

高温でのアーク往復摩耗



はじめに

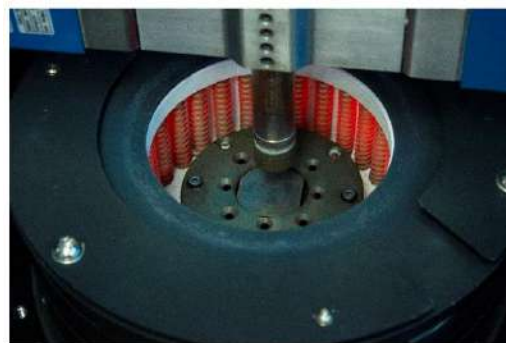
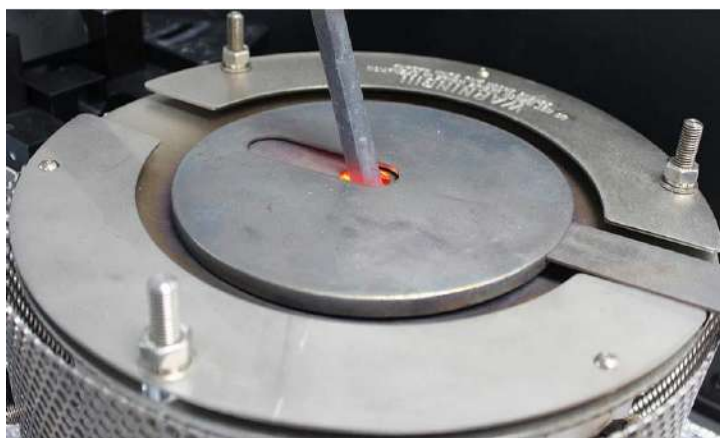
摩耗は、機械的作用の結果として表面の材料が、別の材料により除去されるプロセスです。そして、摩耗は様々な要因の影響を受けます。例えば、温度、速度、負荷、負荷が往復運動であるかなどです。中でも温度は摩耗損傷の程度に重要な影響を与えます。高温での材料表面の摩耗は複雑な性質を持ち、凝着摩耗、いわゆる摩耗、表面疲労、酸化摩耗などさまざまな摩耗メカニズムが関与します。

■ 高温でのアーク往復摩耗の解析の重要性

ASTM G133は、材料の往復滑りによる摩耗挙動を試験するために広く使用されている試験標準です。この試験では往復摩耗試験によりサンプルが前後に動くため、サンプルと試験治具を完全に密閉するオープン型を設計し、高温でかつ均一な温度にするのが困難です。一方、弊社の研究では、摩耗試験のうち負荷を直線的に往復セットアップした場合には、回転セットアップした場合と比較して大幅に異なる摩耗結果が見られました。そのため、この研究では円弧上を往復運動するセットアップを高温で試験できる環境を構築しました。具体的にはピンオンディスク治具を使用し、サンプルステージを時計回りと反時計回りを交互に繰り返し、円弧上で往復運動をさせます。そして、その治具とサンプルを包み込むように大型のオープン型を準備し、試験温度を安定して最大950°Cまで均一に保つようにしました。

測定項目

被摩耗サンプルとしてステンレス鋼 SS304 プレートを使用し、制御された環境で円弧上往復運動による摩耗試験を実施します。測定は比較のために室温と800°Cの2温度で行いました。この試験で、ナノピアトライボメーターの試験の可能性を紹介したいと思います。



