平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「温間順送複合プレスによる難加工材の高効率生産技術開発」

研究開発成果等報告書

平成27年3月

委託者 関 東 経 済 産 業 局

委託先 公益財団法人長野県テクノ財団

目次

第1章研究開発の概要

1 - 1	研究開	斠発	\mathcal{O}	背	景	•	研	究	目	的	及	び	目	標	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		1
1 - 2	研究体	卜制	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		2
1 - 3	成果想	既要	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		8
1 - 4	当該研	肝究	開	発	の	連	絡	窓	\square	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1	0

第2章 本 論

2-1 量產	E実験 月	目試作	金型	りの	開列	発•	制	具作	≡及	とひ	ドタ	~ 1	ア	7	フラ	71	、告	ß 后	\mathcal{I})					
					試亻	乍・	・浿	川定	·	討	藿価	ī•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1		1
2 - 1 -	1 製	品図(の決	定·	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1		1
2 - 1 -	2 量	産実	験試	作奇	之型	の	構	造	•	工	程	の	設	計	•	•	•	•	•	•	•	•	1		1
2 - 1 -	3 量	産実	験用	試化	乍金	型	に	よ	る	製		製	作	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1		1
2 - 1 -	4 プ	レス	金型	内に	こお	け	る	\mathcal{V}		ザ	<u> </u>	加	熱	温	度	測	定	•	•	•	•	•	1		4
2 — 1 —	5 時	効処 ¹	里の	最通	鱼化	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	1	. 7	7

2-2 ダイア	フラム部品の形状測定及び品質保証のための	
	特性評価技術の確立・・・・・・・・・	18
2 - 2 - 1	非接触輪郭形状測定機による評価・・・・・・・・・	18
2 - 2 - 2	非破壊による重要箇所の測定方法・・・・・・・・・	19
2 - 2 - 3	加工部品の機能性評価を目的としたばね定数測定・・・	2 1
2-3 金型内	及びプレス機内における熱処理技術の確立・・・・・・	2 1
2 - 3 - 1	半導体レーザーによる熱処理方法の具現化・・・・・	2 1
2 - 3 - 2	レーザー焼鈍の最適化・・・・・・・・・・・・・・	29
2-4 加熱·	成形シミュレーション及びプレス加工のための	
	データベースの拡充と整備・・・・・・	3 0
2 - 4 - 1	成形シミュレーションによる加工条件最適化・・・・	3 0
2 - 4 - 2	温度による材料特性評価・・・・・・・・・・・・・	3 0
2 - 4 - 3	金型の加熱・冷却最適化・・・・・・・・・・・・	32
2 - 4 - 4	CO2 および半導体レーザーにおける SUH660 の	
	熱特性・変形特性・・・・・・・・・	37
2 - 4 - 5	高周波誘導加熱の解析・・・・・・・・・・・・・・	4 2
2 - 4 - 6	高周波誘導加熱におけるコイル形状の最適化・・・・	48
2-5 まとめ		52

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発背景

長野県の諏訪から松本・伊那・飯田に至る中央自動車道沿線地域は世界に誇る精密 機械関連産業の一大集積地であり、日本の将来産業を担う自動車、省エネ、医療関係 分野等から、難加工材を使用した精密・複雑形状部品の要求が強まってきている。ま た、これらについては国際競争力の面から低コスト化の要求も強く、生産効率の良い 順送プレス加工が求められている。

従来の順送プレス加工は冷間工程のみで構成されており、抜き・絞り・鍛造など複数 の工程が組み込まれた金型に、コイル材(順送プレス加工に使用されるコイル状に巻 かれた材料)から解かれた材料を送り装置により供給し、連続的に複数工程の加工を 行う手法であるが、高精度で高品質な部品を高速で大量に製造できるため、精密板金 部品の製造として全国に普及している。特に長野県では、従来からセンチメートルか らミリメートルサイズの小物部品の順送プレス加工において、極めて技術力が高い。

しかし、昨今の国際化により成形しやすい部品の製造は海外に流出し、国内では成 形が困難な部品の製造しか残っていない。そのため、今後の課題は、さらなる複雑形 状のネットシェイプ化と高精度化を図り、より困難な材料の成形技術を開発し、高付 加価値製品を国内生産することである。特に、耐熱綱などの難加工材、環境への対応 から今後需要が増大すると思われる軽くて強度の高い新素材、及び、さらなる複雑形 状の成形技術の確立が不可欠である。

気筒内構造図

堆缶

燃焼圧センサ

吸氨

厚さ0.2mm

俠倖圧力

ダイヤフラム部品 燃焼圧力の急激な変動に対 感度良く変形を繰り返し、

センサに圧力を伝える必要がある

そのひとつとして、ガソリン・ デイーゼルエンジンの燃費向上の ために各社が燃焼室内に組込む

「普及型燃焼圧センサ」の開発・ 実用化に取り組んでいる。

課題としては、重要部品である難加

工材(析出硬化型高耐熱合金)を用いた高耐熱製ダイアフラム部品の低コスト化と耐 久性である。現在は2部品を切削加工で製作し溶接でダイアフラム部品を製造してい る。

しかし、耐久性の観点からプレス加工の一体成形品が求められている。

1-1-2 研究開発目的

本研究開発の目的は、温間・冷間順送複合プレスを用いた一体成形型プレス加工に より、難加工材を使用した複雑形状部品を高効率で生産できる加工技術を確立するこ とである。この技術の確立により、燃費向上を目指したエンジン用「普及型燃焼圧セ ンサ」に用いる高耐熱鋼製ダイアフラム部品の量産化を可能とする。

最終的には 60 個/分以上のスピードで高耐熱鋼製ダイアフラム部品を量産できる試 作ラインを構築する。

また、温・熱間工程を付加することで、板厚の厚さを増減肉させることが容易にな るため、積極的に板鍛造技術の高度化に取り組み、底厚が部分的に異なる形状の高精 度加工技術も開発することにより、信州のプレス業界に『温間順送複合プレス加工法』 を根付かせて、過去に作ることが出来なかった、難加工材の部品を作ることにより事 業の拡大、雇用の拡大を図る。 そのため、昨年度までの研究では、新たな工法による量産実験用試作金型を開発し、 ダイアフラム試作品を製作した。評価の結果、量産加工の目途が立ち、特に問題と なっていた部品底部の潰し加工が可能となったため、工程設計・金型構造・加工条件 を最適化し、安定した量産技術を確立する。

量産技術により加工された部品がセンサ部品として安定した性能を出すためには、 時効処理による熱処理が欠かせないため、安定した時効処理技術の最適化とダイアフ ラム形状測定及び特性評価技術の確立を行う。

更に加工後の熱処理(焼入れ、焼戻し、アニール)工程をインラインで挿入し、新 しい温間・冷間順送複合プレス加工法を開発する。

また、これまでの研究成果とし加熱・成形シミュレーションのデータベースの拡充 と難加工材別の温度特性評価・最適加工温度のデータベース化も構築する。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織



1-2-2 管理体制 (1) 事業管理機関

【公益財団法人長野県テクノ財団】



(2) 再委託先

【日進精機株式会社】



【太陽工業株式会社】



【株式会社サイベックコーポレーション】

代表取締役社長	専務取締役	執行役員		VT 研究所
	(経理担当者)	(業務管理者	∠)	

【国立大学法人山梨大学】



【長野県工業技術総合センター】



(3) 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人長野県テクノ財団

(a) 管理員

氏名	所属・役職	備考欄
林 正樹	公益財団法人長野県テクノ財団	
	伊那テクノバレー地域センター 事務局長	
藤田 恵子	公益財団法人長野県テクノ財団	
	伊那テクノバレー地域センター 事務局員	
坂上 榮松	公益財団法人長野県テクノ財団	
	伊那テクノバレー地域センター	
	コーディネータ	

(b)研究員

氏名	所属・役職	備考欄
坂上 榮松 (再)	公益財団法人長野県テクノ財団 伊那テクノバレー地域センター コーディネータ	

【再委託先】

(a) 研究員

日進精機株式会社

	氏名		所属・役職	備考欄
北澤	勉	営業本部	顧問	
伊藤	明彦	営業本部	開発·試作課 課長	
宮下	英明	営業本部	開発·試作課 主任	
川手	良則	営業本部	開発・試作課	
小椋	徹	営業本部	開発・試作課	
代田	悦史	製造本部	製造部 品質管理課	

太陽工業株式会社

氏名	所属・役職	備考欄
小林 信彦	テクノロジーセンター輝 センター長フェロー	
小松 文雄	テクノロジーセンター輝 研究開発課主任指導員	
木村 憲市	テクノロジーセンター輝 研究開発課班長	
小平 裕也	テクノロジーセンター輝 開発設計課	

株式会社サイベックコーポレーション

氏名	所属・役職	備考欄
長田 直樹	VT 研究所 マネージャー	
田中 謙一	VT 研究所 チーフ	
巣之内 省	VT 研究所	

国立大学法人山梨大学

氏名	所属・役職	備考欄
吉原 正一郎	大学院 総合研究部 工学域 准教授	
石田 和義	大学院 総合研究部 工学域 准教授	

長野県工業技術総合センター

	氏名	所属・役職	備考欄
小口	京吾	精密·電子技術部門 加工部 部長	
山岸	光	精密·電子技術部門 加工部 主任研究員	
上条	和之	精密·電子技術部門 加工部 主任研究員	
長洲	慶典	精密·電子技術部門 測定部 研究員	
西田	崇	精密·電子技術部門 測定部 主任研究員	
児野	武朗	精密·電子技術部門 測定部 研究員	
高木	秀昭	環境·情報技術部門 環境技術部 主任研究員	
安澤	真一	材料技術部門 金属材料部 研究員	

(4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

【事業管理機関】

公益財団法人長野県テクノ財団

(経理担当者)	伊那テクノバレー地域センター	事務局員	藤田 恵子
(業務管理者)	伊那テクノバレー地域センター	事務局長	林 正樹

【再委託先】

日進精機株式会社

(経理担当者)	管理本部	総務部	総務課長	芝田	和晃
(業務管理者)	営業本部	顧問		北澤	勉

太陽工業株式会社

(経理担当者)	経営企画部 総務経理課	課長代理	北原	奈津代
(業務管理者)	取締役営業開発本部兼			
	テクノロジーセンター	-輝 部長	植松	安彦

株式会社サイベックコーポレーション

(経理担当者)	専務取締役	白井	靖信
(業務管理者)	執行役員マーケティングマネージャー	熊崎	武

国立大学法人山梨大学

(経理担当者)	財務管理部	会計課	経理・	契約第二グループ係長	川手	裕子
(業務管理者)	大学院 総合社	研究部	工学域		杉山	俊幸

長野県工業技術総合センター

(経理担当者)	精密·電子技術部門	測定部	山崎	太登
(業務管理者)	精密・電子技術部門	部門長	酒井	伸

(5) 協力者

【アドバイザー】

氏	名	所属・役職		備考欄
内山	永	株式会社ミスズ工業 金型技術グループ	係長	
宮島	宏之	新光電気工業株式会社 リードフレーム事業部	主任	
岡庭	岡山	株式会社タカモリ 技術部	部長	
高橋	和生	シチズンファインテックミヨタ株式会社 CPS部	部長	
上野	和久	シチズンファインテックミヨタ株式会社 CPS部	リーダー	

