

耐熱マグネシウム合金を適用した軽量 MT ケースの開発

Development of a Lightweight Manual Transmission Case of a Heat-Resistant Magnesium Alloy

宮 下 英 明*
Hideaki MIYASHITA
早 川 幸 宏*
Yukihiro HAYAKAWA

中 田 雅 之*
Masayuki NAKADA
松 村 定 晴*
Sadaharu MATSUMURA

坂 田 正 保*
Masayasu SAKATA

要 旨

耐熱マグネシウム合金の適用により従来のアルミニウム合金製に比較して24%の軽量化を達成したマニュアルトランスミッションケースを開発した。材料はオイルパンに適用実績のある Mg-Al-Ca-RE 系耐熱マグネシウム合金 ACM522 の铸造性を改善した AE62-Ca 材を開発し、適用した。また低廉化を目的に汎用マグネシウム合金同等の再生率を実現する再生化技術、化成処理なしに接着強度が得られる液体パッキン、締結部電食防止用フッ素コートボルトも併せて開発した。

ABSTRACT

A manual transmission case was developed by using a heat-resistant magnesium alloy that achieves a 24% weight reduction over conventional aluminium alloy case. AE62-Ca was developed by improving the castability of the Mg-Al-Ca-RE-base heat-resistant magnesium alloy ACM522, which had a record of use in oil pans, and this new alloy was applied. At the same time, with the objective of achieving a more reasonable price, a recycle process was developed that yielded return rates on a par with general magnesium alloys; a formed-in place gasket was developed that provided adhesive strength without chemical treatment; and fluorocarbon resin coating bolts were also developed to prevent galvanic corrosion at contact surface.

1. まえがき

近年、地球環境問題などから燃費改善のための軽量化は最重要課題となっており、その手法として欧米を中心にマグネシウム合金を適用する動きが高まっている。

ホンダにおいてはこれまで汎用マグネシウム合金を用いたエンジンヘッドカバーやステアリングホイール、また1999年には Mg-Al-Ca-RE 系耐熱マグネシウム合金 ACM522 を適用したオイルパンを量産化してきたが、さらなる軽量化を実現するにはマグネシウム合金の適用部品拡大が必要である。

今回、オイルパンと使用温度環境が同等であるマニュアルトランスミッションケース(以下 MT ケース)に耐熱マグネシウム合金を適用することで従来のアルミニウム合金製ケースに対し24%の軽量化を達成した。また同時に低廉化に寄与する周辺技術も併せて開発した。

2. 開発のねらい

ホンダと他社のエンジントルクとアルミニウム合金製 MT ケース重量の関係を Fig. 1 に示す。近年ギヤ、シンクロの幅狭化を推進し小型化した結果、ケース重量は他社と同等以下の位置付けになったが、さらにマグネシウム合金を適用することで軽量化競争力を確保することが今回の開発のねらいである。

筆者らは開発にあたり以下の目標を設定した。

- 1) 複雑な形状を有する MT ケースを铸造することを考慮し、現行耐熱合金 ACM522 と同等強度でさらに铸造性の優れた合金を開発するとともに汎用マグネシウム合金同等の再生率を実現する再生化技術を確立する。
- 2) 耐久性、商品性はアルミニウム合金製ケースと同等を確保する。
- 3) 化成処理なしにアルミニウム合金製ケース同等以上の接

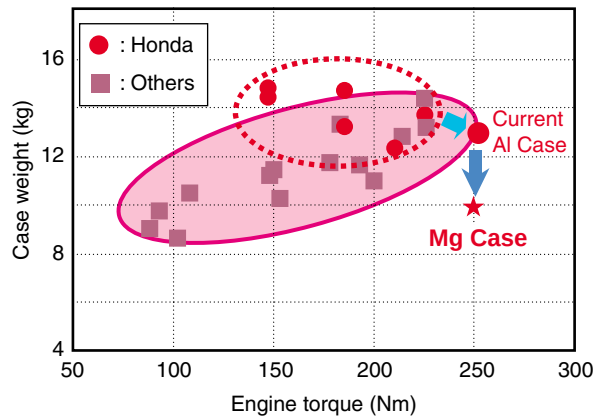


Fig. 1 Relationship between engine torque and manual transmission case weight

着強度が得られる液体パッキン(以下FIPG)を開発する。
4) より低廉な電食対策技術を開発する。

3. 材料技術

3.1. 耐熱マグネシウム合金 AE62-Ca の開発

3.1.1. 鋳造性の向上

これまでエンジン部品への適用を目的に耐熱マグネシウム合金 ACM522 を開発、オイルパンに適用したが、非常に複雑な形状を有する MT ケースに適用するためにはさらに鋳造性を向上させる必要があった。

