

鑄鉄用溶湯鍛造技術を用いた迅速金型製法の確立

Establishment of Metal Die Fabrication Method with Short Production Work Hours by Implementing Technology of Liquid Metal Forging for Cast Iron

北 村 卓 文*

Takunori KITAMURA

名 倉 宏 樹*

Hiroki NAGURA

要 旨

フレキシブルでタイムリーな開発をおこなうために、短期間での製作が可能で、かつ、開発段階における試作と量産段階における少量生産への適用が可能な、高圧ダイカスト用金型を製作する技術が求められている。高圧ダイカスト用の金型には、その使用環境の過酷さから、優れた機械的特性が求められる。そのため、金型材料に熱間ダイス鋼などが用いられるのが一般的である。しかしながら、これらの材料は加工性に劣るため、その製作においては長い期間が必要となる。このような背景の下で、グラファイトで作られた型にダクタイル鑄鉄を鑄込み、加圧下で凝固をさせる鑄鉄用溶湯鍛造技術の研究をおこなった。基地組織の調整と表面改質と合わせて、形状精度、内部品質、金型寿命に関する目標を満足する製法を構築した。これにより、金型製作期間の半減が可能となった。

ABSTRACT

A technology has been sought for the metal mold fabrication that could be used for a trial manufacturing in the stage of a product development and/or the actual production stage for a small production volume to make the vehicle development flexible and conducted in timely manner. For the dies used for high pressure casting, surpassing mechanical properties are needed because of the severe requirements for durability in their operations. Therefore, hot forming die steel is usually used for the die steel material. However, this material is disadvantageous to machinability and takes longer period for its fabrication. With this background, the study on a technology of liquid metal forging for cast iron was conducted, in which ductile cast iron is cast in a mold and solidified under high pressure. By implementing the adjustments of the base material structure together with enhancements in surface properties, the production method was established to fulfill the requirements in dimensional accuracies, qualities of inner material and the life of mold.

1. はじめに

二輪車には、数多くのアルミニウム鑄造部品が使われている。通常、新機種の開発段階では、砂型鑄造により部品が試作されている。これは設計変更への柔軟な対応と製作コストを考慮しているためである。砂型鑄造におけるアルミニウム鑄造材料には、JIS AC2Bなどが使用される。一方、量産工程においては、高圧鑄造用ダイカスト材 JIS ADC12 を使い、高圧ダイカスト (HPDC) によりこれらの部品は製作される。しかしながら、鑄造材料の間には機械的性質に差がある。また、砂型鑄造で造られた製品の精度は、HPDC で造られたそれに劣る。それゆえ、開発の最終段階に、HPDC により造られた部品の耐久性の確認が必要となる。もし、この段階で、強度や耐久性の不足が確認さ

れると、設計変更が必要となる。これは、開発日程と開発コストに影響を及ぼす。また、近年、市場ニーズの多様化により、多品種少量生産に対するニーズが大きくなっている。これらの背景から、開発段階における試作と量産段階における少量生産への適合が可能な金型製法が求められてきた。

一般に、高圧ダイカスト用金型は、高温かつ高圧の条件下で高速注入される溶湯から強い衝撃を受ける。そのため、キャビティ部には、熱間ダイス鋼等の高強度材料が用いられるのが一般的である。しかしながら、高強度材料は切削加工が難しく、後工程にて放電加工と手磨き加工を必要とする。それゆえ、延べ製作時間が長くなる。このことが、金型製作におけるコストと日程上の課題となってきた。

*二輪 R&D センター

この課題に対して、これまでも、ダクタイル鋳鉄(FCD)による鋳造製法で金型を製作する研究がおこなわれてきた⁽¹⁾。この研究では、2種類の製法により、金型製作がおこなわれている。一つ目はセラミックシェル鋳型を用いたセミフルモールド法で、製品形状部(キャビティ)は無加工としている。この金型製法では、鋳物の反りと表面粗さと表面組織の課題があった。二つ目は発砲スチロールと砂型を用いたフルモールド法で、キャビティ部に加工をおこなった。この金型製法では金型品質に問題はなかったが、製作コストと日程に課題があった。

以上の背景の下に、本研究は、金型材料にFCDを採用し、溶湯鍛造により製作する手法の実現を目指した。FCDを金型材料とするには、鋳造時の凝固収縮による形状精度不良と鋳巣による強度低下を考慮する必要がある。この課題に対して、筆者らは、鋳鉄用の溶湯鍛造技術の実現の可能性を探った。この製法では、溶融状態のFCDを加圧したまま凝固させることで、形状精度の維持と、鋳巣発生の抑制が期待される。これにより、金型製作工程から形状加工、放電加工、手磨き加工を省略することが可能となり、延べ製作時間の短縮が可能となると考えた。また、鋳巣の発生の抑制による強度低下を防止し、ダイカスト製法への適用が可能になると考えた。本稿では、HPDC用金型の溶湯鍛造による製法構築過程と、実用化に向けた検証結果について述べる。

2. 迅速金型製法の構築

2.1. 金型製作プロセスと延べ製作時間

金型製作において、延べ製作時間を要する部品は、キャビティである。理由として、キャビティは製品形状を反転した部品であり、複雑な3D形状を有するためである。キャビティの製作プロセスをFig. 1に示す。まず金型3DデータからCAMを使用して切削加工データを作成する。次に、NCマシンにて切削加工をおこなう。この際、赤色で示した幅が狭い部位や深い部位には削り残しが発生する。それゆえ切削加工後に放電加工をおこなう。放電加工は削り残しを加工するのに有効な手段である。しかし電気力で金属を溶融し除去するので、多くの加工時間を必要とする。また、放電加工では被加工材料表面に加工変質層が発生する。このため、最終工程として手磨きの工程が必要となる。このため、キャビティの製作には長い期間を要する。

そこで筆者らは、HPDC用金型製作時に発生する部品別延べ製作時間の試算をおこなった。対象とする製品は、二輪車用エンジンのクランクケースで、製品サイズは、X:300 mm Y:195 mm Z:60 mmである。型締め力500 tの高圧ダイカストマシン、主型材料はFCD 550、キャビティ材料はSKD 61とした。試算の結果、金型製作における

キャビティの延べ製作時間は、全体の約58%を占めていた。そこで、我々は、キャビティ製作時の切削工程と放電加工および手磨き工程を最少化できる技術手段の検討をおこなった。

