

高温/高圧アプリケーションの問題のあるフランジシーリング成功事例

Ed Versluis

ロタボルト製品担当役員・フランジマネージメント

Ed Versluis は石油化学業界のフランジマネージメント、ボルト締結技術に特化し **James Walker** にて 12 年の経験が有ります。彼は石油化学施設においてのボルト締結フランジが原因となる数多くの事故原因究明のコンサルタントとして関わってきました。

顧客との現場経験及び継続したリサーチは 業界エンドユーザーのフランジ締結における 4 つの重要要素への認識を変える事を目的としています。(設計、コンポーネントの品質、軸力と施工技術力)

ボルト締結接合部からの漏洩の無い性能を効果的に達成するにはこれらは 4 つの要素を適正にコントロールする事であり、欧州の精油オペレーターと共に効果的なフランジマネージメントの管理体制を確立する事に **Ed(エド)**は現在専念しています。

高温/高圧アプリケーションにおいて問題フランジのシーリング成功事例

高温/高圧に曝されるエリアのステンレスフランジの効果的なシール技術プロセスと最善の方策を見出すために **James Walker Benelux (JW オランダ法人)** の技術者は数多くの製油所オペレーターと共に取り組んでいます。以下の記事は **James Walker** のフランジマネージメントスペシャリストである **Ed Versluis** が、これらの問題が発生したフランジで遭遇した主な原因と研究とリサーチによってもたらされた解決方法の詳細であります。

脱硫装置のステンレス製フランジに置いて数多くの事故が、発生したため。この調査が開始されました。**8.3Mpa** の圧力と **400-430℃** のガスオイルメディアの幾つかのユニットでは深刻な火災と爆発事故の脅威にさらされておりフランジ漏洩に起因する深刻な火災が発生しています。

特に問題となるフランジは **321** グレードのステンレス製でオーバルリングタイプ (**RJT**) と **321** グレードステンレスフランジである。炭素合金製の **ASTM A193 B16** グレードのボルトを使い油圧トルク若しくはテンショナーで標準的締付基準に従い推奨スペックで締め付けられています。

漏洩が発生した個所では大きな値の軸力(50%)が失われている事を発見しました。更にフランジを分解してみるとリングタイプのガスケットが収まる RJT の溝部分に損傷が見られた。

この様なフランジの漏れに対しての対処は RJT 溝の再溶接とフランジ面の再研磨、リングジョイントの更新である。人件費と生産停止に置いてこれらは非常に時間とコストが掛かりますが、多くの場合 同じ様な RJT の溝の歪みが原因では その殆どのケースで問題を解決できていません。

調査の一環としての詳細な FEA コンピューターモデリング解析の結果この歪みはガスケットが馴染む時、非常に高い負荷がリングタイプジョイントと RJT の溝に掛かる事が、原因である事がわかりました。調査として使用済みリングは James Walker Moorflex に品質の検証の為に送られました。(金属ガスケットと金属マシニングの API 認定スペシャリスト)

数年に渡る検証の中ではフランジが、軟らかすぎる状態で供給されていたり、多くの場合ではリングが硬すぎたり正しく焼き戻せて無いなどの要因がありました。通常の手法ではリングジョイントはフランジの溝の材質よりわずかに軟らかい物を使います。これにより変形はガスケットのみとなり接合部のシールを補助します。

FEA 分析と試験の目的の為に作られたフランジの試験体では明らかに RJT が、正確に完全に設置され組立てられたフランジで適正な軸力で締結された物であろうとも高温/高圧アプリケーションでは漏洩に至る同じ様な馴染む時の負荷に直面します。この発見は James Walker チームを解決策発見のための代替ガスケットの組合せ等の探求に向かわせました。

FEA モデリング

全てのアクセブリが最高運転温度 400-430℃そして環境温度に戻るサイクルを繰り返す過程でステンレスのフランジと B16 炭素合金ボルトの膨張率の違いから非常に高い馴染みによる負荷が、生み出されている事を FEA モデリングでも又、解析されました。

