

CO の酸化の困難性、CO 酸化反応の反応速度定数を概説し、水素の存在下では反応が急速に進むことを説明した。転炉では多量の CO が存在し、この燃焼による熱の有効利用の観点から、水蒸気、水素、炭化水素の吹込みを提唱した。今後このような燃焼理論の考えを元にして 2 次燃焼も体系化されていくべきであろう。

(討13) 転炉内熱源付加技術の開発

(新日本製鉄(株)君津技術研究部 辻野良二ほか)

低溶銑比操業すなわち、転炉でのスクラップの多量使用を目的とすれば、石炭吹込みや 2 次燃焼の開発は急務となる。この目的のため、デュアルランスによる石炭吹込技術を実用化し、従来のコークス添加法に比べ炭素添加歩留りと 2 次燃焼率の向上を計った。操業の要因解析から、2 次燃焼モデル式を作成した。

(討14) 上底吹き転炉における強撈拌を利用した精錬機能の拡大

(川崎製鉄(株)千葉製鉄所 石塚晴彦ほか)

ステンレス鋼を主体に製造する目的で強撈拌転炉への改造を行った。鋼浴撈拌力の増大による冶金反応の向上と希釈脱炭を実現した。冶金効果としては、高速吹錬、希釈脱炭、還元期フラックスインジェクション、熱補償技術を確認した。さらに微粉炭インジェクションが可能な炉底に改造し、ステンレス鋼スクラップ多量溶解を可能にした。

以上の講演は関連の報告を 3 編づつセッションを組み、3 編報告後に総合討論を行った。総合討論時の質問及び討論の内容を表 1 に示す。発表件数が期待以上に集まり時間の制約はあったが、活発な討論が行われ、討論会の目的は十分実施できたと思われる。

本討論会を終わるに際し以下のようにまとめた。約 10 年前に底吹き転炉が導入され、間もなく転炉の撈拌力によつて (T.Fe) の制御ができることがわかった。5、

6 年前より、上吹転炉の撈拌が見直され、転炉の複合化が始まった。転炉精錬において永遠のテーマは生産性の向上、精錬コストの削減、精錬機能の分離・拡大などである。転炉の機能が拡大してきた背景に溶銑の予備処理が果たした役割は大きい。溶銑予備処理によつて転炉は、脱炭専用炉、スラグ少吹錬、適中率向上、耐火物寿命延長、溶融還元、ステンレス鋼精錬、ガス化炉などに発展してきた。

近年、スクラップ問題が注目され、これに呼応するように、スクラップ予熱、石炭添加、2 次燃焼またはこれらの組合せ技術に関心が集まっている。西独のクレックナー、ソ連、住金、川鉄などが上底吹き転炉の炭材利用とランス開発により電気を用いない溶解法を確立している。転炉もこのようにスクラップ溶解を行つている一方で、電気炉製鋼法は転炉の長所を吸収しつつある。電力原単位的大幅な削減は酸素の使用量増で支えられ、なお熱効率向上のため、オイルの使用も増えつつある。転炉と電気炉は向かう方向が類似してきており、事実最近注目されている EOF (Energy Optimizing Furnace) は電力を使用しない電気炉あるいは SPH (Scrap Pre-Heater) を完備した転炉ともいえる。今後も転炉製鋼法が興隆していくためには、生産性の向上、熱補償技術、スクラップ動向および電気炉との接点などを追究していく必要がある。撈拌を意識して上底吹となつた転炉において撈拌力はこれで十分か否かの見極めと製鋼反応炉として転炉に置き換わる反応炉 (例えば EOF のように) が日本から誕生することを期待する。

終わりに、討論会議事のまとめに当たつて、川上助教授 (豊橋技大)、前田助教授 (東大生産研)、岸本研究員 (川鉄鉄鋼研) の御協力をいただきましたことを記して感謝致します。

III. クラッド材の製造方法

座 長 (株)神戸製鋼所 機械研究所
松 下 富 春

鉄鋼・非鉄材料に求められる高機能化はますます多様化の傾向にあり、異種金属を一体化したクラッド板は新しい製品分野としてメーカー、ユーザーの両面で関心を呼んでいる。クラッド板には鋼、チタン、銅合金などの厚板同志を接合したものと、電子機器用の薄板クラッド板があるが、今回の討論会では前者に関するものばかり 9 件の報告があり、多数の参加者が活発な討論を行った。前半の 4 件はクラッド圧延時の変形挙動、歩留りに関するもので、後半の 5 件は製造条件と品質、構成材料界面の現象に関するもので、討論は前後半に分けて行われた。

