

諸問題を解決した金型向け積層造形粉末について

熊谷 祥希*

1. はじめに

金属材料を用いた積層造形（以下，Additive Manufacturing, AM という）は，超スマート社会（Society 5.0）の実現に向けて生産現場の革命を実現しうる技術と位置づけられている。近年，造形装置の性能向上に併せて，航空宇宙分野における軽量化部品，産業機器分野における熱交換器や医療分野のインプラントなど，各分野で実用部品の製作が進んでいる。その中で，金型及び工具は，2030年に航空宇宙と医療分野を合算した造形品市場規模になるという予測も出され¹⁾，AM技術の特徴を最大限に生かせる適用分野であると考えられている。

金属AMは材料の形態や供給方法，熱源などによって複数の手法に分類される。現在最も広く普及している方式はレーザービームを用いる金属粉末床熔融結合法（Powder Bed Fusion-Laser Beam，以下，PBF-LB という）であり，その模式図を図1に示す。本方式は金属粉末を厚さ数十 μm に均一に敷き詰めて粉末床としたのち，微細レーザーを熱源として粉末床を選択的に熔融凝固させるプロセスであり，このプロセスを繰り返すことで形状自由度が高く複雑形状の作製が可能といった特徴がある。

PBF-LBを金型製作に適用することによって，従来法では困難であった冷却用水管の任意配置や水管断面形状の最適化が可能となるため，製品製造サイクルタイムの短縮や金型の長寿命化といった利点が期待されている。特に，金型温度のコントロールが生産性や製品品質に大きな影響をおよぼすアルミダイカスト（以下，ダイカストという）金型において実用化が加速している。

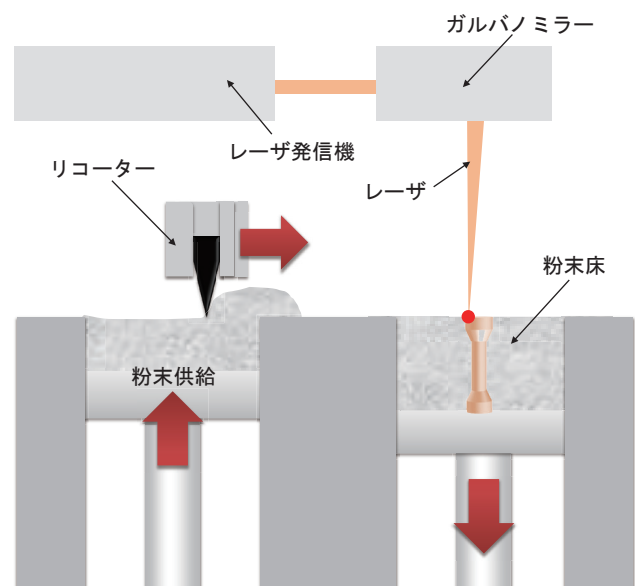


図1 PBF-LB方式の模式図

* 大同特殊鋼株式会社 技術開発研究所 熔融成形研究室 Y. Kumagai

金属製品の不具合調査の基礎

— 破面観察を中心に —

中村 勲*

1. はじめに

金属製品や構造物が何らかの外力により破断されると、破断された面（以下、破面という）には、破断に至った痕跡が残されている。その痕跡は、材質、製造工程、使用環境、負荷応力の大きさや加わり方など、様々な要因により異なった破壊形態として破面に現れる¹⁾。

破面観察により、き裂の発生位置（起点）、き裂の進展方向、最終破断部や破壊形態などを把握して解析する手法をフラクトグラフィと呼び²⁾、その目的は破断の経緯を解析することで破断原因を推定し、再発防止策の策定や設計指針に役立てることにある。このように破面観察では破断に関する多くの情報を得ることができるため、金属製品の不具合調査において優先順位が高く重要な調査項目となる³⁾。

本稿では、不具合調査の流れ、試料の取扱い、破面観察における留意点及び典型的な破面について解説する。

2. 不具合調査の流れ

不具合調査の流れを図1に示す。不具合調査では破損や破断状況の5W1H、すなわち、誰が、いつ、どこで、何を、なぜ、どのように、を記録又は情報収集することから始まる。材質、材料履歴、加工履歴、熱処理や表面処理の有無、ロット（材料、

加工、製品）や使用方法などの情報も合わせて入手しておく。これらの情報は、調査結果を検討し破断原因を正しく推定するために必要となる。

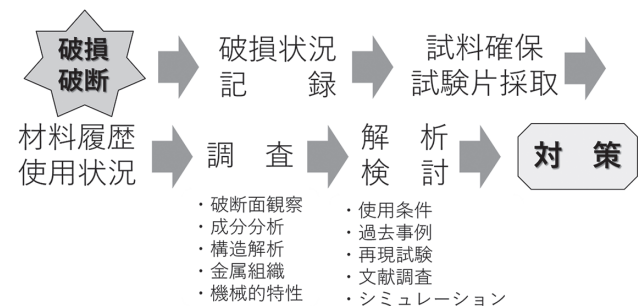


図1 不具合調査の流れ

続いて、現場から試料の確保及び試験片の採取を行う。試料の確保では、例えば機械部品であれば破面の状態、付着物の有無、取り付け状況、位置関係や装置周辺まで写真に収めておくと、破面観察後の検討で有益な情報となりうることもある⁴⁾。確保した試料を調査項目に応じた試験片のサイズに切断する場合、切断時の加熱により金属組織に影響を及ぼさないように、また冷却水をかけながら切断する場合には破面の腐食に細心の注意を払って作業を行う。破面の錆や付着物は、切断や洗浄前に採取するかそのまま成分分析を行っておくと使用環境の推定にも役立つことがある。

