Fe-Ni 系合金における加工誘発マルテンサイトの 形 態 に つ い て*

田村 今男** 牧 正志*** 波戸 浩***

Imao Tamura, Tadashi Maki and Hiroshi Hato : The Morphology of Strain-Induced Martensite in Fe-Ni Alloys. The morphology of martensite induced during tensile deformation at various temperatures in Fe-29% Ni-0.26% C ($M_s = -35^\circ\text{C}$, $M_d \approx +5^\circ\text{C}$) and Fe-31% Ni ($M_s = -57^\circ\text{C}$, $M_d \approx -15^\circ\text{C}$) alloys was observed by means of optical and transmission electron microscopy. The results obtained are as follows:

(1) The small martensites having a characteristic morphology are induced by tensile deformation. The morphology of these martensites is entirely different from that of the thermally transformed martensite. These small martensites are formed mainly at the temperatures between M_s and M_d .

(2) The martensite thermally transformed from the austenite of these alloys is plate-like partially twinned one with the mid-rib, the so-called "Umklapp" martensite. On the other hand, the strain-induced martensite is an untwinned martensite, and the orientation relationship between austenite and martensite is nearly K-S type. It is, therefore, considered that the strain-induced martensite belongs to the "Schiebung" martensite. This suggests that there is an essential difference in the transformation mechanism between the two martensites.

(3) The plate-like martensites are also induced by deformation just above or below the M_s temperature. These martensites are produced in the early stage of deformation.

(Received June 28, 1969)

** 京都大学工学部 (Faculty of Engineering, Kyoto University, Kyoto)

*** 京都大学大学院 (Graduate School, Kyoto University, Kyoto)

* 1969 年 3 月本会東京大会に発表

I. 緒 言

一般にオーステナイトを Md 点以下の温度で加工するとマルテンサイトが誘発される事はよく知られている^{(1)~(6)}。このような加工誘発マルテンサイトの形態については Fe-Cr-Ni 系合金(ステンレス鋼)や Fe-Mn 系合金ではよく調べられているが^{(7)~(10)}、Fe-Ni 系合金での報告はほとんどない。著者らは、各種鉄系合金のオーステナイトを種々の温度で引張試験をおこなっているが、Ms 点が室温以下にある Fe-Ni 系合金で引張加工によって生じたマルテンサイトの中には単にサブゼロ処理によって生成されたマルテンサイト(以後サブゼロマルテンサイトと呼ぶ)とは著しく形態の異なった特徴的なマルテンサイトが生成される場合のあることが明らかになったのでここに報告する。

II. 実 験 方 法

試料は真空溶解により作製したもので、その化学組成は Fe-28.7% Ni-0.26% C (Ms = -35°C, Md ≈ +5°C) および Fe-30.8% Ni-0.005% C (Ms = -57°C, Md ≈ -15°C) である。これらを熱間鍛造により約 10 mm 厚にした後、1200°C で 20 hr 真空中にて均一化処理をおこない、その後圧延焼鈍をくり返して 0.5 mm 厚の板にした。これから板状の引張試験片を作製した。オーステナイト化処理として Fe-Ni-C 合金は 1150°C で 3 hr、Fe-Ni 合金は 1200°C で 4 hr 真空中にて加熱した後炉冷し、電解研磨にて表面を軽く研磨して種々の温度で引張加工を与えた。歪速度は $5.5 \times 10^{-4}/\text{sec}$ でおこなった。引張加工後の試験片を用い光学顕微鏡および透過電子顕微鏡観察をおこなった。なお比較のために、オーステナイト化処理後、単にサブゼロした場合の組織をも併せて観察した。透過電顕用薄膜は引張加工を与えた試験片から作製したもので、化学研磨および電解研磨を併用して作製した。電顕観察は加速電圧 120 kV にておこなった。

