

陥検出装置などを用いずに、溶鋼および鑄造条件判定方式の紹介があり、現状ではこの方式が主体となっている。

Session 5 「新連鑄方式」

- (討27) 高速鑄造の問題点と革新連鑄
(新日本製鉄(株)君津製鉄所 和田 要ほか)
- (討28) 双ロール法急速凝固プロセスにおける鑄片厚さ制御
(新日本製鉄(株)未来領域研究センター 溝口利明ほか)
- (討A) 双ロール式ストリップキャスターで作製したステンレス薄板の組織と性質
(株)神戸製鋼所鉄鋼技術センター 吉田千里ほか)
- (討B) 双ロール法における SUS 304 の凝固速度の推定
(日新製鋼(株)周南研究所 山内 隆ほか)
- (討C) 双ベルト式薄スラブ連鑄機の開発
(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 戸沢宏一ほか)
- (討D) ツインベルトキャスターによる薄鑄片鑄造技術の開発

(住友金属工業(株)総合技術研究所 吉原正裕ほか)

- (討E) ブロック式薄スラブ連鑄機の特徴と高速鑄造
(日本鋼管(株)鉄鋼研究所 小松政美ほか)

討論① 薄スラブ連鑄(鑄片厚み 30~80 mm)

講演は4件あり、その中で鑄片幅 1300 mm 程度の広幅キャスターの操業報告もあった。対象鋼種としては普通鋼が主体であり、鑄片の表面および内部品質問題はかなり解決されつつある。

討論② ストリップキャスター(厚み 0.5~2.5 mm)

講演の3件共に双ロール方式にて操業を行っており、実鑄造速度で 100 m/min を超えているところもあり、鋼種としてはステンレス鋼が主体で、狙いは省工程である。

これら新連鑄関連の講演7件は、いずれも問題点として設備面では耐久性の向上、操業面では給湯流制御を挙げている。

なお、講演および討議内容について、現実の新連鑄操業に比し、やや楽観的に捉えすぎているのでは、との指摘もあった。

最後にまとめとして、従来方式の連鑄機について19件の講演があり、深みのある講演および討論の結果、連鑄の各要素技術の現状について総括することができた。また、限界鑄造速度としては 3 m/min 前後と整理できるが、推測では約 7 m/min までは可能であろう。

この従来方式の限界鑄造速度をブレークスルーする連鑄方式としての新連鑄法が着々と進歩しつつあることが7件の講演から伺われ、近い将来実機化されることが夢でなくなりつつあることを確認した。

終わりに、一日通しの討論会ではありましたが、講演者をはじめ参加し、熱心な討論をいただいた方々に感謝

いたしますと共に、討論会のまとめに当たつて、御協力いただきました各位に厚くお礼申しあげます。

III. チタン及びチタン合金

座長 金属材料技術研究所

河部 義 邦

副座長 金属材料技術研究所

貝 沼 紀 夫

当テーマについては、60年春季学会の萌芽・境界領域指定テーマに取り上げられて以来、数多くの研究が報告されている。その結果、チタン合金の諸特性は組成・組織に大きく支配されることが明らかにされたが、その関連性についてはまだ不明な点が多い。そこで、各種プロセス技術と組成・組織調整、さらには材質制御との相互関係を明確にすることを主旨として、当討論会は企画された。その講演募集に対して12件の申込みがあり、大会2日目の1日を費して討論会が行われた。

これらの講演は、力学物性に関するもの3件、組織に関するもの2件、組織と力学特性との関連性3件、高温加工性2件、被削性に関するもの1件からなり、広範な研究が報告された。そのため、ややまとまりにくい感もあつたが、当テーマの一回目の討論会としてチタン合金の多様な可能性をまず明確にして、重要かつ基本的な課題を整理していきたいという点からは、なかなか味のある構成ともいえよう。以下に、各講演と討論の概要を記す。

(討29) Ti-Al 固溶体合金の高温変形特性

(東北大学工学部 及川 供ほか)

