

特集：新型ロードスター

18

新型ロードスター フロントフェイスの開発 Development of All-New Roadster Front Fascia

神田 博文*¹ 益田 孝*² 藤岡 義弘*³
 Hirofumi Kanda Takashi Masuda Yoshihiro Fujioka
 古川 智司*⁴ 渡部 浩*⁵ 中山 伸之*⁶
 Satoshi Furukawa Hiroshi Watanabe Nobuyuki Nakayama

要 約

新型ロードスターのエクステリアデザインは、最新のライトウエイトスポーツカーとしてのシンプルな機能性と本格スポーツカーのアスレチックなかたまり感という、ロードスターデザインDNAの二つの特徴を兼ね備えたデザインへと刷新された。

これらを実現するため、フロントフェイスでは、最新の解析技術を適用しながらFit&Finishと機能を両立する構造と、独自の工法を立案・適用し、デザイナーの意図する造形を実現した。

Summary

Exterior design of all-new Mazda MX-5 has been updated with marked Mazda MX-5 design DNA attributes which consist of two features: the simple functionality of a modern lightweight sports car and the athletic solidity of a true sports car.

To achieve this, use of an up-to-date CAE technology had created a new structure which meets both fit & finish quality and functionality, as well as development and application of unique methods such as a welding method, thus having attained front fascia sculpturing as intended by designers.

1. 緒言

新型ロードスターのエクステリアデザインは、最新のライトウエイトスポーツカーとしてのシンプルな機能性と本格スポーツカーのアスレチックなかたまり感という、ロードスターデザインDNAの二つの特徴を兼ね備えたデザインへと刷新された。

車の顔としてのフロントフェイスでは、このかたまり感・一体感を表現するためフェイスとヘッドランプ（以下H/L）が一体となった斬新なデザインが採用された（Fig.1）。

本文ではこのデザインを実現するために新たに採用した構造と、工法について紹介する。

2. フェイシャの構造と課題

新型ロードスターでは、かたまり感・一体感を実現するため、フェイスと各ボデーパーツとのFit&Finish向上に

注力した。

フェンダとフェイスでは「0スキ・0段差」また、フェイスとボンネットでも最小のスキ・段差が合い沿い部全体で一定になることに留意した。

また、フェイスとH/Lも一体感を表現するため同様のスキ・段差で設計した。

各部品の締結構造は、衝突性能等の機能品質や、量産ラインの組み立て作業性や、サービス性を考慮して、Fig.2に示すようにH/Lとフェイスは各々個別にシュラウドパネルに締結する構造とした。

Fig.3に、CAEによる熱変形解析の実施結果を示す。

フェイスは線膨張係数が比較的大きいポリプロピレン（以下PP）材料のため、80℃の熱間時では最大4mmの変形を生じ、フェイスとH/Lのスキが大きくなって、折り合い品質が確保できないことが分かる。また-30℃の冷間時ではフェイスとH/Lの干渉が懸念された。

H/Lとフェイスは熱による線膨張係数の違いもあって

*1~5 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

*6 ボデー開発部
Body Development Dept.

