



Title	18-8ステンレス鋼における応力-歪曲線と組織について
Author(s)	萩原, 巖; Hagiwara, Iwao; 酒井, 昌宏 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 48, 261-273
Issue Date	1968-06-20
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/40878">https://hdl.handle.net/2115/40878</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	48_261-274.pdf



# 18-8 ステンレス鋼における応力-歪 曲線と組織について

萩原 巖\*

酒井 昌宏\*\*

富岡 由夫\*\*\*

(昭和43年1月16日受理)

## Stress-Strain Curve and Structure in 18 Cr-8 Ni Stainless Steel

Iwao HAGIWARA\*

Akihiro SAKAI\*\*

Yoshio TOMIOKA\*\*\*

(Received January 16, 1968)

### Abstract

The effect of applied tensile stress and compressive stress on the stress-strain curves and microstructure of a commercial 18-8 stainless steel was investigated in a temperature of  $-40\sim 200^{\circ}\text{C}$ .

The results were as follows:

(1) A comparison between compression and tension indicated a clear difference with respect to the stress-strain curve, and at equivalent strains the flow stress in compression was greater than that of tensile deformation. The difference increased as the temperature of deformation was lowered.

(2) Striated structures produced by deformation showed a difference of morphology in tension and compression. In tension almost all striations were straight lines and in compression they became wavy above  $50^{\circ}\text{C}$ .

(3) The  $\alpha'$  martensite was formed abundantly by tension rather than by compression, and this tendency increased remarkably at low temperatures. The  $M_d$  temperature was  $50^{\circ}\text{C}$  in both cases.

(4) The amount of  $\varepsilon'$  martensite decreased with the increasing temperature. A larger amount of  $\varepsilon'$  martensite appeared by compression rather than by tension above  $50^{\circ}\text{C}$ , and disappeared at  $200^{\circ}\text{C}$  in tension and at over  $250^{\circ}\text{C}$  in compression.

---

\* 冶金工学科

\*\* 応用物理学科

\*\*\* 函館工業高等専門学校

\* Department of Metallurgical Engineering

\*\* Department of Applied Physics

\*\*\* Hakodate Technical College

## 1. 緒 言

18-8 ステンレス鋼の Ms 点は市販の鋼では一般に常温よりもはるかに低く、場合によっては  $-200^{\circ}\text{C}$  近くまで下る。しかしながら、これを加工すると常温においても独特の迂り線様の加工組織を呈し、この中には  $\alpha'$  マルテンサイト ( $\alpha'$  相) の他に、六方晶の  $\epsilon'$  マルテンサイト ( $\epsilon'$  相) 及び多くの積層不整群が含まれることが知られている<sup>1)~6)</sup>。この  $\epsilon'$  相は  $\bar{\gamma} \rightarrow \alpha'$  変態の際の一種の中間相ともいわれ、加工度が増すに従い  $\epsilon'$  相は減少し、 $\alpha'$  相が増加していくと報告されているが<sup>6)</sup>、いずれにしてもこの種の鋼の組織は塑性変形の量とその時の温度によって複雑に変化するものであるから、その応力歪曲線にはそれらの加工組織の生成と関連した変化が現われる。

$\alpha'$  マルテンサイト変態は著しい膨脹を伴うものであるから、この変態に対する引張と圧縮の作用は等しくない。Cohen<sup>7)</sup>らは Fe-Ni、或いは Fe-Ni-C 合金で、Ms 点の上昇が圧縮加工よりも引張加工の方で大きいことを示した。しかし、加工変態は Ms 点より Md 点までの広い温度範囲で発生し、その生成量は温度と加工度によって支配されるから、加工変態に対する応力の正負の影響は、種々の温度に於ける応力-歪線図と組織との対応を求めるのでなければその全貌をつかむことは出来ない。

また、18-8 ステンレス鋼では  $\bar{\gamma} \rightarrow \alpha'$  変態の他に、前述の様に中間相としての  $\epsilon'$  マルテンサイト、および積層不整が存在するから、更に  $\bar{\gamma} \rightarrow \epsilon'$  変態および積層不整の生成に関する応力の正負の影響という問題も取りあげる必要がある。

従来、18-8 ステンレス鋼の加工変態に関する研究は少ないが、その大多数<sup>1)~4), 6), 10)</sup>は引張変形によるものであって、著者らの知る限りにおいて引張と圧縮の両加工法の差に触れたものには今井と斉藤<sup>11)</sup>の報告を見るのみである。応力-歪曲線および加工組織に対する応力の正負の影響を明らかにすることはステンレス鋼の加工強化という工学的問題の研究には特に必要なことであると考えられる。

よって本研究では上に述べたこの鋼の変態機構の特異性に留意して、strain figure 中の  $\alpha'$  相を他の組織から分離測定することにより、引張と圧縮に於ける加工変態の相違とそれに関連した応力-歪曲線の変化について実験を行なったものである。

## 2. 実験方法

試料は市販の 18-8 系ステンレス鋼の 16 mm 丸棒を用いた。化学組成は Table 1 に示す。これを機削により Fig. 1 (a), (b) に示す様な引張試験片、圧縮試験片とした。これでは標点間距離と平行部端の形状は同じである。あえてこの様にしたのは、圧縮加工の時生ずる端面摩擦の平行部への影響を引張の場合と同じ様にするためである。

試験片は機械切削の影響を除くために、真空炉中で  $1050^{\circ}\text{C} \times 1 \text{ hr}$  加熱を行ない、油冷して

Table 1. Composition of material. (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.06	0.50	1.20	0.04	0.03	9.00	18.50

