

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

研究対象となり、研究数も著しく増えた。この状況を反映して開かれた本討論会は多数の参加者を集め、このテーマの関心の高さが窺われた。今回七つの講演によって二相ステンレス鋼をさまざまな角度から捉え、それらの研究結果を相互に討論して理解を深めたことは大いに有意義であつた。以下に各講演及び討論の概要を記す。

(討24) 二相ステンレス鋼の特性に及ぼす相比と組成の影響

(日本冶金工業(株)技術研究所 藤原最仁ほか)

22-24Cr-3Mo-N系の特性の相比依存性について、塩化方2鉄溶液による孔食試験では γ が孔食の起点となり、硫酸による腐食試験では γ が優先溶解をするので、 γ 量が減少するにつれて耐食性は良くなるが、 α リッチになつて α 相内にクロム炭窒化物が析出するようになると腐食が増大するという機構から耐食性に関し、 α/γ 相比の最適値がある。すなわち、合金元素の分配率が異なるので、相比により両相の合金組成が異なり、一方の相の耐食性が支配的になる。機械的強度も基本的には複合則が成り立つが、相比変化によりN含有量が変化するため γ 相の強度変化が大きく、 α 相はあまり変わらないので、相比依存性が出る。 σ 相析出は α 相のCr、Mo濃化度に支配されるので γ 相が増えると析出しやすくなる。など論じられた。

本発表に対し5%硫酸で腐食されるのが σ 相析出によるものかクロム炭窒化物析出によるものかの議論や、 α 、 γ 両相への合金元素の分配係数が得られれば便利だがという提案がなされた。

(討25) 二相系ステンレス鋼における各種析出物とその耐食性への影響評価

(日本鋼管(株)中央研究所 橋爪修司ほか)

時効処理により α 相、R相、 Cr_2N を析出させた22-25Cr-3Mo-N系の二相ステンレス鋼に対してオーステナイト鋼について規定されたヒューイ、ストライカー、ストラウス各試験法の適用可否を析出量との関連で定量に示した。 Cr_2N 析出はCr欠乏層を生ずるので、ヒューイ、ストライカー両試験で感受性を示し、ストラウス試験に対しては感受性がない。一方、 σ 相析出は基本的にヒューイ、ストライカー両試験に感受性がないが、多量の σ 相が共存すると、 Cr_2N が析出していてもヒューイ試験の腐食は抑制される。一方ストライカー試験は σ 相の影響をうけないので、 Cr_2N 析出に伴うCr欠乏層の検出に適する。2%以上の σ 相またはR相が析出するとストラウス試験の曲げのみならず、ブランクの曲げにおいても割れが出るのでこの試験の二相ステンレス鋼への適用は適当でない。

本発表に対し、 Cr_2N 析出によるCr欠乏層とされているものが炭化物によるものではないか。特に500-700°Cでの時効により Cr_{23}C_6 の析出があるという指摘があつた。また、 Cr_2N の析出サイトにつき初期は

粒内、後に α/γ 粒界であり、粒界析出により腐食速度が大きくなることが報告された。

(討26) 二相ステンレス鋼のラインパイプ用鋼としての特徴と問題点

(川崎製鉄(株)鉄鋼研究所 玉置克臣ほか)

22Cr系二相ステンレス鋼のラインパイプ用SAW溶接管のシーム溶接部は工場溶体化熱処理により母体に劣らない耐食性、靱性が得られるし、現地円周溶接の場合、溶接金属については成分制御により適正な γ 比率にすることができる。しかし、熱影響部は多層盛りの再熱による γ 比率回復効果はうけるが、内表面のルートパスは問題である。腐食はFusion lineに沿ったHAZに発生し、入熱およびPitting indexの増加により耐孔食性が向上する。入熱によるのは冷却速度によつては α 相内および α/α 粒界へのCr窒化物の析出、Cr拡散によるCr欠乏層の回復およびNの γ 相への拡散吸収による窒化物の減少によるもので、高P、I、鋼を大きな入熱で溶接すると良好な耐食性が得られる。

