



Title	鋼の恒温オーステナイトの化過程の研究
Author(s)	金澤, 正午; Kanazawa, Shōgo
Citation	北海道大學工學部彙報, 7, 190-207
Issue Date	1952-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40509
Type	departmental bulletin paper
File Information	7_190-207.pdf



鋼の恒温オーステナイト化過程の研究

金澤正午

(May 19, 1952)

Research on the Isothermal Austenitizing Process of Steels.

Shogo KANAZAWA

Bain and Davenport carried out the research on the isothermal transformation from austenite to pearlite, and it has been called *S* curve. By this curve, the transformation process from austenite to martensite, bainite or pearlite can be well explained.

In recent years, studies on the surface hardening by rapid heating and rapaid cooling, such as high frequency induction hardening method, have been developed. As one of these studies, auther researched this *S* curve transformation in a reverse order; that is, from pearlite to austenite or from ferrite to austenite transformation. Therefore, it may be called "Reverse *S* Curve".

Specimens are three carbon steels (0.31, 0.89, 1.39% C) and three *Si* steels (1.05, 1.52, 2.07% *Si*). These steels were rapidly heated to the temperature above A_{e_1} point in salt bath, and held for varius times, and then cooled into cold water. By this treatment, austenite which was produced from pearlite or ferrite at high temperature, is transformed to martensite at room temperature. Thus, microscopic structures and hardness testing results at room temperature will show the isothermal austenitizing process. Also auther researched the difference of transformation velocity between coarse lamellae pearlite and fine lamellae pearlite on the eutectoid steel.

Table 1~4, Photo 1~6 and Fig 1~24 show those results.

Ⅰ 緒 言

Bain-Davenport は鋼の Austenite を A_{r_1} 変態点以下の温度にある恒温浴中に急冷し、そのまま保持しつつその鋼の変態に要する時間を測定し、これを恒温変態曲線 (Isothermal Diagram), いわゆる *S* 曲線として發表した (1929)。即ち *S* 曲線とは Austenite の恒温分解^{*}速度を示したものであり、 A_{c_1} 変態点以上にある Stable Austenite を A_{r_1} 変態点以下の各

種の温度に急冷し、これをそれぞれ恒温に保持した場合如何なる變態を示すかを温度—時間曲線として示したものである。従つてこれは、Austenite より Ferrite, Pearlite, Troostite, Sorbite、或いは Bainite, Martensite への恒温變態狀況を示したものである。

近時、高周波焼入法、或いは火焰焼入法等、急加熱、急冷による表面焼入法の研究が發達して來たが、これの一環として、筆者は上述の *S* 曲線とは逆に、常温にある鋼を A_{c1} 變態點以上に急加熱した場合、これが即ち例えば Ferrite, Pearlite、或いは Cementite が如何なる狀況で Austenite に變態してゆくかを研究した。而して *S* 曲線にならい、恒温的に研究し、又、温度—時間曲線としてこれを示した。即ち *S* 曲線は冷却の場合の恒温變態狀況を示したものであり、本研究は加熱の場合の恒温變態狀況を示したものである故、いわば逆 *S* 曲線とも稱すべきものである。筆者は、炭素鋼、*Si* 鋼、*Mn* 鋼、*Ni* 鋼、*Cr* 鋼、その他の特殊鋼について研究せんとしているが、ここには炭素鋼及び *Si* 鋼について述べる。

炭素鋼では亞共析鋼 (0.31%*C*)、共析鋼 (0.89%*C*)、過共析鋼 (1.39%*C*) の 3 種を用い、*Si* 鋼としては、*Si* 1.05%、1.44%、2.07% の 3 種を用いた。炭素鋼では 0.31%*C* 鋼について Ferrite → Austenite 變態、Pearlite → Austenite 變態に興味ある結果が得られ、又 0.89%*C* 鋼について Pearlite の層の粗密による變態速度の相違についても研究した。*Si* 鋼については、*FeSi* の存在のため、2.07%*Si* 鋼では同一炭素量の炭素鋼に比べ變態にかなりの遅滞があることが分つた。大和久重雄博士、飯島一昭氏等は、この急熱、急冷により生ずる Austenite への變態の中間組織の機械的性質についても研究しており、興味ある問題と思う。

II 試 料

いずれも充分真空中で焼準したものを用い、化學成分は第 1 表に示す。試料の大きさ、形状は第 1 圖の如くで、質量効果を輕減するため小さいものを用いた。穴は加熱に際し吊すためであり、檢鏡及び硬度測定はすべて *A* 面の表面について行つた。

Table 1 Chemical composition of Specimens (%)

	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>
Carbon steel	0.31	0.21	0.45	<0.03	<0.03
	0.89	0.25	0.41	"	"
	1.39	0.24	0.48	"	"
<i>Si</i> steel	0.29	1.05	0.48	<0.03	<0.03
	0.30	1.52	0.52	"	"
	0.28	2.07	0.46	"	"

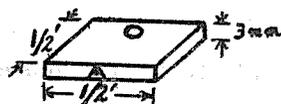


Fig 1 Size of specimens

III 實驗方法竝に結果

實驗方法として、常温にある試片を A_{c_1} 變態點以上の温度にある恒温浴中に急加熱し、これをそのまま一定時間保持した後、急冷(水冷)する。かくすれば、 A_{c_1} 變態點以上の恒温保持により Ferrite, Pearlite 又は Cementite の Austenite への變態がおこり、生じた Austenite は水冷により Martensite (時にはごくわずか Sorbite) になるから、この熱處理後、檢鏡すれば Martensite の部分は Austenite とみなせる。未變態の Ferrite, Pearlite, Cementite は水冷によつてもそのまま常温にもち來たされる。又硬度試験を行えば、Martensite の量により硬度が異り、従つてこれによつても Austenite への變態程度が知られる。而してこの檢鏡及び硬度試験によりそれぞれの温度の變態開始點、及び終了點を求め、これをプロットすれば、恒温 Austenite 化曲線即ち逆 S 曲線が得られる。