Ti 合金の高温変形挙動に関する系統的な研究として、まず Ti-Al 二元系固溶体の α 相と β 相域における高温強度を歪み速度を変えて検討した。その結果、高温強度の Al 添加の効果は α 相の方が大きく、両相の強度の違いは変形速度が遅いほど、また低温ほど大きい。その理由として、コトレル雰囲気のような機構以外に結晶格子の本質に係る機構が考えられることを考察した。

この発表に対して、Al 濃度による両相のすべり系の変化とその影響、軸比との関係、 α 相域で活性化エネルギーが高い理由、応力指数 n が 4 で他の合金系より高いことなどについて討論があつた。

(討30) 種々のチタン合金の極低温における強度と靱性

(金属材料技術研究所筑波支所 長井 寿ほか)

純チタン、代表的な α 型、 $\alpha+\beta$ 型および β 型合金の室温、77 K および 4 K における引張特性、シャルピー吸収エネルギーおよび破壊靱性を求め、これらを比較した。その結果、極低温で強度と靱性が共に優れた Ti 合金を開発するにはへき開状の破面の生成を阻止するため低酸化が重要であること、またどの型の合金を選択す

るかは現時点では必ずしも明らかでないことが報告された。

この発表に対して、77 K 試験から 4 K での結果の予測の可能性、変形挙動や不純物元素と靱性との関係、靱性と破面との関係、 β 型合金の極低温用材料としての可能性などについて討論があつた。

(討31) 集合組織制御による Ti 合金の強度、靱性、加工性の向上

(日本鋼管(株)中央研究所 稲垣裕輔)

集合組織を定量的に取り扱うことができる三次元結晶方位解析法を用い、純 Ti および Ti-6Al-4V 合金の熱間圧延板と冷間圧延焼鈍板に存在する結晶方位分布と、その主方位を明らかにした。これらの主方位について結晶塑性解析を行い、それぞれの方位の理論的降伏強度、破壊靱性とその面内異方性を求め、これら諸特性値を向上する上で望ましい結晶方位を明らかにした。

この発表に対し、集合組織形成に双晶変形が関与している可能性とそれを考慮した解析方法、純 Ti の熱間と冷間集合組織の類似性、Ti-6Al-4V 合金での β 相が共存することの影響などについて討論された。

(討32) α および $\alpha+\beta$ 型チタン合金の連続冷却変態特性

(新日本製鉄(株)ステンレス・

チタン研究センター 藤井秀樹ほか)

α と $\alpha+\beta$ 型 Ti 合金を用い、連続冷却変態挙動を分析電子顕微鏡などを用いて詳細に検討した。 β 域から急冷した場合、Ti-5Al-2.5Sn と Ti-6Al-4V 合金では拡散を伴った変態をして α' 相が形成され、Ti-6Al-6V-2Sn 合金は α' と α'' の混合組織を示す。徐冷した場合、Ti-6Al-4V と Ti-6Al-6V-2Sn 合金の $\beta \rightarrow \alpha$ 変態は V の拡散に律速されることを報告した。

この発表に対して、粒界 α 相変態と生成機構との関係、変態に及ぼす酸素の影響、初期 β 粒径とマルテンサイト下部組織の大きさとの関係、粒界 α 域のキャラクターゼーションなどについて討論された。

(討33) Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al 圧延板の再結晶挙動に及ぼす冷間加工率の影響

((株)神戸製鋼所材料開発センター 大山英人ほか)

Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al 合金について冷間加工後の再結晶挙動を検討し、微細粒を得る条件を明らかにした。加工率の増加に伴い粒界はもとより粒内にも再結晶の核発生が起こり、微細粒化される。粒界面積を増大させることにより、いつその微細化が可能であり、初期粒径 20 μm の素材を用いると 50% 以上の冷間加工後の焼鈍によつて、約 10 μm の微細粒組織が得られる。さらにこのプロセスにより β 型合金粒微細化の限界を予測した。