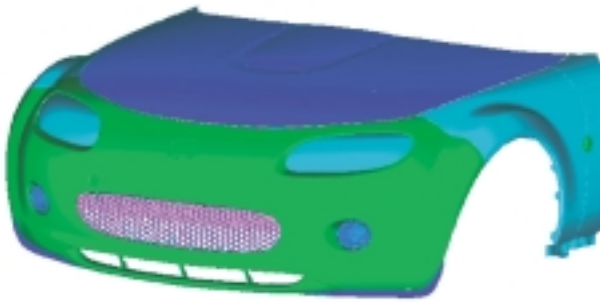


Fig.1 Front Exterior Styling

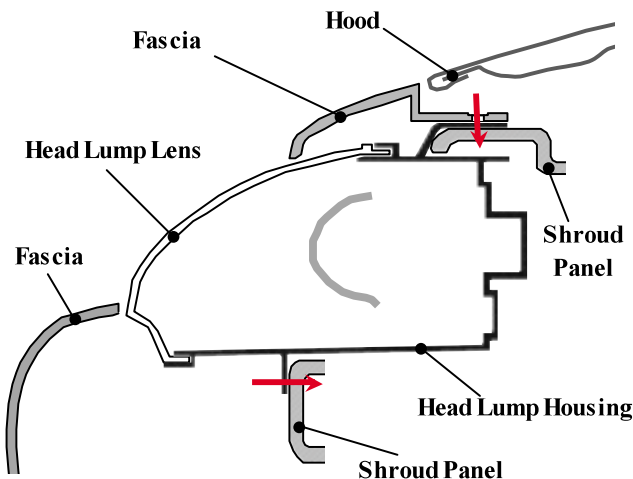


Fig.2 Structure of Fascia and Head Lamp

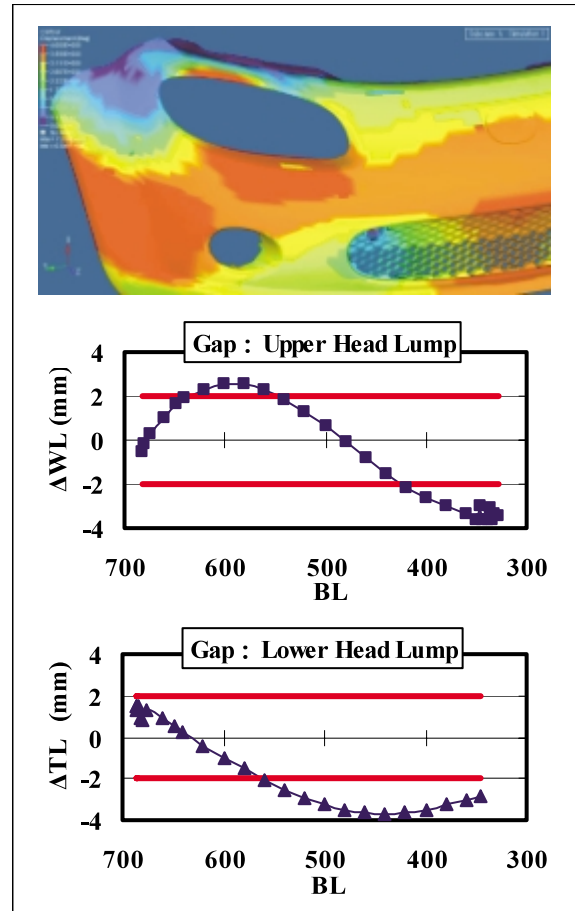


Fig.3 Result of Heat Distortion Analysis

互いを締結することができず、相互の折り合い品質に課題が残った。

3. 熱変形防止法の検討

冷間・熱間時の熱変形を防止するための補強法を検討した。基本的には、スチールやアルミ等の線膨張係数の小さい素材で形成されたプレート（以下；フェイスガード）をH/L周りに貼り付けることによってフェイスを補強することとした（Fig.4）。

素材は、ロードスターの運動性能を阻害しないよう軽量化を重要視し、最終的にはフェイスと素材ベースを同一にしてリサイクル性にも優れ、線膨張も小さいガラス長繊維強化PPを採用することとした。ガラス長繊維強化PPのフェイスガードで固定した後の、フェイスの熱変形解析結果をFig.5に示す。フェイスガードなしの際、最大4mmの変形を生じていたが、フェイスガードを装着したフェイスでは2mm以下に変形が抑止でき、折り合いを確保できることが分かった。