III. 実 験 結 果

本実験では Fe-29% Ni-0.26% C と Fe-31% Ni の 2 種の合金を用いたが、両者ともほぼ同様な結果が得られたので主に Fe-Ni-C 合金について述べる。

1. サブゼロマルテンサイトの形態

Photo. 1 に Fe-Ni-C 合金を -60°C にサブゼロしたときの光学顕微鏡組織を示す。この合金のサブゼロマルテンサイトは典型的な plate 状マルテンサイトであり、稲妻状に生成している。なおマルテンサイト葉の中央部に直線的な mid-rib が存在している。これらは著しい burst 現象を伴って生成され、変態時に大きな音を発する。このようなサブゼロマルテンサイトの透過電子顕微鏡組織を **Photo. 2** に示す。中央部の直線性のよい黒い帯状組織が mid-rib であり、その近傍に変態双晶が存在している。変態双晶はマルテンサイトの中央部のみに存在しその外側は転位の存在する領域で、いわゆる untwinned region である。この untwinned region には、Fe-Ni 合金の場合方向性をもった数多くの転位群が観察されているが⁽¹¹⁾⁽¹²⁾、炭素を含んだ Fe-Ni-C 合金の場合、電子線の入射方向にももちろん関係するが、一般にこの組織のように転位のコントラストが現われにくい。この理由は明らかではないが、他の研究者によっても同様のことが報告されている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

Photo. 1 Optical micrograph of thermally transformed martensite in Fe-Ni-C alloy cooled to -60°C ($\times 400 \times$)

Photo. 2 Transmission electron micrograph of thermally transformed martensite in Fe-Ni-C alloy cooled to -60°C

- (1) 岡本, 小高: 金属学会誌, **18** (1954), 392.
- (2) T. Angel: J. Iron Steel Inst., **177** (1954), 165.
- (3) H. C. Fiedler, B. L. Averback and M. Cohen: Trans. ASM, **47** (1955), 267.
- (4) 西山, 清水, 岡: 金属学会誌, **22** (1958), 532.
- (5) G. W. Powell, E. R. Marshall and A. Backofen: Trans. ASM, **50** (1958), 498.
- (6) C. J. Guntner and R. P. Reed: *ibid.*, **55** (1962), 399.
- (7) H. M. Otte: Acta Met., **5** (1957), 614.
- (8) C. H. White and R. W. K. Honeycombe: J. Iron Steel Inst., **200** (1962), 457.
- (9) J. F. Breedis and W. D. Robertson: Acta Met., **11** (1963), 547.
- (10) R. Lagneborg: *ibid.*, **12** (1964), 823.

- (11) G. R. Speich and P. R. Swann: J. Iron Steel Inst., **203** (1965), 480.
- (12) R. L. Patterson and C. M. Wayman: Acta Met., **14** (1966), 347.
- (13) M. G. H. Wells: *ibid.*, **12** (1964), 389.
- (14) M. R. Jackson and G. Krauss: Advances in Electron Metallography, **6** (1966), 62.

2. 加工誘発マルテンサイトの形態

(1) Ms 点以上の温度で加工誘発されるマルテンサイト

Fe-Ni-C 合金を Ms 点 (-35°C) 以上の種々な温度で引張加工を与えて破断した後の組織を光学顕微鏡により観察した結果、 0°C ではマルテンサイトが少し生成されていたが、 $+14^{\circ}\text{C}$ での加工では破断後も完全にオーステナイトのままであった。

加工誘発マルテンサイトの最も典型的な例を **Photo. 3** (a), (b) に示す。両者とも -11°C で 34% 引張加工後の組織である。Photo. 3 (a) では非常に細かいマルテンサイトが密集して存在しており、しかもある方向性をもって生成されている。その様相はあたかも雁が群飛するが如くであり、Photo. 1 に示したようなサブゼロマルテンサイトとは著しく形態の異なった特異なものである。また、Photo. 3 (b) に示すように杉の葉を並べたような細長いマルテンサイトが、

