	こんそるしょ　さりなさる　なもこ　じゅにあ
氏　　名	CONSORCIO　S.NAMOCO　JR.
学位(専攻分野)	博　士（工学）
学位記番号	博甲第　５０４　号
学位授与の日付	平成 20 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 3 条第 3 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科　情報・生産科学専攻
学位論文題目	STUDIES ON IMPROVING THE STRENGTH AND FORMABILITY OF SHEET METALS BY EMBOSSING AND RESTORATION PROCESSES （金属薄板のエンボス・リストレーション加工による板材の高強度化と成形性の向上に関する研究）
審査委員	(主査) 教授　高倉章雄 教授　森脇一郎 教授　秋山雅義 准教授　飯塚高志

論文内容の要旨

本研究では，金属板材を強化するエンボス・リストレーション加工法について調査している．この加工法は，球形パンチによる金属板材の張出し(エンボス)と，その後エンボス加工された板材が平坦工具間で圧縮される(リストレーション)工程からなる．リストレーション後，座屈による多重のリング模様が，平坦化された金属板材の表面にひとりでに現れる．この部分において，板材は断面係数の増加と加工硬化を受ける．この興味深い現象に基づき，エンボス・リストレーション加工を通じて金属薄板の機械的特性を向上させる条件について実験的，及び解析的に調査した．さらに，板材の破断の危険性が高い部分に局所的にリストレーションを施すことにより，金属板材の成形性の向上に適用した．

本論文は７章からなる．第１章は研究の背景と金属板材成形，及びそれに関連する研究について述べている．

第２章では，張出しを受けたアルミニウム板(Al-O)，軟鋼板(SPCC)，ステンレス鋼板(SUS)のリストレーション挙動について実験的，解析的に調査した．その結果，張り出された材料が平坦に圧縮される際に，張出し変形部における座屈により板材の表面に多重の円形のリング模様が現れることを明らかにしている．リング模様は３つのパターンに区別され，板厚がこのリストレーション挙動に直接的な影響を及ぼすこと，さらに，張出し高さと張出し径がリストレーション後に形成される輪の数と大きさに影響を及ぼすことを明らかにしている．FEM 解析の結果は，実験結果とよく一致している．

第３章では，エンボス・リストレーション加工が板材の機械的特性に及ぼす影響を調査するために，これらの加工がなされたアルミニウム合金板について引張試験，及び曲げ試験を行い，その機械的特性を調査した．その結果，加工を施すことで板材の降伏強度が変化し，全伸びが増加すること，さらに，エンボス板，及びリストレーション板の両者に関して曲げ強度が増加することを明らかにしている．

第４章では，エンボス，またはリストレーション板の剛性に影響を及ぼすいくつかのパラメータについて実験と FEM シミュレーションの両方から詳細に調査した．その結果，剛性は金属板

材に施すエンボス，あるいはリストレーションの様々な配置パターン(数，位置，ピッチ)により高められる事が示された．エンボスパンチの形状もまた，剛性に多大な影響をもたらす．エンボス，またはリストレーションが施された場合，いずれも未加工材と比較して剛性が向上し，その中でも六角形パンチで加工を施したものが，ひし形，半球状パンチの場合と比べて最も増加した．さらに，低い曲げ荷重において，エンボス板はリストレーション板よりも剛性が高い．荷重が増加するに連れて，エンボス，及びリストレーションによる加工硬化の影響がより明白となり，リストレーション板の方がより高い剛性を示すことを明らかにしている．

第５章では，エンボス・リストレーション加工を施した板材のプレス成形性(深絞り加工)の向上について検討している．絞り前のブランクには，様々なパターンのエンボス，及びリストレーション，あるいはその組み合わせからなる加工を施す．その結果，フランジ部にエンボスあるいはリストレーションを施すことにより，フランジ部の絞り抵抗が減少し，板材の絞り性が向上した．一方で，破断危険領域(高ひずみ領域)であるパンチ肩部にリストレーションを施すことで，その領域の強度が増し，結果として成形性が向上した．エンボス・リストレーションを組み合わせた明白な効果は，深絞りにおける限界絞り比(LDR)の改善へと繋がり，エンボス・リストレーション加工を施したアルミニウム合金板で，容器の成形高さにおいて２０％の増加を得ることができた．

