

# 変態前加工が強磁場中での等温マルテンサイト変態に及ぼす影響

## Effects of pre-deformation on isothermal martensitic transformation in high magnetic field

<sup>1</sup> 東北大・金研 宮本吾郎, 古原忠, 高橋弘紀

<sup>2</sup> 東北大・工(院) 岩田直道, 高山直樹

G. Miyamoto<sup>1</sup>, N. Iwata<sup>2</sup> and N. Takayama<sup>2</sup>, T. Furuhashi<sup>1</sup>, K. Takahashi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

<sup>2</sup> Department of Metallurgy, Tohoku University

### 1. 背景および目的

構造用鉄鋼材料に用いられるラスマルテンサイト組織の組織制御法の一つとして、変態前のオーステナイトに加工を施し、マルテンサイト組織を高強度・高靱性化するオースフォーム処理がある。オースフォーム処理では、母相中に導入される変形組織がマルテンサイトの核生成を促進し、かつ成長を抑制するため組織が微細化されるとともに、特定のバリエントが優先的に生成することが明らかとなっている。このようなマルテンサイトのバリエント選択は強磁場中での変態でも発現することが期待されるが、実用上重要なラスマルテンサイト組織のバリエントの優先生成に関して磁場の影響は調べられていない。

そこで、本研究では、室温でオーステナイトが安定であり、サブゼロ処理することでラスマルテンサイトが生成する Fe-Ni-Mn 合金を用いて、母相の加工とサブゼロ処理中の磁場付加が生成するマルテンサイト組織に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、実験を行った。

### 2. 実験方法

Fe-20Ni-5Mn 合金を 1473K において溶体化した後、973K で温間一軸圧縮を施した加工材および加工せず冷却した無加工材を作製した。これらの試料を、強磁場超伝導材料研究センターの冷凍機冷却超伝導マグネット(15T-CSM)を用いて磁場中および無磁場中でサブゼロ処理した。試料には、前項で述べた無加工材及び 30%加工材を用い、本装置の磁場中心部に試料の圧縮軸(C.A. : compression axis)と磁場方向が平行になるように固定した。試料を固定している Cu 製の治具に熱電対を取り付け、ここで測定される温度を用いて温度制御を行った。室温から 150 K への冷却にはおよそ 12.6 ks 要した。13 T に到達した時を等温保持開始とし、86.4 ks 保持した後、磁場を励磁の時とは逆の手順で減磁し、冷凍機の電源を切って室温に戻した。

### 3. 結果

Fig. 1 に、無加工材(Fig. 1 (a, c))及び 973 K で 30%の加工を施した試料(Fig. 1 (b, d))のマルテンサイト組織の光学顕微鏡写真を示す。図中の M はマルテンサイト、 $\gamma$  はオーステナイトを表している。無加工材を磁場を印加せずに 213K で 86.4 ks 保持した試料(Fig. 1 (a))では、マルテンサイトは $\gamma$ 粒界及び焼鈍双晶境界から核生成しており、変態率は数%程度である。同条件の恒温保持を施した 973 K の 30%加工材(Fig. 1(b))では、マルテン

サイトは圧縮軸に対して垂直に近い焼鈍双晶境界から核生成しており、無加工材(Fig. 1 (a))と比べると変態率はかなり低い。602.8 ks までの保持時間では、これらのマルテンサイトの変態率はほとんど増加しないため、変態率を増加させることを目的として 150 K, 13 T の低温強磁場下で 86.4 ks の恒温保持を行った(Fig. 1 (c, d))。図中の H は磁場方向である。無加工材(Fig. 1 (c))では、変態率が著しく増加し、磁場を印加しない時(Fig. 1 (a))と同様に、マルテンサイトは $\gamma$ 粒界及び双晶境界から核生成する。また、1 つの $\gamma$ 粒内に伸長方向の異なるマルテンサイトが見られ、様々なバリエントのマルテンサイトが生成している。973 K の 30%加工材(Fig. 1 (d))では、磁場中に保持していない時(Fig. 1 (b))と同様に、マルテンサイトは圧縮軸に対してほぼ垂直な双晶境界から核生成しており、 $\gamma$ 粒内へほとんど成長していない。磁場を印加しない時(Fig. 1 (b))と比べると変態率は僅かに増加するが、無加工材(Fig. 1 (c))と比べると変態率はかなり低い。

