18-8 ステンレス鋼の変形応力に及ぼす静水圧の影響

小 口 醇* 吉 田 進*

Atsushi Oguchi and Susumu Yoshida : Influence of High Hydrostatic Pressure on the Flow Stress of 18-8 Stainless Steel. An austenitic 18-8 stainless steel was tested in tension under hydrostatic pressure and the influence of hydrostatic pressure on its stress-strain behaviour was discussed. Tensile tests under constant pressures of 12000 kg/cm² and atmospheric pressure and tests during which the ambient pressure was changed from 12000 kg/cm² to atmospheric pressure and *vice versa* were carried out at room temperature. Also, the change in inductance of a coil wound around the specimen was measured to evaluate the amount of α -martensite induced by plastic deformation. The results obtained are as follows : (1) Pressurizing at 12000 kg/cm² gives no effect on the stress-strain relation of annealed specimen at atmospheric pressure. (2) By the magnetic measurement, α -martensite cannot be observed in the strain range less than about 10% strain. At a larger strain it begins to be induced and its amount increases with increasing strain by the same rate under both 12000 kg/cm² and atmospheric pressure. But ϵ -martensite is observed by X-ray diffraction when the specimen is deformed under 12000 kg/cm². (3) When the specimens are deformed under a constant pressure of 12000 kg/cm², the increase in flow stress as compared with that at atmospheric pressure is very large at the beginning of deformation, decreases with increasing strain, and then becomes almost constant (about 12%) above about 15% strain or more. (4) When the ambient pressure is changed between atmospheric pressure and 12000 kg/cm² on the way of deformation, the flow stress changes 0 to 4% at small strains and, about 12% (pressure raising) and 19% (pressure releasing) at 30 to 40% strain. (5) The phenomena mentioned above in (3) and (4) can be explained by the fact that ϵ -martensite is induced rapidly at the beginning of deformation resulting in work-hardening under high hydrostatic pressure, while it easily transforms to α -martensite under a low tensile stress at atmospheric pressure at large strains.

(Received January 21, 1972)

I. 緒 言

18-8 ステンレス鋼は室温において塑性変形によりオーステナイトからマルテンサイトに変態し、これが変形の挙動に影響することが知られている⁽¹⁾。この変態は比体積変化を伴うし、Ms 温度は静水圧によって変化することが明らかにされている⁽²⁾ので、このような材料を静水圧下で変形させると、その変形挙動は大気圧下におけるものにくらべてかなり異なるであろうと考えられる。またこのような相違を積極的に利用することによって、将来静水圧下の塑性加工をこの種の材料の性能向上に役立てることができるかもしれない。ここではまずオーステナイト組織をもつ 18-8 ステンレス鋼試料を大気圧下、または 12000 kg/cm² 中で引張試験して応力-ひずみ曲線の圧力による変化を求め、従来の純金属について得られた結果と比較しながら検討を加えた結果を報告する。

II. 試料および実験方法

実験に用いた材料は市販の 18-8 ステンレス鋼硬引線 (直径 1 mm) で、化学分析によると Cr : 18.09%, Ni : 8.41%,

C : 0.08% であった。これを試料寸法に切断した後 850°C, 1 hr 真空焼鈍して引張試験片とした。このような材料をオーステナイト化するには一般に 1000°C 以上の温度から急冷する。しかし本実験の場合、実験装置の関係から試料の直径は 1 mm としたので結晶粒径が大きいと実験結果にばらつきを生ずる危険があり、そのため Cr₂₃C₆ の溶解温度 (C : 0.08% において) の下限をえらんで上記の 850°C, 1 hr の条件を決定した。この場合、結晶粒径は約 0.01 mm であった。顕微鏡観察および磁性測定によれば試料は完全にオーステナイト状態であった。

引張試験機についてはすでにくわしく報告した⁽³⁾ので詳細な説明は省略するが、最高 15000 kg/cm² までの任意の一定圧力中で引張試験ができ、また試験中圧力を変えることもできるものである。

