

報 告 記 事

「鋼の高温性質に関する会議」の印象*

作 井 誠 太**

1. は し が き

日本鉄鋼協会から派けんされて、英国ロンドンの南方の海岸の小さな海水浴場の町 Eastbourne (人口6000人)の Grand Hotel で、1966年4月4日—7日にわたって開催された、表記の国際的な会議に出席して、わが国のクリーブ研究組合ならびに日本鉄鋼協会クリーブ委員会に属する各会社の共同研究の結果を発表する機会を得たことは、まことに仕合わせであった。

日本鉄鋼協会をはじめ各方面のご援助により、会議終了後50日にわたり、筆者が平素から専攻して興味を有するクリーブ、脆性破壊、疲労の3分野にわたって、英独両国の権威たちが指示してくれた大学ならびに研究所を一つ残らず見学でき、かつは技術革新第一線の清新なる息吹きにふれることができたのは、筆舌に尽し難い感激であった。これは多分来年3月停年の直前にある筆者に、最後の海外視察をさせてやろうとの辱知の方々の温かいご配慮によるものと厚く御礼申し上げる。丁度英国のエチンバラで還暦を迎え、その翌日は復活祭でスコットランド最古の神寂びた St. Giles 教会の祝祭に出席して、神と人々に感謝した。筆者も復活を願ったが、それは如何であろうか。

紙面の都合でこの会議の詳細を記すことは許されないもので、大よそその傾向だけでもと思い、両3度書き改めて見たが、それも枚数超過で手に負えず、やむなく印象記にとどめる。このような技術の実際に関する会議は、理論に関する会議とは異なり、個々の事項の羅列が多く、簡潔に一般的傾向を述べることは非常にむづかしい。それで会議のプログラムから、会議の目的と提出論文の題目を並べ、そのあとで筆者が論文を提出してその内容が筆者にわかりやすい「第2部 試験技術およびデータの解析」における討論の印象を説明し、他の部の印象は紙面の都合で省略する。この省略を非常に残念に思うが、やむを得ない。そのかわりに、誠に幸いなことであるが、クリーブ委員会の主査である東京工業大学の田中良平教授が、その研究室関係の俊英諸君に、本会議の論文の抄録を多数頼んで下さり、本誌に記載されているので、筆者の印象記の不備をそれで補なつていただきたい。田中教授のご親切を心から有難く御礼申し上げる。

なお会議終了後の見学箇所の一覧表もかかげておく。一カ所2時間前後づつのお見学の、「よしのずいから天を見る」のたぐいであるが、それでよければ喜んでお答え申し上げるといふよりも、その義務があるから、遠慮なくご質問いただきたい。(B)は脆性破壊(C)はクリーブ、(F)は疲労を主として見学した場所であることを意味する。

2. 会議の状況

会議は327名が加工、設計、鋼使用者、製鋼の各方面より参加し、そのうちには海外よりの54名(オーストリア、チェコスロバキヤ、ベルギー、フランス、西独、イタリア、オランダ、スイス、ポーランド、スウェーデン、日本)が含まれている。なお日本の欧州駐在の方々、日本鋼管の中村正彦氏(西独)、同じく今泉季正氏(ロンドン)および大同製鋼KKの徳永重雄氏(シェフィールド)が出席されて、語学のできない筆者を援助していただいた。どうか使命を果し、無事に日本の土を踏めたのもこれらの人々の援助の賜で、厚く御礼申し上げる。

会議はBISRAと英国鉄鋼協会(ISI)共催のもので第6回目であるが、実際に会議を組織し運営したのは、英国製鋼業者クリーブ委員会(BSCC)である。この委員会は5年前に設立され、11会社が加入している。今回の会議にも6篇の共同研究報告(プログラム中*印の論文)を提出して、本会議の中心的存在となつている。

会議のプログラムは表1のごとくであるが、6部門より成り、各部門に正味3時間を用意してある。

- 第1部 開会の辞と基調講演
- 第2部 試験方法とデータの解析
- 第3部 標準鋼の性質
- 第4部 特殊鋼の性質
- 第5部 性質に影響する諸因子
- 第6部 鋼使用者側の観点

ここで標準鋼というのは、British standard に登録されていて、各製鋼会社で共通に作つている鋼の英国式の呼び方で、特殊鋼というのは各会社独特の組成を有する合金鋼を指している。

会議はいわゆる Rapporteur (報告者)形式であり、短かい会期に多数の論文をさばくために、英国で創められた形式である。各論文の著者には発表の機会を与えず各部門ごとにその論文の全部(たとえば第2部の8篇の論文)について、一人の Rapporteur が要点をまとめて30~40分間で説明し、それについて残りの時間(この会議では2時間余)を討論に費し、3時間で全体が終了する形式である。討論者の持ち時間は10分間以内で20人前後が参加して話す。この会議形式は Rapporteur に人を得ない時は、会議の焦点がぼけてしまい、各著者が強調したい要点も判らない。言葉の不自由な外国人が前刷を読まずに、Rapporteur の話を聞き、その後の討論を理

* 昭和41年12月6日受付

** 東京工業大学 工博

表 1 BISRA 英国鉄鋼協会共催「鋼の高温性質」会議
Eastbourne, 4—7, 4月, 1966
(プログラム)
(会議の目的と対象)

高温で操作される部品の設計には、鋼の3種類の性質が基礎として用いられる。

- (a) 最小の下部降伏応力または 0.2% 耐力
- (b) 100,000 時間の平均破断応力
- (c) 100,000 時間に 1% のクリープを生ずる応力

国家的に、または国際的に同意されている安全率を用いて、以上のデータおよび他の基準から、設計応力が直接に導き出される。各国の間で、あるいは一国内では個々の製鋼者の間で、ある特定の鋼種においてその性質の水準に説明できないような変動がないことが大切である。このような変動が明瞭に見定められ、かつ説明されない限りは、鋼の標準に関して同意に達することは困難である。

従つてこの会議の主な目的の一つは標準高温鋼の性質、試験技術、データ解析方法について国際的に情報を交換するにある (第IIおよび第III部)

英国で使われている高温用鋼の範囲に対して広範なる評価を行なうため、特殊鋼に関する論文が提出されている (第IV部)。

英国製鋼業界における高温用鋼の研究は単なる性質の決定以外の諸観点を含んでいるので、性質に影響する種々の因子の若干が討議される (第V部)

会議の第一の目標は、製鋼業者が過去数年にわたつて行なつてきた研究結果に対する鋼使用者側の反応を得るにある。種々の設計の目的に対して現行の鋼種の有している限界に関する情報を得、かつ材料の性質に対する将来の要求をきくことが希望されているのである (第VI部)

(プログラム)

月曜日 4, 4月 4:30—5:30

第I部

議長: J. D. Murray (U. S. 社 英)

議長 開会の辞

基調講演 H. W. Kirkby (Firth Brown Ltd)

火曜日 5, 4月 9:00—10:30 および 11:00—12:30

第II部 試験技術およびデータの解析

議長: J. E. Russel (English Steel Corp. Ltd)

Rapporteur: A. I. Smith (NEL)

(1) クリープ試験方法とデータ解析のチェコスロバキヤの実際
R. Pech (国立材料研究所 プラーク), R. Pokorny (Scoda 工場, ピルセン), V. Vach (鉄鋼研究所)
チェコスロバキヤ・クリープ試験法および耐熱材委員会のために提出。

(2) クリープ試験結果の外挿に対する新公式の提案: Cr-Mo-V 鋼に対する適用例
G. Murry (IRSID) 「フランス製鉄研究所」のために提出

(3) 2 $\frac{1}{4}$ % Cr-1%Mo 鋼の長期間挙動の国際的共同試験
W. Ruttman (Bayer 染料会社)
M. Krause (Fried Krupp 冶金工場)
K. J. Kremer (VDEh) 「耐熱鋼研究組合」のために提出

(4) クリープ試験機の標準化
平 修二 (京大) 作井誠太 (東工大)

(5) クリープ速度決定の再現性に関する若干の観察
B. Aronson および A. Hede (スウェーデン金属研究所) 「スウェーデン・クリープ委員会」のために提出

* (6) 鋼の高温性質の決定
E. Lister (Stewarts and Lloyds Ltd), P. P. Harvey (BISRA), R. R. Barr (Colvilles Ltd),
J. Hacon (U.S.会社), P. F. Turner (Firth Brown Ltd) 「BSCC」のために提出

* (7) 高温下部降伏点または耐力, クリープ, 応力破断データの解析と算定
R. F. Johnson (U.S.会社), J. Glen (Colvilles Ltd), M. J. May (BISRA), H. G. Thurston (Stewarts and Lloyds Ltd) B. H. Rose (Tube Investments Ltd) 「BSCC」のために提出

* (40) 鋼の 0.2% 耐力および下部降伏応力に対する歪速度の影響
R. F. Johnson および J. D. Murray (U.S.会社) 「BSCC」のために提出

2:00—3:30 および 4:00—5:30

第III部 標準鋼の性質

議長: J. Glen (Colvilles Ltd)

Rapporteur: R. F. Johnson (U.S. 会社)

(8) 改良 1% Cr 鋼の高温性質
M. Caubo (国立冶金研究センター) 「ベルギー IRSIA」のために提出

(9) 低炭素量の低合金 Cr-Mo-V 鋼のクリープ性質
T. Prinka および V. Foldyna (Vitkovice 製鉄所, 冶金研究部) 「チェコスロバキヤ・クリープ試験法および耐熱材委員会」のために提出

