

3.3 Ni—Cr—Mo 鋼の S 曲線作成とベイナイト 生成過程の観察

清 藤 純 一

1. 研究の目的

機械装置や構造物等の性能向上にともない使用材料に対する要求もきびしくなっているが、本研究では構造物用合金鋼として最も優れた鋼種の 1 つである J I S 規格 SNCMI の I T 図 (C 等温変態図) の作成とそのベイナイト化過程の組織変化と高温顕微鏡による動的挙動を観察することを目的とした。

2. 試料および実験方法

2-1 試 料

表 1 に供試材の化学成分を示す。表より明らかなように SNCMI 規格相当品である。

前処理条件は市販 46 mm ϕ の丸鋼を 1150℃ $\times$ 1 hr 保持後 10 mm 厚に熱間鍛造し、870℃ $\times$ 1 hr $\rightarrow$ 350℃ $\times$ 2 hr $\rightarrow$ 700℃ $\times$ 5 hr 後炉冷した。

表 1 試 料 の 化 学 成 分

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
試 料	0.32	0.40	0.84	0.013	0.007	1.75	0.74	0.20

2-2 実 験 方 法

A_{C1}, A_{C3} は熱膨張計により 3℃/min の加熱速度で求め、オーステナイト化温度を 850℃とした。実験にはすべてソルトバスを用い、850℃まで 1 min で昇温し、20 min 間オーステナイト化後、各温度で等温変態し一定時間後水冷した。過冷オーステナイトの変態開始点、終了点の測定は熱膨張測定と顕微鏡組織観察法を併用したが、フェライトおよびベイナイトの変態開始は主に組織観察により、またパーライト変態開始は熱膨張法では測定不可能なため組織観察により求めた。

尚熱膨張計用試験片は 3 mm ϕ $\times$ 10 mm、顕微鏡観察用試験片は 2 mm 厚さの小板状である。

さらにベイナイト化過程の高温組織の観察は、試料寸法 10 mm ϕ $\times$ 15 mm のものを鏡面に研磨し、8℃/Sec の割合で昇温し、960℃で 30 Sec 間保持、その後急冷し 492℃ $\sim$ 506℃で保持したときの組織を観察した。雰囲気は 10⁻⁵ mmHg である。

3. 結果および考察

図 1 に本鋼の気温変態曲線、表 2 に各温度における変態開始、終了時間を示す。無印は熱膨張法、* 印は組織観察法により求め、また ** 印は両法を併用して求めた。尚この実験では両者による測定結果は完全に一致した。

