

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	薄膜金属へのドライ環境レーザピーニングの適用
Title(English)	
著者(和文)	山本祐幸, 青野祐子, 平田敦, 戸倉和
Authors(English)	Hiroyuki Yamamoto, Yuko Aono, ATSUSHI HIRATA, HITOSHI TOKURA
出典(和文)	2014年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, , , pp. 555-556
Citation(English)	, , , pp. 555-556
発行日 / Pub. date	2014, 3

薄膜金属へのドライ環境レーザーピーニングの適用

東京工業大学 ○山本 祐幸, 青野 祐子, 平田 敦, 戸倉 和

Applying laser peening under dry condition to metallic thin film

Tokyo Institute of Technology Yamamoto Hiroyuki, Aono Yuko, Hirata Atsushi, Tokura Hitoshi

Laser peening (LP) is a surface treatment method to materials. The LP has mainly been applied to large-scaled structures. In this study, the LP is applied to metallic thin film for a novel treatment technique for thin films. In the conventional LP, sample is put into the water to confine the plume effectively. However, applying to the thin film, this wet-condition could become a disadvantage. Therefore, the LP under dry condition using solid medium is proposed. Firstly, the LP under dry condition is applied to bulk copper. As a solid medium, PET, Glass and Sapphire were used. As a result of Vickers hardness test, when glass or sapphire is used, an increase of hardness is higher than that of the conventional LP under water. Finally, the LP under dry condition using glass is applied to thin film copper. Obvious improvement of hardness has not been observed and it is required to investigate more suitable LP conditions for the thin films.

1. 緒言

金属材料の局所的な表面改質手法の一つに、レーザーピーニング(Laser Peening : LP)がある。LPとは水中に試料を設置し、そこに短パルスレーザーを照射することで、ブルームの膨張が抑制され試料中に衝撃波が伝播し、塑性変形や残留応力を発生する表面改質法である。この処理の効果として、疲労強度向上、硬さ向上、応力腐食割れ感受性低減などが報告されている。これまで、LPの対象は、原子炉や航空機といった大型構造物が中心であった¹⁾。

一方、薄膜金属材料はMEMSの構造材料としても用いられるが、形状的な制限が大きいため成膜後の強化処理や組織制御の選択肢が熱処理等のわずかな手法に限られる。LPは、局所的な処理が可能のため、薄膜金属材料への適用を実現すれば、薄膜の材料処理の新たな選択肢となり得る。

そこで本研究では薄膜金属材料に対する新しい処理手法としてLPを適用することを目指した。MEMSプロセスとの親和性を考える上で、薄膜を水中に設置することは望ましくないため、最初に固体媒質を用いたドライ環境LPを提案、検討した。その後、薄膜金属への適用を試み、硬さの変化について評価を行った。

2. 実験方法

2-1 供試材

供試材はバルク金属、薄膜金属ともに銅を用いた。バルク金属には20mm×20mm、厚さ3mmの板材を用い、初期残留応力、転位を取り除くため400℃、1時間、炉冷にて焼鈍処理を行った。その後酸化層を除去するため硝酸による表面エッチング処理を行った。またレーザー照射による影響層を取り除くためレーザー照射後も同様に硝酸による表面エッチング処理を

行った。

薄膜金属には、10mm×10mm、厚さ200μmの単結晶シリコン上にスパッタリング(SVC-700RFII サンヨー電子製)にて膜厚1.5μmで成膜した。またレーザー照射による表面の加工を防ぐため、保護膜として厚さ10μmの銅箔でサンプルを覆いLP処理を行った。

2-2 レーザーピーニング媒質の選定

ドライ環境LPを実現するために、水に替わるLP媒質を検討する。固体媒質に要求される条件として、レーザー光に対する透明性、急熱による耐熱性、発生する衝撃波に対する強度などが挙げられる。そこで、表1に示すPET、ガラス、サファイアを固体媒質として選定した。また比較のため水、大気中でも同様の実験を行った。

Table 1 Candidate materials for dry LP

Material	Thickness (mm)
PET	0.1
Glass	2.8
Sapphire	0.3

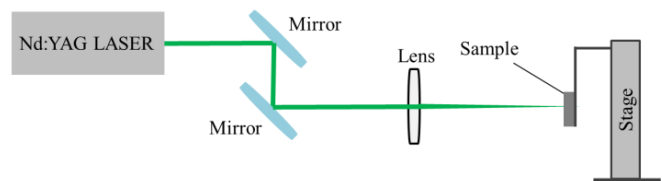


Fig.1 Schematics of experimental setup

2-3 レーザピーニング

本研究では Nd:YAG レーザ(Continuum Precision II 9100)の第二高調波を用いて LP を行った。表 2 に処理条件、図 1 に光学系を示す。LP 前後の変化は、硬さによって評価した。バルク材料は微小硬さ試験機、薄膜材料はナノインデンテーションを用い、それぞれの測定を行った。

