TWI 技報

4300万ポンド規模のTWI拡張計画が年末の竣工に向け順調に進む
£43m expansion at TWI on course for completion by end of this year

サウスケンブリッジシャー（South Cambridgeshire）にあるTWIの研究施設では、25,000平方メートルの敷地拡張に向けた整地作業が計画どおり完了し、TWIはベッドフォードシャー（Bedfordshire）の建設会社SDC社をこの計画の契約業者に指名しました。SDC社は2014年末までに建設工事を完了させる予定です。

TWIの新たな発展のイメージ

TWIの財務責任者Gillian Leechは、「我々の建設計画は重要な段階に到達しており、新たな設備を納入するという高付加価値な計画が、引き続き順調に進展するよう力を入れています。このことは、この地域に新しいビジネスと教育の機会を創出するでしょう。SDC社をチームの一員に迎えることをうれしく思います。」と述べています。

今年初め、TWIはこの拡張計画を始動させるため、英国政府の地域成長ファンド（Regional Growth Funding）からの支援を受けることができました。そして、ケンブリッジのBarclays Corporate Bankingとのパートナーシップと産業主導型のStructural Integrity Research Foundationの後援のもと、TWIが提示した資金と政府支援により、研究開発のための新たな研究施設や設備が供給され、建設計画の目玉である産業環境における大学院教育のための新しいセンターが設立されます。この新しいNational Structural Integrity Research Centreでは、すでにエンジニアリング研究のための博士号（PhD）と修士号（MSc）コースへの申込を受け付けています。

Eric Parry Architects社と共に設計した施設が完成すると、敷地はおよそ3万6,000平方メートルになり、材料研究およびその性能のための研究施設や、溶接・接合技術が業界で活用される際の影響を調べる研究施設が含まれます。そしてこうした施設は、溶接・接合に関する刊行物を最も網羅する図書館であるTWIライブラリーや、会議室や会議施設、レストランなども含め、総合的な情報サービスにより支えられます。

SDC社のプロジェクト責任者Craig Millarは、「我が社はこの魅力的で新しい拡張プロジェクトでTWIに協力できることを誇りに思います。多くの点において、TWIが開発して検証した技術とベストプラクティスは建設業界に密接に関係しており、そのことは建設プロセスを通じて実証されています。我が社は数多くの教育・研究機関と強力な関係を築いており、この施設を無事にTWIに納入する日を心待ちにしています」と述べています。

TWIとSDC社は、建設計画の正式な着工を祝う記念式典を2014年3月7日に開催され、サウスケンブリッジシャー（South Cambridgeshire）選出議員で下院院内総務を務めるAndrew Lansley CBEが出席しました。

TWI South East Asia (SEA) の新たな専用施設の建設が開始
Construction work has started on the new, purpose built facility for TWI South East Asia (SEA)

東南アジア、豪州、中国でTWIの地域マネージャーを務めるErnie Moskiniは、最新建築デザインに基づいて設計された新たな施設の建設の開始を発表できることをうれしく思っています。3階建ての最先端の研修施設には、年間8,000名以上の研修生を受け入れることができます。この新しい施設の規模は以前の2倍以上で、東南アジア地域(SEA)におけるTWIのエンジニアリングサービスの本部にもなります。同地域のエンジニアリングと研修の両サービスは、1980年に事業が設立されて以来成長を続けています。

近年には事業の年間成長率が30%に達しているため、クアラルンプールにある現在の施設はTWIのニーズに応えられず、またこれ以上この施設を拡張できないことから、2011年、より広い新しい専用施設に移転することが決まりました。この建物は総内面積が4,000平方メートルに設計され、各階は以下のようなレイアウトになります。

TWI-SEAOfficeのイメージ

1階
- 研修受付、管理、審査、認定、会計
- 展示エリア
- 溶接室
- X線設備
- 潜水用タンク（diving tank）のポンプ室
- 店舗（備品？）エリア
- 警備室

2階
- 研修室
- 潜水用タンク（diving tank）入り口、制御室、表示エリア
- カフェテリア（スタッフおよび研修生用）

3階

- 研修の計画および指導
- エンジニアリングサービス
- 会議室
- 拡張スペース（備品なし）

建物は現在確認されている短期的/中期的ニーズを満たすように設計されているほか、3階には将来の拡張に備え400平方メートルの空きスペースがあります。
設備の設計は、実績のあるマレーシアの設計事務所Linear Vista社が2012年初頭に委任され、同地域におけるTWIの事業から得た教訓と、英国施設の近年の開発から得た知識と経験が、TWIの現地および英国スタッフの意見を通して設計に取り入れられています。

設備の機能と適切な費用見積が明確になる段階まで設計が進展したため、2012年9月に設計開発と建設の契約に関する入札が公表されました。2段階の選考過程と価値工学の実績を通して、2013年4月にChangal Jaya Sdn Bhd社が契約を勝ち取り、短期間の準備ののち現場作業が開始されました。ちょうど1年ほどの建設作業が終わると、2014年春から施設の調整試験が開始され、2014年夏までにすべての設備機能が利用可能になる予定です。

このプロジェクトのさらに詳しい情報は、Colin WaltersまたはErnie Moskiniまでお問い合わせください。

新しいライブ映像の顕微鏡検査をより多くのメンバーに利用
New live-streaming microscopy provides more access for Members

材料研究において強力なツールとなる顕微鏡検査では、材料の特性を支配する微細構造の特徴が識別できます。TWIの光学顕微鏡検査設備は、サンプルを1,000倍まで拡大して画像表示することができ、こうした画像を分析し、さまざまな微細構造の凹み、亀裂、被覆、粒度、体積/面積分率などの特徴から、正確な測定が可能になります。

TWIは、顕微鏡検査の手順と結果をライブ映像で顧客に直接提供できる技術を導入した初めての企業で、それにより、検査過程で企業メンバーにリアルタイムに通知できる方法を発展させてきました。

