

第8回チタン世界会議

金属材料技術研究所 第2研究グループ

サブグループリーダー 長井 寿

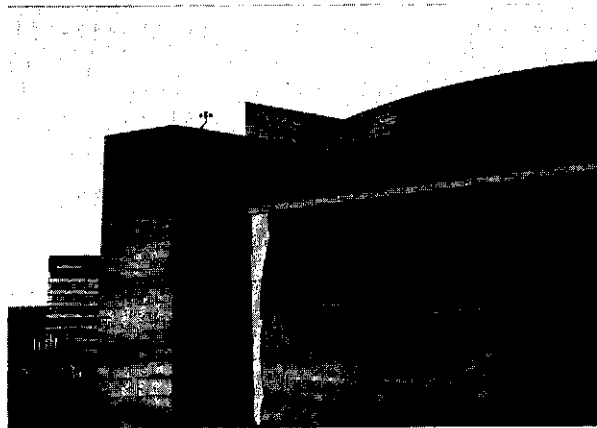
(平成7年度国際会議等参加助成 AF-95042)

1. 開催日：1995年10月22日～10月26日

2. 開催場所：イギリス、バーミンガム市
国際コンベンションセンター

バーミンガム市はロンドンに次ぐ大都市であり、ロンドンからインターシティのシャトル鉄道便で90分という便利なところである。しかし、多くのイギリス旅行ガイドブックを探しても200ページ中せいぜい1ページの紹介があるかどうかであり、大都市の割には観光的には有名でない工

業、商業都市といった性格を持っているようだ。日本で言えばアミューズメント施設、観光名所をなくした大阪といったところだろうか。だが中心街を歩いても大都市という風格の感じられない不思議なところだった。国際コンベンションセンターは鉄道の中心駅から徒歩で15分以内に立地していて意外と便利で、写真にみるようにオフィスビルのような外観、デパート風の内部、中味は会議室と、あっと言う間に会議へ吸い込まれていく雰囲気の変化があった(写真参照)。



国際コンベンションセンターの外観



デパートを思わせる内部の風景



チタン世界会議会場の案内

3. 国際会議報告：

3-1 全体観

本世界会議は、チタン及びチタン合金に関する科学、技術、応用の幅広い分野について文字どおり世界各国から技術者、研究者が研究発表を行う研究集会である。製造プロセス、合金理論、新製法、加工性、金属組織と力学特性、金属間化合物、MMC、生体材料など極めて多岐にわたる内容で4年毎に会議が行われる。

今回はチタン合金の老舗ともいふべきイギリスで開催されたが、軍需関連需要の低迷するアメリカ、依然としてチタンの国際価格に影響を及ぼしている旧ソ連圏流出チタン、経済成長の著しい中国などの動向を見ながら、欧州がどのように会議をリードするのが注目された。

発表件数は当初の見込みをはるかに上回る500数十件に達し、参加者も予備登録名簿で約550名を数えた。参加者の実数はかなり多く、バンケット参加者（同伴者も含むが当日参加者も多い）も640名の定員で先着締め切りにしたが、予備登録等で代金支払い済みなのに溢れてしまった参加者への代替措置としてシンフォニーチケットを200名弱に配布したという話が伝わっていた。

オーストリア、ベルギー、カナダ、中国、フランス、フィンランド、ドイツ、イタリア、イスラエル、インド、日本、韓国、カザフスタン、ルクセンブルク、ポーランド、ロシア、スイス、スウェーデン、南アフリカ、オランダ、ノルウェー、アメリカ、ウクライナ、イギリスなど20数カ国からの参加があったが、予備登録名簿にない台湾、シンガポールなどの参加者も目立ったので、約800名という主催者発表は実数からあまり離れていないのかもしれない。

会議がこのように予想を超えて盛況だった大きな要因は、金属間化合物セッションへの積極的な取り組みにあったと言っておいて過言でない。セッション数を見ても、金属間化合物10、新合金8、金属組織/力学特性8、製造法（成形）5、MMC4、非宇宙航空分野応用4、環境/表面4、製造法（原料、溶解）3、粉末関係2で金属間化合物は全48セッションの1/5を占めたことでも分かる。しかも、MMC、粉末を含めれば1/3を越え、その上に隣接施設で欧州粉末冶金シンポジウムが平行開催され、チタン会議参加者は参加料免除という布陣であれば従来の枠を超えた参加層があったものと考えられる。

3-2 参加セッションの様子

報告者は、主に力学特性/金属組織（Mechanical Properties/Microstructures）に関心を持ち、研究発表状況を調査した。このセッションは従来ではこの国際的な会議の主要なセッションとして毎回目立った存在であったが、今回は前述のような事情から、比較的小さな印象を受

けた。しかし、8個のサブセッションに分けて行われ、登録発表件数は41件と実際の盛況ぶりは変わっていない。その他、ポスターセッションでも関連発表があり、プロシーディングで見るとさらに5件数上げることができる。国際会議には発表のキャンセルがつきもので一連のセッションでも数件の発表取消があったが、その中には興味深いものもあるので全体についての紹介を試みたい。

