

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高張力鋼板の加熱増肉成形・高速順送り金型の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 関東経済産業局

委託先 国立大学法人静岡大学

目 次

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	3
1 - 2	研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名)	8
1 - 3	成果概要	9
1 - 4	当該プロジェクト連絡窓口	11
第2章	本論	
2 - 1	部分加熱増肉成形条件の確立	13
2 - 2	加熱実験装置による実験計測、加熱条件研究(圧縮試験)	19
2 - 3	金型工程設計開発と金型システム内部分加熱成形システムの研究開発	23
2 - 4	実験用金型による、複雑形状加工条件研究(エンボス、張出し)	25
2 - 5	高速プレス加工金型制御システムの開発	26
最終章	全体総括	27

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

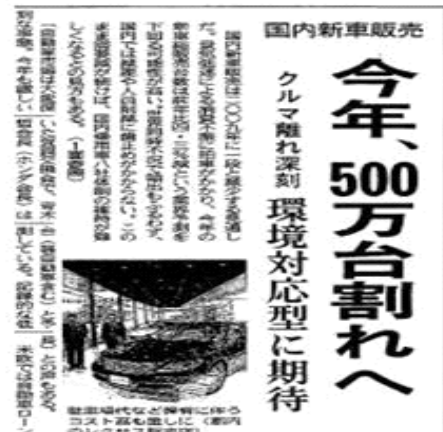
(1) 研究背景

リーマンショック以降の厳しい経済環境変化や若者の意識の変化（車離れ）により国内の自動車販売の不振に歯止めがかからない。平成 21 年年初の予想では 31 年ぶりに 500 万台を割るとの厳しい見通しが出ている。

しかしながら消費者の意識の変化や国の補助金政策の効果によりハイブリット車、電気自動車等に代表される環境対応車への期待と需要も高まって来ている。



(出典: 東京新聞)



(出典: 1月6日日経新聞)

このような背景から現状の自動車システムも含めて自動車の軽量化は極めて重要で共通なテーマである。



(出典: 総合技術)



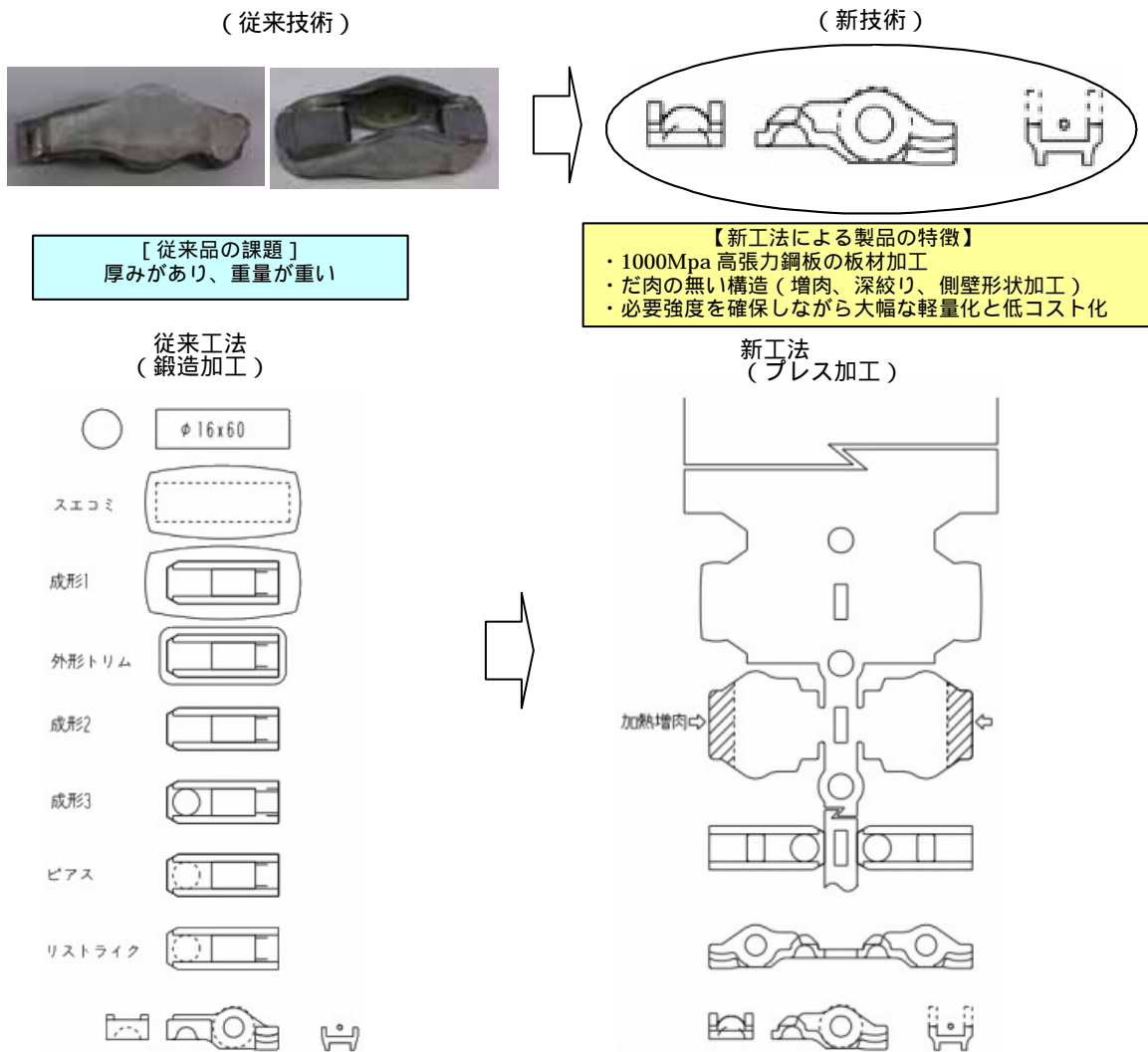
この様な要請に応えるため、自動車を支える基盤技術を一段と高度化した取り組みを行う。

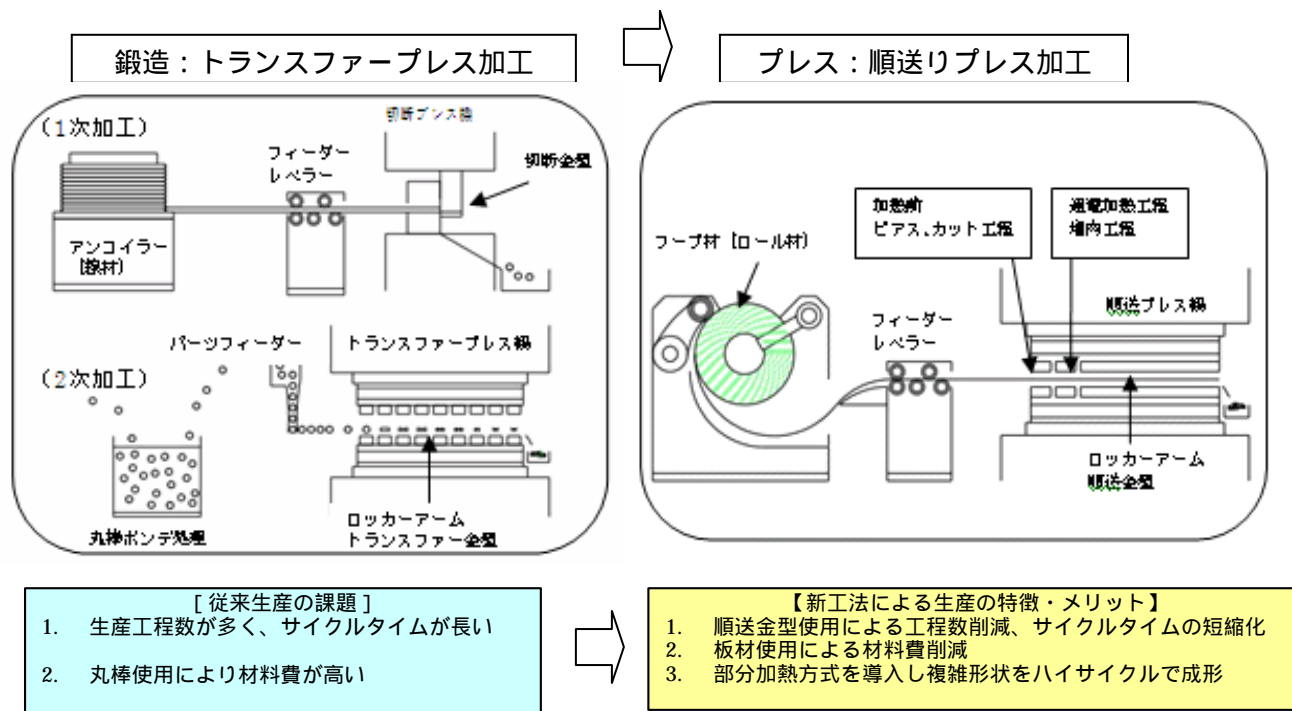
- 1) 自動車用高機能部品（ロッカーアーム）において従来 SCM 丸棒材を冷間鍛造により成形製作されているが極めて“ぜい肉”の多い無駄のある設計で重量も大きい。また成形のリードタイムも長い。
- 2) これを改善するため、難加工材と言える 1000 MPa 高張力鋼板を用いたフープ材順送り高速プレス 成形加工に転換し大幅な軽量化、低コスト

ト化、生産性の向上によるリードタイム短縮を実現する。

- 3) これを実現するための世界初といえる革新的なプレス加工成形と金型システムとして、難加工材である1000MPa高張力鋼板のフープ材への高速で複雑形状加工の一貫生産システムの実現に取り組む。
- 4) 必要な強度を確保しながら“ぜい肉”のない構造を実現するため、部分過熱方式を導入した複雑形状加工（増肉成形、深絞り加工、側壁形状加工等）の成形法と金型システムを開発する。
- 5) 難加工材への高速・ハイサイクルで部分加熱を包含する成形システムにおいて金型の100万個、連続生産を可能とするシステムを実現するために、通電加熱装置、加熱・冷却システム、材料への給油構造、高強度な金型開発等の開発とシステムへの導入を行う。

「研究開発の構想、狙い」 **加熱増肉成形工法による、高速順送り**





(2) 研究開発内容説明

1) 川下業者(自動車)の抱える課題及び要請(ニーズ)

- ア．低コスト化
- イ．複雑形状化
- ウ．軽量化

- ① 自動車における地球環境問題対応の要請に対し軽量化は最も重要なテーマである。これに対処するため自動車部品においても軽量化の取り組みを求められている。
加えて自動車用として低コスト短納期対応も出来る工法と製品の開発が必要である。
軽量で低コストな製品を実現するためには複雑形状、一体成形化が伴わなければ実現できない。
- ② 部品の「軽量化」の実現のため、本テーマの対象製品(ロックアーム)においては、現状は冷間鍛造により製作されていて、極めて“ぜい肉”の多い(だ肉)構造となっている。

今回ロックアームを軽量化するための金型システムの開発においては下記の重要な開発要素を解決する事が必要である。

丸棒材の鍛造加工から、難加工材(1000MPa級高張力鋼板)の板材成形加工と金型システムの開発

必要な強度を確保しながら軽量化するために、複雑形状加工(増肉、深絞り、側壁加工)の実現

低コスト、短納期な成形を実現するための高速・ハイサイクル一貫成形加工法の考案である。

これらの多くの相矛盾する要素を解決する為の手段として

高張力鋼板に対する「増肉成形(増肉度 1.5 倍)」が最も重要な手段である。

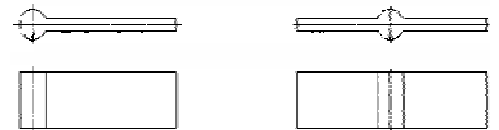
加えて、これらの複雑形状加工を高速で成形できるようにするため、板材のフープ材を連続順送りプレス成形加工システムを実現していく。

材料への部分加熱方式を包含する成形システムの考案

③「増肉成形加工」における現在の技術水準について述べる。

SCM402 丸棒材への増肉成形加工の事例はすでに存在するが、これはアプセット工法を用い、表面積の少ない丸棒材のみである。また増肉成形に必要な加熱時間も極めて長い時間(15~30秒)を要すると共にバッチ生産方式で行っている。

(右図の事例)



しかしながら 1000MPa 級高張力鋼板への増肉成形はこれまで実施された事例はない。

尚且つ高速ハイサイクル成形にて行なう「増肉成形」は極めて画期的工法である。

今回の本研究開発で取り組む成形手段としては、

- ・板材の増肉する部分への通電加熱を行い
- ・加熱とプレスの条件を確立し増肉する。
- ・板材フープ材の順送りプレス加工工程にて上記の成形加工を高速で行うという加工方法は全く前例がなく世界初の工法とシステムである。



(2) 研究開発の具体的内容

自動車部品・ロッカーアームを対象製品にして金型に係る高度化研究開発に取り組む。現在の SCM 丸棒の鍛造加工製品から高張力鋼板プレス加工製品に転換し、低コストで鍛造加工品と同等の製品強度を維持し乍ら軽量化を実現する「難加工材（1000MPa 高張力鋼板）の加熱増肉成形・高速順送り一貫生産金型システム」の確立に取り組む。

本金型システムの実現に向けて、複雑形状加工（部分増肉成形、深絞り加工、側壁形状加工等）の金型構造、加熱成形加工条件、金型システム内加熱方式（通電加熱）、高張力鋼板成形シミュレーション、ハイサイクル順送り金型技術等の開発課題について以下の研究により解決を図る。

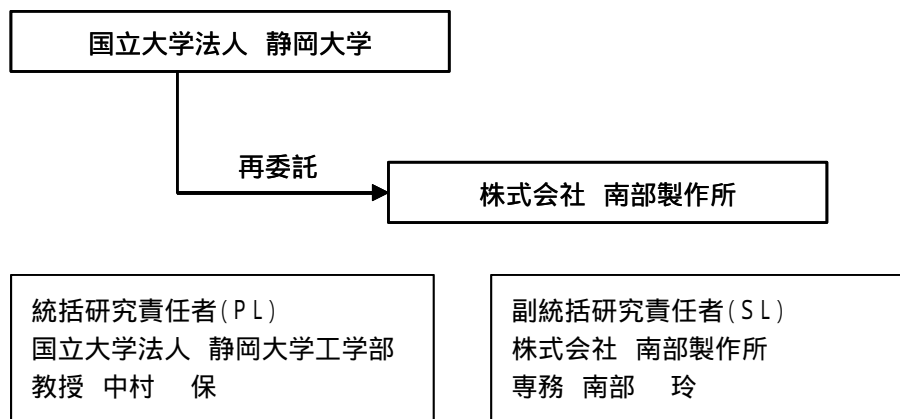
(具体的方法)

- 1) 難加工材を高速で複雑形状加工（部分増肉成形、深絞り加工と複雑側壁形状加工）の成形のための工程設計と金型構造の研究
 - 1-1 . 強度を確保し乍らぜい肉の無い製品を高速で成形するために、難加工材のフープ材の順送りプレス加工で、部分加熱による増肉成形や複雑形状加工を高速で成形するという“世界初”の成形限界に挑戦する成形条件確立と金型システムの研究開発
(従来はアップセット加工などの数秒を掛けた成形加工を 1 秒以下で局部増肉成形する)
 - 1-2 . 難加工材のプレス加工において「必要とされる部分のみを増肉」する「オープンな成形加工形態」を高速で行うという極めて難度の高い成形を行う工程設計開発と金型システム内部分加熱成形システムの研究開発
 - 1-3 . このための条件確立のため、高張力鋼板のテストピースを用いて実験用加熱装置により材料の加熱状態を計測しつつ材料への加熱状態と条件を研究する。
 - 1-4 . 同じくテストピースを用いて実験用金型を作り実験用プレスを用い、上記の複雑形状加工（深絞り、増肉、側壁形状加工）の加工実験を行い座屈限界や増肉度等を確認し条件を研究する。
 - 1-5 . 次に実際のロッカーアームのストリップレイアウトを作成しこれを用いて上記の様に、加熱状態の研究や成形加工の実験を行い加熱状態と条件や、成形状態と条件を研究する。
 - 1-6 . 併行して、1000MPa 高張力鋼板の加熱によるプレス加工成形シミュレーションの研究を大学と協同して行う。この結果と上記の実験結果を加え、南部製作所の持つノウハウに基づき工程設計と金型システムおよび金型構造の開発を行う。

- 2) 難加工材の複雑形状を高速順送り金型システム内で増肉成形を実現するための部分加熱成形システムと装置の開発
 - 2-1. フープ状鋼板の“オープンな形態での加工”に該当する材料の一部を局所加熱制御するための加熱特性の研究、即ち、上記【1】のテストピース、ストリップレイアウトを用いた実験結果とシミュレーション結果を踏まえ、加熱や成形装置の開発を行う。
 - 60～80 サイクル/分の高速で必要部分を加熱する部分加熱装置の開発
(南部製作所は加熱装置を購入して部分加熱装置を設計する)
 - 2-2. 加熱装置の開発において機械系装置への電気のシールド効果やシールド装置の開発
- 3) 上記の加熱増肉成形をフープ材順送りプレス加工にて成形する世界初のハイサイクル成形金型システム設計開発
 - 3-1. ハイサイクル加工に伴う蓄積熱を制御する金型最適冷却システム開発(特許出願を検討中)
 - 3-2. 高速加工を実現するため、金型と被加工材との摩擦抵抗を減じる潤滑剤を最適位置に塗布する独特な塗布機構の開発(特許出願を検討中)
 - 3-3. 上記を包含する加熱、冷却、潤滑する高速順送りプレス金型システム開発
- 4) 上記の成形システムを実現し、順送り金型で 100 万個連続生産を保障する耐久性を有する高度な金型技術システムを開発する
 - 4-1. トライボロジーの研究、
即ち潤滑材の研究や、材料表面への給油を行い高速で生産できる給油条件と給油機構の開発
 - 4-2. 高強度金型材質及び表面改質の開発

1 - 2 研究体制（研究実施共同体概要）

(1) 研究体制



1 - 3 成果概要

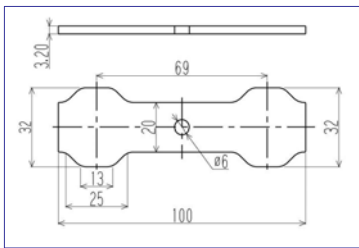
本研究により、次のような成果を得ることができた。

[1 - 1] 難加工材部分加熱増肉条件確立と金型システムの研究開発

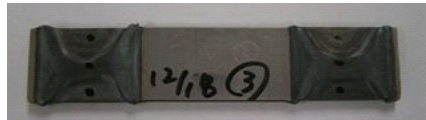
(1) 高張力鋼板を高サイクル時間内で加熱増肉成形することができた。

高張力鋼板の局部に通電して加熱し軟化させ、同時に外部から加圧することにより所定の部分に材料を寄せることで板厚を増加（増肉）させることが高サイクルの時間内で出来た。