急加熱爐としては、Salt-bath を用いた。温度測定は Thermo-Couple を用い、特に注意して嚴密にそれぞれの恒温に保つた。保持時間は Stop-watch で測定し、試片を Salt-bath から引上げてから水冷するまでの時間は約 0.2~0.3 秒である。冷却水は常に 15°C 以下にした。恒温保持時間は、試片を保持すべき温度にある Salt-bath 中に入れ、試片が、その温度に達してからの時間を以てすべきであるが、本實驗では、試片が小さく、且つ保持温度が比較的高温であるため、これを考えず、保持時間は試片を Salt-bath に入れた時からの時間である。試片がその温度に達するまでの時間は 750°C~900°C では試片の火色による判定から 4~5 秒であり従つて得られた恒温變態曲線は實際は 4~5 秒左へづれるわけである。

以下炭素鋼及び Si 鋼について實驗結果を述べる。

[A] 炭素鋼

(a) 0.31% C 鋼

(1) 750°C 恒温保持

恒温保持時間—顯微鏡組織

5'' (寫眞1) 10'', 15'', 16'', 17''—いずれも燒準組織と變化なし。

18''—Pearlite 部がごくわずかに Austenite 化する。

19' (寫眞2)—Pearlite 一つにつき平均約 30% Austenite 化。しかし全く變化していない部分もあり、又 Pearlite 一つにつき 90% 化している部分もある。而して、ここでは Austenite 部の擴散膨脹はみとめられない。即ち 750°C においては、後述の包析現象はおこらぬとみてよい。

21''—Pearlite 一つにつき 100% 化。全體として 45% Austenite, 55% Ferrite。

25'' (寫眞3)—全體として 55% Austenite, 45% Ferrite。

30''—全體として 70% Austenite, 30% Ferrite。

以下 5 分まで變化はみとめられなかつた。状態圖からもこれ以上 Austenite 化變態は生じな

い。

(2) 800°C 恒温保持

10''—変化なし。

15'' (寫眞4)—後述の包析現象が出現している。(Austenite+pearlite) の一つについて、Austenite 60%, pearlite 40%, 全體として Ferrite 55%が残っている。

20''—pearlite がわずかに残留。全體として Austenite 70%, Ferrite 30%。

30''—pearlite の残留なく, Austenite 80%, Ferrite 20%。

40''—Austenite 90%, Ferrite 10%。

60'' (寫眞5)—Austenite 98%, Ferrite 2%。

以下5分まで変化はみとめられない。

(3) 850°C 恒温保持

5'', 10''—変化なし。

11''—後述の包析現象がみられる。(Austenite+pearlite) 一つについて前者7%, 後者30%, 全體として (Austenite+pearlite) 45%, Ferrite 55%。

12''—同じく包析現象 (Austenite+pearlite) 一つで前者80%, 後者20%, 全體として Ferrite 50%残留。

13''—同じく包析現象 (Austenite+pearlite) 一つで前者85%, 後者15%, 全體として Ferrite 55%残留。

14''—pearlite 部は100% Austenite 化, Ferrite 35%。

15''—Austenite 80%, Ferrite 20%。

20''—Austenite 85%, Ferrite 15%。

30''—100% Austenite

以下変化なし。

(4) 900°C 恒温保持

5'', 10''—変化なし。

15''—pearlite は全くみとめない。Ferrite 20%残留。

20''—Austenite 90%, Ferrite 10%。

25''—100% Austenite

以下変化なし。

(5) 包析現象

従来、筆者は、亜共析鋼を A_{c1} 變態點以上に加熱した場合、この温度では本來存在し得ぬ pearlite が先ず全部 Austenite に變態し、この變態が終了した後に Ferrite→Austenite 變態がおこるものと考えた。前述の data の如く 750°C では、當にこの順序で變態が進行するが、800°—15'', 850°—11'', 12'', 13'' の結果より、これ等の温度では pearlite→Austenite,

Ferrite→Austenite 兩變態が始んど同時に起ることがみとめられた。今 Pearlite→Austenite 變態を A 變態, Ferrite→Austenite 變態を B 變態とすると, これ等の温度では, pearlite の周邊部が A 變態をおこすと, 生じた共析炭素量の Austenite は, ただちに Ferrite への擴散を開始し Austenite 部を擴張してゆく。従つて未變態の中心部 pearlite の A 變態と, 周邊部の B 變態と同時におこり, Austenite は A 變態により炭素を補給されつつ Ferrite を Austenite 化してゆく。従つて顯微鏡組織としては, 未變態 pearlite の周邊部を既に Ferrite への擴散を行つている Austenite にかこまれたものが, 未變態の Ferrite 地に點在する組織が得られた。(寫眞4), 及び第4圖はこれを示す。筆者はこれを包析現象と名づけた。750°Cにおいては,(寫眞2)及び第3圖に示す如く, A 變態を終了してから B 變態を開始する。結局750°Cにおいては, 寫眞1, 2, 3, 又は第2, 3, 5圖の順で 800°C 以上においては, 寫眞1, 4, 3又は第2, 4, 5圖の順で變態を行行わけである。

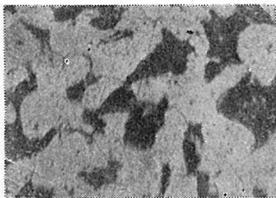


photo 1 0.31% C
Normalized structure
(×300)

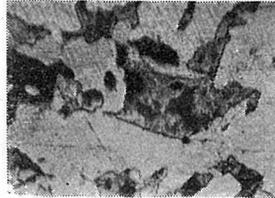


photo 2 0.31% C
750°-19'/heat→water cool
(×300)

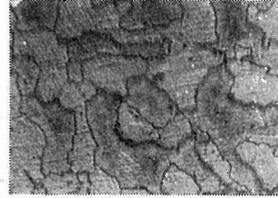


photo 3 0.31% C
750°-20'/heat→water cool
(×300)

