

[22052]

## 粗大集合組織を持つアルミニウム鋳造合金の中性子応力測定 Neutron Stress Measurement of Aluminum Casting Alloy with Coarse Texture

西田真之 <sup>#A)</sup>, 松英達也 <sup>B)</sup>, 菖蒲敬久 <sup>C)</sup>, 栗田圭輔 <sup>C)</sup>, 諸岡聡 <sup>C)</sup>, 徐平光 <sup>C)</sup>  
Masayuki Nishida <sup>#A)</sup>, Tatsuya Matsue <sup>B)</sup>,  
Takahisa Shobu <sup>C)</sup>, Keisuke Kurita <sup>C)</sup>, Satoshi Morooka <sup>C)</sup> and Ping Guang XU <sup>C)</sup>  
<sup>A)</sup> Kobe City College of Technology  
<sup>B)</sup> National Institute of Technology, Niihama College  
<sup>C)</sup> Materials Sciences Research Center, Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

### Abstract

The target of this study is to estimate internal stresses in aluminum casting alloys. In usually, casting materials generate large thermal residual stresses during casting cooling. Neutron stress measurement method is useful for evaluating these thermal residual stresses. Especially, it is often difficult to perform the neutron stress measurement in cast aluminum alloys due to the existence of coarse crystal grains and textures. Many cases where no diffraction peak appears have been reported. In this study, scanning method of the neutron measurement is used for the confirmation of the direction where diffraction peaks appear. Furthermore, voids are also generated inside the cast materials during casting processes. The existence of vacancies affects the material strength and the fatigue strength. Therefore, TNRF was used to confirm defects inside the material. In 2022, the neutron stress measurement could not be performed due to equipment maintenance. In this report, only measurement results of TNRF is explained.

**Keyword:** aluminum casting alloy, large crystal grain, texture, neutron stress measurement, TNRF

### 1. はじめに

この研究ではアルミニウム鋳造合金の内部応力を評価することを最終目的としている。一般的に鋳造材料は鋳込み冷却の過程で大きな熱残留応力が発生することが知られている。これらの熱残留応力の評価には中性子応力測定法が有用であるが、アルミニウム鋳造合金では内部に粗大結晶粒や集合組織が存在するため、中性子応力測定を行うことが困難な場合が多い。特に、回折ピークが出現しないケースも多数報告されていることから、本研究では回折ピークの出現する方位を確認するために中性子測定において測定位置を走査する手法を利用した。さらに、鋳造工程では鋳造材の内部に空孔（ボイド）が発生し、その空孔の存在は材料特性や疲労強度に影響を与えることが知られている。本研究では材料内部の欠陥の存在を確認するために中性子ラジオグラフィ（TNRF）を使用した。なお、2022 年は原子炉停止のため中性子応力測定ができなかったことから、本報告では TNRF の測定結果のみを報告する。

### 2. サンプルの準備

Fig.1 に本測定で使用したサンプルおよび砂型の写真を示す。これらのサンプルの鋳造方法は手作業による砂型への流し鋳込みであり、ダイキャストや射出成型による製造方法と比較して内部の欠陥（空孔）の多いことが知られている。TNRF による測定では Fig.1 に示す番号の 4 番と 8 番のサンプルおよびダンベル型に切り出した引張試験片を用いた。4 番のサンプルは単純な円柱型のアルミ鋳造材をワイヤーカット放電加工で半割にしたものである。8 番のサンプルは実際のアルミフランジの製造途中の製品であり、まだ最終成型前の砂型の中子（7 番）が入っ

たままの状態となっている。さらに Fig.2 は本研究における中性子の走査測定に使用したダンベル型のアルミニウム鋳造材の引張試験片および縦割りした円柱サンプルとその切断面の拡大写真である。サンプル断面の拡大写真から確認できるように、円柱サンプルの中には 1mm 以下の空孔（鋳造における巣）が多数存在し、材料強度に対する影響および中性子応力測定が困難となる問題が推察される。このため、鋳造サンプルおよび引張試験片の内部状況や空孔の存在を非破壊非接触で観察が可能であるラジオグラフィ（TNRF）による内部評価は重要となる。



Fig.1 Photograph of aluminum casting samples.

[22052]

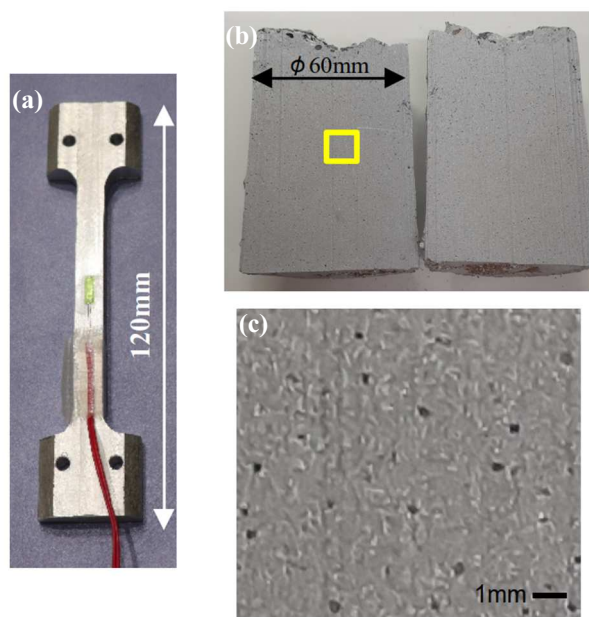


Fig.2 Aluminum casting samples of TNRF, (a): tensile testing sample, (b): cylindrical shape sample cut in half, (c): enlarged image of the cross sectional surface.

