

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「金型の熱処理における歪みの極小化技術の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成23年 9月

委託者 関東経済産業局

委託先 株式会社信州TLO

# 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
- 1 - 2 研究体制
- 1 - 3 成果概要
- 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

## 第2章 本論

- 2 - 1 金型の真空熱処理焼入れガス冷却時における歪みの加圧修正技術の開発
  - 2 - 1 - 1 焼入れ時の歪みのメカニズムの解明と抑制技術の開発
  - 2 - 1 - 2 最適歪み修正温度の検証・確立 及び残留オーステナイト量と変形量の検証
  - 2 - 1 - 3 歪み修正加圧機器と修正プレス圧力検証・確立
  - 2 - 1 - 4 加圧機器用治具及びプレス治具加温器の開発
  - 2 - 1 - 5 金型の経年変化の挙動把握と安定化の検証
- 2 - 2 炉内温度制御のための温度計測技術の開発と制御シミュレーションの検証
  - 2 - 2 - 1 炉内温度の計測技術開発
  - 2 - 2 - 2 炉内温度制御のシミュレーション検証
- 2 - 3 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉(歪み修正炉)の開発
  - 2 - 3 - 1 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉の設計
  - 2 - 3 - 2 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉の製作
- 2 - 4 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉による量産条件の検証
  - 2 - 4 - 1 実証試験のデータ収集

## 第3章 全体総括

- 3 - 1 研究開発後の課題・事業化展開

## 参考文献

# 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) 研究の背景

自動車産業をはじめ電気機械・輸送機械・精密機械等の我が国の産業は、グローバル化にともなう価格競争が激化する中で、市場ニーズに先行する新商品をスピーディに開発し、魅力的な価値・価格の商品を提供することが業界で勝ち抜く鍵となっている。これら産業の主力部品である金属プレス加工部品は、プレス用金型(以下、金型)を用いて加工されており、金型には高硬度、耐久性(長寿命)、高精度を具備することが必須条件として求められている。

このため、金型の硬度を制御する“熱処理”は必然な工程であるが、熱処理された金型は、現状では最高レベルでもA3サイズで0.3～0.4mmの歪みが発生している。このため所望の金型精度を得るために、熱処理後、平面出し研磨や加工部の微調整を約2日要して行う必要性が生じている。

例えば、ロックウェル硬度(HRC)10以下のダイス鋼を熱処理した場合、硬度は約6倍(HRC58～62)に調整される。したがってこの硬度での平面出し研磨や加工部の微調整の作業は、困難を極める。現行では、研磨のために、0.5～0.8mmの研磨しろを付加し調整を行っているが、ダイヤモンド工具またはCBN(立方晶窒化ホウ素)工具など高価で特殊な切削工具を用いねばならず、また消耗も激しく、製造コストが上昇してしまう。また産業廃棄物となる多量の使用済み切削液を排出するため、環境への負荷も大きい。

この解決のため、工具メーカーは高硬度材加工に最適化した工具の開発を行っているが、安価・高寿命な工具の実用化には至っていない。また、熱処理不要のプリハードン鋼が市販されているが、硬度(HRC40以下)がプレス用金型の必要硬度に未達、高価格、加工に時間がかかるなどにより、現状では金型材料全体の20%未満のシェアと推定される。このため熱処理後の工程(研磨・微調整)を大幅に軽減できる技術開発が待ち望まれている。

### (2) 研究の目的

本研究開発の目的は、金型の熱処理工程において必然的に発生する歪みを極小化(ゼロディストーション)させることで、後工程での平面出し研磨や微調整加工を排除し、金型製造工程の納期短縮、低コスト化に寄与することである。これにより、川下製造業者では、金型を使って生産する製品の精度が向上し、また納期の短縮が実現できる。さらには高価な切削工具の消耗が減り、産業廃棄物となる多量の切削液が大幅に削減され、環境への配慮にも寄与することができる。

### (3) 研究の目標

本研究開発では、プレス用金型の熱処理において生じる歪みを、極小化(0.01mmレベル)する技術の研究開発を行うものである。具体的には、最適な熱処理プロセスの開発を行い、さらには歪み修正用の加圧真空焼戻し炉の開発及び実用化の検証を行う。これにより熱処理時間の短縮と熱処理後に実施していた金型修正加工(研磨・微調整)を削減し、プレス用金型の高精度化・納期短縮・低コスト化及び環境保全に貢献する。

研究の目標として、歪み予測、歪み抑制技術、歪みばらつき抑制技術の向上により、熱処理後の歪み0.01mmレベル、熱処理時間の短縮及び省エネルギーに資する技術開発により、焼入れ、歪み修正、(必要に応じて)サブゼロ処理、焼き戻し時間を従来の2/3とする。

#### 【高度化指針で定める高度化目標】

「(十六)熱処理に係る技術」において達成すべき高度化目標として、当提案は「(5)その他」に関する事項の「高度化目標」の内、以下の項目に寄与することが可能である。

- ア. 歪み予測、歪み抑制技術、歪みばらつき抑制技術の向上
- カ. 熱処理時間の短縮及び省エネルギーに資する技術開発
- ク. 熱処理関連装置技術の向上

よって、上記の高度化目標に対して、具体的に下記の様な技術目標を達成する。

- ア. 歪み予測、歪み抑制技術、歪みばらつき抑制技術の向上

金型製造時、熱処理以前における精度は、最新の研磨装置・工具を使用しても、薄板(1mm以下)で0.005~0.015mm、それ以上の厚さのものでは-0.005~0.005mmが限界とされている。このことから、熱処理後の金型の精度としては“A3サイズ金型材で熱処理後の歪み0.01mmレベル”が要求され、この精度を達成すると熱処理後の仕上げ研磨・微調整加工はほぼ不要となる。よって当事業では、“熱処理後の歪み0.01mmレベル”の熱処理法の確立を目標とする。

- カ. 熱処理時間の短縮及び省エネルギーに資する技術開発

従来手法においては、焼入れ、歪み修正、(必要に応じて)サブゼロ処理、焼き戻しの順に作業を行い、約8~15時間が必要であった。当事業での手法では、この時間を2/3にすることを旨とする。これにより、高温の電気炉で実施される金型の熱処理は、処理時間が短縮されることで使用電力の削減となり、省エネルギーへも大きく資することとなる。

また更に、熱処理後に半日~2日要していた研磨作業も、不要もしくは僅かな時間でできるため、金型の製造に要する時間は大幅に短縮される。

- ク. 熱処理関連装置技術の向上

前述した熱処理工程での重要な装置は“熱処理炉”である。炉内で加圧修正が可能で、炉内温度を200~600℃に制御する新たな装置:「自動歪み修正用の加圧真空焼戻し炉」(以下 歪み修正炉)の開発が必須となる。今回の実験段階では1回ごとにバッチ処理で熱処理を行うが、量産時には自動搬送などの機能を持ち、連続自動処理できることが必要とされる。

以上より、当事業では、「熱処理技術における高度化目標の達成に資する特定研究開発等の実施方法」として、「(1)高度化・高付加価値化に対応した技術開発の方向性 歪み予測・歪み抑制に資する技術の開発」のうち、「ア. ゼロディストーションを目指す超低歪技術」を実施するものである。

実際の研究開発の作業については、以下の項目に沿って行い、それらの目標を定める。

< 研究開発に関する研究開発項目(サブテーマ) >

【 】 金型の真空熱処理焼入れガス冷却時における歪みの加圧修正技術の開発

・焼入れ時の歪みの発生メカニズムを解明し、抑制技術を開発する。

・熱処理後の歪みを0.01mmレベルにする。

【 - 1】 焼入れ時の歪みのメカニズムの解明と抑制技術の開発

焼入れ用の真空炉内において、ガスを用いて完全冷却する際の歪み発生メカニズムを探求する。冷却方式による差を明らかにし、それに応じた歪み抑制技術を開発する。

目標

・焼入れの冷却時において、従来の冷却方法と冷却治具を用いた冷却温度を制御する方法での発生歪みの比較実験を行う。

・ガス冷却方式において、焼入れ後の歪みを、極小化する。

・冷却治具を用いた場合の、歪み抑制技術を明らかにする。

【 - 2】最適歪み修正温度の検証・確立、及び残留オーステナイト量と変形量の検証  
マルクエンチ温度域の範囲を明らかにする。

目標

・歪み修正工程に適した、マルクエンチ温度域を明らかにする。

【 - 3】歪み修正加圧機器と修正プレス圧力検証・確立

歪み修正用治具を比較し、極小歪み化傾向を調査する。また、冷却方法による冷却時間の短縮と歪み修正の関係を調査する。

目標

・最適圧とその際の歪み量を測定して比較する。  
・冷却方法により歪み量及び処理時間を測定して比較する。

【 - 4】加圧機器用治具及びプレス治具加温器の開発

歪み修正治具を用いた焼戻しを行い、修正歪み数値を比較して極小歪み化傾向を調査する。

目標

・歪み修正における、治具ごとの歪み発生量を測定し、どの治具がより有効かを明らかにする。  
・焼戻し歪み修正後の表面硬さ、内部硬さと寸法精度を明らかにする(数値化)。  
・熱処理後の最終的な歪みを、0.01mmレベルにする。

