

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「Ni 基合金鍛造の高度量産プロセスの開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 鍛造技術開発協同組合

第1章 研究の概要

1. 研究の目的・背景

近年、自動車は低燃費を可能にする新エンジンの開発が進められ、エンジンバルブやターボチャージャー用ウェストゲートバルブ等のエンジン用鍛造部品は高性能化、特に要求耐熱性能が年々高温化してきている。そのため、排気系耐熱部品は従来のFe基から、高耐熱、高性能であるNi基へと変わりつつある。一方、航空機業界においては自動車よりも早くからエンジン部品にNi基が用いられているが、非常に高価な部品であり、コストの削減が求められている。

これらのNi基材料は難加工材と言われ、鍛造が難しい材料でありながら、ネットシェイプ化の要求が高く、薄肉・軽量化が求められている。

そのため、ネットシェイプ鍛造による材料費、切削加工量の削減、生産性の向上、工程の削減によるコスト削減を図る新たな高度量産プロセスの開発が必要とされる。

本提案はデジタル（サーボ）プレスによる新たな鍛造プロセスを開発するもので、Ni基合金を低荷重で熱間鍛造することによってイニシャルコストのみならずランニングコストの低減を可能とするとともに、荷重低減による製品精度の向上は後工程である切削加工の最小化、鍛造工程の短縮等の効果によりトータルコスト低減においても大きく貢献すると考えられ、その技術は自動車及び航空機の熱間鍛造部品の加工へ幅広く展開することも可能である。この開発により、自動車に関する高度化目標「低燃費を可能にする新エンジン開発のために新素材・新構造鍛造技術の開発」および航空機に関する高度化目標「エンジン部品に使用する超耐熱鋼等難加工材の鍛造製品開発」を同時に達成することが可能となる。

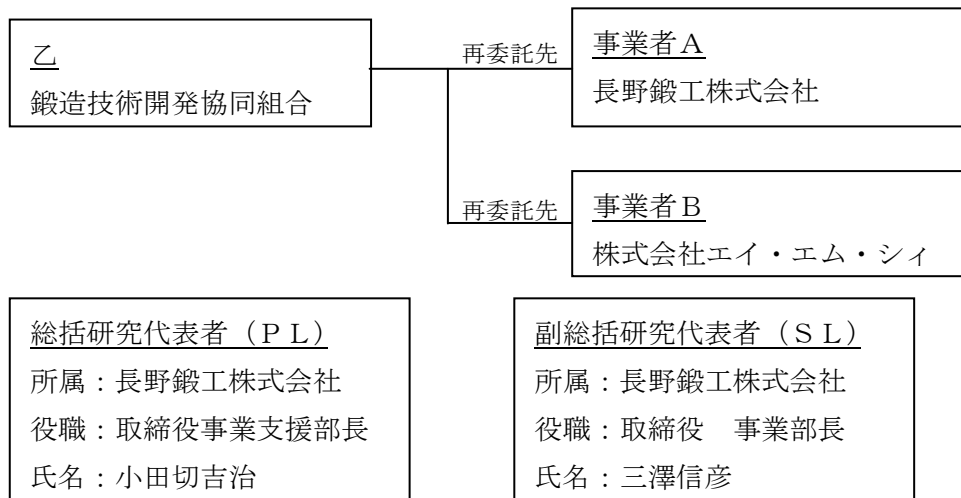
2. 研究の概要

自動車、航空機共にエンジンの高機能化が求められ、部品の高強度化、高耐熱性、軽量化を目的として高機能材料の適用が図られている。これら高機能難加工材の複雑形状ネットシェイプ成形鍛造および工程短縮、成形荷重の低減によりコスト削減を実現するために、本計画はサーボプレスと付属のダイセットによる精密・複合化したひずみ速度制御鍛造を行う鍛造プロセス開発とともにこれを有効に機能させるための新たな金型材料開発を並行することにより高能率な高度生産プロセスを開発する。

3. 研究体制

(1) 研究組織及び管理

1) 研究組織（全体）



2) 管理員及び研究員

【事業管理者】鍛造技術開発協同組合

①管理員

氏 名	所属・役職
岩田 健二	専務理事
石津 玲子	事務局長

②研究員

氏 名	所属・役職
(岩田 健二) (再)	専務理事
宮田 守次	嘱託研究員 (ミヤタハイメック品質 技術研究所 代表)

【再委託先】※研究員のみ

長野鍛工株式会社

氏 名	所属・役職
小田切吉治	取締役事業支援部長
三澤 信彦	取締役事業部長
八町 英樹	事業支援部技術課課長
高見澤勝太	事業支援部品質保証課課長
北澤 大輔	事業部鍛造課課長
瀧沢 陽一	事業支援部技術課係長
安藤 弘行	顧問