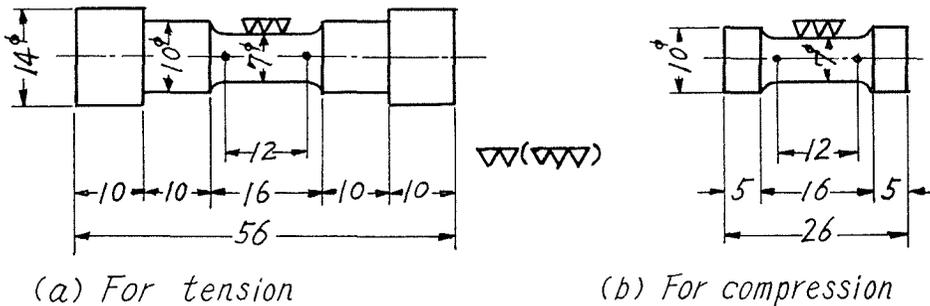


Fig. 1. Dimensions of the specimens (mm)

オーステナイト単相の組織とした。この熱処理によるオーステナイトの grain size は、平均直径が  $100 \mu$  であった。

引張、圧縮加工は前報<sup>12)</sup>と同様な恒温槽を万能試験機に取り付け、これに試料を取り付けて行なった。恒温浴の温度は  $-40 \sim +200^\circ\text{C}$  であった。負荷速度は全ての試料について  $30 \text{ kg/mm}^2/\text{min}$  とした。

検鏡に際しては、試料中央部を縦方向に沿ってマイクロカッターで切断し、この面を電解研磨(無水酢酸 3, 過塩素酸 1,  $d=0.5 \text{ A/cm}^2$ )で平滑面とした。全体の組織観察には腐蝕液に marble 液(硫酸銅 4 gr, 塩酸 20 cc, 水 20 cc)を用い、特に  $\alpha'$  相のみの検出には stain 溶液<sup>8)</sup>( $\text{CrO}_3$  16 gr,  $\text{NaOH}$  80 gr,  $\text{H}_2\text{O}$  145 cc)を沸点で使用した。以後、前者を marble etch, 後者を stain etch と呼ぶ。その他 X 線回析, 磁気測定などを用いて加工組織の判別を行なった。

### 3. 実験結果

#### 3.1 応力-歪曲線について

応力-歪曲線の引張と圧縮の比較を可能にするために、歪には有効歪  $\bar{\epsilon}$  (true strain), 応力には実応力  $\sigma$  (true stress) を用いて描くことにした。但し,  $\bar{\epsilon}$  は除荷重後の標点間距離  $l$  の変化  $dl$  を測定し, 引張に於いては  $\ln(1+dl/l)$ , 圧縮に於いては  $\ln 1/(1-dl/l)$  を以て表わした。従って, これには弾性的変形は含まれていない。また,  $\sigma$  は除荷重後の試験片中央断面積で荷重を除いた値であって, これは近似的 true stress である。

各温度において求めた応力歪線は図 Fig. 2 の如くである。これによれば, 一般に引張曲線は圧縮曲線よりも下方に離れており, 同一歪では常に圧縮応力の方が高く現われている。Fig. 3 は有効歪  $0.07 \text{ (cm/cm)}$  における実応力温度曲線を示したもので, 圧縮と引張の応力差は温度の

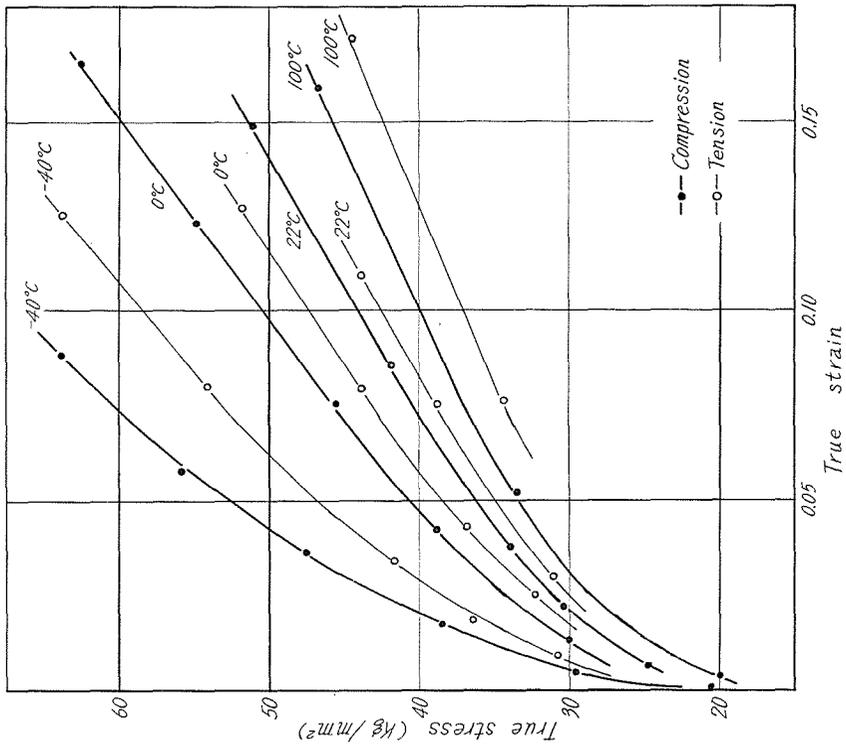


Fig. 2. True stress-True strain curves.

