

成形体の機械的特性を調べた。さらに、この結果を利用して  $Y_2O_3$  分散添加 Fe 基耐熱合金粉、Ti 合金粉の成形を試みた。その結果、いずれの粉末を用いた場合についても、円筒法を用いると適正な E/M 比のもとで 99% 以上の高密度成形体を得ることができた。また、爆発圧縮後の成形体に焼結を施すと、溶解材とほぼ同程度の引張強度が得られることが明らかとなった。

(討37) 水バインダーによるファインセラミックス粉末の押出成形

(東京大学生産技術研究所 中川威雄ほか)

セラミックス成形法の一つである射出成形法は有機バインダーを多量に添加して成形し、その後の工程で加熱してバインダー除去を行うため、肉厚体成形には不適とされている。この問題を解決するために、バインダーとして水を使用し、少量の PVA (0.9~2.2 wt%) の添加でセラミックス線材の押し出し成形が可能であることを明らかにした。また、圧縮成形においても少量の水バインダーにより流動を伴ったアルミナ粉末の成形が行えることを明らかにした。さらに、この場合パンチに振動を重畳させながら成形するだけで極めて小さい成形面圧で高密度成形品が得られることがわかった。これによつて、既存の圧縮成形法や水バインダーだけによる圧縮成形法では得られない形状の成形が可能となった。

(討38) アルミニウム合金粉末の半熔融複合加工

(住友軽金属工業(株) 高木茂義ほか)

粉末冶金法により Al 合金粉末を加工する場合、粒子表面の強固な酸化皮膜の存在が問題となる。そこで、粒子間の十分な接合を得るために種々の加工法が行われている。本報告の半熔融複合加工法は、金属粉末を固液共存状態に加熱し、その状態で加圧成形し、金属粉末の部分熔融によつて発生する液相成分を介して粒子相互を接合させ、あわせて各種の半熔融あるいは熱間・冷間の塑性加工を加え、所要の製品を得るもので、比較的小規模の設備で実行しうる簡便かつ有用な加工法と考えられる。

本研究では Al 合金粉末をマトリックスとし、アルミナ強化粒子を体積含有率で 10~40% 含有する複合板材を製造し、かたさおよび曲げ性の関係を調べた結果について報告がなされた。その結果、当方法が強化粒子を含む粒子相互の良好な接合を達成するうえで有効であることが明らかとなった。

以上 3 件の発表に対し、爆発成形時の初期充填密度と成形状態の関係、あるいは長手方向における緻密化機構に関して討議が行われた。水バインダーを用いたセラミックス粉末の成形については、とくに振動圧縮成形の効果が著しく、この点に関して討議がなされた。また、半熔融鍛造時の加工温度と加工性についても活発な討議が交わされた。

最後に、本討論会では対象材料として鉄、非鉄、セラ

ミックスと多様な分野の材料がとりあげられたため、特性面からは議論の焦点が絞れない心配があつた。しかし、粉末成形という共通の土台のもとに、粉末粒度の影響、成形性の改善、あるいは複雑形状化といった共通問題について多方面から討議できたことは有益であつた。

講演者をはじめ、本討論会に参加していただき熱心に討論していただいた方々に厚くお礼申し上げます。

## V. 直接鑄造薄鋼板の組織と材質特性

座長 新日本製鉄(株)中央研究本部  
武智 弘

現在薄スラブ連鑄法によつて薄鋼板を製造する技術開発が世界的に進められており、一部は実用化が始まる段階にある。この技術開発を成功させるためには鑄造法、鑄造装置の開発と共にプロセス・メタラジーの研究が不可欠である。今回は後者に的を絞つて討論会を行い、基調講演 1 件、炭素鋼板関係 4 件、ステンレス鋼板関係 3 件の各講演を半日の日程で討議した。当日は大きな階段教室に座れない聴講者もかなり出るなど盛況で本テーマに対する関心の大きさをうかがわせた。本テーマに関するまとまった公開討論は世界的に見ても恐らく最初ではないかと思われるが、技術的重要度や今回のような関心の高さから見て今後も機会あればこうした企画の開催が期待される所である。以下に当日の概要を報告する。

