

論 文

UDC 669.15'74-194 : 669.14-987 : 669.112.22

Fe-Mn 合金の高圧処理による ϵ 相の生成と引張応力
下でのその相の安定性*

藤 田 充 苗**・内 山 郁***

Formation of ϵ Phase in Fe-Mn Alloys Under High Pressure
and Its Stability Under Tensile Stress

Mitsutane FUJITA and Iku UCHIYAMA

Synopsis:

The A_s and M_s temperature in the martensitic transformation of Fe-Mn alloys under hydrostatic pressures up to 35.5 kbar were measured by the differential thermal analysis. The progresses of $\gamma \rightarrow \epsilon$ and $\epsilon \rightarrow \alpha$ transformation as influenced by the pressure and temperature changes and the effect of the tensile stress on them were discussed from a thermodynamical point of view. The main results obtained are as follows:

- 1) The A_s and M_s temperatures in the $\gamma \rightleftharpoons \alpha$ transformation of alloys containing 4.8% or 6.76% of Mn, by increasing the pressure, were lowered at an approximate rate of 40°C/10 kbar, while those in the $\gamma \rightleftharpoons \epsilon$ transformation of alloys containing 6.76 to 28.24% of Mn were raised at an approximate rate of 40°C/10 kbar.
- 2) The A_s and M_s temperatures calculated on the basis of the free energy changes of the phases were in a good agreement with those observed.
- 3) The $\gamma \rightarrow \epsilon$ transformation progressed rapidly in the vicinity of the $M_s^{\gamma \rightarrow \epsilon}$ temperature and then gradually with further decreasing the temperature.
- 4) In order to stabilize at the ambient pressure and temperature, the ϵ phase which had been formed by pressurizing, it was required that the $M_s^{\epsilon \rightarrow \alpha}$ and the $A_s^{\epsilon \rightarrow \gamma}$ temperatures of the alloy were lower and higher, respectively than the room temperature.
- 5) The increase in the tensile strength was obtained only for the specimens in which the ϵ phase had been formed by pressurizing. The reason for the increase in the strength was explained on the basis of the thermodynamics for the $\gamma \rightarrow \epsilon$ transformation under tensile stress.

(Received Sept. 7, 1973)

1. 緒 言

常圧下で、鉄に Mn^{1)~4)}, Ru⁵⁾⁶⁾, Ir⁷⁾ などを加えた 2 元系合金や Fe-Ni-Cr⁸⁾⁹⁾, Fe-Mn-Cr¹⁰⁾ などの 3 元系合金あるいは多元系合金¹¹⁾¹²⁾において、 ϵ 相 (hcp) が出現することが報告されている。しかし、常圧下では ϵ 相だけの状態は Fe-Ru などの特殊な合金系でしか得られていない。

一方、純鉄を常温で 130 kbar まで加圧すると ϵ 相が現われる^{13)~16)}。しかし、この高圧下で出現した鉄の ϵ 相は、圧力を除去してゆくと、51 kbar までにすべて α 相に変態してしまうことが報告されている¹⁷⁾。

以上のことから、もし、圧力処理または圧力下で熱処理することと、合金元素添加の 2 つを組み合わせれば、高圧

下で出現する ϵ 相を常圧まで安定に持ち来たすことができると考えられる。これまでに、鉄の ϵ 相を出現させる圧力に及ぼす添加元素の影響について実験した 2, 3 の報告がある^{18)~20)}。たとえば、Ru⁵⁾, Mn¹⁸⁾あるいはNi¹⁸⁾の添加が ϵ 相の出現圧力を下げるのに有効であることが報告されている。また GILES ら²¹⁾は Fe-Mn 系合金 (Mn 量 17.7%まで) などを室温で 155 kbar まで加圧し、Mn 量 17.7% の Fe-Mn 合金の場合は圧力除去後でも 100% の ϵ 相を得ている。一方、CHRISTOU²²⁾らは爆圧を利用し、Fe-Mn 合金 (Mn 量 13.62%まで) に

* 昭和48年10月本会講演大会にて発表
昭和48年9月7日受付

** 金属材料技術研究所

*** 金属材料技術研究所 工博

90~150 kbarの加圧を行ない、常圧下では α 相があらわ
れる組成の試料でも ϵ 相を観察し、その ϵ 相の量は圧力
の増加とともに多くなることを報告している。

また、 γ 相からマルテンサイト変態によって生成した
 ϵ 相は非磁性であり⁽¹²⁾、 ϵ 相の存在は強度の上昇に寄
与すると考えられている⁽¹¹⁾。

上記のような研究があるにもかかわらず現在まで ϵ 相
からなる鉄合金は工業的にはほとんど使用されていな
い。しかし $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態を利用することにより強度の高い
非磁性鋼が得られること、また $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態による
TRIP現象を利用することによる合金の性能改善が考え
られる。

