

平成21年6月26日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760516

研究課題名（和文） フェムト秒レーザーによる材料表面への複合微細構造形成

研究課題名（英文） Composite microstructure formation on material surface
by using femtosecond laser

研究代表者

本田 博史（HONDA HIROSHI）

独立行政法人物質・材料研究機構・新構造材料センター・研究員

研究者番号：10302390

研究成果の概要：フェムト秒レーザーを照射することにより、材料表面に様々な微細構造が形成される。その中に周期的な構造を持ったものがあり、そのサイズもレーザーの照射条件や材料によって変化する。そのようなサイズの異なる周期的微細構造からなる複合的な微細構造を大きな面積の領域に連続的に形成するために、レーザーを走査しながら照射したところ、適当な条件で連続的に微細構造が形成されることが分かった。

交付額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2007年度 | 1,900,000 | 0 | 1,900,000 |
| 2008年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,300,000 | 420,000 | 3,720,000 |

研究分野：レーザー加工

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：フェムト秒レーザー、レーザー加工、レーザーアブレーション、周期的微細構造

1. 研究開始当初の背景

レーザー加工において、フェムト秒レーザーを用いたものは、ナノ秒レーザーなどを用いたものとは比べ、その短いパルス幅のために熱的影響が非常に抑えられた加工が可能となっており、より高精度な加工をすることができる。これまでに金属、ガラス、セラミックス、有機材料など様々な材料に対してフェムト秒レーザーを用いた微細加工が試みられており、また、フェムト秒レーザー光の長時間の安定発振を実現した商品も販売されるようになり、フェムト秒レーザーによる加工の実用化の進展が期待されている。

フェムト秒レーザーを用いた加工で、さらに特徴的なものとして、材料のアブレーションしきい値近傍のフルエンスでレーザー光を照射すると、照射レーザー波長より短い周期を有した微細な凹凸構造が材料表面に形成される現象が見いだされている。その周期的な構造は、レーザー光が直線偏光の場合、その電場の偏光方向に対して垂直に伸びる縞状の微細構造となり、円偏光にするとドット状の微細構造となる。これらの構造は様々な金属材料表面に形成可能であり、また金属だけでなく窒化チタンやダイヤモンド状炭素などの硬質膜上にも形成されている。しか

しながら、形成される微細構造の周期は、ナノ秒レーザーなどで形成されるものに対して適用されてきた理論ではうまく説明できず、その物理的な形成機構についてもよく分かっていない。

この周期的な微細構造を利用した応用研究も進められており、摺動面に周期的微細構造を形成することによる摩擦係数の低減や、あらかじめ基板材料に周期的微細構造を形成しておくことによる硬質コーティング膜の密着性向上などが報告されている。この他にも、凝着力の低減や触媒材料の表面積の増大なども期待されており、フェムト秒レーザーを用いた加工は、加工時の熱的影響が抑えられ、高精度の加工ができるだけでなく、材料表面にその材料本来の特性に加えて、微細構造に起因した機能を付与できる加工としても注目を集めている。

金属材料表面での周期的微細構造形成に関するこれまでの研究により、照射レーザーフルーエンスや照射レーザーパルス数により、その周期が変化することが分かっており、数マイクロメートルのサイズの周期的な微細構造も形成されることが判明している。また、照射条件により、縞状の周期的構造だけでなく、方向により周期が異なる網目状の構造も形成されることが見いだされている。形成される構造の周期をレーザー波長よりも短い数百ナノメートルから数マイクロメートルまで変えられれば、必要とする機能に見合った微細構造サイズに調整した加工が可能となることが期待される。また、網目状の構造は周期が異なった縞状構造が重畳した複合的な構造と見ることができ、その向きにより機能の発現量を調節したり、あるいは別々の機能を持たせたりできる可能性がある。

このような多様な微細構造が照射レーザーフルーエンスや照射レーザーパルス数を変えるだけで形成できる点は、その物理的な形成機構の面から興味深いだけでなく、これら多様な構造による機能を材料表面に付与し応用する場合にも、加工設備に大きな手を加えずに形成できることになり大変魅力的である。

2. 研究の目的

主にこれらの微細構造は同一点にレーザーパルスを多数照射してスポット状に加工を施したときにその加工領域内で得られたものであり、実際にこれらの多様な微細構造による機能を確認し、また実用化しようとした場合、ある程度の面積を持った領域にこれらの構造を形成する必要がある。そのため、レーザーを材料表面に沿って走査しながら照射することが行われるが、走査することによ

り微細構造を線状の領域に形成したときの形成領域の幅は集光スポットサイズ程度であり、形成領域を大面積に広げるには走査するラインを走査方向とは直交する方向に少しずつずらしながら繰り返し走査して加工する必要がある。走査しながらの加工はスポット状の加工と異なり、強度分布を持った集光スポットを、位置を少しずつずらしながら、オーバーラップさせての加工であり、また、走査ライン間での既加工部分に対するレーザーの集光スポットのオーバーラップの仕方は、走査方向でのオーバーラップの仕方も異なる。そのため、スポット状に加工した場合に形成できていた構造が走査しながら加工した場合に形成できない可能性がある。材料によっては、レーザー波長よりも短い数百ナノメートルの周期の縞状の微細構造について、レーザーの集光スポットを材料表面に沿って走査することにより、大きな面積の領域に加工を施すことができているが、上記の複合的な形状などの微細構造を実用的な大きさの領域に形成できるかは不明である。そこで、本研究においては、主に金属材料表面へのこれらの複合的な微細構造形成による機能付与を目指し、大面積にこれらの微細構造を形成するための照射レーザーフルーエンスや走査速度等の加工条件を調べる。