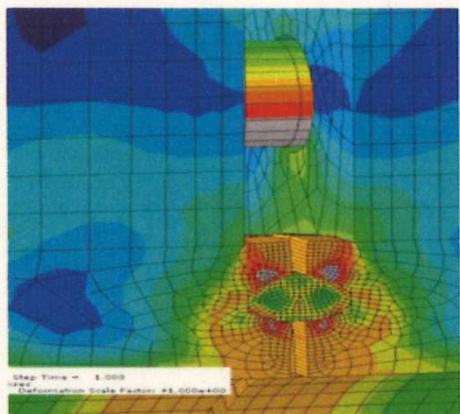


Figure 1

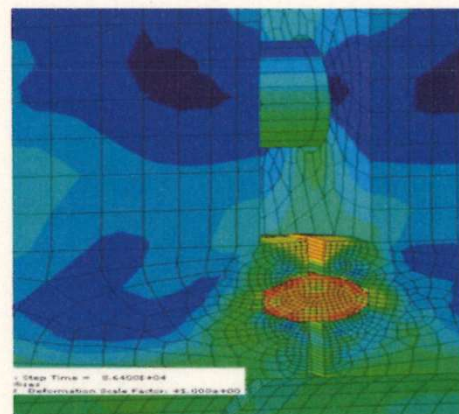


Figure 2

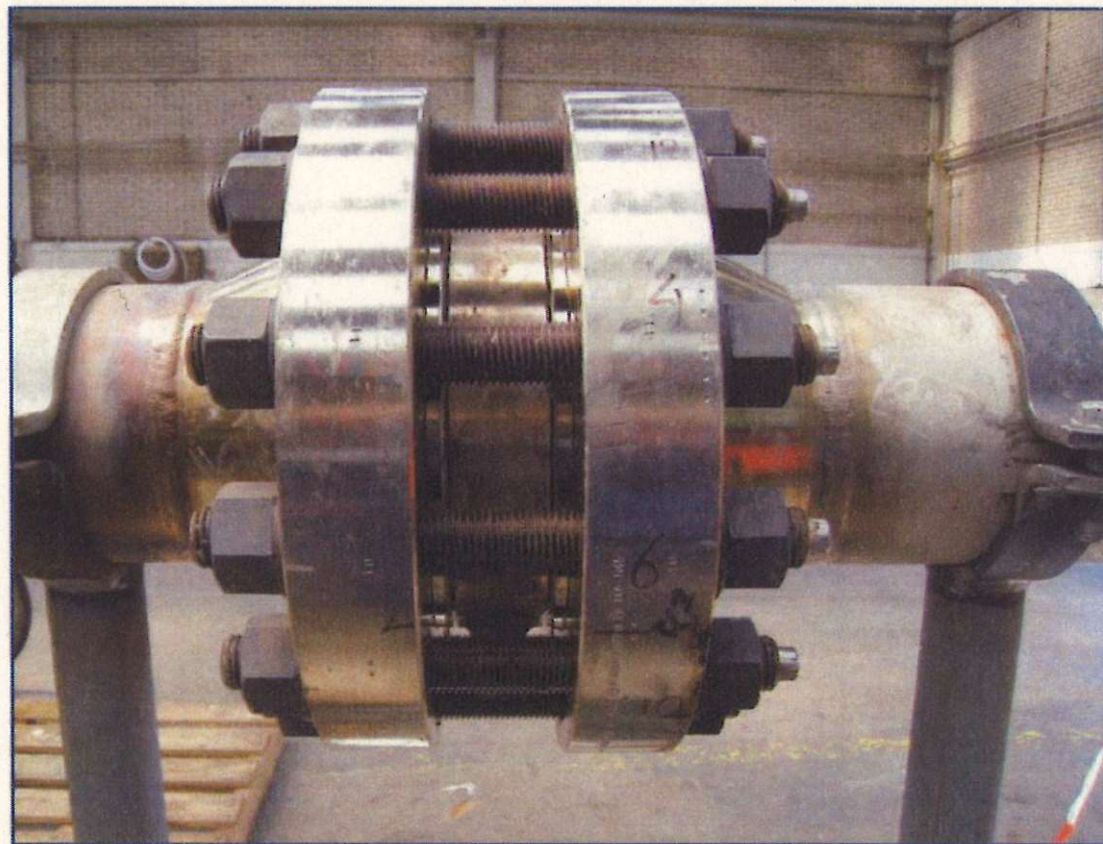
図1 このシミュレーションはボルト締結サイクル終了時を示していますが、明らかに RJT ガasketと溝(グループ)の間に着座時の負荷が発生しています。このシミュレーションでの軸力は 234MPa を想定しています。