Photo. 3 Optical micrographs of strain-induced martensite in Fe-Ni-C alloy deformed at -11°C (strain : 34%) ($\times 400 \times \frac{1}{2}$)

一つのオーステナイト粒内ではほぼ一方に並んで束状になって生成されているような形態を示すこともある。オーステナイトとの界面がきわめて乱れているのが一つの大きな特徴である。このように、加工誘発マルテンサイトには 2 種類のまったく形態の異なるマルテンサイトが存在しているよううかがえる。しかし数多くの組織写真から判断して、Photo. 3 (b) のような細長いマルテンサイトの束を横に切った断面が Photo. 3 (a) に示すような組織になると考えられる。このことは Photo. 3 (b) のように両者が存在するような組織を示す試料表面を一定厚さずつ研磨して連続的に組織変化を調べた結果からも、これらのマルテンサイトが細長い杉の葉状をなしたものであることが確かめられた。加工誘発マルテンサイトの特徴の一つとして、オーステナイト粒内ではマルテンサイト群がほぼ一方にそろって生成される。このことから Photo. 3 に示したように一つのオーステナイト粒内では、だいたい同じ形態をもったマルテンサイトが観察されることも説明できる。

Photo. 4 に各温度での引張加工によって生じたマルテンサイトの代表的な組織を示す。Md 点直下の 0°C では (a) に示すように Photo. 3 と同じような方向性をもったマルテンサイトが生成されている。また、マルテンサイトは局部的に群がって生成される。つまり、あるオーステナイト粒内では密にマルテンサイトが存在している一方、他の粒内ではほとんど観察されないところがある。マルテンサイト変態は一種のせん断により生じるものであるが、このマルテンサイト変態のせん断の方向に対し、外力によるせん断応力が最も大きくなるような方位のオーステナイトで優先的に変態がおこることになる。その結果各オーステナイト粒間でマルテンサイトの分布に粗密が生じるようになり、また、同一方向のせん断により生じるのでマルテンサイト群が大体一方に生成されるものである。このようにマルテンサイトの生成状態がオーステナイト粒によって異なるのも、加工誘発マルテンサイトの特徴のひとつである。ただしこの傾向は Md 点直下のように加工による誘発マルテンサイト量が少ない場合には非常に顕著に現われるが、加工温度

Photo. 4 Optical micrographs of strain-induced martensite in Fe-Ni-C alloy ($\times 300 \times \frac{1}{2}$)
(a) deformed at 0°C (strain : 46%) (b) deformed at -19°C (strain : 68%)
(c) deformed at -33°C (strain : 49%)

が低くなるとほとんどのオーステナイト粒に生成されるようになりあまり目立たなくなる。各温度で Photo.3 に示したような特異な形態の細かいマルテンサイトが生成されているが、これら以外に (b), (c) に示すような大きな plate 状マルテンサイトも存在している。このようなマルテンサイトは約 -19°C 以下の低温になるにつれてよく観察されるようになる。 -11°C や 0°C の場合でも、ごくわずかではあ

plate 状マルテンサイトであるのにたいし、73% 加工では plate 状マルテンサイトの数はほとんど増加せず、これらの間をうめるようにして Photo.3 (c) に示すような形態の小さなマルテンサイトが増加している。なお、このような加工の初期に生じる plate 状マルテンサイトは各オーステナイト粒内で自由に生成され、一方向にそろっているということはない。 -11°C での引張りでは破断までに約 110%

という異常な伸びを示すが、この場合歪量の増加に伴い Photo.3 に示したようなマルテンサイトが刻々増加していた。しかし plate 状マルテンサイトはほとんど見あたらなかった。

