



K. Ichiyanagi

高強度短パルス X 線を用いた レーザーピーニングのその場観測法と 動的粒径制御法の開発

一柳 光平*

1. まえがき

材料損傷は、材料表面からの応力腐食割れや疲労、そして想定外の瞬間的な応力集中により主に引き起こされる。そのため材料のバルクとしての強度だけでなく、表面からの損傷・破壊を防ぐために表面を硬くする表面処理が必要である。材用表面の加工硬化を目的とした表面処理法の一つとしてレーザーピーニング (LP 法: Laser peening 法) がある。パルスレーザーを用いたレーザーピーニング法は、高強度パルスレーザーを材料表面に照射することによって表面の残留応力の形成や、粒形の微細化により材料表面のみを加工硬化させることが出来る。LP 法の加工硬化過程はナノ秒以下のパルスレーザーを用いて衝撃波を発生させ瞬間的に塑性破壊をすることにより材料に歪みが蓄積され、粒子が微細化する動的プロセスである。そのため加工条件の最適化や動的な制御法は加工後の試料片を観測し議論するしかなかった。本研究では、パルスレーザー誘起による衝撃波が引き起こす金属の塑性破壊がどのように進展するかを解明するために放射光の硬 X 線パルスを用いた時間分解 X 線回折測定により直接観測を行った。

本論文では、ピコ秒パルス X 線とナノ秒高強度パルスレーザーを組み合わせた時間分解 X 線過程による材料変形の直接観測法開発と、パルスレーザー誘起衝撃波による多結晶金属のナノ微細化について述べている。

2. 実験方法

2.1 ピコ秒時間分解 X 線回折測定装置の概要

本研究で用いたピコ秒時間分解 X 線回折測定は、高エネルギー加速器研究機構にある蓄積型放射光施設の時間分解 X 線測定専用ビームラインの AR-NW14A で行った。衝撃波発生には波長 1064 nm、パルス幅 8 ns、1 J/pulse の Nd:YAG レーザーを用いた。X 線パルスは、15.4 keV ($\lambda = 0.81 \text{ \AA}$)、エネルギー幅 $\delta E/E = 1.46 \%$ 、パルス幅 100 ps の硬 X 線パルスを用いた。X 線とレーザーはピコ秒の時間精度で完全に同期しているポンプ・プローブ法により、衝撃波による表面加工硬化過程の瞬間を X 線 1 パルスで測定するシングルショット型時間分解粉末 X 線回折測定法を開発した。

2.2 レーザー誘起衝撃波と試料構成

衝撃波の金属組織の微細化過程を観測するために多結

晶アルミニウム箔 (0.05 mm) にプラスチックフィルム (0.025 mm) を貼り付けアブレータ材として用いた。レーザーパルスによりアブレータ層を吹き飛ばした反作用で表面から内部に向かって衝撃波を発生させる。衝撃波進展中に固定した遅延時間で X 線を照射することで衝撃波進展下のアルミニウムの X 線回折パターンを取得した。

3. 結果と考察

図 1 にレーザー照射前とレーザー照射後 30 ns の X 線 1 パルスによるスナップショットの粉末 X 線回折像を示す。レーザー照射前は、数十 μm 程度の金属組織が存在するためスポット状の回折点が多数観測出来たが、レーザー照射後衝撃波が伝搬し脱圧した時にはスポット状の回折像から同心円に近い回折パターンとなった。これは衝撃波伝搬過程で塑性破壊が進み組織が微細化したことを意味する。回折点の幅から約 33 nm 程度の粒形まで微細化されたことが明らかになった¹⁾。

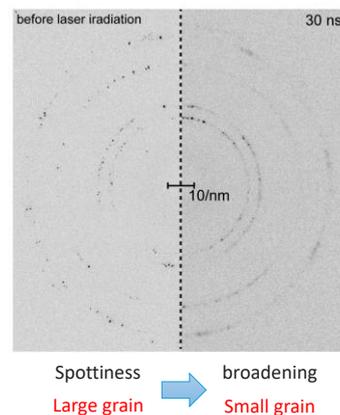


図 1 多結晶アルミニウムの衝撃破壊前の回折像 (左側) とレーザー照射後(30 ns)の回折像

謝 辞

本研究は、公益財団法人天田財団からの一般研究助成により実施した研究に基づいていることを付記するとともに、同財団に感謝いたします。

参考文献

1) K. Ichiyanagi, et al., Sci. Rep. **9**, 7604 (2019).

* 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 研究員