(討39) (基調講演) 薄板連鑄プロセスにおける金属学的諸現象

(京都大学工学部金属加工学教室 牧 正志)

組織制御の観点から薄鋼板(スラブ)鑄造プロセス中に生ずる主要な金属学的現象について原理的に明快な解説と問題点の指摘、その対策などが詳しく述べられた。その骨子となる所を以下に要約する。

### 1. 粗大 $\gamma$ 粒にかかわる幾つかの金属学的現象

#### (1) $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態

$\gamma$  粒界上に生成する初析  $\alpha$  粒の結晶方位と  $\gamma$  粒径の関係についての実験結果が示され、粗大  $\gamma$  粒になると同一粒界内で同じ方位(バリエーション)の  $\alpha$  粒が生成されやすくなる傾向があり、 $\alpha$  粒微細化には好ましくない。このような傾向は  $\gamma$  粒界の平滑性と関係しており、粗大  $\gamma$  粒において方位の異なる  $\alpha$  粒を  $\gamma$  粒界上に多く生成させるには粒界を湾曲させることが必要である。

#### (2) $(\alpha + \gamma)$ 2 相域からの $\gamma$ 化

2 相域まで一度冷却され初析  $\alpha$  が一部生成した試料を一定速度で再加熱する場合、初析  $\alpha$  が完全に消滅する温度は  $\gamma$  粒が大きくなるほど高温になることが示され、粗大  $\gamma$  粒の場合初析  $\alpha$  の消滅が起こりにくくなることが指摘された。

#### (3) $\gamma$ の熱間圧延時の再結晶挙動

$\gamma$ 粒が粗大になるほど、再結晶を起こさせるための臨界圧下率が大きくなり、再結晶の開始、完了時間も遅くなる。それ故、粗大  $\gamma$ 粒の場合、再結晶を起こさせるにはできるだけ高温で圧延を開始することが必要である。

## 2. 薄板連铸プロセスにおける結晶粒の微細化の方策

### (1) 凝固組織の微細化

凝固の際、溶湯中に存在する酸化物、窒化物などの核生成剤の活用を積極的に利用することを検討すべきである。凝固時の触媒核としては TiN, TiC, (RE)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrN, ZrC などが有効であろう。

### (2) $\gamma$ 粒の微細化

粗大  $\gamma$ 粒の微細化には  $\gamma \rightarrow \alpha + (P) \rightarrow \gamma$  という熱サイクルを与え、変態を利用するのが最も効果的である。変態が利用できなければ、再結晶が  $\gamma$ 粒微細化の唯一の手段になる。再結晶粒径を支配する主な因子は加工度と初期粒径である。粗大  $\gamma$ 粒で大圧下がかげられない状況では、再結晶粒径を支配する別の因子を導入することが必要である。その一つとして変形前に存在する比較的大きな硬質の介在物や析出物の利用が有効であろう。

### (3) $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態による $\alpha$ 粒の微細化

$\alpha$ 粒の微細化には  $\gamma$ を加工硬化状態にし、 $\gamma$ 粒内に  $\alpha$ の核生成サイトを多く導入することが最も効果的である。

しかし大圧下がかげられない場合には通常、加工硬化を得るのは困難である。それ故加工硬化に替わる方法で  $\gamma$ 粒内に  $\alpha$ の核生成サイトを導入することを考えねばならない。その一つの方法として上述の再結晶の場合と同様に非金属介在物や析出物まで  $\gamma$ 中に分散する第2相の利用が有効であろう。ただし第2相粒子が  $\alpha$ の核生成サイトとして有効に作用するためには、 $\gamma$ 相との界面が非整合であることが重要であると考えられる。以上のように凝固、再結晶、変態を通じて結晶粒の微細化を図るためには、従来あまり積極的に利用されていなかった介在物や大きな析出物を組織制御の手段として活用していくことが大切であると考えられる。

本講演は当該分野の研究者にとって非常に参考となるように思われるので当日の OHP 原図を含めて活字化を期待したい。

#### (討40) 薄铸片-直接熱延プロセスにおける低 C-Al キルド冷延鋼板の材質特性

(新日本製鉄(株)薄板研究センター 佐柳志郎ほか)