Photo.3 に示すような Md 点と Ms 点の間の比較的高温で生じる特異な形態の加工誘発マルテンサイトの透過電子顕微鏡組織を Photo.6 に示す。 -15°C で 43% 引張加工後の組織である。オーステナイトは加工を受けているため転位密度が高い。マルテンサイト内には変態双晶が存在せず、格子欠陥として転位の存在する untwinned martensite である。mid-rib も認められない。Photo.7 も -15°C で加工し

Photo.5 Optical micrographs of strain-induced martensite in Fe-Ni-C alloy deformed at -27°C ($\times 300 \times 3.6$)
(a) strain : 23% (b) strain : 73%

るが存在していた。これらは明瞭な mid-rib があり、サブゼロマルテンサイトと似ている。ただし幾分境界が不規則である点が異なる。また、変態後加工を受けているため、マルテンサイト内には変形双晶が観察される。本研究で用いたような成分の Fe-Ni-C 合金では、このような温度では双晶変形をおこすことはすでに著者の一人によって発表されている⁽¹⁵⁾。このような plate 状マルテンサイトは引張加工の初期に生成されたものである。このことはつぎの写真で明らかである。Photo.5 は -27°C で 23% 加工したものと 73% 加工したものの組織を示す。23% 加工では大部分

Photo.6 Transmission electron micrograph of strain-induced martensite in Fe-Ni-C alloy deformed at -15°C (strain : 47%)

Beam// $[\bar{1}\bar{1}1]_{\alpha'}$ Beam// $[\bar{1}01]_{\gamma}$
Photo.7 (a) Transmission electron micrograph of strain-induced martensite in Fe-Ni-C alloy deformed at -15°C (strain : 47%)
(b) Diffraction pattern of the area A (martensite) framed in micrograph (a)
(c) Diffraction pattern of the area B (austenite) framed in micrograph (a)

(15) I. Tamura, H. Yoshimura, N. Iwasaki and M. Ibaraki : Memo.Inst.Sci.Ind.Res. Osaka Univ., 22 (1965), 41.

たときの組織であり、(b)、(c)は(a)中の枠 A、B で示す部分の制限視野電子線回折像である。一般に電子線回折では厳密な結晶方位関係を決定するのは困難ではあるが、これからオーステナイトとマルテンサイト間の結晶方位関係として、ほぼ $(011)_a // (111)_r$, $(\bar{1}\bar{1}1)_a // (\bar{1}01)_r$ なる関係が得られる。これはいわゆる K-S 関係と呼ばれているものである。

(2) Ms 点以下の温度で残留オーステナイトから加工誘発されるマルテンサイト

Ms 点以下の温度で引張加工を与えた後の組織を Photo. 8 に示す。この場合、加工開始前にすでにサブゼロマルテンサイトが生成されている。Photo. 8(a)は -60°C で 21% 加工したときの組織である。Photo. 1 が加工開始前の状態を示している。加工後はサブゼロマルテンサイトの間をうめるようにして、残留オーステナイトから plate 状マルテンサイトが稲妻状に生成されている。しかし Photo. 8(a)の中央上部に見られるように、ごくわずかではあるが Ms 点以上で観察された特異な形態の小さなマルテンサイトも生成されている。このような小さなマルテンサイトは約 -70°C 以下では観察されなかった。Photo. 8(b)は -120°C 加工の場合であるが、plate 状マルテンサイトでうめつくされており、変形双晶が多い点を除けば液体窒素中に単にサブゼロしたときと同様な組織である。

以上、すべて Fe-Ni-C 合金の結果を述べたが、Fe-Ni 合金の場合も同様な傾向がみられた。

Photo. 8 Mixed structure of thermally transformed and strain-induced martensite in Fe-Ni-C alloy deformed at the temperatures below Ms ($\times 425 \times \frac{1}{2}$)
(a) at -60°C (strain : 21%)
(b) at -120°C (strain : 15%)