1-3 成果概要

1-3-1 量産実験用試作金型を用いた量産先行品の製作及び量産技術の確立 (実施機関:日進精機株式会社、太陽工業株式会社、株式会社サイベックコーポ レーション、国立大学法人山梨大学、長野県工業技術総合センター、 公益財団法人長野県テクノ財団)

(1)昨年度の実績をベースに工程設計・金型構造・プレス加工条件など見直しを行い、温間順送プレスによる量産加工技術を確立した。また、プレス加工後に行われる熱処理(時効処理)技術も確立することができた。しかし、加熱時間が当初考えていた時間より4倍必要になったが、初期ターゲットであるコストはクリヤーできた。

加工精度については、一番重要である底厚み±0.02に対して工程能力指数 Cpk 2をほぼ達成することができた。

- (2)加熱温度を管理するためのレーザー加熱温度監視システムを構築した。
- (3) 燃焼圧センサ組込評価結果については、良好な値を示すことができた。
- 1-3-2 ダイアフラム部品の形状測定及び品質保証のための特性評価技術の 確立
- (実施機関:日進精機株式会社、太陽工業株式会社、国立大学法人山梨大学、長野県工業技術総合センター、公益財団法人長野県テクノ財団)
- (1) 全体形状の測定を行うための手法として、レーザーによる非接触形状測定器に 高精度に取り付け可能なユニットを開発し、全体形状から微細部の形状まで一

括で評価できる手法を開発した。

- (2)部品形状の中でも一番重要な底厚み測定において、現場で使用できる簡易底厚 測定器の開発を行い、量産時の測定に威力を発揮することができた。
- (3) 部品製造サイドでもダイアフラム部品の性能試験ができるよう、専用の測定装置の開発と測定技術を確立した。

1-3-3 金型内及びプレス機内における熱処理技術の確立

- (実施機関:株式会社サイベックコーポレーション、日進精機株式会社、国立 大学法人山梨大学、長野県工業技術総合センター、公益財団法人 長野県テクノ財団)
- (1) レーザーによる金型内外での焼入れ技術の確立
 - 金型内外において、プレス成形部品に半導体レーザーでの焼入れは可能であるこ とが分かったが、実用にあたっては、①照射保持時間と②移動速度の最適化を進 めることが重要であるが、さらに照射範囲と焼入れ深度の測定が必要であり、ま た、照射部以外にも酸素との結合による焼き色がついてしまう為、不活性ガス中 での加工実験も進める必要性があることが解った。

1-3-4 加熱・成形シミュレーションのためのデータベースの拡充と整備

- (実施機関:日進精機株式会社,太陽工業株式会社、国立大学法人山梨大学、長野県工業技術総合センター、公益財団法人長野県テクノ財団)
- (1)温度やひずみ速度に依存する材料特性データの取得手法を確立できた。具体的には、SUH660、マグネシウム合金、高ケイ素鋼板等の難加工材の材料特性データを取得できた。特に、温度およびひずみ速度による材料特性の変化はシミュレーションの高精度化に大きく影響することが解った。
- (2) SUS631の引張試験において、500℃と700℃の材料特性を取得した。700℃は500℃ と比較して引張強さが大きく減少し、伸びが大きく向上することが解った。また、引張速度の影響が大きいことが解った。
- 1-3-5温間順送複合プレス加工技術のデータベース化
- (実施機関:日進精機株式会社、太陽工業株式会社、株式会社サイベックコーポ レーション、国立大学法人山梨大学、長野県工業技術総合センター、 公益財団法人長野県テクノ財団)
- (1) SUS631 の温間円筒深絞り加工において、成形温度 700℃では成形速度が増加す ると、成形荷重、およびパンチ肩部の肉厚が増加することが解った。

- (2) SUH660 の温間円筒深絞り加工において、成形温度 600℃では成形速度が増加す ると、成形荷重が減少することが解った。
- (3) SUS631、SUS304、SK5、S25C、S45Cにおいて高周波誘導加熱による加熱条件を確 立できた。また、S25C、S45Cでは加熱後に硬度を測定した結果、炭素量の違い から焼入れされる箇所と焼鈍される箇所が現れた。
- (4) ソレノイドコイル、パンケーキコイル、∞型コイルで高周波誘導加熱実験を行った結果、ダイアフラム部品はソレノイドコイルが最適であることが解った。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関

 〒399-4501
 長野県伊那市西箕輪2415-6

 公益財団法人長野県テクノ財団
 伊那テクノバレー地域センター

 担当者
 事務局長
 林 正樹、コーディネータ 坂上 榮松

 連絡先
 TEL
 0265-76-5668

 FAX
 0265-73-9023

 E-mail
 <u>ma-hayashi@tech.or.jp</u>

 e-sakagami@tech.or.jp

中核研究機関

$\overline{7}$ 3 9 9 - 2 2 2	1 長野県飯田市龍江7334-1
日進精機株式会社	飯田工場
担当者 営業本語	邹 開発・試作 課長 伊藤明彦、主任 宮下英明
連絡先 TEL	$0\ 2\ 6\ 5\ -\ 2\ 7\ -\ 2\ 3\ 1\ 2$
FAX	$0\ 2\ 6\ 5\ -\ 2\ 7\ -\ 4\ 0\ 7\ 1$
E-mail	aito@nissin-precision.com
	h.miyashita@nissin-precision.com

第2章 本 論

2-1 量産実験用試作金型を用いた量産先行品の製作及び量産技術の確立

2-1-1製品図の変更と決定

(1)研究開発の内容と結果

川下企業から提示された新しい図面に対し、2年間の研究開発で得た知見で新たな プレス金型の構想設計から工程設計、金型設計を行い、昨年度製作した量産実験用試 作金型を改造し、量産実験が実施できる金型改造を行い、シミュレーションを使って ひとつずつ問題を解決し連即加工を可能にした。

また、並行してプレス加工後の「時効化処理」条件の確立と「評価技術・プレス加 工によるセンシング技術の確立も行った。

(2)研究成果

川下企業の要求事項と、昨年度の実験結果から製品図を決定した。

ポイントとしては、シミュレーション技術を屈指し実験を行い推進した、結果連続 加工の中から抜き取りを行い川下企業での性能評価結果は問題ないことが証明された。

2-1-2量産実験試作金型の構造・工程の設計

(1) 研究開発の内容

新製品図を基に、数多くのの技術検討会を行い、量産試作金型の構造及び工程を決 定した。

●検討内容

- ・工程は昨年度と大きく変更するとリスクが高いので、昨年度型に準ずる形にする。
- ・ブランク径は昨年と同様とする。
- ・製品を安定させる為に、5回成形から7回成形に変更する。
- (2)研究成果

検討内容を満足させる構造と、金型の工程が決まった。

2-1-3 量産実験用試作金型を使って製品製作を行う

- (1)研究成果
- (a) ファーストトライ結果

プレス金型の調整作業は常識的にトライアンドエラーの世界であり、種々の調整を 繰り返して製品化を進めた。

下記にその1部を紹介する。

① 図 2 - 1 - 1 第 4 絞りのダイを顕微鏡で観察したところ、R 部分に材料の凝着 を確認した。

図 2 - 1 - 2 にダイ形状観察を示す。

上記不具合対策として、第4工程ダイを調整した結果、削りカスの付着は改善された。



 $\boxtimes 2 - 1 - 1$

 $\boxtimes 2 - 1 - 2$

上記不具合対策として、第4絞りダイのRを拡大し、再トライを行った結果、 削りカスの付着は改善された。図2-1-3が結果である。



図 2 - 1 - 3

② 製品の底が抜けてしまう現象が出た。

工程を顕微鏡で確認した所、製品の厚さが薄くなっており、底抜けを起こした事が確認された。

原因として、パンチとノックアウトのタイミングで材料を挟み込んで材料が薄く なったと考えられた為、バネ調整を行い現象は改善された。

- (b) ファーストトライ後のレイアウトを確認し、対策会議を行った。
 - ① 第2工程でシゴキカスあり、形状変更、材質を超硬に変更。
 - ② 第6工程でシゴキカスあり、ダイをラップ加工した。
 - ③ 第7工程でダイガジリ気味で削りカス発生、超硬ダイに変更した。 上記対策後にトライを行った結果、不具合箇所は改善され連続加工の準備は出来た。
- (c)加熱による製品成形性を高める為、各種条件出し実験を行った。
 - ① 加熱時間による変化を確認した。
 - ② タイミングの関係を確認した。
 - ③ 加熱装置と製品レイアウトとの距離を確認した。 上記実験研究により、安定した製品成形が確立された。

「時効処理安定化」の実験と成果

出来上がった製品を、時効処理実験の条件出しを繰り返し実行した。 それぞれの製品寸法、性能、内部組織を工技センターで測定した結果、最終条件で問 題ないことが確認でき、量産化の目処が立った。

「量産性確認」の確認

連続加工を行うに当たって、カジリ防止の塗油装置、油煙の影響を防止する防油板の 取り付け、又加熱されているか工技センターの御協力により、監視用温度センサの取り 付けを行った。

