圧縮荷重負荷によるダイカスト内空洞欠陥制御

半谷 禎彦¹ 北原総一郎² 天田 重庚¹

¹群馬大学工学部機械システム工学科

²グンダイ株式会社

J. Japan Inst. Metals, Vol. 69, No. 8 (2005), pp. 723-726

© 2005 The Japan Institute of Metals

Pore Defect Control in Die Casting by Compression Loading

Yoshihiko Hangai¹, Soichiro Kitahara² and Shigeyasu Amada¹

¹Department of Mechanical System Engineering, Faculty of Engineering, Gunma University, Kiryuu 376-8515

²Gundai Co., Ltd., Iseaki 372-0854

Although die casting enables high productivity, pore defects in the die castings are unavoidable. These pore defects influence the mechanical properties or air leakage efficiency of the products. To reduce the number of pore defects, we performed compression tests on front housings of car air conditioners made by aluminum alloy die casting (ADC12) at room temperature. Because of plastic deformation, the porosity of the die castings becomes lower as the compression strain of the specimen becomes higher, particularly in the middle area of the specimen where the porosity is high. However, the efficiency of the reduction of the porosity and damage of the products differs depending on the condition of compression load. Consequently, it is necessary to investigate the condition of the compression load in order to render this method applicable in practice.

(Received April 25, 2005; Accepted June 23, 2005)

Keywords: die casting, aluminum alloy, pore defect, compression load, plastic deformation

1. 緒 言

アルミニウム合金ダイカストは高生産性を有し、近年の環境対策による軽量化の動きとあいまって、自動車のキャブレターやシリンダヘッドカバーなどを始めとして用途が拡大してきている。しかし、高速射出のために、溶湯の乱れによる金型内の空気巻き込みや、離型剤が高温の溶湯金属と反応してガス化し製品内に含有されるなど、空洞欠陥の発生は不可避であり、それらが気密漏れや機械的性質の低下の原因となる。耐圧性が必要とされる製品では、耐圧性向上のため、これらの空洞欠陥に有機溶剤を含浸して埋めているのが現状である¹⁾が、時間面、コスト面で生産効率が悪く、更に有機溶剤の使用は環境面でも問題となる。また、高真空ダイカストなどの新ダイカスト法は、空洞欠陥の少ない製品が生産可能であるが、機構が複雑であるため維持面で問題となる。

一方、鍛造による圧縮荷重には、空洞を消滅させるなどの効果を有することが知られている²⁾。

そこで本研究では、有機溶剤の含浸工程に代わり、気密漏れが発生する個所に重点的に圧縮荷重を負荷することにより空洞欠陥の低減化を図り、製品の品質向上を目的とする。このような研究は過去に、熱間荷重負荷による ADC12 の圧縮率と機械的性質の関係が調べられている^{3,4)}。しかし、実際の製品への応用を考慮した場合、①一般に鍛造性が低いと言われている鋳造用合金において、常温で本研究の目的とする程度の塑性変形が可能であるか、②限られた領域のみの圧縮

荷重負荷しか与えられないような複雑な形状において空洞欠陥低減化の効果があるか、などの検討が更に必要となる。

このような圧縮荷重負荷の工程を導入することは生産性の面では不利のようであるが、プレス加工は有機溶剤の含浸工程に比べて格段に短時間で済み、環境面でも優れている。また、実際の製品に圧縮荷重を負荷した場合、塑性変形により膨れなど若干の形状変化が生じるが、一般のダイカスト製品で行われる後加工の際に処理できる程度であり、生産性にはほとんど影響しない。

本研究では、実際にカーエアコン用のコンプレッサーのハウジングとして用いられているアルミニウムダイカスト製品を対象とする。漏れの直接的な原因となる空洞欠陥量を、空洞率(ある断面の断面積に占める空洞面積の割合)によって表し、圧縮荷重負荷による空洞欠陥の低減化効果について定量的な評価を行い、その有効性の検討を行う。

2. 実験方法

2.1 実験対象および荷重負荷方法

実験対象として、実際に製品として用いられているカーエアコンコンプレッサー用フロントハウジングを試験片として用いた。その試験片の横断面概略図を Fig. 1 に示す。上から見ると、ほぼ円形状である。用いられているアルミニウム合金は、アルミニウムダイカスト製品で多用されている ADC12 である。

Fig. 1 の点線で囲った A 部が、後加工で切削加工を行う

Fig. 1 Schematic illustration of cross section of specimen. Arrows ①~③ show the applied load. Compression load is estimated by compression strain of height h .

Fig. 2 Schematic illustration of experiment.