発表が行われた国は、フランス10、アメリカ9、ドイツ7、イギリス6、日本6、ロシア3、ウクライナ3、カナダ1、インド1であり、地の利もありやはりヨーロッパからの件数が目だっている。

合金のタイプについては、 β 型9件、 $\alpha-\beta$ 型17件、near α 型10件、 α 型5件およびその他と分類した。near α 型が多いのは次に述べるが、高温用材料に関する発表が多かった点による。

研究対象温度は、室温23件でほぼ半数で、高温が18件、低温が4件あった。報告者は低温関係でマイナーな存在だが、4件もあったのは意外だった。

研究項目の分類の仕方には難しさがあるが、以下のように分類してみた。変形機構6件、強度と延性、靱性バランス10件、強度のみ2件、靱性のみ1件、低サイクル疲労8件、クリープ5件、クリープと低サイクル疲労3件、高サイクル疲労3件、疲労き裂伝播特性6件だった。高温での低サイクル疲労、き裂伝播、クリープの研究がまとまって報告されていたイメージを持った。高温用途としては、航空機などにおけるニッケル系超合金の代替材としての開発が系統的に進められている結果とも言える。米国では軍需研究リストラのあおりを受けて、一時的にこの分野のチタン合金開発研究が低調になっているのに対して、ヨーロッパでは宇宙往還機構が継続していて研究の中断がないという背景もあるようだ。

金属組織と力学特性の関係を明らかにするための比較的新しい金属組織解析法として、EBSPもしくはEBSDを使った報告が3件あったのが目立った。これは高分解走査電顕を用い、反射電子による菊池線パターンを解析し局所部分の結晶方位解析を組織単位程度で行うことのできる装置である。GE社がTi-6242で光顕組織では同程度の等軸粒組織に見えるものが、底面分布の解析によって結晶方位の揃っている単位が一方は結晶粒1個ずつであるのに対して、一方は再結晶前の結晶粒内ではほとんど方位が同じでこの意味では結晶粒の分断が起こっていないことを視覚的に対比した。この解析装置の威力は今後ますます発揮されてくると感じたが、特に加工熱処理などで再結晶や変態を利用した場合、どのように金属組織の微細化が達成されているのか、さらにそのメカニズムに関する情報を得るのに有効に

使用されると思った。

加工方法としては、線引加工、スウェジングなどが結構耳に入ってきた印象を持っている。チタン合金では結晶粒の成長速度が速く、微細な結晶粒を作り込むのに苦労するが、他の金属材料と同様に適当な温度でなるべく強加工を施す必要がある。その場合にできるだけ均一な加工歪を与えることが求められるので、加工方法に工夫が必要である。線引加工、スウェジングなどが均一に強加工を与えることのできる加工方法として検討されているのかも知れない。以下に興味深いと思った報告をいくつか簡単に紹介する。

1) β 合金21SおよびLCB(低コストベータ)の溶体化処理材の加工硬化挙動

β で高歪速度ほど延性が低下することを歪の局所化をそれに伴う加熱と関連づけて説明した。予歪によって変形初期の応力降下がなくなるが、延性自体に大きな変化がないので、冷間加工性を改善する可能性があるとした。

2) 室温における α チタンの変形挙動の歪速度依存性

α チタンは定歪変形でのリラクゼーション、定応力変形でのクリープ変形共に無視できない。5000時間クリープ後の応力-歪曲線と1時間リラクゼーション後の応力-歪曲線が一致しないと報告したが、リラクゼーションが3時間でもまだ安定状態に至っていないため今後の検討が必要とのことであった。

3) 30at% H添加による可塑性

代理発表だったので関心の要点はすべてはぐらかされてしまったが、30at%も水素を添加すれば β 変態点は相当低下し、しかも β 相の可塑性が利用できるということであった。どのように添加し、その含有量をどう保持して実験したのかなどが知りたい。

4) Ti-6Al-4V合金の極低温力学特性に及ぼす水素の影響

欠講だったが、大変興味深いので紹介する。水素添加による延性の低下は室温から77Kの範囲でのみ顕著で、靱性への顕著な影響はなかったということだ。また、0.006wt%以下では悪影響は認められない。

日本からは、東大伊藤先生がTi-15(V+MO) β 型合金の強度-延性バランスの二段(低+高)熱処理による改善の可能性、山形大菅野先生の純チタンの高速度変位曲げ疲労試験中の疲労転位組織の変化に関する詳細な検討、NKKのSP700、住金の恒温鍛造による10-2-3合金の強靱化、石播-大同のDual組織near α 耐熱合金(ポスター)、および報告者による極低温高サイクル疲労の際の疲労き裂発生点の分布と金属組織の関係に関する考察の計6件の発表があった。

率直に言って日本の陰が薄かった。座長は英国人を中心

に極めて格調高い、厳格な運営が進められ、米国人のウィットも決して会場を支配することはできなかった。

3-3 報告者の発表

発表題目: 極低温におけるチタン合金の疲労き裂発生点

報告者は高サイクル疲労に関するセッションのトップで発表させていただいた。高強度鋼などの高サイクル疲労におけるき裂発生点としては、非金属介在物が主な研究対象であった。非金属介在物の大きさを小さくすることひいてはある大きさ以上の非金属介在物をなくすることが高サイクル疲労強度の改善に寄与すると言われてきた。