IV. 考 察

引張加工中にマルテンサイトが生成されるときには、応力-歪曲線に顕著なセレーションが認められた。Fig. 1 に代表的な温度での応力-歪曲線を示す。これから明らかにように、Ms 点 (-35°C) 以上の温度では引張温度が下がるにつれてセレーションの生じるまでの歪量は小さくなり、セレーションの振幅は大きくなる。このことは、低温になるにつれてより小加工で、しかも一度により多くのマルテンサイトが生成されることを示している。さらに Ms 点直上の -33°C の場合には、非常に低い応力、小さい歪のところでも大きなセレーションが認められるようになる。すなわち応力-歪曲線の立上りの段階ですでに大きなセレーションが存在する。このような立上り部でのセレーションは -27°C 位から認められるようになる。Ms 点以下になると、セレーションは再び小さくなり、さらに低温になるとついに認められなくなる。これは、加工開始以前に、残留オーステナイト量が Ms 点以下低温になるにつれて減少するので、その結果加工により生成するマルテンサイト量が少なくなるためである。ただし、Ms 点以下でみられる小さなセレーションは応力-歪曲線の立上り部から連続的に認められ、このことから変形開始とともにすぐにマルテンサイトが生成するものと考えられる。

Fig. 1 Stress-strain curves of Fe-Ni-C alloy during tensile test at various temperatures

Fe-Ni および Fe-Ni-C 合金とも、前述のように加工によって 2 種類の形態のマルテンサイトが誘発されることが明らかになった。つまり主に Ms 点以下の加工で誘発される plate 状マルテンサイトと、主に Md 点と Ms 点との間の温度での加工により誘発される、サブゼロマルテンサイトと著しく異なる特異な形態をなしたマルテンサイトの 2 種類であり、Ms 点付近では両者が混在している。Ms 点付近の温度で加工したときの組織観察の結果からみて、plate 状マルテンサイトは加工の初期に形成されと考えられる。Ms 点直上の引張りの場合、応力-歪曲線の立上り部ですでに大きなセレーションが認められたが、この段階で生成されるマルテンサイトはこのような plate 状マルテンサイトであろう。しかし、 -19°C の場合には立上り部でセレーションは認められなかったが、加工後の組織観察 (Photo. 4(b)) によると、かなりの plate 状マルテンサイトが存在していた。それゆえ、必ずしも応力-歪曲線の立上り部の小加

工で生じたものだけが plate 状マルテンサイトであるというわけではないが、いずれにせよ比較的小加工で生じるものである。一方、Photo.3 に示したような特異な形態をなしたマルテンサイトは、plate 状マルテンサイトと異なり、オーステナイトの加工がかなり進んだ段階で生じるものである。このことを明らかにしたのが Photo.5 である。

そこで、Ms 点と Md 点の間での加工により生成されるマルテンサイトの特異な形態が、加工中に誘発されたマルテンサイト特有のものであるかどうかを明らかにする必要がある。つまり、加工誘発マルテンサイトの形態の異常性には次の二つの効果ははたらいっている可能性が考えられるからである。すなわち、(1) 加工された状態のオーステナイトからマルテンサイトが生じるための効果、つまりオースフォーミングの効果、(2) 加工中に plate 状マルテンサイトが誘発されるのであるが、その後の加工によって形態が変化する可能性、つまりマルテンサイトの加工の効果が考えられる。一般にオースフォームした後に生成されるマルテンサイト (ausformed martensite) の形態は、オーステナイト中の迂り帯などの干渉によりマルテンサイト葉は微細化し、かつ境界が不規則になっている⁽¹⁶⁾、本質的にサブゼロマルテンサイトと異なるものではない。Photo.9 は、このことを明らかにしたもので、Fe-Ni-C 合金を -11°C で 71% 引張った試験片の表面を研磨して etch し誘発マルテンサイトの組織を出した後、 -60°C にサブゼロしたときの組織である。この場合、サブゼロマルテンサイトは surface relief として認められており、加工中に生じたマルテンサイトとははっきり区別できる。これからわかるように、 -11°C 加工により小さな特異なマルテンサイトが誘発されているが、これを -60°C にサブゼロすると、残りの加工をうけたオーステナイトの一部に plate 状のマルテンサイトが稲妻状に生成されている。これが ausformed martensite である。この組織からも、誘発マルテンサイトの特異な形