ため内部の空洞欠陥が露出し、気密漏れが多く発生する領域である。この領域の空洞率低減化のために圧縮荷重を負荷するが、荷重負荷方法の違いを観察するために、Fig. 1の矢印①と②のみ圧縮荷重を負荷した場合(以後、“2ヶ所押し”と呼ぶ)と、矢印①~③のように圧縮荷重を負荷した場合(以後、“3ヶ所押し”と呼ぶ)の2通りの実験を行った。圧縮荷重負荷の方法は、Fig. 2に示すようなジグを用いて、プレス機により行った。Fig. 2は3ヶ所押しの場合である。2ヶ所押しの場合も同様のジグを用いて、荷重①、②のみに圧縮荷重が負荷されるように行った。また、塑性変形しやすいようにFig. 2の矢印で示される部分はジグと製品の間隙を設けた。実験に際しては、プレス機の出力を何段階かに変化させ、圧縮荷重を変化させた。実験は全て常温で行った。

2.2 空洞率測定方法

Fig. 3にFig. 1のA部拡大図を示す。空洞率の測定は、領域Ⅰ~領域Ⅲについて行った。一部、面取りや溝があり、また、ジグと製品間に塑性変形しやすいように隙間を設けてあることから、試験片全体に荷重を負荷することはできない。そのため、Fig. 3に示すように、平面部のみに荷重負荷を行っており、領域Ⅰや領域Ⅱのように、荷重が直接負荷される部分と、領域Ⅲのように直接負荷されない部分があり、空洞の低減効果は異なるものと思われる。測定範囲の寸法を

Fig. 3 Enlarged schematic illustration of part A of Fig. 1. I~III show the areas where the observation of pore defects is carried out. Sizes of the areas are $a_1=2$ mm, $a_2=5$ mm~6 mm, $a_3=2$ mm, $a_4=2$ mm~3 mm, $a_5=1$ mm.

Fig. 3に併せて示す。 a_1, a_3 は2 mmとした。他の個所は、圧縮荷重負荷により塑性変形しているため試験片によって異なるが、 a_2 は約5~6 mm、 a_4 は約2~3 mm、 a_5 は約1 mmである。

空洞率算出には、まず、試験片のA部断面を表面研磨の後、顕微鏡写真で画像を取り込み、画像処理を施すことで二値化を行った。その際、適切な閾値を設けることで、空洞を黒、母材を白と分離することが可能であった。次に、画像全体のピクセル数に対する黒のピクセル数の割合を計算し、その割合を空洞率とした。

圧縮荷重の評価として、圧縮率(圧縮ひずみ ε)を用いた。ここで、圧縮率は実験後のFig. 1の h に対するひずみ量とした。

実験は1つの出力段階(プレス機を使用したため、出力の制御のみ可能)で試験片3個ずつ(一部、塑性変形が大きすぎてジグから取り出せなくなるなどの実験上の都合により2個の場合もある。)を行い、全て試験片の同一部を観察した。また、1領域につき4点計測を行った。空洞率は12点(試験片3個×1領域4点)の平均値、圧縮率は試験片3個の平均値を採用した。

なお、荷重①下についても空洞率の測定を行ったが、表面近傍の空洞率の低い領域であり、領域Ⅰにおける結果と有意な差は観察されなかったことから、煩雑さを避けるために後に示す結果からは省いた。

3. 実験結果

3.1 2ヶ所押しの場合

Fig. 4には2ヶ所押しの場合の圧縮率と空洞率の関係を示す。まず、実験前の試験片(圧縮荷重負荷のない $\varepsilon=0\%$)では、試験片表面部の領域Ⅰでは空洞率が低く、試験片内部の領域Ⅱでは空洞率が高い。これは铸造の際表面部は金型により急冷され、他の部分に比べて早い段階で凝固が起こり、ガ

Fig. 4 Relationship between compression rate and porosity (two points compression load).

Fig. 5 Crack propagation of area B.

スなどの空洞欠陥は、凝固の遅い内部に移るためである。

次に、圧縮率と空洞率の関係をみると、多少のばらつきはあるものの(ダイカスト製品自体に空洞率のばらつきがあるため)、領域Ⅰ、Ⅱにおいて圧縮率の増加とともに空洞率の減少傾向が見られる。特に、試験片内部の領域Ⅱでは減少率が大きく、本実験のような圧縮荷重方法では、空洞が多い試験片内部領域の空洞低減化に効果的であることが分かる。これは、表面ではジグにより塑性流動が拘束されるが、内部になるほど拘束が弱くなり塑性流動が大きくなることによるものである。実際のダイカスト製品では、鋳造後、所定の形状に切削加工されることも少なくなく、表層部が削られ、空洞の多い内部領域が露出し、気密漏れなどの原因になることが多々ある。そのため、試験片内部領域の空洞欠陥を低減化することが製品の高品質化、高生産性につながる。領域Ⅲは、荷重負荷部からずれているが、若干空洞欠陥の低減化が図られているようである。

なお、2ヶ所押しの場合、Fig. 3のB部において、Fig. 5の矢印に示すようなき裂が発生した。これはB部において、荷重②のみが負荷され、せん断応力が大きくなったため

Fig. 6 Relationship between compression rate and porosity (three points compression load).