【 - 5】金型の経年変化の挙動把握と安定化の検証

サブゼロ処理有無比較による歪み修正後の経年変化影響を調査し、安定化の検証を行う。また、残留オーステナイト影響による経年変化の相関関係も同時調査する。

目標

・修正方法、サブゼロ処理と残留オーステナイトの量の関係と、その経年変化を明らかにする(数値化)。

【 】炉内温度制御のための温度計測技術の開発と制御シミュレーションの検証

・炉内の温度分布を把握する。  
・炉内温度制御のシミュレーションを行い、冷却温度の制御、流量の可変制御を取り入れる。

【 - 1】炉内温度の計測技術開発

真空熱処理炉での金型の高温熱処理は、炉内温度分布の影響を受けるため炉内温度分布を調査して有効加熱帯の検証を行う。また、テストワーク内部温度も測定して炉内温度と均一温度になる為の時間を検証する。

目標

・炉内の最適な温度測定方法(機器選定、設置位置)を決定する。  
・炉内の温度分布、時間変化を明らかにする(数値化)。

【 - 2】炉内温度制御のシミュレーション検証

真空熱処理炉の冷却ガスを制御することにより、冷却温度の均一化が可能なかを、温度シミュレーションを用いて調査する。

目標

・冷却ガスの制御による冷却温度の均一化が可能なかを明らかにする。

【 】歪み修正用の加圧真空焼戻し炉(歪み修正炉)の開発

・歪み修正炉の設計を行う。  
・歪み修正炉を組み立て、動作を確認する。

【 - 1】歪み修正用の加圧真空焼戻し炉の設計

上記項目 - 3及び - 4の実験結果に基づき、最適な歪み修正用加圧真空焼戻し炉の設計を行う。

目標

- ・歪み修正炉の設計を完了する。設計資料(図面)の作成。

【 - 2】歪み修正用の加圧真空焼戻し炉の製作

歪み修正用の治具を製作し、機器設備として納入された歪み修正炉に装着・調整することで、項目 の実験に用いる歪み修正炉を完成させる。その後、歪み修正炉の動作を確認する。

目標

- ・歪み修正炉の製作を完了。
- ・目標値に対して、正しく動作することを確認する。

【 】歪み修正用の加圧真空焼戻し炉による量産条件の検証

- ・歪み修正炉におけるデータを収集し、量産時における条件設定を明らかにする。
- ・熱処理に要する時間を、従来の2 / 3以下にする。

【 - 1】実証試験のデータ収集

歪み修正炉において、各種材質及び面積別・厚さ別について、歪み極小化のデータの蓄積を行う。また、冷却時の歪み修正治具による技術と歪み修正炉の複合的技術(ハイブリッド処理)での歪み修正方法のデータも収集する。

目標

- ・材質(2種)、面積・厚さ(3種)について、歪み量を明らかにする。
- ・ハイブリッド処理(歪み修正治具の2種)についても、材質(2種)、面積・厚さ(3種)について、歪み量を明らかにする。

【 - 2】検証・考察

熱処理歪み極小化技術の検証と理論的考察を行い、技術の確立を行う。さらに、量産化技術及び自動式の加圧真空焼き戻し装置開発の指針を得る。

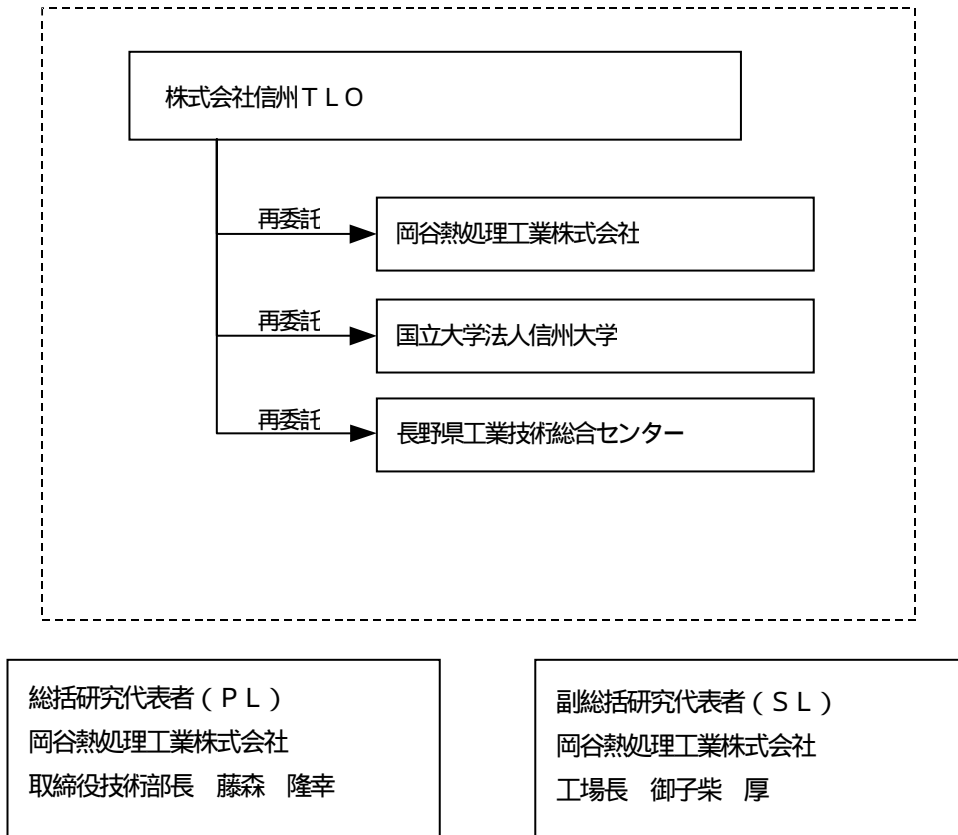
目標

- ・歪みの発生から歪みの極小化までの理論的な考察を行う。
- ・量産化、自動化に必要な仕様を明らかにする(数値化)。

## 1 - 2 研究体制

### (1) 研究組織及び管理体制

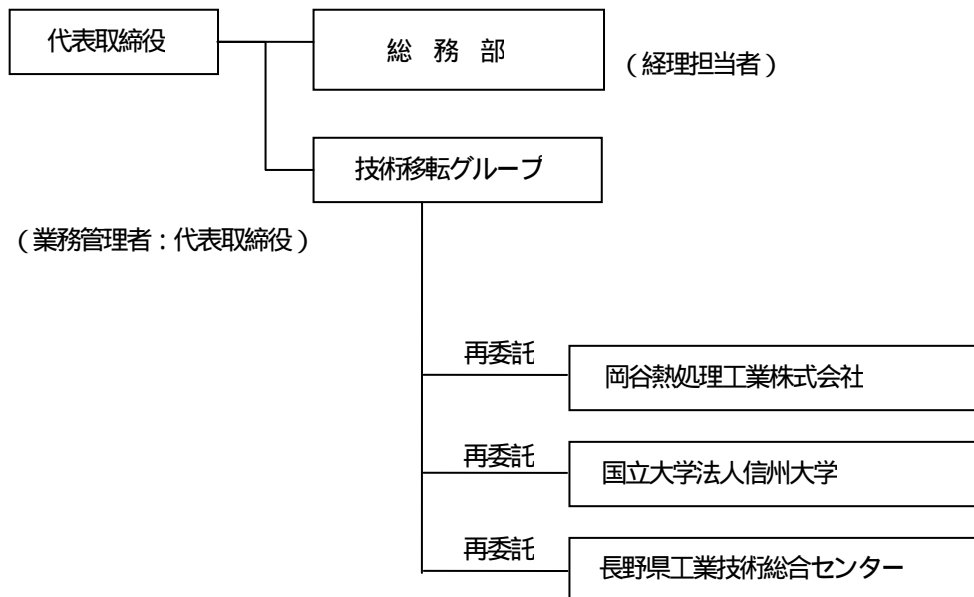
#### 1) 研究組織(全体)

