

鋼板熱間成形とマグネシウム温間絞りの解析

麻 寧緒* 天石 敏郎* 杉友 宣彦* 伊藤 英臣*

Analysis of Steel Hot Stamping and Magnesium Warm Drawing

Ninshu MA*, Toshiro AMAISHI*, Nobuhiko SUGITOMO* and Hidetaka ITO*

(Received on May 28, 2015)

With the increasing application of hot-stamped parts to automobile bodies and warm-drawn parts of magnesium alloys to electrical devices, simulation has become a basic approach to formability evaluation when designing parts and tools. However, the thermal-mechanical coupling phenomena induced in the hot-stamping process and warm-drawing process are complicated. To accurately simulate these complicated phenomena, a finite-element model for B-pillar hot stamping was created and transient temperature distribution was simulated. The thickness distribution and hardness distribution in a hot stamped B-pillar were predicted. Furthermore, a temperature-dependent anisotropic material model combined with the Hill48 yield function was developed for the simulation of the warm-drawing of magnesium alloys. The predicted results agreed well with experimental ones and simulation accuracy was demonstrated using the newly developed models.

Key words: hot-stamping simulation, warm-drawing, magnesium alloys, temperature-dependent anisotropy, formability.

1. 緒言

自動車や電器部品を軽量化するため、超高張力部材の製造技術や軽量材の利用技術が盛んに研究されている。強度が約 1500MPa の超高強度部材を製造するためには、化学成分 Mn, B などを添加した高張力鋼板を変態温度 (713°C) 以上でホットスタンプ加工する技術が開発された^{1)~3)}。また軽量材の一種であるマグネシウム合金を複雑な形状に加工するためには数百度まで加熱しなければならない⁴⁾。以下では、最高加熱温度が相変態温度以上の場合を熱間またはホット、相変態温度以下の場合を温間と呼ぶことにする。ホットスタンプ材の熱間成形時またはマグネシウム合金の温間絞り時における物理現象は、部材内の温度分布と材料の変形抵抗などに強く依存する。しかし、成形途中における材料の温度分布やその変化および応力とひずみを測定するのは困難であるため、シミュレーション技術を用いて基本現象を再現し可視化をすることが強く求められている。

従来の高張力鋼板の冷間成形と比較して、超高強度の部材を製造するホットスタンプ加工法は、高温における材料の低い変形抵抗と良い伸びを利用するため、Mori ら¹⁾と Kusumi ら⁵⁾の実験によれば成形荷重の低減やスプリングバックの低減にも有利である。

鋼板ホットスタンプ加工法が提案されてから、Merklein ら⁶⁾は 500°C~800°C 範囲におけるブランク材の応力-ひずみ特性の温度依存性を測定した。Turetta ら⁷⁾は、実験により高温でのオーステナイト相分率と成形性の関係を調

査した。Naderi ら⁸⁾はホットスタンプ鋼板 22MnB35 に対して、CCT 図、冷却曲線と硬度 *HV* の対応関係を測定した。

鋼板ホットスタンプ加工プロセスにおける物理現象をシミュレーションするため、Bergman ら⁹⁾は、熱・構造連成解析の熱伝導厚肉シェル要素を開発し、さらに Shvets¹⁰⁾が提案した熱接触アルゴリズムと組合せた。Shapiro¹¹⁾は汎用ソフトウェア LS-DYNA に熱伝導厚肉シェル要素および熱接触機能を取り入れた。中田¹²⁾はホットスタンプ材の摩擦係数や接触熱伝達率の接触ギャップ依存性を測定した。Akerstrom ら¹³⁾は熱・構造連成解析の材料モデルを提案し、Olsson¹⁴⁾はこの固体相変態を考慮した材料モデルを開発した。それらの研究開発により熱・構造・マイクロ組織の連成解析が可能になった。鋼板ホットスタンプのシミュレーションに関しては、数多くの研究論文が発表されてきたが、温度依存の材料異方性を考慮していないものが多い³⁾。

一方、電気部品に利用されるマグネシウム合金は、温度依存の異方性が非常に強い⁴⁾。これまでのマグネシウム合金の温間絞り解析に関する研究において、宅田ら¹⁵⁾は変形抵抗の温度依存性と速度依存性を、吉田¹⁶⁾は移動硬化を考慮したが、温度依存の異方性を考慮しなかった。

本稿では、まず熱間成形と温間絞りにおける熱・構造連成の物理現象や実用的なシミュレーション手法を総説する。次に公開されたベンチマークモデルである B ピラー部品²⁾のホットスタンプ加工時における温度変化、板厚変化および残留硬度分布を予測した。さらに高精度なシミュレーションを実現するため、Hill48 降伏関数を基本とし異方性パラメータの温度依存性と変形抵抗の温度依存性を考慮した材料モデルを開発した。それをマグネシウム合金の温間絞

* (株)JSOL, エンジニアリングビジネス事業部
〒550-0001 大阪市西区土佐堀 2-2-4
JSOL Corporation, 2-2-4, Tosabori, Nishiku, Osaka 550-0001, Japan