1,100°C対応高温チャンバーを装備したT2000トライボメーター測定部

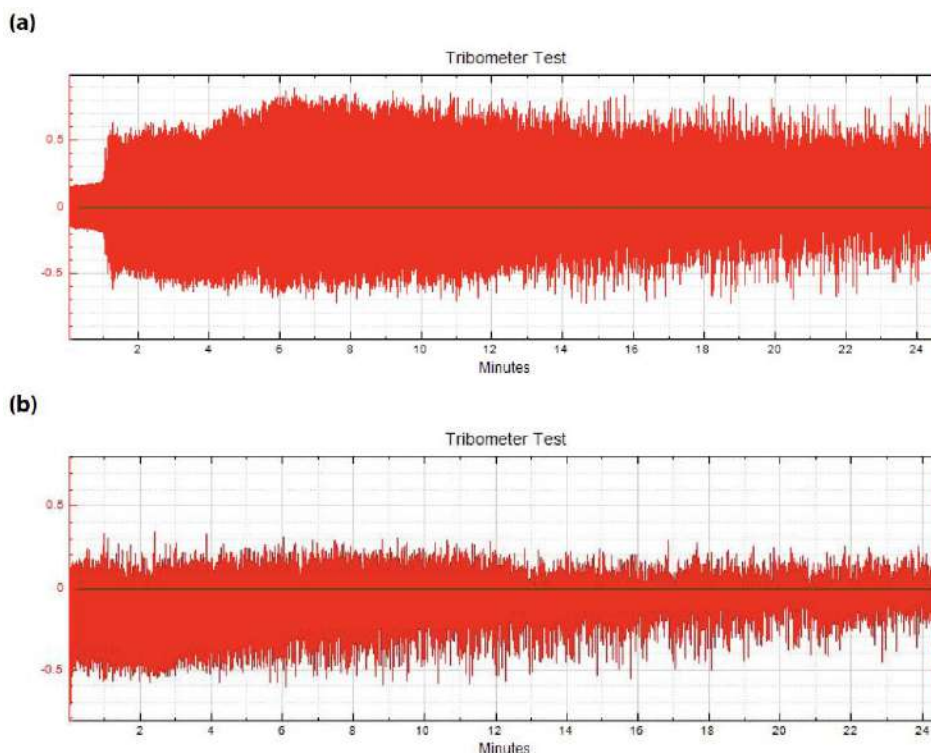
測定手順

SS304サンプルのトライボロジー挙動である摩擦係数（COF）と耐摩耗性を円弧上の往復摩擦セットアップを使用してナノビアトライボメーターにより評価しました。摩耗試験は、室温（RT）および高温オープンを使用して800°Cの2水準で実行しました。今回の試験は800°Cで行いましたが、高温オープンでは950°Cまで安定して測定することが可能です。摩耗プロセスの両材料の接点は大型オープン内に完全に密閉されています。また、熱電対は接点のボールホルダー内にボールの裏側に直接接触するように設置し、最高の温度測定値精度を出すようにしました。接点はSiNボールチップ（直径6mm、グレード100）を使用しました。試験パラメータの一覧はを表1のとおりです。表面の摩耗痕跡の評価はナノビアのリアル3Dプロファイラを使用し、摩耗痕跡の形態はさらに光学顕微鏡光学でも評価しました。

