

鋳造シミュレーションによる 鋳物の高品質化技術

高精度化したシミュレーションを用いて 鋳造条件を適正化し巣の発生を抑制

鋳造プロセスでは、鋳物内部に巣のような欠陥が発生することが課題です。これを抑制するには鋳造条件の適正化が必要です。鋳造シミュレーションを用いて理論的に鋳造条件を適正化するには、巣の発生予測精度を高めることが求められます。

そこで東芝は、アルミニウム合金の金型傾斜鋳造において、実験とシミュレーションの両方で巣の発生予測を行い、両者を比較することで鋳造シミュレーションの精度を検証しました。シミュレーションは巣の発生場所を精度よく予測でき、これを用いて鋳造条件を適正化することで、鋳物の高品質化に貢献できることを確認しました。

鋳造の課題

鋳造とは、砂型や金型に溶湯（溶融金属）を流し込み、冷却凝固させることにより金属を成形する方法です。切削加工などの加工方法とは異なり、複雑な形状を一体で成形できることや、材料のむだが多く製造コストを低減できることなどの利点があります。

しかし、金属が凝固収縮する際の体積収縮分が鋳物内部に残留する引け巣など、鋳物内部に巣と呼ばれる空洞欠陥が発生することが課題になっています。鋳物内部の巣が耐圧強度や気密性の低下などを招くという問題があるため、巣の発生を抑制する必要があります。

巣の発生を抑制するには、鋳造方案（溶湯の流れを考慮した型設計）や鋳込み時間などの鋳造条件を適正化する必要があります。鋳造条件は経験的に決

められている現状から、鋳造における物理現象を解明し、鋳造条件を理論的に決定する技術が求められています。

鋳造シミュレーションの 有用性と課題

鋳造条件は、鋳造方案や鋳込み時間だけではなく、溶湯温度や、金型温度、溶湯処理、フィルタの有無など、項目が非常に多いため実験的に分析することは困難です。また実験では、型内の流動や温度分布の把握が難しく、理論的に考察することは困難です。そのため、シミュレーションを用いることにより、これまで経験的に決定されてきた鋳造条件を理論に基づいて適正化しようという動きが広まりつつあります。

しかし鋳造プロセスは、相変化に伴う体積収縮により鋳物と金型の間の伝熱性が大きく変わるなど、非常に複雑

な物理現象が絡むため、必ずしも精度よく巣の発生を予測できるわけではありません。特に鋳物と金型の間の熱伝達係数などシミュレーション上のパラメータを適切に設定する必要があると考えられ、鋳造条件を適正化する前に鋳造シミュレーションの精度検証を行う必要があります。

そこで東芝は、シミュレーションをアルミニウム合金の金型傾斜鋳造における鋳造条件適正化に用いるために、金型傾斜鋳造実験とシミュレーションの両方を行い、引け巣の発生場所を比較することで鋳造シミュレーションの精度検証を行いました。