鋳造性について ACM522 の主成分である Al, Ca 量の影響をリングテスト法⁽¹⁾により検証した。この試験は所定のリング形状を有する鋳型を用い鋳造したリング試験片に発生した割れの長さを合計して評価するものである。

その結果、Fig. 2 に示すように $1.2 \leq \text{Ca} \leq 1.8$, $5.0 \leq \text{Al} \leq 6.0\%$ で汎用合金 AZ91D と同等レベルとなる見通しを得られた。

ただし、Ca 量を下げることにより ACM522 に比較しクリープ強度が低下するため、R.E.(希土類元素)量を増量し 2.3%以上とした。

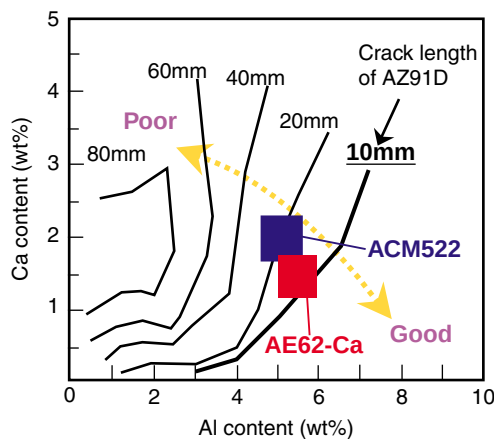


Fig. 2 Effect of Al and Ca content on the total crack length

この材料について強度を検証した結果、Fig. 3 に示すように ACM522 同等の強度を確保していることを確認し AE62-Ca と命名した。

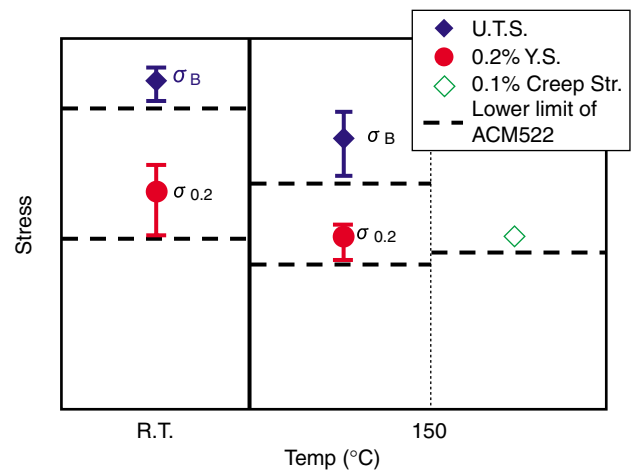


Fig. 3 Strength of AE62-Ca alloy compared with ACM522 alloy

3.1.2. トランスミッションケースでの鋳造性検証

マグネシウム合金はアルミニウム合金に比べ熱容量が小さいため、流動速度が低下すると充填不良が発生しやすくなる。このためマグネシウム合金においては高速射出による鋳造が必要である。