開発できた成果は
 部分加熱の通電方式
 増肉するための金型構造
 加熱増肉条件
 である。



素材形状: 高張力鋼板700MPa



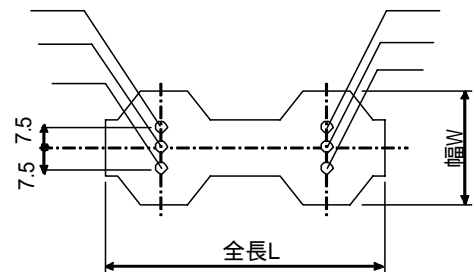
加熱増肉状態(平面)



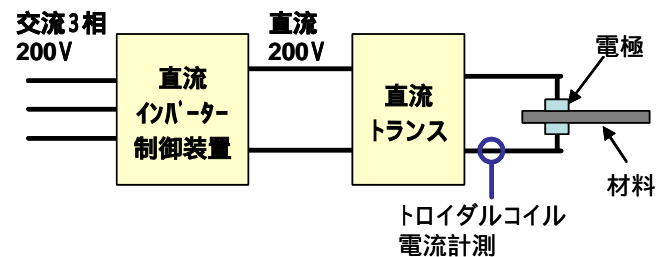
加熱増肉状態(側面)

テストピース変形後寸法 (単位:mm)

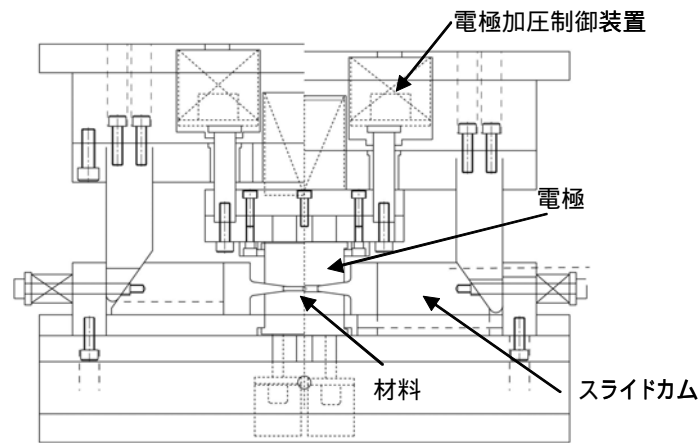
厚さt		4.08	3.78
		5.30	5.24
		3.53	3.62
幅W	左	20.16	右 20.23
全長L		100.65	



加熱増肉成形実験設備



通電加熱方式



加熱増肉成形実験金型

部分加熱の通電方式

高サイクル（毎分 40 サイクル）での加熱加工を想定し、通電時間は 0.3 ~0.6 秒以内、電流は 8 K A ~ 12 K A 程度が必要であるため、条件管理の容易性と省電力の観点から直流方式を採用している。

材料への通電経路は、加熱したい部分を対象に断面方向（板厚方向）側面方向（板幅方向）からの経路を設定し、増肉の程度により選定する。

増肉するための金型構造

加熱され材料を板幅方向からカムにより増肉するものでカム及びスライドカムの可動工具で加圧する構造である。材料の座屈を防止して均一な増肉はかるために加圧力を制御できるパッドにより表面を加圧して押さえ込み増肉度合いをプロセス制御している。

加熱増肉条件

常温での増肉に比較して、高温で軟化させた素材の増肉は低荷重での変形が得られる。加熱温度の高さ、冷却速度で材料硬度は変化する為、加熱と加圧タイミング、加圧量とを合わせて最適領域を開発する。

材料温度が 300~500 度 の範囲が制御しやすい温度帯である。

[1 2] 実験用金型による、複雑形状加工条件研究(エンボス、張り出し、曲げ)

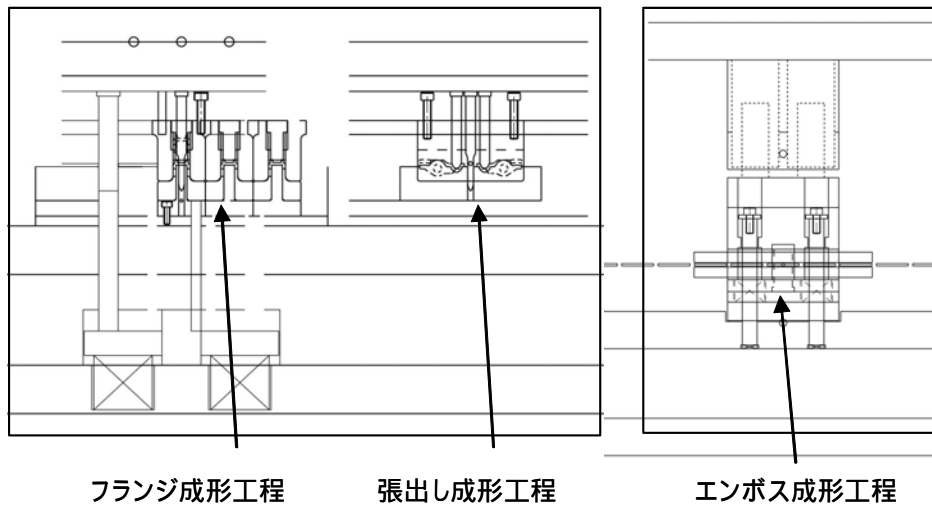
加熱増肉成形された材料（高張力鋼板）を鍛造方式でプレス加圧して据え込む。素材が増肉されていることにより、所定の製品形状に二次成形することが出来た。粗成形、精度決め成形の複数工程を掛けるが常温下での成形が可能である。



二次成形テストピース平面写真(張出し、エンボス加工)



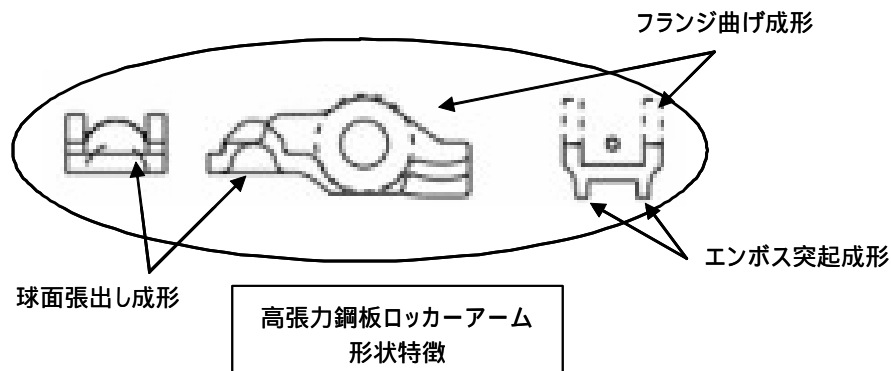
二次成形テストピース側面写真(張出し、エンボス加工)



フランジ成形工程

張出し成形工程

エンボス成形工程



球面張出し成形

高張力鋼板ロッカーアーム
形状特徴

フランジ曲げ成形

エンボス突起成形

製品の必要とする剛性強度に対応して必要部分のみを増肉成形することで剛性を確保する。その他の部分は最適な設計で見直しして全体の重量を軽量化することができる

本年度の研究開発により、前述のような研究成果を得る事ができたが、研究後について、次のような課題解決を図る。

順送りプレス加工の特徴を活かして、加工ステージを多数使い局部加熱することで更に複雑形状に加工できるようにする。

加圧力が低減されることより小さいプレス機械での生産を可能とする研究開発を進める。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

連絡先：株式会社 南部製作所
静岡県浜松市浜北区寺島 1 1 2 9
専務 南部 玲
電話：053-587-5836 F A X：053-587-8015
E-mail：nanbu-seisaku@mbp.ocn.ne.jp

第2章 本論

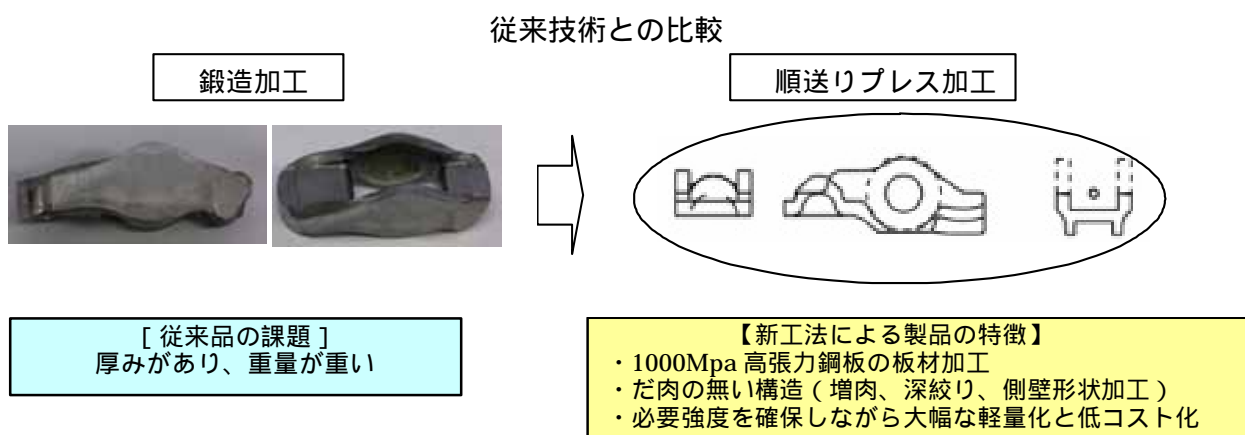
「高張力鋼板の加熱増肉成形・高速順送り金型の開発」

研究開発実施内容（研究内容及び成果）

鍛造ロッカーアームは薄肉化が困難で重量が重くなっている。製造工程はSCM棒材を切断、ボンデ皮膜処理をして冷間鍛造をトランスファープレスでおこなっている。本研究開発は、軽量化とコストダウンを狙いに、高張力鋼板（700MPa）を部分加熱増肉して、複雑形状を成形する高速加熱装置を装備した順送りプレス金型の開発をおこなった。

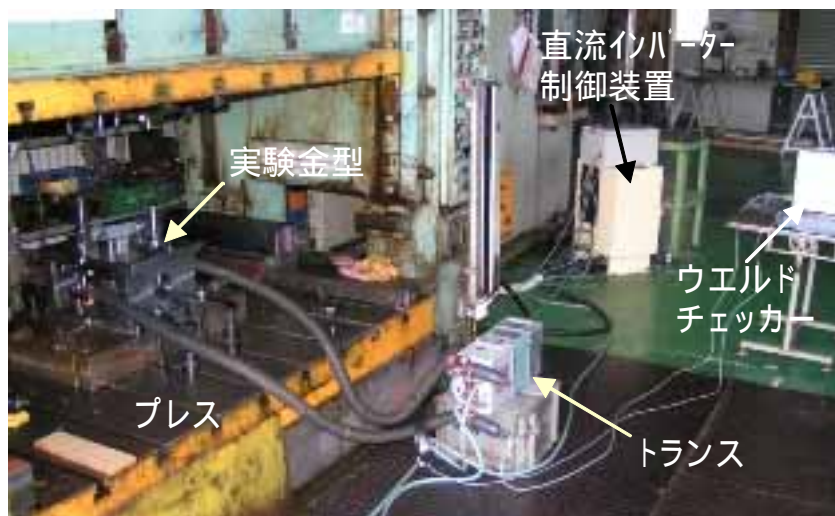
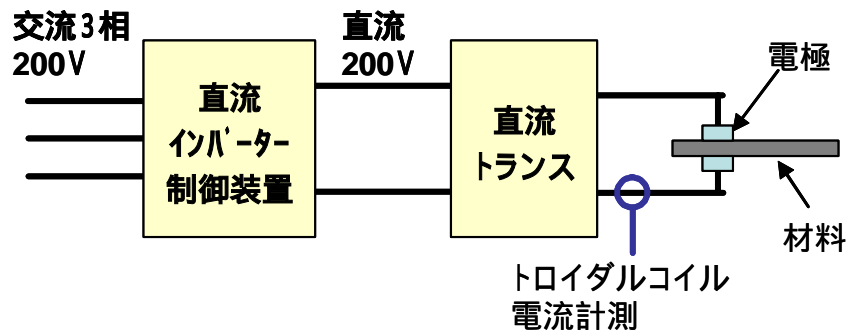
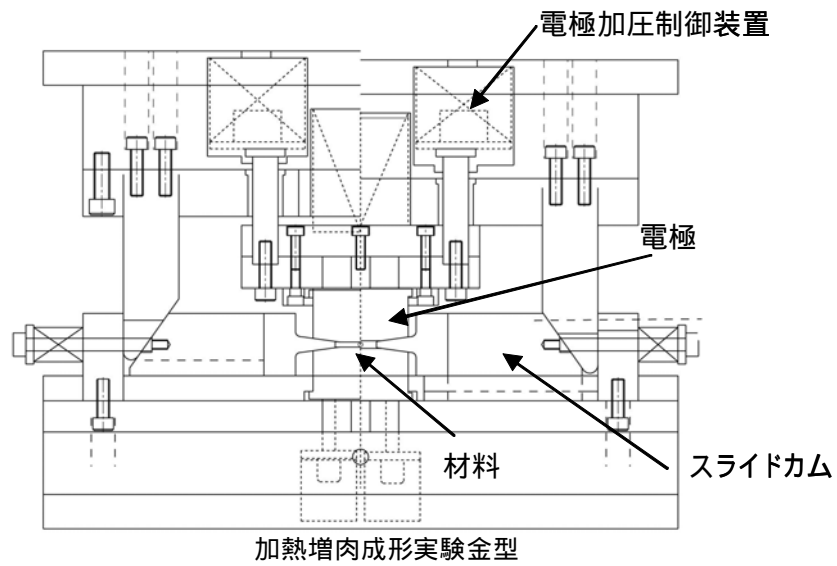
課題は、高速（毎分60サイクル）で加工する金型内で0.5秒以内の短時間で加熱し増肉成形する装置、金型及び加工条件を確立することである。次に、大量生産に対応した耐久性の高い金型システムの開発である。冷却、潤滑、電気シールドなどの高速長時間連続加工に必要な機能を満足する周辺機器の開発である。

本研究では、順送りプレス加工工程設計（ストリップレイアウト）、金型設計、高速通電加熱装置の開発、材料圧縮試験、部分型による成形実験・研究を行い、課題の解決を行った。



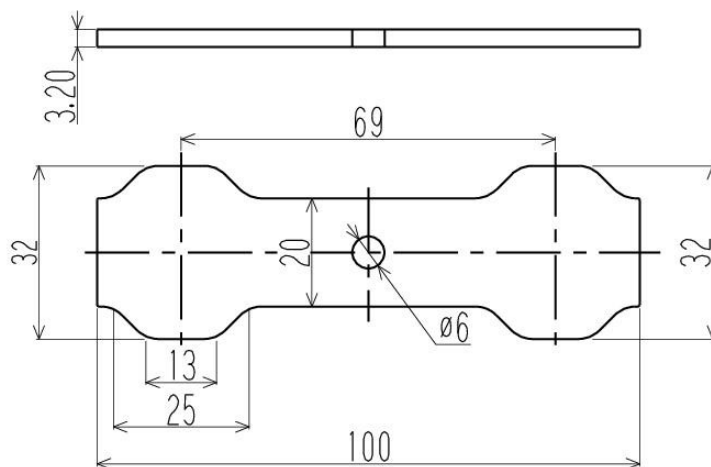
2 - 1 部分加熱増肉成形条件の確立

加熱増肉成形実験型を開発し、高速通電加熱装置を組み合わせて増肉実験を行った。

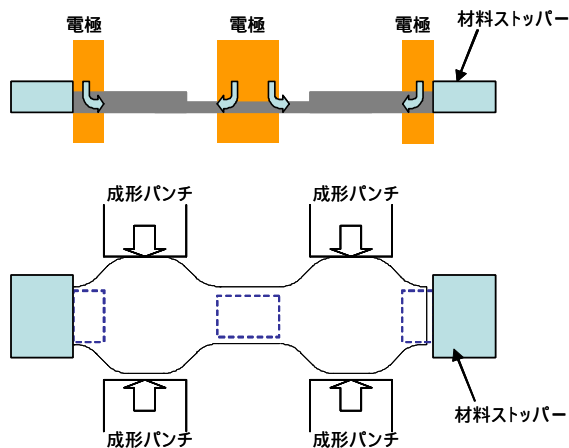


加熱増肉成形実験設備

部分加熱増肉開発 (1) 材料側面からの通電方式による加熱増肉



テストピース (高張力鋼板700MPa)



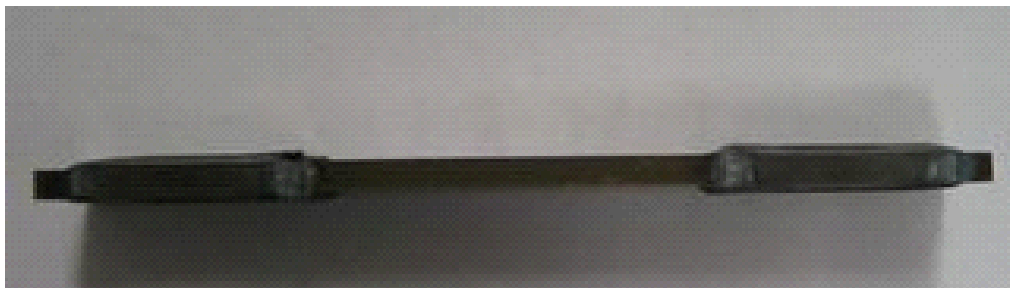
通電方式: 材料側面からの通電

インバーター 設定値	電流	12.0 KA
	通電時間	78 サイクル 1.3 秒
ウエルド チェッカー 測定値	電流 (RMS)	12.65 KA
	電流 (PEAK)	13.82 KA
	電圧 (RMS)	2.8 V
	電圧 (PEAK)	6.4 V
	通電時間	1318ms

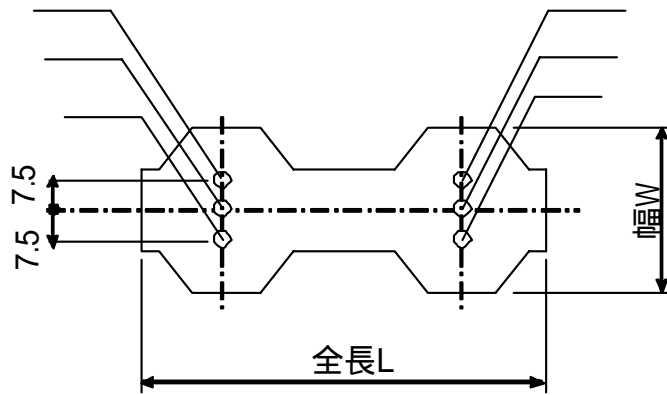
加熱条件設定値・測定値



加熱増肉状態(平面)