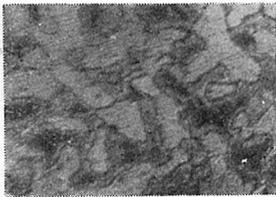


photo 4 0.31% C
800°-15'/heat→water cool
(×300)

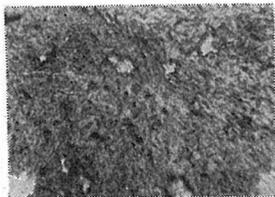


photo 5 0.31% C
800°-60'/heat→wate cool
(×300)

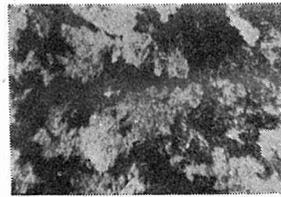


photo 6 0.31% C
750°-20'/heat→water cool
(×300)

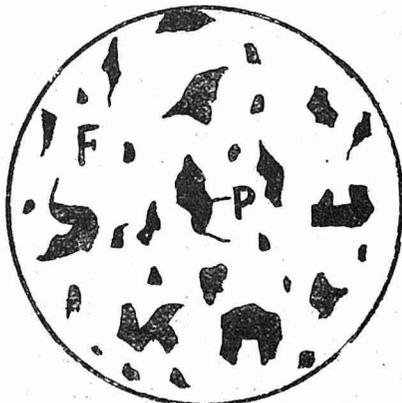


Fig 2 0.31% C
Normalized structure (×300)

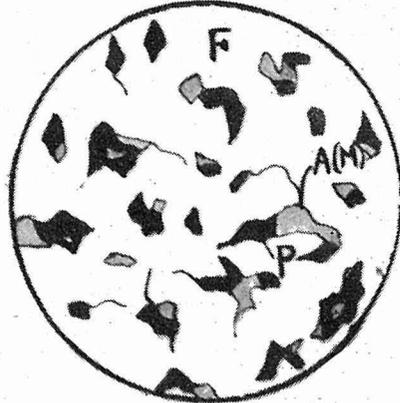


Fig 3 0.31% C
750°-19'/heat→water cool (×300)

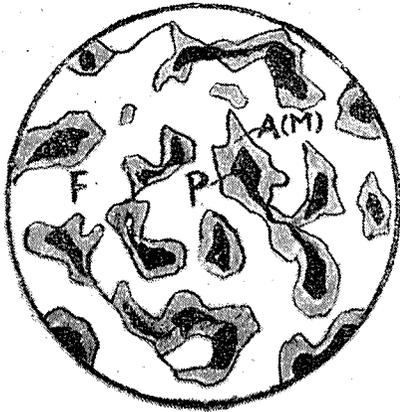


Fig 4 0.31% C

800°-15'heat→water cool (×300)

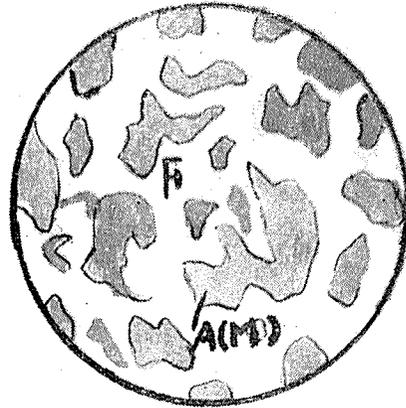


Fig 5 0.31% C

750°-20'heat→water cool (×300)

(6) 硬度試験

上の如き熱処理試験片につき硬度測定を行い第6圖の如き結果を得た。保持時間は對數目盛である。

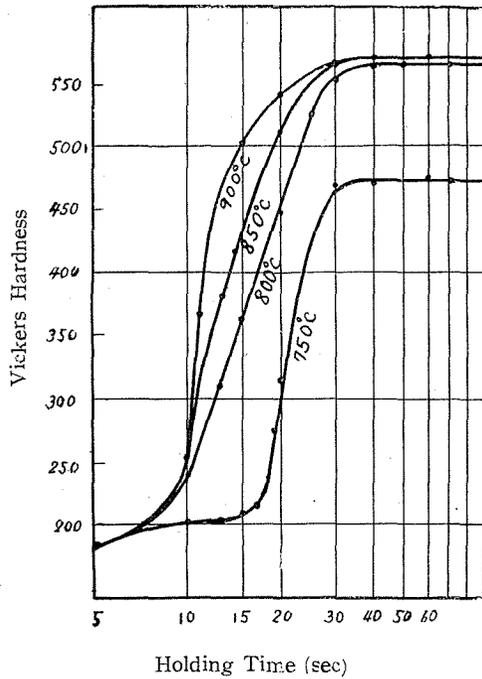


Fig 6 Hardness change of 0.31% C steel which was hold isothermally at 750°C~900°C

(7) 恒温 Austenite 化曲線

750°C~900°Cの各温度における熱処理後の顯微鏡検査と硬度試験はよく一致している。よつ

てこれらの結果より恒温 Austenite 化曲線を作成した。第7圖はこれを示す。この圖において變態開始線とは 750°C では pearlite のみの變態開始線であるが、800°C 以上の温度では(5)で述べた如く Pearlite 及び Ferrite の兩變態がほとんど同時に起つているため、Pearlite のみの變態開始点を見つけるのは困難である。

Pearlite 變態終了線とは Pearlite→Austenite 變態終了線であるが、ここで750°Cより800°Cにおける變態時間が長いのは、これも(5)で述べた如く、800°C では Ferrite 及び pearlite の變態が同時に起るための遅滞と思われる。同様に Ferrite 終了線とは Ferrite→Austenite 變態の終了線であるが、750°C、800°C は A_1 變態線以下である故、Ferrite→Austenite 變態が終了しても Ferrite は残留している。800°C において變態終了線が 750°C よりも右によつてゐるのはこのためと思う。即ち、0.31%、0.89%、1.39%、いずれをみても、750°C、850°C においては Ferrite、pearlite 兩變態とも、變態開始後、最初の2~5秒程度の間は40~60%も急速に變態を進行するが、それ以後は最初に比べて極めて徐々に變態を起している。850°C、900°C では全體の變態時間がみじかいため、このことは明確にみとめられない。750°C の變態時間より 800°C の變態時間が長く、850°C もわずかながら長いのは、變態すべき Ferrite が後者が多く、Austenite が 80%あたりより95%あたりに増加してゆくの時間時間を要するためである。

