

知能化メタルフロー制御成形を指向した 手指機能模倣 CNC 塑性加工機の開発

信州大学 工学部 生産システム工学科

助教授 北澤君義

(平成4年度研究開発助成 AF-92026)

1. 研究の背景と目的

本成形法は、逐次成形（インクリメンタルフォーミング）の範疇に属する。インクリメンタルフォーミングは、総型を用いないことから型省略化の意味で多品種少量生産化への対応を可能にするのみならず、塑性加工の究極的な課題の一つであるメタルフロー制御を可能にするものと思われる。国内外の研究を方法論別に分類すると、①CNC工作機械を用いる手法、②手板金（逐次ハンマリング）手法、③転動鋼球を用いる手法、④多点プレスを用いる手法、⑤ショットピーニングを用いる手法等に分けられる。特に、①の手法については、工具運動の自由度が極めて大きいため、最適なメタルフロー制御を行うプロセスの決定については、ほとんど手付かずの状態にある。また、張出しタイプの成形であるため、薄板の円筒状成形、回転楕円面状成形、回転双曲面状成形などは、この手法では難しい課題とされていた。

これらの課題を解決するためには、ハードとソフトの両面からのアプローチが必要になる。まずハード的には、通常CNC工作機械を薄板の塑性加工へ応用しただけでは工具運動の自由度が不足するため、CNC工作機械を機能的に拡張するとともに接触覚などのセンシング機能を搭載しなければならない。次にソフト的には、データベースのみを用いたニューロ・ファジィ・GA等の推論手法の形式的な適用には限界があるため、何よりもCNCインクリメンタルフォーミングにおけるひずみの配分法則などのプロセスの実態を支配する法則の解明が必要になる。これら法則を用いたプロセス推論ルールが構築されれば、円筒形状、回転双曲面形状などの絞りタイプの成形形状をこのCNCインクリメンタルフォーミングにより張出し成形することさえ可能になるはずである。さらにデータベースが整えば、薄板を任意形状にインクリメンタルフォーミングするためのプロセスを自動的に決定することさえ可能になるはずである。

このような観点からは、陶芸ろくろ作業における人手指の材料流れ制御機能とスキル獲得過程に代表されるような、高度な「巧みの技」を生み出す金属塑性加工機の開発が、究極な目標の一つになる。本研究はその可能性を探る目的で行われた。具体的には、陶芸ろくろ作業における手指の材料流れ制御機能を模倣した新しい金属塑性加工機を開発し、

開発機を用いたメタルフロー制御技術とその知能化手法の構築を試みた。

2. 研究方法

陶芸ろくろ作業における人手指の運動プロセスに関する知見をもとに、コンピュータ制御の塑性加工機を開発する一方で、CNCインクリメンタルフォーミングにおけるひずみの配分法則などのプロセスの実態を支配する法則を解明する。そして、この法則を用いたプロセス推論ルールを構築し、開発機を用いて実際に板材の深皿状・壺状等の成形を行い、その有効性を確認するとともに、成形挙動に対する工具運動プロセスの影響をデータベースの形で蓄える。そしてその結果をもとに、くびれ・しわ・座屈などのメタルフローに起因した不整形形の抑止と肉厚分布制御の観点から、最適なメタルフロー制御を可能にする工具運動プロセスを推論し、その有効性を検証する。さらに、接触覚情報をもとに素材の変形形状を予測し、メタルフロー制御戦略の観点から、成形途中で最適な工具運動プロセスを判断する知能化システムの開発を試みる。

3. 研究成果

3.1 成形装置の試作

手指の機能を模倣できるようにCNC旋盤の機能を大幅に拡張したCNC塑性加工機を開発した。開発機は、奨励研究助成をもとに以前開発した試作機の機能を拡張したCNC塑性加工機になっており、1本の棒状工具の運動自由度を最大5自由度まで活用することができ、かつメタルフロー制御と高精度加工を行う上で欠かせない接触覚情報を取り込める構造に設計されている。また、薄板成形の反転成形を目的に開発されたブランクホルディングユニットの取り付けと、工具ホルディングマウントへのCNCペアローラー対の取り付けも可能な構造になっている。

3.2 ひずみ配分法則の解明とプロセス推論ルール

CNCインクリメンタルフォーミングにおけるひずみの配分法則などのプロセスの実態を支配する法則の解明を行った。まず、インクリメンタルフォーミングプロセスに対する幾何学的な制約条件について調べ、ひずみ配分に対する