ケース金型を用いて射出速度と材料強度、比重の関係を検証した結果を Fig. 4 に示す。

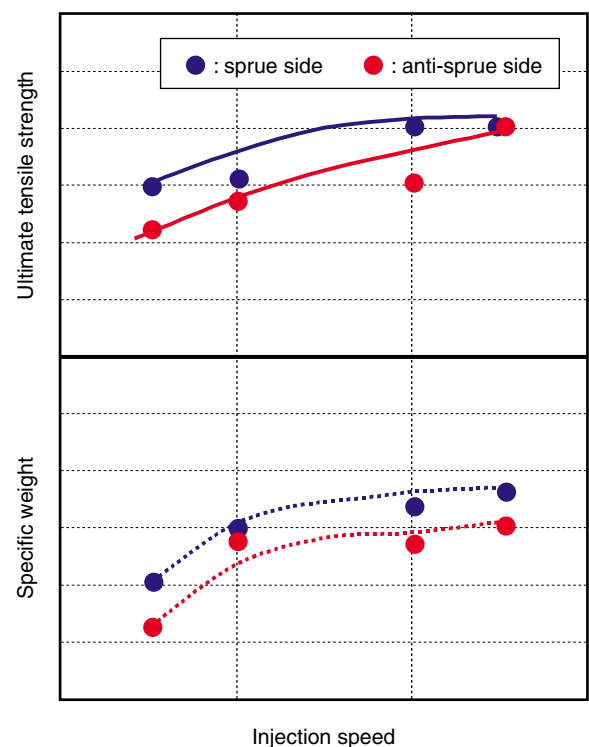


Fig. 4 Effect of injection speed at clutch case

射出速度が下がると抗張力、密度の低下が顕著に発生する結果となり、一定以上の射出速度を保持する必要があることが明確になった。

さらに湯流れシミュレーションを実施し、金型構造を検討した。クラッチケースでの解析例を Fig. 5 に示す。

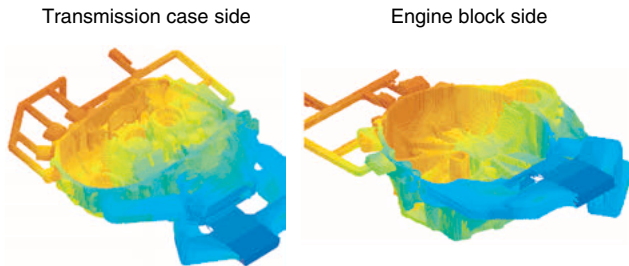


Fig. 5 Flow analysis of molten metal in clutch case mold

これらの解析結果をベースに金型設計を行い一定条件で連続的に鋳造した結果、割れの発生なく品質良好であることを確認した。

Fig. 6 にクラッチケース試作品の外観写真を示す。

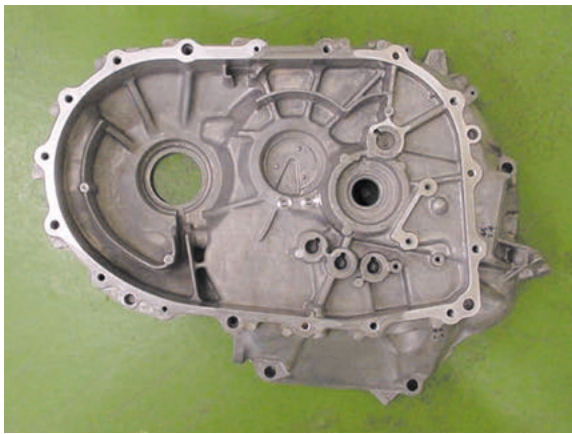


Fig. 6 Appearance of prototype of magnesium clutch case using AE62-Ca

3.1.3. 再生化技術

AZ91D などの汎用マグネシウム合金については Cl 系のフラックスを用いた再生化技術が確立しているが耐熱合金 ACM522 においては Ca, R.E. といった主要成分量の低下が大きい再生は未実施であり、コスト低減の観点からも再生技術の確立が課題となっていた。

その原因を解明するため、汎用マグネシウム合金と同一条件で耐熱マグネシウム合金を再生した場合の各段階における溶湯、スラッジ(容器内の沈降堆積物)を採取し成分分析を実施した。

その結果、溶解および精錬工程で溶湯中の成分量低下が発生しており、スラッジ中に Ca, R.E. を含む酸化物および Cl 化合物が含まれていることがわかった。このことから成分低下は再生工程における「溶湯と大気との酸化反応」「溶湯とフラックス成分との反応」によるスラッジの発生が原因であることが明らかになり、対策として以下の 2 点を実施した。

- 1) 溶湯表面の大気接触防止：カバーリングフラックスを SF_6 (6 フッ化イオウ) ガス雰囲気へ変更
- 2) 溶湯とフラックスとの反応抑制：フラックスの投入および攪拌を不活性ガスバブリングに変更

