

氏名	鈴木 洋平
所属	システムデザイン研究科 システムデザイン専攻
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	シス博 第141号
学位授与の日付	令和3年3月25日
課程・論文の別	学位規則第4条第1項該当
学位論文題名	ステンレス薄材のマイクロ精密せん断加工法の開発
論文審査委員	主査 教授 楊 明 委員 教授 小林 訓史 委員 教授 北菌 幸一 委員 准教授 古閑 伸裕（日本工業大学大学院）

【論文の内容の要旨】

近年の自動車，電子機器，医療機器分野におけるマイクロ金属部品に対する需要は高い。それらの市場展開には高精度かつ低コストの生産技術が不可欠である。一般的に，高精度かつ安価で大量に生産する工法にはプレス加工が多く使われている。特に，せん断加工は製品と被加工材を分離する方法でプレス加工の中でも多くの部品加工に用いられている。せん断加工による切り口面は，だれ・せん断面・破断面・かえりで構成されるが，精密せん断の場合，切り口面に対して，だれが少なく，破断面を生じさせない“全せん断面”が要求されるが加工の難易度は高い。その解決手段として，従来ではファインブランキング法が代表的な精密せん断加工法として用いられるが，マイクロせん断加工の場合，スケールダウンに伴い，金型と素材のそれぞれにおいて，以下に示す課題があり，これまでのマクロの知見をそのまま採用することは困難である。

金型に関しては，一般的にパンチとダイのクリアランスが被加工材の板厚比で表され，被加工材が薄くなることでクリアランスは小さくなる。ファインブランキング法におけるマクロの知見では，クリアランスは被加工材板厚の1%とされている。例えば，板厚0.1 mmの場合，そのクリアランスは1 μ mとなるため，パンチとダイの位置合わせは極めて難易度が高くなる。一方，素材に関しては，被加工材は薄肉化することで延性が低下することが知られている。せん断加工による切り口面は被加工材の延性に大きな影響を受け，より破断面が大きくなる。更に，自動車部品，電子部品，医療部品にはオーステナイト系ステンレス鋼が多用されている。この場合，変形の進行に伴い，オーステナイト組織が加工誘起マルテンサイト組織に変態し，延性が低下することで，破断面がより大きくなる。マイクロ精密せん断加工において全せん断面を実現するには，マイクロなスケールに適した新工法の開発が求められる。

そこで本研究では、ステンレス薄材のマイクロせん断加工において、切り口面を全せん断面で加工可能な新工法の開発を目的とした。ダイ直径よりもパンチ直径を大きくする負クリアランスによる押出し加工とせん断加工を組み合わせたハイブリッド工法を提案し、その有効性及び実用性について評価した。具体的にはプレス実験による切り口面状態の評価、新工法における被加工材の変形挙動を有限要素法によって解析し、新工法の破断抑制メカニズム解明を試みた。さらに実用化に向けた金型形状やプロセス条件の最適化を検討した。本論文は以下の5章から構成されている。

第1章では序論として、塑性加工の分野におけるマイクロせん断加工の概要と問題点について述べ、本研究の位置づけおよび目的を示した。

第2章では、オーステナイト系ステンレス鋼を用いてマイクロ部品の代表例としてマイクロ歯形形状のマイクロ精密せん断加工を行い、従来技術の精密せん断加工法の中でもマイクロせん断加工に展開できる比較的簡易な工法の極小クリアランス且つダイ刃先部に微小Rをつける仕上げ抜き法と新工法による比較実験を行った。従来技術の仕上げ抜き法においては、切り口面の破断を抑制することが出来なかったが、新工法においては破断を抑制できることを示した。

第3章では、第2章で得られた結果に対する加工メカニズムを解明するため、新工法の素材変形メカニズムを有限要素法解析（以下 FEM 解析）及び金属材料のミクロな組織構造を定量的に評価することが可能な電子後方散乱回折（以下 EBSD）を用いて分析した。FEM 解析結果より、新工法の負クリアランスと従来工法の仕上げ抜き法とでは、ダイ付近における被加工材の流動方向や流動速度が異なることを明らかにした。被加工材の内部応力は仕上げ抜き法では引張応力が生じているのに対して、新工法の負クリアランスでは圧縮応力が生じ、破断が生じることを示す指数のダメージ値（加工履歴に伴うひずみと応力の積分値）は新工法の方が小さくなることが分かった。EBSD 結果からは新工法と従来工法とでは、パンチとダイの角部を結ぶ加工進行経路の Kernel Average Misorientation（以下 KAM 値）が異なることを明らかにした。

第4章では、新工法の負クリアランスを用いることでパンチへの負荷が高くなり、金型寿命低下につながると推測されることから、全せん断面で加工可能且つ、パンチへの負荷が最小となるクリアランス及び金型形状を探索した。その結果、切り口面の破断を抑制でき且つパンチ荷重が最小となるクリアランスを明らかにした。更には、パンチエッジとダイエッジに小さな面取りを施すことでパンチへの負担をさらに軽減した。面取りサイズとクリアランスの最適値を FEM 解析で求め、その解析で得られた条件でプレス打抜き実験の結果より、新工法の負クリアランス打抜きはオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の薄板において、試作や量産における1ロットとして想定する10,000ショットの加工に耐えられ、実用化の可能性が確認できた。

第5章では、総括として本研究で得られた結果をまとめた。本研究に対するさらなる追及に対する課題について述べた。