

(178) Cr-Mo 鋼の浸炭鋼と溶製鋼について

金属材料技術研究所

○中島 宏興・工博 荒木 透

On the Carburized and Melted Cr-Mo Steels.

Hirooki NAKAJIMA and Tōru ARAKI.

1. 緒言

肌焼鋼の浸炭処理方法としては、最近ガス浸炭法が多く用いられている。Cr-Mo 肌焼鋼 (SCM22) についてはさきに各種炭素濃度にガス浸炭した鋼の恒温変態図や連続冷却変態図などの挙動に関して発表した¹⁾²⁾。ガス浸炭は広い用途に用いられ、最近では浸炭温度を高くして浸炭時間を短縮しようとする傾向などもみられるが、浸炭処理を施した部分はその鋼の鋼質が炭素濃度の増加ということ以外に変化しないであろうか。この疑問を解明するために、Cr-Mo 肌焼鋼 (SCM22) を母材としてガス浸炭によつて炭素量を高めた鋼およびこれと同一炭素濃度に溶製した鋼を作製し、変態挙動および機械的性質などを主体にして比較することにした。今回は変態挙動について調べた結果を報告する。

2. 実験試料および方法

2.1 試料の作製

工業用の SCM22 を素材とし、高周波大気溶解炉で、再溶解しただけの鋼 (0.2% C) および 0.5% C に加炭した鋼を溶製した。鋼塊は 5kg でこれを 10mm φ の丸棒に圧延した。0.2% C 再溶解鋼は 930°C、0.5% C 溶製鋼は 830°C で焼ならしを行ない、後者はさらに 700°C で 1hr 焼なましをした。化学組成を Table 1 に示す。

再溶解鋼は 0.5% C を目標にして、プロパンの変成ガスによつて 930°C で 13hr 浸炭した。熱膨張計用試験片は 3.4mm φ × 30mm で縦に 1.8mm φ の孔をあけ、顕微鏡組織観察用試験片は 1.5mm 厚さである。

2.2 実験方法

恒温変態図の作製は顕微鏡組織観察を主体にし、測定温度間隔は普通は 50°C、重要なところは 25°C とした。1 鋼種の測定点は 70 点である。各変態の開始および終了線はそれぞれ 1% および 99% で表わしてある。オーステナイト化温度は 0.2% C の再溶解鋼は 880°C、0.5% C の浸炭鋼および溶製鋼は 850°C とし、2min で昇温し 10min 保持した。Ac₁、Ac₃ は 3°C/min の加熱速度で測定した。Ms 温度は熱膨張計または Greinger, Troiano の方法³⁾ によつて測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 再溶解鋼の恒温変態図

Fig. 1 に再溶解鋼 (0.21% C) の恒温変態図を示す。

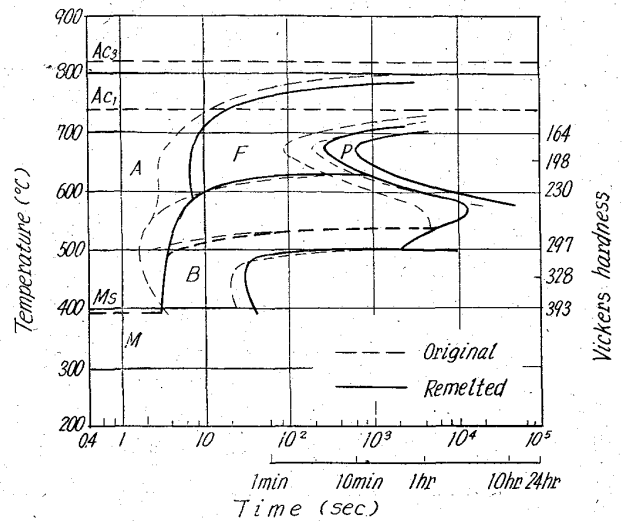


Fig. 1. Isothermal transformation diagram of remelted and original steels (0.21 and 0.20% C).

