



トラック車軸部品  
処理でサイクル  
時間を短縮  
内側ページ

段階ガス冷：  
ひずみの抑制  
最終ページ

わが社のお客様の多くは、従来浸炭法から低圧浸炭法への切替によるコスト低減額を秘密にしています。しかし、本紙でも一部ご紹介している通り、この切替による差益が相当な額に達することはすべてのお客様の認めるところです。

現在、わが社ではプロセスコストのモデル化を進めています。ここでは熱処理の前段と後段において決定的な重要性をもつ変数が考慮に入れられています。

前段では、処理性能によって材料面での節約が可能になります。割安なスチールを使用しながらより優れた機械特性を得ることができるからです。

後段では、処理されたパーツの表面性状、プロセスの柔軟性、ガス冷採用によるひずみの完全制御により不良品修正コストが低減します。

深い浸炭を実施する部品の場合、熱処理だけをとっても差益は10%を超えます。プロセス全体では、それ以上のコスト低減が可能です。時として熱処理のものよりも高コストとなる前段作業を最小限に切りつめたり、更には削除することができるからです。

貴社のプロセスをその全体において改善させること、それがわが社の仕事です。これはICBP装置を売ることに増して情熱を打ち込める仕事です。

ロラン・コンバース  
ECM、取締役社長

針数の増大に伴う  
5 単位はミリメートル。ICBPによる大量処理で実現された最大浸炭深さです。ECMの設備により工業用機で得られる浸炭深さはバルブの場合の0.25mmからカム軸の場合の5mmまでと広範囲にわたります。

## サンハイドロリックス社： 低圧浸炭窒化を工業規模で使用



生産性の向上により、処理能力が拡大

低圧テクノロジーを選択することにより、サンハイドロリックス (Sun Hydraulics) 社は浸炭窒化プロセスを自由に使いこなせるようになりました。4年前からこの方法で部品を大量に処理しているこの油圧弁メーカーでは、このプロセスが事業拡大の一端を担っています。

年間1,000万個以上の部品を低圧浸炭窒化処理しているサンハイドロリックス社において、このプロセスの有効性が工業規模で立証されました。この油圧カートリッジ弁メーカーは、2002年に低圧浸炭窒化プロセスでの操業を開始し、以来、生産性と信頼性の面で大きな前進を果たしました。こうして、この3年間、熱処理を外注することなく、年率25%という事業拡大を持続してきました。

### 複雑形状部品

2000年初め、サンハイドロリックス社は新しい部品処理法を模索していました。プラズマによる真空浸炭窒化のテクノロジーを使用していましたが、思わしい結果が得られていませんでした。サンハイドロリックス社で熱処理を担当している金属学エンジニア、サリー・マックフォールさんは、「均質性に欠けるため、チャージの一部を頻りに処理し直さなければなりません。別のソリューションを探していました」と語っています。この頃、この会社はECMで最初の低圧処理テストを行

いました。その結果、均一性の明らかな改善が確認されました。

しかしながら、多くの問題が横たわっていました。サンハイドロリックス社が処理している部品は、理論的には浸炭窒化に適した理想的な特性をもっています。耐疲労性軟鋼でできた複雑で細長い形状の部品です。但し、

### 均一性の明らかな改善

サイズが小さいため、0.25mm (1000分の10インチ) という非常に浅い浸炭層にする必要があります。一般的な浸炭層の3分の1の深さです。これは、低圧テクノロジーの精度をもってすれば充分にコントロールできるパラメーターです。サリー・マックフォールさんは次のように説明しています。「これほど薄い浸炭層を均質に形成するのは困難です。長くて深い穴がいくつも開いているのですから尚更です。

### 2005年に特許を取得したプロセス

ECMでは低圧浸炭窒化プロセスの改善を継続しており、2005年に特許を取得しました。主な改良点は、プロセス速度の向上と空室拡散層(表面と深さ)の調整に関する技術です。この専有によって機械特性(衝撃強さと曲げ疲労強度)の改善が可能になりました。



0.25mm という  
非常に薄い浸炭層を  
可能にする高精度プロセス



サンハイドロリックス社で熱処理を担当するエンジニア、サリー・マックフォールさん：「装置の故障率が90%低下しました」

ECMの低圧浸炭酸化プロセスなら、この問題を首尾よく解決することができます。」

#### シングルからダブルへ

2002年、サンハイドロリックス社では既存の浸炭酸化設備2台のうち1台を取り替えることにしました。2台目は2003年に交換されました。以後、プロセスは低圧で実施されています。

