

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：12614

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04936

研究課題名(和文) 海水中用高強度摩擦材の開発とその実用化

研究課題名(英文) Development of high-strength frictional materials for seawater and its practical application

研究代表者

藤野 俊和 (FUJINO, Toshikazu)

東京海洋大学・学術研究院・准教授

研究者番号：70508514

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、強度が高い金属(耐食性はないが工業的に多用される合金鋼)に、研究代表者らの研究グループが開発した摩擦改質処理と熱処理等を併用して密着性が高く海水における耐食性と低摩擦・耐摩耗性を有する表面を創生することによりこれらの性質を付与し、海水中にて使用できる高強度の摩擦材の開発を試みた。そしてこれら被覆層を有する高強度摩擦材の実用化を目指し、複合サイクル塩水噴霧試験とキセノンアークランプ式耐候性試験を実施して、実際の海洋環境における耐食性と長期耐久性を評価し、その効果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

海水中用高強度摩擦材に必要とされる条件は、耐食性、低摩擦・耐摩耗性が挙げられるが、これらを海洋環境の汚染なく満足する摩擦材は強度・耐久性に難がある高分子材料を除けばほとんどなく、またこの分野の研究自体も極めて少ないのが現状である。本研究では、強度の高い金属に、優れた耐食性と低摩擦かつ優れた耐摩耗性を独創的な方法で付与し、海水中にて使用可能な高強度の摩擦材の開発に資する有益な成果を得ることができた。これは学術的にも社会的にも意義のあることである。

研究成果の概要(英文)： In this study, aiming to develop a high-strength friction material that can be used in seawater, friction reforming technique developed by the research group of the principal investigator, and heat treatment were performed on the metals with high strength (alloy steel that has no corrosion resistance but is widely used industrially) to create a surface with high adhesion and corrosion resistance, low friction and excellent wear resistance in seawater. In order to put these coated high-strength friction materials to practical use, we conducted a combined cycle salt spray test and a xenon arc lamp weathering test to evaluate their corrosion resistance and long-term durability in actual marine environments, and confirmed their effectiveness.

研究分野：トライボロジー

キーワード：海洋環境 トライボロジー 表面改質 耐食性 低摩擦 耐摩耗性 高強度摩擦材

1. 研究開始当初の背景

海洋資源の利活用は、今後ますます進展してくるものと考えられ⁽¹⁾、それに伴い海洋資源探査機器・構造物等の性能や信頼性が重要となっている。これらには、多くの摩擦部分や微小なすべりを伴う継手等の接触部分があり、その摩擦・摩耗や腐食に対する技術的課題の解決が急務となっている。そのため、海水環境に適した各種ステンレス鋼の選別試験⁽²⁾、ダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜の海水中での性能評価^{(3),(4)}などが行われている。また、カソード防食技術を応用して摩耗を抑止しようとする試みもなされている⁽⁵⁾。しかし、潤滑油中での摩擦・摩耗研究に比べ、海水中での評価、材料開発研究は極めて少ないのが現状である。

本研究で取り上げる合金鋼は、腐食には弱くそのままでは使用できない材料である。一方、ステンレス鋼やチタン合金は、優れた耐食性を持つものの、摩擦・摩耗特性には難があり、また海水中では摩擦の繰り返しにより不動態膜が破断して腐食摩耗を生じることが知られている。これらの材料に、海水中における耐食性と低摩擦・耐摩耗性の両方を付与するには、適切な表面処理・表面改質が必要不可欠である。なお、テフロンやポリアミドなどの高分子材料は、低面圧では優れた特性を持つものの、高面圧下での使用には難があり、また膨潤による劣化が知られている。

2. 研究の目的

本研究では、主に強度が高い金属のうち耐食性には難があるが工業的に多用される合金鋼に、後述する摩擦改質処理と熱処理等を併用して密着性が高く海水における耐食性と低摩擦・耐摩耗性を有する表面を創生することによりこれらの性質を付与し、海水中にて使用できる高強度の摩擦材を開発し実用化を図ることを目的とする。

