

論文の内容の要旨

論文題目「マグネシウム合金ダイカストの引張強度と表面硬度の向上を目指した成形法に関する研究」

学位申請者 柏原 侑輝

キーワード：マグネシウム合金ダイカスト，引張強度，表面硬度，金属凝固組織，スリーブ加熱方式

マグネシウム合金ダイカストは、高サイクルで軽量部材を生産可能な技術であり、自動車産業をはじめとして、さまざまな業界から注目を集めている。しかしながら、マグネシウム合金は発火の危険性があることや、比熱が小さいために凝固しやすく、流動性に乏しい材料であり、ダイカストで铸造することが難しい。ダイカスト品の機械的強度や信頼性は従来の研究より、内部欠陥と機械的特性、そして、金属凝固組織とが密接に関係していることや、合金組成や熱処理の有無によって特性向上を促すことがわかっている。しかしながら、ダイカスト铸造条件に対するこれらの要因の統合的な変化を湯流れと熱的条件の両方の観点から検討された例は少ない。すなわち、湯流れと熱の铸造条件が内部欠陥の密度や形状、金属凝固組織の形成に影響を与え、铸造品の機械的特性を決定づけていると考えた。

本論文では、マグネシウム合金ダイカストの引張強度や表面硬度などの機械的特性を向上させるために、铸造条件に対する検討を行った。熱流体としての側面を持つダイカストの特性を向上させるためには、流動時の現象と凝固時の現象を詳細に把握する必要がある。まず、流動時の現象としてマグネシウム合金に適したゲート厚みを決定した。次に、射出速度に影響を受けるポロシティ密度と形状を検討した。また、射出条件がダイカストの引張強度や表面硬度に及ぼす影響について金属凝固組織を解析することで最適な射出条件を見出した。最後に、マグネシウム合金ダイカストにおける熱の影響を解明するために、溶湯温度を高い状態で金型へ射出できるようなスリーブ加熱方式を開発し、金型温度がダイカスト内部欠陥や金属凝固組織に及ぼす影響を調べることで、引張強度や表面硬度の向上を目指し、検討を行った。

本論文は5章で構成されている。

第1章は序論であり、マグネシウム合金ダイカストの持つ課題と従来の研究事例について述べ、本研究の目的について明らかにした。

第2章では、マグネシウム合金における湯流れ特性を明らかにするために、湯流れ性とゲート厚みの関係、および、射出条件とポロシティの関係について検討した。さらに、マグネシウム合金の引張強度と表面硬度を向上させることを目的に、射出条件を変化させたときの引張強度と表面硬度、および、金属凝固組織の関係性について検討した。まず、マグネシ

ウム合金の流動に適したゲート厚みを鋳造シミュレーションによって導出した。その結果、ゲート速度と空気巻き込み量はゲート厚みに比例することを明らかにした。鋳造シミュレーションにより決定したゲート厚みを鋳造金型に適用した。射出速度を変更して得られた鋳物試料に対し X 線 CT 内部測定、引張試験、ビッカース硬さ試験および凝固組織観察を行った。射出速度の高速化によって、ポロシティ体積が増加することを明らかにした。ポロシティ密度が、引張試験による破断形態や引張強さと伸びに影響を与えることがわかった。一方で、金属凝固組織の緻密化に影響し、引張強度と表面硬度が上昇することがわかった。これは、充填・冷却時間が短いため、共晶が速やかに形成されたことで、初晶 α -Mg の成長が抑制されたといえる。

第 3 章では、ダイカスト射出工程における溶湯の温度低下の要因を詳細に把握するために、射出スリーブおよびランナー温度の直接計測と、そのシミュレーション方法を検討した。その結果、注湯口からランナーに至るまでに約 100 K も温度が低下している様子が確認できた。これは、射出スリーブ内で溶湯が温度低下していることを示しており、射出スリーブにおいて約 1 K/mm の温度と距離の関係性が示唆された。このことは、シミュレーションによっても確認された。

第 4 章では、マグネシウム合金ダイカストにおける熱の影響を解明するために、溶湯を温度の高い状態で金型へ射出できるようなスリーブ加熱方式を開発し、金型温度に対する引張強さと硬さ、内部欠陥、凝固組織の関係について検討した。金型温度が上昇すると、ポロシティの発生が抑制され、引張強度が増加することが確認された。また、引張試験と X 線 CT 計測により、ポロシティ周辺の応力集中による部分的な破壊により、ポロシティ体積が増加していることがわかった。金型温度が高くなると、粒内破壊に比べて粒界破壊が増加するため、引張強さが増加することがわかった。また、新たに開発した抵抗加熱スリーブがチル層の成長を促進し、最終的に鋳物表面のビッカース硬さを上昇させることを明らかにした。このように、ダイカスト鋳造において、新しいスリーブ加熱方式の導入による熱制御が有効であることを実験的に確認することができた。

第 5 章では、本論文の究成果の結論および総括を行った。

以上述べた通り、本研究で提案したスリーブ加熱方式により、マグネシウム合金ダイカスト品の機械的特性を向上させることができ、今後のマグネシウム合金ダイカストの活性化を促すとともに、生産効率の向上によるコストダウンを期待できる。また本知見は、マグネシウム合金のみならず従来の材料や手法へも利用することができる極めて価値の高い結論であると考えている。