で粗さがぼやける。
	97	0.29	1.01	〃	0.65	0.98	0.012	0.014	1回目組織粗し。2回目より微細となる。3回目以上殆ど大差なし



1回燒準 2回燒準 3回燒準 4回燒準 5回燒準  
(a) 81A C 0.35%, Si 1.47%, 950°C 燒準×1

1回燒準 2回燒準 3回燒準 4回燒準 5回燒準 6回燒準  
(b) 82A C 0.41%, Si 1.28%, 950°C 燒準×1

第 9 圖 繰返燒準のマクロ組織に及ぼす影響

(82A) では3回焼準後擴散の効果が認められる。更に Si の高いものでは焼準回数を重ねても効果が認められない。第9圖 (a), (b) は C 0.35%, Si 1.47% (真空中加熱) の 81A 及び C 0.41%, Si 1.28% の 82A の繰返焼準に依るマクロ組織の一例を示したものである。

(a) では C は低い Si が稍高いため5回焼準を施して漸く擴散が認められる。然るに (b) では C は高い Si が低いため4回の焼準で擴散せられている。又 94~97 は鐵粉中焼準のものであるが、C 及び Si の何れも低いため擴散焼鈍が容易に行われる。併し焼準回数が4回以上となれば結晶粒成長のためマクロ組織は粗大化する傾向がある。

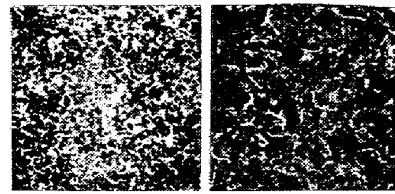
#### (4) 擴散焼鈍の顯微鏡組織に及ぼす影響

Cr-Mo-Si 鑄鋼に就て焼準温度の顯微鏡組織に及ぼす影響に就て試験した。第10圖 (a), (b) は第5表中の 25A (C 0.34%, Si 1.11%) を 1050°C 及び 1200°C で2時間焼準した場合の顯微鏡組織を示すもので、兩者共パーライト地にフェライトが網目状に析出しているが、後者は前者に比較して著しく結晶粒が粗大である。又 28A (C 0.44%, Si 1.09%) を 1100°C 及び 1200°C で焼準した場合の組織に就て見るに 1100°C 焼準のものはパーライト地にフェライトが網状に析出し結晶粒も小さいが、1200°C 焼準のものではソルバイト地にフェライトの網状組織を析出し結晶粒も著しく粗大化する。尙試料 30A (C 0.54%, Si 1.10%) を 1100°C 及び 1150°C で焼準したものは兩者共ソルバイト組織を呈し、後者が前者に比較して可なり結晶粒が粗大化する。(c) 及び (d)。この様に Cr-Mo-Si 鑄鋼の焼準試料は顯微鏡的には樹晶擴散の状態は判然と認められず焼準温度の上昇と共に結晶粒の粗大化する状態のみが觀察せられるのである。

## IV. 結 言

以上の結果を要約すれば大體次の通りである。

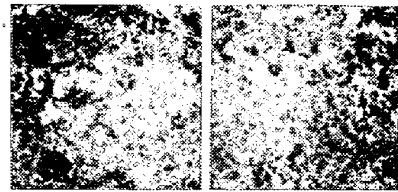
(1) 樹枝状組織は焼準処理を施すことに依て擴散崩解



(a) (b)

(a) 25A C 0.34%, Si 1.12%  
1050°C 2 時間焼準

(b) 25A C 0.34%, Si 1.12%  
1200°C. 2 時間焼準



(c) (d)

(c) 30A C 0.54%, Si 1.10%  
1100°C 2 時間焼準

(d) 30A C 0.54%, Si 1.10%  
1150°C 2 時間焼準

第10圖 焼準温度の顯微鏡組織に及ぼす影響  
×100

せられるが、樹晶の大小粗密に應じて擴散に難易がある。

(2) 一般に Si を含有するものは比較的擴散が困難で Ni を添加したものは擴散が容易である。

(3) 樹枝状品の比較的小さいものは擴散が容易であるが樹晶の發達するに従て擴散が困難となる。

(4) 樹晶擴散の困難なものは止むを得ず高温焼準を施す必要があるが結晶粒の成長を招致し靱性を害する懸念があるので大體 1100°C 焼準を限度とする。

(5) 比較的低温で繰返焼準を行へば結晶粒成長の懸念も少く樹晶の擴散を回ることが出来るが、之も焼準回数を重ねる煩雜及び繰返焼準回数増加と共に結晶粒の粗大化を招く懼れがある。

(6) 繰返焼準回数は或範圍内に制限すべきである。例へば Cr-Mo-Si 鑄鋼の様な擴散能の小さい鑄鋼に於てすら3回を限度とする。(昭和25年6月寄稿)