

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：84431

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18224

研究課題名(和文)光透過性樹脂を用いた局所的なセラミックスコーティング技術の開発

研究課題名(英文)Development of a local ceramic coating process using a light-transmitting resin

研究代表者

山口 拓人(YAMAGUCHI, Takuto)

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・主任研究員

研究者番号：20530041

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：光透過性樹脂を用いた新しいレーザ合金化プロセスにより、金属表面の耐摩耗性の向上を目指した。レーザ光を透過する樹脂を金属表面に密着させ、樹脂の上からレーザを照射すると、樹脂の熱分解で生じた炭素と溶融金属が樹脂の界面において反応し、硬質な炭化物を含んだ合金層が生成されることを明らかにした。レーザ照射条件の最適化により、高い体積率で炭化物が分散した均一な合金層が形成され、良好な耐摩耗性を示した。

研究成果の概要(英文)：Our group developed a novel laser alloying process using a light-transmitting resin to improve the wear resistance of a metal substrate. Laser irradiation of a transparent resin laminated on the metal substrate resulted in the formation of a laser-alloyed zone containing hard carbide particles. The carbide particles were determined to have been formed by the reaction between the pyrolytic carbon and molten metal at the interface between the resin and substrate. A homogeneous laser-alloyed zone containing a high volume fraction of carbide particles was obtained under an optimum laser alloying condition. The laser-alloyed zone exhibited good wear resistance.

研究分野：レーザ加工

キーワード：レーザ 表面改質 耐摩耗性

1. 研究開始当初の背景

一般機械、輸送機械、精密機械等に対して高い信頼性や長寿命化が求められるに伴い、これらを構成する金属部材に対しても強度や耐摩耗性の向上が要求されている。セラミックスコーティングは、金属の表面に硬質なセラミックスの皮膜を形成させ、耐摩耗性等を向上させる手法である。セラミックスコーティングの多くは物理蒸着 (PVD) 法や化学蒸着 (CVD) 法などにより行われるが、基材とコーティング膜の密着性が低く、また、処理においては高精度な気密チャンバーやプラズマ発生源などの高価な装置が必要となる。このため、密着性に優れた耐摩耗性皮膜をより簡易に形成する手法の開発が望まれる。

我々の研究グループでは、これまでにレーザー合金化による金属表面の局所的な硬化プロセスの開発に取り組んできた。レーザー合金化とはレーザー照射によって局所的に溶解させた基材表面に他の物質を混合することで基材と異なる組成の合金層を形成させる手法であり、材料の必要な箇所のみを強化することが可能である。レーザー合金化により炭化物生成傾向の強い金属と炭素を反応させることで、硬質な炭化物を形成し、耐摩耗性が向上することが知られている。これまでの試みの多くは、基材の溶解部にグラファイトなどの粉末を溶解・反応させる手法であるが、レーザー照射時における粉末の飛散や未溶解粉末の残存により不均質な合金層となりやすいという課題があった。

2. 研究の目的

本研究では、炭素供給源として樹脂の熱分解生成物を利用した新規なレーザー合金化法を考案した。具体的には金属基材表面にレーザー光を透過する樹脂を密着させた状態で樹脂の上からレーザーを照射すると、レーザーは樹脂を透過し金属基材表面において吸収される。その際、樹脂/金属の界面で樹脂の熱分解生成物と溶解金属が反応し、合金層を生成すると考えられる。金属中に炭化物生成傾向の強い元素を含む場合には合金層に硬質な炭化物が生成し、硬さおよび耐摩耗性の向上が期待できる。

本研究では、合金層形成に及ぼす樹脂の特性やレーザー照射条件の影響を明らかにし、処理条件を最適化することで、光透過性樹脂を用いたレーザー合金化法を実用可能なプロセスとして確立させる。

3. 研究の方法

本研究では、実用金属の中で最も炭化物生成傾向の強いチタンを基材として、合金層を形成し得る樹脂材料の選定とレーザー照射条件の絞り込みを行った。レーザー光を十分に透過する樹脂を基材表面に密着させ、種々の条件でレーザー照射を行った。レーザーの照射条件として、レーザー出力、発振方法(連続発振もしく

はパルス発振の場合はパルス幅およびパルス周期)、スキャン速度およびスキャンピッチをパラメータとした(図1)。

得られた合金層に対し、走査電子顕微鏡(SEM)による微細組織観察、電子線マイクロアナライザー(EPMA)による元素分析、およびX線回折(XRD)による相同定を行った。合金層の評価結果からレーザー照射条件を最適化することで合金層特性の向上を図った。

続いて、本プロセスを適用したステンレス鋼の表面硬化処理を試みた。ステンレス鋼基材と光透過性樹脂との間に箔状のチタンを挟みこみ、レーザーを照射することで、ステンレス鋼の表面への炭化チタン皮膜の形成の可否について検証した。

