

## レーザー部分熱処理によるダイカスト金型の長寿命化技術の開発

櫻庭 洋平, 戸羽 篤也, 鶴谷 知洋, 鈴木 逸人, 三戸 正道, 宮腰 康樹, 板橋 孝至,  
中嶋 快雄, 飯野 潔, 高田 公一\*, 高橋 保行\*\*, 斉藤 倫正\*\*, 大津 直史\*\*\*,  
長船 康裕\*\*\*\*

### Development of the Life Extension Technology for Die-casting Mold by Laser Local Heat Treatment

Yohei SAKURABA, Atsuya TOBA, Tomohiro TSURUYA,  
Hayato SUZUKI, Masamichi MITO, Yasuki MIYAKOSHI,  
Koji ITABASHI, Yoshio NAKAJIMA, Kiyoshi IINO,  
Koichi TAKADA\*, Yasuyuki TAKAHASHI\*\*, Noritaka SAITOH\*\*,  
Naofumi OHTSU\*\*\*, Yasuhiro OSAFUNE\*\*\*\*

#### 抄 録

ダイカスト casting は、寸法精度の高いアルミニウム部品などの量産に適した精密 casting 法であり、北海道内では多くの自動車用アルミダイカスト部品が生産されている。しかし、道内工場で使用されるダイカスト金型の大半は道外で製作・補修されており、補修に伴う輸送コストや時間ロスがダイカストメーカーにとって負担となっている。

本研究では、溶接補修したダイカスト金型の耐久性低下を改善するため、溶接補修部のみをレーザーで改質する部分熱処理技術を開発した。溶接補修した金型材料をレーザー照射し、溶接による熱影響部の硬さを母材と同水準に回復する条件を明らかにした。また、凹凸形状の溶接補修部にレーザーを照射し、凹部ではレーザー出力を増加させ、凸部では減少させる必要があることを明らかにした。さらに、溶接補修のみの金型とレーザー熱処理を加えた溶接補修金型についてヒートチェック発生までのショット数を比較した結果、ショット数が約60%増加した。

**キーワード：**ダイカスト金型, ヒートチェック, レーザー熱処理, 熱影響部, 金型形状, 長寿命化

#### Abstract

Die-casting is the precision casting method suitable for the mass productions such as aluminum parts having high dimensional accuracy, and many aluminum die-casting parts for automotive are produced in Hokkaido. However, Die-casting factories in Hokkaido are burdened with transportation cost and time loss of the repaired die, because most of die-casting molds are produced and repaired the outside of Hokkaido.

In this study, we developed laser local heat treatment technology, that are used for only the welding repaired part, to improve the durability of welding repaired mold. Laser irradiation are used for welding repaired material, and discovered the condition to revive the hardness of heat affected zone by welding, to the same level of base material. Laser irradiation are used for the part of irregularities shape, and discovered the necessity to adjust the laser power, such as, increased to concave region and decreased to convex region. Number of shots are compared, between the mold applied laser local heat treatment and only for welding repaired, and increased the number of shots about 60%

**KEY-WORDS :** Die-casting Mold, Heat Check, Laser Heat Treatment, Heat Affected Zone, Shape of Die, Life Extension

\* ホクダイ 株式会社 Hokudai Co.Ltd. \*\* 苫小牧市テクノセンター Tomakomai Industrial Technology Center

\*\*\* 北見工業大学 Kitami Institute of Technology \*\*\*\* 室蘭工業大学 Muroran Institute of Technology

事業名：重点研究

課題名：レーザー加工を利用した自動車部品用金型の長寿命化技術の開発

## 1. はじめに

ダイカスト鋳造法は、金型に溶融したアルミニウム合金や亜鉛合金を加圧注入し、短時間で凝固させて製品を鋳造する精密鋳造法のひとつである。この鋳造法は砂型鋳造などと比べ寸法精度が高く、また金型から製品を取り外した後すぐに次の製品を鋳造できることから大量生産にも適している。北海道内では、1990年前後からバルブボディ、ウォーターポンプボディ、トランスミッション筐体など、自動車用アルミダイカスト部品の製造工場が道内に進出している。特に2011年の東日本大震災以降は、部品供給のリスク分散の観点から既存工場の設備増強や関連企業の進出が進み、現在では国内の主要な生産拠点となっている。しかし、道内の工場で使用されるダイカスト金型は、大半が道外で製作されており<sup>1)</sup>、損傷時の補修作業についても道内の金型関連メーカーで対応できない工程や処理が多いため、未だに道外への依存度が高い。これにより、補修する金型の輸送コストや時間ロスの発生が、道内のダイカストメーカーにとって負担となっている。その一方で、道内の金型関連メーカーにおいては金型補修業務の受注拡大に対する期待が高まっており、ユーザ側のダイカストメーカーと金型関連メーカーの双方から地元企業による金型補修技術の強化が求められている。

ダイカスト鋳造では、金型の表面にヒートチェックと呼ばれる微細な割れが発生し(図1)、製品の寸法精度が維持できなくなるため、溶接による定期的な補修が必要となる。しかし、補修した箇所は金型によっては新作時の1/10以下のショット数で再び損傷するため、耐久性の向上が求められている。

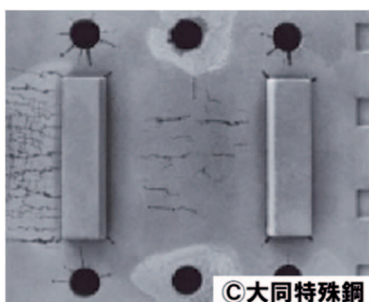


図1 ダイカスト金型のヒートチェック<sup>2)</sup>

本研究では、補修したダイカスト金型で課題となっている溶接補修部の耐久性低下を改善するため、金型全体への入熱を最小限に抑えながら、耐久性低下の原因となる溶接補修部のみの材料組織を改質するレーザー部分熱処理技術を開発し、従来の溶接補修のみの材料と耐久性を比較した。また、レーザー部分熱処理を実製品の金型に適用し、従来の溶接補修金型とヒートチェック発生までのショット数を比較した。

## 2. ダイカスト金型のレーザ部分熱処理

### 2.1 ダイカスト金型の損傷形態と補修の現状

図2に、ダイカスト鋳造の製造サイクルを示す。アルミニウム合金のダイカスト鋳造(以下アルミダイカスト)の場合、650℃以上の溶融金属が金型の表面に接し、凝固するまで数10秒から数分程度保持した後に製品を取り出し、離型剤を塗布して再び次の溶融金属が供給される。離型剤を塗布した時に、金型の表面温度が150℃前後まで低下することから、金型の表面は数10秒間隔で500℃前後の急激な温度変化に晒される<sup>3)</sup>。

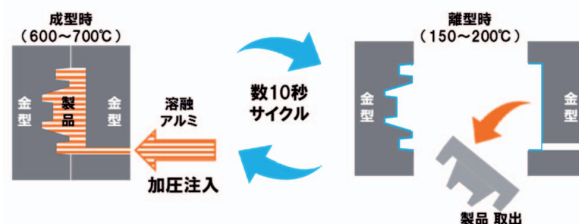


図2 ダイカスト鋳造の製造サイクル

この温度変化によって金型の表面にヒートチェックが生じ、製品ショットを繰り返すうちに割れが徐々に拡大していく。金型の割れは製品側に転写されるため、割れが拡大すると面粗さや寸法精度が低下し、ヒートチェックが繋がって金型が欠損(大割れ)するなど、製品不良の原因となる。

損傷した金型は、損傷箇所を切削で除去した後、金型本体(以下母材)と同系統の溶加材を肉盛溶接し、切削や研磨仕上げを経て元の形状に戻される。しかしながら、溶接補修した箇所では金型の新作時に施した熱処理や、窒化処理・コーティング処理などの表面改質層が失われるため、新作時と比べて耐久性が大幅に低下し、短時間で再び損傷が発生する(図3)。このため、金型が使用不能となるまでに、多いもので20回前後の溶接補修が必要となる。

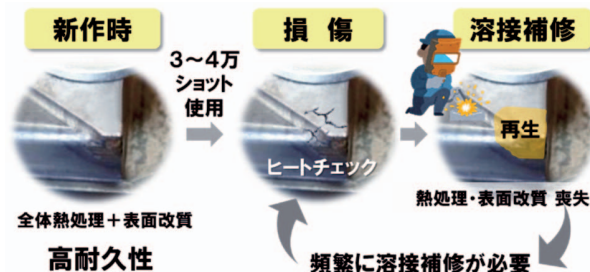


図3 金型の溶接補修サイクル

溶接補修部の耐久性を新作金型と同水準まで回復させるには、一旦金型全体を焼鈍して熱処理前の材料組織に戻し、改めて熱処理や表面改質を施すのが理想的である。しかしこの方法は、焼鈍や再熱処理の際に金型が変形するため溶接補修

前の寸法精度が維持できず、加えて新作時と同等以上の加工コストや加工時間が必要になることから、現場では殆ど行われていない。このため、現場では個々の金型毎に新作コストと溶接補修を繰り返すコストとの折り合いをつけ、溶接補修と廃棄を選択しているのが現状である。

## 2.2 溶接補修後の金型組織

肉盛溶接したダイカスト金型材料の肉盛溶接部から母材にかけて、溶接補修部の表面から測定した硬さ分布を図4に、各部の断面組織の写真を図5に示す。

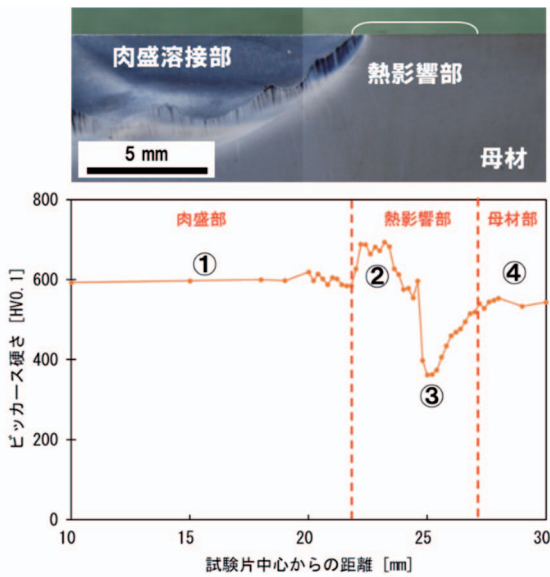


図4 溶接補修部の断面と硬さ分布の関係

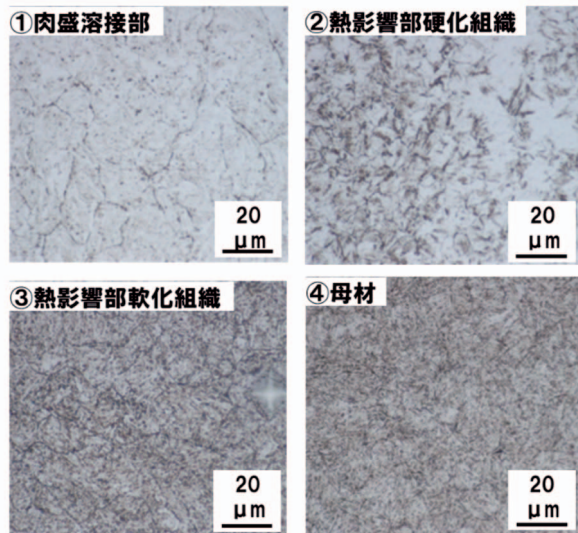


図5 溶接補修部各部の断面組織

図4①の溶加材を肉盛溶接した領域（以下肉盛溶接部）では、材料組成や熱処理状態が母材と異なるため、必然的に硬さや金属組織も異なったものとなる。次に、②③の熱影響部では、材料組成は母材と同じだが、肉盛溶接部に近づくほど④の母材に比べて組織が不均一となり、肉盛溶接部に近い部

分（以下硬化領域）では母材と比べビッカース硬さで100HV以上硬化し、母材寄りの部分（以下軟化領域）では200HV近く軟化していた。硬さ分布が大きく変化する熱影響部は熱応力の影響を受けやすくなり、また硬さの低い材料ほどヒートチェックの発生や割れの進展が早いことが既往の研究で報告されている<sup>4)</sup>。このため、硬さ分布の不均一さを低減することが耐久性改善に効果的と考えられる。

## 2.3 レーザ熱処理

レーザー熱処理は、熱源にレンズ等で収束させたレーザー光を利用する部分熱処理手法のひとつである。レーザー熱処理の長所として、高周波焼入や炎焼入などの既存の部分熱処理手法と比べ加熱領域を小さくできることや、レーザーの出力調整で入熱量を任意に制御可能なことが挙げられる。これにより、切削工具の刃先やギア歯面、プレス金型のエッジ部分の焼入など、硬さや耐摩耗性が必要な小領域のみを改質する場合に利用されている<sup>5)</sup>（図6）。

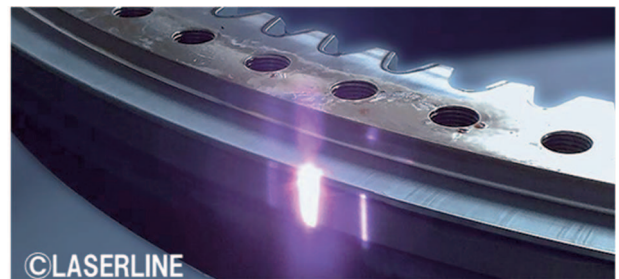


図6 レーザ熱処理の実用例（ギア軌道部）<sup>6)</sup>

## 3. 実験目的・実験方法

図4に示したように、溶接補修部は複雑な硬さ分布を示すことから、どの材料組織をどのような条件でレーザー照射するか判断が重要となる。また、溶接補修部は性質の異なる材料組織が連続しているため、レーザーの熱影響でひとつの組織が最適化されても、隣接する組織の性状が悪化することも考えられる。このため、熱処理条件は個々の組織だけでなく、母材を含む他の組織への熱影響も考慮する必要がある。

さらに、レーザー熱処理による組織変化は、加熱部の形状や熱容量によっても異なってくるため、平坦面と同等の硬さ分布を得るためには、レーザー出力などの照射条件を形状に応じて適切に補正する必要がある。

このため本研究では、平坦面の溶接補修部の硬さ分布を改善する、基準となるレーザー熱処理条件を検討し、その後凹凸形状を設けた箇所でも平坦面と同様の硬さ分布が得られるレーザー熱処理条件を検討した。また、レーザー熱処理によるヒートチェック耐性を確認するため、溶接補修部に実際のダイカスト金型と同様の加熱・冷却サイクルを加え、割れが生じるまでの耐久性を比較した。

### 3.1 溶接補修部のレーザー熱処理条件の検討

溶接補修部の基準となるレーザー熱処理条件を探るため、本研究では溶接補修した金型鋼の平板上にレーザー出力、走査速度、照射回数を変えてレーザーを照射し、試験片表面の硬さ分布や断面組織を比較して、目標とする硬さ分布が得られる照射条件を検討した(図7)。

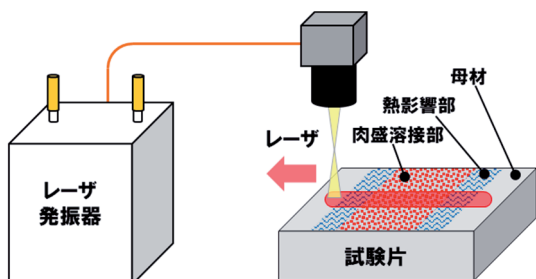


図7 レーザー熱処理実験の概要図

試験片は、図8のように80×70×20mmの金型鋼母材の上に深さ3mmの溝を作り、そこに溶加材を肉盛溶接したものを用意した。試験片の表面を平面研削盤で仕上げた後、母材から肉盛溶接部にかけて直線状にレーザーを照射した。レーザーはファイバーレーザー(IPG Photonics, YSL-2000, λ=1,070nm)を使用し、硬さ分布はビッカース硬さ計(株)マツザワ, MMT-X3)で測定した。試験片の材料は、母材には大同特殊鋼(株)のSKD61改良鋼DH31-Sを使用し、溶加材には熱間加工工具用の溶接材DIN 8555 WSG 3-GZ-45-Tを使用した。材料組成は表1のとおりで、母材には実際のダイカスト金型と同様の熱処理(焼入焼戻, 硬さ550~600HV)を加えた。肉盛溶接の溶接条件は表2のとおりとした。

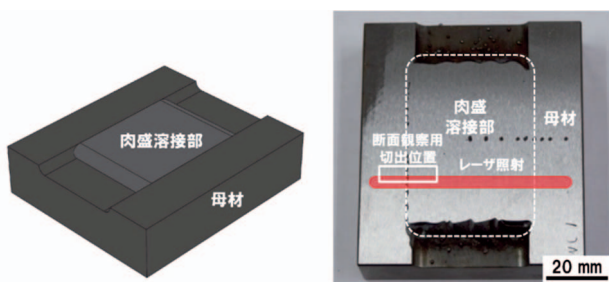


図8 金型鋼試験片

表1 金型母材と溶加材の材料組成

溶接材料	化学成分 (wt%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ti	V
金型母材	0.33	0.3	0.6	0.07	—	0.04	0.08	5.5	2.9	—	0.8
溶加材	0.25	0.5	0.7	—	—	—	—	5.0	4.0	0.6	—

表2 試験片の肉盛溶接条件

溶接方法	MAG溶接	※ 走行台車による自動溶接
予熱条件		350℃
溶接条件	パス間温度	200~300℃
	後熱条件	350~400℃・1時間保持

レーザー照射条件は、レーザー光の焦点直径をφ4.0mmに固定し、レーザー出力と走査速度は予備実験で硬さの変化が発生した200W, 1.0mm/sとした。レーザーの照射回数は1~3回とし、同じ位置に重ねて照射したが、3回照射については試験片が溶融し、熱処理としては不良となったため対象から除外した。

断面組織の比較は、レーザー照射した位置を照射方向に沿って切断し、断面を1μmまでバフ研磨した後ナイトル液でエッチングし、実体顕微鏡(オリンパス(株), SZX16)及び金属顕微鏡(オリンパス(株), GX71)で観察した。また、硬さ変化の原因を探るため、EPMA(日本電子(株), JXA-8100)による組成分析を行った。

レーザー熱処理の良否は各組織の硬さから判定した。母材から肉盛溶接部の硬さを、図9の帯状に示す500~600HVの範囲に納めることとし、①硬さ変化による熱応力の集中を緩和することと、②ヒートチェックの発生リスクが高い軟化領域を解消することを目指した。

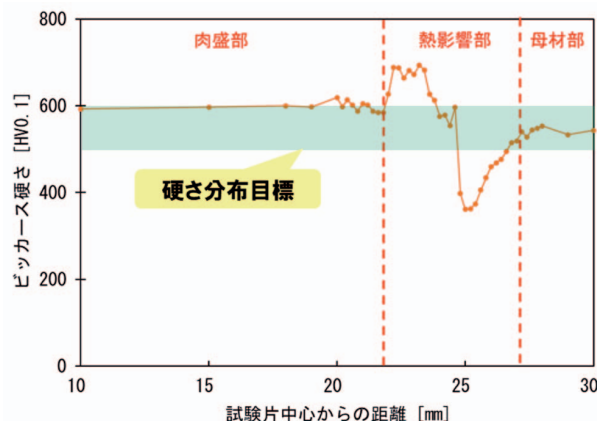


図9 硬さ分布の目標イメージ

### 3.2 金型形状を考慮したレーザー熱処理条件の検討

レーザー熱処理を加える部分の、形状や熱容量による温度履歴の変化に対応する熱処理条件を探るため、凹凸形状を設けた金型鋼試験片にレーザーを照射し、平坦面と同等の硬さ分布が確認される照射条件を検討した。

3.1節の金型鋼試験片の、母材から肉盛溶接部にまたがる部分を切り出し、図10のように直角の凹凸部を設け、凹凸部の頂点を狙って3.1節と同様に母材部から肉盛溶接部にかけてレーザーを照射した。その後、熱影響部軟化領域の断面を切り出し、硬さが平坦面と同等に回復するレーザー出力を求めた。レーザーの照射条件は、焦点直径φ4.0mm、走査速度は1.0mm/s、照射回数2回で固定し、レーザー出力のみ凹部で200~350W、凸部で100~200Wに変化させた。硬さの評価はビッカース硬さで行ったが、凹部凸部ともに試験片の表面からは硬さを測定できないため、レーザー熱処理前の軟化領域で試験片を切断し、レーザー照射した表面から深さ0.05~0.20mmの断面硬さの平均値で比較した。

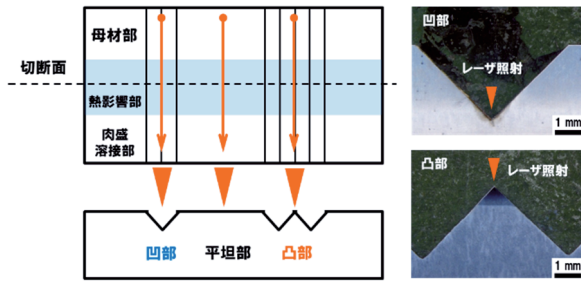


図 10 凹凸部を設けた金型鋼試験片

### 3.3 レーザ熱処理の耐久性試験

#### 3.3.1 金型鋼試験片による熱サイクル試験

レーザー熱処理による耐久性の改善効果を確認するため、3.1節の金型鋼試験片に加熱と冷却を繰り返す熱サイクル試験を行った。試験片形状を図11に、実験装置を図12にそれぞれ示す。