800°C 恒温保持で、30" と 60" では硬度の差はみとめないが、顯微鏡組織より圖の如き曲線にした。

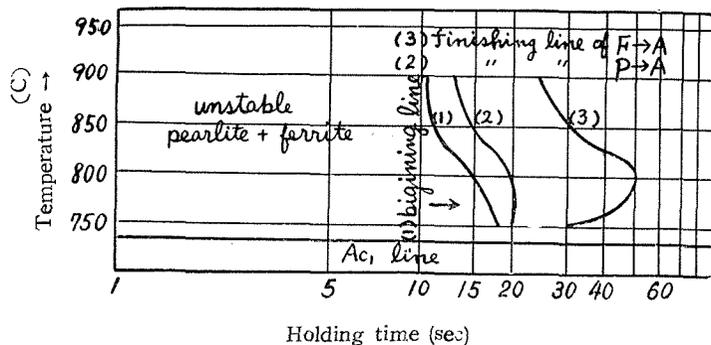


Fig 7 Isothermal austenitizing curve of 0.31% C steel.

(b) 0.89% C 炭素鋼

(1) 750°C 恒温保持

保持時間—顯微鏡組織

5", 10"—いずれも變化なし。

15"—わずかに Austenite 化を始める。

20" (寫眞6)—55% Austenite, 40% pearlite.

40"—90% Austenite, 10% pearlite.

60"—100% Austenite.

(2) 800°C 恒温保持

10"—わずかに Austenite 化を始める。

15"—100% Austenite. 以下60"まで同じ。

(3) 850°C 恒温保持

5"—変化なし。

10"—わずかに Austenite 化を始める。

15"—100% Austenite. 以下60"まで同じ。

(4) 900°C 恒温保持

5"—変化なし。

10"—100% Austenite.

(5) 950°C 恒温保持

5"—既にわずかに Austenite を始めている。

10"—100% Austenite.

(6) 硬度試験

以上の如き熱処理試片の硬度変化は第8圖の如くである。ここで900°C保持の場合、硬度の低いのは、焼入後の残留 Austenite が多いためである。

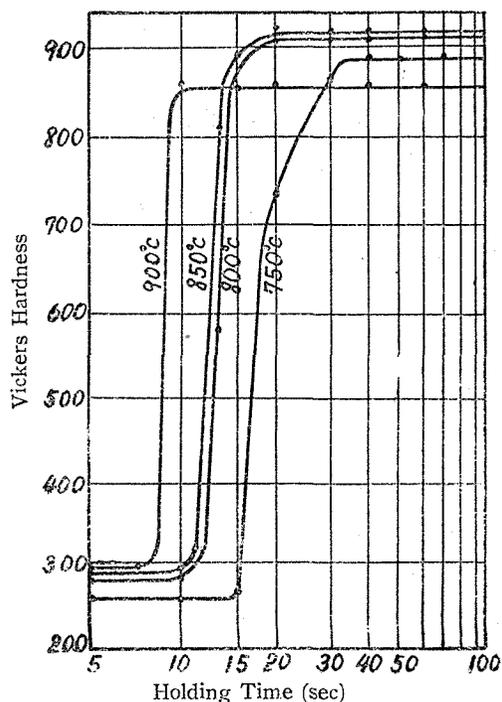


Fig 8 Hardness change of 0.89% C steel which was hold isothermally at 750°C~900°C

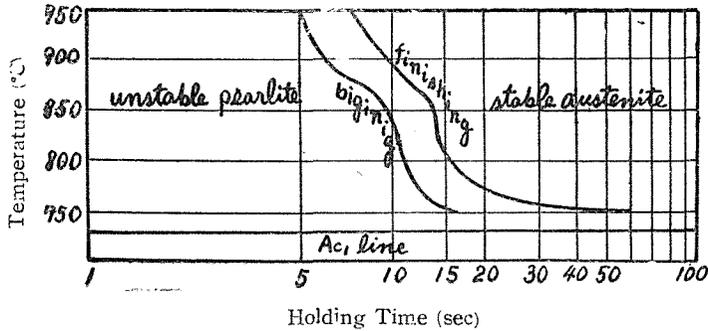


Fig 9 Isothermal austenitizing curve of 0.89% C steel

(7) 恒温 Austenite 化曲線

(b) —(1)~(6)の結果より第9圖の如き恒温 Austenite 化曲線を作成した。検鏡によると、750°C恒温保持においては、0.31% Cの如く、變態開始後數秒の間に60%以上も變態が進みしかる後、極めて除々に變態を終了して行くことが示されているが、800°Cにおいては數秒間で變態を100%終了し、750°Cの時よりも著しく短時間であり、0.31%の如き趣向を示していない。この差異は當然0.89% Cでは Ferrite の影響が入つて來ないからである。

(C) 1.39% C炭素鋼

(1) 750°C 恒温保持

保持時間—顯微鏡組織

5'', 10'', 15''—いずれも變化なし。

20'' (第10圖)—Austenite 40%, pearlite 60%, 網狀 Fe_3C は殘留。而して pearlite はこの Fe_3C の boundary 附近から變態をおこしている。

25'' (第11圖)—Austenite 75%, pearlite 25%, 網狀 Fe_3C はそのままである。

30''—Austenite 90%, pearlite 10%, 網狀 Fe_3C 殘留。

40''—100% Austenite。網狀 Fe_3C 殘留。

以下100''まで同じで網狀 Fe_3C は殘留している。

(2) 850°C 恒温保持

5''—變化なし。

10''—Austenite 10%, pearlite 90%, 網狀 Fe_3C 殘留。

15''—Austenite 90%, pearlite 10%, 網狀 Fe_3C 殘留。

20''—100% Austenite。網狀 Fe_3C 殘留。

以下100''まで同じで、網狀 Fe_3C は殘留している。

(3) 硬度試験

以上の如き熱處理試片の硬度測定の結果は第12圖に示す。850°C 保持の方が最高硬度がひくいのは、0.89% Cの場合と同じく、殘留 Austenite が多いためと思われる。

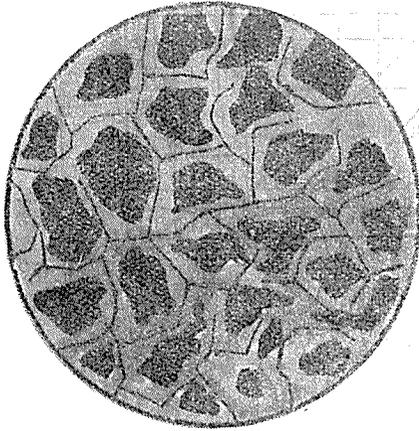


Fig 10 1.39%C
750°-20'heat→water cool (×300)

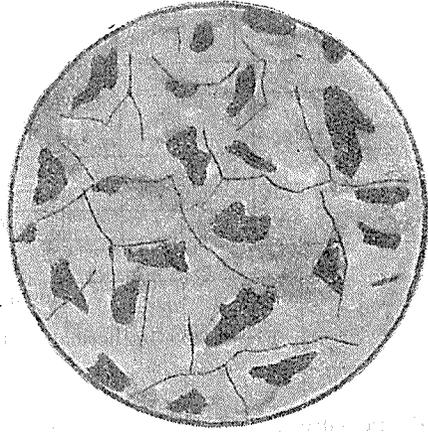


Fig 11 1.39%C
750°-25'heat→water cool (×300)

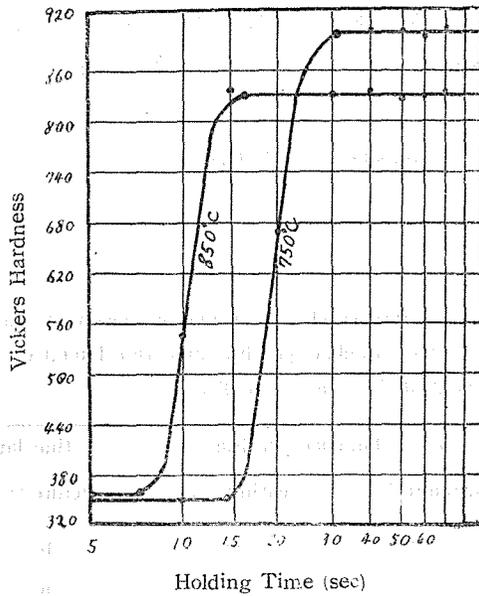


Fig 12 Hardness change of 1.39%C steel which was hold isothermally at 750°C~850°C

(4) 恒温 Austenite 化曲線

以上の結果より第13圖の如き恒温 Austenite 化曲線を作成した。これよる如く、0.89%C, 1.39%Cにおいては、變態すべきものが全部 pearlite のみである故 (1.39%Cの網状 Fe_3C はわずかであり、しかも850°C 程度では、相當量未變態のまま残留する)、兩成分では、ほとんど同じ結果を得た。又網状 Fe_3C の變態量を量的に顯微鏡により決定するのは困難である。

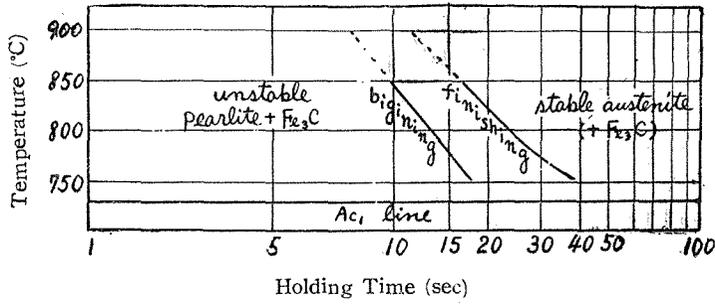


Fig 13 Isothermal austenitizing curve of 1.39% C steel

(d) pearlite 層の粗密による変態速度の相異

(1) 試料

0.89% C 共析炭素鋼について Pearlite の層の粗なるもの、密なるものの2種類について実験した。充分焼準した Specimen について、粗なるものとして真空中で 800°C—30' 加熱後爐冷し、密なるものとして真空中 800°C—30' 加熱後空冷した。粗なるものは 300 倍で層状が十分みとめられ、密なるものは900倍でもほとんど層状がみとめられなかつた。

(2) 実験方法並びに結果

750°, 800°, 850° について、(a)~(c) と同じ方法で実験した。以下その結果を對稱表にして示す。(Table 2, 3, 4)

(イ) 750°C 恒温保持

Table 2 Difference of transformation velocity to austenite between coarse lamellae pearlite and fine lamellae pearlite which was hold at 750°C isothermally.

Holding Time (sec)	coarse lamellae pearlite		fine lamellae pearlite	
	austenite (%)	pearlite (%)	austenite (%)	pearlite (%)
15"	0	100	10	90
16"	2	98	40	60
17"	8	92	70	30
18"	10	90	100	0
20"	70	30	100	0
60"	100	0	100	0
80"	100	0	100	0

(ロ) 8000°C 恒温保持

Table 3 Difference of transformation velocity to austenite between coarse lamellae pearlite and fine lamellae pearlite which was hold at 800°C isothermally.

