

確定日 令和3年8月18日

機 関 名	産業技術センター	課題コード	H300902	計画事業年度	H30 年度 ~ R2 年度					
				実績事業年度	H30 年度 ~ R2 年度					
課 題 名	自動車用複雑形状部品のための熱変形レスレーザー焼入れ技術に関する研究									
機関長名	佐藤 明		担当(班)名	加工技術、技術コーディネート、スマートものづくり技術						
連 絡 先	018-862-3414		担当者名	瀧田敦子、木村光彦、黒沢憲吾						
政策コード	2	政 策 名	社会の変革へ果敢に挑む産業振興戦略							
施策コード	1	施 策 名	成長分野の競争力強化と中核企業の創出・育成							
指標コード	1	施策の方向性	競争力強化による航空機産業と自動車産業の成長促進							
種 別	重点(事項名)	地域の独創性を高め世界的に通用する企業を育成する研究開発				基盤				
	研究	○	開発		試験		調査		その他	
	県単	○	国補		共同		受託		その他	
評 価 対 象 課 題 の 内 容										
1 研究の目的・概要 自動車部品は強度や耐摩耗性、耐疲労性が求められるため、高周波焼入れにより表面を加熱・急冷する表面硬化が必要な場合がある。高周波焼入れにより自動車部品(S45Cなどの低炭素鋼)の一部を部分的に硬化することができる。しかし、高周波焼入れを湾曲部材に用いると熱変形により曲げ角度の変化やねじりが生じて、全体のゆがみを誘発する。一方で、レーザー焼入れは高周波焼入れに比べて熱変形の影響を抑えられるが、対象が複雑形状部品では最適な焼入れ条件を見つけることが難しい。また、自己冷却による急冷が難しく、焼入れの層厚が不均一になることが先行研究で分かっている。層厚分布の制御や焼入れ中の応力変化、焼入れ後の強度についても検討し、複雑形状の自動車部品に適用できるようにレーザーの照射出力制御や加熱経路、冷却状態、加工後の変形特性等を相互に関連づけた焼入れ技術を確立する。										
2 課題設定時の背景(問題の所在、市場・ニーズの状況等)及び研究期間中の状況変化 秋田県は自動車産業を集約した工業地域の形成を目指しているが、自動車部品の製造に欠かせない焼入れ・熱処理の専門企業が県内にはない。県内企業の多くが隣接県の企業に熱処理を外注しており、専門業者がないことは納期の融通や加工費、運搬費の面で秋田に生産拠点を置く企業にとって不利な点である。解決策として、精密加工の企業が自社で熱処理工程を行うことが挙げられる。しかし、自動車用の複雑形状部品に対してゆがみを与えず十分な焼入れを行うにはノウハウや経験が必要であり、専門企業と同じ仕上がりを得るのは困難である。そこで、当センターでは精密加工の企業にとって取り入れやすいレーザー焼入れを用いて、加熱・冷却時における職人技を数値化・数式化することで熱変形の影響を抑制した焼入れプロセスを提案する。熱処理の専門でなくとも複雑形状部品に適用可能な焼入れ技術とする。また、自動車部品には耐疲労性も必要であり、レーザー焼入れ部材の疲労特性についても調査し本研究の成果普及に役立てる。										
3 課題設定時の最終到達目標 ①研究の最終到達目標 レーザーの照射出力制御やチャックの回転速度、加熱経路、冷却状態等を相互に関連づけた焼入れプロセスを提案し、複雑形状部品に対しても熱変形が少ない焼入れ技術を確立する。 ②研究成果の受益対象(対象者数を含む)及び受益者への貢献度 本研究の成果を県内の自動車部品企業、精密加工企業に技術移転することで、自社で熱処理工程を行えるようになり、生産コストの削減や柔軟な納期対応が可能になる。結果的に県内企業の新製品開発及び新規事業の創出につながり、市場の拡大に貢献する。										