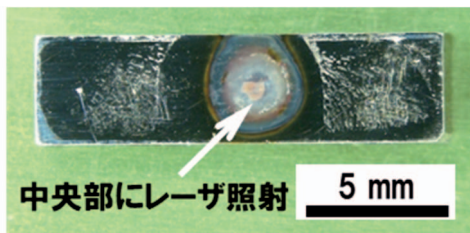


図 11 熱サイクル試験片

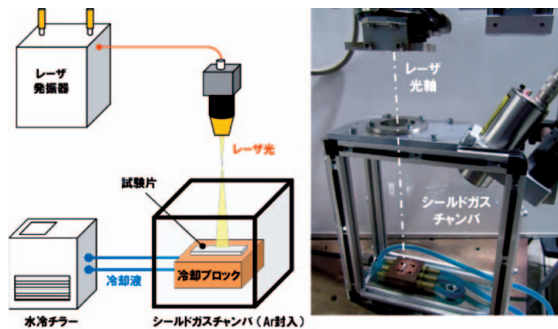


図 12 熱サイクル試験片装置

金型鋼試験片から切り出した $15 \times 4 \times 2.0$ mmの試験片を、実験装置の冷却ブロック上に固定治具で取り付け、ガスチャンバ内にアルゴンガスを5 L/minで常時供給した。熱サイクル試験片を切り出す位置は、中央部が熱影響部の軟化組織になる位置とし、レーザー熱処理ありの熱影響部となしの熱影響部で耐久性を比較した。

冷却ブロックには、水冷チラーから常時 $+5$ ℃の冷却水が供給されており、試験片を冷却しながらチャンバ外から試験片の中央部にレーザーを照射した。レーザーは一定周期で繰り返しON-OFFさせ、試験片の熱膨張と冷却収縮を繰り返すことで割れを発生させた。レーザーの照射条件は、焦点直径 $\phi 6.0$ mm、レーザー出力240W固定とし、加熱4s冷却4sの8s周期で照射した。

熱サイクルを加えた試験片は、100サイクル毎にレーザーを停止して取り外し、バフ研磨で表面の酸化スケールを除去した後、金属顕微鏡などで割れの有無を観察した。レーザー照射した部分に図13のような割れが確認された時点で照射を打ち切り、このときのサイクル数でヒートチェック耐性を比較した。

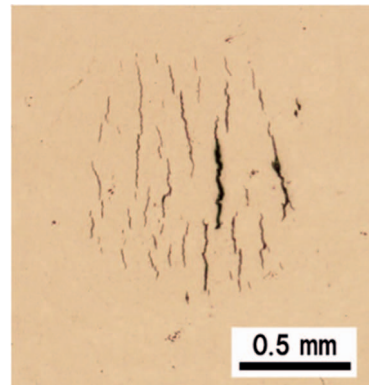


図 13 熱サイクル試験で発生した割れ

試験片の固定治具は、図14左図のように3パーツで構成され、レーザーを照射する試験片の中心部のみが表面から見えるよう図14右図のように取り付け、試験片の中央に熱応力が集中するようXYZの全方向からねじで固定した。ねじ固定の締め付けトルクは、試験片の拘束力を一定にするため全て $3.0\text{N}\cdot\text{m}$ とした。

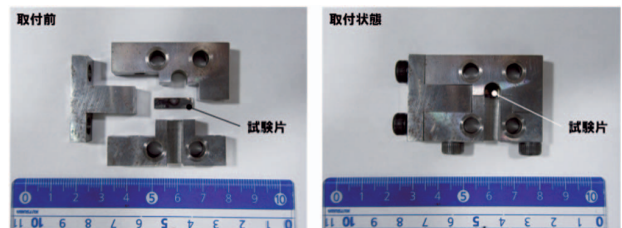


図 14 試験片固定治具

#### 3.3.2 実製品による耐久性実証試験

レーザー熱処理を加えた金型の、実際の耐久性を評価するため、溶接補修した実製品の金型で実際にダイカスト铸造を行う実証試験を行った。実証試験は、従来の溶接補修金型と、溶接補修後の熱影響部にレーザー熱処理を加えた金型で実際に製品をショットし、金型が寿命と判定されるまでのショット数を比較した。金型の寿命判定は、毎日の終業直前にショットした製品の寸法を検査し、測定箇所の変形量が寸法許容値の範囲を超えた時点で判定した。レーザー熱処理の照射条件は、前項3.1で得られた焦点直径 $\phi 4.0$ mm、レーザー出力200W、走査速度1.0mm/sとした。

金型にレーザー熱処理を加える熱影響部の位置について、実際に使用する金型は、金型鋼試験片のように切断や硬さ測定で熱影響部を探ることができないため、溶接補修時の肉盛溶接部の形状から位置を推定した。

位置推定の方法は、非接触三次元測定（図15）で肉盛溶接後と切削仕上後の形状をそれぞれ測定し、両者の形状データを照合させることで肉盛溶接部の境界を割り出した（図16）。軟化領域の位置は、金型鋼試験片の実験結果から肉盛溶接部境界より2.0~2.5mmの位置と推定し、この位置にレーザー熱処理を加えた。

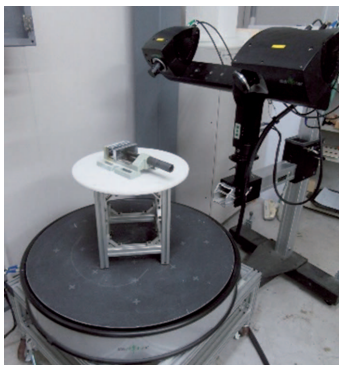


図 15 非接触三次元測定システム

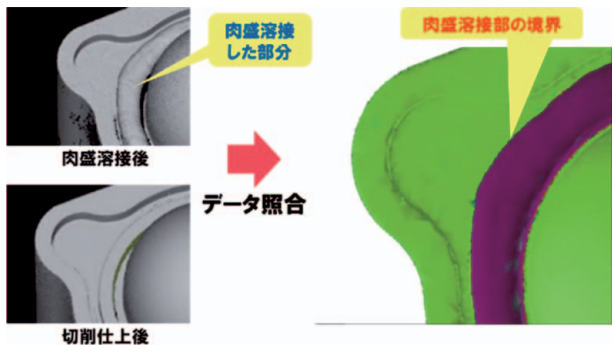


図 16 三次元測定画像から検出した溶接補修部の境界

## 4. 結果と考察

### 4.1 溶接補修部のレーザー熱処理条件の検討

金型鋼試験片の母材から肉盛溶接部にかけての硬さ分布について、図17にレーザー照射なしの測定結果を、図18, 19にレーザー1回照射と2回照射の測定結果をそれぞれ示す。グラフの横軸は、肉盛溶接部と母材の境目を0として表記した。

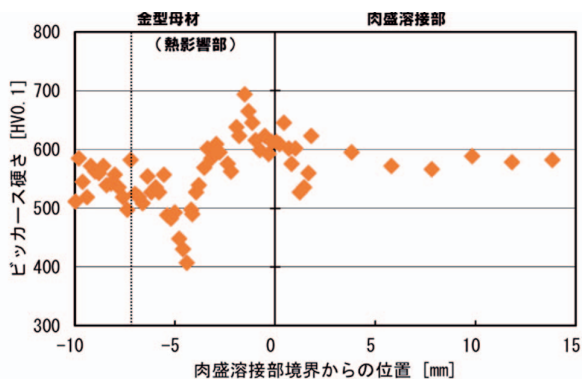


図 17 レーザ照射なしの表面硬さ分布

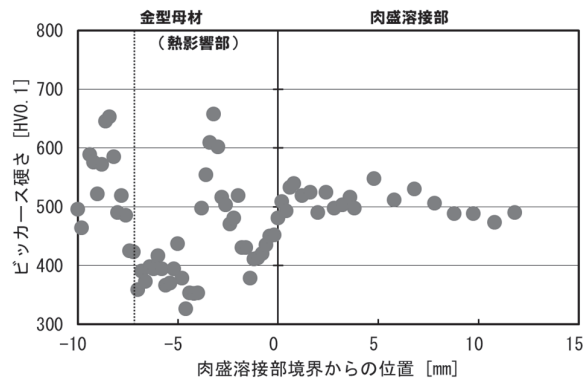


図 18 レーザ1回照射の表面硬さ分布

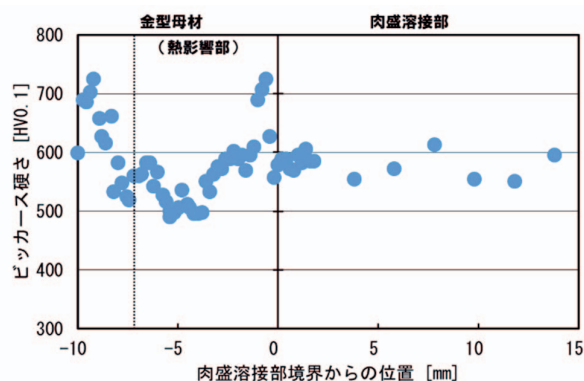


図 19 レーザ2回照射の表面硬さ分布

溶接補修後の硬さ分布は、図17のとおり肉盛溶接部境界から約2mm付近に硬化領域が、4~5mm付近に硬化領域が形成された。レーザー1回照射では、図18のとおり熱影響部の硬化領域であった部分が軟化し、軟化領域も肉盛溶接部の境界から約7mmまで拡大した。レーザー2回照射では1回照射と異なり、図19のとおり硬化領域であった部分の軟化は見られず、一部に700HV前後の領域が残ったことを除いて550~600HVに硬さが回復した。また軟化領域についても、レーザー熱処理前に最小400HV前後まで低下した硬さが500HV前後まで回復し、母材から溶接補修部にかけての硬さ変化が500~600HVの範囲に緩和された。なお、肉盛溶接部の境界から母材側の8~10mmの領域はレーザー熱処理の始末端に相当し、入熱状態が他の部分とは異なるため硬さの評価から除外した。

次に、レーザー熱処理による熱影響部軟化領域と硬化領域の境界付近の組織変化について、レーザー照射なしとレーザー2回照射の断面組織をそれぞれ示す。(図20, 21)

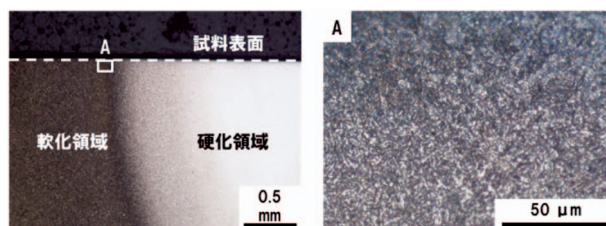


図 20 レーザ照射なしの熱影響部組織

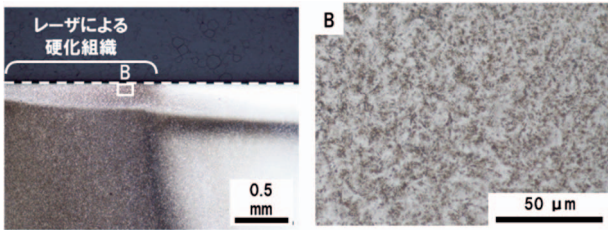


図 21 レーザ 2 回照射の熱影響部組織

図20左側のマクロ組織写真のとおり、レーザ熱処理されていない熱影響部では硬化領域と軟化領域に明瞭なコントラスト差が生じており、最軟化領域Aを拡大した組織も図5の軟化組織と類似している。一方、図21のレーザ熱処理後の組織は、軟化領域の表層0.2~0.3mmの部分が硬化領域の白色に近い色に変化しており、最軟化領域Bの拡大組織についても硬化組織と類似の白色部が増加する傾向が見られた。

