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 Crystal Texture

西田真之^{#A)}, 松英達也^{B)}

Masayuki Nishida^{#A)}, Tatsuya Matsue^{B)}

^{A)} Kobe City College of Technology, ^{B)} National Institute of Technology, Niihama College

Abstract

The casting materials generate complex internal stress distributions and coarse crystal grains due to the non-uniform cooling during solidification processes. The target of this study is to evaluate internal stresses in alminum casting alloys with coarse crystal grains by the neutron diffraction. The crystal structure inside casting materials are estimated by RESA in JAEA. After the conditions of stress measurements for the casting sample are obtained, the internal stress is evaluated by RESA. In this measurement, when diffraction peaks do not appear in the three directions required for stress calculations, or when the edge effect of the coarse crystal grain by protruding from the gauge volume, these become problems and stress measurements are difficult. To solve this problem, it is applied a method that selectively uses diffraction peaks that can be used for measurement. The locking curve method and scanning method will be tried to improve the measurement accuracy. Furethermore, in order to perform in-situ measurement under mechanical load, a small tensile machine will attached on the sample stage of RESA.

Keyword: residual stress, casting, aluminum alloy, RESA

1.はじめに

鋳造金属は凝固冷却時の不均一な冷却過程から 複雑な内部応力および部分的に粗大な結晶粒や集合 組織を含む.本研究では粗大結晶粒を含むアルミニ ウム鋳造材の中性子内部応力評価を目的としている. 原子力機構に設置されている中性子応力測定装置 (RESA)を用いて鋳造材料内部の結晶構造を把握し, 鋳造により生じる粗大結晶粒および集合組織に対す る応力測定条件を求め内部応力を評価する.この際, 粗大結晶および集合組織を有する材料では、応力算 出に必要な3方向にピークが出現しない場合や, ゲージボリュームから結晶がはみ出した場合のエッ ジ効果などが問題となり応力測定が困難となる場合 が多い. この問題に対して本報告ではピーク位置ス キャンし測定に利用可能な回折ピークを選択的に用 いる方法とサンプルを180°回転して逆方向から回折 線を測定する方法を適用し測定精度の向上を計る. さらに,機械的負荷状態でのその場測定を行うため RESA のサンプルステージに小型の引張試験機を装 着して測定を行う.なお、本課題は2年計画であり、 1年目の中間報告としてこの報告書を提出する.

2. 実験方法

2.1 サンプルの準備

A2000系のアルミニウムを鋳型に入れ大気炉中で 溶解し、炉から取り出した後に大気中で冷却を行っ ている。冷却後引張試験形状に切り出し、平行部中 央にひずみゲージを貼付している。平行部の標点距 離は80mm、断面は1辺9mmの正方形である。 また, 引張試験機は今回の測定に合わせてオイ ラークレードル上の試料台に設置可能な小型の引張 試験機を製作した.チャッキングを使用せずサンプ ルのR部分を支えて引張荷重を負荷する方式として いる.負荷は支柱となっているねじのボルトを回転 させることで与えられ,サンプルを支える横はりは 測定時に中性子線のブラインドにならないように一 面全体がカットされており,サンプルの全容が見え るようになっている.なお,負荷荷重はサンプルに 対する測定座標系は長手方向z方向,直交方向をx, y方向と定義している.Fig.1にサンプルを小型引張 試験機に装着した状態と試料の測定座標系を示す.



Fig.1 Photograph of tensile sample of aluminum casting alloy and sample coordinate system.

[#]A nishida@kobe-kosen.ac.jp

[21033]

2.1 測定方法

測定には日本原子力研究開発機構のビームホール 内に設置されている応力測定用回折装置 RESA を使 用して測定を行った.アルミニウム鋳造材は粗大結 晶粒を有しているため,中性子線を照射しても回折 線プロファイルが出現しない場合や極端に強度が弱 い場合が多くあり,安定した測定を困難にしている. 本測定ではこのような粗大結晶粒を含むサンプルに 対して,応力測定の可能性を探る.Fig.2 にオイ ラークレードルのサンプルテーブルに小型引張試験 機を装着した RESA の測定外観を示す.



Fig.2 Neutron stress measurement system of RESA.