- (10) ドイツにおける標準耐熱鋼のクリープ試験の現状
W. Ruttmann (Bayer 染料会社) および P. Opel (Peisholz 製鋼製管会社) 「耐熱鋼研究組合」のために提出
- (11) 9%Cr-1%Mo 鋼の高温性質
L. Egnell (Sandvik 製鋼会社) 「圧力容器鋼に対する高温設計データの Jernkontoret 委員会」のために提出
- * (12) 各種の炭素鋼の高温引張り, クリープ, および破断の諸性質
J. Glen (Colvilles Ltd), M. J. May (BISRA) R. F. Johnson (U.S.会社). および D. Sweetman (Round Oak 製鋼会社) 「BSCC」のために提出
- * (13) 1%Cr-1/2%Mo, 2 1/4%Cr-1%Mo および 1/2%Cr-1/2%Mo-1/4%V鋼の高温引張り, クリープ, および破断の諸性質
R. F. Johnson (U.S.会社) M. J. May (BISRA) R. J. Truman (Brown Firth 研究所) および J. Micklerath (Stewarts and Lloyds Ltd) 「BSCC」のために提出
- * (14) 304, 316, 321 および 347 型オーステナイト鋼の高温引張り, クリープおよび破断の諸性質
R. J. Truman (Brown Firth 研究所), R. P. Harvey (BISRA), R. F. Johnson (U.S.会社), および J. N. Smith (Tube Investments Ltd) 「BSCC」のために提出
- (15) 铸造炭素鋼の高温引張試験の予備的調査
J. Leaver および W. J. Jackson (BSCRA) 「英国鑄鋼研究組合」のために提出
- 水曜日 6, 4月, 9:00~10:30 および 11:00~12:30
- 第IV部 特殊鋼の性質
議長: H. W. Kirkby (Firth Brown 会社)
Rapporteur: H. C. Child (Jessop-Saville 会社)
- 16 焼ならし—焼戻しを受けた Mn-Cr-Mo-V 鋼—DucolW30 の高温性質
J. Lessells および R. R. Barr (Colvilles 会社)
- 17 高温にて使用の焼入れ—焼戻し C-Mn 鋼
J. Lessells and R. R. Barr (Colvilles 会社)
- 18 鍛造低合金 Mn-Cr-Mo-V 鋼のあるクリープ性質と破断性質
P. Manning (English Steel 会社)
- 19 12%Cr 鋼耐クリープ, 高張力の諸変種
H. W. Kirkby (Firth Brown 会社). R. J. Truman および D. Hardwick (Brown Firth 研究所)
- 20 新 2%Cr-Mo-V-Al 窒化/耐クリープ鋼-HK 5
H. W. Kirkby (Firth Brown 会社) R. J. Truman (Brown Firth 研究所)
- 21 二種類の高合金マルテンサイト不銹鋼および 500~700°C 温度範囲において析出硬化せるオーステナイト不銹鋼の性質
G. L. Briggs, A. E. Marsh および W. S. Stafford (Jessop-Saville Ltd)
- 22 進歩せるオーステナイト鋼—Esshete 1250 の高温性質
J. D. Murray, H. Hacon および P. H. Wannel (U.S.会社)
- 23 改良ボイラー鋼
K. J. Irvine, J. D. Murray および P. G. Stone (U.S. 会社)
- 2:00~3:30 および 4:00~5:30
- 第V部 性質に影響する因子
議長: J. S. Blain (Stewarts and Lloyds 会社)
Rapporteur: K. J. Irvine (U.S. 会社)
- 24 3種類のオーステナイト鋼の破断性質におよぼす熱処理と溶接の若干の影響
D. Hardwick および R. J. Truman (Brown Firth 研究所)
- 25 蒸気パイプ溶接部の高温性質
E. Lister, J. Micklerath および A. H. Hagginbottom (Stewarts and Lloyds 会社)
- 26 フェライト系ボルト用鋼の冶金的観点
P. G. Stone および J. D. Murray (U.S. 会社)
- 33 オーステナイト系過熱器チューブにおける付属装置溶接部の完全性
K. G. Mantle (John Thompson 会社) および M. G. Gemmill (CEGB 発生装置設計部門)
- 木曜日 7, 4月 9:00~10:30 および 11:00~12:30
- 第VI部 鋼使用者側の観点
議長: J. D. Murray (U.S. 会社)
Rapporteur: A. H. Goodgen (コンサルタント)
- 27 化学工業用の鋼
W. D. Clark (ICI. 材料グループ, Tees-side)
- 28 鋼および圧力容器に対する英国標準規格の最近の発展に対する使用者側の見解 (撤回)
J. Strawson (Batsaafse 国際石油 Maatschappij NV)
- 29 発電機用高温材料
B. Mitchell (CEGB, Midlands 地区)
- 30 蒸気タービンにおける高温用鋼
P. F. Tomalin (English Electric Co.)
- 31 ガス・タービン工業における鋼の使用に関連した問題と欠陥
W. T. Davies および B. Hall (Rolls-Royce 会社)
- (32) ボイラー鋼の性質の必要条件
W. B. Carlson および G. G. Foster (Babcock および Wilcox 会社) 「水管ボイラー製造組合」のために提出
- 34 クリープ破断データ: 応力集中設計基準に対する試験と応用
R. M. Goldhoff (General Electric Company, New York)

註 () は各種研究委員会のために提出せる論文

* は BSCC の論文

解することは不可能に近いであろう。さりとてこれにかわる名案もないというのが現状である。

会議事務局の不手際で、筆者は諸論文の前刷を会議当日の朝にようやく入手し、全然内容を知らずに Rappor-teur の話を聞き、それと筆者の語学の貧弱と相まって、苦しい日々を送った。論文提出、および今後の国際共同研究へ参加の予備交渉の責任を果たしたとはいえ、帰国後の報告の件を思うと心が重く、ヨーロッパの春をたのしむ気持ちも起らなかった。今後この種の国際会議に出られる方は、どんな無理をしても論文前刷を入手して、それを読んで行かれることをおすすめする。

3. 会議後の見学箇所

会議終了後第2表の各所を訪問したが、英国ではクリープ関係は今回の会議の事務局長であり、BISRA の技術主事である POWELL 氏と、筆者の友人の U. S. 社の HESSELWOOD 氏に見学箇所を教えてもらい、脆性と疲労関係は友人の ISI の前会長 (Corville 社の前重役)

BARR 氏と Lloyd Register of Shipping の BOYD 氏の指示に従い、さらに自動車技術協会の吉城氏の教示に従って MIRA を加えた。西独は金材技研所長橋本先生と富士製鉄の高石氏のご教示に従った。この機会に諸氏に厚く御礼申し上げる。

4. 所感の一端

上述の事情で筆者の専門に比較的近く、割に了解しやすかつた第2部の討論を中心に申し上げる。

(1) 今回の会議の議長は U. S. 社の J. D. MURRAY (BSCC の委員長である) であるが、その開会の辞において、BSCC の業績を誇示し、BSCC は成立以来、18,047 本の標準鋼試片の耐力を測定し、クリープ破断試験に 28,147,000 時間を費し、研究費 500,000 ポンド (約5億円) を投入したと述べた。ついで BSCC の有する能力に言及して、クリープ破断試験の能力は 800 基の試験機による約 3,500 本であり、その他に鋼の使用量は ERA その他の所で合計 700 本であると述べた。

表2 1966年春、欧州見学箇所
(1966. 4. 1~1966. 5. 30)

(英 国)

1. 大学関係

- イ) Oxford University (Dept. of Metallurgy, Dept. of Engineering Science) (B)
- ロ) The Queen's University (Dept. of Civil Engineering) (B)
- ハ) Imperial College (Dept. of Applied Mechanics) (B)(F)
- ニ) Leeds University (Dept. of Metallurgy) (C)
- ホ) University of Sheffield (Dept. of Metallurgy) (B) (C)

2. 公立研究所関係

- イ) British Iron and Steel Research Association (B) (C)
(Sheffield, Battersea および Swansea の3研究所)
- ロ) National Physical Laboratory (Metallurgy Division) (B)
- ハ) National Engineering Laboratory (High Temperature Material Division) (C)
- ニ) Electrical Research Association (Creep of Steel Laboratory) (C)
- ホ) Motor Industry Research Association (F)
- ヘ) British Welding Research Association (B) (F)
- ト) United Kingdom Atomic Energy Authorities (B) (C)
- チ) Lloyd's Register of Shipping (B)
- リ) British Iron and Steel Institute (Annual Meeting)

3. 会社関係

- イ) U.S. 会社 Swinden Laboratory (C)
- ロ) Colvilles Ltd. 技研 (C)
- ハ) Jessop Saville Ltd. 技研および中研 (C)
- ニ) International Nickel Ltd. (B) (C)
- ホ) Stewarts and Lloyds Ltd. 中研 (Corby) (C)
- ヘ) Steel Company of Wales 中研
- ト) Brown-Firth Ltd 割愛 (C)

(西 独)

1. 大学関係

- イ) T. H. Aachen (Institut für Eisenhüttenwesen. Institut für Bildsame Formgebung) (B) (C)
- ロ) Technische Universität, Berlin (Institut für Metallkunde. Institut für Verformungskunde. Institut für Werkstofftechnik) (B)
- ハ) Bergakademie Clausthal T. H. (Institut für Metallkunde) (B)

2. 公立研究所関係

- イ) Max-Planck-Institut für Eisenforschung. (C) (F)
- ロ) Max-Planck-Institut für Metallforschung
- ハ) Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) (C) (F)
- ニ) Battelle Memorial Institut (Frankfurt) (C)
- ホ) Staatlichen Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule (Darmstadt) (C) (F)

3. 会社研究所関係

- イ) Mannesmann A. G. 中研 (C)
- ロ) August-Tyssen Hütte A. G. 中研 (B) (F)
- ハ) Friedlich-Krupp A. G. (Essen) 中研 (B) (C)