株式会社エイ・エム・シィ

氏 名	所属・役職
社本 稔	技術部・常務取締役
野崎 辰夫	技術部・主任
酒谷 隆晴	製造部・次長

4. 実施内容・成果の概要

①調査研究

試作対象とするN i 基合金自動車用部品及び航空機部品について最適対象品を調査し、その製品仕様（試験装置と適合し、目標設定に有効な）を検討し、確定する。直近の関連技術と研究動向の把握を行う。

成果：試作研究対象候補製品の情報を収集・分析し、本年度試作研究の対象品を絞り込むことができた。また、最近の本研究に関連した技術・研究動向を調査し、本研究の独創性、妥当性を確認することができた。

②試験・研究設備と付帯設備の設計・製作

試験用デジタルプレス設計・製作とトライ結果によるモーション機能の追加機能検討および改造の実施。加熱保温できる加熱システムを持ったダイセットの開発と装置設計・製作を行なう。

成果：本開発の鍛造プロセスの試験研究に適合したサーボプレス、特殊仕様のダイセットおよび加熱試験装置の仕様を決定し、その設備を導入し、試作研究等を効果的に遂行することが出来た。

③金型技術の研究開発

デジタルプレスが持つ超微速運転に対し、熱に強い特性を持った超硬またはセラミックスの金型材料を検討する。型表面を熱伝導率が悪い特性を持った熱に強い型材とし、中央部へ行くに従い強度を持つ超硬材料を開発する。

成果：サーボプレスでの超微速制御鍛造に適合する耐熱金型材を評価し、最適な試作用金型材料を選定することが出来た。

④鍛造試作研究

4－1 鍛造品設計、工程設計

試作対象品のC A E鍛造解析を用いて変形過程を確認しながら前工程の形状を検討、工程設計を行う。

成果：試作研究前の予備調査、C A E解析により試作品を選定し、その鍛造品設計、工程設計を計画・実施することが出来た。

4－2 試験条件の設定

超微速運転本プロセスの成形に影響する因子を解析し、有効な試験条件を検討・設定する。

成果：試作研究の有効な試験条件を設定し、効果的な鍛造試作研究を遂行できた。

4-3 鍛造試作

試験設備・試作用金型を用いて、対象製品の鍛造試作を行い、最適鍛造工法の絞り込みのためのデータを収集する。シミュレーション結果との比較検討・解析を行なう。

成果：効果的な試験条件で試作を実施し、今後の実用プロセス確立に有効な基礎的データを収集した。

⑤試作品質試験・検査

鍛造試作品の外観性状検査、寸法検査等、および材料試験、マクロ組織検査、非破壊検査等を実施する。

成果：試作対象品の品質に関するデータを収集・把握した。

⑥試作品外部評価

最終試作品については、想定される需要家に実体試験を依頼し、その品質評価と実用化への目標値を得る。その結果をベースとして、品質上の課題を抽出し、その対策を検討する。

成果：試作品およびその過程をベースにして需要家との情報交換が出来た。これにより今後の試作研究の方向、製品評価へのアドバイスを得た。

⑦最適鍛造工法の確立

試作結果・評価のデータ解析：本プロセスの研究成果と評価を総合的に解析し、製品化対象品について、その最適鍛造工法を絞り込む。

量産技術の確立：絞り込んだ対象品とその工法を採用し、試験設備にて小規模量産試験を実施し、量産時の技術条件・コストの見通しを把握し、最適鍛造工法を確立する。

成果：試作研究の結果から、最適鍛造工法の絞り込みが得られる基礎的知見が得られた。

⑧CAE解析手法に関する研究

本プロセスは従来の鍛造法と材料の変形挙動が異なり、その対応が可能な解析手法を構築する。その解析手法をもちいて今後の適用製品の解析を行い、このプロセスの解析手法を確立する。

成果：予備的なCAE解析と実鍛造試験の結果から、本開発プロセスの解析手法の構築できる可能性を見出した。

5. 当該プロジェクト連絡窓口

鍛造技術開発協同組合 岩田健二

TEL : 042-384-3540 FAX:042-385-3520 Email:k_iwata@tanzo-kumiai.or.jp

第2章 本論

①関連技術・研究動向調査、適用対象品の選定調査

①－1 関連技術・研究動向調査

最近の航空宇宙開発におけるロケットエンジン、ジェットエンジンの高温燃焼噴射ガス対応部品及び自動車エンジンの燃費向上の必要性から、燃焼排気ガスの高温化対応部品及び発電用ガスタービンの高温燃焼ガス対応部品、金属加工業の熱間加工用工具・金型、高温改質用石油精製プラントなどに使用されている耐熱部品など、これら各種機器・部品に使用される Ni 基合金の耐熱性向上のための技術開発は我が国の極めて重要な戦略的技術開発として重要視されている。これらの部品の使用温度は燃焼効率向上のニーズにより、1,000℃以上と厳しい要求に対応できる高機能材質と高温強度、高温靱性、高クリープ性、高温耐食性、高精密部品化の実現が必要になっている。