測定は引張サンプルの平行部分において長手方向 に 5mm 間隔でスキャン測定を行い,回折線ピーク が出現する測定可能な位置を探し出す. 回折線の測 定方向はFig.1に示すx方向(平行部直交方向)とz 方向(試料長手方向)の2方向で行う.平行部の断 面形状が正方形であることから y 方向は x 方向と等 価として測定は省略した.また結晶が粗大な場合は ゲージボリュームから結晶がはみ出すことでエッジ 効果が発生することから、十分な回折強度が得られ る位置を確認したのちに、サンプルを180°反転した 裏面からの測定も行い、両者の平均をとることで エッジ効果の影響を抑える. 無負荷状態で測定され た回折プロファイルから算出された格子面間隔を無 ひずみ状態の格子面間隔 d₀とし,各負荷状態におい て測定された格子面間隔 d からひずみを求め,式(1) に示す Hooke の式より応力値を計算する. Table 1 に中性子応力測定の測定条件を示す.入射側は

10x3mmの縦長スリット,受講側は3mmのラジア ルコリメータを使用している.Fig.3にRESAによ る測定の様子を示す.オイラークレードルの回転中 心はRESAの大型サンプルテーブル上で固定されて いるため,測定におけるサンプルの異動はオイラー クレードルの上に設置した小型のx-yテーブルで 行っている.

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{E}{1+\nu} \{ \varepsilon_1 + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) \} \\ \sigma_2 = \frac{E}{1+\nu} \{ \varepsilon_2 + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) \} \\ \sigma_3 = \frac{E}{1+\nu} \{ \varepsilon_3 + \frac{\nu}{1-2\nu} (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) \}. \end{cases}$$
(1)

Table	1	Conditions	of	neutron	stress	measurement	by
RESA system							

$\lambda = 2.004 \text{ Å}$			
1D detector			
10.96°/256ch.			
20 MW			
Al casting alloy			
Al 220, 2 <i>θ</i> = 88.7°			
Incident slit: 10mm x 3mm			
Receiving slit: 3mm focus			
radial collimator			



Fig.3 Neutron stress measurement system of RESA.

3. 測定結果

Fig.4 にサンプルの測定位置を z 方向に 3mm 間隔 で移動させ, x 方向の回折線を測定した結果の一例 を示す.この結果より,回折線ピークの出現しない 測定位置が多く存在することが確認できる.この結 果は x 方向の結果であるが, x 方向に回折線が出現 しても z 方向の回折線が出現しない場合も多い.こ のため,同一位置での x 方向と z 方向の回折線を測 定できないことになるが,引張試験片の平行部分の 測定では測定位置が異なってもひずみおよび応力は 均一であると仮定して測定を行う.

また、中性子線の照射領域であるゲージボリュー

Fig.4 Examples of results of diffraction profile by scanning measurement on the longitudinal direction.

この場合はサンプルを180°反転させた 20角度からの測定を行い,初期状態の測定結果と180°回転させた測定結果の両者の平均値を取ることでエッジ効果の低減を行う.Fig.5に粗大結晶粒とゲージボリュームの位置関係を示す.Fig.5のピークAは粗大結晶粒がゲージボリューム内に入っている部分からの回折線である.ゲージボリュムーム内の位置が中心から偏っているためエッジ効果が生じ,偏った位置に出現するピークAが観測される.このサンプルを180°反転させるとゲージボリュームの中心を対象点とする位置にピークBが観測され,ピークAとピークBを平均することによりエッジ効果の低減が期待できる.



Fig.5 Correction (or cancel) method of edge effect by coarse crystal grain.

ピークサーチ測定の結果,サンプルの平行部分に 10箇所の測定可能な測定点を確認することができ た.この10箇所の測定点では回折線ピークの十分 な強度が得られることが確認されている.その後, この測定点において,サンプルに段階的な負荷を与 えて応力測定を試みることになる.

Fig.6 に段階的な引張負荷を与えた時の格子面間 隔の変化を測定した結果を示す.この結果より,各 測定点において最大約4Åのばらつきがあることが 確認できる.全体の変化の傾向は200µst.で少し格子 面間隔が増加し,その後は負荷ひずみに対して直線 的に減少することが確認できる.800µst.ではほぼ初 期値に重なっており,塑性変形による応力緩和など が考えられるが詳細は調査中である.このような傾 向はすべての測定点で同じであり,ひずみの変化を とらえることができていると考えられる.



Fig.6 Results of the neutron diffraction for casting sample with coarse crystal grains.

3.ここまでの結論

れまでは粗大結晶粒を有する鋳造材の測定は全く 不可能であったことから考えれば、今回の実験結果 より測定の可能性が得られたことになる.しかしな がら、絶対値の測定には問題が残り3方向のひずみ から応力値を算出する際に問題となる.このため、 今後は測定値の補正を考慮する必要がある.また、 180°反転した測定結果については測定点が少なかっ たこともあり、今後データを積み重ねる必要がある.

参考文献

[1] MASAYUKI Nishida, TAKAO Hanabusa, TATSUYA Matsue, HIROSHI Suzuki, "Neutron Stress Measurement of Coarse Crystal Grain in Aluminum Casting Alloy", Materials Science Forum Vol. 652 (2010) pp 243-248.

ムから結晶がはみ出す場合にはエッジ効果が生じる ため回折線のピーク位置がシフトする可能性がある.