超高強度鋼材 (AHSS) のヘミング



車体の軽量化は、自動車産業、特に燃料節減や二酸化炭素排出削減において、重要な役割を果たします。今日の車体設計にて主流の材料は、高強度および超高強度鋼材、そしてアルミです。これらの材料によって、より厳格化する安全基準を満たす小型車の設計が実現しました。しかしこれらを活用するには多くの課題があり、また自動車のプレス成形部品に使用する材料は、それぞれの基準を満たす必要があります。

超高強度鋼材(AHSS) はホワイト・ボディに広く使用されている一方、「クラス-A」の外装パネルの材料は、軟鋼やへこみの耐久性が高い鋼材に限定されています。自動車のクロージャ・パネルに関して、ヘミングされた外板パネルとしてのAHSSの成形性は、不十分だと考えられています。これは高強度の軽量鋼材を使用したデザイン・コンセプトを開発する上で、足かせとなります。近年、自動車会社および鉄鋼会社がパートナーシップを組み、重量削減を実現するために、板厚が薄い超高強度のヘミングに特化したプロジェクト、「Hemming of Thin Gauge Advanced High-Strength Steel (AHSS)」を実施しました。このプロジェクトでは、自動車の外板クロージャ・パネルとして、板厚の薄いAHSSが適用可能であるかを検証しました。AutoForm社は、ヘミング工程を簡単に定義および最適化できるAutoFormとは、ヘミング工程を簡単に定義および最適化できるAutoFormとは、ヘミングエ程を簡単に定義および最適化できるAutoFormとは、ヘミングエ程を簡単に定義および最適化できるAutoFormとは、ヘミングエ程を簡単に定義および最適化できるAutoFormといて、プロジェクトに参加しました。

プロジェクトの目標

1987年に創設された Auto/Steel Partnershipは、北米自動車企業および Steel Market Development Institute の Automotive Applications Council との合弁企業です。自動車および鋼板業界の資源を有効活用し、また調査、検証、および教育を深めることで、自動車の安全性や燃費を向上させ、また設計や生産の改善等の面から、自動車メーカーをサポートします。このプロジェクトは、AHSSの効率的な用途について、自動車業界に新たな見識をもたらしました。

プロジェクトの目標達成への第一歩として、プロジェクト・チームは主目標を設定しました。Thin Gauge AHSSチームのA/SP Hemmingのプロジェクト・リーダー兼FCA US LLCのコーポレート・ヘミング・スペシャリストのジョバンニ・コスタ氏は、以下のように述べています。「我々は大きな関心と熱意をもって、このプロジェクトに取り組んでいます。チームが明確な目標を共有することは、非常に重要です。このプロジェクトの目標は、板厚の薄いAHSSを自動車のクロージャ・パネルを組立部品の典型的な形状にヘミングすることが可能だと実証することです。さらには、ヘミング工程の結

果を正確に予測するソフトウェアを適切に選択することで、板厚の薄いAHSSを使用して信頼できる結果を得ることが可能であることも、併せて実証します。」そしてこうも述べています。「外観やパネルのサーフェス精度に影響があるヘミング工程の精度は非常に重要です。我々のチームは、このプロジェクトに使用するソフトウェアとして、AutoForm社のAF-Hemplannerを選択しました。AF-Hemplannerを活用することでヘミング工程を効率的に計画でき、そしてヘミング工程中に頻繁に発生しがちな不具合も特定できました。」

材料の選択

このプロジェクトに参加した製鋼会社は、降伏強度の高い3等級のAHSSを準備し、それを妥当な品質でアウター部品の生産に使用できるかを査定しました。使用した材料および板厚は、板厚が0.55mmのBH 280、板厚が0.55mmのBH 440、そして板厚が0.50mmのDP 490です。これら3つとも、使用した内板パネルはDC04の軟鋼材で、板厚は0.7mmです。DC04は一般的な深絞り品質の鋼材で、AutoFormの材料ライブラリにも登録されています。このプロジェクトで使用する鋼材は鋼材メーカーが専用に開発したもので、シミュレーションによって、鋼材の実際のパフォーマンスを捉えることが不可欠です。このため鋼材のサプライヤは、実際の材料挙動を表現するために、材料カードを構築する際に使用した生の引張試験データを提供しました。