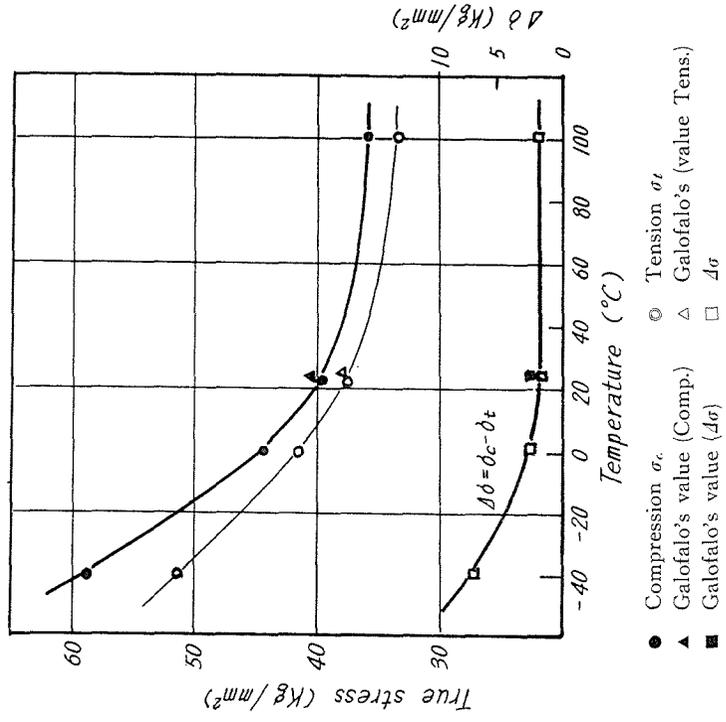
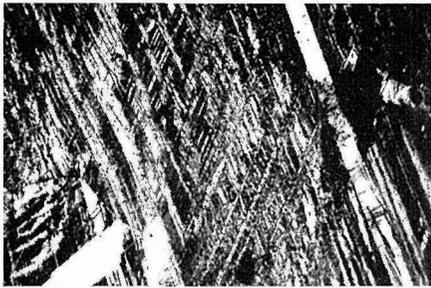


Fig. 3. True stress (at  $\gamma = 0.07$ )-temperatures curves.

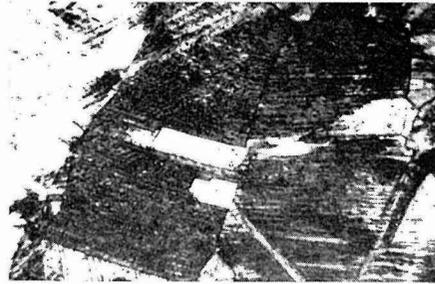
- Compression  $\sigma_c$
- Tension  $\sigma_t$
- ▲ Galofalo's value (Comp.)
- △ Galofalo's (value Tens.)
- Galofalo's value ( $\Delta\sigma$ )
- $\Delta\sigma$

低下と共に増大する傾向が認められる。しかし、また高温になってもその差は依然として存在し、 $\epsilon'$  相の少ない  $100^\circ\text{C}$  に至ってもそれは認められ、応力  $\sigma$  と応力差  $\Delta\sigma$  の割合は常温のそれに略々等しい。

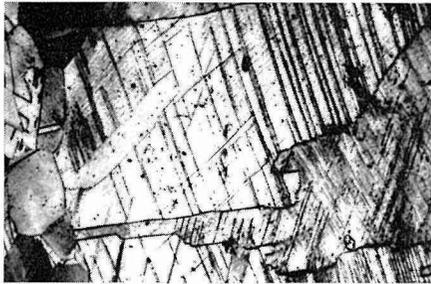
なお、18-8 ステンレス鋼に対して、Garofalo ら<sup>13)</sup> が引張と圧縮による比重の変化を測定するために求めた室温における応力歪曲線においても、著者らの実験結果と同様に圧縮の曲線が高い応力を示している。その結果から歪 0.07 における応力を Fig. 3 に記入したが両者はよく一致した。



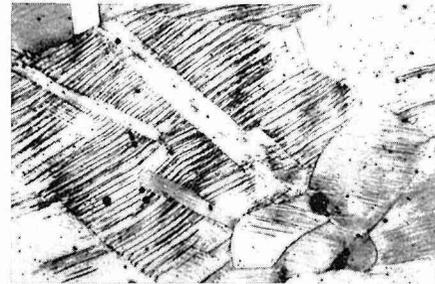
a)  $0^\circ\text{C}$ , tension  
 $\sigma = 66.9 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\gamma_t = 0.19$



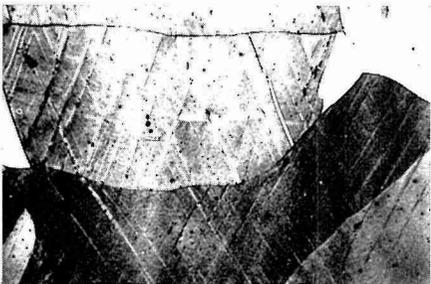
d)  $0^\circ\text{C}$ , compression  
 $\sigma = 63.7 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\gamma_t = 0.128$



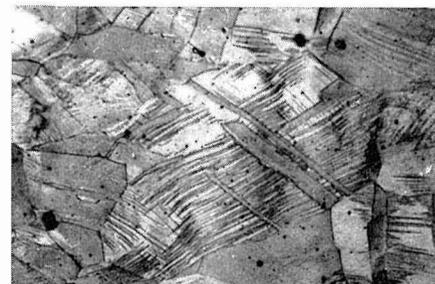
b)  $50^\circ\text{C}$ , tension  
 $\sigma = 55.2 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\gamma_t = 0.169$



e)  $50^\circ\text{C}$ , compression  
 $\sigma = 64.1 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\gamma_t = 0.176$



c)  $50^\circ\text{C}$ , tension  
 $\sigma = 64.3 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\gamma_t = 0.228$



f)  $100^\circ\text{C}$ , compression  
 $\sigma = 66.7 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\gamma_t = 0.205$

**Photo 1.** Microstructure of 18-8 stainless steel etched by marble's reagent. ( $\times 600$ )

### 3.2 加工組織の形態について

引張と圧縮の加工組織の間には常温以上の温度範囲に於いて形態的相違が認められたので先ずそれについて述べる。

Photo 1 の (a)~(f) は  $-40^{\circ}\text{C}$  の場合を除いた各温度の marble etch による顕微鏡写真である。いずれも線状の組織であるが次の点で異なる。