TWIは、三眼顕微鏡と立体顕微鏡をWebExシステムに接続した特殊なウェブカムを使用し、検査分析のライブ映像を顧客に直接提供します。構造全体の拡大図から、拡大部の顕微鏡写真に至るまで、TWIチームが検査している材料の鮮明で解像度の高い映像にアクセスすることができます。

この技術は、分析プロセスを検証できるばかりでなく、分析に積極的に参加することができます。顧客が質問を出し、映像の特定のエリアにフォーカスをし、疑問を即座に解決できるのは初めてのことです。また、顧客は検査過程で静止画像を作成し、記録として保存することもできます。

サンプルが現場にあり研究施設に移動できない場合は、特別に準備されたアセテートを使用して、それぞれエッチングした表面のレプリカを作ることができます。このアセテートは、高度な光学顕微鏡検査の対象にできる形に材料の微細構造を複製します。

この技術の進歩は、研究開発活動の一環として金属組織学分野の評価や破損解析など応用の幅を大きく拡げます。破損解析の場合、この技術はライブのため、表示される映像は正確で、どのような形にも改竄されていないことが保証されます。

この技術は金属だけではなく、セラミック、複合材料、ポリマー、有機材料などの幅広い材料に使用できます。

TWIの顕微鏡検査の詳細は、弊社までお問い合わせください。

TWIのユニークな試験能力
Unique testing capabilities at TWI

解析方法は発展し続けていますが、実地試験に勝るものがないケースは数多くあります。実験にはさまざまな形があり、たとえば材料の張力特性を確立するために応力歪み曲線を明らかにする単純な材料試験もあれば、コンポーネントが使用される実際の環境で実物大のコンポーネントを試験するやり方もあります。当然のことですが、こうした2つの極端な試験の間に数多くの中間レベルの試験が存在します。

TWIはメンバーに対して彼らの製品が対象とする用途に適しているという確信を高め、事業のリスクを最小限に抑制できるようなサービスを提供するために、独自の試験設備の維持と拡張に引き続き力を入れています。

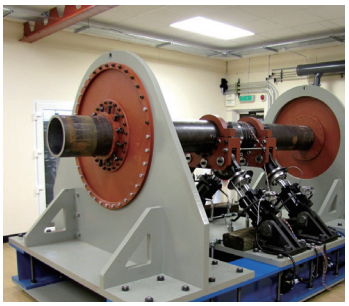
実際、TWIは、数百種類の標準的な試験用機械から、非常に複雑な環境を念頭に開発された試験技術に至る、幅広い試験能力を備えています。基本として、TWIには製品の使用時に考えられるさまざまな環境を再現するための特殊な試験設備を開発した実績があります。

そのいくつかの例には、さまざまな気体と環境における高温および低温試験、高腐食条件試験、超高圧試験があります。必要な試験に応じて多くの試験設備が特別に開発されています。

共振疲労試験
Resonance fatigue testing

共振疲労実験設備は、直径2メートル（check）までのパイプ接合部に一定振幅または変動振幅を加えることができます。接合部の疲労性能を確立するためには、この作業が欠かせません。疲労性能はパイプの寸法の選択に大きく影響します。

サワーサービスにおける実物大の疲労試験
Full scale fatigue testing in sour service

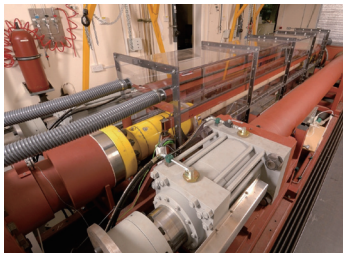


TWIはこの特筆すべき設備で、異なる条件下でのさまざまな直径のパイプにおいて全面的な疲労試験を実施することができます。特に、5.0pHの二酸化炭素において分圧が7kPaの硫化水素の酸性環境は、海底のライザーパイプが被る酸性条件を評価するために、摂氏25度で実施されます。

マルチモード負荷での試験
Testing under multi-mode loading

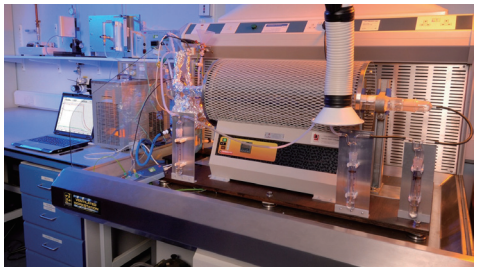
二軸試験設備は、パイプ接合部に負荷条件を加えることができます。例えば、パイプに軸方向の負荷か曲げ負荷をかけながら、高圧試験が実施できます。この作業は、氷層の隆起や地震による負荷がかかる可能性がある部品の性能を顧客が評価する助けとなります。

フレシキブルライザーとフローラインの評価
Evaluation of flexible risers and flowlines



フレシキブルライザーとフローラインは、石油・ガス業界で次第に見られるようになりました。TWIは、様々な厳しい環境下で小型および大型試験用具を使用し、劣化と環境反応（environmental response）の一因となる基本的要素の定量化を目指しています。

高温腐食試験
High temperature corrosion testing



このユニークな試験設備は、高温の腐食環境における材料性能を評価するためのものです。試験は摂氏1,000度までのさまざまな化学環境で実施でき、塩素による腐食と金属塩による腐食に関する問題を調べることができます。このタイプの試験は、特に電力分野に関係しています。

TWIは近年、欧州、米国、日本、中国、南米、中東のメンバーに対し、特定の全面的複合的試験を実施しています。どのような形態の試験を希望するメンバーも、要件の相談に応じますので、まずはTWIにお問い合わせください。

Technology briefings 概要書

スパースアレイを使った高速の フルマトリクスキャプチャ超音波探傷検査の開発
Development of fast full matrix capture ultrasonic inspection using sparse arrays
M Weston、C Nageswaran
レポート 1020/2012

