

自動車分野のソリューション開発 (1) —高生産性ホットスタンプの開発—

Automotive Solution: Development of Hot Stamping with High Productivity

福地 弘*
Hiroshi FUKUCHI

野村 成彦
Naruhiko NOMURA

抄 録

自動車の安全・環境面に対する規制強化は、自動車産業にとって直面する課題である。これに対し、自動車の軽量化に資するボディー骨格部品として、ホットスタンプ材の使用が拡大している。ホットスタンプは、熱間成形で高強度な部品を得る工法であるが、冷却時間が長く、生産性が低いとされてきた。ホットスタンプの生産性を飛躍的に高める新たな工法として開発した直水冷技術について、事例を基に流体解析を活用した金型設計と、その成形性能の検証結果について述べた。

Abstract

Strict regulations for the safety and environmental aspects of the car, is the most serious theme to face for the automotive industry. For this challenge, hot stamping parts that contribute to weight reduction have been applied for the body frame components of the car. Hot stamping is a production method obtaining high-strength components by hot forming. However, the long cooling time has been a cause of low productivity. In this paper, we discuss about the newly developed direct water quenching technology that increase productivity of the hot stamping dramatically, based on fluid dynamics simulation for die design and experimental verification of the performance.

1. はじめに

自動車の安全・環境面に対する規制強化は、自動車産業にとって直面する課題である。これに対し、自動車の軽量化に資するボディー骨格部品として、ホットスタンプ材の使用が拡大している。

本稿では、ホットスタンプの生産性を飛躍的に高める新たな工法として開発した、直水冷技術について、事例を基に流体解析を活用した金型設計と、その成形性能の検証結果について述べる。

2. ホットスタンププロセスの課題

ホットスタンプは、薄板のプレス成形において、素材を加熱し、高温低強度のままプレスし、部品形状に成形すると同時に、急冷（焼入れ）することで、高強度で安定なマルテンサイト組織を得る自動車部品の製造法である^{1,2)}。しかし、金型内で成形品を冷却する時間（下死点保持時間）が長く、冷間プレスに比べ、生産性が低い。現在、量産ホットスタンプの多くは、搬送時間などを合わせたプレス生産

性は、2～3spm（Strokes Per Minute）と言われている。

直水冷工法は、金型内での高温素材の冷却過程に着目し、搬送やプレス速度の高速化も含め、ホットスタンプの生産性を従来の3倍以上、冷間プレスに匹敵する10spm以上を可能とする技術である³⁾。

3. 直水冷技術の開発

3.1 直水冷工法とは

従来、ホットスタンプの金型内での冷却は、図1(a)に示すように、成形品と金型が接触することで、高温の成形品から低温の金型に伝熱するメカニズムと理解される。この場合、金型と成形品の接触が良好な部位に比べ、クリアランスが発生する部位では、空気断熱により、冷却に時間を要してしまう。冷却時間の短縮には、金型と熱片の密着性が必要となるが、金型加工精度や成形品の板厚偏差が影響する。また、金型の高い熱伝導性能が求められるが、強度と耐熱性を備えた素材の適用は進んでいない。

そこで、接触伝熱のみでなく、流動性のある冷媒による伝熱を加えることを考案した。すなわち、図1(b)に示すよ

* 設備・保全技術センター 機械技術部 機械技術開発室 主幹 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

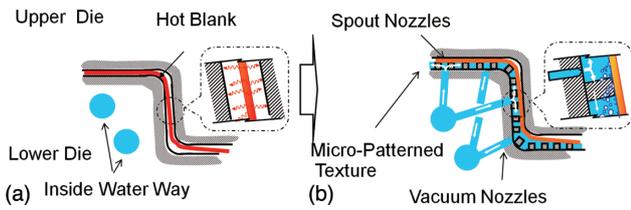


図1 直水冷金型による冷却メカニズム
Mechanism of the direct water quenching
(a) Die-quenching process, (b) Direct water-quenching process

うに、金型から直接冷却水（冷媒）を噴出し、成形品を冷却する直水冷工法である。

3.2 直水冷金型構造と冷却最適化

この工法の基本的な金型構造について説明する。冷却水の流路として、成形品が接する金型表面にマイクロパターン（以下MP）と呼ぶ凹凸パターンを設け、噴水孔からMP面へ、さらに発生する蒸気や余剰の冷却水を吸収する吸水孔へとつながる流路を構成している。従来の金型冷却工法では、材質、形状精度、生産性などの最適化を目的とした、シミュレーションによる伝熱・成形性予測の研究が進んでいる⁴⁾。さらに直水冷工法では、MP面を流れる冷却水が、成形品の全面にわたり均等に流れ、冷却を達成する必要がある⁵⁾。

以下では、熱変形を未然に解消するため、金型の設計段

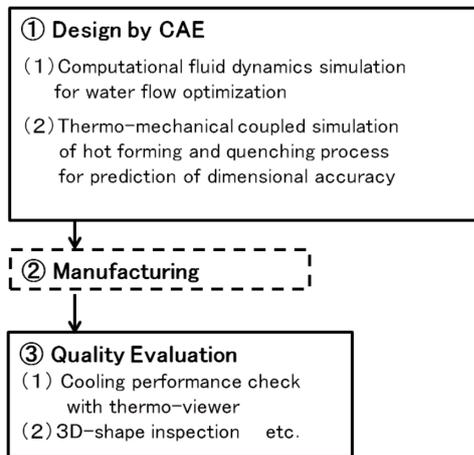


図2 直水冷金型の設計フロー
Engineering flow of the direct water quenching die

階で冷却水の流れ解析を熱間成形解析に組み入れたCAE（Computer Aided Engineering）を活用し、温度偏差と形状精度予測に基づく、金型設計手法について述べていく。