- (1)  $0^{\circ}\text{C}$  以上の温度範囲において、引張では線状組織の方向が一つの結晶粒内で二または三方向に交差しており、その交る角度は  $60^{\circ}$  に近いものが多く、正三角形の模様が屢々認められる。これに反して圧縮では一方向のものが多く、二方向に現われる場合でも交差することは非常に少ない。
- (2)  $50^{\circ}\text{C}$  以上の温度において、組織は直線性を減じ波うつ様になるが、その傾向は圧縮の場合において極めて著しい。

以上に述べた引張と圧縮における線状組織の特徴的な差異は以前の報告<sup>12)</sup>でも全く同じであったから間違いないものであろう。

(1) と (2) とは互に関連した現象であって、圧縮の場合には $\gamma$ が一方向にのみ起る結果として $\gamma$ 面の弯曲を来すが、引張の場合には $\gamma$ 線の交差が可能であるため、 $\gamma$ 変形は引張軸に対称的に生じ $\gamma$ 面の弯曲は起らないと解される。 $\gamma$ が対称になる時は、単位格子胞内  $\{111\}$  の四面のうち三面が $\gamma$ 、他の一面は引張軸に直角となるので、引張軸に直角の断面に屢々  $60^{\circ}$  の三角形模様が現われることになる。加工温度が  $0^{\circ}\text{C}$  では特に引張組織に新たな変化が生じているのが見られる。低温になると一層その傾向は強くなり、加工によって線状組織に  $\alpha'$  マルテンサイトが現われた様子が見える。しかし、一見して  $\alpha'$  マルテンサイトと  $\epsilon'$  マルテンサイトの判別はつけ難い。

### 3.3 加工組織の判別と定量

検鏡に際して、marble etch では上述の様に組織が一様に現われ、加工によって生成する  $\alpha'$  マルテンサイト、 $\epsilon'$  マルテンサイト、積層不整を識別することは出来難い。それで特に  $\alpha'$  相のみを検出するには stain etch を用いた。これでは後記する様に  $\alpha'$

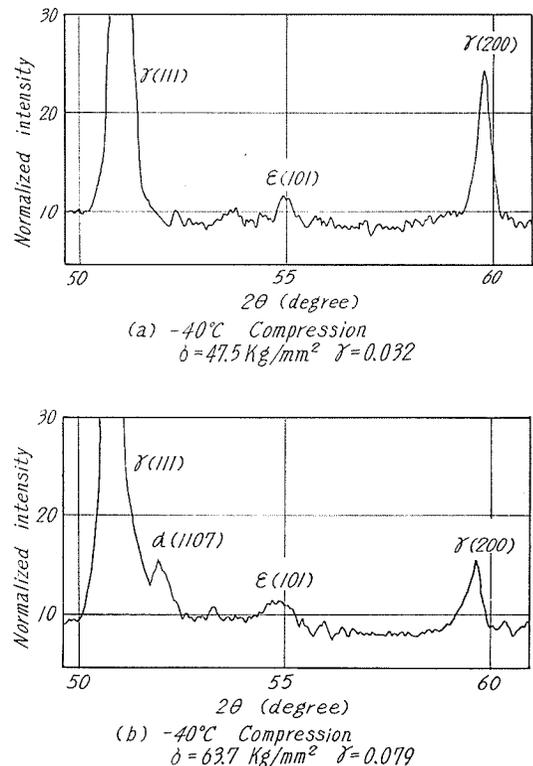
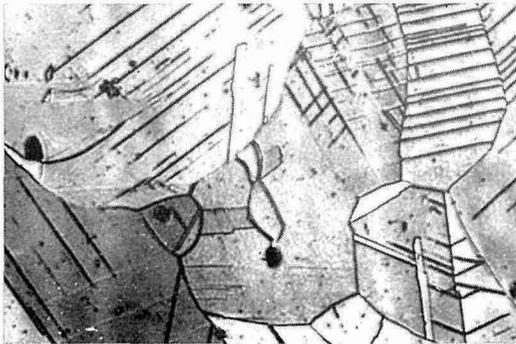


Fig. 4. X-ray diffraction pattern of 18-8 stainless steel.

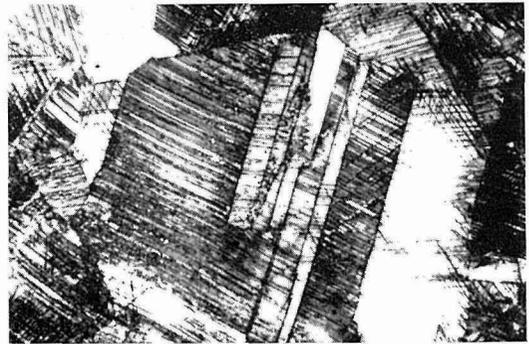
相だけが黒く etch されて観察される。また、加工組織の  $\alpha'$  マルテンサイト、 $\epsilon'$  マルテンサイトを確認するために、一部の試料に X 線回折を行なった。これは電解研磨した試験面に Co-K $\alpha$  線をあて、その回折ピークを diffractometer で記録して調べた。

Photo 2 に marble etch した  $-40^{\circ}\text{C}$  の圧縮加工組織を示す。Photo 2 (a) の  $\sigma_t = 29.5 \text{ kg/mm}^2$  の場合では、少数の  $60^{\circ}$  に交わる細い直線状の strain marking が見られ、Photo 2 (b) では応力の増加に従って線の数と大きさを増し、且つ交差する様になる。Fig. 4 (a) の X 線回折はこの場合のもので、 $\epsilon'$  相としての peak は現われているが  $\alpha'$  相は現われていない。更に応力を増した Photo 2 (c) はその X 線回折 (Fig. 4 (b)) に  $\alpha'$  マルテンサイトの peak が現われたものであるが、その組織には新たに幅の広い灰色のバンド状組織が認められる。Photo 3 (a) はこの様な部分を更に拡大したものである。また、Photo 3 (b) は  $-196^{\circ}\text{C}$  に冷却して現われた冷却マルテンサイトであって、両者はよく似たバンド状組織を示しており X 線回折の結果を参照するならば、marble etch で現われたバンドの部分には  $\alpha'$  マルテンサイトであると見てよいだろう。