測定パラメーター	
温度(°C)	室温、800°Cの2水準
垂直フォース	10N
往復ストローク数	10,000回

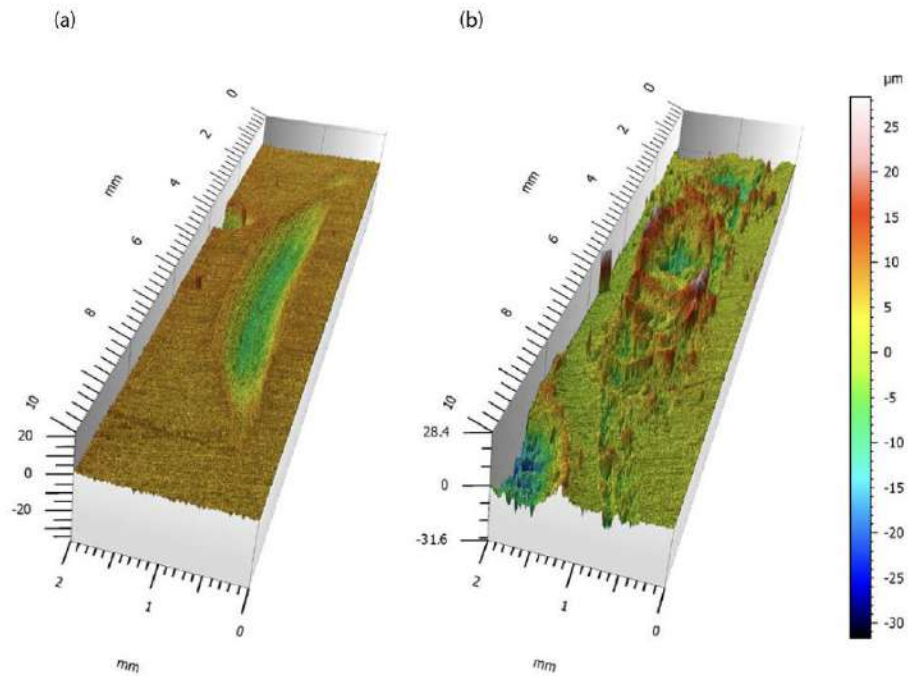
結果と考察

COFの実測値を<図.1>に示します。円弧往復摩擦運動は継続的な前後運動により、正と負の両方のCOF値が発生します。室温でテストしたサンプルは、最初の1分間の慣らし期間中には0.2未満の低いCOFを示しました。その後、残りの摩擦テストでは0.5を超える高い値に急激に増加しました。800°Cでテストしたサンプルは最初は高いCOFを示しましたが、摩耗テスト全体を通じて徐々にCOFが減少しました。

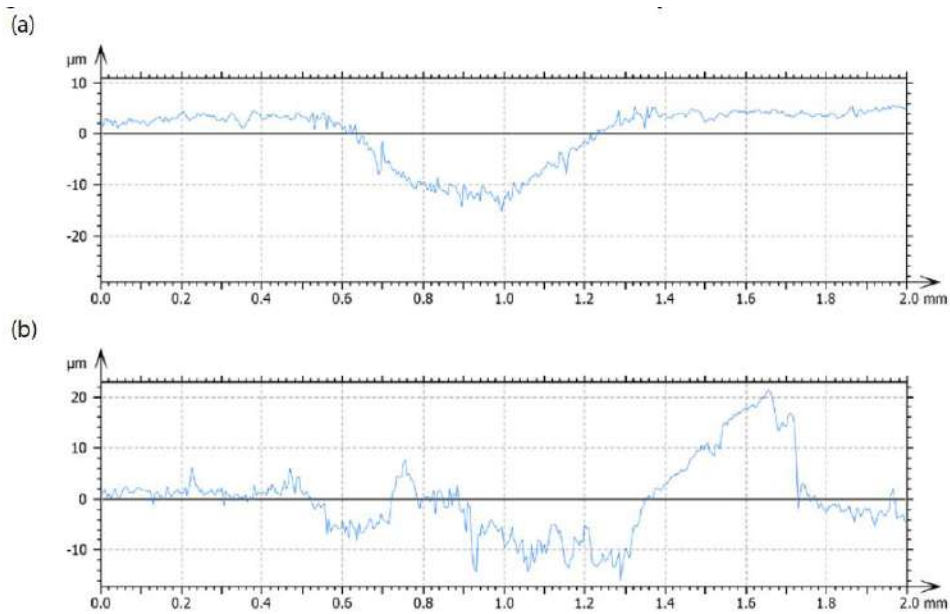


<図.1>COF値実測値 (a).室温 (b).800°C

円弧上往復試験後のSS304サンプルの3D摩耗軌跡プロファイルをナノビア 非接触リアル3Dプロファイラで測定しました。その摩耗痕跡の比較が<図.2>断面情報が<図.3>です。測定値を解析プログラムで解析すると、円弧上往復運動による摩耗量は室温0.030mm³、800°C0.032mm³ではほぼ同じです。しかし、同じストローク数の摩耗試験をしたあとの両温度の摩耗痕跡のモルフォロジーは極めて異なっています。



<図.2>リアル3Dプロファイラによる摩耗痕跡解析 (a).室温 (b).800°C



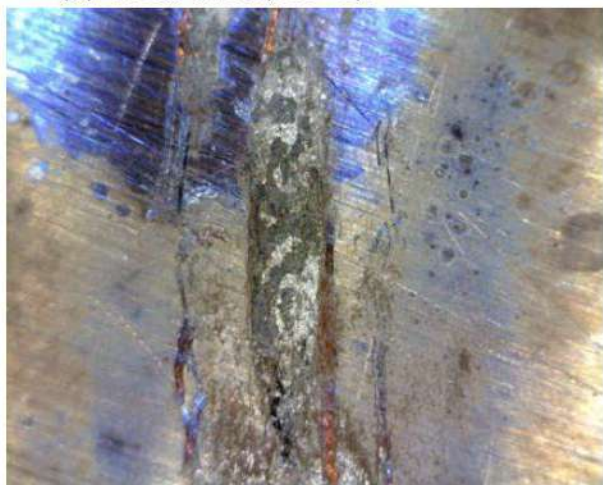
<図.3>リアル3Dプロファイラによる摩耗痕跡の断面解析 (a).室温 (b).800°C