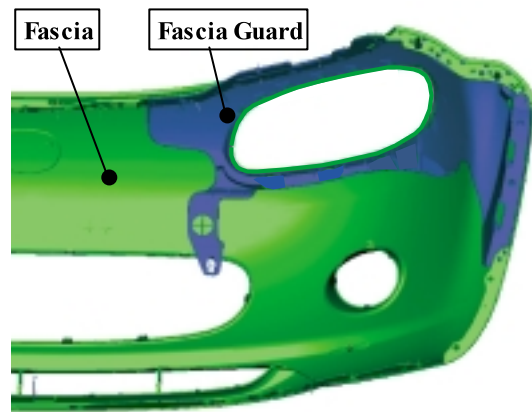


Fig.4 Fascia Reinforced with Fascia Guard

4. ガードの接合方法

フェイスとガードの接合方法を検討した。H/L周りの狭小な空間で締結するため、「両面テープによる貼り合わせ」「ホットメルトによる接着」「アクリル系接着剤による接着」「超音波溶着」の4手法で検討した。

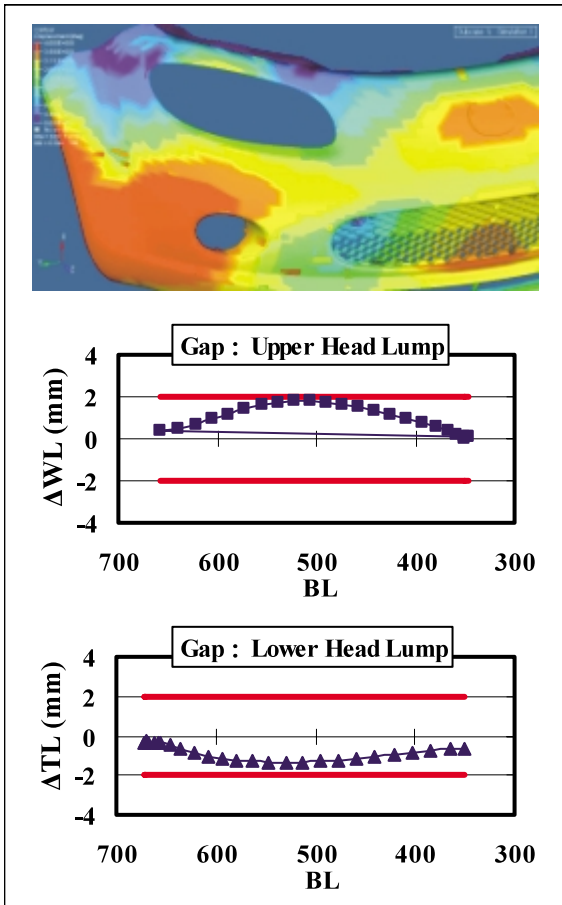


Fig.5 Heat Distortion after Improved Structure

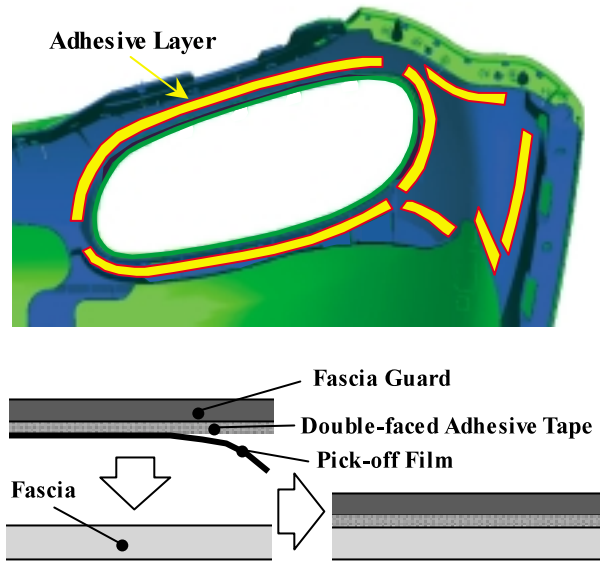


Fig.6 Bonding Process by Adhesive Tape

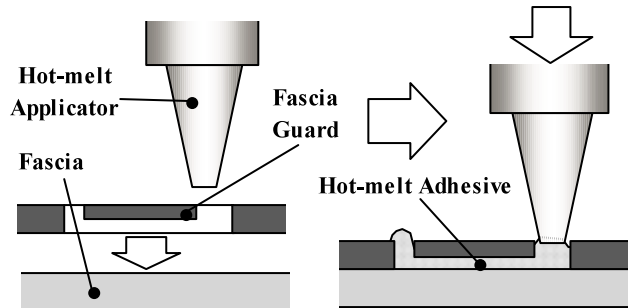


Fig.7 Bonding Process by Hot-melt Adhesive

4.1 両面テープによる貼り合わせの検討

両面テープ接合はFig.6のように、ガードとフェイスを接着テープで貼り合わせる工法である。

実験の結果、常温では15N/cm²の接合強度が、高温の80℃では8N/cm²まで低下した。

また、生産性の面では接着の難しいIPP材料に対応するため、フェイスとフェイスガード両面に、事前にプライマ塗布が必要なことや、ピックシールの剥がし作業等の人手による難作業が発生するため、コスト・工数面での課題が多かった。

4.2 ホットメルトの検討

Fig.7のようにフェイスとガードの隙間にホットメルトを注入する方法を検討した。

実験の結果、常温での強度は43N/cm²で基準強度を満足するが、高温では10N/cm²まで低下し、耐熱テスト後に永久変形が発生して、機能面で満足しないことが判明した。

4.3 二液アクリル系接着剤の検討

耐熱性を考慮し、二液アクリル系接着剤による接着を検討した。ホットメルトに比べて、常温時には95N/cm²、高温時にも100N/cm²の、十分な強度を示し、実車耐熱テストもクリアした。

