

プレス加工による製品端部の増肉成形技術

茨城大学大学院 理工学研究科 応用粒子線科学専攻
 講師 西野創一郎
 (平成 19 年度一般研究開発助成 AF-2007024)

キーワード：増肉成形，加工硬化，ファイバーフロー

1. 緒言

著者らはプレス加工による厚板の局部的増肉に関する研究⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾を実施しており，図1に示すように増肉部の金型に傾け角度を設定して，折れ込みや座屈を防止しつつ，効率的に板厚を増やす加工方法を提案している．これまでに，成形シミュレーションによる金型傾け角度の最適化⁽¹⁾，平板の増肉成形⁽²⁾，円錐形状の試験片の増肉成形⁽³⁾について研究を行ってきた．前報⁽⁴⁾では，被加工材として軟鋼（引張強さ 270MPa）に加えて，440MPa 級高張力鋼板（ハイテン材）における増肉成形について検討した．また，製品端部だけではなく内部の増肉成形についても研究を進めている．

本研究では，軟鋼およびハイテン材を用いた製品端部の増肉成形機構についてさらに詳細に検討するために，結晶粒の変形の観察や材料流れの可視化を実施した．また，材料流れと加工硬化の関係について考察した．

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材

供試材は軟鋼板（JSH270D）と高張力鋼板（JSH440W）であり，表1にそれぞれの機械的特性を示す．板厚はどちらの材料も 4mm である．この板材から Φ80mm の円盤を切り出し，中心に Φ13.5mm の穴を開けて試験片とした．中心の穴は位置決めに使用する．

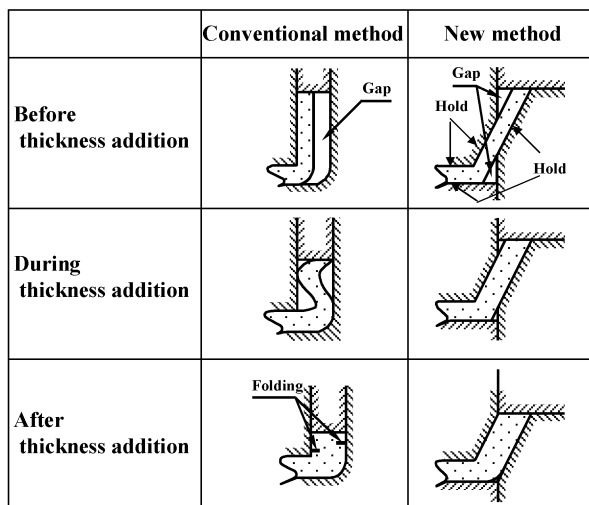


図1 増肉成形法の考え方

2.2 テスト型構造

図2に示したテスト型にて増肉試験を行った．このテスト型の特徴は，増肉部に発生する横方向の分力を相殺するため，増肉部を円錐形の軸対称な形状としていることである．そして，増肉部に拘束力を負荷することが可能なように，ガススプリング（上型 8 本／下型 7 本）を型内に配置した構造としている．そして，このガススプリングの本数を調整することにより拘束力の調整を行っている．

2.3 増肉工程

図3に各工程の成形完了品を示す．本研究における増肉は，(a)にて供試材の外周部を円錐形状に予備成形し，(b)にて第一増肉，(c)にて第二増肉を行っている．増肉部の傾け角度は前報⁽¹⁾の研究結果より 70 度に設定した．また，増肉工程を二段階に分割した理由は以下のとおりである．すなわち，大きな増肉量を確保するためには一回のみで増肉すると，テスト型の構造上，被加工材を拘束できない範囲が大きくなり，折れ込みが発生するためである．

表1 供試材の機械的性質

Material	Thickness (mm)	Yielding Stress (MPa)	Tensile Stress (MPa)	Elongation (%)
JSH270D	4.0	298	361	40
JSH440W	4.0	349	464	38

