

アルミダイカスト部品の高品質・低コスト化を実現する製造技術の開発 (第5報)

水谷予志生*、関範雄*、新川真人†

Development of manufacturing technique for aluminum die-casting due to high quality and cost reduction (V)

MIZUTANI Yoshiki*, SEKI Norio* and NIKAWA Makoto†

ガス窒化とショットピーニングを複合させた表面処理を施したダイカスト金型を作製し、アルミニウムダイカスト実験を行った。この金型には、3箇所の押出ピンに歪みゲージを取り付けてあり、射出時の圧力ピークを捉えることができた。この歪み曲線から、圧力の立ち上がり時間差、最大歪み値、圧力持続時間を調べることで、金型表面処理の違いによる溶湯の流入・凝固過程への影響が明らかになった。また、得られたアルミダイカスト試験片の引張強度は、複合表面処理した金型で大きくなっていった。X線CT観察により、欠陥の大きさが小さく、量も少なくなっていたことから、強度が向上したと考えられる。歪み曲線の分析から、複合表面処理金型では、保温性が良くなったことで、湯流れと圧力伝播性が良くなった結果と考えられる。

1. はじめに

ニアネットシェイプで複雑な形状を短時間で大量に生産できるアルミニウムダイカストは、その生産性の高さから、コスト競争の厳しい自動車部品の生産にはならない。近年、100年に1度の変革期と言われる自動車業界において、厳しい排ガス規制をクリアするための軽量化策の一つとして、アルミ化は当然検討すべき策である。このため、アルミニウムダイカストの適用拡大が期待されている。しかし、素材自体のコストが鉄鋼材料に比べて格段に高いことから、製造コストの削減が喫緊の課題である。

ダイカストとは、高温の金属溶湯を金型キャビティに高速・高圧で充填させ、急速に冷却・凝固させることで製品を短時間で製造するプロセスである。ダイカストに用いられる金型は、高温の熔融金属との接触および高速高圧流体の流れによる溶損、加熱と冷却の繰り返しによる熱疲労によるヒートクラック等様々な損傷を受ける。また、近年増えてきている高延性アルミニウムダイカスト合金では、通常のダイカスト合金(ADC12)よりも溶損が激しいとされ、金型寿命がさらに短い。このように損傷を受けた金型は、定期的に取り外してメンテナンスをする必要があり、生産性低下の要因となる。製造コストの削減には、このメンテナンス頻度の低下が重要であることから、金型寿命を長くする新しい表面処理技術が望まれており、研究開発も行われている。

ダイカスト金型(SKD61)の表面処理として、様々な種類の窒化やコーティングが研究・実用化されているが、それぞれ一長一短がある²⁻¹²⁾。これまでに、金属表面に圧縮応力を付与するショットピーニングと、ガス窒化をそれぞれ、あるいは組み合わせた複合表面処理を金

型材に適用し、テストピースでの性能の評価や、アルミニウム合金溶湯との反応性を評価するための浸漬試験を行った^{13,14)}。この結果、複合処理を施した試験片において、耐摩耗性、耐溶損性の向上が確認された。本研究では、これらの複合処理を施したダイカスト金型を作製し、ダイカストテスト実験を行った。金型の表面処理による流入過程への影響や、製造されたアルミニウム成形品への影響を調査した。

2. 実験方法

図1(a)に示すようなW60×L170×t3mmの平板状成形品を铸造するダイカスト金型入子をSKD61で作製し、このキャビティ面にショットピーニング(SP)後ガス窒化(N)を行った物(以後SP-N金型と略す)と、さらにショットピーニングを追加した物(以後SP-N-SP

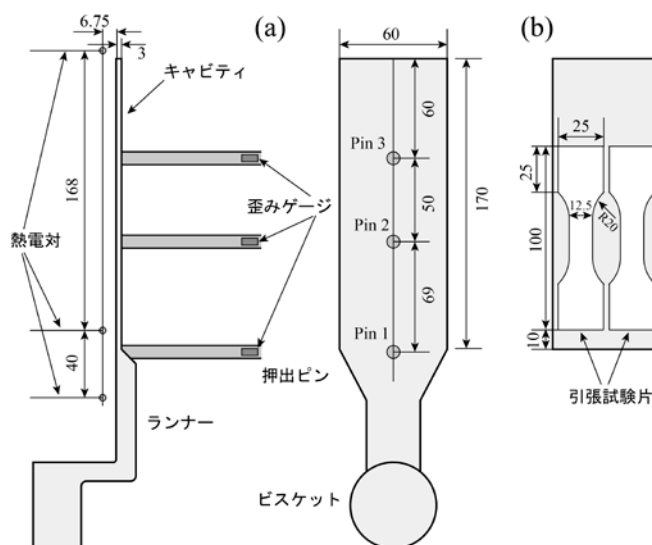


図1 (a) ダイカスト試験用キャビティ形状
(b) 引張試験片形状と採取位置

* 金属部

† 岐阜大学 工学部・機械工学科 准教授

表1 ダイカスト casting 条件

溶解温度	650℃	高速射出速度	1.0m/s
材料	ADC12	高速ストローク	20mm
製品重量	250g	低速射出速度	0.1m/s
铸造压力	50MPa	低速ストローク	190mm
ダイタイム	8s		

金型と略す)、および比較として未処理の物の3種類を用意した。これらの金型を用いて、型締力135tのダイカストマシンで表1のような条件でダイカスト実験を行った。この時、図1(a)の図面に示したように、押出ピン3本の根元に歪みゲージを貼り付け、可動型側にはキャビティ面から6.75mmの位置まで熱電対を挿入し、溶湯の流入過程を捉えるようセンシングした。また、ダイカスト時にはスリーブ温度・金型温度が定常状態になるよう10ショット程度の捨て打ちを100倍希釈の水溶性離型剤を用いて行い、実験本番では離型剤を使わず5ショット行った。得られたダイカスト成形品について、X線CT装置(東芝ITコントロールシステム(株)製、TOSCANER-32300 μ FD)によるCT観察と断面のマイクロ組織観察を行った。また、図1(b)に示したように、1成形品あたり2本の引張試験片をワイヤーカットで切り出し、万能材料試験機により引張強度を測定した。

3. 結果及び考察

図2に、ダイカスト実験時に3箇所の押出ピン根元の歪みゲージから得られた歪み曲線を示す。3種類の金型に対して、本番5ショット中の1ショット分の変化をそれぞれ示している。歪み曲線がきれいに取れたものもあれば、ノイズ等で曲線が乱れているものもあるが、図中矢印で示した射出のタイミングで、いずれの曲線でもひずみが瞬間的に増加しているのが計測できた。また、いずれの金型でも、ゲートが一番近いPin1の曲線は、射出時の歪み増加後、比較的緩やかに元に戻っているのに対し、Pin2、Pin3とゲートから遠くなるにつれ、短時間で元に戻っていた。また、この射出時のピークを拡大すると、各ピン位置でのピークの立ち上がり時間がずれていることが分かった。図3に、未処理の金型で得られた射出時のピークを例として示す。これを見ると、ゲートから一番遠いPin3が一番早く立ち上がり、次いで中間のPin2、最後にPin1の歪みが増加している。押出ピンが歪むのは、溶湯が充満し、射出圧が十分加わるようになったためと考えられる。ダイカストでは、ゲートから遠い方から充填されるため、Pin3から順番に圧力が加わった結果であると考えられる。各ピン位置でのピークの立ち上がりの時間差を、図3に示したように、Pin3とPin2の差を t_1 、Pin2とPin1の差を t_2 とし、3種類の金型に対してまとめたグラフを図4に示す。未処理の金型が t_1 、 t_2 とも時間が長く、SP-N金型、SP-N-SP金型

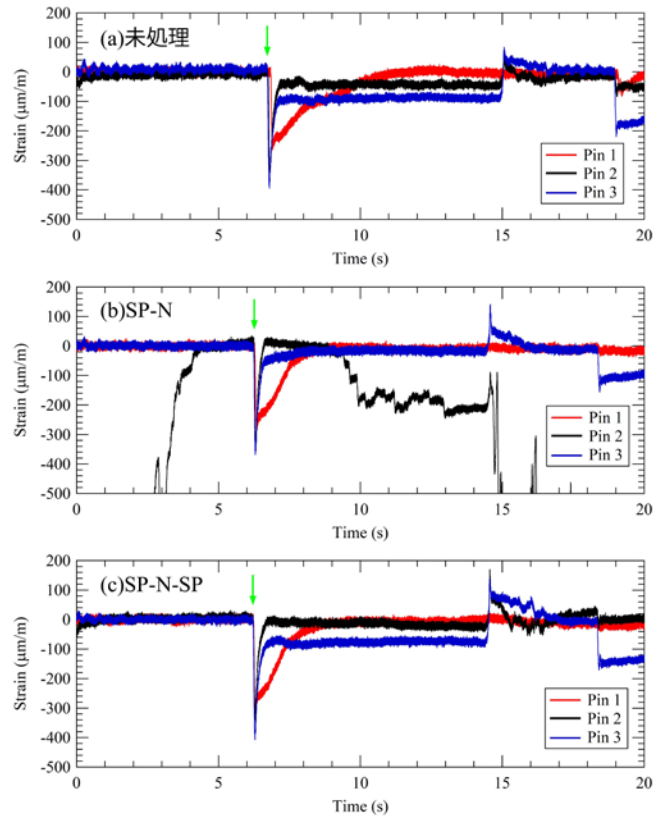


図2 押出ピン根元の歪みゲージによる歪み曲線

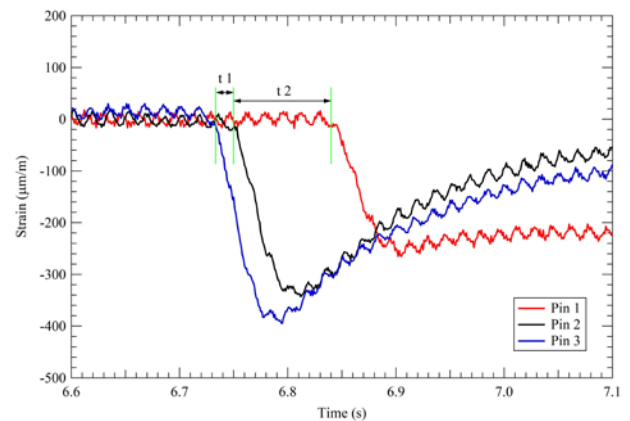


図3 射出時の歪みピークの立ち上がり時間差例

と順に短くなった。この結果より、未処理の金型に比べ、複合表面処理を施すことで湯流れ性が上がっていることが分かった。

次に、各ピン位置での射出時の最大歪み値について比較した結果を図5に示す。ゲートから遠いPin2、Pin3では、3種類の金型での違いはほとんどないが、Pin1では未処理の金型の歪みが小さくなっており、圧力伝播性が悪いことが分かった。また、歪みピークの幅が、圧力が加わっている時間を示すことから、圧力持続時間として図6に示した。このグラフを見ると、複合表面処理を施した金型では、特にゲートから一番遠いPin3で持

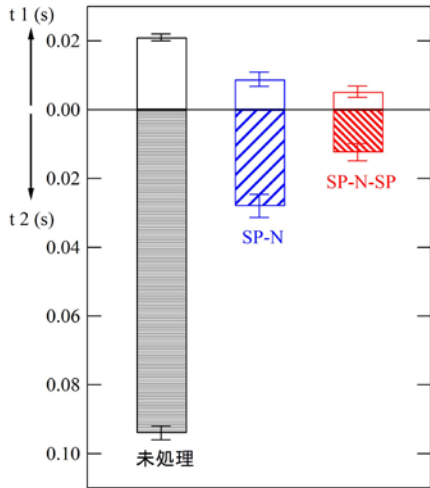


図4 歪みピークの立ち上がり時間差比較

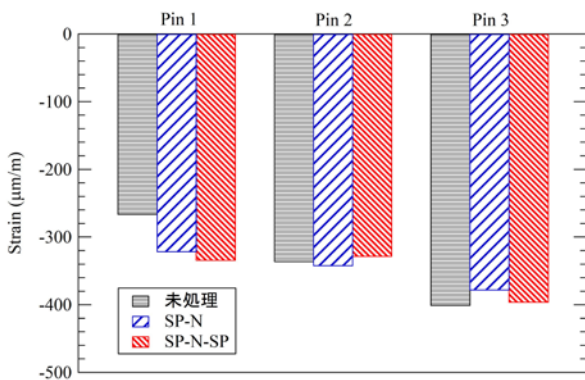


図5 最大歪み値

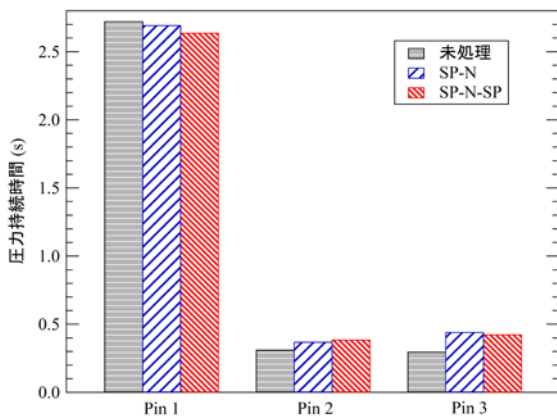


図6 圧力持続時間

続時間が長くなった。逆に、ゲート側のPin 1では、表面処理を施した金型の方が若干短くなっていた。充填されたアルミ溶湯が凝固するとプランジャーからの圧力が伝わらなくなるため、表面処理金型では先端側のPin 3で凝固が遅れることで圧力の伝播・持続が良くなったと考えられる。ショットピーニングで表面が粗らされたことにより、金型と溶湯の接触面積が減ることで熱抵抗が大きくなること、ガス窒化による熱伝導率への影響がそ

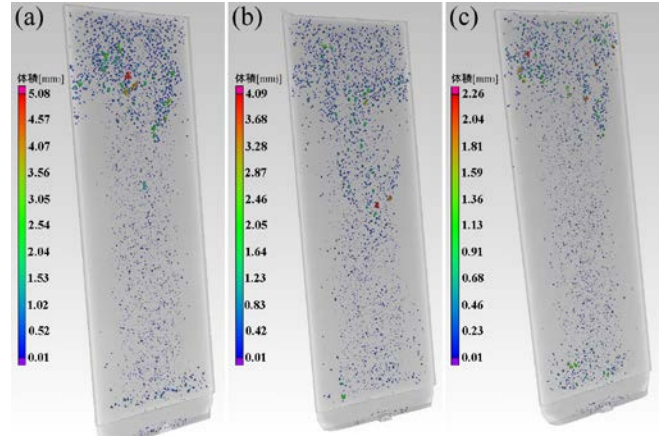


図7 X線CT観察による欠陥検出結果

(a) 未処理金型、(b) SP-N 金型、(c) SP-N-SP 金型

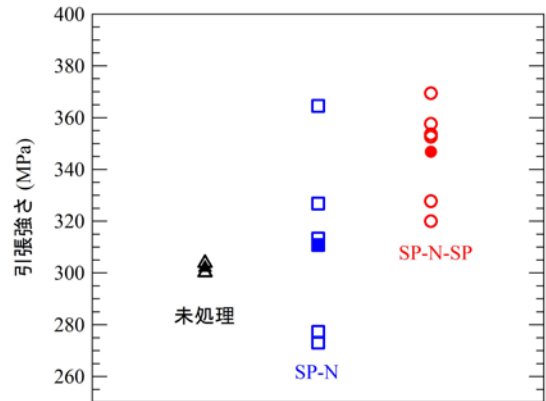


図8 ダイカスト試験片の引張強度
(塗りつぶし記号は平均値)

の原因と考えられる。保温性が良くなり湯流れ性が良くなったことから、より高温の溶湯がキャビティを充填することになり、凝固に時間がかかる（遅れる）ようになった結果、圧力伝播性が良くなったと考えられる。

得られたアルミダイカスト成形品について、X線CT観察を行い、欠陥解析を行った結果を図7に示す。いずれの図も下側がゲート側となっており、上側のベント側に大きな欠陥（鑄巣）が集まっていた。また、ゲート付近にも若干欠陥が集まっており、中間部分では中央に細かい欠陥が集まっていた。この結果より、図1 (b)のようにゲート側から引張試験片を2本切り出し、引張試験を行った。結果を図8に示す。未処理の金型では、検体数が少ないがADC12の標準的な強度である310MPaに近い値となった。SP-N金型では、検体によるバラツキが大きいが、未処理金型よりも平均の最大強度が大きくなった。さらにSP-N-SP金型では、バラツキが小さくなった上、全ての検体で未処理金型の値を上回った。これらの試験片のゲート近傍のマイクロ組織を図9に示す。いずれも試料板厚の中心付近で観察したものである。これを見ると、初晶αデンドライトの大きさや間隔、そ