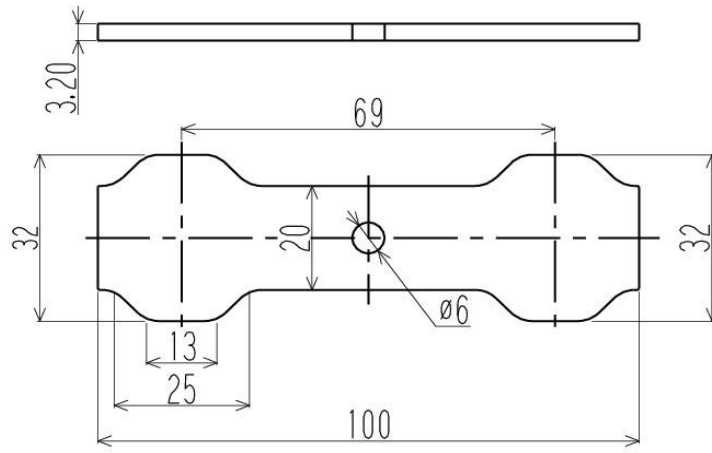
加熱増肉状態(側面)



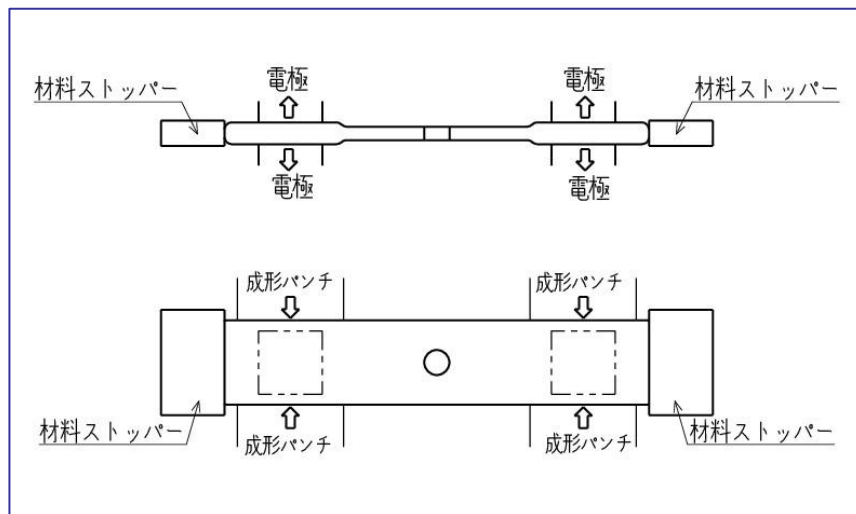
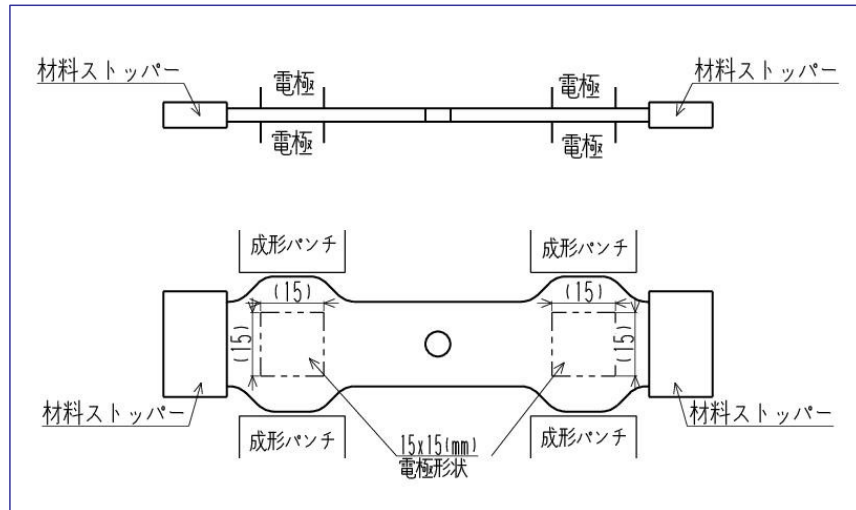
テストピース成形後寸法 (単位:mm)

厚さt	4.08	3.78
	5.30	5.24
	3.53	3.62
幅W	左 20.16	右 20.23
全長L	100.65	

部分加熱増肉開発（２）材料側表裏面からの通電方式による加熱増肉
 電極を加熱したい部分に配置し、油圧クランプで通電と増肉挙動を制御する。

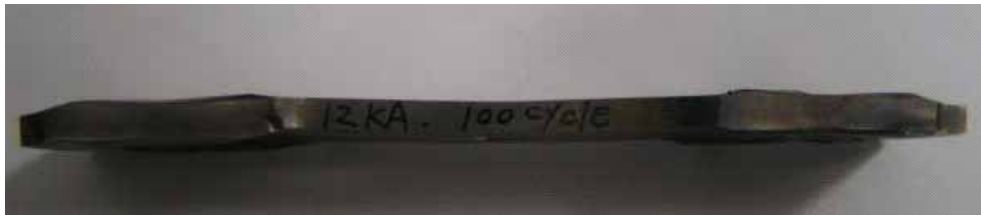


テストピース（高張力鋼板700MPa）

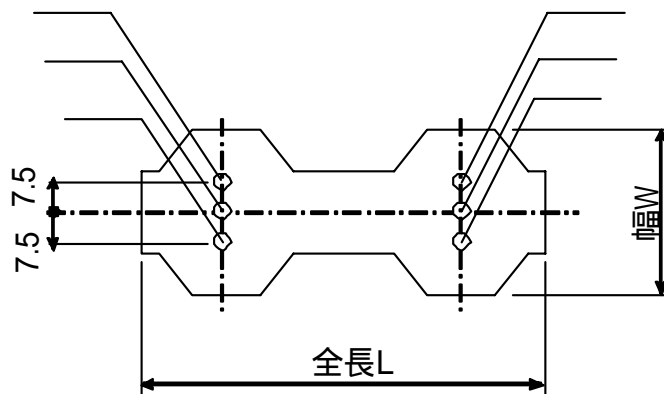




板厚方向の通電加熱増肉サンプル(平面)



板厚方向の通電加熱増肉サンプル(側面)



通電加熱成形 (12KA 100サイクル)

測定点	板厚(mm)	測定点	板厚(mm)
	4.66		4.73
	4.61		4.66
	5.3		4.75

通電方式による増肉の状況考察

1. 板材を通電加熱した場合、電流密度の高いところが加熱し軟化する。
側面からの通電は、電流の流れやすいところに分散する為狙いの位置を加熱することは難しく、バラツキが発生する。
2. 増肉したい狙いの位置で、板材の表裏面より電極を当てて通電加熱すると増肉が制御しやすい。電極の制御により、座屈の発生をさせないで増肉量を確保することができる。

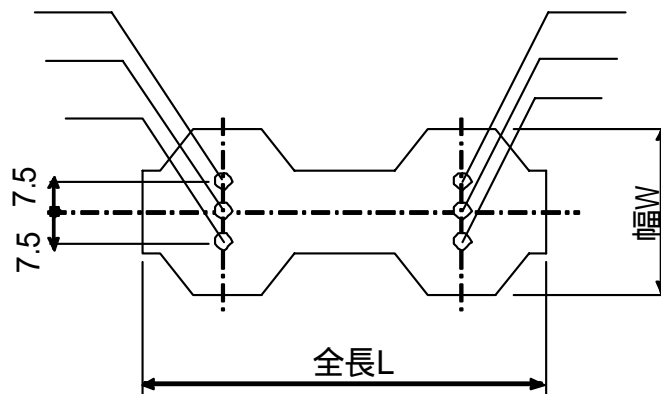
部分加熱増肉開発 (3) 常温での増肉成形 (加熱なしの場合)



冷間圧縮増肉サンプル(平面)



冷間圧縮増肉サンプル(側面)



冷間成形 (通電加熱なし)

測定点	板厚 (mm)	測定点	板厚 (mm)
	4.43		4.7
	4.17		4.07
	4.61		4.13

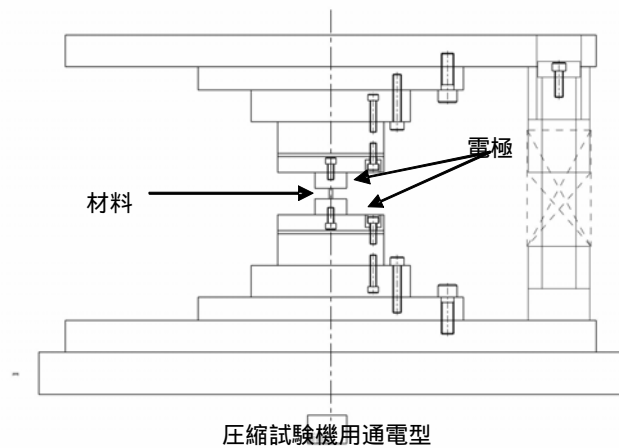
加熱なしの冷間鍛造では、平板を板圧方向に圧縮することは、座屈の発生があり板の中央部を増肉することは極めて困難である

2 - 2 加熱実験装置による実験計測、加熱条件研究（圧縮試験）

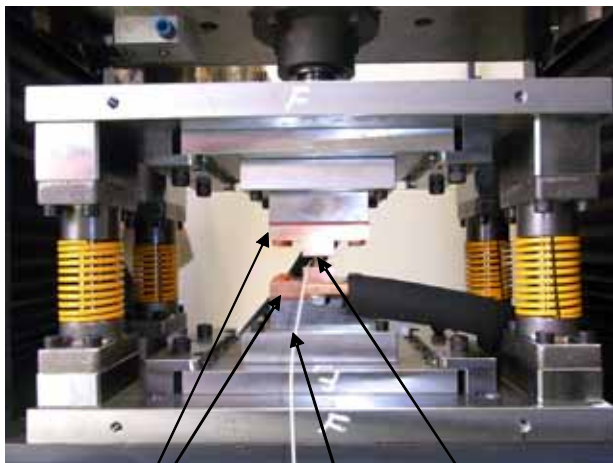
精密万能試験機（AUTOGRAPH）を用いて加熱温度 圧縮力のデータを得る実験を行った。