この方法によりフラックスを使わずに再生を行った結果、Fig. 7 に示すように成分低下が解消した。

材料強度を検証した結果、Fig. 8 に示すように新塊と同等の特性が得られ、100%再生塊の使用が可能となった。

また再生率も汎用マグネシウム合金並みの 95% を達成した。

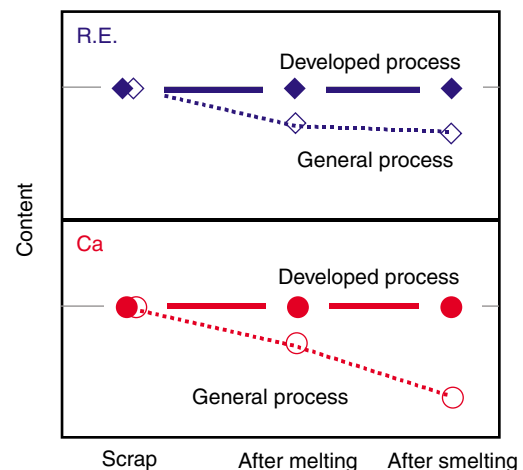


Fig. 7 Loss of R.E./Ca content in recycle process

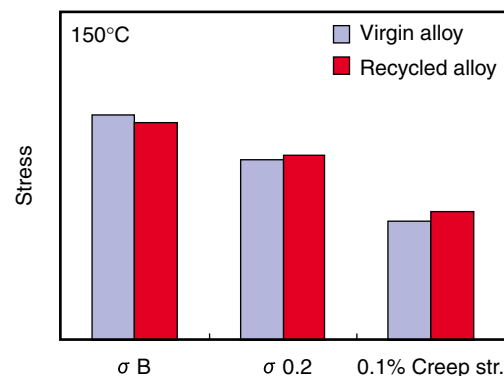


Fig. 8 Strength of recycled AE62-Ca alloy by developed process compared with virgin alloy

3.2. 新 FIPG の開発

従来よりトランスミッションケースとクラッチケースの合わせ面のシール性を確保するため FIPG が用いられている。現行の FIPG はアルミニウム合金製部品での使用を前提に開発されたものであり、マグネシウム合金製部品に用いる場合接着強度が低下する。そのためマグネシウム合金製オイルパンではクロメート処理による化成皮膜を形成させ接着強度を確保した。

クロメート処理はコスト上昇要因であり、6価クロムを使用するために有害物質として今後、使用が制限される方向にあることからクロメート処理の必要がない新 FIPG の開発が必須となっていた。

マグネシウム合金において接着強度が低下するのは FIPG 中の接着助剤であるシランカップリング剤(以下 AP 剤)と結合体を形成する OH 基がアルミニウム合金に比べマグネシウム合金表面には少ないことに起因する。その概念図を Fig. 9 に示す。

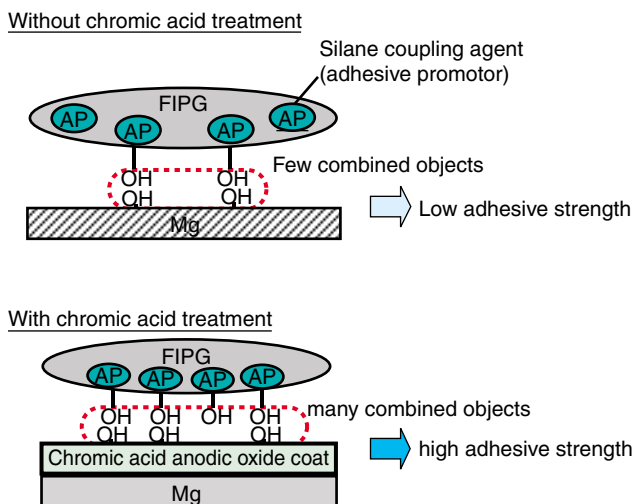


Fig. 9 Adhesive mechanism between FIPG and Mg alloy

接着強度アップ対策として以下の内容を施し性能評価を行った。

- 1) 新 AP 剤適用 : アルコキシシラン系 AP 添加
- 2) 界面接着強度アップ : ベースポリマー鎖長延長
- 3) 硬化発現性アップ : 硬化剤増量
- 4) 耐油性アップ : 膨潤抑制充填材添加