金属材料技術研究所では超電導技術の実用化を展望して、周辺技術である構造材料の信頼性確保の観点から極低温における信頼性評価の研究を系統的に進めてきている。本報告はその一連の成果に基づいた金属組織学的な検討である。

チタン合金は降伏比(=降伏強さ/引張強さ)が高い高強度材料特有の性質を持つと共に、活性金属であることから非金属介在物を元来持たない材料として認識されている。したがって、高サイクル疲労き裂の発生点は自ずから金属組織そのものとなり、金属組織の制御によって高サイクル疲労特性を改善できる可能性を持っている。低温では、強度はさらに高まり、しかも表面酸化などの環境因子の影響も考慮する必要がなくなるので、金属組織そのものの性質で疲労破壊挙動を論じることができる。

チタン合金は室温においても疲労き裂が金属組織クラックに対応して試験片内部から発生する現象が観察されているが、この現象は低温ほどさらに顕著になり、高強度オーステナイト鋼でも観察されるようになる。しかし、内部発生点の分布の仕方は合金の種類によってまちまちに見える。本研究では代表的なチタン合金であるTi-5Al-2.5Sn、Ti-6Al-4合金と比較材としてオーステナイトステンレス鋼で介在物含有量を極微量にしたSUS316LNの液体ヘリウム温度での高サイクル疲労試験におけるき裂発生点の分布と金属組織の対応を系統的に求めた。

それぞれの内部き裂発生点は金属組織学的には材料の持つ不均一性の影響を受けている。Ti-5Al-2.5SnではAlの含有量がマトリックスよりも低い α 粒領域が存在し、そこがき裂発生点となっている。Alは α 強化元素であるので、相対的に弱い組織が疲労き裂発生点となっていると考えられる。この低Al α 粒域は結晶粒界にFe濃度の高い粒子を持っており、その粒子の分布から推定するとマトリックス粒径30 μ mに対してほぼその倍近い分布幅(約50 μ mとする)を持っている。Ti-6Al-4Vは α - β の二相組織であるが、き裂発生点はことごとく α 粒である。その分布幅は約5 μ mである。SUS316LNでは極めて特殊な金属組織が起点となっている。組成分析の結果から推定され

るものは凝固時の偏析に起因すると考えられるCr、Mo富化相である。ところが、この該当相を様々な金属組織観察手法で検出することができず、疲労き裂起点でのみ観察される。したがって、その存在分布は試験片直径程度の5mmにせいぜい一個と判断される。

さて、それぞれの合金で潜在的な起点候補組織の存在確率は試験片寸法を5mmとした時、Ti-6Al-4Vで1000個、Ti-5Al-2.5Snで100個、SUS316LNで1個のオーダーとなる。試験片のどこでもき裂発生可能としたら、外部応力の影響を最も受け易い表面近傍が選択される可能性が高くなるが、ある特定の一点しか存在しないとしたらその点を選択される可能性が高くなる。実際、Ti-6Al-4Vでは発生点は表面近くに分布し、SUS316LNでは発生点分布は表面、内部に均一である。Ti-5Al-2.5Snではその中間で比較的表面に近く、この考察の正当性を示している。これらの結論は図にまとめてある。

質疑応答で座長から疲労試験片表面状態のことを聞かれたが、実用的な観点から試験規格に基づきバフ仕上げを基準にしていると返答した。それに対して、その影響が試験結果に現れているのではないのかという疑念が投げかけられた。現象の観察から考えると表面状態は本質的には関係ないと思うと回答したら、会場から支持的なコメントがあり、表面状態に関係なくこの現象は起こるが、表面残留応力の大きさによって現れる負荷応力範囲が変化すると教えていただいた。一応、座長に代表される会場の疑念の払拭はなされたと思った。

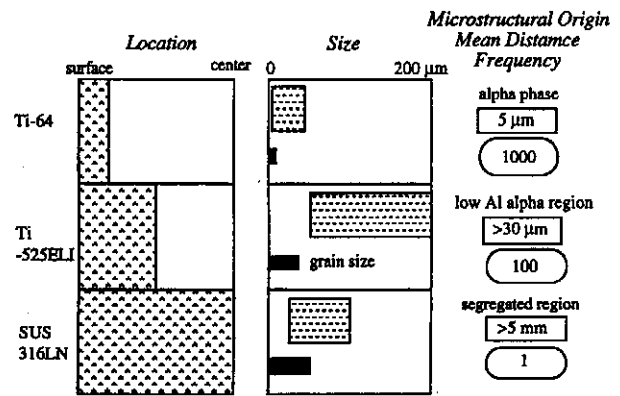


図 各合金におけるき裂発生位置、大きさと金属組織との対応関係

4. 謝 辞

今回の国際会議への参加に際して財団の助成をいただいた。研究成果の発表の場を与えていただいたばかりでなく、チタン合金における国際的な研究動向の調査の機会も与えていただいた。ここからの謝意を申し上げたい。

5. 参考文献 (略)