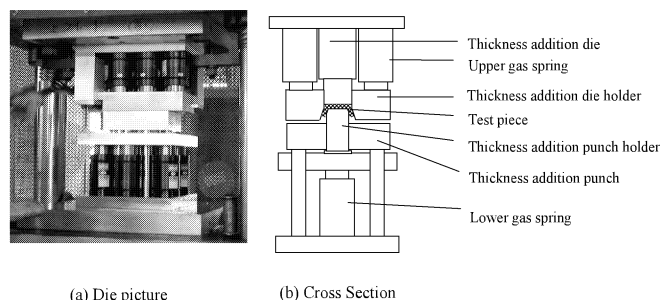


図2 テスト金型

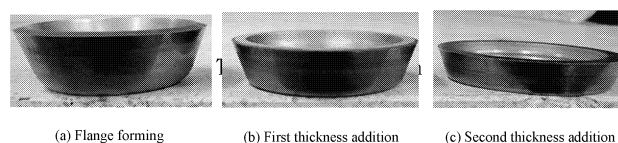


図3 各工程製品

2.4 増肉部の拘束力

増肉時の座屈による増肉内部でのせん断・折れ込みや倒れを防止するためには、増肉部の拘束力の調整が重要である。この拘束力の調整は、テスト型内に組み込んである上型と下型のガススプリングの本数を増減することにより行った。

2.5 評価方法

各試験条件における増肉部を切断して断面における板厚、ヴィッカーズ硬度を測定した。また、成形による材料流れ、結晶粒、折れ込み等の欠陥有無の微視的観察を行った。なお、材料流れの観察ではエッチング液としてピクリン酸を、結晶粒の観察ではナイトールをそれぞれ使用した。

3. 実験結果および考察

3.1 最適成形条件と断面観察

最適成形条件における各工程のガススプリングによる拘束力を表 2 に示す。表中の数値は上下のガススプリングの総計荷重を示しており、「Lower」は増肉内側部の拘束荷重、「Upper」は増肉外側部の拘束荷重を表わしている。表 2 から高張力鋼板の増肉成形では、軟鋼の内周部で約 1.2 倍の成形荷重、そして外周部で約 2 倍の拘束荷重を必要とする。

図 4 に最適な増肉成形条件にて得られた軟鋼板と高張力鋼板の各工程の断面写真を示す。最適条件で成形された製品断面では折れ込みやき裂等の不具合は確認されず、目的とした増肉形状が得られていることが確認された。

3.2 板厚測定

図 5 に、軟鋼と高張力鋼板の各工程完了形状を重ねて表示した。工程が進むにつれて板厚が増加していることが確認できる。試験片底部から 8mm の高さでの板厚を測定した結果、軟鋼では第一増肉が 6.0mm (増肉率 35%)、第二増肉が 8.1mm (増肉率 103%)、高張力鋼板では第一増肉が 5.3mm (増肉率 19%)、第二増肉が 7.7mm (増肉率 93%) であった。なお、増肉率は下記の式にて算出した。

増肉率 = (成形後肉厚 - 素材板厚) ÷ 素材板厚 × 100 (%)
本研究で使用した軟鋼板 (JSH270D) と高張力鋼板 (JSH440W) では、軟鋼板の方が均一で大きな増肉率が得られている。

3.3 硬度測定

図 6 に各材料における素材硬度、そして予備成形後、第一増肉成形後、第二増肉後のサンプルにおける断面硬度を示す。なお、測定点数は、断面上で 70~90 点であり、図 6 には最小、最大そして平均硬度を表示した。同図から増肉成形の進行により、加工硬化による大幅な硬度上昇が得られていることが確認された。すなわち、成形による硬度上昇を見込んで設計することで、製品板厚の薄肉化 (軽量化) が可能である。

また、軟鋼板と高張力鋼板においてサンプル断面上部、中央部、下部の 3 点に絞って硬度上昇率を比較した結果を表 3 に示す。各ポイントで軟鋼板の方が高張力鋼板より上昇率が約 10% 高く、軟鋼と高張力鋼板との差が小さくなっ

ている。

3.4 結晶粒形の観察

成形による素材の変形状態を微視組織レベルで観察するためにナイトール・エッチングによって各材料の結晶粒を現出させて結晶粒形状の観察を行った。

図 7 は、各材料における予備成形、第一増肉成形、第二増肉成形サンプルの断面における結晶粒形状である。予備成形では圧縮力が負荷されていないため結晶粒が潰れていない。第一増肉成形では上下方向に少し変形している。第二増肉成形では結晶粒は扁平になっており、増肉成形による変形が確認された。