試験片の準備が整ったら、調査項目の中で優先

* 地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター 研究開発本部 物理応用技術部 機械技術グループ I. Nakamura
連絡先 E-Mail : nakamura.isao@iri-tokyo.jp

炉中雰囲気ろう付

～平衡酸素分圧を基に雰囲気ろう付を解説する～

神田 輝一*

1. はじめに

ろう付とは“450℃以上の融点を有するろう材を用いて母材（被処理物）をできるだけ熔融しないで行う接合方法”（JIS3001-3）と定義されている。そしてろう付を実施する工業炉がろう付炉である。

ろう付作業において、炉内に適切な雰囲気を導入し母材と雰囲気ガスの相互作用により母材表面を還元又は保護し、ろう付を行う方法が雰囲気ろう付である。

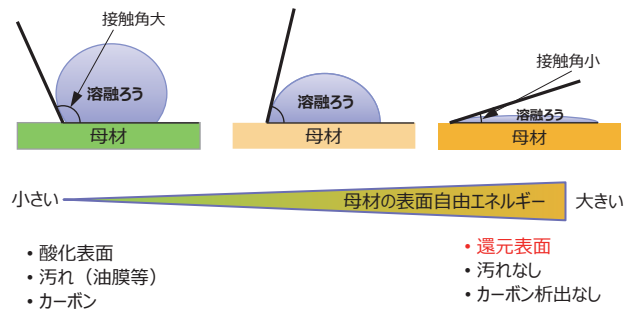
本報では、ろう付雰囲気の基礎について解説し、次に代表的な各種ろう付雰囲気について母材別に解説し、ろう付雰囲気選択のポイントについて述べる。最後にエリンガム図を用いた雰囲気可視化について述べる。

2. ろう付雰囲気

2.1 ろう付雰囲気の必要条件

ろう付雰囲気の必要条件は、図1に示すように母材（固体）の表面自由エネルギーを大きくし、母材上で熔融ろうを濡れ広がらせる必要がある。すなわち母材と熔融ろうとの接触角を小さくすることが必要条件である。

表面自由エネルギーを大きくするには ① 母材表面に酸化膜がなく還元されていること、② カーボン付着等の汚れがないことが重要である。



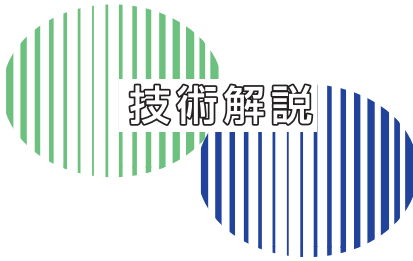
ろう付のポイントは母材の表面自由エネルギーを大きくすること

図1 母材の表面自由エネルギーと熔融ろう形状との関係模式図

2.2 ろう付雰囲気の分類

雰囲気ろう付の三大要素は温度、時間そして雰囲気である。温度、時間は温度計や時計で安易に測定し制御できるが雰囲気については全成分を測定し制御する必要があり現場的には困難である。このため雰囲気管理は抽象的であり難しいとされている。

* 関東冶金工業株式会社 取締役 特命担当 博士(工学) K. Kanda



非定常熱伝導の計算の簡易化 — ハイスラー線図の適用 —

(その2) 形状に対応した基礎方程式の解法とその近似式

酒井 逸朗*

5. 方程式の解

先に導出した非定常熱伝導の方程式の解を求めることとする。前述の式(7)は時間 t と、位置 x を独立変数とする偏微分方程式である。その解法としては、厳密解を求める方法の概略は次のとおり。① 厳密解は t, x のみを変数とする関数の積として表されることから、変数分離をする。② 解はフーリエ級数の無限級数として表される。③ 境界条件を満足させるについては、フーリエ級数の各項の係数を定めるには固有値が出現する。④ その固有値を含む級数の各係数は三角関数の直交性から級数の式は簡単なものとなる。

ここで述べる解法は19世紀の初頭に先人が導いたものである。その後、そこにハイスラーは無級数の第一項のみで、しかるべき精度で求まることを見だし、非定常熱伝導の計算を容易にできるように、計算プロセスを線図化したことで、現在でも簡易な計算法として利用されている。厳密解である無限級数の収斂性^{しゅうれん}の点から、 Bi 値が小さいときには精度よい結果が得られる。

5.1 変数分離

求める関数の積を θ とすると、変数分離ができるように、次式のように仮定する。

$\theta = F(x) \cdot G(\tau)$ となり、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = F \frac{\partial G}{\partial \tau}, \quad \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = G \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \text{ から, } F \frac{\partial G}{\partial \tau} = \frac{1}{\alpha} G \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}$$

さらに整理して、

$$\frac{1}{G} \frac{\partial G}{\partial \tau} = \frac{1}{F} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = \mu \text{ とすると, 次の2つの式となる。}$$

$$\frac{\partial G}{\partial \tau} + \mu G = 0 \text{ (5-1)}$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \mu F = 0 \text{ (5-2)}$$

上式の $\mu > 0$ であれば、温度が時間と共に発散することから、 $\mu < 0$ となる。したがって、 $\mu = -\lambda^2$ とすると、式(5-1)は次式のように求まる。

$$G(\tau) = C_1 \exp(-\lambda^2 \tau) \text{ (5-3)}$$

同様に、式(5-2)は

$$F(x) = C_2 \cos \lambda x + C_3 \sin \lambda x \text{ (5-4)}$$

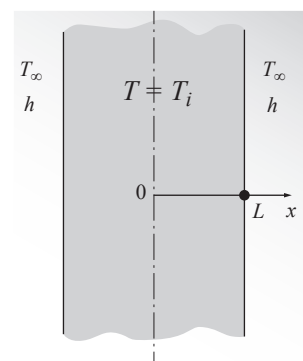


図5 無限平板モデル

* 工学博士 I. Sakai