そのため、室温および800°Cでの摩耗試験後のSS304サンプルの摩耗痕跡を光学顕微鏡下で比較しました。結果は<図.4>のとおりです。室温で試験したサンプルは平行の溝を持つ摩耗トラックとして観察されます。最初のならし期間中、SiN ボールによる SS304 表面の摩耗により小さな加工硬化摩耗が発生し、そのデブリが徐々に生成されました。その後、摩耗トラック表面が磨耗して荒れ、滑り面に閉じ込められた硬いデブリの破片の摩耗によってSS304 表面に方向性のある傷が増えました。

(a) Wear track (RT):



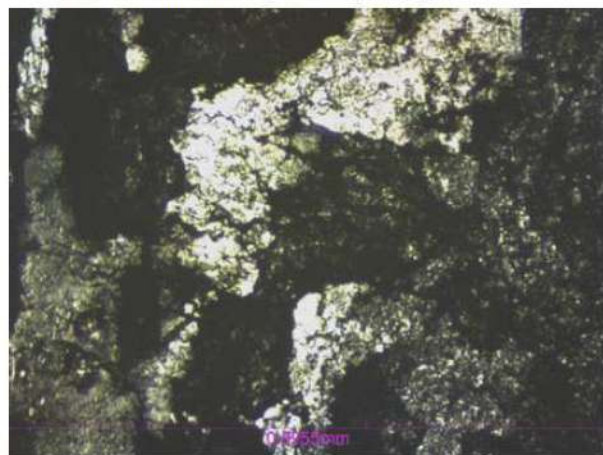
(b) Wear track (800 °C):



(c) Wear track (RT, 50X):



(d) Wear track (800 °C, 50X):



<図.4> 光学顕微鏡による摩耗痕跡の観察

比較すると、800°Cで作成された摩耗痕跡は異なる形態を示します。最初にSS304サンプルを800°Cの高温環境にさらしたときに表面に硬い酸化膜が形成されました。表面には酸化膜により硬い層が生成されましたが、その下の金属層の硬度が低いため、摩耗プロセスで接触点に集中したせん断応力が金属を塑性変形させ、結果的に酸化膜にも損傷を与えます。このプロセスは酸化物フレークの剥離と摩耗痕跡の独特のモルフォロジーの形成が知られており、それが図5 (b)と(d)に記録されています。

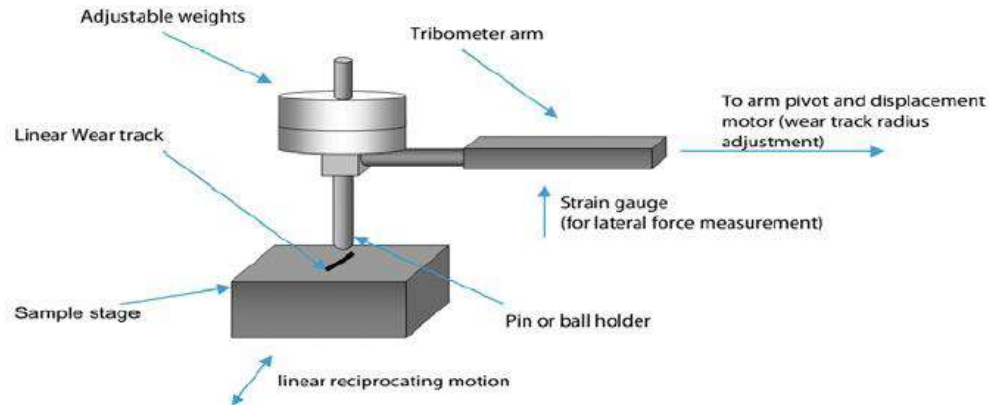
今回の試験では室温と800°Cでは全く異なるメカニズムによる摩耗痕跡が確認できました。これはサンプル材料を実際の使用温度環境で試験することの重要性を示しています。また、トライボメーターで試験する温度が異なると摩耗のメカニズムが劇的に変化することから、試験装置に多様性が求められることも示しています。 ナノビア トライボメーターは高温環境、低温環境、液体環境、腐食環境など様々なオプションで多様な試験に対応します。

