

HFCによる厚肉部品の casting

三吉 博晃

宇部興産機械(株)

シンプルな設備で投影面積の大きい厚肉部品の casting 手段として、従来の低圧 casting より精密なガス加圧制御とスクイズ casting のプランジャ加圧と部分加圧機構を組み合わせた新しいタイプの casting プロセスを 2016 年に発表した¹⁾。本稿では、厚肉の足回り部品の量産プロセスの品質と同等以上に確保しつつ、生産性を向上させた casting 結果について紹介する。

1. はじめに

日本国内ではアルミ化された足回り部品は高級車を中心に採用されているが、Cセグメント以下は依然として casting 部品の採用が多い。しかし、海外では車両軽量化のため Cセグメント以下の車種でも足回り部品のアルミ化が進んでいる。特に中国では半凝固、スクイズ、差圧 casting と複数のプロセスで量産、試作が行なわれている。筆者らは、自動車軽量化に貢献

でき、 casting 部品とコスト勝負できる厚肉製品に適した casting プロセスを考案した。このプロセスは金型キャビティへの溶湯充填にガス加圧と油圧の双方を利用することから、Hybrid Fill Casting²⁾ (ハイブリッド・フィル・キャストリング)、略して HFC プロセスと名付けた。金型に溶湯を充填後はセンターピン加圧と部分加圧ピンによる加圧を組合せた casting 法である。

2. 実験方法

2.1 casting 設備

HFC の casting 設備 (M-HFC) の外観を図 1、仕様を表 1 に示す。

casting 設備本体は可動プラテンの 4 隅に型締め機構

を内蔵した 2 枚プラテン構造により高さを抑制している。センターピンと部分加圧ピンのストローク制御により凝固収縮に応じて加圧を行う。主要付帯設備は 3 槽構造の低圧 casting 炉と製品取出できるスプ

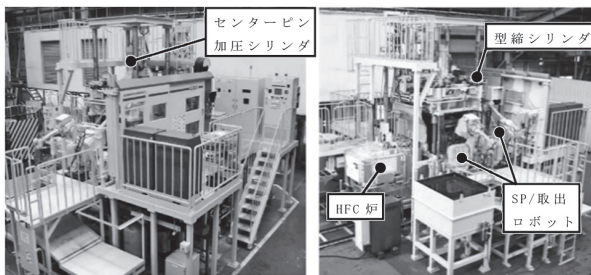


図 1 M-HFC casting 設備外観

表 1 M-HFC casting 設備の主要仕様

項目	M-HFC 仕様
型締め力 (ton)	315
型開閉ストローク (mm)	795
タイバー径 (mm)	φ135
タイバー内法 (mm)	1320 × 1220
取付型厚 (mm)	1100
センターピン出力 (ton)	30

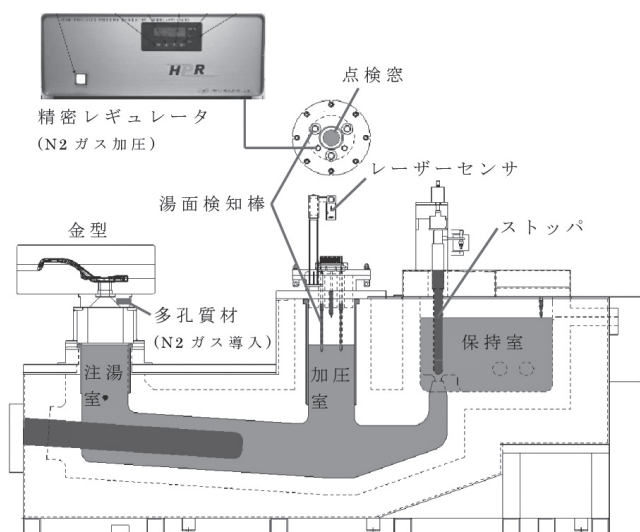


図2 HFC 炉

レーロボット、金型交換台車となる。さらに、付帯設備の制御盤、油圧ユニット、作業床ならびに安全柵からなる。低圧鋳造炉（HFC 炉）の構造を図2に示す。

HFC 炉は保持室、加圧室、注湯室の3槽構造である。加圧室のガス加圧制御には精密かつ高応答性ガスサーボバルブを活用した精密レギュレータを、また、加圧室蓋の上方にはレーザーセンサを配置し点検窓を介して湯面変位を計測可能にした。

