



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | Studies on Formability and Geometric Accuracy Improvement for Incremental Sheet Forming Parts   |
| Author(s)    | Wu, Song  |
| Citation     | 大阪大学, 2022, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/89630">https://hdl.handle.net/11094/89630</a>   |
| rights       |   |
| Note         | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

|  |   |
|--|---|
| Name ( W U S O N G )   |   |
| Title  | Studies on Formability and Geometric Accuracy Improvement for Incremental Sheet Forming Parts<br>(インクリメンタルシートフォーミングの成形性と形状精度向上に関する研究) |
| <p>Abstract of Thesis:</p> <p>Incremental sheet forming (ISF) is a die-less sheet forming technology for small lot production of a wide variety of products in the automotive, aerospace, ocean engineering, and construction industries. This technology has advantages in both cost reduction and manufacturing flexibility/freedom compared with the conventional stamping process. This research aims to systematically address the critical issues affecting the ISF process in terms of formability, dimensional accuracy, forming thickness, etc. Firstly, based on a basic literature review of incremental sheet forming, a multi-step toolpath strategy was introduced to prevent cracks in a high wall angle shape by homogenizing the inclined wall thickness. Besides, to greatly increase the forming depth and avoid the crack in the ISF process with a single-step toolpath, a new contact-induced vibration tool was designed and tested. Moreover, to achieve high-precision ISF-formed parts, main geometric issues like pillow height and bending deviation have also been studied. These issues can be controlled by using the above multi-step toolpath strategy, a contact-induced vibration tool, and a novel position-adjustable universal backing plate system.</p> <p>Correspondingly, this thesis consists of the following 6 chapters.</p> <p>Chapter 1 briefly reviewed recent works in incremental sheet forming. It pointed out the advantage and existing issues and explained the main deformation mechanisms and key process parameters. Then, the objectives and the structure of this doctoral thesis were determined.</p> <p>Chapter 2 presented a multi-step strategy in the incremental sheet forming of a hyperbola shape with a specific height. It was found that this strategy can optimize the thickness distribution and reduce the occurrence of cracking. Besides, by adjusting the parameterized multi-step toolpath, the vertical motion of the central bottom area was avoided.</p> <p>Chapter 3 investigated a newly designed contact-induced vibration tool (V-tool) in incremental sheet forming of a hyperbola shape with aluminum alloys. The V-tool increased the thinning limit from 54% to 84% and improved the wall angle from <math>67^{\circ}</math> to <math>83^{\circ}</math>. It was figured out that the shear deformation plays a more significant role in obtaining high formability than the friction heating generated from tool rotation. For ISF with rotational V-Tool, the shear deformation effect may suppress the void growing and inhibit the occurrence of the crack.</p> <p>Chapter 4 applied the above-mentioned multi-step toolpath to form truncated pyramids with aluminum alloys and to adjust the pillow height at the bottom area. Through adjusting the horizontal movement step length in multi-step toolpaths, the vertical movement in the central area of the bottom can be induced, and then the pillow height of formed parts was controlled.</p> <p>Chapter 5 provided a new position-adjustable universal backing plate system. Compared to a conventional backing plate (C-backing plate) with a large opening deformation, the universal backing plate (U-backing plate) system can fit the curved upper edge of complex shapes. The key process parameters were defined and their effects on bending deviation were investigated. In the ISF forming of the truncated pyramid and L shapes, much smaller bending deviation and higher overall geometric accuracy were successfully achieved by the U-backing plate system compared with the C-backing plate.</p> <p>Chapter 6 summarized the main findings of this research and described the possibility of practical application and future research issues.</p> |   |

論文審査の結果の要旨及び担当者

|                 |     |     |       |
|-----------------|-----|-----|-------|
| 氏 名 ( WU SONG ) |     |     |       |
| 論文審査担当者         | (職) | 氏 名 |       |
|                 | 主 査 | 教授  | 麻 寧緒  |
|                 | 副 査 | 教授  | 大沢 直樹 |
|                 | 副 査 | 教授  | 飯島 一博 |

論文審査の結果の要旨

インクリメンタルシートフォーミング（ISF：Incremental Sheet Forming）は、型レス成形技術であり、車両、航空、海洋などのものづくり分野における少量多品種部品の生産に利用されている。ISF は、大型プレス機を用いるスタンピング成形法と比較して、投資コストが低く、成形の自由度と柔軟性が優れる。しかし、成形角度の制限や形状精度不良などの課題があり、成形ツールや成形パスの設計に関する検討が不十分である。そこで、本論文では、マルチステップ成形パスと非軸対称成形ツールにより振動を誘発する V ツールを提案し、限界成形角度と限界成形深さの増大による成形性向上をさせるとともに、任意形状の部品加工に適用可能な、位置調整型のユニバーサルバックプレートを開発して、部品形状精度の向上を図ることを、研究目的とする。

本論文は、以下 6 章から構成されている。

第 1 章では、ISF の研究現状を文献レビューし、解決すべき技術課題を整理するとともに、車体用軽量材として利用される薄板アルミニウム合金 A5034 を対象材に選定し、研究目標と本論文の構成を示している。

第 2 章では、マルチステップ成形パスを提案し、数値解析を用いて円錐台形を成形するための最適な成形パスを予測している。数値解析の結果に基づき、ISF 試験を実施し、成形高さの増加と、板厚減の抑制、成形割れ限界の増大と、底面形状の精度向上を実現している。

第 3 章では、これまでにない非軸対称型の加工ツール(V ツール)を提案・設計している。V ツールで ISF 成形することで、加工ツールと被加工板材の動的接触により被加工板材の振動が誘発されて成形性が向上し、結果として、従来の ISF 成形での最大成形角度 70° を 83° に増大させ、割れ発生の限界板厚減少率を 54%から 84%に増大させている。さらに V ツールによる成形時の局所温度上昇やひずみ状態を測定し、成形後の破面を観察・分析することにより、成形性向上のメカニズムを明らかにしている。

第 4 章では、第 2 章の提案手法による ISF マルチステップ成形パスを設計し、面内ステップ長さと面外ステップ深さを最適化し、ピラミッド部品形状を加工し、形状精度を向上している。

第 5 章では、任意形状の部品加工に適用できる、位置調整型のユニバーサルバックプレートを提案・設計している。L 字部品の成形に、従来固定型バックプレートと開発したユニバーサルバックプレートを用いた場合を比較して、ユニバーサルバックプレートの使用により形状精度が向上できることを示している。さらに、ユニバーサルバックプレートを構成するサブプレート間の間隔やコーナー部分の間隔および ISF 加工時のクリアランスが ISF 部品の形状精度に及ぼす影響を数値解析で調査し、最適な加工条件を提案している。

第 6 章は、本研究で得られた成果を結論としてまとめ、ISF 加工技術と応用に関する将来の技術課題を示している。

以上のように、本論文は、ISF 成形性および形状精度を向上するため、マルチステップ成形パスおよび振動を誘発する V ツールならびにユニバーサルバックプレートをそれぞれ提案・設計するとともに、数値解析と実験により成形性と形状精度の向上メカニズムを明らかにしている。これらの提案や研究成果は、複雑形状を有する車体部品の ISF 成形を実用化するために非常に有用である。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。