表 2 拘束力

Material	Before thickness addition (kN)	First thickness addition (kN)	Second thickness addition (kN)
JSH270D	Lower 276.8	Lower 276.8 Upper 103.1	Lower 276.8 Upper 206.1
JSH440W	Lower 322.9	Lower 322.9 Upper 206.1	Lower 322.9 Upper 206.1

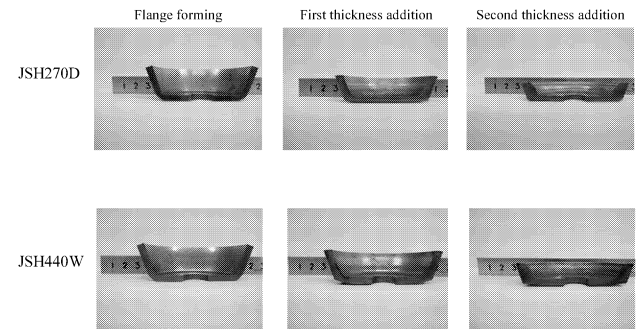
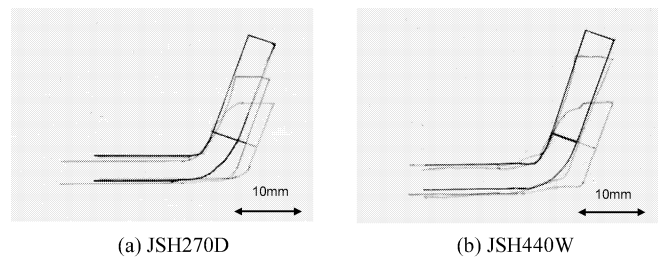


図 4 成形品の断面写真



(a) JSH270D (b) JSH440W

図 5 成形品断面における増肉状況

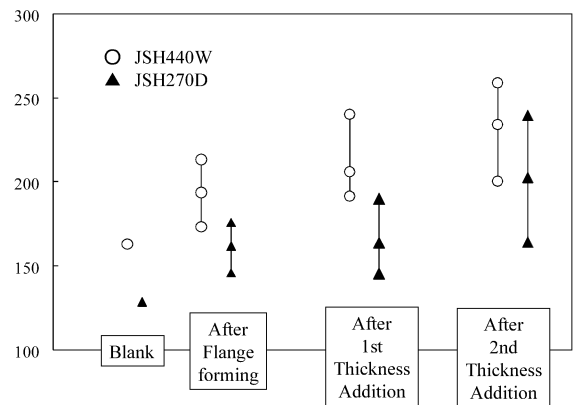


図 6 成形品の断面硬度

3.5 材料流れ (ファイバーフロー) の観察

図8に、各材料における第一および第二増肉工程サンプル断面のファイバーフローを示す。工程が進むと、材料の流れはS字形状に湾曲していき、ファイバーフローの線が密なと疎な部分があることが確認された。いずれの材料においても座屈や折れ込みは観察されなかったが、材料流れは湾曲することがわかった。図9は、各材料の第二増肉工程サンプルの断面におけるファイバーフローと硬度分布を対応させた結果である。ファイバーフローが湾曲していて、なおかつ密な部分ほど硬度が高い。材料流れと加工硬化は相関があると考えられる。なお、軟鋼板と高張力鋼板で材料流れに大きな相違はなかった。

表3 硬度向上率

Ratio of hardness increase (%)		
	JSH270D	JSH440W
Upper	43	33
Center	67	52
Lower	58	48