3. 研究の方法

フェムト秒レーザーにはレーザー波長 775 nm、パルス幅 150 fs、繰り返し周波数 1 kHz のものを用いた。加工材料としては、日常よく用いられている金属材料であるステンレス、チタン、アルミニウムを対象とした。これらの材料について表面を鏡面研磨したものを使用し、レーザーを走査しながら照射できるように XY ステージ上に取り付けた。そして、レーザー光を焦点距離 100 mm のレンズで、材料表面に対して垂直に集光照射し、大気中で加工を行った。

まず、これらの材料に対し、アブレーションしきい値近傍の照射レーザーフルーエンスでスポット状の加工を行った。照射レーザーフルーエンスおよび照射レーザーパルス数を変えて、微細構造が形成される加工条件を調べた。

次に、その集光スポットを材料表面に沿って走査することにより、走査方向に沿った線状の領域に微細構造を連続的に形成することを試みた。スポット状加工のときの加工条件を参考に、照射レーザーフルーエンスおよび走査速度を変えて、微細構造が形成される加工条件を調べた。

そして、走査するラインを少しずつずらしながら繰り返し走査して加工することによ

り、微細構造を面状の領域に連続的に形成することを試みた。照射レーザーフルーエンス、走査速度および走査ライン間隔を変えて加工を行い、微細構造が連続的に形成される加工条件を調べた。

4. 研究成果

スポット状の加工において、今回使用したどの材料に対しても、アブレーションしきい値近傍の照射レーザーフルーエンスで、適当な照射レーザーパルス数で照射することにより、レーザー波長より短い周期を有し、レーザー光の電場の偏光方向に対し垂直な方向の縞状の周期的微細構造が形成されることが確認された。

その微細構造が形成される照射レーザーフルーエンス領域において、フルーエンスが低下するに従い、その構造形成にはより多くのレーザーパルスの照射が必要であった。

特にアルミニウムにおいてはその周期的微細構造形成に適した照射レーザーフルーエンス領域がステンレスやチタンと比べて狭く、また、ステンレスやチタンよりさらに多くのレーザーパルスの照射を必要とした。

走査しながらの線状の領域への加工については、スポット状の加工においてレーザー波長より短い周期を有した縞状の周期的微細構造が形成されたフルーエンス領域で、適当な走査速度で走査することにより、今回使用したどの材料に対してもその周期的微細構造を線状の領域に連続的に形成することができた。

ステンレスやチタンでレーザー波長より短い周期を有した縞状の周期的微細構造を形成するのに適した走査速度は、スポット状の加工においてより多くのレーザーパルスの照射が必要であったことに対応して、照射レーザーフルーエンスが低下するに従い減少した。

アルミニウムにおいては、スポット状の加工においてステンレスやチタンよりさらに多くのレーザーパルス照射が必要であったことに対応して、形成に適した走査速度はそれらの材料と比べ低いものであった。また、スポット状の加工を行ったときには、その加工領域内の一部でしか周期的微細構造の形成が見られなかったのに対し、走査して微細構造を形成した場合にはその線状の加工領域全体にわたり周期的微細構造の形成が見られた。

走査するラインを少しずつずらすことによる面状の加工については、今回使用したどの材料に対しても、照射レーザーフルーエンス、走査速度および走査ライン間隔を適当な値にすることにより、レーザー波長より短い周期を有し、レーザー光の電場の偏光方向に

対し垂直な方向の縞状の周期的微細構造が面状の領域に連続的に形成された。

ステンレスとチタンについては加工条件により、そのレーザー波長よりも短い周期を有した縞状の微細構造に対し、その直交する方向に数マイクロメートル程度の周期を有した縞状の周期的微細構造が重畳したような構造が形成された。この場合も適当な加工条件を選ぶことにより、その構造が面状の領域に連続的に形成されることが分かった。

面状の領域へのこれらの微細構造形成において、連続的な形成に適した走査ライン間隔は、照射レーザーフルーエンスが増加すると広がり、また、走査速度の減少によっても広がる傾向が見られた。

レーザー波長より短い周期を有した縞状の周期的微細構造にその直交する方向に数マイクロメートル程度の周期を有した周期的微細構造が重畳したような構造と、レーザー波長より短い周期を有した縞状の周期的微細構造とで、それぞれの構造が形成される際の加工条件を比べると、その重畳したような構造の方が、照射レーザーフルーエンスが同じときは、より低い走査速度で形成され、走査速度が同じときは、より高い照射レーザーフルーエンスで形成される傾向が示唆された。

今回、フェムト秒レーザーによる材料表面への微細構造形成のための基礎的な加工条件を調べつつ、複合的な微細構造形成の可能性を調べた。フェムト秒レーザー照射により、材料によっては、このような複合的な周期的微細構造の連続的な形成が見られ、フェムト秒レーザーを用いた微細構造形成により材料表面へ付与される機能とその応用範囲の拡大が期待される。

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)

[学会発表] (計3件)

- ① 本田博史、フェムト秒レーザーの走査照射による微細構造形成、レーザー学会学術講演会第29回年次大会、2009年1月12日、徳島大学
- ② 丸川和樹、フェムト秒レーザーおよびナノ秒レーザー照射によるステンレス基板の表面形態変化、レーザー学会学術講演会第28回年次大会、2008年1月31日、名古屋国際会議場
- ③ H. Honda、PERIODIC STRUCTURE FORMATION ON METAL PLATE BY FEMTOSECOND LASER

IRRADIATION 、 9th International
Conference on Laser Ablation、2007年9
月24日、Tenerife, Spain

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本田 博史 (HONDA HIROSHI)

独立行政法人物質・材料研究機構・新構造
材料センター・研究員

研究者番号：10302390

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし