



カムシャフトの高周波焼入の様子

MANUFACTURING
POWER OF JAPAN

強靱な表面をつくる

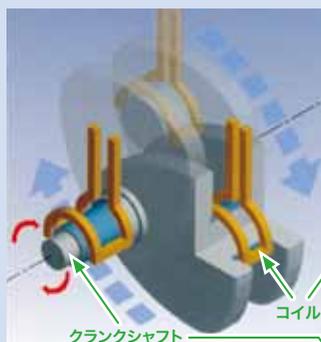
均一な焼入れを行う独特な装置

その装置はまるで、大がかりなからくり時計の内部を見ているようでもある。ガコンガコンと音を鳴らして、クランクシャフトの周囲をコイルがつぎつぎと動き出し、熱処理を行う。よく見れば、クランクシャフト自体も回転している。この複雑な仕組みの装置が、高周波熱処理によって主軸とクランクピンの表面硬化を行っている。

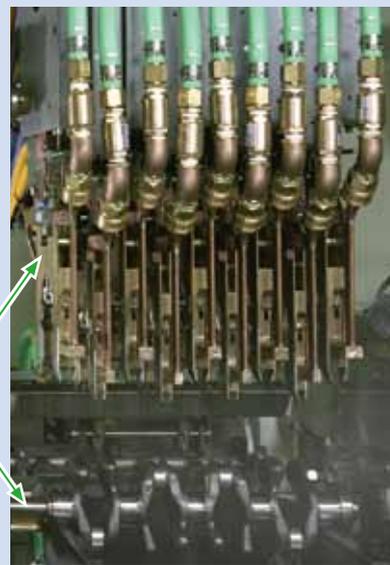
高周波電流を流したコイルの中に鋼製部品をおくと、電磁誘導作用によって部品に誘導電流が流れ、電力(=電流²×電気抵抗値)に相当するジュール熱によって自己発熱する。この高周波誘導原理を利用して熱処理を行うのが高周波熱処理である。高周波誘導電流は素材表面に集中して流れるため(表皮効果)、高周波熱処理は主に表面硬化に使われる。周波数の調整によって加熱深さを変えることができ(加熱深さ $\propto 1/\sqrt{\text{周波数}}$)、また強度を必要とする部位のみを強化できる。鉄鋼製品の耐摩耗性、耐疲労性、靱性の向上に役立ち、特に自動車分野ではねじり・曲げ強度や疲労強度の向上に優位性があることから、クランクシャフト等の軸類部品に多く使用されている。

高周波焼入はコイルに高周波電流を流して処理するため、

クランクシャフト 焼入装置の内部



上部には複数のコイルが並ぶ。下部のクランクシャフトが回転するとともに、その周囲をコイルが回転する。複雑形状のクランクシャフトの部位に合わせてコイルの条件を変えている



高精度な熱処理を行うにはコイルの緻密さが重要となる。ワークの寸法、形状に適したコイルが必要で、焼入部分の形状とコイルの隙間、コイルの高さ、巻数により、加熱の効率が変化するため、コイルは装置メーカーのノウハウの塊となっている。

独自のコイルを開発することにより、高周波焼入装置で高いシェアと多くの特許を持つのが富士電子工業(株)である。ムラのない均一な焼入れが行えることから、クランクシャフト焼入装

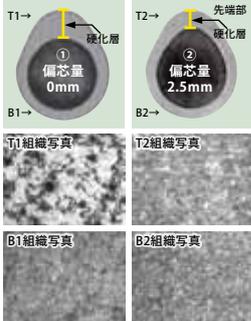
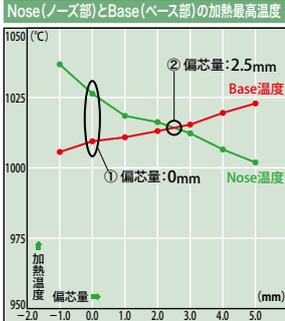


装置内部



クランクシャフト焼入・焼戻し装置

■ カムシャフトの偏芯焼入



カムの形状に合わせて偏芯しながらコイルが回転すると(偏芯量2.5mm)、全周にわたり理想的な焼入れが行えるため均一な硬化層を形成でき、圧縮残留応力の不均一分布が無くなる。一方、偏芯しないで焼入れすると(偏芯量0mm)、カム先端部の硬化層が過度に深くなり、これが過加熱をまねく。高強度FCD材では過加熱は残留オーステナイト量を増やすため、変形・割れの原因となる。



最近では硬化層の薄肉化や、他の表面処理を組み合わせた複合処理など、より高度な焼入技術の研究開発を積極的に行っている。製品の表層の色付いている部分が硬化層

高周波熱処理

置では80%以上の国内シェアを有する。

独自の進化を遂げた焼入装置

同社のコイルで特徴的なのが「半開放コイル」と呼ばれるものである。一般的な高周波焼入のコイルは円形状で、電流はワークに対して周方向のみ流れるが、半開放コイルは半円と軸方向の直線を組み合わせた形状で、ワーク自体を回転させることで電流を周方向と軸方向の両方に流すことができる。これにより表面に凹凸のある複雑なワークに対しても、均一で高精度な熱処理ができる。

例えば大きな回転ねじり力と上下に高頻度で繰返し応力がかかるクランクシャフトは、破壊の起点となる最表面の強化が疲労強度の向上に繋がるが、従来の円形コイルでの高周波焼入では応力が集中するコーナー隅部(フィレット部)を直接加熱することが難しかった。そこで半開放コイルによってコーナー部にも電流を流すことで、必要な外周に沿った硬化層が形成でき、フィレット部の強化が可能となった。これによって大幅な疲労強度の向上を実現している。



最もノウハウが詰まるコイルは、熟練技能者の手作業によって接合等が行われている。

き、フィレット部の強化が可能となった。これによって大幅な疲労強度の向上を実現している。

そしてこのクランクシャフト焼入装置には、エロテルム方式と呼ばれる、

回転するワークにコイルが追従して周囲を焼入する方式が採用されている。驚くことに、ワークの回転角度によって投入電力が変えられており、例えば回転するクランクの上死点前後の10時~2時の間は出力を低下させる、といった具合に細かい制御によって、円周方向の硬化層深さを調整し、ひずみを最小限に低減している。

さらにカムシャフトの焼入装置では、回転する卵型のカムの形状にあわせて、コイルを連続的に偏芯同期する。つまり、卵型の先端のすばまった部分に合わせ、コイルが追従し、カムと

ものづくりの魅力



世界は広いようで、一つの業界に着目してみれば、そこは、わずかに数社によって激しい競争が行われています。ものづくりに携われば、たとえそれが小さな部品だったとしても、いまや世界を相手に戦っていくことになるのです。

(渡邊弘子代表)

富士電子工業株式会社(大阪府八尾市)
1960年創業。ユーザーは自動車や建設機械、工作機械関連メーカーが中心。自動車エンジン関連部品の焼入れでは国内で高いシェアを誇る。
<http://www.fujidenshi.co.jp>

コイルの隙間は常に一定に保たれる。これを偏芯しないコイルで焼入れすると、先端部の硬化層が過度に深くなり、焼き割れの原因となる過加熱をまねく。偏芯焼入によってカム全周に均一な硬化層が形成され、割れを起こしにくい理想的な焼入れが行える。

複雑な機構によって行われる高周波焼入であるが、その処理時間は驚くほど短い。例えばステアリング用ピニオンギアの場合、月間処理量約6万本を浸炭処理から高周波焼入に変えた場合、エネルギー使用量は約80%削減できる。炎やガスを使用する浸炭処理に比べ作業環境がクリーンであることや、生産ラインへの組み込みが容易であることも大きな利点となっている。自動車分野では高周波焼入の可能性に着目し、適用拡大を目指した研究が活発になっている(詳しくは下記ページ参照)。

他にはできないことを、1歩先行くアプローチで

クランクシャフト焼入装置が高いシェアを持つ同社は自動車部品の焼入れに強みを持つと思われがちだが、実際は建設

機械部品や工作機械部品など、幅広い分野にユーザーを抱える。工作機械に使用されるボールねじの焼入れではほぼ100%に近いシェアを持つ。しかし決してシェア獲得を目標に開発してきたのではないという。他が引き受けないような部品を、独自のアプローチによって熱処理を可能にしてきた結果、多数のユーザーから高い評価を得るようになった。製品に合わせたコイルの形状や冷却のタイミング、焼入順序の他、加熱用電源、冷却装置、冷却水の循環装置など、ユーザーの生産ラインに組み込むために必要な設備一式を設計・製造するため、材料から機械、電気に至るまで幅広い知識が必要とされる。特に企画設計部門に強みがあり、装置製造に関する豊富な知識を持つ技術者がユーザーに提案を行う。

「オーダーを満たすことはもちろんのこと、それが後々、ユーザーのメリットになるような、1歩先を行くものを装置メーカーは提案できないといけない」と代表は語る。独特な同社装置を見るかぎり、そのアプローチは1歩ではなく、ずいぶんと先を走っているようだ。

●文 藤井美穂

研究が活発化する高周波焼入を取り入れた複合処理

高周波焼入は環境特性に優れることに加えて、生産ラインへの組み込みが容易で生産性向上に寄与すること等の利点が注目されているが、特に最近、高周波焼入の適用拡大を積極的に検討しているのが自動車分野である。

背景には、近年、自動車エンジンの出力が向上する一方で、燃費低下に繋がる重量増を避けるため、部品のサイズアップを極力抑える傾向にあり、これまで高強度部材の適用で軽量化が図られてきたが、最近では海外での現地生産が進んだことでコスト低減要求がますます高まり、極限まで部品の肉厚を落としながら表面処理で性能を確保しようという試みが増えつつある。

表面硬化法として代表的なものに浸炭処理、高周波焼入、窒化・軟窒化処理があるが、高周波焼入に用いられる鋼材は炭素含有量が0.3~0.5%程度の中炭素鋼が一般的で、高周波焼入後の表面の最大硬度は素材の炭素量に依存している。また他の表面処理と組み合わせると特性向上に繋がることから複合処理が最近活発に研究されている。

複合処理には(1)浸炭処理+高周波焼入(2)窒化+高周波焼入(3)軟窒化+高周波焼入などがある。(1)は表面の結晶の微細化を行い、コロガリ摩耗の疲労強度向上を図るもので、(2)、(3)は疲労強度を保持しつつ摺動特性の向上を図るものとして研究が進められている。

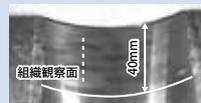
特に(1)は大幅な疲労強度向上が期待できることから注目されている。結晶粒の微細化を実現するには再結晶

温度からオーステナイト化温度までへの急速加熱や低い温度での焼入が重要となるが、急速加熱急冷処理である高周波焼入の二次焼入れ効果により、きわめて微細な結晶粒径が得られることがわかっている。現在、疲労強度向上を目的に、トランスミッションのギアへの導入も始まっている。

この他、高周波焼入を表面改質に利用するさまざまな研究が進められており、その動向が注目されている。

高周波焼入を表面改質に利用した試み(研究例)

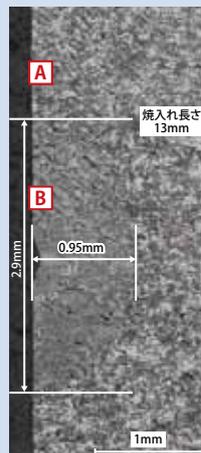
シリンダー内周面 外観(x50)



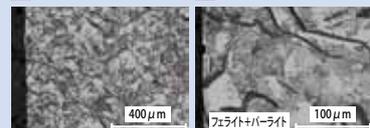
内周面 硬さ測定

	表面 ロックウェル硬さ	断面 組織硬さ
シリンダー ベース部	16HRC	288Hv
シリンダー 焼入れ部	42HRC	680Hv

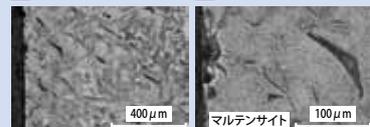
シリンダー断面組織観察(x50)



A ベース部 表面(x100) A ベース部 表面(x400)



B 焼入れ部 表面(x100) B 焼入れ部 表面(x400)



ディーゼルエンジンのシリンダーライナーは通常オーバーホール時に交換されるが、この部品の長寿命化を図る試みとして、内周面を筋状に高周波焼入することにより表面改質し、耐摩耗性を向上させている。