

目 次

1. クリープデータは一日にして成らず
東北大学大学院環境科学研究科 教授 丸山 公一 1
2. TOPICS 高強度ボルトの実暴露試験による遅れ破壊評価
耐食グループ 秋山 英二、張 作貴、金相グループ 松門 克浩、超鉄鋼研究センター 高橋 稔彦 2
3. TOPICS 超微細粒鋼レーザ溶接熱影響部の組織変化
溶接グループ 塚本 進、柳田 治美 3
4. センター便り 1st International Conference on Super-High Strength Steels参加報告
金相グループ 木村 勇次、冶金グループ 邱 海 4

1. クリープデータは一日にして成らず

東北大学大学院環境科学研究科 教授 丸山 公一

久しぶりに実用材料のクリープに関するロンドンとピッツバーグの国際会議に出席した。そのいずれにおいてもNIMSの研究者が、基調講演や招待講演を行っていた。このことから分かるように、NIMSにおけるSTX-21関連の耐熱鋼研究は、世界的に高く評価されている。それは、現在得られている研究成果のすばらしさは勿論であるが、長年に渡るクリープデータシート活動に裏付けられた成果であることも大きく貢献している。NIMSクリープデータシートは、66種に及ぶ材料の、多数シート(全360シート)を対象とする。データには、10万時間を越えるクリープ破断時間、クリープ変形データ、組織変化情報等、多くの内容が含まれている。この、世界に類例のない、揃ったデータ集であることが、STX-21の研究を支え、それ自体も高い評価を得ている所以である。この高い評価は、我々日本人研究者も、大いに誇りとするものである。

私が耐熱鋼のクリープに関する研究を始めたのは、今からちょうど20年前である。英国、ウェールズ大学のウィルシャー教授が来日し、クリープ構成式 θ 法に関する講演をした。加工硬化と組織的弱化的釣合いで最小クリープ速度が出現し、クリープに定常状態は無いと言う画期的な考えであった。そこで、当時クリープ試験部長をされていた

横井信氏から、クリープ曲線データを提供いただき、 θ 法に基づくクリープ曲線解析を、自分でも試してみた。 θ 法は実用材料の複雑なクリープ挙動を理解するのに役立つことを認識した。この一連の研究では、田中千秋、八木晃一の両クリープ試験部長にも多大な支援をいただいた。NIMSのクリープひずみデータベースが公開された時には、 θ 法に基づくデータ解析で多少の貢献をしてみたいと思っている。

NIMSクリープデータの収集は1966年に開始され、40年経つ。1972年に初版第1号が、1976年からは5万時間までのクリープ破断データを含む第2版、1986年からは10万時間までのクリープ破断データとクリープひずみ情報を含む第3版、そして1999年には組織変化情報が出版されている。これらのデータシートは、決して一日で成ったものではない。NIMSの耐熱鋼研究の礎となったクリープデータシートは、多くのクリープ試験部員の汗の結晶である。STX-21の耐熱鋼研究は勿論のこと、NIMSクリープデータシートを含めた益々の発展を大いに期待したい。



2. TOPICS

高強度ボルトの実暴露試験による遅れ破壊評価

耐食グループ 秋山 英二、張 作貴

金相グループ 松門 克浩 (現 神戸製鋼所)

超鉄鋼研究センター 高橋 稔彦



はじめに

鉄鋼材料の高強度化のニーズは増しており、高強度ボルトにおいても接合部のコンパクト化、施工コスト削減と工期短縮、省エネルギーなどに寄与する超高力ボルトの開発が期待されているが、環境から侵入する水素による遅れ破壊が高強度化を制限する主因となっている。耐遅れ破壊特性に優れた高強度鋼の開発と同様、材料の耐遅れ破壊特性を評価する方法の開発が望まれる。これを背景として行われた建築研究所および日本鉄鋼連盟の共同研究、「超高力ボルトの性能評価法の開発」(第一期:平成9-13年度)に平成13年度よりNIMSが加わり、続く第二期(平成14-16年度)では、3者の共同研究が行われた。平成17年からは日本鋼構造協会の委員会「超高力ボルトの遅れ破壊特性評価法の開発」に場を移し、現在も研究を継続中である。この研究では、遅れ破壊発生限界拡散性水素量 H_c と環境から侵入する水素量 H_e との比較関係によって遅れ破壊の発生の有無を判定できるとする水素量基準の評価方法についてボルトの暴露試験による検討を行っている。

建築用ボルトの暴露試験

沖縄の宜野湾(海浜環境)およびつくばの建築研究所の屋外および室内(田園環境)に、1500および1300MPaに調整したクロムモリブデン鋼SCM435(B15,B13)と、1300および1100MPaに調整したボロン鋼(A13,A11)の直径22mmの建築用ボルトを締結して暴露試験に供し、破断発生の確率の推移の観察およびボルト中の吸蔵水素量の昇温脱離分析を行った。上記共研第一期は99年12月から、第二期では03年6月から暴露試験を開始した。第二期では締め付け角度を120度および180度の2水準とした。試験体外観を図1に示す。なお、上記の材料について環状切り欠き付丸棒試験片を用いて測定した H_c は上記の順にそれぞれ、0.04、0.25、0.58、1.0wtppmであった。

暴露試験の結果、図2に見られるように、遅れ破壊発生確率は H_c が低い程高く、また、遅れ破壊発生確率は腐食環境の厳しい沖縄で高くなることが確認された。また遅れ破壊発生の季節依存性が見られ夏から秋にかけての破断数が多かった。環境中での吸蔵水素量 H_e は塑性変形したねじ部が、弾性変形した軸部よりも高く、ボルト締め



図1 締結したボルトの暴露試験体
(第二期 建築研究所 つくば)

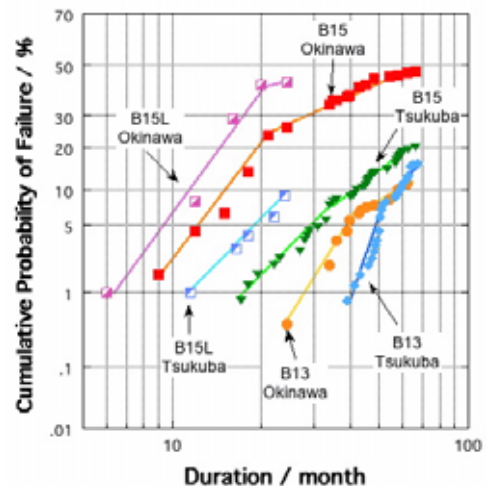


図2 累積遅れ破壊発生確率の経時変化
(B15Lは第二期)

付け角に依存した増加が見られた。第一期および第二期の120度締めの場合には沖縄、つくばの間で H_e に有意な差が認められなかったが、締め付け角度を180度と大きくし、ねじ部の塑性変形をより厳しくした場合には、沖縄の方がねじ部で高い水素量を示す事が確かめられた。

今後の展望

第二期に開始したボルト暴露試験では破断件数が増えて来るのがこれからであり、今後暴露試験を継続することによって塑性歪み量と破断発生確率の関係等の知見を得ることが期待できる。今後の暴露試験の継続とともに、 H_c と比較することにより遅れ破壊発生を評価できるパラメータとしての H_e の、より定量的な測定手法について検討を行う予定である。

3. TOPICS

超微細粒鋼レーザ溶接熱影響部の組織変化

溶接グループ 塚本 進
柳田 治美(現 栃木県産業技術センター)



はじめに

超微細粒鋼を大入熱で溶接すると、熱影響部で結晶粒が粗大化し、軟化により継手強度が低下する。これを防止するため、当センターでは、出力変調レーザ溶接や超狭開先アーク溶接等の新しい小入熱高能率溶接法を開発してきた。しかし、いかに小入熱で溶接を行っても、HAZの一部において、フェライトの最大粒径が $3\mu\text{m}$ 程度まで粗大化する領域が必ず存在する。本稿では、このようなレーザ溶接熱影響部の組織変化過程を明らかにすることを目的に、熱サイクル再現試験を行った結果について報告する。

フェライト結晶粒径と硬さ

レーザ溶接時の急峻な加熱・冷却サイクルを実現するため、熱容量の小さい試験片(厚さ 1mm)を用い、直接通電とガス噴霧により熱サイクルを付与した。試験片全体を均一な温度にすることが難しいため、熱電対を取り付けた位置で試験片幅の時間変化を非接触で計測し、変態過程を調べた。

