

|           |                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名       | 櫻庭 洋平                                                                               |
| 授 与 学 位   | 博士（工学）                                                                              |
| 学 位 記 番 号 | 博甲第 226 号                                                                           |
| 学位授与年月日   | 令和 7 年 3 月 21 日                                                                     |
| 学位授与の要件   | 学位規則第 4 条第 1 項                                                                      |
| 学位論文題目    | 溶接補修後の熱間用工具鋼における熱影響部の組織解析およびレーザ熱処理による耐割れ性改善の研究                                      |
| 論文審査委員    | 主査 教 授 大津 直史<br>教 授 星野 洋平<br>教 授 吉田 裕<br>教 授 菅野 亨<br>准教授 木場 隆之<br>高橋 英徳（北海道立総合研究機構） |

## 学位論文内容の要旨

アルミニウム合金のダイカスト鑄造用金型は、鑄造および鑄造品の取出し過程で 500 °C 近い温度差の加熱冷却に晒されるため、表面に熱疲労による微細な割れ（ヒートクラック）が生じ、鑄造品の寸法精度や面粗さが徐々に低下する。ヒートクラックの生じた金型は、損傷部分を切削除去した後に肉盛溶接で形状を復元されるが、溶接時による熱影響部（HAZ）に±100 HV 以上の硬化および軟化領域が形成され、これらによってヒートクラックが誘発されることから、新作金型の 5 分の 1 以下の鑄造回数で金型の再補修が必要となる。このため、補修後の金型を長寿命化するには、HAZ の硬化領域や軟化領域を母材の硬さに近づける追加処理が必要と考えられる。

HAZ の硬さを熱処理で制御するには、硬さ変化の原因となった HAZ 組織を冶金学的に分析し、それを元に適切な熱処理条件を決定することが不可欠である。本研究では最初に、一般的なダイカスト鑄造用金型に用いられる Mo 添加量を増加させた AISI H13（JIS SKD61）改良鋼に金型同様の溶接補修をした試験片を作製し、硬化領域や軟化領域の組織観察や結晶構造解析を行い母材原質部からの変化を調査した。その結果、溶接金属境界付近の 140 HV 以上硬化した領域ではマルテンサイト組織が形成され溶接時にオーステナイト変態温度以上に加熱され焼入硬化した。対照的に、溶接金属境界から 2.0 mm 以上離れ 200 HV 以上軟化した領域では、Fe, Mo, V の微細な粒状炭化物が増加しており、母材の焼戻温度以上に過熱されたことで母材に固溶する C 量が減少し、溶接前の焼戻二次硬化性が失われたため軟化した。

次に、HAZ の硬さ制御のために金型全体を熱処理すると、許容寸法以上にひずみリスクが増大する。そこで、局所的な入熱でひずみを最小限に抑えることが可能なレーザ熱処理に着目し、表面温度測定によりレーザ出力を調整し、HAZ に対する局所レーザ熱処理を行った。本研究では前項と同様に作製した試験片を用意し、表面温度とレーザ走査速度をパラメータとしてレーザ熱処理を行い、HAZ の硬さや微細組織の分析結果をもとに HAZ の硬さ制御に好適なレーザ熱処理条件を議論した。その結果、オーステナイト変態温度以上のレーザ熱処理ではマルテンサイト変態や残留オーステナイトの消失により硬化し、それ以下の温度では粒径 0.1 μm 以下の微細な析出炭化物が増加し軟化した。また、走査速度が遅く母材全体がマルテンサイト変態温度以上に加熱された場合、レーザ熱処理の表面温度が同じでも冷却時間が長くなり、マルテンサイト組織が形成されず軟化した。

## 審査結果の要旨

鑄造用金型に用いる熱間用工具鋼は、使用しているうちにしばしば割れ（クラック）が発生してしまい、肉盛溶接による補修が必要となる。然るに、溶接補修した工具鋼は補修前と比較して耐割れ性が低下しており、またすぐに再補修が必要となってしまう。本論文は、この補修後工具鋼金型の耐割れ性低下の問題を解決し、長寿命化する方法について議論したものである。本文は大枠で二部から構成される。第一部では熱間工具鋼の溶接補修部近傍に形成される熱影響部の組織解析を詳細におこなっている。熱影響部には、マルテンサイト組織と炭化物析出を含む組織（トールスタイト組織）が形成しており、それぞれ本来の工具鋼と比較して硬化および軟化している領域となる。この硬化および軟化組織が起点となり、割れを誘発してしまうことを明らかにしている。第二部ではこの結果を踏まえて、レーザー焼き入れを活用してこれらの組織の均一化により硬さ分布を除去することを試みている。レーザーの設定温度と走査速度がこの結果に大きく関わる事を見出し、特に走査速度が遅くなると冷却速度の低下を招き、組織均一化が達成できないことを見出している。これらの成果は、**Materials Transaction** 誌（IF=1.18）にも公表されており、さらに産業応用も大きく期待できることから、博士（工学）の学位に値する研究成果を得ているものと評することができ、合格と判断した。