

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 15日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2010～2011

課題番号：22686065

研究課題名（和文）超微細ラスオーステナイトを初期組織とする鉄鋼材料の次世代組織制御技術の提案

研究課題名（英文）The proposal for the next-generation microstructural control technique of steel by using ultra-fine lath austenitic starting structure

研究代表者

中田 伸生（NAKADA NOBUO）

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：50380580

研究成果の概要（和文）：微細粒構造用鋼の創製を目的に、マルテンサイト逆変態により形成されるラスオーステナイト組織の特徴ならびにそこから得られる変態組織を調査した。その結果、モデル合金を用いることでラスオーステナイト組織が高密度の転位を有した微細ラス組織を有することがわかり、適切な合金設計と熱処理条件を施すことで低合金鋼においてもマルテンサイト逆変態が生じることが示唆された。

研究成果の概要（英文）：For the production of fine-grained structural steel, the microstructural characteristics of lath austenite formed by martensitic reversion and the microstructure transformed from it were investigated. As a result, it was confirmed in a model steel that the lath austenite has fine lath structure containing high-density dislocations. In addition, it was suggested that martensitic reversion takes place even in a low alloyed steel under the specific condition controlled by alloy designing and heat treatment.

交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2010年度 | 11,500,000 | 3,450,000 | 14,950,000 |
| 2011年度 | 3,300,000  | 990,000   | 4,290,000  |
| 年度     |            |           |            |
| 年度     |            |           |            |
| 年度     |            |           |            |
| 総計     | 14,800,000 | 4,440,000 | 19,240,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：鉄鋼材料、超微細粒、相変態、組織制御、マルテンサイト変態

## 1. 研究開始当初の背景

多結晶金属の緒特性は結晶粒に強く依存しており、強度、靱性などの機械的性質は結晶粒径の微細化に伴って向上することが一般的に知られている。そのため、鉄鋼材料を中心とする構造用金属材料では、結晶粒径を極限まで微細にしようとする超微細粒研究が世界的に進められており、近年ではサブミクロンサイズの結晶粒を有するバルク鉄の

創製が可能となった。しかし、これらの研究では超微細粒鋼を得るために室温において莫大な歪（真歪 2 以上）を付与する巨大歪加工プロセスが必要となるほか、大量生産できないことなどが実用化に向けた大きな課題となっている。これに対して、実用鉄鋼材料では制御圧延・加速冷却を駆使した組織制御技術(TMCP)によって結晶粒微細化が図られているが、これにより得られるフェライト鉄の

結晶粒径は  $5\mu\text{m}$  が限界とされている。これは、変態前の加工オーステナイト組織が高温で生じる回復によって高い核生成能を失うことに起因している。つまり、通常のオーステナイトよりも核生成能を失い難い微細組織を得ることが出来れば、従来の TMCP 技術を用いて微細粒鉄鋼材料の創製が容易になると期待される。

## 2. 研究の目的

現状の組織制御技術を鑑み、初期組織であるオーステナイトの超微細化することで、そこから得られる組織の微細化を試みる。その具体的手法として、マルテンサイト逆変態に注目した。マルテンサイト逆変態とは、せん断かつ無拡散によってオーステナイトへ相変態する現象であり、これまで原子の拡散が困難となる高合金鋼でのみ確認されている。これにより得られるオーステナイトは非常に微細な組織を持ち、優れた熱的安定性を有していると考えられており、本研究に適した組織であると言える。しかしながら、このマルテンサイト逆変態により形成したオーステナイト組織を室温で観察した例は少なく、その本質はよくわかっていない。そこで、本研究では、まず、(1) モデル合金を用いてラスオーステナイトの組織評価を行い、ついで、(2) 低合金鋼におけるマルテンサイト逆変態の発現条件を調査した。

## 3. 研究の方法

まず、(1) モデル合金である  $18\%Ni-0.6\%C$  鋼に対して図 1 に示した二段階の溶体化処理を施す。これは炭化物の析出・溶解を利用してオーステナイトの熱的安定度を意図的に変化させる熱処理であり、これによってマルテンサイト逆変態により形成するラスオーステナイトを室温で得ることを試みた。このようにして得られたラスオーステナイトについて各種電子顕微鏡を用いた組織観察を行い、その特徴を調査した。

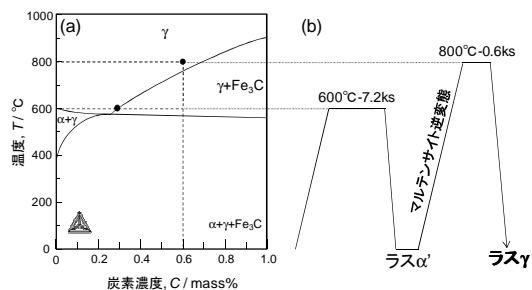


図 1. (a)  $18\%Ni-C$  鋼の平衡状態図と (b) モデル合金に施した熱処理工程

ついで、(2)  $Mn-0.15C$  低合金鋼に対して、様々な速度で昇温を施し、マルテンサイト逆変態が発現する条件を探索した。さらに、そのラスオーステナイトから得られる変態組織の特徴を調査し、ラスオーステナイトの初期組織としての有用性を吟味した。

## 4. 研究成果

### (1) モデル合金におけるラスオーステナイトの組織評価

モデル合金である  $18\%Ni-0.6\%C$  鋼に対して、炭化物の析出・溶解を促す熱処理を施すことにより、マルテンサイト逆変態によって形成したオーステナイト組織を室温にて得ることに成功した。図 2 は、得られたオーステナイト組織の透過電子顕微鏡写真を示している。マルテンサイト逆変態により形成したオーステナイト組織は、ラスオーステナイトと呼ぶべき、高密度の転位を含有した微細ラス組織を有していることがわかった。ただし、図 3 の結晶方位マップに示すように、これらの個々のラスはほぼ同じ結晶方位を有していることも同時にわかった。