Table 2 Conditions of laser irradiation

Wavelength	532nm
Pulse width	9ns
Diameter of spot in focus	12.8 μ m
Repetition frequency	10Hz
Pulse density	44.5 pulse/mm ²

3. 実験結果および考察

3-1 バルク金属

媒質と出力の違いによる硬さ試験結果を図 2 に示す。LP によりすべての媒質で焼鈍後に比べ硬さ向上が見られた。流体媒質である大気と水では出力が大きくなるにつれ硬さが向上している。これは出力が大きくなることで発生するブルームの量が増え与えられる衝撃波が大きくなったためだと考えられる。また大気は水に比べ硬さ向上が非常に小さい。これは大気の慣性が水に比べ非常に小さいためである。

次に PET 場合、出力が高くなるにつれ効果が低下している。実験後の PET を観察したところ、レーザの熱により変性し透明性を失っていた。このため、レーザ光が金属まで到達せず LP 効果が小さかったと考えられる。

ガラスとサファイアに関しては低出力では水を用いた場合より効果が大きくなっているが、10mJ 以上の出力では効果は減少し、そこからまた出力が高くなるにつれ硬さが向上するという傾向を示した。ガラスを用いたとき水中に比べ、ブルーム閉じ込め効果が大きいいため LP 効果が大きいという報告がある²⁾。低出力ではこのことにより硬さ向上が水中より大きくなったと考えられる。

効果の減少が見られた 10mJ 程度の出力において、レーザ照射後のガラス、サファイア表面を光学顕微鏡で観察したところ、クラックや除去加工部が見られた。これにより、レーザ光の減衰や散乱が発生したと予想される。さらに高出力では、減衰や散乱によるエネルギーの損失はあるものの、LP に寄与するエネルギー量も大きくなるため、硬さ向上したと考えられる。

3-2 薄膜金属

上述のバルク金属での結果を踏まえ、薄膜への LP では媒質にガラスを選択し、ガラス自体の変質の発生しない 10mJ 以下の範囲で実験を行った。ナノインデンテーションの結果を図 3 に示す。LP 後の硬さの変化はバルクの場合と比較し小さく、十分な効果を得るには至らなかった。

薄膜材料で効果が得られなかった一因として、保護膜の影

響が考えられる。薄膜では LP により生じる表面の照射痕深さが膜厚を超えるために、保護膜を使用する必要があるが、本実験ではガラス、保護膜、試料を治具により固定している。これらの界面でのエネルギー損失により予想以上の効果の低減が発生した可能性がある。今後、適切な保護膜の膜厚、レーザ出力、固定方法を検討する必要がある。

4. 結 言

本研究では、薄膜金属材料へのドライ環境 LP の実現を目的とし検討を行い、以下のことを明らかにした。

- (1) バルク材料において、固体媒質を用いたドライ環境 LP による硬さ向上を確認した。特にガラス、サファイアを用いたとき、媒質にレーザによる影響が発生しない出力領域では、従来法の水媒質を超える効果を得た。
- (2) ガラスを媒質とした LP を銅薄膜に実施したところ、十分な硬さ向上は得られなかった。これは、保護膜の影響が考えられ、今後、薄膜材料に適切な処理条件を検討する必要がある。

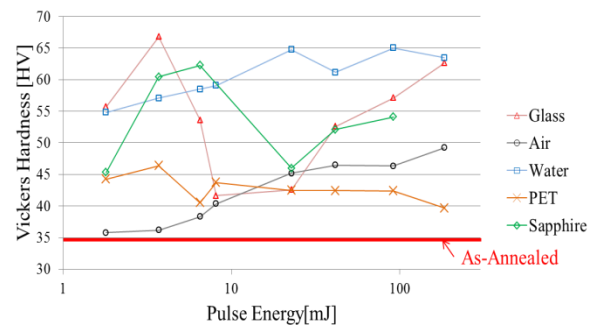


Fig.2 Vickers hardness distributions of various conditions

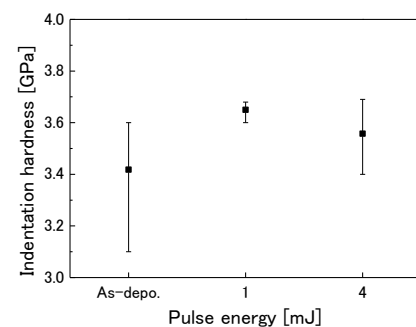


Fig.3 Indentation hardness of thin films

参考文献

- 1) Sano, Y., Obata, M., Kubo, T., & Mukai, N. (2006). Retardation of crack initiation and growth in austenitic stainless steels by laser peening without protective coating. *Materials Science and ...*, 417(1-2), 334-340. doi:10.1016/j.msea.2005.11.017
- 2) Morales, M., Porro, J. a., Blasco, M., Molpeceres, C., & Ocaña, J. L. (2009). Numerical simulation of plasma dynamics in laser shock processing experiments. *Applied Surface Science*, 255(10), 5181-5185. doi:10.1016/j.apsusc.2008.09.067