

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420760

研究課題名(和文) 消失模型鑄造における熱分解ガス層内の動的平衡と熱分解生成物の解明

研究課題名(英文) Clarification of thermal decomposition products and dynamic equilibrium in thermal decomposition gas layer on evaporative pattern casting process

研究代表者

丸山 徹 (MARUYAMA, Toru)

関西大学・化学生命工学部・教授

研究者番号：80330174

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：消失模型鑄造における熱分解ガス層内の動的平衡と残渣欠陥発生との関係を明らかにすることを目的として、鑄造中に発生する熱分解生成物と溶湯充填速度に及ぼす溶湯温度の影響を調査した。溶湯温度が900℃までに動的平衡は解重合支配型であるが、950℃以上になると動的平衡はモノマが更に分解することで定常状態とはならず、熱分解液化樹脂の発生量が著しく大きくなった。その液化物中には熱分解炭素の懸濁が認められ、溶湯充填初期で湯流れが遅くなり残渣欠陥が発生することが認められた。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the relationship between residue formation and dynamic equilibrium in thermal decomposition gas layer on evaporative pattern casting process, influence of molten metal temperature on mold filling rate and thermal decomposition products formed during casting were examined. The dynamic equilibrium is depolymerization type until 900℃ of molten metal temperature, and does not become static state due to decomposition of monomer over 950℃ of molten metal temperature. Also, the amount of liquefied resin was extremely large. Carbon particles as results of thermal decomposition were suspended in the liquefied resin. In addition, molten metal flow become slow, and residue was formed.

研究分野：鑄造工学

キーワード：消失模型鑄造 熱分解 ポリスチレン 湯流れ

1. 研究開始当初の背景

(1) 消失模型鑄造法は省資源・省エネルギー効果の高い鑄造法として知られている。しかし、熱分解ガスの大量発生やタール状の熱分解生成物ができると、「溶湯の吹き返し」、「湯回り不良」、「残渣の発生」といった鑄造欠陥が発生することから、我が国の年間鑄物生産量約500万tの内本法による鑄物は約3万tと1%に満たないのが現状である。欠陥を発生させないためには熱分解ガスを排出する塗型層の通気度がパラメータであることは知られているが、同じ条件で鑄造しても欠陥が発生する場合としない場合があり、十分に説明されていない。

(2) 従来の研究報告では、発泡模型の擬似的な分解実験や溶湯充填をX線で透視した湯流れ観察結果が報告されている。しかし、実際の鑄造では急速加熱による模型の熱分解と系外への排出が同時進行する動的な現象であるが、模型の熱分解と溶湯の充填を同時に観察して現象の解析を試みた研究はほとんどない。特に溶湯温度の高い鑄鉄溶湯を対象にした報告は皆無である。

(3) 消失模型鑄造における発泡模型の分解は急速加熱による分解であるにもかかわらず、従来の研究では加熱速度が考慮されていない。さらに、消失模型鑄造では熱分解生成物が系外に排出されながら未分解の模型が熱分解する動的な現象であるため熱分解ガス層中の組成も溶湯の充てんの進行とともに変化する。この動的平衡を理解するためには急速加熱された熱分解生成物を捕集・分析を行ない、刻々と変化する熱分解生成物の種類を明らかにすることが必要不可欠である。

2. 研究の目的

(1) 鑄造中の動的平衡を決定する因子を明らかにできれば、鑄造欠陥の発生メカニズムが解明され、鑄造方案の設計や科学的原理に基づくシミュレーションが可能になることから、溶湯温度及び塗型の通気度をプロセスパラメータとして以下の2点を明らかにすることを目的とした。

動的平衡にある発泡模型の熱分解ガス層中の生成物の捕集・分析。

溶湯充填速度と捕集物の状態(動的平衡)との関係。

(2) 上記で得られた結果をもとに模型の熱分解と溶湯充填における動的平衡及びその平衡状態の変化の有無を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 溶湯の乱流による影響を排除するために、溶湯が鑄型内に順次流入する押し上げ方案を採用した。模型には発泡ポリスチレンを用い、模型内に溶湯タッチセンサ、ガス圧測

定用パイプ、熱分解生成物捕集用パイプを導入した。また熱分解物を捕集するために本研究で開発した捕集トラップを用いた。鑄造温度は600 ~ 1200 とし、溶湯温度は融点の異なるスズ合金、銅合金、鑄鉄を用いることで変化させた。

(2) 鑄造実験によって得られた溶湯タッチセンサの記録、ガス圧測定結果を元に熱分解ガス層の厚さとその経時変化を解析し、熱分解ガス層内の動的平衡の解析情報とした。

(3) NMR、GC-MS などにより捕集物の分析を行った。分析を行う前に捕集物を顕微鏡で観察し、捕集物が単相であるか多相であるかを調べた。

4. 研究成果

(1) 溶湯の温度を変化させて鑄造実験を行い、発泡模型の熱分解ガス・ミスト・液化物の採取を行った結果、溶湯温度が900において液化物がほとんど発生しないことが明らかとなった。また、鑄造後の残渣を調べた結果、残渣はほとんど認められなかった。さらに、溶湯充填速度は他の温度(900未満、900超)と比べて速く、最も鑄造性に優れることが明らかとなった。

