

リーニ二相ステンレス鋼 SUS323L 及び SUS821L1 の
インパクトフレッティング摩耗に及ぼす電位の影響

Effect of potential on impact fretting wear of lean duplex stainless steel
SUS323L and SUS821L1

佐賀大・理工（正）*佐藤 善紀 佐賀大・理工（正）張 波

Yoshiki Sato* and Bo Zhang*

*Saga University

1. 緒言

近年の Ni および Mo 価格の高騰に伴い、汎用二相ステンレス鋼や高合金ステンレス鋼に代わる選択肢として、左記の含有量が大幅に低減されたリーニ二相ステンレス鋼が開発された。これらはオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 や SUS316L と同等の機械的特性および耐食性を有するとされ、油田掘削設備や海洋構造物での利用が検討されている。しかし上述のような腐食環境下において摩擦摩耗が生じるような機械要素では激しい摩耗を引き起こすことがある。これはシビアな環境下で用いられる材料の適切な寿命評価を下すうえで重要な現象であり、腐食環境での摩耗特性を調べることは喫緊の課題である。本研究では、インパクトフレッティング試験装置に電気化学的手法を用い、リーニ二相ステンレス鋼 SUS323L、SUS821L1 および比較材として SUS316L の摩耗に及ぼす腐食の影響について調査する。

2. 実験方法

インパクトフレッティング試験装置の概略図を Fig. 1 に示す。上部試験片を垂直（Z 方向）、下部試験片を水平（X 方向）に正弦波で振動させ、インパクトフレッティングを発生させる。Z 方向の振動を X 方向の 2 倍の振動数に設定し、下部試験片が 1 往復する間に上部試験片を 2 回衝突させる。

下部試験片は腐食溶液で満たされた容器に設置され、下部試験片を作用極としてポテンショスタットに接続される。参照電極には飽和カロメル電極 (Saturated Calomel Electrode, SCE), 対極には 30mm×30mm×t0.2mm の白金板を用いた。上部試験片にφ 6.4mm の Al₂O₃ ボール (Ra:0.1μm, HV1800), 下部試験片にはバフ研磨で仕上げたφ 10mm×3mm のステンレス鋼のディスク (Ra:0.01–0.02μm) とした。腐食溶液に 0.1mol/L Na₂SO₄ 溶液を用い、試験の前処理として 10 分間のカソード処理の後、所定の電位に設定後 2 時間程度待機させ、表面の電流を安定させてから試験を行った。試験条件を Table 1, 用いた材料の化学組成および硬さを Table 2 に示す。また、試験後の摩耗痕は共焦点型レーザー顕微鏡により観察及び測定された。摩耗の評価については、形状測定から得られた基準面より下部の体積とした。

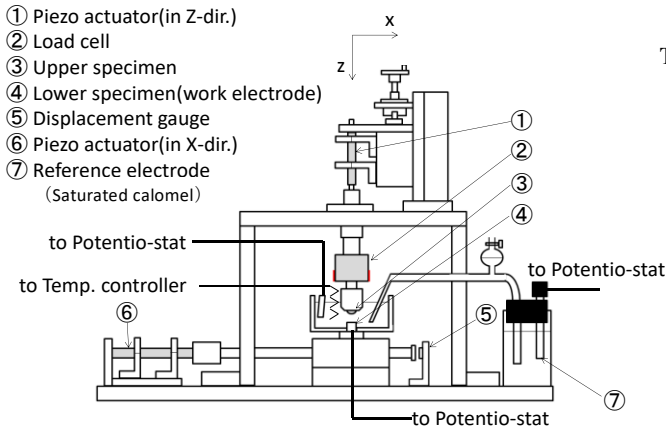


Fig. 1 Schematic diagram of impact-fretting test rig

Table 1 Experimental conditions for impact fretting wear test

Impact load, N	3
Amplitude in X direction, μm	25
Frequency in X direction, Hz	40
Frequency in Z direction, Hz	80
Test time, s	5,000
Number of cycles	200,000
Water temperature, °C	30
Solution	Na ₂ SO ₄ aq. 0.1mol/L
Potential, mV (vs. SCE)	−1000, −700, −500, −200, 0, +200, +500
Electric conductivity, μS/cm	15600 (at 25 °C)
pH	7.0(NH ₃ aq. added)