この発表に対して、急速加熱の必要性、再結晶の核発生サイト、結晶粒微細化の限界予測に対する妥当性、さ

らに粒微細化効果などについて討論された。

(討34) 代表的 ($\alpha+\beta$) および β 型チタン合金の靱性と組織制御

(豊橋技術科学大学工学部 新家光雄ほか)

$\alpha+\beta$ および β 型合金の溶体化処理材について、引張り、シャルピー衝撃、静的および動的破壊靱性試験を行い、各 Ti 合金の強度、延性および靱性に及ぼす加工誘起変態の影響を検討した。体温変形において、 $\alpha+\beta$ 型合金は加工誘起変態を起こして靱性を改善するが、 β 型合金ではそのような改善は生じない。また、新しい加工熱処理性を用いて微細粒化した Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al 合金では、シャルピー全吸収エネルギー値と最大荷重値とが優れていることなどを報告した。

この発表に対して、加工誘起変態と延性・靱性との関係、加工組織と未再結晶組織の見分け方、そして微細粒化による各種特性向上の可能性、粒径と α 相析出形態との関係などについて討論があつた。

(討35) 素粉末混合法チタン合金における金属組織、塩素含有量と疲労特性の関係

(金属材料技術研究所 萩原益夫ほか)

素粉末混合法により塩素含有量の異なる Ti-6Al-4V 合金を製造し、各種組織制御法を用いて、種々の微細組織を出現させて疲労特性の向上を試みた。その結果、低塩素化は気孔を減少し、またコロニー組織を消失させる組織制御も疲労強度の向上に効果的であることを示した。さらに、 10^6 回付近を境にして、低サイクル側と高サイクル側では疲労破壊機構が異なることを報告した。

この発表に対して、疲労き裂の発生に対する α 相の役割、変形挙動がサイクル数に依存して変化する可能性、高サイクル側で疲労曲線が変化する理由、素粉末混合法の限界と合金粉末法の将来性などについて討論された。

(討36) β 型チタン合金の α 析出による機械的性質の変化

(住友金属工業(株)総合技術研究所 岡田 稔ほか)

β 安定度の異なる 3 種類の β 型 Ti 合金について、時効による α 相の析出挙動と機械的性質との関連性を検討した。 β 安定度の大きい合金では、低温側の時効で高強度が得られるが長時間の時効が必要である。しかし、二段時効や冷間加工を導入することにより微細 α 相の析出が促進される。一方、 β 安定度の小さい合金の溶体化材では、加工誘起変態により 100°C 付近での衝撃値が改善されることが見出された。

この発表に対して、 β 安定度と α 相析出形態と高強度化の可能性、低温時効による脱炭機構、二段時効での Denuded zone の形成や β' 相が α 相析出核になるのか、また β 粒径と析出形態や機械的性質との関係などについて多くの討論があつた。

(討37) チタン合金の機械的性質に及ぼす恒温鍛造およびその後の熱処理条件の影響

((株)神戸製鋼所材料開発センター 武村 厚ほか)

Ti 合金製部品の Near net shape 化と高強度化を図るため、Near β 合金と恒温鍛造の組合せが注目されている。そこで、Ti-17, Ti-10-2-3, Ti-6-4 合金の恒温鍛造材の特性を比較し、組織的観点から製造条件の最適化を検討した。Ti-17 と Ti-10-2-3 合金は Ti-6-4 合金に比べて α 相量が少なく細かいため、少ない加工度で容易に微細等軸化する。そのため、加工により延性は向上するが、逆に破壊靱性は低下しやすい傾向にあるので、加工度は靱性の低下を考慮して選定すべきであると指摘した。

この発表に対して、恒温鍛造中の再結晶挙動やその後の冷却中の α 相の析出挙動、また加工度と靱性との関係の考え方などについて討論された。

(討38) Ti-6Al-4V 合金の超塑性に及ぼす合金元素の影響

(日本鋼管(株)中央研究所 小川 厚ほか)

Ti-6Al-4V 合金に β 安定化元素である Fe, Ni, Cr, Co を添加することにより、超塑性特性を著しく改善でき、またベース材より低い温度で超塑性を示した。これらの理由として、 β 変態点が低下することに伴い α 相の再結晶温度が低下し、その粒径が微細であること、そして最適な α 相体積率を低い温度で得られることなどに起因することを報告した。