その結果を Fig. 10 に示す。

マグネシウム合金と現行 FIPG との組み合わせではアルミニウム合金に対して約 1/2 レベルまで接着強度が低下するが、開発 FIPG ではアルミニウム合金/現行 FIPG と同等の接着強度が得られ、ケースのクロメート処理が不要となった。

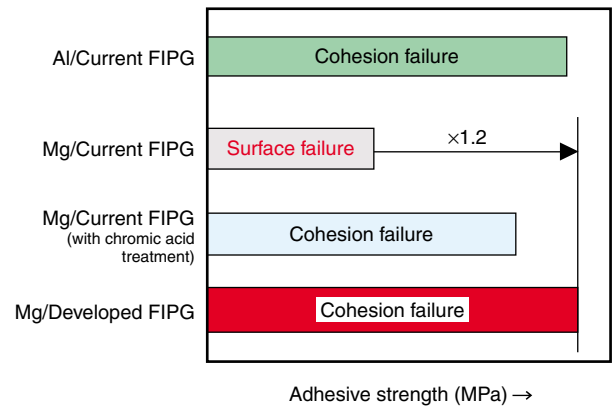


Fig. 10 Comparison of adhesive strength between FIPG and Al/Mg alloy

3.3. フッ素コートボルトの開発

マグネシウムは実用金属中、最も卑であるためアルミニウムに比べ異種金属と接触した状態で腐食環境にさらされた場合、電位差腐食が進行しやすい。MT ケースのような車体の下部に位置する部品においては走行時に水がかかりやすく、特に冬期間、融雪剤を散布したような地域では非常に厳しい環境にさらされることになるため十分な対策が必要である。

マグネシウム合金製オイルパンにおいてはクロムメッキ処理したボルトとアルマイト処理したアルミワッシャを組み合わせて締結部を絶縁したが、MT ケースの場合、締結点数が非常に多くなることから大幅なコスト上昇になるため、低廉化を目的にフッ素コートボルトを新たに開発した。(Fig. 11)

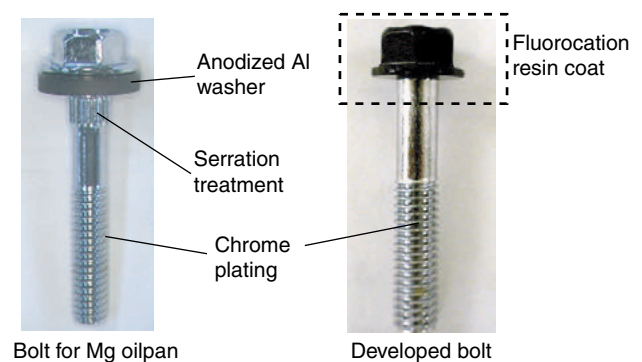


Fig. 11 Anti - galvanic corrosion bolt

塩水噴霧試験にて評価をおこなった結果、Fig. 12に示すようにマグネシウムオイルパンに適用したボルトと同等レベルの防錆機能を有していることを確認した。

また軸力保持性を検証し、従来品と同等特性であることを確認した。

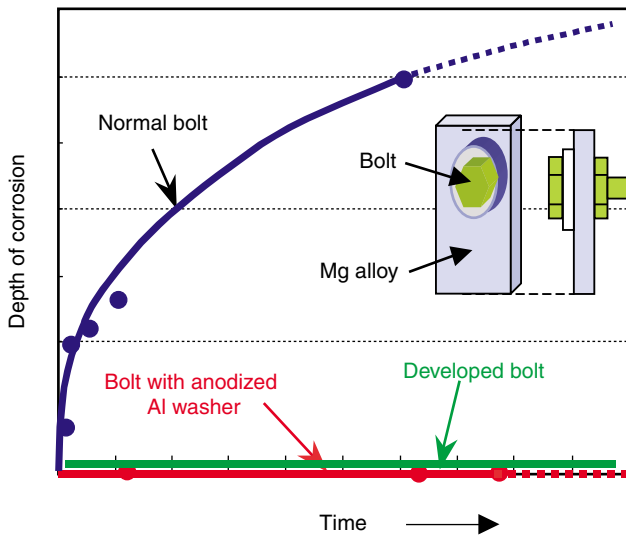
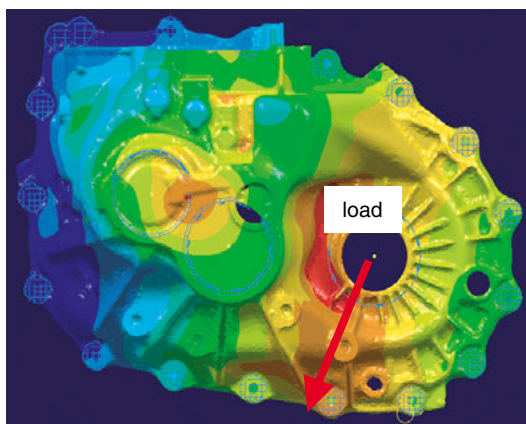