これにより (i) 12000 kg/cm² の液圧処理による大気圧下の応力-ひずみ曲線の変化、(ii) 引張試験の途中で圧力を大気圧から 12000 kg/cm² へ、あるいはその逆に変化させたときの変形応力の変化、(iii) 12000 kg/cm² の静水圧下で引張試験をした場合の応力-ひずみ曲線の、大気圧下でのものに対する変化を求めた。

変形に伴うマルテンサイトの生成量は次のようにして推定した。この材料の場合、オーステナイトは非磁性である

* 金属材料技術研究所 (National Research Institute for Metals, Tokyo)

(1) D. C. Ludwigson and J. A. Berger : J. Iron Steel Inst., 207 (1969), 63.

(2) J. R. Patel and M. Cohen : Acta Met., 1 (1953), 531.

(3) 吉田, 小口 : 材料, 18 (1969), 779

が、 α -マルテンサイトは磁性を有する。そこで0.08 mm 直径の絹巻線で300 ターンのコイルを作り、これに試料を差込んでコイルのインダクタンスの変化をマックスウェルブリッジで測定した。マルテンサイト量とインダクタンスの変化の量的な関係は求めなかったが、測定されたインダクタンスの変化は、定性的にマルテンサイト量の変化の傾向を表わしていると考えてよいであろう。

試験片の平行部の長さは15 mm, 引張速度は0.5 mm/min とした。試験温度は室温である。

III. 実験結果

1. 液圧処理の効果

試料に12000 kg/cm²の静水圧を10 min 加え、そのまま圧力を除去して大気圧下で引張試験した結果、その荷重-伸び曲線は焼鈍したままのものとほとんど一致した。すなわちいわゆる液圧処理の効果は観察されなかった。オーステナイト相は面心立方晶構造であり、光学顕微鏡によっても特に大きな介在物等の異相はみられなかったことから、この試料の場合は組織内に液圧処理効果の原因となる弾性的不連続性が存在せず、12000 kg/cm²の静水圧によっても試料内部構造の非可逆的变化が生じなかったものと考えられる。

2. 示差圧力法による引張試験

Fig.1 は12000 kg/cm²の圧力下で引張試験を開始し、その途中のあるひずみで変形を中断して除荷した後圧力を除去し、大気圧下で変形を再開したときの応力-ひずみ曲線を示したものである。図中破線は大気圧下での試験における応力-ひずみ曲線を示している。図にみられるように、12000 kg/cm²中でのひずみ量が小さい間は圧力変化に伴い変形応力はわずかに低下せず、はじめから大気圧下で変形した場合より高いが、12000 kg/cm²中でのひずみ量が大きくなると変形応力は大きく低下して、大気圧下で変

Fig.1 Stress-strain relations obtained on changing the ambient pressure from 12000 kg/cm² to atmospheric pressure on the way of tensile tests. Broken line represents the stress-strain relation at atmospheric pressure

形させた場合の値より低くなる。またいずれの場合にも大気圧下での再負荷の際加工硬化が急激になる傾向があるが、約20% ひずみまで高静水圧中で変形させたものでは変形再開時に一旦加工硬化がゆるやかになる様子がみられる。Fig.2 は Fig.1 の場合と逆に、はじめ大気圧下で変形し、途中で圧力を12000 kg/cm²に上げて変形を続けたときの応力-ひずみ曲線を示すものである。また Fig.3 は上に述べたような圧力変化に伴う変形応力の変化を Figs.1, 2 の結果から変化の割合として求めて示したものである。これによれば応力変化の傾向は圧力変化の方向(圧力上昇または圧力降下)によらず類似であるがその大きさは圧力降下の場合の方が大きい。またひずみ約10% までは小さいが、それ以上のひずみで極めて大きくなる。

Fig.2 Stress-strain relations obtained on changing the ambient pressure from atmospheric pressure to 12000 kg/cm² on the way of tensile tests. Broken line represents the stress-strain relation under 12000 kg/cm²

Fig.3 Change in flow stress on changing the ambient pressure from 12000 kg/cm² to atmospheric pressure (▽) and from atmospheric pressure to 12000 kg/mm² (△). Dot-dash line represents the change in shear modulus of the material presumed from the data by Bridgman

