

## 国際会議報告

加工熱処理の物理冶金に関する  
国際会議報告加工熱処理の物理冶金に関する  
国際会議実行委員会

## 1. はじめに

日本鉄鋼協会主催による加工熱処理の物理冶金に関する国際会議 (International Conference on Physical Metallurgy of Thermomechanical Processing of Steels and Other Metals [THERMEC-88]) は 1988 年 6 月 6 日より 9 日までの 4 日間、経団連会館において開催され、海外からの参加者を対象にした工場見学が最終日の 10 日に行われた。

制御圧延に関連した HSLA 鋼に関する国際会議は、従来よりほとんど毎年のように世界のどこかで開催されていたが、その多くは現状の技術に関する現象論的、技術的な論文を中心とするものであった。これに対し、本会議では制御圧延に限らず種々の加工熱処理の基礎となる物理冶金に重点を置き、HSLA 鋼から高合金鋼までの広範な鋼、さらには Ti や Al などの非鉄金属・合金をも対象とし、加工熱処理による組織制御・材質制御の基本的原理を明らかにし、今後の新しい加工熱処理の発展に資することを目的とした点に特徴をおいた。このような観点に立つた加工熱処理に関する国際会議は世界的にも今まで見当たらないものである。

本会議の主テーマとして、加工熱処理による組織・材質制御の基礎となる以下の五つのテーマが取り上げられた。

- (1) 熱間 (および温間) 変形挙動
- (2) 静的および動的再結晶, 動的析出, 結晶粒成長
- (3) 加工硬化したオーステナイトからの拡散変態およびマルテンサイト変態
- (4) 変態, 析出, 再結晶の複合と競合およびこれらによる組織制御と性質改善
- (5) 熱間変形挙動, 再結晶, 粒成長および相変態におよぼす Microalloying elements の作用 (偏析, 析出の作用を含む)

会議は日本鉄鋼協会が主催したが、国内からは日本金属学会, 日本機械学会, 日本材料学会, 日本塑性加工学会の 4 団体が協賛し、国外からも米国, フランス, カナダ, ベルギー, 中国, 西ドイツ, オーストラリア, 英国, スウェーデン, ソ連より 14 団体の協賛を得た。日本鉄鋼協会内に実行委員会を下記のように組織した。  
実行委員長: 田村今男 (京都大学名誉教授)

Secretariat: 木下 亨 (協会副会長・専務理事)

顧問: 堀川一男 (前国際交流委員長)

大橋延夫 (川鉄: 国際交流委員長)

委員: 榎並禎一 (川鉄), 大北智良 (NKK), 大須賀立美 (NKK), 大谷泰夫 (住金), 加藤雅治 (東工大), 勝亦正昭 (神鋼), 邦武立郎 (住金テクノロジーリサーチ), 斉藤良行 (川鉄), 酒井 拓 (電通大), 佐久間健人 (東大), 南雲道彦 (早大), 西沢泰二 (東北大), 古林英一 (金材研), 堀内 良 (宇宙研), 牧 正志 (京大), 松尾宗次 (新日鉄)

また事務局は佐藤, 松本, 金子, 五十嵐 (協会) が担当した。

講演は開会講演 3 件, 基調講演 (Keynote lecture) 11 件および一般講演 97 件で, 合計 111 件 (海外 56 件, 国内 55 件) の発表がなされた。開会講演及び基調講演は招待講演である。会議参加者数は海外 (20 か国) より 88 人, 国内より 118 人, 合計 206 人であった。参加者数の国別内訳を論文発表者数と併せて表 1 に示す。

第 1 日目は午前 9 時より参加者登録を開始し, 10 時より開会式が行われ, 八木鉄鋼協会会長および田村実

表 1 発表者及び一般参加者の国別内訳

( ) は開会講演及び基調講演者 (内数)

	発表者	一般参加者	合計
オーストラリア	5	1	6
オーストリア	1	2	3
アメリカ	1	0	1
カナダ	12 (1)	7	19
中国	10	1	11
チェコスロバキア	1	0	1
デンマーク	1	0	1
ドイツ	0	1	1
フランス	4	4	8
イギリス	1 (1)	1	2
イタリア	0	1	1
日本	0	1	1
韓国	55 (6)	63	118
メキシコ	3	5	8
ネーデルラント	1	1	2
ニュージーランド	1	1	2
ポーランド	0	1	1
スウェーデン	1	0	1
スウェーデン	2 (1)	5	7
英国	3 (2)	0	3
米国	5 (3)	4	9
計	107 (14)	99	206