比較のために素材の変態曲線も細い破線で同図に示してある。曲線の形はよく似ているが、再溶解鋼の方が全体的に長時間側に移行していることがわかる。このおもな原因として鍛造比(断面縮小比)の相異が考えられる。素材の鍛造比は約 600、再溶解鋼のそれは約 50で素材の方がかなり大きい。しかし小さい再溶解鋼でも 50 でありそれ以上の鍛造比の効果があるかどうかは疑問である。素材は 1t 鋼塊を 36mm φ に圧延した後にさらに 15mm φ に鍛造しているの、5kg 塊鋼を 10mm φ に圧延したのみの再溶解鋼に比べて鍛造の効果も現われているかも知れない。そこで素材の圧延状態における材料 (36mm φ) について変態を調べたところ、鍛造鋼は圧延鋼よりも変態が早く、鍛造の影響が現われていることがわかった。パーライト域の nose (675°C) における変態時間を Table 2 に示す。

さらに可溶性 Al の量は、素材では 0.032%、再溶解鋼では 0.005% であり、結晶粒度への影響が考えられる。瞬間酸化法によるオーステナイトの熱処理結晶粒度 (880°C で 10min 保持) は素材が 10⁰、再溶解鋼が 9.4 でそれほど大きい差はないように見えるが、変態生成物の大きさは素材の方がかなり微細である。これらのために、再溶解鋼の変態は素材よりも遅れているといえる。

この変態挙動における特徴は浸炭後にも残つていて、浸炭鋼の変態曲線は浸炭前の材料の状態に著しく依存することがわかる。素材と再溶解鋼の浸炭前後における変態時間の 1 例を示すと Table 3 のようになり、このことがはつきりわかる。

Table 1. Chemical compositions of samples (%).

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Ni	V	Sol. Al	N	O
Original	0.20	0.22	0.71	0.010	0.006	1.01	0.22	0.15	0.13	<0.02	0.032	0.010	0.004
Remelted	0.21	0.24	0.75	0.010	0.005	1.03	0.24	0.18	0.13	<0.02	0.005	0.015	0.011
Melted	0.52	0.22	0.74	0.010	0.006	1.01	0.22	0.15	0.13	<0.02	0.011	0.011	0.005

Table 2. Transformation time at 675°C in rolled and forged conditions.

Steel	Beginning of ferrite	Beginning of pearlite	End of pearlite
As rolled	3.5sec	90sec	200sec
Further forged	4.5"	200"	400"

Table 3. Comparison of transformation time at 675°C in original and remelted steels before and after carburization.

Steel	Carburization	C%	Beginning of ferrite	Beginning of pearlite	End of pearlite
Original	Before	0.20	3.5sec	90sec	200sec
	After	0.50	65"	150"	400"
Remelted	Before	0.21	7"	250"	600"
	After	0.48	100"	300"	800"

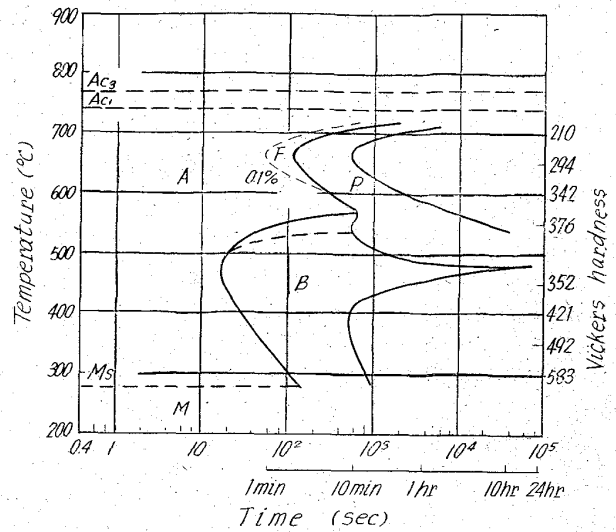


Fig. 3. Isothermal transformation diagram of melted steel (0.52%C).

Table 4. Comparison of pearlite transformation time of melted and carburized steels.

Steel	Carbon content (%)	675°C		600°C	
		Begin-ning	End	Begin-ning	End
Melted	0.52	130sec	600sec	350sec	2500sec
Melted	0.50	150"	800"	400"	2500"
Carbur-ized	0.48	300"	800"	1200"	4000"

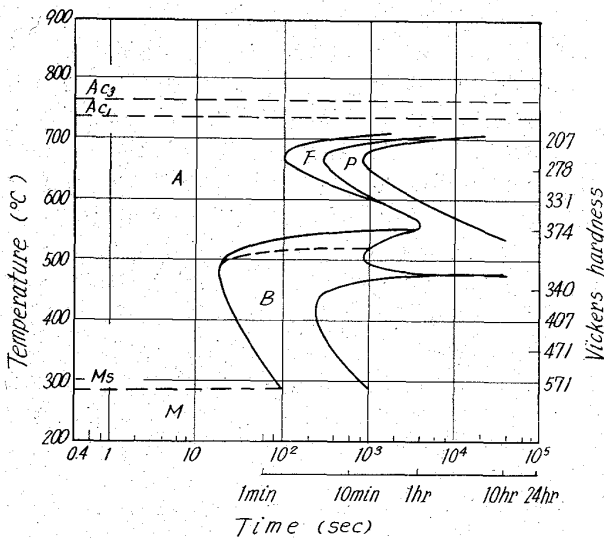


Fig. 2. Isothermal transformation diagram of carburized steel (0.48%C).