Ni 基合金の鍛造品は高温でしかも高荷重を要求されることが多く、鍛造性の悪さも指摘され、量産化を困難にしている。その解決方法の一つとして、Ni 基合金の歪み速度依存性を活用した鍛造法が注目され、しかもサーボプレスを活用はその実効性をより確実なものにする可能性が出てきた。ここに、収集・解析を行った文献一覧表を掲げる。

表1 収集・分析資料一覧表

区分	項目	主要調査内容・キーワード	件数
A	全般概要・研究開発動向	I N 7 1 8、成分、機械的性質、物理的性質、金型設計、金型加熱、材料加熱、密閉鍛造、熱処理、潤滑、ニッケル合金の用途、耐熱合金耐食合金、鍛造温度範囲、等温鍛造、熱膨張率	2
B	鍛造技術・変形特性	結晶粒微細化、鍛造の加熱方法、析出物 δ 相、 γ 相、析出温度、狭い鍛造温度範囲、金型材質と潤滑方法、動的再結晶、歪み速度依存性、均一加熱、金型の赤外線加熱、温度と歪み速度、組織（相）管理と鍛造温度、単結晶化、遮熱層原理、熱加工法（歪みを与えての熱加工（TM P））、再結晶化、均一方向結晶化、帯焼鈍法、指向性再結晶法、歪み方向依存性、非冷却型タービン羽根、低速歪み等温鍛造法（Ladish-IsoCon 法）、均一結晶鍛造	9

C	コンピュータ解析技術	FEM法による Ni 基合金の鍛造解析、方程式よりの解析、Code FORGE3, 3D 解析、動的再結晶化、歪み速度、歪み、鍛造温度、IN718、等温・等速歪み、温度範囲 871～1149℃、実際とのよいマッチング、温度、熱伝導率、熱容量、金型温度、粒子分散型合金、機械的合金化法、Ni 合金の超塑性恒温鍛造、塑性変形に剛塑性有限要素法、温度解析の熱伝導の有限要素法、超塑性鍛造では工具速度や工具温度制御が重要性	5
D	材料特性、結晶粒微細化	歪み速度、動的再結晶、高温変形活性化エネルギー 795 KJ/mol、動的回復は 0.1 の歪み速度。温度 1000℃で起きる。 Zener-Hollomon パラメータ Z 確認、歪み速度	7
E	熱処理	焼鈍法、溶体化焼鈍法、応力除去、応力均等化処理法、溶体化処理法、エージング硬化処理法 TTT 曲線、空冷＋エージング	2
F	その他	2 段階鍛造法、鋳造材からの鍛造、組織予測法	5
	計		30

①ー 2 適用対象品の選定調査

開発プロセスの適用試作対象品として 2 種の製品について調査を行った。

1) ウエストゲートバルブ

世界的なCO₂削減対策として現在、自動車メーカーは燃料電池車、電気自動車の開発・普及に力を入れているが一方、100 年の歴史を持つエンジンも大きな進化を遂げようとしている。

1つはヨーロッパを中心として、北米・日本・中国に広まりつつあるディーゼルエンジンである。ディーゼルエンジンはガソリンエンジンに比べ低CO₂となるものであるがPM除去、燃料噴射のEGR技術とターボによる過給が必須となる。

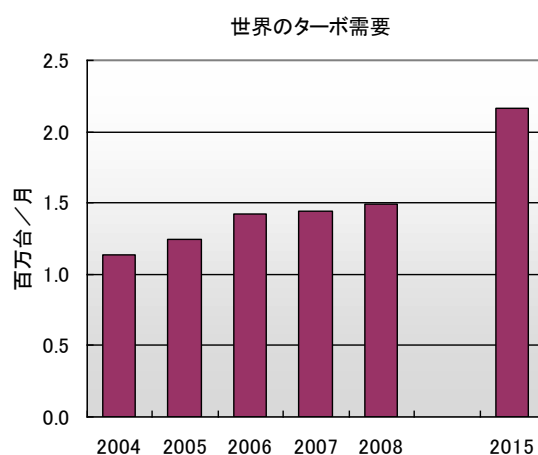


図 1 車載ターボの世界需要

ガソリンエンジンに於いても、自然吸気式の大排気量エンジンの代わりにターボチャージャー搭載の小排気量エンジンとし、ほぼ同等のエンジン出力を維持する手法、いわゆるダウンサイジングが進みターボチャージャーの搭載比率が増加している(図1)。

背景として、燃料価格の高騰とCO₂規制の強化とがあいまって燃費向上に対するニーズが急速に高まっていることが上げられる。

今後ガソリンエンジン向けターボチャージャーの需要が更に増加すると考えられ、また排気ガス温度など、使用条件が厳しくなることから、この高排温に対応したターボチャージャーを開発することが急務となっている。