精度検証用鋳造実験

この実験では、肉厚10 mmの円筒にフランジが付いた鋳物形状を対象としました（図1）。円筒部側とフランジ部側

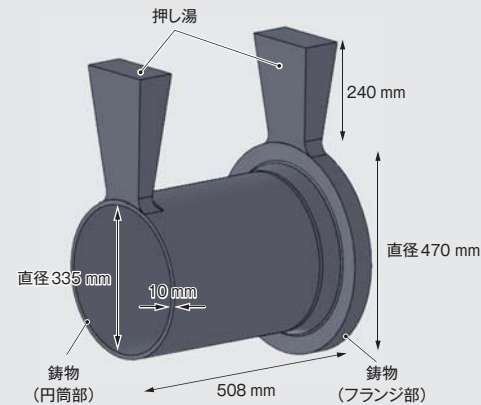


図1. 対象とした鋳物形状 — 鋳物は、製品となる部分と鋳造時に必要な押し湯から構成されます。

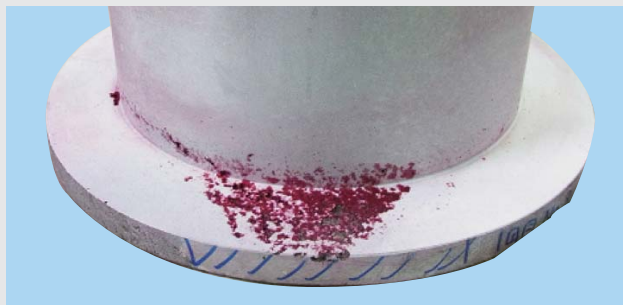


図2. 切出し試験による引け巣の可視化 — 鋳物内部には空洞が空いており、カラーチェックで可視化します。

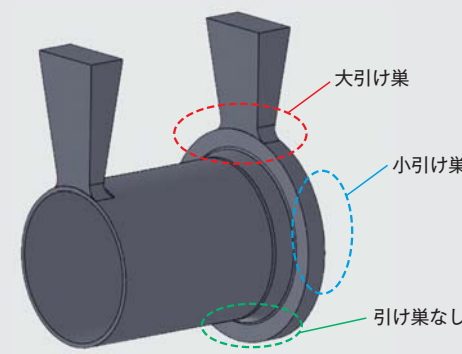


図3. 実験による引け巣発生位置 — フランジ側の押し湯直下に大きな引け巣が見られました。

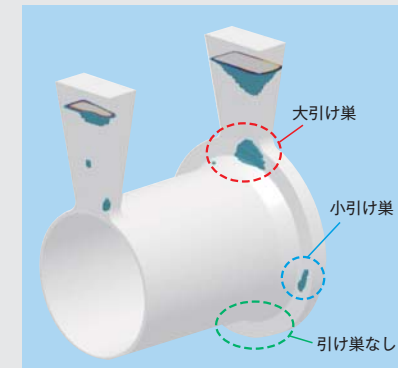


図4. シミュレーションによる引け巣発生予測位置 — シミュレーションにより実際の引け巣発生位置を精度よく予測できました。



図5. 鋳造条件の改善結果 — フランジ側の押し湯体積を増加させることにより、押し湯直下の大きな引け巣を抑制できました。

それぞれに鋳造方案の一部である押し湯が配置され、フランジ部側の押し湯は溶湯の供給口の役割を、円筒部側の押し湯はガスの排出口の役割を担っています。また、フランジ部側の押し湯に溶湯をためる取鍋（とりべ）を取り付け、金型を90°回転させることで取鍋内の溶湯を金型内に流し込みます。

引け巣の発生場所を精度よく予測するには鋳物の温度分布を正確に把握する必要があります。鋳物の温度を直接測定するのは困難なことから、実験では金型に熱電対を設置し鋳物から1 mm外側の金型温度を測定しました。

鋳造後に鋳物の中立面を切り出して巣を確認しました（図2）。フランジ部の押し湯直下に大きな引け巣が、側面部に小さな引け巣が発生していることがわかりました（図3）。また、フランジの下側や円筒部に引け巣は発生してい

ませんでした。この実験では8回の鋳造を行い、8個の鋳物全てにおいて同様の傾向となっていることを確認しました。

鋳造実験の模擬解析

鋳造シミュレーションソフトウェアMAGMASOFT®(注1)を用いて、実験の模擬解析を実施しました。引け巣は局部的に高温となった部分が凝固し収縮する際に発生する空洞であるため、引け巣発生場所は注湯完了時の鋳物の温度分布に大きく影響を受けます。引け巣発生予測の精度を高めるため、鋳物と金型の間の熱伝達係数など解析パラメータを調整して、測定した実際の温度分布を再現しました。

その結果、実験結果と同様に、フランジ部の押し湯直下に大きな引け巣が

(注1) MAGMASOFTは、MAGMA GmbHの商標。

発生し、側面部に小さな引け巣が発生することをシミュレーションでも予測できました（図4）。また、フランジ部の下側や円筒部に引け巣が発生しないことも実験と同様の結果であり、精度よく引け巣発生位置を予測できることが確認できました。

鋳造条件の改善

鋳造シミュレーションを用いて鋳造条件と引け巣発生との関係を分析しました。その結果、フランジ部側の押し湯の体積が押し湯直下の引け巣に大きく影響することがわかり、押し湯体積を増加させることにより引け巣を抑制できることが明らかになりました。そこで、鋳造条件を改善した実験で検証したところ、実際に引け巣が抑制できることを確認しました（図5）。このように鋳造シミュレーションを用いることにより実験では困難な鋳造条件の適正化が可能になり、鋳物の高品質化を実現できます。

鋳造シミュレーションを精度よく行うには解析パラメータを適切に設定する必要がありますが、溶湯と金型の材質が同じであれば鋳物の形状が異なる場合にも同じ解析パラメータが使用可能であることを確認しています。

今後の展望

今回の精度検証では、引け巣だけを対象として分析しましたが、実際の鋳造欠陥には気泡の巻き込みや酸化物の巻き込みなど様々な要因が考えられます。今後も当社は、それらの要因について分析を進め、更なる高精度化に取り組み、鋳物の高品質化に貢献していきます。

田中 正幸

生産技術センター
部品技術研究センター