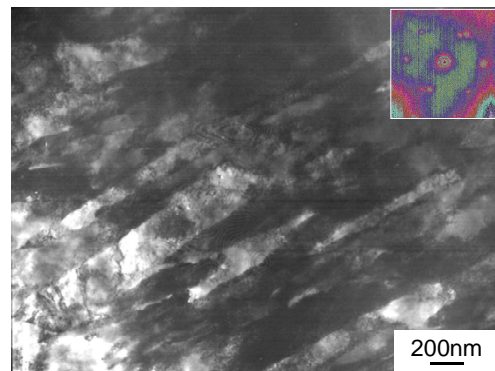


図 2. マルテンサイト逆変態により形成したオーステナイトの透過電子顕微鏡組織

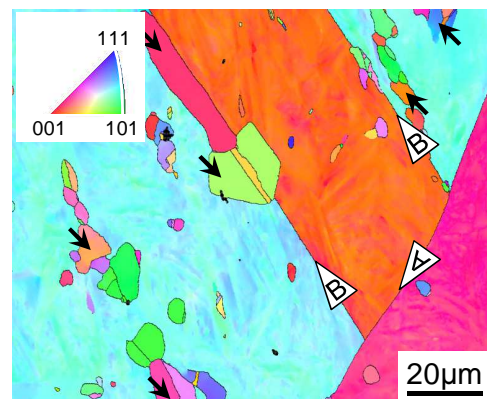


図 3. マルテンサイト逆変態により形成したオーステナイトの結晶方位マップ (電子線後方散乱法により取得)

以上の実験結果に加え、結晶学に基づいた詳細な考察の結果、マルテンサイト逆変態では、ラスマルテンサイト組織中に存在した微細なラス組織がせん断型無拡散変態によって変態後のオーステナイト組織中に維持されるものの、その結晶方位はももとのオーステナイトと同一方位に戻るという memory effect 効果が発現することが明らかとなった(図4)。ただし、ラスオーステナイトの熱的安定性は本質的にはそれほど高くはないことが示唆され、微細粒鋼創製の初期組織として活用するためには合金元素の微量添加などが必要であることと考えられる。

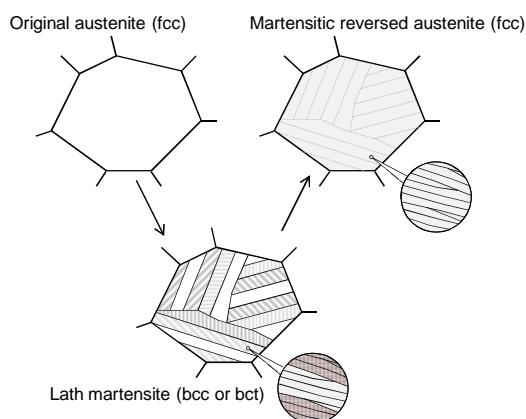


図4. マルテンサイト逆変態により生じる組織変化の模式図

## (2) 低合金鋼におけるマルテンサイト逆変態発現条件の調査

(1~5)%Mn-0.15%C 鋼に対して、(0.1~450)K/s の昇温を施し、その際の逆変態点からマルテンサイト逆変態の発現条件を調査した。その結果を図5にまとめる。通常の拡散型逆変態が生じる場合、加過熱現象が発現するため、昇温速度の増大に伴って逆変態点が増加する。しかしながら、極めて高い昇温速度では、逆変態点が増加しなくなるという不連続的な現象が明らかとなった。つまり、低合金鋼においても、極めて大きな昇温速度においてはマルテンサイト逆変態が生じることが初めて実証された。さらに、マルテンサイト逆変態により形成したオーステナイトを初期組織として得られる焼入れ後のマルテンサイト組織は、通常のマルテンサイト組織に比べて転位密度、硬度が高いことが確認された。なお、本供試材は低合金鋼であることも相まって、その熱的安定度が低く、ラスオーステナイト組織が容易に再結晶してしまうため、ラスオーステナイト組織からのフェライト変態など、その他の変態機構による生成物の特性については調査することが出来なかった。

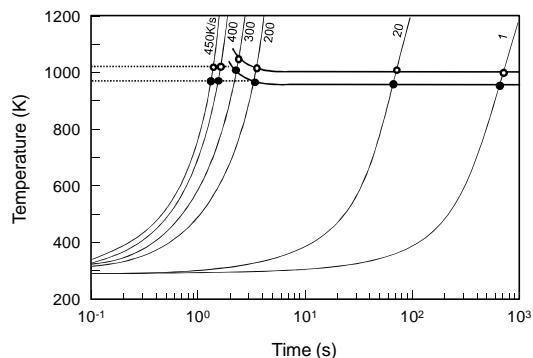


図5. 5%Mn-0.15%C 鋼における逆変態温度の昇温速度依存性

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

① 深川 怜史、中田 伸生、土山 聡宏、高木 節雄、せん断型逆変態により形成されるオーステナイト組織、日本鉄鋼協会春季講演大会、平成 24 年 3 月 29 日、横浜国立大学(横浜市)

② 中田 伸生、せん断型逆変態により生成したオーステナイト組織の特徴、高温強度と組織形成の材料科学研究会(招待講演)、平成 23 年 8 月 26 日、榑川荘(高松市)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)  
なし

○取得状況(計0件)  
なし

〔その他〕

ホームページ等

<http://takaki.zaiko.kyushu-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

中田 伸生 (NAKADA NOBUO)

九州大学・工学研究院・助教

研究者番号：50380580

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし