

第16回 船舶用内燃機関の弁ばね

(株)丸上製作所 東村 公治

船舶用内燃機関の類型は、2サイクルおよび4サイクルエンジンに大別され、比較的大型の船舶には、2サイクルエンジンが採用されており、ばねを使用する弁の種類には排気弁を始め燃料噴射弁、始動弁、安全弁、指圧器弁などがある。一方、中型および小型の船舶には4サイクルエンジンが採用されており、前出の弁に加えて吸気弁が追加使用される。図1にユニフロー掃気方式による2サイクルエンジンの排気弁周辺部の構造を示す。

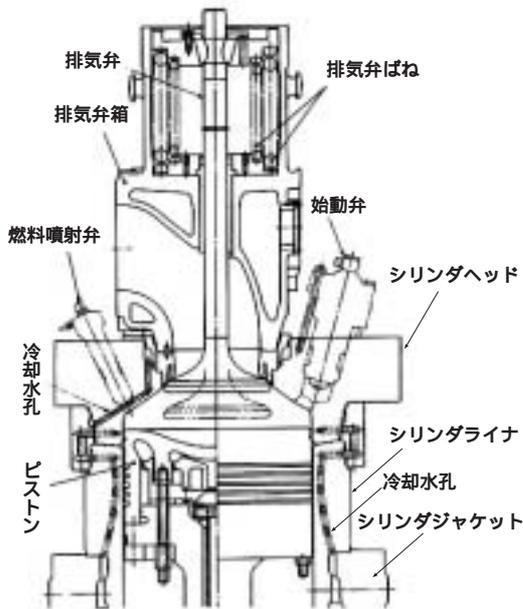


図1 2サイクルディーゼル機関の燃焼室周辺および排気弁

1. 弁ばねの寸法

弁ばねの大きさは指圧器弁などに使用される線径1mm程度の小型のものから、排気弁などに使用される線径40mmを超える大型のものまで多種多様であるが、ここでは比較的大型の排気弁ばねについて紹介する。

船舶用内燃機関の大きさはエンジンのシリンダ内径寸法で表し、そのシリンダ内径は大型船舶では2サイクルで550～900mm、中型船舶では4サイクルで310～600mmと駆動形式が概ね大きさで区別されている。また、小型船舶においては2サイクルで25～90mm、4サイクルでは40～95mmと、2サイクルおよび4サイクルの両方が存在する。

排気弁はこのシリンダ内径に追従して弁の外径および駆動力が決定されるため、使用されるばねの寸法もそれに合せて大きくなり、線径40mmを超える大型サイズではコイル外径約400mm、自由高さ約500mm程になる。

2. 弁ばねの使用条件と要求品質

(1) 使用繰返し回数

船舶用エンジンの回転数は通常400rpmの高サイク

ルで使用され、外洋を長距離航行する船舶の場合、長時間連続運転するため、ばねの使用繰返し回数は4サイクルエンジンとして約35日程度で 10^7 回を超えることから、弁ばねには高い耐久性と信頼性が要求される。そのため、使用材料の選定、および材料の表面状態の管理や熱管理には細心の注意が必要である。

(2) 温度

エンジン駆動時の弁ばね周辺温度は約100～160に上昇するため、高温クリープによる永久変形が問題となることから、材料の選定および製造方法には熱影響を考慮する必要がある。

(3) 設計応力

船舶の安全航行の点から、弁ばねには高い品質レベルが要求されるが、設計的には高サイクルで使用されることを考慮して、最大応力および応力振幅を比較的低い値に設定しなければならない。図2に吸排気弁用ばねの平均応力および応力振幅の使用実例を示す。

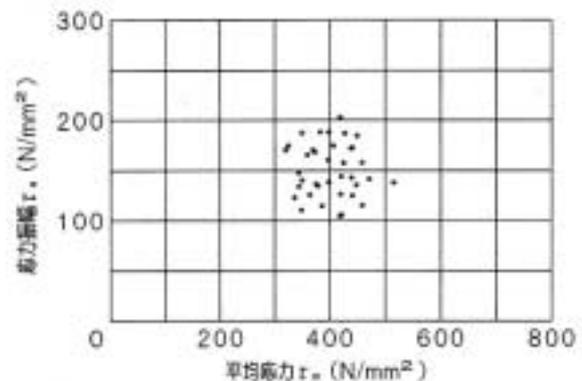


図2 吸排気弁用ばねの設定応力実例

3. 弁ばねの製造

(1) 材料

弁ばねに使用される材料は、表面脱炭および材料きずなどの表面欠陥の管理が要求されるため、冷間成形されるばねでは、一般的にピアノ線が使用されるが、さらに耐久性および耐熱性を要求されるばねには、弁ばね用クロムバナジウム鋼オイルテンパー線(SWOCV-V)または弁ばね用シリコンクロム鋼オイルテンパー線(SWOSC-V)が使用されている。また、熱間成形では、ばね鋼鋼材のうちマンガンクロム鋼(SUP9A)マンガンクロムボロン鋼(SUP11A)およびクロムバナジウム鋼(SUP10)を皮削りして使用しており、中でも耐久性および耐熱性の面で優位性のあるクロムバナジウム鋼を使用することが多い。

(2) 熱処理

弁ばねは、ほかの用途のばねに比較してばね特性に対する要求精度が非常に高い。したがって、使用中における永久変形(へたり)はばね特性に直ちに悪影響

を与えるため、冷間成形では、加工時の残留歪を十分に取り去ることが必要で、成形後またはショットピーニング後に低温焼なましを必ず行う。

一方、熱間成形される弁ばねでは、各加熱工程での脱炭を防止するため、加熱時間および加熱温度など熱管理には細心の注意が必要であり、熱処理後の硬さは耐久性を考慮して可能な範囲低くするほうがよい。

なお、熱間成形されるばねは焼入焼戻しの熱処理を行うため、通常、熱処理後に磁粉探傷試験などでばね表面のきず検出試験を行う。

(3) 表面処理

ショットピーニング

熱間成形される弁ばねは、熱処理で生成したばね表面の酸化皮膜を除去するため、研掃目的ですべてにショットブラスト加工を行うが、同時に疲れ強さ向上を目的としてショットピーニング加工を施す。また、冷間成形においても高サイクルで使用される弁ばねには、ショットピーニング加工は有効であり、特に弁ばね用オイルテンパー線を使用した弁ばねには不可欠である。ただし、ショットピーニング加工は、ばねの使用材料および寸法を考慮して適切な加工条件を選定しなければならない。

多段ショットピーニング

弁ばねのなかで燃料噴射弁ばねおよび吐出弁などは比較的高い応力で使用されるため、ショットピーニング加工を必ず施工するが、より効果的なショットピーニング加工方法として、多段ショットピーニングが行われる。この方法は、通常使用されるショットの粒径から徐々に小さな粒径のショットを弁ばねに段階的にショットピーニングすることによって、ショットピーニングによる圧縮残留応力の表面低下を防ぐ効果がある加工方法として知られている。特に細線のばねで高強度材を使用した弁ばねの疲れ強さ向上に効果があるといわれており、2種類のショット粒径を用いたものを2段ショットといい、3種類のを3段ショットという。多段ショットピーニングはそれぞれの粒径におけるピーニング加工の間に低温焼なましを行うことがよいとされている。図3に2段および多段ショットピーニングによる残留応力分布を示す(ばね論文集 第32号P33より)。

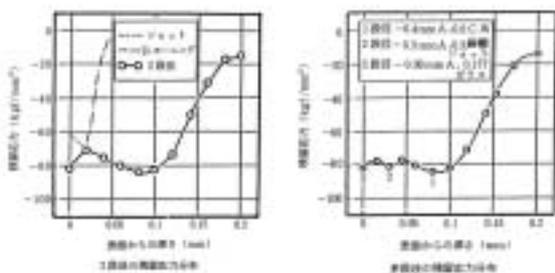


図3 2段および多段ショットピーニング後の残留応力分布

(4) その他の加工技術

セッチング

ばねは使用中の繰返し圧縮によって、へたり(永久変形)が発生する。へたりは前述のようにただちにばね特性に悪影響を与えるため、ばね完成後にセッチングを行う。セッチングはばねに使用最大応力以上の力を負荷して、ばねの使用時におけるへたりをあらかじめ付しておく方法で、耐へたり性向上策として弁ばねには必ず行われる。

ホットセッチング

前述したセッチングは塑性加工の一種で、冷間(常温下)で行われるが、弁ばねのようにエンジンからの伝導熱で約100~160℃に加熱されるものは、高温クリープ(高温へたり)が発生する。この高温クリープ現象を最小に止めるためにホットセッチングを行う。

ホットセッチングの加工法は、ばね完成後のショットピーニングに続いて低温焼なましを行い、その熱が保持されている状態において所定のセッチングを行う方法と、あらかじめセッチング状態に締め付けておいたばねを、低温焼なまし条件に長時間加熱保持する方法とがある。いずれもホットセッチングであるが一般に前者を高温セッチング、後者をクリープテンパー防錆処理

船舶用内燃機関の燃料には、主に重油、軽油などが使用され、弁ばねは腐食性因子を含んだガスなどに触れることがあるため、ばね表面には腐食孔が生成しやすく、これを起点に疲労破壊する危険性が高い。したがって、弁ばねには防錆効果の高い防錆処理を施し腐食を防止する必要がある。一般的には塗装が施されるが、燃料噴射弁ばねのように直接燃料油に浸されているばねにおいては、塗膜が燃料油によって剥離するため、塗装は不向きであり化成皮膜を生成させる防錆処理が行われている。

4. むすび

大型の船舶用内燃機関に使用される吸排気弁は油圧駆動化が進み、近年、大形ばねの使用は少なくなっている。それに加えて燃料供給装置系の弁もばねから他の駆動方式に変化しつつあり、ますます大形ばねの需要が減る傾向にある。しかし、中型および小型の船舶にはまだ機械式の弁が多く使用されているため、今後、船舶用内燃機関に使用される弁ばねは小形化していくと考えられる。また、船舶用内燃機関の弁ばねも高強度化のニーズが高まっているが、自動車用弁ばねなどに比べて船舶用では材料寸法が大きく、生産ロットも小さいため、現状では高強度用材料の開発は困難である。したがって、今後、自動車用懸架用高強度ばね材料をベースに弁ばね用としてさらに品質を上げていくことが、この問題を解決するカギと考えている。