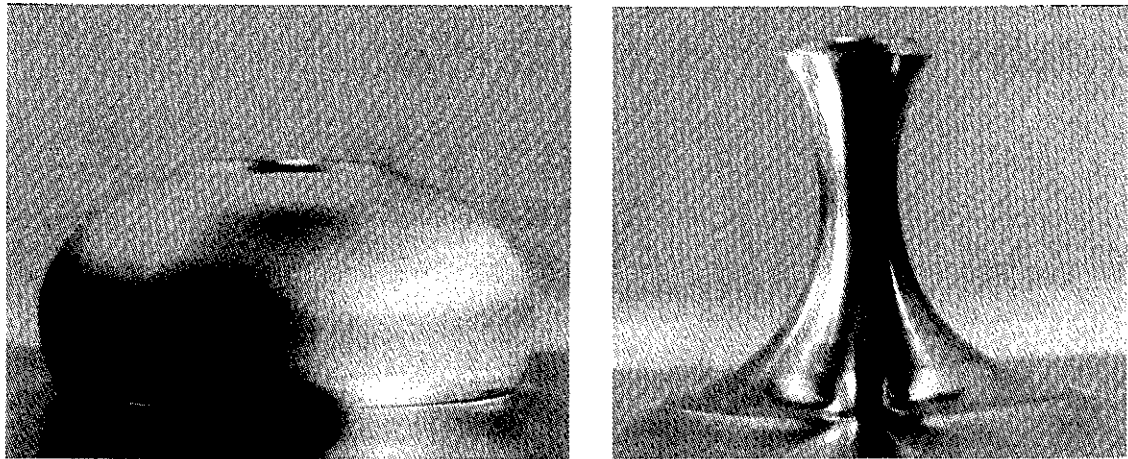


図1 アルミニウム硬質板の壺状張出し成形（左）と鼓状張出し成形（右）

2つの基本法則の存在を証明した。この基本法則を用いて、最終輪郭形状と肉厚分布を指定した場合のインクリメンタル張出し成形プロセスのシミュレーションを行い、その有効性を確認した。また、これらの基本法則を用いて、任意の製品形状を成形するためのプロセス推論ルールを構築した。

3.3 薄板の深皿状・壺状・鼓状張出し成形

従来の張出しタイプのCNCインクリメンタルフォーミングでは通常成形が難しいと思われていた薄板の深皿状・壺状成形等の成形プロセスを推論ルールを用いて求め、その結果をもとに開発機を用いて成形を行った。成形例を図1に示す。いずれの製品も板厚1mmのアルミニウム硬質板から本成形技術により成形されている。最大ひずみは相当塑性ひずみで200%を越え、通常の金属薄板が超塑性材料のように成形されている。

3.4 成形データベースの整備と不整形の回避プロセス

開発したシステムを用いて、アルミニウム板、アルミニウム合金板、銅板等の各種薄板を様々な形状に成形し、成形形状と肉厚分布、くびれ・しわ・座屈などのメタルフローに起因した不整形の発生状況を調べ、成形挙動に対する工具運動プロセスの影響に関するデータベースを整備した。このデータベースをもとに、くびれ・しわ・座屈などのメタルフローに起因した不整形の発生を回避するルールをプロセス推論ルールに組み込み、その有効性を確認した。

3.5 接触覚情報をもとにした知能化

薄肉素材のインクリメンタルフォーミングでは、薄肉素材の大たわみ変形とメタルフロー挙動が密接な関係を有している。そこで、接触覚情報をもとに素材の変形形状を予測し、メタルフロー制御戦略の観点から成形途中で最適な工具運動プロセスを判断する知能化システムの開発を試みた。

4. むすび

本研究では、まず、陶芸ろくろ作業における手指の材料流れ制御機能を模倣した新しい金属塑性加工機を開発した。

つぎに、ひずみ配分法則について検討し、その結果をもとにプロセス推論システムを構築した。そして、開発機を用いたメタルフロー制御成形を行い、データベースを整えた。また、接触覚情報をもとにした知能化システムの開発を試みた。

5. 謝辞

研究の機会を与えていただき、またご支援を賜りました財団法人天田金属加工機械技術振興財団に厚く御礼申し上げます。

6. 文献（本研究に係わる発表：既発表分）

- (1) 金子哲也・北澤君義：平成5年度塑性加工春季講演会講演論文集,(1993),No.225, 619-620.
- (2) 北澤君義・若林昭彦・金子哲也：平成5年度塑性加工春季講演会講演論文集,(1993),No.226, 621-6624.
- (3) 金子哲也・北澤君義：第44回塑性加工連合講演会講演論文集,(1993), No.605, 349-350.
- (4) 北澤君義・若林昭彦・手塚佳夫：平成6年度塑性加工春季講演会講演論文集 (1994),No.T223, 591-592
- (5) 北澤君義・金子哲也：平成6年度塑性加工春季講演会講演論文集 (1994),No.T225, 597-600.
- (6) 北澤君義・金子哲也：平成6年度塑性加工春季講演会講演論文集 (1994),No.T226, 601-602.
- (7) 若林昭彦・北澤君義：第45回塑性加工連合講演会講演論文集,(1994),No.336, 747-750.
- (8) 北澤君義・若林昭彦・中島明：第45回塑性加工連合講演会講演論文集,(1994), No.337, 751-752.
- (9) 北澤君義・若林昭彦・尾角拓勉：第45回塑性加工連合講演会講演論文集,(1994), No.338, 753-754.
- (10) 北澤君義・若林昭彦・林真太郎：第45回塑性加工連合講演会講演論文集,(1994), No.339, 755-756.