

には逆 V 偏析が生成する。また、鋳片の圧下挙動を解析した結果、鋳片表面の圧下は大半が鋳片の幅広がりへと先進に消費され、圧下効率はロール形状や未凝固幅率によって大きく異なることが示された。

この発表に対し、ブルーム CC の圧下方式（油圧圧下かスパーサー圧下か）や非定常部の圧下に対する対応について討論がなされた。

(討16) 未凝固大圧下法による連続鋳片中心偏析の改善  
(川崎製鉄(株)水島製鉄所 藤村俊生ほか)

未凝固鋳片の大圧下については、中心部に強い負偏析帯が生ずることから詳細な研究開発がなされなかったが、圧下金型を用いて未凝固部を連続的に圧下する方法を用いて実機実験をおこなった結果について報告した。未凝固大圧下によりセンターポロシティの圧着が可能である。圧下比が小さい場合には中心部に負偏析が生じるが、圧下比を十分大きくすることにより C/Co が 1.0 に近いものが得られた。また、大圧下による液相中の溶質の濃化が懸念されたが、モデル解析および実験から濃化は実用上ほとんど問題ないことを示した。

この発表に対し、電磁攪拌の効果、圧下が小さいときの負偏析の生成機構、大圧下しても内部割れの発生しない理由などに対して質疑討論がなされた。

(討17) 強圧下によるブルーム鋳片中心偏析の改善  
(株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所 中田 等ほか)

低温鋳造および鋳型内と凝固末期の電磁攪拌により中心偏析の改善を目指してきたが、今回神戸 3 CC に圧下ロールを設置し、種々の条件で圧下テストをおこなった。また未凝固層内の固相率変化に着目した解析モデルを用いて圧下パターンと中心偏析の関係を求めた。偏析度は鋳片の総圧下量ではほぼ整理できるが、必ずしも依存しない場合もある。凝固界面の変形解析および固相率変化を考慮した偏析算出モデルにより、中心偏析度は固相率が 0.2~0.55 まで変化する時間に依存することを明らかにした。

この発表に対し、凝固時間と偏析の対応、過圧下時の逆 V 偏析の生成の有無、内部割れの発生などに関して討論がなされた。

最後に、副座長より各社の連続鋳造における圧下の実施方法について、まとめの報告があった。スラブ連続では柱状晶圧下か等軸晶圧下か、またブルーム連続では総圧下量に各社の特徴が現れていた。このうち、圧下時の凝固組織に関して総合討論がなされた。

また、座長より、オスプレイ法、大型鋼塊、連続鋳造の偏析制御に関する問題点、将来展望についてのとりまとめがなされた。

会場は終始盛況であり本テーマに対する深い関心がうかがわれた。終わりに講演者ならびに討論会に参加いただいた皆様方に、また、偏析制御方法に関するアンケートに心良く応じていただいた各社の方々に深く感謝致します。

### Ⅲ. 箔製造技術の現状と問題点

座 長 金沢工業大学工学部

川 並 高 雄

副座長 (株)神戸製鋼所機械研究所

高 橋 洋 一

各種の金属材料箔は電子機器、自動車、建材、包装材、日用品をはじめとする広い分野で開発、使用が進められており、製品の高機能化、高精度化はもとより、より薄手、より広幅サイズへの要望も強く、根底には合理的な生産法でのコストダウンが待ち望まれている。

近年行われたシンポジウムとしては、日本塑性加工学会の 121 回 (1989)「非鉄金属薄板圧延技術の現状と展望」、104 回 (1986)「最近の極薄金属板の製造技術」が、軽金属学会の 32 回 (1988)「最近のアルミニウム箔における諸問題と今後の動向」があり Al, Cu, Steel, Ti 箔の製造技術や需要構造などが発表されている。今回は Al 4 件、ステンレス鋼 4 件、スチール 3 件の合計 11 件の最新技術の発表があり、以下にその要旨を示す。

(討18) アルミニウム箔圧延設備技術の進歩

(石川島播磨重工業(株)圧延機設計部 細井劫平)

アルミニウム箔圧延設備の発展を総括し、現状では国内で約 40 台の圧延機が 9 工場稼働し、12 万 t/年生産しており、高速化、自動化、高品質化、広幅化がますます進んでいることを示した (1987 年に操業開始した西独 VAW 社の箔ミルは 2500 m/min、幅 2100 mm に達している)。AFC (自動形状制御) や AGC (自動板厚制御) 装置をはじめ各種の新設備技術が導入されつつあるが、理論的解明は不完全で今後の研究がまたれる。

(討19) 箔圧延ロールの製造技術

(関東特殊製鋼(株)研究開発部 清水茂樹ほか)

アルミニウム箔圧延のワークロールは、高 C-高 Cr 系の鍛鋼ロールが多く、通常の冷間圧延用に比べ高潔性、高硬度で更に優れた研削性、光輝性が要求される。後半の 2 者に関しては微量硬質非金属介在物つまり Ti 系介在物の影響が大きく、少なれば研削粗さは大きくなり白色光沢を呈し、多ければ低粗度かつ黒色光沢となりスクラッチの発生が顕著となることを明らかにした。また、その許容含有量を厳しく管理することで研削性の制御が可能としている。

(討20) アルミニウム箔圧延におけるトライボロジー

(横浜国立大学工学部 小豆島 明ほか)

10  $\mu\text{m}$  以下のアルミニウム箔の重ね圧延では、圧延に長時間を要し生産性向上の観点から圧延速度あるいは圧下率の増加が必要である。ところが、圧延速度を上げれば表面光沢は低下し、圧下率を増加すればヘリングボーンが発生しやすい。最終パス圧延で表面光沢を維持しつつ圧延速度を増す研究を行い、(1)表面光沢は圧延速度、

潤滑油粘度の増加につれて低下し、変形抵抗、圧下率の増加に伴い上昇する。従って低粘度圧延油により、光沢を下げることなく最終圧延速度を 30% 高くできることを見出し、(2)ヘリングボーンを実験ミルで発生させ、高級アルコール、脂肪酸の炭素数の多い高粘度油ほど発生しにくいことを示し、両者併立の可能性を明らかにした。

(討21) アルミニウム箔圧延機用形状制御装置へのエキスパートシステムの適用

((株)神戸製鋼所産業機械本部 北川聡一ほか)

箔形状を安定して維持する技術は極めて困難で、現状では高度のスキルが必要である。ロールの熱クラウン、ベンディング、プッシュアップ力の制御装置を基本に、圧電素子を組み込んだ高精度の形状検出ロールを使用して AFC を構成しているが、非定常な生産や、圧延条件下ではやはり熟練した人手の介入が不可欠であった。そこで 4 Hi ミルでオペレーターの経験的ノウハウを知識ベース化し、AFC 制御パラメーターの目標形状の自動調整を圧延中に可能とし、圧延速度を約 10% 上昇する成果を挙げることができた。多数クラスターミルの適用を今後図ってゆきたい。

(討22) 圧延箔の形状不良・特にクロスバックルの測定と発生原因の解明

(名古屋大学工学部 石川孝司ほか)

スチール箔を対象にレーザー変位計で形状を測定し、非線形弾性 FEM による板の大変形解析により、クロスバックル (CB) の発生機構について検討し、次のことを明らかにした。(1)CB はマクロの形状が平坦に近くなる圧延条件で発生しやすく、中伸び、端伸びが生じると減少する。(2)CB は幅方向せん断応力による座屈が引金となって発生する。従って、板がロールギャップを出た直後に、幅方向せん断応力によって座屈するのを抑止すれば良く、従来から言われている前方張力を大にすることもその目的にかなった方法である。

(討23) スチール箔製造の現状と問題点

(東洋鋼鋳(株)下松工場 田口輝彦)

圧延スチール箔 (20  $\mu\text{m}$  以上) の製造は DCR ミルの 1 号スタンドに 6 Hi-FFC を組み込んで行い、その後の焼鈍の有無でダクタイルとフルハードに作り分けをしている。上下 WR の水平部分曲げの機構や、WR、IMR (中間ロール) のベンダーの組合せで広範囲な形状制御が可能となった。形状厳格材には静圧式テンションレベラーを通して矯正効果をあげており、同時にクロスバックル、タテジワの縞模様を消去している。また、加工用途の箔の増加につれ、通常の低炭素鋼から更に C、Mn レベルを規制した素材を振り当てて絞り特性の向上につとめている。

(討24) 2 回冷圧法による鉄箔製造限界の検討

(NKK 福山製鉄所 岩藤秀一ほか)

薄物用の 5 スタンドタンデムミル及び DCR ミルで 100  $\mu\text{m}$  以下の鉄箔を圧延し、次の結果を得た。タンデムミルでは従来の極薄鋼板 (150~200  $\mu\text{m}$ ) 圧延時に使う WR テーパークラウンで、テーパー率を大きく、

WR- $\delta$  を小さくし、最終スタンド圧下量もある程度大きくとりまた、高張力として 80  $\mu\text{m}$  前後の製造が可能となった。DCR では FFC ミルを適用し、WR の小径効果と前めっきや異周速圧延の併用で 35  $\mu\text{m}$  まで製造限界が拡大された。