これに比べるとわが国の金材技研のクリーブ破断能力は完成時には単独で2,700本を越える予定であるのは世界的な素晴らしさであることがわかる。

(2) BSCC 提出論文は6篇であるが、その内容は全部共同研究の結果であり、わが国でも是非行なっておかねばならぬ内容のものばかりである。われわれのクリーブ委員会はこの6篇の内容の追試を行なうだけでも存在の意味があるといえるほどのもので、これの完成には今後数年を要するであろう。会議における諸討論、会議後の諸見学を通じて、ごく大まかに見てわが国のクリーブ研究の平均水準は英国のそれより10年おくられているように感じた。

(3) このおくれの原因については、わが国の技術者の怠慢とか、能力の如何によるのではなく、高温用鋼に対する需要と、苛烈な要求が存在していなかったためである。

今回の旅行で痛切に感じたことは、わが国の工業は一種の不具であるという点である。それは頭脳的産業、人間の能力のぎりぎりの所で育成されつつある頭脳的、尖端的工業を欠いて、角力取りのごとく体力が著しく発達していること不幸を感じた。原子力発電、航空機工業、宇宙工学は人智のぎりぎりの所で育っている工業であるが、これが全工業を刺激し、たとえば材料に苛烈極まる要求をつきつけ、ひいては材料科学の発達を促し、それがさらに基礎科学の数学、物理、化学を刺激しその発達を促していることはよく知られている。突如として材料科学や物性学が出現したのではないのである。

それらの先端科学のむつかしさは、大学を必須のものとし、その充実なくしてはやつて行けない現状である。さればその大学の充実ぶり、ぜいたくさは日本に比べてお話にならない。角力取りには大学は文化の飾り位にしか思われず、それほど必要に感じていないのではないか。大学とは40才、50才の一人前の大人が、必死になつて世間を忘れて朝から晩まで研究に没頭している所である。それが充実すればそこから技術の独創と躍進が生れないわけではないのである。それがどうしても実感として感じられないらしいのである。

また先端技術の膨大な予算は社会保障費と共に国家の大きな負担となつているが、クリーブその他の材料試験機の充実や、大学の設備を日本のそれより一ケタ多く充実させる位は、その膨大な予算に含めて考えれば僅かなものであろう。そんな意味でも先端工業は是非持ちたいものである。

宇山公使のお話によると英国人も同様に嘆いていて、英国の科学と技術が米国に一步をゆずつているのは、宇宙工学の刺激がないからである。早く人工衛星を上げよと問題になつている由である。

事実筆者も脆性破壊の研究者に会つた時、彼等は米国が脆性破壊の研究で世界をリードしているのは宇宙工学の刺激があるからで、英国もおくらばせながら、脆性破壊の共同研究をはじめ、米国に追つこうとしている段階であると話していた。その内に英国も人工衛星を上げるであろう。

社会保障と先端工業の重い負担にあえぎながら、やつとの思いで工業を進展させつつある英や西独と、日の出の勢いの工業を持つ日本と、何れが長い目では真の独創

的な文化を作り出すのであろうかとの思いを絶えず抱きながら旅をしたのである。

(4) クリーブ試験における最大の問題は何かと各方面に聞くと、どの答もデータの散乱の問題であるとのことであつた。いかにしてこの散乱を少なくするかが、目下の急務であるとのことであつた。論文5に発表されたスウェーデンの委員会に属する7社の1Cr-0.5Mo鋼に対する共同研究、または論文3の欧州8カ国21会社(独5, 仏5, 英4, スイス3, 白1, 和1, スウェーデン1, 米1)の $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo鋼に関する国際的共同研究の結果もデータの散乱はなほだしく、第2部のRapporteurのA. I. SMITH氏は、これらの共同研究の結果は失望以外の何物でもないと表現していた。

(5) しかしこれらの共同研究には一つの曙光が認められた。それは個々の実験室内で得られたデータは、各実験室間の、あるいは国際間の全体のデータに比べれば散乱が少ないという事実である。このことは今後の共同研究に希望を与えてくれる。すなわち測定法と装置を改良すれば、散乱の程度を改善する余地があることを示している。

(6) それでは測定法として何が一番大切か。これも各討論者の意見が完全に一致したのであるが、温度を正確に保つことと、それを正確に測定することである。何もかも温度というような雰囲気であつた。それも短かい時間における小さな温度の変動はそれほど結果に影響はなく、温度の正確な絶対値こそ最重要事項であるとのことであつた。

上記の結論からチェコスロバキヤでは国立の熱電対補正センターが設立された旨報告している(論文1)。また筆者がERAを見学した時、実験室の一隅に熱電対補正コーナーが設けてあつた。

(7) 上記のデータ散乱の問題は高温における下部降伏応力または0.2%耐力測定に関するBSCCの共同研究においても見られ、上記の(4)および(5)と同様な結論となつた(論文6)。

(8) 上記の(4)(5)および(7)の結論から、もう一度徹底的な国際共同研究を実施しようと相談がまとなり、日本も参加を勧められ、その第1回の打合せが1966年12月7日ロンドンで行なわれることになり、クリーブ委員会より京大の平修二教授にご出席願うことになつた。

(9) 次にくる重要な問題は上記のごとく散乱するデータを如何にして、実際の設計に取り入れるべきかという点である。たとえばBSCCの論文(7)では、高温の0.2%耐力が常温の引張強さと直線的関係にあるのを利用して、その関係を示す多数の測定点(これは大きく散乱している)に対して、95%信頼限度の直線をひきその最低値を設計に用うべきことを提案している。この種の散乱データを如何にして設計に利用すべきか、これも今後の共同研究の題目であろう。

(10) BSCCによつて高温耐力に対する歪速度の影響が発表されたが(論文40)、この種の研究は高温容器の設計データを求める時に大切な因子であるに拘わらず、わが国では組織的な研究が行なわれたことがない。またこの論文は引張試験機の特長、殊にその硬度比(Hardness Ratio)が耐力測定におよぼす影響について述べ、

一世紀にわたって使用されてきた在来の引張試験機で、この硬度比が問題にならなかつたのは不思議であると述べている。

(11) 次に長時間クリープに関連した大きな問題として、データの外挿の問題が盛に論議された。これも日本で共同研究を行うべき一つの問題であろう。仏の IRSID から提出の論文のごとく複雑な計算による方法(論文 2)もあるが、英国(論文 7)およびチエコスロバキヤ(論文 1)の研究結果は、結局は単純な Larson-Miller 法によるのが最上であると主張した。BSCC の方法はその時のデータの状況により Larson-Miller 法と Sherby-Dorn 法を使いわけるといふ考え方であつたが、原理的には上述と同じ結論である。

このようなパラメーター式による方法に対し、人間の頭脳という精巧な計算機を用い、眼で見ながら外挿するのがよいとの主張も有力であつた。その時にはそれぞれの測定データに Weight がつけられるので、機械的な計算よりも却つて正確ということであつた。また西独の代表は製鋼業者の頭脳という計算機と、鋼の使用者の頭脳という計算機を用いて、2本の外挿曲線を引き、その中間の平均値をとるのが最善と主張した。筆者はこれは冗談かと思つていたが、あとで英国のその方面の権威者に会つた時、これは英国の工業界の実情にもよくあてはまる発言であるとほめていた。日本の実情はどうであろうか。何れにしても設計に要求されている 100,000 時間のデータを外挿で求めるには、10,000 時間の実測値が必要という点では意見が一致した。

(12) 1%クリープ強度を設計基準にすることには反対が多く、100,000 時間におけるクリープ破断応力を採用すべしとの意見が強かつた。英国の製鋼業者はクリープ破断試験の準備を完了しているが、今新たに 1%クリープ強度採用ということになれば BSCC の試験能力は著しく低下して、高温用鋼の性質に関する情報は大不足に陥るであろうとの意見が主張され、大勢はそれに賛成であつた。この点の詳細なメモを有しているが、紙面の都合で省く。

(13) 日本より提出の共同研究の結果は、討論の中でしばしば引用されて筆者は肩身のひろい思いをした。内容の性質上系統的な討論の対象とはならなかつたが、その詳細なデータは各方面から感謝された。

(14) 耐クリープ合金の開発には、アカデミックな研究、たとえば転位論はあまり役に立たないとの発言があつた。それらは現象の解釈には役立つが、開発には利用されず、合金の開発は主として試行錯誤の方法によつて行なわれている。英国の製鋼業者はこの試行錯誤の方法によつて、転位の運動を妨げる障害物を見事に置いてきたとの発言があつた。

(15) 一つの部門には約 20 人の討論者が立つが、冶金技術者の智識の幅のひろいものには驚いた。大学での専攻を後生大事に守る伝統はないようである。自分の仕事を専門と考えて、必要ならば、機械工学であろうと物理であろうと何でも総合して、そこで専門を作つてしまうようである。大学も Oxford 大学のように機械とか電気の区別をやめて Engineering Science 一本にしてしまつて、このような工業界の新しい傾向(必要)に対応してい

る所がある。筆者も日本へ帰つたら、散乱するデータの正確な統計的処理法、ボイラーや高温高压容器の設計法、外挿法ことに外挿における散乱の取扱い、耐クリープ合金の長時間加熱における諸性質の変化などを勉強しなくてはならぬと覚悟したのであるが、新制の大学の卒業者はわれわれ旧制のものより異なり幅の広い教養があり、特別に上記のことなどを勉強の必要もなからうとのことで、その点やや安心している。

(16) 耐クリープ合金でもクリープの性質のみを対象としてはいけない。他の機械的性質、たとえば脆性とか靱性を考えなくては、実用上支障が生ずることが強調され、しばしば繰り返えされた。たとえばタービン用ボルト鋼が議論の対象となり、その常温における脆性の問題が強調された。