これにより加熱温度まで製品が昇温しない場合はプレスが急停止するようになり、不 良品発生を未然に防ぐことが出来るようになった。

また、加熱温度の金型への熱影響があるか、工技センターの御協力を頂き、加熱加工 による金型への熱影響は無い事が実証され、量産加工でも問題無い事が確認された。

3回の量産確認実験を行い、何点かの改善作業を行った結果、最終的に1500個連 続加工を行い、サンプル10個毎のn = 150個を抽出した。

寸法測定を行い、重要管理項目の工程能力を確認した。

結果、重要管理寸法の工程能力は3Σがほぼ達成されている事が確認された。

まとめ

難加工材の耐熱鋼板を加熱することにより、川下企業の要求する製品を安定した品質 で連続加工できる量産技術が確立された。

2-2ダイアフラム部品の形状測定及び品質保証の為の特性評価技術の確立 2-2-1非破壊による重要箇所の測定方法

(1)研究開発の内容

製品形状測定は、昨年度の研究で三鷹光器(株)のNH-3SPを使用しての製品測定を 行ったが、測定時間が1時間程掛かる為、現場で使用するには現実的ではない。

量産化に向けてプレス加工中の製品を簡易的に短時間で測定し、現場で寸法保証する 為の測定方法を確立する。

(2)研究成果

厚みの簡易測定方法について検討会議を行い、治具を使用してデジタルスケールで測 定する方法に決まった。

測定方法の信頼性を確認する為、Nikon 製 Nexiv(レーザー測定)と SAT(超音波 測定)を使用し、サンプルを測定し誤差が有るかを確認した。

測定結果、簡易測定値はレーザー測定・超音波測定との誤差が最大6µmと非常に小 さい為、製品公差から言って簡易測定法は信頼出来る結果と判断できる。

これにより量産時厚みの現場品質保証方法が確立された。

2-1-4 プレス金型内におけるレーザー加熱温度測定

(1)研究開発の内容

本研究では、プレス金型内でダイアフラム部品をレーザー加熱し、材料を焼鈍熱処 理することで加工度の高いプレス加工を実現している(図 2-1-22)。仮にレーザーの不 調などが発生し、正しく焼鈍処理がされない場合、ダイアフラム部を加工する次工程 におけるパンチ破損や所定の加工が実現できない可能性がある。そこで、レーザー加 熱時のダイアフラム部品の温度を常時測定し、所定の焼鈍処理条件を満たしているか を確認する方法について検討した。さらに、所定の加熱温度に到達しない場合は、プ レス機の停止や材料の再加熱などのために、温度測定結果をプレス機にフィードバッ クするシステムを構築した。

(2)研究成果

(a)温度センサの選定

本研究で対象とするダイアフラム部品は、直径が数 mm 程度の小さな円筒状部品であり、金型内でこの部品 の温度を測定する場合、小さなスポットを測定可能な温 度センサが必要となる。また、金型内に温度センサを取 り付ける場合、限られたスペースにセンサを収める必要 があるため、センサのサイズは小型である必要がある。 そこで、小型で最大 1030℃まで温度測定が可能な非接触 赤外線温度計を選択した 図 2-1-22 レーザー加熱温度測定 取り付けるために、図 2-1-23 に示すように金型を追加



図 2-1-23 温度センサの金型内取付け方法

加工した。温度センサの測定スポットが、ダイアフラム部品の内側突起に当たるよう 温度センサを位置決めしている。

(b) 温度センサ取り付け位置の衝撃力および環境温度測定

選定した温度センサは精密機器であるため、耐衝撃性能や耐環境温度に制限がある。 耐衝撃性に関しては図 2-1-23 に示すようにウレタンゴムにて衝撃を吸収するよう対策 した。温度センサを取付ける位置にかかる衝撃力を加速度ピックアップにて測定した (図 2-1-24)。また、対策前と対策後の衝撃力を表 1 に示す。温度センサの耐衝撃力は 50 G と指定されているが、対策前は衝撃力が 100 G を超えてしまっている。しかし、 ウレタンゴムによる衝撃吸収対策により、最大でも 4 G 以下に低減することができ、 60SPM 程度の連続加工中でも温度センサを使用できるよう確認ができた。



加工速度 SPM	対策前 加速度	対策後 加速度
	[G]	[G]
60	-	3.6
40	109.2	3.8
30	61.4	2.9
20	28.7	2.3

図 2-1-24 衝撃力測定実験

また、温度センサの耐環境温度はセンサ部で 80℃までとされている。図 2 に示した とおり、温度センサとダイアフラム部品の間の空間は狭いため、ダイアフラム部品の 底面をレーザー加熱し、その裏側の突起部分の温度を測定する際には、温度センサの 耐環境温度にも注意する必要があった。そこで、温度センサを取り付けている近くに、 T型熱電対(\u0.2mm)を取り付け(図 2-1-25)、レーザー加熱時に温度センサ取付部 の温度がどの程度まで上昇するかを確認した。温度測定結果(図 2-1-26)から、レーザー 加熱条件を最大出力 100% 4sec とした場合でも、雰囲気温度は最大でも約 50℃であり、 温度センサの耐環境温度の仕様 120℃以下を満足することを確認した。さらに、連続加 工中は冷却用エアを吹き付けるよう対策した。



図 2-1-25 熱電対の取り付け



図 2-1-26 熱電対による温度測定結果

(c) レーザー加熱温度測定

レーザー加熱温度を測定した結果を表 2-1-2 に示す。レーザー出力と加熱時間を変化 させ、最大温度と被加工材の硬度を測定した。また、温度センサに設定する SUH660 の放射率は、事前の予備実験から 0.33 とした。レーザー出力を 100%とした場合、3 sec 以上加熱することで硬度は 180 以下となることを確認した。レーザー加熱工程の次工 程である、つぶし工程ではパンチ保護の観点からダイアフラム部の硬度が 180 以下で ある必要があることを事前の実験により確認していたため、レーザー出力と加熱時間 は 100 %、 3 sec 以上とする必要があることがこの実験により明らかになった。また、 熱電対が検出した温度は最大でも 50 ℃であるため、温度センサの耐熱温度 120 ℃を 下回ることが確認できた。

最大温度	最大温度	レーザ出力	加熱時間	放射率	加工数	硬度
°C	°C	%	sec			
温度センサ	熱電対					
1030	46,50,49	100	4	0.33	3	$160 \sim 163$
1030	42,45,46	100	3.5	0.33	3	$156 \sim 163$
825	40,42,42	100	3	0.33	3	$179 \sim 190$
670	36,37,38	100	2.5	0.33	3	$210 \sim 258$
500	32,33,33	100	2	0.33	3	$343 \sim 348$
970	42,45,46	100	3.5	0.33	10	
760	39,41,42	90	3.5	0.33	10	$190 \sim 220$
550	35,36,37	80	3.5	0.33	10	$306 \sim 335$
720	41,43,44	80	4.5	0.33	10	$200 \sim 248$

表 2-1-2 レーザー加熱温度測定結果

また、レーザー出力 90%、加熱時間 3.5 sec と条件を設定し、10 個のサンプルを連続 して加熱した際の測定温度の推移を図 2-1-27 に示す。最大加熱温度は 720~780℃とな っており、およそ 40℃のばらつきを確認した。実際に部品を量産加工する際において は、加工コスト低減のために、加工タクト時間はなるべく短くする必要があるが、ダ イアフラム部の硬さは H.V.180 以下にする必要があることから、この最大温度ばらつき があっても問題無い温度まで加熱する必要があると考えられる。



図 2-1-27 連続加工時における温度測定結果(レーザー出力 90%、加熱時間 3.5sec)

(d)測定温度監視システムの開発

前項で測定したレーザー加熱温度が、量産加工時にも安定しているかを確認するこ とで、プレス加工品質を良好に保つことができる。そこで、ダイアフラム部品の加熱 温度を常時監視し、所定の温度に達しているかを確認するシステムを開発し、実際に 量産加工中での動作を確認した。開発した温度監視システムを図 2-1-28 に示す。この システムはレーザー加熱温度が所定の温度に到達したかを判断し、その結果によって リレーを ON/OFF 動作させる。リレーはプレス機に接続し、加熱以上の際はプレス機 を停止させ、つぶし工程でのパンチ破損を防ぐ。また、この監視システムは、温度セ ンサからの測定値をマイコンで判断する方式のため、マイコンのプログラムを書き換 えるだけで様々なパターンの判断条件を設定することができる。また、図 2-1-29 に示 すようなソフトウェアを作成し、加熱温度を P C に表示するとともに、測定結果を P C に保存できるようにした。図 2-1-30 にはシステムをプレス機に接続し、動作確認し た様子を示す。レーザー加熱温度を常時監視し、レーザー加熱温度が低い場合には異 常信号をプレス機に送信できることを確認した。これにより、量産加工時にも加熱温 度の安定性を確認できるようになった。



図 2-1-28 加熱温度監視システム



図 2-1-29 加熱温度表示ソフトウェア

2-1-5 時効処理の最適化

(1)研究開発の内容

プレス成形後の部品は、その位置により加工度が異なり、強度(硬さ)は加工度に 応じ変わる。さらにレーザーによる局所加熱のため温度分布が生じ、結晶粒等の金属 組織も変化する。そこで、部品を均質化する熱処理が必要となる。溶体化熱処理は、 合金成分を固溶体に溶解する温度以上に加熱して十分な時間保持し、急冷してその析 出を阻止する操作であり、時効処理は、時効硬化(析出硬化)を人工的に行う操作で ある。適正な熱処理条件を評価するため、部品断面の硬さ、結晶粒の形状やサイズ、 粒界腐食等の組織観察を行う。

(2)研究成果

熱処理条件は、高温又は実使用条件での評価(強度、耐久性)を行っていないため 最終的な判断はできないが、強度が高く、粒界析出物、表面層のない「時効処理のみ」 で要求を満たすと考えられる。

一方、時効処理温度は、「冷間加工が加わった場合の時効特性は、加工ひずみが大き くなるにつれ最高時効硬さが増すとともにピークを示す時効温度が低温側に移動する」 ことが確認されている。今後の量産化に向け、さらなる低コスト化のために時効処理 温度の低温化、保持時間の短縮を目的とする時効処理の最適化実験を行って必要であ る。

2-2ダイアフラム部品の形状測定及び品質保証の為の特性評価技術の確立 2-2-1 非接触輪郭形状測定機による評価

(1)研究開発の概要

本開発における製品はその形状精度が性能に大きく影響する。そのため、試作品全体の形状精度を正確に評価することは、加工方法の改善等研究の進捗において重要である。しかしながら、製品は微細かつ複雑であり、従来の接触式形状測定機等では全体の形状精度を評価することは困難である。長野県工業技術総合センターの所有する高精度非接触輪郭形状測定機(三鷹光器株式会社製 NH-3SP)は、回転ステージを利用することでそのような製品でも全周輪郭形状を評価することができる。今回、治具を工夫して測定することで、全体寸法から微細部の形状まで一括で評価することができた。

(2)方法

図 2-2-1 に今回使用した測定機の外観を、表 2-2-1 に性能諸元を示す。本測定機は レーザーを用いて製品表面の形状を非接触で測定することができる。また、横向きに 試料を回転させる回転ステージを持ち、試料を回転させながら測定を行うことで製品 の全周輪郭形状を測定することができる。本研究では、図 2-2-1(b)に示す簡便な治具 を用意して、その穴部に試作品を固定することで、試料全体の形状精度を評価した。