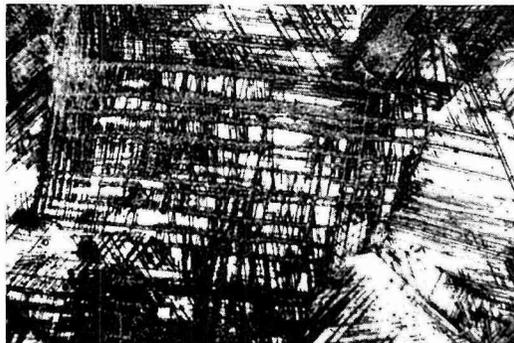
$\alpha'$  マルテンサイトの判別には、その表面の relief を見ることも一つの方法である。Photo



a)  $-40^{\circ}\text{C}$ , compression  
 $\sigma = 29.5 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\gamma_t = 0.005$

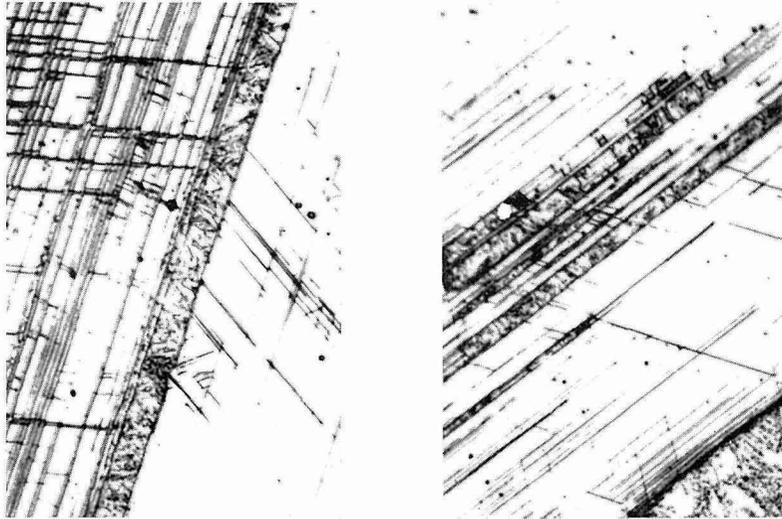


b)  $-40^{\circ}\text{C}$ , compression  
 $\sigma = 47.5 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\gamma_t = 0.032$



c)  $-40^{\circ}\text{C}$ , compression  
 $\sigma = 63.7 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\gamma_t = 0.079$

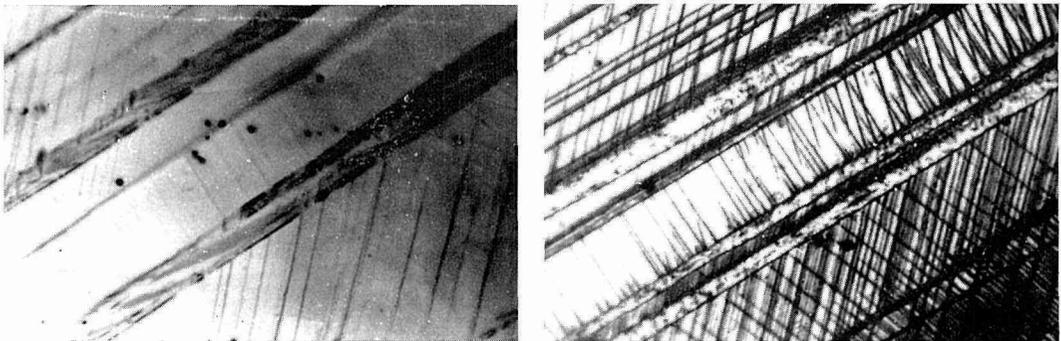
**Photo 2.** Microstructure of 18-8 stainless steel etched by Marble's reagent. ( $\times 600$ )



a)  $-40^\circ\text{C}$ , compression  
 $\sigma = 55.6 \text{ kg/mm}^2$

b) As-quenched specimen at  
 $-196^\circ\text{C}$  for 30 min.

**Photo 3.** Microstructure of stress-induced  $\alpha'$  and athermar  $\alpha'$  on the 18-8 stainless steel etched by Marble's reagent. ( $\times 800$ )



a)  $-40^\circ\text{C}$ , compression  
 $\sigma = 55.6 \text{ kg/mm}^2$   
no etched

b)  $-40^\circ\text{C}$ , compression  
 $\sigma = 55.6 \text{ kg/mm}^2$   
etched by Marble's reagent

**Photo 4.** Surface relief of 18-8 stainless steel. ( $\times 600$ )

4(a) は予め研磨した試料の表面を変形後に観察したものである。この写真に現われる細い多数の線は単なる迂りによるものであろうが、中央に斜めに走る帯状は  $\alpha'$  マルテンサイト形式による表面の relief である。これを marble etch したものが Photo 4(b) で、表面 relief の所に Photo 3(b) と類似の組織が見られる。

$\alpha'$  マルテンサイトは stain etch によって一層良く識別することが出来る。Photo 5 に同じ場所を marble etch と stain etch した結果の比較を示す。marble etch でやや白く見えた部分が stain etch では黒く着色された  $\alpha'$  アルテンサイトとして現われるので、 $\epsilon'$  マルテンサイトや strain marking と明瞭に分離することが出来る。