(17) 以上は主として第 2 部における討論を中心として述べたが、他の部門にも興味ある議論は少なくなかつた。たとえば Nb 添加の効用については英独の意見に相異があつたり、また実際の機械部品の設計には、切欠きを有する試片によるクリープ試験のデータが欲しいとか、実際のタービンを運転しつつクリープを測定する実験が目下進行中であるとか、種々の興味ある発言があつたが、紙面の都合で省く。ただ会議終了後の視察旅行で気のついたことを 2, 3 加えることを許されたい。

(i) クリープ試験機は各研究室ごとにあきれる程異なつていて、要点さえ押えれば機械の型式にこだわる必要はないのではないかと感を得た。かつ手製のものが多かつた。

(ii) クリープ試験の目的はデータの収集と、耐クリープ合金の開発とがあるが、後者に対しては手製の実用一点張りの機械 (Utility Machine と彼らは呼んでいる) を簡単に作つて多数並べる方針をとつている。

(iii) 日本の研究所に比べて、大学でも会社でも Machine Shop および Instrument Laboratory が著るしく充実して試験片、装置、測定器がどしどし自製されている。

この方が長い目で見れば安上りなのであろう。また売つていような機械では間に合わないような独創的な実験が多いあらわれかも知れないが、これは確かでない。

(iv) 大学、会社を通じて各実験室の設備や装置は、6 年前の訪問時に比べて、著るしくぜいたくかつ自動化が行なわれアメリカの研究所のそれに近づいている。そこに一つの飛躍を認める。たとえば 6 年前の Mond Nickel の研究所は今 INCO の研究所と名を改めているが、内部はまるで別の研究室のように充実している。科学の研究に金を使わねばならぬと叫ぶ時代は過ぎて、科学にびつくりする程多量の金を投入するのはあたり前と考える時代になつていようである。西独はまだ叫んでいる時代のように思えた。

(v) 英独の大学の主なるものは、大学院大学で博士課程を対象として設備されているので、その設備費とか研究費は日本のそれより一けた上ようである。日本の大学は在来の学部、予算をほとんどつけずに大学院の学生を収容しているのである。学部の予算を大学院で薄めて使つていようである。日本の大学の設備は 6 年前に見た欧州の大学のそれにまだ追いついていないように思われた。今日

の日本の大学の状態は、どうにか世界の水準であり、足りない所もその中に何とかあると思つている人があればその人は仕合せである。また英国では大学の方が会社より給料がよくて会社から大学へ人が流れる傾向がある由である。

(18) 2カ月の海外視察を与えていただいて、技術革新の真只中にある研究所の空気にふれ得て感激の他はない。何があの研究所の澆刺たる活気の源泉であろうか。誰が彼等を駆り立てているのであろうか。今もそれを、道を歩きながらも考えている。一体日本の国民は何を生き甲斐と思つて頑張つているのか。大学生はともすれば無気力になり勝ちだが、彼等の人生の目標は何なのか。何に向つて勉強せよと彼等に告げればよいのか。帰国後半年間ではそれらの気持の整理がつかずに困っている。最新の設備、最尖端の実験の話と並べても、それはそれだけのことで、もつと大きなものに打ちのめされて帰つて来たが、それが何なのか混んとしている。外遊は人を愛国者にするというのがその実例の一つなのであろうか。終りに重ねて今回の視察にご後援をいただいた各方面に感謝の意を表す。

クリープ試験結果の外挿に対する新公式の提案： Cr-Mo-V 鋼に対する適用例 (第 II 部, 論文 2)

G. MURRY

Cr-Mo-V 鋼のクリープ伸びおよび破断結果を解析した結果、クリープ特性時間と絶対温度の逆数の間には、初期歪が一定のとき、非常によい直線関係が保たれていることがわかつている。しかしこの直線関係は初期歪が荷重をかけたときの瞬間伸びが塑性変形を伴わない時に、完全に適用できる。このとき式は以下のように表わされる。

$$\log t = \frac{\Delta H}{2.3R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right) - f(\Delta l_0, C) \sigma_0$$

ΔH はクリープ活性化エネルギーで 98,400 cal/mole のオーダーであつて、 σ_0 (初期応力) と T (試験温度) によらない。 $f(\Delta l_0, C)$ は負荷をかけたときの塑性変形 Δl_0 とクリープ特性値 C によつて変わる。

クリープ特性値が同じ場合には、直線 $(\log t)/\sigma_0 = F(1/T)$ の σ_0 の値による変化は横軸で $1/T_1$ 、縦軸で $-f(C)$ に収斂する。

σ_0 が増加し、瞬間的塑性変形が起こる場合には $(\log t)/\sigma_0 = F(1/T)$ はもはや直線ではなくなり、その曲率半径は初期の冷間加工度の増加(すなわち試験温度の増加)につれて減少する。このことは ΔH の値を計算するときの誤差の可能性を示唆している。(河野尚孝)

2 $\frac{1}{4}$ %Cr-1%Mo 鋼の長期間挙動の国際的共同試験 (第 II 部, 論文 3)

W. RUTTMANN, K. KRAUSE and K. J. KREMER

1960年デュッセルドルフで開かれた耐熱鋼の長時間挙動に関する国際会議で、各国から報告された 2 $\frac{1}{4}$ %Cr-1Mo 鋼の強さには、予想されたよりも大きな差があつた。討論の中で、この違いは試験方法と値の評価方法の差によるという見解が述べられ、同一試料による国際比較を行なうことが決つた。本論文ではその結果が報告されている。

8カ国から 12カ所の試験研究所が参加し、550°C と 600°C の結果が集められた。応力-破断時間のデータを

プロットしなおし、100, 300, 1000, 3000, 10000, 30000, 50000, 100000hr の破断強度をグラフの上から読み取り、各算術平均を出して、各国別の平均、各研究所別の値をグラフの上で比較している。その結果、内挿法で求めた 10000hr までの値にはおおむねバラツキは少ないが、100000hr の外挿法 (25000hr 以上のデータからの外挿) では最大 15% の差が認められたと報告されている。

各研究所での試験方法は種々異なり、マルチ式とシングルタイプ、重錘式とスプリング式、試験片の径とゲージ長さ、温度変化の範囲の差などでデータにどう影響されるかという点については、データの不足などで本報告では検討されていない。(河野尚孝)

クリープ速度決定の再現性に関する若干の観察 (第 II 部, 論文 5)

B. ARONSSON and A. HEDE

クリープ破断試験におけるデータのばらつきのかかりの部分は、試料成分の不均一によるとされているが、実験技術による差も少なくないことが近年明らかにされてきている。同様のことは、クリープ速度の結果についてもいえる。この論文は、1%Cr-1/2%Mo 鋼を用いて、クリープ速度測定の実験結果についての知識を得るための実験結果について述べたものである。

試料は 1%Cr-1/2%Mo 鋼の 2つの鋼塊を用い、各々で 525°C 応力 7 kg/mm² および 10 kg/mm² のクリープ試験を行なつている。比較のために 9つの研究所で行なつているが、各研究所での平均の温度のばらつきは 525°C \pm 3°C である。伸びの測定は ± 0.001 mm 以上の精度で行ない、特に 1研究所では 0.0001 mm の精度を持つ。また曲げ応力のかかる場合についても実験を行なつている。以上による結果について、次のことが示されている。同じ研究所において得られたデータのばらつきは、各研究所で得られた全データのばらつきに比べると明らかに小さい。この原因の内、1つの研究所でのばらつきは、試料成分の不均一によることが多いものと思われる。また 515°C と 535°C で行なつた実験で、2000~3000hr の定常クリープ状態でのクリープ速度の応力および温度への依存性より、 $\dot{\epsilon} = \text{Const} \cdot \sigma^n e^{-Q/RT}$ の式で、 $n=6.5$, $Q=60$ kcal/mol を得ている。これより、応力の 1.5% の変化または、温度の 2.5°C の変化によりクリープ速度は 10% 相違する。したがつて、各研究所によるばらつきの原因の 1部分は、温度測定の誤差にあることが考えられる。伸びの測定誤差のクリープ速度への相対的影響は、短時間側で大きく、長時間側で小さいはずである。研究所の相違によるデータのばらつきは、短時間、長時間を問わないが、短時間側でより大きい。また、曲げ応力のかかる場合には偏差が大きい。そこでばらつきは温度の測定誤差によつてのみでは説明できない。したがつて、実験をより精度の高い条件で行なうこと、特に温度のコントロールと大きな曲げ応力をかけないことが大切である。しかし、ばらつきの原因のかかりの部分は、この実験で明らかにされていない因子によるかも知れない。(鈴木功夫)

改良 1%Cr 鋼の高温性質 (第 III 部, 論文 8)

M. CAUBO

ベルギーの国立中央冶金研究所で開発された改良型低合金フェライト鋼の高温での性質について述べている。鋼は 0.5% Mo, 0.3% V, 0.4% W を添加した 1% Cr 鋼で、775°C でオーステナイト化処理を行ない、720°C で焼戻しを行なっておりその結果析出硬化している。この鋼の工業的利用に関する実験を行ない、特に高温でのクリープ・ラプチャー試験を2種の温度で行なっている。クリープ・ラプチャー試験では、破断時間が1000hr以上で求めており、特に10000hr以上の破断時間になるような応力で多数のデータを得ている。この試験から、550°C, 575°Cで応力-破断時間曲線を求めている。この曲線でバンドを作成し、バンドの下限を直線によつて100000hrまで延長して、100000hrでの破断応力を推定している。その推定値を下表に示す。ただし550°C 100000hrのみが外挿による推定値であり、他は内挿値を示す。

| 試験温度 (°C) | 550°C | | 575°C | |
|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 時 間 (hr) | 10 ⁴ | 10 ⁵ | 10 ⁴ | 10 ⁵ |
| 最小破断応力 (lb/in ²) | 23.45 | 14.925 | 18.490 | 12.080 |