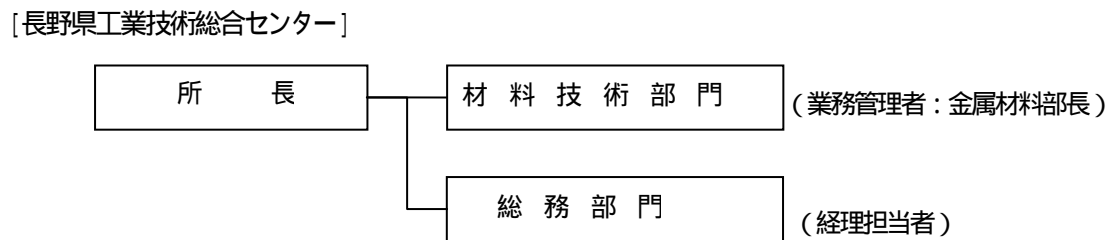
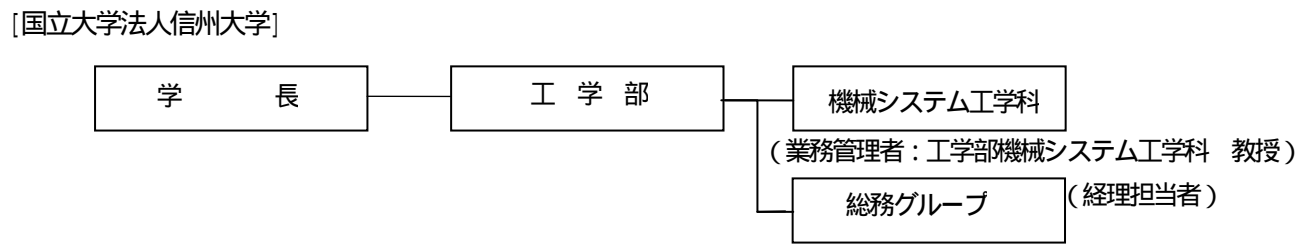
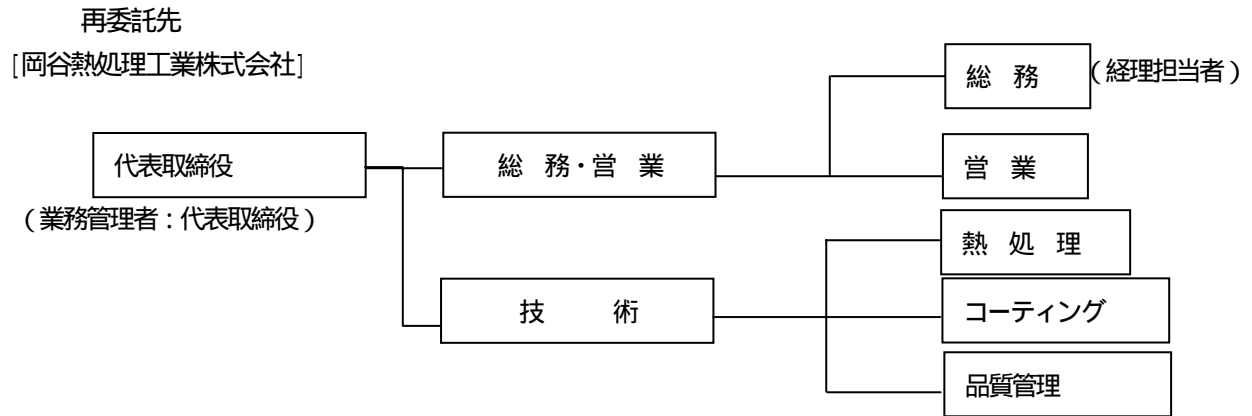


#### 2) 管理体制

##### 事業管理機関

[株式会社信州TLO]





(2) 管理員及び研究員

(管理員)

[事業管理機関]

株式会社信州TLO

大澤 住夫  
勝野 進一  
横山 友美

取締役 技術移転グループ部長  
技術移転グループ  
総務部

(研究員)

[再委託先]

岡谷熱処理工業株式会社

西澤 邦治  
藤森 隆幸  
御子柴 厚  
林 憲一  
宮坂 清史  
小口 英明  
松本 圭介

代表取締役  
取締役技術部長  
工場長  
技術 熱処理  
技術 熱処理  
技術 熱処理  
技術 熱処理

国立大学法人信州大学

清水 保雄

工学部 機械システム工学科 教授

長野県工業技術総合センター

滝澤 秀一  
若林 優治

材料技術部門 金属材料部長  
材料技術部門 金属材料部 研究員



### (3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

#### 【事業管理機関】

株式会社信州TLO	(経理担当者)	横山 友美	総務部
	(業務管理者)	倉科 喜一	代表取締役

#### 【再委託先】

岡谷熱処理工業株式会社	(経理担当者)	海瀬 民子	総務部長
	(業務管理者)	西澤 邦治	代表取締役

国立大学法人信州大学	(経理担当者)	常見 和彦	工学部 総務グループ 主査(会計担当)
	(業務管理者)	清水 保雄	工学部 機械システム工学科 教授

長野県工業技術総合センター	(経理担当者)	宮下 隆	総務部門 主査
	(業務管理者)	滝澤 秀一	材料技術部門 金属材料部長

## 1 - 3 成果概要

本研究開発における目標としては、熱処理後の歪み0.01mm レベル、熱処理時間が従来の2/3、の2点があげられていた。

歪みについては、治具を使用した歪み修正において0.01mmレベルを達成したが、安定的ではなく、ばらつきがあった。歪み修正炉を用いた歪み修正では、歪みを0.02mmレベルまで、安定して修正することができた。治具あるいは歪み修正炉のいずれでも、金型の鋼の種類や大きさにより修正に差が出てしまった。しかし、総じてその値は従来に比べてはるかに小さなもので、歪み修正の効果は大きく、後工程での修正加工の作業量を削減することができる。歪みの量としては、研究開発は成功と言える。

熱処理の作業時間としては、従来は480～510分であったのに対し、歪み修正炉を使用した熱処理では350～360分にすることができた。目標は66.7%の短縮であるが、現状では70～73%にまで短縮することができている。こちらについても、目標をほぼ達成できたと言って良いと思われる。

以下に研究開発に関する研究開発項目(サブテーマ)ごとに、成果を述べる。

#### 【 】 金型の真空熱処理焼入れガス冷却時における歪みの加圧修正技術の開発

##### 【 - 1】 焼入れ時の歪みのメカニズムの解明と抑除技術の開発

焼入れ処理で金型を冷却する際に、冷却ガスの当たり方を治具により制御した。治具の使用により、SKD11鋼金型の歪みが0.040～0.057mmにすることができた。目標の歪み量0.03mmには至らなかったが、目標に近い値の結果を得ることができ、満足な歪み修正ができた。

##### 【 - 2】 最適歪み修正温度の検証・確立、及び残留オーステナイト量と変形量の検証

焼入れ処理において歪み修正を行う際の、修正を開始する最適温度(歪み修正適正マルクエンチ温度域)を調査した。歪み修正に有効な温度範囲で歪み修正を行うと、焼入れ処理時の歪みを最小とすることができる。

##### 【 - 3】 歪み修正加圧機器と修正プレス圧力検証・確立

焼入れ処理において、歪み修正を行う際の加圧治具の種類と、その最適な圧力を調査した。加圧治具の違いによる歪みの量の差異は、少であった。加圧の圧力と歪みの量の関係は弱く、過大圧力を加えなくても歪みを極小化傾向にすることが可能である。

