

令和 元 年度 ■ 当初予算 □ 補正予算 (月) 記入日 令和 元年 6 月 28 日

機 関 名	産業技術センター		課題コード	H300902		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	赤上 陽一			担当(班)名	複合材グループ、先端プロセス・医工連携グループ					
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認する。										
2 課題設定時の背景(問題の所在、市場・ニーズの状況等) 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、専門業者がい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て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認する。 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 別紙のとおり。
5 課題設定時からの市場・ニーズの変化等 2 課題設定時と同じ
6 本県産業や県民生活への向上への貢献の見込み 自動車部品のような小径複雑形状部品に対して熱変形を最小限に抑えたレーザー焼入れ手法を確立することで、精密加工業者が自社で焼入れ処理を行えるようになる。すると、部品の熱処理を外注にする必要がなくなり、輸送費と加工費が削減でき、納期の融通が利くようになる。外注に係るタイムロスが減らせるため生産量の増加も期待できる。また、新たに県内に企業誘致を考える自動車・輸送機関連の企業にとって熱処理を県外に外注しなければならない点は大きなデメリットである。弊所でレーザー焼入れの基礎技術を蓄積、支援できる体制を整えることで、秋田県に誘致を考える自動車・輸送機関連企業の誘致促進にも貢献できる。現に、弊所の技術支援が決め手となり誘致を決めた企業もある。さらに、県内の自動車・輸送機産業が活性化し、誘致企業が増えることで雇用増が見込めるため、県民生活の向上にも貢献できると考える。
7 これまでに得られた成果 ・S35C、S45C板材、直径7mm線材に対してレーザー焼入れを行い、低炭素鋼における焼入れ特性を調査した。板材に対しては自己冷却で焼入れが可能だが、小径線材への焼入れには冷媒が必要な場合があることが分かった。 ・直径7mmS35Cの線材へのレーザー焼入れ手法として、試料の下半分を水に浸して上面からレーザーを照射する方法を確立した。自己冷却では、0.1～0.4mmの焼入れ深さであるが、下半分を水冷することにより、高周波焼入れと同等の焼入れ深さ0.8～1mmを得ることができた。 ・大橋鉄工(株)との共同研究では、直径7mmS35C線材200mmに対する45mm幅の幅広焼入れ手法について検討した。下半分を水冷し、線材端をチャッキングして回転させる。上部よりレーザーを照射し、45mmレーザー光源を移動することで製品1本あたり数10秒で円周にらせん状の焼入れ処理が可能である。 ・「低炭素鋼S45C線材の焼入れ特性」について、平成30年度溶接接合研究会で研究発表を行った。 ・「低炭素鋼板材の焼入れ特性」については、平成31年度溶接学会春季全国大会イブニングフォーラムで概要を発表した。
8 残る課題・問題点・リスク等 ・H30年度実施予定の「熱変形抑制に適した焼入れ層の特定」は、当初予定した解析ソフトが導入できず実験による検討に変更した。H30年度は、線材のレーザー焼入れ条件検討で取得したサンプルの焼入れ層分布データを収集した。分布取得には加工・樹脂埋め・研磨で時間がかかる。また、焼入れ深さ制御法を確立しないことには焼入れ分布と変形量の関係が取得できないため、「熱変形抑制に適した焼入れ層の特定」に代替の解析ソフトを検討する必要がある。 ・焼入れ深さ制御法の検討では、焼入れ深さがレーザー出力、チャック回転数等の焼入れ条件の他に焼入れ処理前マイクロ組織の状態にも依存することが考えられる。焼入れ処理前のサンプルに対して非破壊検査で結晶粒径を測定すること、結晶粒度をそろえたサンプルでの対照実験が必要である。複数種類の結晶粒径サンプルを用意し、結晶粒径ごとに焼入れ深さと焼入れ条件の関係、焼入れ状態と変形の関係調査を考察する。

