

課題番号 :2015B-E12  
利用課題名（日本語） :フェムト秒レーザーピーニング処理した金属極表層の非破壊残留応力測定  
Program Title (English) :Nondestructive measurement of residual stress in the skin of metals treated using femtosecond laser peening  
利用者名(日本語) :佐野智一, 岩田匠平, 詠村嵩之, 川嶋光将  
Username (English) :T. Sano, S. Iwata, T. Eimura, T. Kawashima  
所属名(日本語) :大阪大学大学院工学研究科  
Affiliation (English) :Graduate School of Engineering, Osaka University  
キーワード :

## 1. 概要 (Summary)

研究代表者は、材料の疲労寿命を向上させる新しい手法である”フェムト秒レーザーピーニング法”を開発した。研究代表者がフェムト秒レーザーピーニング処理を施した材料内部の残留応力を破壊的な手法で測定したところ、表層 100  $\mu\text{m}$  程度に極めて大きい圧縮応力が負荷されていることがわかった。本研究の目的は、金属材料極表層に存在する圧縮残留応力を非破壊で測定することである。SPring-8 の量子構造物性ビームライン BL22XU でひずみスキヤニング法によってフェムト秒レーザーピーニング処理されたアルミニウム合金表層の残留応力を測定したところ、深さ 70  $\mu\text{m}$  における残留応力値は、ラボでの破壊的な測定では 25 MPa であるのに対し、ひずみスキヤニング法では 85 MPa であった。これは、破壊的な手法では応力が再分配されるからであり、特に本試料のような応力の勾配の大きい試料には、ひずみスキヤニング法のような非破壊での測定が有効であることが示された。

## 2. 実験(目的,方法) (Experimental)

研究代表者が開発している”フェムト秒レーザーピーニング法”で材料表面を処理することによって、材料表層に圧縮残留応力が導入され、疲労特性が向上する。研究代表者がフェムト秒レーザーピーニング処理を施した材料内部の残留応力を破壊的な手法で測定したところ、表層 100  $\mu\text{m}$  程度に極めて大きい圧縮応力が負荷されていることがわかった。これまで研究代表者が用いてきた破壊的な手法、すなわち電解研磨によって深さ方向に削り逐次ラボの X 線で測定する手法では、X 線の深さ方向の侵入のため深さ方向の高い空間分解能が得られず、さらに深さ方向に削ることによ

て応力が再分配され、得られた応力状態が初期の状態から変わっている、という問題点がある。本研究の目的は、原研で開発されたひずみスキヤニング法によって、金属材料極表層に存在する圧縮残留応力を非破壊で測定することである。

波長 800 nm、パルス幅 120 fs、パルスエネルギー 0.6 mJ/pulse、カバレッジ 2768%の条件でフェムト秒レーザーピーニング処理を施したアルミニウム合金 A7075-T73 を測定用試料として用いた。残留応力測定は、SPring-8 の量子構造物性ビームライン BL22XU で実施した。波長 37.014 keV の X 線を用いて、ひずみスキヤニング法を用いた。X 線のスリット幅を 20  $\mu\text{m}$  とした。すなわち、試料の深さ方向の空間分解能は 20  $\mu\text{m}$  である。測定位置は、X 線の中心が試料表面と、表面から 10  $\mu\text{m}$  から 70  $\mu\text{m}$  までの 10  $\mu\text{m}$  間隔とした。311 面の回折を用い、 $2\theta$  の範囲を 15.64 deg から 15.88 deg とした。ステップ幅を 0.012 deg、1 ステップあたりのため込み時間を 5 s とした。残留応力を求める際のヤング率を 61.7 GPa、ポアソン比を 0.33 とした。

## 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

図 1 に、ひずみスキヤニング法で求めた残留応力値と、ラボで破壊的に  $\cos \alpha$  法によって求めた値を示す。残留応力値の最大値は、ラボで測定した値が 258 MPa であったのに対して、ひずみスキヤニング法で得られた値は 171 MPa であった。また最大の残留応力を取る深さは、ラボの測定では深さ 4  $\mu\text{m}$  であったのに対して、ひずみスキヤニング法の場合は深さ 30  $\mu\text{m}$  であった。これは、スリット幅が 20  $\mu\text{m}$  であったので、深さ方向の分解能が比較的悪く、20  $\mu\text{m}$  よりも小さい領域の局所的な大きなひずみを測定出来ていないからだと考えられ

る。一方、深さ 70  $\mu\text{m}$  における残留応力値は、ラボでの破壊的な測定では 25 MPa であるのに対し、ひずみスキャンニング法では 85 MPa であった。これは、破壊的な手法では応力が再分配されるからであり、特に本試料のような応力の勾配の大きい試料には、ひずみスキャンニング法のような非破壊での測定が効果的であると考えられる。

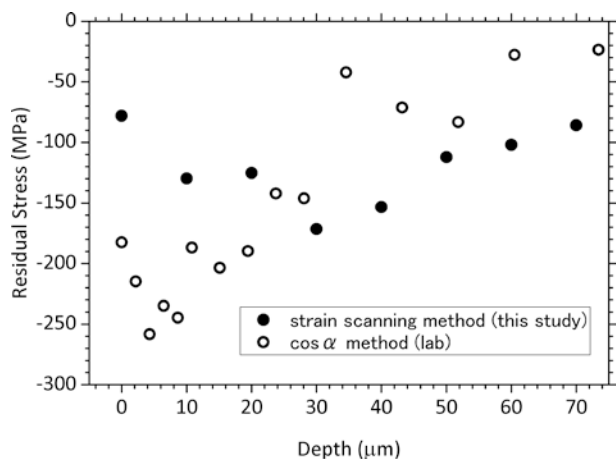


Fig. 1. Residual stress measured using strain scanning method in this study and  $\cos\alpha$  method.

ひずみスキャンニング法によって、フェムト秒レーザーピーニング処理されたアルミニウム合金中に形成される勾配の大きな残留応力分布を測定することが出来た。極表層の応力の勾配をさらに精度良く測定するためには、スリット幅をさらに小さくし、深さ方向の空間分解能をあげることによって可能になると考えられる。

#### 4. その他・特記事項 (Others)

実験に際し、日本原子力研究開発機構菖蒲敬久主任研究員、城鮎美研究員に支援頂いた。ここに謝意を表す。