Holding Time (sec)	Coarse lamellae pearlite		fine lamellae pearlite	
	austenite (%)	pearlite (%)	austeuite (%)	pearlite (%)
9"	0	100	10	90
10"	15	85	40	60
11"	50	50	70	30
13"	70	30	90	10

(ハ) 850°C 恒温保持

Table 3 Difference of transformation velocity to austenite between coarse lamellae pearlite and fine lamellae pearllite which was hald at 850°C isothermally.

Holding Time (sec)	coarse lamellae pearlite		fine lamellae pearlite	
	austenite (%)	pearlite (%)	austenite (%)	pearlite (%)
9"	60	40	95	5
10"	80	20	98	2
11"	90	10	100	0
13"	95	5	100	0

以上の結果より明らかな如く、pearlite の層の密なるものは、粗なるものに對して、かなり Austenite への變態が早い。而してこの差異は、變態温度のひくい程顯著である。層の密とは Fe_3C の分布がこまかいことであり、 Fe_3C の分解擴散が早いのは當然と思われる。第14圖、第15圖は同一處理を行つた粗密試片の組織の相違を示す。又第16圖は恒温 Austenite 化曲線の相違である。

[B] 珪素の影響

Si は如何なる鋼にも必ず含有され、又合金元素としても用いられる。純 γ 鐵中の最大溶解度は約2%、0.35% C の存在のもとでは、Austenite 中の最大溶解度は約9%である。炭化物生成傾向はなく、Guillet によると、組織は Si が5%以内では鋼は pearlite 状で炭素はすべて化合状態にあり、第17圖の如き組織線圖を發表している。又 Si は A_1 變態點を上昇せしめ、従つて A_3 、 A_{cm} 線も上昇し、急激に Austenite 領域を縮減せしめる。第18圖は佐藤博士による發表でありこれを示している。

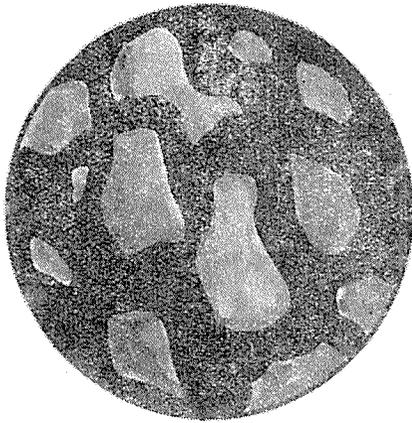


Fig 14 0.89%C coarse lamellae pearlite
800_s - 11"/heat → water cool

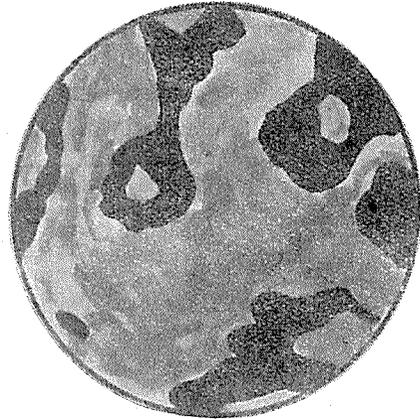


Fig 15 0.89%C fine lamellae pearlite
800° - 11"/heat → water cool

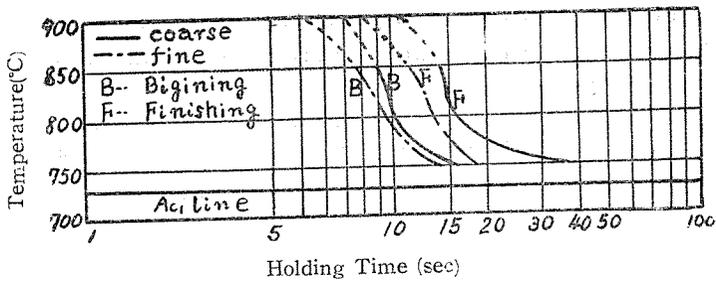


Fig 16 Difference of isothermal austenitizing curve of 0.89%C steel between coarse lamellae pearlite and fine lamellae pearlite.

筆者は、炭素量約0.3%において Si 量1.05%, 1.52%, 2.07%の Austenite 化に及ぼす影響について実験した。以下はその結果である。実験方法、試料の大きさは、炭素鋼の場合と同様である。

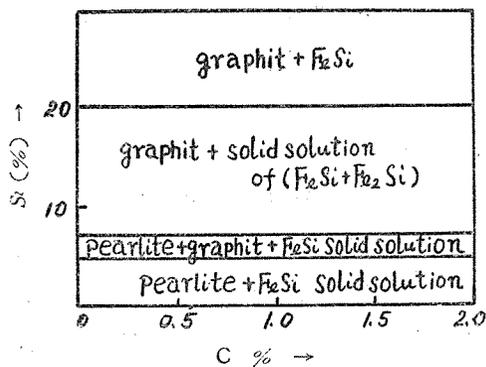


Fig 17 Structure diagram of Si steel. (Guillet)

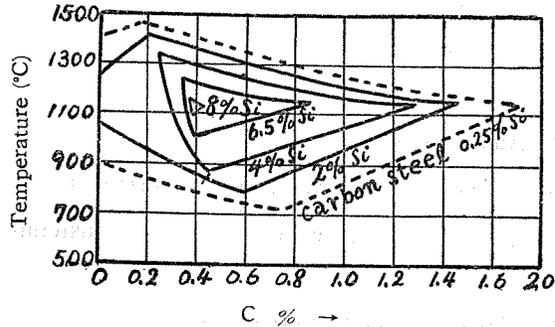


Fig 18 Change of austenite range by Si (Sato)

(a) Si 2.07%鋼 (C. 0.29%)

785°C 以下ではその保持時間の如何にかかわらず全く變態がみとめられなかつた。即ち C.029%, Si 2.07%鋼では Ac_1 變態點は 785°C 以上である。