工業的利用の観点から、ベルギーでのこの鋼が、ボイラーの過熱器に利用される際の、設計応力ならびに、管の外径、肉厚の変化と設計応力の関係を表にして掲げこの鋼が過熱器管としてすぐれていることを示している。

クリープ・ラプチャー試験のほか次に次の試験を行ない各々の結論を得ている。

耐酸化性と耐食性：耐酸化性と耐食性試験を過熱蒸気中と石炭燃焼のガス発生装置中で行なっている。これらの試験で、過熱器管として使用されている汎用の鋼種（例えば、2.25%Cr-1%Mo鋼）とほとんど同じであると結論している。

鍛造性：過熱器管に成形するに際しては何んら困難な問題は起こらなかった。

曲げ：曲げにおいても良好な結果を得ており問題は起こらなかった。

溶接性：溶接性においても良好な結果を得ており、溶接棒は母合金と同一のものを使用する。

以上の試験結果から、575°Cまでの温度に1%Cr, 0.5%Mo, 0.3%V, 0.4%W鋼は適用でき、特に工業的にはボイラーの過熱器に使用できる確証を得ている。

(篠田隆之)

低炭素量の低合金 Cr-Mo-V 鋼のクリープ性質 (第 III 部, 論文 9)

T. PRNKA and V. FOLDYNA

この論文は4種の低炭素低合金鋼に関して述べている。これらの鋼の平均化学組成は、0.1% C, 0.5% Cr, 0.25% V で、Mo が 0, 0.25, 0.5, 1.0% を含む。これらの鋼種は、チェコスロバキアでボイラー用、化学用に使用されている。一定温度での破断時間の対数の応力の対数に対する依存性が、合計3~4百万hr以上の期間にわたる長時間クリープ試験を行なつて決定された。クリープデータを解析するのに新しい方法が試みられ、実験の結果のパラッキを評価し、さらに、パラメーターの関係を適用して数学的統計的な方法によつて得た結果

から長時間の値を外挿して求めるには都合のよい方法である。この新しい方法で解析し、次のような結論を得ている。

1. 低合金鋼のクリープは3つの異なつた機構に左右される。

(i) 結晶粒内破壊

(ii) くさび型の割れが発生することによる結晶粒界破壊

(iii) 空孔の発生による結晶粒界破壊

破壊の様式はクリープ速度に依存する。

2. log/log でプロットした破断時間対応力の依存性に対する直線の勾配の変化は破壊機構の変化によつて生ずる。

3. ある温度で応力を減少させると、破壊機構の様子が常に観察される。すなわち、

結晶粒内破壊→くさび型割れ→空孔

4. 観察し得る各々の破壊様式は活性化エネルギーのある値によつて特徴づけられる。結晶粒界破壊の活性化エネルギーは130,000 cal/mol, くさび型割れの活性化エネルギーは96,700 cal/mol, 空孔生成の活性化エネルギーは79,000 cal/molである。

5. 低炭素低合金鋼の耐クリープにおよぼす Mo の影響についての新しいデータが得られた。最適 Mo 含有量(0.5%)が存在する。

6. 空孔の生成によつて、破断時間の対数によるパラッキのバンドは一番せまくなる。

7. Mo の添加は対数目盛で破断時間のバンドを広げる。

8. 対数目盛でのクリープ強さの応力値のパラッキによるクリープ・ラプチャー試験のパラッキの推定はまったく形式的である。パラッキは、破断時間のパラッキよりも、log/log での破断時間対応力曲線における直線の勾配に依存して決定される

(篠田隆之)

ドイツにおける標準耐熱鋼のクリープ試験の現状 (第 3 部, 論文 10)

W. RUTTMANN and P. OPEL

この論文は1950年に、フェライトおよびオーステナイト耐熱鋼のクリープ強度の研究活動を開始した、ドイツの耐熱鋼委員会によるデータの一部分を示したものである。現在、この耐熱鋼委員会は、1000の場所で種々の処理を行なつた、種々の鋼種について、400~750°Cの温度でテストを行なっている。これらのうち部分的に10万hrに達しているので、国際的比較を行なうために発表を行なっているものであるが、余りに膨大になるので、詳細なデータは、2¹/₄Cr-1Mo鋼についてのみ示され、他に5つの鋼種について、450°C~750°C, 1万および10万hrの破断強度が示されている。破断強度の結果は、次の2つの方法で整理されている。1つは各温度での各溶解材 (cast) について得られた測定点を log 破断応力-log 時間グラフにプロットし、これらの点を結んで得られる曲線より外挿して、1万hr, 10万hrの破断応力を求め、それより一定の破断時間に対する温度-応力グラフを得ている。他の1つはより一般的なもので一定温度でのすべての測定点を log 破断応力-log 時間グラフにプロットして、その平均曲線を求めている。

2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼について得られた結果は、現在まで得られている結果より低い値となつている。以前よりこの鋼種では異つたデータが発表され、このため国際的な比較実験が行なわれ、実験技術の相違によるか否かが検討されているが、その報告によつても、データの相違の説明はなされていない。しかし、異なる研究所間におけるデータの場合に、よりばらつきが多いことが認められ、ドイツの研究所のデータは、その最小値をしめる。実験技術の差によるデータのばらつきは、再度研究されねばならない。(鈴木功夫)

9%Cr-1%Mo 鋼の高温性質 (第 III 部, 論文11)

L. EGNELL

9%Cr-1%Mo 鋼は、650°C までの耐酸化性がよく、また溶接性がすぐれているために、石油工業や発電機用に用いられている。しかし、この鋼の使用に関しては、耐酸化性は十分でも、クリープ強度が問題とされる。

この論文は、スウェーデンにおけるもので、高温での引張り強度、ラプチャー強度および組織の変化についてのべている。試料は 920°C~1000°C, 10 min~60 min 空冷, 725°C~780°C, 1/2hr~2hr 空冷の焼準, 焼戻し処理を行ない、焼準によるベイナイトマルテンサイト組織は、焼戻しにより、フェライト地中に約 50%Cr と 10%Mo を含む粗大炭化物を含む組織となる。

高温引張り試験における耐力の値は、試料組成によるばらつきを含めて、300°C で 34~39 kg/mm², 500°C で 27~34 kg/mm² を示している。9%Cr-1%Mo 鋼のクリープ強度は、低温では 2 $\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼よりも 20%程度高いが、600°C ではほぼ同じである。550°C~700°C における log 応力-log 破断時間のグラフは、50000hr 程度までで直線関係を示し、これは10万hrの破断強度を外挿によつて求める場合の不確かさを減少する。しかし 550°C より幾分上の温度で 5000~10000hr で直線の傾きが変わるようであるが、注意すべきことである。クリープ過程中には、非常に大きな伸びを示すが、それは主に第三段階で生じ、約 10% の伸びを生じた後に、変形速度は非常に増加する。そこで伸びがいかに大きくても、クリープ強度を決定するのは 10% 伸びまでのクリープ挙動による。鍛造材と同様のクリープ強度が、管材と溶接用電極材として用いられている 9%Cr-1%Mo 鋼でも認められる。

スウェーデンおよび他の国で得られたデータをまとめて、設計応力としての耐力および 100,000hr 破断強度を得ている。10,000hr 以上のデータのある試験材についてのみ外挿を行なつているので、得られた結果は多くはないが、525°C~700°C での、温度と破断強度のグラフが求められている。450°C までは耐力が、それ以上ではクリープ強度が設計応力を決定すると考えられる。

高温での焼鈍およびクリープ試験による組織変化では炭化物の粗大化が顕著で、これは硬度の減少をもたらす。単なる焼鈍による変化は遅いが、応力下では、著しく促進される。X線回折によると、650°C, 28290hr のクリープ試験片では、M₂₃C₆ のほか M₆C 炭化物も認められる。この場合、顕微鏡組織的には M₆C を確認できないが、炭化物中の Mo% が、20% に増加している。これは多分、M₆C の析出に関係しているであろう。こ

のようにクリープ中の組織変化が大きいにもかかわらずクリープ強度は著しい変化を見せていない。(鈴木功夫)

各種の炭素鋼の高温引張り、クリープ、および破断の諸性質 (第 III 部, 論文12)

J. GLEN, R. F. JOHNSON,

M. J. MAY and P. SWEETMAN

英国においては、以前から脱酸操作が鋼、特に炭素鋼や炭素-マンガン鋼の高温での性質に重要な影響をもつてることが認められていた。この論文は英国鉄鋼製造業者のクリープ委員会でこれまで得られた種々のタイプの炭素鋼に関する高温でのデータが記述されている。そのかなり詳細なデータは現在の英国におけるこの種の鋼の試験の状況を完全にあらわしている。

引張り試験

1. 鋼は次のタイプに分類されて調べられた。セミキルド鋼, シリコンキルド鋼, (事実上アルミニウムなし)アルミニウム処理鋼およびニオブ処理鋼である。

2. 高温での降伏点または 0.2% 耐力の値は室温での引張り強さと明らかに相関関係がある。この点を考慮に入れると、降伏応力や耐力のデータは製品の形は違つても同じばらつき範囲に入る。

3. 300°C までの降伏応力、耐力のばらつきは主としてフェライト粒度のばらつきと試験条件によつて説明できる。300°C 以上ではすべてのタイプの鋼でそのばらつきはきわめて小さい。その組成の影響は今なお調べられている。

4. この研究での最も重要な結果は、降伏応力および耐力を温度に対してとつたカーブの形が鋼のタイプによつて異つていることである。

5. 本実験のように多数の 0.2% 耐力のデータがあつて始めて統計的な解析が可能であり、これから耐力についての信頼限界が得られる。

クリープおよび破断のデータ

6. 長時間破断データが組成を広い範囲にわたつて変えた種々の鋼について得られた。概して破断強度には非常に大きなばらつきがある。このばらつきは鋼をマンガン含量、または残余物の範囲で定義して分類すると非常に小さくなる。鋼をこのように分類した場合の 100,000 hr 破断強度から次のことを指摘することができる。それは活性化した窒素、マンガン含量および残余物特にモリブデン残余物の影響であつて、破断強さはマンガン、モリブデン残余物が増加するにともない増大する。

7. 大抵の標準鋼組成表は組成限の最大値と最小値の両方を定義してはいないので個々の標準組成表の平均破断強度を与えることは出来ない。しかしながら組成の最小値が与えられているものに関してはある情報を与えることはできる。(阿部信彦)

18%Cr-8%Ni(304), 18%Cr, 12%Ni-Mo(316), 18%Cr-10%Ni-Ti(321), 18%Cr-12%Ni-Nb 鋼(347) オーステナイト鋼の高温引張り、クリープおよび破断の諸性質 (第 III 部, 論文14)

R. J. TRUMAN, R. P. HARVEY

R. F. JOHNSON and J. N. SMITH

18-8(AISI 304), 18-12-Mo(同 316), 18-10-Ti(同 321), 18-12-Nb(同 347) の棒, 板, 管, 鍛造材の短時

間引張り試験と長時間クリープおよびラプチャー強度についてのべている。データは、英国の多くの鉄鋼技術者によつて、信頼に足る設計応力についての正確な知識を得る目的で集められ解析されている。しかし、引張り強度とクリープ強度に対する熱処理や成分の影響をくわしく述べるのは、この論文の目的となっていない。

各データはグラフで示されている。また重要な性質として耐力は常温と高温との値を関連づけ、また平均値、許容限を計算することにより、統計的に分析されている。10万hr 1% クリープ強度およびラプチャー強度は、Sherby-Dorn, または Larson-Miller 法で外挿している。

引張り試験については、(i) 温度と 0.2% 耐力, 1% 耐力, 抗張力, 伸び, 絞りとの関係 (ii) 常温耐力と高温耐力との関係 (これには平均値と95%許容限を含む) (iii) 温度と 0.2% と 1% 耐力の 95% と 98% の下部許容限の関係の3種のグラフにまとめられている。それから、(1) 316, 321 ではばらつきが多く、常温の抗張力と高温の耐力との間には、低合金鋼や炭素鋼のようなよい相関関係がないが、これは製造過程、溶体化温度などが抗張力よりも耐力に大きく影響するからと思われる。304, 347 は、ばらつきはより少ない。(2) 高温の 0.2% および 1% 耐力は各鋼種とも常温耐力とよい相関関係をもつ。(3) 321 は耐力への溶体化温度の影響をみているが、高温 (1100°C ~ 1120°C) の方が、低温 (1020 ~ 1050°C) よりも耐力が小さい、などのことが示されている。

クリープとラプチャーのデータは、(i) 各温度での log 破断応力-log 時間のプロット, (ii) 各温度での破断伸びと log 時間のプロット, (iii) 平均の log 応力と log 破断時間をまとめたグラフ, (iv) 各温度での log 応力と 1% 伸びを生ずる時間の対数のプロット, (v) ラプチャーと 1% クリープ伸びのデータへの Sherby-Dorn 法または Larson-Miller master curve の適用, (vi) 計算による 1% クリープ強度とラプチャー強度をまとめたグラフの5種のグラフにまとめられている。それらより (1) 316, 347 の平均値は、以前発表されたものとかかなり良く一致する。(2) 321 は2つの溶体化温度でラプチャー強度を得ているが、高温溶体化の方が大きな強度を示す。(3) 1% クリープ強度については、316 鋼では1万hr と 3万hrの平均応力がラプチャー強度と比較してあるが、3万hrでは 600~700°C でラプチャー応力の 70~85% で、10万hrでは、この割合はもう少し高いと思われる。347では 80~95% である。(4) 伸びについては大きなばらつきを示している。316 では 4~84% の範囲であるが、10%以下のものはわずかである。347 では大部分が10%以下である。また、321 では溶体化による差はない。

(鈴木功夫)

鋳造炭素鋼の高温引張り試験の予備的調査 (第 III 部, 論文15)

J. LEAVER and W. J. JACKSON

B.S 1504 : 1958*1 (石油化学および関連工業用鋼材) の改訂を目的としたもので、炭素鋳鋼 (溶接するために C_{max} 0.3%) について、機械的性質を温度に対して求めたもので、焼鈍および焼準状態のものを別々に考察し

ており、1 inch thick block から $\sigma_{0.2}$ または σ_{1y} の 95 および 98% 下信頼限界を求めている。

第 1 表 化学成分および機械的性質
B.S 1504—161 1958 Grade B

- Fig. 1 のような block を commercial と同じ処理で鋳造
- 900°C 程度の anneal または normalize. (60回以上の加熱)
- 1 inch 断面の試験片のきり出し
- R.T ~ 400°C までの温度で引張強さ σ_B しぼり, 耐力 $\sigma_{0.2}$ (または σ_{1y}) 伸び ϵ_{total} を求めている (Fig. 2)

実験方法 B.S 3688 : 1963 (常温および高温での試験方法) $\sigma_{0.2}$ についても、バラツキがあるために焼鈍、焼準状態について各温度で各々 $\sigma_{0.2}$ を σ_B に対してプロットし、回帰線および 95% の信頼限界を求めた。(Fig. 3, 4) さらに 95, 98% 下信頼限界より $\sigma_{0.2}$ を温度に対してプロットしたものが Fig. 5, 6 である。

Fig. 5, 6 についてはたて軸 $\sigma_{0.2}$ 横軸 t であり、図中左上にある数字 (σ_B at R.T を示す。)のうち、焼鈍、焼準ともに、29~33 または 29~35 t/in^2 *2 の線が普通である。

normalized の方がバラツキは大きい低温 (R.T ~ 200°C) では、annealed よりも優れている。高温では同じ挙動を示す。(Fig. 5, 6). 0.17% C については、 Ac_3 直上の anneal (850°C) は低温 (R.T ~ 200°C) で機械的性質が劣化するので annealing temp. は 900°C 以上が良い。(Fig. 7).

歪とり焼鈍の効果はなかつた。

anneal 材について 4 inch 断面の試片と比較したが、変化はなかつたので 1 inch 断面のものが 4 inch 断面のものに代用しうる (Fig. 8). (田村 学)

*1 B.S 1504 : 1958 は JIS G 3103 (1953) に相当。
*2 $t/in^2 \sim 1.55 \text{ kg/mm}^2$

鍛造低合金 Mn-Cr-Mo-V 鋼のあるクリープ性質と破断性質 (第 IV 部, 論文18)

P. MANNING

酸性平炉溶解した $1\frac{1}{2}\text{Mn-Cr-Mo-V}$ ボイラードラム用鍛造材についての、クリープおよびラプチャー強度とその組織との関係について報告してある。超強靱鋼スーパータフ F は、 $C < 0.2$, $Si 0.10 \sim 0.35$, $Mn 1.00 \sim 1.50$, $Ni < 0.50$, $Cr 0.50 \sim 1.00$, $Mo 0.15 \sim 0.35$, $V < 0.10$, $Cu < 0.30$ の組成をもち、発電用ボイラードラム用として重要な鍛造材である。

試料は1つの鋼塊より得られた4つの大きな鍛造材より得られ、900°C 油冷、675°C 20hr 焼戻し炉冷の熱処理を加えられている。4つの鍛造材の成分分析値について注意すべきことは、No. 4 の Mn% が他のもの (1.25 ~ 1.27%) と比べて低い (1.07%) ことである。各試料の組織はベイナイトとフェライトよりなっているが、No. 4 のみがフェライト量が多く、その原因は Mn% によると思われる。

応力-破断試験では4試料ともに破断時間に大きな差はない。しかしその内でもフェライト量の多い (50%) No. 4 が最も短く、最も少ない (5%) No. 2 が最も長

い。クリープ試験は 450°C 17t/in^2 と 500°C 7t/in^2 で行なっているが、前者では No. 4 のみが大きなクリープ速度を示し、フェライト量の影響と思われるのに対し後者ではほぼ差がない。その原因をレプリカによる電子顕微鏡組織よりみると、各試料とも、ベイナイトは細かい V_4C_3 と粗大なセメントイトを含み、フェライトは細かい V_4C_3 と、焼入れ温度で未溶解のままの少量の粗大な V_4C_3 を含む。ところが、フェライト量の多い No. 4 では、フェライト中の析出が他の場合よりも多く、これは焼戻しによるのみでなく、オーステナイト化温度からの冷却中に生じたと思われる。応力の高い場合 (450°C , 17t/in^2) では、クリープ速度は大きく、それはクロススリップと粒界亡りの複合された過程によつて生じたマトリックスの強度に依存するので、フェライト量の多いことはクリープ速度を大にするとと思われる。しかし、低応力 (500°C , 7t/in^2) では、クリープ速度は細かく分散した析出物による転位の locking により強く支配されるので、フェライト量に依らないと思われる。

次にこの材料は溶接を行なつて使用されるので、応力除去焼鈍の実験を行なっている。 575°C ~ 675°C で各加熱時間と残留応力値がグラフに示されているが、実際に用いられている 650°C 10hr の処理が適当であることが確認される。

最後にシャルピー衝撃試験を行なっているが、遷移温度はベイナイト量が多いほど高くなることがわかる。

(鈴木功夫)