3. 一定圧力下での引張試験

Fig. 4 は大気圧下および 12000 kg/cm² 中で変形させたときの応力-ひずみ曲線を示している。この結果から 12000 kg/cm² 中における変形応力の大気圧下のものに対する増加率を求めた結果を同じ図中に示す。この応力変化は変形初期に大きく、ひずみの増加と共に減少し、約 20% ひずみ以降で約 12% 程度の一定の値となる傾向を示す。

Fig. 4 Stress-strain relations under 12000 kg/cm² and atmospheric pressure. Increase in flow stress under 12000 kg/mm² as compared with that at atmospheric pressure is also shown.

4. 変形による α -マルテンサイトの生成

焼鈍材を前述したコイル内にさし込み、試料を大気圧下あるいは 12000 kg/cm² 中で変形させてそれに伴うインダクタンスの変化 (ΔL) を測定した結果を Fig. 5 に示す。この結果は α -マルテンサイト量そのものを示してはいないが、その変化の傾向は表わしていると考えてよいであろう。この結果によると、この試料の場合ひずみ- ΔL の関

Fig. 5 Change in inductance of a coil wound around the specimen as a function of tensile strain. Solid lines: under constant pressures of atmospheric pressure and 12000 kg/cm². Broken lines: the ambient pressure was released from 12000 kg/cm² to atmospheric pressure at strains indicated. Dotted lines: the ambient pressure was raised from atmospheric pressure to 12000 kg/cm².

係には圧力による差がほとんどなかった。すなわち大気圧下でも、また 12000 kg/cm² 中でも同一ひずみを与えるとはほぼ同量の α -マルテンサイトが生成されている。また、伸び約 10% までは α -マルテンサイトはほとんど生じていない。同図に破線および点線で示したものは、変形の途中で圧力をそれぞれ 12000 kg/cm² から大気圧へ、および大気圧から 12000 kg/cm² へ変化させたときの測定結果である。この結果から変形途中における静水圧の減少は α -マルテンサイトの生成を促進し、その増加は α -マルテンサイトの生成を抑止することがわかる。

5. X線回折による観察

大気圧下および 12000 kg/cm² の静水圧下で引張試験を行なった試料について、X線回折によりデバイシェーラー図形を撮影した。その結果、 α -マルテンサイトの生成については前項の磁気測定と一致する結果が得られたが、その他に静水圧下で約 20% 変形した試料からはいわゆる ϵ -マルテンサイトによると考えられる回折線が観察された。

IV. 考 察

1. 静水圧下の変形による ϵ 相の生成

18-8 ステンレス鋼を変形する場合、変形が進行するにしたがい、 α -マルテンサイトが生成し、変形量と共に次第にその量を増加する。また、六方稠密格子の ϵ -マルテンサイトが少量ではあるが変形の初期から発生しあるひずみ量で最大となりまた減少することが知られている⁽⁴⁾⁽⁵⁾。この場合、 α -マルテンサイトはかならずオーステナイト $\rightarrow$ ϵ -マルテンサイト $\rightarrow$ α -マルテンサイトの経路を経て生ずることが Mangonon ら⁽⁵⁾ による電子顕微鏡観察により確かめられている。以下このような事実をもとにして考察を進めるが、本報告ではこれらの相をそれぞれ γ , ϵ' , α' で表わし、変態を $\gamma \rightarrow \epsilon'$, $\epsilon' \rightarrow \alpha'$ のように表わすことにする。