3. 研究の方法

研究代表者らのグループでは、基材と合金化しやすい硬質微細粉末を、キャリア粉末と混合して間断なく基材と工具の間に送り込み、局所的高面圧下で摩擦することにより(図1参照)、微細粉末による被覆層を創生する技術を考案している⁽⁶⁾。この被覆層をパニシ仕上して得られる表面は、(微細粉末の埋め込みと溶着を生じた領域)+(基材表面の露出した領域)が密に分散し、実用に耐える表面粗さをもつ面となる。

これらの処理(以降、摩擦改質という)は、容易に基材表面・表層に硬質微細粉末を埋入/冷間溶着させることを可能とするが、処理可能な基材はピッカース硬さ HV500 程度以下のものであり、それ以上の硬さをもつ基材に対しては適用できない。また、粉末の密着性が十分でないため、摩擦係数の高い条件でのしゅう動、例えば無潤滑下でのしゅう動などでは、粉末の脱落により耐摩耗性が低下する欠点がある。摩擦改質で創生された材料が、海洋環境中で高負荷を受けつつ、その性能を最大限発揮するためにはこれらの欠点を克服する必要がある。本研究では、この欠点を克服する方法として既存技術である熱処理の併用に着目する。

本研究では、摩擦改質と熱処理を併用して密着性が高く海水における耐食性と低摩擦・耐摩耗性を有する表面を創生するものであり、(1)工業的に多用されているしゅう動材料に海水に対する耐食性と低摩擦・耐摩耗性を付与することを試みる。これらでは(2)熱処理を援用して摩擦改質により被覆された微細粉末を拡散接合させて基材との密着性の向上と高強度化を試みる。さらに、耐食性のさらなる向上を目指して得られた被覆層の上に、鉄鋼の犠牲防食として使用されている亜鉛を被覆することを試みる。そして(3)各種腐食特性および耐摩耗性評価試験により、実環境下での使用に耐える海水中用高強度摩擦材を開発し実用化を図る。

具体的には得られた被覆層を有する材料に対して、

硬し試験と表面及び断面のEDX元素分析等を行い、硬質粉末の硬さと拡散浸透状況を調べ、その効果を確認する。

海水中における静的腐食試験を実施して防食効果を確認する。

交差円筒方式による摩擦試験を海水中で行い摩擦・摩耗低減効果を調べる。

以上に加え、海洋環境下に適合する被覆層を有する摩擦改質材の実用化に向けて、実際の海洋環境にて耐え得るか否かを評価するために、

塩水噴霧、乾燥、湿潤、浸漬等を組み合わせた複合サイクル塩水噴霧試験を実施して、実際の海洋環境における

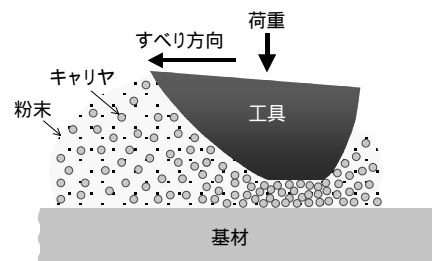


図1 被覆層創生原理

耐食性を短時間で評価し、その効果を確認する。

太陽光の紫外部および可視部の分光放射照度分布に極めて近似しているキセノンアークランプ式耐候性試験を実施して、実際の海洋環境における長期耐久性を短時間で評価し、その効果を確認する。

被覆作業、熱処理および から の評価試験を繰り返し、実用に耐える海水中用高強度摩擦材を創出する。

4. 研究成果

高強度かつ工業的に多用されている材料としてクロムモリブデン鋼(SCM435)を基材として、この表面と工具の間にアルミナ(Al_2O_3)、チタン(Ti)、クロム(Cr)、窒化チタン(TiN)および窒化クロム(Cr_2N)の各種硬質微細粉末とキャリア粉末としてHSS(High-Speed Steel)またはアルミナ(Al_2O_3)を混合したものを間断なく送りこみ、局所的高面圧下で摩擦する(摩擦改質処理)ことにより、基材表面に微細粉末による被覆層を創生した。その後、必要に応じて熱処理と亜鉛被覆処理を施した。これらの結果、実用に耐える表面粗さを有する面を創生することが確認できた。