板厚の薄い3等級のAHSSを18″x18″の試験パネルに成形し、ヘミング工程中の実パネルを実際に閉じる際に生じうる多くの不具合を表現した形状や外形線を含む鋼材サンプルとします(図1)。この新規に開発した試験パネルをヘミングによって組み立て、様々な不具合判定基準をベースに評価しました。そしてこの試験結果をAutoForm^{plus} R6のシミュレーションの結果と比較し、予測が試験結果と一致しているかを検証しました。



図1: 専用に設計された平面パネル

成形工程

AutoForm^{plus} R6を使い、プレス成形工程をシミュレーションしました。図2は成形およびフランジ工程を示しています。

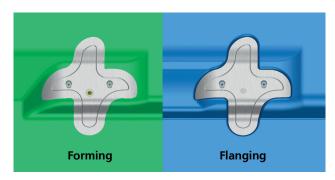


図2: 成形およびフランジ工程

ヘミング中のブレークライン上のわれの危険性や板減超過、 そしてしわの可能性など、プレス成形に関する主な品質の不 具合を収集するために、成形性確認を実行しました。外板パネ ルの成形性は、板減に関する軽微な成形性の問題を示してい ますが、妥当な公差内です。内板パネルの成形性に問題は確認 されませんでした。

スプリングバック

高強度およびAHSSを使用した成形部品は、従来の深絞り鋼材よりも、スプリングバックの影響をより強く受けます。そのため、外板および内板パネルのスプリングバック解析に、特に注意が必要です。パネルのスプリングバック結果を図3に示します。スプリングバックの傾向は、各AHSS鋼材の試験結果と非常に似ています。3つすべての材料にて、成形後の外板パネルのスプリングバック偏差の範囲は、2mmから5mmまでで、詳細なシミュレーションと一致しました。また内板パネルの偏差は1mmから3mmまでの範囲で、これはAutoFormソフトウェアでも同様に予測していました。双方ともスプリングバック見込み補正は、適用していません。

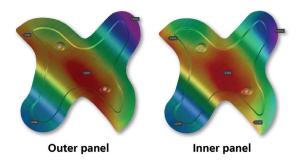


図3: 外板パネル (偏差は2mm ~ 5mm) および内板パネル (偏差は1mm ~ 3mm) のスプリングバック評価

ヘミング

このプロジェクトの主目標のひとつが、AHSSを成形やヘミングすることが可能であると証明することでした。「クラス-A」のクロージャ・パネルは、成形やヘミング工程によって生じた面ひずみを表示および精査することができるため、自動車業界における潜在顧客の注目を促すという点で、重要な役割を果たします。例えば、台数限定の高級車の生産においては、部品の品質や完璧な仕上がりが不可欠です。しかしながら量産の中流車でも、それらは同様に重要です。反対にサーフェスの外観や材料削減は、例えば材料をグラム単位で削減することで大幅削減が実現できる低価格帯の自動車においても、大きな影響があります。

ヘミング工程は AutoForm^{plus} R6にて、シミュレーションを実行します。このソリューションは、ロボットの最後にロール・ヘミング工程を使用します。このヘミングのタイプでは、産業ロボットがヘミング・ローラーを先導し、開いたフランジを閉じたへムの位置へ移動し



図4: ロール・ヘミング工程

AF-Hemplannerには、クイックおよびアドバンス・ヘミングという2つのシミュレーションがあります。クイック・ヘミングは、ドローのダイ・レイアウトや成形工程が決定していない、製品開発や製造計画の早期段階で使用します。アドバンス・ヘミングは、新製品および成形工程の定義詳細がデザイン上のみで確認できる、詳細な工程設計段階で使用します。以前の製造工程から蓄積した材料変形の履歴を考慮することで、シミュレーション結果の精度は向上します。これに関して、コスタ氏はこう述べています。「AF-Hemplannerのオプションは、このプロジェクトが必要とする機能と完全に合致します。アドバンス・ヘミングを使い、例えば設計の詳細やヘミング工程が面ひずみやブレークラインのわれを引き起こす可能性など、選択したヘミング・コンセプトを検証しました。ヘミングの不具合の可能性を評価し、フル・アセンブリのスプリングバックを予測することで、ローラー・パスを検証します。」