今井ら⁽⁶⁾ の 17-8 ステンレス鋼に関する実験結果によれば $\gamma \rightarrow \epsilon'$, $\epsilon' \rightarrow \alpha'$ の各変態による体積膨張ひずみ ϵ_0 はそれぞれ約 $\epsilon_0^{\gamma \rightarrow \epsilon'} = -0.046$, $\epsilon_0^{\epsilon' \rightarrow \alpha'} = 0.060$ である。ところで Patel ら⁽²⁾ の考え方によれば、Ms 点温度を外部応力 σ_1 によって試験温度 (本実験の場合は室温) まで上昇させれば変態を生ずると考えられる。この場合、大気圧下で変態を生ぜしめるために外部から加えられるべき仕事量に比べて、 P 気圧下では $\epsilon_0 P$ だけ余分な仕事が必要となる。したがって P 気圧下での $\gamma \rightarrow \epsilon'$ 変態は大気圧下におけるよりも促進されるし、 $\epsilon' \rightarrow \alpha'$ 変態は抑止されるはずである。それで、静水圧下で変形した場合は大気圧下よりも多くの ϵ' 相が発生するが、 ϵ' 相がさらに変態して α' となる確率は大気圧下より小さいから、本実験の場合は両者の効果が相殺

(4) Jochen von Fircks : Neue Hütte, **13**(1968), 668.

(5) P.L. Mangonon and G. Thomas : Met. Trans., **1**(1970), 1577.

(6) 今井, 泉山, 佐々木 : 金属学会誌, **27**(1963), 513.

して結局 α' の生成量が静水圧下と大気圧下で差がなくなったのであろう。ただし α' へ変態せずに残留している ϵ' の量は静水圧下の方が多くなる。このことは前節で述べた磁気測定やX線回折の結果に対応している。

2. 静水圧下における変形応力

この試料を 12000 kg/cm^2 中で引張試験したときの変形応力の静水圧下の変形に対する増加は Fig. 4 に示したようであった。これによると変形応力の増加は、変形の初期に大きな値を示すが、約 15% ひずみ以上ではほぼ一定の値(約 12%)となる。前に述べたように、 α' は約 10% ひずみ以上になってはじめて生成し、またひずみの増加に対する α' の増加は大気圧下、高静水圧下共ほぼ同じであった。したがって、この場合には大気圧下と 12000 kg/cm^2 中での変形応力を同一ひずみ量で比較する場合、 α' の量の差を考慮する必要はない。

ところで Patel ら⁽²⁾ によれば $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態に必要な外部からの仕事 U は大気圧下において

$$U = V_m \left\{ \frac{1}{2} \gamma_0 \sigma_1 \sin 2\theta + \frac{1}{2} \epsilon_0 \sigma_1 (1 + \cos 2\theta) \right\} \quad (1)$$

と表わされる。ここで V_m は分子容、 ϵ_0 と γ_0 は変態による体積膨張ひずみとせん断ひずみ、 θ は晶へき面の法線と引張軸のなす角度、 σ_1 は外部引張応力である。 P なる静水圧下ではさらに $-\epsilon_0 P$ 項が加わる。これが室温における変態の化学的駆動力の不足分 $\Delta F_{R.T.}$ に等しくなると変態が生ずる。したがって次の関係が成立する。

$$\begin{aligned} \Delta F_{R.T.} &= V_m \left\{ \frac{1}{2} \gamma_0 \sigma_1 \sin 2\theta + \frac{1}{2} \epsilon_0 \sigma_1 (1 + \cos 2\theta) \right\} \\ &= V_m' \left\{ \frac{1}{2} \gamma_0 (\sigma_1 + \Delta \sigma_1) \sin 2\theta + \frac{1}{2} \epsilon_0 (\sigma_1 + \Delta \sigma_1) \right. \\ &\quad \left. (1 + \cos 2\theta) - \epsilon_0 P \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで V_m' は P 気圧下における分子容である。(2)式の示すように、 P 気圧下では $\epsilon_0 P$ だけ余分な仕事を必要とし、そのため σ_1 が $\Delta \sigma_1$ だけ増加しなければならない。これから

$$\begin{aligned} \Delta \sigma_1 + \left(1 - \frac{V_m}{V_m'} \right) \sigma_1 &= \frac{P}{\frac{1}{2} \frac{\gamma_0}{\epsilon_0} \sin 2\theta + \frac{1}{2} (1 + \cos 2\theta)} \\ &= \frac{V_m \epsilon_0 P}{\Delta F_{R.T.}} \sigma_1 \end{aligned} \quad (3)$$

