

マクロ組織観察と金属組織観察および X 線 CT の比較による 鋳造アルミニウム部品の欠陥評価

機械・材料技術部 材料物性チーム 中 村 紀 夫
解析評価チーム 増 田 信 次

本研究では鋳造アルミニウム部品の内部欠陥を評価するため、マクロ組織観察と金属組織観察および X 線 CT を比較した。マクロ組織観察は特定の切断面での評価に適しており、数 100 μ m 程度の欠陥が評価できる。さらに倍率を上げられる金属組織観察は数 μ m 以下の欠陥も評価が可能である。一方、当センターで保有する X 線 CT は 10mm 厚さの試料の場合 0.2~0.3mm の欠陥を検出できる。つまり X 線 CT の検出限界は厚さに依存し、厚みの 2~3%程度の大きさの欠陥を非破壊で評価することが可能である。従って、検出限界以下の小さな欠陥の評価が必要な場合には X 線 CT だけではなく、マクロ組織観察や金属組織観察と合わせて評価することが必要である。

キーワード：鋳造アルミニウム、マクロ組織観察、金属組織観察、X 線 CT、内部欠陥

1 はじめに

鋳造アルミニウム部品には鋳造時に引け巣やガスの巻き込みおよび溶解ガスの発生により導入されたポロシティ等の内部欠陥が存在し、その欠陥の大きさや量により機械的性質が低下するため、品質管理のために内部欠陥を評価することは非常に重要である。当センターでは鋳造アルミニウム部品の内部欠陥を評価する場合には、破壊検査であるマクロ組織観察および金属組織観察と非破壊検査である X 線 CT (Computer Tomography) を行っている。マクロ組織観察や金属組織観察では切断や研磨等の前処理が必要である。一方、X 線 CT の場合は非破壊で検査できるが、装置の構成上により測定物の大きさや重量の制約、ならびに X 線透過量の差による検出限界が存在する。このようにどちらの評価方法にも長所と短所があり、評価の際には適正な適用範囲を明確にする必要がある。

そこで本研究では、鋳造アルミニウム部品の内部欠陥の評価において、マクロ組織観察と金属組織観察および X 線 CT を比較することで適用範囲を明らかにすることを目的とする。

2 実験方法

2.1 供試材および試験片

供試材として鋳造アルミニウム合金製のディーゼルエンジン用ピストン（外径 ϕ 100）を用いた。合金素材は

AC8A-T6 である。このピストンの最も内部欠陥が発生するピンボス部をファインカッターにて 30mm 角に切り出し試験片とした。また、X 線 CT 装置（株式会社ユニファイトシステム, XVA-160）の検出限界を明らかにするため、展伸用アルミニウム合金 A2024-T4 の ϕ 10 丸棒を用意し、半分切断した後、切断面に ϕ 0.2 のドリルにより様々な深さに穴加工し、再び切断面を合わせることで体積の異なる穴を人工欠陥として導入した。

2.2 マクロ組織、金属組織および X 線 CT 撮影条件

試験片を湿式研磨およびバフ研磨により鏡面にしたのち、マクロ組織は光学式実体顕微鏡、金属組織は光学式金属顕微鏡にて写真撮影を行った。

X 線 CT 撮影の条件は管電圧 40kV、管電流 30mA とし、円周方向に 1° 毎に 360° 撮影を行った。

3 結果および考察

3.1 マクロ組織観察と金属組織観察および X 線 CT の比較

図 1 にピンボス部断面のマクロ組織写真を、図 2 に金属組織写真を示す。全体を撮影したマクロ組織写真からは 1mm 程度までの欠陥が判別できる。マクロ組織観察では広い視野での欠陥の評価を目的としているため低倍率（2 倍弱）で撮影しているが、最大で 150 倍程度まで拡大が可能である。用意した試験片をそのまま用いて金属組織観察を

行った。その結果、100 倍で撮影した金属組織写真（図 2）から 100 μm 程度の欠陥が存在することがわかる。金属組織観察では 1000 倍程度まで拡大できるため、さらに小さな数 μm 程度の欠陥が存在しても観察が可能である。

次にマクロ組織観察した場所と同視野での X 線 CT 像を図 3 に示す。X 線 CT 像では全体を撮影したマクロ組織観察（図 1）と同寸法の欠陥を評価できることがわかる。X 線 CT においてもさらに倍率を上げることは可能であるが、X 線透過量の違いが像として得られるため像を拡大しても分解能が上がらないことに注意が必要である。そのため、拡大した金属組織写真のように小さな欠陥の存在有無を判断できない。このように X 線 CT 像だけで欠陥の有無を判断する場合には、X 線 CT 装置の検出限界を考慮する必要がある。

