

グリース潤滑された高温高圧用メタルシールの密封機構に関する研究

井瀬, 景太

<https://hdl.handle.net/2324/5068226>

出版情報 : Kyushu University, 2022, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 : 井瀬 景太

論 文 名 : グリース潤滑された高温高压用メタルシールの密封機構に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

世界のエネルギー需要増加への対応とカーボンニュートラル社会の実現を両立するためには、環境負荷が小さく、水素の原料ともなる天然ガスの活用が必要である。天然ガスの坑井はねじ継手で締結された鋼管の入れ子構造となっており、内部の圧力は掘削段階から生産に至るまで常にコントロールする必要がある。そのため、ねじ継手には高い密封性能が必要であり、ねじ部とは別にメタルシール部を備えた特殊ねじ継手も多用されている。天然ガスの坑井には温度が 180°C、圧力が 150 MPa を超えるものが多数存在するため、その生産拡大には高温高压の過酷環境でも使用可能なメタルシール技術の開発が必須である。

本メタルシールについては、これまでに複数の基礎研究においてシール接触状態と密封性能の関係を表すシール基準を実験的に求める取り組みがなされており、製品開発等において一定の成果を収めている。しかし、これらの研究ではねじ継手の締結時に生じるメタルシール面の摺動や高温の使用環境などは考慮されていなかった。また、微視的には隙間が存在するメタルシールにおいてどのような機構で超高压の密封性能が発揮されているのかといった検討までは十分なされていなかった。

そこで本研究ではまず実使用環境に即した密封性能の基礎試験手法を検討し、メタルシール面のらせん摺動を模擬することで実機に近いメタルシールの摩耗・接触状態を得た。次に、高温高压環境を模擬した密封試験により、所定の圧力の密封に必要なシール接触力の値を示した。さらに、これらの結果をメタルシール面のその場観察結果や塗布するグリースの熱劣化挙動の分析結果と合わせて考察することにより、当該メタルシールにおける密封モデルを提案した。

第1章では、弾性体の接触に関する一般的な理論、一般的な静止シールの接触状態と密封性能の関係、鋼管用特殊ねじ継手のメタルシール構造やその密封性能の基礎評価結果などについて、従来の知見をまとめた。

第2章では、本研究で構築した密封試験手法について述べた。カップ&コーン型の試験片の設計においては弾塑性有限要素法解析を活用し、実際のメタルシールと同等の接触状態が得られるように試験片各部の寸法を調整した。また、試験精度向上のために設けた上下試験片の傾き補正機構や軸心調整機構とその効果についても示した。

第3章では、メタルシール面の摺動、ベーキングによるグリースの高温劣化、および試験温度が密封性能に及ぼす影響についての基礎評価結果を示した。これらの試験結果より本メタルシールの高い密封性能はグリースを塗布することで発揮されていることを確認した。また、塗布するグリースの種類、摺動によるメタルシールの接触状態の変化、およびグリースの熱劣化によって密封性能が変化することを明らかにした。密封性能はメタルシールの使用環境が高温になるほど低下するが、その低下代は温度域によって異なることを示した。

第4章では、150 MPaの高圧ガスを密封したメタルシール面をその場観察する手法を提案し、密封状態からリークに至るまでのシール面間の様子を明らかにした。本観察の結果、密封状態においてもシール接触部ではグリースの基材が流動する場合があるが、この基材に流されたグリース含有固形粒子がシール接触部の高圧側隙間に凝集すると基油の流動が停止することがわかった。また、固形粒子を含有するグリースの密封性能は、含有しないグリースと比較して顕著に優れていることを明らかにした。

第5章では、本研究で用いたグリースの加熱に伴う機械的および化学的な特性の変化について測定した結果を示した。本測定結果と密封試験結果の対比により、増ちょう剤繊維が消失する温度域と、試験において昇温に伴う密封性能の低下代が大きくなった温度域がほぼ対応していることが分かった。これより、高温環境における密封性能の大幅な低下は増ちょう剤繊維の消失によるグリースの流動抵抗の低下により生じたと言える。一方、増ちょう剤の網目構造が維持される温度域ではその内部を流動するグリース基油の流動特性が密封性能に影響を及ぼすと考えられる。

第6章では、メタルシールの密封性能に大きく影響しうるグリースの基油、増ちょう剤、そしてグリース含有固形粒子の作用について整理しその密封モデルを考察した。その結果、固形粒子による補助シール効果によって当該メタルシールの高い密封性能が発揮されている可能性が高いことがわかった。充填層を流動するビンガム流体の圧力損失モデルを考えた場合、固形粒子凝集部の形成によって数十～数百 MPaの高い圧力損失が得られる可能性があることがわかった。

第7章では、本論文の総括を行い、今後の課題を示した。

以上、本研究は、鋼管用特殊ねじ継手に設けられたメタルシールについて実使用環境に即した密封性能の基礎評価手法を確立し、各使用環境下において密封に必要なシール接触力の予測を可能とした。また、高温高圧における当該メタルシールの極めて高い密封性能はメタルシールに塗布したグリースに含有される固形粒子の寄与により発揮されている可能性が高いことを示した。