4 全体計画及び財源（全体計画において ≡≡ 計画 ≡≡ 実績）									
実施内容		到達目標	H30 年度	R1 年度	R2 年度	年度	年度	達成状況	
組織変化を考慮した熱変形解析		層厚分布と熱変形の関係を明らかにする						レーザー照射条件の各パラメータと入熱・排熱の関係をレーザー焼入れ工程の数値シミュレーションで明らかにした。	
焼入れ工程における残留応力変化の調査		熱変形抑制に適した焼入れ層分布の特定方法を確立する						レーザー照射による表面の残留応力変化をX線応力測定により把握した。焼入れの有無や深さ等焼入れ状態も非破壊検査で可能となった。	
レーザー焼入れ部材の疲労強度調査		レーザー焼入れ部材の疲労曲線を取得し、耐疲労特性を明らかにする						レーザー照射表面は圧縮応力となるため、疲労強度に関しては有利であることが確認できたが、疲労試験に関しては未了である。	
焼入れ層の厚さに対する冷却速度とレーザー照射量の影響調査		焼入れ層厚さ制御技術を確立する						レーザー照射時のパラメータの中で加熱と冷却の時間ギャップが焼入れ深さの制御パラメータとして重要であることを明らかにした。	
焼入れ工程の最適化(加熱・冷却)		冷却曲線を基にした冷却システムの構築						レーザー照射時に目的とする焼入れが可能となる冷却システムを構築することができた。	
								合計	
計画予算額(千円)			3,200	4,000	2,000			9,200	
当初予算額(千円)			2,193	2,096	1,916			6,205	
財源内訳	一般財源		2,193	2,096	1,916			6,205	
	国 費								
	そ の 他								

5 研究成果の概要			
・成果の分類			
☒ 解析データ、指針、マニュアル等 ☐ ステップアップ研究における中間成果 ☒ 新技術 ☐ 新製品 ☐ 新品種 ☐ その他			
・最終到達目標の達成度・成果の具体的な内容			
組織変化を考慮した熱変形解析では、レーザー照射条件の各パラメータと入熱・排熱の関係をレーザー焼入れ工程の数値シミュレーションで明らかにした。レーザー照射による表面の残留応力変化をX線応力測定により観察し、さらに焼入れの有無や深さ等焼入れ状態も非破壊検査で把握することが可能となった。レーザー照射表面は圧縮応力となるため、疲労強度に関しては有利であることが確認できたが、実際の疲労強度は把握できていないため、今後の課題である。レーザー照射時のパラメータの中で加熱と冷却の時間ギャップが焼入れ深さの制御パラメータとして重要であることを明らかにし、目的とする焼入れが可能となる冷却システムを構築することができた。最終的に、的確なレーザー照射プロセスを提案し、複雑形状部品に対しても熱変形が少ない焼入れ技術を確立することができた。現在、本研究成果を県内企業に技術移転し、新規製品のレーザー焼入れ量産工程を立ち上げ中である。			
・成果の波及効果			
本研究成果を展開することで、県内の精密加工を専門とする企業において焼入れ等熱処理工程を自社で行えるようになり、生産コストの削減や柔軟な納期対応が可能になる。また、既にレーザー焼入れ工程を導入し、レーザー照射条件の微調整に苦労している県内企業に関しても研究成果の活用が見込まれる。さらに、レーザー焼入れのみならず、焼き戻しやレーザーブレイジング等、レーザー熱処理技術を的確に普及することで新製品開発や新工程導入など企業競争力の向上が可能となる。			