加圧室の加圧ガスは窒素ガスを使用し、注湯室には多孔質材を介して窒素ガスを導入できる。金型が開いているときは注湯室に窒素ガスを導入し湯面の酸化抑制を行う。

2. 2 鋳造動作

図3に本プロセスの一連の動作を模式図にて説明する。

①精密レギュレータを介して加圧室に窒素ガスを導入し加圧室の湯面を押し下げる。湯面変位は常時レーザで監視し金型への溶湯充填状況をモニターする。②加圧室の湯面を押し下げること注湯室の湯面が上昇し金型への溶湯充填が始まる。③ガス圧の増圧時間を制御し溶湯を金型へ層流充填する。④溶湯が充填されたことを見込んだ設定圧力検知後、センターピンを下降させて湯口を閉塞する。湯口閉塞後はガス加圧を止め、湯口下部より多孔質材を介して窒素ガスを導入し速やかに注湯室の湯面を押し戻す。⑤センターピンをさらに下降させて湯溜り部を加圧し、金型キャビティにメタル圧を伝える。指向性凝固が途切れた厚肉部位には必要に応じてスクイズピンによる部分加圧を行う。⑥凝固完了後、センターピンとスクイズピンを原位置に戻す。⑦型を開

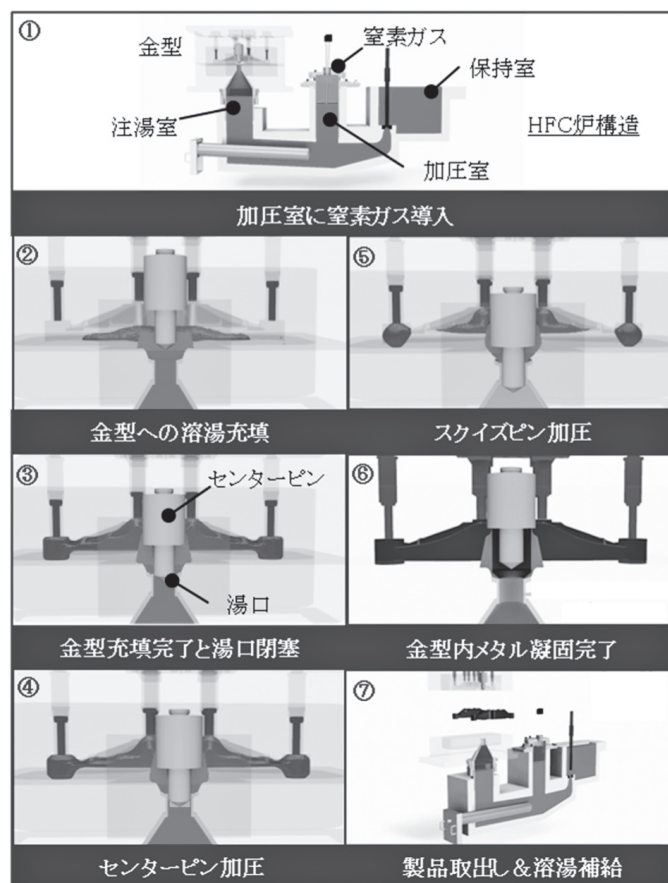


図3 HFC の鋳造工程

いて製品を取り出す。型開限検知時は湯口下部から窒素ガスを導入し注湯室の酸化対策を行う。保持室の炉床のタップ弁を開いて注湯室と加圧室に次のショットの溶湯を補給する。