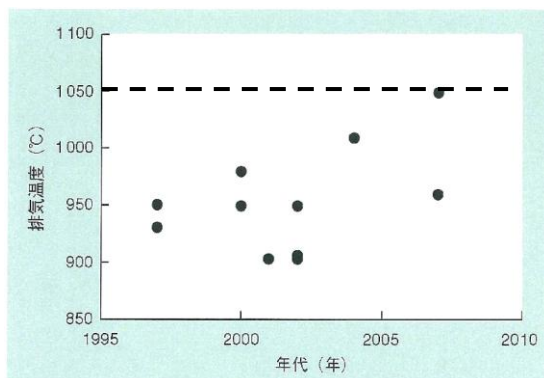


図2 ガソリンエンジンの排気ガス温度

ガソリンエンジンはディーゼルエンジンより一般的に200℃程度排気ガス温度が高く、ガソリンエンジン向けターボチャージャーはより高温対応の技術が要求される。さらに近年の排気ガス規制対応や小型高出力化のため排気ガスの温度は上昇傾向にあり、近年では1050℃に達する。(図2)

ウェストゲートバルブ(図3)は排気ガスをバイパスさせることにより、エンジンに供給する空気の圧力を制御する機構であるが、従来以上に高温の排気ガスに曝される為従来のSUS310S等のFe基から、高耐熱、高性能であるNi基へと変わりつつある。この為、当社はいち早くNi基であるNCF47Wのアプセット鍛造による製品開発を行い、ターボチャージャーメーカーに納入している。

しかしながら、Ni基合金は材料の価格が高い上に、電気アプセッタつかみ代分の材料歩留まり悪さからコストの高いものとなっている。

本研究開発のNi基合金のひずみ速度依存性を利用した低荷重高精度鍛造技術を押出し鍛造に適用し、図4の様に、現行のつかみ代や切削取り代を削減した低コスト製品の開発を目指す。

さらに、Waspaloy、Udimet、Nimonic 等 高温クリープ強度のより大きな材料を適用し、ウェストゲートバルブ自体を薄肉で同等の強度を持つものに置き換えることにより自動車自体の軽量化、燃費向上にも貢献出来る。

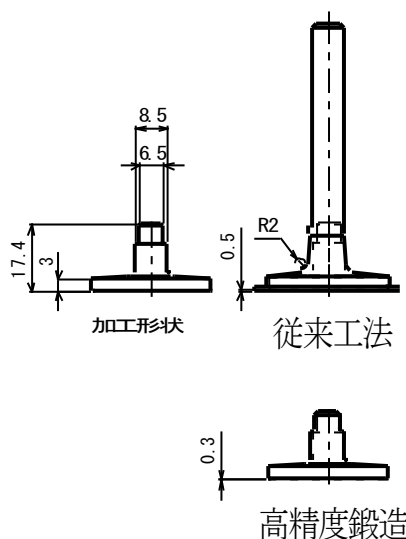


図3 ウェストゲートバルブの試作形

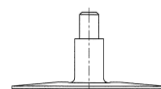


図4 ウェストゲートバルブ薄肉形状

航空機の機体台数は20年後には2倍の規模といわれている(図5)。その内訳をみると、小～中型機(100～170 座席規模)の機体の増加見込みが目立つ。このクラスの民間機は、コストが最大の要求事項となってくる。その為、本研究に使用する規模の設備で、つまり中小企業が投資できる範疇での生産が可能であり、サーボプレスによるニアネット化を武器に低コストでの生産、市場への参入が可能である。(図5)

間毎に部品を更新しておりその分の需要も見込まれる。当初本研究で狙っていたタービンブレードについては、調査して行く中で温度レベル、クリープ強度、中空性の面から、現在は鋳造による一方向凝固あるいは単結晶合金が使われており鍛造品への置き換えは難しいことがわかった。しかし、圧縮機（コンプレッサ）の翼は鍛造によるNi基合金が使われており、製品の大きさから本研究のターゲットとした。

以上の対象品の調査結果より、自動車産業のウェストゲートバルブ、航空機産業のコンプ

レッスアブレードは適用対象品として、また事業化を目指す上で妥当な製品であることを確認出来た。さらに、周辺部品への事業拡大が見込める。

また、航空機部品の事業化を目指す上での課題として JIS9100 の認証取得という技術以外の課題も見えてきており、航空機産業への参入には相応の時間が要することが確認出来た。

