

E-04 キャビテーション・エロージョン キャビテーション

E-04-1 損傷の定義

- a) キャビテーション・エロージョンは無数の小さな蒸気泡の形成と瞬時の崩壊によって生じるエロージョンのある形態である。
- b) 崩壊する泡はキャビテーション損傷として金属損失を生じる激しい局部的衝撃力をもたらす。
- c) 泡は液体の蒸気相、空気、または液相媒体中に巻き込んだ他のガスを含む。

E-04-2 影響を受ける材料

銅および黄銅、鋳鉄、炭素鋼、低合金鋼、300 番級 SS, 400 番級 SS およびニッケル記号金を含む、ほとんどの構造材料

E-04-3 重要な因子

- (a) ポンプでは、液体の実際の圧力または水頭（吸収サイドで測定）とその液体の蒸気圧との差を正味吸込みヘッド（NPSH）と呼ばれる。与えられた流速と液体において、キャビテーション・エロージョンを防ぐために要する最小ヘッドは、所要正味吸込みヘッドという。不十分の NPSH はキャビテーションの原因になる。
- (b) 液体の沸点へ向う温度は、より低い温度操作よりも泡形成の原因となる。
- (c) 固相粒子または研磨粒子の存在は、キャビテーション・エロージョン損傷に要求されないが、損傷を加速する。

E-04-4 影響を受ける設備または装置

- a) キャビテーション・エロージョンはポンプケーシング、ポンプインペラー（低圧サイド）および配管下流側のオリフィス、コントロールバルブにたびたび観察される。
- b) 損傷はまた、制限流れ路または乱流が局部的領域において迅速な圧力変化を受ける場所で見いだされる。装置例として熱交換器管、ベンチュリー、シール、ベアリング、およびインペラーを含む。

E-04-5 損傷の様相と形態

キャビテーション・エロージョン損傷は一般的に鋭いエッジを持ったピッチングのように見えるが、回転要素においてはえぐられたように見える。しかし、損傷は局部的低圧域（図 4-26, 4-27, および 4-28 参照）にのみ発生する。

E-04-6 防止／軽減化

- a) 特殊な環境におけるキャビテーション・エロージョン損傷の抵抗は、材料の変化によって十分改善することはできない。機械的改善、設計または操業変化が要求される、
- b) キャビテーション・エロージョンは絶対圧を液体の蒸気圧以下に下げることが許される条件を避けることまたは材料特性を替えることにより最も良く防止できる。例として
 - ① 乱れを減じる流れパスの流線
 - ② 流速を減少
 - ③ 混入空気を除去
 - ④ ポンプの吸入圧を増す。
 - ⑤ 流れ特性を変える、例えば添加物を加える。
 - ⑥ 硬化肉盛り、またはハードフェーシングを使用
 - ⑦ より硬いまたはより耐食性の高い合金を使用
- c) 腐食は液相 - 固相界面における保護皮膜（保護腐食スケールまたは受動態膜）の機械的破壊によって加速される。より耐食性の変化または硬い材料への代替はキャビテーション抵抗を改善しない。過剰な硬い材料はもし泡崩壊によって局所的な圧力および衝撃に耐えるのに要求される靱性が不足していると、適してはいない

E-04-7 検査とモニタリング

- a) キャビテーションポンプは内部まわりで破壊される小石のように聞こえる。
- b) 技術は、特性的音響周波数を検出するような乱れ部分のアコースティックモニタリングのような流れ特性の限定されるモニタリングを含む。
- c) 外部 UT および RT と同様、疑わしい部分の目視検査が板厚の損失のモニタリングとして使用できる。

E-04-8 関連したメカニズム

液体インピンジメントまたはエロージョン

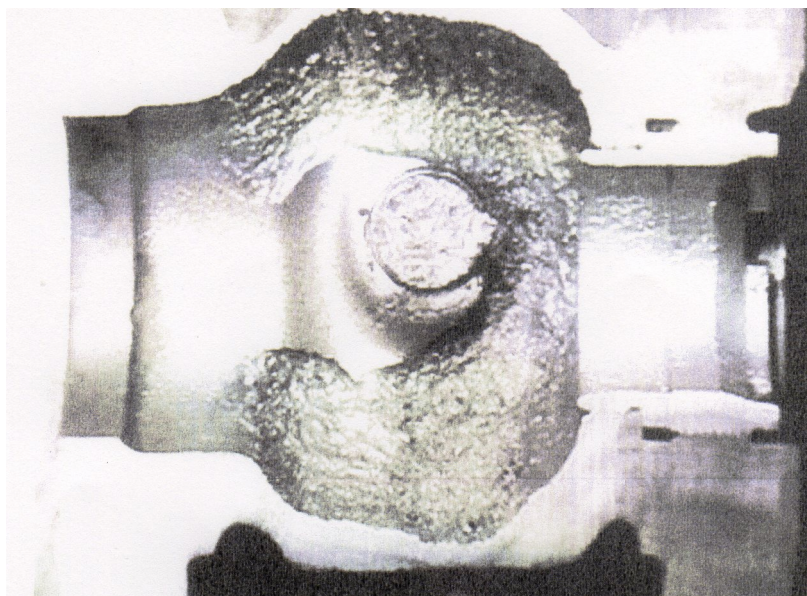


図 4-26a 大気レザイド脱硫装置における冷間低圧セパレータの水素化炭素ドレインにおけるバルブを横切った高圧ドロップによる2年の使用後のキャビティ損傷を受けたCSバタフライバルブの切断部



図 4-26b 損傷表面の拡大部

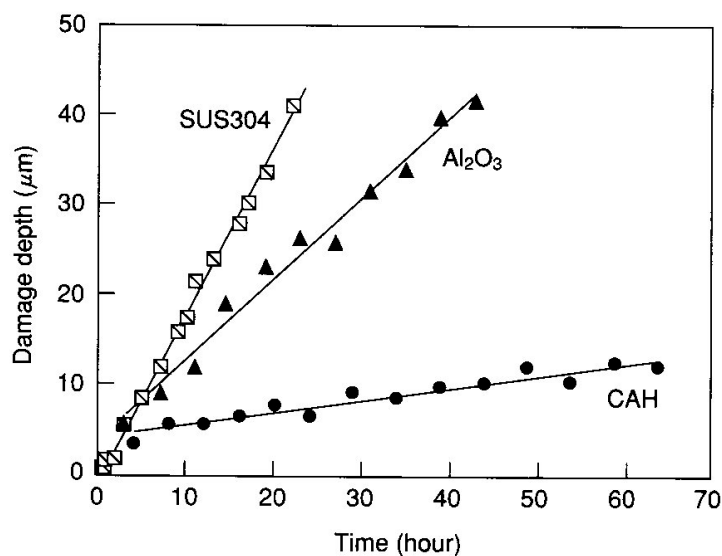
E-04-9 参考文献

- a) ASM Metal Handbook,"Evaluation of Erosion and Cavitation," Corrosion, Volume 13
- b) C.P. Dillion," Corrosion Control in the Chemical Process Industries," MTI(printed by NACE), 1994
- c) V.R. Pludeck, " Design and Corrosion Control, " Macmillan Press LTD., 1979

付録1 キャビテーション・エロージョン対策としてのセラミックコーティング適用に対する考え方

キャビテーションの生じる範囲は構造部材の表面部に限定されているために、構造部材（鉄鋼材料等）の表面に耐キャビテーション性が高いセラミックコーティングを採用する場合がある。

付図1において、SUS304バルク材は若干の潜伏時間の後、キャビテーションによる損傷速度が直線的に増大した。焼結アルミナ（ Al_2O_3 ）は直線の傾き（損傷速度）は低いが潜伏期間はなかった。CAH（焼結遠心アルミナ材）はSUS304の1/13と最も優れた耐エロージョン性を示した。CAHの硬さは $\text{Hv}1790$ で、 Al_2O_3 の硬さは $\text{Hv}1240$ よりも硬く、破壊靱性も優れていた。



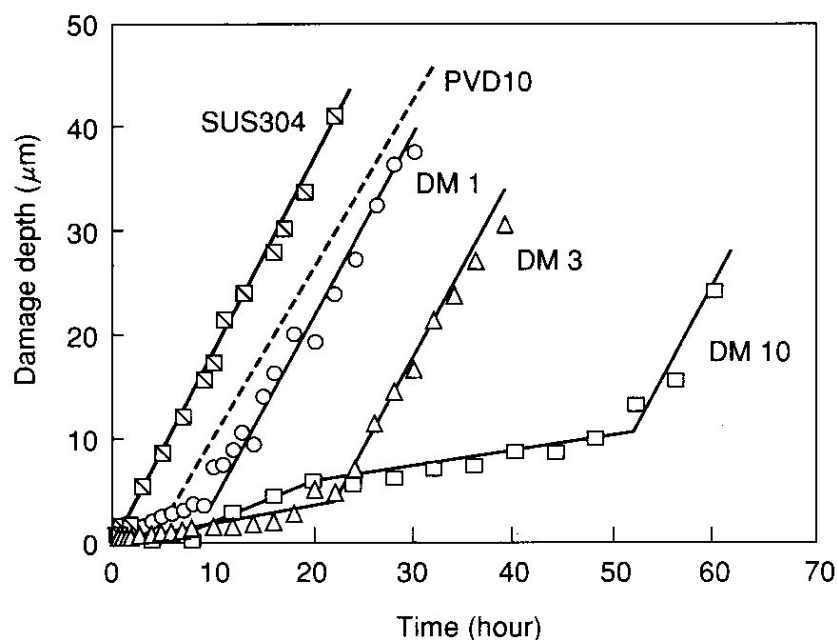
付図1 各種バルク材料のキャビテーション特性

付図2にTiN（PVD）皮膜およびダイナミックミキシング（DM）皮膜のキャビテーション特性を示した。図中、PVD10は、従来のPVDで窒化チタンを $10\mu\text{m}$ まで成膜した。DM10はダイナミックミキシングによって窒化チタンを $10\mu\text{m}$ まで成膜した。

いずれの皮膜もキャビテーションエロージョンによる損傷特性は、ある期間まで損傷速度が低いが、ある期間を過ぎるとセラミック皮膜が消失して損傷速度が急激に増大する。このことから、DM10 皮膜はキャビテーションにおける潜伏期間を延長する効果が期待できる。

材料選定をする際は、高い寸法精度が要求される使用条件が厳しいときは、許容損傷深さが小さいので、加工精度の優れたセラミックコーティングによる皮膜が有効である。

一方、ある程度の損傷が容認される場合は、許容損傷深さが大きいため、バルク材の使用が有効である。



付図2 TiN (PVD) 皮膜およびダイナミックミキシング (DM) 皮膜のキャビテーション特性

E-04-9 引用文献

松村昌信等、流れがもたらす材料劣化現象 エロージョン・コロージョン入門、平成17年3月、日本工業出版