Photo.9 Mixed structure of strain-induced and ausformed martensite in Fe-Ni-C alloy deformed at -11°C (strain: 73%), and then cooled to -60°C . Ausformed martensite is recognized as surface relief ($\times 425 \times \frac{1}{2}$)

態が単にオースフォーミングの効果に起因するものでないことは明らかである。次に、マルテンサイトの加工の効果については、Photo.4(b),(c), Photo.5 に示したように比較的加工の初期に生じた plate 状マルテンサイトが、その後の加工によってもさほど外形の変化がないことから考えて、加工によりマルテンサイトの形態が大きく変るとは考え難い。以上のことから、加工誘発マルテンサイトの特異な形態は ausformed martensite ととも deformed martensite とも異なり、引張加工中に生じる特有のものと考えられる。ただし、Ms 点直上で生成した plate 状の加工誘発マルテンサイトは Photo.4(b),(c), Photo.5 に示したように境界が不規則である。このことは、これらのマルテンサイトがオースフォーミングの効果を受けていることを意味する。つまりこれらは比較的加工の初期に生じたものではあるが、オーステナイトがある程度の加工をうけた後に生成されたものであらうと考えられるからである。一方 Ms 点以下で加工誘発される plate 状マルテンサイトは Photo.8 に示したように境界は不規則でない。これは、Ms 点以下の加工の場合、先にも述べた如く加工開始とともにすぐにマルテンサイトが誘発されるので、オースフォーミングの効果はほとんどうけていないためである。Ms 点以上の場合でも、応力-歪曲線の立上り部でセレーションが認められたが、このような小加工の段階で生じたマルテンサイトはサブゼロマルテンサイトと同様のきれいな plate 状を呈するものと考えられる。

本研究に用いた合金のサブゼロマルテンサイトは、Photo.1,2 に示した如く典型的な plate 状の partially twinned martensite であり、明瞭なる mid-rib を有する。また、著しい burst 現象を伴って変態する。それゆえ、従来の報告^{(17)~(19)}から考えて、これらは晶癖面が $\{259\}_\gamma$ 、結晶方位関係が N 関係の、いわゆる Umklapp マルテンサイトに属するものである。一方、特異な形態の加工誘発マルテンサイトは、格子欠陥として高密度の転位のみ存在するもので、変態双晶は認められなかった。また、結晶方位関係もほぼ K-S 関係を満していた。以上の事実から、このような加工誘発マルテンサイトは、いわゆる Schiebung マルテンサイトであると考えられる。このように、加工誘発マルテンサイトはサブゼロマルテンサイトとは変態機構そのものが変化していると推測される。Patterson ら⁽¹²⁾は Fe-Ni 合金の partially twinned martensite において、twinned region は Umklapp マルテンサイト、untwinned region は Schiebung マルテンサイトであると述べている。本研究の Photo.6 に示した加工誘発マルテンサイトの組織は、サブゼロマルテンサイト (Photo.2) の untwinned region の組織と同じ untwinned martensite である。Fe-Ni 合金において、

(17) 西山, 清水: 金属学会会報, **2** (1963), 153.

(18) C. M. Wayman: J. Iron Steel Inst. Special Rept., No.93 (1965), 153.

(19) 本間: 金属学会誌, **21** (1957), 51, 122, 126.

(16) 田村, 吉村, 茨木, 多賀谷: 金属学会誌, **27** (1963), 206.