9 評価

観点													
1 ニーズの状況変化	○ A ● B ○ C ○ D ・県内には、高周波焼き入れでは不可能な湾曲部材をレーザー焼き入れにより、表面硬化を行いたいという強いニーズがある。特に自動車用の複雑形状部品に対するレーザー焼き入れ技術に対する要望は強い。しかし県内企業で技術を所有している企業は存在せず、当センターにて技術を確立し、県内企業へ技術移転することが強く望まれている。 ・環境への配慮からEV、HV等への加速が活発となる中、軽量化は必須。そこで部品形状に余裕が無くなり、小型化が一方的に加速している現状がある。このためトライボロジーに貢献する機能性表面処理技術において、従来品に比べると、より高精度な制御技術が必要となることが明らかになってきた。今後、ますます、本技術確立が求められる。 A. ニーズの増大とともに研究目的の意義も高まっている C. ニーズの低下とともに研究目的の意義も低くなってきている B. ニーズに大きな変動はない D. ニーズがほとんどなく、研究目的の意義がほとんどなくなっている												
2 効果	○ A ● B ○ C ○ D ・特に自動車部品に関しては、今後販路拡大につながる可能性を秘めており、本研究においてレーザー焼き入れ技術を確立し、県内企業へ移転することは、大きな意味があると言える。またレーザー焼き入れは生産プロセスにおいても、高周波焼き入れに比べ、焼き入れ時間の短縮化が図られ、生産性向上が期待できる。 ・技術的な確立が得られことにより、高周波焼き入れを施すために、部品の出し入れが少なくなり、生産効率の向上が期待される。川下企業に貢献できる。 A. 大きな効果が期待される C. 小さな効果が期待される B. 効果が期待される D. 効果はほとんど見込めない												
3 進捗状況	○ A ● B ○ C ○ D ・直径7mmS35C線材200mmについて、冷却あり、なしにおけるレーザー焼き入れ硬化につき、各種試験を行なった結果、試料下半分を水に浸して冷却することにより、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。また直径7mmS35C線材200mmにおいて、線材回転させながら、半水冷することにより、らせん状の焼き入れ処理ができたことを確認している。線材、板材に関して、自己冷却、水冷における最適なレーザー焼き入れ条件はほぼ把握できている。計画通りに研究が進んでいると言える。 ・レーザー焼き入れに新たな特徴が明確になったことから研究に力が入るものとする。 A. 計画以上に進んでいる C. 計画より遅れている B. 計画どおりに進んでいる D. 計画より大幅に遅れている												
4 目標達成の状況	○ A ● B ○ C ○ D ・レーザー焼き入れによる表面硬化を確認するために、試料の断面を研磨し、観察により焼き入れ層を確認しているが、試験条件が多いため、研磨、観察に多大な時間を要している。シミュレーションソフトによる熱の流れが予想できると、試験条件を絞ることができ、効率的に研究が進むと思うので、購入の検討をする必要がある。また結晶粒径がレーザー焼き入れ深さに及ぼす影響を検討し、把握することは、レーザー焼き入れの均一化、安定化につながると思うので、今後検討してもらいたい。 ・技術的な品位レベルが自動車レベルと高度なため、余裕はないが実現できるものとする。 A. 目標達成を阻害する要因がほとんどない C. 目標達成を阻害する要因がある B. 目標達成を阻害する要因が少しある D. 目標達成を阻害する要因が大きいにある												
総合評価	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">判定基準</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>各評価項目が全てA評価である課題</td> </tr> <tr> <td>B+</td> <td>各評価項目がB評価以上であり、A評価が2つ以上の課題 (A評価を除く)</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>各評価項目がB評価以上である課題 (A評価、B+評価を除く)</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>いずれかの評価項目でC評価がある課題 (D評価を除く)</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>いずれかの評価項目でD評価があり、評価要因が改善不可能で、研究継続が困難と認められる課題</td> </tr> </tbody> </table> ○ A 当初計画より大きな成果が期待できる ○ B+ 当初計画より成果が期待できる ● B 当初計画どおりの成果が期待できる ○ C さらなる努力が必要である ○ D 継続する意義は低い	判定基準		A	各評価項目が全てA評価である課題	B+	各評価項目がB評価以上であり、A評価が2つ以上の課題 (A評価を除く)	B	各評価項目がB評価以上である課題 (A評価、B+評価を除く)	C	いずれかの評価項目でC評価がある課題 (D評価を除く)	D	いずれかの評価項目でD評価があり、評価要因が改善不可能で、研究継続が困難と認められる課題
判定基準													
A	各評価項目が全てA評価である課題												
B+	各評価項目がB評価以上であり、A評価が2つ以上の課題 (A評価を除く)												
B	各評価項目がB評価以上である課題 (A評価、B+評価を除く)												
C	いずれかの評価項目でC評価がある課題 (D評価を除く)												
D	いずれかの評価項目でD評価があり、評価要因が改善不可能で、研究継続が困難と認められる課題												
評価を踏まえた研究計画等への対応 ・レーザー焼き入れ関連の共同研究にてシミュレーションソフトの導入を考えている。共同研究ではより実用化を重視した研究の進め方をするが、基礎データも裏付けとして必ず必要になる。実現象と理論の両面からデータの蓄積を進めたい。 ・焼入れ前の試料表面状態によってレーザー焼入れの焼入れ状態は大きく左右される。自動車部品に求められる焼入れ状態での量産にはレーザー焼入れの均一化や安定化が必須である。焼入れ前の試料表面状態、結晶粒径等を把握し、焼入れ状態との関連性を明らかにする。													
(参考)	<table border="1"> <thead> <tr> <th>目的設定</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></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	目的設定	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					
目的設定	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													