炭素量 0.05% 、平均フェライト粒径 $1\mu\text{m}$ の試験片を用いて再現試験を行ったときの、最高加熱温度とフェライト結晶粒径及び硬さの関係を図1に示す。最高加熱温度が A_{C1} 以下の領域では、フェライト粒径にほとんど変化が認められず、粒成長による結晶粒の粗大化がほとんど起こっていないこと

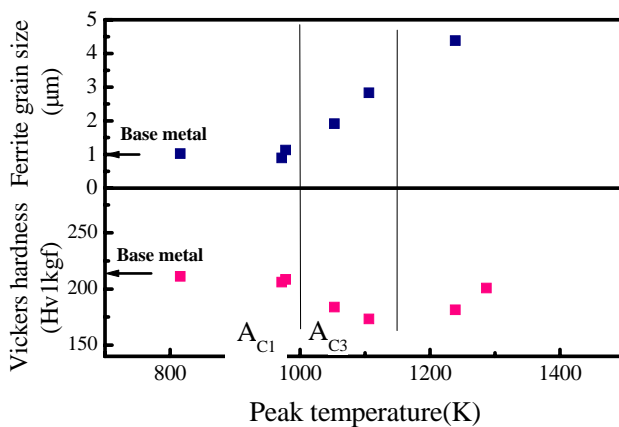


図1 ピーク温度とフェライト粒径並びに硬さの関係

がわかる。これに対して、ピーク温度が A_{C1} を超えると、フェライト粒径が急激に増加し、 A_{C3} 直上で最大値を示す。硬さは、フェライト粒径の増加と共に減少するが、必ずしもホールペッチ則にしたがった変化は示さない。以上の結果は、結晶粒の粗大化がフェライト粒の成長により起こるのではなく、フェライトからオーステナイト、オーステナイトからフェライトへと2回の変態を経る過程で起こることを意味している。また、初期結晶粒径の小さい超微細粒鋼においては、変態したオーステナイトの粒径が小さいため、大きな冷却速度のもとでもフェライトが形成され易くなる。これは、本鋼材熱影響部の特徴の一つである。

一方、 A_{C3} 点直上においては、粒径が大きいにもかかわらず硬さの低下が少ない。これは、図2に示すように、セメントイトが存在した位置でMAが形成されるためである。急峻な熱サイクル下では、高温で溶解したセメントイト中の炭素が十分に拡散する時間が無く、高炭素濃度のオーステナイトが局部的に形成され、これが冷却途上で微細に分散したMAとなる。MAの体積率は、 A_{C1} 以上 A_{C3} 直上までの領域で、ピーク温度の上昇に伴って多くなり、これが軟化を抑制する。

以上のように、レーザ溶接熱影響部においてはMAの形成により軟化の程度が小さく、軟化幅も非常に狭いため、母材と同等の継手強度が得られる。また、MAが形成される熱影響部において韌性を評価したところ、MAが微細に分散しているため、特に大きな韌性低下が認められなかった。

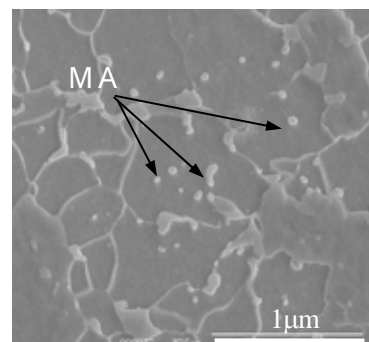


図2 セメントイトから形成された MA

4. センター便り

1st International Conference on Super-High Strength Steels参加報告

1st International Conference on Super-High Strength Steels (SHSS 2005)が、平成17年11月2日から4日にかけて、イタリアの首都ローマ郊外のシェラトンローマホテル&会議場で開催されました。本国際会議は、Associazione Italiana di Metallurgia(AIM)とCentro Sviluppo Materiali(CSM)の主催、Tenarisの協賛により行われました。座長はCSMのBuzichelli材料研究部長が勤め務められました。環境、輸送、エネルギー問題に対応するために、高強度鋼、特に超高強度鋼のState-of the-artと将来のあり方を、材料科学者、技術者、ユーザー間で正確に議論することが目的でした。