②試験・研究設備と付帯設備の設計・製作

プロセスの要求仕様、研究に必要な機能を明確にし、各装置メーカーとともに仕様、追加機能の開発、製作に取り組んだ。

2-1) サーボプレス

開発製作した装置 H1C400 を図 8 に示す。また、モーションの設定画面を図 9 とサンプリングした鍛造挙動データの表示画面を図 10 に示す。



図-8 H1C400

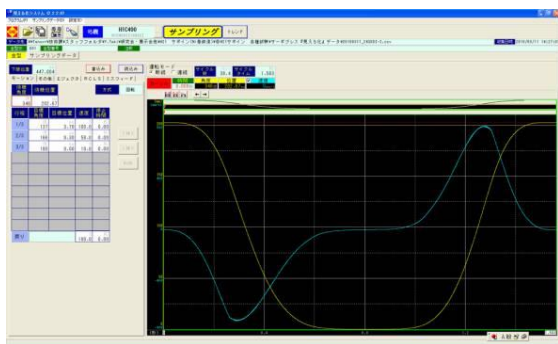


図 9 モーション設定画面
(見える化システム)

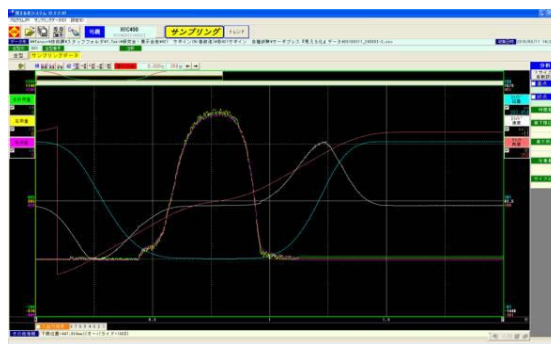


図 10 挙動データ表示画面

２段階以上としたモーション制御は５段階まで設定が可能で、事前にサーボモータの加速やブレーキを加味したモーションパターンをシミュレーションできるなど)、十分な能力と高度分析機能を備えた次世代熱間鍛造装置として完成した。

２－２） 誘導加熱装置

完成した高周波誘導加熱装置を図１１に、加熱ワークの出口写真を図１２に示す。



図１１ 高周波加熱装置

高周波誘導加熱装置は加熱ゾーン内で設定値温度以上となる恐れがある為、装置検証として炉内温度履歴調査を行った。温度履歴のとり方は、孔をあけた TP に熱電対を取り付けて他のワークとともに加熱、炉内での昇温の様子を確認した。



図１２ 加熱装置出口の TP

高度量産プロセスを構築する試験設備として、サーボプレス、誘導加熱装置、加熱機能付きダイセットを開発し、試作ラインを構築した。加熱装置はサイクルタイムを落とすと出口での温度低下が顕著になりモニタ温度よりも高温になる恐れがある、加熱ダイセットは金型目標加熱温度 500℃に到達できない、など課題も確認されたが、試験研究設備としての機能は十分に有するラインが構築できたと思われる。課題については今後の展開も反映しながら、改善に取り組みたい。

③金型技術の研究開発

③-1 金型材料の開発

本事業におけるプロセスは、熱間鍛造時の荷重が従来の 1/2～1/4 に低減させることを目的としている。そのために要求される金型材は、

- ① 加熱されたワーク材の温度を下げないこと
- ② 加熱、冷却のヒートサイクルに対して強靱であること
- ③ 鍛造時の衝撃に耐えうる材料であること

等が挙げられるが、③の衝撃については、鍛造時の速度制御により低減させることが出来るため、①のワーク材の熱を奪わない特性ならびに耐ヒートサイクル性に優れた材料の開発を実施した。従来、熱間鍛造金型に使用される材料としては、ダイス鋼（SKD 6 1 材）やハイス系材料を使用してきたが、硬さがHRC 50～53 と低く耐摩耗性に問題がある。

そこで、耐摩耗性に優れた超硬合金をベースとした材料や耐熱セラミックス材等の検討を行ってきたが、超硬合金は熱伝導率が 91W/m℃とダイス鋼の 3 倍と非常に良い。これは、主成分のWC（タングステンカーバイド）の熱伝導率が 80W/m℃と高いことに起因する。よって、本研究の金型材として要求を満たすことが出来ないと考えた。また、耐熱セラミックス（例えばジルコニア）は硬さは高く問題はないと思われるが、強度については超硬合金やダイス鋼の 1/3 と非常に弱く、本研究によって鍛造時の荷重が小さくなったとしても、強度が不足していると判断し新材料の研究に着手した。

また、試作した材料から、優れている材料（ダイス鋼と比較し強度低下が小さいこと、熱伝導率が低いこと）を選定し、従来工法でのフィールドテストを実施し、本研究で利用が可能か否かを含めて研究を進めてきた。

④鍛造試作研究

本プロセスの有効性を確認する為、本年度は下記の実験を行った。

④-a 端面拘束圧縮試験

④-b CAE による有効性評価

④-c 本プロセスによる鍛造試作

④-c 1 横打鍛造試験：平ツブシ

④-c 2 縦打鍛造試験：ウェストゲートバルブ

④-c 3 製品サンプル鍛造：ブレード(横打鍛造)