12%Cr 鋼—耐クリープ、高張力の諸変種 (第 IV 部, 論文19)

H. W. KIRKBY and R. J. TRUMAN

第二次大戦後 12%Cr マルテンサイト鋼はシェフィールド社研究所で大規模に研究されてきた。本報告はブラウン・ハース研究所で行なわれた 12%Cr 鋼の開発研究の一部である。

使用された鋼は低 C ($0.1\sim 0.2\%$ C) の単純な 12%Cr 鋼と、それに Mo, V, Nb, N, Ni および Co を種々に添加した鋼で、高温耐力、クリープ、ラプチャーおよび疲労強度を改善することを目的としている。

その結果、12% Cr 0.1% C 鋼の高温強度を改善する上で大きな進歩が得られた。 550°C 100,000hr 破断強度では従来の 4 倍のものが得られ、短時間の用途には、100hr の低クリープ歪では 8 倍のものが得られた。また 0.2% 耐力では $50\sim 60\text{t/in}^2$ ($77.4\sim 92.7\text{kg/mm}^2$) で衝撃値もよい値を保っているものが得られ、12% Cr 鋼は大いに改善された。

クリープおよびクリーブラプチャーデータで多くの知識が得られた一方、高温引張りおよび高温疲労挙動の補助的データも与えられている。広い組成範囲にわたつて試験されたすべての鋼で、高温範囲の耐力が常温での引張り強さと同じ関係を保っていたというのは興味ある事実である。

しかし今後解決されるべき多くの問題が残っている。Nb を含む鋼のクリープ靱性の改良、溶接にともなう性質、特に 12%Cr-Mo-V の溶接の問題、また高温疲労、特に疲労とクリープの組合わさった時の問題などである。

(河野尚孝)

新 2%Cr-Mo-V-Al 窒化/耐クリープ鋼—HK5 (第 IV 部, 論文20)

H. W. KIRKBY and R. J. TRUMAN

Al を含まない鋼で 550°C ~ 575°C のクリープ特性のよいものでも窒化は可能であるが、窒化した表面は軟化抵抗が小さい。そのような材料はクリープと摩耗が同時に働く高温材料には向いていない。またよく知られた 1% Cr-1%Al 窒化鋼は高温での表面硬度は高いがクリープ性が弱い。

500°C ~ 575°C で 1/2~1% Cr-Mo-V 鋼と同じ程度の高抗クリープ性を有し、一方標準的な 1% Cr-Mo-Al (En 41) と同じ程度の表面硬度を同時にかねそなえた新しい耐熱耐摩耗鋼が開発された。本論文はその報告である。

本実験で試験された鋼の組成は次の通りである。C 0.25%, Si 0.25%, Mn 0.60%, Cr 2.0%, Mo 1.0%, V 0.5% を基本組成とし、Al を 0.33~1.74% に変化させた 9 種である。

窒化によつて、Al 含量の多い程表面硬度は増加するが、0.5% 位が一番よく、それ以上では表面がスポーリングしやすい。

550°C ラプチャー試験結果によれば、1% Cr-Mo-V 鋼と同程度の破断強度を持ち、3% Cr-Mo 鋼よりも強い。 550°C および 575°C のクリープ強度でも 1% Cr-Mo-V 鋼と同程度で、3% Cr-Mo, 1% Cr-Mo-Al 鋼よりもずっとすぐれていることがわかった。

その他のデータとして、応力を与えずに 550°C に 1 年まで保持した時の影響、高温引張り性質などが与えられている。

この HK 5 は現在までに 3 年間、イマージェンシーストップパルプシステムとプッシュとして 510°C ~ 538°C で使用されている。

(河野尚孝)

二種類の高合金マルテンサイト不銹鋼および 500°C ~ 700°C 温度範囲において析出硬化せるオーステナイト不銹鋼の性質 (第 IV 部, 論文21)

G. L. BRIGGS, A. E. MARSH
and J. W. S. STAFFORD

航空機用ガスタービン材として開発された 12%Cr マルテンサイト鋼は、その後用途が拡大し、発電用蒸気タービンにも多く使用されるようになり、設計上の基礎データとして、長時間—100,000hr—高温性質のデータの集積が必要になつてきた。また 12% Cr 型鋼から発展した 10% Cr 型鋼についても同様である。またマルテンサイト型鋼では 600°C 以上の温度では性質が急激に落ちるので、この温度ではオーステナイト型鋼の A286 が多く使用される。そこで、12%, 10% Cr 型鋼としてそれぞれジェソップ・サピル H46 と H53, A286 型鋼としてジェソップ・サピル G68 を選び、製法・加工・熱処理の異なるもの、H46 鋼で 13 種、H53 鋼で 10 種、G68 鋼で 8 種の試料について、高温引張り、長時間クリープおよびラプチャー強さなどのデータが報告されている。試験はおおむね英国規格 (BS 3228, BS 3688 など) にもとづいて行なわれている。さらに考察においてこれらのデータは、よく知られている他鋼種、低合金フェライト鋼の $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo, オーステナイト鋼の AISI 316 高合金抗クリープオーステナイト鋼の G18B と G19

などと比較されている。結果を要約すれば以下の通りである。

1. H46 と H53 は明らかに常用の低合金耐熱鋼よりもすぐれている。H53 は H46 よりも主として破断強度において改善されているが、580°C 10,000hr, 530°C 100,000hr では H46 よりも低い値を示している。

2. G68 は AISI 316 よりもすべての温度範囲ではつきりとすぐれていることを示し、他の高抗クリープオーステナイト鋼にも 650°C 以下ではすぐれている。しかし、100,000hr では G18B よりも若干すぐれている程度である。

3. 高温引張り強さは、他の鋼種との比較は十分ではないが、3鋼種とも 600°C までではよい値を示しており、G68 では、これより高温においても、他の2鋼種よりもよい値を保っている。

4. この種の基礎データとしては、0.2% 耐力、100,000hr 破断強度、1%クリープ強さが要求される。現在試験は継続中であるが (H46 では現在 80,000hr, 他はそれ以下)、外挿法で求めた値によると ISO ボイラーコードに充分合うようであり、H46 と H53 では比較した他のフェライト鋼よりも高く、G68 では AISI 316 よりも高い値を与えている。(河野尚孝)

進歩せるオーステナイト鋼 *Esshete 1250* の高温性質 (第 IV 部, 論文22)

J. D. MURRAY, J. HAGON
and P. H. WANNELL

この鋼は比較的単純なオーステナイト鋼で高いクリープ破断強度とともに表面および組織のすぐれた安定性を有する耐熱鋼に開発する目的で、過去9年間にわたって United Steel Co. Ltd. で試験されてきたもので、675°C までの温度で10万 hr の使用に耐えることが確認された。標準組織は 0.15C_{max.}, 5.5~7.0 Mn, 9.0~11.0 Ni, 14.0~16.0 Cr, 0.8~1.2Mo, 0.4V_{max.}, 1.24Nb_{max.}, 0.007 B_{max.} である。非時効硬化性の完全オーステナイト鋼で特別な時効処理は不要であるが、650~800°C 加熱で若干の硬化がみられる。これは M₂₃C₆ と NbC の析出によるもので、引続き長時間加熱すると過時効軟化する。850°C 1万hr加熱の結果からこの鋼の室温での最低平衡強度は溶体化のままより約 6.5% 低い範囲にあることを示した。

多数のクリープ破断試験の結果から求められた破断強度は次表の通りで、316, 347鋼よりはるかに強い。

| 温度(°C) | 破断強度 (kg/mm ²) | | |
|--------|----------------------------|---------|----------|
| | 10000hr | 30000hr | 100000hr |
| 600 | 27.0 | 24.8 | 22.3 |
| 650 | 20.4 | 18.5 | 16.3 |
| 700 | 10.4 | 7.0 | 4.7 |

約 19 mm φ の棒材から 500 mm φ の鍛鋼品まで種々の製品を含めて、1万hrの破断強度のパラッキは±20%以内である。鍛錬比の大きい材料では 1050~1150°C の溶体化温度の影響はないが、大型鍛鋼品では溶体化温度を高目にした方が破断強度は高くなる。750~950°C の歪取り焼ナマシの影響はほとんどないが、局部的歪取を要する場合でも完全溶体化が望ましい。

ISO によれば 600°C 以上では破断強度が設計の基準となるのでクリープ試験はあまり多くは実施していない

が、Larson-Miller 法による推定を行なっており、たとえば 650°C 1% 歪を生ずる応力は 10.2 kg/mm² である。

短時間引張試験は 20~750°C で BS 3688 の規格により行なっている。完全溶体化状態では肉厚材の強度は鍛錬比の大きいものにくらべて強度が低い。設計基準に耐力を用いる温度では鍛錬終了温度をよく管理するとともに低温で溶体化すると強度は増加する。また 600~800°C での熱冷加工も耐力、破断強度の改善に大きな効果があり、高温ボルト、ブレード材によい。

実験室および工場試験による耐酸化性は同程度の Cr を含む他のオーステナイト鋼と同様の成績を示した。

(田中良平)

3種類のオーステナイト鋼の破断性質におよぼす熱処理と溶接の若干の影響 (第5部, 24論文)

D. HARDWICK and R. J. TRUMAN

オーステナイトステンレス鋼として普通よく使われている 18Cr-8Ni 型と 18Cr-12Ni 型鋼については、高温性質のデータ、特にラプチャーデータは豊富にある。これらの値は普通標準的な熱処理、すなわち 1000°~1150°C で溶体化処理した試料で得られたものである。しかし多くの場合熱処理後に溶接して使われるので、クリープおよびラプチャー性質が溶接および溶接後の応力除去熱処理にどう影響されるかを知ることは重要なことである。このような“非標準状態”でのデータは、以前よりも集められつつあるけれども、標準的熱処理状態でのデータにくらべればまだ少ない。本論文では、3種のオーステナイトステンレス鋼に溶接中または溶接後の応力除去熱処理に相当する各種の熱処理をほどこした場合の、クリープおよびラプチャーデータが与えられている。いくつかの試料については実際に溶接したものについても報告されている。