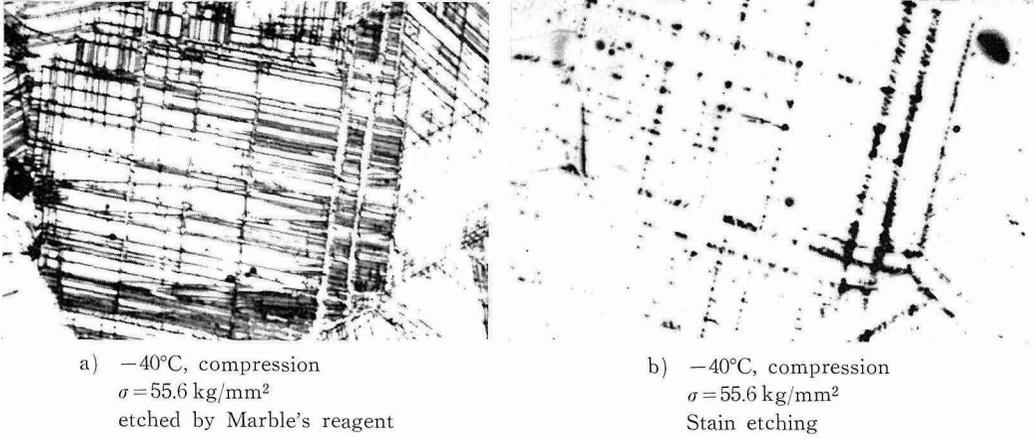


Photo 5. Compression of Marble's etching and stain etching for 18-8 stainless steel. ( $\times 600$ )

加工における  $\alpha'$  組織には、引張と圧縮における特別な差異は見られずその生成量を異にするのみであった。従って引張の場合の  $-40^{\circ}\text{C}$  における組織写真は省略した。

検鏡面に現れる  $\alpha'$  相を定量するために Stain etch した試料の中央部横断面の lineal analysis を行なった。一方  $\alpha'$  の相が強磁性であることから、試料の磁化の強さを測ることによって

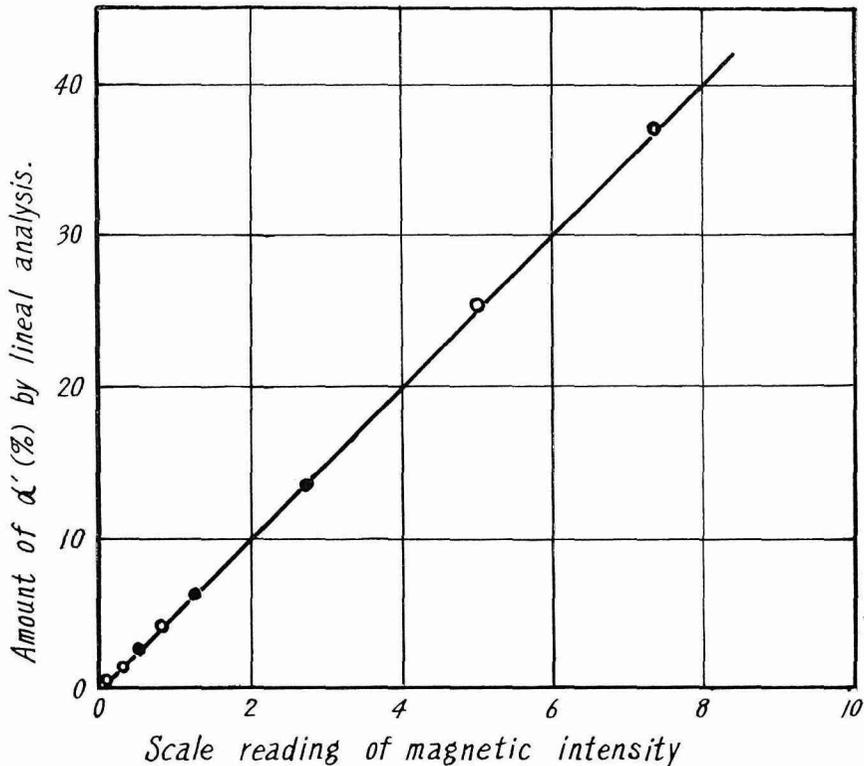


Fig. 5. Relation between martensite by lineal analysis and magnetic intensity.

相対的な  $\alpha'$  量が求められる。この為に適当な標準磁石を近づけこれを引離すのに必要な力を求めた。同一試料に対する磁化の強さと lineal analysis の結果は Fig. 5 に示す様に非常に良い直線関係が得られた。よって以後は主として lineal analysis によって定量することにした。

以上の方法が加工度と  $\alpha'$  相の関係を求めたのが Fig. 6 である。これによると、 $\alpha'$  相は加工度が高い程その量は多く、同一加工度では加工温度が低い程多く発生する。しかし、この  $\alpha'$

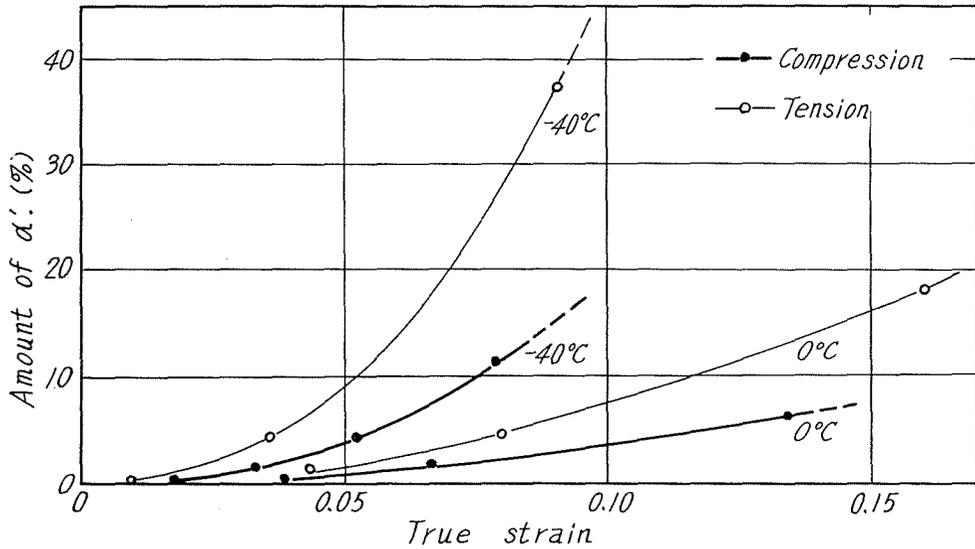


Fig. 6. Percentage of  $\alpha'$  phase as a function of the true strain at several temperatures for 18-8 stainless steel.

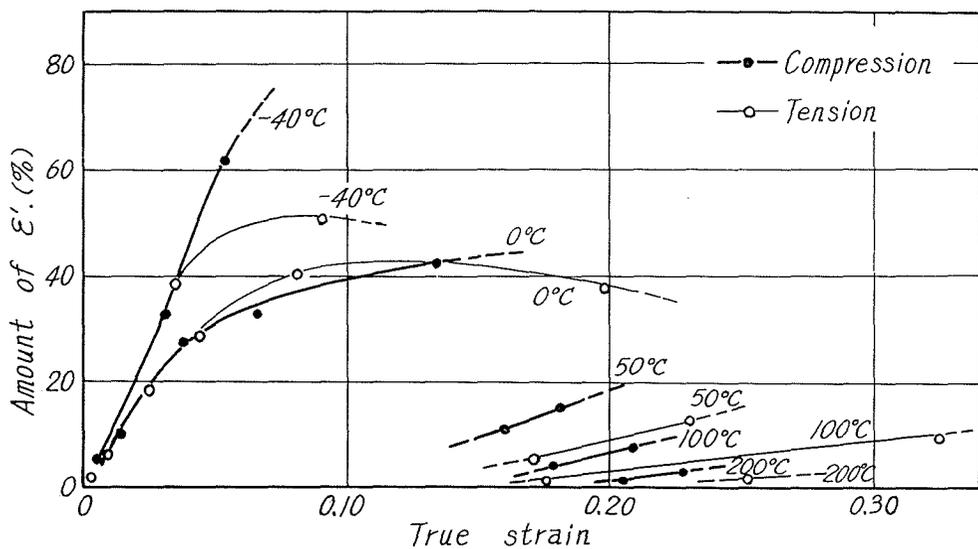


Fig. 7. Percentage of  $\epsilon'$  phase as a function of the true strain at various temperatures for 18-8 stainless steel.

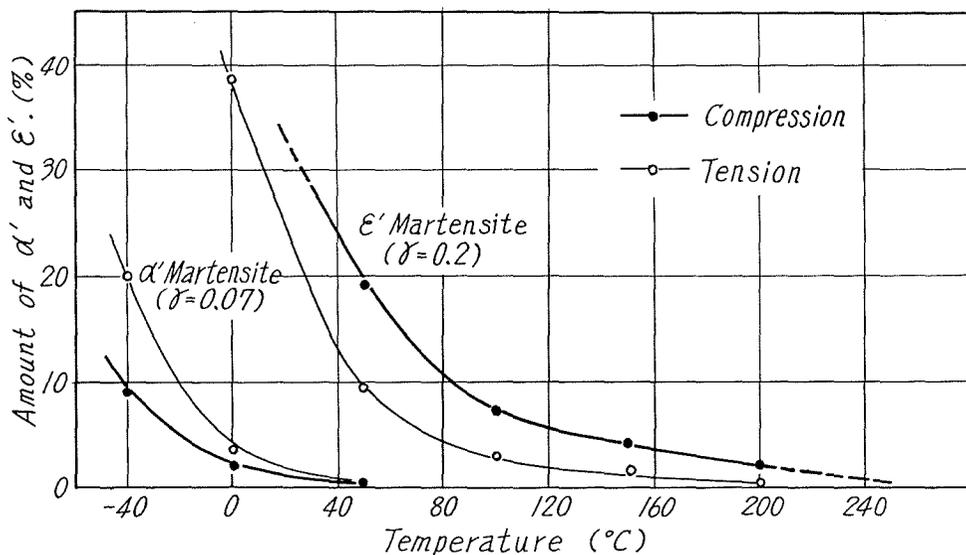


Fig. 8. Percentage of  $\alpha'$  (at  $\gamma=0.07$ ) and  $\epsilon'$  (at  $\gamma=0.2$ ) phases as a function of the temperature for 18-8 stainless steel.

マルテンサイトは50°Cでは殆ど認められず、100°Cでは全く現れなかった。また、図に示される様に引張と圧縮では著しい差が見られ、引張の方が $\alpha'$ マルテンサイト変態の促進作用が大きい。

Fig. 7は加工度と $\epsilon'$ マルテンサイト生成量との関係である。(ここでいう $\epsilon'$ マルテンサイトとは結晶学的にそれと類似の構造を持つ積層不整を含めてこの様に呼ぶ。)この $\epsilon'$ 相の定量はmarble etchで現れた $\alpha'$ 相と $\epsilon'$ 相の混合相を先ず定量し、次にこの試料にStain etchを行なって $\alpha'$ 相のみを定量し、この量を前の量から差引いて $\epsilon'$ 相の量とした。この図からわかる様に $\epsilon'$ 相も加工度と加工温度に依存している。引張と圧縮の差は低温では余り明白ではないが、高温になるに従って圧縮でより多く現われる傾向がある。

一定の変形量に於ける $\alpha'$ 相と $\epsilon'$ 相の生成量と温度の関係からFig. 8の曲線が得られる。変形量 $\gamma=0.07$ における $\alpha'$ 相生成量の温度に対する曲線を見ると、全体的に引張が圧縮の約2倍以上の生成量を示しているが、温度の上昇に対する $\alpha'$ 相の減少の仕方は同一傾向にあり、 $\alpha'$ 量=0の温度、即ち $\alpha'$ 相に対するMd点は何れも約50°Cである。これに対し変形量 $\gamma=0.2$ における $\epsilon'$ 相の曲線を見ると、 $\alpha'$ 相とは反対に50°C以上では圧縮の方が大きく、 $\epsilon'$ 相の消失する温度が引張では200°C付近であるのに対し圧縮では250°C以上と推定される。この点は前報<sup>12)</sup>の実測結果と略々一致している。従って前報において求めたMd点は $\epsilon'$ マルテンサイトに対する値であることが確かめられた。