本発表に対して入熱の影響は冷却速度のみでなく、組織的に γ 比率が上がることも原因となつていないかとの見解が述べられた。また、ルートパス以降の溶接入熱についても討論された。

(討27) 二相ステンレス鋼電縫溶接管の製造と品質特性

(新日本製鉄(株)光技術研究部 小野山征生ほか)

電縫溶接部の組織はメタルフローが母材と直角になつているが、 γ の分布型態と α 相量は母材と大差なく、合金組成も同じ、かつ相境界等での析出物も認められない。擬圧延端面が露出しているが、孔食感受性が高くなる傾向はなかつた。溶接欠陥がなければ耐食性も機械的性質も母材なみである。溶接欠陥はCr、Si、Mn酸化物を主体とした酸化介在物である。その分布は欠陥面積率の大きい場合は肉厚方向に平均に欠陥があるが、欠陥面積率が低いと介在物は肉厚中心部に偏在している。従つて平均欠陥面積率が0.1% (経験値) 以下であれば、表面層に欠陥は存在しないことが期待できる。欠陥が表面に露出していると孔食の起点となり、とくに FeCl_3 試験では最も鋭敏に表れる。耐SCC性については限界 H_2S 分圧を低下させるほどの影響はなかつた。ただし、孔食起点のSCCについては考えなければならない。

本発表に対し、孔食の起点となりうる欠陥の大きさについて議論され、欠陥の発見方法、ことに非破壊検査法について質問が出された。現状ではUSTで肉厚の5~10%、0.2~0.3mmが限界であるが、40 μm までの欠陥をUST以外で検出できる見込みがあることが示唆された。

(討28) 二相ステンレス鋼の高温低サイクル疲労変形下の σ 相析出挙動

(京都大学工学部 田村今男ほか)

二相ステンレス鋼の σ 析出挙動は静的時効に比べて疲

疲労時効の方が大きく促進され、歪み速度、全歪み幅ともに増加するほどの相析出は早く、かつ、全歪み幅の方が効果大きい。同じ析出率（初期 α 相に対する析出 $\sigma + \gamma^*$ 体積率）において $\sigma + \gamma^*$ ノジュールが静的時効に比して疲労下時効では数多く、個々のサイズが小さい。すなわち、疲労変形により析出の核生成速度が成長速度に比べて促進されている。析出促進には時効温度での動的な繰返し塑性歪みの働きが重要と考えられる。 σ が析出した場合低サイクル疲労寿命は著しく低下する。破断は疲労クラックのマクロな伝播を伴わず脆性的におこる。

本発表に対して、通常の相が高温延性にほとんど影響しないのに低サイクル疲労下では悪影響する点について議論されたが、今後さらに検討すべき課題である。

(討29) 二相ステンレス鋼における組織変化と高温延性
(住友金属工業(株)総合技術研究所
前原泰裕ほか)

σ 相の析出は δ/γ 界面に核生成し、 δ 粒内に $\delta \rightarrow \gamma + \sigma$ の共析反応を起こしながら成長し、最終的に旧 δ は γ/σ の層状組織となる。時効前に加熱して δ 量を増すとその中の σ 生成元素濃度が下がるので析出が遅れる。 δ 単相域まで加熱すると、特に溶融後には σ の析出の前に γ の析出過程が必要なるゆえ、析出の遅れは著しい。溶接部や casting では重要な意味をもつ、時効前の塑性加工も σ 相析出を促進するが、これは δ 粒内からの核生成が $\delta \rightarrow \gamma + \sigma$ 反応を促進する他に γ 粒内からも析出が起るためである。二相ステンレス鋼の熱間加工性が劣るのは軟らかい δ に歪みが集中し、 δ/γ 界面より割れを生ずるため、とくに δ 単相域まで加熱された後は粗大な δ の粒内、粒界に針状の γ が析出するため加工性は著しく劣化する。 σ の析出は 700°C 以上では σ の壁開破壊がおこらず σ とマトリックスの界面剥離で生じたボイドの合体による破壊様式に変わるので脆性は著しく緩和される。軟らかに相の歪み集中とそれに続く再結晶がバランスする条件では超塑性が得られる。変形中に σ 相の析出により早期に γ/δ 二相組織ができると γ 相の動的再結晶によつて等軸 γ/δ 二相組織が得られ、硬い方 2 相の分散が超塑性の条件をつくる。