レーザ熱処理で軟化領域の硬さが回復する要因については、加熱による再焼入や、析出炭化物の影響が考えられる。しかし、前者については図21の硬さが回復した組織と母材の焼入焼戻組織に類似性は見られず、後者については母材の構成元素と炭素をEPMAで面分析しても明確な炭化物の生成は認められなかった。このため、硬さ回復の要因については今後とも継続的に検討することとした。

#### 4.2 金型形状を考慮したレーザ熱処理条件

凹凸部のレーザ熱処理におけるレーザ出力と断面硬さの関係について、図22、図23に結果を示す。

図22のとおり、凹部では平坦部で硬さが回復した出力200Wでは硬さは回復せず、出力を350Wまで上げて初めて硬さが回復した。これに対し凸部では、図23のとおり、出力120W以上で硬さが回復し、出力300Wでは凸部の先端が溶融した。

硬さが回復するレーザ出力が変化した場合について、図24のようにレーザの焦点径がφ4mmとなる位置を基準とし、

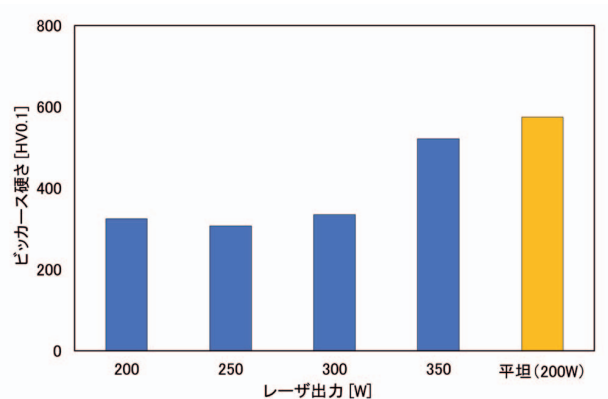


図 22 レーザ出力と硬さの関係 (凹部)

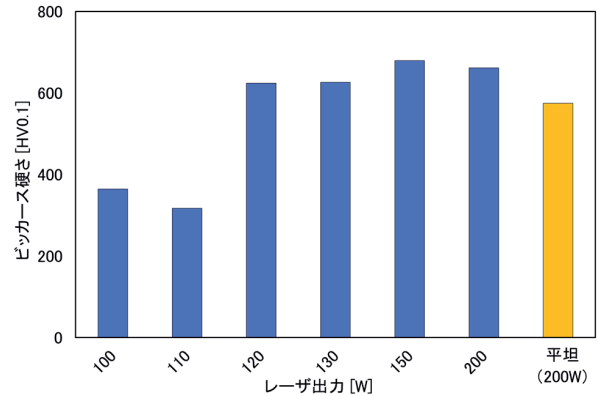


図 23 レーザ出力と硬さの関係 (凸部)

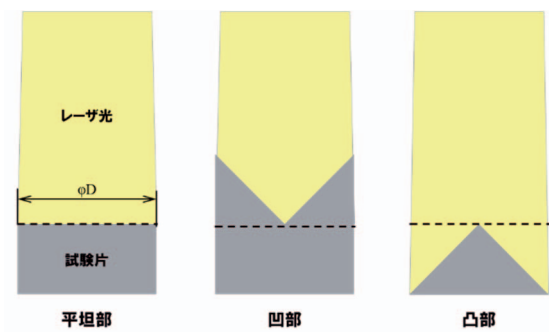


図 24 焦点位置を基準としたレーザ照射領域の体積

照射された領域の体積と硬さが回復したレーザ出力との関係を比較した。図25に、平坦部を1.0としたレーザ照射領域の体積比と、硬さが回復したレーザ出力との関係を示す。

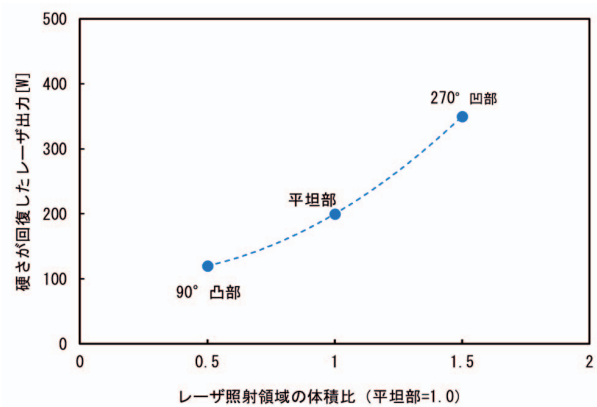


図 25 レーザ照射領域の体積比とレーザ出力の関係

その結果、凹凸部の硬さを平坦部と同程度に回復するためには、図25のとおりレーザ照射部の体積比が大きいほど高いレーザ出力が必要となることがわかり、体積比が支配的な要因となる傾向が見られた。