となる。第1辺の括弧内の項 $1 - V_m/V_m'$ は第3辺の係数 $V_m \epsilon_0 P / \Delta F_{R.T.}$ と比較して無視できるから

$$\frac{\Delta \sigma_1}{\sigma_1} = \frac{V_m \epsilon_0 P}{\Delta F_{R.T.}} \quad (4)$$

が求められる。

$\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態の場合、 $\epsilon_0 = 0.014$ である。また γ_0 には今井ら⁽⁶⁾ の示した値 $\gamma_0 = 0.306$ を用いて大よその見当をつけてみると(3)式第2辺の分母は $\theta = 44^\circ$ で最大となり、そのときの $\Delta \sigma_1$ は $P = 12000 \text{ kg/cm}^2$ に対して

$$\Delta \sigma_1 \approx 10 \text{ kg/mm}^2$$

となる。これは晶へき面が最も変態しやすい方位であって、 $\Delta \sigma_1, \sigma_1$ が最小の場合に相当する。本実験では α' が最初に生成する段階における変形応力がこれに相当し、Figs. 4, 5 からひずみ約 10% で $\sigma_1 \approx 80 \text{ kg/mm}^2$ となる。したがって $\Delta \sigma_1 / \sigma_1 \approx 12\%$ となる。(4)式の示すようにこの値は一定であって、ここで計算された値は Fig. 4 に示されている変形応力の増加の割合が一定となったところとほぼ一致している。以上のように、変形によって $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態を生ずる段階では、静水圧下と大気圧下の変形応力の差は、 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態に必要な外部応力の周囲圧力による差で大よそ与えられている。

次に、 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態の開始前の変形初期における静水圧下の変形応力が、大気圧下の値にくらべて上に述べた一定値よりさらに大きい理由については次のように考えられる。前節で Fig. 5 に関して述べたように、この段階では変形は主として γ 相によって行なわれていると考えられるが、静水圧下では ϵ' 相の生成が大気圧下にくらべかに行なわれ、そのため γ 相の加工硬化の進行が急激であることが想像される。Mangonon ら⁽⁵⁾ は 18-8 ステンレス鋼の常温常圧下の 13% の変形で ϵ' 相が密に分布して発生するのを観察している(引用文献(5), Fig. 4(b))。 ϵ' 相は γ 相と比体積が異なるから両者の境界には応力場が発生する。高静水圧下でこのような ϵ' 相の分布が密にできれば硬化の原因となるであろう。

以上に述べたことを模型的に示したものが Fig. 6 である。図中 0, 12 kb はそれぞれ大気圧下および 12000 kg/cm^2 中における応力-ひずみ曲線を示している。大気圧下においてはひずみの増加と共に γ 相の加工硬化によって変形応力が増加し、これが大気圧下において $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態を生ずる応力 ($\sigma_{\alpha 0}$) (最も低い応力で変態を生ずる晶へき面について)に達すると α' が生成されはじめる。このときのひ

Fig. 6 Schematic representation of the increase in flow stress under 12000 kg/cm^2 . $\sigma_{\alpha 0}, \epsilon_{\alpha 0}$ and $\sigma_{\alpha p}, \epsilon_{\alpha p}$ represent the stresses and the strains where the stress-induced martensitic transformation starts at atmospheric pressure and under 12000 kg/cm^2 , respectively. $\Delta \sigma$ shows an increase under 12000 kg/cm^2 in the tensile stress which is necessary to induce martensitic transformation