本報告は上記のような ϵ 相の利用によって合金の性能
の改善を目的として、まずFe-Mn合金に35.5kbarま
での圧力処理と各圧力下で加熱冷却の処理を行なうこと
により、 $\gamma \rightarrow \epsilon$ および $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態の変態挙動を調べ
る。その安定化について熱力学的な観点から検討し、さら
にその際に示される引張り性質についても考察したもの
である。

2. 実験方法

2.1 供試材

本実験では、5~28%Mnを含む8種類のFe-Mn合
金を試料とした。まず、電解鉄および電解マンガン
材料として10kg真空高周波炉で溶解し、各5.6kgの
鋳塊を作り、圧延により10mm ϕ の丸棒とした。それ
らを1200°C \times 24hr真空焼鈍した後、スウェーデン
により6mm ϕ まで加工し、各種の実験に必要な所定の
寸法の試片を切り出した。供試材の化学組成はTable 1
のとおりである。なお、これらの試料の常圧下であらわ
れる相をX線回折で調べたが、その結果を表の中にあわ
せて示した。

2.2 実験方法

まず常圧下での各変態点および $\gamma \rightarrow \epsilon$ 変態の進行過程
2.2.1 変態点の測定

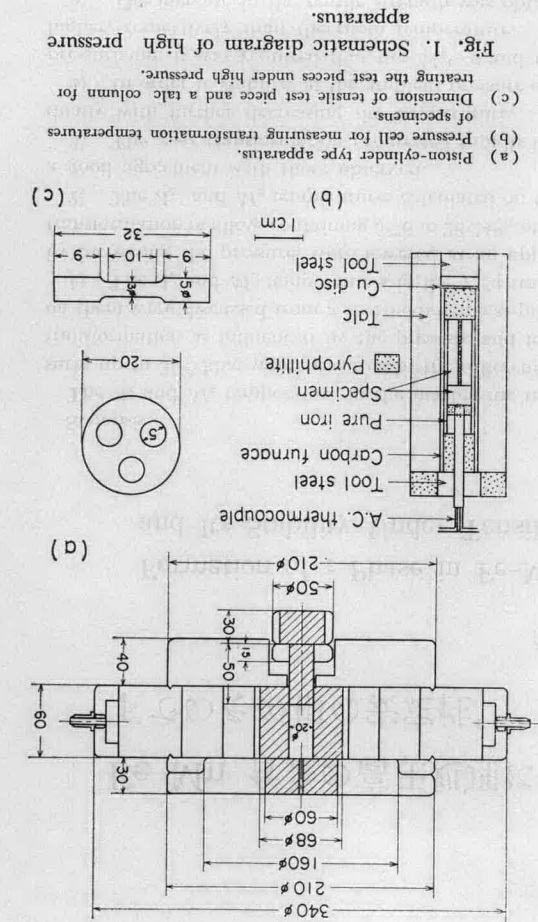


Fig. 1. Schematic diagram of high pressure apparatus.
(a) Piston-cylinder type apparatus.
(b) Dimension of tensile test piece and talc column for treating the test pieces under high pressure.
(c) Pressure cell for measuring transformation temperatures of specimens.

M-14 試料の場合は、変態過程が複雑で熱膨脹の測定で
熱膨脹の変化から測定した。なお、M-10 試料および
その観察が困難なために、示差熱分析法も採用した。
常圧下の示差熱分析は、真空中で約100°C/minの速度
で冷却しながら鉄と試料との温度差の変化を測定する方
法で行なった。
高圧下での変態点の測定には、Fig. 1(a)に示すよう
なピストン・シリンダー型高圧容器を使用し、Fig. 1
(b)に示したように5mm ϕ \times 4mmの試料と5mm ϕ
中に2mm ϕ の穴をあけた長さ4mmの純鉄試料を容
器の中に組込み、35.5kbarまでの各圧力に加圧し、示
差熱分析法で行なった。
なお、示差熱分析用の試料の下に、5mm ϕ \times 14mm
の試料を縦に2分して組込み、圧力下で加熱冷却した際
に得られる相を、X線回折により定量するための試料と
した。

Table 1. Chemical composition of specimens.

Phase*	Mn	C	S	P	Si	at room temperature and atmospheric pressure.
M-5	4.80	0.002	0.003	0.001	0.006	α
M-7	6.76	0.004	0.003	0.001	0.007	α
M-10	9.57	0.003	0.005	0.002	0.031	$\alpha + \epsilon$
M-14	14.06	0.004	0.006	0.002	0.013	$\alpha + \epsilon + \gamma$
M-17	16.90	0.005	0.008	0.002	0.010	$\epsilon + \gamma$
M-19	18.58	0.004	0.006	0.002	0.010	$\epsilon + \gamma$
M-23	22.65	0.008	0.008	0.002	0.012	$\epsilon + \gamma$
M-28	28.24	0.007	0.009	0.002	0.007	γ