無加工材を 223 K で 28.8 ks 保持して結晶方位測定を行った結果、マルテンサイトは $\gamma$ 粒界から生成し、両側の $\gamma$ 粒に対して最密面・最密方向が平行ないわゆる K-S 関係をほぼ満たしてしていることが分かった。このようなマルテンサイトの特徴は、同一試料において、双晶境界から核生成したマルテンサイトでも見られた。そのため、無加工材では、両側の $\gamma$ に対して K-S 関係に近い方位関係を有するマルテンサイトが優先的に生成し、 $\gamma$ 粒界や双晶境界におけるバリエント選択が強く働いていることが分かる。このことは、両側の $\gamma$ に対して K-S 関係を持つことが出来る限られた $\gamma$ 粒界で優先的にマルテンサイトが核生成することを意味している。

Fig. 2 に、973 K, 30%加工材を 150 K, 13 T の低温強磁場下で 86.4 ks 保持し、双晶境界から核生成したマルテンサイト(Fig. 1 (d)中の破線で示した領域)に対して結晶方位測定を行った結果を示す。Fig. 2(a)に見られるように、単一方位のマルテンサイトが両側の $\gamma$ 粒に成長している。Fig. 2(b)~(e)は、マルテンサイトと $\gamma_1$  または $\gamma_2$  の最密面( $(011)_\alpha$ ,  $(111)_\gamma$ )及び最密方向( $[111]_\alpha$ ,  $[011]_\gamma$ )の方位を同一ステレオ投影図中に示している。また、これらのステレオ投影図中には、各 $\gamma$ においてシュミット因子の最も大きいすべり系と 2 番目に大きいすべり系に、それぞれ赤丸と青丸をプロットしている。Fig. 2 (b)~(e)に示したように、マルテンサイトと $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  の最密面及び最密方向は $\sim 5^\circ$ 程度の小さな方位差の組合せがあることから、成長している側の $\gamma$  ( $\gamma_1$ )だけでなく、反対側