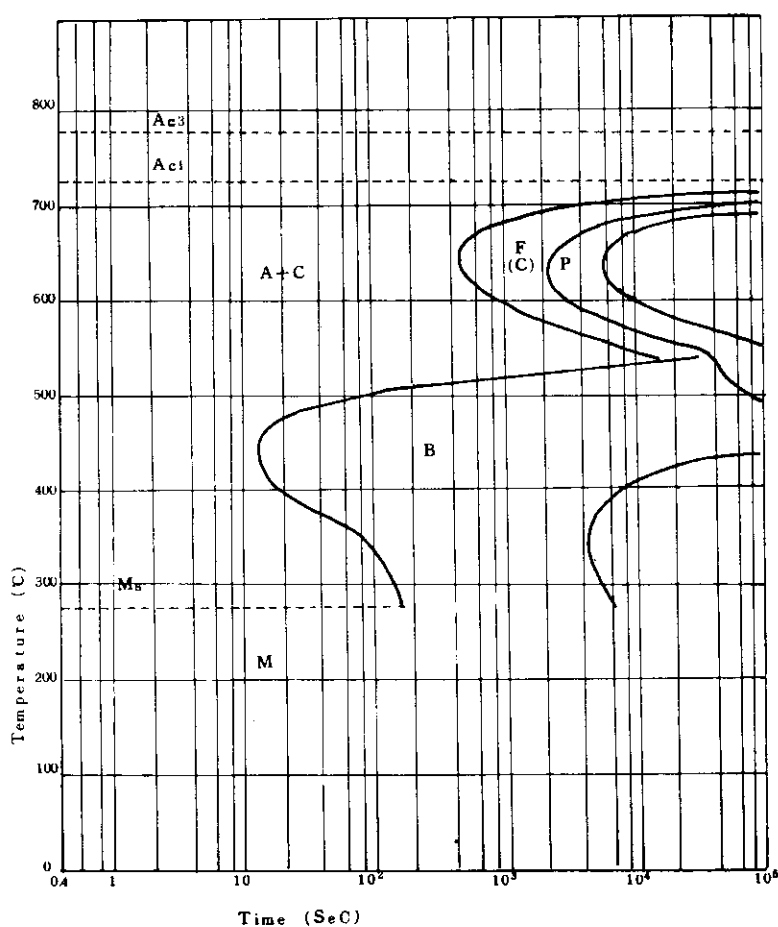


表2 変態開始，終了時間 (Sec)

温度 (°C)	開始	終了	パーライト変態開始
320	5×10	1×10^4	
350	$4 \times 10^{**}$	1.5×10^3	
400	$2.3 \times 10^{**}$	9×10^2	
450	$1.7 \times 10^{**}$	1.2×10^3	
500	$2.5 \times 10^{**}$	未終了	$8 \times 10^4 *$
525	$4 \times 10^2 *$	未終了	$6 \times 10^4 *$
550	$1 \times 10^4 *$	未終了	
575	$8 \times 10^4 *$	4.8×10^4	$1.7 \times 10^3 *$
600	$2.5 \times 10^2 *$	1.8×10^4	$4 \times 10^3 *$
625	$1.7 \times 10^2 *$	4×10^3	$2 \times 10^3 *$
650	$2 \times 10^2 *$	7×10^3	$4.3 \times 10^3 *$
675	$2.7 \times 10^3 *$	未終了	
700	$8 \times 10^4 *$	未終了	

本実験鋼の等温変態図はベイナイト主導型で、パーライト域とベイナイト域は分離し、ベイナイトのノーズが短時間側にある。本来はフェライトの開始線は A_3 線に、パーライトの開始線は A_1 線に暫近するはずであるが、本鋼ではパーライト析出開始線は勿論、フェライトの析出開始線も AC_1 以下に位置しており、加熱と冷却とにおける変態点の差が著しい。

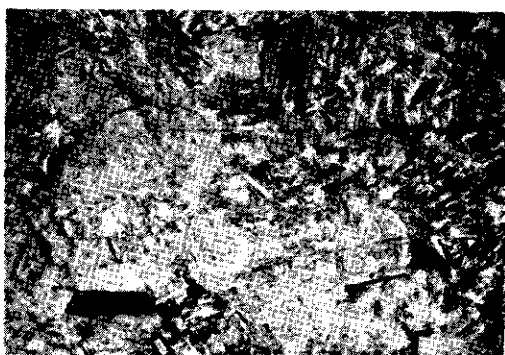
フェライト変態開始は 625°C で最も早く 170Sec であるが、その前後で潜伏期がだんだん長くなる。一方パーライト変態についても同様な傾向を示すが、初析フェライトの析出しない上部ベイナイト域の 500°C から 550°C の区域で顕微鏡組織観察の結果、明らかなパーライトが認められベイナイト+パーライトの混合組織が観察された。ベイナイト変態は 550°C 以下の温度域にあり、ノーズ温度 450°C における変態開始は 17Sec である。

写真1に 450°C におけるベイナイトの生成過程を示す。上部ベイナイトの生成の特徴の細い板状を呈して発達している。地はマルテンサイトである。

写真2に 650°C におけるフェライト、パーライトの生成過程を示す。写真より明らかなように始めオーステナイト粒界に灯ってフェライトが塊状に析出し時間の経過とともにフェライト量は増す。そしてオーステナイトの炭素濃度がフェライトおよびセメンタイトの析出に対して過飽和になるとフェライトとセメンタイトが共析析出してパーライトが生成するのがよく認められる。