2. 3 素材形状

素材形状は図4のように国内外のCセグメントの車種で採用されている一般的なフロントナックルの形状とした。

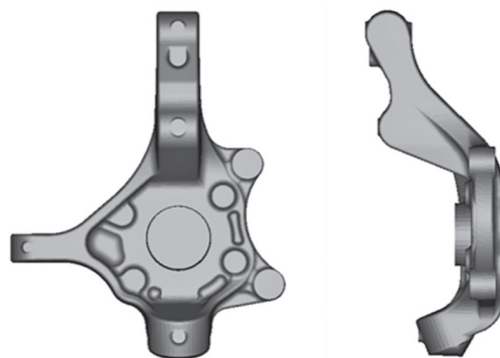


図4 ナックル形状

2. 4 金型方案

図5のように铸造解析の湯流れ解析により4秒以内に充填することで流動停止温度前に充填可能であることが確認できた。また、凝固解析で指向性凝固の途切れるタイミングと未凝固金属の体積を求め部分加圧の容積と加圧シリンダのサイズを検討した。図6に铸造解析結果より考案した4個取りナックル金型方案を示す。4個取りキャビティの外形寸法は777mm×565mm×130mm、投影面積は1484cm²となる。素材重量は1個当たり約2.5kgであり、センターピン加圧が20秒間持続できるランナーサイズとし、鑄込み重量は約12.2kg、歩留まりは約82%とした。4秒以内に充填しても層流充填となるように湯口径をφ65mmとした。その湯口からセンターピンによ

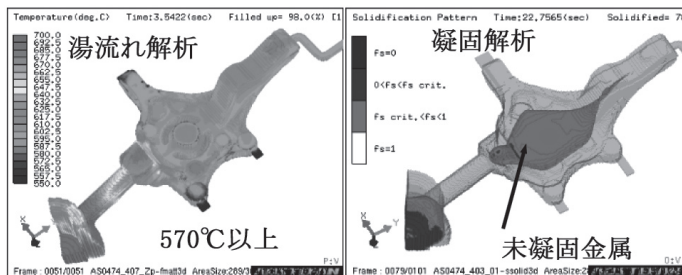


図5 铸造解析結果

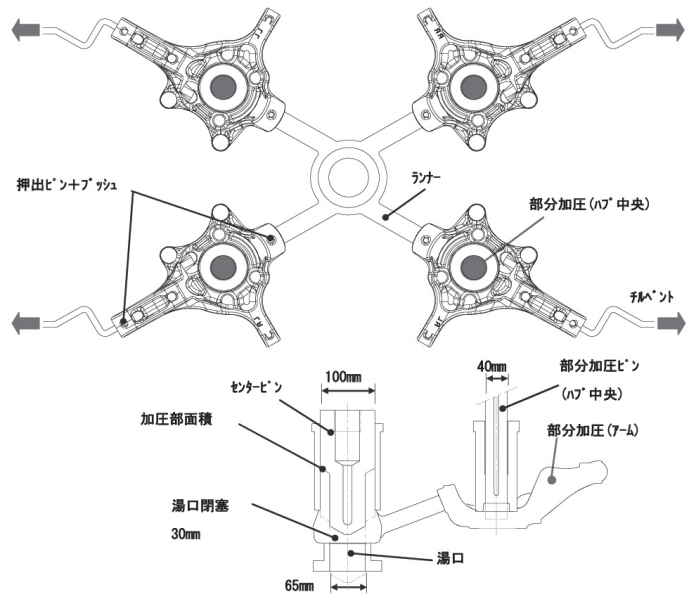


図6 金型方案図

3. 铸造トライ条件

3. 1 铸造波形

湯口までの与圧を15kPa、キャビティ充填を3.5秒で21kPaまでガス加圧し、湯だまり部とキャビティ未充填部を充填するために80kPaのガス加圧後、センターピンで30MPaのメタル圧を付加し、10秒後に70MPaの2段加圧を行い、センターピン加圧から6秒後に部分加圧ピンで最大60MPaの位置制御の併用による铸造を行なった。センターピン、部分加圧ピンの加圧タイミングとメタル圧はキャビティに充填した溶湯をバリ吹きなく金型に圧着し続けるタイミングで設定した。代表波形を図7に示す。