25%~30% Ni では Schiebung と Umklapp が共存するが、高温では Schiebung 変態がおこり、その最低温度が -10°C 付近にあり⁽¹⁹⁾、それ以下の温度で Umklapp 変態がおこる。以上のことを併せて考えて、本研究のように本来の Ms 点以下で Umklapp 変態をおこす合金でも、加工によって Ms 点以上で加工誘発マルテンサイトが生成されるような場合には、変態機構が変り Schiebung マルテンサイトが生じる可能性は十分考えられる。

Fe-Cr-Ni 系合金や Fe-Mn 系合金では、加工により誘発される α' および ϵ' マルテンサイトについて数多くの研究がなされている^{(7)~(10)}が、サブゼロマルテンサイトと比べ、形態そのものについては大きな差は認められていない。これは、このような合金では加工によってもマルテンサイト変態の機構が変化しないためであろう。一方、Fe-Ni 系合金では、前述した如く加工誘発マルテンサイトの一部は Umklapp から Schiebung へと変態機構が変化するため、サブゼロマルテンサイトと著しく形態が異なる結果になったものと考えられる。

Fe-Ni 系合金での加工誘発マルテンサイトの形態については Reed⁽²⁰⁾ により Fe-35% Ni 合金 ($M_s < -196^{\circ}\text{C}$) での報告がある。彼は液体窒素温度で加工することによりマルテンサイト変態をおこさせている。このときの加工誘発マルテンサイトは plate 状を呈しており、特異な形態のものは認めていない。この場合、Ms 点以上の温度での加工ではあるが、液体窒素温度という低温の加工であるため、たとえ加工誘発によるとしても Umklapp から Schiebung への変態機構そのものの変化がおこらなかった可能性が考えられる。しかし、本研究における Ms 点以上の加工の場合でも、Ms 点直上ではサブゼロマルテンサイトと同じ形態のマルテンサイトが生成している。Fe-35% Ni において液体窒素温度がたまたま Ms 点直上であったため、plate 状マルテンサイトののみが存在する結果になったのかも知れない。今後さらに種々の Ms 点をもつ合金での加工誘発マルテンサイトの形態について検討していく必要がある。

(20) R.P. Reed : Acta Met., 15 (1967), 1287.

V. 結 論

Fe-29% Ni-0.26% C および Fe-31% Ni 合金を用い、種々の温度で引張加工を与え、加工により誘発されたマルテンサイトの形態について研究した結果、次のことが明らかになった。

(1) 引張加工により、サブゼロマルテンサイトとは著しく形態の異なる特異なマルテンサイトが生成される。このようなマルテンサイトは Md 点と Ms 点の間の温度範囲で顕著にみられるが、Ms 点直下でもごくわずかではあるが生成される。これらは ausformed martensite とともに deformed martensite とともに形態の異なるもので、加工中に誘発された特有のマルテンサイトである。

(2) サブゼロマルテンサイトは burst 変態をおこし、mid-rib の存在する plate 状の partially twinned martensite であり、いわゆる Umklapp マルテンサイトであるのにたいし、引張加工によって誘発された特異な形態のマルテンサイトは格子欠陥が転位であり、結晶方位関係はほぼ K-S 関係を満たしているところから、Schiebung マルテンサイトに属するものと考えられる。このように両者は変態機構そのものが異なると予想される。

(3) Ms 点直上では引張加工によってサブゼロマルテンサイトと同様な plate 状マルテンサイトも誘発される。ただし、これらは比較的加工の初期に生成されるものである。Ms 点以下の加工では残留オーステナイトからはほとんどすべて plate 状マルテンサイトが生成される。

(4) 加工誘発マルテンサイトは一般に各オーステナイト粒内では方向がそろっているのが特徴である。また、結晶粒によってマルテンサイト量が異なるのもサブゼロマルテンサイトと大きく異なる点である。ただし、加工誘発マルテンサイトのうち Ms 点直上または Ms 点以下の低温で生じる plate 状マルテンサイトは、サブゼロマルテンサイトと同様に稲妻状に生成される場合が多く、方向性はない。