

補助事業番号 2018M-111

補助事業名 平成30年度 金属箔材の表面あれ進展および延性破壊挙動の実験的可視化
視察の研究 補助事業

補助事業者名 古島 剛

1 研究の概要

近年、電気電子・医療機器の高性能化を実現するために非常に小さい部品を大量・速く・安く作るために小さな微細プレス成形が注目されている。しかしながら、微細プレス成形に用いられるアルミホイルのような金属箔材は、板厚に対する表面あれの割合が相対的に大きくなるため、精度の低下や予想外の破壊を引き起こす等、これまでのプレス成形の知見をそのまま活かすことができないのが課題である。そのため、本研究ではマイクロスケールならではの表面あれや破壊に関連した寸法効果を考慮した微細プレス成形における金属箔材の変形挙動や成形性の高精度な予測を目指す。そのため金属箔材を対象に、塑性変形中の表面あれ進展挙動と破壊を実験的に観察し、材料自体の破壊メカニズムの解明を行い、材料面における寸法効果を解明する。

2 研究の目的と背景

金属箔材の局所くびれ発生挙動に関しては、板厚の減少に伴い板厚に対する表面粗さの相対的割合は増加するため、表面あれの寸法効果を考える必要がある。そのため金属箔材の延性は、これまでの板厚の厚い板材に比べると著しく低くなることが知られている。しかしながら、これまでの研究においては表面あれと破壊の一部の関係性を示すに留まっており、表面あれの進展がどのような過程を経て破壊に至るのかは明らかにされていない。さらに、その過程を詳細に観察した事例はなく、箔材の破壊メカニズムについては十分に解明されていないといえる。そのため、このような表面あれ発生から延性破壊に至るまでの過程を観察するには、時々刻々、変形中の箔材表面性状のその場観察を行う必要である。また箔材を対象にした事例は単軸引張状態に限られ、実際の微細精密プレス成形で多く見られる二軸引張りにおける研究は少ない。

そこで本研究では、開発した張出し部のその場観察が可能な二軸張出し試験機を用い破壊の発生に至るまでの箔材表面性状の変化を連続的に観察する。観察結果を踏まえ、表面あれ進展が及ぼす破壊の発生メカニズムを明らかにする。

3 研究内容(<https://www.furulab.iis.u-tokyo.ac.jp/research.html>)

(1) 実験方法

アルミホイルのように非常に板厚の薄い(板厚 $50\mu\text{m}$)純銅の箔材を用いた。表面あれの進展と破壊をその場観察するために図1に示すような顕微鏡に設置可能な小型張出試験を利用した二

軸引張試験その場観察装置を開発した。顕微鏡の自動画像連結機能を使って、高倍率で高視野の画像データを取得できるようになっている。変形中の各段階で、画像処理によるひずみ分布と表面プロファイルと同時に取得できるようにしている。

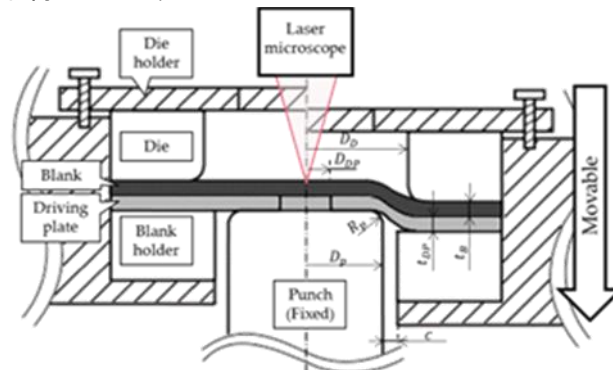


図1 その場観察用小型張出試験機

(2) 実験結果

破壊に至るまでの変形挙動を調査するため、張出し部の面内ひずみ分布を測定した。図2はひずみ状態における純銅箔のひずみ分布および表面プロファイルの結果を示している。はじめ均一変形したのち、帯状にひずみが集中し、その地点で破壊した。破壊に至るまでの表面あれ進展挙動を観察するため、図3に示すような張出し部の表面プロファイルを取得した。これらの観察の結果、変形初期において表面全体があれていき、ある段階で周囲より凹な部分が表れ始めていることがわかった。その後表面あれの進展とともにさらに凹部も成長しある程度の変形が生じると、凹部のみが成長し始め、最終的に凹部で破壊に至った。これらの結果から、変形中の最も凹になる部分の変形をモニタリングしておけば、破壊のタイミングを予測できると考えられる。