4. 研究成果

(1)連続発振(CW)レーザーを用いたバルクチタン基材への合金層形成

ポリメタクリル酸メチル(PMMA)のペレットをテトラヒドロフラン(THF)に溶解し、純チタン基材上に塗布して乾燥させた後、樹脂の上からレーザー照射を行った。乾燥後の樹脂の厚さは約0.2 mmであった。図2はレーザー照射後の試料の外観である。レーザー照射領域のチタン基材表面は黒色化していることがわかる。樹脂の表面はレーザー照射前と変化が無かったことから、レーザー光は樹脂層を透過し、チタン基材表面でレーザー光が吸収されたと考えられる。レーザー照射後の試料から樹脂

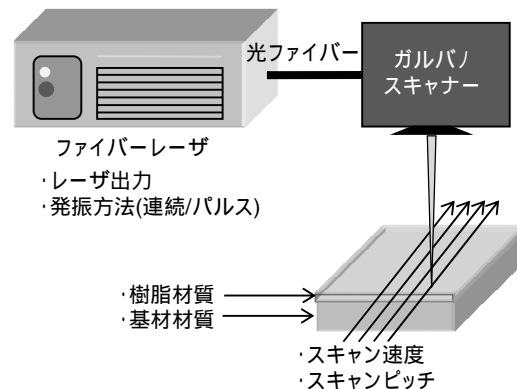


図1 レーザー照射実験の模式図

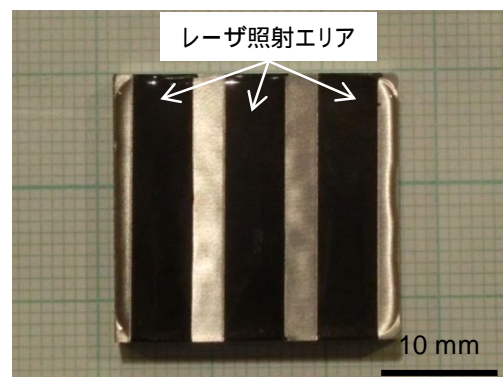


図2 レーザー照射後の試料外観

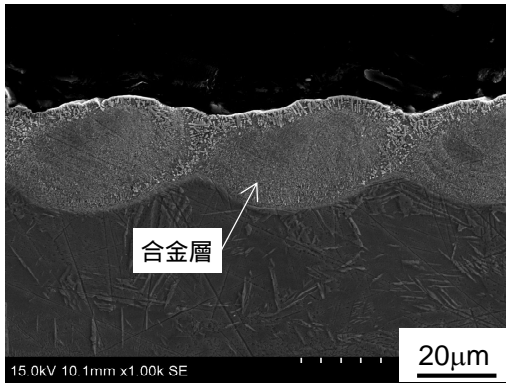


図3 レーザ照射後の試料断面のSEM像

を除去し、断面をSEMにて観察した結果を図3に示す。表面に厚さ約30μmの合金層が形成されていることがわかる。合金層の最表面には dendritic 状の炭化チタンの形成が認められた。摩耗試験の結果、合金層は優れた耐摩耗性を有することがわかった。

また、樹脂の種類を酢酸ビニルやポリビニルアルコールなどに変えてもほぼ同様の結果を得ることができた。このことから、レーザー光を透過し、基材金属と密着できる樹脂であれば、樹脂の種類によらず合金化処理が可能であることが確認できた。

(2) ナノ秒パルスレーザーの適用による合金層形成

(1)の結果から、耐摩耗性に優れた合金層の形成は可能であることがわかったが、レーザー照射中に樹脂が損傷しやすい、レーザー走査ピッチに沿った凹凸が表面に形成される、硬質炭化物が合金層上部に偏在するといった課題があった。

これらの課題を解決するため、ナノ秒パルスレーザーの適用を検討した。ナノ秒パルスレーザーは高いピークパワーが得られるため、CWレーザーよりも低い平均パワーでも金属表面を溶融させることが可能であると考えられる。

図4はナノ秒パルスレーザーを用いてレーザー合金化を行った試料の断面SEM像である。図3と比較して表面の凹凸は小さく、滑らかな表面となっていることが確認できる。また、炭化物の分散状態も均一であった。ナノ秒パルスレーザーを適用することにより、樹脂の厚みを約50μmまで薄くしても、樹脂の損傷が少なく、プロセスの安定性が向上することがわかった。