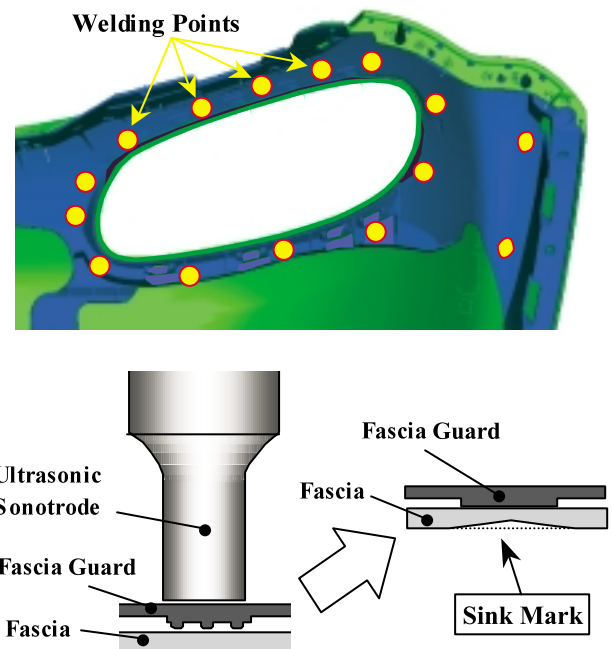


Fig.8 Bonding Process by Ultrasonic Welding

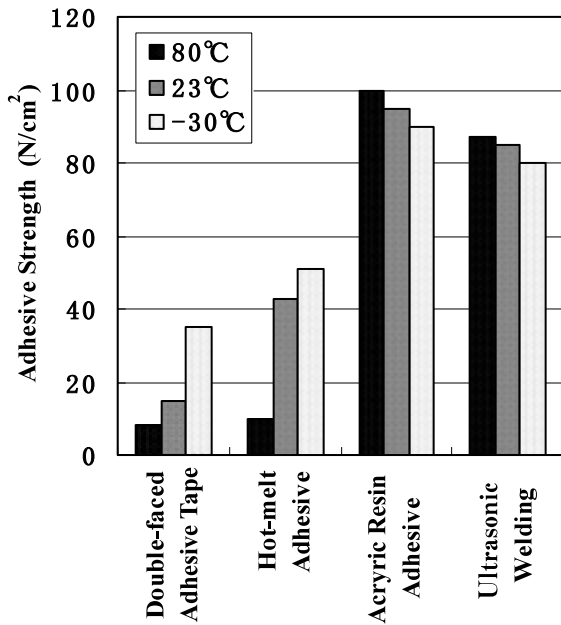


Fig.9 Adhesive Strength of each Adhesive Method

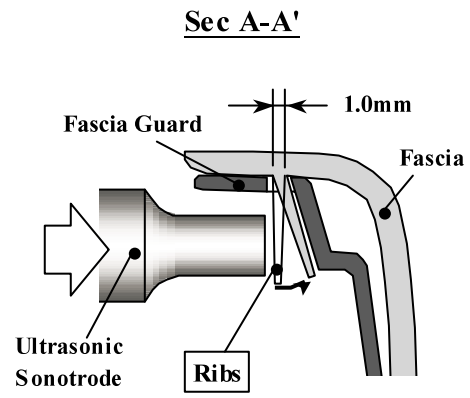
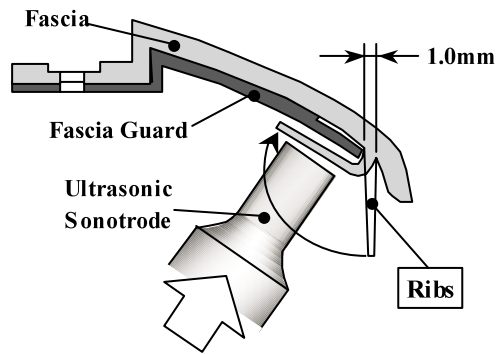
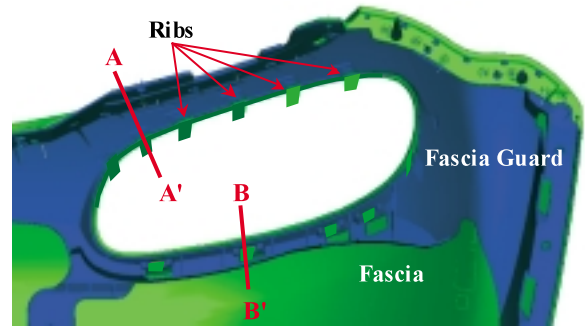


Fig.10 New Welding Process

Table 1 Result of Study on Bonding Method

		Double-faced Adhesive Tape	Hot-melt Adhesive	Acrylic Resin Adhesive	Ultrasonic Welding
Functional Performance	Initial Adhesive Strength	△	△	△	○
	Decay Durability	△	×	○	○
	Thermostability	×	×	○	○
	Cold Resistance	△	△	○	○
Appearance Quality		○	○	○	×
Productivity	Production Lead Time	△	△	×	○