2.2. 迅速金型製法の検討

キャビティの加工工程を短縮できる可能性のある手法は、大別すると2種類ある。一つ目は、荒加工による成形形状に相当する素材を鋳造にて製作したうえで、仕上げ加工を実施する製法である。二つ目は溶融した金属を型の内部に充填し、加圧をおこないながら凝固させる溶湯鍛造である。溶湯鍛造は形状精度が良く、内部に鋳巣の発生が少ない製法である。検討にあたり、目標とするキャビティ形状精度を ± 0.1 mmとした。これは、製作するキャビティの寸法がX:350 mm Y:400 mm Z:180 mmであることを、当該製品の一般的な要求公差が ± 0.4 mmであることを勘案し決定した。これらの2手法における延べ製作時間を試算した。一つ目の製法では、SKD 61を材料としたキャビティに対し、約20%の削減であった。一方、二つ目の製法では、約50%の削減が見込まれる結果となった。これは切削加工と放電加工、手磨き工程を削減した結果である。以上の理由から、溶湯鍛造技術の開発に着手することとした。

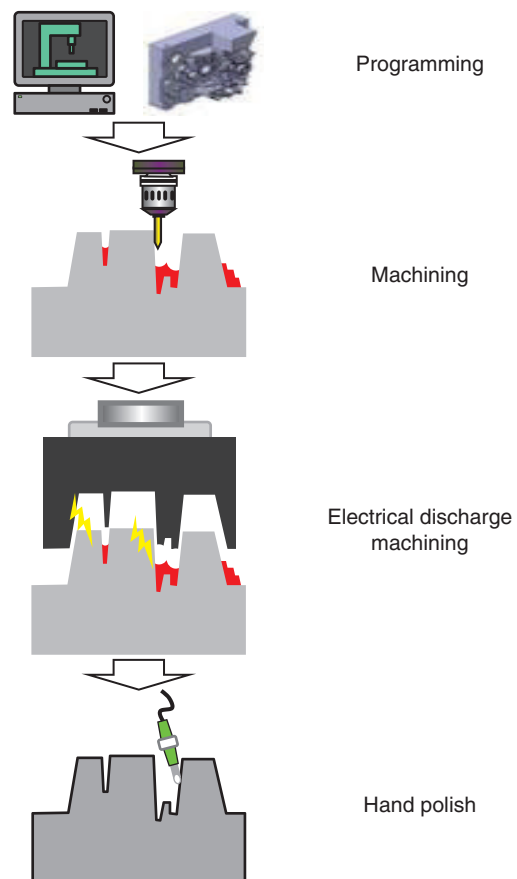


Fig. 1 Mold fabrication process

溶湯鍛造技術による金型製作プロセスを Fig. 2 に示す。まず、金型の 3D データからキャビティを反転した鍛造型を設計する。次に、CAM にて切削加工パスを作成し、マシンニングセンタによる切削加工で鍛造型を製作する。次に、鍛造型を治具にセッティングし、ヒータで加熱する。鍛造型の温度が設定温度に上昇した後、溶融した FCD を鍛造型に注湯し加圧する。その後、加圧下で凝固完了まで冷却をおこなう。凝固が完了した後に離型し、キャビティの製作完了となる。溶湯鍛造では、以下の特長を備えた型材料が必要である。

- ・ 高温環境下で強度と形状精度を維持できること
- ・ 廉価であり、入手しやすいこと
- ・ 切削加工性が良いこと

そこで筆者らは、型材料へのグラファイトの採用を検討した。グラファイトは一般的に流通しており、廉価である。加えて、不活性雰囲気中では 3000℃ の耐熱性を備え、形状精度も優れている。さらに、熱間ダイス鋼と比較し切削性が優れている。それゆえ、短期間での鍛造型の製作が可能である。しかしながら、グラファイトは鉄と比較し熱伝導率が約 3 倍高い。それゆえ溶湯が急激に冷却されるので、湯廻り不良などの転写不良が発生しやすい。この課題に対して我々は、良好な湯廻りが得られる型温度の検証をおこなった。

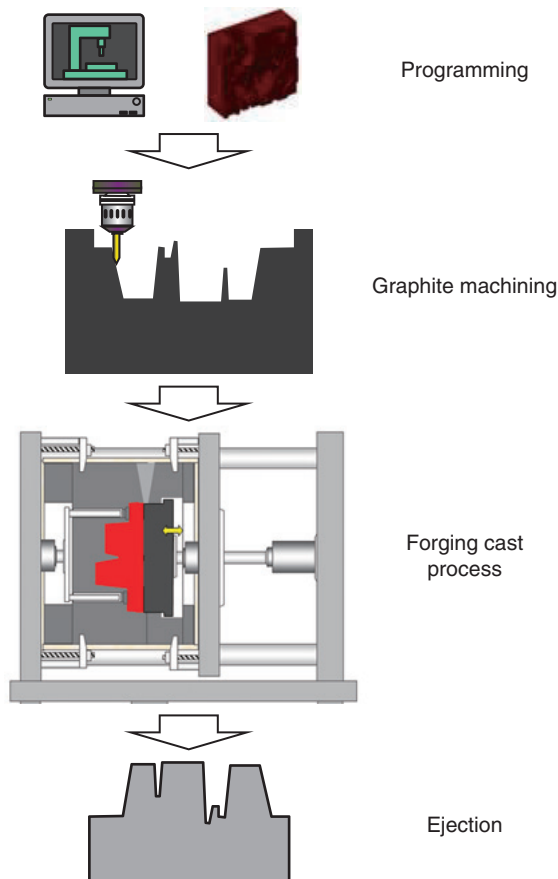


Fig. 2 Mold fabrication by forging cast process

2.3. グラファイト型温度検証

注湯された FCD はグラファイトに接触した部分から冷却され、流動性が低下する。流動性が低下した結果、未充填となり Fig. 3 に示すような湯廻り不良が表面に発生することがある。そこで、湯廻り不良の発生と型温度の相関性をテストピースの溶湯鍛造により検証した。テストピースの形状は Fig. 4 に示すように、二輪車用エンジンのクランクケースの一部とした。なおかつ、先端幅 2 mm、深さ 80 mm 以上のリブ形状を有する複雑な部位を選定した。これは HPDC にて製作される部品はリブ形状を多く含むため、製作難易度が高いことを勘案した。テストピース製作における、溶湯温度は 1400℃ とし、グラファイト型の温度は 400℃ から 50℃ ずつ、1000℃ まで上昇させた 13 型を準備した。ちなみに、型の温度は中心かつキャビティの最深部表面から 20 mm の深さの点で測定している。以上の条件にてテストピースを作製し、表面に発生した湯廻り不良の数を調べた。このとき、湯廻り不良の判定は、溶接補修の必要性有無で判断した。

検証結果を Fig. 5 に示す。型温度 600℃ 以下では、グラファイト型の温度上昇と共に、不良数は急激に減少する。さらに型温度を上昇させると、不良数はサチュレートする形でゼロに近づく。以上の結果から、我々は、良好な表面