ずみは ε_{a0} である。一方同じ材料を 12000 kg/cm^2 中で変形させると変形の初期において急速に ϵ' 相が生成して γ 相が硬化し、その硬化率は大気圧下の変形にくらべて大きい。 γ 相の加工硬化が進み変形応力が増大し、これが 12000 kg/cm^2 中における $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態に必要な応力 ($\sigma_{ap} = \sigma_{a0} + \Delta\sigma$) に達すると α' が生成されはじめる。このときのひずみは ε_{ap} となる。図中応力-ひずみ曲線に斜線を入れた部分は α' が生成される領域を示している。一旦 α' の形成が開始すると、それ以後の変形では γ 相における γ 変形に対する加工硬化 (変形応力) と、 $\gamma \rightarrow \alpha'$ の応力誘起変態に必要な変形応力はバランスしながら変形が進行する。したがって大気圧と 12000 kg/cm^2 下の変形応力の差は $\gamma \rightarrow \alpha'$ に必要な変形応力の差と一致すると考えてよい。本実験の場合は前にも述べたように $\varepsilon_{a0} \approx \varepsilon_{ap}$ であり、 α' 生成以後の過程では同一のひずみに対しては α' の量は大気圧中でも 12000 kg/cm^2 下でもほぼ同じであった。したがって変形応力の差は (4) 式によって与えられその割合は一定の値を示すことになる。

3. 圧力変化に伴う変形応力の変化

変形の途中で圧力を変化させたときの応力-ひずみ曲線の変化は Figs. 1~3 に示した通りであり、またこれに対応するひずみ- α' 生成量の関係は Fig. 5 に示されている。以下これについて考察を試みる。

従来、筆者らの実験した純金属の結果⁽⁷⁾によれば、圧力変化に伴う変形応力の変化は、変形の機構が γ 相によるものであり、圧力によってその機構に本質的な変化を生じなければその材料の剛性率の圧力による変化 $\Delta G/G$ にほぼ等しい。この値はこの材料の場合求められていないが Bridgman⁽⁸⁾ の鋼の結果から約 3% であると思われる。そこで Fig. 3 には 3% の値をあわせて示した。

ところで Fig. 5 によれば本実験の場合、ひずみ約 10% までは $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態はおこらない。この場合にも $\gamma \rightarrow \epsilon'$ 変態は生じているがこの変態によるせん断ひずみは小さく試料の変形にはあまり寄与していないであろう。結局この範囲では変形はほとんど γ 相のみで進行しており、変形応力の圧力変化に伴う変化は $\Delta G/G$ の程度と思われる。Fig. 3 において、ひずみ約 10% 以下での応力変化は 0~4% であったが、これは大よそ $\Delta G/G$ の程度と考えてよいであろう。

ひずみが上記の範囲を越える段階では $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態が生じ、変形は γ 相とマルテンサイト変態との両方によって行なわれる。また変形途中で圧力を変化させると α' の生成率が変化する。すなわちこの場合には周囲圧力の変化によって変形の機構が本質的に変化する。したがって上で用いたような純金属で得られた結果は適用することができない。

いま、 $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態を生ずるひずみの段階で圧力を 12000 kg/cm^2 から大気圧へ変化した場合について考えてみる。高静水圧中で変形したものは $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態を生じているが IV. 1. で述べたように ϵ' 相が余分に存在している。これを大気圧下で再負荷していくと、残存している ϵ' 相は応力が大気圧下における $\epsilon' \rightarrow \alpha'$ 変態に必要な値に達すれば変態して α' になる。このときの応力を同じ大気圧下での $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態に必要な応力と比較すると、大気圧下と高静水圧下では α' 相はひずみの増加に対してほぼ同量生成されているから、この $\epsilon' \rightarrow \alpha'$ 変態に必要な応力は大気圧下で同じひずみまで変形した場合 ($\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態) より低くなることになる。さらに、この応力では γ 相は発生できないから、変形はまずもっぱら $\epsilon' \rightarrow \alpha'$ 変態によって行なわれ、ひずみあたりの α' 生成率は大きくなる。さらに変形が進むといずれ過剰の ϵ' 相は消費されてあとは $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態を生ずるが、 $\epsilon' \rightarrow \alpha'$ 変態が急速に行なわれたことによって α' が多く生成されているからこの段階以降の加工硬化は大きくなるものと思われる。