	Ease of Quality Identification	×	△	△	△
	Ease of Assembling Work	×	×	△	△
Cost		×	△	△	○

一方生産性の面では、両面テープ同様にフェイスとフェイスガード表面にプライマ塗布が不可欠であることと、接着強度を発揮するまでの硬化時間に2時間程度要する等、工程設計上の課題があった。

4.4 超音波溶着の検討

超音波溶着でフェイスガードの裏面から溶着ホーンを押し当て、超音波の振動熱でガード先端のリップを溶かし、フェイスに溶着させた (Fig.8)。

実験の結果、加圧力を上げて、溶着時間を長くすると、溶着強度は満足するが、フェイスの表面に「溶着歪」が発生して、外観品質が満足できないことが分かった。

Fig.9に各々接合工法別の、温度による強度変化を、またTable 1に各工法の検討結果のまとめを示す。

5. 新工法「折り曲げ溶着法」の開発

前述のように、従来工法には何れも剥離強度等の品質や生産性に課題が多くあり、新たに接合工法を検討した。

我々は、フェイス素材のPPには、折り曲げ強度が強い、いわゆる「ヒンジ特性」があることに着目し、Fig.10

のようにフェイス側面に薄板状のリブを設け、ガード上に折り曲げて溶着をする方法を検討した。

意匠面の裏面にリブを設定する場合、板厚の1/3~1/2の厚さのリブであれば、表面に「ヒケ」が発生しないため、フェイスのH/L開口部周辺に11ヶ所、厚さ1mmのリブを形成して「折り曲げ溶着」を実施した。