Fig. 3 Appearance of surface defects



Fig. 4 Appearance of test piece

品質を得るためには、型の温度を 700℃ を超える領域に設定する必要があると判断した。

2.4. 溶湯鍛造技術による金型製作手法の成立性検証

FCD の凝固形態は、マッシー凝固（粥状凝固）である。マッシー凝固とは、冷却が進むと粥状になる。さらに冷却が進み、固相線温度を下まわると一気に凝固が完了するという凝固形態である。この特徴により、加圧下にある溶湯は凝固が完了するまでグラファイト型に密着し続ける。加えて、溶湯鍛造では、体積収縮時に圧力による溶湯補給がおこなわれる。これらのことから、溶湯鍛造では形状精度と内部品質の向上が見込める。以下に形状精度と内部品質の検証結果を述べる。

2.4.1. 溶湯鍛造プロセス

溶湯鍛造型の充填方案を Fig. 6 に示す。キャビティ下部より溶湯が入る、むくり上げ方案を選択した。これは湯先の散らばりによる湯玉の発生と温度低下を抑制するためで

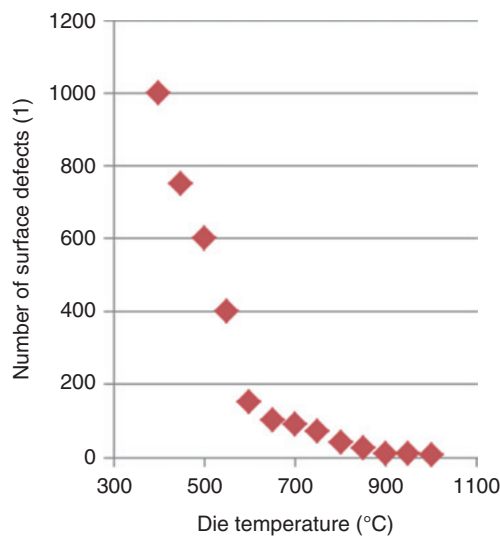


Fig. 5 Surface defects and die temperature

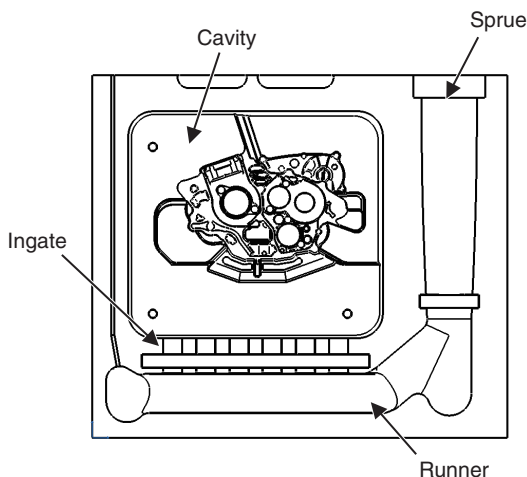


Fig. 6 Casting plan

ある。注湯時に余剰な溶湯とガスを排出するために上部にはあがりを設定している。

次に、充填から離型までのプロセスを Fig. 7 に示す。グラファイト型は三型で構成される。一つ目は金型形状を反転した固定型である。二つ目は前後に摺動する加圧用スライド型であり、充填完了後に溶湯に圧力を掛ける用途を持つ。さらに離型用に引き抜き機構を設けている。三つ目はスライド型を支える保持型である。この三型を治具内にて固定した後に型を加熱し、グラファイト型が所定の温度に達した時点で湯口より注湯を開始する。あがりから溶湯が排出されたのを確認した後、スライド型を前進させる。スライド型が堰とあがりを過ぎた時点より加圧開始となり、所定の圧力に達するまで加圧をおこなう。所定の圧力に達したところで、グラファイト型の冷却を開始する。グラ

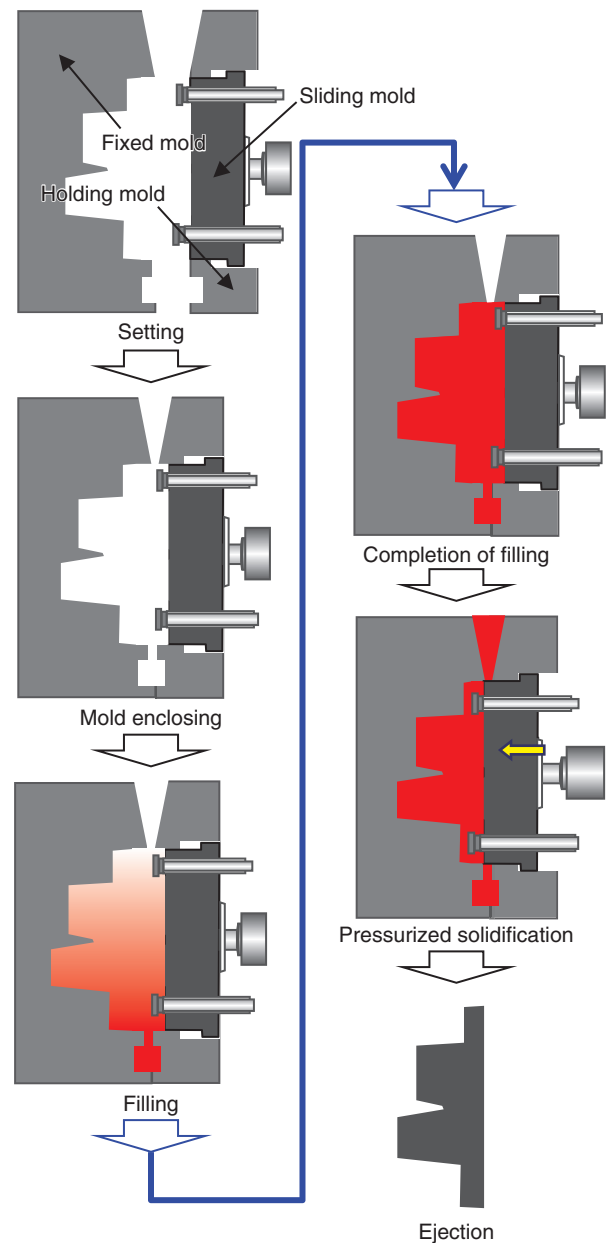


Fig. 7 Forging cast process

ファイト型が所定温度まで下がったところでスライド型を後進させる。これにより、グラファイト型から金型を離型する。

2.4.2. 形状転写精度

加圧下での凝固が転写精度に与える影響を Fig. 4 に示したテストピースにて確認した。重力鋳造法と溶湯鍛造法で製作した2種類のテストピースの形状を測定し、精度を比較した。測定には、レーザー式非接触形状測定器を用い、3D 形状データとの誤差を算出した。測定結果を Fig. 8 に示す。カラースケールのマイナス側は、形状が痩せる方向を示し、プラス側は形状が太る方向を示す。左側の図は、重力鋳造法にて製作したテストピースで、最大で約 0.5 mm の形状誤差が発生している。一方、右側の図は、溶湯鍛造法にて製作したテストピースで、ほぼすべての部位で形状誤差が±0.1 mm 以内に収まっていることがわかる。なお、溶湯鍛造法で製作したテストピースの左上部に現れている青丸部は、離型時の押しピンによる変形であり、転写精度不良ではない。