と思われる。

3.2 3ヶ所押しの場合

前節2ヶ所押しの場合、製品にき裂発生が認められた。そこで、Fig. 3のB部でのせん断応力を緩和し、き裂の発生を防ぐために、荷重③を加え、荷重①～③を同時に押す3ヶ所押しを試みた。Fig. 6に3ヶ所押しの場合の圧縮率と空洞率の関係を示す。併せて、Fig. 7に領域Ⅱの圧縮前と圧縮後($\epsilon=10.1\%$)の顕微鏡写真例を示す。

まず、どの領域においても、圧縮率の増加とともに空洞率の減少傾向が見られる。特に試験片内部の領域Ⅱでは、前節同様、減少率が大きく、効果的に空洞率の低減化がなされていることが分かる。このことは、顕微鏡写真例でも見られ、圧縮後は圧縮前に比べ大きい空洞が減少していることが分かる。また、領域Ⅲでは、領域Ⅱに比べると減少率が低いが、周囲からの塑性流動のため、空洞率の低減化が若干図られている。塑性流動をうまく制御することで、直接圧縮荷重を負荷しなくても、空洞率の低減化をある程度実現できることが分かる。次に領域Ⅰについて詳細にみるために、Fig. 6の縦軸の0.0～0.6%付近を拡大した圧縮率と空洞率の関係をFig. 8に示す。空洞率の低い領域Ⅰについても、荷重負荷により空洞率の減少が見られる。

3ヶ所押しでは、応力集中の起きやすいB部のせん断応力の発生を緩和しき裂の発生を防ぎながら、空洞の低減化効果が図られている。すなわち、本研究の手法では、荷重負荷方法の検討を十分に行うことにより、製品への損傷を最小限に、効率的な空洞率の低減化が図られることが分かる。

4. 結 言

本研究では、アルミニウム合金ダイカスト製品に、常温で圧縮荷重を負荷することにより、製品に内在する空洞欠陥の低減化を試みた。以下、得られた結果を示す。

(a) Before compression.

(b) After compression ($\epsilon = 10.1\%$).

Fig. 7 Micrograph image of area II (three points compression load).

(1) ダイカスト用アルミニウム合金は、鍛造性にはあまり優れておらず変形能は低い、本研究程度のひずみ量で十分塑性変形可能であり、圧縮荷重を負荷することにより空洞欠陥の低減化が図られ、その有効性が確認された。

(2) 圧縮荷重負荷による圧縮率の増加に伴い、空洞率が低

Fig. 8 Relationship between compression rate and porosity (area I, three points compression load).

くなっていた。ただし、荷重負荷条件により、同じ空洞低減化が図られても製品への損傷が発生する場合がある。発生する内部応力の発生を極力最低限に抑える、最適な荷重条件の検討が必要である。

(3) 空洞欠陥の低減化を図りたい部分への直接的な圧縮荷重負荷が効果的であるが、塑性流動により他の部分の空洞欠陥の低減化もある程度図られる。すなわち、塑性流動をうまくコントロールすることで、実際の複雑な形状をした製品への応用も可能となる。

終わりに本研究の遂行に当たり、実験に協力して頂いた群馬大学大学院生の吉田俊介君と、群馬大学学部生の登山 隆君(現 サンデン株式会社)に感謝いたします。

文 献

- 1) T. Kanno: *An Introduction to die casting technology*, (Nikkan-kogyo-sinbunsha, Tokyo, 1997) pp. 245-247.
- 2) S. Nagata and J. Yanagimoto: *Fundamentals in Metal Forming*, (Coronasha, Tokyo, 1997) pp. 89-90.
- 3) M. Motomura, H. Ono, T. Mishima, H. Miyaji and K. Tada: Abstracts of the Meeting of the JILM **76**(1989) p. 195.
- 4) M. Motomura, H. Ono, T. Mishima, H. Miyaji and S. Fukai: Abstracts of the Meeting of the JILM **78**(1990) p. 59.