3.3 直水冷金型の設計

直水冷工法における、金型設計フローの例を図2に示す。①設計段階で、MP面の流体解析と熱間成形解析を基に設計者が、噴水・吸水孔の配置を最適化して行く。②金型製作後、③プレストライでは、成形品の熱画像と3D形状などを測定し、冷却性能と形状精度を検証する。成形品の焼入れ性、寸法精度および生産性目標への的中率を高めるためには、①設計段階での的確な解析評価が求められる。ここでは、高温素材から冷却水への熱伝達理論に基づき、金型内の流体解析から得られる流速分布を評価指標とした。

図3に示す通り、流体（定常）解析による金型内の冷却水速度分布と、プレストライ時の成形品の冷却性能は、良好な一致が見られ、流速最適化により形状精度も良好な結果が得られた。トライ条件とその結果は、表1、表2に示す通りで、目標レベルを達成しており、金型性能の評価指標として流速分布の重要性が検証できた。なお、詳細は省略するが、本工法の最適化には、噴水量の制御も重要な役割を担っている。

図4は、新日鐵住金(株)が保有するホットスタンプ試験システムである。ここでは、材料開発だけではなく、顧客が開発対象とする部品の基本特性の把握など、オープンな研究開発サイトとして活用されている。また、新日鐵住金

表1 トライ条件と直水冷金型の仕様
Trial condition and die specification

Material	Aluminized steel for hot stamping (1.4 mm)
Formed shape	Hat (400 mm long × 140 mm width × 30 mm height)
Dies	Upper die: Conventional die quenching Lower die: Direct water quenching (MP: 0.5 mm height cylindrical)

表2 試験結果
Experimental results

Quench quality	Same as conventional
Shape accuracy	< ±0.5 mm
Productivity	Die stop at bottom 2.5 s Total tact 5.5 s (approx. 11 spm)

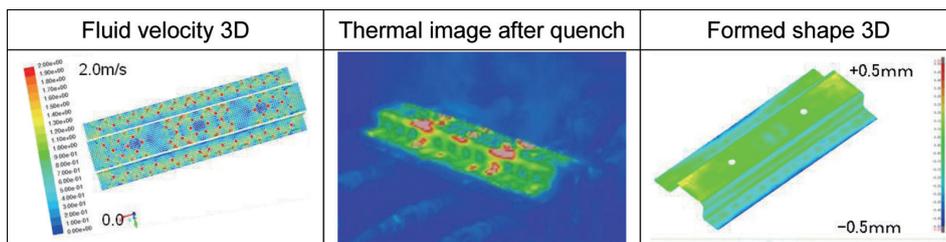


図3 流体解析による最適化とプレストライの結果
Optimization by flow dynamics simulation and trial results

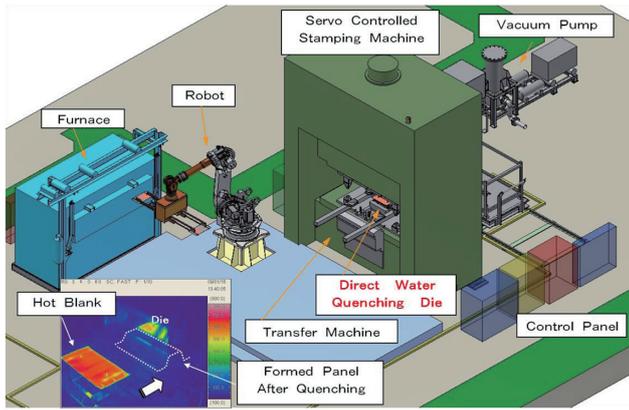


図4 ホットスタンプ用試験システム
Experimental site for hot stamping

グループでは、工法提案のみでなく、量産一貫システムをエンジニアリングする体制を整えている⁹⁾。

4. おわりに

直水冷工法における成形品の焼入れ性、寸法精度、生産性目標の達成に、金型内の流体解析に基づく、設計手法の重要性について述べた。また直水冷工法の高生産性（約11spm）を示す試験事例を示した。さらに複雑な実現象との整合のため、研究開発を継続している。

本工法は、新日鐵住金の基本技術を基に、顧客との共同取組みによる実用化評価を経て、量産採用されている。現在、さらに高強度な鉄鋼材料の開発が進んでおり⁷⁾、その特性を活かした部品構造や、最適工法の追究を深化させ、究極の軽量スチールボディーを目指したソリューションを提案していく。

最後に、本開発に携わった金型設計におけるCAEメンバー、試験実行メンバー、そして量産化に向けて、ご指導ご指摘いただいた共同取組み先の各位に対し、ここに謹んで謝意を表します。

参照文献

- 1) 末広, 真木, 楠見 ほか: 新日鉄技報. (378), 15 (2003)
- 2) 小嶋: 素形材. 55 (7), 15 (2014)
- 3) 福地, 野村, 瀬戸: 自動車技術. 68 (2), 105 (2014)
- 4) 中田 ほか: 素形材. 54 (4), (2013)
- 5) Nomura, et al.: Proceedings of the 5th Int. Conf. on Hot Sheet Metal Forming of High-Performance Steel. CHS²-2015, p. 549
- 6) 明日の自動車を支える商品・技術ソリューション: www.nssmc.com/product/catalog_download/pdf/E201.pdf
- 7) 匹田 ほか: 素形材. 55 (12), 10 (2014)



福地 弘 Hiroshi FUKUCHI
設備・保全技術センター
機械技術部 機械技術開発室 主幹
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



野村成彦 Naruhiko NOMURA
鉄鋼研究所 利用技術研究部
開発試作グループ 主幹研究員