以上の結果から、加圧下で凝固させることにより凝固収縮やひずみが抑制され、高い転写精度が得られることが確認された。

2.4.3. 内部品質確認

加圧下での凝固が内部品質に与える影響を、Fig. 4 に示したテストピースにて確認した。テストピースを 10 mm 間隔で切断し、全断面に染色浸透探傷検査 (JIS-Z2343) をおこなった。Fig. 9 に検査結果の代表例を示す。左側の写真は重力鋳造法にて製作したテストピースで、鑄巣の存在が確認された。一方、右側の写真は溶湯鍛造にて製作したテ

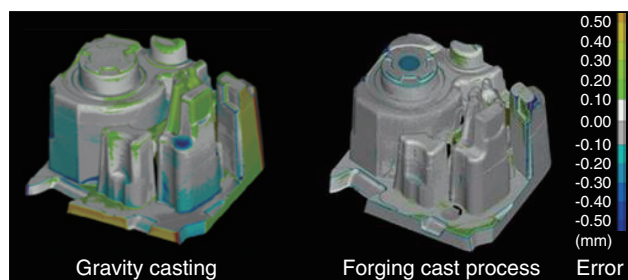


Fig. 8 Comparison of duplication accuracies

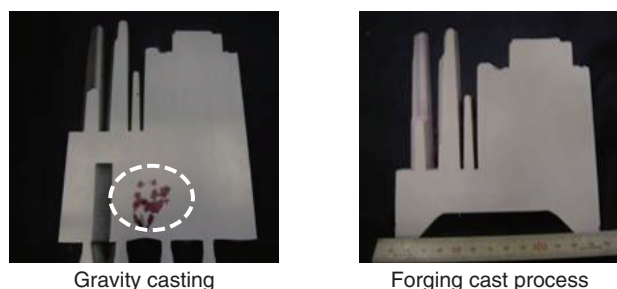


Fig. 9 Comparison of internal defects test results

ストピースで、鑄巣は存在しない。この結果より、加圧下で凝固させることにより鑄巣が抑制されていることが確認された。

3. FCD 製金型の耐久性向上

本研究は、少量生産に適した金型を対象とするため、耐久性に関する目標を以下に定めた。

- ・ 10000 ショット後に破損なきこと
- ・ ヒートチェックの発生量が外観品質の許容値内に収まること

HPDC では他の鋳造法に比べて、注湯圧力が高く、アルミニウム溶湯は高速で金型表面に接触する。加えて、鋳造製品の取り出しをおこなった後に、水溶性の離型材を金型に塗布する。これにより、加熱と冷却による熱応力が発生する。FCD は熱間ダイス鋼と比較し引張強度が低い。このため、FCD 製金型は、SKD 61 製金型に比べて早い段階でヒートチェックが発生する。ヒートチェックは製品に転写されることにより、外観品質の低下を招く。最終的にはヒートチェックの成長により金型が破損する。この課題に対し、HPDC に適した FCD の基地組織の調査と材料成分の調整をおこなった。試験方法は、以下の2種類とした。一つ目は、冷熱サイクルを近似的に発生させることによる「ヒートチェック試験」、二つ目は、実際に鋳造をおこなうことで耐久性を検証する「ダイカスト試験」をおこなった。

3.1. HPDC 用基地組織の調査と材料成分の調整

3.1.1. ヒートチェック試験による寿命予測

金型材料の基地組織の耐久性を試験する方法として、Fig. 10 に示すヒートチェック試験がある。ヒートチェック

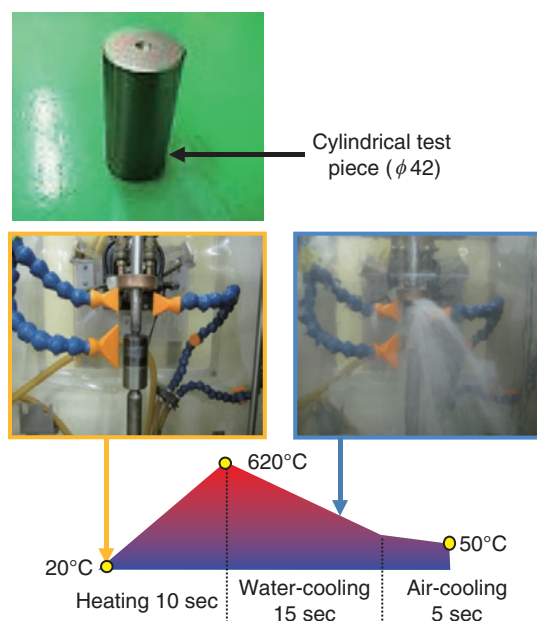


Fig. 10 Test conditions for heat check

試験は、一般的に高周波焼き入れ設備を利用しておこなわれる。試験片を高周波にて所定の温度まで上昇させた後、水冷却と空気冷却をおこなう。鋳造時の金型表面に発生する冷熱サイクルを近似的に再現させることにより、耐ヒートチェック性を評価する試験である。

ヒートチェック試験の条件を以下に示す。試験片の寸法は直径 42 mm、長さ 80 mm で、その外周と端面には、機械加工が施されている。10 秒間の加熱により表面温度を 620℃ まで上昇させ、その後、15 秒間の水冷却と 5 秒間の空気冷却により表面温度を 50℃ まで下げる。以上の工程を 1 サイクルとしている。また、今回の試験では耐久性の基準とする材料に SKD 61 を選択した。上記の試験を SKD 61 に 1000 サイクル実施した際に発生するクラックの本数と長さを基準値とした。本研究では、SKD 61 製金型の耐久性を 50000 ショットと仮定した。FCD 製金型の目標耐久性を 10000 ショットとしているので、クラックの本数と長さが、基準値と同等となる目標サイクル数は 200 サイクルに換算される。

3.1.2. 組織とヒートチェック発生の関係

ヒートチェック試験をおこなう試験片の基地組織には、以下の 7 種類を設定した。主要諸元を Table 1 に示す。図表内のフェライトとパーライトの比率は、黒鉛を除く面積比率である。また、硬度は、ブリネル硬さを HRC スケールに換算している。

試験片(1) オールフェライト組織

試験片(2) フェライトパーライト組織 (フェライトリッチ)

試験片(3) フェライトパーライト組織

試験片(4) フェライトパーライト組織 (パーライトリッチ)

試験片(5) マルテンサイト組織

Table 1 Specification of test piece

TP	Structure	Ferrite (%)	Pearlite (%)	Hardness (HRC)
(1)	Ferrite	100	0	<0
(2)	Ferrite-rich	95	5	10
(3)	Ferrite-Pearlite	40	60	22
(4)	Pearlite-rich	5	95	25
(5)	Martensite			37
(6)	Bainite			42
(7)	Cementite			51