(a)外観(b)治具と試作品図 2-2-1 高精度非接触輪郭形状測定機(三鷹光器(株)製 NH-3SP)

表 2-2-1 性能緒元

型式	NH-3SP
メーカー	三鷹光器(株)
測定方式	ポイントオートフォーカス方式 (IS025178-605)
測定範囲	X, Y:150mm×150mm Z(粗動):120mm+Z(AF軸):10mm
分解能	X, Y: 0.01μm Z: 0.001μm
ソフトウェア	測定マクロ登録機能,NH評価ソフト,MITAKAMAP XT他
ファイル管理	形状データはCSV形式、テキスト形式等で出力可

まず治具に試料を固定し、形状を複数分割して測定後、座標変換して各データを結 合した。

一部は測定できていないものの、図面に指示された寸法についてほぼ評価することができた。また、図中の波形データは形状データの直線に対する偏差、すなわち真直度を表している。このような幾何公差の評価も可能となっている。

(3) 今後の課題と取り組み

本研究では、非接触形状測定機と回転ステージを利用することで、微細複雑製品の 全周形状測定を行った。このことにより、工程条件、材料、設計等の変更に対して、 試作品の形状評価を行い、改善効果を検証することができた。今後の課題としては、 第一に治具の改善によって製品全体の形状データ取得を行えるようにすること、第二 に1回の測定にかかる時間が準備を含め数十分以上かかる。

2-2-2 非破壊による重要箇所の測定方法

(1)研究開発の内容

バネ定数に一番影響のあるダイアフラム部の厚み測定は、昨年度の研究で三鷹光器 (株)のNH-3SPを使用しての製品測定を行ったが、測定時間が 30 分~1 時間程掛かる 為、現場で使用するには現実的ではない、量産化に向けてプレス加工中の製品を簡易 的に短時間で測定し、現場で寸法保証する為の測定方法を確立する。

(2)研究成果

どのような測定方法が良いか、参加企業及び団体が集まる中で検討会議を行い、多 くのアイディアが出た中で、治具を使用してマグネスケールで測定する方法に決まっ た、これは製品内径を冶具でガイドし、ダイアフラム部に有る幅 0.2 のフラット部を 治具先端で支えることにより、冶具高さと製品セット時の差を測定する方法で、現場 で図る方法としては良いと考えられる。 検討会議に基づき冶具製作をした、完成した冶具写真を図 2-2-5 に示す。





図 2-2-5 完成した冶具の写真

簡易測定方法の信頼性を確認する為、Nikon Nexiv (レーザー測定)と SAT (超音波測定)を使用し紐付きサンプルを測定し誤差が有るかを確認した。測定結果を図 2-2-6 に示す、又使用機器の写真を図 2-2-7 に示す。

	迪 夺 瑧 兕	製品底厚寸法			
側 正 懱 奋		サンプル 1	サンプル 2	サンプル 3	Ave.
	日進精機(株)	0.1810	0.1850	0.1830	0.186
Û	簡易測定方式	\sim 0.1850	\sim 0.1880	\sim 0.1880	
0	(株)ミスズ工業	0.1779	0.1822	0.1850	0.187
2	NikonNEXIV VMR1515	\sim 0.1857	\sim 0.1856	\sim 0.1912	
	長野県工業技術総合セン	0.1740	0.1710	0.1740	0.181
3	ター	\sim 0.1770	~ 0.1800	~ 0.1800	
	超音波映像装置(SAT)				

図 2-2-6



測定結果は、簡易測定・レーザー・超音波測定で誤差が6µmと非常に近い値が測定 されたので簡易測定法は信頼出来る結果となった、これにより量産時の品質保証方法 が確立された。

2-2-3 加工部品の機能性評価を目的としたばね定数測定

(1)研究開発の内容と成果

本研究では自動車用の燃焼圧センサに使用されるダイアフラム部品を対象としてい る。ダイアフラム部品が圧力センサとして使用される際に、エンジン内の燃焼圧変化 を安定して検出するためには、ダイアフラム部品のばね定数を一定に保つ必要がある。 そこで、ダイアフラム部品のばね定数測定方法を検討および測定装置を開発した。開 発した装置によりばね定数を測定し、加工条件や熱処理条件の違いによるばね定数の 変化を確認した。

(b) ばね定数測定装置

開発した装置を図 2-2-11 に示す。装置には変位センサを 2 つ配置しているが、ダ イアフラム部品を圧縮すると部品全体が移動してしまうため、ダイアフラム部の最も 変形が大きい中央測定点と、変形の少ない基準点での変位量の差を変形量として測定 している。



図 2-2-11 ばね定数測定装置

(3) 今後の課題と展開

前項での測定結果から、板厚とばね定数の関係が確認できたが、この測定方法は部 品を1つずつ取り出して測定する抜き取り検査となる。ばね定数はダイアフラム部品 の機能性を評価するための重要項目であることから、量産加工時においても全数保障 が望まれることが予測される。そのため、今後は量産加工中のインライン測定手法を 検討する。

2-3 金型内及びプレス機内における熱処理技術の確立

2-3-1 半導体レーザーによる熱処理方法の具現化

(1)研究開発の内容

レーザー焦点径を比較的大きくすることが容易とされる半導体レーザー機器を用いて、金型内外における製品への熱処理を目的とした実験を進めた。高出力の大型半導体レーザーによる部分焼入れについては、すでに専門としているメーカーもあるが、

今回はプレスラインに中に組み込むことを目的とする為、プレス金型に搭載可能な小型で低出力のレーザー装置を用いて実験を行った。

(2)研究成果

- (a) 半導体レーザーの仕様
 - 新しく採用した半導体レーザーは、
 - ・メーカー :浜松ホトニクス株式会社
 - ・型式 : 空冷式半導体レーザー発振機
 - ・焦点径 : レーザーヘッドの交換により Φ 0.8 Φ 3.6 Φ 6.4 に切り 替え可能
 - ・レーザー仕様①(主レーザー光)

光出力 : 最大 75W (min)

となっており、レーザーヘッドの出力形状はこれまでのファイバーレーザーと同様に トップハット形状の物を使用している。

なお、今回実験に使用する際のヘッドの取り付けはファイバーレーザーの時の様に専 用冶具を用意する必要が無い為、マグネットクランプによる固定で行っている。



図 2-3-2 ヘッド固定方法と各ヘッドの仕様

(b) 半導体レーザーによる加熱基礎実験

各ヘッドの特性をつかむ為、0.8mm 厚の SUS631 材に焦点位置(ビームウエスト位置) での照射を行い、結果を観察した。

照射時間はそれぞれ 1.0 秒から 10.0 秒まで 0.5 秒刻みで行い、各結果を比較した中か ら、いくつかの条件で再度照射実験を行った。

以下はその際の実験結果である。



図 2-3-3 基礎実験結果

図 2-3-3の基礎実験結果は上段より焦点径が Φ0.8、 Φ3.2、 Φ6.4 となっており、照 射時間は各照射箇所の上部に記入してある。

この結果より、**Φ**0.8のヘッドでは、焦点径が小さく広範囲に熱が加わる前に溶融が 発生し、制御が困難となる可能性が高い事が考えられる。

Φ3.2とΦ6.4の実験結果では、照射をした際に照射箇所全体が大体均一に加熱されて いると推測される。

ただし、Φ6.4 では低出力半導体レーザーである為に、径が大きくなった分エネルギー が分散しすぎており、0.8mm 厚の材料でも加熱が十分に行えない事が分かる。

これらの事から、以降加熱実験のメインヘッドとして使用する物をФ3.2とし、実験を 進めていった。

また、Φ3.2の照射時間2.5秒の結果では、照射範囲とそれ以外の境界線が明確に出て おり、SUS631の0.8mm 厚材料に対しては加熱と放熱のバランスが最も取れていると考 えられる事から、以降目的の結果を得るための指標として、材質や対象製品の厚さ、 大きさに対する加熱のバランスを取る為の実験が重要となることがわかった。 (d) デフォーカシング時のレーザー強度分布の簡易測定方法検討

これまでの実験より、レーザーによる焼鈍(以降、レーザーニール)では、製品形 状に対して適切なデフォーカシングが有効と考えられるようになったが、その際のレ ーザー強度分布を調べるには、高価な検査機器と大掛かりな実験が必要になってくる。 しかし、加熱調整に必要な情報はごく限られたものであり、将来的には生産現場で簡 易的に観察できる方法が望まれる。

そこで、今回検討した測定方法はレーザーを照射した際の反射光に着目し、デジタル カメラで撮像する事で光度分布測定の代用を目指した。



図 2-3-6 レーザー波長分布図 (オムロンレーザーフロント社資料より転載)





(BITRAN 社データより転載)

本実験で使用されている半導体レーザーの波長は 940nm であり、赤外線の域にある

為目視は出来ない(図 2-3-6 参照)。

しかし、図 2-3-7のCCDカメラの分光特性図では撮像可能な領域に入っているため、 CCDを搭載したデジタルカメラで確認する事が出来る。

これを利用して、CCDカメラにて撮像したレーザー加工中の反射光を、画像解析ソフトを用いて赤色成分のみ抽出(人の目では見えない赤外線域も含まれるため)し、 光度分布表を作成・評価を進める方法を提案し検証を進めた。



図 2-3-8 半導体レーザーの簡易測定結果

図 2-3-8 は前述の方法を用いた測定データとなる。

結果として、撮像データから赤色成分のみを抽出した段階では、照射の外輪付近での 照射ムラと思われる部分が見受けられた事から、デフォーカシングをする事でムラの 領域が増えていく様子が捉えられる。

しかし分布図に変換した場合は中央部の光量が多すぎるため強度分布が測定出来なか

った。

対策としては、レーザー光のみを抽出する為に必要波長以外の光を減光するフィルタ ーが必要と考えられる。

(e) 半導体レーザーによる部分焼入れ実験

これまではプレス加工の負荷を減らすための製品に対するレーザーニールを実験し てきたが、今回は通常のプレス加工では後工程とされる部分焼入れを、半導体レーザ ーを用いてプレス機内外で行う(以降 レーザークエンチ)為の実験を行った。

追加実験装置として、XYテーブルを導入し、製品焼入れで必要とされる範囲形状 を加熱することを可能とさせる事で、より要求事項に近い条件出しを進めた。



図 2-3-9 半導体レーザーによる部分焼入れ実 ➡

図 2-3-9 はレーザーヘッドの焦点位置は固定とし、X Y テーブル上で加熱対象となる ブランクを移動させる事で、必要範囲の部分焼入れ実験を行った写真である。 この際の基本条件は