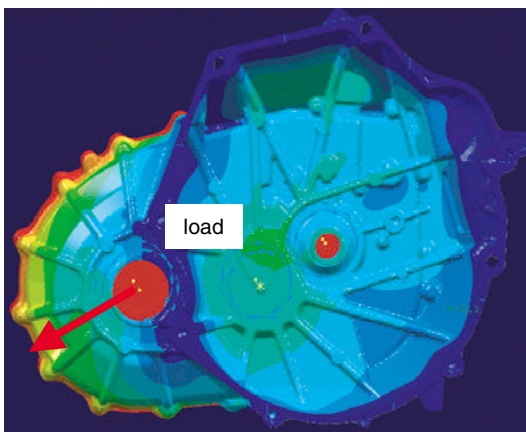
Fig. 12 Performance of anti - galvanic corrosion bolt at salt spray test

4. 設計技術

マグネシウム合金はアルミニウム合金に比べヤング率が約 2/3 であり、同一形状の場合ケース剛性が低下しシール性能の低下、応力増加による強度不足、振動特性の悪化が懸念される。



Transmission case side



Clutch case side

Fig. 13 FEM simulation of deformation of MT case

そのためケース構造を設定するにあたっては
1)たわみ量解析2)応力解析3)パワープラント剛性解析
による形状検討を行い、最低限の重量増でアルミニウム
合金ケースと同等剛性を確保することを目標とした。

4.1. たわみ量解析

Fig. 13にアルミニウムケースと同一形状で解析を行った結果を示す。ファイナルドリブンギヤからの入力によりデフ周辺の合わせ面に大きなたわみが発生することがわかったため、対策としてデフ周辺を中心にリブ追加、肉厚増大を施した。

対策形状を反映した試作品を製作し静ねじりテストにより Fig. 14 に示す位置での合わせ面挙動を測定した結果、Fig. 15に示すようにアルミニウムケースと同等の変位量となり、同等レベルの剛性が確保できた。

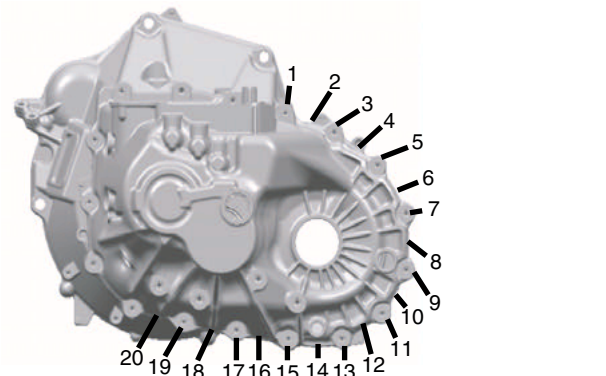


Fig. 14 Measuring points of slip deformation at contact surface between mission case and clutch case