### 4.3 レーザ熱処理の耐久性試験

#### 4.3.1 金型鋼試験片による熱サイクル試験

図26に、熱サイクル試験による耐久性比較の結果を示す。

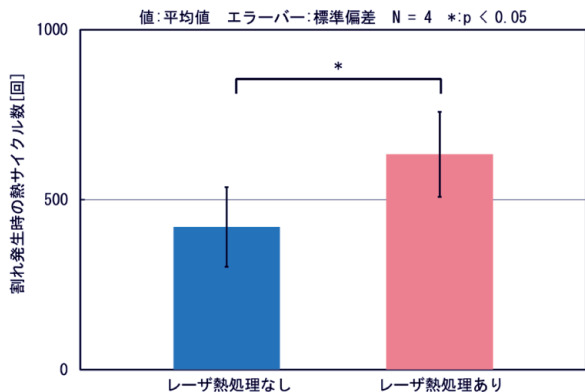


図26 熱サイクル試験によるレーザー熱処理部の耐久性比較

熱影響部の軟化領域にレーザー熱処理を加えたものは、熱処理なしと比べ熱サイクル数が50%以上増加し、ヒートチェックに対する耐久性が向上した。

本試験でクラックが発生したサイクル数について、後述の実証試験と比べ一桁以上少なくなっている。この原因について、熱サイクル試験のレーザー出力を試験片が溶融しない範囲の最大出力に設定したため、レーザー照射点の最高温度は1000℃以上と推定される。さらに冷却時の温度は10℃以下に低下するため、1サイクルの温度差は1000℃以上となる。これに対し、実際の金型に加わる温度差は前述のとおり500℃前後であり、加熱時と冷却時の温度差が実際の金型の2倍以上と予測されることから、クラックの発生が促進されたと考えられる。

また、ヒートチェックは一般的に、図1の左側のように全方向に広がるが、本実験では図13のように一方向のみに割れが広がっている。この原因について、図14のとおり試験片の中心部以外は固定治具または冷却ブロックと密着しており、試験片の拘束力は全て方向とも同じである。しかし、レーザー照射部の上側のみ、レーザーの光軸を塞がないよう固定治具に円弧状の切欠を設けたため、この部分のみ試験片と密着せず冷却速度が低下した。これにより熱応力が不均一になり、試験片の長手方向の熱応力が最大なることを解析で確認できたことから、本実験のヒートチェックが一般的な形態と異なると考えられる。

#### 4.3.2 実製品による耐久性実証試験

図27に、実製品の金型を用いた耐久性実証試験の結果を示す。

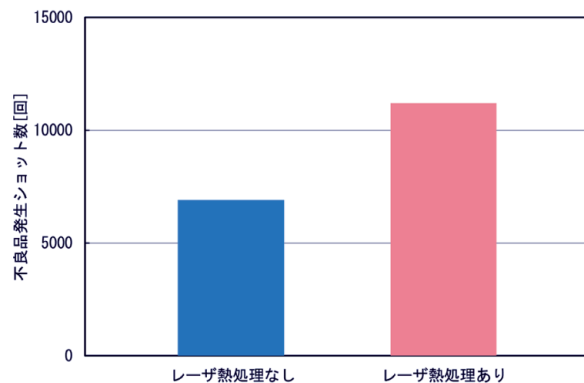


図27 実製品の金型によるレーザー熱処理部の耐久性比較

図27のとおり、レーザー熱処理を加えた金型では未処理の金型に比べて、不良品が発生するまでのショット数が60%以上増加しており、熱サイクル試験と同様に耐久性が向上した。

## 5. おわりに

本研究では、溶接補修したダイカスト金型の耐久性低下を改善するため、熱応力の集中や硬さの低下によってヒートチェックが早期に発生し進展する溶接補修部のみを改質する、レーザー部分熱処理技術を開発した。

- (1) 肉盛溶接を施した金型鋼試験片でレーザー熱処理実験を行い、母材と比べ±100HV以上の軟化領域と硬化領域が混在する熱影響部の硬さを、母材や肉盛溶接部と同水準に回復させるレーザー熱処理条件が得られた。
- (2) 凹凸形状に対するレーザー熱処理において、硬さを回復させるためには平坦面と比べ凹部ではレーザー出力を増加、凸部では減少させる必要があることを明らかにし、レーザー照射部の体積比（熱容量）によって必要なレーザー出力が変化する傾向が見られた。
- (3) レーザ熱処理による溶接補修部の耐久性を、レーザー加熱による熱サイクル試験と、実製品の金型による実証試験と比較し、従来の溶接補修のみと比べサイクル数、ショット数ともに50%以上増加し、ヒートチェック耐性が改善した。

今後は、金型補修の多くを道外に依存するダイカストメーカーに技術を普及し、金型の運用コスト削減に役立てる。また、道内の金型メーカーやレーザー加工専門メーカーにも技術を普及し、道内外からの補修業務の受注拡大に役立てる。

## 謝辞

本研究で使用したファイバーレーザー加工溶接装置・試料理込装置、実体顕微鏡、金属顕微鏡、非接触三次元測定システ



ムは、国立研究開発法人科学技術振興機構の地域産学官共同研究拠点整備事業により整備されました。記して感謝いたします。

## 引用文献

- 1) 経済産業省工業統計，型種別都道府県別金型生産額および事業所数（2017）
- 2) 横井直樹・河野正道・井上幸一郎，ダイカスト用金型のヒートチェックに及ぼす硬さと合金元素“モリブデン，シリコン”の影響，大同特殊鋼，電気製鋼 第81巻1号，pp.25-31，（2010）
- 3) 日原政彦，ダイカスト用金型の寿命対策，日刊工業新聞社，pp.49-50，（2003）
- 4) 日原政彦，ダイカスト金型における寿命向上技術動向，素形材センター，素形材 49巻2号，pp.18-24，（2008）
- 5) 辻川正人，レーザを活用した金型熱処理技術～レーザ技術を利用した金型イノベーションに関する戦略策定から～，素形材センター，素形材 56巻10号，pp.30-35，（2015）
- 6) Laserline Co.Ltd. HP  
<https://www.laserline.com/jaint/%E7%86%B1%E5%87%A6%E7%90%86/>（2021.6.24）