本レポートでは、フルマトリクスキャプチャ（FMC）超音波データ収集技術の開発と、それに関連する信号処理アルゴリズムについて説明する。 FMCに関連する集中処理により、高画質を維持したまま検査速度を改善することに主な焦点が当てられた。このレポートは、画像のフレームレートを改善するための新たなスパースアレイ設計の使用について特に研究している。また、最小限の処理能力で層状材料を通した検査を可能にした高効率の新しいアルゴリズムも開発された。初めてのことだが、 FMCのイメージ感度を較正する方法も提案された。こうした較正方法は、既存のフェーズドアレイ技術を基に調整・開発された。

目的

- 斜角ビーム探傷検査を容易にするために、ウェッジを使用または不使用の接触モード探傷検査のためのFMCアルゴリズムの開発と、現在の産業規格である既存のフェーズドアレイ技術との性能比較
- 新しいスパースアレイ要素設計の実装と、画質および検査速度に関する性能の向上/低下の決定
- FMCと使用する検査感度を較正するための新しい技術と手法を開発

FEAのための応答表面モデルを使用した パイプライン亀裂の可能性評価
Probabilistic assessment of pipeline flaws using response surface model for FEA
D Zhou、M Warwick
レポート 1021/2012

亀裂に対して構造物の完全性を評価する現在の方法は、ほとんどが決定論的である。有限要素解析または解析公式は、特定の傷に対して割れ目を引き起こす力の単一値を識別するために使用されている。つまり、これは、 BS 7910 (BSI, 2005) や R6 (EDF Energy Nuclear Generation Ltd, 2001-2011) に説明されている手法などの標準工程に基づいて構造物を評価するために使用されている。負荷、材料特性、幾何学的パラメータに固有の可変性により、溶接構造物の破壊応答と信頼性の統計的分布を評価するには、確率論的方法論が必要である。BS 7910とR6は２つの異なる手法（BS 7910の部分安全係数方法とR6の簡略した確率論的方法）を提案しているが、これらの方法にはいくつかの制限がある。たとえば、こうした手法は主に包括的な弾性応答に対して確立されるが、その確率論的破壊力学手法も塑性破壊の確率を評価するために使用できることが認められている。

この研究は、大きな塑性変形を被る亀裂を含む構造物の欠陥確率を、数値モデリングを通して検査するための枠組みを開発するために実施された。亀裂のあるパイプ構造物の完全性に対する決定論的解析は確立されている。こうした亀裂の確率論的解析は、評価結果に信頼性を与え、最も影響力の大きいパラメータを識別する助けとなる。

目的

- 有限要素解析からのインプットを使用して、確率論的欠陥解析の一般的手法を開発
- 大きな変形で亀裂のあるパイプの確率論的欠陥解析にこの手法を応用

検査プロセスの論理的シミュレーションに基づく 超音波検査のための検出確率曲線の評価
Estimation of probability of detection curves for ultrasonic testing based on theoretical simulation of the inspection process
C Schneider、R Sanderson、C Carpentier、C Nageswaran、L Zhao
レポート 1022/2012

亀裂を検出するために設計された非破壊試験（NDT）手法の能力を決定することは、良好な検査プログラムを実施する重要な部分である。検出確率（Probability of Detection、 POD）の概念は、亀裂を検出するときに有力な要因の影響を受ける検査能力を確立するために産業界で使用されている。これは、 POD曲線として表されることが多く、普通は亀裂の大きさである特性因子に検出の可能性を（Y軸に沿って）関連付ける。したがって、一般的に、亀裂の大きさが（X軸に沿って）増えるにつれて、その大きさの亀裂を検出する検査システムの可能性も高くなる。つまり、亀裂の検出能力に悪影響を与えるこうした要因は、一般的に亀裂の大

きさが増えるにつれて小さくなる。
このレポートは、TWIが公表しなかった過去の研究で使用されたケースに対するPOD曲線を作成するための2つのモデルの使用を検査するために実施された研究を紹介している。
2つのうちの最初のモデルは、EDF Energyコードに基づくPEDGEである。TWIは、PEDGEによって出力された個別のモデリング結果からPODを作成するために、いくつかのケースを順次実行する新しいコードの中にPEDGEソフトウェアを埋め込んだ。この新しいコードは、PODPEDGEと名付けられた。PODPEDGEの中の基本的なPEDGEコードは、基本的理論の詳細な検証と実験的事実に対する確認の後で、1990年代初期にBritish Energy社の検査グループによる使用のために公表された。このコードは、パルスエコー超音波検査構成において、特定の滑らかな平面傷から超音波応答を評価することができる。
このプロジェクトで検査された2つ目のモデルはCIVAとして知られ、フランスの原子力庁（Commissariat à l'Énergie Atomique、CEA）が開発した。これは、超音波、渦電流、X線写真技術を使ってさまざまな検査作業をモデル化するために設計されたソフトウェアモジュールのシミュレーション用プラットフォームである。このモデルの有効性は、以前の研究プロジェクトでTWIによって検証されており、CIVAの能力を確立するために他の組織（主にCEA）が設立した主要研究団体がある。
このレポートは、PODPEDGEとCIVAでシミュレートしたケーススタディについて説明している。最初に2つのモデルの性能を個別に検討し、次に各モデリングパッケージの関連特性について論じる。このプロジェクトは、現実的なPOD曲線を理論的に作成する可能性を確立することを目的とし、PODモデルとモデル支援型（model-assisted）PODの基本概念の両方を改善するために提案を行う。

目的

- 超音波検査プロセスの論理的シミュレーションによって、現実的なPOD曲線を評価できる可能性を提示
- POD曲線を評価するための異なるソフトウェアツールの性能を比較
- ソフトウェアツールの効果的な使用法についてガイダンスを提供

被覆パイプにおける周溶接の残存応力の測定および予測方法
Methods for measurement and prediction of residual stresses in pipe girth welds in clad pipes
M Joosten、L Wei、M Gallegillo
レポート 1023/2012