- ・レーザーヘッド焦点径 : Φ3.2
- ・デフォーカス無し (ブームウエスト部)
- ・出力 :100%
- ・熱処理対象ワーク :プレス加工品、

材質:S45C

板厚:3mm

概略サイズ : 18mm×14mm

となっている。

また、加熱実験の際に変化を持たせたパラメーターは、

① 初期照射点での照射保持時間(ワーク加熱までに一定時間が必要と仮定)

 ② 移動速度(加熱能力と移動速度のバランスを見る)

の2点となり、図2-3-9の拡大写真の範囲内(約12mm、小判円内)で焦点位置を矢 印方向に移動させて実験を行った。



図 2-3-10 加熱ワーク写真

図 2-3-10 では、移動速度を 1mm/sec に固定し、初期位置の保持時間のみを変えた 実験データを載せている。

結果としては図中に表記されているとおり、保持時間が 7 秒以下の時点では焦点位 置移動の後半でのみ変色が見られるが、10秒を越えたあたりから焼き色の範囲が広 くなっている。



図 2-3-11 照射保持時間と表面硬度

図 2-3-11 は初期位置照射保持時間と表面硬度を対比させたグラフとなる。

ここから、照射保持時間が 22 秒で表面硬度が最大(HV430 程度)となり、それ以上 加熱を続ければ硬度の低下が始まる事が観測された。

また、最大硬度では S45C 材の高周波焼入れ硬度(HV450 以下)と同等となっており、 硬度に関しては部分焼入れ用の熱処理として使用可能となりうる。



図 2-3-12 移動速度と表面硬度

図 2-3-12 は条件②の移動速度による表面硬度の変化を比較したものである。 照射保持時間 15 秒までは移動速度 1mm/sec 2mm/sec ともに同じ様な硬度となるが、 照射保持時間が 20 秒を越えた所から硬度上昇の違いが見られるようになった。

これは、照射保持をしてワークを十分に加熱しているにも関わらず、移動速度が速 い為、通過点の加熱が足りていない為と考えられる。

また、照射保持時間25秒を越えてしまうと移動速度に関わらず初期位置が溶融し始める為、焼入れ条件としては使用する事が出来ない。

結果として、今回のワークと加工範囲に関しては、

①照射保持時間 22 秒

③ 移動速度 1mm/sec

の条件が最適と考えられる。

本実験によりプレス成形部品に半導体レーザーでの焼入れは可能であることが分 かったが、実用にあたっては、照射範囲と焼入れ深度の測定が必要であり、また、 照射部以外にも酸素との結合による焼き色がついてしまう為、不活性ガス中での加 工実験も進める必要性がある。

2-3-2 レーザー焼鈍の最適化

(1)研究開発の内容

焼鈍工程によるレーザーの効果を確認した。レーザーの焦点位置にサンプルを設置 すると溶融、粒界腐食等の問題が生じるため、焦点位置をデフォーカスすることによ り運用している。しかし、デフォーカスにより加熱に要する時間が増す。加熱時間の 短縮、均一な加熱等のため、ビーム強度が照射範囲において一定であり、均一加熱性 が良い半導体レーザーによる加熱実験を行い、レーザー焼鈍の最適化を行う。

(2)研究成果

半導体レーザーによる加熱実験のため、照射時間を 1.0、1.5、2.0s 及びデフォーカ スしたサンプルとファイバーレーザー照射品と比較を行った。照射時間 1.5、2.0 では 照射部に溶融が確認された。硬さは 1.0s の照射でも底部全体がファイバーレーザー照 射品と比べ低下している。デフォーカス品はファイバーレーザー照射品とほぼ同じ硬 さであることを確認した。

焼鈍効果を確認するため、半導体レーザーとファイバーレーザーによる加熱サンプ ルについて、レーザー加熱後取り出したサンプル(加熱のみ品)と最終形状まで加工 したサンプル(加熱製品)について比較を行った。硬さ、金属組織とも両レーザーに 差のないことを確認した。

(3) 今後の課題と取り組み

同じ出力のレーザーでは、焼鈍に要する時間は短縮できないことが確認されたため、 大出力のレーザーによる短時間照射について検討する必要がある。

-					
_	估罢	ファイバ・	ーレーザ	半導体	マーザ
_	凹直	加熱のみ品	加熱製品	加熱のみ品	加熱製品
	1	352	358	372	371
	2	280	281	282	289
	3	205	240	199	227
	4	172	259	158	250
	5	153	257	157	244
	6	151	249	154	222
	7	155	196	152	179
	8	158	246	155	253
	9	171	287	163	252
	10	181	221	205	215
	11	262	270	274	268
	12	361	383	360	371

硬さ測定結果

(肖佳,山)(01)



2-4 加熱・成形シミュレーション及びプレス加工のためのデータベースの拡 充と整備

2-4-1 成形シミュレーションによる加工条件最適化

(1)研究開発の内容

本開発は冷間加工と温・熱間加工、熱処理を複合させて難加工材の加工を可能にす るものである。従って、工程設計における冷間工程と温・熱間工程、熱処理の組み合 わせが重要である。即ち、従来の冷間工程のみの工程設計検討だけでは不十分であり、 様々な工程を組み合わせた工程設計を行う必要がある。そのため、昨年度に引き続き 成形シミュレーションによる金型形状および加工条件の最適化を実施した。本年度は ダイアフラム部品の形状変更にともない、新たに全ての工程を解析した。

(2)研究成果

形状変更に伴い、新たに実施した解析結果を図 2-2- に示す。金型形状を昨年から 若干変更しているが、基本となる解析は昨年実施しているため、概ね良好な結果が得 られた。これらの結果等をもとに金型設計・製作を行い、量産試作型を開発すること ができた。また、実際の実験では形状不具合も幾つか生じたが、成形シミュレーショ ンとの併用により解決できた。

(3) 今後の課題と取り組み

量産試作型を開発でき、試作品も川下企業に提出できた。成形実験における形状不 具合についても成形シミュレーションの活用により試行錯誤を削減することができた。 今後は実用化に向けた金型の微調整が必要になるため、引き続き成形シミュレーショ ンを活用し、工数や試行錯誤の削減に役立てる。

2-4-2 温度による材料特性評価

(1)研究開発の内容

材料は温度により強度特性が異なる。そのため、加工するための最適な温度を探索 する必要がある。昨年度は、順送加工で使用するコイル材としての SUH660 の特性を測 定した。その結果、800℃で変形抵抗が半減することが分かった。本年度は、ロットに よる材質変化を確認するため材料試験を実施した。また、水平展開としてマグネシウ ム合金や高ケイ素鋼板などの成形し難い材料についても材料試験を実施した。

(2)研究成果

表 2-4-1 にロットの違いによる SUH660 の引張試験の結果を示す。結果としては、ロットによる差異はないことを確認した。表 2-4-2 にマグネシウム合金 AZ31 の引張試験 結果を示す。300℃まで加熱すると引張強さが半減し、伸びは 3 倍以上になることが分 かった。図 2-4-2 に高ケイ素鋼板の引張試験結果を示す。常温ではほとんど伸びが生じ ないが、150℃まで加熱すると圧延方向からの角度にも依るが 10%以上まで伸びる場合 もあり、大きく向上することが分かった。

(3) 今後の課題と取り組み

SUH660 のロット違いによる特性、マグネシウム合金、高ケイ素鋼板などの難加工材 の特性データが得られ、これらをシミュレーションに入力することで、解析精度を高 めることができた。また、材料データは解析精度に最も影響を与えるデータであるた め、今後は、本技術の水平展開を狙ってさらなる多様な材料データを収集する必要が ある。

		C值	n值	引張強さ (Mpa)	降伏点 (Mpa)	伸び(%)	ヤング率 (Gpa)	ポアソン比
	1	1369	0.3312	665	333	38.4	186.9	0.26
H25.12	2	1373	0.3314	665	334	37.6	185.8	0.28
	3	1367	0.3304	664	333	38.2	198.9	0.27
H26.6	1	1375	0.3375	661	326	38	185.5	0.27
	2	1381	0.3392	662	326	38.3	185.4	0.28
	3	1368	0.3333	662	326	37.8	187.7	0.27
H26.12	1	1359	0.3233	667	335	36.9	182	0.26
	2	1354	0.3211	666	333	37.6	178.8	0.25
	3	1355	0.3224	666	335	38.2	196.7	0.26

表 2-4-1 ロットの違いによる SUH660 (コイル材)の引張試験結果

表 2-4-2 マグネシウム合金(A	AZ31) の引	張試験結果
--------------------	----------	-------

温度	保持時間 (分)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	n値	r值
小 百		286.99	25.1	0.134	1.586
市直		287	24.3	0.131	1.577
	8	244.28	42.5	0.114	
150°C	8	250.71	43.6		
	60	178.82	80.1	0.123	0.852
200°C	8	227.02	52.4		
300°C	8	122.4	79.1	0.063	0.696
	8	126.59	77.6	0.061	0.695
	60	43.55	126.4	0.020	0.604
	60	46.98	127.5		



2-4-3 金型の加熱・冷却最適化

本研究の目的は、高温域における SUS631 ステンレス鋼板および SUH660 耐熱鋼板の 円筒深絞り加工において、成形の可否と影響因子との確認する。成形性の評価項目と して加工力(パンチ荷重)、影響因子として、成形温度、成形速度、成形容器の板厚ひ ずみ分布とした。

(1) SUS631 ステンレス鋼板の温間引張試験

①供試材および試験条件

供試材には板厚 t=0.6mm の SUS631 ステンレス鋼板を使用し、試験片形状は JIS13B 号試験片(評点間距離 *I*₀=50mm、幅 *W*₀=12.5mm)を適用した。なお、ひずみ 速度の影響を考慮するため、引張速度を 1、10、100mm/min の 3 条件、温度条件は 500℃、700℃の 2 条件で試験を行った。

②試験結果および考察

図 2-4-3 に各条件に真応力-真ひずみ曲線を示す。表 2-4-3 に各条件における引 張強さおよび破断伸びを示す。温度が上昇することで応力、伸びは増加する様子 が確認できる。また、ひずみ速度の影響として、引張速度が上昇することで応力 は増加した。特に、700℃においては伸びが大きいためその割合が大きい。



図 2-4-3 各条件における真応力-真ひずみ曲線

表 2-4-3 各条件における引張強さおよび破断伸び

	500 °C			700 °C		
	1[mm/min]	10[mm/min]	100[mm/min]	1[mm/min]	10[mm/min]	100[mm/min]
Tensile strength[MPa]	1136	1239	1299	207	306	446
Elongation percentage[%]	4.26	3.58	2.82	34.4	28.1	19.0