精密万能試験機の装置内で計測できる部分加熱装置を製作し、加熱状態での圧縮試験を行い、温度変化と加圧力についてのデータを得た。

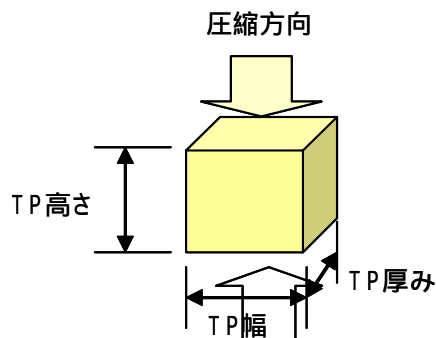
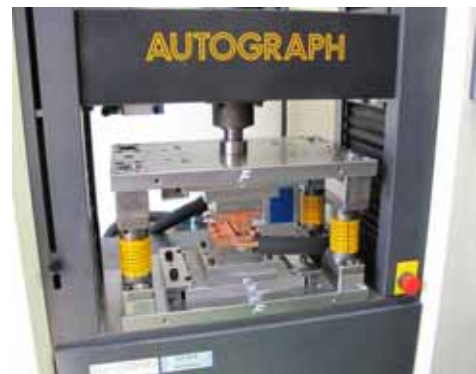
加工条件（電流、通電時間、通電時期）について、最適加工領域を研究した。



精密万能試験機 (AUTOGRAPH)



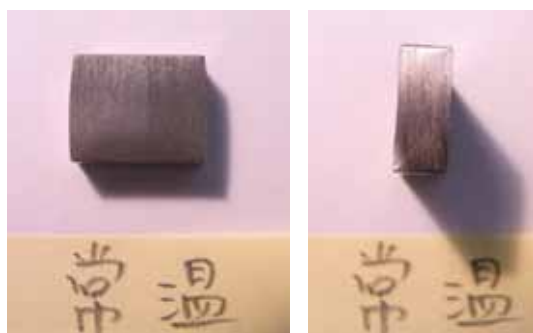
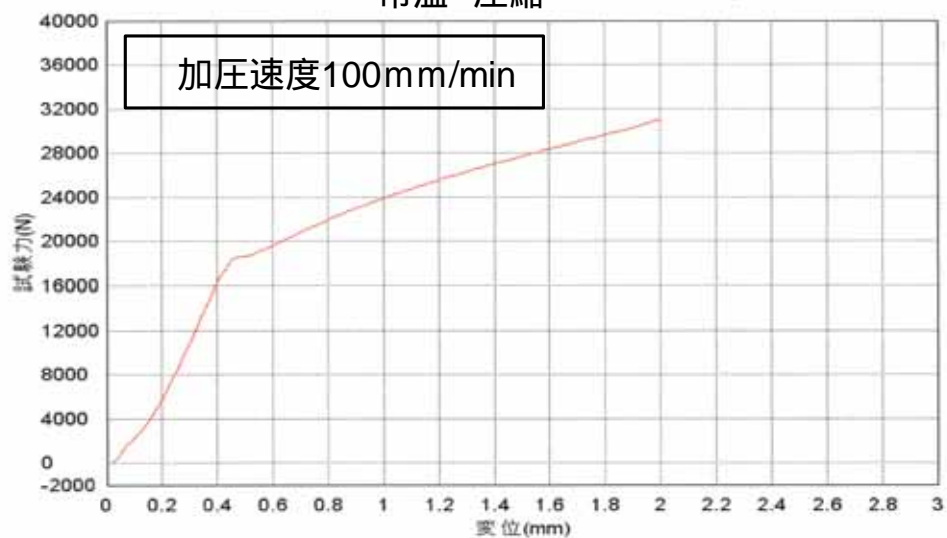
電極 熱電対 TP材料



	TP高さ	TP幅 (MAX)	TP厚み (MAX)
実験前	10.00	10.00	3.20
常温加圧	8.51	10.60	3.66
通電加熱(86.4)	8.39	10.80	3.85
通電加熱(439.5)	8.31	11.14	4.44

実験 1 . 常温加熱

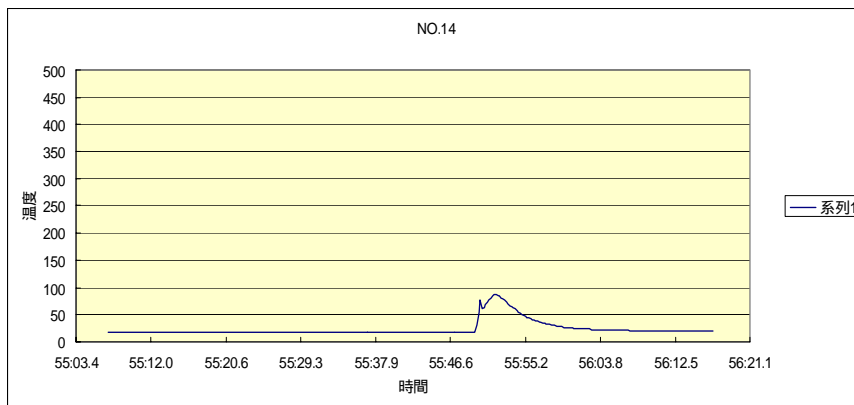
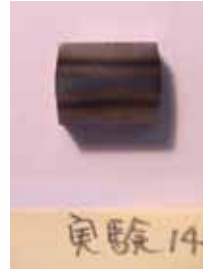
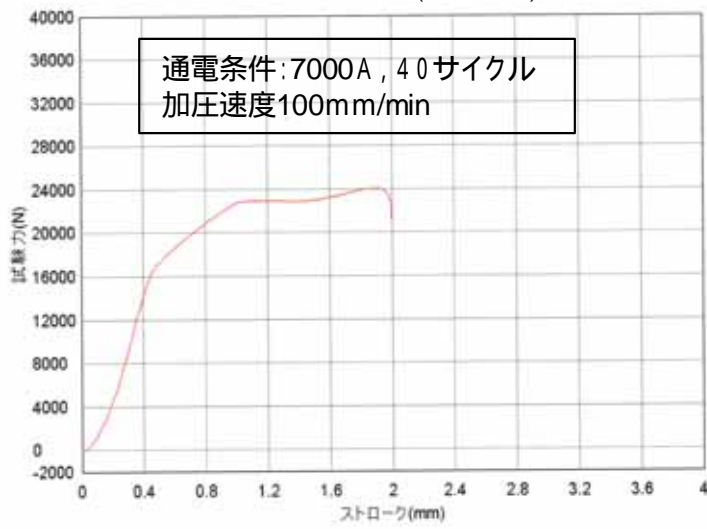
常温 圧縮



試験片形状	平板 10×10×3.2t
試験の種類	圧縮
速度	100mm/min
初期荷重	12000N
ストローク	2mm
通電条件	なし

実験 2 . 通電加熱圧縮

通電加熱加圧(86.45)

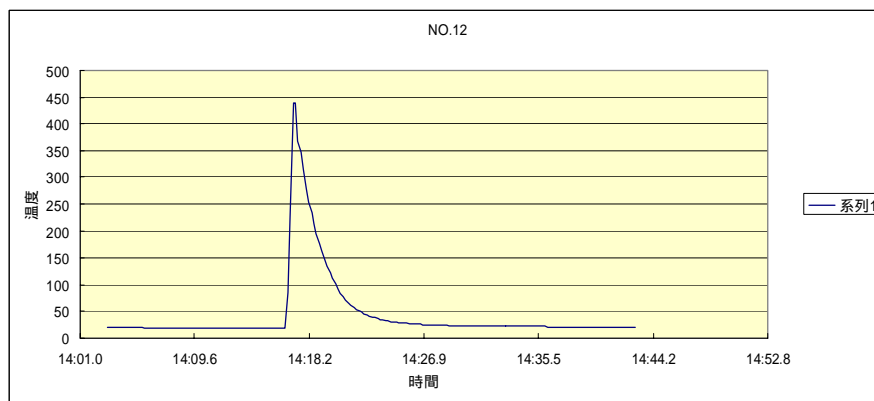
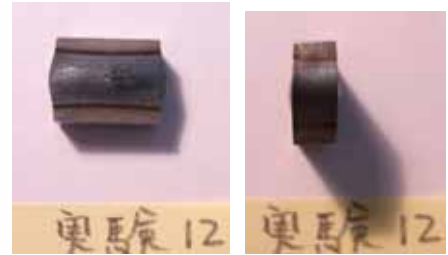


700MPa 高張力鋼 加熱圧縮試験

試験片形状	平板 10×10×3.2t
試験の種類	圧縮
速度	100mm/min
初期荷重	12000N
ストローク	2mm
通電条件	7000A、40cycle

実験 2 通電加熱圧縮

通電加熱圧縮(439.5)



700MPa 高張力鋼 加熱圧縮試験

試験片形状	平板 10×10×3.2t
試験の種類	圧縮
速度	100mm/min
初期荷重	12000N
ストローク	2mm
通電条件	7000A、40cycle