溶接残存応力のレベルは、パイプラインの周溶接などのような構造物またはコンポーネントのエンジニアリングクリティカル評価（ECA）における重要な問題である。
パイプの周溶接における残留応力の肉厚方向の分布を検査するために、多くの実験的および数値研究が行われている。その結果、BS 7910 (BSI, 2007)、R6 (EDF, 2011)、API 579-1/ASME FFS-1 (API, 2007) などの目的適合性手法で推奨された残留応力プロファイルが登場している。しかし、被覆残留応力の検査研究（Wei et al, 2010）の結果と同じように、異なる金属継ぎ手につながる耐食（CRA）消耗品を使用して（被覆材と同様に）周溶接が一般的に施された被覆パイプに対する残留応力の結果はほとんどない。
クラッディング残留応力に関する研究のほとんどは、原子炉圧力容器の実用性に関して溶接被覆検体を使用して実施された。しかしオーバーレイ溶接のクラッディングは、ホットローリングプロセスで作られる被覆パイプラインにおける周溶接といった実際の構造物にはほとんど使用されていない。実際のところ、評価手法で与えられたどの残留応力プロファイルも被覆パイプに対して開発されなかった。したがって、溶接パイプの周溶接の情報をECAに提供するために、これらの溶接の溶接残留応力の調査を実施する必要がある。

目的

- さまざまな測定技術を使用した、被覆パイプ周溶接の溶接残留応力の測定
- 被覆パイプ周溶接の溶接残留応力をシミュレートするためのABAQUSおよびSYSWELDを用いたFEAモデルの開発と検証
- 溶接残留応力に関する入熱、材料硬化モデル、降伏強度、溶接開始/停止の効果の評価
- 被覆パイプ周溶接のエンジニアリングクリティカル評価で残留応力の検討を提言

厚板C-Mnスチールのための真空チェンバー外電子ビーム溶接
Out-of-chamber electron beam welding for thick section C-Mn steel
C S Punshon、A Sanderson
レポート 1024/2012

大規模な厚板溶接について、頑丈な真空チェンバーを必要としない電子ビーム溶接（EBW）の使用に対して産業界の関心が高まっていることから、加工物と接触するスライディングシールの付いた局所的真空EB溶接ヘッドが開発されている。
当初の開発目的は、ビーム発生器を小型の真空チェンバーの上に設置することにあり、深い溶け込みが維持できる圧力範囲を決定するために実験が行われた。その後、小規模なテスト溶接ができるようにトラバース装置が取り付けられることになった。しかし、メンバーの要求の性質の変化という観点から、肉厚プレートと筒状コンポーネントに可搬式スライディングシールを使用する現在調整されている開発研究をサポートするために、プログラムの重点が変更された。

目的

- 以前の研究で確立された局所真空可搬式スライディングシールを、再現可能で堅牢な実験室応用の位置に引き上げ
- 溶接性能を評価するために、小規模な溶接設備のプロトタイプを確立
- 識別された大規模組立のニーズに溶接性能を調整

長距離ガイド波を使用した湾曲部のあるパイプのモデリングおよび検査
Modelling and inspection of pipes containing bends using long-range guided waves
R Sanderson
レポート 1025/2012

ガイド波検査の利点は、数十メートルのパイプ容積を単一箇所の検査で完全にカバーできる点にあるが、ガイド波の動きは複雑である。多くの可能な振動モード、分散、多重反射といった考慮すべき多くの要因がある。ガイド波検査技術は、ケースに入いった掘削できない埋設管（cased road crossings）のように、入口でしか検査に使用できない（unpiggable）パイプラインの部分に対して潜在的に大きな価値がある。しかし、このような状況において、パイプには湾曲部があることが多く、湾曲の存在は特に急角度の湾曲で受信信号が歪むことが知られている。この問題に対処するために、有限要素解析と実験を組み合わせて比較的急角度の湾曲例においてガイド波の動きを理解する研究が行われている。ここに紹介した研究は、TWIの過去の中心的な研究プログラムプロジェクト（Sanderson et al 2003a, 2003b, 2007, 2008, 2009）で行われた研究と、他の研究者によって行われた研究に基づいている。

目的

- パイプの湾曲部周りのガイド波伝播の動きを調べるために、有限要素モデリングを使用
- 有限要素法の解析結果を実験で検証
- 湾曲の周りの伝播によって引き起こされた信号の歪みを収集する技術を開発

小さな疲労割れに対するフェーズドアレイ超音波検査の有限要素モデルの検証
Validation of finite element models of phased array ultrasonic inspection of small fatigue cracks
D Panggabean、C Carpentier
レポート 1026/2012

このレポートは、製造中に発生した小さな疲労割れまたはひびに似た欠陥

の検査をモデル化するための有限要素解析（FEA）の性能を評価するために、超音波フェーズドアレイ技術を使用してTWIで実施した検証プログラムで得られた結果を紹介している。
FEAは、複雑な形態の割れ、クラスター状に集まった割れ、超音波波長にわずかに関係する割れをモデル化するためのさらに正確な方法になる可能性がある。このプロジェクトでは、小さな割れのモデル化は、割れの検出を最適化するために高周波のトランスデューサーの使用を必要とした。
いくつかのFEAパッケージは、超音波の伝播問題を解決するために利用できる。Piezo-Electric Fast Large and Explicit (PZFLex) は、Weidlinger Associates社が開発した有限要素ソフトウェアパッケージである。当初は振動が問題となる土木工学上の問題のために波動を予測するために開発された。その後、研究は医療環境とヒト組織の超音波波動のためのトランスデューサーに向けられた。現在は、検査問題と圧電センサー仕様をモデル化するためにこのソフトウェアが使用されている。
小さな割れからの（つまり、2つの超音波波長より小さい）信号を正確に予測できるモデルは、たとえばASMEボイラーおよび圧力容器法に定められたCode Case 2235-9などの製造規格に対して実施する超音波検査の能力を確証するために応用できる。
このCode Caseは、異なる溶接厚みと割れアスペクト比のための割れ許容基準を指定している。長い割れを含む薄板溶接部の許容基準は、スモールハイトの割れの排除（rejection of flaws of small height）を要求する傾向にあり、こうしたケースの一部は、半解析的な方法では正しくモデル化できない。この制限は、低い検査波長（つまり、大きな波長）が必要なオーステナイト粗粒子材料にとって特に重要である。
このレポートは、以前の進捗レポート（Carpentier and Panggabean, 2011）の結果を要約し、プロジェクトの後半段階の追加的な結果を紹介している。つまり、大きさと角度の異なる割れをモデル化するためのFEAパッケージPZFlexの精度が調査され、フェーズドアレイトランスデューサーをモデル化するためのソフトウェア性能が評価される。