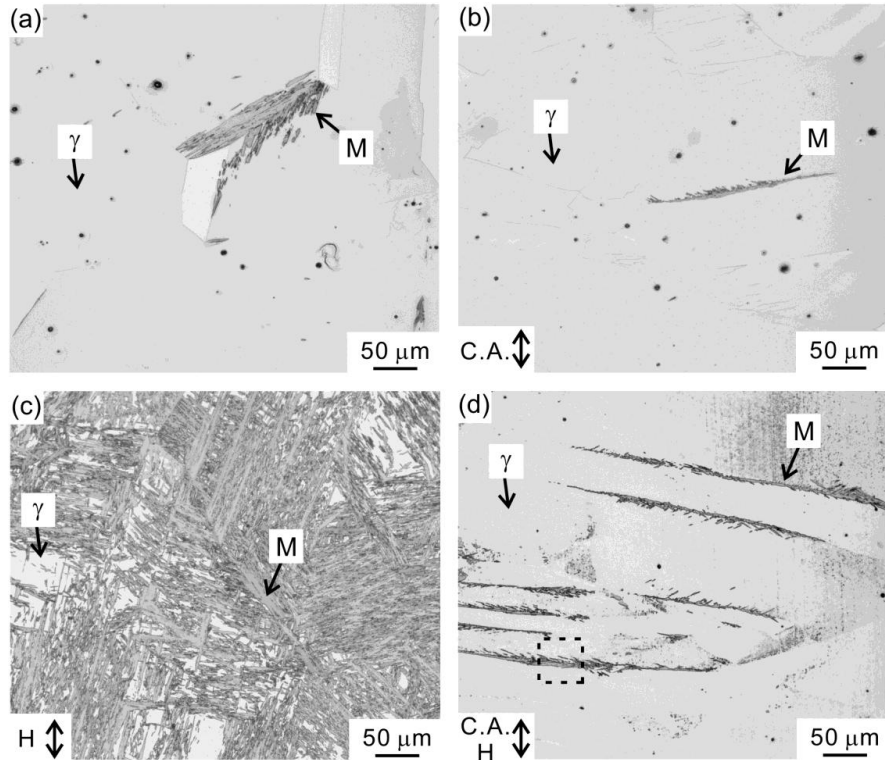


Fig. 1 光学顕微鏡組織, (a)無加工材(無磁場,213K サブゼロ処理) (b)30%加工材(無磁場, 213K サブゼロ処理), (c)無加工材(13T 磁場中 150K サブゼロ処理), (d)30%加工材(13T 磁場中 150K サブゼロ処理)

の $\gamma_2$ に対しても K-S 関係をほぼ満たしてマルテンサイトが生成していることが分かる. Fig. 2 (d)では, 平行関係にある最密面とシュミット因子の大きなすべり面が一致しているが, Fig. 2 (b, c, e)では, 平行関係にある最密面及び最密方向とシュミット因子の大きなすべり系は一致しない. このような平行関係にある最密面・最密方向とシュミット因子の大きな活動すべり系の不一致は同一試料中の他の双晶境界から核生成したマルテンサイトでも見られた. したがって, 変態前に加工を施しても,  $\gamma$ 粒界及び焼鈍双晶境界におけるバリエント選択則は変化していないことが分かる.

### 5. まとめ

オーステナイト母相が室温で準安定に存在する Fe-20Ni-5Mn 合金をサブゼロして生成するマルテンサイト組織に及ぼす変態前加工および磁場の影響を調べた. その結果, 加工を施すことで, マルテンサイトの生成量は減少するが, サブゼロ中に 13T の磁場を印加することで, その生成量は増加することが明らかとなった. いずれの試料においてもマルテンサイトはオーステナイト粒界や双晶境界から生成するが, 両側のオーステナイトに対して最密面・最密方向が平行な K-S 関係をほぼ満たして生成しており,  $\gamma$ 粒界でのバリエント選択則に加工や, 磁場の影響は見られなかった.

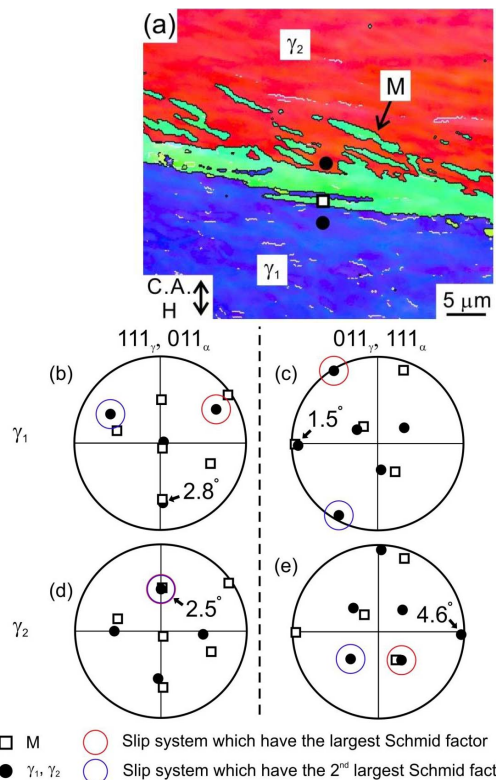


Fig. 2(a)30%加工後, 13T 磁場中 150K サブゼロ処理材の方位マップ, (b) $\gamma_1$  と M の  $111_\gamma$  および  $011_\alpha$  ステレオ投影図, (c) $\gamma_1$  と M の  $011_\gamma$  及び  $111_\alpha$  ステレオ投影図, (d) $\gamma_2$  と M の  $111_\gamma$  及び  $011_\alpha$  ステレオ投影図, (e) $\gamma_2$  と M の  $011_\gamma$  及び  $111_\alpha$  ステレオ投影図