さらに、金型の冷却方法として、送風冷却と冷却治具による冷却とを比較した。冷却治具を使用することで、冷

却時間を短縮することができる。

#### 【 - 4】 加圧機器用治具及びプレス治具加温器の開発

焼戻し処理における歪み処理用の治具を開発し、その能力を調べた。

SKD11鋼について、焼戻し処理において治具を用いて歪み修正を行うと、小型の金型では歪みは0.010～0.095mmの間に収まる。中型以上のサイズの場合でも、歪みは安定して0.1mm未満となる。歪みは目標値の0.01mmに達したが、すべての場合ではなく、安定的ではなかった。しかし、歪みの値としては十分極小であり、後工程での加工量削減の効果は大きい。

SKS鋼について歪み修正を実施した場合、SKD11鋼よりも歪みは多かった。しかし通常の焼入れ処理に比べると、少ない歪みに修正可能であることがわかった。

#### 【 - 5】 金型の経年変化の挙動把握と安定化の検証

歪み修正処理を行った金型について、残留オーステナイト量、残留応力量、歪みの量を長期にわたって測定することで、経年変化の様子を観察する。熱処理としては、サブゼロ処理の有無による差も比較する。また、熱処理後の研磨仕上げによる影響も見る。

経年変化としては、現在熱処理を実施してから3カ月が経過したところである。残留オーステナイト、残留応力、歪み量のいずれも、大きな変化はない。この測定については、6か月経過するまで継続する予定である。

#### 【 】 炉内温度制御のための温度計測技術の開発と制御シミュレーションの検証

##### 【 - 1】 炉内温度の計測技術開発

熱処理における歪み量を減らすためには、正確な温度制御が必要である。そこで、焼入れ処理に用いる真空炉内の温度状況を計測した。その結果、1030 設定表示において、有効加熱領域の温度幅は5 以下で安定していることがわかった。このため、金型の配置位置については、有効加熱領域の範囲内であれば、問題は無いことが明らかになった。

##### 【 - 2】 炉内温度制御のシミュレーション検証

通常の焼入れ処理時には、真空炉を用いて行いが、真空炉内は加熱室と冷却室の2室に分かれており、気密性が高いため、特に冷却室内部の温度測定は困難である。そこで、シミュレーションにより炉内の冷却の様子を推定した。

冷却時における冷却ガスの動きをシミュレーションし、この結果を - 1 の実験結果と比較したところ、冷却ガスの動きと、実験における歪みの発生状況とが良く一致した。シミュレーションが妥当であると言える。しかし、シミュレーションを用いて、冷却ガスのノズル位置やガス流量の最適化を行うまでには、至らなかった。

#### 【 】 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉(歪み修正炉)の開発

##### 【 - 1】 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉の設計

上記 の焼戻し処理においては、歪みの修正作業に治具を用いて、手作業で行っている。このため正確な加圧時間・加圧温度の制御もできない。そこで、真空雰囲気内で、加圧時間、加圧温度を制御することができる、歪み修正用加圧真空焼戻し炉(歪み修正炉)を開発すべく、設計を行った。

この歪み修正炉では、加圧圧力、真空度、温度 の時間変化を、プログラムにより制御することが可能である。

##### 【 - 2】 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉の製作

歪み修正炉の本体及び治具を作成した。また、歪み修正の実験のために、歪み修正炉の制御プログラムの作成も行った。

本体の完成後、治具を取り付け、プログラムの設定を行い、歪み修正炉が正常に動作することを確認した。完成した歪み修正炉を、図 1.1 に示す。



図 1.1 歪み修正用加圧真空焼戻し炉

【 】 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉による量産条件の検証

【 - 1】 実証試験のデータ収集

材質2種、面積3種、厚さ2種、圧力3種について、歪み修正炉による歪みの修正を行い、最適条件を見つけた。

SKD11鋼において、通常の真空熱処理炉を用いた焼入れ処理(フェーズ1)では0.2mm以上の歪みが発生するが、フェーズ1において歪み修正炉を用いた歪み修正を行うと、歪みは0.1mm以下になり、よじれも発生しない。この状態でフェーズ2における歪み修正を行うと0.02mmレベルまで歪みを極小化できる。一方、SKS3鋼において、通常の真空熱処理炉の焼入れ処理(フェーズ1)では、0.4mm以上の歪みが発生するが、フェーズ1で歪み修正炉を用いると、歪みは0.3mm以下となる。この状態でフェーズ2における歪み修正を行うと0.03~0.07mmの歪みにすることができる。なお、歪みの量は、金型の大きさに依存する。金型が大きくなるに従い、歪みも大きくなる。

本研究開発での目標である歪み0.01mmに至ることはなかったが、歪みの値は目標値に非常に近く、また安定しており、効果的な歪み修正法を開発できた。熱処理全体に要する時間は、従来の方法では480~510分かかっていた。熱処理に歪み修正炉を使用すると、冷却処理時間の短縮で、処理時間は350~360分となる。したがって、約70~73%程度の短縮となる。目標では2/3(66.7%)の短縮であったが、それにほぼ近い短縮が可能となった。

【 - 2】 検証・考察

ここでは、焼入れ処理及び焼もどし処理で歪の機械的修正を行うことで、歪みを極小化することに成功している。今後の課題としては、より高精度な歪みの極小化、処理時間のさらなる短縮などがあげられる。

#### 1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

問合せ担当者 株式会社 信州TLO 勝野進一  
住所: 〒386 8567  
上田市常田3 15 1 信州大学繊維学部内 SVBL 棟 4階  
電話: 0268 25 5181  
FAX: 0268 25 5188  
E-mail: katsuno@shinshu-tlo.co.jp

## 第2章 本論 <sup>1)~5)</sup>

プレス用金型を熱処理する場合、図 2.1 に示すように、大きく2つの工程を行うことになる。第一がフェーズ1の「焼き入れ」処理であり、第二がフェーズ2の「焼戻し」処理である。焼き入れ処理では、金型の鋼を硬くまた強さを増すように改質をしており、続く焼戻し処理において所望の硬さに戻すとともに、脆性を改善しまた韌性を増すようにしている。通常、これらの熱処理を行うと、金型に歪みが発生する。このため、金型製造業者は、熱処理後の金型に対し平面出し研磨や加工部の微調整を施さなければならない。

今回の研究開発では、この熱処理の際に発生する歪みを極小化し、さらには熱処理に要する時間の短縮を目指す。

### 2 - 1 金型の真空熱処理焼き入れガス冷却時における歪みの加圧修正技術の開発

(実施計画番号 )

熱処理時の歪み発生メカニズムを解明し、歪みの抑制技術を開発するため、焼き入れ処理および焼戻し処理において、歪み修正用の治具を用い、歪みの修正を行う。最終的な目標としては、熱処理後の歪みを0.01mmのレベルにすることである。

以下の2 - 1 - 1節から2 - 1 - 3節では、金型の焼き入れ処理時に発生する歪みのメカニズム、即ちオーステナイト状態に加熱された鋼の鋼種別・形状別の歪みに係わる因子を探求する。更に、焼き入れ処理時に歪みを起こさない熱処理炉内での加熱方法の検証の他、加圧修正するための技術(治具形状・材質等)を検討する。

また、2 - 1 - 4節および2 - 1 - 5節では、焼戻し処理時に発生する歪みを修正することを目指す。特に2 - 1 - 5節においては、歪み修正した金型の経年変化について検討する。