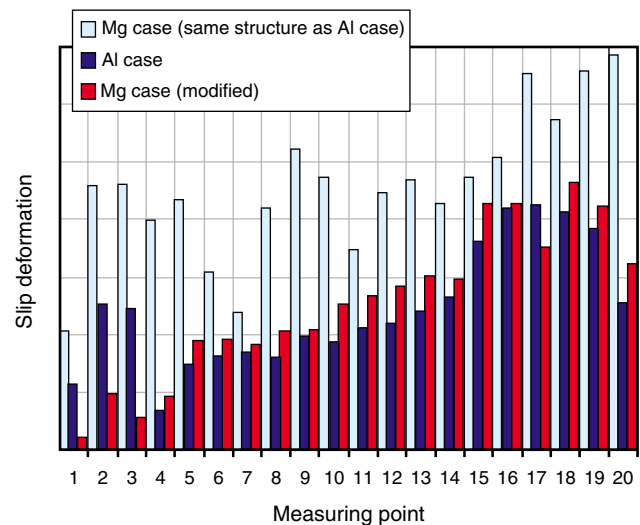
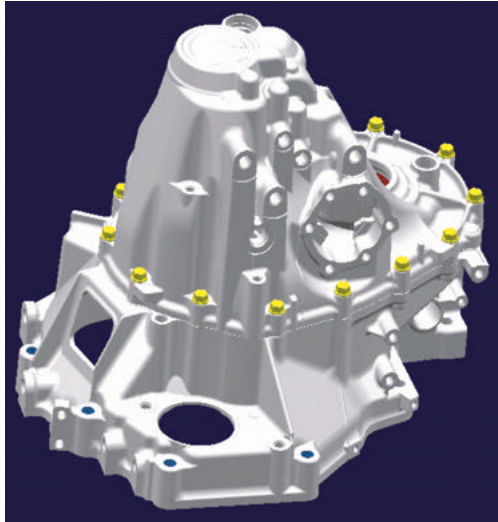


Fig. 15 Comparison of slip deformation at contact surface of case

4.2. 応力解析

各部応力について精度向上を目的に Fig. 16 に示すようにトランスミッションケース、クラッチケースを一体化したモデルによる解析を実施した。



Analysis in a unit construction

Fig. 16 Image of stress analysis model

Fig. 17に解析結果を示す。この結果をもとに高応力部にはR拡大、肉厚増大などの形状対策を行う事で目標応力以下にすることが出来た。

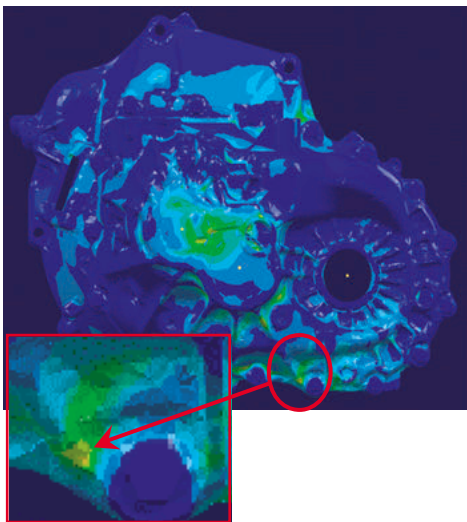


Fig. 17 FEM simulation of stress of MT case

4.3. パワープラント剛性解析

振動特性にはエンジンと締結した状態でのパワープラント全体の剛性が大きく寄与することからさらにエンジンと締結した状態を想定した共振周波数解析を行った。

Fig. 18に上下方向の曲げモードでの解析結果を示す。



Fig. 18 FEM simulation of resonance frequency analysis at bending mode in the vertical direction

同結果をもとにエンジンとの締結部周辺を中心にアルミニウム合金製ケースと同等剛性となるように形状を設定した結果、Fig. 19 および 20 に示すようにアルミニウム合金製ケースと同等レベルの振動性能を達成した。