### 3. TNRF による透過像測定

日本原子力研究開発機構 (JAEA) の実験原子炉 JRR-3 の炉室内に設置されている熱中性子ラジオグラフィ施設 (TNRF) を使用しアルミニウム鋳造合金の中性子透過撮影と透過写真を合成した CT 画像から断面観察を行う。Fig.3 は TNRF の中性子照射室内にサンプルをセットした様子を示す。4 台の回転モーターにより、一度に 4 つのサンプル測定が可能となる。Fig.3 では中央 2 つに円柱型サンプル (そのうち 1 つは半割り)、両端に引張試験片をセットして測定を行っている。また、続く測定では大型フランジを並べて同時に 2 つのサンプルを測定した。測定条件はサンプルを  $0.3^\circ$  ステップで  $180^\circ$  回転させ、露光時間 0.5 秒で同じ角度で 3 回測定した。測定後にコントラストを上げるために 3 回測定 of 画像を重ね合わせるなどの処理を行う。



Fig.3 Measurement condition in TNRF exposure room.

1 回の測定における透過写真の枚数は 1800 枚となり、透過撮影した画像は専用ソフトで画像処理する。CT 画像の作成には SPring-8 の BL20 のホームページに掲載されている CT 変換ソフト群 “ct-rec<sup>[1]</sup>” とフリーソフトの ImageJ を用いて画像を処理した。

### 4. 測定結果と考察

Fig.4 に円柱形状のサンプルと引張試験片を撮影した中性子透過像を示す。この写真は実際の測定写真のコントラストを調整して画像を明るくしている。図中左側の円柱サンプルは直径 60mm、右側の引張試験の平行部分の断面は 9mm の正方形である。この透過像より 60mm の直径を持つサンプルでも問題なく透過撮影像が得られていることが確認できる。また、逆に 9mm 正方形断面の引張試験片では透過力が強すぎるため、透過像のコントラストが弱くなっていることがわかる。さらに、引張試験片に貼り付けたひずみゲージを保護するためのセロハンテープ (高分子) の影が強く出ている。



Fig.4 Neutron transmission photograph of the cylindrical shape sample and the tensile testing sample by TNRF.

角度を変えたこれらの透過像写真が 18000 枚あり、CT 変換ソフトにより再構成することで断面観察が可能となる。Fig.5 は CT 変換ソフトウエアによって再構成された円柱サンプルの断面画像である。この画像より円柱サンプル中の空孔 (鋳造の巣) が多数確認でき、さらに図中に矢印で示した半割りの切断面ラインも確認できる。この画像においても手作業でコントラストを調整して空孔が強調される画像バランスとしているが、1mm 以下のサイズの空孔の存在および切断面のわずかな隙間も CT 変換した断面画像として認識できることが確認された。それに対して 9mm 正方形断面の引張試験片では中性子の透過力が強すぎて内部情報がほとんど得られなかった。

[22052]

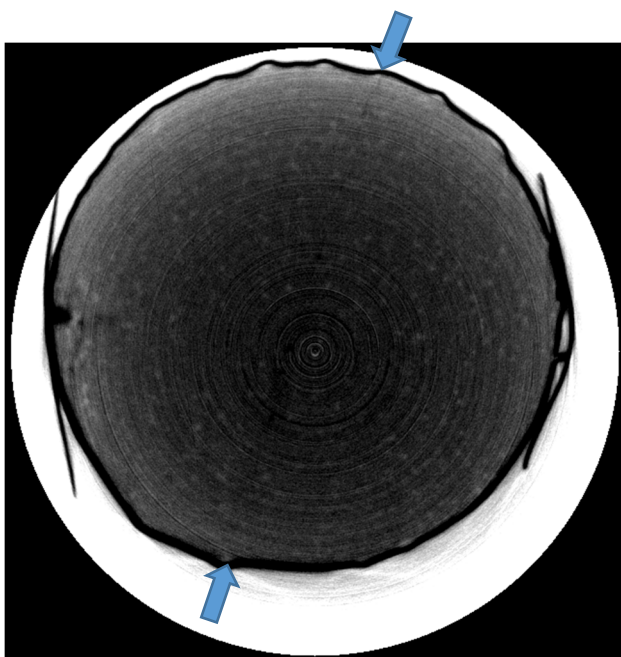


Fig.5 Cross sectional image of the cylindrical sample reconstructed by CT software.

透過力が強すぎるために生じるこのような結果に対してどのような対応があるか今後調べてみたい。線源を冷中性子線に変更することも対応の一つと考えられるが、測定施設・設備を変更することになりユーザーの負担も大きい。

Fig.6 はフランジサンプルの中性子透過画像である。図中の矢印は後述のコーナー部分を示している。

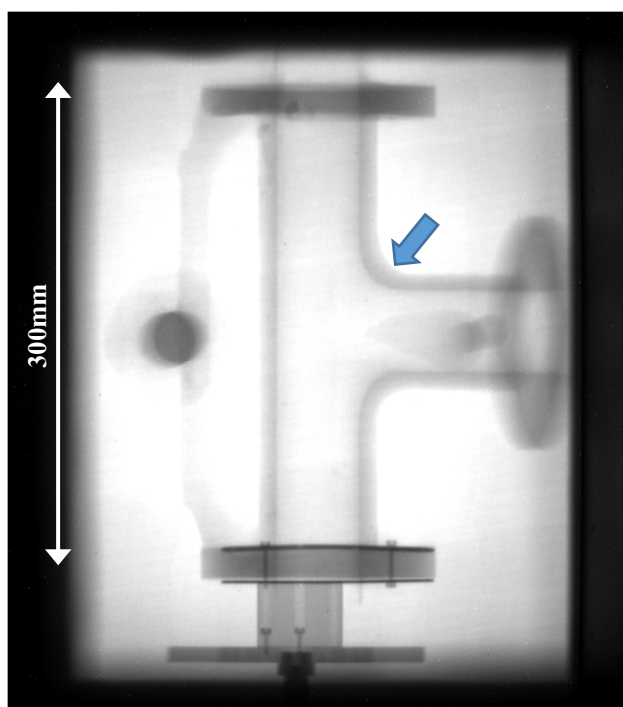


Fig.6 Neutron transmission photograph of the large flange sample by TNRF.

円柱形状サンプルの場合は画像の1辺が約150mmに対応する撮影条件であったが、Fig.6の大型フランジでは長手寸法が300mmとなる。このため、フランジの全体の透過画像を得るために撮影面積は4倍となり、逆に画像の解像度が低下することになる。

Fig.7はフランジの透過画像を再構成したCT画像の一例である。ここでは最も欠陥が発生しやすいフランジの腕の付け根であるコーナー部分(Fig.6, Fig.7の矢印)が確認できる画像となっている。しかしながら、この画像からは空孔の存在などの詳細な内部情報は得られなかった。これは、解像度の低下が原因であると考えられるが、画像エッジ部分が少し流れていることなどから、パラメータの調整でもう少し鮮明な画像にできないか検討中である。

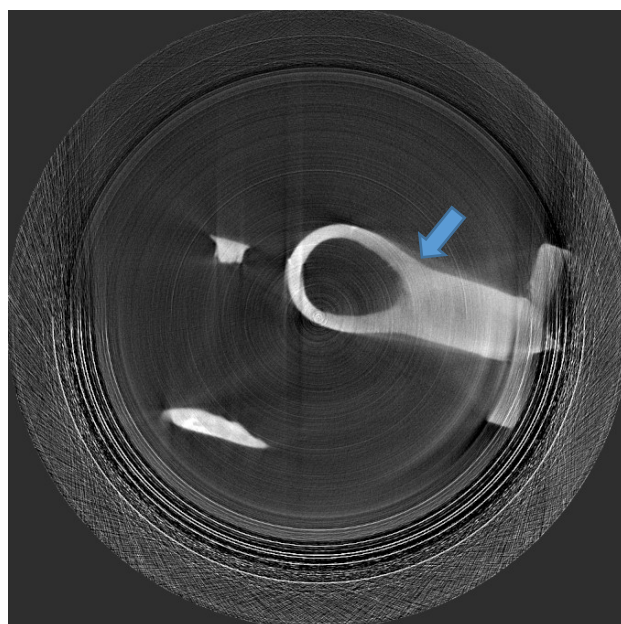


Fig.7 Cross sectional image of the large flange sample reconstructed by CT software. The arrow is the corner position of the flange.

## 5. 結言

中性子ラジオグラフィ（TNRF）を使用し、アルミニウム鋳造合金の内部状況を観察した。

(1) TNRFを使用することでアルミニウム鋳造合金の内部観察に成功した。CT画像に再構成した結果、直径60mmの円柱サンプルでは内部の多数の空孔が確認された。

(2) 9mm正方形断面の引張試験片では中性子の透過力が強すぎるため、内部情報が得られなかった。

(3) 長手寸法300mmの大型フランジの透過撮影およびCT画像の再構成に成功したが、解像度低下により内部空孔の存在を確認することはできなかった。

\*中性子応力測定は原子炉停止のため中止となった。

## 参考文献

[1] <http://www-bl20.spring8.or.jp/xct/index.html>