④-a. 1. 端面拘束圧縮試験

材料の塑性加工性の評価は引張り試験や硬さ試験のデータが参考にされるが、圧縮変型が主体となる鍛造では圧縮試験によって評価するのが妥当であると考えられる。

しかし、圧縮試験では試験工具（金型）と試験片との間に摩擦抵抗が働く為、材料固有の普遍的な鍛造性評価が困難となる。そこで、試験片端面の摩擦の影響を考慮する必要のない試験方法として図 1 3 に示す端面拘束圧縮試験を実施し、変形抵抗の評価を行い、インコネル 7 1 8 については歪速度依存性の文献データを実際値で検証した。

また文献のない N C F 4 7 W は鍛造性を比較評価した。

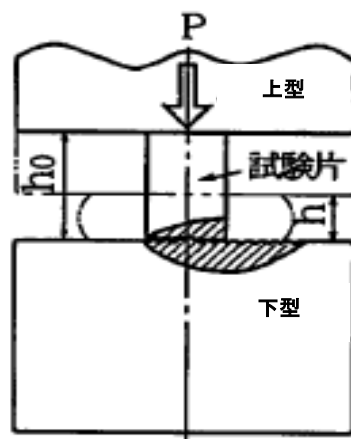


図 1 3 端面拘束圧縮試験概要

④-b CAE 解析

Ni 基合金の鍛造の CAE 解析を実施するに当り鍛造形状を決定した。ターボチャージャーに搭載される圧力調整弁ウェストゲートバルブを模したものと航空機等のエンジンに搭載されるタービンプレードを簡易的に模した平ツブシの 2 種類を対象とすることとした。3 次元 CAD で上下の金型と切断ビレットをモデリングした。その様子を図 1 4 に示す。解析する材料は INCONEL718 とした。

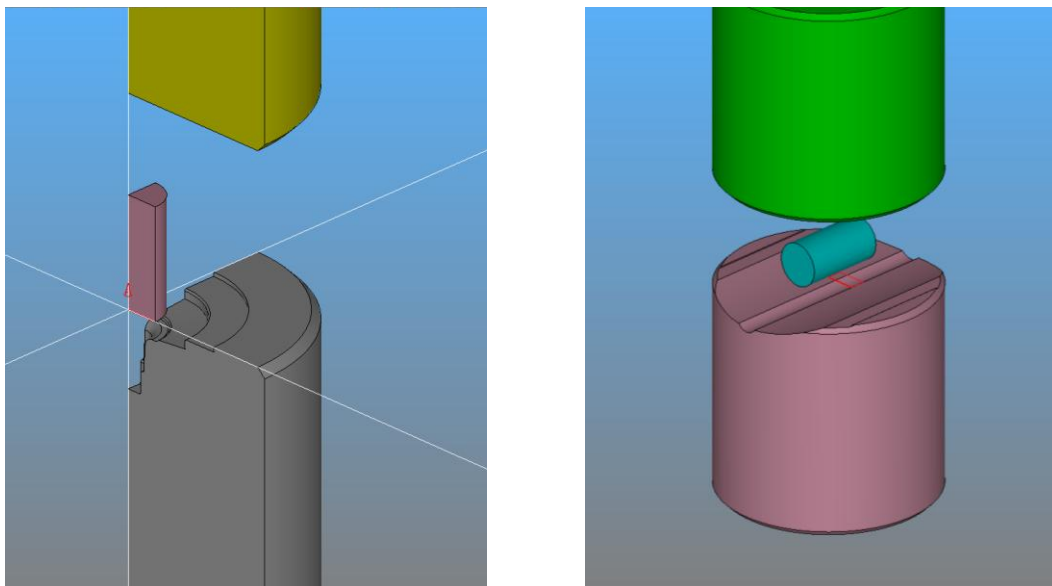


図 1 4 ウェストゲートバルブ、ブレード解析モデリング

解析の結果についてのデータはここでは示さないが、加工度の上昇→金型への圧力が上がる→熱の移動が大→ワーク温度の下降→加工荷重大。今回の結果からは材料の持つひずみ速度依存性は明確には結果に現われなかった。変形抵抗は材料の温度にも大きく依存していることがわかったが、ひずみ速度の依存性は温度の依存性の影響に比べると小さいため結果に現われづらいと考えた。やはり熱の移動が限りなく少ないか金型自身の温度がワークをと同等でないとひずみ速度依存性が結果に現われてこないのだろう。

その他解析の結果から得られたことは加工中のワーク温度が最高温度に達した位置がウェストゲートバルブ、平ツブシのそれぞれのタイプでほぼ同じ位置であることがわかった。またその最高温度も鍛造開始温度から 200℃近く上昇しているという（ワーク全体ではなくある一部）こと、解析結果のアニメーションからでしか確認できないが、その最高温度付近で材料の速度、荷重に変化が現われる様子が観察できている。この点は今後、プレスモーションの設定条件をもう少し増やして、この値がどのように変わるのか、また変わら