(2) SUS631 ステンレス鋼板の温間円筒深絞り加工

①供試材および試験条件

供試材には板厚 t=0.6mm、直径 D_0 =19.1mm(絞り比 DR=2.0)の SUS631 ステンレ ス鋼板を用いた。 図 2-4-4 に使用した温間深絞り加工実験装置の写真とその概 略図を、表 2-4-4 に実験条件を示す。しわ抑えには耐熱ばねを用いて、しわ抑え 力を任意に調節可能とした。潤滑剤にはボロンベース潤滑剤(スミペースト BN) を用いた。試験条件は引張試験と同様に深絞り速度を 1、10、100mm/min の 3 条 件、温度条件は 500℃、700℃の 2 条件とした。



図 2-4-4 温間深絞り加工装置

	500,700	
R	10	
Pu	1,10,100	
Bla	270	
Punch	Diameter: <i>D</i> _P [mm]	9.55
	Shoulder radius: <i>R</i> _P [mm]	1.5
Die	Diameter: <i>D</i> ₀ [mm]	11.2
Die	Shoulder radius: <i>R</i> d [mm]	2.5
Dra	2.0	

表 2-4-4 SUS631 ステンレス鋼板の温間深絞り加工条件

②試験結果および考察

【パンチ荷重】

図 2-4-5 に 700℃でのパンチ荷重-パンチストローク曲線および深絞り容器外 観図を示す。なお、500℃の試験において、しわ抑え力の不足のため試験片は全 ての深絞り速度で破断した。引張試験と同様に、深絞り速度の増加に伴いパンチ 荷重は増加した。

【肉厚分布】

図 2-4-6 に 700℃での深絞り容器中央部から口縁部までの肉厚分布曲線を示す。 また、表 2-4-5 に引張強さに対するパンチ肩部における引張応力との比を示す。引 張強さに対するパンチ肩部における引張応力の比を示す。パンチ肩部における引 張応力は以下の式により算出した。

$$\sigma_{\rm r} = \frac{P}{tD_{\rm p}\pi}$$

ここで、Pはパンチ荷重、tは試験片初期板厚、D_pはパンチ直径である。深絞り 速度が高くなるにつれて深絞り容器肩部の肉厚は厚くなっており、これは深絞り 速度が高いほど、引張強さに対するパンチ肩部における引張応力との比 σ_r/σ_Bが低 いことが原因となり、成形余裕度に影響を与えたと考えられる。



図 2-4-5 パンチ荷重-パンチストローク曲線および深絞り容器外観図



	Shoulder part tensile stress σ_r [Mpa]	Tensile strength $\sigma_{\rm B}[{\rm Mpa}]$	Max. punch load[kN]	$\sigma_{\rm r}/\sigma_{\rm B}$
1[mm/min]	200	207	3.60	0.97
10[mm/min]	268	306	4.83	0.88
100[mm/min]	322	446	5.80	0.72

表 2-4-5 引張強さに対するパンチ肩部における引張応力の比

(3) SUH660 耐熱鋼の引張試験および温間円筒深絞り加工

- ①SUH660 耐熱鋼の引張試験
- (1) 供試材および試験条件

供試材には板厚 t=0.8mm の SUH660 耐熱鋼を用いた。図 2-4-7 に試験片形状を 示す。なお、ひずみ速度の影響を考慮するため、引張速度を 1、10、100mm/min の 3 条件、温度条件を 600℃として試験を行った。

(2) 引張試験結果

図 2-4-8 に各条件の真応力-真ひずみ曲線を示す。ひずみ速度の影響として、 引張速度が上昇することで応力、伸びは減少した。



図 2-4-7 SUH660 耐熱鋼の引張試験片形状



図 2-4-8 各条件における真応力-真ひずみ曲線

②SUH660 耐熱鋼の深絞り試験

(1) 供試材および試験条件

供試材には板厚 t=0.8mm、直径 D₀=18.1mm(絞り比 DR=2.0)の SUH660 耐熱鋼を 用いた。なお、ひずみ速度の影響を考慮するため、引張速度を 1、10、100 [mm/min] の 3 条件、温度条件を 600℃として試験を行った。潤滑剤にはボロンベース潤滑 剤(スミペースト BN)を用いた。試験装置は SUS631 の深絞り試験と同じ装置を 用いた。(2) 深絞り試験結果

図 2-4-9 に各条件におけるパンチ荷重-パンチストローク曲線および深絞り 容器外観図を示す。加工速度 1、10mm/min においては引張試験と同様に、加工 速度が上昇することでパンチ荷重は低下した。



図 2-4-9 パンチ荷重-パンチストローク曲線および深絞り容器外観図

2-4-4 CO₂および半導体レーザーにおける SUH660 の熱特性・変形特性 (1)研究開発の内容

レーザーによる金型内及びプレス機内における局所加熱方法の最適化を図る には、被加熱材料である SUH660 の熱に関する各種傾向・特性を知る必要がある。 特に、SUH660 は熱や変形等の特性で不明な点が多いため、本材料を用いて水平 展開するには、熱特性や変形特性の把握が非常に重要である。

そこで、本節では SUH660 のレーザー加熱による基礎資料を得る目的で、SUH660 の (a) CO, レーザー加熱による熱伝導特性、(b) CO, レーザーおよび半導体レーザーによ

る曲げ変形特性を実験的に求めた。これらの結果を SUS304 と比較しながら評価 することで、水平展開をするための基礎資料として活用する。

(2)研究成果

①実験方法

本節で使用したレーザー熱源として、CO₂レーザー加工機(コマツ NTC 社製、 TLV408C15F)、および半導体レーザー(浜松ホトニクス社製、L12333-511)を用 いた。各レーザーの諸元と照射条件を表 2-4-6 に示す。また、試験片(80mm×10mm) として SUH660(厚さ 0.8mm)および SUS304(厚さ 0.6mm、0.8mm、1.0mm)を用い、 長手方向の端から内側へ 20mm の部分に直線でレーザー照射を行った。

		,		
	諸元・加工条件	$CO_2 \nu - \# -$	半導体レーザー	
	発振形式	パルス	CW	
	中心波長	10.6 μ m	940nm	
<u>⇒≭</u>	最大出力	1.5 kW	75 W	
前儿	ビーム径	19 mm	N/A	
	集光レンズ焦点距離	190.5 mm	43 mm	
	スポット径	0.3 mm	0.8 mm	
	出力	$100\!\sim\!400$ W	60 W	
	走查速度(直線走查)	2.5 mm/s	$0.25\!\sim\!25$ mm/s	
昭帥	繰返し周波数	$100\!\sim\!200~{\rm Hz}$	N/A	
条件	Duty	15 %	N/A	
	デフォーカス量			
	(試料表面から離す方向を	8 mm	± 0 mm	
	+)			

表 2-4-6 本節で使用した各種レーザーの諸元および照射条件

(a) 熱伝導特性

熱伝導測定では、試験片のレーザー照射面に熱電対を 5 か所(温度測定点は レーザー照射部からの距離 1~5mm の 1mm 間隔)にスポット溶接し、CO₂ レーザ ー(300W、100Hz に固定)を直線走査することにより加熱した。

(b) 曲げ変形特性

曲げ変形測定では、測定分解能 0.5µmのレーザー変位計(Panasonic 社製、 HL-G103-S-J)を使用した。試験片のレーザー照射部の両側平面部を各 2 点測 定し、各平面部が直線と仮定した上で、2 直線のなす角を曲げ角度として算出 した。

②実験結果および考察

(a) 熱伝導特性

CO₂レーザー照射位置からの距離 1mm 時における各種試験片の経過時間と温度の関係を図 2-4-10 に示す。いずれの試験片においても、材質および厚さが異なれば最高温度も変化することが確認される。ここで求めた最高温度について、CO₂レーザー照射位置からの距離と最高温度の関係を図 2-4-11 に示す。同図より、レーザー照射位置からの各距離について、SUH660・t0.8 の最高温度は同一厚さの SUS304 のそれよりも高くなっている。また、同一条件のプロット点を繋いだ近似線は直線傾向を示し、t0.8 の時の SUH660 と SUS304 の傾きは同一傾向である。さらに、SUS304 においては板厚が薄い程、右下がりの傾きが顕著となる。これらの傾向から、測定した照射位置からの距離範囲において、板厚は近似直線の傾きを、材質(材料特性)は近似直線の上下方向に大き

く影響すると推定される。





図 2-4-11 CO₂レーザー照射位置から の距離と最高温度の関係

(b) 曲げ変形特性

各試験片に CO₂ レーザー照射時の、パルスエネルギーと曲げ角度の関係を図 2-4-12(i)に示す。同図より、SUH660 および SUS304 ともに、パルスエネル ギー0.5~2.4Jにおいて概ね直線関係があると考えられる。

このパルスエネルギーの範囲 0.5~2.4J において、最小二乗法により直線近 似した結果を図 2-4-12 (ii) に示す。同図より、SUH660 および SUS304 の近似 直線の傾き[°/J]は、それぞれ 0.81、0.27 となった。SUH660 および SUS304 の熱伝導率 k[W/(m・K)]はそれぞれ 12.2、16.7 である。ここで、熱伝導率の 逆数 1/kを求めると、それぞれ 0.0820、0.0599 となるが、これらの値は近似 曲線の傾きまでの違いがない。このことから、両材質は熱伝導率の影響よりも 他の要因 (例えば、各材料のレーザー吸収率などの相違) がより大きく影響し て曲げ角度が決定されると推定できる。



(i)各材料におけるレーザー出力毎の結果
 (ii)最小二乗法による直線近似
 図 2-4-12 CO₂レーザーのパルスエネルギーと曲げ角度の関係(板厚 0.8mm)
 CO₂レーザー照射部の表面写真を図 2-4-13 に示す。同図より、同一のパルスエネ
 ルギーを各材料に照射すると、SUH660 の方がより大きな照射痕幅となることが
 確認される。



図 2-4-13 CO₂ レーザー照射部の表面写真(出力 200W、板厚 0.8mm)



図 2-4-14 CO₂ レーザーによる照射痕幅と曲げ角度の関係(出力 200W、板厚 0.8mm)



図 2-4-15 半導体レーザーにおける走査速度と曲げ角度の関係

ここで、照射痕幅と曲げ角度の関係を明らかにするため、 CO_2 レーザーによる照 射痕幅と曲げ角度の関係を図 2-4-14 に示す。同図より、パルスエネルギー1.0~ 2.0J の範囲においては、SUH660 および SUS304 ともに照射痕幅と曲げ角度には比 例関係を有することが確認される。ただし、SUH660 と SUS304 では近似直線の傾き が異なることから、材料特性やそれ以外の要因で傾きが決まると推定される。 また、t0.8 において、SUH660 の 1.0J と SUS304 の 2.0J は同程度の曲げ角度とな ることも確認された。