目的

- ノッチを破壊する方向の誤った滑らかな表面（smooth misoriented surface breaking notches）からのコーナーエコーの予測とフェーズドアレイトランスデューサーによって発生した音波ビームに対するFEA方法の能力調査
- 小さな垂直ノッチからの実験的信号と対応するモデリング予測を比較することによる小さな割れ（つまり2つの超音波波長より小さい）の検出および以前の研究と比較したフェーズドアレイ音圧ビームの予測に対する、PZFlexの有効性範囲の調査
- フェーズドアレイトランスデューサーのモデル化に対するソフトウェア性能の調査と、ビーム計算のためのモデリング結果と他のモデリングパッケージに関する以前の研究との比較

摩擦溶接による案内羽根とブリスク(blisk)の積層造形
Additive manufacture of blisk and guide vanes by friction welding
A J Robelou、M J Russell
レポート 1027/2012

高性能の材料の購入価格と加工費用は現在のところ比較的高く、特にチタンとニッケル合金にこれが顕著である。特に肉厚形態そして/または大量注文に対して納期も制限される可能性がある。また、高力アルミニウムや高性能スチールといった材料に対し、加工費用はもっと控えめであるかもしれないが、購入費用は比較的高止まりする可能性がある。
摩擦溶接技術（回転摩擦溶接、リニア摩擦溶接、摩擦攪拌溶接を含む）は、ニアネットシェイプ（near net shape）部品を組み立てるために使用される積層造形（additive manufacturing）方法に応用できる。これは、比較的小さい/単純な形状部品を互いに、そして/または基本部品に連続して溶接することで達成される。この方法により、原材料の必要量を大幅に減らし、部品のコストを引き下げ（金属塊からの機械加工と比較した場合）、製造期間全体を短縮し、消費エネルギー量を抑制することができる。
このプロジェクトの目的は、いくつかの産業分野で摩擦積層造形に可能な応用技術を識別して提示することにある。このプロジェクトは、摩擦溶接を使用する製造の可能性を提示するために、さまざまな高性能合金で一連の実証試験用のピース/サンプルを生成して評価する。摩擦積層造形に対する可能性の調査結果と、2種類の実証コンポーネントの製造がこのレポートで詳しく説明されている。

目的

- 可能な限りの材料と摩擦溶接プロセスを考慮し、摩擦溶接による積層造形を高付加価値コンポーネントに応用するときの現状を確立
- 摩擦溶接による積層造形に適した代表的パーツを多く識別し、多くの産業分野に関係する技術実証コンポーネントを製造

厚肉型鋼のマルチパスファイバーレーザー溶接の予備調査
Preliminary investigation into the multi-pass fibre laser welding of thick section
C M Allen
レポート 1028/2012

石油、ガス、電力を含む多くの産業は、例えばパイプの接合や圧力容器の製造など、厚肉型鋼とステンレス鋼の溶接における高い品質、高い生産性、歪みの少ないプロセスを必要としている。それに応えるため、マルチパス狭開先アーク溶接技術が開発されてきたが、こうした技術の生産性を問題視することができる。電子ビーム溶接はシングルパスで厚肉型鋼の溶接ができるが、真空状態での溶接の要件からその使用を思いとどまる潜在的なユーザーがいる。
25mmを超える肉厚部は、最も出力の高いレーザーを除くレーザー溶接において、真空チャンバー外のシングルパス性能を未だに用いることはできない。しかし、レーザーは、狭開先アーク溶接と同様の高い生産性を持つ狭開先マルチパス溶接に使用することができ、実際に使用されている。現代のファイバーおよびディスクレーザーが提供するビーム出力、出力密度(狭い焦点スポットサイズを通した出力密度)、スタンドオフ距離（stand-off distance）が改善されれば、こうしたマルチパス溶接用のレーザーの性能はさらに高まることは間違いない。このレポートはそれについて詳しく説明している。

目的

- 厚肉型鋼（25mm）の高品質なマルチパスファイバーレーザー溶接のためのパラメータを開発
- 接合完成率を最大限にする適切な溶接パラメータを決定

熱溶射皮膜の接着および密着力の測定のための接着剤と試験方法の評価
Evaluation of adhesives and test methods for measurement of adhesion and cohesion strength of thermal spray coatings
M A Riley
レポート 1029/2013

熱溶射皮膜と接着基面の間の接合力は多くのコーティング応用にとって重要であり、プロセスと材料品質を保証するために接合力の測定がしばしば必要になる。これに関しては、以下のようないくつかの規格がある。

- ASTM C633-01 (2008年に再承認) - 熱溶射皮膜の密着または接着力の標準試験方法（Standard test method for adhesion or cohesion strength of thermal spray coatings）
- BS EN 582:1994 - 溶射。引っ張り接着力の測定（Thermal spraying. Determination of tensile adhesive strength）
- ASTM D4541-09 - 携帯型密着テスターを使用したコーティングの引き離し強さの標準試験方法（Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers）
- ASTM F1044-05 - リン酸カルシウムコーティングと金属コーティングの剪断試験のための標準試験方法（Standard test method for shear testing of calcium phosphate coatings and metallic coatings）

