

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：15201

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22468

研究課題名（和文）極低炭素鋼ラスマルテンサイトにおける短いき裂の進展機構の解明

研究課題名（英文）Elucidation of short crack propagation mechanism in ultra low carbon lath martensite

研究代表者

植木 翔平（Ueki, Shohei）

島根大学・学術研究院理工学系・助教

研究者番号：50880382

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,700,000円

研究成果の概要（和文）：ラスマルテンサイト鋼におけるき裂進展機構を解明するため、き裂先端近傍の転位運動を透過型電子顕微鏡内で直接観察し、組織要素レベルでのき裂進展挙動との対応付けを行った。き裂先端およびき裂前方での転位挙動のその場観察の結果、き裂先端からの転位放出よりも先に、き裂前方の既存転位の活動が起こった。さらに、き裂先端からの転位放出が起こるまで荷重を負荷すると、既存転位の活動は顕著になり、既存転位同士の絡まり合いが起こった。これらのことは、ラスマルテンサイトの疲労き裂進展において重要な役割を担う、転位セル構造は、き裂前方の既存転位の活動および既存転位同士の絡まり合いによって形成されることを示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、透過型電子顕微鏡を用いてラスマルテンサイト鋼のき裂先端における転位運動を直接観察し、先行研究で報告されているブロック内き裂進展と対応付けることで、き裂進展機構の理解を深めることに成功した。さらに、透過型電子顕微鏡内で引張荷重を負荷する試験片の観察領域に、所望の結晶方位を有する組織を配置する手法の確立に成功し、その応用範囲はきわめて広い。本研究で得られた成果は、き裂先端近傍の塑性変形挙動をトランススケールで理解し、き裂進展機構の解明に貢献する重要な知見を提供するものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, the dislocation motion near the crack tip was directly observed using a transmission electron microscopy and associated with microstructurally fatigue crack propagation of lath martensite steel to clarify the crack propagation mechanism. In-situ observation of dislocation motion revealed that the activation of pre-existing dislocations ahead of the crack tip occurred prior to the dislocation emission from the crack tip. When the applied load reached a level at which the dislocation emission from crack tip occurred, the activity of pre-existing dislocations became remarkable, and the dislocations were tangled with each other. These findings suggest that the dislocation cell structure, which plays an important role in the fatigue crack propagation of lath martensite, is formed by the activation and tangle of pre-existing dislocations ahead of the crack tip.

研究分野：疲労き裂進展

キーワード：ラスマルテンサイト き裂 転位

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属材料の疲労破壊は、き裂の発生、進展および最終破壊の3つの過程に分類される。特にき裂の進展過程を把握することは、疲労寿命を予測し、安全かつ経済的に機械構造物を使用する上で重要である。しかしながら、ラスマルテンサイトのように、非常に微細でかつ複雑な階層組織を有するものでは、疲労き裂進展の素過程を把握することが難しく、その詳細については未だ明らかとされていない。ラスマルテンサイトの構造は、旧オーステナイト粒、パケット、ブロック、ラスの順に小さくなっていく。これまでに、申請者は、切欠き先端に所望の単一組織要素(パケットや結晶粒など)を配置させた、超小型コンパクトテンション試験片を用いた疲労試験技術を開発し、パケット内における疲労き裂進展挙動に晶へき面方位依存性があることを見出している。また、晶へき面に平行なき裂進展の場合、疲労破面の下部組織には転位セル構造が形成されていた。さらに、ブロック内を進展したき裂後方には、セル壁に沿った副次き裂が観察された。マルテンサイト変態(無拡散変態)は、格子不変変形を経て達成されるため、その過程で多量の転位が導入される。これらのことは、鋼のラスマルテンサイト組織形成時に導入された転位組織が繰返し応力負荷により変化し、き裂進展機構を支配していることを示唆している。

延性金属材料のき裂開閉口プロセスは、き裂先端の微小領域における塑性変形に基づいている。そこで申請者は「鋼のラスマルテンサイト組織に既存の転位組織が、き裂の開閉口とどう相互作用するのか」を本研究の「問い」として設定した。

2. 研究の目的

本研究では、き裂先端近傍の転位運動を透過型電子顕微鏡(TEM)内で直接観察し、組織要素レベルでのき裂進展挙動と対応付けることで、ラスマルテンサイト鋼におけるき裂進展機構を解明する。実際に工業的に使用される大半のマルテンサイト鋼には、侵入型元素である炭素が含まれており、それらはマルテンサイト中の転位運動に直接影響を及ぼすだけでなく、下部組織を変化させて間接的に変形挙動を支配すると考えられている。そのため、本研究では、組織形態に影響を及ぼす炭素の影響を極力排除し、単純化されたラスマルテンサイト組織におけるき裂進展機構の解明を目指す。

3. 研究の方法

供試材には、炭素量 0.0026 mass% の極低炭素鋼を用いた。1473 K で 600 s 保持後、氷塩水中焼入れにより、全面ラスマルテンサイト組織を得た。切り出した試料をエメリー紙およびダイヤモンドペーストを用いて厚さ約 100 μm まで研磨した後、コロイダルシリカペーストを用いて鏡面に仕上げた。その後、電子線後方散乱回折(EBSD)法により、結晶方位を同定した。所望の結晶方位を有するパケットがTEM内引張試験片(俵型)の中央(観察領域)に配置するように打抜きを行い(図1)観察領域に対して集束イオンビーム(FIB)加工装置を用いて損傷(試料厚さの約8%)を付与した。その後、電解研磨(ツインジェット法)により損傷部近傍を薄膜化し、TEM内引張試験片とした。TEM内引張その場観察は室温にて実施した。

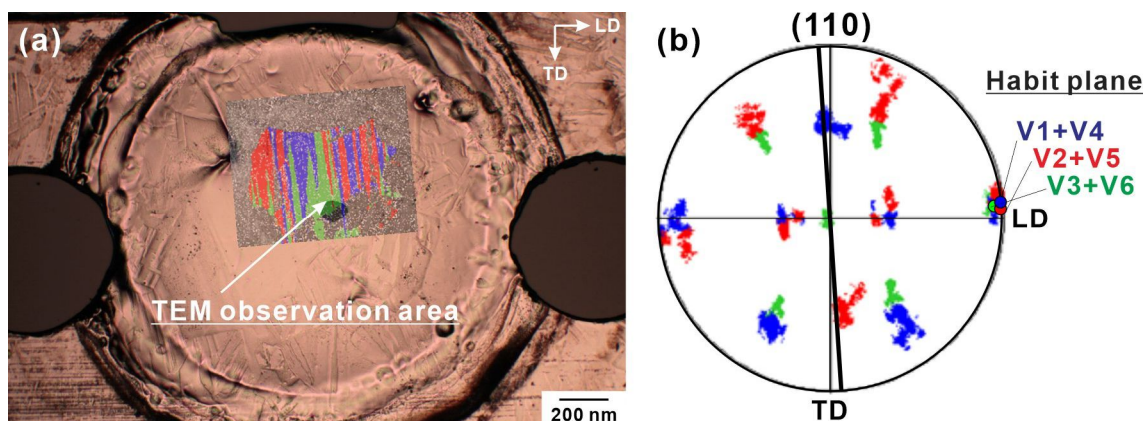


図1 (a) ブロック毎に色付けしたEBSD画像を重ねたTEM内引張試験片の光学顕微鏡写真および (b) EBSD画像に対応する(110)極点図

4. 研究成果

き裂先端およびき裂前方での転位挙動のその場観察の結果、き裂先端からの転位放出よりも先に、き裂前方の既存転位の活動が起こることを発見した。これは、前者よりも後者に必要な応力の方が低いことを示しており、先行研究で提案されている理論を支持する重要な結果である。

さらに、き裂先端からの転位放出が起こるまで荷重を負荷すると、き裂前方の既存転位の活動は顕著になり、既存転位同士の絡まり合いが起こった。これらのことは、ラスマルテンサイトの疲労き裂進展において重要な役割を担う、転位セル構造は、繰返し荷重下でのき裂前方の既存転位の活動および既存転位同士の絡まり合いによって形成されることを示唆している。

以上のように、TEM 内でラスマルテンサイト鋼のき裂先端における転位運動を直接観察し、先行研究で報告されているブロック内き裂進展と対応付けることで、き裂進展機構の理解を深めることに成功した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ueki Shohei, Mine Yoji, Lu Xinyu, Chiu Yu Lung, Bowen Paul, Takashima Kazuki	4. 巻 203
2. 論文標題 Effect of geometric lath orientation on fatigue crack propagation via out-of-plane dislocation glide in martensitic steel	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 114045 ~ 114045
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scriptamat.2021.114045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 植木翔平、峯洋二、高島和希
2. 発表標題 炭素鋼ラスマルテンサイトにおける超小型試験片を用いた疲労き裂進展挙動解析
3. 学会等名 日本鉄鋼協会2022年春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植木翔平
2. 発表標題 超小型試験片を用いた炭素鋼ラスマルテンサイトの疲労き裂進展試験
3. 学会等名 日本熱処理技術協会第92回講演大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------