

令和元年6月7日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K14842

研究課題名(和文)ラスマルテンサイトの組織形成および引張特性に及ぼす母相粒界の影響

研究課題名(英文) Effects of grain boundary on microstructure formation and tensile property of lath martensite

研究代表者

知場 三周 (Chiba, Tadachika)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10780356

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、加工硬化オーステナイトからマルテンサイト変態させることで鉄鋼材料を強靱化させるオースフォーミング処理を施した際の組織形成、および組織サイズと結晶学的特徴に及ぼす母相粒界の影響について明らかにすることを目的とした。母相粒径の異なる種々の試料に対してオースフォームを施し、間接的に母相粒界の影響を検討した結果、微細な母相粒径を有する試料では結晶学的な集合組織の発達を確認したが、粗大な母相粒径を有する試料ではその度合いは小さく、変態前加工時に問題となる力学特性の異方性を抑制できる可能性を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在自動車業界では、厳しい排出ガス規制や運転手の安全性の向上のため、鉄鋼材料のさらなる高強度化が求められる。しかし鉄鋼材料を高強度化すると遅れ破壊が顕在化し、高強度鋼では如何に遅れ破壊を抑制するかという技術的な課題となっている。本実験は靱性を保ちながら高強度化が可能なオースフォームについて検討を行っており、耐遅れ破壊特性を向上させる可能性がある。また、オースフォームは加工硬化状態のオーステナイトからのマルテンサイト変態である。したがって母相粒界も含めた種々の格子欠陥が如何にマルテンサイト変態に影響を及ぼすかを調査する本研究は学術的な意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：In this study, the effects of austenite grain boundary on microstructural evolution, its size and crystallographic character during ausforming process were investigated in Fe-high Ni alloys with different austenite grain size. Stronger crystallographic texture was developed in fine grained samples more than coarse grained samples after ausforming. This result indicates that variant selection by ausforming can be enhanced by refinement of austenite grain size.

研究分野：鉄鋼材料

キーワード：鉄鋼材料 マルテンサイト 加工熱処理 オースフォーム

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

加工硬化状態のオーステナイトからマルテンサイト変態させる変態前加工、いわゆるオースフォームは結晶粒の微細化に加え、オーステナイト中に導入された転位がマルテンサイト組織へと引き継がれる効果により、靱性を保ちつつ鉄鋼材料のハイテン化が可能な加工熱処理である。しかしながら、オーステナイト中の加工組織の影響により、オースフォームにより形成されるマルテンサイト組織には結晶学的な異方性が生じることが報告されている。これはバリエーション選択と呼ばれ、オーステナイトとマルテンサイト間の結晶方位関係を満たす 24 種類のバリエーションのうち、特定のバリエーションが優先生成するものである。筆者はオースフォームによるバリエーション選択の要因について検討しており、マイクロバンド(変形組織)および母相粒界がその主たる要因であると報告している<sup>①</sup>。しかしながら、マイクロバンドと母相粒界に起因するバリエーション選択則では、同じバリエーションが選択されるため、これらの効果の切り分けには至っていない。結晶学的な異方性を正しく制御することが出来れば、異方性を低減し、均質な材料の創生のみならず、異方性を有効的に活用することで曲げ性などの二次加工性の向上が見込まれる。以上の背景より、今後鉄鋼材料のさらなる高強度化を目指す加工熱処理の指針を得るため、また、変形組織中で発現するマルテンサイト変態についての学術的な理解のため、オースフォームによるバリエーション選択を明らかにすることが望まれる。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、単結晶試料に対してオースフォームを施し、発現するバリエーション選択について調査し、オースフォームによるバリエーション選択の主要因を明らかにすることを目的とした。実用鋼のマルテンサイト変態組織はラスマルテンサイト組織である。そのため、変態温度は室温以上である。従って、種々方法で単結晶を作製しても一度室温まで冷却すると 24 種類のバリエーション方位を持つ多結晶組織になる。そこで本研究では昇温時にせん断型逆変態により、元のオーステナイト方位が逆変態するメモリー効果を発現する Fe-高 Ni 合金を用いて行う。これにより、高温域のオーステナイト組織は単結晶となり、オースフォームの影響について調査することが可能となる。

しかしながら、本研究では初年度において、ブリッジマン法を用いて Fe-高 Ni 合金の単結晶試料の作製を試みたが、実験に用いるだけのサイズの単結晶試料を得ることが出来なかった。そこで、種々のオーステナイト粒径を有する試料に対してオースフォームを施した際に形成される組織について調査し、間接的ではあるが、オースフォームによるバリエーション選択に対する変形組織と母相粒径の影響を調査した。

### 3. 研究の方法

本研究では、供試材として Fe-23Ni 合金を用いた。受け入れ材には Ni 元素の偏析が確認されたため、1150℃、4 日間の均質化処理を施した。均質化したインゴットより、8mm $\times$ 8mm $\times$ 12mm の試料を切り出し、加工熱処理を施した。試料は初め、結晶粒径を制御するため、950℃~1250℃で 10 分のオーステナイト化処理を施し、室温まで冷却した。その後 700℃に加熱した炉の中で 10 分間保持し、圧延機により 45%までの熱間圧延を施し、水焼き入れた。以上の加工熱処理を施した試料について、光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡により組織観察を行い、電子線後方散乱回折法により結晶方位解析を行った。

### 4. 研究成果

図 1 にオーステナイト粒径が 170 $\mu$ m(Coarse-Grained, CG)試料と 30 $\mu$ m(Fine-Grained, FG)試料の無加工材および 50%-ausformed 材の方位マップを示す。無加工材の組織を見ると、CG 材では、典型的な低炭素鋼ラスマルテンサイト組織が観察され、粗大なパケットおよびブロック組織が形成している。一方、FG 材ではパケットおよびブロック組織が観察されるものの、同一のオーステナイト粒ないで形成されるパケットおよびブロックの数は限られ、一つのオーステナイト粒内には 2~3 のバリエーションのみが形成する組織となっている。これに対して 50%オースフォームを施した CG 材では、縦軸に対して、40~60° 傾いた長手方向を持つブロック組織が多く観察された。したがって本試料では、既に報告されているマイクロバンドあるいは母相粒界に起因するバリエーション選択則<sup>①</sup>が発現してい

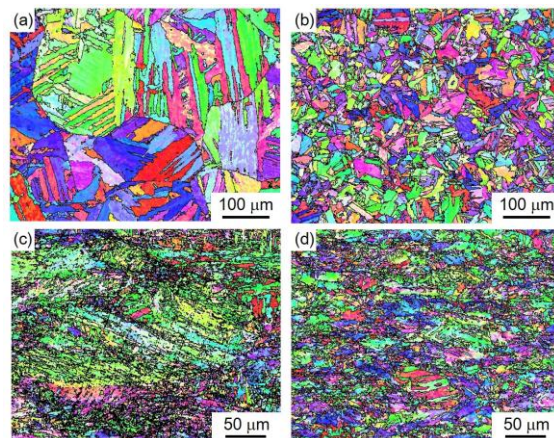


図 1 (a,c)CG 材および(b,d)FG 材の方位マップ。

(a),(b)無加工材および(c),(d)50%-ausformed 材である。

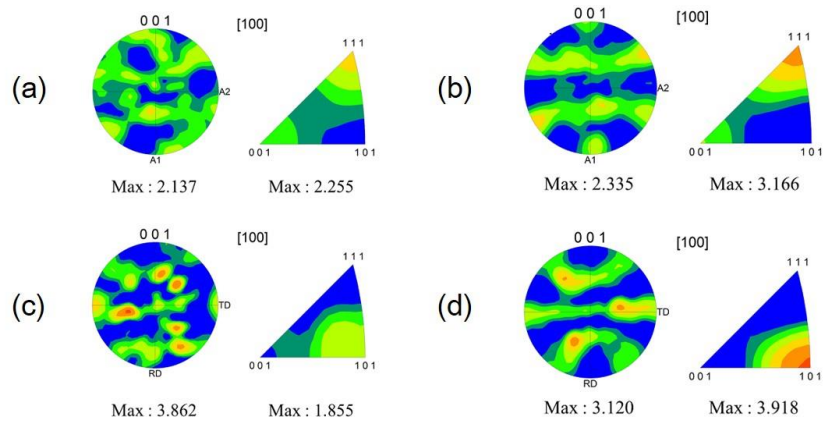


図2 (a,c)CG材および(b,d)FG材の極点図および逆極点図。(a)および(b)無加工材および(c)および(d)は50%-ausformed材である。解析した面積は0.5 mm×0.5mmである。

るものと考えられる。FG材でも組織は微細なものCG材と同様の組織が観察された。

それぞれ同じ解析領域(0.5 mm×0.5 mm)から得られた逆極点図を図2に示す。図1(c)および(d)はMiyamotoら<sup>2)</sup>が考案した母相オーステナイト粒組織再構築計算法により得られたオーステナイトの逆極点図である。図からわかるように、単位面積当たりの集合組織の発達には母相オーステナイト相およびマルテンサイト相のどちらもFG材のほうが強く発達している。これは、母相粒径が小さくなると、変形組織の発達が促進され、これによりバリエーション選択も助長されたものと考えられる。解析領域内に含まれるオーステナイト粒の数が異なるため、CG材とFG材を統計的に直接比較できないものの、実際に用いられる部品で考慮する場合、オーステナイト粒径を粗大化することでオースフォームにより発達する結晶学的な集合組織を抑制することができると思われる。

図3に各試料のVickers硬度および大角粒界の平均切片長さを示す。無加工材におけるVickers硬度の差は、結晶粒微細化効果によるものであり、50%のオースフォームを施すとCG材およびFG材の硬度の差は小さくなる。一方その組織のサイズは、無加工材では大きく異なっているものの、50%のオースフォームを施したCG材およびFG材ではその差はほぼ無く、同じ組織サイズを有する。従って、オースフォームされた試料の組織サイズは加工熱処理前の組織サイズに影響されず、粗大な組織であっても十分微細化され、高強度化が達成されるものと考えられる。

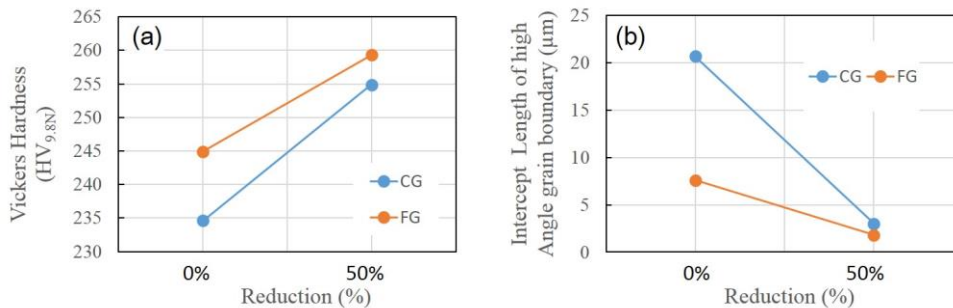


図3 各試料のVickers硬度および第確粒界の平均結晶粒径

以上のように、オースフォームにより発達する組織において、母相粒径を粗大化することで集合組織の発達を抑制でき、また、オースフォームにより形成されるマルテンサイト組織のサイズはオースフォーム前のオーステナイト粒径のサイズによらず微細化され、オーステナイト粒径の影響は小さいことが分かった。オーステナイト粒径を粗大にすることで、加工時の荷重を小さくすることができるため、部材の大型化あるいは加工の低温化が可能となり、鉄鋼材料のさらなる高強度化が達成可能であると考えられる。一方、当初目的とした母相粒界の影響については今後手法を変えて調査する必要がある。

<引用文献>

- ① T. Chiba, G. Miyamoto and T. Furuhashi, ISIJ Int., 53 (2013) pp.915-919.
- ② G. Miyamoto, N. Iwata, N. Takayama and T. Furuhashi, 58 (2010) pp.6393-6403.

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

なし

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。