使用されている3種の鋼は、ファースピッカーズ F. C. B. (T) (A. I. S. I. 347型鋼)、ファースピッカーズ 555 (316型)、ファースピッカーズ 548 である。結果は以下の通りである。

1. F. V. 555 はラプチャー強さに関して広い範囲にわたって熱処理温度にあまり影響されず、伸びもよい値を保っている。

2. Nb 安定型鋼の F. C. B. (T) と F. V. 548 は溶体化処理温度が高いところで伸びが小さくなっているが F. V. 548 は F. C. B. (T) よりもその程度は小さい。F. C. B. (T) では伸びが減少すると後の熱処理で回復しないが、F. V. 548 では 850°C で2次時効処理を施すと強さは変わらずに靱性は回復する。

3. このことは、溶接した試料のラプチャー試験をよく反映している。溶接部に隣接する熱影響部の破断感受性は、F. C. B. (T) では増加しているが、F. V. 555 と F. V. 548 では増加していない。

4. 本論文では主に破断性質に対する熱処理の影響をしらべたので、十分な実験は行なわれていないが、他の性質、たとえば F. V. 548 と F. V. 555 では低クリープ歪速度がやはり熱処理に影響されることが見られたが、今後検討を要する。

(河野尚孝)

発電機用高温材料 (第 VI 部, 論文29)

B. MITCHELL

本論文においては、火力発電用の耐熱材料の解決されなければならない問題について、過去・現在・未来にわたって概観している。

序論において、英国では電力設備が過去20年間年率8%の割合で増加し、1969~1970年の冬までには現在の1.8倍、53,000MWに増設される予定で、設備の近代化、大容量化、高性能化の必要なことを述べ、それらが耐熱材料の発展にかかっていることを述べている。

まず現在までに多く使われている0.5%Mo鋼から2 1/4Cr-Mo鋼が、製造・設置時に起つた欠陥による場合以外には、充分に要求をみたしていたことを述べている。

現在の問題としては主に

1. 過熱管および再加熱管の表面腐食
2. 高温ボルトの破断
3. タービン部品の熱およびクリープ疲労^{*}

3つにわけて問題点を挙げており、多くの問題の中で、製造および操業の品質管理の徹底と、真に信頼のおけるデータの集積が特に緊急を要することを強調している。

今後、少なくとも1970年までは、石炭・石油を使用しているかぎり腐食の点から、現在計画されている蒸気条件—565°C 2350 psi(約165 kg/cm²)—は変わらないだろうが、大容量化は一層要求されようとしている。しかし高温使用の要求は常にあり、そのためにNi基合金その他による高温材料の一層の開発改善と、腐食の問題大容量化に伴うローターとブレードの接合の問題はもつと研究されるべきだとしている。

最後にI.S.O. ボイラーコードの新規準の考え方が述べられている。

(河野尚孝)

蒸気タービンにおける高温用鋼 (第 VI 部, 論文30)

P. F. TOMALIN

英国において発電用蒸気タービンの使用温度は、1, 2の場合を除いては1050°F(566°C)で、これは多くの場合フェライト鋼を用いる温度である。しかし温度の点以外に、より高い圧力での使用による部品肉厚の増大や、原子力発電が増大したために生ずる、蒸気タービンのピーク負荷時とそれ以外の時との間に生ずる頻繁なくり返し加熱冷却が問題となつてきている。この論文ではフェライト鋼使用の制限となる事項が鋼の性質のばらつき、クリープおよび破断強度、靱性溶接性などとともにべられている。

現在各部品に使用されている鋼種は、ケースでは0.2% C以下、1Cr-1Mo-0.25Vや、0.5Cr-0.5Mo-0.25V、ローターでは0.25~0.35C, 1Cr-1Mo-0.25V、ブレードでは12CrにMo, V, Nbなどを含む鋼、ボルトでは1~1.5Cr-0.5~1Mo-V鋼および12Cr-Mo, V, Nb鋼などである。

使用上の制限となる最も重要なものは、ボルトの性質と、スチームチェストやケースに生ずるクラックである。フェライト鋼の耐応力弛緩性は、最もきびしい使用条件下では不十分であり、これに対してボルトの径を増すと、材質の均一性に問題が生じ脆性破壊の危険を増す。現在使用している鋼の製造過程の管理や組成や熱処理の改良が重要である。ボルトの破断の問題は、材質上の問題とボルトの締めつけ方法の問題とに分れる。使用

中に生じる応力弛緩とくり返し締めつけとが、首の部分に高い歪を与え、それが靱性を越えるとクラックが発生する。さらにこれに関連して、ボルトの締めすぎによる歪や材料の切欠き破断靱性の低いことが問題となる。

クリープおよびラプチャー強度についてはより高い強度の材料を用いることより生ずる重要な結果は、肉厚を減少し得ることである。これは熱応力の影響を減少できるからである。大きな肉厚の部品の熱応力によるクラックの発生は、破断靱性と歪の蓄積との関数で、靱性の改良と共に変形抵抗の増大が必要である。さらに、ばらつきを減ずることと、合金成分を検討することとによるクリープ速度とラプチャー強度との改良が必要で、より高温の使用に耐えうる適当な合金の開発が要求されている。

(鈴木功夫)

ボイラー鋼の性質の必要条件 (第 VI 部, 論文32)

W. B. CARLSON and G. C. FORSTER

将来の大容量ボイラープラントの高温用鋼材の設計面に取り入れる要素について述べている。従来は、設計にあたり安全係数を取り入れて許容応力にもとずき行なわれてきたが、最近のように厳しい状態で連続運転されるプラントでは特異なタイプの破壊などが発生する。この種の発生を回避できるような、工学要素(Engineering component)を将来設計面に取り入れることが可能であるとしている。

この要素を設計面に取り入れるさいに、使用状態から非クリープ状態とクリープ状態に大別している。まず、非クリープ状態下の設計では、最近に、ある程度の塑性ひずみを許す、Peak strainにもとづく設計、肉厚管、容器の3軸応力破断強度などの要素を考慮した設計、さらに使用上の点から疲労、脆化、腐食などを考慮した設計が望ましい。

また、クリープが作用する状態下では、クリープひずみおよびクリープによる劣化を設計面に取り入れ、さらに腐食、温度、負荷変動を受ける場合、および特殊雰囲気中のクリープ破断強度などを考えたLife Fractionなる要求を設計に取り入れることが望ましい。これらの要素を設計計算に取り入れるには、各種鋼材の特性値(各温度でのヤング率、2軸、3軸応力下の延性、加工硬化係数、S-N曲線など)を必要とする。各要素についての簡単な説明と、その要素に必要な材料特性値を表にして示している。

(村瀬貞彦)

高温強度への炭素、窒素、ボロンの影響

(第 V 部への書面討論, 論文41)

P. G. STONE

オーステナイト鋼および低合金鋼へのC, N, Bの添加による組織変化と高温強度への影響とが述べられている。

N: まず、軟鋼のクリープ強度への効果として、Fe窒化物の析出以前に、MnとNとがクラスターを形成すること、Cr-Mo鋼で、NがSi窒化物として析出すると破断強度を下げる、12% Cr マルテンサイト鋼でM₂Xの型で析出し、それが常温、高温強度を高め、またNは焼戻し抵抗を高め、2次焼戻しによるM₂Xの析出を増し、さらに破断強度をも高める。

18-8オーステナイト鋼では、破断強度はC+Nに依存し、これらは破断試験中に炭比物、窒化物(Cr₂N)と

して析出する。Nb 安定化オーステナイト鋼では、Fe-Nb 窒化物を作り、分散強化に寄与する。

B: オーステナイト鋼のクリープ強度や靱性の改良は B が次の 2 つの働きにより粒界を強化するためである。1 つは、B がオーステナイト中の C の溶解度を減じ、炭化物の析出を早め、さらに $M_{23}(CB)_6$ を作る。一方、B は粒界に偏析し、粒界近傍の空孔を pin し、その空孔が析出の核となるので、それによつてオーステナイト粒界近くによく生ずる析出のない部分の発生を妨げる。また空孔を pin するために、cavity の発生を妨げる。類似の強化機構が Ti と B とを含む 1% Cr, Mo, V 鋼でも提出されている。

C: 軟鋼では炭化物の分散が高温強度を左右し、固溶体強化は余り問題とならない。0.027~0.094% C を含む 316 オーステナイト鋼の場合では、 $M_{23}C_6$ 炭化物が使用中に析出する。また破断強度への影響は、短時間側で

は、C は強度を大にするが、長時間側では効果がない。これは炭化物の析出により、地の C 量が一定の C 量に近づくためであろう。また冷間加工は析出を促進するが、強度や靱性への加工と析出との寄与を分離することはできない。安定化オーステナイト鋼では、Ti や Nb が $M_{23}C_6$ 以外の炭化物を形成するので、その効果はより複雑である。Nb 安定化鋼の破断強度は、NbC の析出硬化、析出以前に存在する NbC 粒子による分散硬化、固溶体硬化の 3 つに依存する。主たる効果が析出によるとすれば、最も望ましいのは、溶解度の温度依存性が最も大であるところの Nb : C+N の比が、析出する化合物の原子比に等しい時である。しかし実際には、分散強化も無視できず、この場合、不溶解の炭化物は、C 量が一定なら Nb 量の多いほど、Nb 量が一定なら C 量の多いほど多いことになる。
(鈴木功夫)