写真1 450°C ベイナイトの生成過程($\times 500$)

450°C 20 Sec

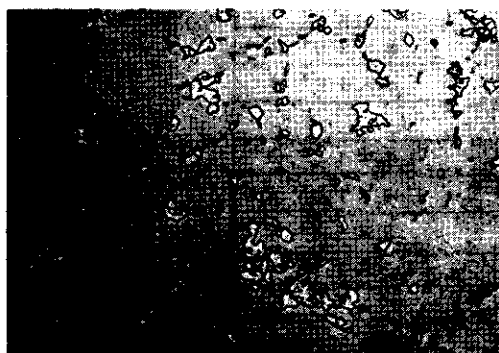


450°C 60 Sec

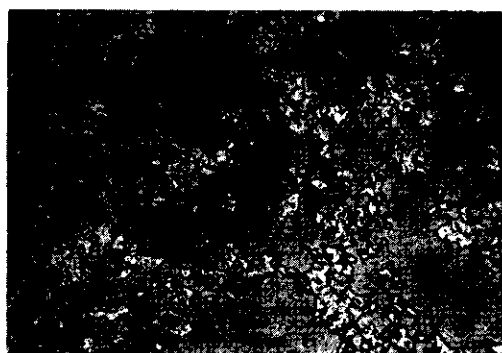


写真2 650°C フェライト、パーライトの生成過程($\times 500$)

650°C 600 Sec



650°C 3000 Sec



650℃ 5000Sec



写真3, 4は320℃および450℃におけるベイナイト組織である。ベイナイト変態は約350℃を境にした上部および下部ベイナイト変態において動的な挙動の相異のあることが知られているが、本実験鋼についても350℃を境にして上部ベイナイトは板状のフェライトと粒状カーバイドからなり、一方MS点に近い下部ベイナイトはマルテンサイトに似た針状晶である。

写真3 (×500)

320℃ 10800 Sec

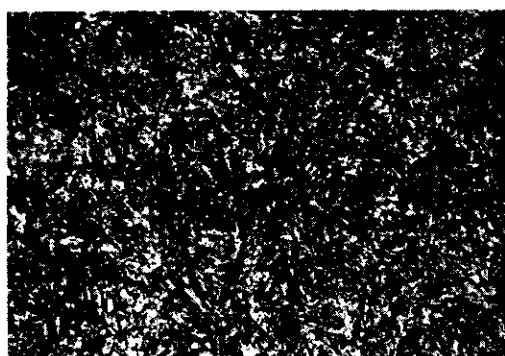
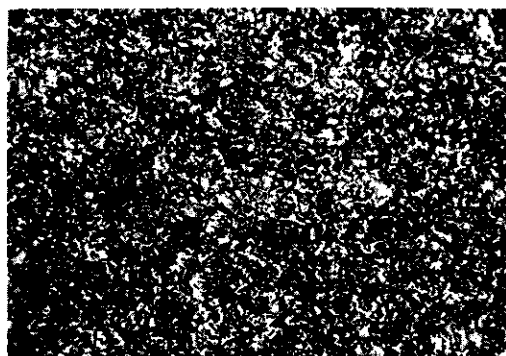


写真4 (×500)

450℃ 82000 Sec



また本実験鋼のベイナイトは写真5, 6に示すように500℃以下では炭化物の析出を供なうが、500℃以上では炭化物の析出を供なわないベイナイトすなわち Bainitic ferrite の生成領域と考えられる。

写真5

450℃ 40 Sec (×6000)

