日刊工業新聞
年月日 16 08 24 ページ 24・25 NO.

真空熱処理技術

品質・環境面で効果を期待

中外炉工業 熱処理事業本部
真空機能材事業部長
大下　修

真空熱処理技術は容易に酸化を抑制することができる利点に注目され、古くからさまざまな熱処理に適用されている。製品の光輝性確保を目的とした真空焼き入れ焼き戻し処理、酸化による密着不良防止を目的とした真空ロウ付け処理、熱処理前の炉内雰囲気の真空置換など、熱処理において真空技術は必要不可欠なものだ。中でも特に最近、表面硬化処理である浸炭焼き入れへの真空熱処理技術の適用が注目されていることから、その背景と特徴を解説する。

製品高度化に対応

鉄鋼材料（鉄に炭素が含有された合金）は機械構造用の材料として、最も多くの製品に用いられている。

これはコストが安いことが要因であることはもちろんだが、ほかの金属にはない多様性を持つことが最大の理由である。鉄鋼は金属組織の状態によって硬さを制御することが可能であり、強度、靭性（じんせい）、加工性などを自由にコントロールできる。

例えば工業的に広く用いられている歯車やベアリングなどの製造工程では、鍛造成形された製品を切削加工し

量産型ガス浸炭設備

量産型真空浸炭設備

（次ページ下段に続く）

やすいように焼きなまし熱処理で軟化させ、加工後に製品として必要な強さにするために硬化熱処理が行われている。

過酷な使用条件に耐える製品に適用される代表的な硬化熱処理として、浸炭焼き入れという手法がある。これは炭素を含有した鉄鋼を急冷すると硬化することを利用し、製品表面から炭素を浸透させて急冷し、内部は靭性を保ったまま表層のみを硬化させる熱処理であり、1950年代に米国より導入したガス浸炭焼き入れが、現在でも広く生産設備として普及している。

ガス浸炭焼き入れは炭化水素ガスから変成した浸炭性ガス中で加熱して、炭素を製品内部に浸透させることで所定の炭素濃度勾配を持たせ（浸炭）、その後急速に冷却し（焼き入れ）炭素濃度勾配に応じた硬さを得る処理法である。

自動車部品では燃費向上や低コスト化を背景に、軽量化や高強度化への要求が強い。また熱処理現場での作業環境の改善や、省エネ、二酸化炭素（CO_2）排出量削減など環境面の改善も求められているが、これらの要求に対してガス浸炭焼き入れ処理は生産性、品質管理の向上と作業環境の改善が推進されているものの、基本的な熱処理プロセスに大きな変化がなく、革新的な飛躍には至っていない。このガス浸炭のブレークスルーで期待されているのが真空浸炭焼き入れ処理である。

真空浸炭は1㌔㍍程度の減圧雰囲気中で加熱された炉内に、アセチレンなどの炭化水素ガスを直接注入して、製品表面に炭素を供給する処理方法である。ガス浸炭と真空浸炭との最も大きな違いは、部品表面での炭素供給の化学反応メカニズムであり、ガス浸炭では浸炭性ガスと製品表面の可逆平衡反応であるのに対し、真空浸炭では炭化水素ガスが製品表面で分解する非可逆反応である。

真空浸炭処理の特徴

表に示すユーザーの要望に対して、真空浸炭処理の特徴をガス浸炭処理と比較して解説する。

①製品の品質向上

第一の特徴は、酸化異常層が発生しないことである。ガス浸炭では製品の最表面で酸化による異常層が発生するが、真空浸炭では酸素がほぼ存在しないため発生がない。異常層がないことによる表面硬さ低下の防止、耐摩耗性の向上、表面残留圧縮応力による疲労強度の向上により、製品寿命が改善できる。

第二の特徴は、製品の品質バラつきが小さくなることである。ガス浸炭では製品が所定の温度に達する以前から浸炭性ガスにさらされて、温度到達が早い位置と遅い位置に積載した製品間で、炭素供給量に若干の差が生じるが、真空浸炭では全ての製品が同じ温度になってから炭化水素ガスを注入し、浸炭が開始されるため、製品への炭素供給量の差が非常に小さい。さらに真空浸炭では減圧雰囲気中で浸炭が行われることによってガスの回りがよく、団体処理内の中央部まで均一に浸炭することができる。

②低コスト

真空浸炭は製品表面への炭素供給が速く、浸炭開始から1分以内に、表面の炭素濃度がオーステナイト中に固溶できる限界値まで上昇する。短時間で浸炭処理が行われることで、生産性が向上してコスト削減につながる。一方、設備には真空容器が必要なことから設備イニシアルコストは高価となる。

③安全・職場環境改善

ガス浸炭で使用する浸炭性ガスは可燃性のガスであるため、熟練した作業者が取り扱う必要がある。しかし、真空浸炭は少量の炭化水素ガスを酸素のない炉内で使用するため、安全で扱いやすい。

また真空浸炭では工場内で炎が発生しないことや、炉本体が水冷されていることから、ガス浸炭に比べて熱処理工場内の酷暑環境が大幅に改善される。

CO_2の排出量についても、画期的に改善される。ガス浸炭では製品に必要な炭素量の数十倍の浸炭性ガスを消費し、生産していない時間も浸炭性ガスを消費し続けなければならず、加えて浸炭性ガス発生設備においても、燃焼ガスが消費される。これに対し真空浸炭では、浸炭する時間のみ必要な炭素量の2―3倍程度のガスを注入すればよい。

④操作性・整備

ガス浸炭は設備を立ち上げる際にシーズニングと呼ばれる準備作業が必要で、設備の温度が操業条件に達しても、十分に浸炭性ガスを設備内に流気させなければならず8時間以上を要する。また停止時には浸炭性ガスを追い出す必要があり、直ちに停止することができない。そのため年3回の長期休暇以外を、連続で操業するユーザーも多い。逆に、真空浸炭設備の準備に要する時間は短く、立ち上げボタンを押して2時間程度で操業準備が完了する。停止も生産終了後直ちに電源を停止することができ、作業者の拘束時間が短く、土・日曜の休業も可能となる。また操作が単純かつ安全で再現性が良いことで、新規設備立ち上げ時の操炉習得がやさしく、特に海外展開に適している。

しかし、真空浸炭にもいくつかの課題がある。先に真空浸炭の利点として、製品表面への炭素供給速度が速い点を述べたが、これに起因して製品表面にセメンタイトという硬い物質が析出する。これが残ると、その部分が破壊の起点となり製品寿命が短くなる。それを避けるためには時間をかけ炭素を拡散させて、セメンタイトを固溶させることが必要であるが、場合によっては熱処理時間がガス浸炭よりも、かえって長くなるケースもある。

なお、ガス浸炭の場合、浸炭性ガスと製品表面の可逆の平衡反応であるため、過剰な炭素を製品表面から浸炭性ガスへ戻す（脱炭）ことで、炭素量を制御することが可能なのでセメンタイトの生成が容易に防止できる。

真空浸炭のもう一つの課題として、煤（すす）の発生がある。炭化水素ガスを直接炉内で分解吸着させるプロセスであることから、ガス浸炭に比べ煤が生成されやすく、浸炭計算を行うことで適正な浸炭ガス導入量の設定を行う必要がある。

ユーザーの要望

①製品の品質向上 ・高強度化 ・品質バラつきの低減
②低コスト ・ランニングコスト低減 ・イニシアルコスト低減
③安全・職場環境改善 ・爆発の危険性の除去 ・二酸化炭素（CO_2）排出量の低減
④簡略な操作性・整備改善 ・作業者の熟練度の低減 ・海外生産での労務軽減

課題と展望

以上、真空浸炭の利点を述べたが、真空浸炭プロセスが発案されてから30年以上経過した現在でも、ガス浸炭に取って代わったとは決して言えない。これは単純な熱処理コストの比較ではガス浸炭が優れていること、適用が難しい製品があること、適用可能な製品でも既存製品を再度真空浸炭用に処理条件を作り上げる作業が、非常に労力を必要とすることなどが原因である。

それでも、新規製品に対し、積極的に真空浸炭を検討し、有為な場合には採用されて間違いなく適用範囲は拡大している。

また真空浸炭の採用は、別の切り口からも検討が行われ、それが特に小型設備が適していることから、検討や開発が進められている。

通常は防火などの理由により、熱処理工程は機械加工工場とは別の熱処理専用工場で行われており、運搬や工程途中の仕掛かり在庫を持つ必要がある。熱処理設備を機械加工工場に設置、前後の加工工程とインライン化することで、工場内の物流が活性化されて総合的なコストの低減が期待できる。これを可能にするには真空浸炭、工場内の物流や仕掛かり在庫の見直しだ。

次世代の浸炭技術を考えると、真空浸炭への期待は非常に大きい。労務負荷や環境負荷の軽減、インライン化が可能といった優位性を生かして、品質・コスト面の改善が進み、また何らかの新たな発想が加わることで、加速的に需要が増加する可能性を秘めているプロセスである。

真空熱処理技術