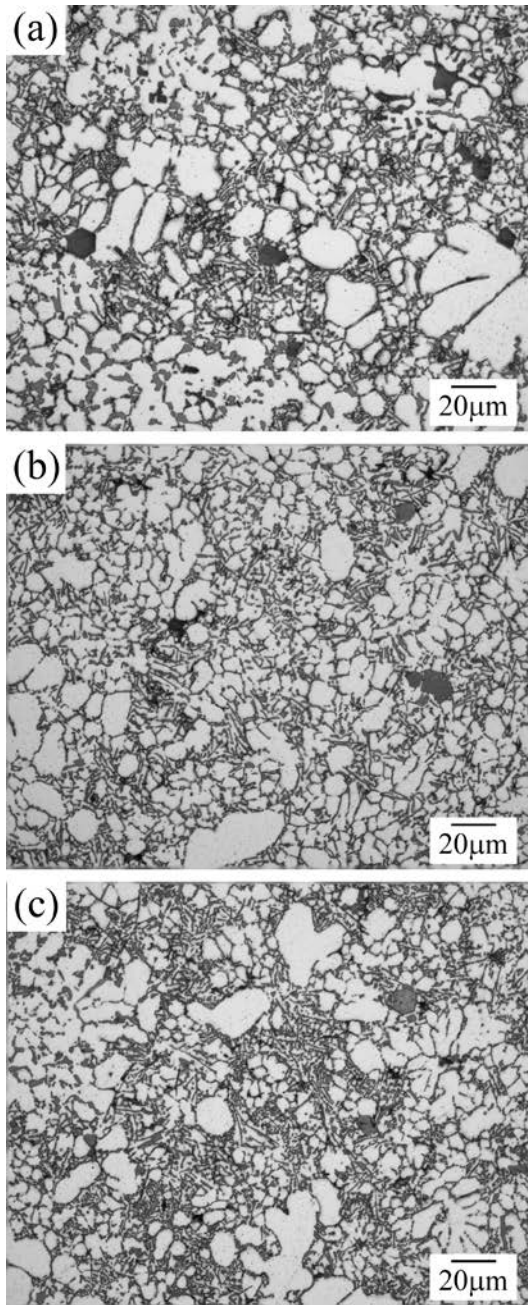


図9 ダイカスト試験片のマイクロ組織

(a) 未処理金型、(b) SP-N 金型、(c) SP-N-SP 金型

の間の Al-Si 共晶組織の大きさに大きな違いはなかった。図8の引張強度に差が出たのは、図7の欠陥の大きさ・量によるものと考えられる。図7では、欠陥の大きさを示すカラーバーのスケールも異なっており、(a)の未処理が最も大きく、次いで (b)、(c)の順となっている。表面処理金型では、図6の圧力持続時間が均等化されたことで、図5のように Pin 1 でもしっかり圧力が加わっており、欠陥が減少する(潰す)結果に繋がったものと考えられる。

4. まとめ

ガス窒化とショットピーニングを複合させた表面処理を施したダイカスト金型を作製し、アルミニウムダイカスト実験を行った。その際、3箇所の押出ピンに取り付けた歪みゲージにより得られた歪み曲線を分析することで、溶湯の流入・凝固過程への影響を調査した。さらに、得られたダイカスト成形体の調査も行い、以下のようなことが明らかになった。

- ・押出ピンの根元に歪みゲージを取り付けてダイカストすることで、射出時の歪みピークを検出することができた。また、ピン位置によるピークの立ち上がりの時間差、圧力持続時間を検出することもできた。

- ・複合表面処理金型では、ピークの立ち上がりの時間差が小さいことから、湯流れ性が良くなっていることが分かった。また、ベント側の圧力持続時間が長くなり、先端部での凝固が遅れていることが分かった。これは、複合表面処理金型では保温性が良くなり、より高温の溶湯が充満したためと考えられる。この結果、圧力伝播性が良くなったと考えられる。

- ・得られたアルミダイカスト成形体の引張強度は、複合表面処理した金型で大きくなっていましたが、マイクロ組織には大きな違いはなかった。X線CT観察により、欠陥の大きさが小さく、量も少なくなっていたことから、強度が向上したと考えられる。圧力伝播性が良くなったことで、欠陥を潰す効果が大きくなったと考えられる。

- ・今回の複合表面処理では、特に SP-N-SP 処理の方が良い結果となっており、金型の耐久性を向上させるだけでなく、得られるアルミダイカストの品質も向上させる可能性がある。

【参考文献】

- 1) 千葉, 素形材 Vol.56 No.7, pp31-35, 2015
- 2) 藤木, 表面技術 Vol.52 No.8, pp535-539, 2001
- 3) 北川ら, 電気製鋼 Vol.78 No.4, pp341-346, 2007
- 4) 西, 精密工学会誌 Vol.77 No.7, pp648-651, 2011
- 5) 川久保, 電気製鋼 Vol.49 No.1, pp50-56, 1978
- 6) 西村, 精密機械 Vol.46 No.10, pp37-43, 1980
- 7) 佐野ら, 電気加工学会誌 Vol.31 No.68, pp1-10, 1997
- 8) 日原, 電気加工学会誌 Vol.35 No.78, pp1-11, 2001
- 9) 八代, 塑性と加工 Vol.50 No.582, pp605-609, 2009
- 10) 加藤ら, 表面技術 Vol.52 No.8, pp544-547, 2001
- 11) 石塚ら, 日本ダイカスト会議論文集, pp1-6, 2016
- 12) 河田ら, 日本ダイカスト会議論文集, pp7-12, 2016
- 13) 水谷ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No.6, pp19-22, 2017
- 14) 水谷ら, 岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.1, pp13-16, 2020