写真 1 開会式

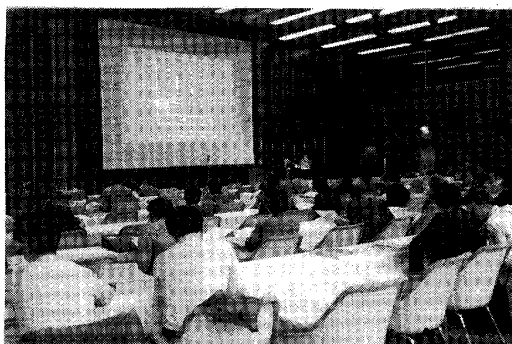


写真 2 会場風景

行委員会委員長の挨拶があつた。開会式に引きつづき、午前中以下に示した 3 件の開会講演が行われた。

1. A Role of Thermomechanical Processing of Austenite on Ferrite Grain Refinement

田村今男 (京大名誉教授)

2. The Role of Micro Alloys in Thermomechanically Processed Steels

A. M. SAGE (Highveld Steel and Vanadium Co. Ltd., U. K.)

3. Fundamental Aspects of the Physical Metallurgy of Thermomechanical Processing of Steels

A. J. DEARDO (Univ. of Pittsburgh, U. S. A.)

午後からは 2 会場に分かれて、基調講演および一般講演が行われた。基調講演者およびテーマは次のとおりである。

M. HILLERT (Sweden, 粒径制御に及ぼす分散粒子の作用-Zenerのピン止め効果)

西沢泰二 (東北大, マイクロアロイ鋼の状態図)

吉永日出男 (九大, 金属・合金の高温変形挙動)

J. J. JONAS (Canada, 熱間加工時の静的および動的再結晶)

谷野 満 (新日鉄, 熱間加工及び相変態と関連する合金炭化物の析出挙動)

H. I. AARONSON (U. S. A., 粒界アロトリオモルフ状フェライトの成長)

小指軍夫 (NKK, 鋼の加工熱処理による機械的性質の改善)

J. C. WILLIAMS (U. S. A., Ti 合金の組織と性質に及ぼす加工熱処理の効果)

R. KASPAR (F. R. G., 熱間圧延時の加工熱処理工程のシミュレーション)

C. M. SELLARS (U. K., 熱間加工時の組織変化のコンピュータモデル)

牧 正志 (京大, 加工硬化オーステナイトからのマルテンサイト変態) (牧)

## 2. 会議の概略

### Session A1 Grain Growth

本セッションでは HILLERT (スウェーデン) の基調講演と 3 件の一般講演があつた。会議初日の最初のセッションでもあり活発な質疑応答、意見交換がなされた。まず HILLERT は第 2 相粒子の粒界ピンニング効果に関し、最新の理論的取扱いとその妥当性を実験事実と比較して論じ、第 2 相の広範囲の分散状態における粒成長の普遍的原理を示した。これは実際の加工熱処理において析出分散粒子を組織制御に活用する上で、示唆に富んだ報告であつた。

続いて発表された 1 件は Ti 添加鋼での加熱粒径に関する報告で、最適な Ti 量のあること、その粒成長抑制作用を TiN 粒子の分散状態から詳述した。そのあとの 2 件の発表は B 添加鋼における焼入性向上および再結晶抑制効果に関するもので、B の偏析や析出を詳細に調べており、質疑も B の存在状態に関する問題が多かつた。これらの B による効果の機構解明は、今後の B 活用面で大いに寄与すると思われる。

### Session A2 Precipitation I

このセッションではまず西沢より「マイクロアロイ鋼の状態図」と題し基調講演があつた。CALPHAD の有用性、その例として Fe-C-Ti, Fe-C-B 系について詳述された。本手法は他の多くの元素に対しても有効なことで、とりわけ低含有量での Phase relation の解明に有用なことが質疑を通して強調され、今後マイクロアロイ設計への活用が期待されよう。続いてそれぞれ Al および Ti, V 窒化物の析出に関する 2 件の報告があつた。いずれも実プロセス熱履歴での析出予測に役立つ内容であつた。(大北)

### Session A3 Static and Dynamic Recrystallization I

### Session A4 Static and Dynamic Recrystallization II

本セッションでは、静的再結晶と動的再結晶に関連する諸問題が報告され、討論された。まず、この分野の最近の研究成果と問題点を論じた JONAS (カナダ) による基調講演に続き、動的、静的再結晶挙動に関して 2 件、結晶粒微細化処理とその効果に関して 2 件、逆に結晶粒の粗大化問題を取り扱った 3 件の合計 7 件の一般講演が行われた。

基調講演では、溶質原子のひきずり効果に基づく再結晶遅延の問題、変形中や冷却中など、非平衡状態下において生ずる偏析の問題及び結晶粒の成長におよぼす析出粒子分布の影響が報告された。また、動的再結晶後に生ずる静的復旧の特徴が明らかにされた。とくに、静的軟化は加工後直ちに起こるが、完全軟化には長時間の焼なましを要するという結果が注目された。後者の問題については 2 件の一般講演においても討論されたが、静的復旧現象とその機構の解明については加工組織である動

的再結晶組織に関する理解が現在十分であるとはいえないのでかなりの時間を要するものと思われる。

変態点付近で高速、強加工後直ちに急冷する新加工プロセスを低炭素鋼に適用することにより得られる直径数 $\mu\text{m}$ の超微細粒組織の生成原理に関する報告及び中炭素鋼に制御圧延と冷却を施して微細粒組織とした材料の機械的性質の向上などに関する報告は、非常に注目された。加工熱処理中に生ずる結晶粒の粗大化問題を取り扱った問題として、V, Nbを含むTi添加鋼においてTi量を増加すると粗粒化が促進され、靱性は低下することが報告された。このように、実用高張力鋼における化学組成や冷却を含む加工熱処理条件などについては、未解決の問題がまだまだ多く残されている。(酒井)

#### Session A5 Precipitation II

#### Session A6 Precipitation III

セッション A5 では谷野の基調講演と 3 件の一般講演が、またコーヒープレイクをはさんだセッション A6 では 3 件の一般講演があつた。谷野は鋼中炭窒化物自体の理解に重点を置き、さまざまな熱加工履歴での析出物とその挙動を述べた。とくにこの分野の研究における Atom probe field ion microscopy の有用性を示したが、本法は今後析出相の同定や挙動解明にその活用が期待される。

セッション A5, A6 を通しての半分の一般講演は炭窒化物の歪み誘起析出に関するものであり、析出の研究も実用的に重要な加工硬化相からの析出挙動解明が主体になっている。Nb + B 複合添加鋼についてオーステナイト中における B の Nb 炭窒化物析出促進及び再結晶抑制効果が明確にされた報告、シミュレーション圧延で 3 nm 以下の Nb (C, N) の歪み誘起析出物を確認し、これらが圧延時のオーステナイトを著しく強化することを示した報告などがあつた。これらは厚板プロセスでの析出現象の基礎的理解のみならず、プロセス制御面でも有用な発表であつた。その他 Cr-Mn オーステナイト鋼において、 $\sigma$  相の析出が冷間加工により再結晶と競合して促進されるとする、興味深く実用的にも貴重な報告や、実用 HSLA 鋼は通常プロセスでは炭窒化物が完全に析出せず時効によつて二次硬化することを指摘した報告もあつた。本セッションでの発表のように、鋼材性能向上を意識し、実際の熱加工履歴での析出の基礎的理解を深める研究が今後も多くなされるものと思われる。(大北)

#### Session A7 TMT and Mechanical Properties I

#### Session A8 TMT and Mechanical Properties II

#### Session A9 TMT and Mechanical Properties III

基調講演において小指は次の点を強調した。すなわち、加工熱処理は熱間加工による $\gamma$ の状態制御と加工後の冷却による変態制御を組み合わせた最も効果的な強化方法であること、また厚板における技術の進歩が、熱延鋼板、形鋼、棒鋼、ステンレス鋼へも適用されるように

なつてきたこと、組織の均一性は耐硫化物応力腐食割れ、耐水素誘起割れ、腐食疲労の抵抗性などをいずれも向上させること、さらには伸展組織が耐脆性破壊抵抗性や耐 Zn めつき割れ性を改善することを示した。

厚板に関しては、日本、韓国、中国、カナダから 5 件の発表があつた。中でも吉川は、Si-Mn 鋼の再結晶圧延後の加速冷却時に生成する上部ベイナイトを、粗いベイナイト、微細ベイナイト、マッシュベイナイトに分類した。脆性破面の単位を小さくする微細ベイナイトを生成させ、島状マルテンサイトを生成させない冷却法が靱性確保に必要なことが示された。Choo (韓国)により、板厚方向に均一な組織と硬度を付与するために、表面のみ加熱と冷却を繰り返す表面微細粒化法、及び $\gamma$ の部分再結晶域を避け、生産性を上げるため、再結晶域圧延後、未再結晶域温度まで冷却する方法が報告された。塚本は、TMCP 鋼のファブリケーション時の温間加工後の性質の変化について報告した。微細 $\alpha$ 組織は強度の上昇と靱性の低下を生じ、ベイナイト組織は強度低下と靱性向上をまねくため TMCP 鋼は材質により温間加工条件を選定する必要があることを述べた。