圧縮実験の考察

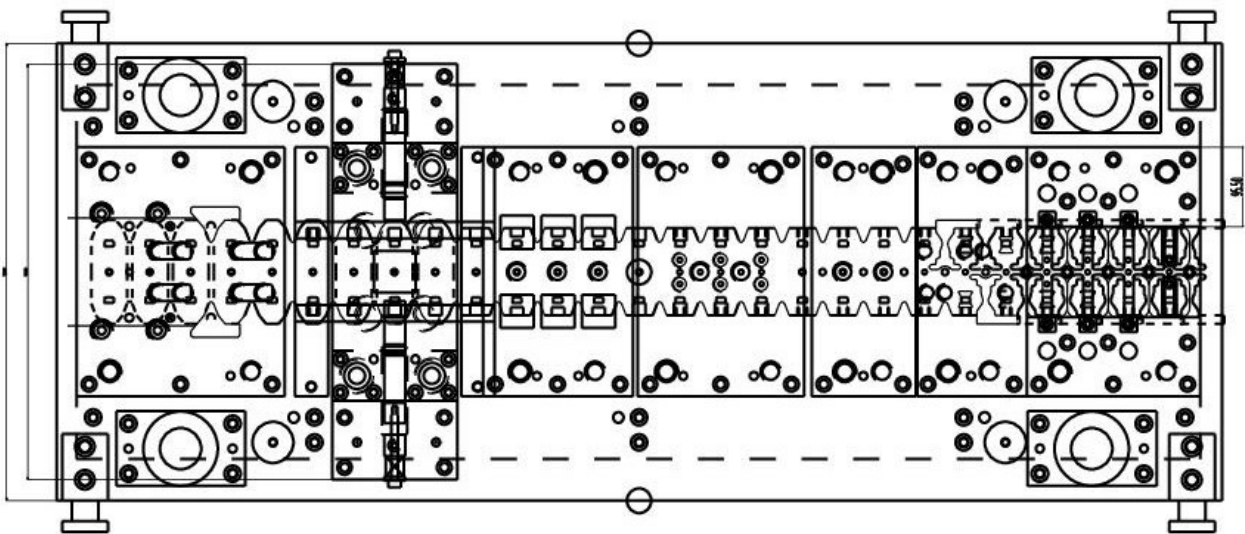
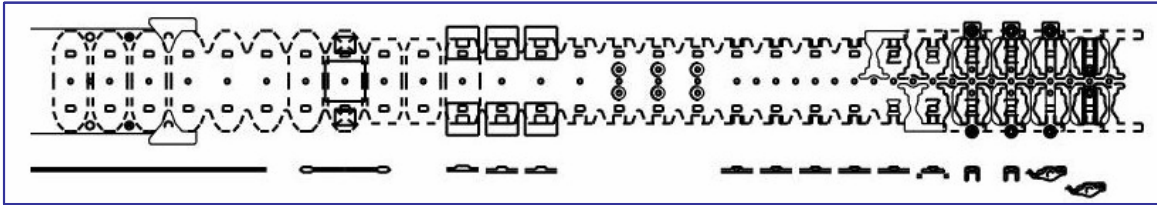
- ・常温での圧縮は材料強度が反映され変形量と比例して応力がかかり材料は座屈を発生させている。
- ・電流、通電時間を一定にしても接触面の条件により温度上昇にバラツキが見られた。
- ・通電時間と加圧開始のタイミングにより、材料の加熱軟化の条件が変化し荷重が変化する。
- * 通電加熱を先行させて温度が若干安定したところで加圧するなど、増肉に最適な領域を 探し出すことが課題である。

2 - 3 金型工程設計開発と金型システム内部分加熱成形システムの研究開発

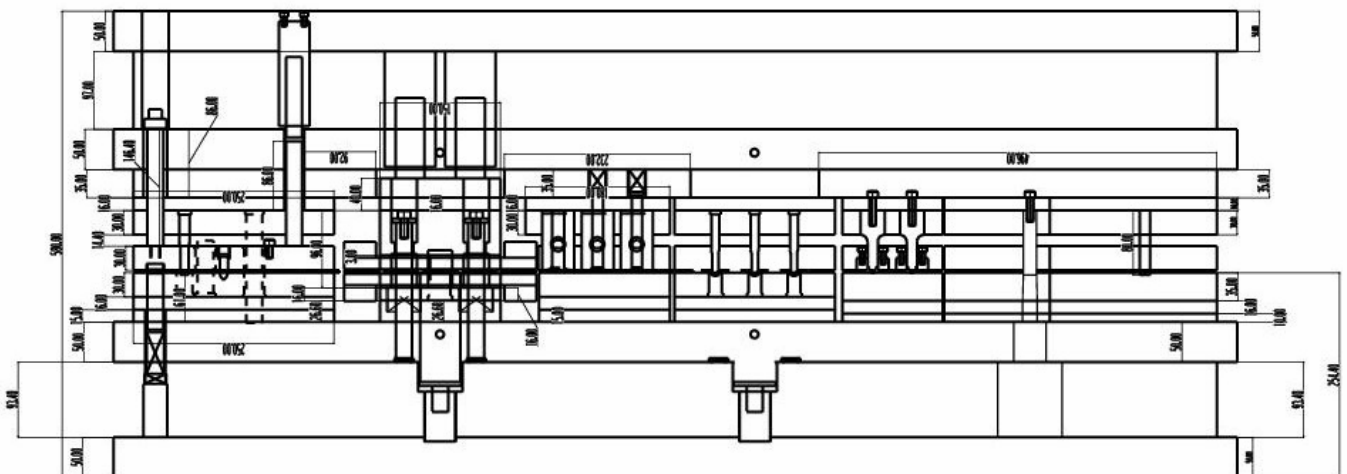
全体レイアウトの作成、加工順序の設定、工程、ユニット毎の金型設計・開発を行う。

工程別の実験型を製作して試作確認を行う。

ロッカーアーム順送り金型ストリップレイアウト(30工程)



下型平面図



全体組立て図

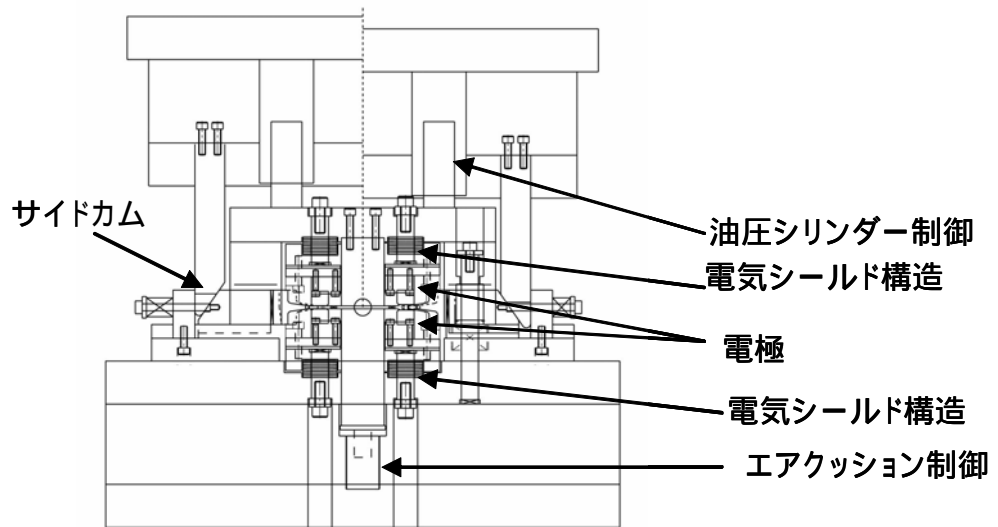
工程順序設定の考え方

・ロッカーアーム成形の順送りプレス金型は30ステージの工程に細分して加工工程を持ち、加工順序ごとに配置し、荷重を分散するように配慮する。

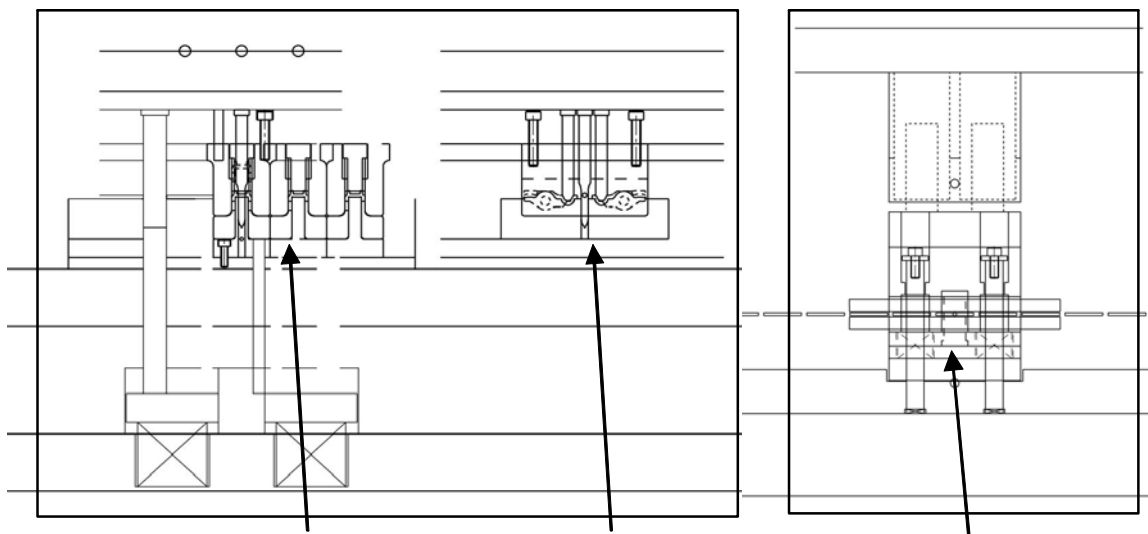
・構造と特徴

* 加熱増肉工程は通电時間を確保する為に電極を油圧シリンダで加圧制御する機構を組み込む。

* 球形形状成形、エンボス成形などの材料変形量の多い形状は複数工程を使用して段階的に成形していく。



加熱増肉工程



フランジ成形工程

張出し成形工程

エンボス成形工程

2 - 4 実験用金型による、複雑形状加工条件研究(エンボス、張り出し)