第６章では，エンボス加工板の機械的特性について述べている．複数のパンチを用いて板材の両面に同時にエンボス加工を施す基礎的研究について実験と FEM シミュレーションを行った．また，エンボス板の曲げ試験と引張試験を行い，その結果を未加工材と比較した．エンボス高さと共に最大曲げ荷重が増加し，それに従い曲げ剛性は増加する．エンボス方向 θ ＝４５°の場合よりも，θ ＝０°の場合の方がそれらの値は大きくなる．FEM の結果は，実験の結果とよく一致した．引張試験では，エンボス高さが大きくなると，引張強さと全伸びは相応して減少することを明らかにしている．

第７章は結論であり，最近の研究から得られた主な結果と今後のさらなる研究のための提言を述べている．

論文審査の結果の要旨

本論文は，金属板材を強化するためのエンボス・リストレーション加工法を考案し，その変形挙動ならびに加工を施された板材の機械的性質及びプレス成形性について実験と解析の両面から検討している．

アルミニウム板(Al-O)，軟鋼板(SPCC)，ステンレス鋼板(SUS)のリストレーション挙動について，張り出された材料が平坦に圧縮される際に，張出し変形部における座屈により板材の表面に多重の円形のリング模様が現れることを明らかにしている．リング模様は３つのパターンに区別され，板厚がこのリストレーション挙動に直接的な影響を及ぼすこと，さらに，張出し高さと張出し径がリストレーション後に形成される輪の数と大きさに影響を及ぼすことを明らかにしている．

エンボス・リストレーション加工された板材の引張試験，及び曲げ試験を行い，加工を施すことで板材の降伏強度が変化し，全伸びが増加すること，さらに，エンボス板，及びリストレーション板の両者に関して曲げ強度が増加することを明らかにしている．また，この剛性に対する金

属板材に施すエンボス，あるいはリストレーションの形状および配置パターン(数，位置，ピッチ)の影響を明らかにしている．
さらに，エンボス・リストレーション加工を施した板材のプレス成形性(深絞り加工)の向上について検討し，素板に様々なパターンのエンボス，及びリストレーション，あるいはその組み合わせからなる加工を施すことによって，フランジ部の絞り抵抗が減少させ，またパンチ肩部の強度を増加させることによって限界絞り比を向上できることを示している．

以上のように，金属板材の強度と成形性を高める方法として，エンボス・リストレーション加工法を新に提案し，そのメカニズムの解明およびその応用によって得られた知見は，金属板材の成形法全般においても応用できるものであり，学術的・工業的に高く評価できる．

本論文の内容は，以下に示す６編の学術論文として公表（１編は印刷中）されており，その全てが申請者が筆頭著者である．

(1) Experimental and numerical investigation of restoration behavior of sheet metals subjected to bulging deformation, Consorcio S. Namoco Jr., Takashi Iizuka, Roy C. Sagrado, Norio Takakura and Katsuhiko Yamaguchi, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.177 (2006), pp.368-372.

(2) Influence of embossing and restoration on the mechanical properties of aluminum alloy sheets, Consorcio S. Namoco Jr., Takashi Iizuka, Nobuo Hatanaka, Norio Takakura and Katsuhiko Yamaguchi, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.192-193 (2007), pp.18-26.

(3) Numerical Investigation of Flexural Properties of Sheet Metals Subjected to Embossing and Restoration Process, Consorcio S. Namoco Jr., Takashi Iizuka, Nobuo Hatanaka, Norio Takakura and Katsuhiko Yamaguchi, *Key Engineering Materials*, Vol. 340 (2007), pp. 377-382.

(4) Numerical Investigation on the Influence of Punch Geometry on the Bending Properties of Sheet Metal Subjected to Embossing and Restoration Technique, Consorcio S. Namoco Jr., Takashi Iizuka, Nobuo Hatanaka and Norio Takakura *Materials Forum* (accepted).

(5) Effects of embossing and restoration process on the deep drawability of aluminum alloy sheets, Consorcio S. Namoco Jr., Takashi Iizuka, Kenji Narita, Norio Takakura and Katsuhiko Yamaguchi, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.187-188 (2007), pp.202-206.

(6) Numerical Investigation on Bending Properties of Aluminum Sheet Subjected to Embossing on Both Sides, Consorcio S. Namoco Jr., Ryohei Kuramatsu, Takashi Iizuka and Norio Takakura, *COMPUTATIONAL PLASTICITY Fundamentals and Applications*, Vol. 1 (September 2007), pp. 362-365.