(討15) 熱間圧延法におけるクラッド鋼板の変形挙動 (日本鋼管(株)中央研究所 升田貞和ほか)

表 1 質問事項のまとめ

	質問及び討論の内容
討 6	れんが微構造のコントロール、れんが内気孔の耐火性に及ぼす影響、耐火物保護
討 7	コークス粒度の熱効率への影響、脱炭に対するガスパターンの考え方、溶銑予備処理比率
討 8	炭材使用の考え方、脱炭に及ぼす底吹きガスパターンの影響、優先酸化と撈拌力、底吹きガスとして O ₂ 利用
討 9	還元臨界温度の定義、Cr 鉬石還元時の平衡式、Cr ₂ O ₃ と CrO の安定性
討10	スクラップの溶解完了確認方法、火炎温度の測定法 2 次燃焼の活用
討11	Cr 鉬石の還元速度に及ぼす [%C] の影響、還元に及ぼす撈拌力の効果
討12	O ₂ と CO の反応に及ぼす H の存在、CO 燃焼のメカニズム、燃焼に及ぼすダストの触媒作用
討13	石炭中の揮発分の燃焼、CO の 2 次燃焼に及ぼす石炭中の揮発分の影響、コークスと石炭の熱的な差
討14	スクラップ形状、装入時期、底吹き O ₂ 量

熱間圧延でクラッド鋼板を製造する場合、構成材料の変形抵抗が異なるため、クラッド比率の変動による板厚精度や圧延歩留りの問題が生じる。クラッド圧延の多パス加工で圧着するまでの初期パスでは界面ですべりが生じ変形抵抗比に相応するクラッド比になり、圧着後はクラッド比が保持される。しかし四周端部は材料拘束がないため圧着後もクラッド比の変化が生じる。SUS 304 クラッド鋼板圧延時のクラッド比変化の実験値と計算値を比較した結果、すべてのパスで合せ面が未圧着として計算した時定常部 (板中央部) のクラッド比は 1~2 パス後の計算値に、また非定常部のそれは最終パス後の計算値に一致する。このような非定常域のクラッド比変動を防ぐためにはスラブ先後端のコーナカット法が実用的で、テーパ型あるいはロールによるプレス予加工が有効である。

(討16) クラッド板の熱間圧延の剛塑性 FEM 解析と圧延反り防止法の検討

(新日本製鉄(株)第三技術研究所 山田健二ほか)

クラッド圧延時の荷重、変形挙動、反りなどを明らかにする目的で、非対称圧延解析剛塑性 FEM プログラムを開発し、解析を行つた。解析の結果 (i) 非対称圧延時の反り曲率、上下の圧下配分は形状比により変化する。(ii) 相当歪み分布は変形抵抗比に大きく依存する、(iii) 圧延荷重は構成材料の各層の厚さで加重平均した変形抵抗に一義的に依存する。(iv) 圧延時の反りは硬質側に生じ、形状比クラッド比に依存する。この解析結果をモデルミル圧延実験で確認した。

反りを防止するには構成材料の変形抵抗差を小さくするための温度差をつけること、異周速圧延すること、上下面の摩擦係数をかえることが考えられ、摩擦係数をかえる方法を解析と実験で確認したところ、硬質側の摩擦係数を小さくすることが効果的であることが証明された。

(討17) サンドイッチ圧延法によるクラッド鋼板の製造技術

((株)神戸製鋼所加古川製鉄所 柴田光明ほか)

サンドイッチ圧延で (i) 拘束溶接部の破損防止、(ii) 上下板厚の均一化、(iii) 先後端部の合せ材厚みの均一化をはかるための検討結果が報告された。(i) に関しては各種形状の拘束溶接部を比較し、折れ込みや割れ、空洞の発生などを防ぐにはコーナー部をチャンファーした構造がよいことが明らかになった。(ii) に関しては上下面の温度差をなくすればよいことに着目し、保温カバーの使用と保温カバー除去後の空冷時間調整で、上下板厚を均一にすることができ、反りも少なくなっている。(iii) に関しては先後端に生ずる厚肉部領域を消滅させるにはコーナー部のチャンファーを適当な値にすることが必要であることが実験的に証明された。

