

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	西村 隆一
論文題目	高強度鋼板のフランジアップ成形に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>省エネルギーおよび環境対策として、自動車の軽量化が重要課題であるが、その達成のため適用が拡大する高強度鋼板のプレス加工では、外形抜きされた素材端部をフランジアップ成形する際に生じる伸びフランジ破断の回避が、最も難しい課題の一つとして残されている。本論文は、高強度鋼板の伸びフランジ成形を伴うフランジアップ加工技術に関する研究結果をまとめたもので、7章から構成されている。</p> <p>第1章は序論で、本研究の背景および本研究の対象であるフランジアップ成形における重要な課題である伸びフランジ成形について、従来から研究事例が多い穴広げ成形と比較して詳述し、本研究の着眼点と目的について述べている。</p> <p>第2章では、車体機能にとって重要であり、加工技術面で難易度の高い端部フランジアップ成形を高強度鋼板で実現することを目的として、まずは端部フランジアップ成形性に及ぼす製品形状および材料特性の影響を明らかにした。さらにフランジ高さ H が高く、稜線半径 R_p が小さい場合、成形中に根元の素材断面が尖ることで成形性低下が助長されることを見出した。</p> <p>第3章では、第2章と同じ端部フランジアップ成形を対象として、フランジアップ成形性に影響を及ぼすと判明した成形時の根元ブランクの曲げ挙動に着目し、異なる2種類の曲げ成形工法によるフランジアップ成形性の比較を試みた。その結果、先端の板厚減少抑制のためには成形中のフランジ根元の素材曲げ曲率 $1/R_m$ を小さくし、根元のしわ抑制のためには成形中の天板部の素材余り W_b を小さくすることが有効であることがわかった。</p> <p>第4章では、フランジアップ成形の前工程である外形抜き工程に着目し、フランジアップ成形性を向上させる指針について調査した。その結果、高強度板材の外形抜きでは、打抜きクリアランスの板厚比 CL/t が大きい条件で、素材倒れ込みに起因して素材端面に過大バリが生じやすく、フランジアップ成形性が顕著に低下することを初めて明らかにした。また過大バリが生じやすい端面形状および材料特性を明らかにした。さらに、素材倒れ込みを低減する外形抜き金型構造により、過大バリを抑制し、成形性を向上させることができることを明らかにした。</p> <p>第5章では、代表的な各種伸びフランジ成形を対象として、外形抜き（フランジアップ成形の前工程）と穴抜き（穴広げ成形の前工程）を明確に区別した上で、一般に成形限界とされる板厚くびれあるいは端面貫通亀裂のいずれかの発生と定義した伸びフランジ成形限界を体系的に調査した。その結果、打抜き加工を前工程として採用した場合は、同等の変形勾配の条件において、穴広げ成形の成形限界板厚ひずみ e_{lmax} がフランジアップ成形に比べて顕著に低いことがわかった。一方、穴広げ成形、フランジアップ成形それぞれにおいては、いずれもひずみ勾配が大きいほど、e_{lmax} が増大することを明らかにした。前者の要因は、穴抜きの端面品質が外形抜きに比べて顕著に劣るためであることがわかった。さらに過大バリを抑制した条件では、フランジアップ成形性は CL/t による変化が小さいことがわかった。すなわちフランジアップ成形限界予測は、e_{lmax} とひずみ勾配の関係から求められる限界の e_{lmax} を判定値とすることで可能となることを突き止めた。</p>			

第6章では、980MPa級超高強度鋼板を用いて、端部フランジアップ成形を実現する加工技術を検討した。第2, 3章での検討で得た成形性向上のための知見を活用し、根元素材の曲げ挙動制御による変形分散の観点から、新たなフランジアップ成形性向上手法を考案(考案工法)した。さらに考案工法では適正な下パッドストローク S_{lp} に設定することで、打抜き加工端面でもフランジ高さ $H=15$ mmのフランジアップ成形が可能となることを実証した。

以上により、本研究では、高強度鋼板の伸びフランジ成形を伴うフランジアップ加工技術を完成させた。

第7章は結論であり、第1章から第6章を要約して結論を述べている。また今後の展望として、フランジアップ加工技術および外形抜き技術の適用が広がることで、部材端部の稜線部のフランジが連続化された部材が広く実用に供されれば、自動車車体構造の剛性および衝突特性がさらに向上し、地球温暖化対策への貢献が期待されることを述べている。さらに本研究成果は、その他の変形様式での素材割れ抑制をはじめ、量産プレス加工へ広く応用可能であることを例示している。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

省エネルギー、環境対策として重要な自動車軽量化のため、車体への適用が拡大する高強度鋼板のプレス加工では、外形抜き（第1工程）によって整えられた素材端部をフランジアップ成形（第2工程）する際に生じる伸びフランジ破断の回避は、最も難しい課題の一つである。高強度鋼板の伸びフランジ成形を伴うフランジアップ加工技術の構築には、以下の観点での検討が必要である。

- 1) 素材端面品質および伸びフランジ成形性に及ぼす外形抜き条件の影響の明確化ならびに端面品質向上手法の確立
- 2) 外形抜きされた伸びフランジ成形限界の定量化
- 3) フランジアップ工程における伸びフランジ成形を実現する手法の確立

本論文ではこれらを解決するために、外形抜き工程およびフランジアップ工程での鋼板の変形挙動が、数値解析および実験によって詳細に調べられている。まず、多くの研究がなされてきた穴広げ成形と異なり、従来詳細な研究が行われていなかった外形抜き後のフランジアップ成形での成形性について、外形抜き条件を変化させて詳細に調査を行った。つぎに、数値解析によるフランジアップ成形の可否予測に必要となる伸びフランジ成形限界の定量化を検討した。さらに、フランジアップ成形工程において、以上で得られた成形限界以下に変形量を抑制するため、新たな成形手法を考案した。得られた主な成果は以下のとおりである。

- 1) 外形抜きされた高強度鋼板の伸びフランジ成形限界は、外形抜きクリアランスの板厚比 CL/t が大きい場合に過大バリが生じ、顕著に低下する。一方で過大バリが生じない範囲では、 CL/t によらず成形限界は概ね同等の値を示す。さらに過大バリ要因である鋼板の倒れ込みを抑制する金型構造によって、過大バリおよび成形限界の低下が抑制可能である。
- 2) 外形抜きされた高強度鋼板の伸びフランジ成形限界は、過大バリが生じない範囲では、伸びフランジ成形端部付近のひずみ勾配から予測することが可能である。
- 3) 上記 2) の成形限界を超えずに加工する手法として、下側からパッドで鋼板を持ち上げることで、端部の変形分散を狙った工法を考案した。さらに成形条件最適化により、超高強度鋼板で端部のフランジが連続化された、伸びフランジ成形が可能であることを実証した。

以上から、高強度鋼板の伸びフランジ成形を伴うフランジアップ加工技術が確立された。また本論文で得られた成果は、①高強度鋼板における外形抜きの伸びフランジ成形限界は、各種の伸びフランジ成形の成形限界予測に適用可能である ②過大バリ抑制条件や、考案した外形抜き金型は、高強度鋼板の様々なプレス部品の品質確保に有効である ③パッドを活用して変形分散を実現した考案工法の概念は、例えば曲げ割れ成形性向上にも応用可能である など、その他のプレス加工への適用も期待され、学術上、実用上寄与するところは大きい。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 8 月 21 日実施した論文内容とそれに関する試問の結果、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降