(討25) ステンレス箔の冷間圧延特性

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 山下道雄ほか)

ステンレス箔の圧延でセンジミア (Zr) ミルおよび CBS (Contact-Bend-Stretch) ミルの冷間圧延特性を比較し、完全異周速の可能な CBS ミルは減厚効果、限界板厚、平坦度では優れるが、反りの発生、表裏面粗度差の問題は残る。一方、等速でストレートに圧延する Zr ミルでは、形状不良による光沢むらは問題であるが、通板性、圧延安定性で優れている。ついで、2 Hi ( $\phi 570$ )、4 Hi (WR $\phi 205$ ) ミルでの箔のスキンパス効果に触れ、降伏伸びの抑制では差はなく、光沢度では同一圧延荷重で小径ロールは圧下率が大きくとれ、その分光沢度が向上し、ミル出側でのたてバックルでは、小径ロールで圧延荷重大の方が程度が強くなるが、それは高張力で消去が可能と報告している。

(討26) ステンレス箔の冷間圧延における圧延・形状特性と表面性状

(新日本製鉄(株)第三技術研究所 山本普康ほか)

12 段クラスターミルを用いた圧延実験によって、ステンレス箔の圧延・形状特性および表面性状を明らかにしている。すなわち、圧下率の増大、圧延速度の減小につれ圧延荷重と摩擦係数が低下することや、中間 2 段テーパロールで形状制御範囲が改善され、BUR のロール偏心や中間ロールシフトの効果で更に向上することを示し、チリメンジワの発生防止に前方張力増加、低ヤング率ロール材質の選定、出側パスラインの傾斜が効くこと、また、板表面光沢度は中間パスのロール粗度の影響をほとんど受けず、最終パスのロール粗度で決定される、などについて述べている。

(討27) ステンレス箔の品質特性に及ぼすテンションアンニールリング (TA) の影響

(新日本製鉄(株)光技術研究部 住友秀彦ほか)

ステンレス箔の TA 処理と形状性および品質特性について検討し、反りは 400°C 以上の TA 処理で顕著に改善できること、バネ限界値は高温 (~700°C)、かつ高窒素材ほど向上すること (歪み時効による比例限の向上、ヤング率の上昇、表面層窒化による硬化などの要因が考えられる)、耐錆性は TA 温度および雰囲気依存し、窒素と水素の混合ガス中では 600°C まで良好であるが、700°C では厚い Fe-Cr 系酸化皮膜が生じ著しく劣化すること、はんだぬれ性は TA 温度が高いと劣化するが、電解硝酸等で酸化皮膜除去を行えば改善できることなどを述べている。

(討28) 高機能ステンレス鋼箔の製造と材質特性

(新日本製鉄(株)新素材事業本部 澤谷 精)

高機能ステンレス鋼箔について、具体的用途例も挙げながら、要求される材質特性を踏まえ、製造工程順に技術課題を論及している。製鋼工程に関連してはフロッ

ピーディスク (FD) 用ステンレス鋼箔ベルト, ダイヤフラム式センサー, 冷間圧延工程として FD 用リフタやハードディスク装置 (HDD) 用フレキシヤ, 表面処理工程としてジンバルバネやペーパー Li 電池を挙げ, まとめて新製品の設計上要求される材質に合う合金設計技術や, 小型・高性能化のための高強度薄手箔の製造技術の確立, 高信頼性を維持するための板厚精度などのいっそうの向上が必要である, としている。

直近 5 年間 ('84.4~'89.9) の JICST 分析によれば, 箔圧延に関する発表として, Al78, ステンレス鋼 12, 鋼 5, 銅 5, チタン 4 件の報文が国内外を含めて登録されている。今回の討論会の対象は Al, ステンレス鋼, 鋼の 3 者であったが, 圧延技術の立場からは材料特性の違う銅, チタンも同列で論じてみたかったと思う。鉄鋼メーカーが所有している従来のプロセスを前提に, 極薄手ゲージの製造を論じるばかりではなく, 全く新しい箔製造プロセスへの提言も今後は必要であろう。当然のことながら, 圧下プリセット方式, AGC, AFC のレベルアップや, 高速を前提にした圧延潤滑, ロール冷却の技術の改善も必要である。すでに WR は超硬, セラミックロールの試用が始まっている。表面特異模様の消去や表面性状の向上も考えていかねばならない。高強度や良加工性の要望もあり, 極薄金属材料のメタラジイを体系付ける努力も大切である。文末ながら, 当討論会に参加し, 真摯に意見を交換していただいた参集者の方々と, 何よりも最新の技術や研究をフランクに明らかにされた発表者の努力に心から感謝致します。