Table 2 Chemical composition and hardness of each steel (Mass %)

Material	C	Mn	P	Si	Ni	Cr	Mo	Cu	N	Fe	HV
SUS316L	0.03	1.57	0.04	0.69	12.5	17.0	2.54	–	–	Bal.	181
SUS821L1	0.03	2.85	0.04	0.39	2.20	21.1	0.67	1.28	0.17	Bal.	248
SUS323L	0.03	0.61	0.03	0.29	3.50	23.7	0.73	0.37	0.12	Bal.	343

3. 実験結果及び考察

Figure 2 に各材料の分極試験の結果を示す。掃引速度 50mV/min では、どの材料も $-1500\text{mV}_{\text{SCE}}$ から徐々に電流が低下し、腐食電位 E_{corr} は $-200\text{mV}_{\text{SCE}}$ 前後を示した。また $+100\sim+700\text{mV}_{\text{SCE}}$ では $10^{-6}\text{A}/\text{cm}^2$ オーダーでほぼ一定の値を示し、不動態域にあることがわかる。その後 $+1000\sim+1500\text{mV}_{\text{SCE}}$ でいずれも電流密度が増加し過不動態に至り、材料による違いはほとんど見られない。一方、カソード電位から急速に電位を掃引する 50V/s では新生面の分極特性を示すと考えられ、腐食電位 E_{corr} はリーン二相鋼の 2 つがともに $-1220\text{mV}_{\text{SCE}}$ 、SUS316L が $-925\text{mV}_{\text{SCE}}$ を示した。

Figure 3, 4 に比摩耗量および摩耗痕の例を示す。 $-1000\sim-500\text{mV}_{\text{SCE}}$ まではどの材料においても摩耗は非常に小さく比摩耗量に大きな差は見られないが、 $-200\text{mV}_{\text{SCE}}$ 以上の電位ではリーン二相鋼は電位とともに急激に増加した。これは腐食がほとんど生じないカソード電位 $-1000\text{mV}_{\text{SCE}}$ に比べ、電位の上昇とともに新生面露出に伴う腐食作用（アノード反応）が促進され、比摩耗量の増加につながった。一方 SUS316L の比摩耗量について、電位とともに増加傾向にあるものの、 $-200\sim 0\text{mV}_{\text{SCE}}$ でリーン二相鋼の約 30%~50%を示した。しかし $+200\text{mV}_{\text{SCE}}$ でリーン二相鋼よりも大きな値を示し、また $+200, +500\text{mV}_{\text{SCE}}$ とともにばらつきが非常に大きくなった。

0mV_{SCE} における摩耗試験時に得られたアノード電流の推移を Fig. 5 に示す。リーン二相鋼の 2 つは試験開始 0s から徐々に電流が増加し $10\mu\text{A}$ 程度で推移した。終了時まで大きな変動が見られるものの、ほぼ同等の値を示した。一方 SUS316L では試験開始直後から $3\mu\text{A}$ 前後と低い値で推移しており、新生面の露出に伴い生じる腐食作用が低減されているのがわかる。これらの傾向は 50V/s の掃引速度より得られた分極特性（Fig. 2）と定性的に一致する。