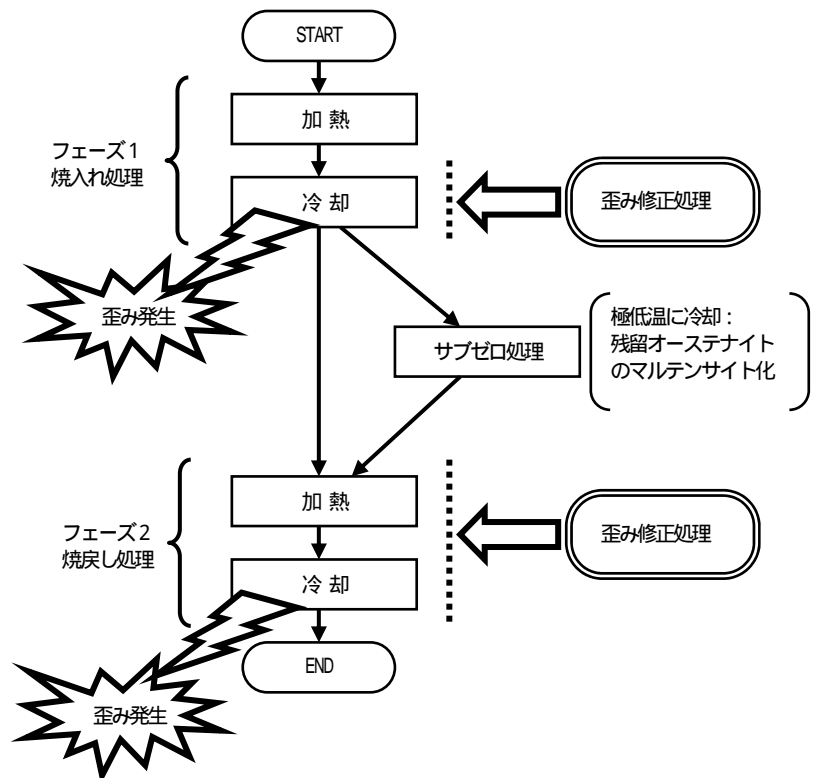


図2.1 金型の熱処理の概要

焼入れは熱処理の第一ステップで、金型を十分に硬くするための処理である。真空炉でオーステナイト状態に加熱したのち、ガスを用いて完全冷却する。この冷却の際の冷却の不均一により、歪みが発生すると思われる。そこで、複数の冷却方式を試し、歪みの発生が少ない方法を探す。目標としては、焼入れ処理後の歪みを0.03mm以内とする。ここでは、金型に冷却ガスを直接あてるのではなく、冷却用治具を使用することで、均一に冷却することを目指す。

(1) 実験方法

治具および設置方法を変えた5種類の冷却方法を実施し、歪みの量を比較する。実験は真空炉内に金型(実験用プレート)を6種類(冷却1~冷却5 a, 5 b)の方法で設置し、窒素ガスにより冷却する。なお、冷却1は、治具を使わない通常の冷却方法である。金型はSKD11鋼で、サイズはH300mm×W200mm×t15mmである。

真空熱処理炉は、岡谷熱処理工業の6号炉(IHI製、型式VGB-242436、工番V568100)を使用する。これを、図2.2に示す。また焼入れ処理における温度変化は、図の2.3に示す形にする。



IHI製 工番 V568100  
型式 VGB - 242436

図2.2 焼入れ実験 真空熱処理炉

(2) 実験結果と考察

実験結果を表2.1に示す。金型を冷却2および冷却3で行った場合、歪みは目標値(平面度0.03mm)に対して3倍~6倍の大きな歪みとなってしまふ。硬さについては、通常の冷却(冷却1)と比較して、ほぼ同様の硬さである。

一方、冷却4、冷却5 a、冷却5 bは、歪みは3枚とも0.04~0.05mmの範囲で、通常の冷却(冷却1)に比べて、かなり小さい値となった。また硬さについては、通常の冷却と比較して、ほぼ同様の硬さである。

冷却ガスが直接プレート表面を冷却する通常の方法では、表面と内部の温度差が大きくなり、マルテンサイト変態が急激にすすむ部分とゆっくりすすむ部分が存在する状況が発生していると推測する。実験において治具を使用したことにより、急激なマルテンサイト変態を防ぎ、表面と内部温度差が少ない状態で変態が進行し、歪み発生を抑制したと思われる。また、金型の配置方法でも炉内での冷却ガス(N<sub>2</sub>)が流れる方向の影響が発生したと思われる。

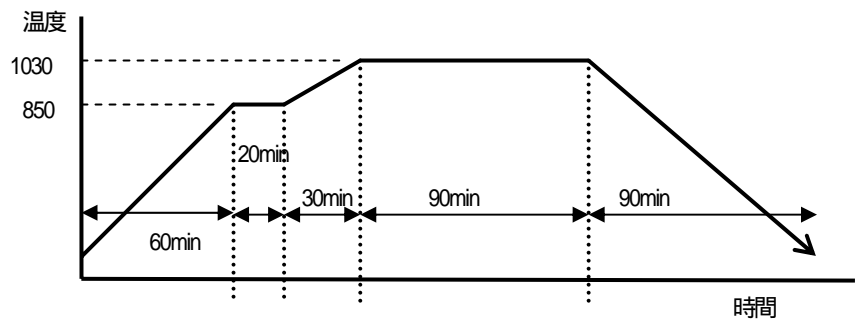


図2.3 焼入れ実験の温度プロフィール

表2.1 焼入れ実験の結果

番号	焼入れ前歪み (mm)	焼入れ後歪み (mm)	焼入れ後硬さ (HRC)
冷却1	0.034	0.119	63.9
冷却2	0.028	0.096	64.3
冷却3	0.012	0.174	64.0
冷却4	0.013	0.057	63.9
冷却5 a	0.015	0.040	64.0
冷却5 b	0.017	0.045	63.8

## 2 - 1 - 2 最適歪み修正温度の検証・確立、及び残留オーステナイト量と変形量の検証 (実施計画番号 - 2)

焼入れ処理において、真空炉内でのガス冷却の途中で、金型の温度がマルクエンチ温度領域にあるときに、金型を取り出し、歪み修正のための加圧冷却を行う。このときの最適な取り出しマルクエンチ温度領域（温度範囲）を明らかにする。金型の鋼種としては、SKD11鋼とSKS3鋼の二種類について、調査する。また、残留オーステナイト量をX線回折法で計測し、変形量、歪み量との相関性を検証する。

### (1) 測定方法

実験で使用する装置を、図 2.4 に示す。実験に用いる金型（実験用プレート）のサイズは、SKD11鋼、SKS3鋼ともに、高さ300mm、幅200mm、厚さ15mmである。また熱処理の条件は、表 2.2 のとおりである。

表 2.2 熱処理条件

鋼種	サイズ	焼入れ温度		焼戻し温度	
SKD11鋼	H300×W200×t15	1030	90min	200	180min
SKS3鋼	H300×W200×t15	830	90min	250	300min

歪みの修正では、2種類の治具で加圧する。真空炉からの金型の取り出し温度を変化させ、歪み修正後の歪みの値を測定する。

また、焼入れ処理の冷却後、焼戻し処理を行い、残留オーステナイト量の測定を行う。金型表面の5か所で測定を行う。測定には、カナダのPROTO社製X線応力測定装置iXRD（図 2.5）を用いた。

### (2) 測定結果および考察

歪みの値が最小となる最適な取り出し温度が、SKD11鋼およびSKS3鋼においてそれぞれ存在する。歪みの値は治具の種類にも依存している。

残留オーステナイトの量を測定した結果、SKD11については、取り出し温度が低い場合には残留オーステナイト量が10～20%程度であるのに対し、取り出し温度が高いと残留オーステナイト量も40～60%程度と高い値を示した。

SKS3については、取り出し温度が高い程、残留オーステナイト量が多い傾向が見られたが、いずれも2%以内という低い値であった。治具による違いは、あまり見られなかった。

測定結果より、取り出し温度が高いとマルテンサイトへの変態が不十分であり、取り出し温度を適切に低くするとオーステナイトが20%以下までマルテンサイトに変態することが分かった。



図 2.4 実験装置

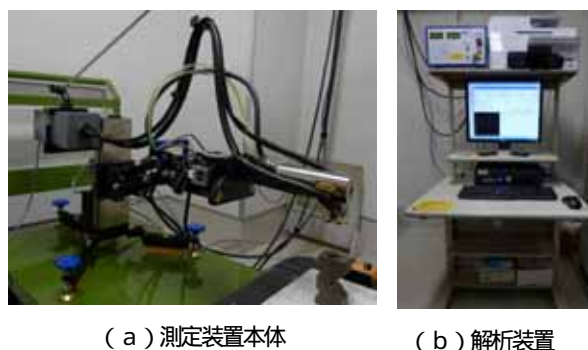


図 2.5 測定装置概観

### 2 - 1 - 3 歪み修正加圧機器と修正プレス圧力検証・確立

(実施計画番号 - 3)

焼入れ時における加圧冷却による歪み修正において使用する治具について、最適プレス圧を明らかにする。また加圧冷却のもう一つの機能である冷却についても、送風冷却と冷却治具を使った冷却を行い、歪みに与える影響や処理時間について調べる。

実験では、サイズが高さ400mm、幅300mm、厚さ20mmのSKD11鋼の金型(実験用プレート)を対象とする。熱処理には、図2.6に示す装置を用いる。熱交換型高機能温調機は、冷却治具の温度を制御する装置である。

#### (1) 加圧治具および最適圧力についての実験

治具の加圧圧力を変えた場合であるが、圧力と歪みの量との関係は、あまり強くなかった。当初かなりの圧力をかける必要があると予想していたが、実際は過大な圧力を加えなくても歪みの修正が可能であることがわかった。

#### (2) 冷却方式についての比較

焼入れの真空炉から金型を取り出し、加圧冷却を行う。この際の冷却に送風冷却の場合と冷却治具を使用する場合とを比較する。

送風冷却については、歪み修正治具自体の熱容量の違いの影響が出てくる。冷却の途中で送風を停止すると表面の温度が上昇する。このことから金型内部の温度が、表面部分と比べてかなり高い状態と思われる。

冷却治具を使用した場合には、金型と広く接触する冷却治具から熱が逃げるので、金型の表面と金型内部の温度差は小さいことが予想される。また、冷却治具を使用すると、冷却の後半の部分で冷却の速度が速くなり、冷却に要する総時間を大幅に削減できる。

送風冷却は大気温度で冷却するため、冷却の速度は大気温度に依存する。大気温度は一日の中で変化し、また季節によっても変化する。冷却治具を使用することで、大気温度の影響を減らすことができる。

なお、冷却治具を使用した場合の歪みの量は、送風冷却の場合に比べて若干高めではあるが、フェーズ2の焼戻し処理での歪み修正に影響が出るほどではなかった。冷却治具は熱処理時間の短縮において十分な効果があるので、歪みの量との兼ね合いについては熱処理全体として評価する必要がある。



(a) 真空熱処理 2号炉  
ULVAC(株)  
FHV - 606H  
MF89 - 0163



(b) 熱交換型高機能温調機  
SMC  
サーモ チャー



(c) 精密中温加熱装置  
株サーマル  
RBH80/A

図2.6 実験装置

### 2 - 1 - 4 加圧機器用治具及びプレス治具加熱器の開発

(実施計画番号 - 4)

金型の熱処理においては、焼入れ処理(フェーズ1)の後に、焼戻し処理(フェーズ2)を行う。この焼戻し処理の際に歪みの修正を行う。ここでは、2種類の歪み修正治具について比較を行った。



(a) 真空熱処理炉  
(株) IHI  
工番 V568100  
型式 VGB-242436



(b) 真空熱処理炉  
(株) ULVAC  
FIC-60GHL  
MF57-0045



(c) 精密中温加熱装置  
(株) サーマル  
RBH80/A

図2.7 実験装置

### (1) 実験方法

焼入れ処理については、図 2.7 の (a) もしくは (b) の真空熱処理炉を使用する。また、焼戻し処理については、図 2.7 (c) の精密中温熱処理装置を使用する。歪み修正に使用する治具としては、修正治具Aと修正治具Bの2種類について、実験を行う。

### (2) 実験結果と考察

実験の結果を、以下にまとめる。

修正治具Aを使った歪み修正について、以下のことが判明した。

- ・SKD11鋼の場合、フェーズ1の焼入れ処理の後に、通常の歪み修正なしで焼戻し処理を行うと、0.1mm以上の歪みが発生していた。修正治具Aを用いて焼戻し処理において歪み修正を行うと、小型の金型では歪みは0.010~0.095mmの間に収まる。中型・大型のサイズの場合でも、歪みは安定的して0.1mm未満となる。歪みの目標値0.01mmに至ることはできたが、安定的に極小化することはできなかった。
- ・金型の長辺方向が長くなると、歪みは増加する。長辺の長い金型において、歪みを目標値0.01mmにするためには、更に複数回の焼戻し処理を行うことが必要であろう。

修正治具Bを使った歪み修正について、以下のことが判明した。

- ・歪み修正を行わないSKS鋼の金型は歪みが大きく、中には1mm近く歪む場合もある。歪み修正を行うことで、ほとんどの場合、歪み0.1mm以下と安定して良好な歪み修正ができたが、目標値0.01mmには、到達できなかった。

## 2-1-5 金型の経年変化の挙動把握と安定化の検証

(実施計画番号 - 5)

残留オーステナイト影響、残留応力影響および研磨仕上げ量影響による経年変化の相関関係を調査する。

### (1) 残留応力および残留オーステナイト量の測定方法と測定結果

サブゼロ処理を含む熱処理、歪み修正処理及び研磨仕上げ処理を行った金型(実験用プレート)について、それぞれ残留応力および残留オーステナイト量の違いを調べた。測定は、前の2-1-2節の実験で用いたX線応力測定装置 iXRD を応力測定用とオーステナイト測定用のアタッチメントを付け替えることにより行った。

応力値の変化は平均値で見ると、歪み修正のどの条件においても応力の変化量は安定していた。またオーステナイト量については、平均値で見ると変化量は小さいが、概ね時間経過とともに減少する傾向が



見られた。

### (2) 平面度、穴間ピッチ測定方法と測定結果

前項の測定にも用いた実験用プレートについて、それぞれ平面度と面上の5つの穴の穴間ピッチを測定した。測定は高精度三次元測定機により行った。

穴間ピッチについては、各穴の真円度がよくないこと(ワイヤカットによる段差を避けた8点で最大22μm程度)によると思われるばらつきが大きかった。平面度の変化に比して有意な変化を検出できる結果が得られなかった。

### (3) 考察

残留応力については、歪み修正治具により歪み修正したものは、研磨量が多い方で残留応力値が大きい傾向が見られる。これは研磨量に比例して加工応力が残存するためと考えられる。真空加圧焼戻し炉(歪み修正炉)により歪み修正したものは、歪み修正治具により歪み修正したものに比べ、研磨量による残留応力の差が小さくなる傾向が見られた。このことから、歪み修正炉による歪み修正の有効性が確認できる。サブゼロ処理無しのものに比べて、サブゼロ処理有りのものでは、残留オーステナイト量が低減されていた。更に長い期間残留オーステナイトの変化量を調査する必要があるが、3ヶ月まででは大きな残留オーステナイト量の変化が無いため、経年変化は少ないと予想される。

平面度については、実験用プレートごとに差はあるものの、すべての実験用プレートにおいて3ヶ月後にも変化量のごくわずかで、良好な結果となっている。平面度の変化は、実験用プレートの面積の広さと変化量の値を考えると、測定のばらつきによるものとも考えられ、更に長い期間平面度の変化を調査する必要がある。しかし、使用した測定機が世界最高クラスのものであり、測定条件の統一を最大限考慮した測定結果であることを考えると、平面度の経年変化が測定のばらつきの範囲内程度であることは、平面度の変化としては非常に優秀な結果であると考えられる。

## 2-2 炉内温度制御のための温度計測技術の開発と制御シミュレーションの検証

(実施計画番号 )

熱処理において、対象となる金型の温度を正確に制御することは、最も基本的な事項である。金型の温度を制御するためには、熱処理炉内の温度を正確に制御する必要がある。ここでは、熱処理炉内の温度測定を行い、測定技術の確認と、炉内の温度状態を把握する。さらには、炉内の状態をコンピュータシミュレーションにより予測し、熱処理における歪みの極小化につなげる。

### 2-2-1 炉内温度の計測技術開発

(実施計画番号 - 1)

真空熱処理炉において、焼入れを行う場合、その温度管理は非常に重要である。当然のことながら、金型を均一に加熱することが望ましい。そこで、真空熱処理炉内の温度を測定し、温度差がどの程度発生しているかを明らかにする。

#### (1) 実験方法

岡谷熱処理工業(株)所有の真空熱処理炉の温度分布を測定する。測定対象及び測定装置を、図2.8お

よび表 2.3 に示す。真空熱処理炉は(株)IHI社製のものである。炉内に熱電対を設置し、それにより炉内の温度を測定する。

熱電対の設置では、炉内に金型をイメージしたワーク(金属塊)を4個配置する。ワークはS50C鋼で、サイズは100mm×100mm×100mmである。熱電対の一部は、このワークの中心に設置する。また、一部の熱電対は炉内の隅の部分及び炉内中央の位置に設置する。

加熱は、図 2.9 の温度プロファイルで行う。この温度変化は、焼入れ処理の際の温度変化をイメージしたものである。常温より加熱し、850 で、60分間温度を保ち、その後1030 まで加熱し、120分間温度を維持している。

## (2) 実験結果及び考察

測定結果のグラフを、図2.10 に示す。まず850 の目標温度へ上昇させているが、ワークの温度が850 に至る前に、1030 へ目標温度を高くしている。この850 の部分は、熱処理における温度上昇を緩やかにするためのものであり、ワークが850 で一定にならなくても問題は無い。なお、850 を60分保持した後の炉内の温度は、約5 の範囲に入っている。

次に、1030 の目標温度への上昇であるが、ワークの温度が1030 に到達するのは、炉内温度を1030 に保持して36分後であった。炉内温度とワークの温度には、当然ながら遅延が発生しており、熱処理の際にはこの遅延を、考慮する必要がある。

また、1030 の120分経過時点では、ワークの温度は3 の範囲に入っている。非常に良い精度で制御されている。一方、炉内の温度は、5 の範囲に入っている。つまり、ワークが置かれる炉の中心部の温度は、ほとんど偏りが無い状況である。したがって、通常の使用範囲内にワークを置けば、ほぼ均等な加熱が可能である。

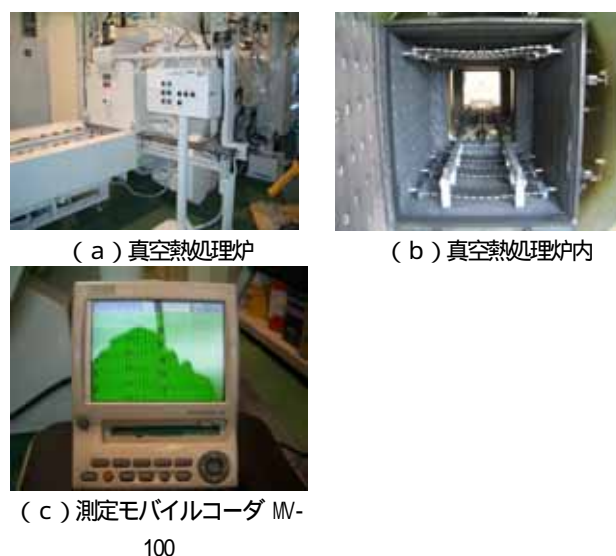


図2.8 炉内温度測定のための機材

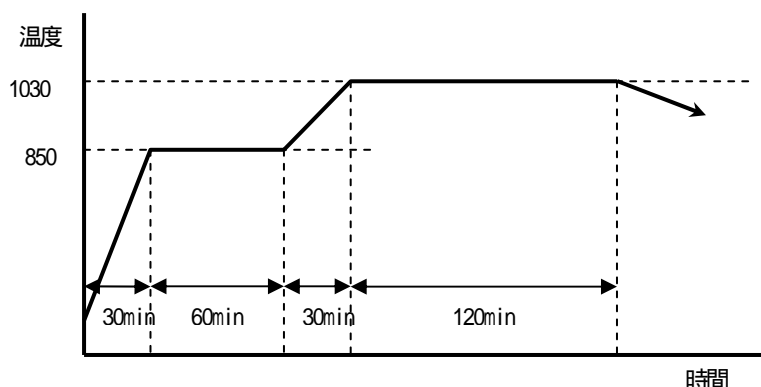
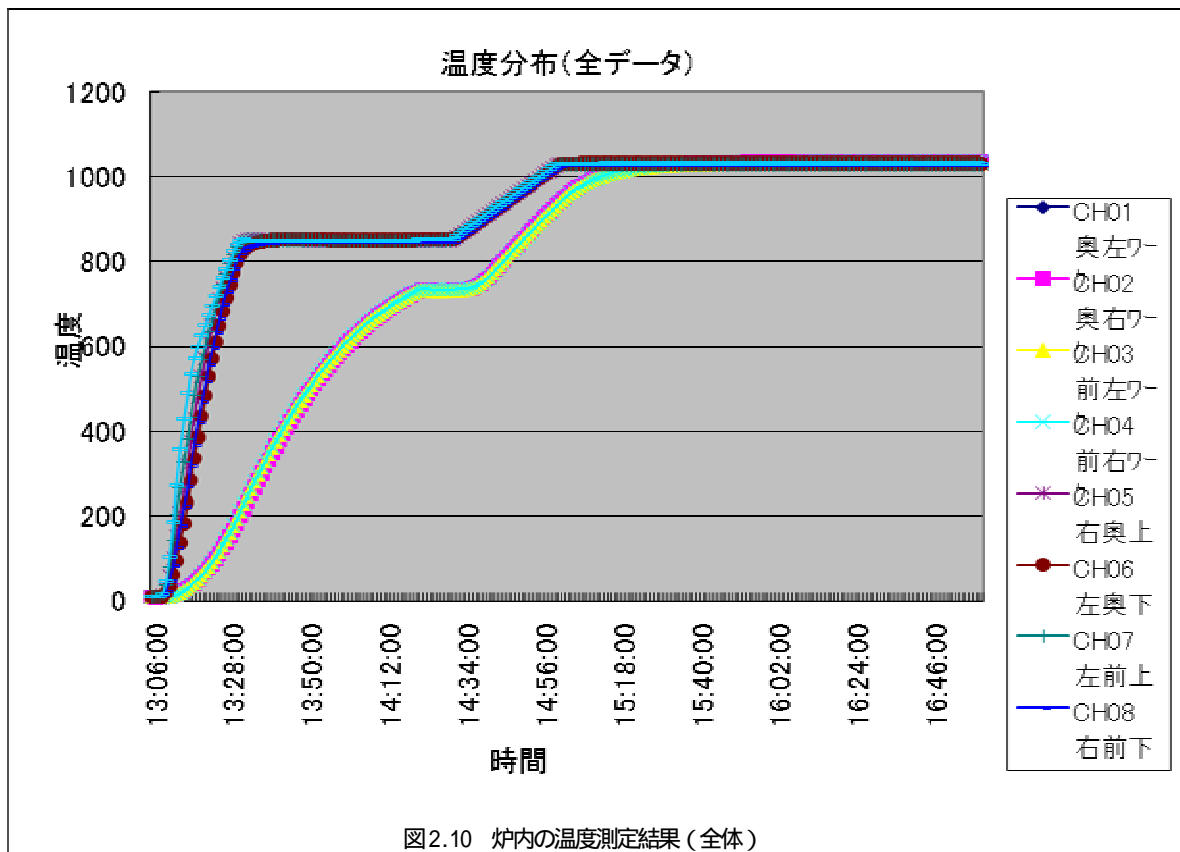


図2.9 加熱温度プロファイル

表2.3 炉内温度測定のための機材および条件

真空熱処理炉	(株)IHI 工番 V568100 型式 VGB-242436
炉内有効寸法	H600×W600×L920 (mm)
測定計器	測定モバイルコーダ MV-100
温度調節計	DP-1130
温度測定用熱電対	Kタイプ 外径3.2mm 数量9



## 2-2-2 炉内温度制御のシミュレーション検証

(実施計画番号 - 2)

ガス冷却においては、冷却ガスを炉内に放射する際の温度降下制御も重要である。ガスの炉内の流速や温度分布、冷却性、炉内ワークのセッティングなどの影響をコンピュータシミュレーションにより解析し、より均一に冷却温度を制御できるようにすることを目指す。

### (1) シミュレーション条件

現在、焼入れに用いている真空熱処理炉は図 2.11 の (a) に示すものである。2室タイプであり、加熱を行う空間：加熱室と、冷却を行う空間：冷却室とに区別けされている。加熱室については、熱電対による温度測定が可能であり、前の 2-2-1 節において、その状況が把握できている。

一方、冷却室においては、熱処理の対象となる金型が移動するため、熱電対による温度測定は困難である。そこで、ここでは冷却室の冷却ガスの流れをシミュレーションし、冷却の様子を推定する。