#### IV. 気相めっき討論会

総合司会 新日本製鉄(株)第二技術研究所

三 吉 康 彦

座 長 NKK 鉄鋼研究所

影 近 博

座 長 川崎製鉄(株)鉄鋼研究所

井 口 征 夫

気相めっきを施した鉄鋼製品としては, 現在蒸着 Zn めっき鋼板が工業化されている。これは薄目付け側にメリットを有する電気めっきと, 厚目付け側で優位性を持つ溶融めっきとの, 中間のめっき量範囲を狙った製品である。しかしながら気相めっきは本来, 現行の電気あるいは溶融法では製造不可能でかつ優れた機能を有する表面処理に適用すべき製造法であり, この観点で種々の研究開発が試みられている。

気相めっきで付与される機能としては, 耐食性, 耐摩耗性, 外観特性, 耐熱性, 潤滑性, 電磁気特性等が挙げられる。これら機能性皮膜作成上の留意点は, 組成, 結晶構造, 形態, 欠陥, 不純物, 膜厚分布, 均一性, 密着性などである。製造技術としてはまだパイロットプラント段階にあるため, 非常に多くの問題点があり, また特に大量生産を考慮した場合には, 問題点自身がクリヤーとなっていないケースも少なくない。従って電気めっき,

溶融めっきなど現行他プロセスと利害・得失を比較検討することは極めて重要である。製造コストの見極め, 付与される機能とのバランスにおける市販可能なコストの見積りなども, 研究を進める上で忘れてはならない。

本討論会の企画に関して鉄鋼各社表面処理研究者間で議論を行った際, 工業化の見通しが明確でないため時期尚早との意見もあったが, 将来の新しい製造技術の有力な候補であることは間違いないとの認識に立って, 冠討論会としての開催に踏み切った。討論会で取り上げたい問題は多かったが, “気相処理は鉄鋼表面をいかに改質できるか”というテーマのもとに, 皮膜の機能と性状とに従って議論を行った。

(討29) 真空蒸着チタンめっき層の膜特性

(日新製鋼(株)阪神研究所 正木克彦)

電子ビーム蒸着源を用い, バッチ式および連続式真空蒸着 Ti めっきを行った。得られた皮膜を液体窒素中で破断し断面を SEM 観察した結果, 蒸着室内の残留ガスが結晶形態に大きな影響を与えることが明らかとなった。

Ar ガスは Ti に対して物理的に吸着し, めっき層にボイドを形成させる。N<sub>2</sub> ガスは Ti に固溶するため, 実験の濃度範囲では膜構造に影響を与えず, 延性破断面が観察された。O<sub>2</sub> ガスは分圧が  $9.1 \times 10^{-4}$  Pa のように微量であっても結晶形態に大きな影響を及ぼし, 柱状晶からなる延性破断面が認められた。連続蒸着ではバッチ蒸着に比較して O<sub>2</sub> 分圧が低く, そのためめっき膜の特性が良好である。

(討30) 蒸着 Zn-Mg 合金めっき鋼板の加工性

((株)神戸製鋼所鉄鋼技術研究所 川福純司)

電子ビーム加熱方式による連続真空蒸着装置を用いて, 冷延鋼板および電気 Zn めっき鋼板上に Zn-Mg めっきを行って, 耐食性と加工によるめっき密着性を調べた。

冷延鋼板上の皮膜は Zn<sub>2</sub>Mg の上に Zn リッチ層を有する 2 層構造をとり, Zn めっき鋼板上のそれは最下層に Zn が存在する 3 層構造となる。耐食性では両者に差異はないが, 加工性によるめっき密着性は後者の方が良好である。これは後者では塑性変形能が小さくて加工によって割れやすい Zn<sub>2</sub>Mg 層と素地鋼板との間に, 塑性変形能の大きい純 Zn 層が存在し, Zn<sub>2</sub>Mg 層の剝離を抑制しているためである。

(討31) イオンプレーティング条件と金属皮膜の加工性  
(NKK 鉄鋼研究所 木部 洋)

Ti および Cr を真空蒸着 (以下 VD) とイオンプレーティング (以下 IP) で鋼板上にめっきし, 製造法による皮膜の差異を検討した。

VD 膜は微細結晶からなるが, IP 膜は結晶粒が粗大で緻密であり, 硬度も低い。膜の表面被覆率も IP の方が高い。これは IP では蒸着粒子の運動エネルギーが高く, スパッタリング作用が強く働いて, 膜中の不純物, ポア, 欠陥が減少しやすいためと考えられる。加工性に関しても IP 膜が優れており, この結果は, IP 膜の塑性変形しやすさ及び粗大結晶粒に起因する破壊き裂伝播