3. 2 使用合金と離型剤

铸造には市販のAC4CH合金を使用し、鑄込み温度は700°C、金型温度は200～250°Cとした。昨年まで離型剤はセンターピン、部分加圧ピンの潤滑性を最優先に考え、B社製の水溶性の黒鉛系離型剤を使用していた。環境への悪影響を考慮して黒鉛量を減量できる離型剤を数種類テストし、金型離型剤は

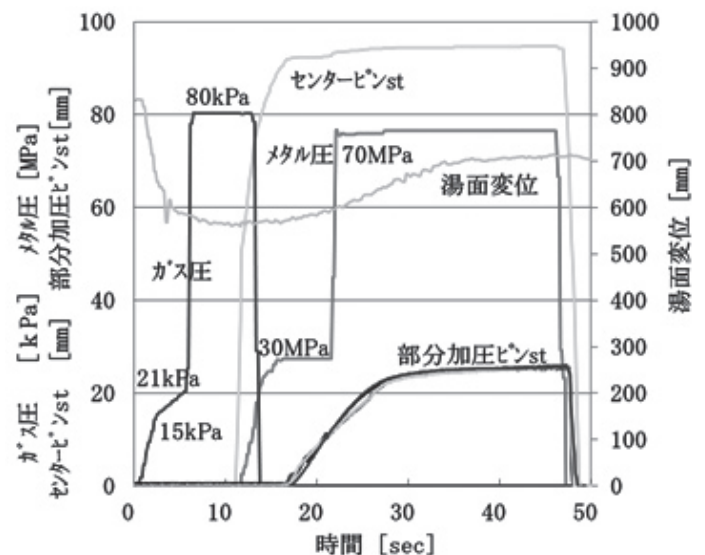


図7 代表铸造波形

A社製の無機粉体入り油性離型剤を原液塗布に変更した。

4. 鑄造トライ結果

4.1 鑄造品外観

水溶性の黒鉛系離型剤を使用していた時は約200cc塗布し、鑄造品は黒鉛を転写し冷却水槽やマシン周辺が黒く汚れていたが、油性離型剤の場合、図8、9のようにタルクと黒鉛が入っているため鑄造品は薄い白色の着色となる。タルクにより保温性は大きく改善し外観の湯じわが改善された。また、25cc/shot以下の塗布のため金型PL面への堆積量も少なくなり型メンテ時間も短縮できた。



図8 鑄造品外観

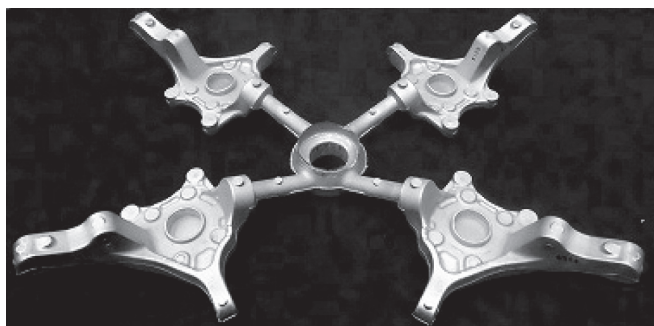


図9 鑄造品外観

4.2 プリスタテスト

油性離型剤を使用した鑄造の場合、ガスを発生しプリスタが発生する確率が高くなるため530℃ X3Hrのプリスタテストで確認を行なった。塗布量が25cc/shotと少ないためプリスタの発生はなかった。