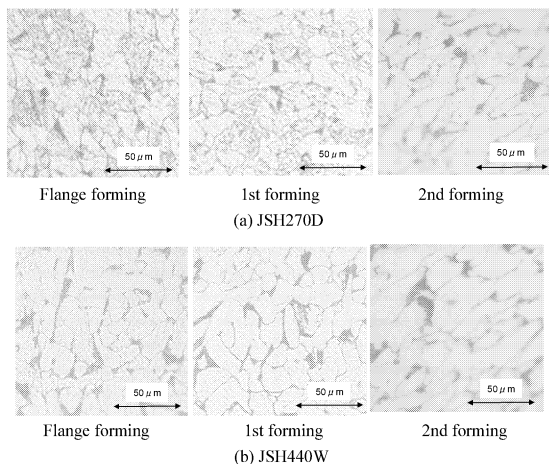


図7 結晶粒の変形

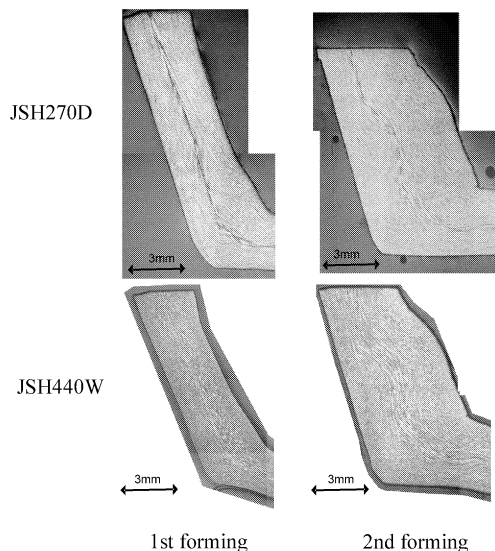


図8 ファイバーフロー

4. 結言

本研究では、軟鋼およびハイテン材を用いた製品端部の増肉成形を実施して、板厚の増肉率や素材の加工硬化、そして結晶粒の観察や材料流れの可視化を実施した。これらにより得られた結果を以下に示す。

- (1) 軟鋼板 (JSH270D), 高張力鋼板 (JSH440W) とともに適切な成形件であれば約 100% の増肉が可能である。ただし、素材強度に対応して成形および拘束荷重の調整が必要である。
- (2) 成形品の平均硬度は、加工硬化によって約 50% 向上した。この硬度上昇と厚肉化を有効に活用することで、従来行っていた別部品の溶接結合や後工程での熱処理を廃止できる。
- (3) 成形品内部の結晶粒形は圧縮荷重によって均一に変形していた。また、ファイバーフローの観察によって、素材内部の材料は S 字形状に湾曲していることが判明した。材料流れと加工硬化には相関がある。

以上より、軟鋼板が高張力鋼板に対して増肉率・増肉の均一性・硬度上昇率・成形荷重のいずれにおいても優れていることが実証された。このことは、増肉以外のプレス成形性も含めて、加工性に優れた軟鋼板を有効に活用することにより、より複雑形状で肉厚の変化のある軽量の製品の一体成形が実現できる可能性を示している。本研究成果が活用されて、プレス加工領域が拡大されることを希望する。

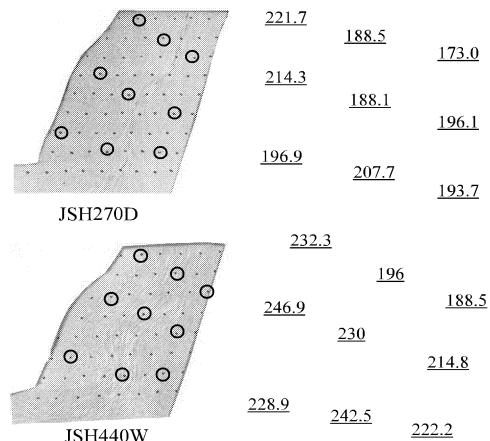


図9 ファイバーフローと断面硬度の関係

謝辞

本研究の遂行において、財団法人天田金属加工機械技術振興財団より研究助成を頂きました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 高橋信吾ほか2名, 自動車技術会 2003年春季大会学術講演前刷集, No.10-03, pp.1-3(2003)
- (2) 江川尚史ほか5名, 自動車技術会 2006年春季大会学術講演前刷集, No.45-06, pp.21-24(2006)
- (3) 重松史明ほか5名, 自動車技術会 2009年春季大会学術講演前刷集, No.16-09, pp.1-4(2009)
- (4) 重松史明ほか7名, 自動車技術会 2009年秋季大会学術講演前刷集, No.103-09, pp.1-4(2009)