このような内容は実機での鍛造から読み取ることは大変困難であるがシミュレーションでは容易に観察することが出来る。シミュレーションを行うことにより実際の工程を再現して仕打ちの結果を検討修正するといった製造工程リードタイムの短縮が目立った特長に挙げられるが、別の有利な点としてワークの温度変化、流れの速度、応力の分布等、実際の工程では容易に観察できないことが再現できるので、その情報を元に欠陥の予測や金型の寿命予測をたて対策を講じることに役立たせることが挙げられる。

④-c 1 横打鍛造試験：平ツブシ



– 13 –

平ツブシ鍛造試験をまとめると、モーションを変化させることで鍛造荷重が低減できる可能性が確認できた。しかし、その差ははっきりとしたものではなくさらなる調査が必要である。500℃での開発材鍛造では金型が大きく変形し上下型がぶつかってしまった。今後は材料そのものの強化や表面処理等、変形をなくす研究を進めるとともに、より正確なモーションの効果確認が行えるよう金型形状を見直した上で再評価を進めていきたい。

④-c2 縦打鍛造：ウエストゲートバルブ

現行のアプセット鍛造から、サーボプレスを使いモーションコントロールによる低荷重化と材料歩留りを最小限にする為、様々なモーションパターン及び加工条件を組み合わせ、最も低荷重となり生産性の良い加工条件を見出す実験を行った。(図17)



図17 W/Gバルブ外観

④-c3 製品サンプル鍛造試験：ブレード(横打鍛造)

④-c1で行った試験は評価を容易にするため、それにあった形状にモディファイを行ったが、ここでは市場のニーズにより近い形状での鍛造を行いその鍛造性の評価を行った。図18に示すようなブレード形状を設計し、試作試験を行った。(図19)

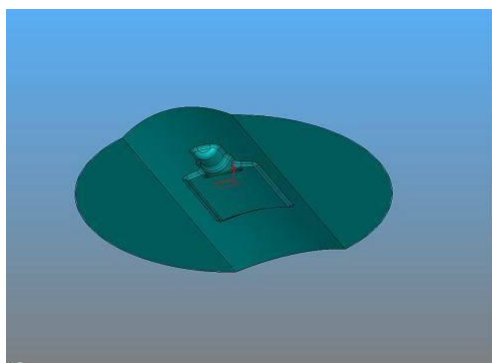


図18 ブレード鍛造型形状



図19 試作したブレード形状

⑤鍛造品質試験・検査

試作ワーク(図20)形状が安定しているかどうかワーク寸法を計測する予定だったが、早い段階で試作品形状の部位による厚み差が確認された為、使用済金型の形状調査を実施し(図21)、その変形、表面粗さ、金型のヒートクラック等を検査・確認した。



図20 ワーク形状

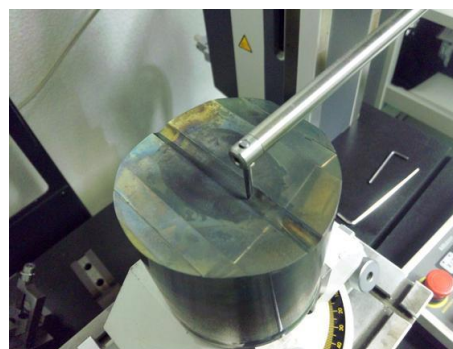


図21 形状測定

当然のことながら、金型の形状が安定維持しない限り製品品質を維持することはできない。金型材料そのものの見直し、表面処理等の検討を進め、金型ライフの向上を図ることが今後の重要課題として挙げられる。

⑥試作品外部評価

現段階では、製品サンプルを製作するところまで達成できていない為、試作品外部評価は殆ど進んでいない状況である。今後、自動車産業のウエストゲートバルブについては、既存製品での取引がある大手ターボチャージャーメーカ2社へのVA・VE提案の形で既存製品の当工法試作品を製作し、ターボチャージャーへの組み込み、耐久試験の実施をして頂き、置換えを狙って行く。

中国、インドを始めとする途上国での需要拡大であり、その為にはいかに安く量を作るかということが課題となっている。本技術開発の押し鍛造では材料の歩留まりを上げるにより材料費を1/2程度に削減するもので、川下ユーザーへのコスト削減効果は絶大である。

また国内・欧米でのCO₂削減、高性能品の需要で、より燃焼効率を上げる為排気ガスの高温化が進み部品の耐熱特性を上げる必要がある。実際に、耐久試験中にウエストゲートバルブの熱による変形が報告されており、既存材料の見直しの動きがある。