令和 年度 元 年度 ■ 当初予算 □ 補正予算 (月)

機 関 名	秋田県産業技術センター	課題コード	H300902	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に関する研究							

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	H30到達目標	到達状況	
・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 変化の調査	・層厚分布と熱変形の関係を 明らかにする ・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	＝	＝	＝			・低炭素鋼小径線材へのレーザー 焼入れ条件を検討する ・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	直線部に対して高周波焼入れと同 等の焼入れが可能なレーザー焼入 れ条件を特定できた。焼入れ層分布 の特定には至っていない。	
		＝	＝	＝					
		＝	＝	＝					
		＝	＝	＝					
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		＝	＝					
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		＝	＝					
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			＝					
計画予算額(千円)		3,200	4,000	2,000			合計		
当初予算額(千円)		2,193	2,096				9,200		
一般財源		2,193	2,096				4,289		
国 費							4,289		
財源 内訳	そ の 他								

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)

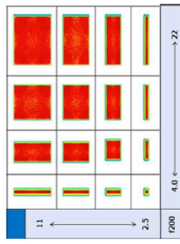
複雑形状、小径線材の自動車部品に対して精密加工の企業が熱変形による反り・角度変形・ねじりなく焼入れ処理可能なレーザー焼入れ手法を開発する。

既存技術：レーザー焼入れ

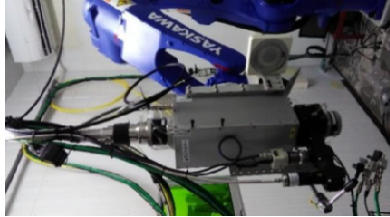
：大型部品や厚肉部品の部分焼入れ手法



- 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

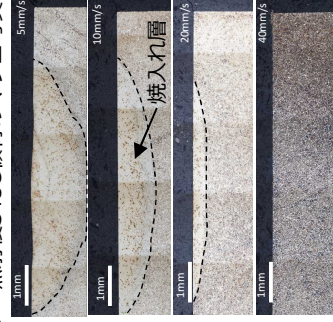
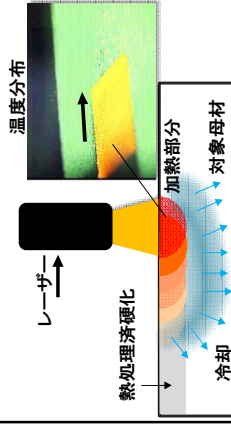


照射面積が可変
2.5mm×4mm ~ 11mm×22mm



■レーザー照射後S45C板材のマクロ写真

■レーザー焼入れ概略図

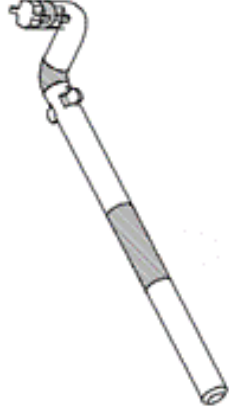


- ・加熱領域が小さく、熱変形が少ない
- ・自己冷却で急冷

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。