#### 目標は 5000 psi / 345バール

サラック（アメリカ合衆国、フロリダ州）にある2つの工場において、サンハイドロリックス社はカートリッジ弁と油圧ブロックを製造しています。低圧浸炭酸化への移行により、この会社はピストン、スリーブ、バルブ、バルブシート、調整ネジなどのカートリッジ弁部品の耐腐蝕性と衝撃強度を改良しました。これによって、これらの部品は厳しい条件の下で使用できるようになりました。サリー・マックフォールさんは次のように強調しています。「親会社でも部品の処理は行っていますが、工場に処理設備を持っていません。我々の会社では製品の性能を5000 psi（345バール）まで高めることを目標としています。」

プラズマによる真空テクノロジーは放棄されました。一連のテストの際に予感されていたように、処理部品の均質性だけでなく、生産性の面でもさまざまな可能性が引き出されました。「チャージ密度の改善については有望な結果が出ていましたが、1チャージの装入部品数を2倍に増やせるとは思ってもいませんでした」と語るサリー・マックフォールさんは今でも驚きを隠せない様子です。彼女は、「生産性が著しく向上し、処理能力の増大につながりました」としています。

この「2の因数」は、サンハイドロリックス社における浸炭酸化設備のメンテナンスについても有効となりました。以前は毎週行われていた予防点検

### 投資の償却 期間は 1年以下

作業が月に2回で済むようになり、半年毎に行われていた保守作業は1年に1回になりました。更に、装置の故障率は以前のテクノロジーに比べて90%低下しました。

低圧浸炭酸化への移行を絶賛するに当たり、サリー・マックフォールさんはこの投資の償却期間が1年以下であったことをためらうことなく認めています。また、数字では示すことのできないさまざまなメリットもありました。彼女は次のように語っています。「ECMとの交渉が始まった当初、説明内容を事実によって証明するようECM側に常に要求していました。時間が経つにつれ、ECMの言うことは信用してもよいと考えられるようになりました。」

#### 中国：ECMチームの強化

Ma Xunli がサポートエンジニアとして北京のECMチームに加わりました。Ma は、金属学・熱処理部門の責任者として10年以上Xian Aero Engine Co. LTDに勤務しました。この経験を活かし、ECMの低圧浸炭設備に打ち込むことになりました！Maはこの分野のエキスパートとして既存のお客様のサポートに当たるとともに、ECMの将来プロジェクトにおいてテスト計画の指揮をとります。



#### イタリア：ECMの革新技術を評価

ECMは2006年11月22日から24日までミラノで開催されたイタリア金属学協会（AIM）の大会に参加しました。処理部品の機械特性と低圧浸炭酸化をテーマとするプレゼンテーションには150社の代表が出席し、大きな成功を収めました。このプレゼンテーションのコピーをご希望の方はメールで [ecm@ecm-ipc.com](mailto:ecm@ecm-ipc.com)までご要望ください。

#### アメリカ合衆国：デトロイトに事務所を新設

2006年9月、デトロイトに新たな事務所を設置することにより、ECMはアメリカ自動車産業発祥の地に拠点を構えました。お客様から至近距離に置かれたこの新しい事業所の指揮をとるのは、大企業担当責任者であるビル・セントトーマスです。



#### ECMのテクノロジーを選んだ企業

ジョイントベンチャーであるフィアット・タタ社がICBP、600 TG/THの購入を決定しました。マニュアルギヤボックス部品を処理するためです。これでインドに2台目のICBPが設置されることになりました。フォルクスワーゲン・アルゼンチンから同タイプの部品処理用に3台目のICBP、600 TGを受注しました。ボディーコート社はメキシコに工場を設置し、ICBP、500 TGを購入します。これは、ゼネラル・モーターズ用のオートマチック・トランスミッション部品の浸炭処理に使用されます。また、軍事航空機の分野では、中国の部品メーカーであるファクトリー143社がFulgura Duo 644 THを設置します。



年間1,000万個以上のカートリッジ弁部品を処理

# 「トラック用車軸部品で処理サイクル時間を4分の1に短縮！」



「この市場では1から2ミリの浸炭深さと下地層の高硬度が要求されています」

ルノー産業用車両における熱処理の専門家、  
ジャン・メルラン氏とのインタビュー

ルノー産業用車両（以下、RVI）の生産責任者、ジャン・メルラン氏はヴェニシュ（フランス）工場で低圧浸炭への移行を推進した人物です。トラック車軸用ピニオンとリングギヤの製造で実現された生産性向上についてこの熱処理専門家の話を聞きました。

**H**ot News：1999年からすでにヴェニシュ工場にICBP装置を設置することにより、RVIはトラック用トランスミッション市場において低圧浸炭テクノロジーのバイオニア企業の一つとなりました。この移行はどのような条件の下で決定されたのでしょうか？

**ジャン・メルラン**：一連のテストによって技術的な確認作業は終了していました。雰囲気浸炭に比べ、処理時間が大幅に短縮できることがテスト結果で明らかになっていました。車軸生産がヴェニシュに移されたのを契機にICBP装置1号機による操業を開始しました。ICBPを設置することで、雰囲気浸炭設備の移設や再始動のコストが不要となりました。2000年には2号機を設置しました。

**HN**：雰囲気浸炭で31時間だったサイクル時間がICBPでは7時間に短縮されました。この違いをどう説明なさいますか？

**JM**：この著しい向上には複数の要因が関係しています。車軸というのはかさが大きく、曲げ応力や圧縮応力も高い部品です。したがって、1ミリから2ミリの深い浸炭が必要で、下地層の硬度も高くしなければなりません。このような条件の下では、浸炭温度の急上昇と炭素の高速拡散というICBP独自の特性が十二分に活かされます。プロセスは安定性と精度に優れるため、これだけで希望の浸炭深さを得ることができ、従来のように処理時間を長くする必要がありません。また、ICBPでは、2バッチ間で連続焼を大気条件に戻すための待ち時間を省くことができます。もう一つ変わったのは、出し入れするトレイ数ではなく、総重量（125 kg から 500 kgまで）でチャージの調整ができるようになったことです。最終的に、プロセスの総サイクル時間を4分の1に短縮することができました。但し、プロセスの前段でスチールを制御する作業があって初めてこのような結果も可能になることを忘れてはなりません。

**HN**：使用されるスチールの金属学的特性を改善させたわけですね？

**JM**：その通りです。それが不可欠な点でした。我々が使用しているスチール - 18NiCrMoS4 (8620) - は、ガス冷の同時採用によって材質が改善されました。期待通りの硬度と炭素拡散層を得るため、この材料の焼入れ性を最高度まで向上させました。成功の鍵はスチールの材質改善と熱処理の両方に努めたことにあります！

**HN**：先程ご指摘があったように、トラック用車軸は厳しい条件に耐えなければなりません。低圧浸炭の採用によって車軸の疲労強度はどのような効果がありましたか？

**JM**：疲労強度は場合によって2倍から2.5倍まで高まりました。この向上は極めて重要です。この市場では、部品の信頼性を判断する基準として疲労強度が最も重視されているからです。スチール各バッチの均質性を向上させるための事前作業を行った後、歯底の硬度を最大限に向上させることにより、曲げ疲労強度を改善しました。圧縮疲労強度の向上は炭素拡散層に因るものです。したがって、ピッチング、ケースクラッキングなどの欠陥が目に見えて減少しました。

**HN**：ひずみの低減という点に関して、ICBPの能力をどのように評価なさいますか？

**JM**：ひずみ率が非常に低いことは、生産ラインでの初期テストの段階ですでに確認していました。これもスチールに対する我々の事前作業とICBPの柔軟性（特に、温度上昇や冷却速度の調整と炭素拡散層の制御ができることなど）との相乗効果です。但し、一言付け加えれば、車軸のような部品では、ひずみはあまり問題になりません。1ミクロンや2ミクロン程度のひずみの影響は無視できることが分りました。成功の鍵は何より硬度と寿命に掛かっています！

## 「スチールの制御と熱処理の相乗効果」



かさが大きく、曲げ応力や圧縮応力の高い部品



トラック用部品処理における低圧テクノロジーのバイオニア

## 段階ガス冷

## ひずみを低減するための手法

ひずみを抑制するため、ECMでは段階ガス焼入れという特殊な革新的プロセスを開発しました。設備の柔軟性を充分に活用できるプロセスです。スチールの連続冷却変態曲線に基づいて作成されるこの処理法は、品質向上の点で大きな効果を発揮します。ひずみを生じやすい部品を使ったテストでその有効性が確認されました。

ガス冷では、圧力とガス攪拌速度という2つのパラメーターによってプロセス強度を管理することができます。この柔軟性によって大きな展望が開かれます。ECMの研究開発責任者であるブノワ・ロシニョルは、「ひずみが発生しやすい部品の場合、プロセス強度を変えて段階焼入れを実施すると、変形を小さくすることができます」と説明しています。これをテーマに2006年春からゼネラル・モーターズと共同で実施しているテストにより、この手法の効果が確認されました。

条件を作ります。次に、焼入れ強度を高くして、ベイナイト相とパーライト相の生成を可能な限り防止します。

ひずみの形成を左右する第2段階では、マルテンサイト組織への変態前に数秒間の休止をおきます。攪拌が停止され、部品内部の熱伝導が促進されます。これによって、部品の表面と内部間に温度差が生じるのを防ぎます。この温度差こそが残留応力。したがってマルテンサイト組織への変態時に発生するひずみの要因となっているからです。最後の第3段階では、急冷にして焼入れを終了します。マルテンサイト相の冷却が速ければ速い程、機械特性が高くなるからです。

段階焼入れによってひずみが防止あるいは抑制されるため、プロセス全体の効率が改善されます。また、不良品が減ることにより、仕上げや修正作業の手間も省けるため、総生産コストを低減することができます。ブノワ・ロシニョルは、「段階焼入れを実施することで品質改善を図ることができます」と説明しています。だからといって、この段階焼入れをすべての部品に適用する必要があるのでしょうか。「部品の形状に依ります」というのがブノワ・ロシニョルの答えです。ひずみが発生しにくい部品の場合、段階焼入れは必要ありません。その他の部品については、段階焼入れによって新たな展望が開かれます。ECMでは、それぞれの部品に適った焼入れ手法を作成するため、エア・リキッド社が開発した焼入れシミュレーションソフトQuenchALなどの各種手段を用意し、お客様のサポートを行っています。



## 異論の余地のない結果

ECMではパラメーターを変えない所謂「直接」焼入れと段階焼入れの結果を比較しました。トランスミッション用ピニオンの場合、歯の幅方向に測定した寸法のばらつきが平均して13μmから4μmまで下がりました。目標としていたひずみ限界を下回る値です。トランスミッション用リングギヤの場合には、形状欠陥が4分の1まで減少しました。また、いずれの場合においても、チャージ内部品の均一性が確認されました。ブノワ・ロシニョルは、「ひずみと均一性は同次元の問題です」としています。

このような改善はどのように説明できるのでしょうか？ 段階焼入れでは、ひずみの発生を左右する決定的な瞬間にプロセス強度を調整します。この手法は一種の3段階冷却法であり、ブノワ・ロシニョルによれば、「金属学の専門家なら誰でも知っているスチールの連続冷却変態 (CCT) 曲線に基づいた手法」です。

## 残留応力を避ける

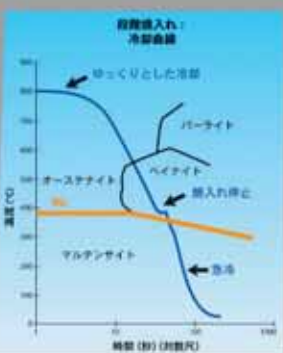
均一性を向上させるためには、まず、加熱終了時にチャージ温度を下げ、第1段階の焼入れ初期に圧力と攪拌を抑制することで穏やかな冷却

## 材料の重要性

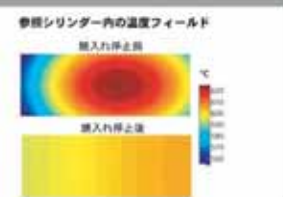
ひずみ防止対策において、合金組成は決定的な役割を果たします。ガス焼入れ性の良好なスチールの場合、5から12バールの比較的低い圧力でガス冷を行うことができます。したがって、熱衝撃が低下し、ひずみが削減されます。また、このようなスチールのCCT曲線では、ベイナイトとパーライトの「島」が右側に移行します。このため、冷却曲線はほぼオーステナイト相とマルテンサイト相領域だけを通過することになります。すなわち、理論上の理想的冷却条件に近づくわけですが、ブノワ・ロシニョルは、「ひずみを効果的に抑制するためには、焼入れ法と材料の両方を検討する必要があります」としています。



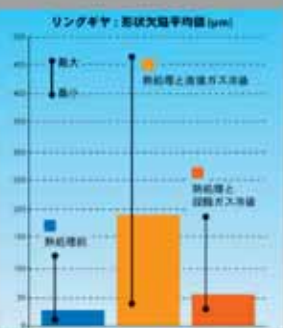
焼入れ温度が4分の1に減少



CCT曲線: 段階焼入れでは、マルテンサイトへの変態前に休止がおかれる



焼入れ停止により、部品内の温度が均一化する



ひずみが小さくなり、同一チャージ部品の均一性が向上する

工場: ECM France  
Fédération  
22020, Avenue de la  
France  
TEL: +33 (0)3 78 49 62 80  
FAX: +33 (0)3 78 48 04 83  
E-mail: www.ecm-tp.com

海外事務局  
ECM USA: +1 (201) 905 8910  
ECM China: +86 (21) 622 62612  
ECM Japan: +81 3 4291 5222