作製された試験片に対して硬さ測定を実施し、硬さ分布を比較検討した。また表面・表層に存在する粉末粒子の分布状況(拡散浸透の有無)をEDX元素分析し考察した。これらと並行して海水中における腐食試験ならびに微小振幅往復動摩擦試験(フレッチング摩擦試験)を実施し、耐食性と耐摩耗性を調べ、それらの関係も評価した。さらに複合サイクル塩水噴霧試験と耐候性試験を実施し、実際の海洋環境における耐食性と長期耐久性を調べ、本手法の有効性を確認した。これらの結果、海水中にて使用可能な高強度摩擦材の開発に資する多くの有益な成果を得ることができた。これらは学術的および社会的に意義のあることである。

<参考文献>

- (1) 総合海洋政策本部,平成 21 年度版,海洋の状況及び海洋に関して講じた施策,内閣官房総合海洋政策本部事務局, pp.17-27 (2009) .
- (2) E.PEREZ・M.TANAKA・T. JIBIKI : Wear of Stainless Steels -Cause and Transition of Wear of Martensitic Stainless Steel, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol.48, No.5, pp.76-83 (2013) .
- (3) 志摩・根田・菅原・伊藤・地引 : Cr-Mo 鋼に被覆された DLC 膜の海水中における耐摩耗性改善, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol.47, No.2, pp.139-146 (2013).
- (4) 志摩・黄・根田・菅原・地引 : SUS304 鋼に被覆された DLC 膜のフレッチング摩耗 -海水中における摩耗特性とその改善, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol.49, No.2, pp.98-105 (2014) .
- (5) M.TAKEUCHI : Fretting and Fatigue of a Roping Steel in Seawater, Ph.D. Thesis (1988) .
- (6) 志摩(研究代表者) : 基盤研究(C) 海洋環境適合摩擦材の開発に関する基礎研究 (2011-2013) .

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 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kousuke Kinoshita, Toshikazu Fujino, Tatsuhiro Jibiki, Kento Takahashi	4. 巻 0
2. 論文標題 Simultaneous measurement of corrosion and wear resistance characteristics in stainless steel modified by frictional reforming under fretting condition in seawater	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of JSME International Conference on Materials and Processing 2022	6. 最初と最後の頁 Mo-1C-2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 高橋賢人, 藤野俊和, 地引達弘
2. 発表標題 摩擦改質処理による表面改質層を有するステンレス鋼のフレッチング摩擦特性と腐食特性の同時計測評価
3. 学会等名 第91回（令和3年）マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小俣晃, 藤野俊和, 地引達弘, 石田祐也, 桑原聡士
2. 発表標題 摩擦改質と窒化熱処理援用によるTiN表面改質層を有する合金鋼の耐食性とトライボロジー特性
3. 学会等名 第91回（令和3年）マリンエンジニアリング学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kousuke Kinoshita, Toshikazu Fujino, Tatsuhiro Jibiki, Kento Takahashi
2. 発表標題 Simultaneous measurement of corrosion and wear resistance characteristics in stainless steel modified by frictional reforming under fretting condition in seawater
3. 学会等名 JSME ICM&P 2022 International Conference on Materials and Processing 2022（国際学会）
4. 発表年 2022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
研究分担者	地引 達弘 (JIBIKI Tatsuhiko) (40322094)	東京海洋大学・学術研究院・教授 (12614)	
研究分担者	柳澤 憲史 (YANAGISAWA Kenji) (90585580)	長野工業高等専門学校・機械工学科・准教授 (53601)	
研究分担者	徳田 祐樹 (TOKUTA Yuuki) (30633515)	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発本部 マテリアル応用技術部材料技術グループ・主任研究員 (82670)	
研究分担者	齋藤 庸賀 (SAITO Yasuyoshi) (90806001)	地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発本部 マテリアル応用技術部材料技術グループ・研究員 (82670)	

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
---------	---------