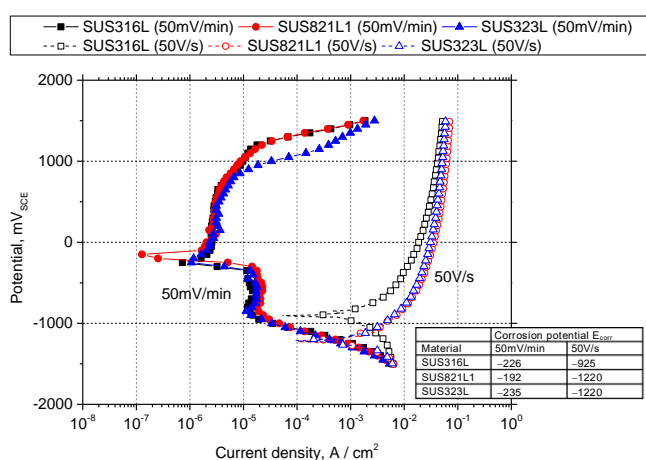


Fig. 2 Polarization curves and corrosion potentials of each steel

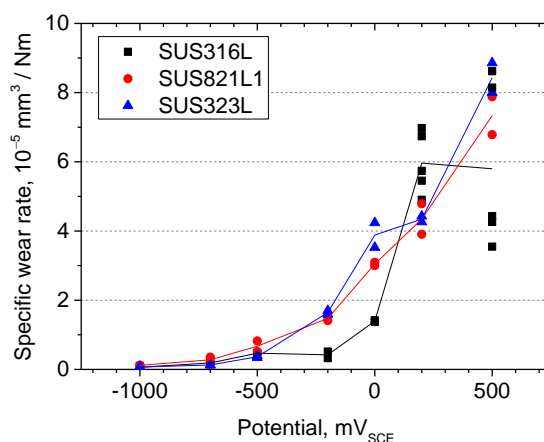


Fig. 3 Effect of potential on specific wear rate of each steel under impact fretting

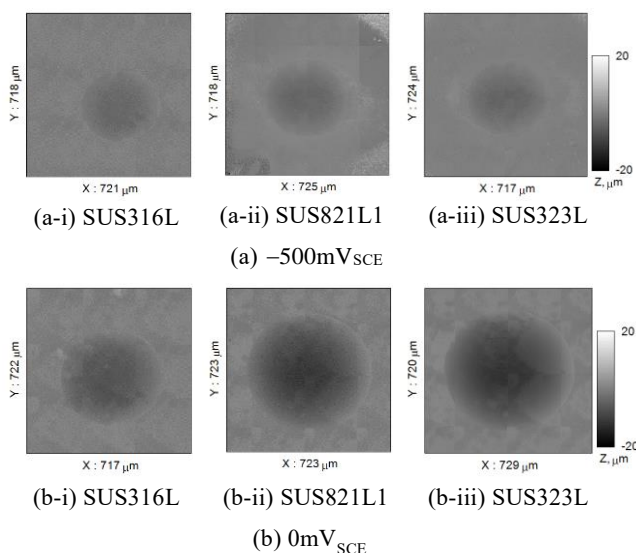


Fig. 4 Typical wear scar of each steel disk

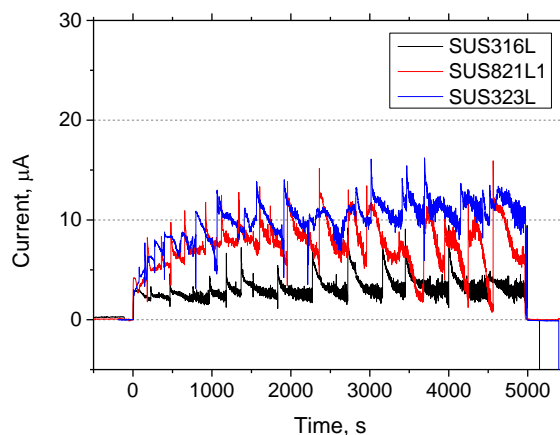


Fig. 5 Current behavior of each steel under impact fretting at potential 0mV_{SCE} in Na_2SO_4 solution

4. 結言

本研究では Na_2SO_4 溶液中のリーン二相系ステンレス鋼 SUS323L および SUS821L1 のインパクトフレットング摩耗に及ぼす腐食の影響について、電気化学的手法を用いて調査した。その結果、50mV/min の掃引速度における分極特性は比較材 SUS316L に比べ大きな違いは見られなかったが、掃引速度 50V/s ではリーン二相系ステンレス鋼の方が低い腐食電位を示した。また SUS323L 及び SUS821L1 の摩耗は電位とともに増大し、 -200 および 0mV_{SCE} では SUS316L と比較して大きな比摩耗量を示した。