6 評価

観点															
1	● A ○ B ○ C ・複雑形状部品の焼入れにおいて、レーザー照射条件では焼入れ状態の制御として加熱と冷却が重要であることを明らかにし、特に焼入れ状態を制御する冷却システムを構築した。また、レーザー照射条件と入熱-排熱の関係を熱解析によって明らかにしたこと、またレーザー照射後の残留応力変化やX線応力測定などの非破壊検査による焼入れ状態の観察を可能としたことでの確かなレーザー照射プロセスを提案できる焼入れ技術確立したことは当初の目的が十分に達成されたと考える。 ・今後、強度特性、疲労強度特性等の実用的評価を積み上げ、自動車部品へ適用されることを期待する。 ・レーザー焼き入れ硬化につき、各種試験を行い、最適条件を探索した結果、高周波焼き入れとほぼ同等な効果があることを確認できている。しかし、焼き入れ時間を考慮すると、自己冷却では、難しいことが判明した。そこで冷却方法についても各種検討した結果、水冷を併用することにより、焼き入れ時間も高周波焼き入れと同様にできる技術確立できた。そして、レーザー照射時のパラメータの中で加熱と冷却の時間ギャップが焼入れ深さの制御パラメータとして重要であることを明らかにし、目的とする焼入れが可能となる冷却システムを構築することができた。また組織変化を考慮した熱変形解析では、レーザー照射条件の各パラメータと入熱-排熱の関係をレーザー焼入れ工程の数値シミュレーションで明らかにし、レーザー照射による表面の残留応力の把握、並びに非破壊検査による焼き入れ状態の把握もできるようになった。以上のことから、目標は概ね達成できたと考える。 A. 十分達成できた C. 達成できなかった B. ほぼ達成できた ※研究課題の難易度(事前評価の技術的達成可能性得点率)を加味した達成度 事前評価の技術的達成可能性得点率 % ☐ S ☐ A ☐ B ☐ C ☐ D														
2	○ A ● B ○ C ○ D ・県内企業の熱処理は県外に外注していることから、企業にとって導入しやすいレーザ焼入れは、焼入れ工程、熱処理工程が自社内で可能となり、低コスト化、短納期化など生産性の向上に大きく寄与すると考える。 ・今後、自動車部材の熱処理のほか、特に局所的な焼入れを活かした金型の部分焼入れなど強度特性、疲労特性、摩耗特性に優れた部材への展開を期待する。また、金型焼き戻しやレーザブレイジング等のレーザ熱処理技術の多角的利用による新たな製品開発へ繋がることも期待する。 ・県内には焼き入れ技術を保有する企業はなく、外注しているのがほとんどである。そのためレーザ焼き入れ技術を技術移転することにより、自社内で焼き入れができるようになり、コスト削減や納期短縮効果が期待できる。実際、レーザ焼き入れを導入し、検討している企業があるが、最適条件探索や実用化に苦労している現状があり、本成果を移転することにより、早期の実用化につながると予想される。さらに、レーザ焼入れのみならず、焼き戻しやレーザブレイジング等にも活用できる目処もたっており、今後、これらレーザ熱処理技術を的確に普及することで、納期短縮、自社内生産が可能となり、企業競争力向上につながると考えられる。 A. 効果大 B. 効果中 C. 効果小 D. 効果測定困難														
総合評価	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">判定基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S</td> <td>2つの評価項目がともにAの課題のうち特に優れる課題</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>2つの評価項目がともにAの課題 (S評価に該当する課題を除く)</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>2つの評価項目がともにB以上の課題(S評価、A評価に該当する課題を除く)又は2つの評価項目がAとCの課題</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>2つの評価項目がともに又はいずれかがC以下の課題 (B評価、D評価に該当する課題を除く)</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>2つの評価項目がCとDの課題</td> </tr> </tbody> </table> ○ S 当初見込みを上回る成果 ○ A 当初見込みをやや上回る成果 ● B 当初見込みどおりの成果 ○ C 当初見込みをやや下回る成果 ○ D 当初見込みを下回る成果	判定基準		S	2つの評価項目がともにAの課題のうち特に優れる課題	A	2つの評価項目がともにAの課題 (S評価に該当する課題を除く)	B	2つの評価項目がともにB以上の課題(S評価、A評価に該当する課題を除く)又は2つの評価項目がAとCの課題	C	2つの評価項目がともに又はいずれかがC以下の課題 (B評価、D評価に該当する課題を除く)	D	2つの評価項目がCとDの課題		
判定基準															
S	2つの評価項目がともにAの課題のうち特に優れる課題														
A	2つの評価項目がともにAの課題 (S評価に該当する課題を除く)														
B	2つの評価項目がともにB以上の課題(S評価、A評価に該当する課題を除く)又は2つの評価項目がAとCの課題														
C	2つの評価項目がともに又はいずれかがC以下の課題 (B評価、D評価に該当する課題を除く)														
D	2つの評価項目がCとDの課題														
(参考)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>目的設定</th> <th>中間(R1年度)</th> <th>中間(年度)</th> <th>中間(年度)</th> <th>中間(年度)</th> <th>中間(年度)</th> <th>中間(年度)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>過去の評価結果</td> <td>B</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	目的設定	中間(R1年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	過去の評価結果	B					
目的設定	中間(R1年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)	中間(年度)									
過去の評価結果	B														