油性離型剤の塗布方法に関しては現状スプレーノズルを使用しているが、静電ガン使用することで塗布効率が改善し、更に塗布量を減量することが出来る。

4.3 内部品質

内部品質に関してはナックルのアームの厚肉部分をX線検査装置で確認した。

図10にX線検査部位、図11にX線検査結果を示す。B部は最大肉厚45mmあるが、センターピン加圧と部分加圧ピンの遅延タイマを最適化したこと

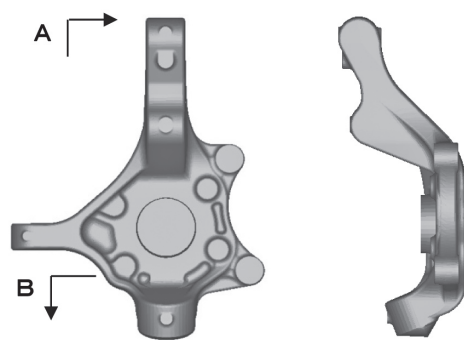


図10 X線検査部位

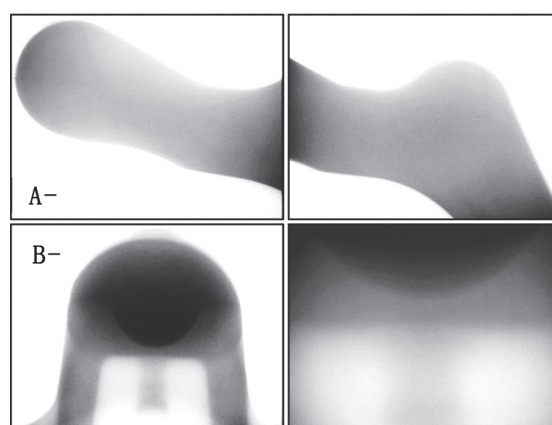


図11 X線調査結果

により、引け巣は確認されなかった。また、A部は最大肉厚が38mmあり引け巣が発生すると考え、部分加圧ピンを設置していたが使用しなくても引け巣は発生しなかった。

4.4 酸化物調査

酸化物調査は鑄造サンプルを1個につき図12のように85箇所切断し、その切断片に切り欠きを入れ、

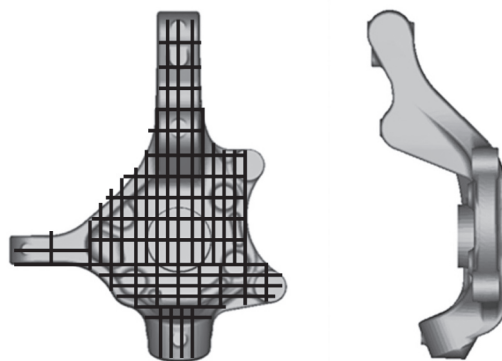


図12 鑄造サンプル切断箇所

破断面の目視調査を行った。サンプルは10個、計850断面の調査を行った。

表2に酸化物調査結果を示す。酸化物混入率の0.022個/cm²は、一般的な縦型スリーブに注湯して铸造するスクイズ铸造が約0.3個/cm²なので1/10以下と少ない結果となった。

HFCプロセスでは重铸やスクイズのような注湯動作がなく、また加圧室の加圧ガスには窒素ガスを使用し、注湯室の溶湯も低铸のように一気に落下させることはなく、型開限では常に注湯室に多孔質材を介して窒素ガスを導入しているため溶湯の酸化を低減できていると考える。

表2 酸化物調査結果

酸化物サイズ mm	個数	観察面積 cm ²	酸化物混入率 個/cm ²	
0.3～0.5	3	2019.0	0.00	0.022
0.5～1.0	10		0.00	
1.0～1.5	10		0.00	
1.5～2.0	24		0.01	

4.5 ミクロ組織調査

各部位のミクロ組織調査を行った結果より代表的なミクロ組織を示す。

図13のように铸造品の表面と中心部を調査した。図14の組織写真より金型と接触する表面はDASが約20μm、中心部で約30μmという結果となった。他の部位もほぼ同じ傾向となった。金型温度を200～250℃とし、メタル圧を30MPa以上付加し続けることで、急凝固され重铸、低铸では得られない微細な組織となったと考える。