ケース重量はアルミニウムケースに比較して24%の軽量化を実現できた。

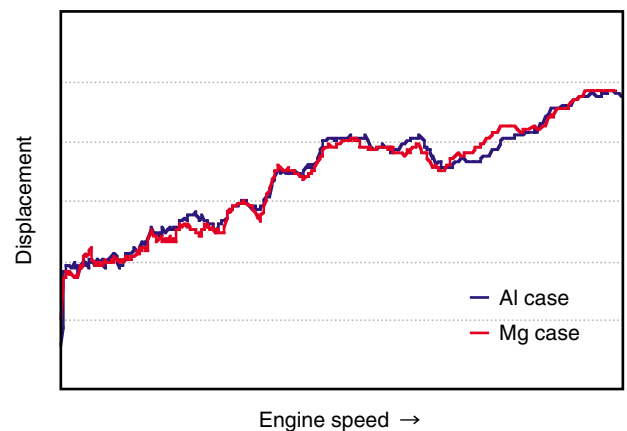


Fig. 19 Displacement of engine rear mount

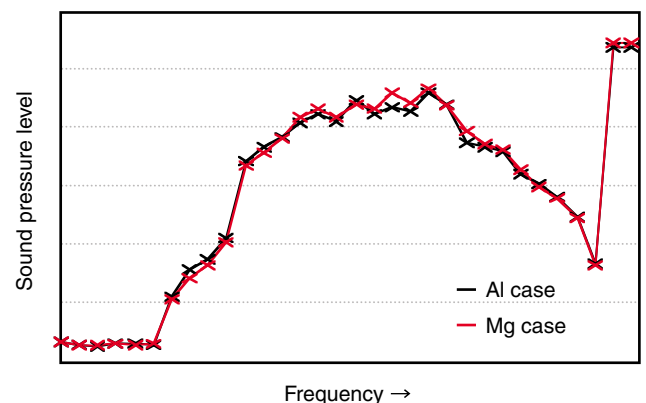


Fig. 20 Sound pressure level from MT case

5. 周辺技術

5.1. 締結技術

一般的にボルト締結部については熱間時のボルトとケースの熱膨張差により軸力が上昇し、それによる座面、ねじ部の座屈、クリープ変形が発生することで軸力の低下が生じる。マグネシウム合金の場合、熱膨張率がアルミニウム合金に対し約 20%高いことから軸力低下を生じやすい。

そのためケース合わせ面のような軸力保持特性が要求される部位については応力低減のためボルトのフランジ外径拡大およびめねじ掛かり代増大など締結仕様の見直しを行った。

ケース合わせ面での軸力挙動を測定した結果、Fig. 21 に示すようにアルミニウム合金製ケース同等以上の軸力が得られた。

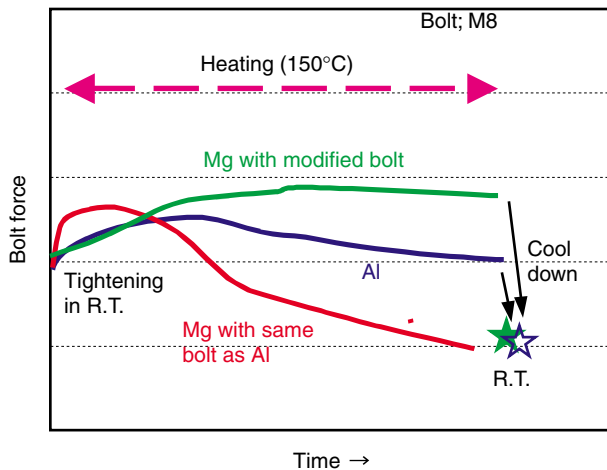


Fig. 21 Comparison of bolt force retention at 150°C

6. まとめ

耐熱マグネシウム合金を用いて従来のアルミニウム合金製に対して 24%の軽量化を達成したマニュアルトランスミッションケースを開発した。

その技術内容は以下の通りである。

- 1) 耐熱マグネシウム合金 ACM522 の鋳造性を改善した AE62-Ca 材の開発および 100%再生塊の使用が可能であり汎用マグネシウム合金と同等の再生率95%を達成できる再生化技術の確立。
- 2) 化成処理なしにアルミニウム合金製ケース同等以上の接着強度が得られる FIPG の開発。
- 3) 締結部の電食防止用フッ素コートボルトの開発。
- 4) アルミニウム合金製と同等性能を有するマグネシウム合金ケース形状を設計するシミュレーション技術の確立。

謝 辞

本開発にあたり社内外で多大なご協力、支援頂いた方々に心より感謝いたします。

参考文献

- (1) 小池精一ほか：耐熱マグネシウム合金を適用した軽量オイルパンの開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.1, p.167-174(2000)

■ 著 者 ■



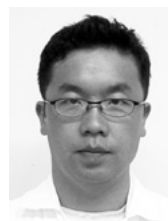
宮下 英明



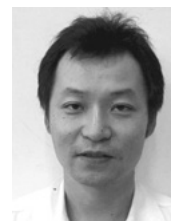
中田 雅之



坂田 正保



早川 幸宏



松村 定晴