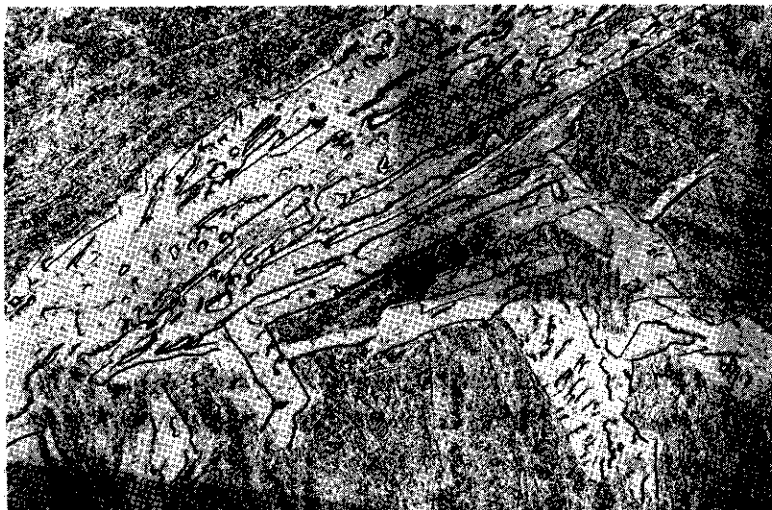


写真6

500℃ 40 Sec (×6000)



写真5では炭化物はベイナイト中のフェライトに平行して析出しており、写真6におけるベイナイトはBainitic ferriteで炭化物の析出を伴わない。Bainitic ferrite中の粒状のものは未変態オーステナイトである。地はいづれもマルテンサイトである。

写真7に960℃オーステナイト化後約500℃に急冷保持した時に生ずるベイナイト変態の高温顕微鏡組織を示す。写真より明らかなように巨大なオーステナイト粒界が観察され、500℃に保持する時間の経過とともに板状のベイナイトの生成過程がよく観察される。本鋼のオーステナイト粒度は10.9(しゅん間酸化法による)であり、この辺に高温顕微鏡のむつかしさがあるように思われる。

写真7 ベイナイトの生成過程 (高温組織×320)

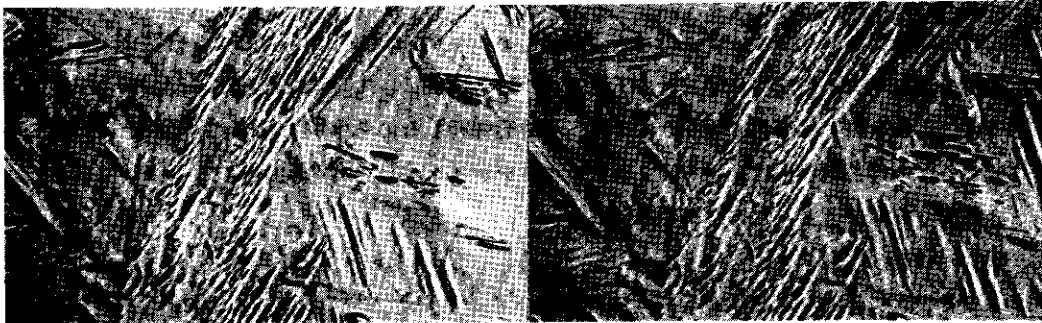
962℃ 1min

500℃ 3min



500℃ 5min

500℃ 10min



4. ま と め

以上SNCMIのS曲線を作成し併せてそのベイナイト化過程の観察をおこなったが、次のようなことがまとめられる。

- 1) SNCMIのS曲線はベイナイト主導型でパーライト域とベイナイト域は分離し、ベイナイトノーズが短時間側にある。
- 2) 初析フェライトの析出しない上部ベイナイト域の500～550℃の区域でパーライトが観察された。
- 3) 350℃を境にして上部、下部ベイナイトの相異が認められた。
- 4) 本実験鋼では500℃以上では炭化物の析出をともなわないRainatic ferriteの生成領域と考えられる。
- 5) 高温顕微鏡組織と比較するとベイナイト生成温度、時間はよく対応しているが、オーステナイト粒度に大きな差がある。

近年構造用合金鋼をはじめとした特殊鋼、高合金鋼の使用が増えており、これらの適正な熱処理技術の確立のために各種熱処理変態曲線の活用が望まれるので、今後ともかかる試験研究を推進してゆきたい。