(2) 溶湯温度が950以上になると鑄造中に発生する熱分解液化物の量が多くなり、1200の鑄鉄溶湯を鑄込んだ時に発生する液化物の量は著しく多い結果となった。図1に銅合金(溶湯温度:900)と鑄鉄(溶湯温度:1200)を鑄造した際に採取された熱分解液化物を示す。900では白色のミストと僅かな液化物のみが認められたが、1200では黒褐色の液化物が多量に採取された様子が分かる。また、黒褐色液化物が生成した場合は鑄物と塗型層の間に残渣欠陥が認められた。一般にポリマーは温度が高いほどガスに分解するが、本研究では高温の1200の方が液化物が多いという逆の結果が得られた。このことは本研究によって明らかとなった新しい知見である。また、1200の高温においては、溶湯充填速度が遅い結果が得られた。従来より溶湯温度が高いと熱分解ガスの発生量が多くなることから溶湯充填速度が遅くなると考えられているが、液化物が多くなることを考慮した新しいモデルの構築が必要であることが明らかとなった。

(3) 溶湯温度が高いほど液化物が生じることが明らかになったことから、この液化物を鑄型内から系外に排出することが重要と考え、当初の研究計画を変更し、液化物を吸収する塗型層の厚さを変化させた実験を行った。その結果、塗型層の厚さが大きいほど溶湯充填速度が速くなり(図2)、湯流れ長も長くなることが明らかとなった。このことが

ら、鑄鉄など溶湯温度の高い金属の場合は熱分解液化物を吸収する塗型を用いることで鑄造性が改善されることが明らかとなった。

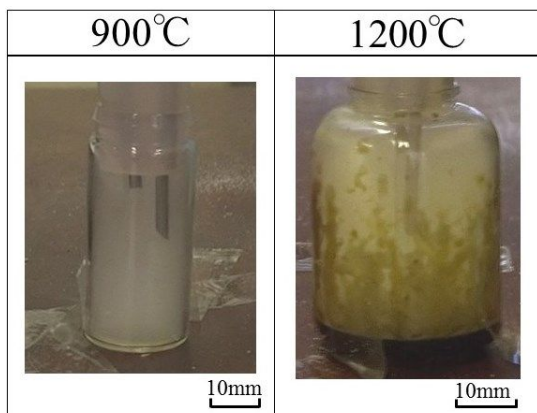


図1 銅合金（溶湯温度：900）と鑄鉄（溶湯温度：1200）を鑄造した際に採取された熱分解液化物

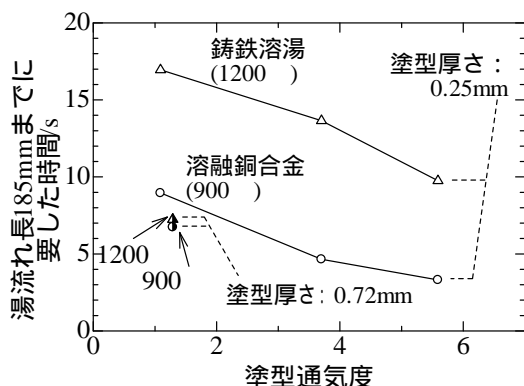


図2 溶湯充填速度と塗型通気度に及ぼす溶湯温度の影響

(4) 図1で示した黒褐色液化物が生じると溶湯充填速度が遅くなり、それを塗型で吸収すると充填速度が速くなったことから、黒褐色液化物が溶湯の充填を妨げていることが考えられた。このことを明らかにするために、溶湯充填初期の湯流れ測定を複数回行った。図3に湯流れに及ぼす溶湯温度の影響を示す。溶湯温度が900の湯流れ速度は充填初期で最も速く、時間の経過とともに遅くなることが分かる。この傾向は、本研究で採用した溶湯押し上げ方案の典型的な傾向であり、溶湯の充填速度は溶湯ヘッドに依存することを示している。このことから溶湯温度900における動的平衡は熱分解ガス発生と溶湯ヘッドのバランスで決まると考えられる。一方、溶湯温度が1200では溶湯充填初期で充填速度が遅く、湯流れ長が50mmを超えると充填が徐々に速くなる傾向を示した。このことから溶湯温度が高温の場合、溶湯充填初期で溶湯充填の妨げる現象が生じており、動的平衡は溶湯温度900の時とは異なることが分かる。