(1) 790°C 恒温保持

2'0'' (第19圖)—これ以下の保持時間では變化なく、ここで、わすかに變態を始めている。

2'15''—pearlite 部の約半分が Austenite 化している。

2'30''—pearlite がわすかであるが明確にみとられる。

3'0''—pearlite なし。Austenite の擴張はわすかである。

5'0''—Austenite 8%, Ferrite 2%。

これ以上變化なし。

(2) 800°C 恒温保持

45''—變態開始直後で pearlite の一部が Austenite 化しているが、全く變態していない pearlite が大部分である。

60''—まだかなり pearlite を残留。Austenite の擴張はなく、この Austenite も不均一の如くである。

1'10''—Austenite の擴張はわすかであるが均一化している。Austenite 30%, Ferrite 70%。

1'20''—Austenite 45%, Ferrite 55%。

1'40''—Austenite 70%, Ferrite 30%。

2'0''—Austenite 85%, Ferrite 15%。

これ以上變化なし。

(3) 810°C 恒温保持

20''—pearlite の一部 Austenite 化。

25''—pearlite なし。Austenite 30%, Ferrite 70%。

30''—Austenite 35%, Ferrite 65%。

60''—Austenite 60%, Ferrite 40%。

1'30"—Austenite 85%, Ferrite 15%。

これ以上變化なし。

(4) 820°C 恒溫保持

16"—pearlite の一部が Austenite 化。

18" (第20圖)—pearlite の残留があるが, Austenite が Ferrite 中に擴張している。しかし炭素鋼の場合の如く包析現象はみられず, pearlite の一方から Austenite の擴張がおこっている。

20"—pearlite 残留なし。Austenite 30%, Ferrite 70%。

30"—Austenite 40%, Ferrite 60%。

60"—Austenite 65%, Ferrite 35%。

1'30"—Austenite 90%, Ferrite 10%。

(5) 870°C 恒溫保持

10"—Austenite 30%, Ferrite 70%, pearlite はなし。

40"—Austenite 90%, Ferrite 10%。

60"—100% Austenite。

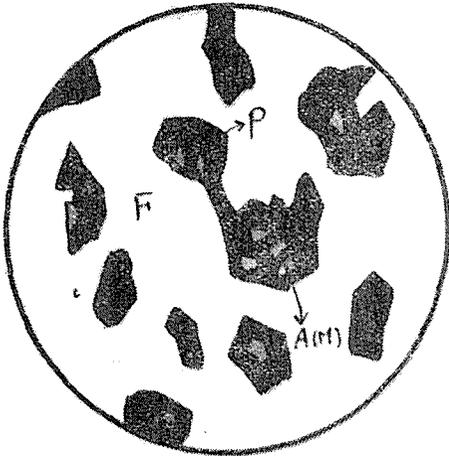


Fig 19 2.07% Si steel
790°—20"heat→water cool

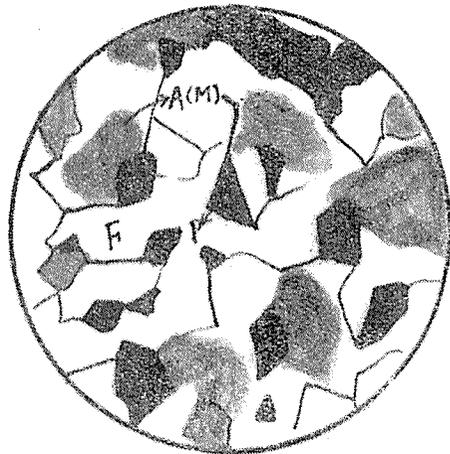


Fig 20 2.07% Si steel
820°—18"heat→water cool

(6) 硬度試験

以上の試片の硬度變化を第21圖に示す。

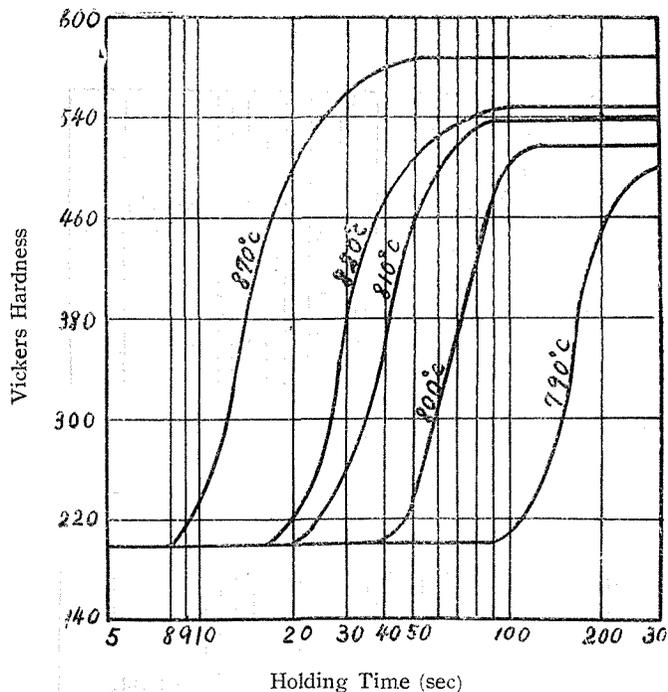


Fig 21 Hardness change of 2.07%Si steel (0.28%C) which was hold isothermally at 790°C~870°C

(7) 恒温 Austenite 化曲線

以上(1)~(6)より第22圖の如き恒温 Austenite 化曲線を作成した。

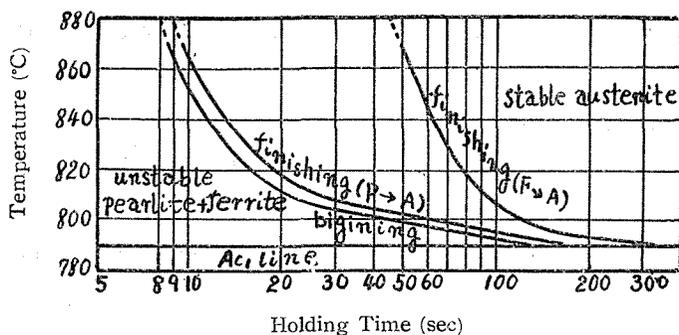


Fig 22 Isothermal austenitizing curve of 2.07% Si steel (0.28%C)