さらに、今後はNi基合金だけでなくTi合金の鍛造でも研究開発を進める必要がある。

⑦最適鍛造工法の確立に関する研究

本研究では歪速度依存性を有効に活用した低荷重鍛造を目指し、本年度様々な実験を実施した。その要点を次にまとめる。

- 1) モーション制御による低荷重鍛造は可能性が伺える
- 2) 開発材の金型は通常型では不可能な 500℃での使用に耐えうる
- 3) 開発材の金型は通常型に比べ荷重が低減できる
- 4) C A E 解析結果も同様な結果となった
- 5) ひずみ速度依存性より温度降下の影響が大きい
- 6) 平ツブシよりウエストゲートバルブの方が金型による荷重低減の効果が大きい
- 7) C A E 解析では、モーションや加工速度を変えても逆に荷重が上がる結果となった
- 8) ワークと金型の接触による温度低下をいかに少なくするかがポイントである
- 9) ウエストゲートバルブ鍛造は C A E より軸方向の伸びが少ない

また、今回研究期間が短かった為、実験で得られたデータは必ずしも多いとは言えず、より正確な傾向をつかむ為にはサンプル数を増やした評価、より多く条件を振ったトライが不可欠である。今後の研究の中で充実したデータベースを築き上げ、最適鍛造工法の確立を目指していく予定である。

⑧ C A E 解析手法に関する研究

本研究においては、C A E を活用し実際の鍛造条件に近い数値でシミュレーションを行うことによって最適な条件を明らかにし、その条件でトライを行い、従来鍛造工法での荷重を 1/2～1/4 に低減させる事を目的としている。ここでは C A E 解析の概要と計算され得られる情報の活用方法を調査し、効率の良い C A E 解析を行うための調査を行った。

シミュレーションを活用するためには、詳細な理論の知識は、それほど必要なく、重要なのは次の 2 点であることがわかった。

I. 素材、金型またはそれらの相対条件の正確さ

II. 解析結果で得られる情報の内容と用い方。

これらに留意した解析・分析を効率的に行い、サーボプレスでの最適なモーションを選定し実機の実鍛造への効果的な適用の可能性を把握できた。

第3章 総括

本研究開発は自動車産業、航空機産業の2分野の高度化目標：自動車に関する高度化目標「低燃費を可能にする新エンジン開発のための新素材・新構造鍛造技術の開発」と航空機に関する高度化目標「エンジン部品に使用する超耐熱鋼等難加工材の鍛造製品開発」の解決を「川下分野横断枠」研究開発として提案したものである。

今回の開発テーマは「Ni基合金鍛造」に関して新たな量産プロセスの実現を目的とするものであり、上記2分野の目標と方向性に合致・対応するものである。

「長野鍛工株式会社」は自動車用鍛造品を中心とした生産を行っているが、自動車エンジンバルブ、ターボチャージャー用ウェストゲートバルブなどNi基合金材料の鍛造品を製造してきており、これらの材料について豊富な経験とさらに開発能力を有しており、この研究開発の中核となるに最適な企業である。

自動車エンジンの高効率化に向けて排気系耐熱部品でのNi基合金鍛造品へのニーズが増大すると予測される。

これら増大する需要に対して、スクリープレスなどの高速鍛造等の従来の鍛造プロセスではコスト削減の期待が出来ない。生産性が高く、高精密鍛造を実現する新たなプロセスの出現が期待されている。

一方、航空機用鍛造品については製品形態が2種類あり、機体構造物の構成部品としての中・大型鍛造品（これは、大型設備に依存する製造形態であり、中小企業鍛造業の進出は資金的に大きな障害がある）と小型鍛造品（エンジン回り高機能鍛造品）に大別される。航空機のエンジン効率化の需要のなかで、高機能鍛造品の低コスト化が実現できれば、中小企業鍛造業といえども、既存の顧客-メーカーの過去からの系列にとらわれることなく参入のチャンスが生まれるものと考ええる。

自動車産業の鍛造品に対する、過酷な要求に対応してきて、培った生産体制は新たなプロセス開発を伴い、中小企業鍛造業の航空機産業への参入を可能にするものと考ええる。

これがこのプロジェクトの提案した大きな動機であり、背景である。

今年度の研究開発は今後の新たなプロセス開発の技術的基盤を築いた。その主な成果を次に列挙する。

1. 多機能ダイセットを付属するサーボプレスの設計・製作を行った。
2. 耐熱金型材料の開発と選定を行った。
3. サーボプレスを用いての試作試験の結果から新たな実用鍛造プロセスの可能性を把握した。
4. CAE解析結果と実鍛造の結果の比較から本プロセスの解析手法構築の見通しが得られた。

5. 研究開発を通じて期待できる需要家との情報交換が可能となり、今後の製品開発の方向性を見出した。

本年度の研究開発は、試作製品を絞り込んで、その製品研究に重点を置いた内容であるが、本研究は鍛造プロセスの開発であり、広く高機能・難加工材料の新しい鍛造法として適用拡大を図りたい。そのための研究開発を今後、継続する計画である。