3.2 X 線 CT の検出限界

そこで当センターで保有する X 線 CT 装置の検出限界を明らかにするために人工欠陥を導入した試験片の X 線 CT 像を図 4 に示す。各 X 線 CT 像は X-Y-Z 方向の断層像であり、ヒストグラムは X 線強度分布である。中央に見られる小さな黒点が人工欠陥部である。直径 0.2mm の様々な長さの人工欠陥を評価した結果、観察が可能なこの人工欠陥は長さ 0.3mm が限界であった。試験片の直径が 10mm であることから検出限界は厚さに対して 2~3%ということが明らかとなった。従って、数 10 μm 以下の欠陥を評価する場合にはマクロ組織観察あるいは金属組織観察を行わないと正確な評価が困難である。内部欠陥が多数存在する鋳造アルミニウム部品の場合には X 線 CT で内部欠陥が多く存在する部位を大まかに特定しておき、その断面をマクロ組織観察あるいは金属組織観察をすることで内部欠陥の評価が正しく行えるものと考えられる。

4 結言

鋳造用アルミニウム合金における内部欠陥をマクロ組織観察と金属組織観察および X 線 CT による比較を行った結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) マクロ組織観察では数 100 μm 程度の欠陥の評価が可能である。
- 2) 金属組織観察では数 μm 程度の欠陥の評価が可能である。
- 3) 今回用いた 30mm 角程度の試験片の場合にはマクロ組織観察と X 線 CT では同程度の評価が可能である。
- 4) 当センターで保有する X 線 CT では厚さの 2~3%程度の大きさの内部欠陥の評価が可能である。

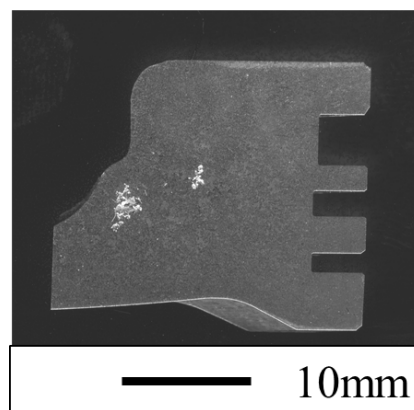


図 1 マクロ組織写真

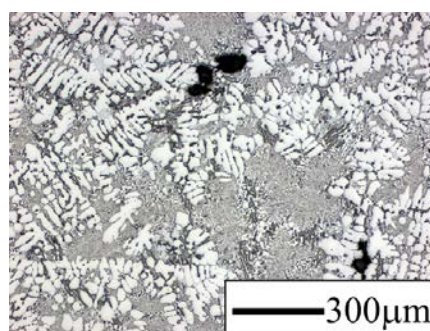


図 2 金属組織写真

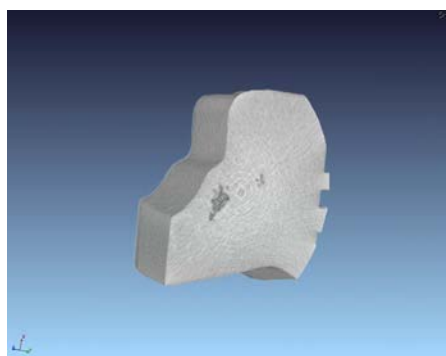


図 3 3D-X 線 CT 像

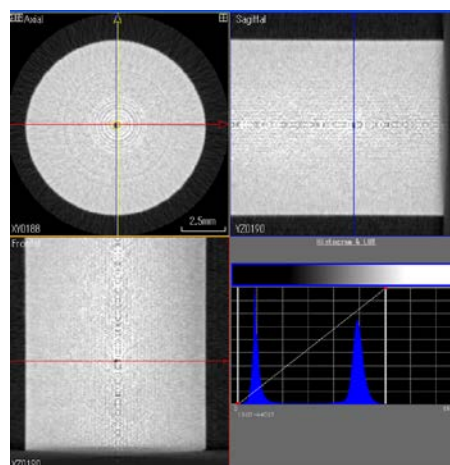


図 4 ϕ 0.2mm, 深さ 0.3mm の人工欠陥の断層 X 線 CT 像