以上の 4 件に関する討論では、クラッド圧延における

先後端、幅端の非定常変形に多くの関心が集まった。歩留向上、板厚比の安定化にはクラッド素材構造、温度の安定化、界面性状の管理など重要な因子があるが、経験的な対処法が開発されてきた。(討16) では解析法が紹介されたが、非定常変形への適用ができれば、多様化するクラッド鋼板の変形挙動の予測、しいては圧延条件の設定が容易になるであろう。

(討18) 二層クラッド厚鋼板の圧延後の矯正技術

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 山下道雄ほか)

二層クラッド厚鋼板は熱間圧延後の冷却時に金属の熱膨張係数差によつて幅方向の反りを発生する。そこでホットレバラーでの矯正中に熱膨張係数の大きい金属側を強制水冷し、その後室温になつた時点で平坦な板を得る技術を開発した。まず解析においては片面冷却時の温度分布を算出し、軟鋼と 18/8 ステンレス鋼のクラッド比、矯正開始温度、熱伝達係数、水冷時間などの影響を明らかにした。片面冷却矯正法を実機に適用した結果、矯正開始温度は 450~500°C が最適で、常温度のそり量も最小になる。

(討19) 熱延クラッド鋼の製造因子と諸特性

((株)日本製鋼所室蘭製作所 福田 隆ほか)

316 ステンレスクラッド鋼とチタンクラッド鋼の製造因子と接合性について言及した。純チタンと SS 41 複合板の製造において中間材として軟鋼、Mo, Ni, SUS 430, シート, Ni, Cr めつきを用いた場合、Ni を用いると界面に Ti_3Ni , Ni_3Ti などの中間相が生成し、接合度は良くないが、特殊軟鋼を用いると接合度もよい。接合面の強度はチタン界面の固溶酸素量の増大にともない低下し、圧延加熱温度が 850~900°C で最大になる。SUS316 ステンレスクラッド鋼の場合、インサート材として Ni めつきが有効で、これは Ni めつきがステンレス鋼の酸化を防止するためである。接合率と接合強度の間には相関があり、せん断強度は約 50% 以上の接合率で飽和するが、はく離強度は接合率 90% でやつと飽和する。

また界面の接合強度を評価するに際し、接合率が変わつても接合強度に差がない場合でも K 値では差が明瞭にあらわれ、 K 値は界面接合性状の変化を代表するのである。

(討20) 鋳込圧延法によるクラッド鋼の製造技術と諸特性

(川崎製鉄(株)本社 奥村健人ほか)

鋳込みでクラッド鋼塊を製造し、その後分塊圧延、熱間圧延を行うクラッド鋼板の製造において、凝固シミュレーション、鋳込条件と接合性、クラッド鋼板の品質を明らかにした。23 t 複合鋼塊の凝固シミュレーションの結果、最終凝固位置は溶鋼凝固層の厚さ中心で、芯材の昇温による熱膨張で、凝固収縮が補償される。鋳込み時鋳型と芯材スラブに熱移動があるので逆 V 偏析の形成は

防止される。

芯材スラブと鋳込鋼材間の圧着性はスカムのかみ込み量に依存し、注入速度 0.7 m/min の時最小のスカムかみ込みとなる。鋳込み後界面を圧着させるためには圧延比 3 以上が必要である。

以上のように製造したステンレスクラッド鋼板の剪断強度は 33~43 kgf/mm² であり、また接合界面近傍のステンレス側には浸炭層が生じる。クラッド鋼板の冷間加工性耐食性、溶接性は施工に問題ない品質を備えている。

(討21) 組立熱間圧延法によるクラッド鋼板製造技術

(住友金属工業(株)本社 原 修一ほか)

クラッド素材スラブの組立方法は種々あるがオープンサンドウィッチ構造はサンドウィッチ構造に比べ構造が簡単、クラッド比の変更が容易、加熱効率がよいなどの利点があり、圧延の難しさがあるものの工業的製造法として有用である。