試験片(6) ベイナイト組織

試験片(7) セメントタイト組織

試験結果を Fig. 11 に示す。この図より、以下の特徴が確認された。硬度が高いほど、前述の基準値に達するまでのサイクル数は減少する傾向にある。また、フェライトパーライト組織のように 2 種類の組織を有する試験片は、全体的に基準値に達するまでのサイクル数は多い。特に、フェライト組織が多い試験片では、目標値を超える耐久性を有している。一方、単一組織では、目標を満足するものはない。

次に、ヒートチェックの形態を金属顕微鏡により観察した。観察する試験片は、試験サイクル数が少なかった試験片(1)と(4)、試験サイクル数が多かった試験片(2)と(3)、以上の 4 種類とした。観察結果を Fig. 12 に示す。試験片(1)では、フェライト組織の内部に黒鉛を繋ぐ形で、ヒートチェックが成長していた。また、パーライト組織の試験片(4)も同様であった。一方、試験片(2)と(3)

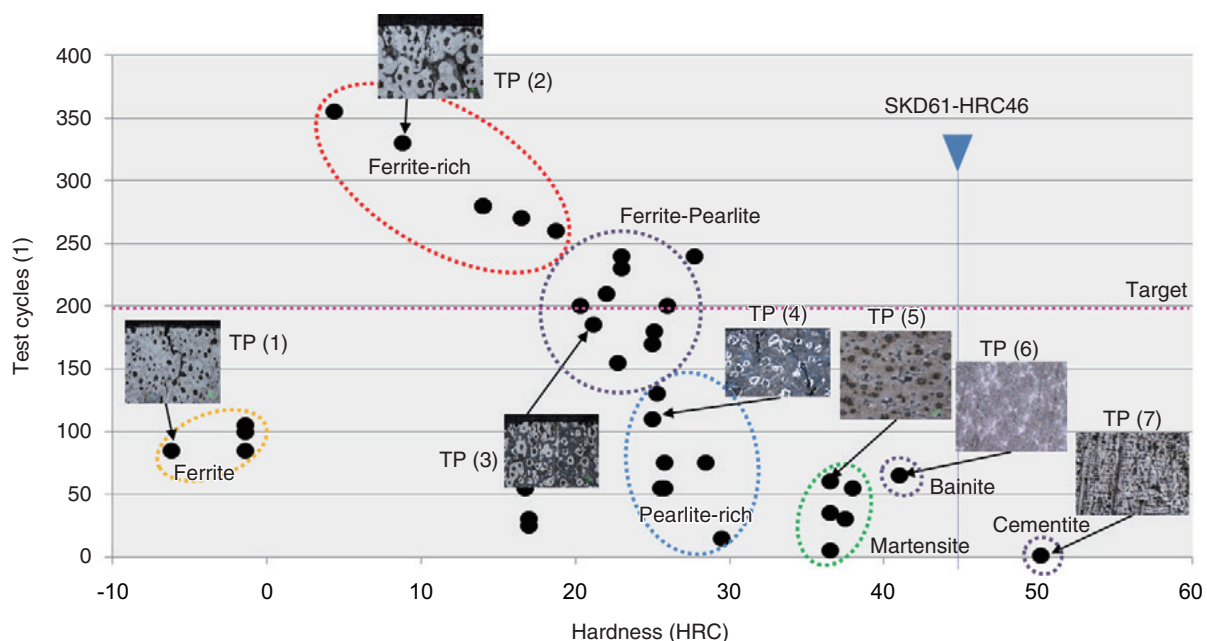


Fig. 11 Results of heat check classified by metallographic structure

では、黒鉛を繋ぐ形でヒートチェックが成長するが、部位によってはフェライト組織で発生したヒートチェックがパーライト組織との界面で停滞している。また、フェライトパーライト二相混合組織を有する FCD は靱性が高いことが知られている⁽²⁾。以上の結果から、筆者らは基体組織をフェライトとパーライトの2種類で構成することにより、ヒートチェックの成長を抑制できるのではないかと考えた。

3.1.3. 材料成分がヒートチェックへ与える影響

材料成分ではマンガン（以下、Mn）に着目した。FCD は Mn を 0.2-1.0 wt% 程度含有している。Mn は、溶湯に含まれる硫黄をその化合物（硫化マンガン）を造ることで除去するために添加される。硫化マンガンの生成に関与せず残留した Mn は、炭化物となる⁽³⁾。炭化物は脆く、硬いので割れやすい。そこで、Mn 含有量がヒートチェックの成長に与える影響を確認するため、Mn 含有量を調整した試験片を6種類製作し、ヒートチェック試験を実施した。試験片 A と B は硬さ HRC 15 ねらい、C と D は HRC 20 ねらい、E と F は HRC 25 ねらいで製作した（Table 2）。硬さの違いは、フェライトとパーライトの比率を変化させることで造られた。試験結果を Fig. 13 に示す。Mn 含有量を 0.1 wt% に減少させた試験片では、目標とする 200 サイクルを達成した。

以上の結果を基に、強度的に最も優れるサンプル B を採用した。

3.1.4. ダイカスト試験

FCD 製金型の実製造での耐久性を確認するため、型締め力 350 t の HPDC マシンにて、3000 ショットのダイカスト試験を実施した。金型とテストピースの外観写真を

Table 2 Enhanced toughness against heat check by decreased Mn content

TP	Structure	Mn (wt%)	Hardness (HRC)
A	Ferrite-rich	0.39	17
B	Ferrite-rich	0.13	15
C	Ferrite-Pearlite	0.36	22
D	Ferrite-Pearlite	0.11	20
E	Pearlite-rich	0.37	28
F	Pearlite-rich	0.12	24