32カ国から260人を超える参加者がありました。発表件数は137件でした。参加者の内訳としては、参加者の多い順に、イタリア、ドイツ、フランス、イギリス、スウェーデンなどの欧州諸国が全体の約6割、日本、韓国、中国の東アジアからの参加者は1割強でした。ちなみに日本からの参加者は19人で、その内、NIMSからの基調講演は2件、一般講演は6件でした。また、研究分野と産業分野の参加者の割合はほぼ同じであり、講演件数の比率もこれと同程度とのことでした。とくに発電プラントや自動車業界などのユーザー側からの参加者が比較的に多かったのが印象的でした。

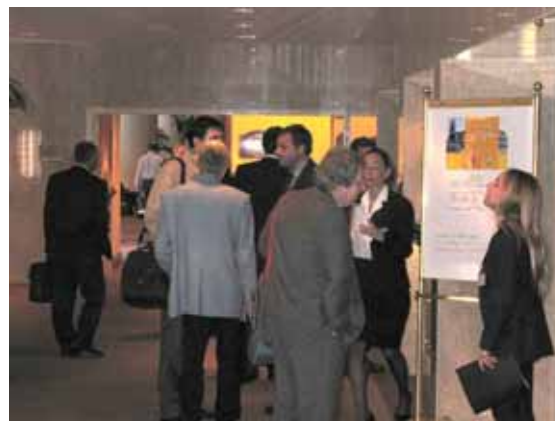
セッションは、Plenary、自動車関連、高温材料、金属構造材料、そして物理冶金&合金設計セッションの5つから構成されていました。Plenaryセッション(5件)では、高強度鋼のガスパイプライン、石炭発電プラント、自動車用鋼板、そして土木建築構造物への利用に関する最新の話題が提供されるとともに、2004年3月からヨーロッパ鉄鋼業界が開始した“The European Steel Technology Platform”(ESTEP)の取り組みについて報告がありました。その後のパネルディスカッションでこれらのテーマに関する総括的な議論が行われました。引き続き行われた、自動車関連セッション(26件)では、Dual phase鋼、TRIP鋼、ステンレス鋼板などの開発の現状とともに高強度鋼の成形性やスポット溶接性などに関する最新の研究報告があり、活発な議論がなされました。高温材料セッション(25件)では、高Cr耐熱鋼を中心とした耐熱鋼のクリープ強度特性、高温酸化特性、溶接特性に加えて、耐熱鋼のボイラーや蒸気タービンへの応用などに関するサブセッションが設けられてい

ました。金属構造材料セッション(28件)では、高強度鋼構造材料の開発の現状や高強度鋼を用いた構造物の軽量化提案、そしてパイプラインへの応用に関する話題提供などがありました。物理冶金&合金設計セッション(53件)では、結晶粒微細化、機械的特性、合金設計、モデリングや耐食のサブセッションが設定されていました。とくに結晶粒微細化セッションに日本、韓国、中国から多くの発表があり、本研究分野で東アジアが重要な役割を担っていることが感じ取れました。なかでも結晶粒微細化パラメーターの定量的な理解と結晶粒微細化技術の実機への応用、遅れ破壊に関する発表が注目を集めました。また、CSMが開発したストリップキャスト法が紹介されました。この製造法は、コンパクトかつ柔軟性が良いことから設備投資を大幅に減少でき、しかもIn-line 熱間・温間圧延および焼鈍が実現できることから、今後注目されるでしょう。

以上、材料研究者、技術者からだけでなくユーザーからの話題提供もあり、高強度鋼研究についての活発な議論の場が得られました。すなわち、「使われてこそ材料」が欧州でも強く実感できました。

最後に、本国際会議の開催に多大な御尽力を頂いたCSMのBuzichelli材料研究部長をはじめとするスタッフの皆様に深く感謝申し上げます。なお、今回の国際会議の開催日程については現時点では未定とのことでした。

(金相グループ 木村 勇次、冶金グループ 邱 海)



会場入り口付近での一風景

12月の出来事・行事		今後の予定	
H17.12.15-16	ATS Steelmaking Conference, "Ultra-Steels" session (パリ、フランス)	H18.2.7-9	Int'l Conference & Exhibition on Pressure Vessels and Piping (OPE2006)(チェンナイ、インド)
		H18.3.12-16	135th Annual Meeting & Exhibition (TMS2006)(サンアントニオ、米国)