3.2 浸炭鋼と溶製鋼との比較

再溶解鋼(0.21%C)を930°Cで13hr浸炭した浸炭鋼(0.48%C)と溶解の時に加炭した溶製鋼(0.52%C)の恒温変態図をFig. 2およびFig. 3に示す。両者の相異は次のような点である。

(1) パーライト域において浸炭鋼では約8%のフェライトが生成した後にパーライトが生成する。一方溶製鋼では約1%のフェライトが生成するのみでパーライト変態が始まる。そこで溶製鋼の変態曲線の中でフェライト変態は0.1%の析出線を示した。これは溶製鋼の炭素量が0.04%多いためである。フェライト生成量は0%Cのときに100%, 0.52%Cのときに1%として直線的に変化するとすれば, 0.04%Cは7.6%のフェライト生成量に相当し, 実験結果とよく一致している。

(2) パーライト変態については浸炭鋼は溶製鋼よりも全体的にかなり遅れ, とくに変態の開始がおそくなつ

ている。この原因について考えてみよう。

i) 化学組成の相異

まず0.04%の炭素量の相異が変態曲線に影響をおよぼさないだろうかということ調べるために, 0.52%C溶製鋼と同様な条件で溶製した0.50%C溶製鋼について変態を調べた。Table 4に675, 600°Cの例を示すように, 両者の変態曲線にはほとんど相異がない。したがって0.04%の炭素量の相異は, パーライト変態にはほとんど影響をおよぼさないといえる。

つぎにTable 1から明らかのように, 溶製鋼には浸炭鋼の約2倍量の可溶性Alが含まれているので, 結晶粒度を比較してみる必要がある。850°Cで10min保持したときのオーステナイト結晶粒度(瞬間酸化法による)は, 溶製鋼では10.5, 浸炭鋼では9.3である。変態生成物も浸炭鋼の方がかなり粗い。一般に結晶粒が小さければ変態曲線は短時間側に移行するので, 溶製鋼の変態曲線が短時間側にある原因の1つになっていると考えられる。

ii) 前処理の相異

浸炭鋼は浸炭のためにプロパン変成ガス中に930°Cで13hr保持しているのに対し, 溶製鋼は830°Cで焼ならし後, 700°Cで1hr焼なましを行なっている。930°C×13hrの浸炭には, 焼なましの効果と浸炭元素成分の変化とが考えられる。

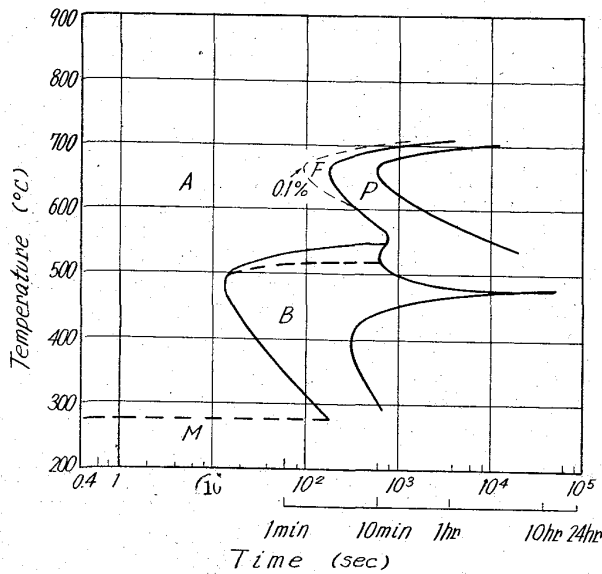


Fig. 4. Isothermal transformation diagram of melted steel (0.52%C). Annealed at 930°C for 13hr.

Table 5. Variation of nitrogen and oxygen content before and after carburization.