本発表に対して、二相ステンレス鋼の超塑性が微細粒超塑性だけでなく変態超塑性による寄与がないか、動的再結晶メカニズムと従来の粒界すべりモデルとの関連などについて議論が活発におこなわれた。

(討30) 二相ステンレス鋼の圧縮変形抵抗特性
(名古屋大学工学部 品川一成ほか)

二相ステンレス鋼の冷間鍛造時の変形挙動解析のため圧縮変形抵抗が求められた。二相ステンレス鋼はオーステナイト量が増加するにしたがい、加工硬化率が増す。

温度が上昇すると両相の相違が小さくなり、二相ステンレス鋼の加工硬化系は、フェライトステンレス鋼、オー

ステナイトステンレス鋼と共にほとんど違いがなくなる。フェライトステンレス鋼にみられた $250\sim 350^\circ\text{C}$ での硬化および脆化現象が起らない。室温で静的に据え込んだものはオーステナイト相より、加工誘起マルテンサイトが析出した。機械プレスで据え込んだものは初期に加工硬化するが塑性仕事による自己発熱により温度が上昇すると軟化が大きく、室温で静的に据え込んだものに比べて著しく変形抵抗が低下したことが報告された。

本発表に対して供試鋼の Cr, Mo 量の相違、熱処理による α 相析出や結晶粒径の変化の影響などにつき討論された。

以上、本討論会の要約を報告したが、今回 7 件の講演は組織、組成と耐食性に関する基本的な研究の報告 2 件最近実用的に重要な研究課題となつた溶接管の溶接部の特性に関し 2 件、高温での変形と σ 析出およびその疲労に対する影響、加工性ことに超塑性に関する研究 2 件および冷間据込み加工に関する研究 1 件からなり、極めて多方向からのアプローチになつた。そのため、ややまとまりにくい感もあつたが、これが二相ステンレス鋼の多様性と新しい展開に対する可能性を示しているものとも考えられる。かなり研究されてきたとはいえ、まだこれからもいつそう詳細な研究や新しい用途や性質に関する研究が出てくることが期待される。例えば耐食性上の組成の整理の仕方として P, I が用いられているが、一合金と違って、平均組成としての P, I は耐食性がどちらかの相で支配されているなら実際とは合わないものともいえる。これを機会に二相ステンレス鋼の研究がいつそう前進し、有用な材料となつていくことを祈りたい。

V. 缶用材料

座 長 新日本製鉄(株)第二技術研究所
朝野 秀次郎

副座長 東洋鋼鈑(株)技術研究所
乾 恒 夫

ぶりき及び TFS などの表面処理鋼板は缶用材料の主流であるが、近年、容器に対して保存性能だけでなく、利便性、ファッション性なども要求されるようになり、アルミニウム、PET などのプラスチックとの競合が一段と激しくなつてきた。このような状況の下で、缶用素材を供給している鉄鋼メーカーと、ユーザーである製罐メーカーが一堂に会して討論し、今後の缶用材料のあるべき姿を明確にすることを目的に、本討論会は企画された。

テーマとして、淡色果実缶用ぶりきの耐食性の問題、極薄すずめつき鋼板 (LTS) など新しく開発された各種溶接缶用材料の諸特性、及び塗装缶における塗膜下腐