平成30年度

戦略的基盤技術高度化•連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「アセチレン添加によるガス浸炭法及び設備の開発」

研究開発成果等報告書

平成31年3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人さいたま市産業創造財団

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
- 最終章 全体総括

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

〇新技術を実現するために解決すべき研究課題

- (七) 表面処理に係る技術に関する事項
 - 1 表面処理に係る技術において達成すべき高度化目標
 - ① 川下製造業者等の共通の課題及びニーズ
 - エ. 品質安定性・安全性の向上・長寿命化
 - オ. 環境負荷の低減

【研究開発の背景】

自動車向けの歯車やシャフト、工具などの表面硬化処理として主流であるRXガス浸炭 法は、種々の問題を抱えている一方、種々の代替プロセスもガス浸炭に置き換わるものでは ない。結果として、ガス浸炭自身の高度化という大きなニーズが解決されないまま今日に至 っている。本研究開発では、浸炭ガスにC₂H₂(アセチレン)、キャリアガスにN₂(窒素)を利 用する事で、環境負荷低減と表面品質向上を同時に達成するガス浸炭手法を開発する。(㈱日 本テクノ工場内の量産向け浸炭炉を改造して研究試作を進め、次項で述べる特長を持つ「C 2H₂(アセチレン)浸炭」の実用化・事業化を行った。

【研究目的及び目標】

〇開発技術の特長



表1. 従来技術ならびに開発技術の特徴比較

- ① 浸炭ガスに反応性の優れたC₂H₂を採用する事で浸炭能力向上。
- ② キャリアガスをRXガスからN₂に切り替える事で、RXガスで発生していた酸化由来の不完全焼入れ層が大幅に低減。
- ③ 送入するガスに[O] が含まれないため、炉内からの排気ガスにCO2およびCOが一 切無し。
- ④ N₂供給は空気中からN₂を抽出する窒素発生装置を使用する事で、ガスコスト削減や設備の簡略化を実現するとともに、RXガスの変成炉から出るエネルギーロス、CO₂排出も削減。
- ⑤ H₂センサーによる雰囲気管理手法開発により、品質の安定化、ならびに浸炭ガス量の 最適化。

(a)熱処理条件設定·雰囲気管理方法確立

開発技術は従来の RX ガス手法とはプロセスが異なるため、条件設定および炉内の雰囲 気ガス管理の方法から確立する必要がある。 そこで、最適な表面硬化層を得るための条件設 定を行う処理条件式の確立、ならびに工業炉向けH₂センサーによる浸炭能力の定量化を目 指す。併せて、C₂H₂浸炭後の表面状態解析などから、その浸炭プロセスを検討し、処理条 件式へのフィードバックを行った。

(b)開発技術品における機械的特性の課題への対応

開発技術は従来の RX ガス手法と比較して、特に「表面酸化由来による不完全焼入れ層の低減」、ならびに「浸炭能力の向上」が期待できる。そこで、開発技術品と従来技術品の差異を金属組織学的観点より解析するとともに、耐疲労性、摩擦・摩耗特性、ならびに実製品での耐久能力を検討した。

(c)量産性・品質安定性低下における課題への対応

自動車向け部品などで、月間 100 チャージ/台近くの生産能力が求められるのがガス浸 炭炉であるため、コスト削減ならびに量産性が求められる。そこで、多量に使うキャリアガ スとなる N₂を空気中より抽出する窒素発生装置を採用したいが、そのためにガスコストと トレードオフとなる窒素の適切な純度を最適化する。さらに、その状態で量産を想定した実 際の浸炭炉による熱処理のバラつき低減をし、工程能力 Cpk≧1.33 を目指した。

1-2 研究体制

1-2-1 実施体制



1-2-2 研究者等氏名

① 株式会社日本テクノ(法認定機関)

氏名	所属・役職	備考
佐藤豊志	常務取締役	管理員
山田 直矢	熱処理加工事業部(リーダー)	PL

② 国立大学法人九州大学

氏名		所属・役職	備考	
古君	修	材料工学部門・教授	SL (2016)	
尾﨑	由紀子	材料工学部門・教授	SL (2017-2018)	

③ 公益財団法人さいたま市産業創造財団(事業管理機関)

氏名 所属・役職		備考	
佐々木 哲也	支援・金融課 課長	管理員	
寺村 泰昭	総務課 課長	管理員	
坪井 俊洋	コーディネータ	管理員	
平松 寿典	支援・金融課 主査	管理員	
伊藤隆司	支援•金融課	管理員	

1-3 成果概要

①-1 熱処理条件の最適化および条件計算式確立

実際の量産型浸炭炉を導入し、開発技術の有効性を確認するとともに、その場合の最適なアセチ レン添加量を検討した。熱処理条件設定の Excel シートで簡便に計算できるようにするとともに、 実操業でリードタイム15%以上の削減を確認した。

①-2 H₂センサーによる雰囲気管理手法の開発

開発技術を処理した際に、H2センサーによる炉内雰囲気の計測を実施した結果、アセチレン添加 によりH2センサーの炉気変化が計測された。その条件を①-1 に反映した結果、C2H2ガスの総量と しては 60%となった。

①-3 C₂H₂ 浸炭プロセスの解明

従来の RX ガス浸炭品と開発技術であるアセチレン浸炭品を比較した際、表面状態の SEM 観察および X 線分析を行い、処理前後の表面状態の違いや、ススの堆積などを実際に直接観察した。その結果、RX ガス浸炭品ではススの堆積と浸炭時の表面酸化による影響が示唆された。C₂H₂ 浸炭ではそのような悪影響が認められない一方、旧 γ 粒界の盛り上がりが確認された。C₂H₂ 浸炭の浸炭メカニズムは[C] 拡散よりも酸化物影響の軽減の寄与が大きく、表面積と表面状態により整理し、①-1を表面積ベースの式とした。

②-1 開発技術品の金属組織解析

表面酸化による不完全焼入れ層は確認されず、不完全焼入れ層 3µm 以下という目標は完全に達成 した。不完全焼入れ層由来の表面軟化も発生せず、サブゼロ処理後の理想的なマルテンサイト組織 間で+65HV の向上が認められた。 得られた金属組織も良好な浸炭組織を呈しており、従来技術品 と比較して高品質である事を確認した。

②-2 耐疲労性ならびに摩擦・摩耗特性の向上

従来の RX ガス浸炭品と開発技術である C₂H₂ 浸炭品をともにリングオンプレート試験、ならび に回転曲げ疲労試験に供した。リングオンプレート試験では摩耗特性に富む浸窒焼入れ品並の耐摩 耗性が確認され、凝着摩耗抑制に効果が認められた。回転曲げ疲労試験では、10の7乗サイクル で真空浸炭と同等の 800MPa まで上昇した。疲労試験後の破断面観察を行ったところ、表面から の破壊ではなく、内部の介在物起点の破壊になっており、表面酸化等の影響は認められなかった。 ②-3 実製品での耐久性向上

開発技術品の実製品としての耐久試験を行った。 現行の RX ガス浸炭品における既定の耐久評価 基準を完全にクリアしていた。試験後に歯車側のチッピング(欠け)、ならびに疲労破壊の起点となる ストライエーション等も確認されなかった。

③-1 窒素発生装置の条件最適化

窒素と大気を任意の比率で混入し、定量的に窒素ガス濃度を変化させる事で、ススが発生しない 境界の窒素ガス濃度を検討した。同時に、③-2でガス送入法の改善と撹拌速度調整によるスス発生 抑制も実施した結果、想定以上に純度を下げられ、12.0円/m³(50%以上減)まで窒素ガスコストを 低減できた。

③-2 熱処理バラつきへの対応

量産想定によるC₂H₂浸炭テストを実施し、その過程においての種々の設備的改良・調整を加え る事で、局所的なススの発生も低減させた。結果として、実際の量産向け炉のフル積載の最適条件 において、炉内の硬さバラつきが一般に量産性を示す指数"工程能力"の Cpk≧1.33 を完全にク リアするとともに、ススの発生も抑制された。十分に量産に適する熱処理である事を確認した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社日本テクノ 役職 技術室リーダー 山田 直矢 〒349-0133 埼玉県蓮田市大字閏戸3968 TEL:048-767-1113 (090-6527-4842) FAX:048-766-4567 E-mail:yamada@nihon-techno.co.jp 第2章 本論

【1】処理条件設定·雰囲気管理方法確立

【1-1】熱処理条件の最適化および条件計算式確立

量産型浸炭炉において、熱処理条件の決定が最初の課題となる。そこで、熱処理としての開発技 術の有効性を確認した。その過程において、まずは熱処理条件の決定――特に炉内挿入する C₂H₂ 量の設定が課題となった。そこで、C₂H₂ は化学吸着しながら浸炭反応が進むため、熱処理品全体の 総表面積に対してその総量が比例するという(株)日本テクノの真空浸炭における知見をベースに、表 面濃度と硬化層深さから何 mol が反応し、C₂H₂ 総量が何 L になるかを定式化し、Excel の計算シ ートに落とし込んでいった。併せて、GD-OES[※]による実際の表面[C]濃度、及び合金元素の分布が 測定できるため、条件変動により浸炭量 ≒ [C]分布がどう変化するかを測定し、条件式へとフィッテ ィングした。これにより、実操業上においても熟練を要さずに熱処理条件を設定できるようになっ た。その計算結果を量産型浸炭炉で実際に C₂H₂ 浸炭を実施した結果、リードタイム16.2%の削減 を確認した。特に C₂H₂ の反応性の良さに起因する浸炭性ガスを流している時間の顕著な短縮が確 認された。さらに、RX ガスのような炉内ガスの安定を待つ必要もないため、断続操業からの回復な ど、実際の操業においては更なる高効率化が期待できる結果となった。

※ 平成 28 年度㈱日本テクノ導入 マーカス式高周波グロー放電発光表面分析装置(GD-OES) (株)堀場製作所 『GD-Profiler2』

GD-OES は任意の複数成分に対し(納入前に選択してカスタマイズ)、表面から深さ方向の成分分 布を迅速に測定可能な装置である。実際の浸炭処理品に対し[C]量の成分分布を測定できるとともに、 表面酸化の有無、あるいは鋼内部に含まれる合金元素の分布変化なども測定できる。



図 1. 熱処理条件計算シート



開発技術品の表面成分分布測定結果

【1-2】H₂センサーによる雰囲気管理手法の開発

従来の RX ガス浸炭炉では、炉内の O₂ による炉内雰囲気制御が一般的であるが、開発技術では 送入ガスに[O]が含まれないコンセプトであるため、新しい炉内雰囲気の管理手法を確立する必要が あった。そこで近年、窒化処理における炉内雰囲気管理への適用が進んでいる工業炉用 H₂ センサー に着目した。C₂H₂の分解において H₂ が炉内に放出されるため、H₂ センサーによってその分解挙動 を間接的に測定できる事になる。その結果、ススが発生する場合としない場合において H₂ ガス濃度 に 3%程度の増減が認められた。反応性に富む C₂H₂ ではガスの使用総量が少ないため、H₂ ガス濃 度値としては顕著な差が発生しづらかったが、C₂H₂ ブスの総量としては 60%となる流量で済む計 算となる上、長期的な量産管理において炉内状況や処理品の表面状態の影響により C₂H₂の分解挙 動変化を捉える管理指標として十分に機能する事が示唆された。



図3.条件の違いによるススの付着状況比較

<u>【1-3】C₂H₂浸炭プロセスの解明</u>

開発された C₂H₂ ガス浸炭法、および従来の RX ガス浸炭法の浸炭条件を図4および5に示す。 本ヒートパタンは、事前の予備実験により有効浸炭深さ約 500µm となるように調整されたもので ある。図4および5の比較により、C₂H₂ ガス浸炭法では RX ガス浸炭法に比較して、浸炭過程に要 する時間を半減することが可能であり、浸炭効率が高い技術であることが判明した。



図 5 RX ガス浸炭法のヒートパタン



SCM415 材における浸炭部表面の硬さは、RX ガス浸炭材よりも C₂H₂ ガス浸炭材の方が短時間 にも関わらず硬化層深さが深く、C₂H₂ ガスによる浸炭が速いことが示唆された。

《拡散方程式にもとづく浸炭深さの検討》

図4および5に示した浸炭条件を、Cの拡散をFickの第二法則に代入することによって検討した。 その結果を図7に示す。計算に必要な拡散定数Dはγ-Fe中のCの拡散定数を用いた。図7におい て、C2H2浸炭材でのC濃度は、RX浸炭材よりも低いという本計算結果は実験事実に矛盾し、C2 H2浸炭材およびRX浸炭材の浸炭反応の律速仮定は、Cの拡散ではないことが示唆された。

《XRD による最表面相の同定》





両材料に共通して酸化相へマタイト Fe₂O₃ が確認されるとともに、RX 浸炭材表面の酸化物量が 多いことが示唆された。また、いずれの表面でも炭化物とともに、積層黒鉛1)もしくは、ε' -Fe2C2)形成の可能性が示唆される。 《AES による浸炭材最表面での C、O 分布測定》

市販の工業用純鉄熱延材(SS400)の図4および5の熱処理に供し、表面のX回折(XRD)、表面 状態をオージェ電子分光(AES)による表面付近での元素分布、さらに透過電子顕微鏡(TEM)を用い て、表面層のナノレベルでの解析を行った。

図9の SEM 像では、未浸炭材表面には研磨後が確認されるが(図 9a)、両浸炭材では浸炭および熱処理後の冷却過程におこるマルテンサイト変態による膨張によって摩耗痕は焼尽した(図 9b および c)。さらに、C₂H₂ガス浸炭材の表面では旧オーステナイト粒界内部での結晶粒の隆起が顕 著であり、マルテンサイト変態に伴って形成される双晶が確認され(図 9b)、RX ガス浸炭材よりも 浸炭量が多いことが推察された。



図 10 両浸炭材表面の AES 測定箇所および AES 測定によって求めた C および O の深さ方向の濃 度分布: (a) C₂H₂ ガス浸炭材、(b) RX ガス浸炭材、(d) C 濃度分布、(d) O 濃度分布

いずれも極表面に C および O の濃化が見られた。RX ガス浸炭材の酸化物は結晶粒界に形成されたものと考えられる。一方、C は、RX ガス浸炭材の極表面 10nm の層で高濃度となっており、浸炭に関わる C 化合物相の形態の違いが示唆された。

《TEM による RX 浸炭材最表面での炭化物の形態】

加速電圧 200kV による TEM 観察を実施した。 図 11 に試料表面の TEM 像、図 11 中の 3 箇所(オスミウム被覆層 1-1 を除く 1-2、1-3、および 1-4)についての電子回折像を図 12 に、同じ箇所での EDX スペクトル(元素分析)をおよび図 13 に示す。

TEM 像からは、何らかの積層構造は確認されなかった。最表層(1-2)においては C が多く、その内部(1-3)では O 濃度が増大し、さらに内部(1-4)では地鉄中の Fe が増大した。C および O は RX ガス中の CO が鋼材表面で分解することによって形成されたものと考えられる。

一方、電子回折像(図12)からは、明瞭な結晶性のスポットが確認されなかった。これらのことより、したがって、最表層(1-2)のC濃化層においては、積層黒鉛は存在せず、非晶質もしくは結晶性が低いC化合物中に酸化鉄が混在、その内部(1-3)には、同じく結晶性の低い酸化鉄層しているものと推測された。



装置倍率:×70,000

装置倍率:×150,000

図11 RX浸炭材表面のTEM像





【2】 開発技術品における機械的特性評価の課題への対応

【2-1】 開発技術品の金属組織解析

従来の RX ガス浸炭では、炉内に酸素・水分が存在し、表面酸化と同時に、還元性の RX ガスで 還元するという平衡反応であるため、酸化由来の不完全焼入れ層発生を抑えられなかった。開発技 術であるC₂H₂ 浸炭では、還元性の強いC₂H₂で炉内自体から酸素影響が除去されるため、不完 全焼入れ層 3μm 以下という目標は完全に達成された。不完全焼入れ層由来の表面軟化も解消されて いたため、従来品と開発技術品ではサブゼロ処理後の表面硬さは+65HV であった。

SCM415を浸炭処理し、試料表面の浸炭層の硬さ試験、走査顕微鏡(SEM)観察、および電子後 方散乱回折(EBSD)観察によって焼入れ微細組織が表面浸炭層の硬さにおよぼす影響を解析した。 図13および14に示すSEM像では、いずれも材料内部は均一な焼戻しマルテンサイト層であったが、 RXガス浸炭材では表層に結晶粒界酸化相がヒビ割れの様に観察され、不完全焼入れ層が見られた(図 13赤枠内参照)。一方で、本技術開発材(図14)の表面には粒界酸化相は見られず、不完全焼入れ 層の消尽を確認した。



図 13 浸炭材表層部 SEM 像(RX ガス浸炭材)図 14 浸炭材表層部 SEM 像(C₂H₂ 浸炭材)

図15に、両浸炭材表面の電子線後方散乱回折(EBSD)に よる体心立方構造(bcc)Feの結晶方位(IPF)マップを示す。 いずれも細長いマルテンサイトの結晶粒が確認され、本測定 ではオーステナイト層は確認されなかった。

図6に示した通り、浸炭材表面付近での硬さ分布より、C 2H2浸炭材に比較して、RXガス浸炭材は最表面は高硬度であ り、内部ではこれが逆転した。最表面の硬化は粒界酸化によ る酸化物の存在を示唆している。本酸化物層の存在がC拡散 の阻害層として機能したため、高Cマルテンサイトが形成さ れ、内部が低硬度となったものとみなされる。



図 15 浸炭材表層部の IPF 像 (写真左:RX ガス浸炭材, 写真右:C₂H₂ 浸炭材)

【2-2】 耐疲労性ならびに摩擦・摩耗特性の向上

【耐疲労性の向上】

市販の SCM415 材に対し、機械加工ままの 材料と、本論冒頭の図4に示す条件で C₂H₂ ガ ス浸炭を施したものについて、小野式回転曲げ 試験を実施した。本実験では繰り返し数 10'回 をもって疲労限とした。

回転曲げ試験の S-N 線図において、未熱処 理材の疲労限は310MPaで文献値¹⁰⁾と同等で あった(図 16)。一方、熱処理材の疲労限は 800MPaで文献値(RX ガス浸炭材)に比べて 高い値となった。

その破断面 SEM 像より、未熱処理材は試料



S-N 線図

表面より亀裂が発生し、亀裂面の先端が移動した縞模様—ストラエイションが観測された(図17)。 一方で熱処理材は、浸炭材の疲労破面の一種として知られる"フィッシュアイ"(図19a:表面か ら900μm付近を中心とする円形の破面形態)、フィッシュアイ中心部には析出物が確認された。 析出物からはマンガン Mn および硫黄 S が検出され、硫化マンガン(MnS)と推察された。

このことより、C₂H₂ガス浸炭材においても従来法による浸炭材と同様の機構で疲労破壊が起こったことを示している。一方で、疲労限は文献値よりも高い。このことは、RX ガス浸炭材では表面酸化の影響を受けた可能性を示唆している。しかし、文献値とは試験片平行部の直径が大きくことなることから、厳密には同一サイズの試料での比較による精査が必要となる点を注記しておく。







図 17 未熱処理材の疲労破面 SEM 像

図 18 C2H2 ガス浸炭材疲労破面: (a) 疲労破面外観
 (b) フィッシュアイ内部拡大像(図 18a①)
 (c) フィッシュアイ周縁部拡大像(図 18a②)

図19に、疲労試験前の回転曲げ試験片平行部 の表面から内部に向けての硬さ分布を示す。これ によると、C₂H₂ 浸炭材は未熱処理材よりも試料 表面で硬く、表面より900µm 付近で硬さが一定 となった。この付近は、上記のフィッシュアイ中 心部に相当することから、硬さの変化点にひずみ が集中し、当該領域に存在する析出物周縁が剥離 して疲労亀裂を発生させたものと推測された。



図 1 9 疲労試験片表面から深さ方向への ビッカース硬さ分布

【摩耗・摩擦特性の向上】

上記浸炭材2種、および比較材として熱処理を施さない同組成の材料について、九州大学に て導入したピンオンディスク式磨耗測定装置によって摺動距離と摩耗量の関係を調査し、浸炭 材の摩耗・摩擦特性の向上の程度を評価した。 摺動は、荷重 40 N を加えた状態で試料を 100rpmの回転速度で回転させて 2,261m 摺動させた。摩耗量は、レーザー顕微鏡による摩 耗痕断面形状測定より体積を算出した。

2種類の浸炭材はともに未浸炭材に比較して摩耗量が70%近く減少した。また、C₂H₂ガス 浸炭材の摩耗量はRXガス浸炭材のそれよりも長距離摺動条件下で少ないことが見て取れる (図 20)。

図 21 および 22 に RX ガス浸炭および C₂H₂ ガス浸炭材の摺動試験後の摺動面の SEM 像 をそれぞれ示す。いずれの試料にも摺動によって削り取られた摩耗粉の付着が確認された。さ らに RX ガス浸炭では摺動方向に沿ってひっかき傷が確認されたのに対し、C₂H₂ ガス浸炭では これが殆ど見られず、RX ガス浸炭材よりもマイルドな摩耗形態であった。このことは C₂H₂ ガス浸炭では長距離の摺動で摩耗量が少なく、摺動表面に堆積した摩耗粉総量が少なく、摩耗 粉による引っ掻きが少なかったためと推定される。







※平成 29 年度九州大学導入 回転自動研磨機 (図 23)

金属組織観察用試験片及び耐摩耗試験片の研磨用に導入し、金属組織観察及び耐摩耗評価の迅速化に功を奏した。

※平成 30 年度九州大学導入ピンオンディスク式磨耗測定装置(図 24)

特に摩耗評価に適するリングオンディスク試験が実施でき、浸炭品に適した評価が可能となった。



図 23 回転自動研磨機



図 24 ピンオンディスク式磨耗測定装置

【2-3】実製品での耐久性向上

実際に RX ガス浸炭で課題を抱えている自動車用向 け外歯の歯車において、組み込みを模した実際の耐久試 に供した。発熱が大きく、トルク 100N・m、 回転 3000rpm、加減速3分毎条件にて、歯車回転数10 10⁷回未満で損傷していたものが、開発技術品では改 するとともに、歯車において大きな問題となる微小なピ ッチング(欠け)、および疲労破壊の起点となるストライ エーション等も確認されなかった(図25)。浸炭能 力が高く、表面酸化もない開発技術品の優位性が確 認された。



図 25. 平歯車における耐久試験結果

【3】 量産性・品質安定性低下における課題への対応

【3-1】窒素発生装置の条件最適化

最も一般的な窒素ガスの供給源はボンベ、あるいは貯蔵塔による液体窒素であるが、純度が高い 反面、コストや管理の問題が発生する。一方、空気中より窒素を抽出する窒素発生装置は、装置さ えあれば地球上のどこでも窒素の供給が可能となる。しかしながら、発生させる純度を上げれば上 げるほど発生コストが上昇する反面、純度が下がるとアセチレンがススを発生させやすくなり量産 性が低下する。窒素発生装置を使用している一般的な熱処理工場では、99.99~99.999%域で の使用が多いとされる。そこで、窒素と大気を任意の比率で混入し、定量的に窒素ガス濃度を変化 させる事で、ススが発生しない境界の窒素ガス濃度を検討した。一般的な 930℃という浸炭条件に おいて、次に述べる③-2 でガス送入法の改善と撹拌速度調整によるスス発生抑制と同時に純度変更 を実施した。その結果、想定以上に純度を下げられ、窒素純度 99.9%でのアセチレン浸炭が可能 であると確認した。これにより 12.0円/m³相当(50%以上削減)まで窒素ガスコストを低減できた。

	状態	C2H2:小 N2:99.0%	C2H2:小 N2:99.9%	C2H2:大 N2:99.0%	C2H2:大 N2:99.9%
撹拌機 中	スス発生	中量	少量	多量	中量
	硬さバラつき	中	中	/]\	中
撹拌機 大	スス発生	中量	無	中量	無
	硬さバラつき	/j\	/\	小	/jv

表 2. 量産想定荷姿における 930℃浸炭の品質傾向

【3-2】熱処理バラつきへの対応

量産想定荷姿による開発技術のテストを実施した。 *その過程において、熱処理重量を増やすために C₂H₂流量を増加させると、配管がススで詰まりやす く、スーティングしやすくなる事が判明した。加え て、通常のガス浸炭よりも浸炭性ガスの使用量が少 ないため、十分に炉内撹拌を行う必要が発生した。

そこで、C₂H₂ガスの送入を流量の大きな N₂ ガス配管と合流させると同時に、配管径も太く し、ガスの流れをスムーズにする設備改造を施 した。また、炉内撹拌機の撹拌速度を調整する 事で、局所的なススの発生や浸炭バラつきの低 減も目指した。***結果として、実際の量産向け 炉のフル積載の最適条件において、炉内の硬さ バラつきが、一般に量産性を示す指数 "工程

能力"の Cpk≧1.33 を大きく上回る 2.45 になる とともに、ススの発生も抑制され、量産に適する熱 処理である事が確認された(表 2)。本研究開発以後、実 用化を考慮すると実施したチャージ数が少ないため、50 チャージ、100 チャージと重ねた時の炉内状態の変化、 ならびに製品品質(硬さ分布、硬化層深さ)などを今後も継 続的に調べていく必要がある。

※平成 29 年度㈱日本テクノ導入

2室バッチ式アセチレン浸炭炉(NDC-400) 本社工場にアセチレン浸炭専用の実験炉を導入した。 開発プロセスは熱処理条件を誤るとススが発生しやすい などの制約があり、量産している炉での実験に制約があ ったが、専用炉の導入により解決するとともに、ガスの 送入方法などの設備改造的な工夫する余地が出来るよう になり、より高度な開発が可能となった。(図26)





図 27. 量産荷姿における炉内各点の硬さ



図 28. 自動サブゼロ装置外観

※平成 30 年度㈱日本テクノ導入 真空浸炭炉改造工事

ススの発生と量産性バラつきの低減のため、ガス配管仕様などの変更工事を実施した。C₂H₂ 浸炭特有の問題が解消され、この仕様を今後の製品設計へ反映された。

※※平成 30 年度㈱日本テクノ導入 全自動サブゼロ装置(NBS-V-400)

(株)日本テクノの本社工場に自社設計による全自動サブゼロ装置を導入した。(図28)サブゼロ 処理は、鉄鋼材料の焼入れ時の冷却を補助する工程である。これにより、油冷側の冷却能力を加味 せず、炉内雰囲気の浸炭能力を評価できるようになった。 なお、実操業でサブゼロ工程が使えない 場合もあるため、工程能力測定時のみサブゼロ処理は実施していない。

【参考文献】

- 1) H. Fujimoto: Carbon 41 (2003) 1585.
- 2) Xiao Yu Chong, Ye HuaJiang, JingFeng: J. Alloy. Compd. 745(2018)196.
- 3) 園部 勝: NACHI TECHNICAL REPORT Materials, 28 (2014) A1
- 4) 渡辺輝興 : 浸炭と浸窒の新たな概念と実際, アグネ技術センター, (2013)
- 5) 張興和, 高橋礼二郎, 秋山友宏, 八木順一郎: 鉄と鋼, 83 (1997) 299.
- 6) 牧野総一郎, 稲垣昌英, 池畑秀哲, 田中浩司, 井上弘之, 稲垣功二: 鉄と鋼, 105(2019)30.
- 7) 喜多清,清重正典,高瀬孝夫,中村康彦:鉄と鋼,59(1973)1550.
- 8) 森田敏之, 羽生田智紀 : 鉄と鋼, 92 (2006) 268.
- 9) 田中誠三, 古川徹: 材料, 2(1979)53.

10) 加賀谷忠治, 立松英大, 中部大学工学部紀要, https://www3.chubu.ac.jp/documents/ production_engineering/content/5326/5326_b01f8d99d688e35be51ea3a19a80f1c5.p df. 最終章 全体総括

1. 全体として(複数年)の研究開発成果

(1)開発技術品は、従来の RX ガス浸炭品が持つ不完全焼入れ層を抑制し、高品質な浸炭表面を得られる事がわかった。

(2) C₂H₂ 浸炭の熱処理条件式を確立する事で、実操業上の処理条件設定を簡便に出来るよう になった。

(3)量産の日常雰囲気管理指標として、H2センサーが適する事がわかった。

(4) 耐疲労性、耐摩耗性等の観点から、開発技術品は従来の同等以上の良好な機械的特性を 持ち、実製品への適用にも問題がない事がわかった。

(5)窒素発生装置を最適な条件で用いる事で、ガスコスト低減を図る事が出来た。

(6)課題であったスーティング(ススの発生)は C₂H₂量と H₂ センサー、送入方法、そして炉 内撹拌などを多角的に調整する事で低減できた。

(7)多量をまとめて熱処理する量産荷姿において十分な工程能力を示し、炉内バラつきが抑 制できる処理である事が判明した。

2. 研究開発後の課題及び事業化展開

(1) 想定している具体的な市場

既存のガス浸炭炉の国内向け出荷台数を、これまでの累積でみると約 6,000 台である。これ らの入替え需要が当面の市場規模と考えられる。しかし、実際に販売のターゲットとなるのは 当社の従来からの顧客であり、特に比重の大きな ①自動車完成車メーカー、②自動車部品メー カー、③熱処理専業メーカーの3分野への売込みを重点的に行う。

(2)研究開発後の課題

販売製品は量産向けの大型炉であるため、販売のためには開発技術の優位性を提示すると同時に、設備的な改良も進めていく必要がある。大別すると、コストや環境負荷等の計算、営業 的な権利系・広報活動、設備的な改良の3種となる。

顧客への提示資料として、設備単価の優位性、操業コストの削減量、CO2の排出量低減、な らびに操業ライン全体でのエネルギー低減量などを算出していく必要がある。 営業面としては、 権利系の整理や営業資料の拡充、そして技術的な情報発信による広報活動がベースとなる。 設 備面では、既にいくつかの課題が存在している上、実際に操業を進めると出てくるであろう改 善の余地も大きいため、逐次設計に反映させていく必要がある。

項目		概要		
数値計算	設備単価	真空浸炭炉と比較した初期の設備導入コスト		
	操業コスト	高効率熱処理によるリードタイム短縮効果		
	環境負荷	CO2排出量、ならびに操業ライン全体の エネルギー損失		
営業	権利系	特許、営業資料、商標等の拡充		
	広報	展示会、学会発表、業界誌への広告掲載		
設備	設計	既存のRXガス浸炭炉+αの付帯設備による 高品質浸炭の実現		
	改良	エンドユーザー様の声を踏まえた設備改良		

表 3. 事業展開に向けた今後の課題

これらを逐次実現し、RXガス浸炭炉からの積極的な置換え需要を確保

(3)事業展開

大きく分けて三段階に分けて実施する。H3O年3月時点で、設備の概仕様と設計は完了して おり、納入先選定と、設備的な改良を進めている(表4)。

〇第一段階:製品改良

試作品を顧客に提供し、設備性能の評価結果を得る。まず、最初に既設である(株)日本テ クノのガス浸炭炉による試作を進めていき、自動車部品の試作品分析を依頼し、その結果に 基づいて、必要な改良を加えた試作品の試験炉を、表面処理国内最大手である日本パーカラ イジング(株)への提供をする事が決定している。併せて、トヨタ自動車殿の関連企業での評 価をフィードバックしていただき、もし改良点があれば追加研究の中で改良を施し、市販製 品として完成させる計画である。

それと同時に、製品となる浸炭炉の製作能力を向上させるため、(株)日本テクノで平成3 0年夏に新潟県新発田市へ新設の築炉工場を作成し、設備人員を2名増員。さらに1名を近 日中に採用の予定である。

〇第二段階:国内販売ルートの確立

自動車メーカー、自動車部品メーカー、熱処理専業メーカー等に出荷・販売。当初はト ヨタ自動車の部品メーカーを中心に販売を図るが、その一方ではこれまで取引が継続してい るマツダ工業(株)とその系列の下請け企業や外注企業に対しても販売を促進する。これらに より、平成34年度、平成35年度の出荷・販売台数はそれぞれ3台、5台と計画する。(こ れまでの実績を勘案すると、実際にはこの2倍程度の受注が見込まれる。) 〇第三段階:海外販売ルートの確立

国内で評価を得ることが出来た完成車メーカー、部品メーカー、熱処理メーカーの海外 工場へ販売を行う。また、従来からの長期取引先である鑫光熱処理工業(台湾)への販売を 足がかりにタイ、インドへの販路を拡大する。 開発技術は海外調達も容易であり、設備構 造も従来のガス浸炭炉の延長であるため、特にインフラが十分でない地域でもスムーズな切 り替え可能な面が期待できる。

〇派生ビジネス

C₂H₂ガスの供給メーカー大手 高圧ガス工業(株)より、顧客紹介の対価として、供給するC₂H₂ガス料金の10%を(株)日本テクノ側が得られる契約を進めている。これにより、継続的なライセンスビジネスが成立する。

事業年度	平成31年度	平成32年度	平成33年度	平成34年度	平成35年度
サンブルの出荷					
追加研究					
設備投資					
製品等の生産					
製品等の販売					
特許出願					
売上高(千円)	10.000	50.000	50.000	150.000	250.000
販売数量	1	1	1	3	5

表 4. 事業展開スケジュール