一方、半導体レーザーによる走査速度と曲げ角度の関係を図 2-4-15 に示す。同 図より、いずれの材質や板厚においても、基本的には走査速度の増加により、曲 げ角度は減少する。また、走査速度が 1.25~10mm/s の範囲では SUH660 の t0.8 と SUS304 の t0.6 は同程度の曲げ角度となり、SUS304 の板厚が増加すると曲げ角度 は減少することも確認される。

しかし、SUS304・t0.6の走査速度 0.25mm/s においては、曲げ角度が大幅に減少 している。この理由として、レーザーフォーミングの変形メカニズムの相違が挙 げられる。今回の実験の多くは板の長手方向と板厚方向の温度勾配に起因した「温 度勾配メカニズム」による曲げ変形である。これに対し、曲げ角度が大きく落ち 込んだ試験片は板の長手方向の熱膨張と収縮により座屈する「座屈メカニズム」 であると推定される。この試験片の裏面(レーザー照射面の裏)を確認すると、 表面(レーザー照射面)と同等の照射痕幅を確認できるため、本推定の妥当性が 裏付けられる。

(3) 今後の課題および取り組み

今後の課題および取り組みに関して、主な内容は以下の通りである。

1) SUH660の板厚の変化による熱伝導特性および曲げ変形特性の検討

2)「熱伝導特性と材料特性」および「曲げ変形特性と材料特性」の詳細な関連の 検討。 他のレーザー(ファイバーレーザー等)による熱伝導特性および曲げ変形特性の 検討。

2-4-5 高周波誘導加熱の解析

(1)研究開発の内容

高精度な高周波誘導加熱解析と成形解析技術を確立する。また、難加工材について材料毎の温度特性評価及び最適加工温度の探索を行ない、材料データベースを構築する。

(2)研究成果

平成 25 年度の研究において 10kW 誘導加熱装置で、今回の目的部品である高 耐熱鋼 SUH660 板厚 0.85mm の絞り製品の加熱実験を行なった結果、搬送時間と 加熱時間の合計が 2.35 秒で 6 工程を要し、最大 1000℃まで昇温可能であるこ とがわかった。

本年度は誘導加熱方式による水平展開を目的とし、SUH660 以外の炭素鋼や ステンレス材を用いて、板とパイプ形状の材料を誘導加熱装置で加熱した時の 加熱性を実験とシミュレーションにより確認と比較検証をする。また、厚板の 冷間鍛造を行ない、誘導加熱で焼鈍させることで加熱前後の硬さ変化について 確認を行なう。

(a)板材加熱の実験とシミュレーション

誘導加熱方式の基礎実験として誘導加熱を行ない、誘導加熱装置の通電時間 における被加熱材の温度上昇の確認を行なった。誘導加熱実験装置を図1に示 す。加熱にはナビオ製10kW誘導加熱装置(図2-4-16)を使用し、通電時間は 最大20秒に設定。被加熱材はSK5、SUS631、SUS304のそれぞれ50mm×50mm× 1.5mmを使用した。加熱コイルは図2-4-18に示すコイル径々4mm、内径々10mm、 外径々30mmのパンケーキコイルを使用した。温度測定にはキーエンス製 FT-H40Kを用い、放射率は0.8(SK5)0.45(SUS631、SUS304)に設定した。被 加熱材の温度測定の位置を図2-4-19に示す。測定位置は、被加熱材である板 材を上面から観察した時のコイル中心部と、先端部のコイル通過位置



図 2-4-16 誘導加熱実験装置(板材)



図 2-4-17 ナビオ製誘導加熱装置





図 2-4-18 パンケーキ型加熱コイル と定めた。

図 2-4-19 板材の温度測定位置

次に実験結果を元にシミュレーションを行なった。解析ソフトは電磁界解析ソフトウェア JMAG-Designer Ver.10を使用し、加熱時間は10秒、被加熱材は実験と同様の物性値を使用、被加熱材の初期温度は20℃、誘導加熱装置の周波数は20kHz、電流は500A、加熱コイル材は銅を想定してシミュレーションを行なった。図2-4-20にシミュレーションの例を示す。



図 2-4-20 シミュレーションの一例(左:SK5 10 秒加熱、右:SUS631 20 秒加熱)

実験とシミュレーションの結果を図 2-4-21、図 2-4-22 に示す。このうちコイル 中心位置の結果を図 2-4-21 に、先端部コイル通過位置の結果を図 2-4-22 にそれぞ れ示す。実験結果より、非磁性材の SUS631、SUS304 に比べ、磁性材の SK5 の温度 上昇が著しいことがわかった。コイル先端部通過位置では 4 秒、コイル中心位置 では5秒で1350℃を越える結果となった。またシミュレーション結果より、SUS631、 SUS304 については実験値と近い値が出たが、SK5 についてはコイル中心位置の 4 秒まで、コイル先端部通過位置では 3 秒までは近い値が出たが、それ以降は実験 での急激な上昇とは違い、比較的緩やかな線形となった。

実験結果とシミュレーション結果の違いとして、測定温度の精度や加熱方式の違いが考えられる。実験では非接触の赤外線温度センサーを用いて温度測定をしているため、温度上昇による放射率の変化に対応できないことや、測定部材の表面 性状が大きく影響することから、接触式の熱電対温度計に比べ精度が低くなる。 また、ナビオ製の誘導加熱装置は、強磁性体が常磁性体に変化するキュリー点で 加熱方式が最適化されるので、その分の違いが現れたと考えられる。



- (b)パイプ材加熱の実験とシミュレーション
- (a)の実験結果より板材の炭素鋼を誘導加熱方式で加熱した時の有効性が確認でき

たので、更に同じ炭素鋼である S25C と S45C のパイプ材の誘導加熱の通電時間に おける温度上昇の確認を行なった。

誘導加熱実験装置を図 2-4-23 に示す。加熱には(a)の実験同様ナビオ製 10kW 誘導加 熱装置を使用し、通電時間は最大 20 秒に設定。被加熱材は S25C、S45C の中空のパ イプ形状のもので、それぞれ内径 ¢ 25mm×外径 ¢ 40mm×12mm を使用した。加熱コイ ルも(a)の実験同様コイル径 ¢ 4mm、内径 ¢ 10mm、外径 ¢ 30mm のパンケーキコイルを 使用した。パイプ材の保持はなるべくクランプへの熱移動を避けるため、接触面積 を抑え線接触にした板材での挟み込み方法を選択した。温度測定にはキーエンス製 FT-H40K を用い、放射率は 0.8 に設定した。被加熱材側面の温度測定位置を図 2-4-2 4 に示す。測定位置は被加熱材のコイル側下面に近い位置の側面に設定した。



図 2-4-23 誘導加熱実験装置(パイプ材)



図 2-4-24 パイプ材の温度測定位置

次に実験結果を元にシミュレーションを行なった。解析ソフトは(a)と同様 JMAG-Designer Ver.10を使用し、加熱時間は20秒、被加熱材は実験と同様の物性値 を使用、被加熱材の初期温度は 20℃、誘導加熱装置の周波数は 20kHz、電流は 500A、 加熱コイル材は銅を想定してシミュレーションを行なった。図 2-4-25 にシミュレー ション結果の一例を示す。





図 2-4-25 シミュレーションの一例(左:S25C表 20 秒加熱、右:S45C裏 20 秒加熱) 通電時間におけるパイプ材の温度測定の実験とシミュレーションの結果を図 2-4-26 に示す。実験結果より、S45C は通電開始から 20 秒後までほぼ同一の傾きの直線に対 して、S25C は通電開始直後に急激な温度上昇が見られた。しかし、その後 2 秒後辺 りから傾きが減少して、最終的には 20 秒間の加熱で 200℃まで到達しなかった。S45C は通電開始直後の急激な温度上昇が見られなかったものの、最終的には 20 秒間の加 熱で 230℃まで達することが確認できた。S25C と S45C は炭素量の違いはあるものの、 物性値はほとんど変わらないため、形状寸法の違いや測定位置のわずかなズレといっ た個体差の可能性が高いと考えられる。シミュレーション結果より、S25C、S45C は 通電開始から 20 秒後まで傾きの変化がほとんどない同一の線形となった。実験結果 とシミュレーション結果の違いとして、(a)の結果と同様に測定温度の精度や加熱方 式の違いが考えられる。



この2種類のパイプ材をそれぞれ25、30、35秒加熱した前後で硬さ試験を行なっ

た結果を S25C は図 12 に、S45C は図 13 にそれぞれ示す。図 2-4-27 の(1)は S25C を 25 秒加熱、(2)は S25C を 30 秒加熱、(3)は S25C を 35 秒加熱、図 2-4-28 の(1)は S45C を 25 秒加熱、(2)は S45C を 30 秒加熱、(3)は S45C を 35 秒加熱した結果を示す。結果よ り、加熱前と加熱後で硬さは小さくなるものの、大きな減少は見られなかった。これ は、材料自体に焼きが入っておらず、加工硬化もしていないため、それぞれ元の硬さ が低く、加熱した時に焼鈍されないためと考えられる。



(c)加工硬化した材料の加熱焼鈍実験

(b)の実験結果より加熱前後の硬さ変化がほとんど見られないことがわかったので、 更に同じ S25C と S45C の厚板を冷間鍛造して加工硬化を発生させ、誘導加熱によって 焼鈍が可能か検証を行なった。



図 2-4-30 冷間鍛造品の硬さ試験位置

冷間鍛造品の加熱前後の硬さ試験を行なった結果を図 2-4-31 に示す。(1)は S25C の 表側加熱前後の硬さ変化、(2)は S25C の裏側加熱前後の硬さ変化、(3)は S45C の表側 加熱前後の硬さ変化、(4)は S45C の裏側加熱前後の硬さ変化の結果を示す。結果より、 S25C は表裏全部の箇所で加熱前後の硬さが低下しているのに対し、S45C は逆に硬さが 向上している箇所がいくつか確認できる。これは、それぞれの炭素量の違いから、S45C は全体的に焼鈍がされるものの、炭素量が多く加熱した際に焼きが入って硬化する部 分が一部現れるためであり、S25C は炭素量が少なく、焼きが入らずに焼鈍されたため と考えられる。