図13 ミクロ組織調査箇所

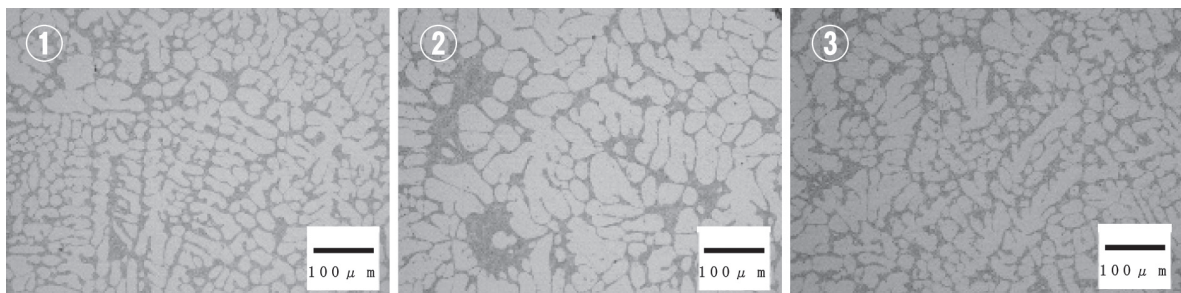


図14 ミクロ組織

5. 機械特性評価

5.1 引張試験結果

熱処理条件は530℃×3Hr、水冷、160℃×3HrのT6処理を行い、铸造品全体から試験片を採取し、引張試験を行った。

試験片形状はJIS Z 2241に準じ、図15のφ6丸棒

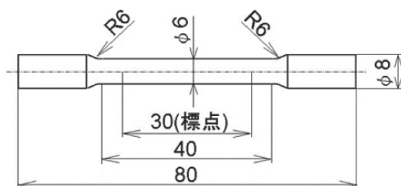


図15 試験片形状

試験片で実施した。図16のように铸造品4個から

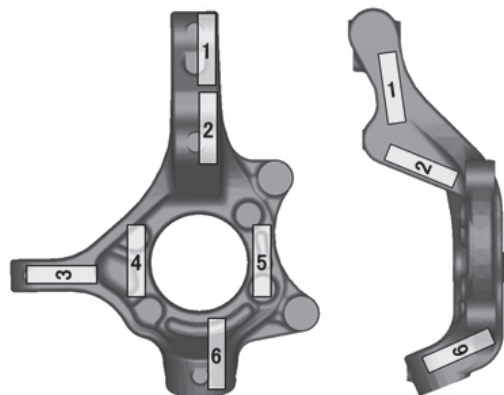


図16 試験片採取部位

各6本の試験片を切り出し、計36本の引張試験結果を図17に示す。

引張強度は平均318.0MPa、0.2%耐力は平均235.4MPa、破断伸びは平均11.0%とAC4CH材では良好な結果となった。

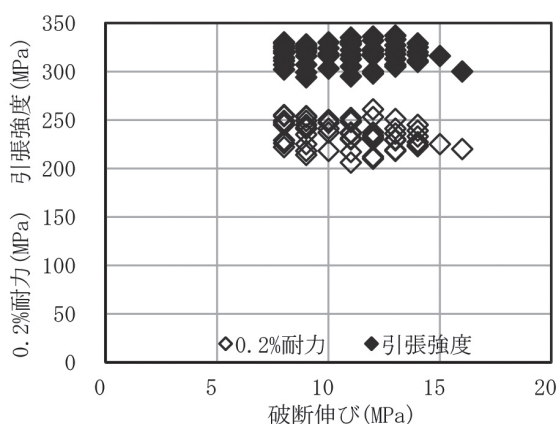


図17 引張試験結果

5.2 疲労強度試験結果

熱処理条件は引張試験と同じとし、14S-N法に準じて回転曲げ疲労試験を実施した結果を図18に示す。

1×10^7 回を経過して120MPaで破断無し、破断確率50%疲労強度は125MPaとなった。

酸化物混入率の少なさと高圧付加による急冷凝固の結果、微細な組織により高い疲労強度になったと考える。

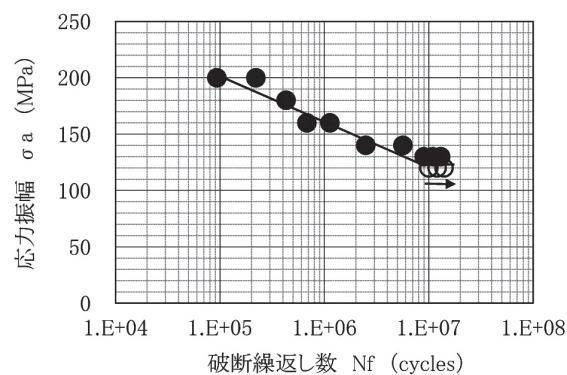


図18 疲労試験結果

6. 生産性の確認

図19の専用スプレーヘッドを使用することでスプレー時間を短縮し、1サイクル120秒を切ることが出来た。よって、一般的な低圧鋳造、重力鋳造の1/3、欧州の自動車メーカーで採用実績のある差圧鋳造の2/3のサイクルとなる。1個当たりのサイクルに関しては、差圧鋳造で6個取りをしたとしても40秒/個であり、HFCは30秒/個を切ることで生産性の高さが確認できた。先の離型剤の項で説明した通り静電ガンを使用することで付着効率が改善し、さらにスプレー時間を10秒以上短縮できる可能性もある。

製造コストは鋳鉄と比較しても軽量化を考慮すれば勝負できるレベルと考える。

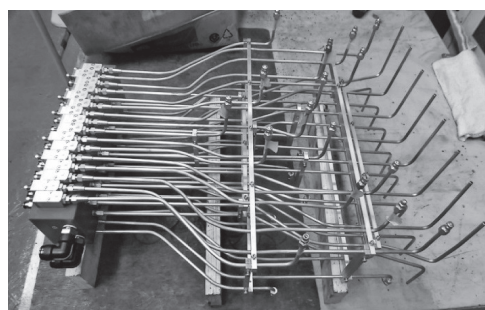