ヘミング工程の前に、外板および内板パネルの両方を、板減や板厚、ひずみや応力、そしてスプリングバック変形など、すべての成形履歴と併せてインポートします。 ヘミングのシミュレーションは、最初

はローラー・パスが60°の開放角、2番目が30°の開放角、そして 最後のパスはヘム・フランジを完全に閉じた3つの状態で実行しま した(図5)。



図5: 3つのローラー・パス--角度は60°、30°、および最後のパス

へミング工程中に生じる材料の変形は、寸法のバラツキ、フランジのわれやしわ、角部の重なり合い、または材料の巻き込みなど、典型的なヘミングの不具合を生じさせる場合があります。 AF-Hemplannerのシミュレーション結果は、ロール・アウト、クリーペイジ、そしてヘムの厚さを示しています(図6)。 これらの値は、実際に試験を行った3つすべてのAHSS鋼材と類似しています。 頻繁に生じうる不具合が、予測した位置にて特定されました。ヘム・フランジのしわが、材料が圧縮され集中する角部の外側に生じます。 角部の内側はヘム・フランジが伸張するため、われが生じやすくなっています。 AutoForm^{plus} R6はこれらを正確に予測し、その結果は実際のヘミング試験パネルと一致しました。

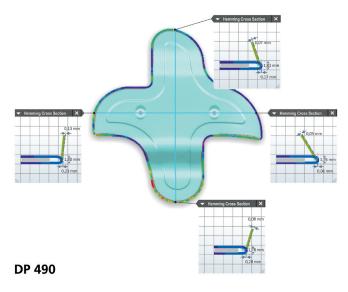


図6: ヘミング不具合の評価― 実際に試験を行った3つすべての材料と類似した結果

面ひずみ

AutoForm^{plus} R6を使うことで、アセンブリ・パネルの面ひずみを 簡単に検出できます。図7はパネルの複数の曲率、そしてサーフェス の欠陥を簡単に表示できるデジタル・ストーニングを示しています。 これは成形した外板パネル上で、ストーン・ブロックを前後に削って ゆく手法です。

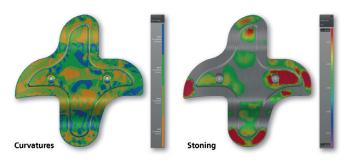


図7: サーフェス品質の評価

寸法評価

へミングの前にすべての試験パネルをホワイト・ライトでスキャンし、へミング後のアセンブリでも同様にスキャンします。ヘミングエ程の前後にスキャンした結果を、AutoFormソフトウェアの予測と比較します。寸法の変更、スプリングバック、あるいはヘミング工程によって生じたその他の不具合を解析します。アセンブリは、クラック、われ、板減、圧縮またはその他の面ひずみについて、目視確認します。

結論

このプロジェクトは、板厚の薄いAHSSを外板クロージャ・パネルにヘミングできること、そして自動車のクロージャ・パネルのアセンブリにおいて、軽量化に十分に貢献できることを証明しました。板厚の薄いAHSSの外板パネルのヘミングは、自動車のクロージャ・パネルのアセンブリで通常使用する板厚の軟鋼パネルをヘミングする場合の寸法変形とほぼ同様でした。

「ヘミング・チームは非常に優れた結果を実証し、またAuto Form^{plus} R6のソフトウェアは、実際の結果と一致しています。つまり このソフトウェアは、製品開発の早期段階において、有益なツールで あることを証明しています。このプロジェクトは通常のAHSS実装の 境界を超え、自動車のクロージャに関するヘミング・アセンブリに、新しい見識をもたらしました。」とコスタ氏は述べています。「我々は ヘミングを新たなレベルへ引き上げ、それを結果と共に証明しました。この課題が山積した外板クロージャ・パネルに AHSSを活用できることが証明でき、大変喜ばしく思います。さらに研究を重ねることで、軽量化ソリューションの分野でも自動車構造部品の30%軽量 化を目指すなど、確かな可能性を確信しています。」