図2 温度サイクル1回の 380℃から常温へそして全体が 80Bar に加圧された場合、何が起こるかをシミュレートしています。加熱時にはアセンブリの熱膨張により RJT ガasketの着座負荷は上昇するが、RJT ガasketとグループ(溝)のぶらすちっくの塑性変形により突然、破滅的な軸力の低下が起きます。このタイプのフランジでは RJT ガasketとグループ(溝)の接点は非常に小さなエリアでしか有りませんそして温度変化はシーリング性能に非常に危険な状況を生み出します。

アセンブリの加熱時に ステンレスフランジは B16 ボルトの 1.5 倍熱膨張する事がわかりました。材質による反応の違いはフランジとボルトの温度差を大幅に増幅させます。特に、運転開始後の過熱状態の時、フランジが運転時温度 280℃達してもボルトはまだ冷えた状態の 80℃程です。

接合部が加熱されるにつれてボルトの軸力が上昇しそれと共にリングタイプのガasketと RTJ グループの負荷も上がって行き、やがてプラスチック(樹脂)の変形が起きこの時点で RJT のグループがダメージを受け気密性を失います。

蓋つきフランジの場合はこれらの膨張率とリングタイプのガasket数が倍になりそしてスペクタクル(蓋)の膨張率も加わり更なる問題を発生させ、漏洩が最も疑われるフランジであります。



試験体でのシュミレーション

これ等のフランジはプラントと同じフランジ面とボルト、同等のガスケットを使用し温度変化を再現し試験用に作られた試験体により詳細に検証された。

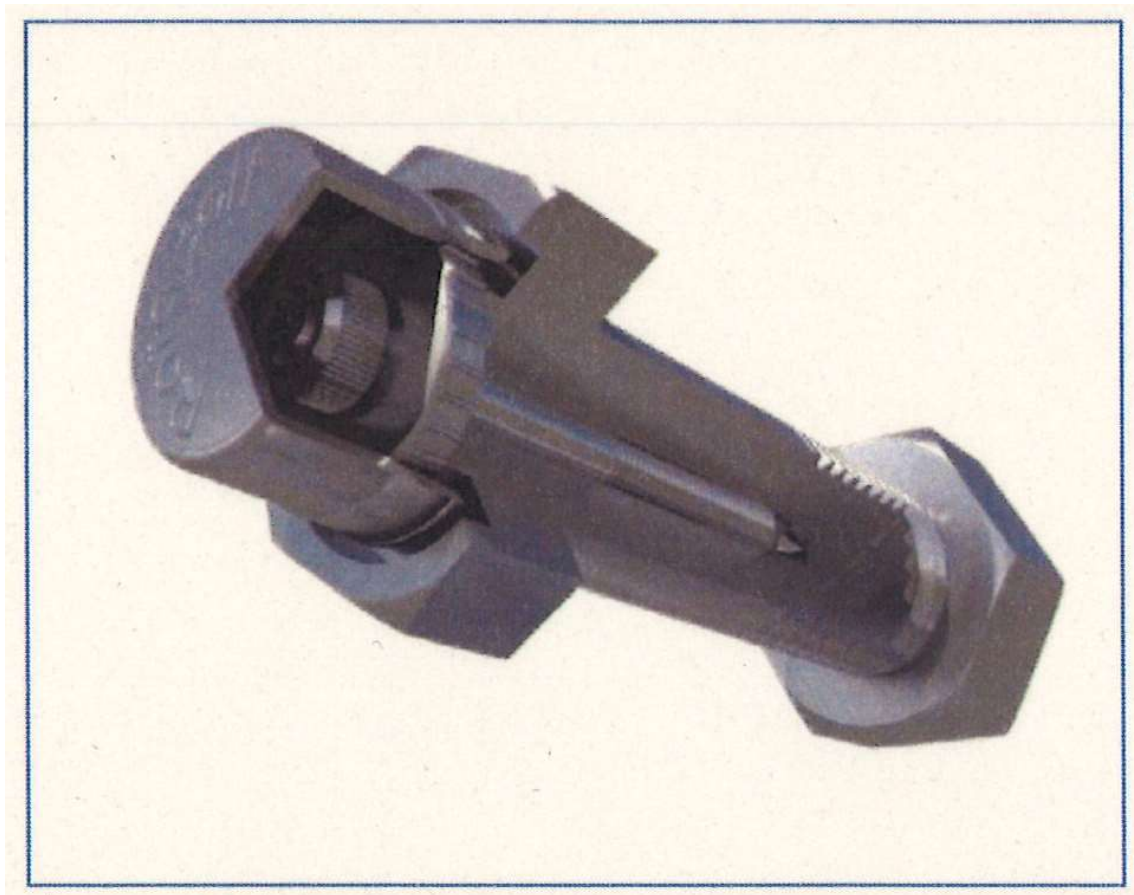
試験体はリングタイプジョイントを使用し通常のサプライヤーのボルトを使用し推奨されているトルク締結手順でフランジを締結しました。典型的なプロセスサイクルとしてジョイントは 400℃まで加熱され常温に冷却される。冷却後シーリング性能への影響の可能性とシステムの軸力低下を確認するために 70bar の圧力テストを行う。

1 回の温度変化サイクル後、ボルトは軸力を失い分解時にはフランジグループの変形及びグループの接触面での損傷が見られた。

これ等のテストにより技術者がフランジを分解した時に見られた現象を解析し FEA モデルにて確認した。事象によりこれらのフランジの損傷は使用年月により拡大し時にはギャップ間の盛り上った部分が、殆ど無くなっている事もある。サービス時にも RTJ が適正に加圧されていない場合等、漏洩のリスク要因を増やす事になる。

カムプロファイルと軸力を管理したボルト締結

同じ試験体で使用して代替のボルト締結とガスケットコンビネーションを RJT グループに損傷が発生した同じフランジを使用し同じ試験を実施した。今回はグラファイト面の Metakam カムプロファイルガスケットを使用し炭素合金のローターボルトを使用して締結した。



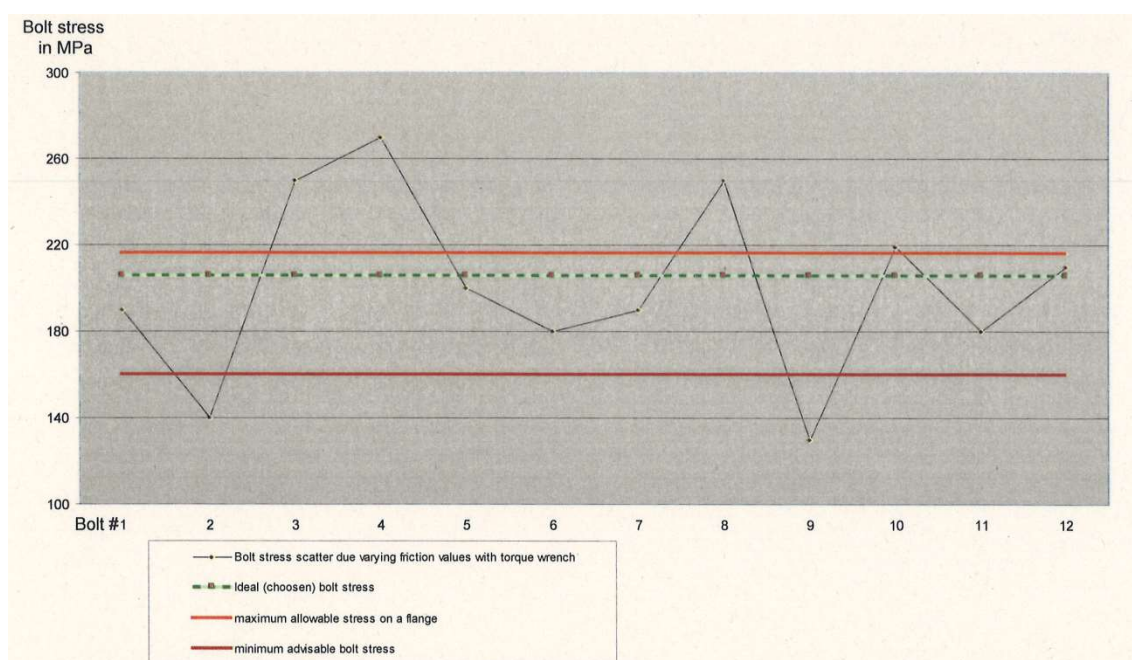
Rotabolt(ローターボルト) は機械式軸力ゲージを内蔵し接合部全体の締付力をモニターできます。この手法はトルク締付などのボルト締付力のみで管理するよりはるかに正確です。ロタバルトはボルト/スタッド頭部分の回転キャップ取り付け時に 1 本 1 本 100%軸力計にてキャリブレーションされ、正確な軸力が達成した時にロックし継続してボルトジョイント寿命期間には軸力を確認する事が出来ます。何らかの理由で軸力が失われた時にはキャップが簡単に回転します。

ロタバルトの使用は前に示したフランジ漏洩の二つのファクターを明らかにしました。まずはトルク締結で使用されたトルク値では幾つかのボルトでは設計軸力に達しなかった事と、その値を達成するにはトルク値をわずかに増加せる必要があった。又幾つかのボルトではボルトの降伏点を超えて締付が行われていた。この事によりいかにトルク締結の精度が不正確で効果が無い可能性を示している。トルク締付では通常±30%軸力にばらつき

が出る事が良くあり、この軸力のバラツキは同じトルクを全てのボルトに使用する事により個々のボルトの摩擦係数の違いから発生している。

施工時のボルト軸力

次表はカムプロファイルの解決策を講じた 6” 900# RJT フランジを使っての実験データである。このテストの目的は軸力のバラツキを制御する為に軸力管理システムが必要かどうかを検証した最小、最大の許容軸力レンジにどの様に軸力を達成させるかを検証した。このテストの締付方法はトルクコントロールを使用しその後、軸力を計測した。



この 12 ボルトのフランジで通常の B16 ボルトを通常のトルクで締めた場合、半分のボルトしか 許容レンジの軸力を達成する事が出来なかった。この意味はこの接合部が運転温度になった時、一部の範囲では既にオーバーロード状態にありフランジ全体の不適切な軸力はカムプロファイルガasketの不均衡な加圧の原因となります。一回の温度変化サイクルを経る事により更に軸力が失われフランジ全体における効果的なシールを持続できる可能性は少なくなり。これらは漏洩の大きな原因となります。

ローターボルトを使用する事により施工時に軸力を均等に最適な軸力(±5%)を掛ける事が出来ます。したがって加熱が始まる前に接合部は完全な状態となります。カムプロファイルとローターボルトの組合せ使用時では冷却後に僅かなリラックスゼーションが、観察される（ローターの回転もしくは重い物が動く）しかし再度過熱状態になるとボルトとフランジの熱膨張差の差によりターゲットのボルト軸力が復活してきます。（するとローターが再度ロックします。）