図19 専用スプレーヘッド

7. 大型厚肉製品への適用

製品重量合計10kg、鋳込み重量12.2kgの厚肉製品の内部品質を確保して鋳造することが出来た。

現在のHFC炉では最大20kgまでの鋳込み重量に対応できる。しかし、投影面積が大きいリアナックルを4個取りすることを考えると投影面積が増え、M-HFCの型締め力、プラテンサイズでは厳しいことを自動車部品メーカーより指摘を受けた。

表3 L-HFC 鋳造設備の主要仕様

項目	L-HFC仕様
型締め力 (ton)	530
型開閉ストローク (mm)	895
タイバー径 (mm)	φ170
タイバー内法 (mm)	1720 × 1620
取付型厚 (mm)	1200
センターピン出力 (ton)	75

そこで、鑄込み重量が25kg、投影面積が2000cm²程度まで対応できるL-HFCの仕様を表3のように検討した。

このL-HFC鑄造設備の仕様ではリアナックルの4個取り、商用車の足回り品の2個取りなどにも対応可能となる。

8. まとめ

厚肉製品に適したHFCプロセスを4個取りナックル金型を使用して検証を行った結果は以下のとおり。

油性離型剤を使用することでセンターピン、部分加圧ピンの潤滑性が黒鉛離型剤と同等以上であることが確認できた。懸念されたプリスタについても塗布量が少ないため発生しないことが確認できた。

本プロセスにより得られる鑄造品は低鑄、重鑄、差圧鑄造など他プロセスでは得られない高い疲労強度を示すことから、部品の軽量化設計が可能であると考えられる。また、製造コストでも生産性の高さより他のプロセスより低減でき、鑄鉄とも勝負できるレベルとなった。

9. おわりに

現在、HFCプロセスを承認してもらうため、国内外の自動車メーカーにサンプルを提供し、機械特性の高評価を得ている。各メーカーより大型厚肉部品への適用判断などを持ち掛けられ、採用部品の方案検討、金型を製作しての鑄造テスト準備を進めている。軽量化と製造コスト低減に貢献できるプロセスとして認知していただけるようにモデルチェンジなどのタイミングを逃さないよう検証に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 三吉博見他：2016 日本ダイカスト会議論文集（2016），125-132
- 2) 登録商標 第5725474号