前述同様の剥離実験の結果、常温で120N/cm²の強度を確保し、高温・低温でも同様の強度が確保できることが分かった。

塗装オーバースプレ対策の検討

フェイスの生産では前工程が塗装工程となるため、溶着面に塗料のオーバースプレによる塗膜が付着する恐れがある。フェイスとフェイスガードが熱可塑性樹脂であるのに対して塗膜は熱硬化性であるために溶融せず、溶着後の剥離強度が低下することが懸念された。

そのため、溶着するリブ部に塗膜を付着させてフェイスとフェイスガードを溶着し、剥離強度を測定した。

その結果、塗膜のない製品が剥離する際に、120N/cm²の強度を有するのに比べ、塗料が付着したものは12N/cm²しかなく、剥離することが判明した (Fig.13)。

オーバースプレ対策としてはマスキングが一般的であるが、コストアップとなり好ましくない。我々は、フェイスとフェイスガードの、PP材料同士が塗膜を貫通して溶着できるよう、ホーン形状の改良を試みた。

通常の溶着ホーンがFig.11のような形状であるのに対して、新たにFig.12に示すような先端を鋸歯形状にしたホーンを作成した。このホーンで溶着した結果、オーバースプレによる塗膜が付着したフェイスでも溶着強度が確保でき、しかも短時間で溶着できることが分かった。

Fig.12はこの鋸歯ホーンで溶着した時の溶着面の断面写真である。このように鋸歯ホーンによって塗膜を貫通し、素材同士が溶け合って溶融接合していることが分かる。

また、この溶着強度を確認した結果、110N/cm²の剥離強度をありし 塗装品でもほとんど強度が落ちることなく、溶着できることが分かった (Fig.13)。

6. 工程内での品質保証の検討

折り曲げ溶着は実績のない構造である。量産での品質保証を確実にするため、FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) を実施した。

これまでの実験で、溶着強度については、主にホーンの「加圧力」・「発振時間」の2つの因子で変化することが分かっている。そこで最適な溶着条件を決定するために、加圧力と加圧時間、溶着強度の関係を確認した (Fig.15)。