主要報告事項は次のとおりであった。

(1) 直接冷延工程では铸片の粗大  $\alpha$ 組織に起因するリジグ状の肌荒れが生ずる。この防止には急冷等による铸片組織の微細化が必要である。

(2) 凝固後の MnS が析出していない铸片を直接熱延すると凝固後の粗大  $\gamma$ 粒が再結晶せずそのまま変態するため混粒  $\alpha$ 組織となる。整粒組織を得るためには

熱延前に固溶 S を少なくする必要がある。

(3) 冷延焼鈍後の材質特性は直接熱延、直接熱延工程材共に MnS の析出量に依存し、析出量が少ないと硬質になる。従って軟質鋼板を得るためには再結晶焼鈍前に MnS の析出処理をするか、S 量を少なくする必要がある。

この報告に対し、凝固後の MnS の析出挙動、リジグの発生と铸片組織の関係、について討論が行われた。

#### (討41) 薄スラブ直接熱延材の材質に及ぼす熱延条件の影響

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 佐伯真事ほか)

主要報告は以下のとおりであった。

実験室規模の薄スラブ連铸機と圧延機を用いて、直接熱延プロセスでの熱延鋼板と冷延鋼板の材質が評価された。その結果

(1) 薄スラブ铸片の  $\gamma$ 粒は粗大であり、従来プロセス材と同等の材質確保にはこの粗大  $\gamma$ 粒の細粒化が必要である。

(2) 粗大  $\gamma$ 粒を細粒化し、従来プロセス並の材質を確保するには 75~85% の熱延圧下率が必要である。

(3) Ti 添加極低炭素冷延鋼板では铸造・圧延間での炭窒化物の析出挙動が製品材質に影響する。固溶限以下での長時間保熱は析出物の粗大化のため、材質に悪影響を及ぼす。

実機サイズの薄スラブ連铸直接熱延実験によつて十分な熱延圧下率で従来材並の材質確保が可能であることが確認された。

以上の講演に対しては、铸造後の低温長時間保熱で製品の  $r$  値が低下する理由、低温保熱の金属学的意味、Ti 系析出物の組成などについて討論が行われた。

#### (討42) 薄铸片直接冷延・焼鈍鋼板の集合組織

(住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 岡本篤樹ほか)

講演要旨は次のとおりであった。

熱延工程を省略し薄铸片を直接冷延し焼鈍する工程において深絞り用冷延鋼板を製造するための化学成分、捲取り条件などを検討した。その結果、極低炭素 Ti 添加鋼を使用すれば TiN の作用により铸片の結晶粒径も小さくなり、熱延工程を省略しても従来プロセス製品並に深絞り性の良好な冷延鋼板の得られることが判明した。ただしこのプロセスによる製品は加工後鋼板の表面肌が荒れやすいので铸片結晶粒を更に細粒化 (Ca 添加等) することが必要である。

この講演に対しては Ti 添加や Ca 添加により铸片の結晶組織が微細化するメカニズムについて討論が行われた。

#### (討43) 急冷凝固による薄鋼板の材料特性

((株)神戸製鋼所材料研究所 塚谷一郎ほか)

本報告の要点は次のとおりであった。

(1) 亜急冷凝固による铸片は粗大な  $\alpha$ 組織を呈す

るため冷延後細粒化処理が必要である。極低炭素 Ti 添加鋼において細粒化処理および捲取り相当処理の可能性を検討した結果、亜急冷凝固時、細粒の  $\alpha$  組織を示す成分 (C, Mn, Ti 量) であれば捲取り相当処理のみで十分である。

(2) 極低炭素 Ti 添加鋼で高  $r$  値熱延鋼板を得るための条件は亜急冷凝固後、低温の  $\gamma$  域または  $\alpha$  域への直送 (再加熱) と温間圧延を行うことである。

(3) ステンレス製及び銅合金製双ロールキャスター法によつて製造した凝固組織の異なる SUS 304 薄鋼板では 40% 以上の冷延を施すことによつて従来法なみの機械的性質が得られることが分かった。