次に、圧力を大気圧から 12000 kg/cm^2 へ変化させた場合は次のように考えられる。大気圧下で変形させた場合、試料の中には残留する ϵ' 相はほとんどないが、これを 12000 kg/cm^2 中で再負荷すると変形初期に急速に ϵ' 相が生成され、これによって γ 相の地が急激に加工硬化する。このようにして試料中の応力が 12000 kg/cm^2 における $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態に必要な応力に達するとそれ以降は変態と γ 相が共存して変形が生ずる。この応力は圧力上昇前の変形応力より、 12000 kg/cm^2 中で $\gamma \rightarrow \alpha'$ 変態を生ずるに必要な応力増加分だけ高いはずであるから、Fig. 3 に示されるような結果となる。

以上、高静水圧下で変形した場合の、変形初期における大きな加工硬化と、 α' が生成してから後に圧力を大気圧におろしてから再負荷したときの変形応力の低下の現象をいずれも ϵ' 相の存在によるものとして説明した。さらにこの点を確かめるために以下のような実験を行なった。すなわちそれぞれひずみ約 7, 20, 30% まで大気圧下および 12000 kg/cm^2 の静水圧下で引張試験し、これらの試料をそのまま大気圧下で再負荷するか、または 250°C で 1 hr 焼鈍してから再負荷して引張試験した。その結果を Fig. 7 に示す。Fig. 7 の結果を観察すると、最初に高静水圧下で引張変形した試料を大気圧下で再負荷した際の、ひずみが小さい段階の加工硬化およびひずみが大きい段階での応力低下の両現象は焼鈍によって消滅してしまうことがわかる。Mangonon ら⁽⁹⁾によると 18-8 ステンレス鋼の低温変形によって生ずる ϵ' 相は 200°C の熱処理によって大部分 γ 相にもどってしまうとされているから、この場合も生成していた ϵ' 相は 250°C , 1 hr の熱処理によって消滅したものと解釈できる。ひずみ 30% の場合、焼鈍後の応力上昇

(7) 小口, 吉田, 信木: 金属学会誌, **35**(1971), 371, など。

(8) P.W. Bridgman: *The Physics of High Pressure*, G. Bell and Sons, London, (1952), 386.

(9) P.L. Mangonon and G. Thomas: *Met. Trans.*, **1** (1970), 1587.

Fig. 7 Load-elongation relations at atmospheric pressure for the specimens pre-strained at atmospheric pressure (0 a) and under 12000 kg/cm² (12 a). 0 b and 12 b represent the same relations after annealing at 250°C for 1hr

は、大気圧下変形、静水圧下変形のいずれの試料についても同様におこっているから、これは ϵ' 相の生成とは無関係のひずみ時効的な現象によるのであろう。

V. 結 言

加工誘発変態を生ずる材料の変形挙動に及ぼす静水圧の影響を調べるために、オーステナイト組織をもつ 18-8 ステンレス鋼を大気圧下および 12000 kg/cm² 中で室温において引張試験し次のような結果を得た。

(1) 12000 kg/cm² の静水圧下において液圧処理しても、その効果は認められない。

(2) 磁気的方法で α -マルテンサイトの生成量を調べた結果、12000 kg/cm² 中、大気圧下共ひずみ約 10% までは α -マルテンサイトはほとんど認められず、それ以降でひずみと共に増加したがその生成量とひずみ量の関係は両圧力中ではほぼ同じであった。また、12000 kg/cm² 中で変形した場合には ϵ -マルテンサイトが残留していることが X 線的に認められた。

(3) 一定圧力下で変形した場合、12000 kg/cm² 中での変形応力の大気圧下での値に対する増加は変形初期で大きく、ひずみの増加と共に減少して約 15% ひずみ以降で一定の約 12% となる。

(4) 変形の途中で圧力を大気圧と 12000 kg/cm² の間で変化させた場合、変形応力はひずみの小さい範囲では 0~4%、ひずみ 30~40% では約 12% (圧力上昇)~19% (圧力降下) それぞれ変化する。

(5) 上の (3), (4) に述べた現象は次のような事実により説明できる。すなわち、高静水圧下では変形の初期に急速に ϵ -マルテンサイトが生成され大気圧下にくらべ加工硬化が大きい。しかしひずみの大きい範囲においては試料を大気圧下で再負荷した場合、この ϵ -マルテンサイトは低い引張応力下で α -マルテンサイトに変態する。