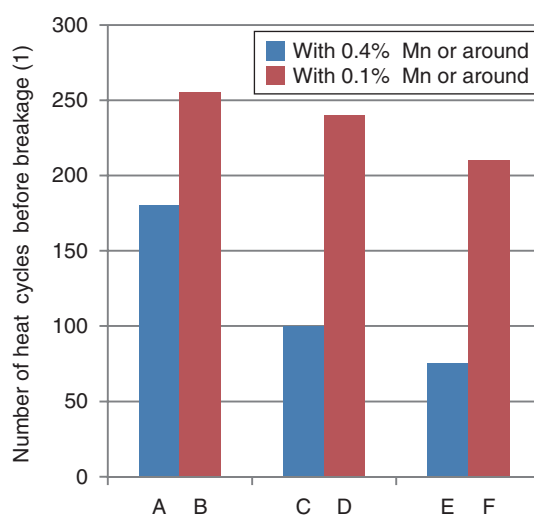


Fig. 13 Enhanced toughness against heat check by decreased Mn content

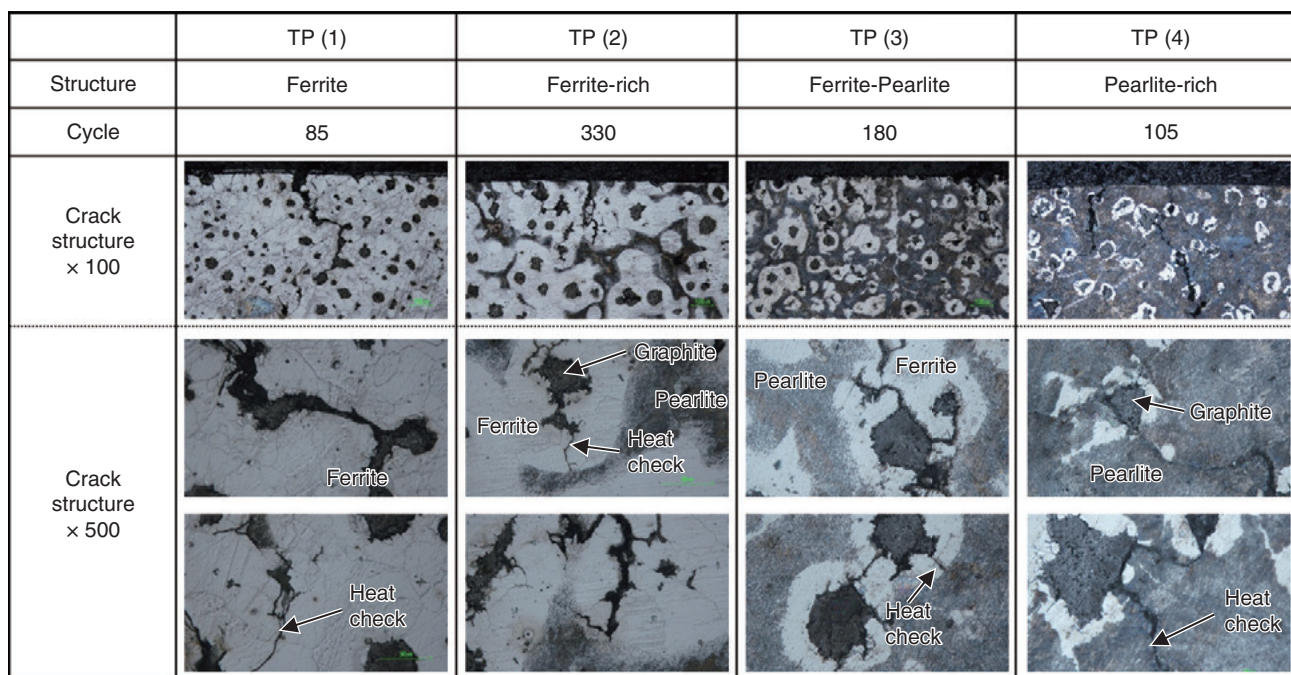


Fig. 12 Cross sections showing heat checks in micro structures

Fig. 14 に示す。なお、FCD 製金型の耐久性の検証に用いる項目は、耐久試験後の製品の形状精度の維持、外観品質、および金型の破損の有無の三つとした。

形状精度の検証方法を以下に示す。HPDC にて製作した 10 ショット目と 3000 ショット目の製品の形状を産業用 CT 装置にて測定した。Fig. 15 の左図に 10 ショット目の測定値と 3D データとの間の寸法差を示す。寸法差は ± 0.1 mm 以内であった。右図は、3000 ショット目の測定値と 10 ショット目の測定値との間の寸法差を示す。寸法差は一部を除き ± 0.1 mm 以内であった。一部の部位に -0.2 mm 以上の形状誤差が発生した原因は、金型にアルミニウムが焼き付いたことによるもので、金型の変形によるものではなかった。また、破損した部位は確認されなかった。

Fig. 16 に 3000 ショット目の製品の外観写真を示す。金型の表面に亀甲状に発生した数多くのヒートチェックが、製品に転写されているのが確認できる。これは製品外観品質上の許容レベルを超えるものであった。Fig. 17 に金型の表面に発生したヒートチェックの拡大写真、Fig. 18 にその断面写真を示す。発生したヒートチェックに白色に写るアルミニウムが浸入することにより、金型の表面が隆起しているのが確認できる。この隆起が転写されることによ

り、製品に凹みが発生し外観品質の低下を招いている。以上の結果から、形状精度の維持と金型破損に対する要求は満足されたが、金型に発生するヒートチェックの製品への転写により、外観品質は満足できなかった。そこで我々は、ヒートチェック開口部の隆起の抑制を行うこととした。

3.2. 表面改質による隆起の抑制

ダイカスト試験において、隆起が製品に転写されることにより、外観品質が許容レベルを超えた。そこで、金型表面の隆起を抑制することにより外観品質の向上させることとした。隆起を抑制する手段として、表面改質を検討した。