こうした試験は、引っ張りまたは剪断負荷の対象となる試験片アセンブリを

作成するために、塗面を別の面に接着する必要がある。一部の熱溶射皮膜は強度が高いことから、コーティングボンド部ではなく接着剤で試験アセンブリが破損することは珍しいことではない。TWIは、たとえばこの目的でFM1000という高強度のフィルム接着剤を以前から使用してきたが、同様の接着力があり、使いやすくて価格が安く、保存期間の長い接着剤が必要とされている。また、熱に敏感な接着基面と被覆に熱によるダメージを避けるために、低い温度で、できれば自然放熱で凝固する接着剤のための要件もある。こうした問題がこの研究の最初の部分で取り上げられ、上述の試験で使用するために適切な２種類の接着剤が識別される。
引張り試験方法は広く行われているが、剪断試験は一般的ではない。そして、整形外科インプラント、シャフト、ジャーナル、ベアリングを含めた反対面への相対運動でコーティングが施される多くの応用には剪断破壊の可能性があるにもかかわらず、熱溶射皮膜に対して公表されたデータはほとんどない。この研究は、研究の最初の段階でASTM F1044に基づいて選択して試験した接着剤を使用して、産業で代表的な熱溶射皮膜と金属基板の選択のための剪断耐久度のデータを作成している。
コーティングの結合力も、特にコンポーネントの寸法復元や溶射成形にコーティングが施される応用で重要になる。また、粒子境界や、コーティングを形成する溶射粒子、つまり、摩損の結果として分離または破砕する粒子の内側で破壊が発生するかどうかにも関係する。この研究は、多くの産業関連熱溶射皮膜の結合力を測定するためにコールドスプレーコーティング（Schmidt, 2008）用に開発された筒状被覆引張（tubular coating tensile、TCT）試験方法を評価している。

目的

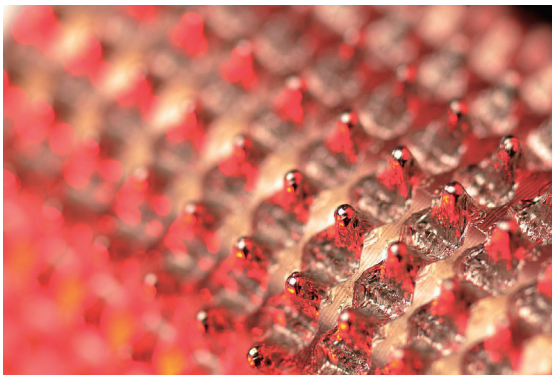
- 熱溶射皮膜の密着および接着試験、つまり、ASTM C633（引張試験）、ASTM D4541-09（携帯型密着試験）、ASTM F1044（剪断試験）で使用する別の強力接着剤を識別
- 代替接着剤を使用したASTM C633に基づいて多くの熱溶射皮膜の引っ張り状態における密着および接着力を測定
- 多くの熱溶射皮膜の剪断強度を測定するためにASTM F1044剪断試験（元は医療用コーティング向けに開発）を使用することの適不適を評価
- 熱溶射皮膜の結合力を測定に対するTCT試験の適不適を評価し、産業で代表的な高速オキシ燃料、ツインワイヤアーク、溶射を選択するためのTCT試験データを作成

誕生から100年を迎えたステンレス鋼
Stainless steel is 100 years old

英国シェフィールド（Sheffield）のR E Moseley社でカトラリー担当マネージャーだったErnest Stuartと共に働いた後、Harry BrearleyはFirth Brown Research Labsに移り、1913年に1本のナイフを創りました。これがErnest Stuartの言葉でいう「ステイン・レス（サビなし）」です。つまり、このときからステンレス鋼の生産の100年の旅が始まりました。ステンレス鋼の生産量は2011年に2,400万トンを超えました。

ステンレス鋼は、金属食器にのみ使用された時期から100年に渡る長い旅を経て、化学処理から建築に至る多くの分野で応用される重要な道具になりました。つまり、クロムを11%含む単純な鉄鋼を初めとして、利用可能なこの合金はさまざまな構成物に応じてフェライト系、マルテンサイト系、オーステナイト系、二相系に拡大しています。耐腐食性の他にも、磁気特性、低温靭性、耐熱性（retention of strength at temperature）を利用した用途があります。

TWIでは、多くのステンレス鋼が重要な役割を演じており、TWIの研究開発プログラムの一端を担い続けています。TWIの腐食研究施設は、ステンレス鋼の溶接性と性能の理解に大きく貢献したTrevor Goochの功績を称えています。プロジェクトには、摩擦攪拌溶接(FSW)などのプロセス応用と水素脆性などの破壊メカニズムの研究が含まれています。下記写真は、超二相ステンレス鋼の水素割れの結晶粒マップで、電子後方散乱回折（EBSD）技術を使って撮影しました。



ニューヨークのクライスラービルを設計した著名な建築家William Van Alenは、"鏡のように反射する真に驚くべき"材料について、次のように述べています。

「私の意見では、18-8ステンレスは恐らく現存する最も耐久性のある材料で、輝かしい未来が待っている。大気条件による劣化作用はないようなので、鉄骨構造物はさほど遠くない将来に外面に最小限の管理維持が必要な完全な耐候性構造で覆われると思う。壁の気密性は暖房に必要な熱の節約になろう。」　William Van Alenが正しかったようです。

超音波誘導波を使用した、地上貯蔵タンク底の監視
Monitoring of above ground storage tank floors using ultrasonic guided waves

地上に設置された常圧貯蔵タンクからの液体漏出は大きな問題です。ほとんどの国はタンクからの潜在汚染物質の流出を防ぐための厳格な規制基準を設けており、そのため、タンクとターミナルの管理者にとっては流出が起こらないよう確認することが大きな重荷になっています。