熱延鋼板は 2 件の発表があつた。国重により、巻取温度 I ( $> 500^\circ\text{C}$ , F + P 組織), II ( $500 \sim 300^\circ\text{C}$ , 微細 F + P, F + B 組織), III ( $< 300^\circ\text{C}$ , F + M 組織), を使いわけることにより組織制御と C, N の固溶強化を活用した二相組織熱延鋼ができることが報告された。カナダの Yue は、コイルボックスを有するステッセルミルによる等温圧延に近い制御圧延技術を報告した。

条鋼・鍛鋼は日本、中国から 2 件の発表があつた。荒木は TMCP 鋼の強化因子に基づいて、切削性と疲労強度に適した組織と機構について論じた。

継目無鋼管については HUNT (カナダ) の発表があつた。シームレスミルでは低温加熱圧延が容易でないので、 $\gamma$  再結晶域圧延と $\gamma$ 粒の成長防止のための合金元素添加、加速冷却法の適用が報告された。

本セッションで発表された内容から次の項目は今後の TMT プロセスの発展に重要と思われる。

(1) 制御圧延から圧延後の加速冷却へと発展した TMT は熱間圧延中の保熱や冷却により回復、再結晶、析出を自由に制御することが期待される。

(2) TMT により製造された鋼材は、加工 $\gamma$ からの変態に加速冷却が加わるため光学顕微鏡的には従来の熱処理組織とは少なくとも異なつてみえる。本質的分類は同じであつても、多様な組織が混在しているからであろう。Terminology を含めよりミクロ的組織調査により新しい性能を有する組織、新 TMT 法の原理が生まれる可能性が期待される。

(3) TMT は低合金鋼から合金鋼、高合金鋼へと発展してゆくであろう。また、強靱性の追求にとどまらず、製品に要求される多様な特性の調査と、それに合致した

材質選定へ、TMT技術が展開するものと思われる。

セッション A7 のブルガリアからの一般講演は、講演者の来日が遅れたので B11 に回された。(大谷)

#### Session A10 Non-ferrous Alloys

本セッションでは非鉄金属・合金の加工熱処理に関する発表が 6 件予定されていたが、欠講が 1 件あつたため、5 件の発表が行われた。

対象とされた材料は Al 及び Al 合金が主体であり、Cu 合金に関するものが 1 件あつた。

内容は溶体化処理後の合金に冷間加工と時効処理を組み合わせて与えることにより、延性の低下を抑制して強度向上を図ろうとするものであり、これに関する 3 件の報告があり、それぞれ Cu-7.5 at%Ni-2.5 at%Al 合金、Al-Li 合金、Al-Cu-Mg 合金での研究結果が報告された。また、強化機構と結晶粒径、析出粒子径、転位密度に関して議論された。その他、Al 及び Al 合金の熱延中の温度予測、荷重予測、組織(再結晶率、粒径)予測モデル及び急冷凝固 Al-11 at%V 合金の加工熱処理に関する報告があつた。

興味深い内容が多数含まれていたが、本国際会議は鉄鋼関係の出席者が多かつたため、本セッションへの参加者が約 30 人と少なかつたのが残念であつた。(勝亦)

#### Session A11 Physical and Computer Simulation I

#### Session A12 Physical and Computer Simulation II

#### Session A13 Physical and Computer Simulation III

#### Session A14 Physical and Computer Simulation IV

Physical simulation は加工熱処理研究の有力な手段であり、また Computer simulation は本会議の主題である加工熱処理の物理冶金に関する基礎研究の成果を反映する対象として注目されており、両者を相補的に用いることにより材料開発の効率化が期待できる。こうした背景から、最終日にもかかわらず、多数の参加者を得て活発な討論が行われた。

本セッションでは、KASPAR(西ドイツ)と SELLARS(英国)による 2 件の基調講演および 13 件の一般講演が発表された。

KASPAR の講演は平面ひずみ圧縮型の大型熱間加工再現装置を用いた熱間圧延時の組織変化の研究に関するもので、再結晶挙動、変形によるオーステナイトの強化、変態挙動とくに重点をおいた解説がなされた。SELLARS はおなじみの結晶粒径予測式にくわえて、Nb(C, N) の析出時間を予測する実験式を示し、さらに有限要素法を用いた圧延の解析例を紹介した。