自動車用複雑形状部品のための熱変形レスレーザー焼入れ技術に関する研究 (産業技術センター、H30～R2)

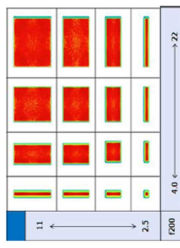
複雑形状、小径線材の自動車部品に対して精密加工の企業が熱変形による反り・角度変形・ねじりなく焼入れ処理可能なレーザー焼入れ手法を開発する。

既存技術：レーザー焼入れ

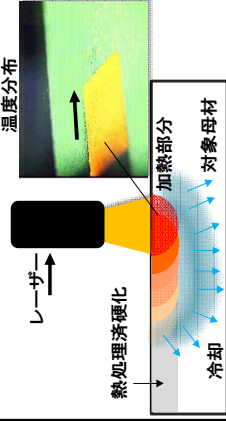
：大型部品や厚肉部品の部分焼入れ手法

■レーザー加工装置

- ・半導体レーザーモジュール
LDM3000-60
(レーザーライン社製)
- ・放射温度計ユニット
- ・ロボット
MOTOMAN MH12
(安川電機製)
- ・レーザー照射ヘッド部
ズームホモジナイザー
バイロメータ
CCDカメラ

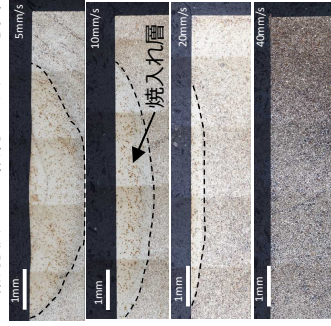


■レーザー焼入れ概略図



照射面積が可変
2.5mm×4mm ～ 11mm×22mm

■レーザー照射後S45C板材のマクロ写真

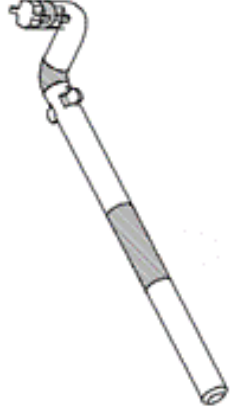


- ・加熱領域が小さく、熱変形が少ない
- ・自己冷却で急冷

小径複雑形状部品の直線部・曲げ部・局所部に応用

(課題)

- ・熱変形の影響が大きくなる
- ・反り、角度変化、ねじりの複合的変形
→寸法が損なわれる
- ・母材体積が小さい
→自己冷却による急冷が困難



(対応策) 熱変形 → 焼入れ層分布の偏り・残留応力分布の変化
マルテンサイト層形成 → 十分な加熱・急冷 → 冷却機構の検討

熱変形の抑制に適した 焼入れ層分布の特定方法

- 組織変化を考慮した熱変形解析
- 焼入れ工程における残留応力
- レーザー焼入れ部材の疲労試験

焼入れ層の深さ制御方法

- 冷却方法の検討
- 冷却曲線の取得
- 焼入れ層の層深さに対する
冷却速度とレーザー照射量の影響

焼入れ工程の最適化

解析を用いた容易な焼入れ条件の特定、熱変形の抑制

冷媒を少量に抑えて既存の製造ラインに対して焼入れ工程のインライン化

【研究成果の受益対象及び受益者への貢献度】

県内の自動車部品企業、精密加工企業による自社での熱処理を実現することで生産コストの削減や柔軟な納期対応が可能になる。