TWIが長年にわたって開発を続けているモニタリング技術では、タンクの外回りに常置された沢山のセンサーでタンクの底全体を検査するために低周波超音波を使用しています。超音波誘導波には長距離を伝播する特徴があるため、タンクの片側からの信号を反対側のセンサーが受け取ることができます（最大直径30m）。一連のセンサー間の送受信信号を組み合わせることにより、底全体をカバーすることができます。また、センサーからデータを定期的に読み取り、タンク底の状態の長期的傾向を判断することができます。

こうしたタンクの円形形状では、発信された超音波信号からタンク底の画像を再構成するためにトモグラフィー法を使用することができます。画像は、タンクの周囲の多くの角度位置で情報を収集し構成されます。
タンク底の縁回りにセンサーがいくつか設置されており、単一のトランスデューサーから発信された信号は、タンクの反対側にある同様のセンサーにより捕獲されます。各センサーの発信に対してこのプロセスが繰り返されます。

それぞれの伝播経路には、その長さに従い超音波伝播に関する情報が含

まれます。したがって、溶接や接着またはその他の特徴の結果は、再構成された画像の中にすべて取り込まれます。これは、医療分野で使われているX線や磁気共鳴効果を使用した断層撮影法のプロセスと同じです。つまり、このような画像は、監視を開始するときのタンク底の基本状態になります。

試験システムが安定している場合、底からの基本信号は常に一定しているはずです。（温度やタンク内の液体レベルなどの要因による信号には短期的な変動があり、説明の必要があります。） しかし、底の状態に変化が生じると、たとえば、腐食の斑点ができはじめると、その変化は信号に反映されます。

この技術性能は、英国サラック（Thurrock）にあるVopak社の直径8.5mタンクと、 TWIの直径4mタンク（写真）で証明されています。

Vopak社の直径8.5mのタンクの底

TWIの直径4mのタンク

48個のセンサーがタンク底の周囲に等間隔に取り付けられ、試験システムが安定していることを確かめるために基本データが収集されました。次に円形欠陥が施され、試験が繰り返されました。この試験では直径50mmの円形欠陥が検出され、さらなる研究で、構成された画像において、多重欠陥の影響が検証されました。

TWIは、この開発技術が実際のタンクに適用できることを検証するために、共同企業プロジェクト（Joint Industry Project）を立ち上げています。そして、この方法が有効であることをタンク管理者と規制当局の双方に示すために、その評価が業界のニーズに応え、管理されたやり方で収集される運用データが十分であることも検証します。タンクの運用および検査コストを削減するこの革新的な方法を支援することが企業に求められます。

英国技術戦略委員会（UK Technology Strategy Board）のこの調査への資金面の支援と、 Nustar社、 Shell社、 Vopak社の本プロジェクトへの支援にお礼を申し上げます。

このプロジェクトに関する情報は、電子メール（info@plantintegrity.com）または電話（+44 (0)1223 893994、英国ケンブリッジ本部）までお問い合わせください。

バッテリーのエンドタブを溶接するための新しい手法
Novel method for welding battery end tabs

異種金属の接合方法についてTWIで実施された研究は、バッテリーセルの性能に絶大な効果があります。

バッテリーセルは並列、直列またはその両方で接続できます。セルの並列接続はより大きな電流を供給できますが（セルの総電流）、電圧はセル1本と同じです。

一般的に、金属製タブはセルが互いに接続できるようにセルの陰極と陽極に溶接されます。十分な電池性能を保証するには、エンドコネクタとターミナルの間で正しい接続が維持される必要があります。

こうしたセルの接続には、スポット溶接を使用することが一般的ですが、接合の質によってバッテリーそのものの性能全体に影響します。これに代わる手法として、摩擦攪拌溶接（FSW）を用いる方法があり、溶接部を最大限にして十分な電流散逸を可能にするといった多くの利点があります。FSWは、アルミと銅といった異種金属も接合できます（写真）。

ポリマーのバリア性能検査のための透過試験の新施設
New facility advances permeation testing for determining the barrier performance of polymers

ポリマー（エラストマー、熱可塑性プラスティック、熱硬化性プラスティック、ハイブリッド有機非有機系）のバリア性能を予測することは容易ではありません。

透過性は、組織のわずかな変化や、材料への薄いコーティング層の添加で大きく変化します。他の要因の中では、保存の状態も透過度に影響を与えます。信頼ある評価と説明を保証するためには、複数のサンプルで同時に試験を行うことが理想的です。

TWIでは、新たな専用の多目的装置を導入したことで、企業は加圧下でのバリア性能を迅速かつ正確に予測できるようになりました。現在のところ、内面被覆パイプ内の腐食保護や、石油・ガス生産分野のフレキシブルライザー応用における炭化水素閉じ込めといったハイエンドの熱可塑性プラスティックがこの装置を使用して評価されています。

TWIの専門家は、ポリマー材料の透過試験用の高圧装置を設計・製作しました。この新装置では、材料をさまざまなガス混合体で試験し、性能に関して等級付けすることができます。この装置は、現在のポリマー測定能力を拡張し、 4枚のポリマーディスクを最大650もの細かい圧力間隔と100℃までの温度でガス混合体に露出させることができます。二酸化炭素、メタン、硫化水素といった混合物のコンポーネントは、異なる比率でポリマー薄膜を通り抜け、ガスクロマトグラフで計量できます。こうした濃度時間

プロファイル（concentration time profile）を解析して、透過性、拡散性、溶解性の比率を確定することができます。

TWIは、さまざまなコラムや検出装置を使用した研究を計画しています。これにより、永久ガス(H2, O2, N2, CO)、希ガス(アルゴン、キセノン、ネオン、ヘリウム、クリプトン)、 C1からC10までの炭化水素、または、 H2O、NH3、アルコールなどの極性化合物の検出が容易になります。
詳細は、TWIウェブサイトのMaterial Propertiesページにアクセスするか、TWIまでご連絡ください。

オーステナイト被覆における応力腐食割れのフェーズドアレイ超音波探傷検査 Phased array ultrasonic inspection of stress corrosion cracking in austenitic cladding