Physical simulation と Computer simulation は不可分のものであり、上記の SELLARS の基調講演を始めとして、Physical simulation により決定した実験式を用いて Computer simulation を行つた例が多数紹介された。Physical simulation に重点をおいた論文は 5 件発表され、平面ひずみ圧縮型大型熱間加工再現装置、熱間ねじ

り試験装置、圧縮試験装置、実験圧延機と手段は異なるものの、対象は熱間圧延中の組織変化、とくに再結晶、オーステナイトの強化に力点を置いたシミュレーションが紹介された。Physical simulation を利用した材料開発は、国内の鉄鋼メーカーを中心としてさかんに行われているが、これに関する論文は他のセッションで活発に取り上げられた。

Computer simulation に関しては、8 件の論文が発表されたが、大きく分けて二つの方向のアプローチが示された。一つは上記の SELLARS に代表される、実験式を主体としたモデル化であり、ヨーロッパ、北米、オーストラリアでさかんに研究が行われている。この研究は実験式を温度計算式、圧延荷重予測式と組み合わせて、熱間圧延のシミュレーションを行い、さらに予測した組織因子と加工熱処理条件から記述される経験式により材質を予測しようとする試みであり、予測対象は主として結晶粒径である。もう一つは金属学的諸現象の素過程に注目した定式化をめざして、基礎研究の成果を材料開発に応用しようという研究である。本セッションでは国内の研究者により、炭窒化物析出、加工硬化したオーステナイトからの変態といった現象の予測に重点をおいたものと加工熱処理全般における組織予測、さらには材質予測を取り扱つた論文が発表された。

Physical simulation, Computer simulation の研究は今後ともますますさかんになると思われる。Computer simulation については、本格的なシミュレーションがようやく可能になつた段階であるが、より現実に近い、精密なモデルにより材料開発の効率化に寄与できるようになるのも遠くないであろうことを本セッション参加者の熱心な討議のなかで確信した。(斉藤)

#### Session B1 Hot Deformation I

#### Session B2 Hot Deformation II

本会議の基礎分野の一つを取り扱つた本セッションでは、金属・合金の高温変形機構を検討した吉永による基調講演に続いて、鉄合金の  $\alpha$ ,  $\alpha + \gamma$ ,  $\gamma$  各相領域における変形特性と組織との関係、変態塑性ひずみと炭化物の球状化過程を報告した 5 件並びにマイクロアロイ鋼の高温延性低下の原因と対策を報告した 3 件の合計 8 件の一般講演が行われた。

金属・合金の高温変形は、主に回復律速か転位の粘性運動または転位と分散粒子との相互作用により支配されることなどを考慮した吉永の報告は、変形応力の基本的理解に重要な資料となろう。しかし、同じ材料であつても変形条件(温度、ひずみ速度)により律速過程が変わるという報告や変形帯の形成などによる不均一変形の影響を考えねばならぬことなど、これから解決すべき問題は多く残されている。高温加工中に生ずる割れの問題は、Nb 添加鋼について 3 件が報告された。 $\gamma$  結晶粒内に均一微細に析出した炭窒化物は動的再結晶を遅延させる

が延性には影響しないこと、しかし炭窒化物が粒界付近から粗大化し始める加工条件下で延性低下が顕著に現れるとの指摘や、低温圧延までに動的再結晶などにに基づき微細粒組織を作れば、延性低下を阻止できることの報告は興味深かった。(酒井)

#### Session B3 $\gamma$ - $\alpha$ Transformation I

#### Session B4 $\gamma$ - $\alpha$ Transformation II

#### Session B5 $\gamma$ - $\alpha$ Transformation III

#### Session B6 $\gamma$ - $\alpha$ Transformation IV

本セッションでは  $\gamma$ - $\alpha$  変態に関連する基調講演 1 件と一般講演 17 件 (うち 1 件は講演者の急病のため欠講) についての発表と質疑応答がなされた。合計 18 件の国別構成は、米国 1 件、カナダ 2 件、中国 2 件、メキシコ 1 件、日本 12 件であった。

このセッションは Aaronson (米国) による基調講演で始まった。内容は、初析フェライトの成長に関する長年の研究成果をまとめられたものであり、とくに  $\gamma/\alpha$  界面の構造、Fe-C-X 合金における第 3 合金元素 X の役割に重点を置いたものであった。ひきつづき行われた一般講演は、 $\gamma$ - $\alpha$  変態に伴う炭化物析出の速度論的解析、高温顕微鏡を用いた高純度 Fe 合金の  $\gamma$ - $\alpha$  変態の直接観察という 2 件の基礎的研究結果に始まり、次いで商用鋼の初析フェライト反応に及ぼす合金元素の効果に関して 3 件の発表がなされた。これらの講演では合金元素の添加、加速冷却によつてフェライト粒を微細化しうることが示され、その結果、強度および靱性が改善されることが述べられた。また、HSLA 鋼の強度の上昇には Nb, Ti の添加によつて焼入性を向上させ、ベイナイトを生成させることが有効であることが示された。焼入性の問題についてはその後でなされた 2 件の講演で取り扱われ、Nb-B 鋼の焼入性に及ぼす B と N の効果、および高 C 鋼の焼入性に及ぼす熱間変形の役割についての研究成果が発表された。

昼食後の講演ではまず初析フェライトの核生成と成長に関する 4 件の発表がなされた。これらの講演の中では熱間加工およびその後の保持時間の影響についての研究結果が述べられ、変形および保持温度によつて初析フェライト反応に及ぼす影響が異なることが示された。また、加速冷却あるいは MnS の存在がオーステナイト粒内でのフェライトの核生成をもたらす、低合金鋼のフェライト粒微細化に役立つことが示された。ひき続き行われた 5 件の発表は、実験室的な機械試験データから変態温度あるいは生成フェライト量を推定する方法に関する研究 2 件と、低合金鋼、Ni-Cr-Mo 鋼の変態挙動に及ぼす熱間加工の影響に関する研究 3 件であった。前者の研究で示されたねじり試験による  $T_{m1}$ ,  $Ar_3$ ,  $Ar_1$  の決定法と、 $\alpha + \gamma_2$  相域での圧縮試験時の  $\gamma$ - $\alpha$  変態の進行に伴う応力低下量からフェライト生成量を推定する試みは、いずれも新しい評価法といえるものである。

本セッションではすべて  $\gamma$ - $\alpha$  変態という共通の話題に関する研究発表がなされ、全体を通して活発な討論がなされ実りの多い会議であつたといえよう。(佐久間)

#### Session B7 Ti Alloys I

#### Session B8 Ti Alloys II

セッション B7, B8 では Ti 合金の加工熱処理に関する基調講演が 1 件、一般講演が 4 件行われた。

基調講演は WILLIAMS (米国) による「Ti 合金のマイクロ組織と性質に及ぼす加工熱処理と熱処理の役割」と題するものであった。Ti 合金の強度・延性・靱性・疲労特性と、加工熱処理-熱処理の組合せにより変化させたマイクロ組織との関係が述べられた。Ti 合金の機械的性質はマイクロ組織と変形中のすべり挙動に影響され、各性質ごとに最適のマイクロ組織があるので、使用状態に応じて適切な組織を選択すべきことが強調された。

一般講演は熱間変形挙動と加工後の組織や材料特性との関係に関するものが主体であつたが、内容は多岐に渡つていた。すなわち、Ti-15-3 合金の溶体化処理、時効後の特性と  $\beta$  相での熱間加工条件の関係、Ti-Al 金属間化合物の動的再結晶挙動、Ti 及び Ti-Al 合金の高温でのすべり挙動と集合組織形成であつた。また、 $\alpha$ - $\beta$  域で鍛造された Ti-6 Al-4 V 合金の強度、延性と溶体化処理-時効処理条件の関係の発表があつた。(勝亦)

#### Session B9 Texture and Formability I

#### Session B10 Texture and Formability II

従来加工熱処理の国際会議では、材料組織制御として再結晶・変態・析出、特性として強度・靱性が主として議論されてきた。今回の THERMEC-88 では、それ以外に集合組織制御さらにプレス加工性に関して多数の講演発表が寄せられ、Texture and Formability というセッションが設けられたことはたいへん意義深いことと思われる。また、予想に反して国内外から会場を満す多数の来聴者があり、この分野の動向に対する関心の高さがうかがえた。閉会の挨拶で JONAS (カナダ) もこのセッションは本会議の特筆すべき徴しであり、今後の研究開発の方向を示唆するものとして強い印象に残つたと述べている。