図 2-4-31 誘導加熱前後の冷間鍛造品の硬さ変

(3) 今後の課題及び取り組み

本年度は水平展開として SUH660 以外の炭素鋼、ステンレスの誘導加熱の実験とシミ ュレーションを行ない、炭素鋼の加熱性の高さを確認することができた。また、炭素 鋼においては母材の加熱前後の硬さ変化や冷間鍛造品の加熱前後の硬さ変化を実験に より検証し、低炭素鋼の焼鈍の可能性を確認した。

今後はさらに高精度な高周波誘導加熱解析と成形解析技術を確立する。また、更に他 の材料の誘導加熱や焼鈍の実験を行ない、基礎データを蓄積する。具体的には、チタ ンやマグネシウム、高張力鋼板といった材料を視野に入れている。

2-4-6 高周波誘導加熱におけるコイル形状の最適化

(1)研究開発の内容

高周波誘導加熱コイル形状の最適化による加熱方法とレーザー(ファイバーレーザー、 半導体レーザー)による加熱方法で加工した際の出力、時間、焦点距離等のデータベ ース化を図る。

(2)研究成果

平成 25 年度の研究において、誘導加熱装置本体から加熱部分のコイルまでの長さを 短くすることで、昇温効率がかなり向上することが確認された。また、コイルのター ン数による昇温効率の改善は小さいということがわかり、金型の大幅な改造が少ない 2 ターンが最適という結論が出た。

本年度はコイル形状の最適化を目的とし、∞型コイル、ソレノイドコイル、パンケー キコイルそれぞれで加熱実験を行ない、条件にあったコイルの選定を行なう。 (a)∞型コイルでの加熱実験

平成25年度の研究において、順送の工程内で加熱を行なう場合、搬送時間と加熱時間の合計が2.35秒で6工程を要し、最大1000℃まで昇温可能であることがわかった。 また、そのような工程ごと加熱を行なう方式では、工程間の搬送の際に熱の損失が生 まれるため、搬送時にも加熱できるような連続した加熱方法が望ましい。その対策の 一つとしてソレノイド型コイルを使ったトンネルに材料を潜らせる方式が考えられる が、サン(順送加工材料の製品以外の周辺部分)の加熱も同時にしてしまうため位置 決め穴の熱変形や、材料の熱膨張によるガイドのこすれの問題があった。そこで、加 熱が必要な中心部分のコイルを近接させ、その他の部分は逃がした∞型コイル(図 2-4-32)を製作し、加熱実験を行なった。

加熱には、ナビオ製 10kW 誘導加熱装置を使用し、通電時間は最大 30 秒に設定。被加 熱材は冷間絞り加工をした SUH660 の板厚 0.85mm 高さ 5mm を用いた。材料は順送加工 により近い形として、サンがついた状態のものを加熱する。温度測定にはキーエンス 製 FT-H40K を用い、放射率は 0.4 に設定した。

図 2-4-33 に通電時間における被加熱材の温度の実験結果を、図 2-4-34 に任意の時間 におけるサーモグラフィー図を示す。加熱を開始して 20 秒までは直線的に温度上昇し たが、25 秒で少し下がり、30 秒で 450℃まで到達した。また、サーモグラフィー図で は中心の絞り製品が加熱されており、周りのサンの部分は加熱されていないのが確認 できる。



図 2-4-32 ∞型コイル形状



図 2-4-33 通電時間における測定位置の被加熱材温度



(a)通電なし



(b) ソレノイド・パンケーキコイルの比較(ブランク)

(a)のコイル形状の他に、加熱効率が高いと思われるソレノイドコイルとパンケーキ コイルの2種類のコイル形状を製作し、加熱実験を行なった。

加熱には、(a)の実験同様ナビオ製 10kW 誘導加熱装置を使用し、通電時間は最大 20 秒に設定。被加熱材は SUH660の絞り前のスリットカットしたブランクを加熱する。加 熱コイルは図 2-4-35 に示すコイル径 ϕ 4mm、内径 ϕ 10mmのソレノイドコイルと、同じ くコイル径 ϕ 4mm、内径 ϕ 10mmのパンケーキコイルを使用した。温度測定にはキーエン ス製 FT-H40K を用い、放射率は 0.4 に設定した。また、図 2-4-36 に示す被加熱材とコ イルまでの距離を L と置き、L=1、2、3mmの時のそれぞれのコイルでの温度変化を確認 した。



ブランク______ コイル______

図 2-4-35 2 種類のコイル形状 (左:ソレノイドコイル、右:パンケーキコイル)



図 2-4-37 にブランクとコイル間の距離 L ごとの通電時間における被加熱材の温度の 実験結果を示す。コイル形状に限らず全体的にブランクとコイルの距離 L が小さいほ ど温度上昇が大きい結果が現れた。ソレノイドコイルの L=2、3mm 及びパンケーキコイ ルの 1~3mm では近い傾きの温度上昇が確認できたが、ソレノイドコイルの L=1mm の 10 秒以降の温度上昇が著しく、13 秒で 1000℃を越えた。パンケーキコイルの L=1mm は 6 秒で、L=2mm は 8 秒でサンが焼き切れる現象が発生した。焼切れたブランクのサンを図 2-4-38 に示す。これにより、パンケーキコイルは広範囲にわたり加熱することが確認 でき、今回のブランク程度の小範囲はソレノイドコイルで加熱した方がサンの焼切り の問題が無く、必要な部分を効率よく加熱することができると考えられる。いずれの コイルも被加熱材にできるだけ近づけたほうが効率の高い加熱が可能であることが確 認できた。





図 2-4-37 距離 L ごとの通電時間における測定温度 図 2-4-38 焼切れたブランクのサン

(c) ソレノイド・パンケーキコイルの比較(絞り)

(b)の実験で平らなブランクの加熱性が確認できたので、被加熱材をより今回の量産 部品に近い SUH660の絞り製品に置き換えて、加熱実験を行なった。

加熱には、(a)(b)の実験同様ナビオ製 10kW 誘導加熱装置を使用し、通電時間は最大 17 秒に設定。被加熱材は SUH660 の絞り品を用いた。加熱コイルは(b)の実験同様コイ ル径 φ 4mm、内径 φ 10mm のソレノイドコイルと、同じくコイル径 φ 4mm、内径 φ 10mm の パンケーキコイルを使用した。温度測定にはキーエンス製 FT-H40K を用い、放射率は 0.4 に設定した。今回の実験では、誘導加熱装置の出力をパラメータとして通常の 70% と別に 80%、90%、100%で加熱も行なった。

出力ごとの通電時間における被加熱材の温度のうちソレノイドコイルの実験結果を 図 2-4-39 に、パンケーキコイルの実験結果を図 2-4-40 にそれぞれ示す。 両方のコイ ル形状で加熱装置の出力が高いものが加熱性も高く現れている。また、ソレノイドコ イルが 700℃辺りから急激に温度上昇しているのに対し、パンケーキコイルは傾きがほ ぼ変わらない直線状の上昇をしている。パンケーキコイルの全ての出力でサンが焼切 れる現象が発生した。



(d)加熱性の高いコイルの最適化

(a)~(c)の実験を行なった結果を元に、3種類のコイルの SUH660 板材加熱位置と加熱 性、SUH660 絞り品加熱位置と加熱性、評価をそれぞれまとめたものを表 2-4-7 に示す。 ソレノイドコイルは SUH660 の板材加熱で加熱性が高く、10 秒で 765℃まで上昇した。 SUH660 の絞り製品の加熱ではパンケーキコイルに弱冠劣るものの、パンケーキコイル で発生したサンを焼切る問題がなく、安定して加熱ができることから、今回の研究テ ーマである製品の加熱に適している。∞型コイルは必要部分の加熱に適していること がわかったが、加熱性が他の 2 種類のコイルに比べ低いため、今回の製品の加熱には 評価が低いが、加熱位置がコイルの中央に配置できるため、長いトンネル状のコイル を形成して、その中を潜らせる方法を選択すれば、搬送による熱損失がなくなり、必 要部分の加熱ができると考えられる。

コイル形状		パンケーキコイル	∞型コイル
SUH660板材	コイル上部で加熱	コイル上部で加熱	コイル内部で加熱
加熱位置と加熱性	10秒で765℃	10秒で489℃	10秒で116℃
SUH660絞り品	コイル内部で加熱	コイル内部で加熱	コイル内部で加熱
加熱位置と加熱性	7秒で732℃	<mark>7秒で950℃</mark>	7秒で184℃
評価	板材の加熱性は高い が絞り品の加熱はパ ンケーキより低い	広範囲の加熱が可能 だが,順送コイルの サンを焼き切る 現象 が発生	サンへの集中を防ぎ, 部品のみの加熱 が可 能.加熱性はかなり 低い

表 2-4-7 各コイルの加熱実験結果と評価

(3) 今後の課題及び取り組み

本年度はコイル形状の最適化を目的とし、∞型コイル、ソレノイドコイル、パンケー キコイルそれぞれで加熱実験を行ない、条件にあったコイルの選定を行なった。それ により今回の研究テーマであるダイアフラム部品の形状は、ソレノイドコイルでの加 熱が最適であることがわかった。しかし実際問題として、順送金型内に加熱工程を設 定して、そこで加熱を行なうには加熱時間の短縮が必要である。

今後の課題として、

①更なる加熱性の向上を目的としたコイル形状の最適化

②∞型コイルのようなトンネル型の連続した加熱方法の検討

の2テーマをあげ、取り組んでいく。

2-5 まとめ

今年度もアドバイザー企業を含めて8団体が毎月研究開発会議(研究開発推進委員 会含む)を実施し、特に最終年度になるため量産と人材育成を意識して熱処理担当や 品質担当をプロジェクトチームに入れ、8団体から若手の技術者を人選してその研究 員を中心に推進してきた結果、今まで以上にそれぞれが協力しながら進めることがで きた。

昨年の結果を踏まえて量産実験を前提に推進する予定であったが、川下企業から形 状変更が伝えられ、工程設計、金型設計、を最初からやり直しとなったが、2年間で 得た知見をベースに積極的に進めながら、並行して熱処理(固溶化処理、時効処理)、 完成品の評価技術、形状測定技術などの研究開発を推進してきた。また連続加工時に レーザーの局所加熱が安定して行えるよう加熱部を常に測定し、設定温度に達しない 場合はプレス機を止めるなど量産を前提としたシステムも構築した。結果として、川 下企業に性能評価ができるサンプルを提出することができ、初期性能を満足するデー タを得ることができた。来年度からは2年間の補完研究で量産採用を目指して川下企 業が望む形状づくりと、コストダウンに向けた技術確立が課題となるが、3年間で得 たチームワークで推進していきた。