ステンレスクラッド鋼の圧延においては Ni 箔中間層の利用、圧下比、界面残留空気、合せ材の局部手入れ、界面の汚れなどが接合強度に重要な影響因子である。また加熱圧延条件では 1050~1250°C の範囲で圧延温度をかえた結果、高温側の方が剪断強度が高い、さらにパススケジュールでは仕上板厚に近いパスでは大圧下をあたえる方が若干剪断強度が高い。

クラッド鋼板の接合強度は健全な接合状態のものであれば母材の強度に比例するので、クラッド鋼板の熱処理を母材の熱処理に準ずると接合強度は劣化することもある。

(討22) 圧延チタンクラッド鋼板の製造技術と品質

(新日本製鉄(株)塑性加工研究センター

吉原征二郎ほか)

圧延チタンクラッド鋼板の製法に関する報告で、接合特性と材質について言及した。接合については接合阻害因子、接合促進因子に分けて製造条件を検討した。前者では接合界面の汚染防止が重要でチタンを高真空室内に封入すること、サンドイッチ構造素材に用いられる分離材による汚れを防止することが重要である。後者では中間材の使用、高圧縮応力、高加熱温度が重要である。

接合性能評価を行う場合破壊誘起因子、破壊制止因子の観点で評価すると前者では TiC、TiFe、TiFe₂ などの生成で接合強度が劣り、界面には TiC、Fe を固溶した β -Ti が存在することが解明された。後者では炭素のチタン側への移動をさえぎる手段として中間材を検討した結果、鉄や Ni 箔の薄いもの (50 μ m) では効果がなく、厚い低炭素鋼板、SUS 304 線の織物が接合強度保持に効果があることが明らかにされた。

チタンクラッド鋼板は圧延のままのものより熱処理したものが界面接合強度は低下するが、JIS 規格を満足しており、成形性、溶接性、耐食性ともに十分である。

(討23) ステンレスおよび非鉄クラッド鋼における Ni 中間材の役割

(日本鋼管(株)中央研究所・福山研究所

津山青史ほか)

ステンレスクラッド鋼および非鉄クラッド鋼において界面の相互拡散防止、酸化防止による接合性改善に一般に Ni が中間層として用いられるが、その役割について必要性の有無を明確にした。

ステンレスクラッド鋼の場合 Ni 箔や Ni めつき中間材で炭素の拡散は抑制されるものの薄い中間材では炭素の拡散を完全に防止できず、また合せ材表面の耐食性は中間材の有無に差がないことが明らかになった。高温加熱時のステンレス鋼の酸化に対しては Ni めつきの代わりに真空処理すれば、中間層の有無に関係なく十分な接合特性が保持される。非鉄クラッド鋼の場合、Fe、Cu、Ni の相互拡散は高々 10 μ m 程度で、合せ材表面の耐食性をみるかぎり、Ni 中間層の影響はない。クラッド鋼の溶接性から評価した場合、キュプロニッケルクラッド鋼の溶接熱影響による剥離防止に Ni 中間材が必要であるが、他のステンレスクラッド、ニッケル鋼クラッド鋼においては中間材の必要性が認められなかった。

以上の 5 件はクラッド鋼板の接合状態、品質に影響を及ぼす製造諸因子、品質の評価法に関するもので、討論もおのおのについて各講演に対して行われた。接合状態は界面のよごれ、構成材料間の拡散、金属間化合物の生成等に影響をうける。界面に関して金属学的な調査結果が示されたが、今後もう少し突込んだ系統的な研究が必要ではないだろうか。また品質評価はほとんどが界面の剪断強度測定され、クラッド鋼板の加工性も実体成形実験で良否が判定された。いずれの組合せのクラッド板にも適用できる品質評価法の設定が課題であると考えられる。

終わりに講演者各位、当日の質疑やコメントをいただいた方々、会場で熱心に討論をいただいた方々に厚くお礼申し上げます。

IV. 二相ステンレス鋼の特徴と問題点

座 長 住友金属工業(株)総合技術研究所

諸 石 大 司

二相ステンレス鋼はオーステナイト相とフェライト相の混合組織をもつステンレス鋼であるが、22~25Cr-3Mo-N 系を基本組成とする二相ステンレス鋼が優れた耐食性と強度を持つがゆえに化学工業や石油生産用装置材料として大量に使われ始めてから、実用材料としての地位が高まり、用途も広がってきている。また、二相混合組織や析出相は合金成分、熱履歴、加工履歴により微妙に変化し、その性質にも影響が出るので多くの