このグラフから加圧時間1.0秒の時、加圧力が5N/cm²~80N/cm²の広範囲でOKが確認できた。

また、実作業での加圧力は、10人の作業者の最小値~最大値で20N/cm²~50N/cm²であることを確認した。

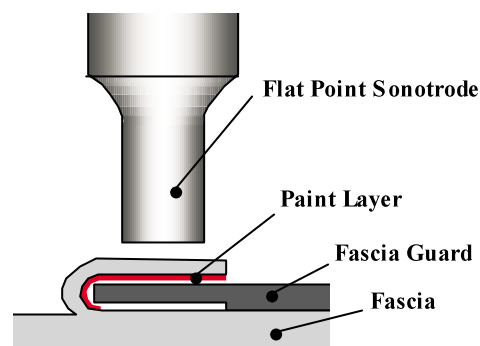


Fig.11 Flat Point Sonotrode

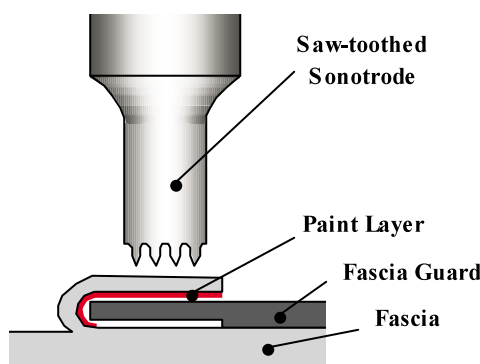


Fig.12 Saw-toothed Sonotrode

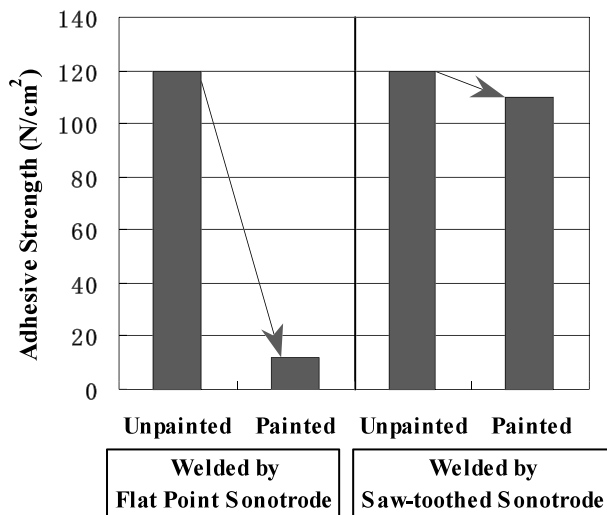


Fig.13 Effect of Saw-toothed Sonotrode

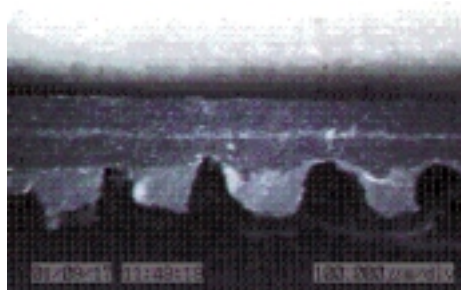


Fig.14 Cutting Surface of Welded Parts by Saw-toothed Sonotrode

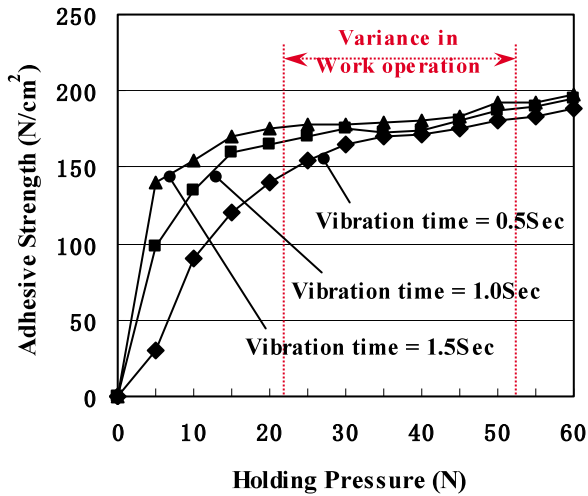


Fig.15 Relation of Welding Condition to Adhesive Strength

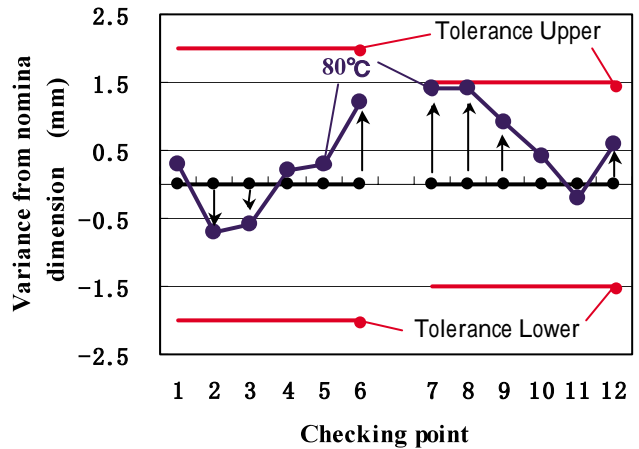


Fig.18 Dimensional Change at Thermal Test

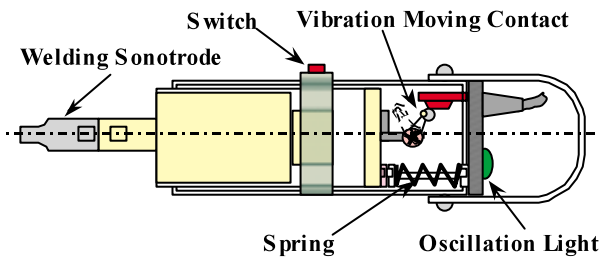


Fig.16 Welding Tool

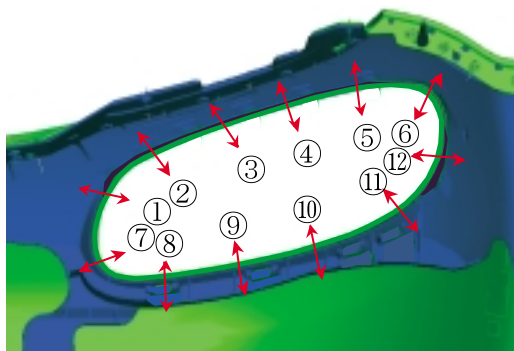
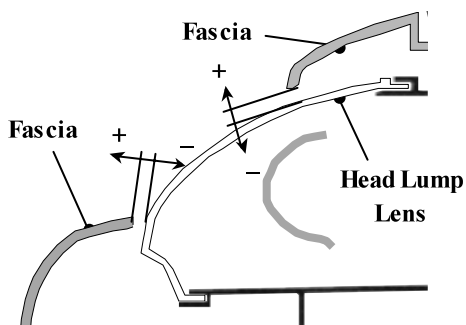


Fig.17 Dimensional Check Points



Fig.19 All new MAZDA MX-5