3.2.1. 表面隆起型のヒートチェック発生メカニズム

ヒートチェック開口部の隆起発生メカニズムを Fig. 19 に示す模式図で説明する。まず鋳造サイクル初期

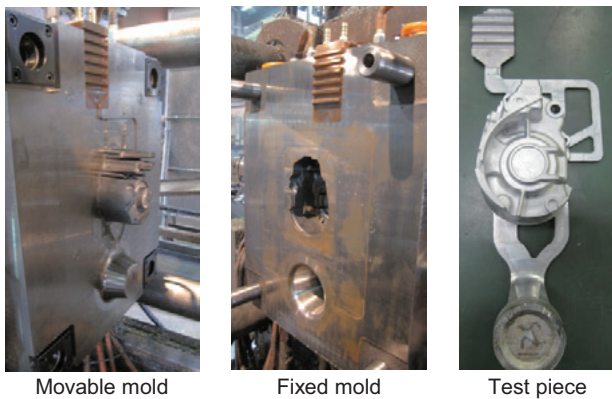


Fig. 14 Dies and test piece

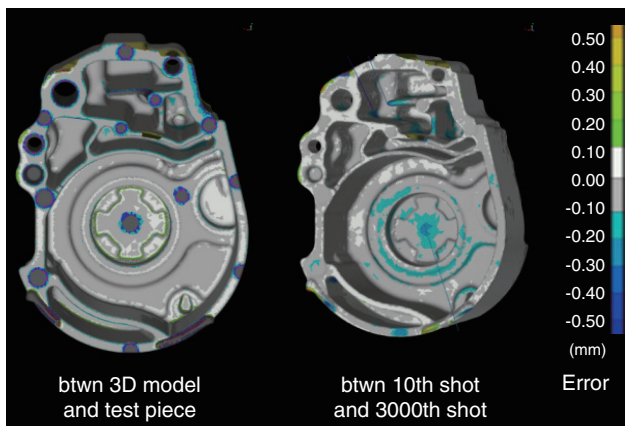


Fig. 15 Results of shape disparities checking



Fig. 16 Transferred heat checks



Fig. 17 Heat checks occurred on die surface

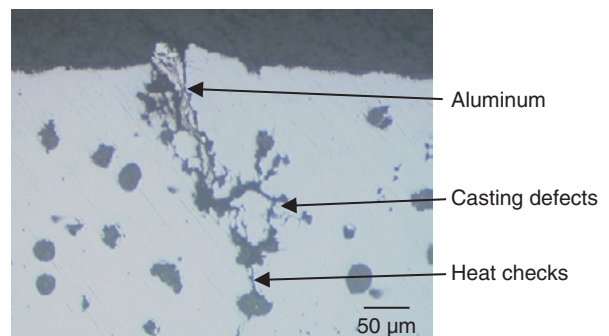


Fig. 18 Cross section at surface corrugation

は表面から黒鉛に向かって微細なヒートチェックが発生する。しかし隙間が微細であるため、アルミニウムが浸入しない。その後、鑄造サイクルを重ねてゆくにつれ、応力集中部のヒートチェックが黒鉛間を繋ぐ形で深さ方向に進展してゆく。ヒートチェックの深さが一定を超えたところで、酸化物の面脱落が発生し、開口する。そこにアルミニウム溶湯が注湯時に高压で押し込まれる。押し込まれたアルミニウムが凝固した後、金型表面が収縮する過程で、開口部周辺に塑性変形が起こり、隆起が発生すると推察される。この対策として、金型表面に高硬度な層を持たせることにより、塑性変形を抑制できるのではないかと考えた。

3.2.2. 表面改質の効果検証

一般的に、熱間ダイス鋼等で造られた金型において、耐ヒートチェック性向上のために、窒化処理が施されている⁽⁴⁾。これは、主にヒートチェックの発生を抑制することを目的としている。本研究において、筆者らは、FCD 鑄金型に発生するヒートチェック開口部の隆起現象の抑制にも窒化処理が効果的ではないかと考えた。そして、塩浴軟窒化処理を選択し、ダイカスト試験を実施した。製品外観品質は 3000 ショット目の製品にて比較をおこない、軟窒化処理の効果を検証した。Fig. 20 に外観写真を示す。前述の製品と比較し、隆起が抑制され製品に転写される凹み量が減少している。Fig. 21 に、製品に転写された凹みの測定部位、Fig. 22 にその測定結果を示す。凹みの深さは、表面粗

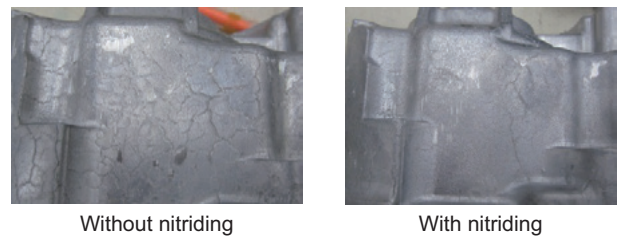


Fig. 20 Crack control effect by surface modification

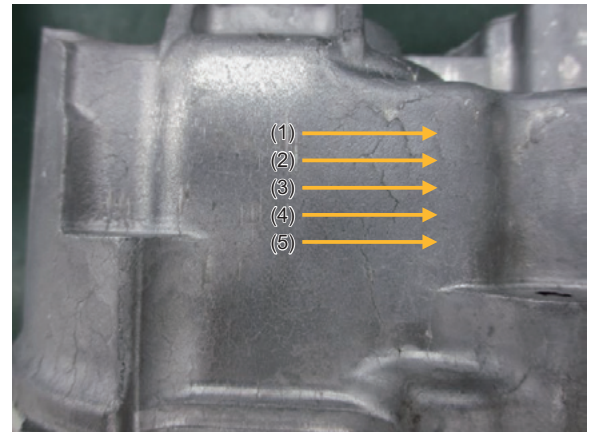


Fig. 21 Trace lines of depths measurement of transferred ditches on molded parts at corresponding locations of heat checks

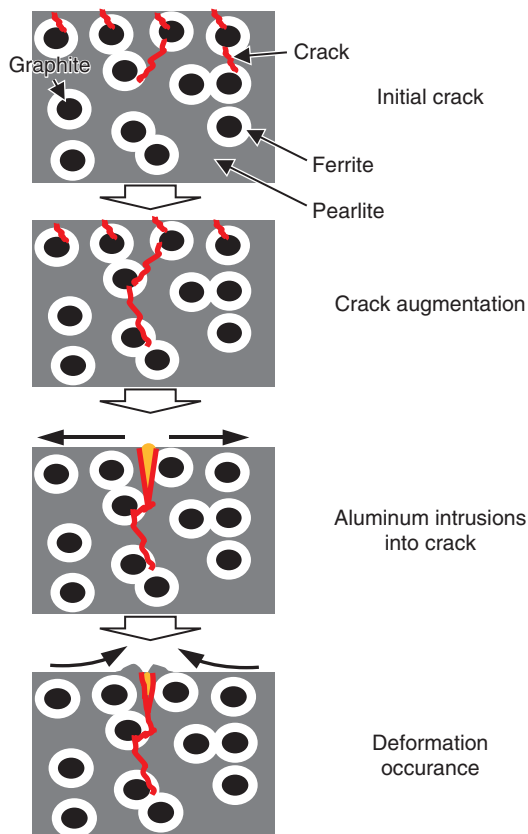


Fig. 19 Heat check generating mechanism in material structure

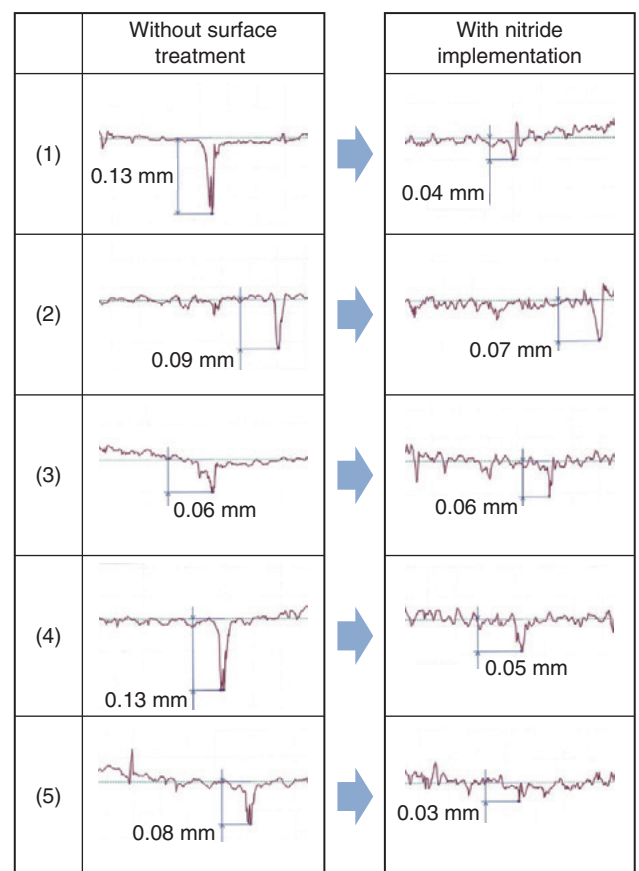


Fig. 22 Measurement results of transferred ditches depths on molded parts at corresponding locations of heat checks