(3) チタン箔を用いたステンレス基材表面への合金層形成

次に、本プロセスのチタン以外の基材への適用について検討した。箔状のチタンをステンレス鋼と光透過性樹脂の間にインサートし、樹脂の上からレーザー照射を行った。

図5は、レーザー照射した試料の断面光学顕

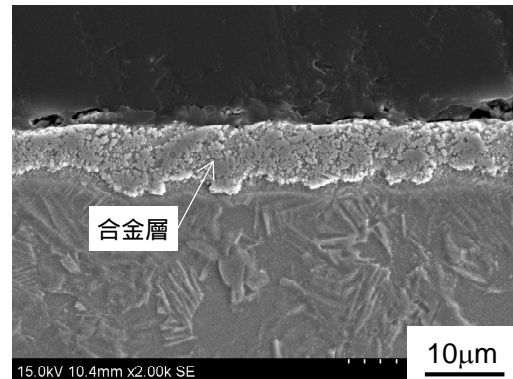


図4 ナノ秒パルスレーザーにより形成された合金層断面のSEM像

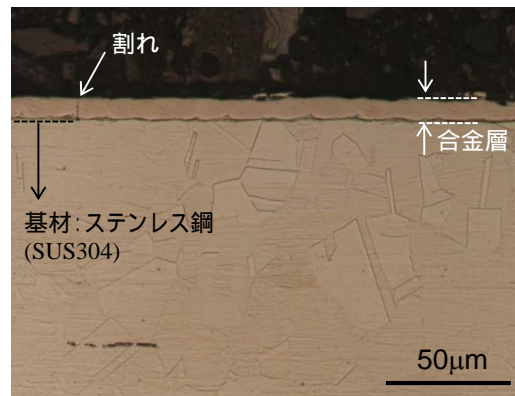


図5 ステンレス鋼表面に形成された合金層(光学顕微鏡写真)

微鏡写真である。表面に厚さ5μm程度の均一な合金層が形成されていることがわかった。合金層には微細なチタン炭化物が分散しており、最大で1200HVを超える硬さが得られた。合金層の硬さは照射するレーザーのパワーの増加とともに上昇したが、同時に割れの発生頻度も上昇することがわかった。割れの発生については金属間化合物などの脆化相の形成が原因と考えられる。

今後、割れを抑制するためのさらなるプロセスの最適化は必要であるが、本研究によって、様々な種類の金属製品に対して局所的に均一な硬化層を形成させることが可能となった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

(1) T. Yamaguchi, H. Hagino, Formation of a titanium-carbide-dispersed hard coating on austenitic stainless steel by laser alloying with a light-transmitting resin, Vacuum, 査読有, 155 (2018) 23-28.

(2) T. Yamaguchi, H. Hagino, Surface Alloying of Titanium Using a Nanosecond Laser with a Light-Transmitting Resin, Journal of Laser Micro/Nanoengineering, 査読有, 12 (2017) 184-188.

(3)T. Yamaguchi, H. Hagino, Formation of titanium carbide layer by laser alloying with a light-transmitting resin, Optics and Lasers in Engineering, 査読有, 88 (2017) 13-19.

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・主幹研究員
研究者番号：90359422

〔学会発表〕(計7件)

(1)山口拓人, 萩野秀樹: 光透過性樹脂を用いたチタンのレーザアロイングにおけるナノ秒レーザの適用検討, 日本金属学会 2017 年秋期(第 161 回)講演大会, 平成 29 年 9 月 6 日, 北海道大学

(2)T.Yamaguchi, H.Hagino, Surface Alloying of Titanium Using a Nanosecond Laser with a Light-Transmitting Resin, LPM2017 -the 18th International Symposium on Laser Precision Microfabrication-, 平成 29 年 6 月 7 日, 富山国際会議場

(3)山口拓人, レーザ合金化によるチタンの耐摩耗性向上, 軽金属学会関西支部シンポジウム, 平成 28 年 9 月 2 日, 関西大学

(4)山口拓人, レーザ表面改質の現状と光透過性樹脂を用いたレーザ合金化プロセス, 第 85 回レーザ加工学会講演会, 平成 28 年 6 月 10 日, 大阪大学

(5)山口拓人, 萩野秀樹, 光透過性樹脂を用いたレーザアロイングによるチタン表面への炭化物形成, 日本金属学会 2016 年春期(第 158 回)講演大会, 平成 28 年 3 月 23 日, 東京理科大学

(6)山口拓人, 光透過性樹脂を用いたレーザ合金化技術, 一般社団法人 日本溶接協会 表面改質技術研究委員会, 平成 28 年 2 月 2 日, 新大阪丸ビル新館

(7)山口拓人, 萩野秀樹: 光透過性樹脂を用いたレーザアロイングによるチタンの耐摩耗性向上, 第 84 回レーザ加工学会講演会, 平成 28 年 1 月 19 日, 三菱電機株式会社名古屋製作所

6. 研究組織

(1)研究代表者

山口 拓人 (YAMAGUCHI, Takuto)

地方独立行政法人大阪産業技術研究所・和泉センター・主任研究員

研究者番号：20530041

(2)研究分担者

該当者無し

(3)連携研究者

該当者無し

(4)研究協力者

萩野 秀樹 (HAGINO, Hideki)