本セッションでの発表は一般論文の 11 件で、対象材料はすべて鉄鋼である。薄鋼板の熱間圧延における集合組織の形成を取り扱ったものが 6 件、複合組織鋼板の製造と材質に関するものが 4 件、その他に熱延鋼板の巻取り処理における異常成長粒の発生要因解析および Ti 添加深絞り用薄鋼板の機械的性質と炭化物析出挙動の研究が含まれている。

最近熱延鋼板において、熱間圧延条件を制御して冷延鋼板に相当する集合組織を発達させ、プレス成形性を高めようとする試みが熱心に進められている。最初の 5 件の論文はいずれも微量の Ti を添加した極軟鋼板を主たる対象として、 $Ar_3$  変態点以下での圧延と再結晶焼鈍

の工程で、深絞り性 ( $r$  値) の向上を狙った探索を報告している。共通して得られた知見として、深絞り加工性に有利な集合組織発達のためには、(1) 固溶炭素や窒素の低減、(2) 鋼板とロール間の摩擦の減少および(3) 変態前の圧延における細粒化が効果的である。今後実生産においてこれらの条件がさらに検討され、新しい製品開発につながることを期待される。熱延鋼板における集合組織制御の重要な因子として、集合組織の板厚方向の不均一性がある。その不均一性の成因をフェライト系ステンレス鋼板を用いて解析した結果も報告された。鋼板とロール間の大きな摩擦により鋼板表面層に強い剪断変形が生じ、結晶方位回転や再結晶進行挙動が板厚中央部と著しく異なるために、結晶粒径や方位が板厚方向において顕著に変化することになる。

複合組織鋼板に関する 4 件の論文では、加工熱処理により特性改善が試みられている。 $\alpha + \gamma$  二相共存域における温間圧延では焼入性が向上し、後工程処理と特性の両面で有利となる。また低温圧延と制御冷却による  $\alpha$  粒の析出と微細化促進は、残留  $\gamma$  を富化することで高強度・高延性の複合組織熱延鋼板の製造につながる。他に Mn 量の降伏挙動に及ぼす影響と複合組織化の水冷工程前後における変形量が材質におよぼす影響とが報告されている。

二相共存域または  $\alpha$  域で仕上げた熱延鋼板の巻取り処理における結晶粒の異常成長の発生要因として、熱延時の歪み蓄積の少ない結晶粒が歪み誘起粒成長により選択的に粗大化することが示された。Ti 添加鋼板においては不純物元素低減と低温スラブ加熱により、焼付け硬化能の高い深絞り用冷延薄板が製造できることが報告された。(松尾)

#### Session B11 Martensitic Steels I

#### Session B12 Martensitic Steels II

#### Session B14 Martensitic Steels III

この三つのセッションでは 1 件の基調講演と 8 件の一般講演 (うち 1 件はキャンセルされ、それに代わってブルガリアからの 1 件の論文がセッション A7 より移った) があつた。

基調講演では牧がオースフォーミングによる強靱化と生成するラスマルテンサイトや転位組織との関係についての最新の知識をまとめ、その後、一般講演へと移った。一般講演はバラエティーに富んだもので、鋼種としても炭素鋼、Fe-Ni 合金鋼、ばね用鋼、軸受鋼、マルエージング鋼など多岐にわたっていた。強靱性改善のためには組織を微細化する必要があることは何もマルテンサイト鋼に限ったことではないが、このセッションでもラスマルテンサイトそのものの微細化を目的としたものや、オーステナイト結晶粒の微細化を目的としたものなど種々の加工熱処理法についての発表があり、冷間加工から熱間加工までの範囲を含むものであつた。詳しくはブ

ロシーディングスをお読みいただきたいが、ここで発表された加工熱処理法のうちいくつかは、今すぐにも実用化されそうなほど十分吟味されたものであつた。

一方、実用化と離れて、本会議のタイトルにもある物理冶金という基礎的な側面に重点を置いた研究発表もあつた。たとえばオーステナイトを圧延することによって生じるマルテンサイトの集合組織を理論的に解析した研究や、平板状マルテンサイトの逆変態にともなう転位の形成と機械的性質との関連を論じた研究がこの範疇に属するものである。これらの研究の発表に対しても活発な質疑応答があつた。

マルテンサイト鋼の加工熱処理には当然オーステナイト  $\leftrightarrow$  マルテンサイトの変態や逆変態が関係する。そこで、変態前に加工熱処理によつて導入された転位などの微細組織がどのような機構で変態後の相に受け継がれるかを解明することは重要なことであり、本セッションでも話題となつた。しかしこの機構については未知の部分が多いので、今後も基礎的な物理冶金的研究は、実用的な加工熱処理法の開発とあいまつて、ますます盛んに行われるであろう。

残念ながら本セッションと同時進行の A 会場の Physical and computer simulation のセッションの人気も高く、しかも最終日ということもあり本セッションの B 会場では空席が目立つたが、反面では密度の濃い質疑応答が活発に行われ、出席者にとっては実りの多いセッションであつた。(加藤)

#### Session B13 Stainless Steels

本セッションでの発表は一般論文 4 件で、各種ステンレス鋼の材質改善を目的に熱間圧延条件が検討された。フェライト系ステンレス鋼では、SUS 430 鋼板のプレス成形性向上とリジリング防止のための Al 添加とスラブ低温加熱の効果および 40 Cr 鋼の破壊靱性に対する高温加工熱処理の影響が調べられた。SUS 430 鋼板は熱延中の部分的変態相に起因する硬質粒子と AlN 析出物により、熱延板焼鈍を省略しても、高  $r$  値が得られる。高 Cr 鋼では加工熱処理により炭化物の均一分散、旧  $\gamma$  粒界の純化そして安定な転位網の形成を促進して強靱化した知見が報告された。オーステナイト系ステンレス鋼では、低温用 22 Mn-13 Cr-5 Ni 厚鋼板を低温仕上げ圧延と急速冷却工程での結晶粒微細化による強化の例および Nb と N を添加した SUS 304 鋼板を制御圧延することで延性と耐食性がともに改善された結果が報告された。このようにステンレス鋼にも加工熱処理の有効性が確認され、今後この分野での展開が期待される。(松尾)

### 3. お わ り に

本会議では 4 日間の論文発表の後、5 日目の最終日に海外からの参加者を対象にした工場見学が実施され

た。参加希望者は2班に分かれ、新日鉄君津製鉄所またはNKK京浜製鉄所のいずれかを見学した。多数の参加者があり好評であった。

円高で海外からの参加者の減少が心配されたが、実際には発表論文のうち約半分が海外からのものであり、参加者も同伴者8名を加えると約100名に達した。このような多くの海外からの参加者が得られたことは、我が国が制御圧延を中心とした加工熱処理の分野で常に世界をリードしてきたこと、および加工熱処理に対する関心が世界的にいまだ高いことの表れであろう。また、加工熱処理の分野での会議は今まで日本で開催されたことがなく、本会議がはじめてであったことも多くの参加者を得た一因と思われる。本会議では加工熱処理の基礎に重点を置いたが、加工熱処理の分野のみならず、その基礎となる高温変形、変態、析出、再結晶、粒成長の分野での世界的に著名な研究者の主だった方々に基調講演者として参加いただけたことにより、本会議は質的にも極めて充実したものになったと思われる。プロシーディングスも登録時に各参加者に配布されたため、講演発表の内容が良く理解でき、活発な討論が行われた。そして、発表会場は熱気に溢れていた。会議は英語で行われたので、日本の講演者の討論の際に、もし言葉の上でのトラブルがあれば手助けをしていただくために Scientific secretary を設置しておいたが、実際には彼らの出番はほとんど無く、討論はほぼ順調に行われていたように思われる。日本の若い研究者、技術者のほとんどの人が、国際会議という舞台で堂々と英語で発表し討論している姿に接し、今後ますます盛んになる国際化に対し非常に頼もしく、心強く感じられた。また、Speakers' meeting を開き発表前に Chairman と発表者が事前に打合せ



写真3 パーティー会場にて

を行つたため、発表中のトラブルやプログラム進行上の混乱はほとんど無かつた。初日の夕方に行われた Welcoming party にも多くの人が参加し、楽しい雰囲気の中夜遅くまで歓談が続けられた。新しい海外の友人を作り、国際親善を図るという国際会議のもう一つの目的を達成する絶好の機会であった。

多くの参加者の方々より、本会議は非常にうまく運営され内容的にも有益であったという感想をいただいた。当初の目的を十分に果たし、本会議が成功であったと感じられる。ここに貴重な研究結果を発表していただいた講演者の方々、会議に出席し熱心に討論に加わっていただいた一般参加者の方々、そして事務局をはじめとする多くの協力者の方々に対し謝意を表するしだいである。さらに、日本万国博覧会記念協会より本会議開催に対し補助金をいただいたことを記し、ここに謝意を表す。なお、本会議のプロシーディングスは鉄鋼協会では有償頒布(2冊分冊, 1セット3万円)されている。(牧)