本講演に対しては亜急冷凝固時薄鋼板の温間圧延における挙動、及び冷延前の溶体化処理の効果について討論が行われた。

(討44) 双ロールによるステンレス鋼薄板連铸材の組織と材料特性

(日新製鋼(株)周南製鋼所 中乗敬之ほか)

本講演では双ロールによつて铸造された SUS 304 の組織と機械的性質に及ぼす熱処理条件、冷延条件の影響及び化学成分の効果が報告された。本プロセス材は従来工程材に比べ加工硬化特性に差はないが、再結晶特性が大きく異なっており粒成長が起こりにくい。この原因は铸造時に微細分散した  $\delta$ -フェライトによるピン止めの効果を挙げている。この外伸びに及ぼす  $\delta$ -フェライトの大きな影響や均質化焼鈍によつてそれが除去され伸びが数% 改善することが報告された。また、化学成分と铸造後の偏析度の関係が研究され、偏析は双ロール法に固有のものではなく成分系で決まることを明らかにしている。

この講演に対しては、凝固組織中の沈降品の生因、加工誘起マルテンサイトの挙動、再結晶速度、表面割れと化学成分の関係などの討論が行われた。

(討45) 直接铸造オーステナイト鋼 SUS 304 薄板の材料特性

(日本冶金工業(株)技術研究所 津田正臣ほか)

直接铸造された SUS 304 薄板 (冷延+焼鈍) の性質は通常工程材と比べ次の特徴があることを明らかにしている。

- (1) 再結晶・粒成長が遅い
- (2) 表面と内層との組織不均一によるシーズクラック感受性が高い
- (3) 成形異方性が小さい

これらは微細な  $\delta$ -フェライトの存在やマイクロ偏析の大きいこと及び集合組織が異なることに起因しているが、直接铸造薄板に適正な加工と熱処理を施せば成形異

方性が小さいままで他の性質を向上させ得ることを見出している。

これに対し、凝固組織の差が材料特性に及ぼす影響や急冷凝固板を母材とした時の最適製造条件について質疑が行われた。

(討46) 薄铸片製造プロセスにおけるフェライト系ステンレス鋼薄板の組織と材料特性

(新日本製鉄(株)ステンレス・チタン研究センター

鈴木 亨ほか)

本講演では铸型铸湯法及び铸型浸漬法を用い、薄肉铸造プロセスにおけるフェライト系ステンレス鋼薄板の凝固組織と加工性の関係について報告が行われた。主要結果は次のとおりであった。

(1) 凝固組織を等軸細粒化することによつてリジング性及び深絞り性は向上する。

(2) リジング性の悪い柱状晶組織材では粗大コロニーが形成され、それらコロニーと表面凹凸の対応が認められた。

(3) 薄肉铸造材のリジング現象はコロニーの方位差に起因した板厚の変動によつて起こるとする、いわゆる Chao のモデルで説明できる。

(4) 凝固組織を等軸細粒化するには過熱度の低下、板厚の薄手化及び抜熱速度の増加が有効であり、また Ti, Nb, Zr 等の微量元素添加の効果も大きい。

この講演に対しては铸片組織の観察法、铸造条件の制御や化学成分による等軸細粒化手段等について討論が行われた。

以上のごとく今回の発表や討論を通じて製品の成形性を対象とする薄鋼板の直接铸造プロセス・メタラジーにおける問題点は

(1) 铸造組織の微細化

(2) 急冷凝固に基づく固溶不純物の増大や介在物・析出物、 $\delta$ -フェライト等の微細化の制御

によつて製品特性、特に延性とリジングのような表面性状を改善することにあると要約される。また、製造条件をうまく設定すれば従来プロセス材と遜色のない製品を得る可能性のあることが明らかとなった。逆に急冷凝固の特徴を活用した製品開発も今後は検討されよう。

量産品種である薄鋼板の製造コスト低減に占める直接铸造技術の意義は極めて大きいので、今回討論の無かつた電磁鋼板も含めてそのメタラジーは新しい研究分野を出現させたものといえる。本プロセスは製鋼技術者と鋼材技術者の双方に直接関係しており、将来両者による総合的な討論が行われればより実り多いものになると考えられる。