

# 論文内容要旨 (和文)

平成20年度入学 博士後期課程

専攻名 物質生産工学

氏 名 伊川 慎吾



論 文 題 目 アルミニウム合金板の集合組織制御による曲げ加工性向上に関する研究

近年、地球環境保全の観点よりCO<sub>2</sub>等の温室効果ガスの排出量削減が急務の課題である。その方策として、アルミニウム合金に代表される軽量材料を構造部材へ適用することによる輸送機器の軽量化が推進されている。さらに、部品の小型化およびシャープな外観など構造部材のデザイン性に対する要求も高まっており、多様な形状へ加工可能な高い成形性を有するアルミニウム合金板のニーズは大きい。例えば、軽量化の主体である自動車では、自動車フードの内板と外板を接合する際、外観をシャープにするために、より小径のへム曲げ加工が求められているように、曲げ加工性の向上は、アルミニウム合金板の利用を拡大するための重要研究課題の一つである。

アルミニウム合金板の曲げ加工性に関しては、近年、種々研究されているが、代表的なモデル集合組織 (cube, Goss, S, Brass, copper) を用いた結晶塑性FEM解析により、結晶方位の偏りである集合組織が曲げ加工性とその異方性に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。特に、圧延方向の純曲げにおいてcube方位は曲げ外側でせん断帯が発生し難く、曲げ加工性に優れる集合組織であることが示された。しかし、一般的に工業材料は、圧延による板厚方向の不均一なひずみやその後の熱処理により、板材の表層から中心部にかけて複雑な集合組織の勾配を有している。そのため、工業材料を用いて特定の結晶方位の影響を実験的に明らかにすることは難しい。加えて、工業材料が持つ板厚方向の集合組織分布が曲げ加工性に及ぼす影響について詳細に研究した報告はない。本研究では、集合組織の構成要素である結晶方位および板厚方向における集合組織分布の影響について、実験および数値解析の両面から定量的に明らかにし、アルミニウム合金板における集合組織の制御による曲げ加工性向上の方向性について検討する。

まず、曲げ加工性に及ぼす結晶方位の影響を実験的に明らかにするため、粗大結晶粒を持つAl-Mg-Si合金板から単結晶試験片を作製し、曲げ試験を実施した。さらに、結晶塑性モデルを用いた有限要素法解析により、実験結果と比較検証した。その結果、cube方位はいずれの方向でも曲げ加工性が優れていた。一方、Goss方位の曲げ加工性は曲げ方向に大きく依存し、圧延方向に対する曲げに対して、圧延直角方向の曲げに対しては曲げ加工性が著しく低下した。これらの結果は、実験および数値計算の両者において確認され、曲げ加工性には結晶方位ならびに集合組織が与える影響は極めて大きいことを明らかにした。

続いて、曲げ加工性に及ぼす板厚方向における集合組織の分布の影響を明らかにするために、本研究では、先の研究で曲げ加工性向上に重要であることが確認されているcube方位に焦点を当て、板厚方向にcube方位の密度が異なる層を持つAl-Mg-Si合金のクラッド板を作製し、曲げ試験を実施した。さらに、結晶塑性モデルを用いた有限要素法解析により、板厚方向のcube方位の分布と曲げ加工性の関係をより詳細に解析した。その結果、曲げ外側における層のcube方位の体積分率が高く、またその層の厚さが厚いほど、曲げ外側におけるせん断帯形成が抑制されて、曲げ加工性が向上した。一方、曲げ外側における層のcube方位の体積率が低い場合、板厚内部の層のcube方位体積率が高くても曲げ加工性は著しく低下した。曲げ加工性の向上には、必ずしも全板厚にわたる集合組織を制御する必要はなく、曲げ外側の集合組織制御が最重要であることが明らかとなった。cube方位の体積率としては5

0%, 曲げ外側層の厚さとしては板厚の10%程度であれば, 現状の曲げ加工における問題は概ね解決できる可能性がある。

本研究による成果から, アルミニウム合金板の曲げ加工性向上に対する集合組織制御の方向性が明らかとなった。この板厚方向に対する集合組織分布を数値解析に導入する考え方は, 工業材料を観点とした材料開発の方向性を明らかにする上で重要な視点であり, 今後の集合組織制御による材料開発において, 非常に興味深い結果が得られたと考える。また, 曲げ加工性のみならず, プレス加工において重要である平面ひずみ引張や二軸引張といった変形特性についても, 同様の考え方を適用することができるものとする。このような考え方の展開は, 各変形状態に対していかに板厚方向の集合組織を制御すればよいかを明確になり, より実現可能な理想特性を持つアルミニウム合金板の材料開発が可能となるであろう。その結果, アルミニウム合金板への代替が促進されれば, 輸送機器および構造部材の軽量化による省エネルギー効果に大いに貢献できる。本研究がそのきっかけになることを期待する。

# 論文内容要旨 (英文)

平成20年度入学 博士後期課程

専攻名 物質生産工学

氏 名 伊川 慎吾



## 論文題目

Research on bendability improvement by texture control of aluminum alloy sheet

The reduction of the greenhouse gas, such as CO<sub>2</sub>, is a critical problem for global environmental protection. As a structural engineering approach, lightening the transportation vehicle by applying lightweight metals to their structural assemblies is a promising and efficient strategy. Furthermore, demands for downsizing of the structural members and sharpening exterior parts are also rapidly increasing. This situation has raised the need for the application of aluminum alloy sheets with a higher formability that can be easily formed into complex shaped parts or members. The improvement in bendability is one of the most important key factors to expand the applicability of aluminum alloy sheets to various types of structural members, which demand a high strength but are lightweight.

First, we conducted bending tests on single crystal specimens to experimentally verify the effects of the crystal orientations on the bendability. The single crystal specimens with cube and Goss orientation made from a coarse-grained Al-Mg-Si alloy sheet. Subsequently, the experimental results compared to the computational results from finite element analysis using a crystal plasticity constitutive model. In result, the cube single crystal specimens have shown an excellent bendability regardless of the bending direction. Meanwhile, the bendability of the Goss single crystal specimens strongly depended on the bending direction. The finite element analysis results are remarkably consistent with the experimental results.

Second, effects of texture variation through thickness on bendability of aluminum alloy sheets studied, using bending tests and finite element analysis. In the experimental investigation, clad sheets produced by bonding two Al-Mg-Si alloy sheets in which volume fractions of the cube texture were different. In the bending tests, the specimens produced such that the volume fraction of the cube texture was higher in an outer surface layer of the sheet than in the inner portion. It was found that the bendability increased with a ratio of thickness of the surface layer that contains a higher volume fraction of the cube texture. The effect of texture variation through the thickness on bendability is clarified by using a crystal plasticity finite element analysis. It is revealed that the bendability is significantly improved even with a rather small volume fraction of the cube texture in the outer surface layer. On the contrary, it drastically declines if a random texture develops in the surface layer. It is important to control volume fraction of cube texture at outer layer in bending formation. If volume fraction of the cube texture is 50% and a ratio to sheet thickness is 10% in the outer surface layer, it is possible that approximately resolve actual problem in bending formation.