まとめ

この研究では、円弧上往復運動にセットアップしたトライボメーターでSS304サンプルの高温摩耗挙動に関する包括的な解析を実施しました。ナノビア トライボメーターは20ビットの内部速度制御と16ビットの外部エンコーダー (>0.006°) モーターを装備し、正確かつ再現性のある往復摩耗試験を実施できます。本研究でも、SS304サンプルは室温と800°Cで摩耗率は同等だとしても、大幅に異なる摩耗メカニズムを示しました。これはサンプル材料を実際の使用温度環境で試験することの重要性を示しています。室温および800°Cで測定。これは、次の重要性を示しています。ナノビア トライボメーターの高温オプションは治具により到達できる温度には差がありますが、950°Cまでの往復運動による摩耗の試験が可能です。 ナノビア トライボメーターは、ISO および ASTM に準拠した正確で再現性のある摩耗および摩擦試験機です。試験は回転運動、直線運動、高温環境、低温環境、液体下、腐食環境など多様な試験環境に対応しますので、現実の用途環境をシミュレートした摩耗、摩擦試験を精度高く行っていただけます。ぜひ、材料のより深い理解の一助にお役立てください。 ナノビアシステムはオプションで好評のリアル3Dプロファイラと組み合わせた解析も可能です。摩耗痕跡のイメージング、詳細解析にお役立てください。

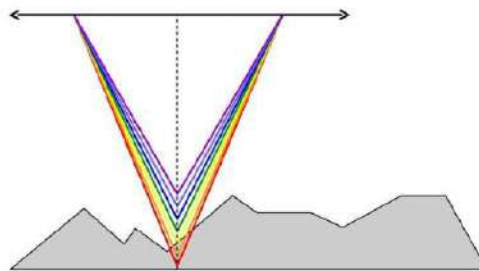
摩耗試験測定原理

平坦または球形のインデンタが、正確に指定の力で試験サンプルに負荷されます。インデンタ（ピンまたはボール形状）は、摩擦のない力変換器として設計された硬いレバーの先端に取り付けられます。プレートが直線往復運動でスライドすると、ピンとプレート間に摩擦力が発生します。この摩擦により力をアームのひずみゲージセンサーを使用して測定します。ピンとプレートの摩耗率は作業中に失われた材料の体積から計算することができます。この簡単な方法により、ほぼすべての固体材料の組み合わせが時間依存、接触力依存、速度、温度、湿度、潤滑環境などで研究することができるようになります。



リアル3Dプロファイラ測定原理

軸上色収差法では白色光源を使用し、光は高度の色収差を持つ対物レンズを通過します。対物レンズの屈折率は光の波長に応じて変化します。つまり、入射白色光の各波長は、レンズから異なる距離（異なる高さ）で再焦点を結びます。測定対象サンプルが測定可能な高さの範囲内にある場合、単一の単色点に焦点が結び、画像が形成されます。システムの共焦点構成により、焦点が合った波長のみが高効率で空間フィルタを通過するため、他の波長はすべて焦点が合わなくなります。スペクトル分析は回折格子を使用して行われます。この技術は各波長を異なる位置で偏向させ、CCDのラインを遮断します。このラインは最大強度の位置を示し、Z高さ位置への直接計測を可能にします。



■クロマティック共焦点白色光による測定

プローブ接触や走査的な干渉法によって生じる誤差とは異なり、白色光軸上色収差技術では、焦点が合ったサンプルの表面に当たる波長を検出して高さを直接測定します。これは、数学的なソフトウェア操作を必要としない直接測定です。データポイントはソフトウェアによる解釈なしに正確に測定されるか、まったく測定されないかのいずれかであるため、測定された表面に関して比類のない精度が得られます。ソフトウェアは未測定ポイントを完了しますが、ユーザーはそれを完全に認識しており、ソフトウェアによる推測によって作成された隠れた波乱要因がないことを確信できます。Nanovea光学センサーは、サンプルの反射率や吸収率の影響を受けません。測定装置にはサンプルの準備が必要なく、高い表面角度を測定できる高度な機能があります。広いZ軸測定範囲に対応しています。透明または不透明、鏡面または拡散性、研磨済みまたは粗い材質など、あらゆる材料を測定できます。



〒274-0812 千葉県船橋市三咲7-22-7
TEL:047-449-2961 FAX:047-449-2926