ステンレス鋼のオーステナイト被覆における応力腐食割れ（SCC）には、いくつかの主要産業が大きな関心を示しています。 TWIは、この破損メカニズムの解明と特徴付けを改善する一連の研究開発プログラムに取り組んでおり、その目的は、製造後と使用中のコンポーネントの構造的完全性評価を改善することにあります。業界には、異なるアプリケーションに適した被覆の方法がいくつかあります。

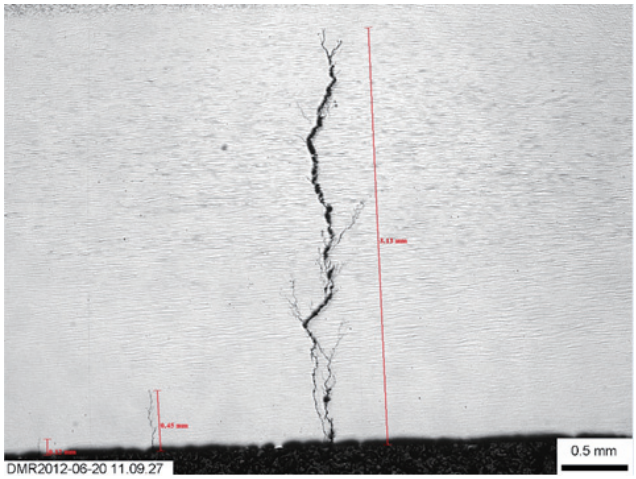
TWIは、金属結合、肉盛り溶接、機械的／摩擦ライニングなど最も広く普及している一連の被覆タイプにおける能力を確立し、開発を続けています。そしてこれらの被覆タイプそれぞれが、相当な設計努力と検証を必要とするさまざまな検査課題を提供しています。

TWIは、最近一つのプロジェクトを完了しました。そこでは、溶接ジョイントで金属被覆と肉盛り被覆の両方を行う加工工場で処理するコンポーネントの、使用中の検査を求められました。この要求は、縦と横の断面の両方で行われた溶接に隣接する被覆でSCCが識別されたことで生じました。劣化原因を識別するための欠陥調査が材料と処理状態の解析を通して実施され、それと同時に、使用中の被覆システムを外面から検査するための超音波技術の設計と開発が始められました。

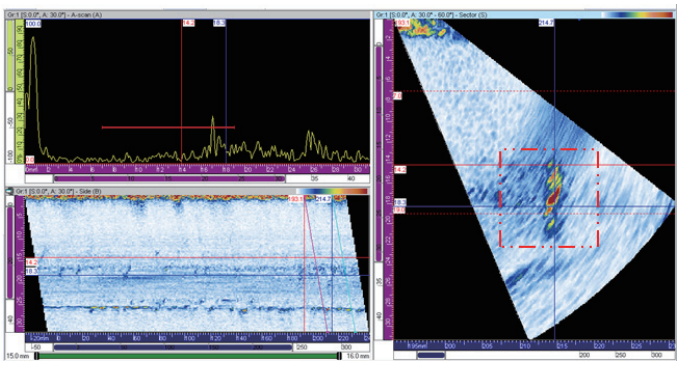
フェーズドアレイ超音波技術は標準試験片を使用して設計され、使用中に見つかった実際の破損に対して感度が設定されました。非常に早い段階で発生する破損に敏感になり、破損の性質を正確に特徴付けるために高周波プローブが選択されました。さらに、可能なあらゆる方向で見つかるはずの割れを検出するために検査を構成するには、破損全体を正しく検出するためのツールの単一セットを製作する必要がありました。次に、これらの技術はTWIの施設での一連の立ち会い検査およびセクショニング（sectioning）でクライアントに提示されました。この実証の成功の後彼らは、コンポーネントを破壊して取り除くことを避け、長期管理プログラムへとつなげるため、使用中のコンポーネントの評価を完了するためのオンサイトでの検査をTWIに引き継ぐように依頼しました。

TWIは現在、 316ステンレス鋼とニッケル合金625のSCCと小さな割れを検出して特徴付けるための超音波技術を開発するコアリサーチプログラム(CRP)計画に取り組んでいます。過去の経験から、こうした技術の効率的な開発は、実際の割れにアクセスできることに左右されることがわかっています。このため、 SCC（液体浸透探傷検査などで開発の一部として区分できる表面技術で確認）も含めた上述の肉盛り被覆システムで試験片を提供できる企業メンバーは、このプロジェクトへの参加が求められています。ここで開発された検査技術はTWIメンバーに公開され、成形加工後や使用中のコンポーネントに適応・応用することができます。

お問合せ先： ndt_dept@twi.co.uk



貫通サイズが0.25mm未満から3mm以上の範囲のSCC損傷


エンジニアリグクリティカル評価のために組織の特徴付けと貫通サイズ（through-wall size）などの重要情報の抽出が可能な、 横走SCCの超音波映像

TWIの定期刊行物

ニュースレターのコピー版は、TWIメンバーシップ部門までお申し込みください。

編集: Penny Edmundson

技術&メンバーシップのお問い合わせ先:
Graham Wylde, Email: Graham.Wylde@twi.co.uk
Fred Delany, Email: Fred.Delany@twi.co.uk
TWI Ltd., Granta Park, Great Abington,
Cambridge CB21 6AL, UK

角張隆男、福田哲夫
TWI Japan at UK Dodwell／(有) ドッドウェル
〒110-0014 東京都台東区北上野1-12-4 シティーアドバンス901
TeL／Fax: 03-5826-7375
寺田重夫（西日本）、0797-24-2367
共通E-mail: dodwell@d1.dion.ne.jp

発行: TWI Ltd, Granta Park, Great Abington,
Cambridge CB21 6AL, UK
TeL: +44 (0)1223 899000
Fax: +44 (0)1223 892588
Email: twi@twi.co.uk
URL: www.twi.co.uk
(c) copyright TWI Ltd 2013
記事の転載にはTWIの許可が必要です。電子メディアへの保存を禁じます。