#### 4. 考 察

18-8 ステンレス鋼の加工硬化や、 $\alpha'$ と $\epsilon'$ マルテンサイトの生成量は引張と圧縮では著し

い相違がある。このことは圧延加工で強度増加をはかる場合に、引張試験からその影響を推量するのは不当であることを示している。また、同じ加工度において圧縮の方が加工硬化が大きく、しかも $\alpha'$  マルテンサイトの少ないものが得られることは、この鋼の強度の上からも耐蝕性の上からも注目すべき問題であろう。

18-8 ステンレス鋼の圧縮加工が、引張加工に比べて $\alpha'$  化が少なく、しかも大なる硬化を示すことには次の様な作用が考えられる。

- (1)  $\alpha'$  マルテンサイトの生じない Md 点以上でもこの現象があることから、この種の成分のオーステナイトは本来の性質として圧縮に対する変形抵抗が引張よりも大きいこと。
- (2) Md 点以下の加工では圧縮加工に比べ引張加工の方が $\alpha'$  マルテンサイト変態を促進するが、これに付随して生ずる異常変形が引張における加工硬化度をより多く減少せしめること。

(1) の様な現象をしめす原因については、それが引張と圧縮において生ずる転位の性質——例えば転位の拡張度が異なるなど——によるのであるか、または、固着されない転位の密度や分布の差によるのであるのか等については微細組織の直接観察によらねばならず、それらの問題は今後の研究にまかしたい。

(2) については、応力を受けつつ変態をする場合の異常な変形増加現象のことで、transformation plasticity と呼ばれ、炭素鋼のマルテンサイト変態の場合については Poter ら<sup>14)</sup> によって観察されている。また、細井ら<sup>15)</sup> は Fe-Ni 合金の引張加工に於ける応力-歪曲線を求めているが、マルテンサイト変態の起らぬ  $-28^{\circ}\text{C}$  における曲線と、マルテンサイト変態を伴う  $-35^{\circ}\text{C}$  における曲線を比較すると、同一歪に対し後者の応力が少なくなっていることからそのことが知られる。この異常な変形増加は引張試験と同様、圧縮試験でも生じ得るわけであるが、引張と圧縮の $\alpha'$  マルテンサイトの量に大きな差があるため異常変形もそれに比例して生ずるものと解される。但し、 $\alpha'$  の量がある程度以上多くなる時は、その硬化作用が異常変形増加の影響を打消すに至る場合も起るであろう。

## 5. 総 括

ステンレス鋼を用いて、応力歪線図と組織に対する引張及び圧縮の影響を  $-40\sim 200^{\circ}\text{C}$  の温度範囲において実験した。その結果、次の事が明らかになった。

- (1) 応力-歪曲線では、引張と圧縮に明白な相違があり、圧縮において変形抵抗が大である。その差は温度の低下と共に増大する。
- (2) 加工組織の形態はいずれも線状組織であるが、温度が高くなる程圧縮と引張の相違が著しくなる。即ち、 $50^{\circ}\text{C}$  以上になると直線性を減じ波うつ傾向が現われるが、それは圧縮に於いて著しい。
- (3)  $\alpha'$  マルテンサイトは圧縮よりも引張において多量に発生する。この傾向は低温程著し

く、また、何れの場合も Md 点は約 50°C であった。

- (4)  $\epsilon'$  マルテンサイトは加工が高温になるに従ってその量を減少するが、50°C 以上では引張より圧縮の方に多く生ずる。これが消失する温度は引張で 200°C、圧縮で 250°C 以上である。

以上の結果から 18-8 ステンレス鋼の加工は、その硬化能の上でも、加工組織の上でも引張と圧縮の効果を同一視することは出来ないことがわかった。この硬化能を異にする原因には、この種の鋼のオーステナイトの性質に依存する因子と、応力をうけつつマルテンサイト変態する場合の transformation plasticity とが考えられる。これらの問題の詳細な説明は今後の研究にまちたい。

終りにのぞみ、本研究の遂行に種々お世話を頂いた高橋忠義助教授に感謝する。

#### 文 献

- 1) Fiedler, H. C., Averbach, B. L. Cohen, M.: Trans, Amer, Soc. Metals. 47 (1955), p. 267.
- 2) Cina, B.: Acta, Met., 6 (1958), p. 748.
- 3) Venables, J. A.: Phil. Mag., 7 (1962), p. 35.
- 4) 西山・清水・盛川: 金属学会誌 27 (1963), p. 497.
- 5) Lagneborg, R.: Acta. Met., 12 (1964), p. 823.
- 6) Reed, R. P., Guntner, C. J.: Trans, AIME., 230 (1964), p. 1713.
- 7) Patel, J. R., Cohen, M.: Acta. Met., 1 (1953), p. 531.
- 8) Reed, R. P.: Acta, Met., 10 (1962), p. 865.
- 9) Breedis, J. F., Robertson, W. D.,: Acta. Met., 10 (1962), p. 1077.
- 10) Golaman, A. J., Wagnet, C. N. J.: Acta. Met., 11 (1963), p. 405.
- 11) 今井・斎藤: 鉄と鋼 49 (1963), 5, p. 36.
- 12) 萩原・金沢・富岡: 北大工学部研究報告 36 (昭 40. 3), p. 45.
- 13) Garofalo, F., Wriedt, H. A.: Acta. Met., 10 (1962), p. 1007.
- 14) Porter, L. F., Rosenthal, P. C., Acta. Met., 7 (1959), p. 504.
- 15) 細井・川上: 鉄と鋼 49 (1963), 12, p. 30.