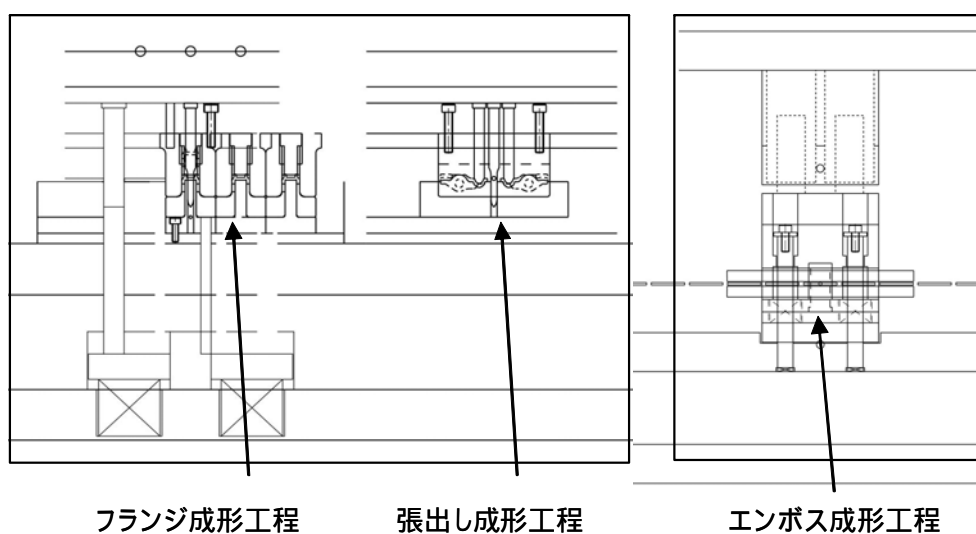
加熱増肉成形された材料（高張力鋼板）を鍛造方式でプレス加圧して据え込む。素材が増肉されていることにより、所定の製品形状に二次成形することが出来た。粗成形、精度決め成形の複数工程を掛けるが常温下での成形が可能である。

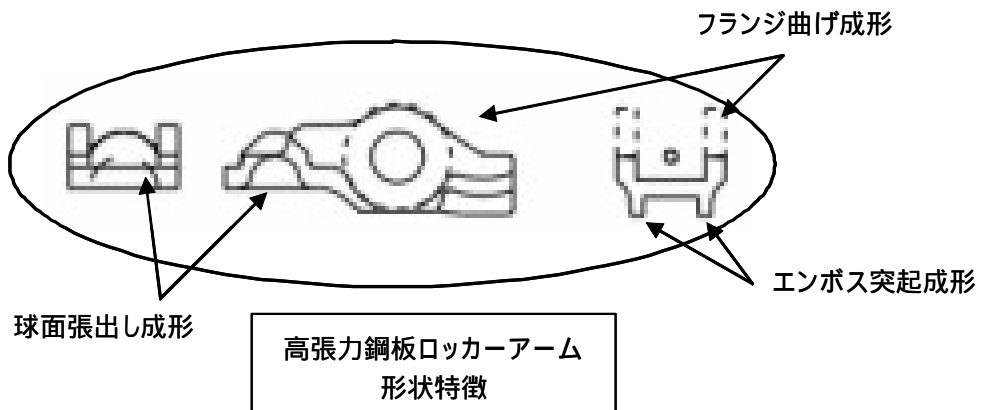


二次成形テストピース平面写真(張り出し、エンボス加工)



二次成形テストピース側面写真(張り出し、エンボス加工)

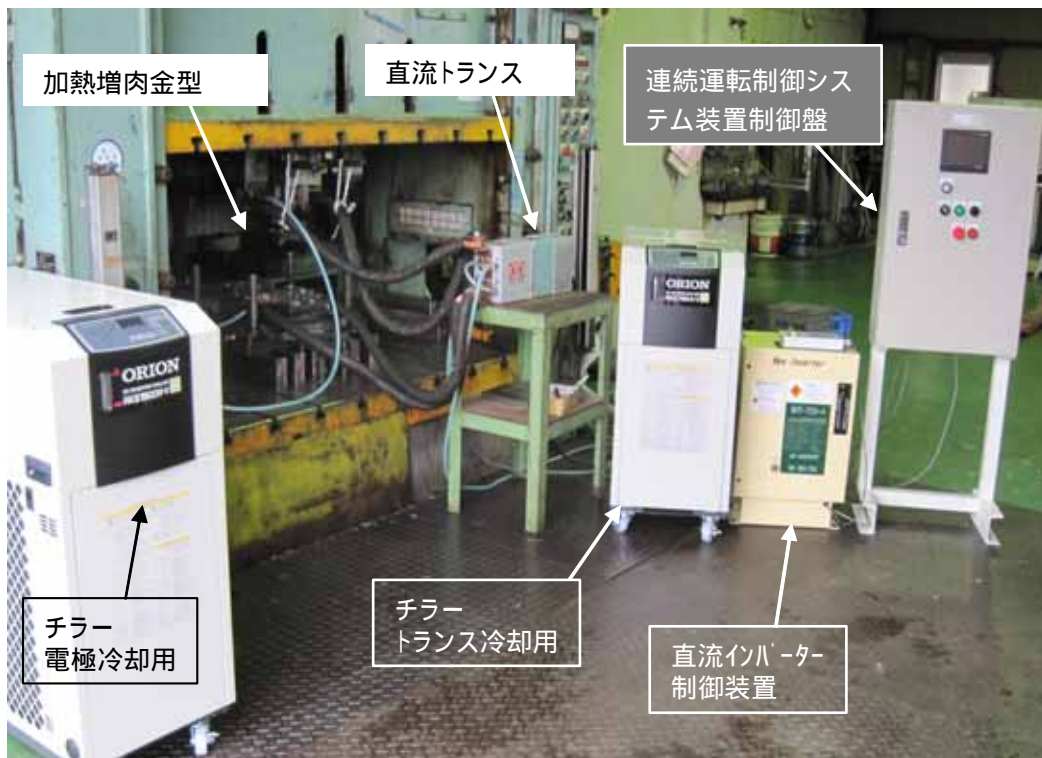


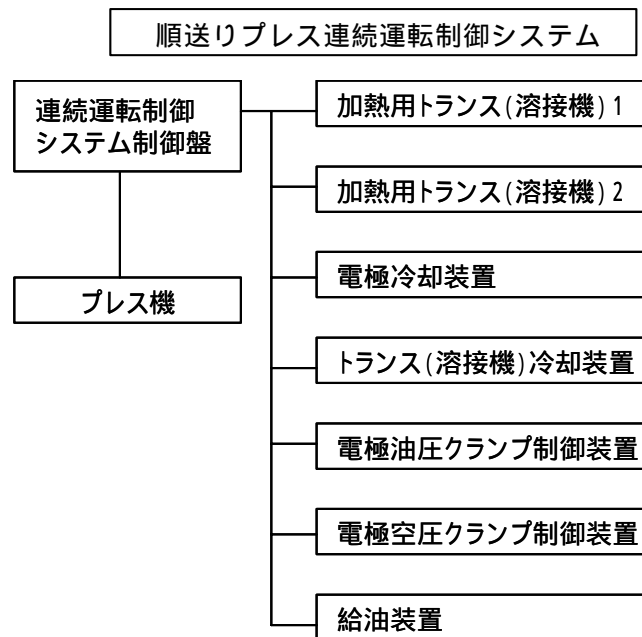


ロッカーアームがブッシュロッドと接触するために必要な球面張出し形状及び排気バルブを抑えて追従する為の剛性強度を得る為のエンボス突起成形部は、増肉された部分を2～3工程を掛けて段階的に成形することで局所的な板厚減少を発生させることなく成形加工が可能である。必要体積量が増肉により確保されていることより成形が可能となった。

2 - 5 高速プレス加工金型制御システムの開発

加熱増肉を高サイクルで行うため、プレス機と連動してトランス通電制御、金型潤滑、金型冷却、トランス冷却、金型内電極加圧油圧制御、下型電極加圧制御しすてむの開発を行う。





最終章 全体総括

「高張力鋼板の加熱増肉成形・高速順送り金型の開発」

(1) 研究成果のまとめ

ロッカーアームを対象部品に順送り加工の工程設計を行い、サイドカム方式による通電加熱増肉成形実験、精密万能試験機による圧縮試験の結果より、高速サイクル内での成形加工が実現できた。これによって、高張力鋼板の複雑成形加工が可能となった。

順送りプレス加工の利点を活用する。即ち数十工程に分割し、ステージを有効活用して前後、左右より順次加工すること、また、油圧機器類の組込みと制御により自由度をまして通電加熱が可能となるなど専用機的な活用で加熱増肉を制御できた。結果として、軽量化予想値の達成、サイクルタイムの画期的な向上、一貫生産による稼働率の向上を図ることの目的が立った。

(2) 今後の課題

材料に加熱増肉という塑性変形をさせているので品質面の長期的な確認が必要である。再加熱などで内部ストレスの除去を工程に織込む。

鍛造加工部品を高張力鋼板プレス加工に変更してコスト低減を図っていく。