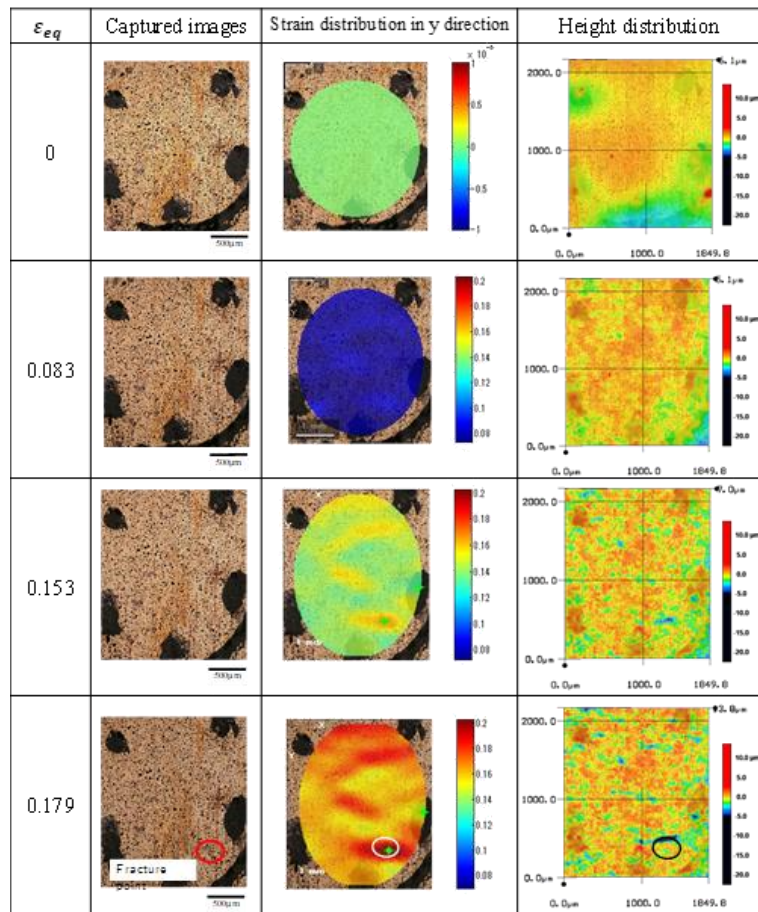


図 3 ひずみおよび表面プロファイル分布

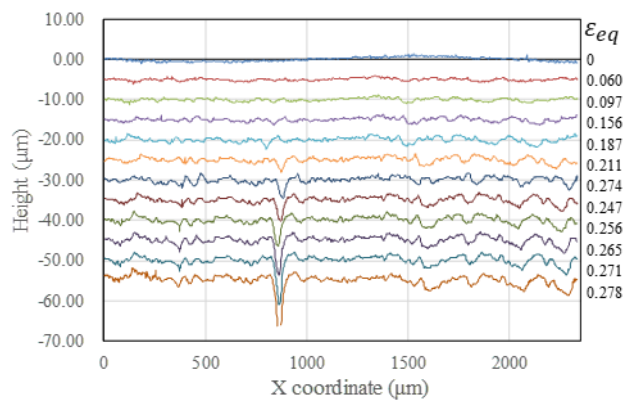


図 3 表面プロファイルの変化

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究では、その場観察可能な小型張出試験機を開発することで、変形中に進展する表面あれとひずみ分布の関係を詳細に可視化することができた。さらに局所くびれと破壊の表面プロファイルの時々刻々の変化を詳細に観察することによって、金属箔材の破壊メカニズム

を明らかにすることができた。得られた成果である金属箔材の表面あれ進展と破壊挙動を可視化と破壊メカニズムとその破壊条件の導出は、近年注目を浴びている医療・電気電子機器を成形するマイクロ精密プレス成形における結晶組織や表面あれが原因となる寸法効果の解明や変形挙動や成形性を高精度に予測することが可能であり、その予想されるインパクトは学術的にも工業的にもインパクトがあると考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究者は2006年に首都大学東京の研究員、2007年に同大学助教を経て、2008年に東京都立大学にて博士(工学)の学位を取得すし、2016年10月東京大学生産技術研究所に准教授として着任した。その間、ダイレスフォーミングに関する研究、マイクロ塑性加工への応用に関する研究に従事している。審査付論文48編、国際会議発表62件、国内会議発表64件をこれまでに発表している。また日本塑性加工学会の論文賞を2回、日本機械学会の奨励賞研究1回、国際会議での受賞2回を含む計13件の受賞歴がある。今回の研究は、特にマイクロ塑性加工の研究の中で最も重要な破壊をテーマにしたものであり、当該分野のこれからの益々の発展が期待できる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

<査読付論文>

- 1) 古島剛, 廣瀬雄太郎: ひずみ誘起自由表面あれ進展挙動の共焦点レーザ顕微鏡下その場観察装置の開発, 銅と銅合金, 58-1(2019) in press
- 2) T. Furushima, K. Aoto, S. Alexandrov: A New Compression Test for Determining Free Surface Roughness Evolution in Thin Sheet Metals, Metals, Vol. 9, No. 4 (2019) 451
- 3) T. Furushima, H. Tsunozaki, Y. Hirose: Fracture and surface roughening behaviors in micro metal forming, Procedia Manufacturing, Vol. 15 (2018), pp. 1481-1486.
- 4) T. Furushima, Y. Hirose: Development of In-situ Observation Methods of Surface Roughening Behavior By Hand-size Stretching Test for Metal Foils, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1063, Conf. 1, (2018) 012130

<国内学会発表>

- 1) 古島 剛, 廣瀬 雄太郎: ひずみ誘起自由表面あれ進展挙動の共焦点レーザ顕微鏡下その場観察装置の開発, 日本銅学会第58回講演大会講演概要集, (2018) pp. 117-118

- 2) 佐々木完太, Yannis P. Korkolis, 古島剛 : 多結晶金属板の結晶組織解析および自由表面あれ挙動の可視化, 平成30年度塑性加工春季講演会講演論文集, (2018) pp. 123-124.

7 補助事業に係る成果物

前述した論文が成果物として該当する.

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東京大学生産技術研究所(トウキョウダイガクセイサンギジュツケンキュウジヨ)

住 所: 〒153-8505

東京都目黒区駒場4-6-1

担 当 者: 准教授 古島 剛(フルシマ ツヨシ)

担 当 部 署: 機械・生体系部門(キカイ・セイタイケイブモン)

E - m a i l: tsuyoful@iis.u-tokyo.ac.jp

U R L: <http://www.furulab.iis.u-tokyo.ac.jp/>