単純で効果的な解決策。

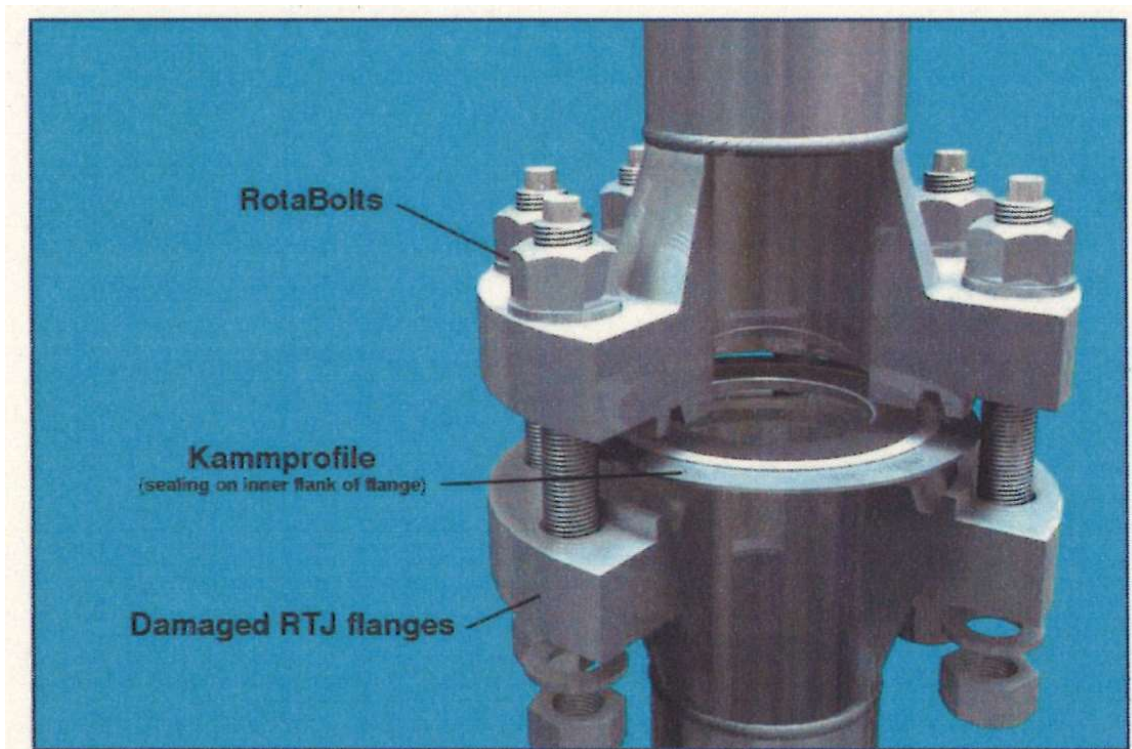
製油所のオペレーターの視点としては漏洩している高温高压フランジの最も望ましい解決方法は経済的であり、簡単に実施することが出来、現在の保守スケジュールに組み込むこみ、重要なプロセス設備の重要な一部として安全なシールを長期間提供する事である。

高压環境下の機器ではリングタイプのジョイントはウェルヘッド等のアプリケーション等に幅広く使われている。しかしこれらは常温での高压環境であり、精油所のプロセスサイクルの様に大きな温度変化はありません。さらに **RJT** は施工時にフランジを大きく開けて施工する必要があり 更にフランジの溝の部分はシールの有効性を提供する為には 最高の状態である必要を確認する必要があります。



新しいリングガスケットを取り付ける為にフランジ面を再研磨して作り直す事は非常に高額であり、楕円のガスケットより 8 角形の物に ‘アップグレード’ する事により着座時に起きる大きな負荷によりフランジ溝部分の損傷を最小限に抑えシール性能が向上する可能性が有るが、これらは温度サイクルの変化の問題を考慮していない。同じようにボルトとフランジの熱膨張率の差を解消するためにボルトをステンレス製に変える事では通常のス

ステンレスボルトの強度が不十分な為、適正な解決方法ではありません。



カムプロファイルガスケットを採用するにあたって、損傷が起きていない **RTJ** グループ (溝)の内側面をガスケットが、シールするのでフランジ面に手を加える必要が無く、グループ直径と配管径の間に十分なコンタクトエリアがあります。

カムプロファイルは容易にリンググループの直径と配管仕様を基に選ぶことができます。

高温での性能を発揮するために、高温環境下で使用されるガスケットは通常の純度の物では無く高純度のグラファイトと酸化防止材の使用をお奨めします。

RTJ が溝に填る事によりそれらが有る程度、パイプをアライメントしますが、カムプロファイルガスケットを取り付け時はリングガスケット(**RTJ**)に比べて注意する必要が有ります。特に配管カバー等が、採用されている接合部等は通常 **RTJ** でセンタリングされています。これ等の問題を乗り越える為に ボルトカラーを利用しカムプロファイルガスケットを正しい位置設置し接合部を確実に施工するため配管カバー等は邪魔にならない位置に固定して下さい。

メタカム/ローターボルトの解決策は安全で効果的な長期間シーリングの解決方法として受け入れられヨーロッパにおける数多くの製油所の致命的な接合部漏洩防止策として大きな成果をあげています。高温高压のステンレスフランジで運転温度が **200°C**を超える接合において漏洩に繋がるフランジの破損事故の可能性及びボルト軸力の喪失を防ぐ為に、多くのオペレーターは全ての高温高压フランジで設計及び保守スケジュールでリングタイプガスケット

ットにこの方法に指定するようになりました。