これらを踏まえ、溶着装置には、発振時間を制御するタイマーと合わせて加圧力の制御を加え、部品寸法や塗膜厚さのバラツキ、作業者の瞬間的な加圧力変化なども考慮してその制御範囲を $20\text{N}/\text{cm}^2 \sim 60\text{N}/\text{cm}^2$ とし、作業者がこの加圧範囲で作業している時のみ、設定時間分だけ発振できるようにした (Fig.16)。

更に、作業台にはホーンを面直に当てて作業しやすいよう、ボタン操作で回転できる機構も設けた。

これらの改善により、作業者のスキル差や部品のバラツキを吸収して安定した品質を確保できる、ロバストな工程を実現した。

7. 開発結果

これらの開発・検証の結果確立した、最終的な構造と工程によって製造されたフェイスの、熱間・冷間時の寸法挙動を実験によって確認した (Fig.17)。

Fig.18はH/L周りにおける熱間時の寸法(スキ)変化量を示している。公差の厳しいH/L下側のスキも、極限の炎天下状態でも規格を満足していることが分かる。

また、このロバストな構造と工程によって、量産での折り合い品質の工程能力も十分であった。こうして新型ロードスターのフロントフェイスは開発された (Fig.19)。

8. 結言

アスレチックなかたまり感という、ロードスターデザインDNAの二つの特徴を兼ね備えたデザインを実現するため、試行錯誤の繰り返しではあったが、「これがいい」と納得するまで行動した結果、デザイン要求を満足しながら機能性と生産性を両立する構造を低コストで導入できた。

また、今後の締結方法において、締結部品レスの超音波溶着技術を進化させることによって、加工方法の選択肢も増えた。今後、更に厳しくなるであろう市場要求品質に応えられる、よりシンプルな構造を提案していきたい。

最後に、今回のフェイスシャの開発にあたって協力頂いた社内外の関係者の方々に、本誌を借りて厚く感謝する。

著者



神田博文



益田 孝



藤岡義弘



古川智司



渡部 浩



中山伸之