	Sol. N	Insol. N	O
Before carburization	0.013	0.002	0.011
After carburization	0.016	0.002	0.011

まず焼なまし効果を調べるために、溶製鋼を塩浴中で 930°C×13 hr 焼なましをした試料について変態挙動を調べた (Fig. 4)。850°C におけるオーステナイトの熱処理結晶粒度を比較すると、930°C 焼なまし鋼では 10² で 700°C 焼なまし鋼の 10⁵ に比べてやや粗大になっているが著しい変化は認められない。しかし変態組織は 930°C 焼なまし鋼の方がかなり粗いので、変態の核生成がある程度減少しているものと考えられる。700°C 焼なまし鋼の変態曲線と比較すると、nose より上では変態が遅れ浸炭鋼の変態に近づいているが、nose 以下ではほとんど変わらない。

iii) つぎに浸炭における成分変化について考えよう。ガス浸炭によつて試料内部に入つて行くと考えられる元素は炭素、窒素、酸素、水素である。変態挙動におよぼす影響が大きいと考えられる窒素、酸素については Table 5 に示すように浸炭前後ではほとんど変わらない。水素については分析を行なわなかつたが、凝固後に吸収された水素はほとんど影響がないとされているし⁵⁾、たとえ吸収されていてもオーステナイト化のときに再び脱出してしまふことが想像される。炭素は当然増加しているが、溶解によつて加えられた炭素と浸炭によつて固溶した炭素との間に相異があるとは考え難い。

(3) 575°~475°C の下部パーライト域の短時間側への移行は、浸炭鋼の方がはるかに大きい。この析出線

は元来パーライト域からの延長線であるべきものが、probainitic ferrite の析出によつて未変態オーステナイトの炭素濃度が増加し不安定になつたために、短時間側へ移行したものと考えられる。一方後に述べるように、probainitic ferrite の生成速度は浸炭鋼および溶製鋼においてあまり相異がなく、むしろ浸炭鋼の方が早い。したがつてパーライトの延長線が溶製鋼よりも長時間側にある浸炭鋼では、著しく短時間側に移行したようにみえるわけである。

(4) ベイナイト変態については開始はほとんど変わらないが、終了は溶製鋼の方がかなりおそい。しかし溶製鋼を 930°C で 13 hr 焼なましをするとかなり早くなり (Fig. 4)、浸炭鋼の終了曲線に近づく。Cr や Mo はベイナイト変態の終了を著しく遅らせるので、これらの元素が偏析している場合には、合金元素の拡散が著しく制限されるベイナイト変態ではこの部分の変態終了は遅れることになる。しかし浸炭鋼や 930°C で均質化した溶製鋼では、この偏析が緩和されてベイナイト変態の終了が早くなつたと考えられる。

(5) 各温度における変態終了後のピツカース硬さを変態図の右側に示す。浸炭鋼 (Fig. 2) と溶製鋼 (Fig. 3) との硬さを比較すると溶製鋼の方がやや高いが、これは炭素量がわずかに高いためと考えられ浸炭、溶製の両処理による相異は認め難い。

4. 結 言

Cr-Mo 肌焼鋼を母材にして、ガス浸炭および溶製の両方法を用いて同一炭素濃度 (約 0.5%) の鋼を作製し、その変態挙動を比較した。

(1) 浸炭鋼の変態曲線は、浸炭前の素材における溶解や加工などの製造履歴によつてかなり影響をうける。

(2) 浸炭鋼のパーライト変態はかなり遅れている。これは浸炭された鋼のやや大きい結晶粒が主な原因であり、さらに浸炭温度保持にともなう焼なまし効果による変態核の減少によるものと考えられる。

(3) ベイナイト変態については開始曲線には大差ないが、終了曲線は浸炭にともなう均質効果などのために浸炭鋼の方がかなり早い。

(4) 変態終了後の硬さには相異を認め難い。

(5) 以上、浸炭処理の変態曲線におよぼす影響は、浸炭にともなう焼なまし効果が主体であつて、浸炭作用そのものの本質的な影響は見出し難い。

文 献

- 1) 中島, 藤井: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 1472
- 2) 中島, 荒木: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1498
- 3) A. B. GRENINGER, A. R. TROIANO: Trans. Amer. Soc. Metals, 28 (1940), p. 537
- 4) A. ROSE, A. WICHER, H. KETTELER: Arch. Eisenhüttenw., 34 (1963), p. 617
- 5) A. E. FLANIGEN, R. D. GLASFELD: Welding J., 43 (1964), 126s
- 6) E. S. DAVENPORT: Trans. Amer. Soc. Metals, 27 (1939), p. 837