さ計を用いて測定した。軟窒化処理を実施していない金型で製作した製品に転写された凹みは最大 0.13 mm であった。それに対し、軟窒化処理を施した金型の製品は最大 0.07 mm となっている。この結果は軟窒化処理によって生成された高硬度な層が隆起を抑制していると推察される。これにより、当初の目的である外観品質の向上を達成することができた。

3.3. 10000 ショットの耐久性検証

FCD 製金型の目標である 10000 ショットの耐久性を確認するため、製品形状にて実铸造による耐久試験をおこなった。製品は、単気筒エンジンのクランクケースとした。Fig. 23 にキャビティの形状を示す。铸造設備は、型締め力 500 t の HPDC マシンとし、10000 ショットの実铸造をおこなった。検証項目は、製品の形状精度の維持、外観品質、および金型の破損の有無とした。

試験は 3.1.4. に述べた方法でおこなった。但し、測定は 3000, 5000, 10000 ショットの製品に対しておこなった。形状精度を検証した結果を Fig. 24 に示す。5000 ショットまでの誤差は ± 0.1 mm 以内であった。10000 ショット目の寸法差は、一部分を除き ± 0.1 mm 以内であった。 ± 0.2 mm 以上の誤差が発生した部位は、ヒートチェックにより離型抵抗が大きくなり製品が変形したもので、金型の変形によるものではなかった。また、図表にオレンジ色や赤色で示されている誤差が 0.2 mm 以上の部位は、3D データに機械加工によって除去される形状が反映されているためである。

Fig. 25 に示す、本金型において最弱部と考えられる突起状の部位 (直径 6 mm, 長さ 12 mm) に破損はなかった。その他の部位においても金型に欠けや大割れ等は発生しなかった。

10000 ショット目の製品の外観写真を Fig. 26 に示す。一部に亀甲状のヒートチェックが転写しているものの、商品性を損なうものではなかった。この試験結果から、本研究にて製作した FCD 製金型は目標の耐久性を有していることが確認された。

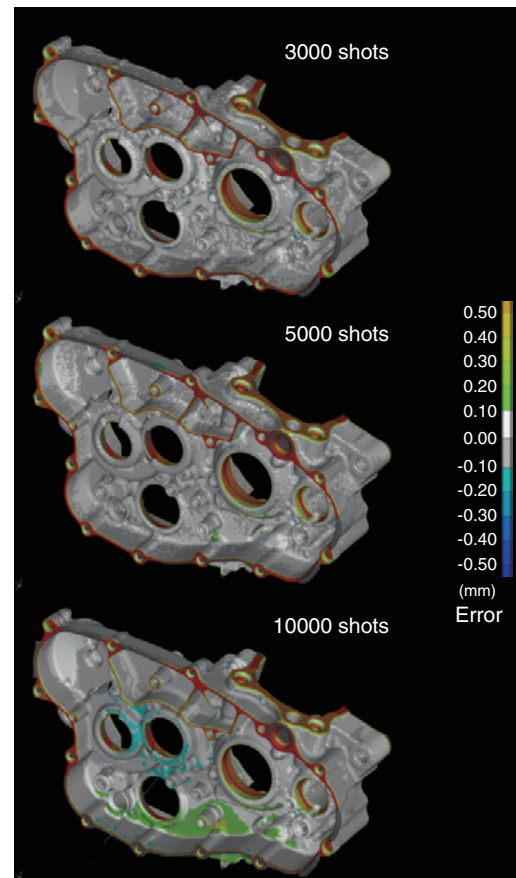


Fig. 24 Shape comparison results of whole shots

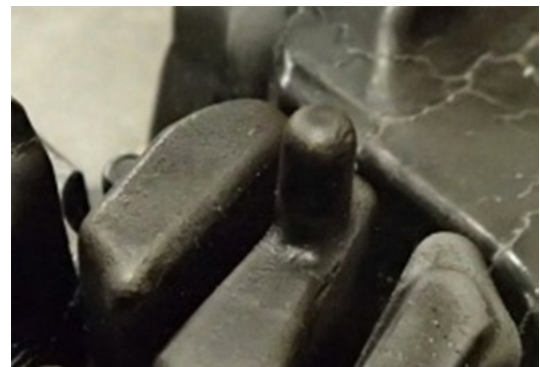


Fig. 25 Shape section after 10000 shots



Fig. 23 Appearance of cavity



Fig. 26 Raw material appearance after 10000 shots

4. まとめ

少量生産に適した HPDC 用金型の製法に関する研究をおこなった結果、形状精度、内部品質、金型寿命に関する目標を満足する製法を構築した。これにより、金型製作期間の半減が可能となった。以下に得られた知見を記す。

- (1) 鍛造型にグラファイトを採用する場合は、グラファイト型の温度を 700℃ を超える領域に昇温した後に、溶湯鍛造を実施する。これにより、キャビティの表面に不良のない、良好な品質を得ることが可能である。
- (2) グラファイト型内部へ溶湯を満充填し、加圧をおこなった後に、型の冷却凝固させる。これにより、 ± 0.1 mm 以内の形状精度と内部に鑄巣のない FCD 製キャビティを製作することが可能である。
- (3) FCD の基地組織をフェライト組織とパーライト組織とすることで、耐ヒートチェック性が向上する。フェライト組織の比率が高いほど、ヒートチェックの発生は少ない。
- (4) FCD は、Mn の含有量を減らすことで耐ヒートチェック性が向上する。
- (5) 軟窒化処理により、ヒートチェック開口部の塑性変形による隆起が抑制される。

参考文献

- (1) 安斎浩一, 青山俊三, 新山英輔, 海老沢賜寿雄, 長澤理, 金内良夫, 早野勇, 本橋俊之, 澤田哲郎, 石川勉, 浅田穰, 木下洋一, 久保木勲, 村上工成, 水野竜一, 板村正行, 菅野利猛, 菊池俊史, 西直美: 鑄鉄製ダイカスト簡易金型に関する調査研究, 日本ダイカスト協会, p.96(2009)
- (2) 王 麟, 川畑将秀: 二相混合組織を有する球状黒鉛鑄鉄材の共析変態メカニズム, 日立金属技報, Vol. 28, p.20-25(2012)
- (3) <http://www.nbk-okamoto.co.jp/DataBook/d220.htm>
- (4) 辻井信博: 金型の損傷形態と寿命向上対策, Sanyo Technical Report Vol. 7, No. 1, p.65-71(2000)

■ 著 者 ■



北村卓文



名倉宏樹