(b) Si 1.52%鋼 (c) Si 1.05%鋼

兩者とも Si 2.07%と同じ傾向を示し、これと炭素鋼の相異を軽減した結果なので、單にその恒温 Austenite 化曲線のみを第23圖、第24圖に示す。

Si 1.52%鋼は 770°C 以下では變態をおこさず、Ac₁ 變態點は約775°C であり、Si 1.05%鋼

では A_{e1} 変態点は本実験によると 760°C である。

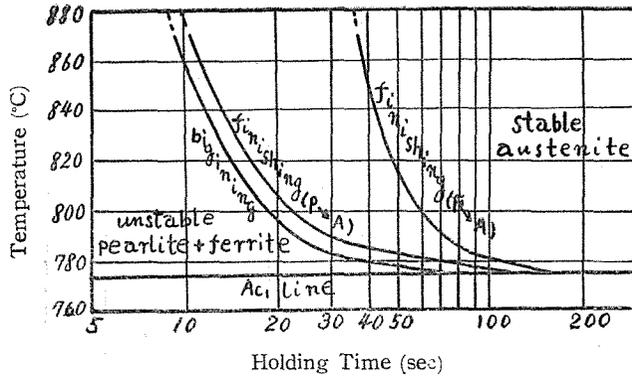


Fig 23 Isothermal austenitizing curve of 1.52% Si steel (0.30%C)

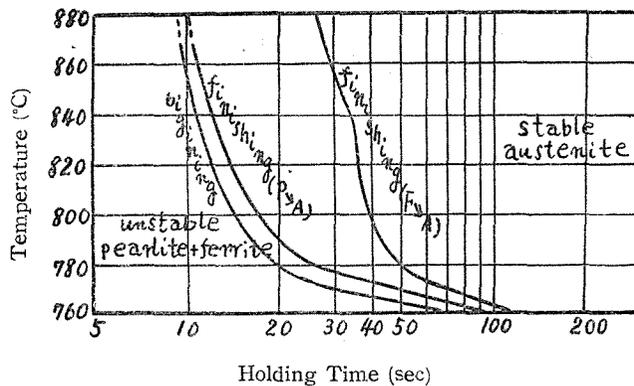


Fig 24 Isothermal austenitizing curve of 1.05% Si steel (0.29%C)

(d) 炭素鋼との比較

A_{e1} 変態点、これに従つて A_3 , A_{cm} 線が数10度上昇し、 A_{e1} 点は Si 2.07% では 790°C 、Si 1.52% では 775°C 、Si 1.05% では 760°C を示している。炭素量は何れも約0.3%である故、0.31%炭素鋼と比較すると、Si 鋼も炭素鋼と同じく変態温度がひくい場合には、pearlite \rightarrow Austenite 変態が終了後 Ferrite \rightarrow Austenite 変態がおこり、ある温度以上においては、両変態が同時におこるが、炭素鋼にみられた包析現象は、Si 鋼にみられず、pearlite の一方向より Austenite が擴張してゆく。この理由は、Si 鋼の pearlite 即ち Cementite + Ferrite の Ferrite 中に FeSi が固溶しているため、かりに $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{C}$ が起つてもこの C が Ferrite 中に擴散するのに炭素鋼の場合より遲滞し、結局 pearlite \rightarrow Austenite 変態がおこりにくいからと思ふ。従つて Si 鋼に包析現象が絶對的にみられないのではなく、適當な温度時間を與えればおこり得るものであり、ただ起りにくいのであると思ふ。

變態速度は炭素鋼とかなり著しい差異を示している。前述の如く pearlite \rightarrow Austenite 變態

に遅滞を示し、更に Ferrite→Austenite 變態には、かなり著しい遅滞を示している。 $FeSi$ は Guillet の第17圖に示す如く、炭素量の如何にかかわらず、 α 中にも γ 中にも固溶する。しかし分子は溶媒の空間格子内に入り得ないという假定からすれば、固溶體にある場合 Si が原子として分散していることは明瞭である。従つて Ferrite→Austenite 變態ではその格子變態と共に Si 原子の異動がおこり、且つ C 原子の擴散がおこるが、この場合、 C 原子の擴散が Si 原子乃至 Si 原子の異動により著しく阻害されるため、上述の如き遅滞を來すものと思われる。

IV 總 括

炭素鋼3種、即ち亞共析鋼、共析鋼、超共析鋼、又 Si 鋼3種 (Si 1~2%) につきて、加熱による Austenite 化過程につき顯微鏡及び硬度により研究し、又その恒温 Austenite 化曲線を描いた。

その結果、炭素鋼では共析、超共析兩鋼間にはほとんど差異はみとめられないが、この兩鋼と亞共析鋼とは Ferrite の影響より種々の差があり、亞共析鋼では pearlite 周邊部を既に Ferrite へ擴散を開始している Austenite がかこむという興味ある中間組織が得られた。

筆者はこれを包析現象となすけ、これよりある溫度以下では、pearlite→Austenite 變態終了 Ferrite→Austenite 後變態がおこり、ある溫度以上では、この兩變態が同時におこることが分つた。 Si 鋼では、 A_{c1} 變態點が數10度上昇し、 α 及び γ 中に固溶する $FeSi$ の影響により pearlite→Austenite 變態、特に Ferrite→Austenite 變態に炭素鋼に比べ著しく遅滞を來すことが分つた。而してある溫度以下では、pearlite→Austenite、Ferrite→Austenite の兩變態が時間的に別々に生じ、ある溫度以上では同時におこることは、炭素鋼と同じであるが、 $FeSi$ のため C の擴散が阻害されて、包析現象は極めて生じにくく、pearlite の一方から變態してゆくことがわかつた。

本研究を御指導下された大和久重雄、荻原巖、吉井周雄三先生に深謝の意を表します。