### (2) 考察

シミュレーション結果と、実際の焼入れ時の歪み発生状況とを比較してみる。前の 2-1-1 節での実験結果と比較を



(a) 真空熱処理炉

(株)IHI  
型式 VGB-242436

(b) 2室タイプ

手前：冷却室  
奥：加熱室

図2.11 シミュレーション対象の熱処理炉

行くと、その歪みの発生状況と冷却ガスの速度の分布とが関連があることがわかった。

真空熱処理炉での歪みの発生の状況を、冷却ガスの流量のシミュレーションにより、確認できる。今後、複雑な金型形状の場合や、炉内に多数の金型を入れた場合でも、その冷却の状況はシミュレーションでき、歪み発生の予測が可能と思われる。

## 2 - 3 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉(歪み修正炉)の開発 (実施計画番号 )

歪み修正治具を使用した加圧による歪み修正では、手作業の部分がが多く再現性に問題があった。また、加圧機能だけでなく、精密な加熱機能および冷却機能、さらには真空雰囲気での歪み修正が行える熱処理装置として、加圧真空焼戻し炉を開発する。この炉は過去にない独自のものである。

### 2 - 3 - 1 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉の設計 (実施計画番号 - 1)

前述した2 - 1節および2 - 2節の実験で得られた結果に基づき、最適な歪み修正炉を開発する。具体的には、冷却温度領域において、プレス加圧機構を備えた歪み修正炉を開発する。マルクエンチ温度領域に近い温度領域では熱歪み及び変態歪みが少ないので、硬く、割れず、曲がりの少ない熱処理ができる。

加圧機構部品で直接金型材と接触する部材は予熱機能を備える。また、この部分の治具は耐熱鋼材、グラファイト、セラミックス等に交換できる構造にする。



(a) 歪み修正炉の全景



(b) 歪み修正炉の前景

### 2 - 3 - 2 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉の製作

(実施計画番号 - 2)

歪み修正用加圧真空焼戻し炉(歪み修正炉)の本体部分は機器製造メーカーにて製作した。製作された歪み修正炉は岡谷熱処理工業株式会社に設置し、動作の確認及び微調整を行った。その後、岡谷熱処理工業にて



(c) 制御コントローラ部



(d) 真空容器

図2.12 歪み修正炉

表2.4 歪み修正炉の概要

装置概寸	幅1800mm 奥行 1800mm 高さ 2700mm
重量	4.5 ton
電源	三相交流 200V 125A

準備した治具をセットし、動作確認を行い、歪み修正の動作が可能であることを確認した。  
歪み修正炉の写真を図2.12に示す。また、概要を表2.4に示す。

## 2 - 4 歪み修正用の加圧真空焼戻し炉による量産条件の検証 (実施計画番号 )

前の2 - 3節で開発した歪み修正用加圧真空焼戻し炉を用いて、歪み修正を行う。歪み修正の際の最適な条件を見つけることを目標とする。また、この歪み修正用加圧真空炉を用いることで、熱処理時間の短縮も図る。

### 2 - 4 - 1 実証試験のデータ収集 (実施計画番号 - 1)

歪み修正用加圧真空焼戻し炉(歪み修正炉)を用いての歪み修正作業について、その最適な条件を明らかにする。実験に使う金型(実験用プレート)の材質としてはSKD11鋼およびSKS3鋼の2種類について検討する。また、金型のサイズについては6種類、加圧圧力については3種類を調べる。

歪み修正処理は、焼入れ処理の際の冷却処理(フェーズ1)と焼戻し処理の際(フェーズ2)において、歪み修正炉を用いて行う。

#### (1) 実験方法

SKD11鋼およびSKS3鋼について、焼入れ処理および焼戻し処理を行う。フェーズ1およびフェーズ2の歪み修正に、歪み修正炉を使用する。金型の大きさは、300mm×200mm、400mm×200mmおよび400mm×400mmまで、厚さは15mmおよび25mmで、計6種類である。

焼入れ処理は、通常の1030℃まで加熱した後、歪み修正炉にて加圧冷却する。その後、歪み修正炉にて焼戻し処理を行う。

#### (2) 実験結果と考察

まず、焼入れ時(フェーズ1)の歪み修正についてみる。前の2 - 1節においては、フェーズ1の歪み修正に治具を用いていた。ここでは歪み修正炉を用いてフェーズ1における歪み修正が可能であることを確認した。

治具による手作業の歪み修正作業と比較して、処理時間のスピードアップと安定した歪み品質が得られた。治具の場合を用いた送風冷却では、SKD11鋼の場合120～150分かかる。歪み修正炉を用いた場合では、50～60分の冷却ですみ、時間は半分以下である。

また、歪みも、SKD11鋼では0.1mm以下であり、歪みの発生状況も、治具を使った場合に比べて安定している。SKS3鋼では、歪みは0.3mm以下である。歪みの発生状況も、比較的安定しており、歪み修正炉での歪み修正が可能であることを確認した。

次にフェーズ2における歪み修正についてみる。SKD11鋼の歪みは、サイズが小型であれば、安定して0.02～0.03mmに修正することができる。中型・大型であっても、0.04mmのレベルである。目標値である歪み0.01mmには至っていないが、かなり近い値であり、後工程での金型の修正はごく軽微なもので十分である。SKS3鋼においても、0.

0.7 mm以下に修正することが可能であり、やはり後工程での金型の修正作業を少なくすることができる。更に歪み修正処理の際の条件を工夫することにより、より安定した極小歪み処理を開発したい。

熱処理を行った後の、板厚寸法の変化も測定した。SKD11鋼では、熱処理後に板厚寸法の収縮値が大きくなる傾向がある。ただしこの範囲での値の変化であれば、問題は無い。SKS3鋼では、厚さに関係なく焼戻し処理後の板厚寸法は、わずかであるがプラスの傾向にある。

次に、熱処理時間の比較を行う。従来方法でSKD11鋼を処理する場合、480～510分の処理時間となる。一方、歪み修正炉を使用すると、冷却時間を短縮することが可能で、処理時間は350～360分となる。処理時間の短縮率は70～73%である。目標では2/3、つまり66.7%であったので、厳密には目標未達ではあるが、目標にごく近いところまで短縮できている。

## 第3章 全体総括

### 3 - 1 研究開発後の課題・事業化展開

歪みの修正では、SKD11鋼において、0.02mmレベルまで歪みを安定して極小化できた。本来の目標である0.01mmレベルには至っていないが、かなり近いところまで極小化している。歪み修正後の歪みの量は、金型の鋼材の種類と金型の大きさに依存する部分がある。SKD11鋼では歪みを十分小さくできるのに対し、SK鋼では、通常の熱処理よりも歪みを小さくすることはできるものの、その絶対値はSKD11鋼に比べると大きい。また、金型の大きさにより歪みの値も変化する。今回はさらに歪み修正用加圧真空焼戻し炉（歪み修正炉）を新たに開発し、この装置を使うことで、安定した修正結果を得ることができる。

また、熱処理に要する時間を少なくすることもできた。これは、冷却時間を短縮することできたためであり、量産性を向上させている。

本研究開発の次段階において、実現しなければならない具体的な課題としては、第一に歪みの更なる極小化を可能とする歪み修正法の改良があがる。歪みを0.01mmのレベルにまで修正でき、また金型の鋼種による差の少ない修正法を開発しなければならない。また、それにあわせて歪み修正炉の修正も必要となる。

今回の研究開発で、安定した歪み修正の技術を確立でき、岡谷熱処理工業株式会社での歪み極小化の事業化は、大きく前進した。今後、同社において、この歪み修正技術を使った新しい熱処理サービスを、金型製造業者にサンプル提供していく。そのためには、この技術を広く広報していく必要があり、長野県中小企業振興センターなどの支援のもとで、PR活動をすすめていく。また、事業化の次のステップとして、量産用の自動歪み修正炉の開発を開始していく。自動歪み修正炉が完成した暁には、この装置の普及を進めることで、国内の熱処理技術（品質）の向上に寄与できるものと思われる。

## 参考文献

- 1) (社)日本熱処理技術協会, 日本金属熱処理工業会 編:“熱処理技術入門”, (株)大河出版(2004).
- 2) (社)日本熱処理技術協会編:“入門・金属材料の組織と性質”, (株)大河出版(2004).
- 3) (社)日本熱処理技術協会編:“熱処理用語辞典”, 日刊工業新聞社(2002).
- 4) 本間昭夫:“理工系基礎 力学”, 学術図書出版社(1999).
- 5) (社)日本鉄鋼協会編:“鋼の熱処理”, 丸善株式会社(1969).