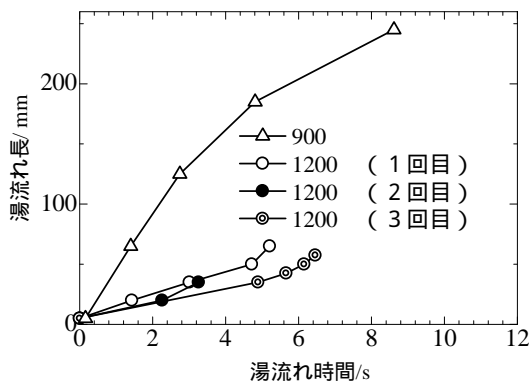


図3 湯流れに及ぼす溶湯温度の影響

(5) 溶湯温度が高くなると動的平衡が変化する理由を明らかにするために黒褐色液化物の分析を行った。その結果、主な成分はスチレンモノマとベンゼンであった。同様に溶湯温度が900の実験で得られた白色の液化物の分析を行った結果、黒褐色液化物と同じスチレンモノマとベンゼンが検出された。しかし、黒褐色液化物には熱分解炭素と考えられる懸濁物が多量に認められた。図4に1200の鑄鉄溶湯を鑄造した際に採取された黒褐色液化物の拡大図を示す。図中に見られる黄色部は液化物であり、濃色部は熱分解炭素である。黄色部は透明であるが熱分解炭素が多量に懸濁していることから、マクロ的には黒褐色を呈することが明らかになった。スチレンの化学式は C_8H_8 であり、分子内の炭素と水素の物質量は等しい。このことから、熱分解炭素の大量発生は水素成分の大量発生であることを意味する。水素が大量に発生すると鑄造中に爆発的にガスが発生することが考えられ、溶湯の充填の妨げになることが考えられる。GC-MSによる分析結果より、図4中の黄色液化物の中にはスチレンモノマが更に分解した物質が再結合したと考えられる化合物が多く認められた。一方で、白色の液化物からは、そのような化合物は認められず、模型の熱分解機構は黒褐色液化物が生成し始める950を超えたあたりから変化すると考えられる。

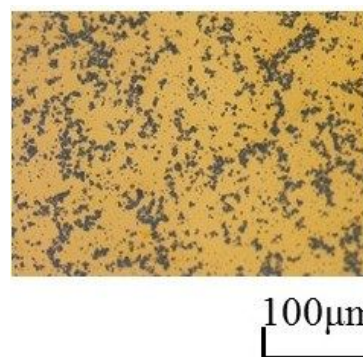


図4 1200の鑄鉄溶湯を鑄造した際に生じた熱分解液化物の拡大図

(5) 溶湯温度が900 までの模型の熱分解は、ポリスチレンの解重合が主体であることから、この時の動的平衡は解重合支配型であることが明らかになった。

(6) 溶湯温度が950 を超えると解重合したポリマが更に分解し、液化物が著しく増加することから、熱分解ガス層中の動的平衡は定常状態にならず、水素ガスの大量発生により爆発現象が生じ、溶湯の充填の妨げになることが明らかになった。

(7) 現在の消失模型鑄造のCAEにおいては、発泡模型の熱分解機構の遷移を考慮した解析技術は無いが、溶湯の充填速度が大きく左右する黒褐色液化物の生成を計算に考慮することで鑄鉄のような高温溶湯の湯流れシミュレーションが可能になり、残渣欠陥の発生予測も可能になると期待される。今後の展開としては、残渣欠陥の発生条件の詳細が明らかになることで、発泡模型の組成、溶湯温度、塗型の通気度などの鑄造のプロセスパラメータから模型の熱分解残渣の発生予測が可能となる。このことより省資源、省エネルギーで環境負荷物質の排出が少ない消失模型鑄造の普及率が、現在の1%未満から飛躍的に増大すると期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

Toru Maruyama, Gou Nakamura, Mitsuyoshi Tamaki and Keisuke Nakamura, Effect of coating thickness on the molten metal filling rate of cast iron in the evaporative pattern casting process, International Journal of Metalcasting, 査読有, Vol. 11, 2017, pp.77-83

〔学会発表〕(計 4件)

下薄 拓実、中村 啓介、丸山 徹、消失模型鑄造の溶湯充填初期における湯流れ速度低下と熱分解液化成分及びガス成分の関係、日本鑄造工学会第168回全国講演大会、2016年9月25日、高知市文化プラザ(高知)

Toru Maruyama, Gou Nakamura, Mitsuyoshi Tamaki and Keisuke Nakamura, Effect of coating thickness on Melt filling Rate of Cast Iron in Evaporative Pattern Casting Process, The 72nd World Foundry Congress, 2016/5/23, Nagoya (Japan)

中村 啓介、中村 豪、丸山 徹、消失模型鑄造における黒褐色液化樹脂の生成に及ぼす溶湯温度の影響、日本鑄造工学会第167回全国講演大会、2015年10月25日、

室蘭工業大学(北海道)

中村 豪、玉置 充快、丸山 徹、鑄鉄の消失模型鑄造における模型分解と溶湯充填の直接観察、日本鑄造工学会第164回全国講演大会、2014年6月1日、京都市勤業館「みやこめっせ」(京都)

6. 研究組織

(1)研究代表者

丸山 徹 (MARUYAMA, Toru)

関西大学・化学生命工学部・教授

研究者番号：80330174