この発表に対して、超塑性特性に及ぼす添加元素の拡散速度、 α 相の体積率や β 相の変態能の影響などについて討論された。

(討39) チタンの高温塩化物溶液中での耐隙間腐食性に及ぼす合金元素の効果

(住友金属工業(株)総合技術研究所 北山司郎ほか)

高温海水中で使用した純チタンの管-管板すきまで腐食が経験されたことから、チタンの高温塩化物溶液中での耐すき腐食性に及ぼす微量元素の単独および複合添加の効果について、高温すき腐食試験と沸騰塩酸試験で検討した。その結果、Pd 単独添加と Pd-Co 複合添加で耐すき腐食性改善効果が認められた。

この発表に対して、Pd は不動態化に寄与し、Co はその補助的役割をもつという Pd-Co 複合添加の効果などについて討論された。

(討40) 快削純チタン及び快削チタン合金の被削性

(大同特殊鋼(株)中央研究所 中村貞行ほか)

硫黄と希土類元素を複合添加することにより、純チタンとチタン合金の被削性を大幅に改善できることを示し、その改善機構について考察した。純チタン、Ti-3Al-2V および Ti-6Al-4V 合金に粒状の希土類元素硫化物が析出するように硫黄と希土類元素を添加すると工具寿命が改善される。これは希土類元素硫化物の存在により、鋸歯状の切りくずが発達し、そして切削力が減少し、切削温度が低下するためであると考察した。

この発表に対して、工具に Ti が付着すること、切削抵抗の変動および鋸歯状切りくずのせん断角などの問題について討論された。

以上、各講演ごとに報告と討論の内容を概説したが、本討論会全体を通して次のような課題が指摘された。

まず、変形や相変態挙動の基礎的研究、特に合金元素効果と変形における双晶の役割の解明の必要性がくり返し強調された。次に、組織と諸特性との関連性については、 $\alpha+\beta$ 型合金では等軸 α と針状 α 組織の背反する影響の問題にはほぼ集約できるという感じをうけたが、 β 型合金ではまだ不明の点が極めて多い。例えば、結晶粒径の影響という最も基本的な点についても、まだ共通の認識が得られる段階に達していない。さらに、各種の Near net shape 技術の適用により、機械的性質が大きく変化する可能性のあることも指摘された。これは加工による組織変化に起因するもので、基本的には組織と特性の関連性に含まれる課題であろう。

本討論会では一見多様な分野の研究が報告されたが、それぞれの局面での組織調整、ひいては材質制御という共通した内容を含んでおり、有意義な討論を行うことができた。そして、今後いつそうデータが蓄積され、多様な現れ方をする現象の整理が進み、基本に係わる理解が深まることを期待したい。

最後に、講演者をはじめ本討論会に参加いただき熱心に討論していただいた方々に深く感謝して、概要報告を終える。

IV. 圧延解析はどこまで進んだか

座長 大同工業大学

戸澤 康 壽

副座長 新日本製鉄(株)第三技術研究所

松本 紘 美

20~30 年前に見られた顕著な圧延技術の進歩は、長手方向での板厚精度の向上であるが、これに果たした理論解析の役割は特にわが国の場合極めて大きい。その後の技術的課題は圧延板のクラウン形状ならびに平坦度の改善向上に向けられた。そしてここでも解析的研究の成果は新しい形式の圧延機の開発や操業条件の改善といった形で具体化されてきている。このように圧延の分野で解析の果たす役割は大きく、したがって解析の進歩状況からこれからの技術の進歩が予測できるといつても過言でないかもしれない。今回の討論会では、問題解析に近付きつつある板圧延での形状の解析、近年ようやく対象とされるようになってきた型材圧延の解析、そして今後の発展に期待したい圧延材質に関するシミュレーションが取り上げられた。

(討41) 古典的解析法による板圧延の3次元解析